

「地盤工学のあり方—応用地質学と地盤工学の
協働を考える—研究委員会」

報告および提言（案）



2022年3月

公益社団法人 地盤工学会関東支部

地盤工学のあり方—応用地質学と地盤工学の協働を考える—
研究委員会

東京都文京区千石四丁目38番2号

Tel : 03-3946-8670

<https://jibankantou.jp/>

緒 言

研究委員会設立の背景と趣旨

日本列島には、軟弱な沖積地盤や火山性堆積物地盤が広範囲に分布し、脆弱で急峻な自然斜面も数多く存在する。このため地震や豪雨に対して不安定であり、液状化・崖崩れ・地すべり・岩盤崩壊・土石流・深層崩壊などによる地盤災害が発生しやすい箇所が極めて多い。今後、さらなる気候変動によって集中豪雨の頻発や巨大台風の来襲が懸念され、南海トラフ地震等の大規模地震の可能性も高まっていることを考えると、地盤災害が日本社会に及ぼす影響はますます大きくなってきている。こうした状況を受けて、地盤工学会は2007年度会長特別委員会において、「地震と豪雨・洪水による地盤災害を防ぐために—地盤工学からの提言¹⁾—」をとりまとめており、その中で地盤工学の発展とともに異なる学問・技術分野の協働の必要性を提言している。

異なる学問の協働という点では、実際に地盤災害の第一線で活動している多くの地盤技術者は、地形学を含む応用地質学的観点からのアプローチと、設計を含む土木工学等を踏まえた地盤工学的観点からのアプローチが不可欠であることを痛感している。この地盤災害という観点からは、応用力学に立脚した地盤工学の変形・破壊の議論に、地質・地盤の断層・節理・亀裂などの不均質性・複雑性、風化・侵食による経時変化、および地形の成り立ち等の応用地質学的な理解を融合させることが重要である。

かつてベックが指摘しているように、土質力学の父と称されるテルツァーギは、生涯、土質力学は、応用地質学の一部であると考えていたという²⁾。テルツァーギの授業を直接受けた経験を持つ赤木俊允（としのぶ）は、「地質学の間から遊離した土質工学は、存在の基盤を持たない。もちろん土質工学抜きの地質学だけでは、現在の土木工事に全く役に立たない。こんな両者の関係が、ともすれば、断絶した専門領域の殻に閉じこもりがちな現代においては、相互に理解されないまま、実際の仕事に多大の損失を招いている」と、両学問の協働の重要性を強調している²⁾。

しかし残念なことに、両者は同じ対象として地盤を取り扱っているにもかかわらず、未だにいわれる「地質屋」と「土質屋」といわれる2種類の技術者に棲み分けられている状況が続いている。つまり実際の計画・調査・設計・施工・維持管理において求められている学問間の協働のうちでも、最も基礎となるべき応用地質学と地盤工学という2つの学問の協働が立ち遅れている。この応用地質学と地盤工学の協働は、これまでも何度となく問題提起されてきたにもかかわらず、両学問の協働の欠如を原因とする事故や損失は、近年においても少なからず発生しており、現在も解決すべき課題として残っている。

これに対して、地盤工学の発展という点では、1999年の地盤工学ハンドブック³⁾において、土質工学から地盤工学へ新たな体系化が図られて以来、各種指針・マニュアルや地盤力学を使った解析手法の整備が進んだ。近年では、スーパーコンピューターや並列計算を利用した数値解析技術、IT技術やIoT技術を活用した調査・計測技術、情報化技術等の

急速な発展により、複雑な地盤構造物に関する三次元解析や耐震設計、広域な土工の無人化施工管理が可能になるなど様々な発展を見せている反面、専門化・高度化・精緻化の様相を深めている。

また現在は、先進国における土壌・地下水汚染などや途上国での水資源不足、さらには地球温暖化に伴う自然災害の激化が大きな社会問題化しており、地盤工学では、災害地盤工学や地盤環境工学など、また応用地質学では、防災地質学や環境地質学など新しい分野の学問へ拡大・発展している。

具体的には、放射性廃棄物を含む廃棄物処分場⁴⁾の計画・調査・設計・施工・維持管理の分野や山岳トンネルの掘削に伴う自然由来重金属等⁵⁾の調査・対策設計・施工の場面などにおける両学問や関連する技術の協働への期待が高まっている。

このように地盤工学と応用地質学は、それぞれ独自に発展しながらも、同じ地盤に関する学問として、社会的な要請に対応してその活動領域は広くかつ深く重なってきており、両者の緊密な協働は益々重要になっている。

さらに技術分野の協働という点では、高度経済成長期の全国規模のインフラ事業を推進してきて以来、地盤技術をリードしてきた官界の、いわゆるインハウスエンジニアの空洞化が指摘されている。一方、民間の地質・地盤技術者は、計画・調査・設計・施工・維持管理部門への分化・専門化が進むとともに、実務の現場では人材不足や工程短縮要求の増加などにより、フィールド軽視・過度のマニュアル依存・経験不足の傾向が見受けられ、同じ組織内でも、お互いの分野の相互理解不足が見受けられる。すなわち、官民とも各技術分野の協働はやはり遅れていると言わざるを得ない。

これに対して、最近、国交省主導で始まった地質・地盤リスクマネジメントという取り組みが注目される。これは、事業者、地質・地盤技術者、設計技術者、施工技術者、点検技術者、およびそれを支援する産官学の専門家等の関係者が ONE-TEAM として参画し、地質・地盤リスクを正しく評価し、計画・調査・設計・施工・維持管理の各段階で適切に対応していこうという取り組み⁶⁾であり、そこでの地盤工学と応用地質学の協働が果たすべき役割は極めて大きい。

以上のような状況に鑑み、応用地質学と地盤工学という異なる学問、およびそれらに関わる技術分野の協働を具体的に推進するために、本研究委員会を立ち上げ、その望ましい協働のあり方を追求することにした。すなわち「応用地質学と地盤工学の協働」と学問体系や技術分野も含めた相互理解を促進するため、特に新しく提案・定義した「地盤構造物」の設計における協働の形を明らかにし、具体的な活動を提案することにした。

そのために、土質力学の父・テルツァーギや地質工学の祖・渡邊貫（とおる）など地盤に関する工学の先人達の土質力学・応用地質学に対する考え方も参考にしながら、我々の日常行っている地盤構造物の計画・調査・設計・施工・維持管理に関する技術や大学・企業における人材育成や研究についても、先人達が提唱した地盤に関する工学の原点に戻って考えることにした。

また地盤工学会関東支部の会員に対して、「応用地質学と地盤工学の協働」について、アンケート調査を実施し、教育・研究機関や企業、さらに地盤工学会が「応用地質学と地盤工学の協働」に関して、どのような貢献ができるかを探ることにした。

本研究委員会は、これまで日本応用地質学会から3名の研究委員の推薦をいただき日本応用地質学会との連携を図りながら、2019年度から2年間にわたって研究活動を行ってきた。2020年度は、世界的なコロナ禍の真ただ中での活動となったため、委員各位の協力の下、オンライン会議を取り入れるなどの努力を行うことによって活動を継続し、ここに、その成果を8項目の提言案を含む報告書としてとりまとめることができた。

最終年度である2021年度(2021年4月～2022年3月)は、この報告書を基に、産学官の地質技術者や地盤工学者が結集する地盤工学会関東支部という共通の場で広く関係者との意見交換を行なった後、得られた様々な意見を踏まえた上で、最終報告書として取りまとめた。本報告書および提言案はまさにその成果である。

本研究テーマは、過去に多くのチャレンジがなされたが、いまだに解決できてないテーマである。本研究委員会の成果を今後は全国に発信することにより、将来は、さらに日本応用地質学会との連携も図りながら、地盤工学会全体の議論に発展させることができると願う次第である。

《参考文献》

- 1) 地盤工学会編：地震と豪雨・洪水による地盤災害を防ぐために―地盤工学からの提言、2009年8月
- 2) 赤木俊允、橋場友則：1.6 土質工学と地質学、ケーススタディ土構造、土木工学体系34、彰国社、p.35、1983年1月
- 3) 地盤工学会編：地盤工学ハンドブック、1999年3月
- 4) 大野博之、大山孝弘、磯部有作、打木弘一、大久保拓郎、宮原哲也、山内一志、和田卓也、山中稔、登坂博之：最終処分場における設計震度の設定―地震後の状況調査から、応用地質、第61巻、第5号、pp.262-271、2020年12月
- 5) 建設工事における自然由来重金属等含有土砂への対応マニュアル検討委員会：建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル(暫定版)、2010年3月
- 6) 国土交通省大臣官房技術調査課・国立研究開発法人土木研究所・土木事業における地質・地盤リスクマネジメント検討委員会：土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン―関係者がONE=TEAMでリスクに対応するために―、2020年3月

研究委員会の構成

地盤工学のあり方—応用地質学と地盤工学の協働を考える—研究委員会

No	会務	WG	オブザーバー参加	氏名	所属
1	委員長	WG1 & 2	-	末岡 徹	株式会社キタック
2	幹事長兼委員	WG1	-	宮田 和	清水建設株式会社
3	幹事兼委員	WG1サブリーダー	WG2	石井 裕泰	大成建設株式会社
4	委員	WG1	-	今村 遼平	アジア航測株式会社
5	委員	WG1	WG2	上野 将司	応用地質株式会社
6	委員	WG1 & 2	-	宇田川 義夫	清水建設株式会社(日本応用地質学会推薦)
7	委員	WG2	-	海野 寿康	宇都宮大学
8	委員	WG1	-	柿原 芳彦	応用地質株式会社
9	幹事兼委員	WG2サブリーダー	WG1	笠間 清伸	九州大学
10	委員	WG1	WG2	勝見 武	京都大学
11	委員	WG2	WG1	菊本 統	横浜国立大学
12	委員	WG1	WG2	木村克己	公益財団法人深田地質研究所
13	委員	WG1リーダー	-	栗原 則夫	元日本道路公団/NEXCO
14	幹事兼委員	WG1	-	鈴木 健介	鹿島建設株式会社
15	委員	WG1	WG2	田中 耕一	一般財団法人エンジニアリング協会
16	委員	WG1	WG2	田中 淳	基礎地盤コンサルタンツ株式会社
17	委員	WG2リーダー	-	谷 和夫	東京海洋大学(2021/9/30退任)
18	委員	WG1 & 2	-	富樫 陽太	埼玉大学
19	幹事兼委員	WG1 & 2	-	古木 宏和	日本工営株式会社(日本応用地質学会推薦)
20	委員	WG1	WG2	森 良樹	株式会社パスコ(日本応用地質学会推薦)
21	委員	WG1	WG2	横田 聖哉	東日本高速道路株式会社

目 次

	ページ
緒言 研究委員会設立の背景と趣旨	1
研究委員会の構成	4
1. 序論	7
1.1 研究の背景	7
1.2 研究の基本方針	9
1.3 研究活動の全体像の明示	9
1.4 地盤工学会で活動する意義について	11
1.5 日本応用地質学会からの研究委員会委員の推薦	11
1.6 研究委員会の発足と全体会議、そして二つのワーキンググループの研究活動	11
2. 提言案の作成	12
2.1 提言案作成の経緯	12
2.2 提言案の構成	12
2.3 提言案の目的	13
2.4 提言案本体（箱書きや解説）	13
3. 提言案の要点	14
3.1 主な四つの課題と提案	14
3.2 地盤工学・応用地質学を専門とする技術者・研究者の姿勢	16
3.3 提言案1～8	16
提言1 応用地質学と地盤工学の協働の推進	21
提言2 地盤構造物およびその設計の定義に関する新たな提案	26
提言3 設計・施工に必要な情報を付加した質の高い「工学的な地質図」の作成	29
提言4 学問・技術としての応用地質学と地盤工学に関する理解の深化	31
提言5 後期中等教育（高校）における防災リテラシー・環境リテラシーに必要な「地学」 教育必修科の実現	33
提言6 高等教育（大学・高専）における「応用地質学」と「地盤工学」、両学問の単位相 互取得を可能にする制度改革の実現	36
提言7 両分野の未修得な学問・技術の自己研鑽による習得	38
提言8 海外インフラ建設プロジェクトにおけるジオテクニカル・ベースライン・レポー ト（GBR）の理解促進	40

別添資料

42

- ・活動実績
- ・ワーキンググループ（1）報告
- ・ワーキンググループ（2）報告
- ・委員による自由寄稿

「地盤工学のあり方—応用地質学と地盤工学の協働を考える—」

研究委員会からの提言案

1. 序論

「地盤工学のあり方—応用地質学と地盤工学の協働を考える—」研究委員会は、令和元年5月、地盤工学会関東支部に設立された。

研究委員会設立の背景や趣旨、経緯、活動の方向性や内容については、研究委員の募集要項¹⁾や地盤工学会関東支部で毎年開催されている研究委員会活動報告会においても公表・報告されているが、以下のとおりである。

1.1 研究の背景

① 地盤が関係する建設事故やインフラ災害の多発

2000年代から直近の20年代にかけて、日本および世界各地で地盤に関係する建設事故やインフラ災害が多く発生した(2004年4月シンガポール地下鉄建設掘削地盤崩壊事故、2016年11月博多駅前道路陥没事故、2019年10月台風19号千曲川氾濫による新幹線車両基地²⁾の浸水災害、2020年6月新横浜シールドトンネル建設工事・掘削に伴う道路陥没、2020年10月外環道地下トンネル工事に伴う陥没および周辺住宅地盤沈下など)。これらの事故や被災の原因の一つとして応用地質学と地盤工学の協働の不足(情報交換・情報共有の不足や共同作業の不足)が危惧されるとともに地質・地盤リスクへの対応不足(ONE-TEAM形成の不足)が指摘されている³⁾。

② 応用地質学と地盤工学(土質工学)の協働に関する先人達の指摘

土質力学の父・カール・テルツァーギ⁴⁾や地質工学の祖・渡辺貫(とおる)⁵⁾、テルツァーギの教え子・赤木俊允(としのぶ)先生⁶⁾、地形学の鈴木隆介(たかすけ)先生⁷⁾ら先達者の足跡を辿り歴史的観点から調べてみると、地盤工学にとって応用地質学(地形・地質)がいかに重要かを認識され、両者の協働を幾度となく提唱されてきたことを知ることができる。それにもかかわらず現在に至るも、両者の協働が実現しているとはいえない状況にあり、その根本原因の究明と解決する方策の提案を迫られている。

③ 地盤工学ハンドブックにおける応用地質学分野(地形・地質など)に関する記載充実の必要性

1999年版地盤工学ハンドブック⁸⁾には、1965年・1982年のハンドブックと比較して地形・地質などの応用地質学分野の系統的な記載が大幅に減少してい

る。学問がある程度、時代時代のパラダイムを反映する⁹⁾のはやむを得ないが、今後の地盤工学の発展を考える場合、応用地質学の重要性は既に紹介した多くの先達も明言されており、また地質・地盤技術者も日々の業務と体験でその重要性を身にしみ感じてしている。したがって、時代で移り変わるパラダイムの反映と時代に左右されない学問としての普遍性確保との間で、バランスある地盤工学の発展のためには、今後、地盤工学ハンドブックの読者の方々に応用地質学分野の知識や技術ならびに学問を伝えることは、是非とも必要だと考えられる。なお今後の地盤工学ハンドブックの記載内容や構成については、技術の現状や社会的要請を適切に反映すべく検討し、さらに役に立つ書籍として一層の充実を図ることが必要と考えられる。

④ 従来の地盤工学と違った新しい地盤工学の創設への期待

土圧論、せん断・圧密の理論といった地盤工学ばかりでなく¹⁰⁾、また土質分類などの土の基本的性質から入るいわゆる1948年型(1945年型)¹¹⁾の型通りの土質力学でない¹²⁾、もっと伸び伸び¹³⁾とした自由で、地質工学分野を含み¹⁴⁾、¹⁵⁾、¹⁶⁾、維持管理分野¹⁷⁾までを網羅した、実用的¹²⁾で新しい地盤工学¹⁸⁾を求める機運が高まりつつある。そして応用地質学と地盤工学の協働活動¹⁹⁾がその役割の一端を担えないかと期待されている。

⑤ 地質・地盤技術者による両分野におけるこれまでの協働体験の記述・記録と整理・分析さらに学問・技術として普遍化の必要性

地質・地盤技術者はこれまで膨大な土木地質学的・地盤工学的体験を積み、その体験に基づく知識を記述・記録してきたが、それが十分実務で生かし切れているとは言い難い。すなわちこれらの体験を整理・分析し、十分に学問・技術のレベルまで普遍化するに至っていない。今後は、ICT技術であるCIMさらにAIを駆使して体験の記述・記録を、世代を超えた共有の記録・知見として伝承・伝達・検討し、学問・技術のレベルまで普遍化することが期待される。すなわち、現代の先端技術を用いて貴重な体験をフランス・ベーコンの言う「知は力なり」のレベルまで引き上げることが望まれている。

⑥ これからの地質・地盤技術者には、ペックの提唱する三つの技術能力を身に着けた理想の地盤技術者像に近づくことが求められている

テルツァーギと並んで地盤工学の先達者の一人であるR.ペック²⁰⁾によれば、土質技術者に求められる能力として①先例に通じていること、②土質力学をよく理解していること、③役に立つ地質学の知識を持っていること、の三つを提唱している(後述する図-1参照)。

特に現在、地盤技術者にとっては、地形学・地質学・応用地質学の知識は必要不可欠のものとなっている。一方、地質技術者にとっても、土質力学を含む地盤工学の基本的知識は、必ず身に着けることが望ましい。すなわち「応用地質学と地盤工学の協働」のためにも、地盤技術者も地質技術者も、お互い相手

側の分野の基礎知識は、生涯学習などを含めた自己研鑽により、習得することが求められている。

⑦ 「応用地質学」を取りまく教育環境の悪化

「応用地質学と地盤工学の協働」を進める大前提は、各々の学問・技術の教育が、大学・高専などでしっかりと行われることである。

ところが、「応用地質学」をこれまで教えてきた経験豊富な地質・地盤技術者や講師・教育者が高齢化し、教育人材の枯渇が危惧されている。しかも、土質力学や応用地質学、地質学などの大学における地盤関連の専門科目も、大学内の専門科目のカリキュラム再編などの影響を受け内容縮小や科目減少の傾向¹²⁾にあり、現在、「応用地質学」などの教育環境は危機に立たされている。

1.2 研究の基本方針

本研究委員会が関連する分野においては、既に地質・地盤リスクマネジメントに関する活動や成果物³⁾があることを認識したうえで、単に現象論の解説や現状の改善だけではなく、学問・技術・人材育成（教育）の観点から、根本的かつ本質的に「応用地質学と地盤工学の協働」を見つめ直し、地盤工学の発展に寄与する、ことを基本方針とした。

1.3 研究活動の全体像の明示

（図-1）を提示することにより、本研究を取り巻く応用地質学・地盤工学の学問・技術・理想の人物像など、研究を取り巻く周辺構成環境を理解するとともに、今後の本研究委員会全体の活動の方向性を探った。

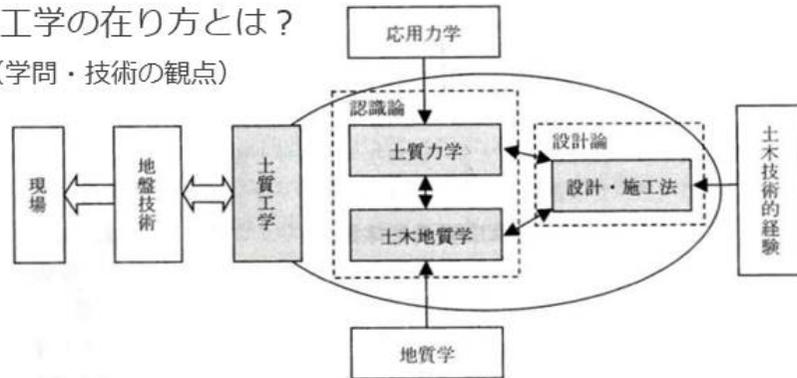
<研究委員会に期待したいこと、実施したいこと 末岡>

研究委員会の場で、各自が経験・研究した地盤工学的体験と知見を持ち寄り、地盤工学のあり方について議論することにより、地盤工学と応用地質学の協働が進化・深化することを期待する。議論を通して地盤工学全体を俯瞰しつつ地盤工学を構成する学問・技術という観点から知の統合と体系化を試み、「令和の時代にふさわしい魅力ある地盤工学」を創出・提案してほしい。

- フランシス・ベーコン（17世紀の英国の哲学者）「知は力なり」－現実の観察や実験を重んじる帰納法を提唱、経験によって得られた知を力にしていく重要性を主張
- 渡辺貫(Geomechanicsの命名者) は、その著作「地質工学」1935年発刊の緒言において、以下のことを述べている(一部微修正)。
 - ① 土木技術者は、簡単だが正しい地質学の一般知識さえあれば、一寸した注意だけで充分経済的な工事をなし得る。
 - ② 地質学者と土木技術者との密接な交渉と正しい理解、すなわち両者の完全なる提携が欲しい。
 - ③ 土木地質学は、両者の仲介者の役目を果たす。
 → 80年以上前に、渡辺貫は「地盤工学の在り方ー地盤工学と応用地質学の協働を考える-」研究委員会の主旨と重要性をすでに指摘していた。

地盤工学の在り方とは？

(学問・技術の観点)



参考：現状の土質工学の三つの構成要素

(栗原則夫、今村遼平：地盤技術論のすすめー地盤技術者のものの見方・考え方 鹿島出版会 2008年)

理想の地盤技術者像とは？

(地盤技術者に求められる3つの能力ーR.ペックより)

- ① 先例に通じていること
- ② 土質力学をよく理解していること
- ③ 役に立つ地質学の知識を持っていること

→「地盤工学の在り方-地盤工学と応用地質学の協働を考える-」研究委員会においてこれらの能力は地盤技術者に必要な基本的能力と考えたい。しかし
 ・先例をどうやって伝えるか？-経験・技術の世代間の継承は本研究委員会の目的の一つ
 ・地盤技術者が地盤工学に関する計画・調査・設計・施工・維持管理の各段階でICT (CIM, AI, UAV, i-Construction, 観測) を活用し、いかに役に立つ地盤工学を創り出せるか？も重要

→応用地質学との協働の中で、地盤工学の学問・技術の在り方についてその構成要素の内容や定義も含めて議論し、役に立つ魅力ある地盤工学の創出と提案を期待する。
 -地盤工学、地盤力学、土木地質学、応用地質学、設計・施工、地盤技術などの地盤工学の構成要素とともに、防災・環境分野においても地盤工学・応用地質学を含む多様な学問・技術を照査・整理し、令和の時代にふさわしい総合的な地盤工学を提案してほしい。(社会や地盤技術者に役立つ地盤工学の観点) も忘れずに!

図-1 研究委員会発足の原点

特に地盤工学の全体像に関しては、(図-1)に示すように土質工学の基本を構成している「地質学から派生した応用地質学」や「数学を武器とした応用力学」の位置づけと役割を念頭に入れ、さらに多くの土木技術的経験に基づく知識体系である「設計・施工法」を活用した三つの構成要素からなる「土質工学」の枠組み⁸⁾を参考にした。

1.4 地盤工学会で活動する意義について

上述した応用地質学と地盤工学を取り巻く課題を解決するためには、個人や個々の各機関、個々の専門分野の調査だけで行うことはかなり困難であり、地盤工学会（関東支部）という多くの機関・分野を横断した組織が機能することが必要になった。

そのため、複数のメンバーに声をかけると共に、研究委員会委員募集の公募¹⁾を2019年3月に行った。

1.5 日本応用地質学会からの研究委員会委員の推薦

本研究課題は、応用地質学と地盤工学の協働に関するテーマであり、応用地質学を主に扱っている日本応用地質学会の協力・協働が是非とも必要と考えられた。そのため2019年4月、日本応用地質学会に対して、研究委員会への委員推薦の依頼要望を正式に行い、3名の研究委員会委員の推薦をいただいた。

1.6 研究委員会の発足と全体会議、そして二つのワーキンググループの研究活動

「地盤工学のあり方—応用地質学と地盤工学の協働を考える—研究委員会」は2019年5月1日（令和元年5月1日）正式にスタートし、まず全体研究委員会会議開催から始め、図-1に基づく研究委員会の全体像の理解と個々の委員の「応用地質学と地盤工学の協働」に関する体験を中心に約1年間を使い話題提供と総合討論を行った。

その結果、各委員の地盤工学的体験と意欲は多岐にわたっており、議論の発散を防ぐ意味でも、ある程度テーマ分野ごとに議論を深める必要があると判断された。

そのため、ひとつは、学問・技術の観点から応用地質学と地盤工学の協働を考えるワーキンググループ(1)と、もうひとつは、人材・教育の観点から両者の協働を考えるグループ(2)の二つのワーキンググループの構成により、より研究活動を活発化することが提案された。

奇しくも同時期、コロナウイルスの蔓延に伴う緊急事態宣言発令されより少人数のワーキング活動が求められた。その結果2020年4月より、上述した二つのグループによって約1年間、年4回程度のZOOMなどによるオンライン研究会を実施した。

さらに2021年5月からは、各ワーキングの成果を持ち寄って全体討議として研究委員会全体会議を再開し（ただし、2021年9月までは緊急事態宣言中のためオンライン会議方式を採用）、各グループが作成した報告書内容の確認と序論及び個々の提言についての討論及び検討を行った。

ワーキンググループ(1)の活動—応用地質学の役割

学問・技術の観点から「応用地質学と地盤工学の協働」において応用地質学の役割を研究した結果、設計を中心としたテーマである「地盤構造物の設計」に焦点を当て、両者の協働を考えることとして、研究を進めた。

ワーキンググループ(2)の活動—人材・教育

応用地質学と地盤工学の協働を人材・教育の観点から研究するに際して、現状調査からはじめることとし、まず大学における両分野に関するシラバス調査から始め、地盤工学会会員（関東支部）に対する「応用地質学と地盤工学の協働」に関するいくつかの観点からのアンケート調査を行い、会員の本研究分野に関する現状認識と考えを聞かせていただいた。

2. 提言案の作成

2.1 提言案作成の経緯

「地盤工学のあり方—応用地質学と地盤工学の協働を考える—研究委員会」に設置された二つのワーキンググループの活動努力により、「応用地質学と地盤工学の協働に関する研究」の内容は、(1) 新しい学問・技術の考え方と提案、および(2) 人材・教育に関する新しい知見や提案など、示唆に富んだものになりつつあるが、さらに分かり易い形で公表するには、提言という形が望ましい、という結論に至り、主な主張を短い項目ごとに提言という形で表現・公表することにした。以下はその内容・構成である。

なお説明の都合上、これ以降、提言案という用語は、(案)を省略する場合がある。

2.2 提言案の構成

提言は以下の 8 項目で構成されている。提言内容自体はすでに先人達により言及されたものも含まれるが、「応用地質学と地盤工学の協働」を基軸に検討を重ねてきた当研究委員会独自の観点に基づくものとなっている。

- ① 応用地質学と地盤工学の協働の推進
- ② 地盤構造物及びその設計の定義に関する新たな提案
- ③ 設計・施工に必要な情報を付加した質の高い「工学的な地質図」の作成
- ④ 学問・技術としての応用地質学と地盤工学に関する理解の深化
- ⑤ 後期中等教育（高校）における防災リテラシー・環境リテラシーに必要な「地学」教育必修科の実現
- ⑥ 高等教育（大学・高専）における「応用地質学」と「地盤工学」、両学問の単位相互取

得を可能にする制度改革の実現

- ⑦ 両分野の未修得な学問・技術の自己研鑽による習得
- ⑧ 海外インフラ建設プロジェクトにおけるジオテクニカル・ベースライン・レポート (GBR) の理解促進

2.3 提言案の目的

「地盤工学のあり方—応用地質学と地盤工学の協働を考える—研究委員会」の提言の基本になる考え方（目的）は、公益社団法人地盤工学会の目的である①学術技術の進歩への貢献、②技術者の資質向上、③社会への貢献、を基本として、以下の項目を提言の目的とした。提言案そのものについては次章で紹介する。

（提言の目的）

本提言は、「応用地質学と地盤工学の協働」を考え、以下の目的を掲げて作成した。

- (1) インフラ建設やその維持管理、および地盤防災や地盤環境保全に「応用地質学」と「地盤工学」両分野の学術的知見や技術を適切に活用し、より安全で安心な社会を実現する。
- (2) 産学官の協力により、「応用地質学と地盤工学の協働」を実現し、産業振興と教育・人材育成を図り、新しく魅力ある産業²¹⁾と労働市場を創造・拡大する。
- (3) 「応用地質学と地盤工学」両学問・技術の研究活動を活発化させ、人類・社会に貢献・寄与する研究・学問・技術開発を促進する。
- (4) 「応用地質学と地盤工学」両分野の技術と学術的知見を保有する地質・地盤技術者の技術力のさらなる向上を図り、その活動意欲を高めるとともに、人類・社会に貢献する両分野に精通した地質・地盤技術者を育成する。なお、両分野に精通した地質・地盤技術者の能力とは、地盤技術者（建設技術者）の場合は、（応用）地質学的な土台（基礎知識）に裏打ちされた地盤の工学的な評価能力であり²²⁾、地質技術者の場合は、地盤工学的土台（基礎知識）に裏打ちされた地盤の応用地質学的な評価能力とした。

2.4 提言案本体（箱書きや解説）

（時間スケール）

- ・短期的（緊急であり、できるだけ早く対応すべき課題）
- ・中期的（今後4～5年の時間スケールで対応すべき課題）
- ・長期的

（提言の相手先）

- （社会全体） ・行政（国土交通省、農林水産省、文部科学省、地方自治体ほか）

- ・企業（計画・調査・設計・施工、維持管理、エンジニアリングほか）、
 - ・学会（地盤工学会、日本応用地質学会、土木学会ほか）
 - ・関連団体（全地連、建コン協、日建連、NPO ほか）
 - ・教育、研究機関（大学、高専、研究所ほか）
 - ・マスコミ、関与度が高い住民・一般市民など
- （専門家）
- ・地質・地盤技術者ほか
 - ・研究者・教育者（国公立研究機関、大学・高専ほか）
- （初学者）
- ・学生（高校生、高専生、大学生ほか）
 - ・社会人（新人、未経験者ほか）

（解説について）

各々の提言において、提言に関係する以下の項目について解説を行った。

- (1) これまでの経緯と背景の紹介
- (2) 既往の情報・知識の紹介とその解説
- (3) 提言の理由とその効果に関する紹介と解説
- (4) 参考文献などの資料の紹介

3. 提言案の要点

3.1 主な四つの課題と提案

2.2で紹介している8項目の提言案（個別の内容は後述）は、それぞれ重要で特徴ある提言となっていると思われるが、全体を通してみると、以下の4つの主要な課題と提案で構成されていることが分かる。

すなわち、

- (1) **新しく提案し再定義した「地盤構造物の設計」過程における地質技術者（調査）と地盤技術者（設計・施工）の協働の実践**

新しく提案・再定義した自然地盤と人工物の複合構造物の設計である「地盤構造物の設計」においては、地質技術者と地盤技術者は、応用地質学と地盤工学の知識・学問・技術を持ち寄り、設計過程において「地盤の構造の解明」を行い、「地質・地盤リスクの分析」を行い、協働して設計・施工に必要な質の高い「工学的な地質図」を作成して問題点を共有し、さらに「地盤構造物の設計」を協働で実行すべきである。さらに上述した事業を可能にするために、実務において地質技術者の設計の場における活動・活躍の場を広げる観点から、地盤に係わるマネジメント機能を具備した事業遂行の仕組み及び制度を整えていく必要がある。

- (2) **高等教育における「応用地質学」と「地盤工学」、両学問の教育の充実と両学問・技術に精通した人材の育成**

大学・高専などの高等教育の場においては、「応用地質学と地盤工学の協働」を念頭に、協働して両学問・技術・研究の発展と充実を図り、両分野に精通した人材の育成を図るべきである。

なお、この場合の両分野に精通した地質・地盤技術者とは、既に 2.3 で述べたように、地盤技術者（建設技術者）の場合は、（応用）地質学的な土台（基礎知識）に裏打ちされた地盤の工学的な評価能力を兼ね備えた地盤技術者のことである²²⁾。また地質技術者の場合は、地盤工学的土台（基礎知識）に裏打ちされた地盤の応用地質学的な評価能力を兼ね備えた地質技術者とした。

地質・地盤分野の学部及び大学院教育科目の選択に関しては、地質学・防災地質学・環境地質学などを提供している理学部提供の教育科目と、工学部の土木工学科・農業土木科などが提供している地盤工学・土質工学・土質力学などの教育科目の相互取得・認証、すなわち両学部からの地質・地盤関連提供教育科目の選択の自由と相互の科目取得認定を制度化する必要がある。

(3) 日本応用地質学会と地盤工学会、両学会による「応用地質学」と「地盤工学」の学習機会の提供や共同研究活動など、協働の実践

日本応用地質学会と地盤工学会は、「地盤構造物の設計」や地盤に関する計画・調査・設計・施工・維持管理などの実務において応用地質学と地盤工学の協働の実践を行うことはもちろん、応用地質学と地盤工学の発展と両分野の地質・地盤技術者の育成のため、あらゆる創意工夫を図り、教育・学習の場（自己研鑽の場）やその手段（テキストやオンライン教育など）を提供するとともに、学問・技術としての応用地質学と地盤工学の発展と協働を促進すべきである。両学会の学問・研究・技術及び実務における協働の実践は、両学問・技術の今後の発展と向上を促進すると期待されており、さらに両学会を含めたオール日本の地質・地盤関係組織を持つ防災学術連携体や地球惑星科学連合所属の諸学会と大同団結による「後期中等教育課程（高校）などにおける『地学教育』の実現」は、地質・地盤・地球科学分野の学問・研究・技術の今後の発展と普及・向上の試金石となるであろう。

(4) 未修得な学問・技術である「応用地質学」あるいは「地盤工学」の自己研鑽による習得

地質技術者（調査）は、在学中に地盤工学を習得する機会がなく、一方、地盤技術者（設計・施工）は、地形学・地質学を含む応用地質学を選択・習得する機会がない状況にある。すなわち地質技術者、地盤技術者の両者とも、未修得分野の学問・技術があると考えられる。

今後のさらなる「地盤の工学（大地の工学⁵⁾」の発展と「地盤工学と応用地質学の協働」の促進を考えた場合、本事項は大きな課題である。また現在本提言案及び報告で提案している「地盤構造物の設計」や「地質・地盤リスクの解明」においては、ますます両学問・技術の必要性は増加するものと考えられ、地質・地盤技術者はともに未修得の地質・地盤に関する基礎知識、さらには様々な「先例」に基づく応用能力を自己研鑽に

より習得し、「応用地質学と地盤工学の協働」を自ら実践する必要がある。

3.2 地盤工学・応用地質学を専門とする技術者・研究者の姿勢

最近頻発している地盤に関する建設事故や地盤災害の原因として、地盤技術者の地形学・応用地質学・地盤工学の知識・技術・経験の不足や地質技術者と地盤技術者による意見の交換・共有などの連携・協働の欠如が指摘されており³⁾、地盤工学や応用地質学を専門とする技術者や研究者に対して、多くの課題が突き付けられている³⁾。

例えば、2019年の台風19号に伴う千曲川の洪水氾濫による新幹線基地の浸水災害については、地形学が専門の鈴木隆介先生により、以前から土木学会誌などで新幹線車両基地地盤の地形形成に根差した危険性の警鐘が発せられ²⁾、また現地には過去の洪水時の水位到達記録標識²³⁾も設置され、注意喚起されていた。

また最近(2019年～20年)では、トンネル掘削工事に伴う地盤沈下や地盤陥没事故が多く発生している。1件はNATMによる山岳トンネル工事に伴う地盤陥没事故²⁴⁾であり、他の2件は、シールドトンネル工事に伴う掘削土砂取り込みすぎが原因と考えられる地盤陥没事故^{25)、26)、27)}である。

前者は、風化花崗岩地盤におけるNATMによる山岳トンネル建設工事であり、本提言にもある「地盤の構造の解明」(地盤調査)とトンネルの「設計・施工」の協働・連携が重要であることを裏付けている。すなわち、風化花崗岩及び強風化花崗岩の風化程度の不均質性²⁴⁾の評価と補助工法に関する設計・施工がキーポイントであると記されており、山岳トンネルの「地盤の構造の解明」と「設計・施工」における「応用地質学と地盤工学」の学問・技術の協働の重要性が示唆されている。

また後者の2つのシールドトンネル建設工事における地盤陥没事故に関しては、両建設プロジェクトの地盤掘削工法は、泥水シールド工法、土圧シールド工法とシールド工法の種類は異なるものの、掘削土砂の取り込みに関する地盤工学的検討、すなわち掘削土砂の地盤工学的特性把握や土砂詰まりのメカニズムの解明・把握さらに品質管理・施工管理の徹底、合わせて地盤陥没現象メカニズムの解明・把握²⁷⁾など、地質・地盤技術者、研究者のやるべきことは多くあり、さらにテルツァーギの提唱した観測施工(Observational Method)による周辺地盤の変状観測の実践など、地質・地盤技術者が応用地質学と地盤工学の学問・技術を動員して協働を実践する分野が多く存在する。

すなわち、地盤技術者や地質技術者そして研究者は、現在つきつけられている多くの応用地質学的・地盤工学的課題に対して、これまでの制度や既成概念にとらわれることなく、人々の安全・安心な生活と地域・社会に貢献できる活動や研究とは何か、どうすれば実現できるか^{28)、29)}、という視点で取り組むことが強く求められている。

3.3 提言案①～⑧

以下に提言案を示す。

- ① 応用地質学と地盤工学の協働の推進
- ② 地盤構造物及びその設計の定義に関する新たな提案
- ③ 設計・施工に必要な情報を付加した質の高い「工学的な地質図」の作成
- ④ 学問・技術としての応用地質学と地盤工学に関する理解の深化
- ⑤ 後期中等教育（高校）における防災リテラシー・環境リテラシーに必要な「地学」教育の必修科の実現
- ⑥ 高等教育（大学・高専）における「応用地質学」と「地盤工学」、両学問の単位相互取得を可能にする制度改革の実現
- ⑦ 両分野の未修得な学問・技術の自己研鑽による習得
- ⑧ 海外インフラ建設プロジェクトにおけるジオテクニカル・ベースライン・レポート(GBR)の理解促進

《参考文献》

- 1) 地盤工学会関東支部：「地盤工学のあり方—応用地質学と地盤工学の協働を考える—」研究委員会委員の募集、2019年3月
- 2) 鈴木隆介：地形に根差した社会基盤整備、地形を無視した社会基盤整備、土木学会誌、Vol.97、No.1、pp.22-26、2012年1月
- 3) 国土交通省大臣官房技術調査課・国立研究開発法人土木研究所・土木事業における地質・地盤リスクマネジメント検討委員会：土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン—関係者が ONE=TEAM でリスクに対応するために—、2020年3月
- 4) 末岡 徹：カール・テルツァーギとボスポラス海峡、地盤工学会誌、pp.40-46、2021年4月
- 5) 渡邊 貫：地質工学、古今書院、1935年3月
- 6) 赤木俊允・橋場友則：1.5 土質工学と土質力学、土木工学体系 34 ケーススタディ土構造、彰国社、pp.23-30、1983年
- 7) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門（第1巻） 読図の基礎、古今書院、1997年11月
- 8) 地盤工学会：地盤工学ハンドブック、1999年3月
- 9) 栗原則夫・今村遼平：地盤技術論のすすめ—地盤技術者のものの見方・考え方、鹿島出版会、p.187、p.164、2008年4月
- 10) 久野悟郎：序文、土の締固め、主として道路土工に関連して、技報堂全書 57、1963年3月
- 11) 柴田徹編著・岡田清監修：序、地盤力学、ニューパラダイムテキストブック、東京電機大学出版局、2008年4月

- 12) 若井明彦:大学課程「地盤工学」に係わる最近のいくつかの課題、地盤工学会誌、Vol.69、No.5、pp.5-12、および以下の項目を引用、若井明彦・粕谷悠紀ほか:講座/フレッシュマンのための「続・土質力学」、地盤工学会誌、Vol.69、No.10~Vo.l.70、No.3、2021年10月より6回にわたり掲載中
- 13) 奥園誠之:地盤防災技術者10訓、第41回連載一次世代へ伝えたい私の思い、基礎工、pp.92-96、2021年5月
- 14) 千木良雅弘:技術者教育認定と地質工学、地質と調査、02第1号、pp.8-12、2002年
- 15) 横田修一郎:地質技術者教育からみた理学部の学部・学科改組、地質と調査、02第1号、pp.13-16、2002年
- 16) 中尾健児:産業界から地質工学教育を考える、地質と調査、02第1号、pp.24-30、2002年
- 17) 今村遼平・上野将司ほか:防災・環境・維持管理と地形地質、地盤工学会、2015年11月
- 18)土構造物の要求性能の実現を目指した盛土締固め管理の合理化に関する研究委員会(龍岡文夫委員長・平川大貴幹事長):土の締固め管理一現状・新たな展開・展望一、299p、(公社)地盤工学会関東支部、総合土木研究所、2022年2月25日
- 19) 三村 衛:地質学と地盤工学の融合と協働、応用地質、Vol.61、No.6、p.311、2021年2月
- 20) 赤木俊允・橋場友則:土構造物、土木工学体系34、彰国社、p.25、1983年
- 21) 末岡 徹:総説、日本における技術の継承と教育一建設産業を中心として、地盤工学会誌、Vol.65、No.3、pp.1-5、2017年3月
- 22) 今井五郎:序文、地盤地質学入門(三木幸蔵著)、鹿島出版会、1997年
- 23) 2019年台風19号による千曲川下流域の洪水氾濫、写真6:北陸新幹線車両基地付近の洪水の水位標一シリーズコラム・歴史的な大規模土砂災害地点を歩く/さぼうネット、コラム65、長野県北部夜間瀬川流域の土砂災害と砂防事業の歴史1。(2021.04.22閲覧)
- 24) 日経コンストラクション・谷川 博:陥没の原因は不適切な掘削断面、リニア・トンネル工事、支保工脚部にもろい強風化岩、日経コンストラクション、p.25、2019年6月24日
- 25) 新横浜トンネルに係る地盤変状検討委員会:神奈川東部方面線新横浜トンネルに係る地盤変状検討委員会報告書、2020年8月
- 26) 第22回東京外環トンネル施工等検討委員会:地表面陥没事象について、2020年10月
- 27) 第7回 東京外環トンネル施工等検討委員会有識者委員会の開催について、2021年3月19日
- 28) 建設工業新聞(2021年9月27日記事):シールド工事、設計・施工指針策定へ一事故事例の教訓生かす、国交省、あす検討会、
- 29) シールドトンネル施工技術検討会:シールドトンネル工事の安全・安心な施工に関

するガイドライン、令和3年12月策定、国土交通省

「地盤工学のあり方—応用地質学と地盤工学の協働を考える—研究委員会」

提言案

- 提言 1 応用地質学と地盤工学の協働の推進
- 提言 2 地盤構造物およびその設計の定義に関する新たな提案
- 提言 3 設計・施工に必要な情報を付加した質の高い「工学的な地質図」の作成
- 提言 4 学問・技術としての応用地質学と地盤工学に関する理解の深化
- 提言 5 後期中等教育（高校）における防災リテラシー・環境リテラシーに必要な「地学」教育必修科の実現
- 提言 6 高等教育（大学・高専）における「応用地質学」と「地盤工学」、両学問の単位相互取得を可能にする制度改革の実現
- 提言 7 両分野の未修得な学問・技術の自己研鑽による習得
- 提言 8 海外インフラ建設プロジェクトにおけるジオテクニカル・ベースライン・レポート（GBR）の理解促進

（上記提言は、正式には全て提言案であるが、表現の都合上、簡略化し（案）を抜いた形で表示することがある）

提言 1—中期的、専門家、学会に対して

提言 1 応用地質学と地盤工学の協働の推進

地質技術者や地盤技術者が扱う地質や地盤は複雑で不均質なものであり、しかも地下は直接確認することが難しいことから、地質や地盤に関わる情報には大きな不確実性が存在する¹⁾。公共インフラや民間建築などがかかわる土木・建築事業においては、この不確実性に起因した建設事故やインフラ災害の回避に努める必要がある。そのため、応用地質学²⁾ (Engineering Geology) と地盤工学(Geotechnical Engineering)という二つの学術・技術を活用・駆使する必要がある、各々の学術・技術に精通した地質・地盤技術者や研究者の知識・技術的経験を総動員する³⁾、すなわち協働させることが最も重要である。この両学術・技術ならびに関係技術者の協働は、地盤工学・応用地質学の専門家はもちろん、全国組織である地盤工学会・日本応用地質学会、両学会全体で認識し、推進する必要がある。

(解説)

およそインフラ整備を目的とした建設プロジェクトでは、地盤上や地中において実施されるため、その計画・調査・設計・施工・維持管理においては、地盤に係わる学術、とりわけ、応用地質学と地盤工学の知識や技術が不可欠である。

応用地質学は、「地質学の応用分野であり、地下資源、工学、水の供給、あるいは環境問題など、人間の活動に関係した事象を研究対象とする。従来、鉱床の性質・成因を研究する鉱床学が応用地質学の主体とされてきたが、今日では、土木、建設、防災、環境保全に関係する地質、すなわちそれらの計画や工事に関係する地層、岩石の性質の研究が主体にされるようになった。したがって、地質学の分野の中でも層位学、岩石学、構造地質学を応用し、また地球物理学、土壌学、土質力学、地盤工学などが密接に関連を持つことになる。土木地質学の同義語に近いが、本来は、より広い意味を持っている。」と定義されている⁴⁾。

一方、地盤工学および土質力学・土質工学は、以下のように定義及び解説が示されている。

「地盤工学とは、地盤および材料としての土や岩、さらに人工的な地盤材料も含めてそれらを取り扱う学問分野。土に関する工学的問題について、土の物理化学的性質や力学的な性質を基に、力学や水理学などの諸原理を応用する学問体系を土質力学という。土の化学的性質を調べる土壌学あるいは歴史や成因を調べる地質学とは異なり、土質力学の知見は構造物や基礎の設計・施工に必要な土質工学および及びその一分野である基礎工学の基本となるものである。特に対象を岩石や岩盤に限った場合、この学問分野を岩盤力学という。これらを総称して地質工学と呼ぶこともある。土に関しては古くから経験的知識は存

在していたが、1925年に Terzaghi (テルツァーギ) の Erdbaumechanik の出版を契機に急速に体系化が進められた⁵⁾。

ところが、土質力学の父・テルツァーギ、さらにテルツァーギの授業を米国で直接受けた経験を持つ赤木俊允らの警鐘にもかかわらず、「地質学の間から遊離した土質工学は、存在の基盤を持たない。もちろん土質工学抜きの地質学だけでは、現在の土木工事に全く役に立たない。こんな両者の関係が、ともすれば、断絶した専門領域の殻に閉じこもりがちで現代においては、相互に理解されないまま、実際の仕事に多大な損失を招く⁶⁾」事例が未だに後を絶たない。また日本の地質工学の祖・渡邊貫による「地質学と応用力学とが、両手をつなぎ合わせて進んでいこう⁷⁾。」という呼びかけにもかかわらず、残念ながら、そうになっていない現状がある。

このような現状を早急に変革する必要があるという認識が本報告書において本提言 1 を提案する原点であり、かつ提言を行う理由でもある。

近年、土木・建築事業の遂行において紛争の原因になる地質・地盤に関する不確実性に対処する手法として、「地質リスクマネジメント⁸⁾」という考え方が、研究・提唱されている。例えばプロジェクト全体の中に存在しえる地質の不確実性に焦点を当て、それを地質リスクととらえてマネジメントすることにより、プロジェクトを経済的かつ安全に実施していこうという試みが提案されており、さらには地盤が関係する海外プロジェクトにおいては、適切な実力を持った専門家によって作成される GBR (Geotechnical Baseline Report)⁸⁾ を重視し、発注者・受注者など関係者が、地質リスクに対して合理的に対処していこうという動きがある。

さらに最近では、地盤に関する重大事故の発生に鑑み、地質・地盤リスクマネジメントというより広い視点から、ONE-TEAM を合言葉に、土木事業において事業者と地盤技術者(地質、地盤)を含むすべての関係者が一体となって、計画・調査・設計・施工・維持管理のすべてのプロセスを適切にマネジメントしていこうという動きもある¹⁾。

このように、地質技術者と地盤工学者は、国内外の土木・建築事業において、応用地質学 (Engineering Geology) と地盤工学 (Geotechnical Engineering) を駆使して協働しなければならない状況にある。

本研究委員会「地盤工学のあり方—応用地質学と地盤工学の協働を考える—研究委員会」は、その活動の一環として地盤工学会関東支部の会員に対するアンケート調査を行った⁹⁾。そのアンケート調査結果によれば、「応用地質学と地盤工学の協働」を促進してほしいという要望が会員に強くあり、日本応用地質学会と地盤工学会、両学会は、今後の地盤工学や応用地質学の発展のためにも、そして両学会の会員や国民の期待に応えるためにも、「応用地質学と地盤工学の協働」を実践することが求められていることが判明した。

具体的には、多くの会員が、応用地質学と地盤工学、二つの学問・技術の研鑽・学習を熱望しており、両学会は、その要望に応える責務があり、地質・地盤技術者にタイムリーに学習の機会を提供することが望まれている。まさにそこから「応用地質学と地盤工学の

協働」がスタートすると考えられる。そして今後の両学会の具体的な活動として、以下に紹介するような活動が求められている。

- ① 今回の報告書・提言案の内容を両学会に持ち帰り、各々の学会内で議論を深め、応用地質学と地盤工学の協働を推進する必要がある。
- ② その議論の中で、両学会は、両学問・技術の協働のためにどのような行動が優先的に求められるか、を話し合い、協働に関する行動・活動内容を実践する必要がある。例えば、以下のような活動は、すぐにでもスタートできる活動と考えられる。すなわち日本応用地質学会が率先し、地盤工学会が協力して、地盤技術者（設計・施工）に対して、基本的かつ基礎的な地形学を含む応用地質学の知識を普及させる講習会（セミナーシリーズなど）を開催すること、などが考えられる。逆に、地質技術者に対して地盤工学・土質力学・土木設計の基本的な知識・技術の教育や学び直しの機会を地盤工学会が企画・運営することも考えられる。
- ③ 今後、両学会は、会員向けのテキストなどに関して、本研究委員会の成果や趣旨を活用した出版などが考えられる。その場合、両学会の協働企画なども考えられよう。出版などに関しては、両学会は既に「活断層が分かる本、地盤工学会・日本応用地質学会・日本地震工学会編、技報堂出版¹⁰⁾、2016年」や「8学会東日本大震災合同調査報告、共通編3：地盤災害¹¹⁾、2014年4月」などで、両学会による協働出版の実績がある。
- ④ 両学会は、後述する提言5「後期中等教育（高校）における「地学教育必修科」の実現」に向けて行政（文部科学省など）などの理解を深めるための活動を強化し、多くの学会とも協力して長年の夢である「後期中等教育（高校）における「地学」教育必修科の実現」のために粘り強く活動する必要がある。
- ⑤ 両学会は、後述する提言6：高等教育（大学・高専など）の高等教育分野における「応用地質学と地盤工学の協働」を実現するため、行政（文部科学省や国土交通省など）における理解を深め、応用地質学（環境地質学、防災地質学、土木地質学・地形学など）および地盤工学に関して、理学・工学両部門における単位取得相互認証などの制度改革を進める必要がある。

とりわけ地盤工学会と日本応用地質学会の「応用地質学と地盤工学の協働」の学問・研究・技術の推進に関する活動は重要であり、両学会による以下の活動が基本となる。

- ⑥ 科学技術の進歩への貢献および両学問・技術の深化という観点から、両学会による2つの学問・技術の研究の深化とその促進は根本的に重要であり、例えば、両学会による各々の年次全国大会の研究発表会において、「応用地質学と地盤工学の協働」セッションを各々設け、二つの学問・技術の協働・連携・深化を図るべきである。

上述した知の統合に関する手法や方針は、日本学術会議の「社会のための学術としての『知の統合』—その具現に向けて—¹²⁾」でも提案されている手法（「場」の設定）であり、

また同様の趣旨の要望が、既に会員の声として地盤工学会関東支部会員によるアンケート⁹⁾においても提出されている。

- ⑦ 既に後述する本提言案欄の提言 2 において実践例などを紹介しているが、さらに提言 7「両学問・技術の自己研鑽」でも紹介しているが、地質・地盤技術者は、今後自己研鑽によって未履修分野の基本的知識や技術を身に着ける必要がある。両学会は、地質・地盤技術者の知識・技術習得の学習に関して多様な教育手段を案出・準備し、会員及び国民の期待に応えるべく積極的な学習の機会を作るべきである。

上述した活動案①～⑦は、地盤工学会および日本応用地質学会にとって、「応用地質学と地盤工学の協働」を実践する際に、いずれも必要と考えられる活動・行動案であり、両学会にとって、今後その実践活動が期待されている。

なお、本提言は、日本応用地質学会および地盤工学会、両学会に限定している提言ではなく、広く土木工学、地形学、地質学、防災科学、環境学、地球惑星科学などの諸学問とも関係する提言と考えられ、今後、日本応用地質学会、地盤工学会は上述した学問・技術分野に関連する諸学会とも連携を深める活動が必要になる。

《参考文献》

- 1) 国土交通省大臣官房技術調査課・国立研究開発法人土木研究所・土木事業における地質・地盤リスクマネジメント検討委員会：土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン—関係者が ONE-TEAM でリスクに対応するために—、2020 年 3 月
- 2) 日本応用地質学会編：1-1-1 応用地質学と地質工学、その基本論理、原典からみる応用地質学—その論理と実用、日本応用地質学会、p.3、2011 年 12 月
- 3) 末岡 徹：応用地質・地盤・地下水・環境に関する工学の総合化と学会連合について、応用地質、Vol.53、No.6、p.269、2013 年 2 月
- 4) 地盤工学用語辞典：応用地質学、地盤工学会、p.20、2006 年 3 月
- 5) 地盤工学用語辞典：地盤工学、地盤工学会、p.8、2006 年 3 月
- 6) 赤木俊允・橋場友則：1.6 土質工学と地質学、ケーススタディ土構造、土木工学体系 34、彰国社、p.35、1983 年 1 月
- 7) 渡邊 貫：緒言、地質工学、古今書院、p.5、1935 年 3 月
- 8) 地質リスク学会・全国地質調査業協会連合会共編：地質リスクマネジメント入門、2010 年 4 月
- 9) 「地盤工学のあり方—応用地質学と地盤工学の協働を考える—」研究委員会：研究委員会報告書（案）、第 2 編、人材・教育 WG②、2.アンケート結果と考察、2021 年 11 月
- 10) 地盤工学会・日本応用地質学会・日本地震工学会編：活断層が分かる本、技報堂出版、2016 年 9 月

- 11) 東日本大震災合同調査報告書編集委員会（8学会—地盤工学会、土木学会、日本建築学会、日本地震工学会、日本機械学会、日本原子力学会、日本地震学会、日本都市計画学会）：東日本大震災合同調査報告、共通編 3、地盤災害（幹事学会—地盤工学会、連携—日本応用地質学会、日本地すべり学会）、丸善出版、2014年4月
- 12) 日本学術会議：提言、社会のための学術としての「知の統合」—その具現に向けて—、日本学術会議 社会のための学術としての「知の統合」推進委員会、2011年8月

提言 2—長期的、専門家、行政、学会、関係団体に対して

提言 2 地盤構造物およびその設計の定義に関する新たな提案

地質学的な要因によって設計・施工上の大きな失敗につながった事例は、これまで少なからず生じており、その原因として、地質・地盤リスクが適切にマネジメントできていなかったことが推察される。こうした現状を変革するため、地盤構造物およびその設計の定義を新たに提案する。

地盤構造物の設計に際しては、応用地質学と地盤工学の知識を駆使して地盤の構造を解明し、そこに存在し得る地質学的な不確実性を明確に評価した上で、実施することが最も重要である。

(解説)

一般に地盤構造物と呼ばれるものの範疇¹⁾には、地中構造物、橋梁や建築物等の基礎構造物、土を用いて建設した構造物、人工地盤、自然斜面・地盤を掘削し安定化した構造物など様々なタイプの違う構造物が含まれており、その定義は必ずしも明確ではない。

本報告及び提言案においては、地盤が持つ潜在的な機能の利活用という視点から、地盤構造物を「地盤の持つ潜在機能（支持力、アーチ作用、透水・遮水能力など）を利活用することを基本にした地盤と人工物の複合構造体」と定義し直し、その設計過程として、図1を提案した。

設計という概念は、元々工業製品のような人工物の製造にあたって、要求される機能を持つ構造を考え出す行為を意味する²⁾が、地盤構造物の設計においては、地盤構造物が地盤と人工物の複合構造体であるため、人工物の設計過程にはない「地盤の構造の解明」という過程が必要となる。

■ 地盤の構造の解明（地質調査）

地盤構造物は、その主要な構成要素である地盤の構造を解明した上で、それに相応しい人工物の組み合わせを設計しなければならない³⁾。すなわち地盤の構造の解明がどこまで正確にできるか、またその地質・地盤リスクをどこまで詳しく評価できるかが設計・施工の良否を決するといっても過言ではない。この過程は、従来、地質調査として地質技術者まかせになっていたが、今後は、地質技術者と地盤技術者のより一層の協働が必要とされる。

地盤の構造は、地質技術者と地盤技術者が協働して作成する「工学的な地質図」として表現し、それにもとづいて設計を行う必要がある。「工学的な地質図」の条件としては、地盤構造物の設計・施工を行うための地盤に関する情報が必要十分に表現されていることが必要である。この「工学的な地質図」に相当するものとして、従来から普及しているのが「土木地質図」である。

■ 複合構造体の発想

地盤の構造を解明したら、その地盤の構造に、何らかの人工物の構造を組み合わせ、要求機能を発現すると考えられる複合構造体を発想し、設計代替案とする。

■ 複合構造体の機能保証（設計計算）

発想した複合構造体が実際に要求機能を発現することを保証する。具体的には、発想した複合構造体を工学モデル（多くの場合は、剛体や弾性体などの力学モデル）に置き換え、適切な自然法則にもとづく力学方程式などを用いて、想定される条件の下で機能の分析を行い、要求機能の発現に必要な十分な属性条件を決定することが基本となる。この過程は、従来、設計計算と呼ばれている。

以上のことからわかるように、地盤の構造の解明から始まる一連の設計過程によって、従来の「地質調査」と「設計計算」の持つ本質的な意義と、設計における応用地質学と地盤工学の協働の重要性を明確にしたことが、地盤構造物とその設計の新たな定義の重要な点である。

《参考文献》

- 1)地盤工学会 2007 年度会長特別委員会：地震と豪雨・洪水による地盤災害を防ぐために
－地盤工学からの提言－、p.11、2009
- 2) 中島尚正：人工物と設計、(財)放送大学教育振興会、6525、pp.32-33、2004
- 3) 末岡徹：令和と地盤工学、そしてその設計思想について、地盤工学会誌、Vol.67、No.9、
pp.36-37、2019 年 9 月

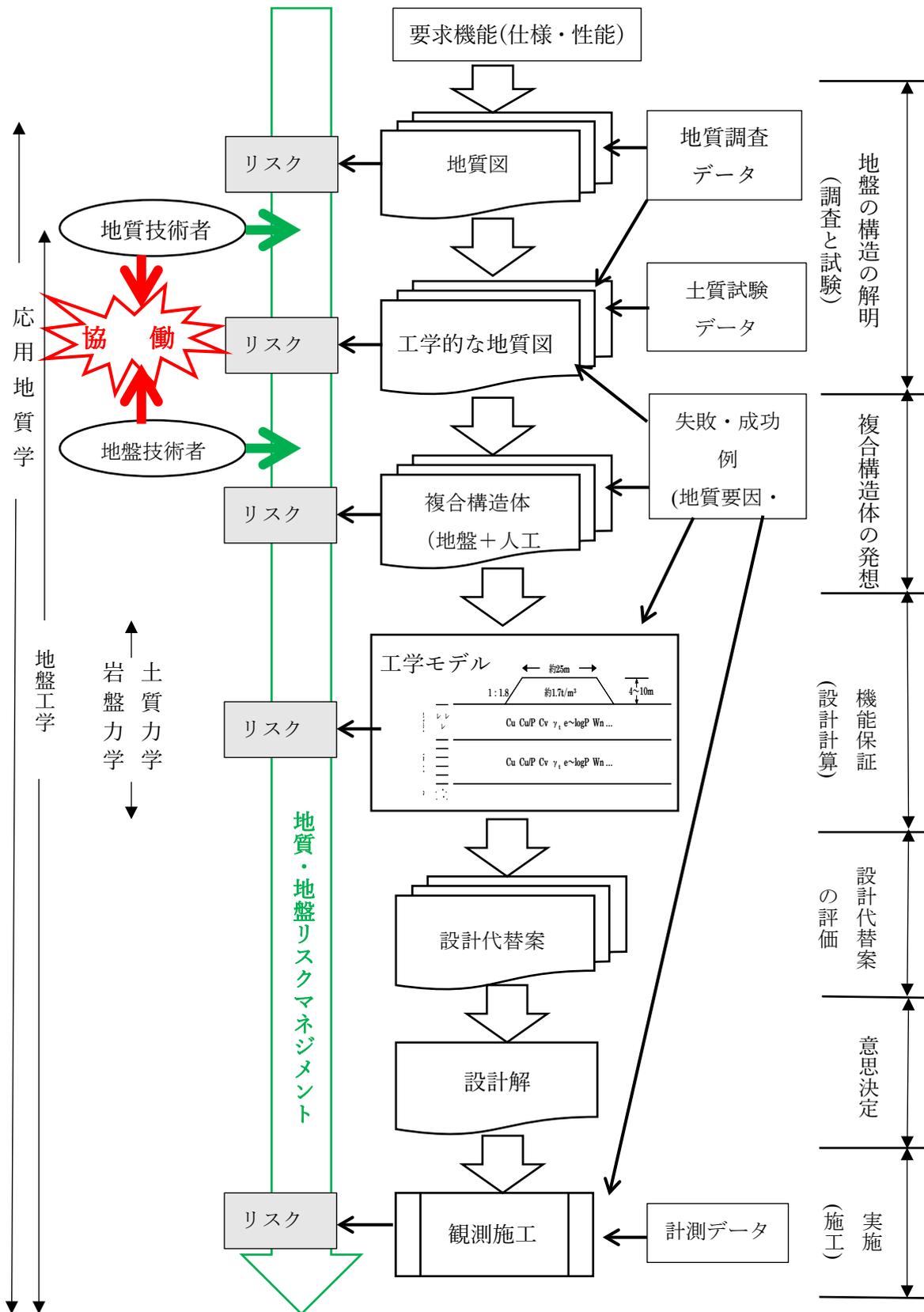


図1 地盤構造物の設計過程

提言 3—短期的、専門家、学会、関係団体に対して

提言 3 設計・施工に必要な情報を付加した質の高い「工学的な地質図」の作成

地盤の構造は、応用地質学と地盤工学の知識を駆使して作成する「工学的な地質図」として表現し、それに基づいて設計を行う必要がある。「工学的な地質図」の条件としては、地盤構造物の設計・施工を行うための地盤の構造に関する情報が必要十分に表現されていることが必要である。

そのためには、地質技術者と地盤技術者が協働して、地質学的視点から作成された地質図をベースにして、設計・施工に必要な情報を付加した質の高い「工学的な地質図」を作成する必要がある、それを実現する仕組みの整備と人材の育成が必要である。

(解説)

「工学的な地質図」に相当するものとして、従来、土木地質図が作成されている。「全地連“次世代 CALS”対応研究会報告書(平成 15 年 11 月)」¹⁾では、土木地質図の特徴として 4 項目挙げているが、そのうちの 2 項目は、次のようになっている。

- ① 最大の利用者は、土木技術者である。
- ② 学問的な地質図をベースマップとし、対象物に即した工学的判断を表現している。

これらは、土木地質図の作り手は地質技術者であり、利用者は地盤技術者である、という分業の実態を反映している。すなわち地質技術者は、地質図を作成することはできるが、設計に携わることがないため、独力で質の高い土木地質図を作成することが困難な場合がある。一方、設計・施工を行う地盤技術者は、地質図の作成はもちろん、その解読すら十分にできない者も少なくないため、地質技術者が作成する土木地質図を鵜呑みにする傾向がある。

本研究委員会による報告では、こうした「工学的な地質図」としての土木地質図の重要性についての認識不足という現状が、少なくない失敗事例を生む一因になっていると考え、それを変革するための基本的な対応として、地盤構造物の設計・施工は、地質技術者と地盤技術者が協働して質の高い「工学的な地質図」を作成し、それにもとづいて実施する必要があること、及び質の高い「工学的な地質図」の条件として、地盤構造物の設計・施工に必要な不可欠な既存の地質工学的特性・情報に加えて不均質情報(断層、節理、亀裂、風化程度等)やその地質工学的特性のバラツキ等による調査結果の確実性もしくは不確実性、地質・地盤リスク源の有無の記載、さらに最近では地盤全体の 3 次元地質解析²⁾情報が必要十分に備わっていることが必須である。

従来から作成されている土木地質図については、日本応用地質学会による「土木地質図作成マニュアル(平成 11 年)」³⁾があるが、「工学的な地質図」として相応しいより質の高いものにするため、次のような実践行動が必要と考えられる。

- ① 日本応用地質学会と地盤工学会による質の高い「工学的な地質図」に対する教育の取り組み、講習会の開催など
- ② 日本応用地質学会と地盤工学会による「工学的な地質図」の手引きと事例集の作成
- ③ 発注機関、地質調査業者、土木設計業者における地質技術者と地盤技術者の適切な配置

《参考文献》

- 1) 全国地質調査業協会連合会：全地連“次世代 CALS”対応研究会報告書、2003 年 11 月
- 2) 西山昭一：3 次元地質解析技術コンソーシアムの活動報告（その 2）、全地連「技術フォーラム 2018」高松
- 3) 日本応用地質学会：土木地質図作成マニュアル、1999 年 8 月

提言 4—長期的、専門家、学会、教育・研究機関に対して

提言 4 学問・技術としての応用地質学と地盤工学に関する理解の深化

応用地質学と地盤工学は、学問のルーツは異なるものの、高度経済成長期以降、どちらもインフラ建設の地盤に関わる計画・調査・設計・施工・維持管理の問題を解決しようとする技術の基礎学問として発展してきた。そして実務レベルでは、両者の連携の重要性が広く認識されるようになってきている一方、両者は、学問としての協働を期待されながら、未だ実現してはいない。

私たちは、自然物である大地・地盤に関する二つの学問の協働を促進するためには、まず両者のこのルーツや性質の違いを認識・理解して「社会のための学問としての『知の統合¹⁾』」を実現させるため、地盤工学会および日本応用地質学会は、両学問・技術の理解を深化させ、両学問・技術の相互理解と協働を促進させる必要がある。

(解説)

地盤工学の創始者ともいえるカール・テルツァーギは、有名な『Soil Mechanics in Engineering Practice』が発刊された同じ 1948 年の第 2 回国際土質基礎工学会議の開会演説において、「土質力学と応用地質学が Geotechnology のような名称の下に 1 つになるのが相応しいとされる時代が来るかも知れない」と述べている²⁾。これは、彼が地質学の重要性を指摘し続けたことと考え合わせると、将来、彼の土質力学が応用地質学と然るべき形で融合された新しい学問体系として発展することへの期待の表明ではなかったか、と推察される。

一方、1920 年代に丹那トンネル工事に従事していた渡邊貫という土木地質技術者が、1935 年に『地質工学』という著書を出版している³⁾。それによると、当時、テルツァーギによって創始された土質力学を中心に発展してきた応用力学が土木工事における様々な問題に取り入れられているのを体験した渡邊は、そうした動きを「地質学と応用力学が両手をつなぎ合わせて進んで行こうという企て」と見て、Geomechanik と名付け、自らも土木地質学の範囲を超えた「地質工学」を提唱した⁴⁾。

その後の歴史は、実務技術者の間では、応用地質学（土木地質学）と土質工学の連携の必要性が認識され実践されるようになるとともに、学問の分野では、土質工学が地盤工学へ再編されるにあたって、地盤工学は明確な応用力学体系の学問としてオーソライズされるかわら、応用地質学（土木地質学）の方は、渡邊の提唱した地質工学が小島圭二・中尾健児によって、地質学の応用学問という体系になってはいるものの、設計という概念を取り入れることによって、地盤工学と実質的に類似した学問として整備されている⁵⁾。

このように、実際の現場では、応用地質学と地盤工学の連携の必要性が広く認識されながら、テルツァーギが Geotechnology と呼び、また渡邊貫が Geomechanik と呼んだ「力学と

地質学を融合した学問体系」は、未だ実現していない。その理由は、学問の性格の違いにあると考えられる。すなわち、応用地質学は、地質学を基本とした理学（Science）をルーツに持つ学問であり、地盤工学は、応用力学と土木工学を基本とした工学（Engineering）であって、異質かつ系統の異なる自然科学の応用学問体系という構成になっているため、原理的に融合が困難な領域が多いからである。

しかし地質工学と地盤工学は、地質学と力学というルーツの異なる学問の応用体系となっはいるものの、双方ともに設計概念を取り入れて、土木工事の地盤に関わる設計・施工の問題を解決しようとする学問・技術としては、類似したものとなっている。そのため、例えば、地質・地盤技術者の使用する地質・地盤用語の協働解釈作業の開始や両学問分野の構成要素の整理や関係の分析・整理など、両学会がリーダーシップをとり、共通分野の協働活動から始めるべきと考えられる。

したがって本報告書で提案している「地盤構造物の設計」（本提言 2 および本報告書参照）についての新しい定義を基にして、地質工学と地盤工学の協働の道筋について検討することができるのではないかと考えている。この「知の統合¹⁾」には、いろいろな困難が予想されるが、まず前提条件として、私たちは両学問の由来や性質の違いをよく認識・理解しておく必要がある⁶⁾。

《参考文献》

- 1) 日本学術会議：提言 社会のための学術としての「知の統合」—その具現に向けて—、社会のための学術としての「知の統合」推進委員会、2011年8月
- 2) Terzaghi, K.: Opening address, Proceedings of the Second International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. VI, pp.11-14, 1948
- 3) 渡邊 貫：地質工学、古今書院、1935年3月
- 4) 前出 3), pp.4-5
- 5) 小島圭二・中尾健児：地質技術の基礎と実務、鹿島出版会、1995年
- 6) 末岡 徹：令和と地盤工学、そしてその設計思想について、地盤工学会誌、Vol.67、No.9 (No.740)、pp.36-37、2019年9月

提言 5—中期的、行政、学会、教育機関、関連団体、マスコミ、一般市民、専門家に対して

提言 5 後期中等教育（高校）における防災リテラシー・環境リテラシーに必要な「地学」教育必修科の実現

「地学」は自然災害から国民の生命と社会基盤を守るための基本的知識・情報であり、そのためには「地学」教育の国民的普及が求められている。

地盤工学会と日本応用地質学会は協働・共同して、多くの関連学会と連携・大同団結を図り「地学」教育重視とそれを可能にする制度や仕組みの構築を関係部署・団体に提案し、国民運動（ムーブメント）として後期中等教育（高校）における「地学」教育必修科を実現すべきである。

（解説）

地形・地質を含む日本列島の成り立ちを知ることは、自然災害から国民の生命と社会基盤を守る基本的素養であり、国民にとって後期中等教育（高校）における「地学」教育は、その根本に位置づけられる。

「地学教育の充実」については、既に公益社団法人地盤工学会から 2012 年 6 月、「地震時における地盤災害の課題と対策、2011 年東日本大震災の教訓と課題」として報告書および提言が出版されており、東日本大震災第二次提言として「提言 9.3、地学教育の充実、地盤災害を含めた自然災害から自らの生命及び社会基盤を守るために、自然災害及び地球科学に関する知識を学ぶべきである。そのために小学校から高校における学校教育において、理科（特に地学）の教育を充実させる必要がある。その教育では災害と地盤の関係について触れる必要がある。」と唄われている¹⁾。また、今回の報告書におけるアンケート調査でも、会員から「生きる力としての『地学』教育」の充実を求める声が多く寄せられている²⁾。

一方、一般社団法人日本応用地質学会においても、同様な活動や提言が活発になされており、「地質災害に関する日本応用地質学会の 3 つの方針と提言³⁾」や「日本応用地質学会のアウトリーチ活動^{4)、5)}」が紹介・実践されている。また、本分野の識者^{6)、7)} や日本応用地質学会⁶⁾ から同様の意見や提言が紹介されている。

さらにそれらの声に呼応すべく関係各方面においていろいろな努力がなされてきている。例えば、文部科学省からは、分かり易い「一家に一枚ポスター『日本列島 7 億年』」が精力的に出版・配布され、内閣官房水循環政策本部からは「『水循環』教材の手引き」などが出版されている。

しかしながら、上述した関係各方面の努力にもかかわらず、地学教育の後期中等教育（高校）における授業の少なさや大学入試科目選定における「地学」選定の少なさなどの理由^{8)、9)}により「地学」教育の普及という課題は解決されておらず、日本応用地質学会と地盤工学会は、現在同様の問題意識を持つ一般社団法人日本地質学会とともに、より抜本的かつ強

力な活動・行動が求められていると考える。

すなわち、「地質工学の祖・渡邊貫」流の言い方に従えば、現在は了見の狭い考え方でなく日本学術会議や防災学術連携体、日本地球惑星科学連合などの諸団体に属する多くの関連学会と手を携え団結して、「地学」教育の実現に向けて行動する時期であると考えられる。

もちろん、2022年度（令和4年度）から、文部科学省の新学習指導要領に基づき、情報学Ⅰ（デジタル、ネットワーク、プログラミングなど）が高校の必修科目になることは承知している¹⁰⁾が、そして国民的素養として情報学は重要である¹¹⁾と思うが、情報学の初等・中等教育普及活動の次のステージ活動として、そして「社会に開かれた教育課程」を重視する文部科学省の教育政策とも一致する国民的素養としての「地学」教育の実現を、日本応用地質学会と地盤工学会が率先し、日本地質学会を含む多くの関係学会とも協力・連携し、21世紀を生きる知識・情報としての「地学」教育を実現すべきである。本活動のムーブメントは、結果として応用地質学・地盤工学両学問の活性化と本分野に関する社会的関心を喚起することになる。

最近の明るい話題は、日本地質学会に続き地盤工学会が表彰を行ったNHKのテレビ番組「ブラタモリ」¹²⁾において、日本列島の成り立ち、地形、岩石の種類や風化作用、トンネルを含む地下構造物などについて興味深い映像紹介と模型などを使った分かり易い説明がなされ、近年人気を博していることである。このあたりに本提言に関する重要なヒントが隠されていると考えられる。

また、最近のGIS（地理情報システム）の普及・活用や防災の重要性に鑑み、30年以上選択科目になってしまっていた「地理」が2022年から「地理総合」¹³⁾として高校の必修科目に復活したことも明るい話題である。いずれも実現のために関係団体による粘り強い長期にわたる活動の成果と言われており、上述の成果を参考にして、本提言である「地学」教育の実現を、国民的運動（ムーブメント）として、盛り上げる必要がある。

《参考文献》

- 1) 地盤工学会 平成23年度学会提言の検証と評価に関する委員会：地震時における地盤災害の課題と対策、2011年東日本大震災の教訓と提言（第二次）、pp.223-225
- 2) 本研究委員会報告書（案）：第2編、人材・教育WG②、2.アンケート結果と考察、2021年11月
- 3) 日本応用地質学会：震災後の国民のための日本応用地質学会の3つの方針と提言、2014年4月、http://www.jseg.or.jp/pdf/140430_teigen.pdf（2021年10月2日閲覧）
- 4) 日本応用地質学会：特別号アウトリーチ、第61巻、第3号、2020年8月
- 5) 佐々木靖人：「ダムのかたちは地質で決まる」、日本応用地質学会・土木地質研究部会、アウトリーチ活動報告、令和3年研究発表会、2021年10月14日
- 6) 福富幹男：少子高齢化時代における応用地質学分野の課題と取り組み、応用地質、Vol.60、

No.6、pp.285-292、2020年

- 7) 奥園誠之：地盤防災技術者10訓、連載第41回、次世代へ伝えたい私の思い、基礎工、pp.92-96、2021年5月
- 8) 宮下純夫（元日本地質学会会長）：4. 理科教育と地質学の地位、地質学の動向と日本地質学会の戦略、地盤工学会誌、Vol.57、No.2、pp.1-3、2009年2月
- 9) 田村糸子：高等学校における地学教育の現状と問題点、地質学雑誌、Vol.114、No.4、pp.157-162、2008年
- 10) 三木光範（同志社大学名誉教授）：新科目「情報」を国民的素養に、産経新聞、2021年5月24日、
- 11) 文部科学省高等学校学習指導要領（平成30年告示）解説、情報編、文部科学省、2018年7月
- 12) 月刊地理、特集号：ブラタモリの探究『つたわる科学のつくりかた』、月刊地理8月号、古今書院
- 13) 関秀明編集長（月間地理）：地理学とは③、高校必修科目へ、防災へ力、朝日新聞、2021年6月16日

提言 6—短期的、教育・研究機関、行政、学会、専門家に対して

提言 6 高等教育（大学・高専）における「応用地質学」と「地盤工学」、両学問の単位相互取得を可能にする制度改革の実現

「応用地質学」と「地盤工学」の学問連携・協働を図るためにも、大学における理学部・工学部の提供科目の単位相互取得を可能にして、両分野の学問・技術・研究活動の連携を強め活発化するとともに、両分野に精通した地質・地盤技術者の育成・教育を図る。

（解説）

本研究委員会では、「応用地質学」及び「地盤工学」両学問取得に関するアンケート調査を地盤工学会関東支部会員に対して実施した。アンケート結果によると、両学問に関する受講・習得希望は強く、可能ならば、「応用地質学」と「地盤工学」、両学問を大学などで同時に教えてほしい、という要望となった¹⁾。さらに補足すると、両学問・技術に精通した理想の地質・地盤技術者とは、序論 2.3 で既に述べたが、地盤技術者の場合は、（応用）地質学的な土台（基礎知識）に裏打ちされた地盤の工学的な評価能力を兼ね備えた地盤技術者のことであり²⁾、地質技術者の場合は、地盤工学的土台（基礎知識）に裏打ちされた地盤の応用地質学的な評価能力のある地質技術者とした。

然しながら、「応用地質学」および「地盤工学」は重要な学問・技術であるが、特に「応用地質学」の場合がそうだが、教える人材が高年齢化し、教えられる人材も少なくなってきている。

また大学によっては、応用地質学に近い地質学、防災地質学、環境地質学などは、工学部でなく理学部で提供されている場合が多く、工学部土木工学科（建築学科あるいは農業土木学科も）に所属する学生が、理学部提供の科目を取得できる制度になってない場合がある。

最近の大学においては、2019年8月から工学—理学の学部横断の大学新「課程」^{3)、4)}の新設が認められている状況となっており、大学における両学問連携による研究の促進のためにも、是非とも理学部—工学部の単位相互取得を、応用地質学（土木地質、防災地質、環境地質）—地盤工学（土質力学、土質工学を含む）に関して、大学内で実現を図ってほしい。

なお大学の学部教育においては、取得義務科目の多さから、両学部における相互取得単位獲得が困難の場合も考えられ、その場合は大学院レベルで両科目取得実現を可能にしてほしい。

一方、各都道府県に必ず一つはある国立大学は、今後産官学の地方経済連携の中心的公共財⁴⁾として役割を果たすことが期待されており、地域・住民生活・社会基盤の基本とな

る地盤工学・応用地質学の役割は大変大きいと考えられる。しかもコロナ禍で普及したオンライン授業の手法を使えば、大学生ばかりでなく、地域の住民・生活者も参加し地域に根差した地形・地質・地盤・防災などのテーマのオンライン授業も可能になり、より地盤工学・応用地質学が人々の生活にとってニューノーマル時代の身近な学問・技術と感じられるようになるであろう。

《参考文献》

- 1) 本研究委員会「地盤工学のあり方—応用地質学と地盤工学のあり方を考える—研究委員会」報告書案：第2編、人材・教育WG②報告、2.アンケート結果と考察、2022年3月
- 2) 今井五郎：序文、地盤地質学入門（三木幸蔵著）、鹿島出版会、1997年
- 3) 日本経済新聞：大学新「課程」学部横断で—AIなど技術革新に対応、新設最短2か月、2019年10月4日
- 4) 山極寿一（国立大学協会会長）：転換期の日本の大学、地域の産学と連携急務、国公私大 学間の単位も互換、日本経済新聞、2019年1月7日

提言 7—中期的、専門家、学会、初学者に対して

提言 7 両分野の未修得な学問・技術の自己研鑽による習得

地質・地盤技術者は各々、応用地質学及び地盤工学、両分野の学問・技術に関して自己研鑽を続けなければならない。加えて、未修得の応用地質学あるいは地盤工学の基礎知識に関して、適切な教材を使った自己学習あるいは大学の公開プログラム、学会主催のオンラインプログラムなど、あらゆる機会を活用して自己研鑽し習得する必要がある。

(解説)

地盤工学の先達者の一人である R.ベック¹⁾は、土質技術者の備えるべき技術能力として、①先例によく通じていること、②土質力学をよく理解していること、③役に立つ地質学の知識を持っていること、の三条件が必要であると述べている(序論、図—1 参照)。

また、本研究委員会報告書のアンケート結果によれば、地盤工学会(関東支部)の多くの会員は、応用地質学および地盤工学の両方の学問・技術が自らの業務で必要であると感じており²⁾、地質・地盤技術者は、自分たちにとって応用地質学および地盤工学の基礎的知識や技術を習得すべきと考えていることが判明した。

一般的に地質技術者あるいは地盤技術者は、大学(高専)時代、地質学(応用地質学)あるいは地盤工学のどちらかは履修しているが、未修得分野の基礎知識は、是非とも習得すべきと感じている²⁾。すなわち、日本応用地質学会や地盤工学会などの学会による技術普及活動³⁾や大学の公開教育プログラムも活用しながら、地質・地盤技術者は未修得の学問・技術についてオンライン学習講座³⁾なども活用しても自己研鑽し習得すべき、ということになる。

この場合、例えば、地盤工学会が2021年10月から地盤工学会誌に誌上開催中の「講座フレッシュマンのための続・土質力学⁴⁾」や「地盤工学の本⁵⁾」、「地盤と建築をつなぐ⁶⁾」などは、内容説明に工夫を凝らしており、新しく土質工学・地盤工学を学ぶ人にとっても、また「学び直し」を目指す人にとっても役に立つ学習プログラム・テキストと考えられる。

《参考文献》

- 1) 赤木俊允・橋場友則：ケーススタディ土構造、土木工学体系 34、彰国社、p.25、1983年、1月
- 2) 本研究委員会報告案：地盤工学のあり方—応用地質学と地盤工学の協働を考える—研究委員会報告案、第2編、WG②、人材・教育、2.アンケート結果と考察、2021年11月

- 3) 浅田素之：総説、ニューノーマルを踏まえた今後の地盤工学教育—技術普及委員会と各支部でのオンラインイベントの試み、地盤工学会誌、Vol.69、No.5、pp.1-4、2021年5月
- 4) 若井明彦：論説、大学課程「地盤工学」に係わる最近のいくつかの課題、地盤工学会誌、第69巻、第5号、pp.5~12、2021年5月、並びに、若井明彦・粕谷悠紀ほか：講座/フレッシュマンのための「続・土質力学」、地盤工学会誌、第69巻、第10号～第70巻第3号、2021年10月より6回掲載中
- 5) 安田進 著：とことん易しい地盤工学の本、B & T ブックス、日刊工業新聞社、2020年3月
- 6) 「地盤と建築をつなぐ—地盤品質判定士をめざして」編集委員会、藤井衛 監修：地盤と建築をつなぐ、総合土木研究所、2021年6月

提言 8—長期的、専門家、行政、企業、関連団体に対して

提言 8 海外インフラ建設プロジェクトにおけるジオテクニカル・ベースライン・レポート（GBR）の理解促進

発展途上国や新興国におけるインフラ建設マネジメントプロセスにおいて、公共発注者が詳細な地質情報を入札者に提供した上で、受発注者間において地質に起因するリスク分担を明確化する GBR¹⁾ が普及しつつある。

「質の高いインフラ輸出」などの今後の海外インフラ建設プロジェクトへの参入が期待される今日、地質・地盤技術者は、プロジェクトの計画・調査・設計・施工・維持管理の各段階において、海外プロジェクトにおけるリスク分担などの GBR の仕組みを理解するとともに、国内においては地質・地盤リスクマネジメントの導入に備えて、応用地質学と地盤工学の役割と協働が求められ、地質技術者と地盤技術者の協力・協働が不可欠であることを認識・理解しておく必要がある。

（解説）

地盤の持つ不確実性は、インフラ建設プロジェクトにおいて常に発注者・請負者双方にとってコスト変動のリスクになり、プロジェクトなどに多大な影響を及ぼしてきた。欧米においては、地盤条件の変動に起因したコスト変動リスクやリスク分担ルールをあらかじめ決めていくジオテクニカル・ベースライン・レポート（GBR）と呼ばれるプロジェクトをスムーズに運営する仕組み（計画、調査、設計、施工、維持管理の各段階）が提案・運営されてきている¹⁾。

この仕組みは、今後発展途上国や新興国への「質の高いインフラ輸出」として建設プロジェクトに適用される可能性が高いが、GBR 作成には、計画・調査・設計・施工・維持管理の各段階において関係者による協働、とりわけ地質技術者と地盤技術者の協働が不可欠である。

ジオテクニカル・ベースライン・レポート（GBR）は、地盤調査結果にもとづき解釈を加え、対象地盤の状況について発注者（に依頼されたコンサルタント）が現実的かつ合理的な解釈を示した契約文書の 1 つであり、入札に際して発注者・請負者が地盤に対する共通の認識を持つことや、工事受注後の設計変更の際の基準値を示すことが目的である²⁾。

GBR は、米国土木学会からそのガイドラインも出版されており¹⁾、欧米を中心に海外事業では一般的になっており、今後、発展途上国や新興国のインフラ建設プロジェクト³⁾などに適用される機会が多くなると考えられる。

すなわち海外インフラプロジェクトにおいては、予見するのが難しい地質・地盤リスクを適切にマネジメントして、発注者・受注者双方が妥当なリスク負担となるように、GBR を取り入れた合理的な契約方式⁴⁾ が一般的になると考えられる。

また海外プロジェクトにおいても、GBR と組み合わせた質の高い「工学的な地質図」にもとづく設計・施工や観測施工などを経済合理的に実施する³⁾ことが求められると考えられる。一方国内インフラ建設プロジェクトにおける計画・調査・設計・施工・維持管理においては、系統的な地質・地盤リスクマネジメントが求められており、これらの要望に対処するため地質技術者と地盤技術者の協働に期待が集まっている。

《参考文献》

- 1) 地質リスク学会・全国地質調査業協会連合会共編：地質リスクマネジメント入門、2010年4月
- 2) 全国地質調査業協会連合会：改訂地質調査要領、pp.251～253、2009年11月
- 3) 日本経済新聞：インフラ支援で新構想、主要7か国首脳会議（G7サミット）、途上国や新興国のインフラ構築を支援する枠組みを構築、2021年6月13日
- 4) 岩崎公俊、折原敬二:Geotechnical Baseline Report(GBR)について、地盤工学会誌、pp.32～33,2009年5月

別添資料

- ・活動実績
- ・ワーキンググループ（1）報告
- ・ワーキンググループ（2）報告
- ・委員による自由寄稿

活動実績

No.	年度	回	開催日	主な議事
1	令和元年度	1	7月11日	<ul style="list-style-type: none"> ・主旨説明 ・委員会の活動内容について ・委員会の活動に関する討議
2		2	9月18日	<ul style="list-style-type: none"> ・委員からの話題提供とディスカッション 今村委員：地質屋のものの見方・考え方 横田委員：NEXCOにおける土工工事の計画・調査・設計の流れと変状事例 ・委員会の活動内容およびWGについて
3		3	12月9日	<ul style="list-style-type: none"> ・第16回地盤工学会関東支部発表会の研究委員会活動報告セッションの報告 ・委員からの話題提供とディスカッション 栗原委員：1)地盤技術における地質技術者と地盤技術者の協働について 2)高速道路の軟弱地盤対策工の事例—応用地質学と地盤工学の協働— 柿原委員：1)洪水時の河川堤防漏水(微地形) 2)切土法面の崩壊(粘土の膨潤と斜面の不安定化) ・委員会の活動内容およびWGについて
4		4	2月12日	<ul style="list-style-type: none"> ・委員からの話題提供とディスカッション 宮田委員：軟弱地盤上の大規模盛土の沈下対策 菊本幹事長：地盤工学と応用地質学の教育の現状と課題 末岡委員長：地盤工学と応用地質学の協働を考える ・委員会の活動内容およびWGについて
5	令和2年度	1	6月30日	<ul style="list-style-type: none"> ・委員からの話題提供とディスカッション (ZOOM併用) 上野委員：建設工事における地形地質情報の重要性 古木幹事：土砂災害事例から探る地盤工学と応用地質学の協働領域 ・WGの活動内容について WG-1「応用地質学の役割」
6		2	8月26日	<ul style="list-style-type: none"> ・委員からの話題提供とディスカッション (ZOOM併用) 森委員：ダム基礎岩盤の地質調査と地質タイプに関する検討 鈴木幹事：1)豪雨災害対応, 2)切土・掘削工事事例 ・WGの活動内容について WG-1活動報告(石井サブリーダー) WG-2活動予定(笠間サブリーダー) ・全体討議 応用地質学と地盤工学の協働について
7		3	11月11日	<ul style="list-style-type: none"> ・委員からの話題提供とディスカッション (ZOOM併用) 宇田川委員：地質リスクの考察 笠間幹事：平成29年7月九州北部豪雨の災害調査と研究 崩壊斜面の形状分析と深層風化斜面の物理特性 ・WGの活動内容について WG-1活動報告(石井サブリーダー) WG-2活動予定(笠間サブリーダー) ・全体討議 応用地質学と地盤工学の協働について
8		4	3月10日	<ul style="list-style-type: none"> ・委員からの話題提供とディスカッション (ZOOM) 勝見委員：自然由来物質を含む掘削土への対応—もう一つの地質リスク— ・WGの活動内容について WG-1活動報告(石井サブリーダー) WG-2活動予定(笠間サブリーダー) ・中間報告について ・次年度の活動方針について
9	令和3年度	1	5月19日	<ul style="list-style-type: none"> ・WGの中間報告書と提言についてディスカッション (ZOOM) WG-1中間報告(石井サブリーダー) WG-2中間報告(笠間サブリーダー) ・工程について
10		2	6月23日	<ul style="list-style-type: none"> ・委員からの話題提供とディスカッション (ZOOM) 古木委員：DXとAIの地盤防災への活用事例 ・最終報告書と提言について
11		3	10月5日	<ul style="list-style-type: none"> ・提言案に関するディスカッション (ZOOM併用)
12		4	2月4日	<ul style="list-style-type: none"> ・外部機関からのコメント・意見に対しディスカッション (ZOOM) ・提言案に関するディスカッション ・報告書と提言の扱いについて
13		5	3月25日	<ul style="list-style-type: none"> ・報告書ならびに提言案について最終確認 (ZOOM) ・次年度の活動について

地盤構造物の設計における 応用地質学と地盤工学の役割

地盤工学のあり方ー応用地質学と地盤工学の協働を考えるー 研究委員会
「応用地質学の役割」ワーキンググループ
報 告 書

公益社団法人地盤工学会 関東支部

2022年3月

目次

1. 取りまとめの経緯	1
1.1. 検討の基本的な考え方	1
1.2. 検討方針	2
1.3. 報告の主題と構成	2
2. 応用地質学と地盤工学による協働のレビュー	4
2.1. はじめに	4
2.2. 二人の先駆者の歩み	4
2.3. 先達者らの主張	5
2.4. 学協会活動	7
2.5. まとめ	8
3. 地盤構造物とその設計の定義	9
3.1. はじめに	9
3.2. 地盤構造物の設計業務の現状	9
3.3. 設計とは何か	10
3.3.1. 人工物の設計	10
(1) 「構造の発想」過程	12
(2) 「構造の機能保証（設計計算）」過程	13
3.3.2. 実際の設計過程	13
3.4. 地盤と構造物	14
3.4.1. 地盤の機能と構造	14
3.4.2. 地盤の構造をどう表現するか	15
3.4.3. 地盤構造物とは何か	18
3.5. 地盤構造物の設計・施工	20
3.5.1. 地盤構造物の設計過程の再定義	20
3.5.2. 実際の設計過程	21
(1) 地盤の構造の解明	22
(2) 複合構造体の発想と機能保証	26
3.5.3. 観測施工	28
3.5.4. 施工の全体フロー	28
3.5.5. 地盤構造物のデザイン	28
3.5.6. 地盤災害対策や地盤汚染対策における設計	30
3.6. まとめ	32
4. 応用地質学の役割の実際と方向性	33
4.1. 地応用地質学の役割についての検討課題	33
4.1.1. はじめに	33

4.1.2.	地質図から土木地質図の作成方法	34
4.1.3.	地質学的要因が設計施工に与える影響とその評価方法	34
4.2.	「地盤の構造の解明」の手順	34
4.2.1.	はじめに	34
4.2.2.	地質調査	35
(1)	地質調査の進め方	35
(2)	地質調査結果の表示	37
4.2.3.	地質図	38
(1)	地質平面図作成の手順	38
(2)	地質断面図作成の手順	40
(3)	地質断面図の描き方	41
4.2.4.	土木地質図	42
(1)	土木地質図の作成の留意点	42
(2)	土木地質図の必要条件	44
4.2.5.	地盤技術者に求められること	51
(1)	地質学の五大法則	51
(2)	地質図の基礎知識	52
(3)	露頭で観察される地質構造	52
(4)	地形を読む力	53
4.2.6.	まとめ	54
4.3.	地質調査報告書のあり方	55
4.3.1.	はじめに	55
4.3.2.	地質調査報告書の構成と問題点	55
4.3.3.	地形地質の調査結果	56
(1)	地形の判読	56
(2)	地質図と記載	57
(3)	調査結果の報告	59
4.3.4.	まとめ	60
4.4.	地質学的要因が設計施工に与える影響	61
4.4.1.	はじめに	61
4.4.2.	地質調査不足が施工中の変状や崩壊をもたらした事例	61
4.4.3.	施工中に地質想定と実際との乖離が判明し対処した事例	63
4.4.4.	地質リスクに対して設計段階から適切に対処した事例	63
4.4.5.	まとめ	63
4.5.	地質リスク評価方法について	64
4.5.1.	はじめに	64
4.5.2.	地質リスク評価の方法例 ①砂防堰堤斜面補強での取組み	64
(1)	取組み概要	64

(2)	地質リスク評価	64
4.5.3.	地質リスクの評価方法例 ②高台敷地造成での取組み	66
(1)	取組み概要.....	66
(2)	地質リスク評価	66
4.5.4.	地質調査マネジメント・情報共有についての考察・提案.....	67
(1)	これまでの地質・地盤リスクマネジメント事例	67
(2)	地質調査マネジメントについての提案.....	70
4.5.5.	地質リスク評価方法の整理・方向性.....	70
(1)	整理にあたっての前提	70
(2)	地質リスク評価方法	70
(3)	地質リスク評価の方向性.....	71
4.5.6.	まとめ.....	73
5.	応用地質学と地盤工学の協働に関わる用語の整理	74
6.	報告としてのまとめ.....	78
6.1.	協働を考える上での留意点	78
6.2.	まとめ	78
7.	図表・写真リスト	81
8.	WG 調査・作成資料のリスト	83
9.	参考文献.....	84

1. 取りまとめの経緯

地盤工学会関東支部「地盤工学のあり方－応用地質学と地盤工学の協働を考える－研究委員会」は、2019年度より活動を開始し、1年目は関連情報の収集整理や議論・論点の具体化等に当たった。この期間を通して委員会での一体議論を推進したが、2年目となる2020年度は、「地盤工学と応用地質学の協働を設計法の上で実現する」、「土木技術者への応用地質学の教育を推進する」という2つの研究目的について、WG単位で議論と取りまとめにあたる体制に移行した。本報告は、このうち前者を扱ったWG1:「応用地質学の役割」WGによるもので、従来の地盤構造物の設計法の見直しを行った上で、地質・地盤技術者が共有すべきと思われる知見や協働に関する提案を独自の構成にとりまとめたものである。委員会活動の最終3年目となる2021年度の活動において、本報告が、討議・とりまとめの基調資料になることを想定する。

1.1. 検討の基本的な考え方

WG1では、検討の基本的な考え方を次のように整理した。

(1) 問題意識

- ・ 協働（協業、融合）の必要性を痛感しているのは誰か？
⇒設計施工に携わっている技術者、技術者を育てる教育・研究機関関係者。
- ・ なぜ必要か？
⇒応用地質学を知らなければ地盤がどんな構造をしているかわからない。
⇒地盤工学を知らなければ設計計算ができない。
⇒両者の知識のいずれかが欠落すると設計施工がうまくできない。
- ・ 協働（協業、融合）が何をもたらすか？
⇒地盤、地質が相互に絡むトラブルと損失の回避につながる。
⇒我が国の土木技術水準の向上と、国外を含めた信頼醸成に貢献する。
⇒研究者・技術者の国内外活動域の拡大・繁栄をもたらす。

(2) 問題解決の方向性

- ・ 設計施工の一貫した知識体系の整理・再構築。
⇒応用地質学と地盤工学の知識を融合した設計論の見直し
- ・ まず地盤構造物とは何かをはっきりさせる。
⇒地盤と人工物が一体として機能する複合構造体≠地盤＋人工物
- ・ 応用地質の役割を明確にする。
⇒「設計計算のための地質調査」から「設計過程としての地質構造の推定」へ

(3) 目指すゴール

- ・ 上記、問題意識、問題解決の方向性に関連する知見を収集・整理し、当委員会ならでの切り口で再構築する。

1.2. 検討方針

WG1における検討方針は、次のようにした。

- (1) 地質リスク学会では、永年、地質リスクについて研究されている。地質リスク学会の報告書には、WG1で取り上げようとしているのと同じような事例研究が報告されているが、地質リスク学会では、それらの事例研究を基にして、地質リスクマネジメントの研究が進められている。最近、この地質リスク学会の研究成果をベースにして、国交省・土木研究所がまとめた **georisk-guideline 2020**（土木事業における地質・地盤の不確実性に起因するリスクの適切な評価と、そのリスクマネジメントの技術的手法と体制・組織について記述されている）が作成されている。
- (2) WG1のテーマは、まず従来、明確になっていない「地盤構造物」の定義を明確にするとともに、「その設計の本来あるべき姿を明らかにする」こと。それによって、応用地質学と地盤工学の協働の場は、「設計」という場であることを理論的に明らかにする。
- (3) その上で、地質リスク学会が取り上げているのと同じような事例研究から、地盤構造物の調査・設計・施工において、主に応用地質学が係わって行われている作業、具体的には、地質構造の推定、地質構造から地盤構造への変換、地盤構造物の複合構造体の案出、さらには観測工法で行われている作業の実態を明らかにし、できればそれらを一般的な方法として抽出すること、同時にそれぞれの作業に含まれる不確実性についても検討すること。
- (4) すなわち、WG1が目指すのは、地質リスク学会と同じような事例研究から、リスクマネジメントの方へ進むのではなく、逆の原理的な方向への探求、すなわち、設計論の基本的な見直し、およびそれによる応用地質学の然るべき位置づけを行うこと。
- (5) それが応用地質学を、地盤工学に「使われる立場」から、地盤工学とともに「設計・施工に主体的に関わっていく立場」へ変えていく足がかりになると考える。

1.3. 報告の主題と構成

現在の地盤技術は、建設分野、地盤災害分野、地盤環境分野など多岐にわたっており、地質に関しては、土质地質学、災害地質学、環境地質学などの知識が必要であるし、地盤に関しては、建設地盤工学、災害地盤工学、環境地盤工学などの知識が必要である。

この地盤技術に必要な知識は、建設分野、地盤災害分野、地盤環境分野など分野によって異なるものもあるが、共通して必要なのは、地盤構造物の設計・施工・維持管理の方法についての知識である。

すなわち、建設分野では、言うまでもなくこれから建設する地盤構造物をどのような対策工を用いて建設するか、ということが主要な技術的課題である。また地盤災害分野では、大雨や地震などによる地すべり、斜面崩壊、地盤沈下などの災害の発生に対して、その復旧対策工をどのように行うか、が主要な技術的課題となる。さらに地盤環境分野では、地盤汚染、水質汚染、地盤沈下などに対して、事前にあるいは事後に、どのような保全対策工を行うか、が主要な技術的課題となる。

これらのすべての技術的課題を解決するために共通して必要なものが、調査・設計・施工・維持管理の方法についての知識である。

しかるに実際の調査・設計・施工・維持管理の段階で生じている失敗例と成功例を比較検討すると、次の点が重要であることがわかる。

- ① すべての段階を通じて地質および地盤の両方の視点から必要な技術的な方策を講じる必要があるこ

と。

- ② とりわけ最初の地質調査の段階で、地質・地盤リスクを洗い出し、設計の段階でリスクを最小化する設計を行うとともに、その調査・設計情報を施工、維持管理の段階へ確実に引き継ぐ必要があること。

このような反省を踏まえると、最初の調査・設計の段階で地質・地盤リスクの原因となる不確実性をどこまでの確に抽出できるか、そしてそうした調査・設計情報を施工・維持管理段階へ確実に引き継ぎながら、各段階でリスクの最小化を図ることができるかどうか、が極めて重要であるといえる。この地質・地盤リスクを調査・設計・施工・維持管理の各段階を通じて、どのようにマネジメントするかという方策については、令和2年3月に「土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」が国交省、土木研究所によって策定され、すでに実施に移されている。

そこでWG1としては、最初の調査・設計の段階で地質・地盤リスクの原因となる不確実性をどこまでの確に抽出し、設計に反映できるか、という点について着目し、そのために必要とされる応用地質学と地盤工学の協働のあり方について検討することとした。

まず現状の調査・設計における作業の実態を分析し、応用地質学と地盤工学の協働が最も必要とされる最初の作業であるにもかかわらず、適切な協働が行われにくい状態が永年放置されていることを明らかにする。

その原因が現状の調査・設計のあり方にあるとの問題意識から、この報告では、地盤構造物およびその設計（調査・設計を含む広義の設計）法のあり方について検討し、新たな定義を提案する。そのうえで、この新たな地盤構造物およびその設計法における応用地質学と地盤工学の役割を明確にする。これによって応用地質学と地盤工学の協働の基本的な位置付けが明確になり、地質・地盤リスクマネジメントの推進にも寄与することになると考える。

2. 応用地質学と地盤工学による協働のレビュー

2.1. はじめに

地質技術者と地盤技術者の協働、あるいは地質・地盤の学術・技術の融合の重要性については、歴史に名を残す先達者に限らず、関係する研究者・技術者により講演や論説等にて様々な形で主張が繰り返されている。あわせて、地質・地盤を統一的に扱うべき代表的な検討対象としてリスク評価が挙げられ、学協会にてその実践の実態や評価法の詳細など、様々な切り口にて整理や議論が行われてきている。

そこで本 WG、および本研究委員会が地質・地盤の協働、融合を議論するに先立ち、本章では上記内容について資料収集と整理にあたった。

2.2. 二人の先駆者の歩み

1900 年代前半、欧米、および我が国の地盤工学、地質工学の先駆者的存在のカール・テルツァーギと渡邊貫が、表 2.1 にまとめたように学術・技術の領域をまたいで活動した。両者とも、地盤・地質を自己の中で融合し、実務的・研究的な課題に対峙し、解決策・対処策を見出していたことがうかがえる。

表 2.1 カール・テルツァーギと渡邊貫の略歴

年代	カール・テルツァーギ(参考文献 1)、2))	渡邊 貫(参考文献 3)、並びに本 WG でその要旨をまとめた本報告書別添資料を参照)
1880	1883 ブラハで生誕。	
1890		1898 大分市で生誕。
1900	1904 グラーツ工科大学機械工学科を卒業。 1905 オーストリア軍に一年徴兵従事。その後、グラーツ工科大学で地質学について研究。 1906 ウィーンで設計・施工を手掛ける「ピッテル」社に技師として従事。	
1910	1911 基礎工事のトラブル対処の仕事を買って出てロシア・セントペテルスベルグへ。ロシアには6か月滞在。 1912 産業用タンクの図式解法についてグラーツ工科大学で博士認定。 1912 渡米、1年にわたり各種プロジェクトを訪問。 1916 王立オスマントルコ工科大学で教授職。	
1920	1925 Erdbaumechanik(土質力学)を発表。 1929 まで MIT で講師職。 「彼のコンサルティング業務の圧倒的多数は、砂礫層の上で作るダムや堤防に関係していた。ほとんどすべてのケースで、彼は、最適な技術解決策を見出すために現場の地質学的履歴を調べ上げ、それを利用することができた」(参考文献 1)、p.140)	1923 東京帝国大学 理学部地質工学科を卒業。 鉄道省熱海線建設事務所配属。 約 90m の水平ボーリングでの地質確認。 1925 鉄道省建設局計画課に異動。 1929 非公式組織「水研究委員会」を組織、勉強会を主催。
1930	1930 ヨーロッパに戻りコンサルティング活動に注力。 「ここでの適切な工学的アプローチには、貯水池の水位が初めて上昇する時のダムの反応を利用する観測的手法が必要である、と認識し始めた。彼は、設計会社モンテカッティエニへの報告書の中で、後年彼のトレードマークとなるこの手法を規定した。」(参考文献 1)、p.231)	1930 鉄道省内に土質調査委員会発足、土質分野初の学問組織にて幹事。物理試験・探査法、基礎構造物の設計・施工法、地すべり調査などの要素技術を網羅した 5 冊の報告書を刊行。 1935 渡邊貫編纂で「地学辞典」を発行。地質工学を出版。 1936 試験機器の整備や現場の啓もう活動等の使命を終えて土質調査委員会は解散。 1936 「土の科学」と題する論文にて東京帝大理学博士号。 1939 同志を集めて自宅に地質工学研究所を発足。

1940	1943 アメリカ国籍取得。 「まず適切な地質学的背景を組み立ててから工学的結論を下す、というテルツァーギの特技は、1946年、ニューヨーク市ブロンクス区のタフト高校で彼が行った調査においても、その威力を発揮した。」(参考文献1)、p.297)	1942 鉄道省の組織改革による約1割(5万人)の要員削減を機会に退社・独立 1942 日本物理探鉱株式会社を設立。地質コンサルタント業の草分け的存在。以降の学術的活動は目立たず、同社の経営に専念。戦後復興や新幹線工事、地質コンサルタント業の育成に注力。
1950	1953 ハーバード大学を70歳で退官。 「1957年の春にカールは、ハーバードにおける土質地質学コースへのイントロダクションの講義を行った。その後、この講義はルースの助けを得ながら、ウォルター・フェリスによって継続された。『もし君が土質地質学の概念をうまく把握できなければ、土質工学に近づかない方がよい』とカールは警告した。」(参考文献1)、p.380)	
1960	1963 逝去(去年80歳)	
1970		1974 逝去(76歳)

2.3. 先達者らの主張

前節で触れたカール・テルツァーギ、渡邊貫と同様に、地盤工学、地質工学の融合・協働については、表2.2にまとめたように様々な先達者らにより示唆に富んだ解説がなされ、それらを促進すべきとの主張が繰り返されている。年代を経るに従い、地盤工学、地質工学が共に発展し多様化・細分化されたこと、マニュアル主義が及ぼす弊害に問題意識が向けられる様子が読み取れる。

表 2.2 地質・地盤技術者の協働に関する先達者の言及例

年代	発信者・出典	タイトル・内容
-	カール・テルツァーギ 第1回国際土質基礎工学会議・会長演説 (赤木俊允、橋場友則:土 木工学大系34「土構造」 (彰国社版)の記述を引用)	“不幸にして土は、人間が製作したものではなく、大自然が作った複雑極まりない製品である。この10年間に行われた種々の実験によっても、前述のような安易なやり方は徹底的に改めなければならないことが明らかとなっている。橋梁のような全く人工的な構造物の設計では、力学の知識しか必要としない。この分野では理論が主であって、設計上の経験を別にすれば、一般に経験なるものは二次的な重要性しか持たない。橋梁設計に用いられる理論式には重要な不確定要素は含まれていないから、その計算結果は信頼できる答を与える。しかし、材料が鋼やコンクリートではなく土ということになると、理論の全能性は失われてしまうのである。”
1969	星埜・加藤・三木・榎並訳 新版テルツァーギ・ベック、 丸善	初版序文 “ところが不幸にして、土質力学における研究活動は一つの好ましくない精神的な影響をもたらした。土工学の問題に数学を応用する際に始めから制約されているいろいろな制限に、多くの研究者や教師が注意を払わなかったのである。その結果、試料採取や試験を精密にやることや、正確に解くことができる非常にわずかな問題のみを、ますます強調する結果となった。しかしながら、正確な解が得られるのは土層が水平方向に実際に均一でかつ連続である場合だけに限られるのである。さらになお、正確な解を得る研究は、試料採取法や試験法に非常に特定の方法を必要とするので、例外的な場合にだけしか正しくない。大部分の仕事は近似的な予想が必要であるにすぎない、そしてこのような予想が簡単な手段で得られないならば、予想することは全くできないのである。近似的な予想をすることが不可能であるならば、その土の状態を工事中に観察しなければならない、そしてそれから、その設計を観察によって得た結果に従って修正しなければならない。これらの観察によって得た事実を無視することは、土質力学の目的を無視することになる。これらの観察によって得た事実が、この本の主題の取り扱い方を決定している。”
1983	赤木俊允、橋場友則	「まえがき」での記述

	土木工学大系 34「土構造」、彰国社版	<p>“例えば、土質力学の父と呼ばれるテルツァーギは、まず傑出した土木技術者であり、次に卓越した地質学の専門家であり、そしてユニークな実践哲学を持つ思想家であり偉大な教師であった。著者の脳裏に焼き付けられているテルツァーギのイメージは、単に高名な大学教授・研究者のそれではなく、斯道の奥義を極めたマイスター、巨匠のそれである。著者らがその警咳(けいがい)に接することを得たベック、キャサグランディ・ビエラム……のような人々も、そのような意味と敬愛の念とをこめて、巨匠と呼ぶことにしたい。</p> <p>これら巨匠たちの仕事や著述には実際、優れた個人が長年のたゆまぬ努力の結果初めて到達できる芸の深み、術の極意といったものが、にじみ出ているように思われる。すばらしい人間の英知・経験・判断力、そのようなものの価値を、我々は忘れてしまっていないだろうか。華麗な科学的手段の飛躍的な進歩に幻惑されて、誰がやっても同じような結果が得られる標準的な方法、いわばプッシュボタン方式がどんな問題にも適用できるようになる、とのいわれなき盲信とおごりに我々は蝕まれてはいないだろうか。土質工学は果たして、理論解析と科学機器とによってその将来が完全に席卷(せっけん)される可能性をもつ専門分野であろうか。土質力学を創造したテルツァーギは、また土質力学の誤用を憂えていた人でもあった。”</p>
1984	九州大学工学部 山内 豊聰 応用地質、第 25 巻、第 4 号、p.1	<p>「応用地質学と土質工学」</p> <p>“純粋地質学といえども工学的必要性から生まれたものであり、まして応用地質学と土質工学は、ともに鉱山、トンネル、ダム、道路、防災といった建設工学上の必要性に迫られて誕生したものである。そこに共通の使命が存在しているはずである。”</p> <p>“応用地質学と土質工学の両分野が、工学的あるいは技術的要請に対応するためには、ともに改めるべき姿勢上の問題があると考え。応用地質学にはサイエンスの領域を出ることを潔としない傾向が、土質工学には一種の材料力学にとどまりがち傾向が、それぞれ残っている。このことが、両分野の密接な連携を阻害しているのではないかと考える。”</p> <p>“真に役立つ地盤の工学あるいは技術を目ざすためには、応用地質学と土質工学とは、もちろん対立するものではなく、……応用地質学のなかに土質工学が包含される体系で、研究調査がなされるべきであろう。”</p>
1987	最上武雄 私と土質力学、鹿島出版会	<p>「10 土質力学の流れ」 p.143、テルツァーギによる「土質力学」の確立経緯に関する言及</p> <p>“Terzaghi は学生としては機械工学を学んだが、地質学を好み、これに力を入れたから彼の基盤には大きく地質学、小さく機械工学があったと思っても間違いではあるまい。</p> <p>土工事、土構造物の設計施工に科学を導入して一つの体系を造ろうというのが彼の夢であった。実際の工事に従事したり、地質調査を米国に渡って学んだりしたが、彼の見た技術の現状には満足出来なかった。そのうち土の工学的分類と土質試験を良い加減にしておいたのでは、土工事、土構造物に関する経験を整理体系化出来ないことが付くのである。一概に土と言っても多種多様であるから、まず分類していくつかの同様な性質を持つものに分けようと言うのである。金属と一口に言っても混乱あるのみであるから、鋼、銅、鉛、等々に分けようとすると同様である。鋼、銅、鉛等々と区別しようとする場合、強さが問題ならそれらの力学的性質で分類すべきで、例えば色などで分けて見ても仕方ない。従って応用力学では材料の力学的試験が行われるのである。そして小異はあるものの共通する性質があること、つまり応力がある条件を満たすまでは弾性的と考えても良いことおよび種々の金属は弾性の程度、弾性係数の大小で金属の力学的分類が出来るというのが応用力学の基本である。</p> <p>Terzaghi は土同士の分類だけでなく、土と金属との違いをも「力学的に」認識したのである。鋼などとは異なり、土は三相つまり固相、液相、気相からなる物質で固相はとにかく、液相、気相は土の中を移動出来るということを明らかに認めた。金属と土との力学的性質との差はここに基づくべきであるとしたのである。これは大変重要なことで、このことから間隙水圧、圧密の考え方が出来たのである。”</p>
2011	地盤工学会副支部長 内藤 正 公益社団法人地盤工学会	<p>「地質調査業と地盤工学会の協働に向けて」</p> <p>“「自然災害列島」から国民が安全で安心して暮らせる「災害予防列島」へ転換するため、様々な地盤・地質リスクに対して地質調査業が果たすべき役割は極めて</p>

	関東支部ニューズレターNo.25、p.1	重要であり、地盤工学会の皆様のお借りし、地盤・地質の専門家“ジオ・ドクター”として、よりの確なコンサルテーションを提供していくことが私たちの使命です。”
2013	公益社団法人地盤工学会 会長、大成建設(株) 技術センター技師長 末岡 徹 応用地質、第 53 巻、第 6 号、p.200	「応用地質・地盤・地下水・環境に関する工学の総合化と学会連合について」 “「時代は変わった。高度経済成長期のとにかくマニュアルだけに頼り、「地質」、「地盤」を、工学的意味を超えて単純化し、仕事のスピードと量をこなす時代は終わった。これからは、自然である地盤・地質とより全方向的に向き合い、「応用地質」「地盤工学」「地質工学」「防災地質」「環境地質」等の使える知識と経験を総動員し、総合化する必要がある。そして、本当の意味での国民や海外の人々の生活に役立つ成熟の時代にふさわしい地質・地盤の工学としての学問が期待されている。”
2020	(株)キタック顧問 末岡徹 基礎工 2020.3、p.097	「連載 次世代に伝えたい私の思い『好之者不如楽之者』-親しんで楽しむことが一番-」 “地盤・基礎技術者は大地を相手にしている。そして大地は、人間の創ったものではなく、自然そのものだ。私たち人間の意志と願いでどうなるものではなく、いろいろ調べ・考え、相手(自然)に合わせて、工夫しなければ物事は、前に進まない。それにはまず相手をよく知ることが重要だ。とくに、その性格(性質)が重要だ。大地の性格を調べる学問が、応用地質学である。”

2.4. 学協会活動

地盤と地質が関わるリスクや両者の協働・融合を扱った過去の学協会活動を抽出し、表 2.3 にまとめた。本一覧の範囲では、地盤・土質工学会と応用地質学会、全国地質業協会連合会等で、土木事業における地質・地盤の不確実性に起因するリスクを扱う活動が継続的に行われ、複数の取組で講習会やシンポジウム等で総括する形がとられている。

過去の取組では「地盤リスク」、「地質リスク」のように両者を分けて扱っていたが、2020年3月の国交省・土木研究所によるガイドライン公表では、「地質・地盤リスク」として統合され、地質・地盤リスクマネジメントのガイドラインが策定された。その策定の経緯は、次のとおりである。

全国地質調査業協会連合会（全地連）では、「地質調査の初期段階での地質調査計画の間違いや調査項目の漏れが設計・施工段階で非常に大きな建設コスト増につながるリスクを抱えている」との問題意識から、平成17年度から地質リスクマネジメントの研究に着手し、平成19年3月に「企業間連携等の推進に関する調査・研究員会」の報告書として、地質リスクに関する調査・研究の結果を取りまとめている。そこでは、i) 地質の技術顧問というビジネスモデルと、ii) 公共事業の構想・計画・設計・工事・運用の各段階を通じて行うべき地質リスクマネジメント手法について提案している。

平成22年1月には、地質リスク学会が設立され、高度経済成長時代の『『最小限』の地質調査－標準的な設計－施工時の設計変更』という旧来の地質への対応方法から脱却する方策としての「地質リスクマネジメントの仮説の検証・確立・普及」を目指して活動を開始している。

平成28年11月の福岡市地下鉄七隈線延伸工事における道路陥没事故を始めとする地下空間の事故・事案の顕在化を受け、国土交通省の社会資本整備審議会・交通政策審議会は「地下空間の利活用に関する安全技術の確立について」（平成29年9月）を答申し、計画・設計・施工・維持管理の各段階における地盤リスクアセスメントを実施することが、今後の方向性として示された。

令和2年3月、国交省と土木研究所は、土木事業における「地質・地盤リスクマネジメント検討委員会」での検討を経て、ガイドラインを策定するに至っている。

表 2.3 地盤と地質が関わるリスクや両者の協働・融合を扱った学協会活動

年	活動母体、取組み
1983	土質工学会 「地盤工学におけるリスク評価手法に関する委員会」
1987	土質工学会 「地盤工学におけるリスク評価に関するシンポジウム」(上記委員会の成果報告)
2000	応用地質学会 「雑誌『応用地質』への寄稿：近藤達敏著 “地質調査の不確実性とトンネル工事のリスク要因評価”，応用地質，Vol.40，pp.340-345」
2003	応用地質学会 「雑誌『応用地質』への寄稿：物理探査評価研究小委員会基盤内弱層検討ワーキンググループ著 “トンネル地質調査におけるリスクマネジメントシステム導入の提唱”，応用地質，Vo.44，pp.36-47」
2004	地盤工学会 「雑誌『土と基礎』講座 “リスク工学と地盤工学”」
2005	全国地質調査業協会連合会 「地質リスクワーキング」設置
2006	全国地質調査業協会連合会 「地質リスク委員会」設置
2007	全国地質調査業協会連合会 「地質リスク講習会」(上記委員会母体の講習会)
2008	産業技術総合研究所地質調査総合センター/全国地質調査業協会連合会ほか 「地質リスクに関するシンポジウム」
2008	応用地質学会 「論文集『応用地質』での特集“リスクと応用地質”」
2008	地盤工学会関東支部 「地盤工学におけるリスクマネジメントに関する事例研究委員会」
2009	産業技術総合研究所地質調査総合センター/全国地質調査業協会連合会ほか 「地質リスクに関するシンポジウム」
2013	地盤工学会関東支部「地盤リスクと法・訴訟等の社会システムに関する事例研究委員会」
2016	地盤工学会 「雑誌『土と基礎』講座 “地盤工学と地質学における最新の関わり”」
2016	地盤工学会 地盤工学会誌特集「海外工事における地盤リスク対応の現状と展望」
2016	地盤工学会東北支部 東北地域地盤災害研究委員会 「地盤リスク検討小委員会」発足
2018	地盤工学会関西支部「斜面災害のリスク低減に関する研究委員会」
2020	国交省・土木研究所「地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン」の公表

2.5. まとめ

以上の「二人の先駆者の歩み」、「先達者らの主張」、「学協会活動のまとめ」を通して、古くから認識されてきた地質と地盤の融合・協働の重要性を再確認するとともに、学術・技術としての地盤・地質の発展・細分化に伴いその重要性の意味合いにも変化が生じているとの認識につながった。あわせて「地質・地盤」を冠した「リスク」を扱うガイドラインが2020年春に国交省・土木研究所から公表されたことは、地質・地盤の融合・協働を推進する一里塚とも言え、本委員会、本WGの活動が時節を得た活動であろうとの理解に至る。

3. 地盤構造物とその設計の定義

3.1. はじめに

トンネル、切土、土留め壁などの地盤構造物の設計業務においては、地盤工学と応用地質学の知識のいずれが欠けても良い設計はできない。現在の地盤工学の創始者ともいえるテルツァーギは、自らの実務体験を通して、このことを繰り返し発言し、力学計算に偏った設計が横行する傾向に警鐘を鳴らし続けた。

それから約 1 世紀、わが国における地盤構造物の設計業務は、地質学専攻の地質技術者による地質調査業務と地盤工学専攻の地盤技術者による設計業務に分業され、テルツァーギの心配は解消されることなく、両者の協働も一向に進まないまま現在に至っている。

本報告では、このような地盤構造物の設計業務の問題点について考察し、改善の方向、とくに応用地質学の役割の再評価について述べる。

3.2. 地盤構造物の設計業務の現状

地盤工学においては、設計法は、安全率法が最も伝統的で一般的なものとして長年用いられてきたが、その傍ら、安全率法の不満足な点を改良するために、信頼性設計法が紆余曲折を経ながら進歩してきた。そして 1999 年に地盤工学会が発刊した「地盤工学ハンドブック」において、設計法が初めて独立した章として採り上げられ、体系的に論じられるようになった。

このハンドブックの第 3 編第 3 章において、「普通、狭義には、図 3.1 の③、あるいは③から⑤までの作業を設計と呼んでいるが、本章では、断らない限り②から⑥までのすべての作業を設計と呼ぶことにする」とし、設計を「調査と試験、設計計算、設計代替案の評価、実施のすべての作業段階で生じる不確実性を認め、かつ理解しながら、現時点での最善の意思決定を下し、要請される安全性、使用性、経済性をできる限り満たす構造物をつくっていく作業」と定義している⁴⁾。

ここでは、「調査と試験」も含めて設計と呼んでいるが、それは、設計を不確実性下の意思決定過程としてとらえることによるものであり、従来の狭義の設計の定義そのものを見直したのではない。したがって、「設計計算」、すなわち「理想化されたモデルでの応力や変形

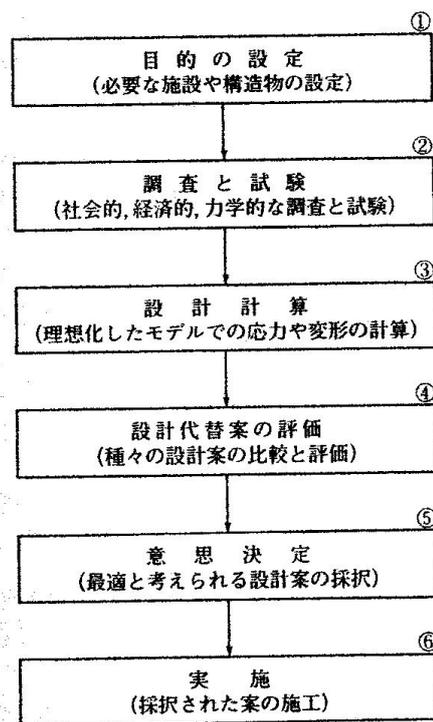


図 3.1 従来の設計の定義
(地盤工学ハンドブックより)

の計算」からの作業を設計とするとの考え方は、現在でも広く通用している。

しかし、このような設計の考え方には、地質技術者が行う「調査と試験」の目的は、地盤技術者が行う「設計計算」に必要な地盤の物理的・力学的性質を収集することに矮小化されてしまい、地質技術者が設計に携わる必然性は出てこない。

実際、このような設計についての一般的な考え方によって、「調査と試験」すなわち地質調査は、地質技術者が行い、設計は、地盤技術者が行うという分業が当たり前の姿となってきた。この状態は、地質技術者と地盤技術者がそれぞれの得意とする作業を受け持つことで棲み分けるのには都合がよかったが、そのことが結果的には、お互いの業務に対する理解を深める妨げとなってきた。地質技術者は、自分が提供した地質調査情報が設計にどのように利用されるのかに無関心となり、地盤技術者は、地質技術者が提供した情報を与件扱いして、専ら関心を設計に集中してきた。

このため、地質調査情報には様々な不確実性が含まれているにもかかわらず、そのことがきちんと評価されないままに設計に引き継がれ、その結果、地質調査情報が設計、さらには施工に与える影響についての深い理解が進まず、設計や施工の失敗につながったというケースは、決して少なくない。

このような状況への反省から、近年、地質調査情報に含まれる不確実性が設計・施工に及ぼす影響を地質リスクという視点からとらえて、設計・施工をマネジメントしようとする努力や工事契約にジオテクニカル・ベースライン・レポート（Geotechnical Baseline Report）^{注A}を導入しようという努力が地質調査業界を中心に始まっている。

地質リスクが地盤構造物の設計に及ぼす影響という視点からは、前述した設計の定義の「不確実性下の意志決定問題」という考え方は、的を射たものであるが、従来の“設計イコール「設計計算」”という考え方は、設計の本質という視点から再検討が必要である。

本報告では、設計についての本質的な考察を行った上で、新たに「地盤構造物およびその設計」について定義し、設計における応用地質学の役割について再評価する。

3.3. 設計とは何か

3.3.1. 人工物の設計

現代社会には、人々の様々な要求に対応した様々な人工物が存在する。ここに人工物とは、人為的に作り出された、もともとは自然界には存在しないものである。それは、機械や電気機器などの工業製品、建物や橋などの土木構造物といった物理的な存在であることが多いが、コンピュータ・ソフトウェアのような抽象的な人工物、社会システムのような制度的な人工物も考えることができる⁵⁾。

人工物は、所定の働きをするようにつくられており、その働きは、人工物が備えている仕

注A) 地盤調査結果にもとづき解釈を加え、対象地盤の状況について発注者（に依頼されたコンサルタント）が現実的かつ合理的な解釈を示した契約文書の1つ。入札に際して地盤に対する共通の認識を持つことや、工事受注後の設計変更の際の基準値を示すことが目的。（全地連：改訂地質調査要領による）

組みによってもたらされる⁶⁾。人工物が持つ働きを機能といい、仕組みを構造という^{注B)}。この機能と構造の関係は、1対1の対応関係とはいえない。つまり、1つの機能に対して1つの構造が対応づけられる関係ではなく、また1つの構造に対して1つの機能が対応づけられる関係でもない。

人工物が作り出される過程には、大きく分けて設計と製造・施工という2つの過程がある。設計とは、必要とされる機能を持つ構造を考え出す行為であり、考え出した構造を人工物として実際に作り出す行為が製造・施工である。

この設計の過程を具体的に考えてみよう。ここに設計には、機能や性能に関する工学設計と意匠や外観に関する意匠設計とがあり、日本では、前者を単に設計と呼び、後者をデザインと呼ぶことが多い。ここで考察する設計とは、工学設計のことである。

さて、設計に際して最初に必要なのは、「こんな機能を持つものを作ってほしい」という要求に対して、「こんな構造であれば、要求されている機能を持つであろう」というアイデアを考え出すことである。ここにアイデアは、構造のおおまかな形やどのような部品で構成されるかなどについてのイメージであったり、場合によっては簡単なスケッチであったりする。前節で述べたように、ある機能を持つ構造は1つだけとは限らないから、アイデアは、複数考え出すことができる。

例えば、家の設計を考えてみよう。注文者から「モダン和風で室内の明るい2階建ての4人家族用の家」などといった要求が出されると、それを基に建築士は、様々なアイデアを考え出し、それらを外見スケッチや室内イメージ図などにして複数の設計案を作成する。

次に必要なのは、「考え出したアイデアが実際に要求されている機能を持つ」ことを保証することである。いくら良いと思うアイデアでも、実際にそれが製作可能であり、かつ確かに要求されている機能を持っているというものでなければ、絵に描いた餅でしかない。そのために行われるのは、アイデアを模型にして要求機能を持っているかどうかシミュレーションしたり、アイデアを計算モデルとして数学的に表現し、様々な条件下で機能を分析して、どういう条件であれば、要求機能を持つかを確認したりすることである。言い換えれば、アイデアとしての構造に具体的な形や寸法、あるいは使用材料とその性質などの属性を付与し、要求機能を持つ構造となるようにするのである。こうして複数のアイデアを具体化し、それらの中から一定の基準に照らして採用した構造を設計図面に表現する。

この段階を家の設計の例でいえば、作成した複数の設計案について図面化したり模型化したりした上で、注文者と協議しながら設計案を絞り込み、建築基準法に定められた基準にも

注B)参考文献 6)に人工物の機能と構造の関係について、次のような説明がある。「例えば、ナイフには「物を切る」という機能がある。ナイフは、鋭利な刃のついた「刀身」という構造を持っている。つまりナイフの「物を切る」という機能は、「刀身」という構造によってもたらされる。機能や構造を持つのは、人工物に限らない。自然物でも機能と構造を備えている。河原にある手ごろな大きさの石は、物を砕くのに役立つ。この石を木の棒に蔓で固定すれば、ハンマーのような道具になる。これは、自然物を利用した人工物である。機能と構造の関係は、1対1の対応関係とはいえない。例えば、ナイフが備えている構造は、単に物を切るだけでなく、パンにバターを塗ることもできるし、肉に刺して串として用いることもできる。つまり多機能である。同様に、切るという機能は、ナイフに限らず、鋏、のこぎり、鉋なども備えている。」

とづいて構造計算を行って、具体的な形や寸法、あるいは使用材料とその性質などの属性を決定していく。

このような設計の過程を経た上で、実際の製造・施工に着手することになる。

以上のことをまとめると、人工物の設計は、「機能から構造を発想し、その構造の機能を保証する」という2つの過程から成っている(図3.2)。

(1)「構造の発想」過程

要求機能を発現すると考える構造を発想する過程である。ここに要求機能は、仕様あるいは性能として与えられる。また人工物の構造は、「人工物を構成する単位要素(例えば、機械であれば、部品)による空間的な組み合わせ」のことである。

発想した構造が設計代替案であり、一般に複数の案が検討される。ここで“発想する”というのは、“アイデアを考え出す”ということの意味するが、そこには思いつくとか、ひらめくとかいった、理詰めだけではない思考を含んでいる^{注C)}。

もし製作しようとする人工物がこれまでになかった、まったく新しいものであれば、この「構造の発想」は、大変難しい作業となる。し

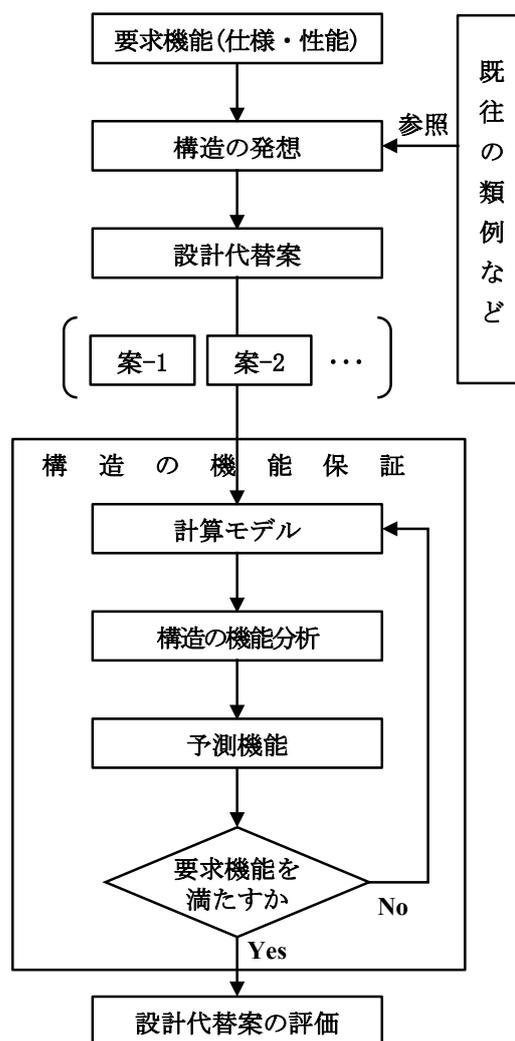


図 3.2 人工物の設計過程

注C) ここでいう“発想”は、論理学というアブダクションと同じ論理構造をしている。アブダクションについては、「ナビゲートビジネス用語集」(<https://www.navigate-inc.co.jp/term/>)の次の解説がわかりやすい。

起こった現象を最もうまく説明できる仮説を形成するための推論法のこと。仮説形成とも訳される。アメリカの哲学者パースがアリストテレスの論理学をもとに提唱し、帰納法、演繹法と並ぶ第三の推論法として、新たな科学的発見に不可欠なものであると主張した。日常的な例としては次のようなものがある。

(a) 庭の芝生が濡れている(現象)、(b) 雨が降ると芝生が濡れる(法則)、(c) だから(今はやんでいても)雨が降ったに違いない(仮説)。ここでは(a)の現象の原因を説明するため、最終的に(c)の仮説を立てている。しかし、芝生が濡れる原因は雨のほかにも「夜露が降りた」や「誰かが水まきをした」などいくつか考えられる。そのため、(b)の法則の内容そのものは正しいとしても、その法則を思いついて、ここに当てはめるかどうかは推論する者のひらめきにかかっている。このようにアブダクションには、想像力の発揮される余地が大きいといえる。

この説明からわかるように、アブダクションとは、「何らかの事柄 A をうまく説明する仮説 B を推論すること」であるから、設計における「構造の発想」が「アブダクションと同じ論理構造である」とは、「機能 A をうまく発現する構造 B という仮説を推論すること」と同じであるということの意味する。また上記の説明からわかるように、アブダクションで推論される仮説は1つだけとは限らず、複数あり得る。

しかし実際の設計では、すでにある人工物を新しいタイプにつくり変えるケースや部分的に変更してバージョンアップするケース、あるいはある程度類似の人工物が存在しているケースなどがほとんどであり、既往の類例を参照できるため、その難しさをすべて回避できるわけではないが、相当程度軽減される。

(2)「構造の機能保証（設計計算）」過程

発想した構造が要求機能を発現する構造であることを保証する過程である。すなわち発想した構造の機能を評価するのに相応しい各種モデル（数学モデル、模型など）を考え、様々な属性条件の下で予測される機能を分析し、要求機能と照合する過程である。この過程で、要求機能を発現するような構造の属性（寸法、性能、強度など）を決定する。この過程が一般に「設計計算」といわれている過程である。

設計代替案については、何らかの基準（発注者の選択基準、施工性や工事費用から見た経済合理的基準など）にもとづいて、複数案の中から最善と判断される設計代替案を実施設計解として選択することになる。

以上の設計の2つの過程のうち、「構造の発想」過程については、工業製品や建築物などデザインが追求されてきた分野では、従来から様々に論じられてきた。しかし、デザインが問題にされてこなかった分野では、これまで詳しく検討されることはなく、設計法は、「構造の機能保証」過程についてのみ記述され、そこでの各種モデルによる機能の分析を「設計計算」と称してきたのである。

3.3.2. 実際の設計過程

前節で述べたように、設計とは、要求機能から何らかの構造を発想し、その構造に要求機能を発現するような属性を付与することであるが、実際の設計は、概略な内容から順次詳細な内容へ段階を踏んで進められる。人工物、とくに工業製品の場合、その実際の設計は、その対象によらずおおむね共通して図 3.3 に示すように、概念設計、基本設計、詳細設計という手順を踏んで行われる。

例えば、自動車の設計の場合、設計の基になる要求機能が「120km/h の高速で安定的に走行する」というようなものであったとしよう。この要求機能に対応して、必要とされるボディやエンジンを始め各種部品の性能や強度などが決められる。ここに性能とは、要求機能を発現するために必要とされる性質や能力のことである。

まず概念設計でおおまかな構造が決定され、続いて基本設計で寸法、性能、強度などの詳細な属性が検討され、詳細設計で細かな部品までその形状や寸法が決定される。この各段階で部品や全体の自動車が、要求機能（性能や強度なども含む）を満足するかどうかを試作で確認する作業が必要とされる。さらに各部品の製造工程や組立工程などの生産に関する生産



図 3.3 人工物の実際の設計過程

設計が行われる。またこれらの工学設計と並行して、ボディや室内設備などの意匠設計が行われる⁷⁾。

3.4. 地盤と構造物

3.4.1. 地盤の機能と構造

地盤という用語は、土木・建築構造物の建設工事に関連する地球の表層部を形成する地殻の表面および表面付近のある範囲の岩石や土砂を含めた総称として使われている。

ここに地盤には、自然地盤の他、造成地や埋立地のような人工地盤もあるが、本文で対象としている地盤は、大半の土木・建築構造物が建設される自然地盤である。なお改良地盤あるいは補強地盤と呼ばれるのは、自然地盤や人工地盤を人工材料によって改良あるいは補強した状態をいい、本文では人工地盤とは区別している。

地盤というと、一般には、堅固でしっかりした安定感のある平地のイメージがあるが、実際には、柔らかい沖積平野の軟弱な地盤から急峻で堅固な山岳地の岩盤まで幅広い地形として存在している(図 3.4)⁸⁾。なお丘陵地や山岳地の場合は、地山と呼ぶことがあるが、地盤と同じ意味である。

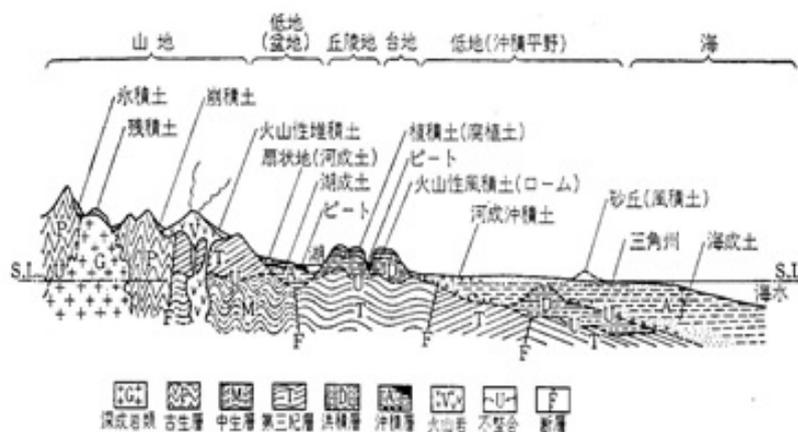


図 3.4 地形と地盤の関係の概念図 (参考文献 8))

この地盤の機能というものを考えてみると、例えば、平地の固い土砂地盤や岩石地盤であれば、その上にビルを建てたり、盛土を造成して鉄道や高速道路を通したりしても、地盤に起因する特段の技術的な問題が起こることはない。しかし軟弱な粘土地盤にビルや盛土を建設しようとする、ビルや盛土が著しく沈下したり、場合によっては壊れたりするおそれがあり、そのような場合には、基礎杭を打ち込んだり、地盤を人工的に改良あるいは補強したりする必要が生じる。このような差異が生じるのは、地盤によって「ビルや盛土の重量を支える」という地盤が潜在的に持っている機能に差異があるためである。つまりそうした地盤の機能が十分に大きい場合は、原地盤のままでビルや盛土の重量を支えることができるが、そうでない場合は、地盤改良材や補強材といった人工物の機能を付加することによって機能を増強する必要があるということになる。

地盤が潜在的に持っている機能は、「土木・建築構造物の重量を支える」という機能だけではない。地盤を掘削する場合に、掘削面が自立する機能、すなわち「自ら自重を支える」機能もある。しかし地盤を掘削したり、斜面を切土したり、山地にトンネルを掘削したりする場合に、その潜在的な自立機能が十分でなければ、土留め工やのり面工や支保工などの人工物を施工して、その人工物が持つ機能を付加することにより、地盤を安定させることが行われる。また地盤は、その内部に地下水を透水したり、遮水したりする機能もある。ダムや堤防を建設する場合は、こうした地盤の持つ機能についての検討も行われる。

以上のような地盤が持っている潜在的な機能を利活用している構造物が一般に地盤構造物と呼ばれているものである。

人工物の持つ機能が人工物の構造によってもたらされるのと同様に、地盤の持つ機能は、地盤の構造によってもたらされる。人工物の構造とは、「人工物を構成する単位要素による空間的な組み合わせ」であるから、それに倣えば、地盤の構造とは、「地盤を構成する単位要素の三次元分布」、すなわち「土、岩石、水質など地盤を構成する物質がどのような状態で空間的に分布しているかという形態」である。

しかるに家とか自動車といった人工物の構造は、すべてを設計者が設計するが、地盤の構造は、自然の造形によって予め与えられているものであって、設計者がどうこうできるものではない。したがって、「3.4.3 地盤構造物とは何か」において述べるように、地盤構造物を設計するためには、まず応用地質学の知識を用いて地盤の構造を明らかにしなければならない。

3.4.2. 地盤の構造をどう表現するか

応用地質学では、地盤の構造を「地質図」として表現する。一般に地質図という場合、地形図の上に地盤の表層部の地質を表した地質平面図を指すことが多いが、三次元的な構造をより詳しく表すために、地質平面図上の特定の線に沿った垂直断面での地質断面図を含めることもある。

しかし、こうした地質図は、もともと地盤の構造を地質学的な視点から表現することを目的に作成されてきたものであって、機能分析的な視点から表現することは目的としていない。そのため地質図には、地盤構造物の設計において、地盤の機能を分析する上で必要な情報が必ずしも十分に含まれてはいない。

したがって、地盤構造物の設計を行うにあたっては、その周辺地域の地質調査を実施して、地質学および機能分析的な視点から地盤の構造を表現する「工学的な地質図」を作成する必要がある。この「工学的な地質図」に相当するものとして、従来から普及しているのが「土木地質図」^{注D)}である。

土木地質図の位置づけについて、応用地質学会が平成11年に策定した「土木地質図作成マニュアル」では、「建設工事においては、(土木)地質図は工事の設計図書の一部として位置

注D)従来、土木地質図、土木地形地質図、工学的地形地質図、地質工学図など、様々な呼称があるが、ここでは、土木地質図で統一する。

づけられ、対象とする地域や地盤の地質構造や地史などを理解した上で、地盤の性状や特徴およびそこから予測される工学的な問題点が、容易にかつ簡便に理解しうる図面であることが必須である」とされている。そしてその後、「全地連“次世代 CALS”対応研究会報告書」（平成 15 年 11 月）において、土木地質図は、「土木構造物の設計や施工、維持管理等で使われることを想定し、特定の目的やユーザーそれぞれを対象に、地質学をベースとした工学的判断が表現された地質図の総称である」と定義されている。

なお土木地質図は、平成 20 年（2008 年）3 月に「工学地質図」と名称変更され、「土木及び建築構造物の調査、設計及び施工、維持管理などで利用することを前提に、地質図上に工学的地質情報を重ね合わせて表示した図」（JISA0206）という定義で JIS 化されているが、本報告では、一般の認知度を考慮して「土木地質図」の名称のまま使用することとする。ちなみに、工学的地質情報とは、「工学的判断に必要な地質情報」で「例えば、風化、変質、岩盤分類、物性値など」である。

この土木地質図が「工学的な地質図」である条件は、地盤構造物の設計・施工にあたって必要な地盤の構造に関する情報が必要十分に表現されていることである。地盤構造物の設計・施工に必要な地盤の構造に関する情報は、図 3.5 に示すようなものである。

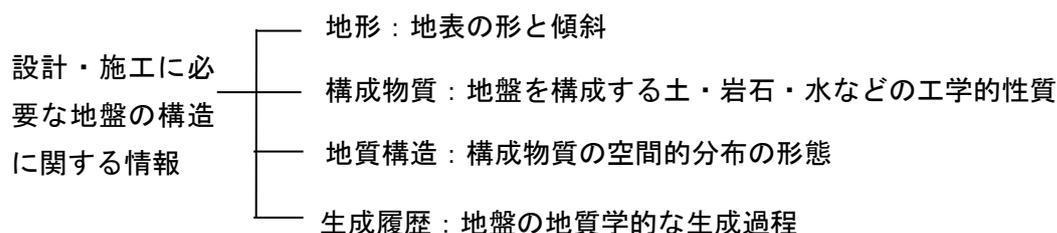


図 3.5 設計・施工に必要な地盤の構造に関する情報

- ① 地形… 地形は、多くの地盤の地質条件を反映しており、地形図や空中写真などから地形を観察し、さらに地形地質踏査を実施することによって、地形から地盤の概要を知ることができる。設計・施工上とくに問題となる地形は、地すべり、崖錐、リニアメントなどである。
- ② 構成物質… 地盤の構成物質は、厚さ 30～60km の地殻の大部分を占める岩石と表層のごく浅いところを覆う土、そしてそれらの内部（亀裂など）や境界部（地層境界、断層など）に存在する水（いわゆる地下水）である。また地表面付近の土や水の状況は、植生に反映される。
- ③ 地質構造… 地質構造は、「堆積、浸食、変形などによって生じる地質の構成及び形態」（応用地質学用語辞典 2004）であり、「地質構造の基本的要素は面構造（地層面・片理面・断層面など）と線構造（面構造の交線、片理面の条痕など）とである」（新版地学事典 1996）と定義されているが、要するに構成物質の空間的な組み合わせ分布の形態のことである。
- ④ 生成履歴… 地盤は、ある地質学的な法則の下で営力（地殻変動・火山活動などの内的営力と

流水・地下水・降水などの外的営力がある)の作用によって生成されたものであり、その生成履歴によって個々の構成物質の性質やそれらの集合体としての地盤全体の性質が決まるといってよい。

以上のように土木地質図は、一般の地質図とはまったく違う目的でつくられるものであり、その相違点を横田修一郎は表 3.1 のようにまとめている⁹⁾。

ところで土木地質図は、表 3.1 にも記載されているように、従来、地質技術者が作成し、地盤技術者ないし土木技術者が利用するものとなっていて、真に両者の共通理解するものになっていかどうか疑問の残るところがあり、それが設計・施工の失敗へつながら一因ともなつたと考えられる。

設計に使える有益な土木地質図というものは、地質技術者と地盤技術者がお互いの知恵を絞って協働して作成することによって得られるものである。そういう意味では、土木地質図は、両者が協働して作成し、共通理解を得る重要なインターフェースとして位置づける必要がある。

表 3.1 土木地質図と一般の地質図の相違点 (参考文献 9))

	土木地質図	一般の(研究過程における)地質図
地質図の作成目的	土木構造物等の設計・施工に際し、適正な工学的判断を下しうる基礎資料の提供	特定地域の地質現象理解のため、その一環としての地質基礎資料の提供
地質調査の主な手段	地表地質踏査 } ボーリング調査 } 等を組み 横坑調査 } 合わせる	主として地表地質踏査による
表現される地質図の縮尺	一般に大縮尺が多い ($s = 1/1,000 \sim 1/200$)	一般に小縮尺が多い ($s = 1/50,000 \sim 1/25,000$)
地質図の公表の有無	一般には公表されないことが多い	学術誌等で公表されることがある
情報を伝達するうえでの地質図の作成と表現のポイント	工学的特性で特徴づけられる個々の地質体の正確な分布、正確な内容の表現	地質体間における正確な相互関係(時間的・空間的關係)およびその解釈の表現
調査・作成・表現時の客観性と個人的主観の程度	調査・作成・表現のすべての段階でできるかぎり客観的な立場をとることが要求される。	調査・作成・表現のすべての段階でできるかぎり客観的な立場をとるべきであるが、解釈上、個人的主観(フィロソフィ-)を多少含めて表現されることもある
地質図の作成者と利用者	地質図の作成者と利用(解釈)者は異なることが多い。ただし、利用者はかなり限定される。	地質図の作成者と利用者が異なることもあるが、作成者自身が再びそれを利用することも多い。ただし、利用者は一般に不特定多数である。

3.4.3. 地盤構造物とは何か

構造物とは、「目的とする機能を持ち、作用に対して抵抗することを意図して人為的に構築されるもの」であり、「複数の材料や部材などから構成され、基礎などにより重量を支えられた構造で造作されたもの」である。これら構造物には、土木構造物、建築構造物（技術分野別）、鉄道構造物、道路構造物、ダム構造物、港湾・空港構造物など（施設別）、海岸構造物、山岳構造物、河川構造物、海洋構造物、都市構造物、地中・地下構造物など（建設位置別）、橋梁・高架構造物、トンネル構造物、水路構造物など（機能別）、鋼構造物、コンクリート構造物、木構造物、土構造物など（構成材料別）といった様々な名称のものがある。

地盤構造物 については、例えば、「地盤工学会 2007 年度会長特別委員会：地震と豪雨・洪水による地盤災害を防ぐために―地盤工学からの提言―」に、次のような定義がある。

地盤構造物：土構造物，および地下室・地下埋設パイプライン・上下水道等の地中構造物や橋梁や建築物等の基礎構造物 注E)

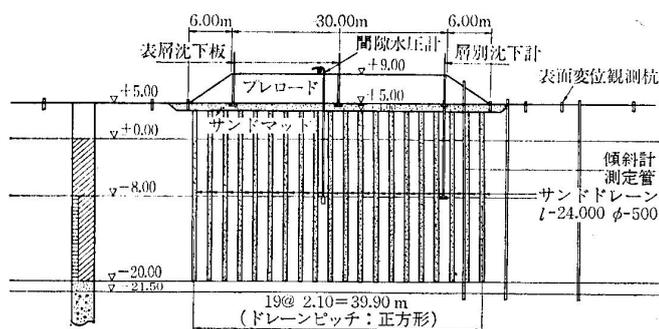
土構造物：道路・鉄道・宅地などの盛土・切土・擁壁，埋立地等の人工地盤，河川堤防・ため池・フィルダムなど土を用いて建設した構造物や、自然斜面・地盤を掘削し安定化した構造物

この定義によれば、地盤構造物には、地中構造物、橋梁や建築物等の基礎構造物、土を用いて建設した構造物、人工地盤、自然斜面・地盤を掘削し安定化した構造物など様々なタイプの違う構造物が含まれている。これは、おそらく土と地盤に直接関わる構造物を慣習的に地盤構造物と呼んできたためと考えられる。

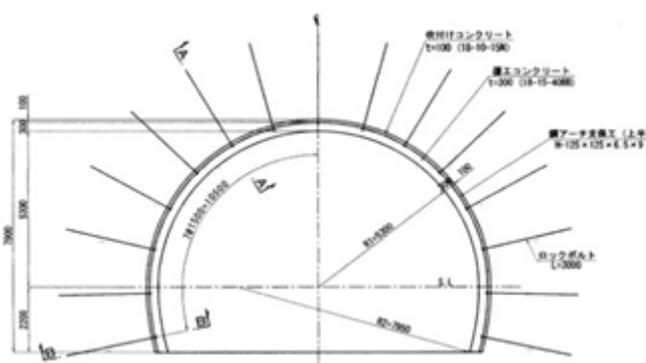
地盤構造物は、その名称からは、鋼構造物、コンクリート構造物、木構造物など（構成材料別）と同じ分類の構造物と見るのが自然であり、3.4.1 において、「地盤が持っている潜在的な機能を利活用している構造物が一般に地盤構造物と呼ばれている構造物である」と述べたように、地盤構造物は、地盤そのものを素材にしている。

一般に地盤構造物と呼ばれているものは、地盤が持つ潜在的な機能の利活用という視点から 次の2つのタイプに分類できる。1つは、盛土、堤防、フィルダム、基礎などのように土・コンクリート・鉄などの材料を用いて地盤の上に建設される人工物であり、もう1つは、トンネル・地下埋設パイプライン・切土・擁壁など地盤の内部あるいは表層を掘削して設置される人工物である。仮に前者をAタイプ、後者をBタイプと呼ぶとすると、Aタイプは、地盤の「土木・建築構造物の重量を支える」機能を利活用したものであり、Bタイプは、「掘削面が自立する」機能を利活用したものである。

例えば、図 3.6 (a)は、Aタイプの土構造物（盛土の場合）の例で、軟弱地盤上に建設するケースを示している。このケースでは、軟弱地盤内にサンドドレーンを打設して改良地盤とすることによって、サンドドレーンの透水機能の付加により圧密排水が促進され、それが地盤の強度の増加を促進し、盛土の荷重を安定的に支持することを可能にする。このようにAタイプの地盤構造物は、土構造物に限らず、基礎や擁壁やダムなども同様に、それ単独で存在するものではなく、地盤と一体となって成り立っている人工物である。



(a) サンドドレーンを打設した軟弱地盤



(b) ナトムによるトンネル

図 3.6 地盤構造物の二つのタイプ

また図 3.6(b)は、Bタイプのナトムによるトンネルの例

を示すが、ナトムは、「吹付けコンクリートとロックボルトを主体とする支保工の作用を通じて、地山（地盤）自体の持つ支保機能、すなわち地盤強度を利用して荷重（土圧）を支えることによってトンネルを構築する工法」である。ナトムによるトンネルは、地山（地盤）の持つ潜在機能と支保工（人工物）の支保機能が一体的に発現して、トンネル空間を安定的に確保するような構造物と見ることができる。

このような地盤と人工物の機能的相互関係を、両者が一体として機能する関係としてとらえると、地盤構造物は、次のように定義できる。

地盤構造物とは、「地盤の持つ潜在機能（支持力、アーチ作用、透水・遮水能力など）を活用することを基本にした地盤と人工物の複合構造体」のことである¹⁰⁾。注E)。

地盤構造物は、次のような特徴をもっている。

①道路、鉄道、橋梁、建築物など土木・建築構造物の基盤を成すもので、それらの上部構造

注E) 参考文献 10) に岩盤構造物について、上記の地盤構造物の定義に近い次のような記述がある。「トンネル、斜面、地下発電所空洞など、岩盤上あるいは岩盤内部に岩盤を利用して構築する構造物を岩盤構造物と呼ぶことにする。これら岩盤構造物の特徴は、①材料の主体は岩盤、②外力の主因は地圧である。」

の荷重を支持し、あるいはそれらに必要な空間を確保することが求められる。

②そのため地盤構造物に要求される基本的な機能は、「静的あるいは動的な外力・内力に対して、短期的あるいは長期的に、全体的あるいは局所的な破壊および有害な変形を生じないこと」である。

③その他、土木・建築構造物の種類に応じて、独自に要求される機能に対応する必要がある。

3.5. 地盤構造物の設計・施工

3.5.1. 地盤構造物の設計過程の再定義

地盤構造物の設計も人工物の場合と同様、次の2つの過程を経て行われる。

しかし人工物の設計では、技術者がその全体を人工材料によって任意に構成することができるのに対して、地盤構造物の設計では、主要な構成要素である地盤は自然所与のものであるから、技術者は、その構造を解明した上で、それに相応しい人工物の組み合わせを設計しなければならない。地盤の構造を無視したり、その解明が不十分であったりして、組み合わせる人工物の構造を設計すると、大きな失敗をすることがあるので十分注意する必要がある。この点が地盤構造物の設計の特異なところである。

したがって地盤構造物の設計過程は図 3.7 のようになる。

①「地盤の構造の解明」過程

まず地盤の構造の解明を行い、設計の基図となる「工学的な地質図」として表す。ここでは応用地質学が主体的役割を果たすが、地盤工学の果たすべき役割も大変重要である。この過程は、従来の「地質調査」に該当する。

②「複合構造体の発想」過程

解明した地盤の構造に、何らかの人工物の構造を組み合わせ、要求機能を発現すると考えられる複合構造体を発想する過程である。この過程は、いわゆるデザインと呼ばれる過程に該当するが、地盤構造物の設計では顕在化されることはなかった。

③「複合構造体の機能保証」過程

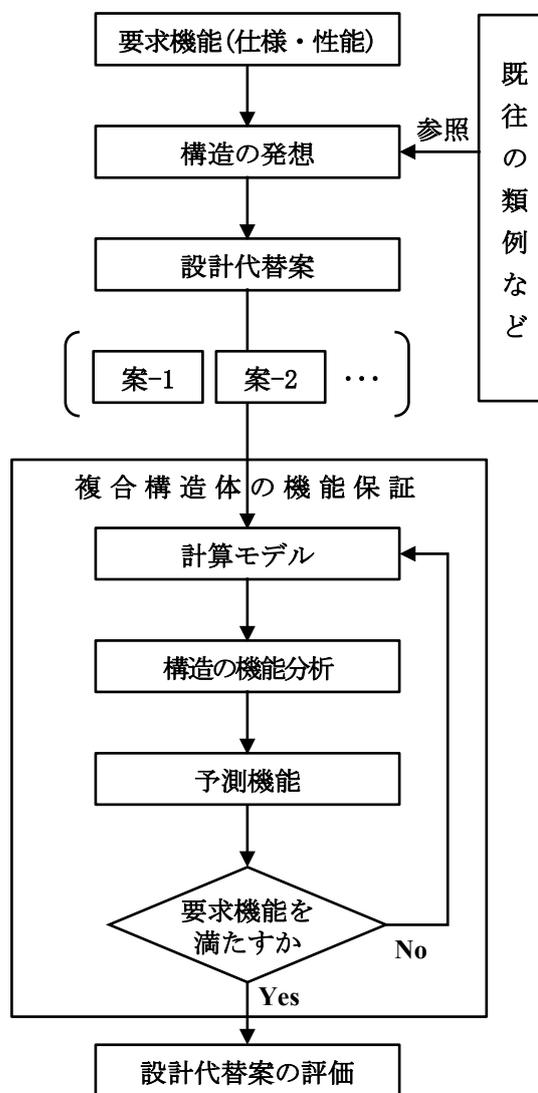


図 3.7 地盤構造物の設計過程

発想した複合構造体が実際に要求機能を発現することを保証する過程である。具体的には、発想した複合構造体を工学モデルなど（多くの場合は、剛体や弾性体などの力学モデル）に置き換え、適切な自然法則にもとづく力学方程式などを用いて、想定される条件の下で機能の分析を行い、要求機能の発現に必要な十分な人工物の属性条件を決定することが基本となる。この過程が従来の「設計計算」に該当する。

以上の②、③の過程で行っていることは、地盤が持つ潜在機能 A に、設置する人工物が持つ機能 B を付加させることによって、要求機能 X を発現するような複合構造体 ($A+B \cong X$) を発想し、その機能保証（設計計算）を行うということである。

地盤構造物の設計にあたっては、次の点に留意する必要がある。

- (a) 要求機能は、地盤構造物に要求される基本的な機能の他、地盤構造物の種類に応じて独自に要求される機能であるが、具体的には、同じ地盤構造物の設置場所や目的に応じて異なってくる。例えば、切土のり面を考えると、人家・集落から離れたのり面、住宅地背後ののり面、山間部の林道沿いののり面、高速道路ののり面などによって、要求される内容、水準、期間などは大きく異なる。
- (b) 地盤構造物は、空間的規模が大小様々であり、それに伴って施工に要する時間の規模も長短様々である。また設計上考慮すべき耐用年数も様々である。したがって、それに対応して設計対象とすべき地盤の空間的規模も変わってくるし、考慮すべき地質現象の空間的・時間的規模も変わってくる。

なお地盤には、埋め立て地のような、地質学的には自然地盤とはまったく別の人工地盤もあるが、設計上は、自然地盤に準じて取り扱えばよい。

また土構造物は、人工物そのものであり、その設計は人工物の設計として取り扱えばよいが、その材料の特性や建設箇所の地盤条件の関係によっては、応用地質学との関わりが生じる。例えば、ロックフィルダム、アースダム、ため池堰堤などでは、建設材料としての岩種・風化程度・強度・耐久性の評価のため、原石山の地質をあらかじめ調査し、適切な採取箇所を選定や採取計画を策定する必要がある。一方、トンネルや切土などの工事で発生する掘削土は、盛土材料として転用されることが多いが、風化岩、泥岩、ぜい弱岩、火山灰、高含水比の粘性土などの場合は、将来的に軟弱化するなどして問題を起こす事例が少なからずあるため、掘削土の地質に応じた設計・施工を行う必要がある。またわが国には、ヒ素や鉛などの重金属等を自然由来で含む岩石や土壌が分布しており、建設発生土から、基準値（「土壤汚染対策法」の指定基準）を超えて自然由来の重金属等が溶出することもあるので、そうした可能性がある場合は適切な対策が求められる。

3.5.2. 実際の設計過程

地盤構造物は、道路、鉄道、橋梁、建築物など土木・建築構造物の基盤を成すものであり、実際の設計は、多くの場合、それら土木・建築構造物の設計の中で実施される。

土木・建築構造物の設計は、おおむね概略・予備設計、詳細設計といった段階を踏んで行われ、地盤構造の解明のための地質調査もそれに合わせて、概略・予備調査、詳細調査とい

う手順で行われる（図 3.8）。

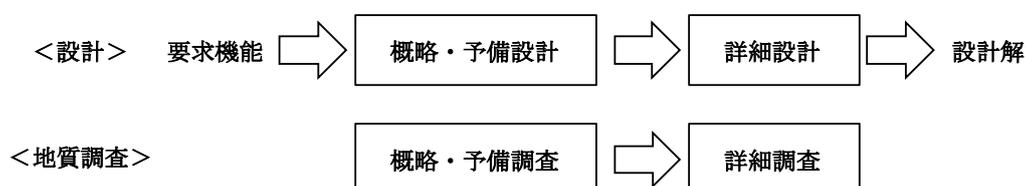


図 3.8 土木・建築構造物の実際の設計過程と地質調査

したがって、地質調査が段階的に進むに従って、地盤の構造は、広域的かつ概略的な地質情報を含む土木地質図から、局所的かつ詳細な地質情報を含む土木地質図として解明されていき、地盤構造物は、概略的な設計解（案）の比較検討の段階から、詳細な設計解として決定される最終的な段階へと進んでいく。

このように地盤構造物の設計は、概略・予備的なものから詳細なものへ順次進行していくが、各段階を通じて次のようなことが行われる。

(1)地盤の構造の解明

地盤の構造の解明の目的は、地質図を基にして、設計・施工に必要な十分な地盤工学的情報を付加した「工学的な地質図」を作成することによって、地盤の構造を明らかにすることである。この過程は、従来、地質調査として地質技術者まかせで実施されてきたが、より質の高い「工学的な地質図」を作成するために、今後は地質技術者と地盤技術者が協働して作成する必要がある。

■ 地質図の作成

地質図には、地質平面図や地質断面図のほか、水平断面図、展開図などの種類がある。

地質図の作成にあたっては、設計・施工上、地盤のどこまでの三次元的な範囲を解明対象とするべきかを、個別案件ごとに判断する。例えば、軟弱地盤上に道路盛土を建設する場合は、路線の延長に沿って、数十メートルの幅で深さ方向には沖積層（ないし洪積層の一部まで）の厚さを対象とすれば十分であろう。逆に、地すべり地帯では、数百メートル～数キロメートルの広範囲を対象としなければならないこともある。

最初は、既存の地形図、地質平面図、水文地質図、空中写真などによる机上調査とともに、地形地質踏査による露頭観察結果（ルートマップ）をもとに、地形、地表に現れた構成物質、地質構造などの判読を行う。その結果は、地質平面図として表される。地質平面図の良し悪しは、地質技術者の熟練度に大きく左右されるほか、地形地質踏査の時間や範囲などにも影響される。

しかし地盤構造物の設計には、詳細な地質断面図が必要であるため、地表の平面的な地質情報のみならず、地中の深さ方向の地質情報も収集しなければならない。そのため、現地の地形や土地利用状況などを勘案して選定した箇所において、ボーリングや物理探査などによる地中の地質調査を行う。地質平面図にそれらの情報を加味し、地質学の法則を踏まえて、

構成物質、地質構造およびその生成履歴を解明する。その結果は、地質断面図として表される。

以上の作業において、地質構造や生成履歴の解明は、仮説形成による推定である。この推定は、A=ある領域において観測された地質調査などの情報、B=その領域内のどのような情報も説明可能な地質構造など、とすると、地質構造などの推定は、「Aをうまく説明するBを推論する」という論理構造になっている^{注F)}。

ちなみに、池田俊雄が「地質学は野外で観察された個々の事象を

集積して、これに考察を加えて仮説を立てるという手法を多く用いる。そして、観察された個々の多数の事項を最もうまく説明できる仮説が、その時点での真理として受け入れられる」と述べている手法¹⁰⁾が、この推定のことである。

地質構造や生成履歴の推定は、基本的には大変難しいものであるが、実際には、多くの先例の中から類例を参照しながら、地質学の法則を踏まえた地質図学の手法を使うなどして、よりの確な推定を行うことが可能である。

しかし地質構造や生成履歴の推定の根拠となる情報のうち、直接観察による情報は、露頭観察やボーリング調査など極めて限られた箇所と手段によって得られた地層境界線や断層などの構造線、あるいは地質柱状図などであり、そうした限られた根拠から、地質学の法則にもとづいて推定された地質構造や生成履歴は、あくまでも推定する地質技術者の主観が含まれた仮説であり、不確実性を含むことを免れない。

例えば、図 3.9 は、露頭観察やボーリング調査による 1 次情報を地質断面図という 2 次情

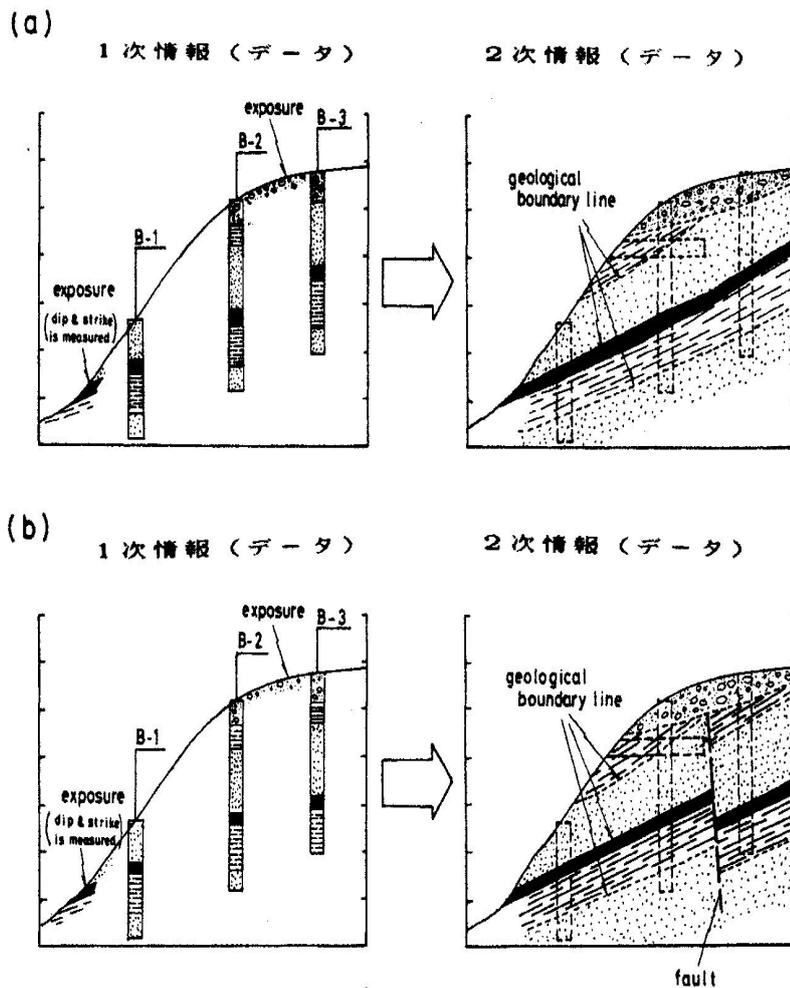


図 3.9 地質図作成に伴う不確実性 (参考文献 12))

注F) この推定は、注 B)の発想と同じアブダクションである。

報へ変換する際に生じる不確実性を示す¹²⁾。(a)では、地表露頭の走向・傾斜とボーリング調査の情報から地質境界線だけを推定しているが、(b)は、さらに断層をも推定している。

■工学的な地質図への変換

地質学的な視点から作成された地質図のままでは、設計に必要な情報としては十分ではない。これらの図をもとにして、地盤の工学的性質など設計に必要な情報を加味した「工学的地質図」として、土木地質図（平面図および断面図）を作成する。この土木地質図が設計の基図となる。

次項で述べるように、発想した「地盤と人工物の複合構造体」を工学モデルに置き換えて、その機能を予測する必要上、土木地質図は、地層区分や地層ごとの力学的性質など、地盤力学の法則にもとづく計算に必要な情報も含んだ図であることが求められる。そのためには、各種の原位置試験やサンプリング試料による室内試験が実施される。

地盤の工学的性質を評価する手段として原位置試験や室内試験を行う場合、その結果を解釈し工学モデルに反映する物性値（地盤パラメータ）を設定する際には、先の図 3.5 に示した地質構造と生成履歴を対応させて検討する必要がある。なぜなら、地盤を構成する岩石・土砂は、図 3.10 に示されるような地質学的サイクルのどこかの過程に位置しており、現在に至るまで受けた環境、すなわち、生成履歴が試験結果に反映されるからである¹³⁾。このことは、圧密試験によって得られる圧密降伏応力 p_c が過去の上載荷重を示すものである場合（圧縮履歴）、深い深度の洪積粘土が高位な構造を呈する場合（化学的結合の履歴）などがあることから理解されよう。さらには、岩盤の工学的性質を岩石試料や岩盤試験体による試験も含めながら評価する場合には、節理や割れ目の影響を考慮する必要がある。

つまり、要素試験データから地盤の工学的性質を把握し、適切な工学モデルを設定する上で、地質学的な視点による試験データの解釈、および、地質構造と生成履歴を踏まえた物性値の空間的分布（物性値のばらつきの評価

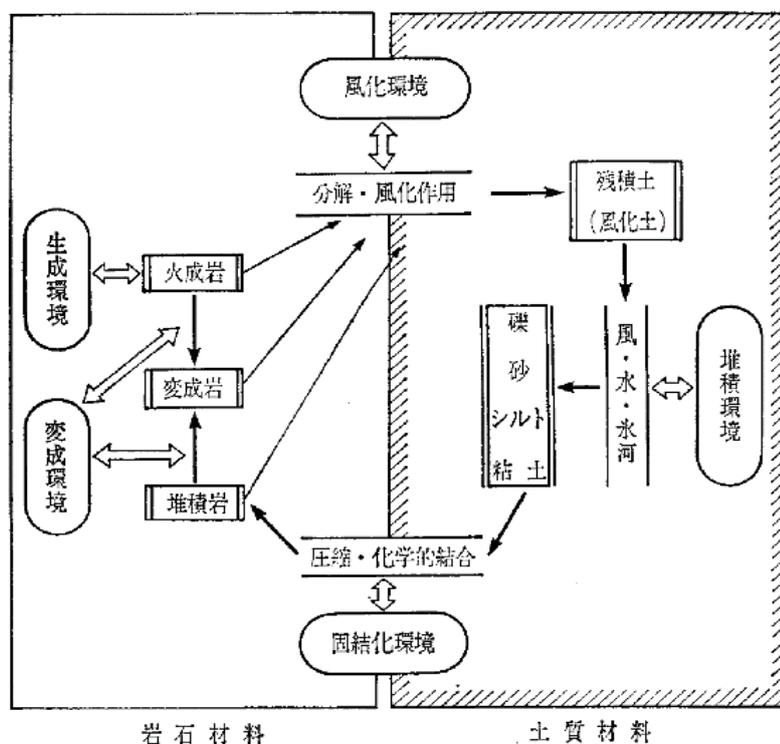


図 3.10 岩石・土質材料の地質学的サイクル（参考文献 13）

も含まれる)を把握することが重要である。

さて、土木地質図では、一般の地質図とは異なり、風化・変質なども重要な事項であり、記載事項は対象となる地盤構造物の種類によって異なる。平面図よりも断面図がより重要な意味を持つ場合もある。記載内容として、一般の地質図の凡例表現以外に、面構造・節理・劈開・片理・開口割れ目・線構造などがある。変質帯・風化帯・破砕帯も重要な要素で、弾性波探査線・調査抗位置・ボーリング孔・施工形状なども表現される¹⁴⁾。

結局、土木地質図に含むべき情報は、設計や施工上必要な情報(土質力学や岩盤力学の計算に必要な地盤の構造と地層の工学的性質、地質調査地点、計測必要箇所、湧水・弱層・空洞・排水層など施工に有用な情報など)であり、その作成過程は、応用地質学だけでなく地盤工学の知識をも必要とする、まさに地盤構造物の設計の最初の重要な過程である。

■ 土木地質図の例

土木地質図は、地盤構造物の種類によって様々であるが、そのイメージを把握するため、ここでは、小島圭二による土木地質断面図(原文では地質工学断面図)の事例¹⁵⁾について見ておこう。

図 3.11(a)は、地形地質踏査で作成された概略の地質断面図であり、地質学本来の方法論で作成された地質断面図である。(b)は、ボーリング調査や物理探査など地質調査の位置図である。(c)は、より詳細な地質構造や地質現象の履歴に関する情報を含む地質断面図になっている。そして(d)には、地質の成因による分類とその工学的意義が表現されている。これに(b)の地質調査で得られた物性に関する情報として(e)が加えられると、設計の基図となる土木地質断面図(d)、(e)が得られる。ちなみに、(d)、(e)は、土木技術者の知見を得て作成されたものである。

図 3.11 は、山岳トンネルの設計の場合の土木地質図の例であるが、山岳地の地盤は、地質年代の異なる地層が複合していたり、褶曲や断層による不整合面や亀裂が発達していたりする上、地下水の存在があったりして、施工に大きな影響を及ぼす要因が多数存在するため、このような詳細な土木地質図が設計の基図として不可欠である。

一方、軟弱地盤における対策工の設計のような場合は、軟弱地盤自体が第四紀の堆積層であり、地質構造が比較的単純で地質も均一であるため、図 3.11 のような詳細な土木地質断面図の作成までは必要とされない。多くの場合、地質断面図をもとにして作成した、粘土層、砂層、泥炭層、シルト層といった土層区分とその工学的性質を情報として含む土質断面図と呼ばれる図が土木地質断面図として用いられる。

なお道路、鉄道、トンネル、橋梁などの土木構造物は、どのような地盤の構造の箇所に計画されるかによって、工費や施工性などに大きく影響する。しかるに土木構造物の位置は、地盤の構造についての情報が不十分な計画段階で大略決められるため、地盤の構造の解明が進んでいく段階で変更した方がよいと判断される場合がある。しかも道路、鉄道、トンネルのような場合は、その判断が計画ルートの変更にまで及ぶこともある。計画の変更は、当該組織の意思決定システムにも関わるため、担当技術者としては判断に迷うところではあるが、

質図にもとづき、かつ当該現場の制約条件も勘案して、地盤とその地盤の構造に適していると考えられる工法の組合せによる「地盤と人工物の複合構造体」を考え出せば済むことも多い。こうして考え出した複数の複合構造体が設計代替案になる。

例えば、切土の場合、i) 一定の勾配で切土する（切りっぱなし）だけの構造、ii) 切土したのり面にコンクリート吹付け工やのり砕工などの人工物を設置する構造、iii) 切土したのり面にアンカー工を設置する構造、などの複数の設計代替案を考え出す。

地盤構造物の設計では、地盤の機能と人工物の機能を複合させて、要求機能を発現させるように設計するわけであるから、地盤と人工物の機能をうまく適合させるという視点をもつことが経済的かつ合理的な設計・施工につながる。

そういう視点からは、地盤によっては、その地質構造に起因する潜在的機能の特性が人工物の機能発現の仕方に影響することがある、ということに留意する必要がある。

例えば、軟弱地盤対策工のサンドドレーン工法は、陸成の粘土地盤においては、その地質構造の成因上（例えば、薄い砂の挟み層の存在など）、地盤としてのマクロな透水性が大きいいため、沈下促進効果が現れにくい、強度増加促進効果は明確であるといった経験則が知られており、高速道路の設計要領では、同工法の選定上の参考にされている。

また切土のり面の崩壊は、何らかの不連続面を境に起こっていることが多いことがわかっており、地質調査で推定した地質構造のうちの何らかの不連続面を潜在すべり面と想定した人工物、すなわちのり面工の設計が必要となる。さらに流れ盤、受け盤といった不連続面の方向性も、のり面工の機能発現の仕方に大きく影響する。

このような経験則は、地盤構造物の種類ごとに数多く存在しており、データベースとして整理・蓄積しておいて設計時に参照すれば、より有効な工法選定が可能となる。

■複合構造体の機能保証（設計計算）

設計代替案として複合構造体を考え出したら、工学モデルを用いるなどして、機能を分析する。いわゆる設計計算である。機能の分析は、多くの場合、適切な自然法則にもとづく演繹モデル（力学モデル、水理モデルなど）によるが、既往事例のデータの統計分析などから得られた帰納的あるいは経験的な予測モデル（例えば、斜面危険度判定モデルなど）が使われることも少なくない。この過程での機能の分析によって予測した機能が、要求機能に適合するように人工物の属性（寸法、性能、強度など）を定量化する。

土質力学や岩盤力学の分野では、これまで様々な力学モデルが研究されているものの、その最新のものをもってしても、実用的に十分な精度をもつ機能分析ができる状況とはいえないのが実情である。そのため実際には、既往の設計・施工例の観測データから帰納的に得られた経験則や試験的な施工のデータなどの情報も加味して、設計代替案が要求機能を満足しているかどうかの工学的判断が行われているのである。

複数の設計代替案について、技術的・経済的評価基準にもとづいて評価し、最善の設計解を決定して設計図面化する。

なお、複数の設計代替案から設計解を決定するのに際して、しばしば試験施工あるいはモ

デル施工という手法が使われる。すなわち、複数案それぞれについて試験的に施工してみて、実際の機能を観測し、予測機能と比較検討したうえで、より良い設計解を選択するのである。

3.5.3. 観測施工

地盤構造物の設計においては、様々な不確実性を含んだ設計解が不可避であり、施工時においても最後まで最適解を探りながら進めていかななくてはならない。過去の重大な失敗例の大半は、設計解が含む不確実性の意味を理解しないまま施工してしまった事例である。

したがって、施工時に観測する地盤の挙動から、設計解に含まれる不確実性を検証しながら、施工法や場合によっては設計解を修正・変更しつつ施工する「観測工法」を常態としないといけない。この観測工法の内容は、図 3.12 のように図示できる。

ただし、この設計解の修正・変更については、施工段階になって実施できる内容は限られてくるため、施工段階において、実施可能な内容とその実施手順を設計解の中にあらかじめ組み込んでおく必要がある。

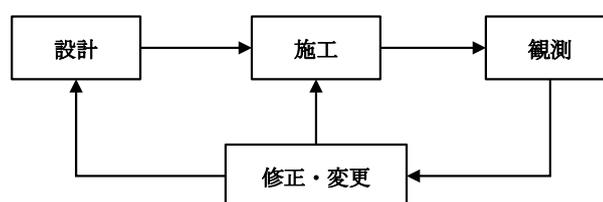


図 3.12 観測工法の内容の概念

この点については、施工時に掘削を伴うトンネル、切土、ケーソン基礎、土留壁などの場合は、施工時に地盤の地質構造を実際に確認することができるため、その時点でより適切な設計の修正・変更を行うことができるという特徴がある。とくにトンネルの場合は、掘削しながら地質構造を確認しつつ、必要な設計や施工法の修正・変更を行うのが通例の設計・施工法として定着している。

設計解に含まれる不確実性は、地質構造や生成履歴の推定に始まり、土木地質図の作成、力学モデルの設定、計算の実施など各段階で発生するものであり、地質技術者と地盤技術者が協働して対処すべきものである。とくに地質構造や生成履歴の推定に起因する不確実性に対しては、地質技術者が責任をもって対処すべきであり、その評価はもちろん設計・施工段階での追跡までコミットしなければならない。

このように「設計してから製造する」という人工物の設計に対して、地盤構造物の設計は「施工しながら設計する」という特徴があり、この点も人工物の設計と大きく異なる点である。

3.5.4. 施工の全体フロー

以上に述べた地盤構造物の設計・施工のフローを従来の設計・施工フローと対比して示すと、図 3.13 のようになる。

3.5.5. 地盤構造物のデザイン

これまで述べてきた地盤構造物の設計は、工学設計的内容についてであるが、地盤構造物

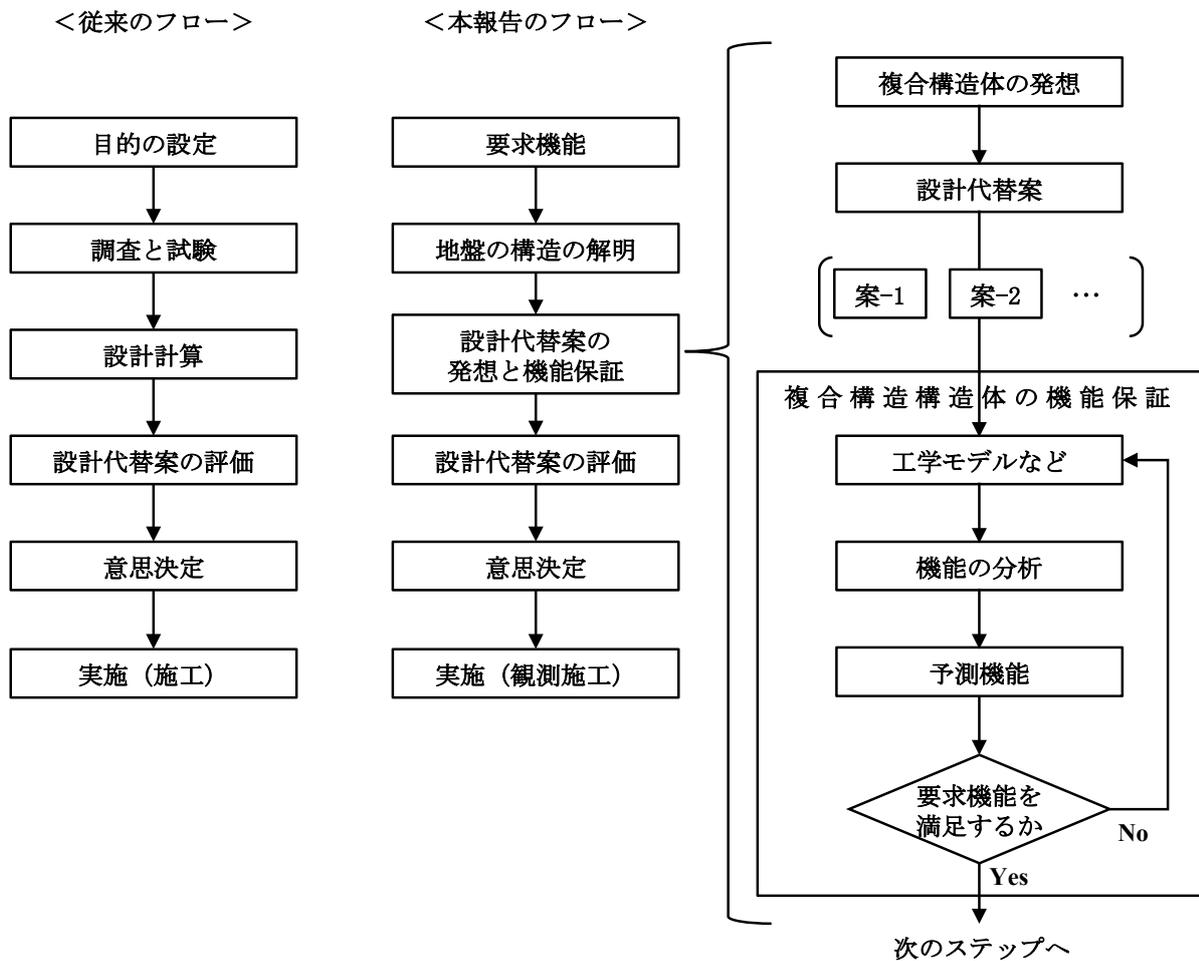


図 3.13 地盤構造物の設計・施工の全体フロー

にデザイン、すなわち意匠設計的内容が必要ないということではない。

写真 3.1 は、コンクリート吹付けによるのり面工の例である。この構造物によって、不安定な切土のり面は安定化し、道路を通行する自動車や人の安全が保障されている。しかし自然の風景の一部として見たときに、自然と一体となって美しい風景を構成していると、多くの人々の共感を呼ぶであろうか。つまり軟弱地盤対策工、トンネル本体工、土留め壁などのような地盤中につくられるものは別にして、盛土、切土、ダム、擁壁などの地盤構造物は、必要な機能を十分に発現するように設計されてつくられているということ以外に、まわりの自然と調和しているということが問われている。



写真 3.1 コンクリート吹付け工

しかし地盤構造物に限らず、土木構造物の設計においては、従来、工学設計の視点が先行し、意匠設計の視点は、立ち遅れていたのが実態である。

その反省に立って、篠原修は、設計を工学設計と意匠設計に分けずに、本来の広義の設計としてとらえる立場からデザインと呼び、土木構造物のデザインについて詳しく論じている¹⁶⁾。そこで以下では、彼のいうデザインを、括弧をつけた「設計」と読みかえている。

彼は、まず「設計」という行為を一般論として、次のように要約している。

- (a) 実現しようとする「もの」や「空間」に対して（使い手側からの）多様な要請（機能上の、また価値体系上の）が存在することを自覚し、
- (b) それらの多様な要請を（状況に応じ、またデザイナーの意志によりウェイトづけを行って）、一つの形にまとめ上げる行為である。

そして「土木の仕事とは、（普遍性を指向する）文明を（個別性を有する）大地の上に造形化し、定着する仕事である」と定義した上で、土木構造物の「設計」について、次のように定義している。

- (a) （不特定多数の利用者からの）多様な要請を自覚しつつ、土木の構造物、施設が備えるべき要件（長寿命、高い公共性、環境の形成力）を踏まえ、恣意性を排除して、工学的に美しい形（必然の形）にまとめ上げる行為、である。

さらに、大地との関係の側面に光をあてて定義すれば、

- (b) 実現させようとする土木の構造物、施設を大地（地形、水系、植生）に定着し、一体化して、必要ならばそこに想定される自然の営為や人為をも一体化して、そこに想定される自然の営為や人為をも一体化して、そこにゲシュタルト質（形としてまとまる力のこと）を獲得しようとする行為、である。

土木構造物は、大地に定着されるから、その土地の地形、地質、気候等の大地の個別性に制約されることが少なくない。その一方で、土木の仕事が介入した結果として成立する風景は、文明以前から存在する自然（大地）の上に土木構造物が加わった風景となる。

したがって、土木構造物に要請されるのは、まず要請されている機能が十分に具体化されているということである。それは、高速道路を例にとれば、自動車が高速で安全かつ快適に走行できるようにできているか否かで判断される。これは、工学設計としての課題である。

さらに現代では、価値体系上の要請として、その土木構造物が美しいか否か、善いものであるか否か、も問われている。再び高速道路を例にとれば、第一に作り出された高速道路自身（道路線形、橋等）が美しいか否か（造形）、第二に高速道路が大地と一体になって生み出される風景（とくに切土、盛土による大地の改変）が美しいか否か（造景）、第三に高速道路を造り出す行為が善であるか否か（環境問題）である。これが意匠設計としての課題である。

地盤構造物の設計においても、篠原が指摘する土木構造物の「設計」の課題は十分考慮する必要がある。

3.5.6. 地盤災害対策や地盤汚染対策における設計

これまで述べたことは、地上あるいは地中における人工物の設置やそのための地盤の改

良・補強など、地盤構造物の建設における設計についてであるが、地盤災害や地盤汚染に対する事前対策はもちろんのこと、事後対策の場合にも当てはまる。

ただし、地盤災害や地盤汚染の事後対策の場合は、起こった現象の実態を調査し、その原因分析を行い、復旧対策を立案するわけであるから、実態調査および原因分析によって災害や汚染を受けた地盤の状態とその工学的性質を解明した上で、適切な人工物や復旧工法を設計するということになる。

地盤災害や地盤汚染の対策に関する設計においては、営力によって地盤が過去に受けた作用履歴や現在受けつつある作用の現況の調査、さらには将来受けると考えられる作用の予測が必要となる。そのためには、土木地質学のみならず災害・防災地質学、水文地質学、環境地質学など、より幅広い応用地質学の知識が必要となることはいうまでもない。

応用地質学に関わる地盤環境問題としては、従来、地盤沈下と水質汚濁が検討対象となってきたが、近年、「自然由来の重金属等」がもう1つの地質リスクとして注目されている。

自然由来の重金属等とは、地質体に天然に含まれるヒ素、鉛、フッ素、ホウ素、セレン、水銀、六価クロム、カドミウムなどであり、工場等からの排出など的人為的な原因で生じたものとは異なる。これら重金属等は、火山、熱水に係る鉱脈・鉱床のほか、堆積岩・堆積物にも自然の状態で存在する（表 3.2 参照）。

表 3.2 自然由来重金属等含有土等の対応が必要となり得る地質等

地質	自然由来重金属等
海成泥岩・粘土	フッ素、ホウ素、ヒ素、セレン、黄鉄鉱
花崗岩類	フッ素
超塩基性岩類	六価クロム
熱水変質部	重金属等を含む鉱物、黄鉄鉱などの硫化鉱物
金属鉱山・鉱脈	重金属等が濃集、硫化鉱物

重金属等は、その存在自体は地盤汚染ではないが、掘削によって発生する次のような地質リスクである。

- ・ 掘削ずりからの溶出による地下水の汚染
- ・ 掘削面の酸化と雨水・湧水への溶出による表流水の汚染
- ・ 拡散による土壌、地質の二次汚染
- ・ 含有量の多い地質体の露出、ずり等からの飛散など

「土壌汚染対策法」では、重金属等についての指定基準が定められている。基準値は、2l/日の水を70年間飲み続けても安全な濃度として設定されており、実際の掘削土から溶出する重金属等の濃度は、基準値をわずか、ないし数倍超えているものが多いが、トンネル工事などでは多くの場合、対象土量が莫大であり、環境に関わる問題であることもあって、対応

に苦慮している現場が少なくないのが実態である。

したがって、盛土への利用など掘削土の処理にあたっては、次のような対応マニュアル等が整備されているので、それらを参照し、現場固有の事情に合わせた対応をする必要がある。

- ・ 2010年「建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル（暫定版）」（いわゆる国交省マニュアル）
- ・ 2015年「建設工事で発生する自然由来重金属等対応ハンドブック」

3.6. まとめ

現在の地盤工学には、土質力学や岩盤力学にもとづいた地盤構造物の種類別の膨大な量の設計計算法が整備されているが、そうした設計計算法を実際へ適用するにあたって、応用地質学が、たとえ知識量としてはより少ないとしても、設計・施工の成否を分けるほど重要な役割を果たしてきたことは、ともすれば見過ごされがちである。

その大きな原因は、本来、地盤構造物の設計は、「地盤の構造の解明」、「複合構造体の発想」および「複合構造体の機能保証」という過程として定義するべきであるのに、従来は、「設計計算」、すなわち「機能保証」過程のみに焦点を当てた一面的なとらえ方をしてきたことにある。そのため設計における応用地質学の重要な役割が、長年、過小評価されてきたといわざるを得ない。

本報告で述べた「地盤構造物およびその設計」のとらえ方によれば、地盤構造物の設計における応用地質学の重要な役割は、設計の第1段階としての「地盤の構造の解明」における「工学的な地質図」としての土木地質図の作成と、その過程で発生する不確実性が設計・施工に与える影響を評価・追跡することにある。

そしてその役割は、地質技術者だけで果たせるものではなく、地盤技術者との協働によってこそ十分に果たせるものである。

そのため地質技術者は、設計で行われる作業についての基礎的な知識を習得するとともに、地質調査で解明した地盤の構造が設計においてどのように活用されるのか、その際の問題点は何かについてコミットできるようにしなければならない。

また地盤技術者は、地質調査において行われる作業についての基礎的な知識を習得するとともに、「地盤の構造の解明」を地形・地質の知識にもとづいてどのようにして行うのか、その問題点は何かについてコミットできるようにしなければならない。

そのために求められる素養は、今井五郎の言葉¹⁷⁾に倣えば、地質技術者の場合は、「地盤工学的土台（基礎知識）に裏打ちされた地盤の応用地質学的な評価能力」であり、地盤技術者の場合は、「応用地質学的土台（基礎知識）に裏打ちされた地盤の地盤工学的な評価能力」である。

4. 応用地質学の役割の実際と方向性

4.1. 地応用地質学の役割についての検討課題

4.1.1. はじめに

従来の設計法において、地盤の力学的情報の不確実性についての検討は行われてきたが、その元になる地質学的情報、とくに地質構造は与件的な扱いになっていて、その不確実性についての検討は行われてこなかった。

施工段階になって、設計時の予測とは著しく異なる地盤挙動が観測され、大幅な設計変更が必要となり、工事費の増大を招く事例は、少なくない。その原因として、地質調査段階で発見できなかった地質学的な不確実要因が影響している場合がある。

このことを裏付けるデータがある。図 4.1 および表 4.1 は、土木地質分野において事業遂行上の課題が発生した事例について、日本応用地質学会土木地質研究部会が調査研究した結果を示している¹⁸⁾。これによると、課題の90%以上は、施工段階以降に顕在化しており、課題発生要因は、「認識不足」と「調査不足」および「予測不能」で80%以上を占めている。

そして「認識不足」の内訳は、「地質構造を軽視した設計」、「地質構造の認識不足」、「地質リスクに対する認識不足」、「現地現象の認識不足」に、「調査不足」の内訳は、「調査数量の程度」に、それぞれデータが集中していること、また「予測不能」の内訳では、データの集中は認められないが「対応技術無し」のデータ個数が多いことを明らかにしている。

この調査研究の結果、同部会では、「地質構造や地質リスクに対する認識不足」や「調査数量の不足」が課題発生の主たる原因であると指摘している。

地質構造を正確に推定できているかどうか、設計の精度に決定的な影響を及ぼすことは明白であるにもかかわらず、このような状況は極めて不合理である。冒頭に述べたように、近年の地盤・地質リスクマネジメント（georisk-guideline 2020）やジオテクニカル・ベースライン・レポートの取り組みは、このような状況への反省によるものである。

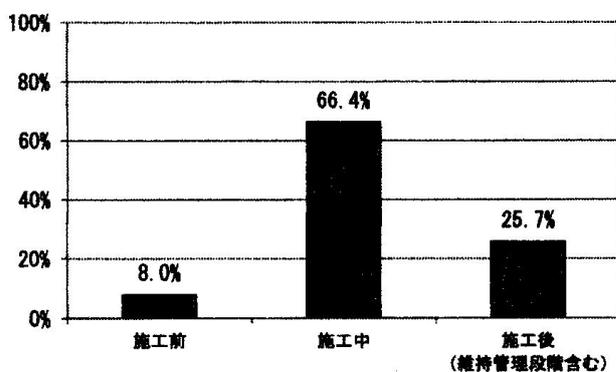


図 4.1 課題発生率の事業段階
(参考文献 18))

表 4.1 課題発生要因
(参考文献 18))

大分類	データの個数	
1. 調査不足	70	25.6%
2. 認識不足	121	44.3%
3. 人的要因	27	9.9%
4. 組織的要因	18	6.6%
5. 予測不能	37	13.6%
計	273	100.0%

本報告でこれまで述べてきたように、地盤構造物の設計の第1段階である「地盤の構造の解明」において、地質構造や生成履歴の推定方法を整備するとともに、そこに含まれる不確実性をリスクとしてとらえて、適切に評価し、設計・施工の過程を通して適切にマネジメントすることが今後の検討課題である。

そういう意味では、この「地盤の構造の解明」過程は、地質リスクアセスメントの過程に相当し、その際に応用地質学が果たす役割は、非常に大きい。

4.1.2. 地質図から土木地質図の作成方法

地質構造や生成履歴の推定には、応用地質学の知識を基礎にした難しい推定作業を伴い、かつそこから得られる地質図をもとにした土木地質図の作成は、応用地質学と地盤工学の境界領域の作業であることもあって、地盤工学においては、従来、その方法論の研究はなおざりにされてきたきらいがある。

したがって、次のような点について、具体例にもとづいて明らかにする必要がある。

- ① 地質構造や生成履歴の推定を、露頭観察やボーリング調査のデータなどをもとに、地質学のどのような法則や経験にもとづいて、どのような方法によって行うのか。
- ② 推定した地質構造や生成履歴には、どのような不確実性が含まれる可能性があるのか。
- ③ 土木地質図のあり方は、地盤構造物の種類によって様々であり、具体的にどのようなものが良いのか。
- ④ そのような土木地質図を作成するには、どのような手順と注意が必要か。

以上についての具体的な方法・手順や実際例は、「4.2「地盤の構造の解明」の手順」および「4.3 地質調査報告書のあり方」において詳しく述べる。

4.1.3. 地質学的要因が設計施工に与える影響とその評価方法

地形・地質を正確に推定できるかどうか、設計の精度に決定的な影響を及ぼすことは明白であるから、今後は、既往の土質力学や岩盤力学を駆使した設計法における地盤の力学的情報の不確実性の取り扱いのみならず、地形・地質に関する情報の不確実性の取り扱いについて十分検討する必要がある。

そのためには、地質学的要因が設計・施工に与える影響について、実例にもとづいて検討した上で、そのような要因を地質リスクとしてとらえて、「地盤の構造の解明」過程において評価する方法を明らかにする必要がある。

以上についての検討内容は、「4.4 地質学的要因が設計施工に与える影響」および「4.5 地質リスク評価方法について」において詳しく述べる。

4.2. 「地盤の構造の解明」の手順

4.2.1. はじめに

ここでは、「地盤の構造の解明」に関して、地質技術者の立場から、①地盤技術者に理解してほしいこと、②地盤技術者に果たしてほしい役割、について述べ、今後、両者が協働して「地盤の構造の解明」を進める上での参考に供したい。

具体的には、従来、この過程を「地質調査」として担ってきた地質技術者の考え方について述べ、本報告で提案している「工学的な地質図」としての「土木地質図」の作成について示す。

4.2.2. 地質調査

(1)地質調査の進め方

地質調査は、他に地盤調査、土質調査、土質地質調査など様々な名称が用いられているが、明確な区分があるわけではなく、ここでは「地質調査」という名称で統一する。

「地質調査要領」（全国地質調査業協会連合会編集）によれば、地質調査の目的は、構造物の建設、環境保全、地盤災害対策および構造物維持管理である。従来、地質技術者は、こうした目的のための工事や対策の実施段階（①企画段階、②計画段階、③設計・施工段階、④維持管理段階）に従って、各段階に適合した調査の方法と詳しき並びに精度をもって地盤情報を取得し、その実態をわかりやすく図示するとともに、設計や施工の実施のための所見を地盤技術者に提示してきた。

地質技術者は、現状では大まかに次の段階を踏んで地質調査業務に従事している。

- ① 既存資料調査
- ② 空中写真や地形図の判読による地形調査
- ③ 地形地質踏査による地形・地質の実態の正確な把握
- ④ 調査結果を図面（土木地質図）と報告書に表現
- ⑤ 調査結果の利用目的に沿った的確な所見と今後の対応の提示

地質調査は、①面的な地形・地質調査、②線的な地質調査、③点的な地質調査に分かれ、一般に表 4.2 のような流れに従って実施される¹⁹⁾。すなわち、あるサイトやルートあるいは区域のいずれを対象とする場合でも、地質調査は、面的な調査で広範囲の地表面の地形・地質を把握した上で、線的また点的な調査で深さ方向の地質構造や地層ごとの構成物質とその物理的性質を把握することによって、マクロからマイクロへと段階を踏んで、地盤の構造を解明するのが鉄則である。

面的な調査では、資料調査による調査地域全般の地質情報の把握、空中写真判読や地形地質踏査による地形・地質の判読、地質図学による地質構造の推定など地質学的方法による定性的・理学的な性質の把握を行う。線的・点的な調査では、物理探査、ボーリング調査、原位置試験、動態観測、室内試験など物理学的な方法による定量的・工学的な性質の把握を行う。

面的な調査は、経験を積んだ地質技術者が実施する場合、多数のボーリングを無計画に実施した場合よりも、はるかに有効な成果を得ることがしばしばあるが、その成果は、仮説形成による推定にもとづく定性的かつ経験的判断を含むので、定量的な数値にもとづいて設計を行う地盤技術者に十分な満足を与えない傾向がある。

一方、線的・点的調査は、調査結果が定量的な表現で示されるため、客観性を持つという利点があるが、地質学的な諸原則を無視して、適応性の限界を超えた判断にまで発展しない

表 4.2 地質調査の一般的な流れ (参考文献 19)

マ ク ロ	面的調査	<ul style="list-style-type: none"> ●資料調査 地形図・地質図・空中写真・地盤図・ボーリング資料・地盤調査データベース 既存調査報告書・工事資料 ●空中写真判読 空中写真判読・衛星画像判読・レーザースキャナの画像や地形図の判読・リモートセンシングによる調査 ●現地踏査 (地表地質踏査) 現地での空中写真判読・地表地質踏査・岩石サンプリング・面的地温探査
	線的調査	<ul style="list-style-type: none"> ●物理探査 弾性波探査・電気探査・磁気探査・放射能探査 常時微動計測・地下レーダー探査・線的地温探査 ●活断層調査 空中写真判読・現地踏査・弾性波探査・ボーリング調査 掘削調査・年代測定 ●トレンチ掘削調査 掘削・トレンチ壁面観察
	点的調査	<ul style="list-style-type: none"> ●ボーリング調査・検層 標準貫入試験・コア観察・速度検層 (PS 検層)・電気検層 自然電位検層・温度検層・流量検層・放射能検層・ボアホール画像 地下水位測定・間隙水圧測定・透水試験 ●サウンディング 標準貫入試験・簡易動的コーン貫入試験・スウェーデン式サウンディング試験 ポータブルコーン貫入試験・オランダ式二重管コーン貫入試験 電気式静的コーン貫入試験・原位置ベーンゼン断試験・孔内水平載荷試験 ●地下水調査 ボーリング孔での地下水位測定・簡易井での地下水位測定 ボーリング孔での間隙水圧測定・ボーリング孔での透水試験 揚水試験・ルジオン試験・地下水流速流向測定 ●載荷試験 地盤の平板載荷試験・道路の平板載荷試験・現場 CBR 試験・孔内水平載荷試験 ●現場透水試験 ピエゾメーター法, キューブ法, パッカー法, オーガー法など ●間隙水圧測定 スタンドパイプ方式, ケーシング法, シングルチューブ法 ●土の現場密度試験 砂置換による方法・突き砂による方法・水置換による方法 コアカッターによる方法・RI による方法 ●現地計測 地表面の鉛直変位測定・地表面の水平変位測定・地表面の傾斜変動量測定 地中の鉛直変位測定・地中の水平変位測定・地中土圧と間隙水圧の測定 壁面に作用する土圧・水圧の測定・切梁に作用する荷重の測定 ●資料採取 (サンプリング) 固定ピストン式サンプラー, 回転式サンプラー, オープンドライブサンプラー, ブロックサンプリング, 原位置凍結サンプリングなど ●室内試験 物理試験, 力学試験, プレパラートの鏡下観察

よう十分注意する必要がある。

地質調査の進め方は、土木構造物の種類や発注機関によって異なる点もあるが、おおむね予備調査、概略調査、詳細調査といった手順で、全般的な地形・地質の概要と問題点の把握から、局所的かつ詳細な地形・地質の解明に進み、設計・施工に使用する土木地質図等の作成を行う。作成される土木地質図等は、調査段階に応じて様々なものがある。

土木地質図は、土木構造物の基礎あるいは周辺の地盤の状況を表現するものであり、その構造物と地質状況との関係が重要である。これを三次元的にわかりやすく説明することが必要で、そのために一般に複数の図が組み合わせられる。一般的には、地質平面図と地質断面図が不可欠であり、その他の図は必要に応じて作成される。

(2)地質調査結果の表示

調査結果は、調査段階ごとに要求される図面等に表示される。表 4.3 は、高速道路の土質地質調査要領に示されている「各調査段階で作成される土木地質図等」の一覧である²⁰⁾。表

表 4.3 各調査段階で作成される土木地質図等 (参考文献 20))

調査段階 主な技術業務等	予備調査	概略調査	土質地質調査				水文調査	補足調査	備考 凡例 ○ 原則として実施 * 必要に応じて実施 - 実施しない
			一次調査	二次調査	構造物	トンネル			
地形判読 10,000 (25,000 写真)	○	-	-	-	-	-	-	-	1/25,000 白黒 空中写真判読
” 5,000 (10,000 写真)	-	○	*	-	-	-	-	-	1/10,000 カラー 空中写真判読
” 1,000 (7,000 写真)	-	*	○	*	*	*	*	*	1/7,000 白黒 空中写真判読
地形地質踏査 10,000	○	-	-	-	-	-	-	-	主としてコントロールゾーンの抽出
” 5,000	-	○	-	-	-	-	*	*	* コントロールポイントの抽出
” 1,000	-	*	○	○	*	○	○	*	新しい成果で見直し。逐次、精度の向上
” 1,000 (精査)	-	-	○	*	*	*	*	*	問題区間・箇所が必要に応じて実施
土木地形地質図 10,000	○	-	-	-	-	-	-	-	ルートマップ 地形判読図 空中写真
” 5,000	-	○	-	-	-	-	*	*	ルートマップ 地形判読図 空中写真
” 1,000	-	*	○	○	*	○	○	*	地形地質踏査 1,000 による成果等
” 1,000 (精査)	-	-	○	*	*	*	*	*	ルートマップ 地形判読図 空中写真
地質図 25,000	○	-	-	-	-	-	-	-	主として既存資料による編集図等
” 10,000	-	○	-	-	-	-	*	-	基図は 1/5,000 の地形図を縮小
” 2,000	-	-	○	○	*	○	○	*	基図は 1/1,000 の地形図を縮小
地層地質推定断面図	○	*	-	-	-	-	-	-	断面・縮尺は任意とする。地質構造等
地層地質縦断面図 5,000	-	○	-	-	-	-	-	-	調査成果の統括図
” 1,000	-	-	○	○	*	○	○	*	新しい成果で見直し。逐次、精度の向上
地層地質縦断面図統合 1,000	-	-	-	-	-	-	-	*	軟弱地盤等で必要に応じて実施
” ” 修正 1,000	-	-	-	-	○	-	-	*	構造物基礎の平地部等で実施
地層地質横断面図作成 2,000	-	-	*	○	*	*	*	*	代表的な断面
掘削区分縦断面図作成 1,000	-	-	-	○	-	-	-	-	複雑な地層地質区間の土工部で作成
” ” 横断面図作成 2,000	-	-	-	○	*	-	-	*	調査対象の土工区間、代表的な断面図
実施調査計画	-	-	○	○	○	○	○	*	
後続調査計画案	-	○	○	○	*	*	○	*	
水文調査計画案	-	*	*	*	*	*	-	-	問題区間で必要に応じて実施
地形地質総合解析	○	○	-	-	-	-	-	-	
調査総合解析	-	-	○	○	○	○	-	*	
水文総合解析	-	-	-	-	-	-	○	*	

注) 地形地質踏査を詳細調査一次・二次と繰り返すのは、①それまでの調査結果に②新たな露頭・ボーリング等の成果を加味して解析しなおし、更に精度を向上させるためである。従って、その成果品である土木地形地質図 1,000・地質図 2,000・地層地質縦断面図 1,000 は、調査の度に新しく作成するものとする。

中、土木地形地質図とあるのは、土木地質図のことである。

土木地質図は、一般に、地質平面図と地質断面図という2種類の地質図として表示される。

地質平面図は、地表に現れた地層を、その種類、堆積ないし形成年代、岩相などによって分類し、その分布や累重関係（下位から上位に向かって堆積する関係）、断層や褶曲などの地質構造を表現した図面で、地形図に重ねて作成される。地質平面図に記載された地層の分布や走向・傾斜と地形の等高線から、地下の地質構造やその形成の歴史（地史）をある程度読み取ることができる。

こうして読み取った地下の地質構造を特定の断面位置の鉛直断面で表現したものが地質断面図である。建設工事のための地質調査では、ボーリング、物理探査などの調査から得た地質情報も加味して、工事目的に合った断面の位置での詳細な地質断面図が作成される。

道路の場合は、路線に沿った地質断面図（地質縦断面図）や路線に直交する地質断面図（地質横断面図）、トンネルの場合は、トンネル延長方向の地質断面図（地質縦断面図）、ダムの場合は、基盤の水平面に描かれた地質水平断面図などが作成される。

4.2.3. 地質図

(1)地質平面図作成の手順

普通、地表面は、表土や植生あるいは人工物に覆われているため、広い範囲すべての地層を観察することは難しいが、沢、川や海岸沿い、切り通しなどでは、岩石や地層が露出しているところ（露頭という）がある。そうした場所を中心に踏査をして、露頭の観察結果をまとめたものを踏査図（ルートマップ）という。

一般的な地質平面図は、踏査図をもとに作成される基盤の地質や構造を示した理学的な図である。地質平面図の作成手順は、図 4.2 のとおりである。

①空中写真判読による地形・地質の予察

現地に入る前に縮尺 1/5,000 1/20,000 の空中写真を使って、既存文献などがあれば参考にしつつ、可能な限り地形と地質情報を読み取って「予察図」（調査ステップによって縮尺は変わる）を作成し、それを参考にして現地調査をする。現地情報をあらかじめ知ったうえで踏査すると、見逃しがなく、現地では見づらいものがよく見えてくる。その上で判読結果の確認と詳細化を図るほか、現地でないと思えない細かい情報の取得に努める。

②ルートマップの作成（図 4.3(a)）

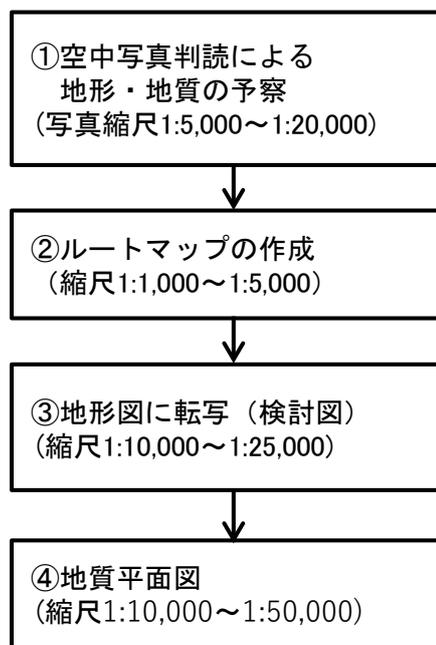
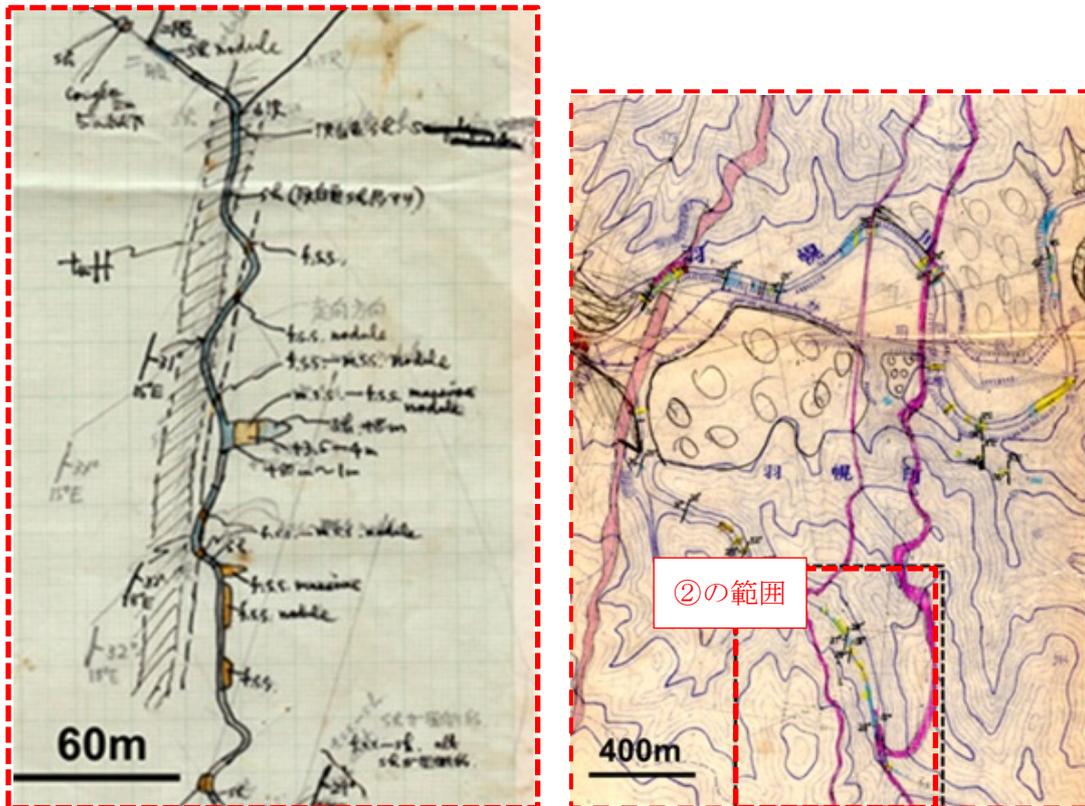
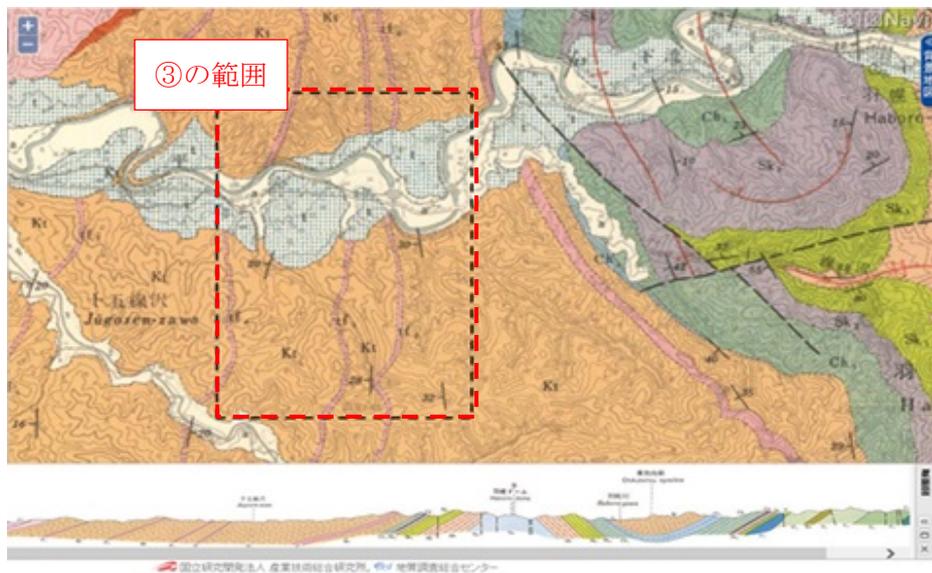


図 4.2 地質平面図作成の手順



(a) ②のルートマップの作成

(b) ③の地質分布・構造等の検討



(c) ④の地質平面図の完成

図 4.3 地質平面図作成②～④の例 (参考文献 21))

大縮尺の地形図（縮尺 1:1,000～1:5,000）を用いて地質の露出する海岸、河岸、溪床、崖など（露頭）で地質の種類・傾斜などの構造・断層等を観察し、その位置と観察結果を地形図上に記録したものがルートマップである。大縮尺地形図が入手できない場合は、簡易測量に

よりルートマップを作成する。このようにして作成されたルートマップの例を図示する。

③地質分布・構造等の検討（図 4.3(b)）

ルートマップは踏査コースごとに作成するので、各コースのルートマップを②検討用地形図（①のルートマップは破線枠内）に転写する。この図により地質分布や構造の検討を行い、地質図に仕上げていくとともに、不足する情報があれば追加の踏査を行う。

④地質平面図の完成（図 4.3(c)、文献 21)を引用)

②の検討図を編集・清書して地質平面図を完成する。

この地質平面図には、工学的に有用な要素（崖錐、沖積錐、地すべりほか）は入っていない。この図をベースに工学的情報を加えて「土木地質図」を作成する。

(2)地質断面図作成の手順

地質平面図は、地層境界を示す走向傾斜なども示され、三次元の地質構造を理解することができるものであるが、理解の助けとして地質断面図が作成される。

地質断面図の作成の手順は、次のとおりである。

①どこの地質断面図をつくるかを定める

計画されている地盤構造物の設計上必要と考えられる個所などの地質平面図上に、地質断面図をつくる直線（断面線）を設定する。道路などの路線の場合は、路線沿いか直線状、ダムの場合は、ダム軸、地すべり地の詳細を知る場合は、すべり土塊の長軸の方向とそれに直行する方向などである。

②地形断面図を描く

設定した直線に沿って、地形図をもとに地形断面図を作成する。縦（垂直）・横（水平）同一縮尺で作ることが多いが、地形の起伏が小さいところなどでは、縦を 2 倍くらいに誇張して描くこともある。

地すべり地などは、地形図に微妙な地形変化（滑落崖や小さな窪地など）がうまく図化されていないことが多い（これは地図作成者が地すべり地形についての知識が乏しいことによる）ので、空中写真や現地踏査の結果にもとづいて、実際の形の、もしくは少し強調して修正したわかりやすい断面にする。

③地質断面図を描く

地質平面図に示された地層の走向・傾斜、断層の位置とその傾斜、褶曲軸、不整合面などを地質図学によって図示する（描き方は後述）。

地質断面図は、必ずしもその地点に表れていない地層や岩盤でも、周辺の分布から見て走向・傾斜や被りの厚さなどの延長を想定して、断面線の下部に描きこむ。火成岩類など走向・傾斜のないものは、周辺の露出地区の状況を勘案して推測して記入する。

④既往データを活用する

近傍にボーリングデータなどがある場合は、それが当該断面図上でなくとも、それらを参考にして地下の状況を描く。その描き方は、③と同様に、周辺地盤の状況をよく加味して、地層の連続性を間違えないように描いて精度を上げる。

⑤物理探査、ボーリング調査などで精査する

地質平面図から推定して描いた地質断面図は、物理探査、ボーリング調査などによる深さ方向のデータを用いて精査し、より正確な地質断面図に仕上げる。

(3)地質断面図の描き方

地殻変動を受けた地盤では、地表地質調査によって地層面や断層面が地表で露頭線として観察できるので、それらの走向や傾斜を測定することで、地質断面図を描くことができる。

もし地層面（層理面）や不整合面が水平ならば、その露頭線は、等高線に平行（つまり同じ高さ）になる。また地層面（層理面）や断層面が垂直であれば、その露頭線は地形図（等高線）に関係なく直線になる。一般には地層面などが傾いているため複雑である。地形の傾斜方向に対して地層面などが逆向きに傾斜する場合、同じ向きに傾斜する場合、直交方向に傾斜する場合、および斜交して傾斜する場合がある。

ここでは、地形の傾斜方向と地層面の傾きが同じ方向の場合を例にして、地質断面図の実際の描き方を図 4.4 に示す²²⁾。

まず地層の走向（地層面と水平面の交線）を求める。地質平面図上の地層境界線とある高さの水平面の交線が走向である。すなわち、図 4.4 では、C-D 断面線に平行な破線群は、地層境界線と任意の等しい高さの等高線との交点を 2 点以上求めて結んだもので、地層の走向になる。この図では 走向は NS となる。図 4.4 では、走向に直交する A-B と平行する C-D の地質断面図を示す。

まず、A-B 断面の作成については、最初に地形断面を書いておく。水平距離と高さを同じ縮尺で書いておけば、傾斜はこの断面図から求めることができる。地層境界線は 2 つあるが、黄の地層と赤の地層の境界線を断面図に作成する。地質平面図の 100m、110m、120m 等の走向線（C-D 断面線に平行な破線群）は、地層面のそれぞれの高さを意味しているわけだから、等高線との交点を下の断面図の 100m、110m、120m 等の高さに持って行く。これらの高さを結べば、それがその地層面の断面図となる。同様に赤の地層と青の地層の境界線を作図すれば、地質断面図に赤い地層の傾斜している様子を描くことができる。

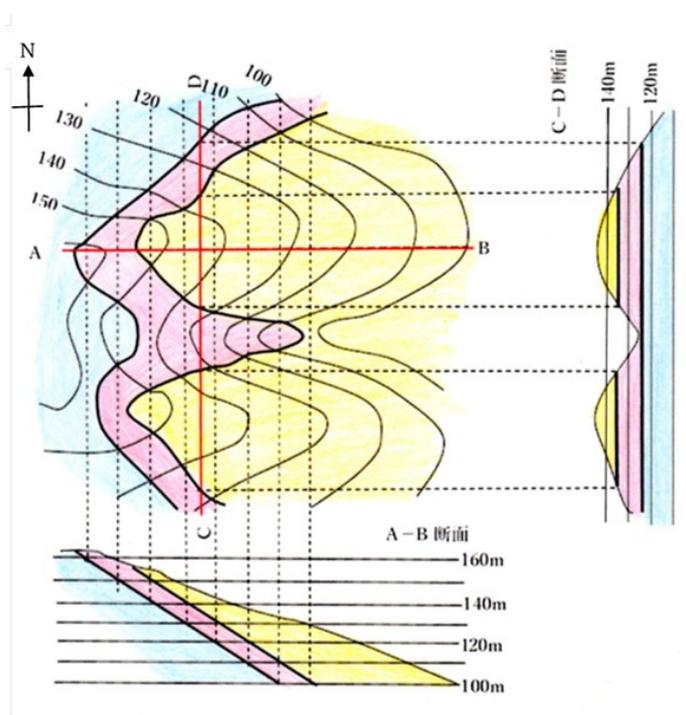


図 4.4 地質断面図作成の説明図（参考文献 22）

次に、地層の走向に平行する C-D 断面については、A-B 断面の作成と同様に地形断面を作成する。2つの地層境界線についても同様に、走向線と等高線の交点を断面図の高さにプロットし、これらの高さを結ぶと地層面の断面図となる。走向に平行する断面では、地層は水平に表現される。

一方、低地の沖積地盤のような地殻変動を受けていない新しい地盤では、以上のような手法では、地質断面図を描くことができない。こうした地盤では、もっぱらボーリング調査やサウンディング調査によって得られた地質柱状図や強度分布図などのデータにもとづいて、地質断面図を推定する。

図 4.5 は、軟弱地盤における地質調査結果から地質断面図を推定する例を示している²³⁾。

ある一定のピッチでボーリングを行い、標準貫入試験を行った結果、(a)のような4本の土質柱状図が得られた。これを単純に、上の方が泥炭で、その下に砂があり、さらにその下に粘土があつて、基底の砂礫があり、基盤の軟岩がある。そしてそれらは大体同じ深さにあるから、横につなげばいいだろうというので作成した地質断面図が(b)である。しかしよく見ると、N値が違い、片方には海成の貝殻が入っているのに、もう一方には海成の貝殻が入っておらず、浮石が入っている。これだけでも地層が違うということがわかるが、その付近全体の地形判読や地質学的な生成過程を考えれば、ここには1つオボレ谷が埋没してもいいはずだということから、結局、(c)のような地質断面図が妥当であろうという推定が成り立つ。

4.2.4. 土木地質図

(1)土木地質図の作成の留意点

地質調査結果である地質図、すなわち地質平面図や地質縦断図をどのようにして「土木地質図」として表現していくかが、本報告の重要テーマの一つである。これまで地質技術者の

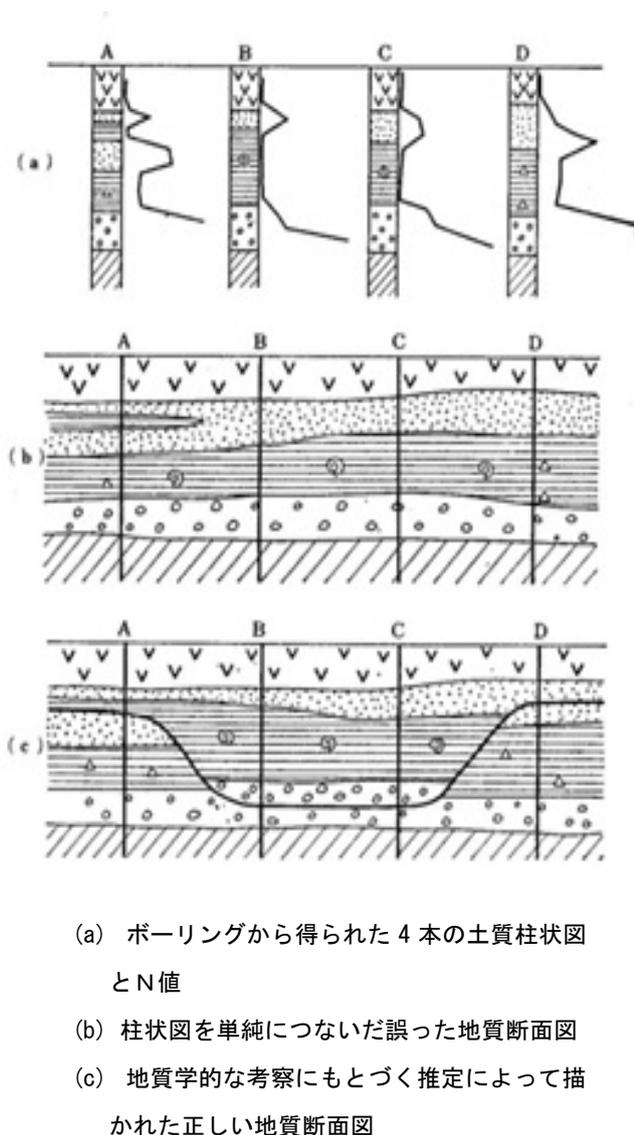


図 4.5 地質断面図の推定例
(参考文献 23))

地質調査結果を地盤技術者が一番欲しい情報としての「土木地質図」に適切に転換できていなかったところに、今後、両者が協働すべき重要な課題がある。

設計や施工に従事する地盤技術者の最大の関心は、地質技術者が明らかにした地質調査結果を、設計や施工に直接利用できる土木地質図にどう変換するかである。そのためには、「地質図にどのような情報を付加すれば、設計・施工に役に立つか」を知らなければならない。

それには、設計計算に必要な地層ごとの土質・岩質の定量的・工学的性質はもちろんであるが、それだけでなく設計・施工上問題となる可能性のある土質・岩質や地質構造がどこに存在するかを知ることが大切である。そしてその根拠となるのが、過去に設計・施工上問題となった事例である。

切土のり面の場合を考えてみよう。切土のり面の設計・施工上の一番の課題は、のり面の安定である。どのような土質・岩質や地質構造を持った地盤の切土のり面が安定であるか、逆にいうと崩壊する可能性が高いか、の見当がつけば、それに該当するような箇所の地質図から設計・施工に有用な土木地質図を作成することができる。

表 4.4 は、過去の事例から、切土をすると崩壊しやすい地質を分類したものである²⁴⁾。表から、崩壊しやすい場合は、土質・岩質に問題がある場合(①～②)と、地質構造に問題がある場合(⑤～⑥)とがあることがわかる。また図 4.6 は、切土のり面の崩壊形態を分類し、それらの素因(土質・岩質、地質構造および地下水)との関連づけを行って表現したものである²⁵⁾。

土木地質図の作成にあたっては、このような情報を根拠にして、設計・施工上問題となる可能性の高い土質・岩質、地質構造および地下水を含む地盤箇所を選定し、その地質図に、表 4.4 や図 4.6 を参考にして、必要な地質学的情報と物理学的情報を描き加えることで、設計・施工に有用な土木地質図を作成することができる。

表 4.4 崩壊性要因を持つ地質 (参考文献 24)

区分	崩壊性要因をもつ地質	代表地質など
土質・岩質 的問題	①侵食に弱い土質	しらす, 山砂, まさ土
	②固結度の低い土砂や強風化岩	崖錐性堆積物, 火山灰土, 火山砕屑物(第四紀)崩積土や強風化花崗岩など
	③風化が速い岩	泥岩, 凝灰岩, 頁岩, 粘板岩, 蛇紋岩, 片岩類など
	④割れ目の多い岩	片岩類, 頁岩, 蛇紋岩, 花崗岩, 安山岩, チャートなど
地質構造的 問題	⑤割れ目が流れ盤となる岩	層理, 節理が斜面の傾斜方向と一致している片岩類, 粘板岩など
	⑥構造的弱線をもつ地質	断層破碎帯, 地すべり地, 崩壊跡地など

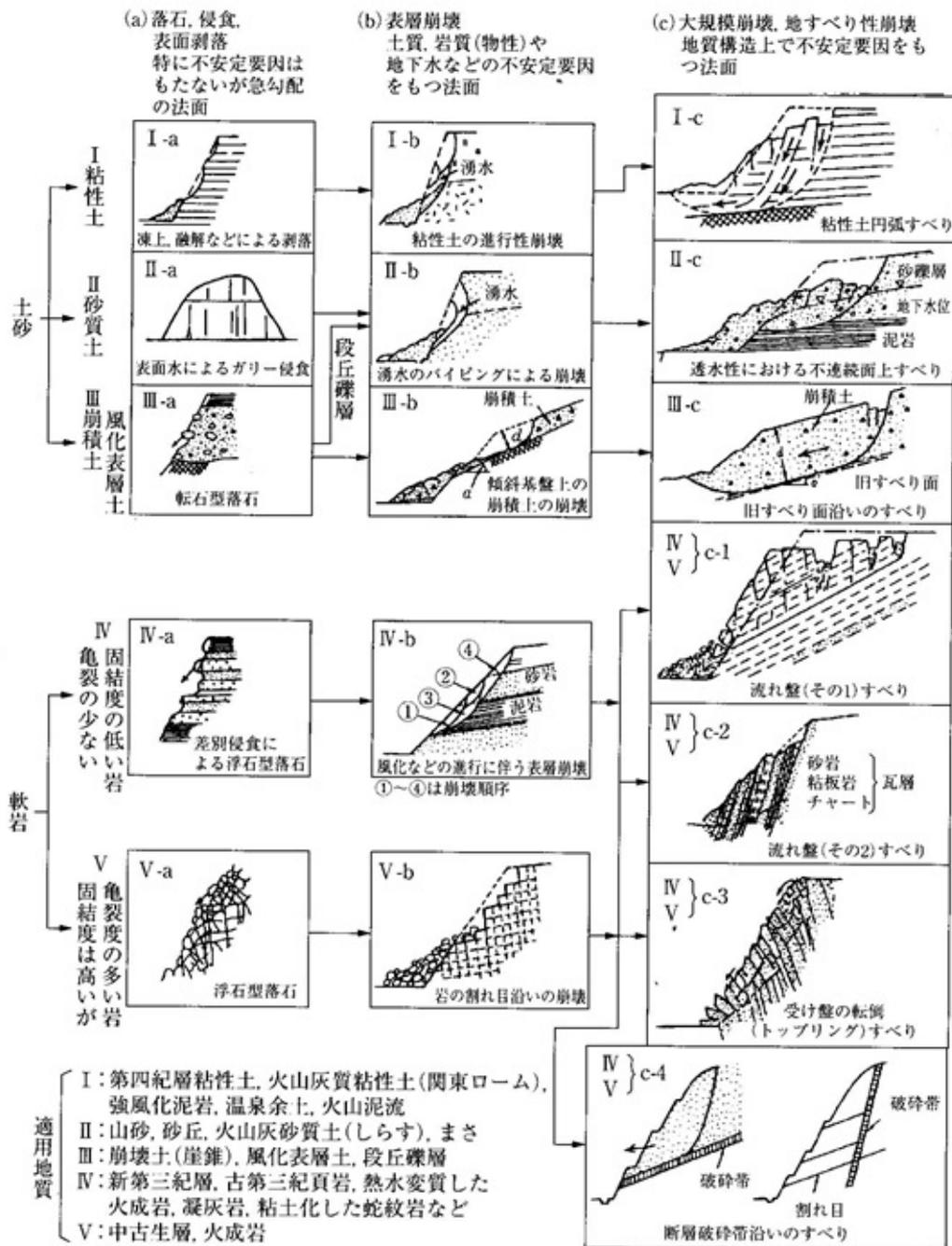


図 4.6 切土のり面における地盤条件と崩壊形態 (参考文献 25))

(2) 土木地質図の必要条件

ここで土木地質図とは、どのようなものかについて整理しておこう。

① 具備すべき条件

- 1) 地盤工学的に必要な情報内容を、質的ならびに量的に備えていること
 - 2) 情報内容に、地盤技術者から見た重要性のプライオリティーが表現されていること
 - 3) 必要な情報内容が使いやすく表現されていること。
- ② 誰もが使えること
- 1) リスクのあるところの地盤や材料を避ける（使わない）
 - 2) 避け得ない場合には、技術的に対処しやすい案（方法）を提案する
 - 3) これらの選択ができない場合は、その対策を早くから準備して対応する
- ③ 提示すべき具体的な地盤情報
- 1) 自然災害が起こる場所、あるいは施工によって災害が起こる場所ではないか
 - 2) 施工中や供用後に、地下水位や地下水動向に問題は生じないか
 - 3) 不同沈下の起こる地盤の構造ではないか
 - 4) 地盤の支持力は十分かなど
- ④ 地盤分類の項目
- 1) 企画・計画・設計・施工・管理などの段階における地質平面・断面図の利用目的や用途に応じて地盤分類の項目を選ぶ
 - 2) 地盤分類項目は、工学的な問題点やリスクの要因となる地形・地質などに関わる事項を標準とする
- ⑤ 工学的対処の難易度
- 1) 自然地盤について、工学的および防災の視点から、施設の建設や管理に与える問題の大きさや対処の難易度などを、次のグレードに判別・分類する。
 - (a) グレード A：対象となる問題やその規模がおおきく、施設の企画や計画段階に避けるべき地盤。この問題に対処する場合には、専門技術者による慎重な技術判断を必要とする。
 - (b) グレード B：対象となる問題やその規模が、グレード A に比べて小さく計画・設計の初期に、専門技術者の判断に基づいて対処すべき地盤
 - (c) グレード C：専門技術者の常識で問題を意識して対処すればよい地盤
 - 2) 次項のいずれかに該当する恐れのある地盤や、専門技術者の判断を尊重すべきグレード A や B の地盤については、報告事項の特記すべき事項として扱う。
 - (a) 対処が極めて困難となる
 - (b) 広域にわたって障害を生じる
 - (c) 難工事となる
 - (d) 大幅な工事費となる
 - (e) 施設の供用段階に問題を残し、通常とは違った施設の監視や保全が必要となる。
- ⑥ 解説書の添付
- 1) 土木地質図の活用目的にそった内容の工学的な解析およびその解説を土木地質図の付属説明書に記載する。

- 2) 解説書には、地質構造や模式断面図、特記すべき事項などについて記載する。
- 3) 解説書では、地盤分類項目中の重要事項について、工学的な視点から解説する。
- 4) 工学的な視点からの解説には、次項を含むようにする。
 - (a)崩壊しやすい地盤、被災しやすい地盤、水障害を生じやすい地盤、軟弱地盤などに留意し、対象とする施設を安全に計画・建設・維持するために問題となる地形・地質と、そこから予知される潜在的な支障の具体的な解説やその説明用の模式図・現場写真など。
 - (b)問題を解消するために必要な計画や設計における具体的な対処方策とその説明用略図、類似の工事例、他地域における地盤災害の事例、参考となる技術基準や文献などの紹介。
 - (c)問題や支障をさらに明確にする場所や区間については、そのために必要な土質・地質調査の具体的な調査計画（詳細な地形判読や地形地質調査、技術業務、現場内運搬・仮設なども含む）。
- 5) 解説書には、地質断面図を添付する。地質断面図は、施設の計画などに重大な支障を及ぼすと想定される断面や、代表的な地層構成・地質構造を示した図をいう。地質断面図には、既存の地質調査の成果（柱状図なども含む）も記載し、地盤情報の利用目的に応じた計画・設計・施工・管理の問題点やその対処方策、後続調査計画などの要点を図面の下欄に記載する。

⑦土木地質図の例

ここでは、高速道路の土質地質調査要領から、切土における土木地質図について例示する。切土の設計・施工にあたって必要な地盤に関する情報は、次のようなものである。

- 1) 地形（不安定地形）
- 2) 地質（地質構成、地質構造）
- 3) 地山の工学的特徴（土軟硬、風化度、割れ目）
- 4) 地山の物性（物理・力学的特性とその経時変化）
- 5) 地下水状況
- 6) その他（変状・災害の状況）

これらの具体的なイメージを図 4.7²⁶⁾に示す。

こうした情報を盛り込んで作成された高速道路の切土の土木地質図の例を図 4.8「土木地質平面図」、図 4.9「土木地質縦断図」、図 4.10「土木地質横断図」に示す²⁷⁾。

調査項目	模式的説明	
地形		
地質	<p>地質構造 層理・節理 断層などの 方向性など</p>	<p>地質構成 ローム層Lm 砂岩Ss などの地質の名称 および境界など</p>
地山の工学的特徴	<p>節理など分離面の開口度、幅など</p>	
地山の物性	<p>岩盤部 岩の強度 (圧縮強さ) 風化特性 (吸水膨張量) など</p>	<p>土砂部 土の分類(粒度構成, コンシステンシー) 締り具合(N値)など</p>
地下水状況	<p>溜池</p> <p>周辺利水状況 湧水点、井戸、溜池、河川水など</p> <p>地下水帯水層、透水性など</p>	
その他(変状・災害状況)	<p>災害状況 (原因、規模など)</p> <p>引張亀裂 はらみ出し</p> <p>変状の兆候 引張亀裂, はらみ出しなどの状況</p>	

図 4.7 切土の設計・施工に必要な地盤に関する情報のイメージ (参考文献 26))

地層地質縦断面図(1) H=1:1000, V=1:1000

図名	地層地質縦断面図(1)	
縮尺	H=1:1000	V=1:1000
図式	図式番号	15/54
作成者		
承認者		

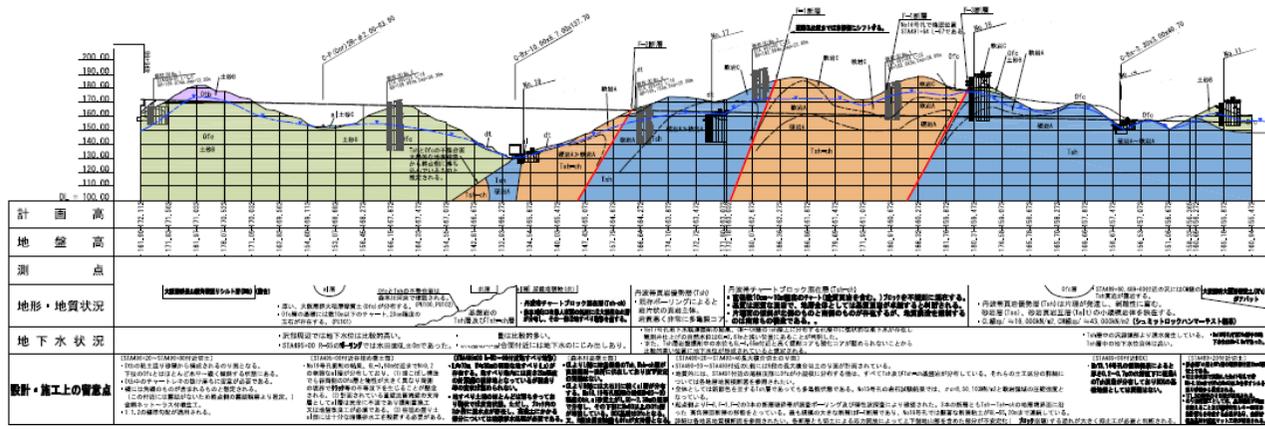
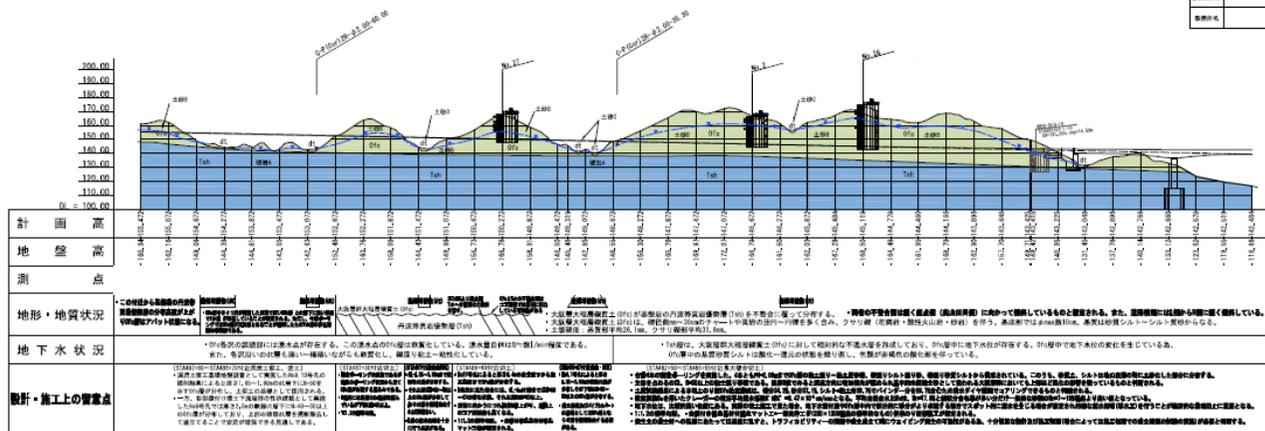


図 4.9 土质地質縦断面図(参考文献 27)

4.2.5. 地盤技術者に求められること

地質技術者が作成した「地質図」を判読し、協働して「土木地質図」を作成するためには、地盤技術者の方も地質図や地形を見る目を養う必要がある。

(1)地質学の五大法則

地質図は、現地を観察する露頭を通して地層の重なり具合や走行・傾斜などの推定にもとづいて作成されるが、その根拠となるは「地質学の五大法則」である。

地質学が対象とする自然地盤つまり地球の表層部は、地球の歴史の中で地球のもつ営力の作用によってつくられたものである。個々の場所に存在する地盤は、それぞれ独自の過去の時間的経緯、つまり歴史（地史）を反映した構造を持っている。すなわち、地質学的环境条件が一定の場合には、類似した地盤、つまり類似した地質構造ができていくという規則性を認めることができる。

こうした規則性を地質学では、次の五つの基本的な法則・原理にまとめている（図 4.11²⁸⁾）。

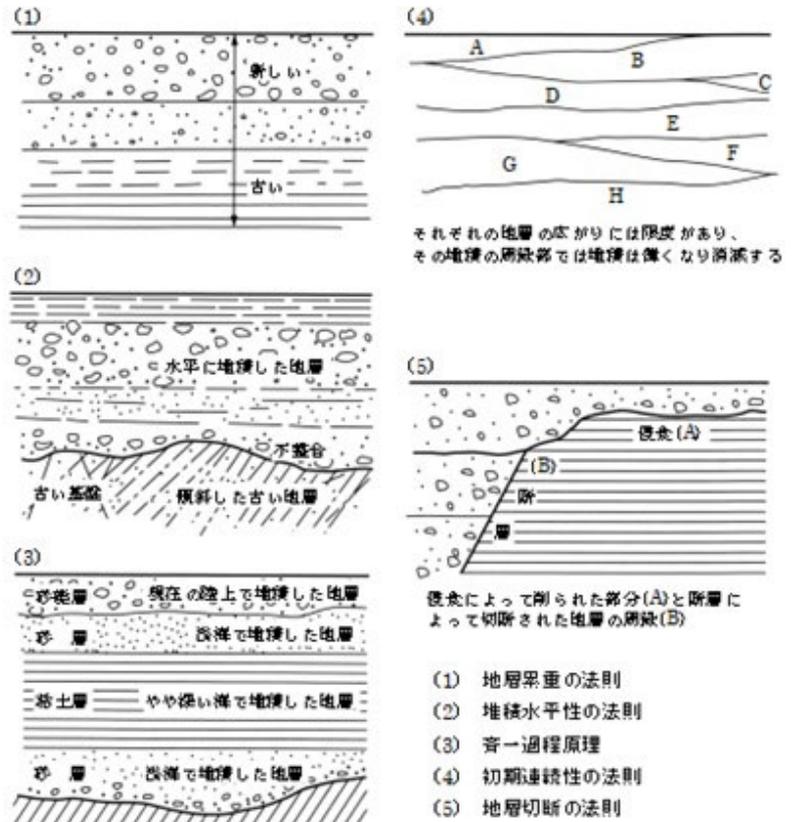


図 4.11 地質学の五大法則（参考文献 28）

① 地層累重の法則

堆積してから褶曲したり逆転したりして乱されたことのない堆積層では、どんな場合でも、いちばん若い地層はいちばん上にあり、いちばん古い地層は基底部にある（図 4.11 (1)）。

② 堆積水平性の法則

水成の堆積物はほとんど水平に堆積し、しかもそれが堆積する下の面に平行か、平行に近い層となって堆積する。現在見る傾斜した地層は、堆積後にそのように変わったものである（図 4.11 (2)）。

③ 斉一過程原理

現在私たちの身近に起こっている自然現象によって、大昔につくられた地層の生成を説明することができる（図 4.11 (3)）。

④ 初期連続性の法則

水中で堆積した地層は、それがつくられたときには横のあらゆる方向に連続しているが、その縁の方ではついに堆積作用が行われなため、薄くなって消え去っている。あるいは地層は、堆積盆地の周辺に接して終わる（図 4.11 (4)）。

⑤ 地層切断の法則

ある地層が堆積盆の縁でない地点で急に終わっているとすると、その地層は、はじめに連続した部分が

侵食によって取り除かれたか、そうでなければ地殻の中に生じた割れ目（断層）によって移動したかに
 違いがない（図 4.11 (5)）。

(2)地質図の基礎知識

まず地質図を判読する上での基礎的な知識を見ておこう。

地層は、土砂が河川によって運ばれ、湖や海底に堆積して形成される。地層は、堆積時には平板状で
 ほぼ水平であるが、その後の地殻変動によって、傾斜したり褶曲したり、あるいは断層で切断したりする。
 地層が水平であれば、断層などで切断がない限り、どこまで行っても同じ高度に同じ地層が連続する。地
 層が傾斜していれば、地層の高度は方向によって変化する。（以上、坂幸恭による取りまとめ²⁹⁾（図 4.12
 参照）、小玉らによるとりまとめ³⁰⁾（表 4.5）を参照）

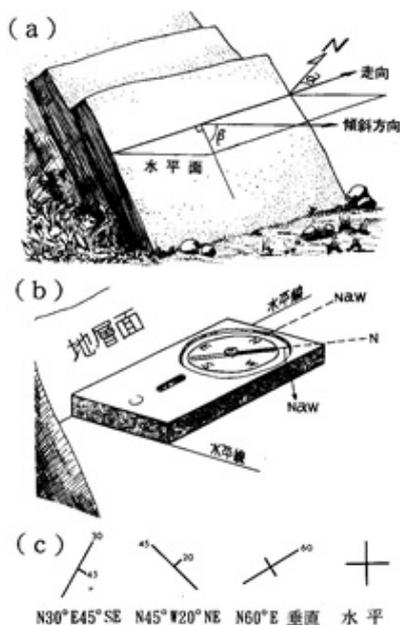


図 4.12 走向と傾斜（参考文献 29）

表 4.5 地質図の使用記号例（参考文献 30）

表示項目	記号	描画仕様	
		形状	色
断層	正断層	上盤側に短い実線を、等間隔で垂直に付ける。または、先端に点を付けた短い実線を落下側に付ける。	黒
	逆断層	底辺が断層線と重なるよう上盤側に等間隔で三角形を付ける。三角形は黒で塗りつぶす。	黒
	活断層	断層と同じ表現。ただし、色を違える。	赤紫等
	地質断層	断層と同じ表現。ただし、色を違える。	緑等
リニアメント		細実線。	青
破砕帯、せん断帯、およびマイロナイト帯		ある長さのS字曲線を一定の間隔で互い違いに、帯の延びの方向と平行に配置する。	黒
地層の走向傾斜	傾斜層	適当な長さの実線を走向と平行に配置し、その中点の傾斜側に短い実線を垂直に付ける。その中点は地図上の測定位置に置ね。傾斜角は傾斜側に記す。上位方向確認を示す場合は、黒丸を走向線の傾斜側から見て左端に付ける。	黒
	逆転層	通常の走向傾斜を示す記号の傾斜とは反対側にU字形的実線を付け、その内の片側の直線部が走向を示す実線の中点に垂直になるようにする。その中点は地図上の測定位置に置ね。傾斜角は傾斜側に記す。	黒

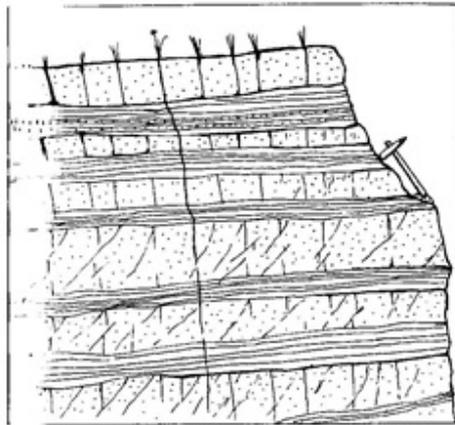
(3)露頭で観察される地質構造

露頭で観察される地質構造の主なものとして、次のものがある³¹⁾。

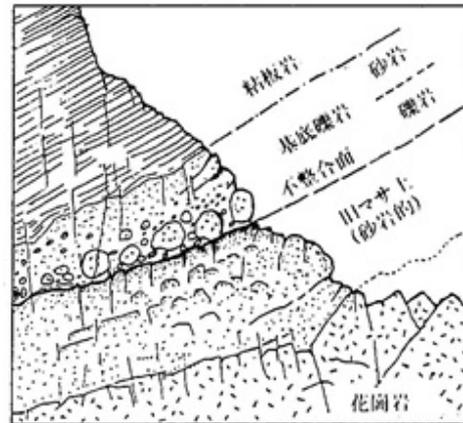
①地層の接触境界（図 4.13）

地層は、必ず別の種類の地層と接している。その接触境界は、次の4種類に分類される。

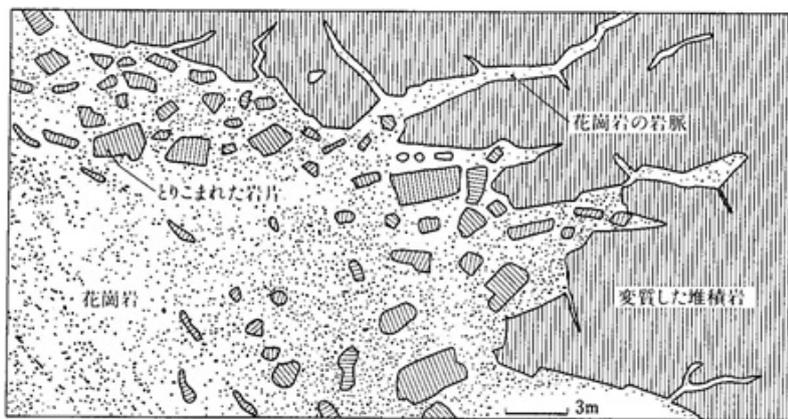
- (a) 整合関係…同じ堆積盆地の中で継続的に堆積した層状の一連の地層の、地層ごとの関係を整合といい、地層の境界面（地層面）を層理面ともいう。
- (b) 不整合関係…地層が堆積した後、ある期間の地質時代を経過して変動を受けたり、隆起・侵食作用を受けたりしてから、その上に再び新しい地層が堆積したとき、新旧の地層の相互関係を不整合という。
- (c) 貫入関係…地層の中に地下のマグマが侵入し、様々な岩体を作ることがある。このような岩体を貫入岩体と呼ぶ。マグマの固結したものは、安山岩岩脈であったり、巨大な花崗岩岩体であったりする。また第三紀層など堆積岩の中に、割れ目ができて上方もしくは下方の砂が流れ込み固結したも



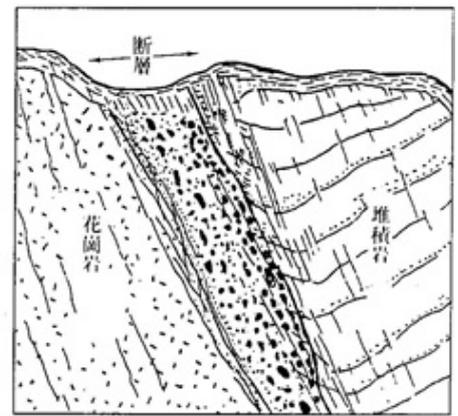
(a) 砂岩・粘板岩の整合関係



(b) 花崗岩を不整合に覆う礫岩・砂岩・粘板



(c) 堆積岩中に貫入した花崗岩



(d) 花崗岩と堆積岩の断層

図 4.13 地層の接触境界 (参考文献 31))

のが砂岩岩脈である。

- (d) 断層関係…地層は、地殻変動によって破壊され切断される。その破壊面が断層である。断層は、その面を境界として、異なる地層や岩石が接触している面でもある。断層には様々な規模があり、幅と延長はいろいろである。断層は固結していることも多いが、すべり面、地下水の水みちになるなど、工学的に問題となることが多い。

②節理

岩盤には割れ目がある。規則的にみられる割れ目を節理という (図 4.14)。

(4)地形を読む力

地形は、次のような特徴を持っている。

- ① 地形は、直接には地表面の形態やその規模・水陸の配置・地表傾斜などを示しており、それが土地利用上大きな意味を持つ。
- ② 地形は、地表構成物質 (岩質や土質など) の性質や地質構造などに著しく規制されて形

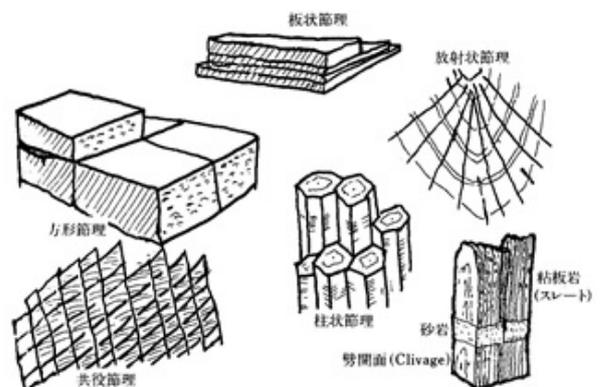


図 4.14 節理の種類 (参考文献 31))

成されている。このことは、逆に地形から岩質・土質や地質構造をある程度読み取れることを示している。

- ③ また、現在見る地形は、地質構造や地層・岩層などに侵食や堆積といった諸作用が働き、岩石や地層が動かされた結果の産物である。そこに働いた営力の違いによって、形成された地形も違ったものになっている。
- ④ しかも、このような地形変化は、長期間にわたって間断なく続いているので、地形の生成履歴や開析の度合いに、構成地形のその後の侵食の具合など、営力の働いた時間（絶対時間）や地表構成物の形成の新旧（相対時間）などが示されている。

特に②、③、④に示したように、地形は地質情報（属性情報）や地表現象の履歴（近い過去に起きた地質現象＝営力）などへ読み替えることができる点を忘れてはならない。

地形を読むのは、医者が患者の体格・体形・皮膚の状態・顔色などをみて、その人の健康状態や性格・精神状態・過去の病歴などを読みとる望診（視診）に似ている。人間の外形が内面のすべてを表すわけではないが、有能な医者はそこから多くの情報を得て、それらを基にさらに必要な検査やそれにもとづく診断を試みて、目前の患者の問題点を探る。地形を読む力を養うための総合的教科書として、今村による書籍³²⁾が参考になる。

4.2.6. まとめ

地盤構造物は、地盤を母体として人工物を組み合わせた複合構造体であり、その設計に際しては、地盤の構造をどこまでの確に解明できるかが設計の良し悪しを決め、施工の成否を分けるといっても過言ではない。

地盤構造物の設計を行うためには、地盤の構造を図面として表現する必要があり、従来、土木地質図というものが作成されてきた。

しかし土木地質図について、地質技術者と地盤技術者が持っている理解は必ずしも一致しているとは言いがたい。地質図との区別があいまいな地質技術者や、土木地質図を十分判読できない地盤技術者がいる上、両者が共通理解する土木地質図のあり方も明確ではない。

応用地質学と地盤工学の協働が言われて久しい。両者が共通理解できる土木地質図のあり方を明確にして、それを協働して作成し、利用して地盤構造物の設計・施工を行うようなシステムをつくっていくことが求められている。

4.3. 地質調査報告書のあり方

4.3.1. はじめに

設計施工に支障をきたした事例から見えてくることは、地質調査報告書の内容が不十分で、地質構成・構造の誤り、地すべり地形や土石流危険個所の見逃しなどがある。一方、地質調査報告書でこれらに対する適切な指摘・報告がなされていないながら、設計施工に生かされていない場合がある。前者は地質技術者の教育問題を含む技術レベルの問題であり、後者は地質調査報告書の内容（特に地質リスク）を設計施工技術者に理解しやすい形で示す工夫が必要な問題と思われる。

これらの点を考慮して、以下に地質調査報告書のあり方、特に地形地質の報告内容について検討した。

4.3.2. 地質調査報告書の構成と問題点

一般的な地質調査報告書の構成は、以下のようなものである。

- 1) 調査概要（調査目的、内容、数量、期間、担当者など）
- 2) 地形地質（資料調査、地表地質踏査）
- 3) 詳細調査結果（ボーリング、原位置試験、物理探査、室内試験など）
- 4) 検討・解析（地質リスクと対応策）
- 5) まとめと課題
- 6) 後続調査計画

地質調査に際して地質リスクを明らかにするために求められる姿勢は、次のようである。

- ① 地形地質の見方としては、形成過程などの時間軸を考慮する態度（動的に見る）が求められる
- ② 地盤を「i 地質・土質（工学的性質）」、「ii 地形」、「iii 営力（災害現象など）」の3つの概念を含んだものと見る
- ③ 調査対象の周辺を含んで広く面的（二次元的）あるいは立体的（三次元的）にとらえる

地質調査には、概査レベルの地形地質踏査、ボーリング1本の建築基礎調査などの小規模なものから、トンネル、ダム、高速道路土工などを対象にした大規模なものがある。この規模の大小にかかわらず、報告書構成内容の「2）地形地質」に関する資料調査や地表踏査による情報収集が重要である。地形地質調査がしっかりと行われていれば、ボーリング調査等の詳細調査では、その精度をさらに上げることができ、適切な検討や解析により地質リスクを示すことにつながる。

しかし調査項目に入っていない業務もあって、地形地質に関する記載等のない報告書、あるいは設計施工に対する有益な地形地質情報が全くない報告書がある。

少し古い資料であるが、日本応用地質学会応用地形学研究委員会では、多数の地質調査報告書を調べて、図を含めた地形記載が報告書本文に占める割合が3%であることを示した。これは報告書本文50ページに対して1.5ページに過ぎず、内容としても前書き程度で質がないと指摘している（ただし活断層調査を除く）³³⁾。

このような状況の中で、2009年に改訂された(社)日本道路協会の「道路土工 切土工・斜面安定工指針」では、予備調査に重点が置かれ、「第3章調査」には44ページのうち29ページを割いて、地形地質に関する資料調査や地表地質踏査の留意点が示されている³⁴⁾。

日本応用地質学会では、地形情報の活用を促すため、応用地形学研究委員会（常設委員会組織として現在は応用地形部会）を組織して20年以上活動を続けてきたが、このような状況は、今後、改善が望まれる状況と言える。

4.3.3. 地形地質の調査結果

(1)地形の判読

地質調査報告書の地形説明の多くは、調査位置図程度の内容であって、空中写真判読が行われておらず、判読結果があっても陳腐なりニアメント図程度であり、工学的に有用な地形情報がほとんど盛り込まれていない。

地形を分類することによって、地盤の性状や自然災害に対する危険性を推定できる。例えば、地形区分をすることによって、次のようなことを示すことができる。

- ① 自然堤防は河川の氾濫で拡大・縮小する微高地であるので浸水に対し比較的安全な土地とされながら、大洪水では浸水する土地である。
- ② 旧河道や後背湿地は軟弱地盤であることが多く浸水しやすい土地である。
- ③ 沖積錐は土石流で形成された地形で土石流の被害を受けやすい土地である。
- ④ 崖錐は落石・崩壊で形成された地形で落石や崩壊の危険性が高い土地である。
- ⑤ 地すべり地形は過去に不安定化した斜面で今後も地すべりの恐れのある土地である。

これらの地形分類の基本は、縮尺 1/25,000 地形図の読図や空中写真を判読して広域に行うべきで、建物の調査ボーリングでも数キロ四方の範囲について行うことが望ましい。この資料調査結果に基づき、現地踏査では、地形分類や崩壊箇所などを確認して精度を上げていく。

地形学の鈴木隆介中央大学名誉教授は、土木学会誌（2012年1月）³⁵⁾の中で「新幹線車両基地のような広い面積を要する施設を、集落のない安価な水田地帯で不良地盤の地形種に選定する場合には、その維持管理に多額の経費を要するのは必定」と述べており、2019年の千曲川洪水による長野新幹線車両基地の浸水被災を予知している。

十分な地形情報を得なかった結果、工事中の手戻りや大幅な設計変更が発生したものとして、次のような例があげられる。

- ⑥ 上信越道の日暮山トンネル（施工中の切羽崩壊と大陥没）
- ⑦ 徳島外環状道路の法花トンネル（古期地すべり移動層の掘削）
- ⑧ 和歌山市の建設中の道路盛土の崩壊（集水斜面に建設中の道路盛土の降雨時の崩壊）
- ⑨ さいたま市の軟弱地盤の沈下（河川改修で周辺家屋の不同沈下）
- ⑩ 高松道の南唱谷トンネル（土被り 40m の切羽で軟弱地盤が出現）

地形図を基にした地形判読例³⁶⁾を図 4.15 に示し、地すべり地の踏査結果図³⁶⁾を図 4.16 に示す。

図 4.15 は、道路沿いの土砂災害危険箇所を抽出する目的で行った地形検討で、図示するように土石流や崩壊に関係の深い次の地形要素が示されている。

「遷急線」、「0 次谷」、「遷緩線」
「土石流扇状地」、「線状凹地」

このような地形判読図は、地形図や空中写真をもとに作成することができ、資料調査のみで地域の土砂移動現象を明らかにすることができる。

図 4.16 は、地すべり変動が発生した斜面の踏査結果図であり、頭部の引張り亀裂や陥没帯、側面のせん断亀裂、末端部の圧縮亀裂が示されている。

図 4.17 は、地すべりによりトンネル変状が発生した斜面の調査結果³⁶⁾であり、この程度の図でも有用な場合はあるが、地すべり範囲の決定根拠がわからず対策設計に支障することが多い。地すべり範囲の

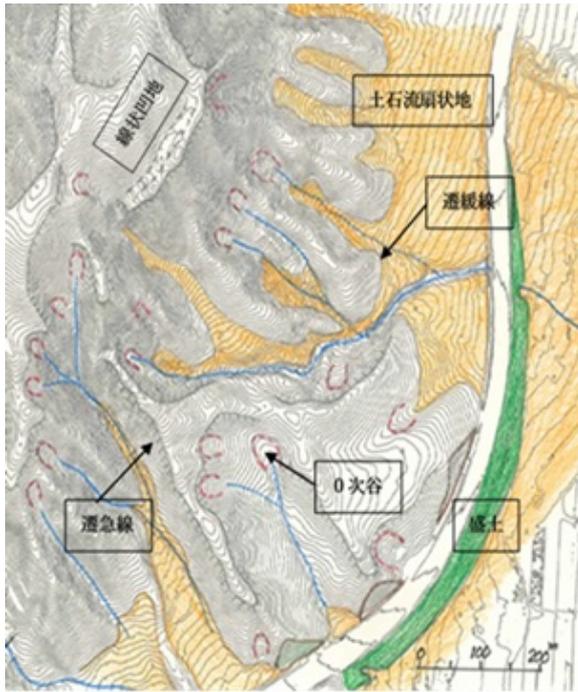


図 4.15 地形判読図の例 (参考文献 36)

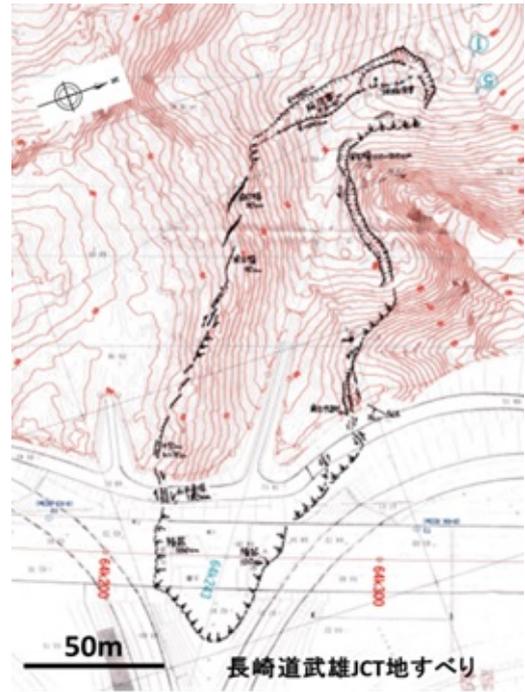


図 4.16 地すべり地の踏査結果図の例 (参考文献 36)

誤りは、重大な手戻り等につながるので図 4.16 のような図を成果にすべきである。

資料調査で参考になる以下の各種資料は、居ながらにして無料で電子データが入手可能になったので、迅速な地形判読などができるようになった。

- ・ 防災科学技術研究所「地すべり地形分布図」
- ・ 国土地理院「地理院地図」、「空中写真」、「治水地形分類図」、「土地条件図」

また、地形情報を得るための技術力向上の参考書籍としては、次のようなものがある。

- ・ 1/25,000 地形図を広域に読図して記載する
→鈴木隆介「建設技術者のための地形図読図入門 (1~4)」古今書院³⁷⁾
- ・ 空中写真を判読して記載する
→応用地質学会「応用地形セミナー空中写真判読演習」古今書院³⁸⁾

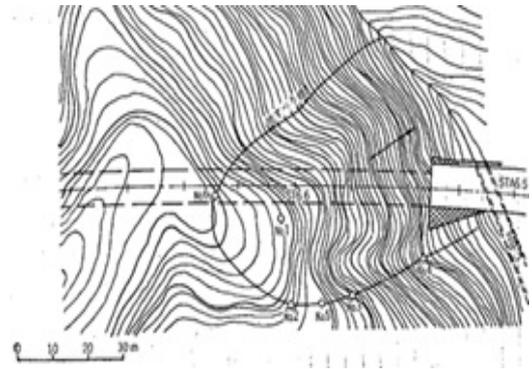


図 4.17 地すべり地の決定根拠の例 (参考文献 36)

(2)地質図と記載

地質調査報告書の地質説明には、小縮尺の地質図を添付した、地質時代と地質分布・構造・断層などの理学的な広域の説明程度で、報告書の飾りのようなものがある。工学的に有用な地質情報は、地質分布・構造・断層位置などに加えて、風化状況や節理等の割れ目の状態 (物性)、湧水 (地下水)、さらには地すべり・崩壊・崖錐・沖積錐・軟弱地盤等の分布等を示すことによって、地質リスクの検討資料とすることにある。

地質情報の不足によって難工事になった事例として、以下の2例があげられる。

①東海道線の丹那トンネルの施工（7.80km）

＜工事期間（1918～1934年）、犠牲者 67名＞

これはボーリング調査技術が日本に導入されたころの古い事例であるが、火山岩分布地域での地質分布・構造・断層破碎帯の位置等の把握が不十分な状態であったため、施工中に断層破碎帯や熱水変質帯に遭遇して突発湧水や強大な地圧の影響を受け、難工事になったものである³⁹⁾。

②上越新幹線の中山トンネルの施工（14.83km）

＜工事期間（1972～1982年）＞

丹那トンネルと同様に、火山岩分布地域の複雑な地質分布や地質性状に対して十分な調査を行わないままに着工を急いだため、不整合面からの大湧水でトンネルが水没したことや強大な地圧の作用により、近代化されたトンネル施工が難工事になったものである。この対応策として、湧水箇所を回避するルート変更（急曲線の挿入）が行われたため、供用後も列車の減速を強いられている。上越新幹線工事誌の巻頭言で、当時の仁杉巖国鉄総裁は、難工事の原因は地質調査が不十分であったためと明言している⁴⁰⁾。

基本的な地質情報として下記の基礎資料を基に、地表地質調査と少数でもボーリング調査を行い、得られる情報を示すことが望ましい。

- ・ シームレス地質図、地質図（縮尺 1/5 万ほか）
- ・ 地方地質誌等の書籍、論文等

ただし、地質調査の目的として工学的情報を得ることを重要視するあまり、理学的な地質分布・構造などの調査がおろそかになって基本の地質図の正確さを欠くと、施工ミスリードにつながることもある。

地形地質踏査の結果から作成される地質図は、工事調査報告書の事例などでは精緻な図が作成されず、地質分布や構造の誤った例が散見される。この理由は、わが国の地質構造が複雑であることに加えて、地質技術者の野外での踏査技術力の低下があげられる。地形地質踏査には斜面を歩き回る体力と、露頭および細部構造や転石などの散在した情報から周辺地質を見極める能力が必要である。

地形地質踏査の情報量の差により異なった地質図が作成された例⁴¹⁾を図 4.18 に示す。地質図 a は、密な踏査により露岩や転石の地質を詳細に確認したものである。一方、地質図 b は沢沿いを主体に露岩の地質を確認したものである。地質図 b は露頭情報が少なく、地質境界に推定部分が多い。一方、地質図 a は、調査域全体で網羅的に露頭分布を

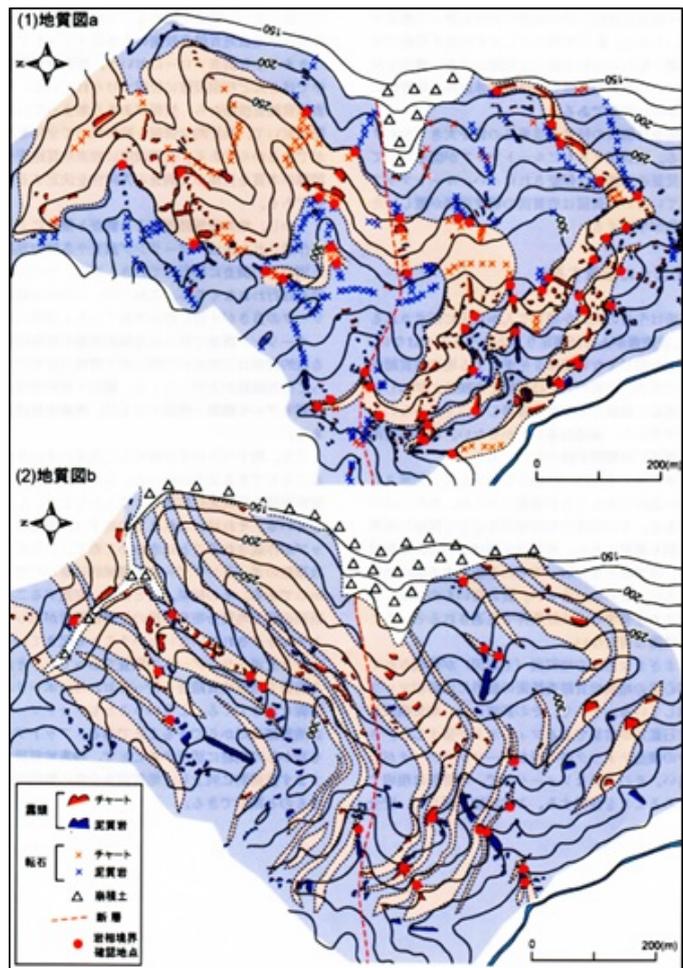


図 4.18 地形地質踏査の情報量の違いで異なる地質図の例（参考文献 41）

伝えており、地質境界が高い精度でとらえられている。両者の地質分布や構造は大きく異なった解釈を招き、地質図 b は、踏査情報が不足しているため、結果的に誤った内容になっている。

地すべりを対象にした地質断面図では、工学的考察が先行するためか、図 4.19 のような基盤岩（不動地盤）と地すべり土塊（移動層）に区分する例⁴²⁾が多くみられる。地すべりの断面構造が単純化して示され、作成が簡単で理解も得られやすいためと考えられる。しかし、これでは地すべり発生の地質素因を基にした移動機構を説明する断面図にはならない。

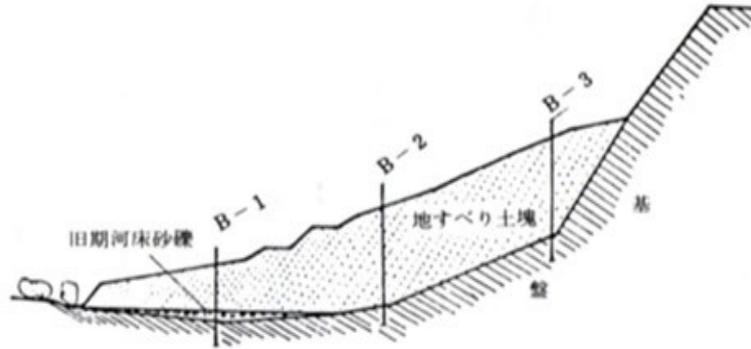


図 4.19 地質構造が不明な地すべり断面図の例（参考文献 42）

地すべり断面図でも図 4.20 のような地質分布を明らかにすることで、流れ盤構造の地質素因や頭部陥没帯の亀裂密集部に表流水が流れやすいことが読み取れ、地すべり移動機構を推定することができる⁴³⁾。その結果から地すべりの安定対策方針を立案できるようになるため、地質分布と構造が分かる断面図を作る必要がある。

以上に述べたような地質分布・構造のわかる地質平面図や断面図の作成には、地質技術者による丁寧な地表地質踏査が必要である。

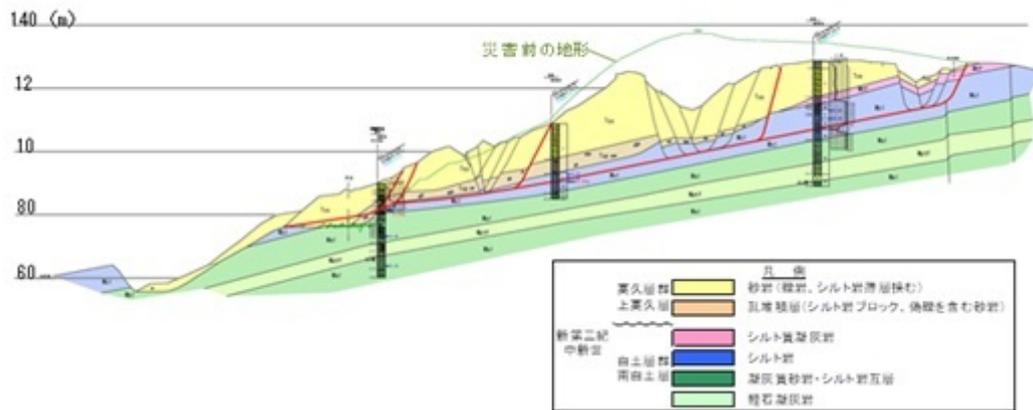


図 4.20 地すべり地質断面図の例（参考文献 43）

(3)調査結果の報告

地質調査報告書には、結論としての 1 種類の地質構造や生成履歴が記載されているのが一般的である。しかし、地質構造やその生成履歴の推定が仮説である以上、採用された仮説に対していくつかの対立した仮説が存在したはずであり、記載された地質構造や根拠は、それらの対立仮説を比較して技術的に最

善のものとして選択されたものと考えられる。通常、対立仮説、例えば事前に調査された地質履歴のようなものが提示されることは少ないが、地盤・地質リスクマネジメントという観点からいえば、対立仮説の可能性を具体的に提示しておくことは、各施工区間に着手する際により良い設計・施工を可能にする有効な情報となり得ることがあるため、その観点から次の事例は大変参考になる。

スイスアルプスを貫くレッチェルベルクバシストンネル（L=34.6km）では、衝上地塊群の地質構造の解釈が設計・施工上からも問題となった。当初段階では、地表踏査と数本のボーリング調査により地質構造を推定せざるを得なかったため、地質技術者は、問題となる諸地層が比較的広く出現すると予想する

悲観的診断と限定的な分布と考えた楽観的診断による2通りの図面類を作成したという⁴⁴⁾。図 4.21 は、その一部区間のトンネル施工高さ付近の地質分布を簡単に示したものである。ここでは対立仮説として施工時に難渋することを予想し、問題となる地層分布の不確実性の変動幅を提示している点で注目に値する。

4.3.4. まとめ

地質調査報告書の作成にあたっては、調査地の周辺を含めた広い範囲について資料調査により地形地質情報を得た上で、地形地質踏査を行い現地の地形地質の詳細を把握すべきである。地形図の読図や空中写真の判読による地形分類の実施や、地質図や断面図の正確な表現は、地質リスクに関する適切な検討を可能や後の検証材料として活用できることから、地盤技術者にとっても受け入れやすい報告書となる。

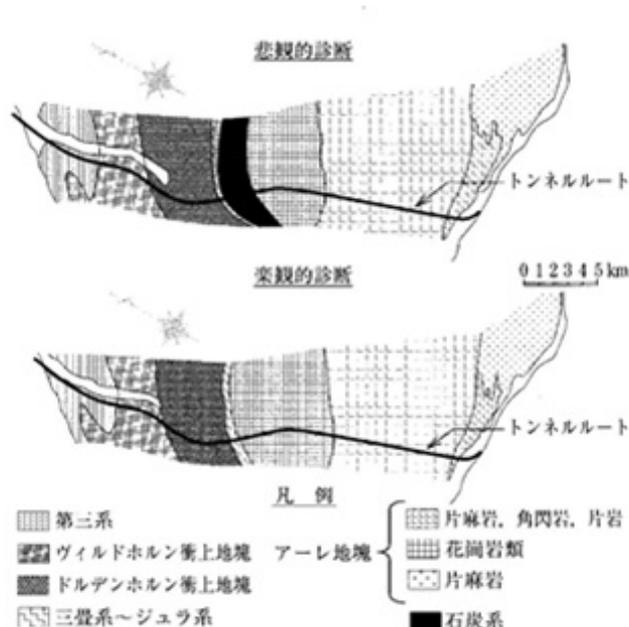


図 4.21 2通りの地質構造の診断例（参考文献 44）

4.4. 地質学的要因が設計施工に与える影響

4.4.1. はじめに

本節では、本 WG 活動の一環として収集した、地質・地盤のトラブルやトラブル対処の事例、あるいは事前の対処によりトラブルを回避できた事例をまとめる。表 4.6 は、収集事例の一覧である。これらの内容は、大きく以下のように分類できる。

- ① 地質調査不足が施工中の変状や崩壊をもたらした事例
- ② 施工中に地質想定と実際との乖離が判明し対処した事例
- ③ 地質リスクに対して設計段階から適切に対処した事例

表 4.6 収集事例の一覧

No.	S/N	ファイル名	作成者
1	011	長期間変形が継続する軟弱地盤上の高速道路	横田 聖哉
2	012	紀勢線太古地区改良工事の例	宮田 和
3	013	スリランカでの高速道路建設における軟弱地盤対策工を対象とした技術的・契約的対処	石井 裕泰
4	014	地質構造の推定精度の影響についての検討事例	栗原 則夫
5	016	関東地方の土留め工のトラブル 根入れ部地盤の調査不足によるトラブル	田中 耕一
6	019	東北地方の土留め工のトラブル 基礎地盤の熱水変質によるトラブル事例	田中 耕一
7	022	白岩砂防右岸斜面補強工事の調査・設計・施工	末岡 徹
8	-	上信越道日暮山トンネル 1 期線工事と 2 期線工事の地質断面図の違い	上野 将司
9	-	八柳橋新設工事に伴う橋脚基礎の不等沈下	上野 将司
10	-	徳島外環状道路・法花トンネルの地質断面図の誤り	上野 将司

4.4.2. 地質調査不足が施工中の変状や崩壊をもたらした事例

横田委員の報告は、高有機質土が厚く堆積する軟弱地盤上の盛土において、当初の地質調査によって想定された基盤面と実際の基盤とが大きく異なったことにより、施工中に大きな側方変位が発生した事例である（図 4.22）⁴⁵⁾。

また、栗原委員の報告は、地下鉄工事の地中連続壁が施工中に崩壊した原因の論文紹介である。この論文では、地中連続壁が足元をすくわれるような状態で崩壊していることから、事故後の地質調査データの再精査によりおぼれ谷地形の存在が明らかになり、かなりの延長にわたって連続壁の支持層への根入れが不足していたことが原因であると指摘されるとともに、当該地のようなおぼれ谷地形の軟弱地盤では、地質調査時点で十分な本数のボーリングを行い、谷底地形を正確に把握しておくことが重要であることの教訓である。田中委員の報告は、沖積層を対象とした土留めにおける施工中の変状事例であり、施工前の段階で、硬質地盤の出現深度の若干のずれが土留めの根入れ部の安定に大きな悪影響を与えうること、また硬質地盤の出現深度には不陸の可能性があることを認識したうえで施工管理を行う必要があることを指摘している。

上野委員の「上信越道日暮山トンネル」に関する事例は、地質リスクを客観視し総合的に判断することの重要性を示すものと言える。1 期工事で断層破碎帯や膨脹性地山に起因する内空変位、切羽崩壊、突発湧水に見舞われた経験が 2 期目工事に受け継がれた。しかし、断層破碎帯では崩落と土砂流入を阻止できず、土被り厚 130m を介した地上に陥没を生じさせる結果となった。この現場ではさらなる調査により、大規模な地すべりの存在が明らかとなり、その移動原因と理解された高水圧貯留層に対する排水対

策が変状鎮静化に寄与し、2期工事の完成に至った。上野委員の見解として、1期工事の経験により2期工事では膨脹性地山対策に注意が注がれ、大規模地すべりの存在可能性に対する配慮と対処が不足していた可能性が指摘されている。

あわせて上野委員の「八柳橋新設工事」、「徳島外環状道路・法花トンネル」に関する事例は、いずれもボーリングコア調査における知識・技量の重要性を指摘するものと言える。文献や踏査で得られる地質・地形情報に基づき古期地すべりや介在泥質堆積層の存在可能性を予見できたであろうこと、それらによりボーリングコア調査で留意すべき観察・確認項目、ひいては地質調査で網羅すべき事項が明らかにできたであろうことが事例を通じて示されている。

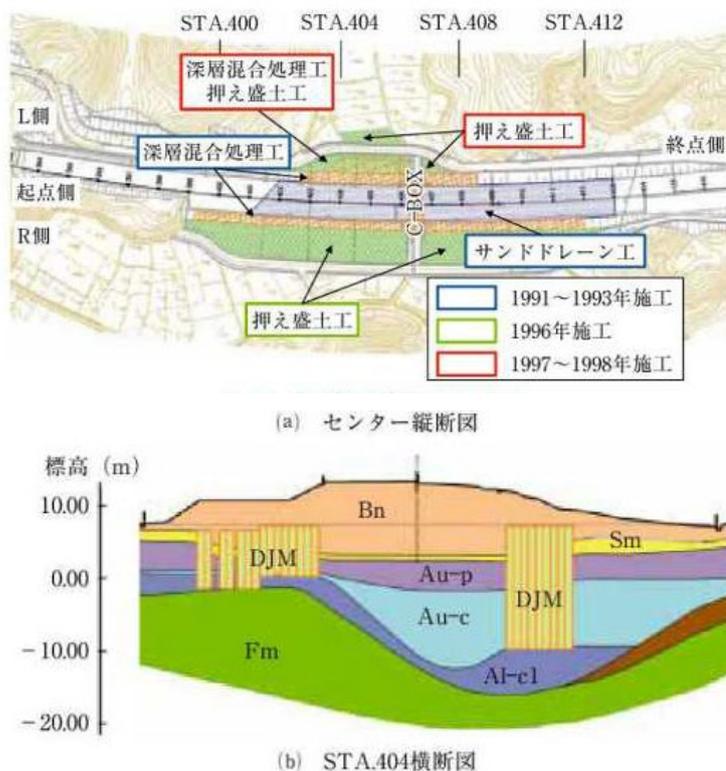


図 4.22 収集事例の抜粋（長期間変形が継続する軟弱地盤上の高速道路，参考文献 45）

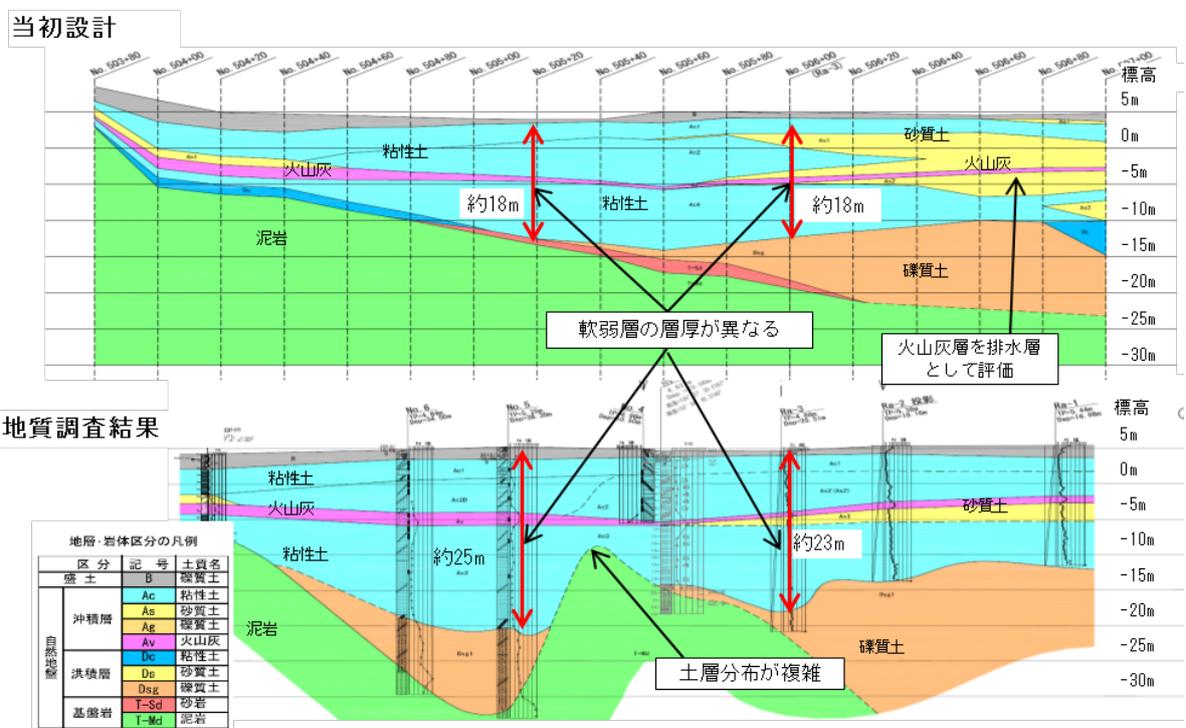


図 4.23 収集事例の抜粋（紀勢線太古地区改良工事の例，参考文献 46）

4.4.3. 施工中に地質想定と実際との乖離が判明し対処した事例

宮田委員の報告は、軟弱地盤上の盛土工事において、想定 of 軟弱層の厚さと地盤改良深度とが乖離していたことを受け、追加調査を実施し沈下対策工の再設計を実施した事例である（図 4.23）⁴⁶⁾。

また、田中委員の報告は、構造物構築工事の土留め掘削において、掘削床付け面付近で熱水粘質により基礎地盤としては不適な地質が出現したことにより、2 段土留めによる追加掘削が必要となった事例である。地質工学の基礎的な知識があれば、土留め杭施工中の掘削ズリから将来のトラブルを予見できた可能性があることを指摘している。

4.4.4. 地質リスクに対して設計段階から適切に対処した事例

末岡委員長報告は、国交省として初めての設計・施工一括発注建設プロジェクトの事例である。全ての責任が受注者側にある中で、風化花崗岩の既設斜面補強に対して、岩盤の風化程度の調査と評価、および代替え案を含む設計案をいかに考え最適な斜面安定工法を立案・適用するかが重要であることを示している。

また、石井委員の報告は、海外高速道路建設プロジェクトにおける軟弱地盤上の盛土工事において、地質リスクに対して発注者・施工者の責任分担を明確にした工法選定スキームと、それを前提とした契約形態が採用された事例である（図 4.24）⁴⁷⁾。

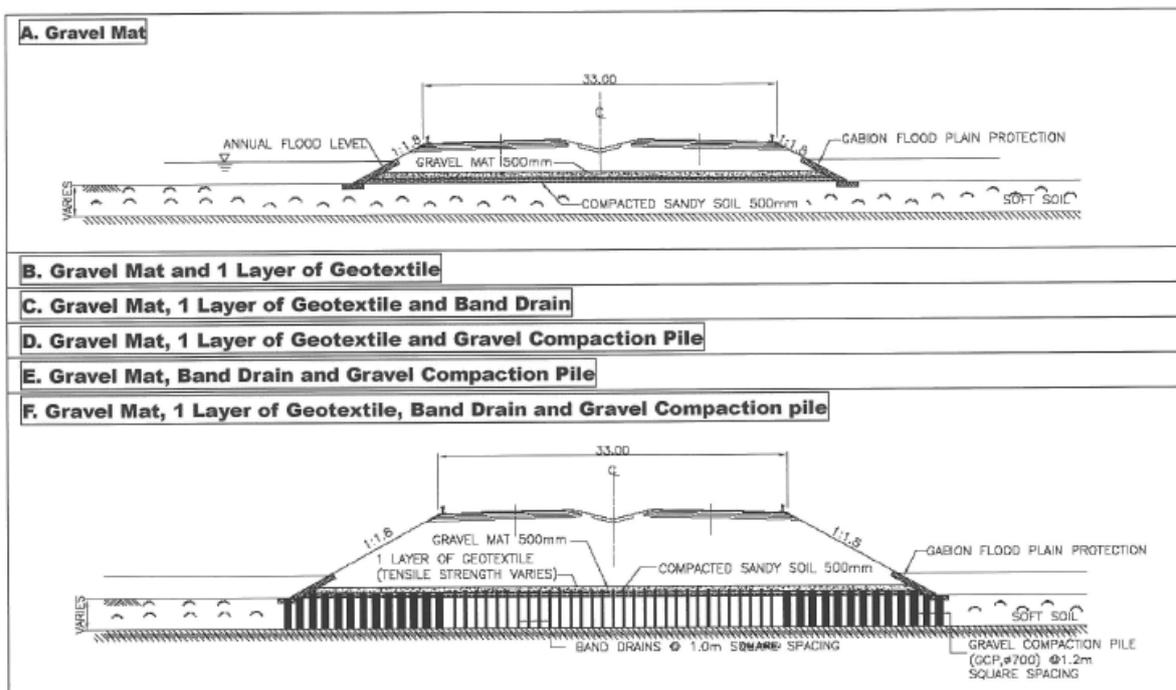


図 4.24 収集事例の抜粋（高速道路建設における技術的・契約的対処，参考文献 47))

4.4.5. まとめ

以上の整理は、当 WG 活動の範疇で抽出した限定的な事例に留まるが、本節のような 3 分類の観点にて整理にあたるのが知見の体系化に有効であろうと思われる。他の膨大な事例についても、必要に応じて新たな分類を追加した上で整理にあたるのが、地質・地盤の融合・協働を推進することに有効であろうと考えられる。

4.5. 地質リスク評価方法について

4.5.1. はじめに

プロジェクトの予算や工程に影響を及ぼす地盤リスクへの対処として、リスク要因を工学的・定量的に明らかにし、リスク情報を分かりやすくまとめ関係者で共有すること、さらにその情報を適切に分析し意思決定に役立てることが重要である。本節では、まず、リスク項目を特定しその調査・分析にあたった方法例として「①砂防堰堤斜面補強での取組み」^{48),49)}および「②高台敷地造成での取組み」の2点を紹介する。次に、リスクマネジメント・情報共有を概観するとともにそれらの在り方について一考察を示す。さらに、本WGとして地質評価方法の再整理と、本WGによる観点でのあるべき方向性を提示する。

4.5.2. 地質リスク評価の方法例 | ①砂防堰堤斜面補強での取組み

(1)取組み概要

- ・ 常願寺川上流に60年前に建設された白岩砂防堰堤は、老朽化が激しく、特に右岸斜面の花崗岩の表層風化が進んでいた。
- ・ 砂防堰堤基盤の風化の進展は、白岩砂防堰堤の堤体構造、および砂防機能の維持に重大な障害を及ぼす懸念があった。仮に、白岩砂防堰堤が決壊した場合には、崩壊流出土砂が富山平野を覆い、市民生活や経済活動に大きな影響を及ぼすことが予想された。
- ・ 一方で、本砂防施設は国立公園内地域にあることにより、砂防堰堤の保全・改修工事では景観保護が必要不可欠であった。
- ・ そこで、一般的な保全・改修工事での方法・工法に代わり、グラウンドアンカーを活用した岩盤斜面補強法を採用した。(図 4.25 参照)

(2)地質リスク評価

- ・ 本プロジェクトは、国土交通省として初めての設計・施工一括発注方式の建設プロジェクト(第一号案件)であった。
- ・ 設計・施工責任は受注者側に課されたことから、受注者が自らの裁量にてプロジェクトリスクの管理・評価にあたった。
- ・ 当該箇所は、花崗岩の風化岩盤斜面であり、リスク管理・評価の一環として、岩盤の風化程度をボアホールテレビにより調査する方法を採用した。
- ・ これに基づく風化程度の評価を判断材料に、アンカー仕様や配置に関する設計案を複数考え、景観への影響を最小限に抑えた斜面安定工法の最適化にあたった。(図 4.26 参照)

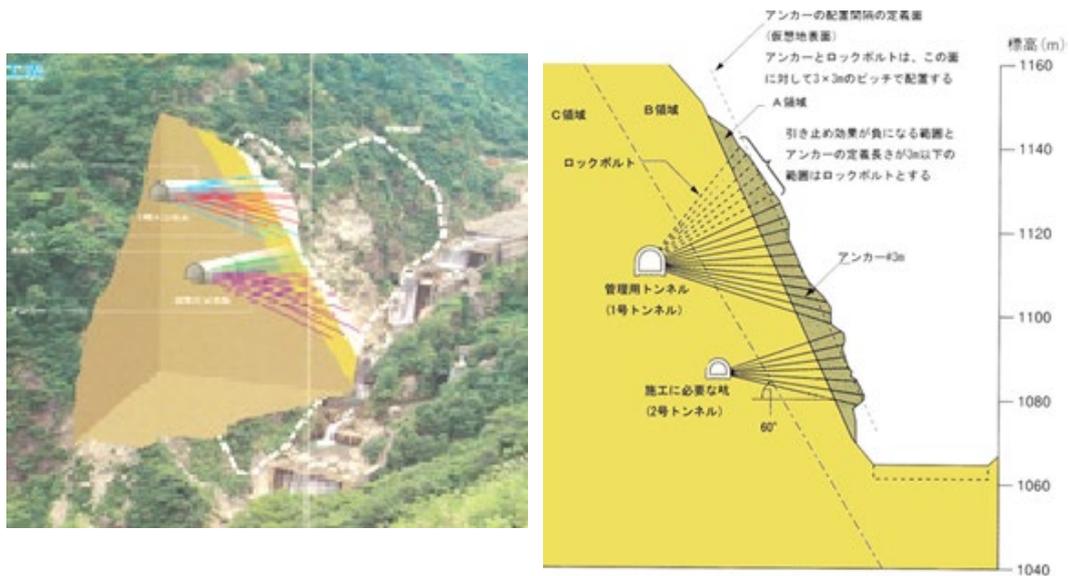


図 4.25 アンカーを利用した補強方法（断面図，参考文献 48）

		a 案	b 案	c 案
比較案の概要		<ul style="list-style-type: none"> 2本の横坑 B領域からの距離を2.0D以上確保した平面計画 	<ul style="list-style-type: none"> 2本の横坑 a案よりB領域に1.0D程度まで近づけ、アンカー延長を削減 	<ul style="list-style-type: none"> 「帯状の池」崩壊対策を参考にし、1本の横坑と3本の立坑の組み合わせ
施工数量	トンネル延長	$L_1=175\text{m}, i=\text{LEVEL}$ $L_2=211\text{m}, i=-7\%$	$L_1=180\text{m}, i=\text{LEVEL}$ $L_2=220\text{m}, i=-7\%$	$L_1=136\text{m}, i=\text{LEVEL}$ $L_2=0$
	立坑延長	$H=0$	$H=0$	$H_1=30\text{m}$ $H_2=50\text{m}$ $H_3=90\text{m}$
	アンカー延長	24,750m	18,880m	22,280m
工期		30か月	25か月	31か月
経済性	トンネル・仮設費	0.98	1.00	1.26
	アンカー工	1.24	1.00	1.19
構造	平面図			
	横断面			
総合判断		<ul style="list-style-type: none"> トンネルと崖面との距離が十分あり、構造の問題はない。 工期、経済性で不安。 	1案より避難。	<ul style="list-style-type: none"> 立坑の形状を雛型にすれば、アンカー長を短縮できるが、工期が増加する可能性あり。

図 4.26 リスク評価に基づく補強方法の案出（参考文献 49）

4.5.3. 地質リスクの評価方法例 | ②高台敷地造成での取組み

(1)取組み概要

- ・ 東日本大震災の津波によって壊滅したT地区の高台移転先としての敷地造成工事において、軟岩である砂質粘板岩の計画想定範囲に中硬岩・硬岩である砂岩層が現れた。
- ・ これより、地質リスクとして、岩盤判定に係わるリスク（工程遅延、コスト増大）ならびに岩盤掘削に係わるリスク（環境、安全、工程遅延、コスト増大）に着目した。
- ・ その対処として追加調査ボーリング、岩盤状況の精査の実施ならびに地質リスクマネジメント法を考案し、独自に提案した岩盤判定基準と岩盤掘削工法を活用して、地質リスクを回避しつつ工程短縮、コスト縮減を達成した。（以上、図 4.27 参照⁵⁰⁾

(2)地質リスク評価

- ・ まずリスク評価に必要なデータ収集分析に際して、岩盤判定に係わるリスクに着目した。岩盤の軟岩・中硬岩・硬岩の判定基準は、社団法人日本道路協会の道路土工要綱⁵¹⁾で、岩盤の亀裂間隔と弾性波速度によって区分されている。また他の岩盤等級基準では、一軸圧縮強度にて軟岩、中硬岩、硬岩が区分されている⁵²⁾が、客観的に判定するには一軸圧縮強度試験や原位置での簡易弾性波速度試験を通して物性値を求める必要があった。
- ・ これらの従来法を踏襲し、発注者の検査官が指定した箇所から岩石のコアをサンプリングし、一軸圧縮試験を行い、硬軟を判定しては結果が出るまでに時間と費用がかかる。これは、工程遅延リスクならびにコスト増大リスクにつながることを意味することから、シュミットロックハンマー反発値による岩盤の強度とロックハンマーの打撃検査を併用した岩盤判定基準案を考案した。
- ・ あわせて、岩盤掘削作業に係わるリスクに着目した。シュミットハンマー、ロックハンマーでの判定から、出現した砂岩の新鮮部では多くの硬岩の存在が認められた。掘削作業に際しては当初使用を想定したリッパ付きブルドーザによる掘削は、騒音・振動等に関わる環境・安全面での懸念が大きく⁵³⁾、結果的に工程遅延可能性とコスト増大リスクを伴うものと判断された。
- ・ これらのリスクを最大限に回避することを念頭に、代替掘削法として油圧割岩機工法と蒸気圧破碎材工法について比較検討した。結果として、経済性に優れた後者が最適であると判断し、発注者への提案と了承を経て採用した。（表 4.7 参照）
- ・ 以上のような岩盤判定・岩盤掘削に着目したリスク評価にあたり、その結果を施工の実践に反映した。従来法や当初計画との技術的・経済的比較を通しては、明確な効果を確認することができた。

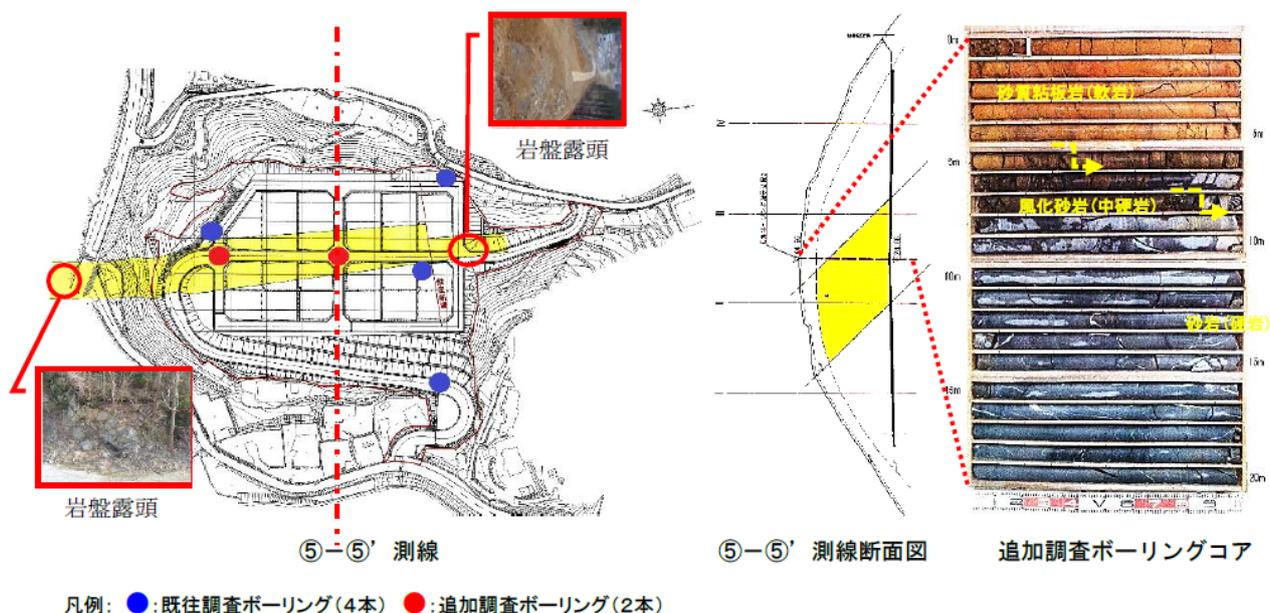


図 4.27 岩層推定 (参考文献 50)

表 4.7 代替岩盤掘削工法の比較 (参考文献 50)

工 法	油圧割岩機工法	蒸気圧破碎剤工法
工 法 概 要	  <p>破碎状況</p> <p>大型クローラードリルで岩盤に削孔したφ100mm穴に、油圧クサビをバックホウで吊り下げ入れ、油圧でクサビを押し広げることにより割岩していく工法。</p>	   <p>クローラードリルによる削孔</p> <p>蒸気圧破碎剤</p> <p>破碎状況</p> <p>岩盤をクローラードリルで削孔した孔に、カプセル状の蒸気圧破碎剤を装填し、着火具により反応させ蒸気化したガス圧による引張応力で岩盤を破碎する工法。</p>
環境リスク (周辺への適用性)	△ : 削岩機による連続した騒音が発生	○ : 発破よりも騒音・振動が少ない。
安全リスク (施工場所への適用性)	× : 使用施工機械が多く、狭小な施工ヤードでの施工は困難	○ : 小規模な施工ヤードでの施工が可能
工程遅延リスク (施工能力)	△ : 中硬岩84m ³ /日、硬岩48m ³ /日	○ : 中硬岩112m ³ /日、硬岩61m ³ /日
コスト増大リスク (施工単価)	× : 中硬岩9,200円/m ³ 、硬岩15,000円/m ³	△ : 中硬岩8,300円/m ³ 、硬岩13,000円/m ³
総 合 評 価	×	○

4.5.4. 地質調査マネジメント・情報共有についての考察・提案

(1) これまでの地質・地盤リスクマネジメント事例

- 地質・地盤リスクマネジメントの事例は、例えば土木研究所による調査検討業務報告書にまとめられている。このうち、大方のものが施工に入る前の調査・設計段階までのものに該当するように見受けられ、施工や維持・補修までを通した実践例がこれまで限定的であったことを示唆する。(表 4.8 参照)
- また、リスクマネジメントの効果として知識化・共有化が図られたものは、具体的には地質リスクが顕在化しそれを回避できた・低減できた事例が多い。これら以外に、維持・補修段階で効果が確認さ

れた事例や、リスクが顕在化に至らない事例、あるいは効果が明確に得られなかった事例なども、今後の知識化と共有にて補完していくことが有効でないかと思われる。

- ・ リスクが顕在化した事例としては、局所的な地盤の弱部といった予測困難な事象、地盤の不均質・不規則性、地質的解釈・工学的判断ミス、調査の質・量の明らかな不足が多い。リスクが顕在化に至らなかった事例において、調査の質・量がどの程度の水準であったかを明らかにすることも、重要であ

表 4.8 地質リスク調査検討業務の集計例（土木研究所による資料より）

No.	発注機関	発注時期	担当部・事務所	業務名称	事業対象	事業段階	業務の概要
1	北海道開発局	H28年度	苫小牧道路事務所	日高自動車道新冠町外大狩部トンネル地質リスク調査検討業務	道路	施工	日高自動車道厚賀静内道路の大狩部トンネルにて想定される地質リスク要因等の抽出・特定、リスクの分析・評価およびリスク対応方針の検討を行い、経済的で合理的な調査計画を策定する。
2	北海道開発局	H28年度	小樽開発建設部	一般国道5号 共和町外 地質調査計画策定業務	道路	予備	新規高規格道路の調査・設計段階における地質リスク検討（11.5km）
3	北海道開発局	H29年度	小樽開発建設部	一般国道5号 俱知安町外 地質調査計画策定業務	道路	詳細設計	新規高規格道路の調査・設計段階における地質リスク検討（11.5km）
4	北陸地方整備局	H26年度	新潟国道事務所	平成26年度 朝日温海道路地質調査その6 業務	道路	予備	地質リスク検討と地質調査計画策定を実施
5	北陸地方整備局	H28年度	千曲河川事務所	高瀬川左岸トンネル地質調査業務	ダム	—	高瀬ダム堆砂対策として検討するトンネル設計のために必要な地質情報を把握する
6	近畿地方整備局	H28年度	紀南河川国道事務所	すさみ串本道路西地区他地質リスク検討業務	道路	予備	新規高規格道路の調査・設計段階における地質リスク検討（13.4km）
7	近畿地方整備局	H28年度	紀南河川国道事務所	すさみ串本道路他東地区地質リスク検討業務	道路	予備	新規高規格道路の調査・設計段階における地質リスク検討（15km）
8	近畿地方整備局	H28年度	紀南河川国道事務所	紀南東部新宮地域他地質リスク検討業務	道路	予備	紀南東部・新宮地域における地質リスク項目の抽出及び検討
9	近畿地方整備局	H28年度	紀南河川国道事務所	紀南東部串本地域他地質リスク検討業務	道路	予備	紀南東部串本地域他における地質リスク項目の抽出およびそれぞれに対する対応基本方針と優先度の検討
10	九州地方整備局	H27年度	大隅河川国道事務所	平成27年度牛根地区地質総合解析業務	道路	予備	防災改良ルートへの検討（3.8km）
11	九州地方整備局	H29年度	大隅河川国道事務所	平成29年度牛根地区地質総合解析業務	道路	維持管理	道路防災検討に先立ち、斜面の地質リスクを抽出し既存調査資料を網羅した総合的な判断、見解を含む解析を行う。
12	北海道開発局	H30年度	俱知安開発事務所	一般国道5号 俱知安町 地質調査計画策定業務	道路	予備	新規高規格道路の調査・設計段階における地質リスク検討（4.3km）
13	関東地方整備局	H30年度	長野国道事務所	諏訪バイパス地形地質調査解析業務	道路	予備	新規高規格道路の調査・設計段階における地質リスク検討
14	北陸地方整備局	H30年度	新潟国道事務所	H30朝日温海道路地質調査検討業務	道路	—	既往の地質調査等の結果を精査し、今後の地質調査等の計画を策定する。
15	近畿地方整備局	H30年度	近畿技術事務所	地質リスクマネジメントに関する基礎資料作成業務	道路	—	地質リスクをふまえた事業マネジメントを目的とするマニュアルの作成に向けた基礎資料の取りまとめを行う。
16	近畿地方整備局	H30年度	浪速国道事務所	淀川左岸線延伸部地質リスク検討業務	道路	予備	近畿地整のマニュアル（案）を参考に、地質リスクの抽出及び分析・評価を行う。
17	中国地方整備局	H30年度	浜田河川国道事務所	浜田河川国道事務所管内地質リスク調査検討業務	道路	施工調査・設計	山陰道（施工中・未着工・維持管理各段階）の地質リスクマネジメント
18	中国地方整備局	H30年度	倉吉河川国道事務所	北条道路大栄地区地質調査総合解析業務	道路	予備	砂丘砂地盤上の高規格道路
19	中国地方整備局	H30年度	倉吉河川国道事務所	北条道路北条地区地質調査総合解析業務	道路	予備	砂丘砂地盤上の高規格道路
20	四国地方整備局	H30年度	中村河川国道事務所	佐賀大方道路地表地質概査外業務	道路	予備	新規高規格道路の調査・設計段階における地質リスク検討（20km）
21	九州地方整備局	H30年度	鹿児島国道事務所	平成30年度阿久根川内道路地質・法面検討基礎資料作成業務	道路	予備	新規高規格道路の調査・設計段階における地質リスク検討、調査計画立案
22	九州地方整備局	H30年度	佐賀河川国道事務所	大川佐賀道路地質地盤リスク検討調査業務	道路	予備	新規高規格道路の調査・設計段階における地質リスク検討（軟弱地盤）

ると考えられる。

- 地質・地盤リスクマネジメントに関する海外での取り組みとして、各種リスク評価・判定手法の活用やジオテクニカルベースラインレポートの運用が挙げられる（図 4.28 参照）⁵⁴⁾。地盤条件に係るリスクの定量化や、責任の所在を明らかにする仕組みの活用は海外ではより一般的で、国内での試み・展開は今後の課題と考えられる。

Probability Rating	5 – Very High					
	4 – High					
	3 – Moderate					
	2 – Low					
	1 – Very Low					
		1 Very Low	2 Low	4 Moderate	8 High	16 Very High
Impact Rating						

図-11 リスクマトリックスの例（カリフォルニア州運輸局，2012）

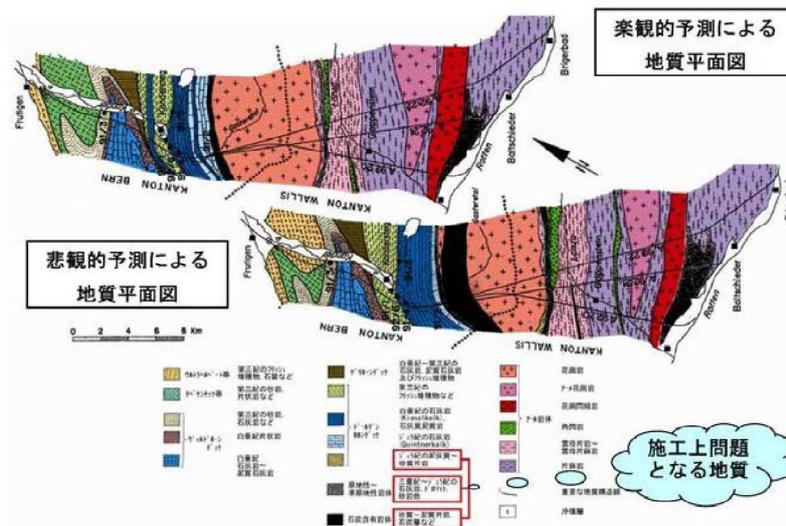


図-12 悲観的・楽観的地質解釈図の例（全地連，2007）

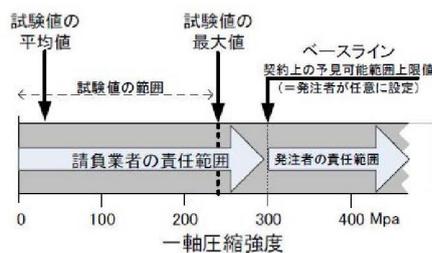


図-13 一軸圧縮強度のベースラインの例（地質リスク学会，2014）

図 4.28 海外におけるリスクマネジメント例（参考文献 54）

(2)地質調査マネジメントについての提案

- ・ 地質調査のマネジメントとしては、調査によって想定され得る地質リスクを抽出・特定し、適切な調査計画を策定し、その結果を評価し、追加調査の必要性や追加調査を実施しない場合のリスクを示すことである。海外での取り組みの導入に並び、以下のような「技術研鑽」、「体制」、「手法」の観点にて、我が国の環境・慣例・慣習を踏まえた形式を確立して言うことが有効であると考えられる。
- ・ 技術研鑽：地質調査においては、調査時のコストのリスク(予算がこれだけしかない)、調査時の技術的リスク(どのような調査内容を提案実施するのか、ボーリング調査を実施するオペレーターの腕の差、調査結果を評価する技術者の差)、地盤そのもののリスクが挙げられる。つまり、多種多様な地質リスクを把握し、それを知るための調査を提案できる技術者が必要であるが、これは技術者の知識や経験によるところが大きいいため、継続的な技術の底上げが必要である。また、これだけの調査を実施すれば、地質リスクがこの程度低減できるなどのリスクマネジメントを示し、質と量の確保(調査不足回避等)に繋げる必要がある。
- ・ 体制：発注者側は数年で担当が変わることから、事業を経年的に把握できる者がいなくなるため、発注者側に地質リスクをマネジメントできる専門家がアドバイザー、指導員とし事業に参画することは非常に有用と考えられる。ただし、責任分担の所在を明確にする必要があり、CMなどで継続的に事業を把握して、地質リスクをマネジメントする人材が発注者側に必要である。
- ・ 手法：地質リスクが専門的なものであるが、それをわかりやすく、または見える化(二次元のみならず、三次元モデルの活用)することで関係者の情報共有を図る。

4.5.5. 地質リスク評価方法の整理・方向性

(1)整理にあたっての前提

本WG、および委員会において事例を収集し地質リスクを整理していく上では、リスクの定義・対象をまとめておく必要があると考えられる。

まず、リスクとは、「将来のいずれかの時において何か悪い事象が起こる可能性」⁵⁵⁾とする。また、リスクの大きさは、「望ましくないことが起こる可能性×被害の大きさ」で表現される一般的定義を踏襲する。すなわち、リスクは確率・可能性であり、リスクの大きさは確率×被害で特定される期待値となる。

あわせてリスク評価を行う上で、何が「悪い事象」、「不都合な事象」なのかを決めておくことが、議論の共通認識を確保するのに有効であると考えられる。地質リスク学会によれば、地質に係る事業リスクがそれにあたり、特にコスト増大、あるいは事業機会損失そのものに着目する機会が多いようである。大規模な崩落・崩壊事故で死傷者が出ることや構造物の倒壊が起こることはここでは除外し、一般的なリスク評価対象として「コスト増大」を扱うことが妥当と考えられる。

(2)地質リスク評価方法

リスク評価の対象は、一般に「a) 確率(リスク) そのもの」と「b) 期待値(リスクの大きさ)」の二通りに大別され、これらの評価方法としては主に次の3つが挙げられる。

- ・ 標準正規分布を用いた方法
- ・ 再現期間を用いた方法
- ・ 二項モデルに基づく条件付き期待値を用いた方法

表 4.9 リスク評価方法のまとめ

リスク評価の種類	評価するもの	必要な情報	特徴
標準正規分布を用いた方法	確率	平均と分散	サンプル母数の多く、平均と分散が適切に設定できるものに適用される。(部材強度と限界状態など)
再現期間を用いた方法	確率	再現期間 or n 年発生率	確率は低いが重大な被害(死傷者や建物倒壊など)が起こるものに適用される。
二項モデルに基づく条件付き期待値を用いた方法	期待値	確率 or コスト	コストに関するリスク評価に用いられる(投資など)。

表 4.9 にまとめる通り、前者二つは「a) 確率(リスク) そのもの」を評価し、三点目は「b) 期待値(リスクの大きさ)」を評価対象とすると大別できる。

(3)地質リスク評価の方向性

上記のうち、期待値を評価対象とする「二項モデルに基づく条件付き期待値を用いた方法」は、損益の変化さえあればリスク評価ができる。地質リスクとして定義付けするコスト増大、あるいは事業機会損失の評価に調和すると思われる。この方法を応用して、地質リスクを評価する方法を次に提案する。

本 WG での事例調査も参考に、地質調査率 p とリスクの関係を議論する。 $0 \leq p \leq 1$ であり、 $p \rightarrow 0$ ならば何ら地質情報がないことを意味しその後の事業でコストは大方増大し、 $p \rightarrow 1$ ならば全ての地質情報が取り揃えられたことを意味し、理屈的に地質リスクはゼロとなる。よって、地質調査のされていない割合 $1-p$ がリスク(確率)に相当し、コストとの積となる期待値で地質リスクを定量化するのが適切と考えられる。

図 4.29 には地質リスク定量化のための二項モデルを示す。これは、 n ステップにおける予算率 $B_n \leq 1$ の変化を表したもので、地質調査率 p_{n-1} の事前調査によって想定している $B_n = u_{n-1}B_{n-1}$ のコスト縮減となるか、リスク側(赤字)となる $B_n = d_{n-1}B_{n-1}$ のコスト増大となるかの二項モデルである。ここで、 $d_n > 1.0$ かつ $0 < u_n < 1.0$ であり、 B_n の期待値は、

$$p_{n-1}u_{n-1}B_{n-1} + (1 - p_{n-1})d_{n-1}B_{n-1}$$

で、リスク中立となる地質調査率 p_{n-1} は、

$$B_{n-1} = p_{n-1}u_{n-1}B_{n-1} + (1 - p_{n-1})d_{n-1}B_{n-1}$$

と計算できる。

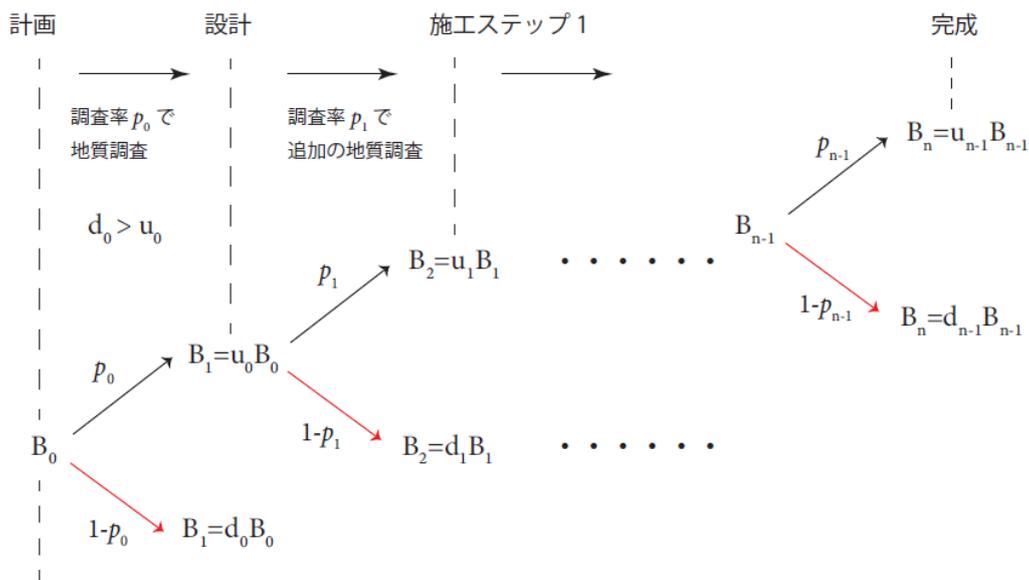


図 4.29 地質リスク定量化のための二項モデル

図 4.30 は具体例である。当初予算率 $B_0=1$ に対して、地質調査率 p_0 とした時、想定通りの計画ステップに進めた場合 $B_1 = u_0 B_0 = 0.8$ とリスク側に進んだ場合 $B_1 = d_0 B_0 = 1.3$ を示している。ここでは、 $u_0=0.8$, $d_0=1.3$ で各ステップでの場合分けのうち $1-p_n$ が該当するリスク側は赤字である。リスク中立になる確率（地質調査率）を計算すれば、

$$1.0 = 0.9p_0 + 1.3(1 - p_0) \rightarrow p_0 = 0.6$$

で、この場合、60%以上の地質調査が行われているか否かで、リスクが大きいか小さいかに分かれる。

本 WG にて試行検討にあたる上では、次のように事例調査を行えば、地質リスク $1-p_n$ を定量的かつ合理的に洗い出せるのではないかと考えられる。

- イ) 地質条件の影響で、各ステップ（建設の段階）で赤字になった事例を対象とする。
- ロ) その時の地質調査率と本来想定していたコストを調べる。
- ハ) リスク中立確率と地質調査率を比較する。
- ニ) その事例の地質・構造物の種類を確認する。

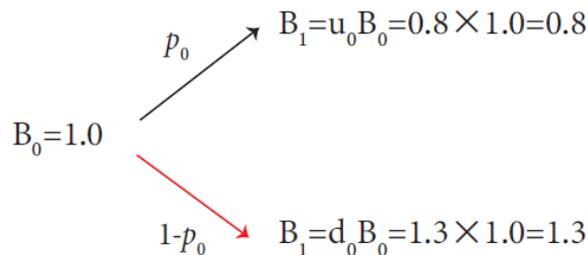


図 4.30 二項モデルによる地質評価の具体例

以上をまとめると、

- ・ リスクは悪いことの起こる確率（可能性）であり、リスクの大きさは期待値（確率×被害）となる
- ・ 地質リスクとは、地質に係る事業のコスト増大のリスクと位置付ける

と地質リスク（コスト評価）の定量化に適しているのは、二項モデルに基づく条件付き期待値を用いた方法と考えられる。本 WG での事例調査や各種考察にて、以上に基づく定量化と比較・評価が有効になるうと考えられる。

4.5.6. まとめ

以上、リスク項目の特定・調査・分析例、リスクマネジメント・情報共有事例を外観し、これらを念頭に地盤・地質リスク評価方法を検討したところ、コストを評価対象としつつ二項モデルに基づく条件付き期待値を用いた方法が適切であるとの見解に至った。今後、本委員会、WG による取組み以外にも、その適否に関する検討・検証が進められることを期待したい。

5. 応用地質学と地盤工学の協働に関わる用語の整理

本報告書において取り上げている応用地質学と地盤工学に関わる用語については、表 5.1 に示すような定義で用いている..

地盤工学用語辞典と応用地質学用語集他、参考にした用語調査結果を下記に列記する.

参考文献および出典

- ・ JISA0204 : 2019 ; 地質図-記号, 色, 模様, 用語及び凡例表示
 - ・ JISA0205 : 2019 ; ベクトル数値地質図- 品質要求事項及び主題属性コード
 - ・ JISA0206 : 2013 ; 地質図-工学地質図に用いる記号, 色, 模様, 用語及び地層・岩体区分の表示とコード群
 - ・ JISA0207 : 2018 ; 地盤工学用語
 - ・ 地盤工学用語辞典 ; 地盤工学会, 2006 年 3 月 1 日
 - ・ 応用地質用語集 ; 応用地質学会, 2004 年 5 月, 本用語集は発刊から 15 年以上が経過し、用語自体あるいは説明文が現在では修正あるいは棄却されているものが含まれているので、使用には十分に注意されたい。
 - ・ 実用 地盤・環境用語辞典 ; 山海堂, 2004 年 12 月 20 日
 - ・ 地質リスク学会 ; <http://www.georisk.jp/>
 - ・ 土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン ; 国土交通省大臣官房 技術調査課, 国立研究開発法人 土木研究所, 土木事業における地質・地盤リスクマネジメント検討委員会, 令和 2 年 3 月
 - ・ 道路土工構造物点検要領 ; 国土交通省 道路局, 平成 29 年 8 月
 - ・ ブリタニカ国際大百科事典 小項目事典
 - ・ 小学館 日本大百科全書(ニッポニカ)
- 中国地質調査業協会 HP ; <http://www.chugoku-geo.or.jp/geology/survey/013#>

表 5.1 定義した用語

No.	用語	本 WG の定義
1	地盤工学	地盤および材料としての土や岩、さらに人工的な地盤材料も含めてそれらを取り扱う学問分野.
	1-1 土質工学	土を対象とし、工学的な諸問題・現象の解明に対して、土質力学を適用する学問分野.
	1-2 土質力学	土に関する工学的問題について、土の物理化学的な性質や力学的な性質を基に、力学や水理学などの諸原理を応用する学問体系.
	1-3 地盤力学	土質力学と同義.
	1-3 岩盤力学	岩石、岩盤の材料学的性質、応力場における変形、破壊挙動などの力学的特性とその応用について研究する学問.
2	応用地質学	地質学を応用した分野を研究対象とする学問.
	2-1 土木地質学	土木構造物の建設や保守のために地質学を役立てる分野.
	2-2 地質工学	土木工学、資源工学、環境工学の分野において、地質学の知識を基に工学的問題を取り扱う学問分野.
	2-3 地質学	地球を構成する物質の性質、それらに働く諸作用、地球における生命の発生とそれ以来の生物と地球の歴史などを研究する分野.
	2-4 水文地質学	地表水や地下水のあり方を、地質との関連でとらえ研究する地質学の一分野.
3	地形学	地球表面の形態の性質、成因、将来を研究する自然科学の一分野.
	3-1 地形工学	建設工事など人間活動に対して地形学の面から研究・開発する工学分野.
4	地盤	土木・建築構造物の建設工事に関連する地球の表層部を形成する地殻の表面および表面付近のある範囲の岩石や土砂を含めた総称.
	4-1 地山	陸地の山や丘陵などの自然地盤.
	4-2 土	地殻表層構成物のうち、狭義の岩石以外の鉱物粒子、有機物などの集合体.
	4-3 土壌	動植物やその遺体、母材、気候条件などによって地表に生成された無機・有機物.
	4-4 土砂	粘土・シルト・砂・礫のそれぞれ、またはこれらが様々な割合で混合したものを一括して呼ぶときの総称.
	4-5 岩	岩石及び岩盤の総称.
	4-6 岩盤	岩石で構成される自然地盤で、断層、層理、節理などの不連続面や風化帯を含む.
	4-7 岩石	単一又は複数の鉱物の集合体.
5	地形	地球表面の形態、起伏・地表面の傾斜・陸域と水域の区別.
6	地質	ある地域を構成する岩石・地層の種類・性質・重なり方およびそれらの新旧の順番などの特徴.
	6-1 土質	土のもつ物理・化学的ならびに力学的特徴.

No.	用語	本 WG の定義	
	6-2	岩質	肉眼的に識別し得る岩石の性質や特徴.
	6-3	水質	水の物理, 化学, 生物的性質.
	6-4	地質構造	構造運動によって地層, 岩体に変形, 変位が生じることにより生成した褶曲, 断層などの構造や連続性・上下関係など.
	6-5	地層	成層をなす岩体または堆積物の総称.
7	地盤構造物		自然地盤の持つ潜在機能(支持力、アーチ作用、透水・遮水能力など)を活用することを基本にした自然地盤と人工物の複合構造物.
	7-1	土構造物	土砂や岩石など地盤材料を主材料として構成される構造物.
	7-2	道路土工構造物	道路を建設するために構築する土砂や岩石等の地盤材料を主材料として構成される構造物及びそれらに附帯する構造物の総称.
8	地質調査		ある地域の地質の分布状態, 岩石・地層の相互関係, 層序, 層厚, 岩質・岩相, 褶曲・断層などの地質構造を知る目的で行う調査.
	8-1	土質調査	ある地域の地盤の土質工学的性質を把握するために行う調査.
	8-2	地盤調査	土木工事や建設工事の計画・設計・施工のために必要となる土層構成・土の物理化学的性質・力学的性質などの地盤情報を得るための調査.
	8-3	ボーリング調査	ボーリングを用いて地中の状態を確認する調査.
	8-4	物理探査	地上、水上、空中などから物理現象を利用した計測を行い、そのデータを解析することによって地下の構造や状態、あるいはその変化を解明する地下探査の技術.
	8-5	地質踏査	地表に露出する岩石・地層や構造の一部を観察し、地層分布・年代・地質構造などを確認あるいは推定する調査手法.
	8-6	地形判読	地形図や空中写真などを用いて地形や地質および地質構造などを読み解く作業.
	8-7	地質判読	地形図・空中写真・衛星画像・物理探査・その他調査結果などを基に、地質を読み解くこと.
	8-8	原位置試験	原位置の地表またはボーリング孔などを利用して地盤の諸特性を直接調べる試験.
	8-9	室内試験	採取した試料(乱した, 乱さない)を室内で物理・化学特性や力学特性を調べる試験.
9	地質図		表面に分布する地層や岩石について、岩石の種類, 生成年代, 岩質・岩相などによって区分し, 分布位置, 相互の関係を地形図上に表現した図. 地質平面図と同義. 利用目的によって表現方法は変わることが多い.
	9-1	地質断面図	地下における岩石・地層の分布, 相互関係, 褶曲・断層などの地質構造を鉛直断面に表現した図.
	9-2	地質構造図	地質構造要素の分布や地質構造形態を, 等価の点を結んだ等高線や走向線によって示した図.
	9-3	地質柱状図	地質調査して得られた地層の状況を長柱状の図に示したもので、各種試験結

No.	用語	本 WG の定義
		果を併記する場合もある。
9-4	土質断面図	土質調査結果を基に、任意の面における地盤の層構造状態を表す図。
9-5	土質柱状図	ボーリング調査などの結果を深さに対して土質の状況を柱状に示した図。ボーリング柱状図に含まれる。
9-6	ボーリング柱状図	ボーリング調査結果を深さに対して土質や岩盤の状況を柱状に示した図。
9-7	土木地質図	地質調査の結果から、その対象とする構造物に要求される地質・地盤情報や検討項目を記載した地質図。
9-8	土木地形地質図	土木地質図と同義。
9-9	工学地質図	地質図上に工学的地質情報を重ね合わせて表示した図。
9-10	工学的地形地質図	土木地質図と同義。
9-11	地質工学図	土木地質図と同義。
9-12	水文地質図	帯水層単元とその構造に着目した地質図で井戸や湧泉の分布、地下水面など地下水に関する情報を記載した図。
9-13	地形図	地表の形態、土地利用、道路などを表現した地図。
9-14	地形断面図	地形図上の任意の直線や曲線に沿って作成された地形の垂直断面図。
10	地盤定数	密度、変形定数、強度定数などの地盤の有する性質あるいは状態量。
10-1	土質定数	物理・強度・圧密・変形などの土の性質を規定する定数。
11	地質リスク	地質に係わる事業リスク。
11-1	地質・地盤リスク	地質・地盤に関わる不確実性の影響。
11-2	地質・地盤リスクマネジメント	地質・地盤リスクを評価し、最適なリスク対応を決定し実施する継続的なプロセス。

6. 報告としてのまとめ

6.1. 協働を考える上での留意点

WG1での議論を通じて、応用地質学を専攻した地質技術者と地盤工学を専攻した地盤技術者とで「地盤」の見方に微妙な差異があることがわかった。それは、それぞれの拠り所とする応用地質学（理学）と地盤工学（工学）という学問の性格の違い、すなわち理学と工学の違いによる。というのも理学、つまり自然科学は、自然がどのようなものかを認識する学問であるのに対して、工学、つまりものをつくる技術の学問は、いかにつくるかの方法論に関する学問であるからである。

応用地質学は、「地球の表層部の性質・生成・変質・変形ならびにその歴史を研究対象とする自然科学の一分野」である地質学（理学）を建設・災害・環境などの分野へ応用する学問である。

したがって応用地質学にとって地盤は、基本的に地球の表層部であって、その自然を理学（自然科学）の観点、すなわち法則や原理を追求する観点から見るのが応用地質学である。つまり対象地盤がどのような地質構造になっているか、地表に見られるリニアメントの成因は何か、またいかなる歴史でそういう地質構造になったのかなど、対象をどのように認識するのが正しいかということに最大の関心がある。

一方、地盤工学は、地球の表層部を土木・建築構造物を支える基盤、あるいは加工・改良・補強して構造物として利活用する対象としてとらえて、それをどのように建設するか、その災害対策や環境保全をどのように行うかなど、工学の観点、すなわち設計や施工や維持管理の方法論の観点から見る。つまり対象地盤がどのような機能を持っているか、この地層とこの地層は力学的に同じなのか違うのか、この薄層はすべり面になり得るのかどうか、どのような工学モデルに置き換えれば正確な設計計算ができるかなど、対象をどのようにとらえれば、設計・施工がうまく行くかということに最大の関心がある。

以上のように、応用地質学では、地質調査データから対象とする地球の表層部を地質学的に解明して、その結果を地質図などの情報としてまとめ、それを建設・災害・環境の分野へ伝えるということを行っているのに対して、地盤工学や地質工学では、地質調査データ、土質試験データから対象とする地盤の構造を地質学的かつ工学的に解明し、それを踏まえて地盤の性能を合理的に活用した地盤構造物をどのように構築できるかを考え（設計）、実施（施工）する具体的な方法をまとめるということが中心的な課題である。

地盤構造物の設計・施工にあたっては、地質技術者と地盤技術者の協働が不可欠であるが、地盤をあくまでも地球の表層部として見るか、構造物の基盤、あるいはそれ自体を構造物として見るか、という基本的な観点の違いがあるということを確認しておくことは、両者の協働を考える上で極めて重要である。

6.2. まとめ

WG1では、各委員から発表された応用地質学的な判断が設計・施工に及ぼす影響についての事例研究にもとづいて、「地盤工学と応用地質学の協働」の重要性をあらためて確認するとともに、そうした協働が進まない実態を踏まえて、どうすれば協働を進めることができるかについて検討を行った。

具体的には、「地盤工学と応用地質学の協働」がうまく機能していない原因として、従来、地盤構造物とその設計のとらえ方が不明確かつ一面的であったこと、そのため応用地質学の役割が過小評価されてきたことを指摘した。すなわち、従来、地盤構造物が「地盤と人工物の複合構造物として機能すること」についての認識が不明確であったこと、また設計イコール設計計算というとらえ方が一般的であり、そ

のため地質調査は、設計計算のための地盤情報の収集過程としての位置づけが固定化されてきた。こうしたとらえ方からは、応用地質学の設計への出番は出て来ない。

そこで、「地盤構造物」を「地盤の持つ潜在機能（支持力、アーチ作用、透水・遮水能力など）を利活用することを基本にした地盤と人工物の複合構造体」と新たに定義し、「機能からの構造の発想とその構造の機能保証」という人工物の設計概念にもとづいて、「地盤構造物の設計過程」を再定義し、その最初の過程としての「地盤の構造の解明」における応用地質学と地盤工学の協働が不可欠であることを指摘した。以上のことを概念的に示すと、図 6.1 のようになる。

同時に、「地盤工学と応用地質学の協働」を「地盤工学を専攻した地盤技術者と地質学を専攻した地質技術者の協働」ととらえて、「地盤の構造の解明」において地盤の構造を「工学的な地質図」として三次元的に表現するために、両者が協働する必要があることを指摘した。

具体的には、この工学的な地質図に相当するものとして、従来から土木地質学において作成されてきた「土木地質図」の見直しを提案した。すなわち、従来、土木地質図は、地質技術者が作成し、地盤技術者ないし土木技術者が利用するものにとらえられてきたが、これを両者が協働して作成し、両者が共通了解するインターフェースにとらえ直すべきであるとした。

さらにその際に生じる不可避的あるいは可避的な不確実性によって設計・施工上の様々な問題が生じることについて、具体的な事例を取り上げて再確認したうえで、その不確実性を地質リスクとしてアセスメントする手法についても提案した。

最後に、この報告に盛り込めなかった課題について述べておきたい。

まず1つは、地質技術者と地盤技術者が協働して作成すべきとした「土木地質図」である。ダムや山岳トンネルの分野では、それなりの精度をもった地質調査に基づいて、設計・施工上有効な土木地質図を作成してきた実績があり、また他の分野でもそれぞれの実情に応じた土木地質図が作成されている。しかし土木地質図を、地質技術者と地盤技術者が協働して作成し、両者が共通了解するインターフェースとしてとらえ直し、設計・施工上より有効なものとするという視点からは、分野ごとに土木地質図や地質調査報告書のあるべき姿をより具体化する必要がある、今後こうした方向の検討作業を行う必要がある。

もう1つは、現状の地質工学や地盤工学の今後のあり方である。かつて渡邊貫は、1935年に出版した『地質工学』⁵⁶⁾という本の中で、地質学と応用力学が両手をつなぎ合わせて進んで行こうという意気込みをもって、土木地質学の範囲を超えた「地質工学」（Geomechanik）を提唱している。

その後、1948年の第2回国際土質基礎工学会議の開会演説⁵⁷⁾において、テルツァーギが土質力学と応用地質学の関係の将来について、“土質力学と応用地質学が Geotechnology のような名称の下に1つになるのが相応しいとされる時代が来るかも知れない”との期待を表明している。

奇しくも東西の地質学と土質力学の泰斗が2つの学問の融合を展望しているわけであるが、それは未だに実現していない。ではどのような形で実現すると考えればいいのか。

テルツァーギは、自らが創始した土質力学にもとづいた科学的な設計を目指す一方で、そうした力学計算に偏った設計の横行に警鐘を鳴らし続けるとともに、設計における地質学の役割の重要性について繰り返し発言している。そうした彼の考え方を踏まえると、それは地盤構造物の設計における力学と地質学の融合という形になるのではないだろうか。

然るに、本報告で提案した地盤構造物とその設計の定義によって、地盤工学と応用地質学のそれぞれの役割が整理され、1つの設計体系の中に位置づけられる見通しが得られた。

そこで、地盤工学は地盤技術を学問化したものであると考える立場に立てば、地盤工学は地盤構造物の設計・施工に関する学問であると考えられることから、本報告で提案した地盤構造物とその設計の定義にもとづいて、地盤工学と応用地質学を基礎学問とする「新たな地盤工学」の体系として再構築することが可能となる。

この「新たな地盤工学」の体系化については、本 WG において必ずしも議論が尽くされたとは言い切れないため、今後、本報告や他の動向を契機にした取組みに期待したい。

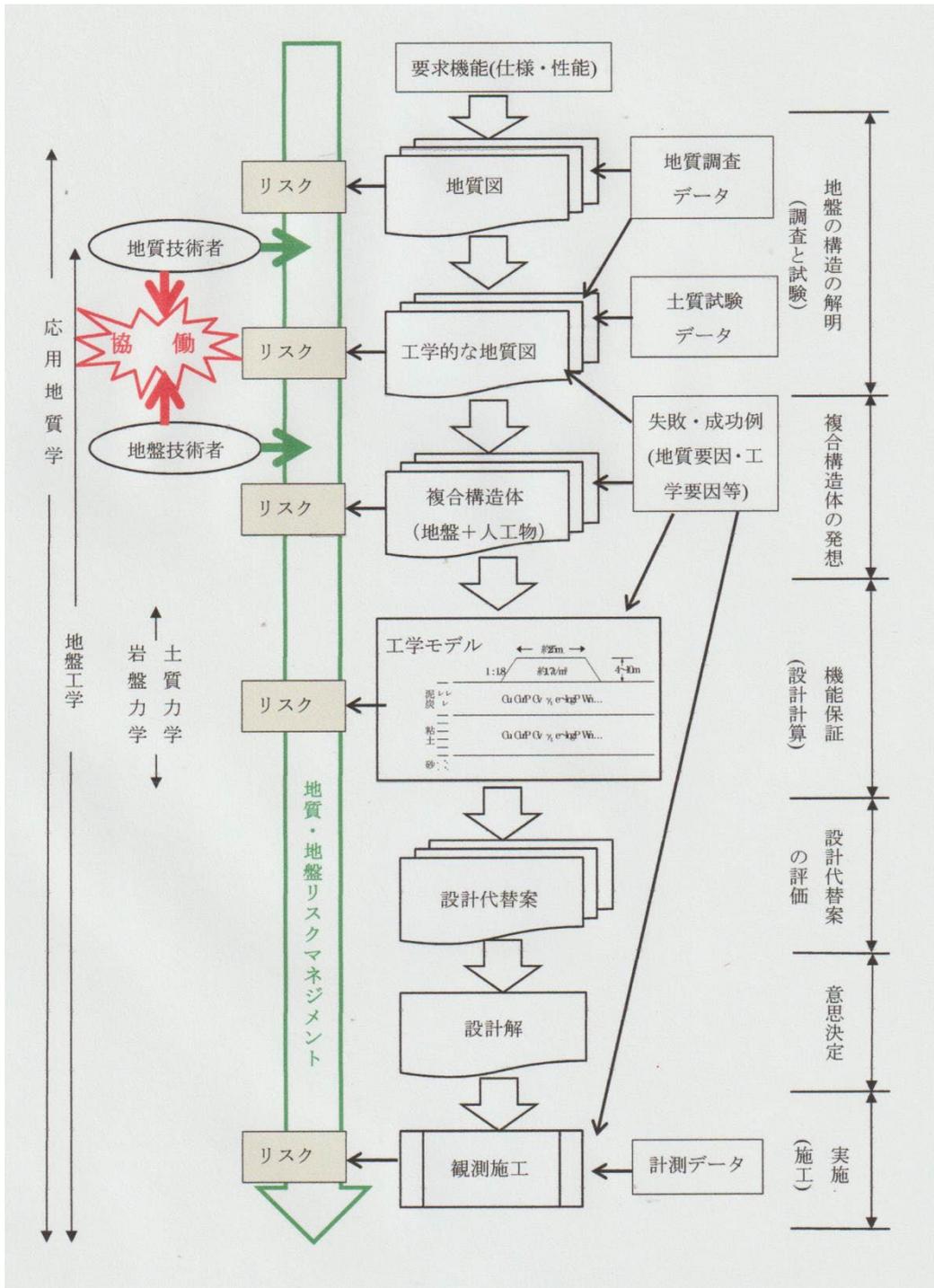


図 6.1 地盤構造物の設計過程

7. 図表・写真リスト

図 3.1	従来の設計の定義（地盤工学ハンドブックより）	9
図 3.2	人工物の設計過程	12
図 3.3	人工物の実際の設計過程	13
図 3.4	地形と地盤の関係の概念図（参考文献 8）	14
図 3.5	設計・施工に必要な地盤の構造に関する情報	16
図 3.6	地盤構造物の二つのタイプ	19
図 3.7	地盤構造物の設計過程	20
図 3.8	土木・建築構造物の実際の設計過程と地質調査	22
図 3.9	地質図作成に伴う不確実性（参考文献 12）	23
図 3.10	岩石・土質材料の地質学的サイクル（参考文献 13）	24
図 3.11	模式化した地質断面図と土木地質断面図（参考文献 15）	26
図 3.12	観測工法の概念	28
図 3.13	地盤構造物の設計・施工の全体フロー	29
図 4.1	課題発生 of 事業段階（参考文献 18）	33
図 4.2	地質平面図作成の手順	38
図 4.3	地質平面図作成②～④の例（参考文献 21）	39
図 4.4	地質断面図作成の説明図（参考文献 22）	41
図 4.5	地質断面図の推定例（参考文献 23）	42
図 4.6	切土のり面における地盤条件と崩壊形態（参考文献 25）	44
図 4.7	切土の設計・施工に必要な地盤に関する情報のイメージ（参考文献 26）	47
図 4.8	土木地質平面図（参考文献 27）	48
図 4.9	土木地質縦断面図（参考文献 27）	49
図 4.10	土木地質横断面図（参考文献 27）	50
図 4.11	地質学の五大法則（参考文献 28）	51
図 4.12	走向と傾斜（参考文献 29）	52
図 4.13	地層の接触境界（参考文献 31）	53
図 4.14	節理の種類（参考文献 31）	53
図 4.15	地形判読図の例（参考文献 36）	57
図 4.16	地すべり地の踏査結果図の例（参考文献 36）	57
図 4.17	地すべり地の決定根拠の例（参考文献 36）	57
図 4.18	地形地質踏査の情報量の違いで異なる地質図の例（参考文献 41）	58
図 4.19	地質構造が不明な地すべり断面図の例（参考文献 42）	59
図 4.20	地すべり地質断面図の例（参考文献 43）	59
図 4.21	2通りの地質構造の診断例（参考文献 44）	60

図 4.22	収集事例の抜粋（長期間変形が継続する軟弱地盤上の高速道路，参考文献 45）	62
図 4.23	収集事例の抜粋（紀勢線太古地区改良工事の例，参考文献 46）	62
図 4.24	収集事例の抜粋（高速道路建設における技術的・契約的対処，参考文献 47）	63
図 4.25	アンカーを利用した補強方法（断面図，参考文献 48）	65
図 4.26	リスク評価に基づく補強方法の案出（参考文献 49）	65
図 4.27	岩層推定（参考文献 50）	67
図 4.28	海外におけるリスクマネジメント例（参考文献 54）	69
図 4.29	地質リスク定量化のための二項モデル	72
図 4.30	二項モデルによる地質評価の具体例	72
図 6.1	地盤構造物の設計過程	80
表 2.1	カール・テルツァーギと渡邊貫の略歴	4
表 2.2	地質・地盤技術者の協働に関する先達者の言及例	5
表 2.3	地盤と地質が関わるリスクや両者の協働・融合を扱った学協会活動	8
表 3.1	土木地質図と一般の地質図の相違点（参考文献 9）	17
表 3.2	自然由来重金属等含有土等の対応が必要となり得る地質等	31
表 4.1	課題発生要因（参考文献 18）	33
表 4.2	地質調査の一般的な流れ（参考文献 19）	36
表 4.3	各調査段階で作成される土木地質図等（参考文献 20）	37
表 4.4	崩壊性要因を持つ地質（参考文献 24）	43
表 4.5	地質図の使用記号例（参考文献 30）	52
表 4.6	収集事例の一覧	61
表 4.7	代替岩盤掘削工法の比較（参考文献 50）	67
表 4.8	地質リスク調査検討業務の集計例（土木研究所による資料より）	68
表 4.9	リスク評価方法のまとめ	71
表 5.1	定義した用語	75
写真 3.1	コンクリート吹付け工	29

8. WG 調査・作成資料のリスト

No.	表題	作成者
1	渡邊貫の『地質工学』について ―大地の工学への夢―	栗原 則夫
2	テルツァーギ・渡辺貫」周辺の関連文献の整理と収集	末岡 徹
3	高速道路における建設中に発生した地すべり事象対策マネジメント事例	横田 聖哉
4	長期間変形が継続する軟弱地盤上の高速道路	横田 聖哉
5	軟弱地盤上の大規模盛土の沈下対策	宮田 和
6	スリランカでの高速道路建設における軟弱地盤対策工を対象とした技術的・契約的対処	石井 裕泰
7	渡邊 貫, カール・テルツァーギのたどった道	石井 裕泰
8	地質構造の推定精度の影響についての検討事例	栗原 則夫
9	豪雨により被災した鉄道盛土の災害復旧対応	鈴木 健介
10	青森県内での地下水が低い高台での土留め工事	田中 耕一
11	神奈川県での土留め工事	田中 耕一
12	応用地質学、土木地質学の歴史の整理	森 良樹
13	白岩砂防右岸斜面補強工事の調査・設計・施工<協働事例>	末岡 徹
14	白岩砂防右岸斜面補強工事の調査・設計・施工<地盤解明事例>	末岡 徹
15	WG1 レポート「地盤の解明方法の整理, 地質リスクマネジメントの検討」	富樫 陽太
16	WG1 レポート「地盤の解明方法の整理」	田中 淳
17	羽田 忍「現場はどんな地質家を要求しているか」	栗原 則夫
18	池田俊雄「土木建設における地質学の役割」	栗原 則夫
19	「地形・地質の構造化」によるアプローチと「地盤」の新しい定義	今村 遼平
20	ダムに関する地質調査	森 良樹
21	地下の岩盤工学におけるリスクアセスメントとリスクマネジメント―概説	宇田川 義夫
22	施工段階における岩盤判定基準・岩盤掘削工法提案による地質リスク回避	宇田川 義夫
23	WG1 レポート「地質リスクのマネジメントの検討」	田中 淳
24	地盤の工学の骨子作成	末岡 徹
25	教育と体系化についての考え方	今村 遼平
26	上信越道日暮山トンネル 1 期線工事と 2 期線工事の地質断面図の違い	上野 将司
27	八柳橋新設工事に伴う橋脚基礎の不等沈下	上野 将司
28	徳島外環状道路・法花トンネルの地質断面図の誤り	上野 将司

9. 参考文献

- 1) リチャード・E. グッドマン(著), 地盤工学会カール・テルツァーギ伝記翻訳編集委員会(編集): 土質力学の父 カール・テルツァーギの生涯, 社団法人地盤工学会, 2006.
- 2) <http://geotechnicaltalks.blogspot.com/2009/01/biography-of-karl-terzaghi-1883-1963.html> (2021/2).
- 3) 小野田滋: “鉄道技術者列伝 その10「境界分野の開拓者 渡邊 貫」”, Railway Research Review, Vol.54, No.10, pp.38~39, 1997.
- 4) 地盤工学会: 地盤工学ハンドブック, 丸善出版, p.441, 1999.
- 5) 富山哲男: 設計の理論<設計II>, 岩波講座 現代工学の基礎 設計系II, 岩波書店, p.23, 2002.
- 6) 中島尚正: 人工物と設計,(財)放送大学教育振興会, 6525, pp.23~31, 2004.
- 7) 前出 5), pp.27~31.
- 8) 池田俊雄: 地盤と構造物, 鹿島出版会, p.7, 1975.
- 9) 横田修一郎: 地質情報の伝達媒体としてみた土木地質図, 応用地質, 30 巻, 3 号, pp.23~32, 1989.
- 10) 地盤工学会: 岩盤構造物の情報化施工, 岩盤工学・実務シリーズ 16, p.3, 2003.
- 11) 池田俊雄: 地質学と土質工学の接点, 応用地質, 31 巻, 3 号, p.31, 1990.
- 12) 前出 9) .
- 13) 正垣孝晴, 日下部 治: 土質データのばらつきと設計 2. 地盤データのばらつきの原因と一次処理, 土と基礎, Vol.35, No.1, p.73, 1987
- 14) 脇田浩二, 井上誠: 実務に役立つ地質図の知識, オーム社, p.10, 2006.
- 15) 日本応用地質学会編: 原典から見る応用地質学—その論理と実用—, 古今書院, pp.4~5, 2011.
- 16) 篠原修: 土木デザイン論, 東京大学出版会, 2003.
- 17) 今井五郎: 地盤地質学入門 (三木幸蔵著), 鹿島出版会, 序文, 1997.
- 18) 長谷川怜思, 日本応用地質学会土木地質研究部会: “事例収集に基づく土木地質分野における現状と課題”, 日本応用地質学会平成 25 年度研究発表会講演論文集, pp.99~100, 2013.
- 19) 地盤工学会: 入門シリーズ 30 事例で学ぶ地質の話, p.14, 2005.
- 20) NEXCO 土質地質調査要領, 2012.
- 21) 産業総合研究所地質調査総合センター: 5 万分の 1 地質図幅「三溪」, 1963.
(https://www.gsj.jp/Map/JP/docs/5man_doc/03/03_034.htm)
- 22) 上野委員提供資料.
- 23) 池田俊雄: “IV 土木建設における地質学の役割, 土木建設環境問題と地質学の役割”, 築地書館, pp.66~68, 1975.
- 24) NEXCO 土質地質調査要領, 2012.
- 25) 土質工学会: 入門シリーズ 14 斜面安定解析入門, pp.14~15, 1989.
- 26) NEXCO 土質地質調査要領, 2012.
- 27) NEXCO 西日本提供資料.
- 28) 地盤工学会: 入門シリーズ 30 事例で学ぶ地質の話, pp.4~5, 2005.
- 29) 坂幸恭: 地質調査と地質図, 朝倉書店, p.17, 1993.
- 30) 小玉喜三郎, 磯部一洋, 湯浅真人: 見方・使い方 地質図, オーム社, p.7, 2004.
- 31) 羽田忍: 土木地質学入門, 築地書館, pp.52~57, 1991.
- 32) 今村遼平: 地形工学入門, 鹿島出版会, 2012.
- 33) 日本応用地質学会編: 山地の地形工学, 古今書院, p.1, 2000.
- 34) (社)日本道路協会: 道路土工 切土工・斜面安定工指針, 2009.
- 35) 鈴木隆介: 地形に根ざした社会基盤整備、地形を無視した社会基盤整備, 土木学会誌, Vol.97, No.1, pp.22~26, 2012.
- 36) 上野委員提供資料.
- 37) 鈴木隆介: 建設技術者のための地形図読図入門 (1~4), 古今書院, 1997, 1998, 2000, 2012.
- 38) 応用地質学会: 応用地形セミナー空中写真判読演習, 古今書院, 2006.
- 39) 吉村昭: 闇を裂く道, 文春文庫, 1990.

-
- 40) 北川修三：上越新幹線物語 1979, 交通新聞社新書, 2010.
 - 41) 横山俊治：地表踏査技術の伝承, 地質と調査, 第3号, pp.19~22, 2007.
 - 42) 陶山国男, 羽田忍：現場技術者のためのやさしい地質学, 築地書館, p.88, 1978.
 - 43) 山根誠, 上野将司：東日本大震災 その被害と特徴「5.誘発地震による土砂災害」, 応用地質株式会社, pp.41~50, 2012.
 - 44) 地質リスク学会, 全国地質調査業協会連合会：地質リスクマネジメント入門, オーム社, pp.84~85, 2010.
 - 45) 澤野幸輝, 岡本拓, 横田聖哉：“長期間変形が継続する軟弱地盤上の高速道路”, 総合土木研究所 基礎工, pp.56~59, 2019. 10.
 - 46) 清水, 緒方：“おぼれ谷を有する軟弱地盤上の大規模盛土の沈下対策について”, H27 年度近畿地方整備局研究発表会, 2015.
 - 47) 大岡晃, 木之下聡, 石井裕泰：“スリランカ・コロombo外郭環状道路プロジェクトにおける軟弱地盤上の道路盛土工事”, 地盤工学会誌, No.64, Vol.9, pp.28~31, 2016.
 - 48) 渡部文人, 白石吉信：“背面に掘削したトンネルからの岩盤斜面の補強—立山カルデラ 白岩砂防堰堤”, No.379, Vol.33, No.3, トンネルと地下, 2002.
 - 49) 青木, 浦川：“急峻な岩盤面の崩落防止アンカーの設計・施工”, 土木技術, 2005.8
 - 50) 宇田川義夫：“施工段階における岩盤判基準・岩盤掘削工法提案による地質リスク回避 —東日本大震災被災住民の早期高台移転を目指して—”, 第10回地質リスクマネジメント事例研究発表会講演論文集, 地質リスク学会, pp.90~95, 2019.
 - 51) 社団法人日本道路協会：道路土工要綱（平成21年度版）, p.85, 2009.6.
 - 52) 菊地宏吉：地質工学概論, 土木工学社, pp.106~107, 1990.
 - 53) 土木研究所：“岩石掘削工法に関する試験調査-リッパ掘削に関する実験的研究-”, 土研資料 1184号, 1977.
 - 54) 地質リスク学会, 全国地質調査業協会連合会：地質リスクマネジメント入門, オーム社, 2010.
 - 55) OXFORD 現代英英辞典.
 - 56) 渡邊貫：地質工学, 古今書院, 1935.
 - 57) Terzaghi, K.: Opening address, Proceedings of the Second International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.VI, pp.11-14, 1948.

WG2 の報告

1 シラバス調査まとめ

1.1 調査対象, 件数

横浜国大, 東工大, 九大, 海洋大, 宇都宮大, 埼玉大の, 土質力学, 地盤工学, 地質学, 他地盤系の講義科目を対象にシラバスの内容を調査した(表1)。総合大学, 理学部のある大学の件数が多い。

表1 調査件数

横国	東工大	九大	宇都宮大	海洋大	埼玉大	計
10	26	34	15	4	10	99

1.2 科目, 対象学年, 土木系学生の受講, 単位数

表2に科目の件数を示す。理学系, 土木系の科目が多い。

表2 科目の件数

一般教養, 教養科目	教育系	建築系	資源系	土木系	農学系	理学系, 地球惑星科学系
5	7	1	4	25	9	47

表3に対象年次の件数を示す。2-3年生を対象とした講義が多い。なお, 1年生を対象とした科目は一般教養・教養科目が全て含まれる。

表3 対象年次の件数

1年	2年	3年	4年	複数年次
14	40	41	2	3

表4に単位数の件数を示す。1単位の科目は実験・地質巡検の講義である。4単位のものは地球惑星科学分野の実習科目である。

表4 単位数の件数

1単位	2単位	4単位
38	60	1

1.3 講義の内容(分野), キーワード

表5に講義の内容(分野)の件数を示す。地質学に関する内容が多い。

表5 講義の内容, 分野の件数

応用地質	地盤工学, 土質力学	地学 (生 物学含 む)	地質学	天文学	農業土木, 林学
2	22	6	59	5	5

表6に講義のキーワードの件数を多い順に示す。全体的に、土質力学に関するキーワード（土圧）が多く含まれる。プレートテクトニクスや鉱物をキーワードとする講義が多い。

表6 キーワードの件数

土圧	プレート テクトニクス, 鉱物, 斜面安定	せん断, 火山, 地球, 締め固め, X線回析, 地盤内応力	圧密, 堆積物, 地球惑星科学, 地震, 土工, 地層, トンネル, 有効応力, 断層, 支持力	災害, 地球環境, 地盤改良, 地学一般, 透水, 地質図, 地質学, 地震波, 気候変動, 堆積岩, 天文学, マントル対流, 堆積層, 火成岩, 岩石, ダム
				7

1.4 土木地質・応用地質を教えている大学のシラバス・講義内容

前回作成したシラバス調査表の「内容」が応用地質と記載あるもの、土木系の学科で履修可能な地質系講義をピックアップした。なお、理学系で応用地質の科目はざっと確認したところ見当たらない。

講義名 大学	講義内容 講義の目標または、講義スケジュール
地質リスクマネジメント 1 横浜国大	<p>都市部が存在する平野部について地形・地質から読み取れる情報への読解力を身に付け、様々な地質・地盤環境下での災害の事例から教訓を読み解く。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 地形図を読む 2. 地球の歴史, プレートテクトニクス (1. 地球の内部構造) 3. 地球の歴史, プレートテクトニクス (2. プレートテクトニクス) 4. 地形と地形変化 (1. 日本列島の成因) 5. 地形と地形変化 (2. 火山と災害地質) 6. 低地の地盤 (火山の及ぼす平地への影響) 7. 低地の地盤 (沖積平野の地質の成因, 構造, 災害) 8. 定期試験
地質リスクマネジメント 2 横浜国大	<p>自然災害時の社会基盤システムの被害は多かれ少なかれそれを支える地盤に左右される。主に我々の生活が営まれる平野部後背にそびえる丘陵, 山岳地について地形地質から読み取れる情報への読解力を身につけ、様々な地質・地盤環境下での災害の事例からの教訓を一つ一つ読み解いていく。工学の実用に向けた地質学の基本を学び、合わせて社会基盤システムの損失の回避あるいは提言を図るリスクマネジメントについて考える。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 オリエンテーション 2 地質が関わる大地・山岳での自然災害とその対応 (世紀を超える対応) 3 日本列島の成因 (火山とその課題) 4 日本列島の成因 (付加体とその課題) 4 活褶曲地帯の地質と工学的課題 5 台地での課題 (逆転地形と風化泥岩, 新幹線トンネルと東名高速道路) 6 風化と粘土の膨潤 7 困難な工事例 8 定期試験

地盤調査・施工学 東工大	※シラバスなし
地質工学 宇都宮大	<p>社会基盤のすべては地盤・岩盤の上であり、岩盤の特性を表す地質は、建設工学の中でも重要な役割を果たす。本講義は、実務に携わっている講師により、岩盤の特性を表す地質工学について有用な知識・調査方法・とりまとめ方等の講義を通じ、地質工学の必要性を説明できるスキルを養成する。</p> <p>(1) 土木工学において地質学的ものの見方・考え方が必要であることを理解している。</p> <p>(2) 岩石の成因・分類と地質構造について体系的に理解されている。</p> <p>(3) 岩石・岩盤の基本的な工学的特徴と地質との関連が理解されている。</p> <p>(4) 種々の地質調査法について、目的と調査にあたっての注意事項を理解し、概ね提案できると共に、地質図作成法を理解し、簡単な地質平面図、地質断面図を作成できる。</p> <p>(5) 岩盤分類の目的と特徴が理解されている。</p> <p>(6) 調査データに基づいて岩盤の工学的特徴を評価できる。</p> <p>(7) ダムやトンネルにおける地形・地質工学上問題となる事象について理解する。</p> <p>(8) 実務や実社会において土木技術者が地質工学を必要とすることを説明できること。</p>
地圏科学 I 埼玉大	<p>一般地質学および地形学の内容を、現代社会の抱える問題(例えば、水害や斜面崩壊などの災害問題や、遺跡等の保存修復問題)と関連づけて学ぶ。現物を見ることが重要かつ有効であるので、現地観察会を設ける。</p> <p>1 回: ガイダンス, 地球の構造と歴史</p> <p>2 回: 鉱物と岩石</p> <p>3 回: 地質図作業</p> <p>4 回: 岩石物性調査法 鉱物・化学的性質</p> <p>5 回: 岩石物性調査法 物理的・力学的性質</p> <p>6 回: 地形プロセスと主な地形</p> <p>7 回: 化学的風化, 物理的風化</p> <p>8 回: 地形図・空中写真判読 マスウェイディングと斜面災害</p> <p>9 回: 地形図・空中写真判読 流水による侵食地形</p>

	<p>10 回: 地形図・空中写真判読 河成地形 11 回: 地形図・空中写真判読 海成地形 12 回: 地形図・空中写真判読 氷河・周氷河地形 13 回: 地形図・空中写真判読 火山地形 14 回・15 回: 現地観察会</p>
<p>地圏科学 II 埼玉大</p>	<p>放射性廃棄物の地層処分事業やリニア新幹線・国際リニアコライダ計画(ILC)のためのトンネル掘削など、地下深部を利用した岩盤構造物の建設が計画されている。これらを安全に建設するためには、地圏科学的な現象を地質学的な時間スケールの中で捉えておく必要である。本講義では、その基礎的な事項を学ぶ。</p> <p>第 1 回 イントロダクション 第 2 回 地球の歴史 第 3 回 地質調査と地質図 第 4 回 地表の変化と地形 第 5 回 火山活動, 火山灰, 関東ローム 第 6 回 地球の水と地下水 第 7 回 地層の対比と年代測定 第 8 回 地震と断層・割れ目 第 9 回 山脈の形成とアイソスタシー 第 10 回 フィールド見学の内容説明 第 11 回 フィールド見学:生田緑地 雨天決行(2 回分として) 第 12 回 フィールド見学:生田緑地 →レポート作成 第 13 回 変成岩・地熱・温泉・鉱床 第 14 回 トンネル施工と環境問題 第 15 回 地球資源とエネルギー 第 16 回 予備日/授業評価</p>

1.5 土木地質・応用地質学の観点のキーワード

上で調べたシラバスのキーワードは地質と建設・土木に関するものに分けて示すと次の通り。

- 地質のキーワード：地形, 低地, 台地, 風化, 岩石, プレートテクトニクス, 火山, 地震など
- 建設・土木のキーワード：トンネル, ダム, 地層処分, リニアコライダ, 岩盤分類, 地下水,

建設・土木に関するキーワードは構造物に関するものがほとんどで、土質力学で用いられるせん断などのキーワードはほとんど出てこない。※防災と環境の科目については、別途実施されているところもある。

1.6 地学系および地盤系に向けたコメントができるような分析を行う。

前回の WG で学生の意見（応用地質の知識が必要な会社に興味を持っているか）も確認しておく必要があるとの指摘があった。地盤工学会の学生会員に向けてアンケートを取れないか？

1.7 巡検の内容

野外実習を含む科目のシラバスから、巡検の内容をまとめた。

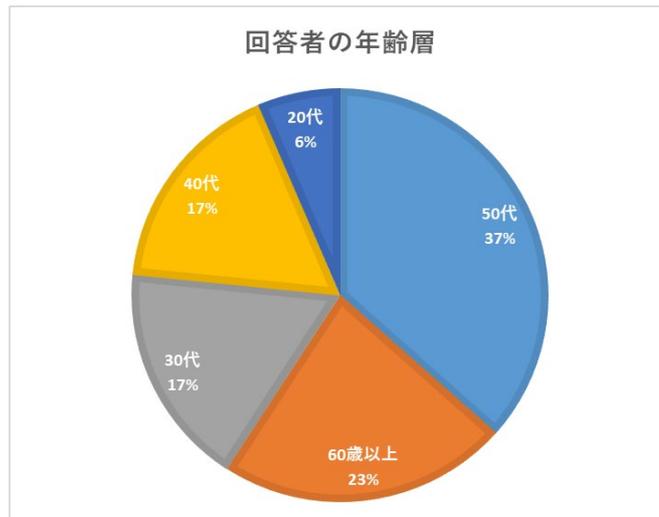
講義名 大学	巡検の内容
地質学遠隔地フィールドワーク 横浜国大	ルートマップ作成, 露頭観察, 試料採取, 化石の採取, 地質図と地質断面図の作成
地惑実験（野外実習） 東工大	丹沢に二泊。地質図の作成方法, 走向・傾斜の測定, 露頭観察, ルートマップ, 岩石試料の観察
地惑巡検 東工大	アメリカに行く。サンアンドレアス断層, デュモント 砂丘, メテオクレータ, グランドキャニオン, ローウ エル天文台
地球惑星科学特別演習 I 九大	長崎大学水産学部附属練習船「長崎丸」に乗船し, 海 底地震観測を実施する（5日）。
地学実験 東京海洋大	神奈川県三崎付近日帰り（城ヶ島）, 露頭観察
地圏科学 I 埼玉大	関東近郊の様々なところに行っていました。箱根な ど。
地圏科学 II 埼玉大	生田緑地（多摩丘陵）, 露頭の観察？

地質図を書くテーマがなくなった。フィールドワークを専門にする教員・研究室がなくなった。

2 関東支部正会員向けアンケートの結果と考察

WG2 では、応用地質分野と地盤工学分野で活躍できる技術者創出に向けた人材育成や教育の在り方を議論することを目的として、関東支部の名誉会員（約 60 名）と正会員（約 3300 名）を対象に、アンケート調査を実施した。アンケートの回答者は 235 名であり、アンケート回収率 7% 程度であった。以下では、アンケート調査の結果を簡単に紹介するとともに、得られた結果について考察する。

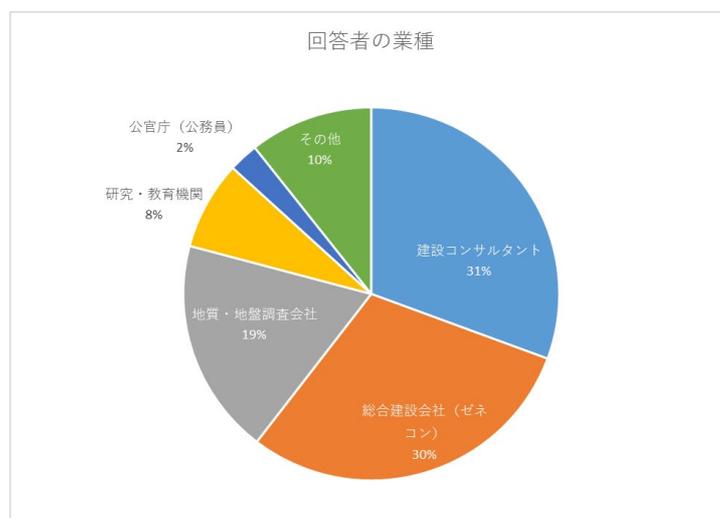
問1 年齢を選択ください。



考察

・アンケート回答者の 50%以上が 50 代以上であることから、応用地質学と地盤工学の協働の必要性については、ベテラン技術者の関心が高い。

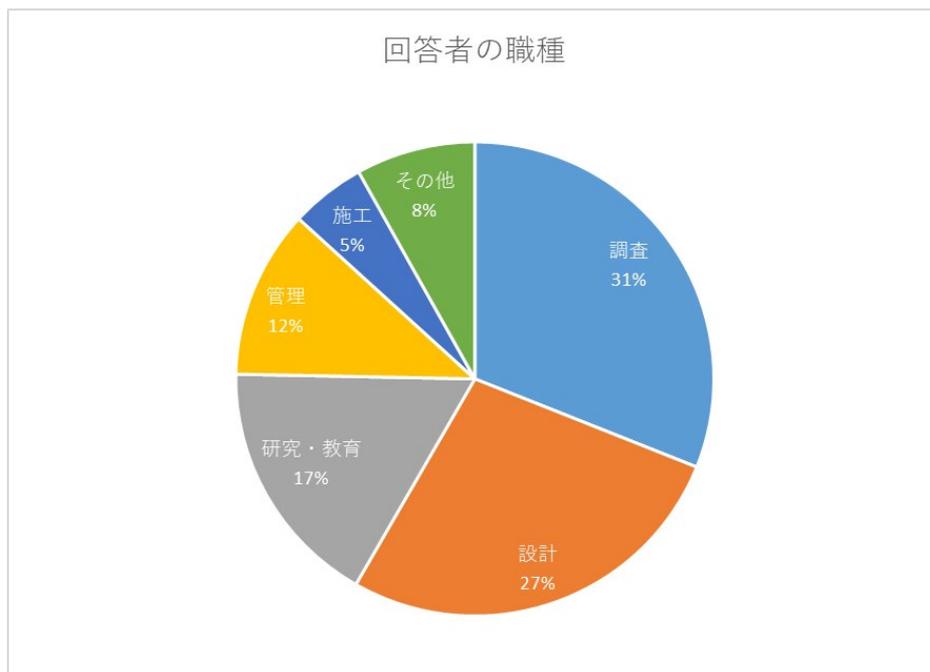
問2 業種を選択ください。



考察

・総合建設会社（ゼネコン）と建設コンサルタントで 60%，さらに地盤調査会社を加えると 80% なり、実際の建設業務に携わられている方が回答されている。

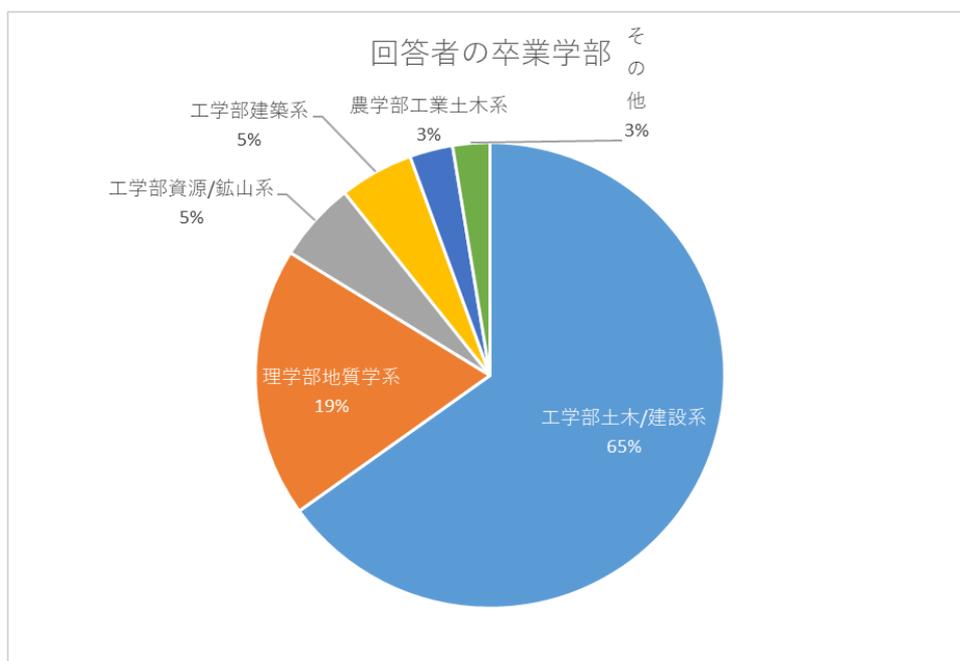
問3 職種を選択ください。



考察

・調査と設計で60%近く、調査と設計の業務にたずさわる技術者の関心が高い。つまり、調査と設計において、協働が必要であることを示唆する。

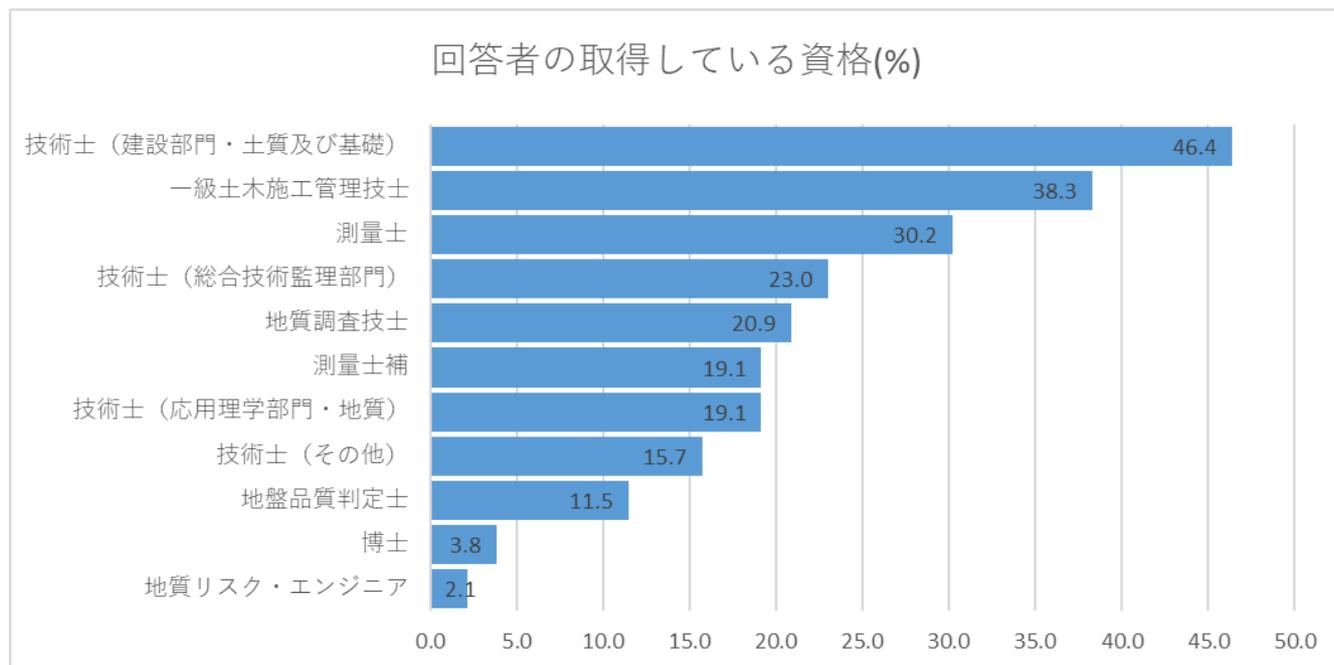
問4 卒業学部を選択ください。



考察

・工学部土木/建設系出身が65%、次に理学部地質学系出身が19%、続いて工学部建築系出身者が、工学部資源/鉱山系出身がともに5%であった。工学系75%に比べて、理学系が19%を割合が小さい。この割合の違いが協働の難しさの原因の一つである可能性がある。

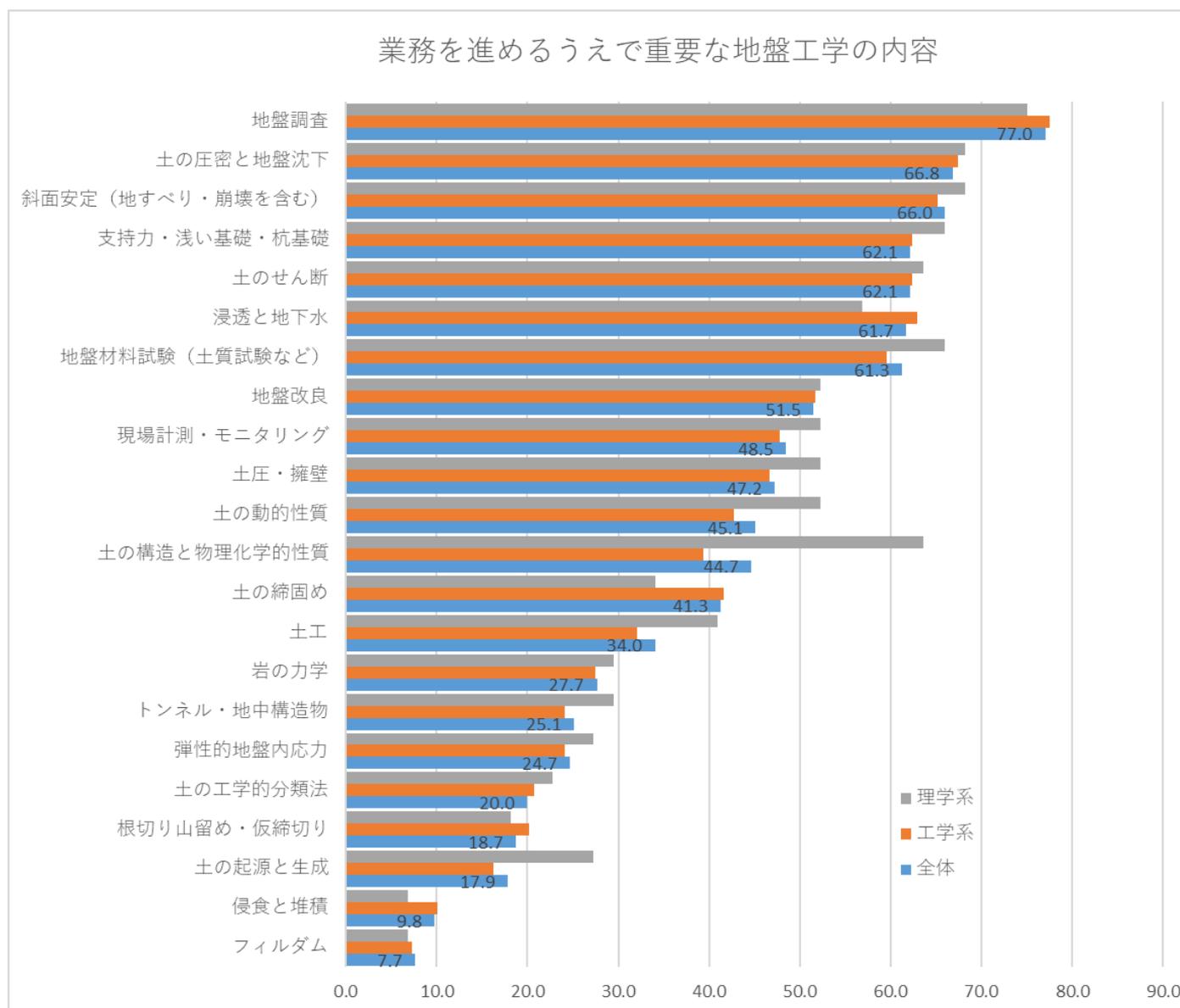
問5 取得している資格を選択ください。(複数選択可)



考察

・地盤工学系の資格である「技術士：建設」と「一級土木施工管理技士」，地質学系の資格である「技術士：応用理学」と「地質調査技士」，両分野に関連する資格「地盤品質判定士」と「測量士」が回答者が有する主な資格となっている。

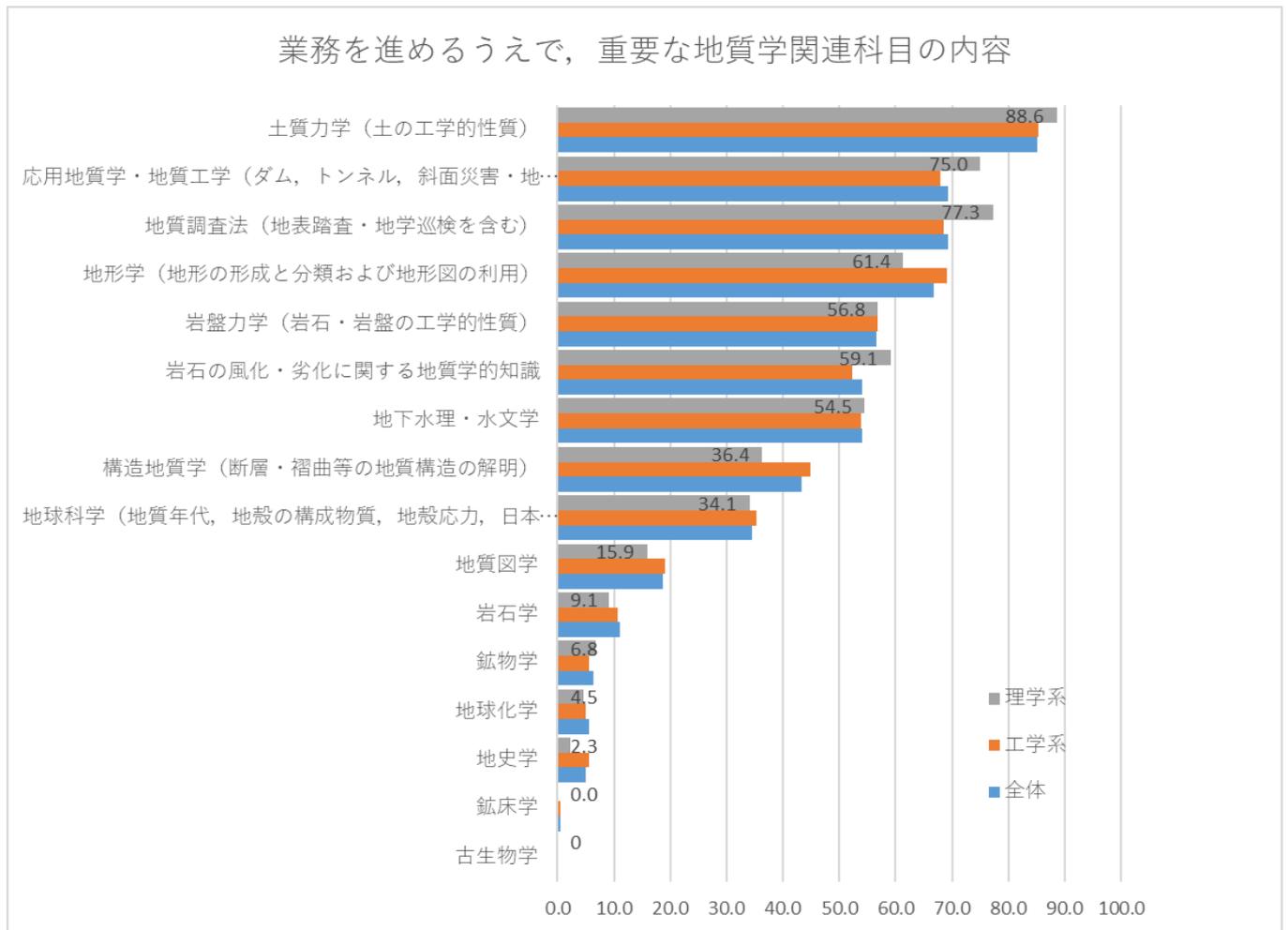
問6 業務を進めるうえで、重要となる地盤工学の内容について、優先度の高いものを6から1
1個程度選択してください。



考察

- ・地盤工学の内容の中で、重要度が高いもの（50%以上の回答者が重要と回答）から、地盤調査、土の圧密と地盤沈下、斜面安定（地すべり・崩壊を含む）、支持力・浅い基礎・杭基礎、土のせん断、浸透と地下水、地盤材料試験（土質試験）および地盤改良となった。
- ・工学系と理学系の技術者の回答においてほとんど差は見られないが、理学系技術者は工学系技術者に比べて、土の構造と物理化学的性質、土工および土の起源と生成の重要性を指摘している。
- ・上記の重要な内容は、応用地質学を学んできた技術者への講習会、ならびに調査・設計業務を対象とした技術者教育などのコンテンツなどに活用できる。

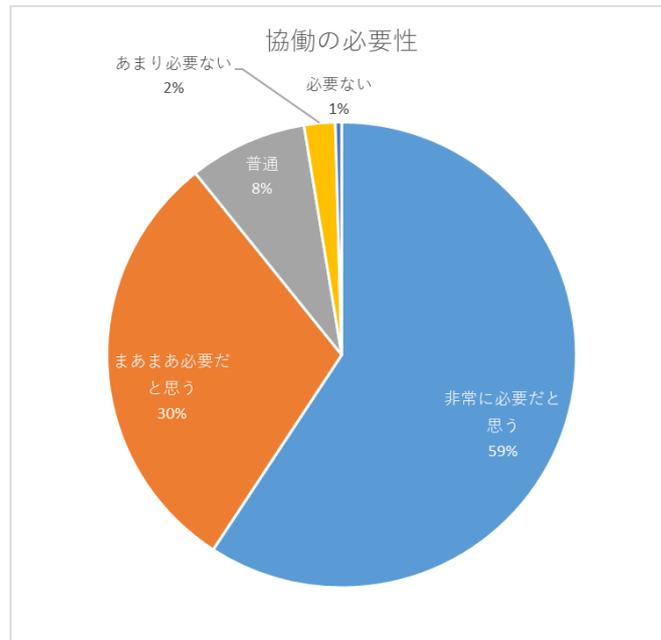
問7 業務を進めるうえで、重要となる地質学関連科目の内容について、優先度の高いものを4から8個程度選択してください。



考察

- ・地質学関連では、重要度が高いもの（50%以上の回答者が重要と回答）から、土質力学、応用地質学・地質工学、地質調査法、地形学、岩盤力学、岩石の風化・劣化に関する地質学的知識および地下水理・水文学となった。特に、土質力学は回答者の88.6%が重要であると回答している。
- ・工学系と理学系の技術者の回答においてほとんど差は見られない。
- ・地盤工学会などの学会で、上記内容を学習できる講習会などを、地質関係の人に向けて開催する。

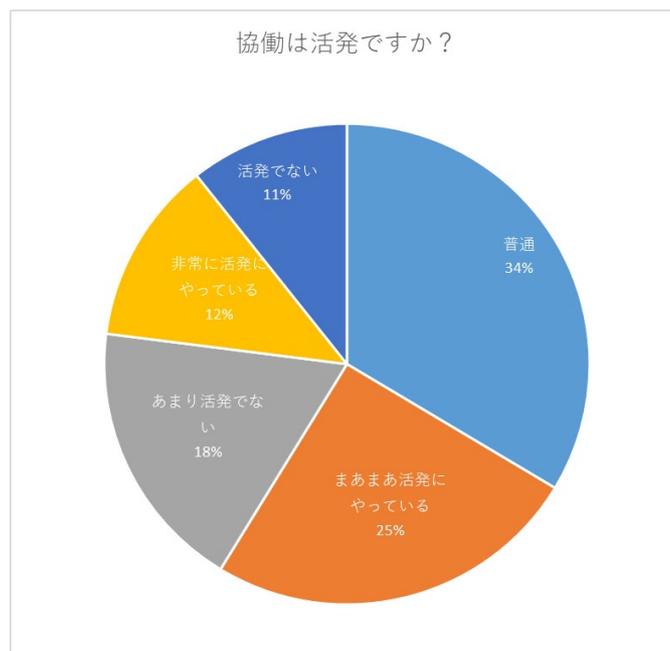
問8 あなたの組織（会社）では、応用地質学と地盤工学（地質屋さん と地盤屋さん）の協働が必要とお考えですか？



考察

・「非常に必要だと思う」と「まあまあ必要だと思う」の割合が90%であり、応用地質学と地盤工学の協働（地質屋さんと地盤屋さんの協働）が必要と感じている。

問9 あなたの組織（会社）では、応用地質学と地盤工学（地質屋さんと地盤屋さん）の協働は、活発ですか？



考察

・「非常に活発にやっている」と「まあまあ活発にやっている」が37.4%、「普通」が33.6%、「あまり活発でない」と「活発でない」が28.9%とそれぞれ3分の1ずつである。

問9-1「あなたの組織（会社）では、応用地質学と地盤工学（地質屋さんと地盤屋さん）の協働は、活発ですか？」で「非常に活発にやっている」or「まあまあ活発にやっている」を選択された方に質問です。あなたの組織（会社）で行っている応用地質学と地盤工学の協働をうながす取組・方法をご記入ください

回答者のコメントは、以下のように大きく「社内で協働を促す組織運営」、「会社間で協働」、「勉強会および人材育成」、「新技術を活用」、「自己研鑽」および「その他」に分類できる。

社内で協働を促す組織運営

- ・ 出身を問わずにできることをしている。
- ・ 共同調査。
- ・ 現場のトラブル対応などで、地質と地盤の技術者を含めた総合的な検討が行われることが多い。
- ・ プロジェクト対応で協働で作業をする。
- ・ 協働が必要な業務ではプロジェクトチームを立ち上げマルチフラットな組織で運営している。
- ・ 両者を学んだ経験のある技術者が橋渡しとなること。
- ・ 同じ業務で、応用地質学と地盤工学の分野の技術者が、業務の課題に取り組んでいます。
- ・ プロジェクトでの協働作業。
- ・ 業務の内容に応じて、両方の技術者を担当者に配置し、協働して問題解決に当たるようにしている。
- ・ 施工、詳細設計を行う上で、地盤調査は必須であり、応用地質学と地盤工学の協働がなければ仕事にならない。
- ・ お互いに関連しているという意識をもつ。業務を関係ないと思っても他方の意見を聞く
- ・ 専門が異なる技術者による協業。
- ・ 合同照査。
- ・ 1つのグループ組織として活動している。
- ・ 担当部署を分けない。
- ・ プロジェクト間で情報共有する機会を設けている。
- ・ もともとそういう風土だったので、特に取組をしているわけではない。
- ・ 以前は応用地質学と地盤工学の研究者は別々の研究室に所属していたが、10年ほど前から「地盤」という括りで大きな一つの部が組織されて一緒に所属しているので、部会などを通じて情報共有が自然と促され、協働もしやすくなった。
- ・ 同じ業務を両方のメンバーを入れてチームを組んで取り組んでいる。
- ・ 施工案件、営業案件等の対応では極力協力して対応している。
- ・ 室長・部長の考え次第です。人事交流をやっています。

- ・ 共通の課題に取り組む。
- ・ 研究テーマレビュー会議における意見交換。
- ・ 頻繁な情報交換・実務でのお互いの助言を交換する。
- ・ 同一の研究部の中に、地盤グループと地質グループがあり、取り組むテーマや業務に応じてふたつのグループの所属者が共同で業務に当たる仕組みが出来上がっています。また、業務の内容により研究部長の判断で、共同して当たるよう指示されることも多く、自然と取り組みがなされています。
- ・ 1つの部として共同で同じ仕事に取り組んでいる。
- ・ 一つの業務で両方の知見が必要な場合には、両者を配置する。
- ・ 切土がある場合は必ず地質屋さんと地盤屋さんがペアで現地確認に行く。
- ・ 一つの業務に対し、地質屋と地盤屋が協働するようにしている。
- ・ 同じ部署にいたので、それぞれ案件ごとに相談、打ち合わせを行っている。
- ・ 地すべり等の自然災害や施工時の斜面安定問題等において、常に共同で取り組んでいる。
- ・ 業務遂行上協働が必要な場合も多く、同じ事業部内で活動している。
- ・ 同一の部署に配置する。
- ・ 地質系技術者と地盤系技術者の業務に対する協業体制による。
- ・ 地質と地盤を同じ部署となっていたことで、一緒に仕事をする機会が多くあった。
- ・ 個人的なつながり。技術開発テーマを共同で取り組む。
- ・ 一つの業務を、原則、技術士(建設部門)と技術士(応用理学部門)とでペアで担当する。
- ・ 地盤または地質に関する業務を協働で行う。
- ・ 同じ部署、フロアに地質屋さんと地盤屋さんがいるので、協働しやすい。
- ・ 軟弱系と岩盤系の技術者が同一のフロアにいたので、両者のスキルを必要とする業務では必然的に協働することになる。
- ・ 同じ業務を協働している。部署間コンバートを行っている。
- ・ 業務における課題を共有(相談)し合う業務体制の構築。
- ・ それぞれの分野に精通した技術者が同じグループに属しており、常に連携が取れる状態で業務を行っている。
- ・ 地質技術者と地盤技術者の区分けなく、業務を遂行している。
- ・ 両分野の技術者による業務の分担。
- ・ 斜面安定性評価の受注業務において地質調査と設計評価を協働実施。
- ・ 業務内容が両分野にまたがる際に、応用地質学と地盤工学の両技術者を業務体制に組み込む。
- ・ 共同で1つの業務に携わること。
- ・ 事業分野別の組織として、同じ組織内に応用地質学、地盤工学両方の技術者がいるようにしている。

- ・ 組織が分かれていないので、部署内で頻繁にコミュニケーションを取れています。
- ・ 部・課による組織分けのほかに、事業分野を跨いだ専門分野（地質、土質、物探など）ごとのチーム編成を行い、専門分野ごとの OJT、勉強会などの情報共有を実施。
- ・ 土木設計と地質調査がセットになった業務を、協働で実施している。

会社間で協働

- ・ 地盤調査会社へ施工・調査協力を依頼している。
- ・ 地盤調査会社の方を講師に招いた勉強会の実施。
- ・ 地質調査にあたり、地質調査計画（構造物の設計に何が欲しいか、どこを重点的に調査したらよいか・どのような調査が効果的・経済的か）や調査成果の解釈（地盤の不確実性に対してどう取り扱うべきか、どう取り扱ってほしいかなど）について、対面またはオンライン（メールも含む）などで、調査会社および弊社技術部門（地質屋）への打合せやヒアリングを行っている。
- ・ 専門技術者合同での現地踏査や調査計画の立案。
- ・ ボーリング等の調査をお願いする過程で協働し、基礎や山留等の設計をおこなっている。
- ・ 住宅建築のための地盤技術および品質の向上を目的として、地盤調査会社・地盤補強工事会社から技術者が集まり、業界の抱える課題を抽出し、課題改善に向けて意見交換しながら・書籍作成・実験等の活動を行っています。
- ・ 社内だけでなく、社外を含めた定期的な勉強会を実施している。

勉強会および人材育成

- ・ 様々なテーマの勉強会を開催し、技術の広範化を目指して社員育成を展開している。
- ・ 部の構成が地質、水文調査をする部隊と、土質関連の設計、検討する部隊で構成されており、お互い協同作業をしたり勉強会を開催して知識・技術を共有している。
- ・ 専門分野や課の垣根を越えて、勉強会や業務の打合せを頻繁に行っている
- ・ 社内巡検や勉強会の開催、現地での議論、論文の執筆。
- ・ 地盤工学と応用地質を専門とする教員が同じグループに所属しており、定期的に意見交換している。
- ・ 実験や実習を一緒に実施している。
- ・ 社内勉強会。
- ・ 合同の巡検および勉強会、業務の協働。
- ・ 日ごろからの技術者の交流、勉強会等の開催。
- ・ 分野横断での共同研究・勉強会。
- ・ 社内の業務発表会を定期的に開催し、情報共有している。
- ・ 稼働業務の技術発表会（支社単位）稼働業務の技術戦略展開会議（全支社単位）部次長会議。

新技術を活用

- ・ CIM 化や i-Construction
- ・ 設計情報，施工情報の地質コンサルタントへのフィードバック。
- ・ 重要業務では主担当者のほかに専門分野ごとの担当者を置き，SFA ツールを利用した技術情報の共有・交換を実施。

自己研鑽

- ・ 土質技術者の地質資格の取得等。また，レビュー会議を実施。
- ・ 応用地質学分野の人が地盤工学を勉強して兼任しています。
- ・ 理学部(地質系)出身の技術者が，土質系業務を担当して業務経験を積んでいる。

その他

- ・ そもそもジャンル分けが間違っている！
- ・ 専門技術者がいっぱいいます。
- ・ 職員の適正配属。
- ・ 学会活動への参加要請。

考察

- ・ うまくいっている企業・組織は，組織構成，組織運営，人員配置，プロジェクト対応，仕事のやり方について，最初から応用地質学と地盤工学の知識を有する技術者の協働を図っている。
- ・ 会社間や組織間で協働を行っている場合もある。
- ・ 車内で勉強会や人材育成を行っている。
- ・ 新技術を通じて両者の協働を推進している場合もある。
- ・ 資格取得や自己研鑽により他分野の知識を習得されている方もいる。
- ・ 上記のうまくいっている事例を取り入れることで，両者の協働を促進できる。
- ・ 応用地質学を地盤技術者（土木技術者）に，あるいは地盤工学（土質工学・力学）を地質技術者に勉強してもらうニーズはありそう。学会が主体となってその橋渡しを行う。

問 9-2 あなたの組織（会社）で応用地質学と地盤工学の協働が活発でない理由をご記入ください。

回答者のコメントは，以下のように大きく「社内に地質技術者がいない or 少ない」，「社内に地盤技術者がいない or 少ない」，「お互いの分野の理解・必要性が進んでいない」，「組織運営上の問題，協働しにくい組織」，「協働すべき業務対象がない」および「」に分類できる。

社内に地質技術者がいない or 少ない

- ・ 地質を専門とする技術者がいない。
- ・ 社内に理学部地学科出身者が少ないため（地学は独学独習）。

- ・ 地質屋さんの数が少ない。自分の担当業務では協働の重要性は高いが、組織全体としては、重要性は低いのかもしれない。
- ・ ① ほとんど土木職しかいないため、応用地質学的な知識を活用するときは外注（コンサルタント）に頼っている。② 調査・設計・施工・維持管理と分業になっているため、受注者のコンサルタント側では、現場実践的な経験を地質屋さんにさせる機会が乏しくなっており、上記①の活用の場面で、成果を不満に思うことがある。
- ・ 地質の人材は、いない。
- ・ そもそも応用地質学が分かる人間が社内にはいない。
- ・ 該当する技術者が少なく、顔を合わせる機会がない。
- ・ 応用地質学の専門家がいないため。
- ・ 応用地質学に明るい技術者が絶対的に少ないため。
- ・ 地質屋さんが職員にはいない。
- ・ 地質に詳しい人材はいない。
- ・ 応用地質学の社内精通者人員の不足。
- ・ 応用地質学者が不在なため。
- ・ 応用地質学を専門とした職員が少ない。
- ・ 地質の専門家が社内にはいない、外部に相談する場合、どこに相談してよいか分からない。
- ・ 応用地質学の分野に明るい人材(特に中堅?若手)が少ないため。なお地盤工学に詳しい人材も社内には少ない。
- ・ 土木がメインの建設会社であるが、地質系の職員が圧倒的に少なく、社内で地質的問題が議論になることがほとんどない。工事に関する地質的な問題はほぼコンサル等への外注で対応している。
- ・ 我々の会社に応用地質学を専門とする技術者が存在しないため。（会社が採用していない。）よって、有事・必要時には、他組織に応用地質学の専門家の派遣を依頼して対応している。新規プロジェクトが少ないため、会社が地質学を専門とするスペシャリストをそれほど必要としていないことも要因の一つとして挙げられる。
- ・ 社内での協働という観点では、そもそも、社内に地質屋さんが居ないので協働はない。
- ・ 地質を知っている人材が少ないため。
- ・ 技術者がいない。
- ・ いわゆる地質屋さんがいない。
- ・ 応用地質学を専攻した者がいない。

社内に地盤技術者がいない or 少ない

- ・ 地盤屋がない。（問6は土に偏りすぎている）。
- ・ 地盤工学分野の研究者は1名のみだから。
- ・ 地盤を専門とする技術者が少ない。

お互いの分野の理解・必要性が進んでいない

- それぞれが自分の領域を主流で、他領域を亜流と考えている。
- 地盤を工学的数値でのみ判断し、基本となる地形・地質の成因課程等についての教育、知識は皆無である。
- セクショナリズム。
- 応用地質学主体の地質出身者が地盤工学の既存研究等を軽視するため。
- 理学部出身者と工学部出身者では、価値観や仕事観、仕事の仕方が根本的に違うように思います。工学系と理学系では、同じものを見ていても違う世界を見ているくらい、違っていると感ずることがあります。なので、仕事を一緒にやろうとしても、違いがあつてなかなか上手く協働できない、お互いにやり難いという壁があるのではないかと思います。
- 必要性を認識していないから。
- 協働はなされているが、必要に迫られてから協働が始まる状況が往々にして見られる。いわゆる土木系の土工屋さんは、設計問題であれば「 N 値, c, ϕ 」があればよいという姿勢が見られ、現地での問題点を大局的な視点から見るという行為に費やす時間（つまり地質屋さんに説明し、打ち合わせの時間をもつ）を無駄と考える傾向があるように見える。このことは、いわゆる設計指針類が地質学的観点の重要性を説きながらも精神論で終わっており、局所的な設計問題として対処できるようになっていることも一因としてあるように思われる
また、このような大局的な（地質学的な）視点からの問題指摘の価値に見合う正当な対価（報酬）を見込む業務契約体系になっていないことも要因の一つであるように思われる。
他方、災害対応問題に対しては、比較的良好に協働作業が行われているように見受けられる。
- 基本的な考え方の違い（地質：理学（真理を追究）、地盤：工学（人の役に立つ研究））。
- 興味の対象となるサイズのスケール、深度、圧力が大きく異なる。物性の精度・バラつきについての議論が成り立たない(データが少ないので無い)。
- 地形地質から得られる建造物の計画・設計・施工・管理における問題点やリスクが明確にされ、それらに基づく地盤調査の計画が立案されていないことが多い。
- 発注側（公務員）から受注側（民間設計会社）に替わり、現時点で気付いたことを率直に記す。一つは、業務実績で応用地質学的知見に基づく成果が求められてこなかった。二つ目は、そうした知見に基づく成果の照査が、受注側と発注側でなされてこなかった。三つ目は、コンピューターの発達で、解析ソフトの中身がブロックボックスのまま、答えが出るため、成果の自己審査が出来ていない。四つ目は、若い技術者に、勉強する時間が与えられていない。このため、目先の技術に追われて、基礎体力が備わらない。五つ目は、設計知識は徐々に備わるが、現場での事象を検証する機会が少ない。幸いといってよいと思うが、結局施工現場での責任は施工業者ということになり、施工者が現場事象を観察し、再検討して厳しい照査を行っている。六番目は、わが国では、設計者の法的責任が曖昧で、権限を与えられえないため、設計者責任を問われることが少なく、平たく言えば計算屋扱いで、そうし

た風土が醸成されていない。以上、テーマの重要性を強く感じている地盤技術者の意見でした。

- ・ 協働自体が少ない。
- ・ 個人的知識としては必要だろうが仕事上の結果には不必要だから。
- ・ 業務にあまり関係がないから。
- ・ 専門性を持った人間がいないこと、さらに必要性を理解する人間が少ないこと。
- ・ 設計者に土質や地質の解釈があいまいに映り設計条件を土質や地質の技術者に要求することが多く、土質や地質の技術者は設計者が必要としている設計条件がどのように設計で用いるかの理解ができていない。この結果、土質や地質の技術者がそれぞれ設計者とやり取りを行うため、彼ら自身の協働が進まない。

本来は、土質や地質の技術者が設計条件を検討する必要が業務で協働することをする必要があるが、理学系の地質の技術者が工学的判断の意味や設計条件の意味を深く理解する必要がある。また、土質技術者は理学系の地質の知識が土質条件の中に如何に活用できるかを理解する必要がある。

いずれにしても、土木構造物を設計するために地質・土質調査が実施され、この調査から設計条件を決定する。この設計条件は、設計技術者に受け渡され検討し設計条件が決定される。この流れからすると、設計技術者の力量が地質技術者と地質技術者の協働を進めることが重要である。

組織運営上の問題、協働しにくい組織

- ・ それぞれの部署が別々のビルにある。
- ・ グループが異なる。物理的に距離があったり指示ラインが異なるため。
- ・ 縦割りの組織構造。
- ・ 個人プレーをしているため。
- ・ 部署が分かれているから。
- ・ 互いの専門の棲み分けにこだわり過ぎているためと考えています。

協働すべき業務対象がない

- ・ 業務が研究開発のため、実地盤を対象とした業務に限られる。実地盤が対象の場合については、いつも地質学的見解を求められるわけではないため。
- ・ 応用地質学の方はトンネル関連の業務が多く、業務分野がラップしにくいいため。
- ・ 施工が社業の主軸であるため地盤（応用地質）における深い工学的知見を必要としないため。
- ・ そもそも工学系の卒業生のいない調査専門の組織だから。
- ・ 地質学的事実は基本的に地盤調査会社か、あるいは深部地下構造なら公的機関の公表している資料頼みで、自社での調査は行わないので。
- ・ 応用地質学は山岳トンネルに特化した業務が多く、担当職員も限られるため。

- ・ 対象としている市場が軟弱地盤であり、分野が異なるため。
- ・ 仮設構造物向けが大半であり、地質屋さんが活躍する場がない、人もいない。
- ・ 仕事柄両学の知識を必要としていない。
- ・ 対象となる構造物・施設が異なる場合はあまり交流はない。構造物・施設ごとに対応することが多く、両者の協働というよりは一人二役のイメージが近い。
- ・ 会社内の業務で応用地質学を積極的に実施して、設計に反映するという環境にない。公に認められた知見でないと設計に用いられない状況であり、専門の地盤屋さんの技術力と知見を採用している。地盤屋さんは、地質屋さんの知見や研究実績を反映していると考えている。

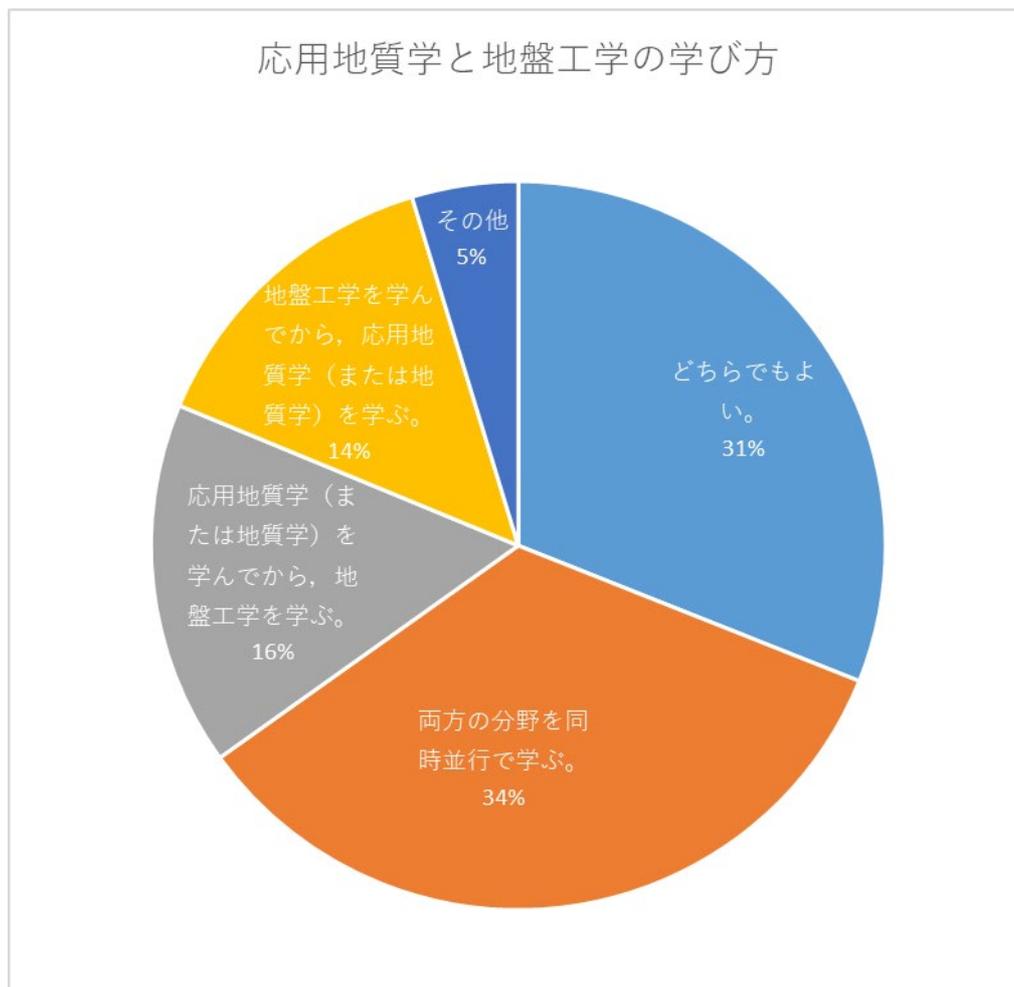
その他

- ・ 大学での話 用語から違う。
- ・ 設計会社であり、斜面設計、造成、トンネル設計は、応用地質学および地盤工学の認識の仕切りはない。いわゆる岩と土質という区別は、あまり意識しない。

考察

- ・ 協働が進まない原因として、組織に応用地質技術者がいない、または少ない現状がある。逆に、社内に地盤技術者がいない、または少ない場合もある。
- ・ お互いの分野の理解・必要性が進んでおらず、協働の必要性が認識されていない。
- ・ それぞれの分野の技術者が別々の建物にいたり、部署が分かれているなど、協働が進みにくい組織運営上の問題がある。
- ・ 協働が必要な業務としては、調査と設計で主であり、施工や管理の業務での協働は活発でない。また協働が必要な対象構造物や施設もある。

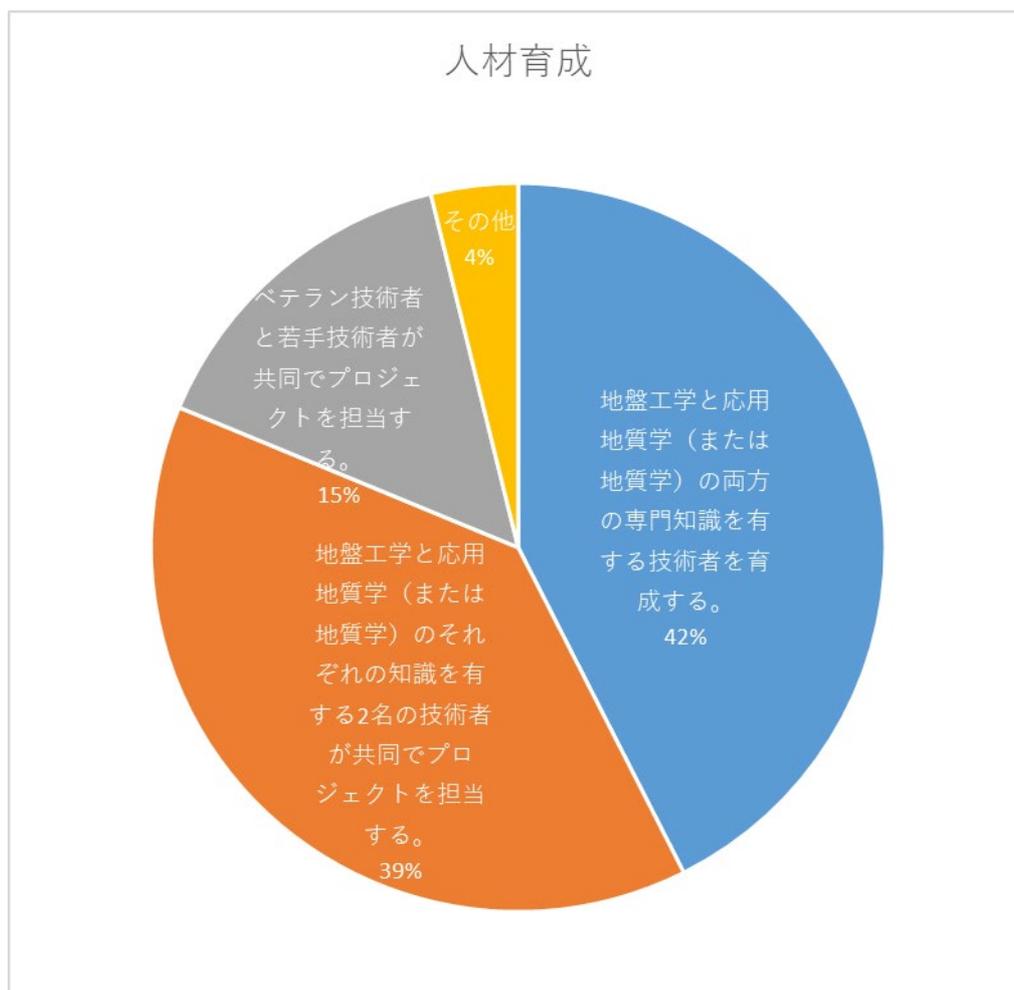
問10 応用地質学と地盤工学の学び方について、理想的なものを以下より選択してください。



考察

・「地盤工学を学んで応用地質学を学ぶ」が14%、「応用地質学と学んでから地盤工学を学ぶ」が16.2%、「両方の分野を同時並行で学ぶ」が34%、「どちらでもよい」が31.1%であり、学ぶ順番はそれほど重要ではなく、両方学習することが重要であることを示唆している。

問 1 1 応用地質学と地盤工学の協働を推進するための人材育成について、理想的なものを以下より選択してください。



考察

- ・「地盤工学と応用地質学（または地質学）の両方の専門知識を有する技術者を育成する。」が42.6%と理想的には、1人が2つの知識を習得することが望まれている。
- ・続いて、「地盤工学と応用地質学（または地質学）のそれぞれの知識を有する2名の技術者が共同でプロジェクトを担当する。」が38.7%となった。
- ・「ベテラン技術者と若手技術者が共同でプロジェクトを担当する。」は14.9%と割合としては少なかった。

自由記入欄：応用地質学と地盤工学の協働を進めるために必要なことがあれば、記入してください。

コメントの対象を初等から中等の教育機関（小・中・高等学校）、高等教育機関（大学・高専）、行政機関（文部科学省、国土交通省など）、産業界・発注者、産業界・受注者（業界団体、調査会社、建設会社）、学術団体（学会）および個人に分けて分類した。

初等から中等の教育機関（小・中・高等学校）

- ・ 高校までの過程で地学をもっと教えるよう活動すべき。
- ・ 高校の地学履修を必須にする。

高等教育機関（大学・高専）

- ・ 工学（土質）と理学（地質）では、その対象や考え方がかなり異なるもののお互いの理解が浸透していない乖離しているというのが今回のアンケートの背景と使い、学会活動としていい試みと思います。やはり大学教育の必修科目に工学では地質学を、理学では土質力学を加える環境づくりが、その垣根を克服する一つの方策に思えます。
- ・ 工学部では地質の教育はなく、理学部では地盤工学の教育は無いように思う。総合的な教育を行う学部・学科が必要と感じる。
- ・ 土木工学科で非常勤講師をしたときに地形図の見方を教えたら、学生が「こんなこと習うの中学校以来」と言っていた。地盤工学専攻者に限らず、基礎的な地形学・地質学を早い段階で教えたほうが良いと思う。
- ・ 工学系でも、大学時代に理学的（地質学的）な情報が少し加わるだけで協働がより容易になるのではないのでしょうか。
- ・ 大学での授業の見直しが必要です。
- ・ 建設工学として1つの分野としてしまうこと。応用地質学と地盤工学を分ける必要性があるときにだけ、分離すればよい。
- ・ 応用地質学と地盤工学を言いかえれば、地質と地盤？であれば、応用地質学と地盤工学の協働を進めるべきだと思います。私は、大学は土木工学科、大学院は建築を専攻いたしました。どちらも応用地質学はあまり学んでいません。
- ・ 建設技術者にとって地盤工学は非常に重要である。よって、地質学の基本をおさえた上で地盤工学を学ぶことが必要と考える。
- ・ 大学等専門教育機関の再構築が必要です。
- ・ 応用地質学は理学系の人々の学問、工学系はドンピシャがないから地盤工学に含めるというのが、私のもつイメージ。本来なら、両方が分かっていると困るはず。統合に大賛成。
- ・ 同じ課題に対して、それぞれの学問の物の見方や考え方を理解し、目的達成のために多様性のある成果がでるよう努めることで、社会が必要とする新たな研究テーマが生まれると思う。
- ・ 地質学（基礎）、応用地質学（応用）、地盤工学（社会実装）というような位置づけで大学で教えることが重要と考える。また、応用地質学会との協働も重要である（同じことを考えている部会があります）。
- ・ 大学や高専の土木工学科（及びその類似の工学系）で、地質の基本的事項を必須科目とすると良いのではないかと。

- 大学や高専の土木工学科（及びその類似の工学系）で、地質の基本的事項を必須科目とすると良いのではないかと。
- 大学での教育から変える必要がある。私は幸運にも大学で地形学を学ぶことができたが、社会人になり、いわゆる地盤技術者が地形学等の知識を持ってないことに驚いた。
- 大学の学部割から見直す必要があります。
- 大学で相互の基礎知識を学ぶ機会がもっと多い方が良い。
- 理学部出で地質学を工学に応用する応用地質学を専門としてきた者は工学を、工学部出で土質(地盤)工学を専門としてきた者は理学を理解する事が、土木構造物を造る上で必要と私は考える。

行政機関（文部科学省、国土交通省など）

- 工学的解釈・判断にはリスク許容なども必要となる。改正された科学技術・イノベーション基本法で、人文・社会科学の観点が入り入れられたのも、そうした本来の工学を目指し直すためと私は考えている。地質学的に把握できた点を基に、地盤工学的にはどう考えるのか（自然からの反応としての物性変化も含めて）を技術者には理解させることが重要である。そのためには、実際のものづくりのプロジェクトに携わらせることが一番の近道であると考え。それを通して、失敗を含め多くの経験を積ませることが大事であるが、それと同時に、失敗を責めない社会作りも大切（失敗学を参照）。さらには、地盤・地質に関する技術者にも、人文・社会科学の知見を取り入れることのできる素養を養う必要がある。そのために、応用地質学と地盤工学の協働だけでなく、法学、経済学、心理学を専門とする者との協働も進めて欲しい。専門の偏りは、結局ものづくりに繋がらない場合が多いと考えるからである。委員会の皆さんには、ものづくりのための技術者を育成するために、より広い視野で取り組んで頂ければ幸いです。

産業界・発注者

- 調査と設計をミックスで発注できるスキームの創設。全地連が「地質リスクマネジメント業務」と「ボーリングや地盤材料試験を主体とした調査業務」を別発注するように働きかけているのは直ちに止め、両方をミックスした1業務として発注する。

産業界・受注者（業界団体、調査会社、建設会社）

- 昨今の地盤に関する種々の問題や新規開発においては、両者を区分して考えるより、一体として捉えることが重要と考える。実務に携わる技術者も自分の専門に拘ることなく、広く学び、知識を吸収する姿勢が求められていると感じる。教育分野に携わる方もこうした境界を意識せず、幅広く物事を見て、考えられる人材育成を考えるべきと思う。

- 地質学の知識は特に **BIM/CIM** の 3 次元モデル判断で重要になると認識しています。しかし、これは **BIM/CIM** は応用的な課題ですので、まずは基礎や地盤改良などの地盤工学の問題で経験を積んだ後に地質学を学んだ方が、効率良く実務を進められるのではないかと思います。
- 協働には賛成です。ただし、建築の基礎構造を専門としているので、どうしても主は地盤工学、応用地質学はより深い知識として必要ですが副になるとは思います。両方の深堀りではなく、専門分野に応じた配分で知識を得られたらと思います。
- 自分の専門分野+他の分野の基礎を持つ技術者など、いろいろな技術者を計画的に育てることで、分野の敷居を低くできると思います。そのようにして行くことが、複合的な課題に取り組める柔軟な組織を作るためには必要だと思います。応用地質学でも分野は幅広い。地盤工学も同じだと思います。1つの分野に特化した技術者も、当然必要で、いろいろな技術者が協働することが当たり前になると良いと思います。
- 通常業務における人的な交流が必要です。
- 組織の室長・部長の考え方次第です。
- 特に専門を設けずに業務に取り組むべきです。
- 問 11 の補足になりますが、協働の重要性を理解し、それを積極的に進める考えを有するプロジェクトマネージャーが必要だと思います。そのようなリーダーの下、成功体験を積んだ各分野の技術者が、さらに次の世代を、**OJT** をとおして育成することが必要だと思います。このような流れが常態化することが必要だと思います。また、各分野の専門家がお互いを尊重してプロジェクトに取り組む姿勢が必要であり、そのためには個人の専門分野の能力を深める必要があると思います。協働でプロジェクトを進め成功させるためには、その前提として各個人の分野の能力を高めるための育成が必要だと思います。
- 我々の業種（鉄道における土木部門）では地盤屋さんはいても、地質屋さんは数少ないのが現状です。地質への理解をもっと高めていかなければ、なかなか協働は進まないのではないかと思います。
- 技術者の交流する機会が増えるとよい。現場で交流できると特に良いと思う（プロジェクト対応で、一緒に問題を解決する機会が増えるとよい）。
- 応用地質学と地盤工学の両方を専門とする技術者が、地盤技術者と地質技術者の間に入ってコミュニケーションを活性化する（通訳する）のが良いと思います。
- **ECI** などの設計施工作業の協働手法の適用をすすめる。
- 地盤工学の技術者は、応用地質学の技術者の調査結果を利用するが、時間的制約あるいは従来からの学領域を超えようとする意識が薄いので、その結果のバックボーンまでは知ろうとしない。従って、地盤工学側は応用地質学側から、せめて基礎的知識を得る必要がある。逆に応用地質側は、地盤工学側の業務の一部を担当してもよいと考える。すなわち、両者の交流により総合的な技術レベルの向上を図る必要がある。特に、限られた人材の組織体制においては人材活用の面で、その方向を模索する必要がある。

- 土木構造物を設計するために応用地質学と地盤工学を必要とする場合、設計することは工学的判断が必要になる。従って、工学における設計方法や設計思想を理解することが最も重要であり、この理解を基に応用地質学や地盤工学の知識や知見をどのように生かせるかを応用地質や地盤工学の技術者が、プロジェクトの中で協働することが最も重要である。
- 協働は必要だと思います。一方で、協働以前に社内では両分野に詳しい人材が少ないのが現状です。経験的な分野だとよく言われますので、特に若手世代の育成を促すような場を多く設けて人材を地道に増やすことが必要かと思います。ご質問本来の意図とは違う回答になってしまっていますが…。
- 地質のわかる土木技術者が少ない。
- 地盤系でも、地質系でも現場等での経験が蓄積されれば、それなりに知識は増えていくと思う。その後は、先輩が経験した知識・ノウハウ等をどのように次世代に伝えていくかが大切かと思う。
- シールドトンネル、地中探査、空洞・陥没などの大深度の都市土木分野は協働がより必要と思われます。例えば、こういう分野での事象事例を応用地質学と地盤工学の両面から分析、原因解明し、事例集を作るといった具体的な取組みがあれば、自然と協働ができると思います。
- 多くの新規プロジェクトが必要。調査・計画段階から応用地質学・地盤工学の協働を活発に行い、より高い価値を提供できる活動が臨まれる。日本の人口が減少する状況下において、各分野の技術者の数を確保することは非常に困難となると考える。解決策の一つとして、地質学の公的コンサルタント機関を設立し、様々な有益なサービスを民間企業に提供できるようにすると、その利用が促進され、応用地質学・地盤工学の協働が発展する一助となるかもしれない。
- 両方の知識を学べる機会を増やすことでしょうか。（OJTでもOffJTでもよし。）
- 現場経験が必須であると考えます。
- 地質学の活躍の場は、調査・設計段階であり、地盤工学は施工段階で必要とされるように思います。トンネルやダム施工において、地質屋は必要ですが専門性が高く土木屋がその基礎を学んで同じレベルになるのは難しいと思います。逆に、地質屋が土木屋の知識を学ぶのはそれほどでもなく、やはり、「土木もできる地質屋」を養成する方がよいと思います。ただ、無理に両方をできるようにする必要はなく、それぞれの専門知識を活かしながら協働していくのが最も効率的かつ効果的であると思います。
- まずは「広く浅く」の範囲で互いの知見を共有することが必要と考えます。地質分野・地盤分野にとらわれず、まずは一緒にやってみることが必要なのではないかと感じます。
- 地盤工学技術者は土木設計まで担当している場合が多いため、応用地質学分野までを網羅して業務を進めることは難しい。同様に、応用地質学技術者は、地盤工学の知識を業務を通じて習得することが多いが、応用地質学技術者が土木設計まで担当するのも難しい。両方の専門知識を有する技術者を育成するのが理想ではあるが、現実的には、応用地質学と地盤工学のそれぞれ

れの技術者が、それぞれの業務に従事しながら、必要に応じて協働するのが無理のないやり方だと思う。

- ・ 地盤工学を元にした実務では、最終的な形を提示する、つまり設計を行う。よって定量化する。他方、応用地質学的観点は定性的であり、両者をいかに結合させるか、が課題として残されているように思われる。「地質リスク」という観点が打ち出されているが、実務においてこれを如何に運用させるようにするかを検討が必要であるように思われる。

学術団体（学会）と本委員会

- ・ 明かり工事や地盤工学を専門としている下名としては、地質学の知識が必要な場面は限られており、その都度調べたり聞いたりすればいまのところ用が足りている。ただ、トンネルやダムなど、地質学と密接な関係にある工種を専門とする技術者は、やはり自ら学ばねばならないと考える。そのためには、会社や学協会内にそうしたスタッフと情報交換の場が不可欠で、中小企業にとっては、学会を通じての交流が有効となる。
- ・ まずは知ることからで、学会には初級講座を開いて欲しい。例えば応用地質技術者のための土質試験からわかる物性値とか地盤技術者のための地形から読み取る情報など。
- ・ 地盤工学研究発表会に、応用地質学との協働に関するセッションを常設する。
- ・ 関東支部の研究委員会を本部委員会に昇華させる。
- ・ 大方針として応用地質学と地盤工学それぞれの専門分野が独立していて良いと考えるが、扱う用語の統一などは進めるべきと思う。
- ・ 日本地質学会と地盤工学会の合併ができないのであれば、なにをしても無理ですね。
- ・ 地盤工学会でも過去に何度も研究されているが、学会運営に関わる先生方の興味がなく、埋没し消える。この繰り返しのようによ見えます。50年前ほど前から、ハンドブックをたどれば、見えて来るでしょう。
- ・ コミュニケーション機会の創出が重要です。
- ・ 応用地質学と地盤工学の技術者数は、地盤工学の技術者の方が多いように感じる。協働を進めるためには、応用地質学の技術者数を増やしてから取り組む必要があると感じる。
- ・ 次の2つの情報を十分に周知すべきであると考え。①協働が不十分なことに起因して生じた不都合や重大事故等の事例、②協働が十分であったために生じたポジティブな事例紹介。
- ・ 両者が共有する、あるいは境界となる部分のテーマを取り上げ、協働意義を整理・周知する。
- ・ 先ずは、なぜ進める必要があるかを明確にする機会を増やす。
- ・ 地質は大風呂敷、地盤は数値しかみていないなどの偏見をなくして、相手の部門を理解する姿勢が大切である。地質は自然現象がどのようにものを作るのに影響するのかを数値的に表現する姿勢、地盤はたたき出した数字の持つ意味の裏付けとなる自然（地質）を理解する姿勢が大事である。

- 地質技術者の方々が自分達を「地質屋」と呼ぶ”アイデンティティ感”が強すぎて、これまで無意味な壁が作られてきた…と感じることがあった。AI・ICTなど技術革新が進む昨今、過度に自分の専門領域・役柄にとらわれず、様々な分野の技術者と意見・情報を交換できるよう心がけている。
- 土質屋さんに地質学の知識が無く発想すら持てない人が多い。応用地質学の入門程度の知識（分からないことを専門家に問い合わせる動機を持てる程度までの）を持って欲しい。
- 一方の分野の知識が、他方の分野の実務でどうやって活かされているかを互いに知る必要があります。
- 人類が社会を構築し、地球上に存在することで、さまざまな”現象”に向き合うことになる。出会った”現象”に対し、適切に対応する術を学び、考え、実践するためには、”現象”を「理解」することが不可欠である。理解とは、人が行う行為であり、判断の基準、言語等、共通のルールがなければ、観たものを、一連のメカニズムとして受け入れることも表現することもできない。”現象”のメカニズムを追求することが、唯一、課題解決の方法であり、応用地質学（観る技術）、地盤工学（表現する技術）のみに秀でるというパラダイムは、そもそも目的に合致しない。「観たものを表現する」ことで、初めて「考える」次元が開く。それが如何に困難を伴う道であっても、不完全なものの集合体を前提とする「協働」ではなく、哲学、思想を持った技術者の育成を目指すべきではないか。
- 応用地質学を専門とする技術者と地盤工学を専門とする技術者の両者ともが座右の書にできるようなバイブル的な書籍（事例集）の編纂をして欲しい。
- 地盤工学に関連した設計・施工で、応用地質学がどう役に立つか、必要かを示す事例を積極的に示した情報発信、書籍の発行をお願いしたい。
- 両者の専門知識を持った技術者を育成することはなかなか困難です。専門分野の技術者が、いかにコミュニケーションよく協働するか、できるかが重要ではないでしょうか。
- 地震工学分野に関して応用地質と地盤工学の両面から発展すべき。特にサイト波（地震動）の設定と土質力学の連携、および構造力学との連携を進めるべき。海洋構造物・特に着床式風力発電設備の技術分野の進展に期待する（地質構造と地盤工学、地盤の動的解析と基礎設計、地盤と杭構造物の動的相互作用、**MONOPILE**（大口径杭）基礎の合理的設計方法の確立、地盤の減衰機構の解明など）。
- 私自身は建築の技術者ですが、基礎構造については応用地質学と地盤工学が必要になると思っています。また、建築の中にも石造はありますので、岩石学、その風化や劣化についても知識が必要になります。応用地質学、地盤工学のみでなく建築との協働もぜひ検討していただければと思います。
- 歴史的産物として規定された地盤の工学的変革が地盤工学の神髄ではないでしょうか。
- 理学をベースとして工学を学ぶことが理想と考えます。
- 具体的にどうしたら良いかのアイデアはありませんが、協働の必要性を強く感じる機会がある。

- ・ 学会内に WG を設置する。
- ・ 地形・地質と地盤の強度や沈下問題は密接な関係があると考えますが、両者を盛り込んだテキストが少ないのもっと出したらよいのではないかと考えます。
- ・ 地盤工学が岩盤工学・岩盤力学を含むものであるならば、地盤工学全般に渡って専門知識を有する技術者は少ないのではないのでしょうか。どちらかという、岩盤工学の技術者は応用地質学の知識等を有している、興味を持っている技術者が多いように感じます。そのため、応用地質学と地盤工学の協働というテーマ設定が、土質力学の技術者の見方のように感じ、自身は岩盤力学（トンネル工学）の研究者、技術者であるためピンときません。
- ・ 協働が必要と考えますので、是非成果を公表して、実践に結び付けてください。
- ・ 地盤工学の専門屋が地質学を基礎から勉強して、応用地質学と地盤工学の協働を推進するのは大変だと思います。地質屋が歴史科学的な意味も加味して、現地踏査を中心にして実践的に地質・土質を極めて、土木屋さんとの橋渡し役をすることが重要だと思います。最近、若い地質屋さんが現地踏査をしたがらないと良く聞きますが、積極的に現場に出て踏査を行い地質現象を土木工学的に把握できるようにすることが必要と考えます。～70代半ばを迎えた現役の土木地質屋の一人言です～。
- ・ 地質学の重要性を世間に広く認知してもらう工夫が必要。実際の施工案件で、応用地質学と地盤工学との協働によってうまくいった事例や協働しなかったために失敗した事例をまとめた資料を学会として公表する。

個人

- ・ 応用地質学の基礎知識を得て、実際の設計にいかせれば良いと考えます。
- ・ 地盤と地質の根っこは同じです。両者をそれぞれ良く理解することが総合的な技術向上に資すると思います。
- ・ 両方のプロになるのは難しいと思う。ただし、地盤技術者が応用地質学の基礎を勉強し知っている必要はあると思う。
- ・ 技術に境界は無いと思います。参加者のモチベーションとインセンティブの確保が大切だと思います。面白いと感じる雰囲気醸成することも、大切な要素だと思います。
- ・ 互いの領域についてある程度の知識は身につけ、少しでも一緒に議論できる素地を作っておく必要があると思います。
- ・ 互いに強い結びつきがあることを若手のうちから実感し、互いの分野を共に尊重する風土（バイアス）を作ることが重要です。
- ・ 各分野の基本的な所(応用地質学のうち堆積学や、土質力学のうち支持力・土圧・圧密・土の強度特性など)を、お互い理解しておくことが必要だと思います。
- ・ 若き頃、Peck 先生にインタビューする機会に先生が言われたことを思い出します。「もし私（先生）が君たちのような若い技術者であったら、まず地質学上の地盤工学に係わる事象の勉

強をし、現場に出て多くの現場を観察し、地盤工学の勉強をする」と。老兵、現在でもこの教えの重要性を感じています。

- エンジニアとサイエンティストの意識確認が前提として必要かも？
- 我々年寄が意識するほど両者に違いがないのでは？
- どちらが技術的に上か、下かという意識を排除する。
- 現在、もともと地質が専門だったベテラン技術者と一緒に土質の仕事をしており、地質に関する知識が得られた。特に地盤調査のような実際に土を見る仕事を、地質の知識があるものと一緒に進むと非常に勉強になる。
- 対象構造物があつての両分野ですから、構造物の施工法や力学的仕組みも学ぶべし。
- 理学的・工学的見方、演繹法・帰納法的発想等、現象の見方を議論しながら技術者教育に努めていきたい。また、知的好奇心を忘れない心の余裕を目指したい。
- 両方の専門知識を有する技術者育成のためには、一定の実務経験を重ねた後の学び直しが効果的だと思います。
- 各分野への敬意と尊重の態度が重要です。

3 教育・人材育成に係る提言について

3.1 考え方

- 協働を推進するための教育・人材育成システムの改善を目的とする。
- 現状の課題を解決し、今後の社会情勢の変化に効果的に対応できる実行可能な内容とする。
- その中で、(公社)地盤工学会が担うべき役割(システムの構築・管理・運営など)などを盛り込む。
- シラバス調査とアンケートの結果を反映する。(【】はアンケートの主に対応する部分)
- キーワードは、共有、交流、経験・体験、必要性の認識、学問上の特性などか。

3.2 協働に係る望ましい姿・理想、目指すゴール(問題意識:理想が必ずしも実現していない)【問8,9】

- 両分野の学術的・技術的な知見を的確に動員して、良質なインフラの開発や、地盤防災・環境保全に適切に対応できる。
- 産官学が協力して、教育・人材育成に係る情報やコンテンツ・人材・コストなどを効率良く提供・分担できる。
- 両分野の協働を推進し、学習のインセンティブを強化するために、両分野の協働を要する産業を振興し、その労働市場を創造・拡大する。

3.3 協働に向けた方針、提言【問9-2】

- (1) 初等から中等の教育機関(小・中学校, 高等学校)
 - 国民の防災リテラシーや環境リテラシーの向上のため, 理科(特に地学)を重視する。
- (2) 高等教育機関(大学・高専)
 - 学際的な知識・技術の学習環境を整備する。
- (3) 行政機関(文科省, 国交省)
 - 協働の推進に資する政策を実行する。
- (4) 産業界・発注者
 - 業務で協働を実践する。
- (5) 産業界・受注者(業界団体, 調査会社, 建設会社)
 - 業務で協働を実践する。
- (6) 学術団体(学会)
 - 両学会間の連携を強化する。
 - 両分野に係る学際的な研究・技術開発を推進する。
 - 教育・研究機関, 民間企業, 産業界の連携・協力関係を構築し, 管理・運営する。
- (7) 個人
 - 学際的な知識・技術の習得, 実務への適用に努める。

3.4 実行案（アクション・プランのイメージ）【問 9-1】

- (1) 初等から中等の教育機関（小・中・高校）
 - 総合学習などの教育内容に地盤防災・地盤環境に係る項目を追加する。
- (2) 高等教育機関（大学・高専）
 - 学校間で協力（講義，教材，教員の共有など）する。
 - JABEE 審査項目を改良する。
 - 産学連携（研究・技術開発，巡検など）を推進する。
 - カリキュラムやシラバスを改善する。【問 6,7】
- (3) 行政機関（文科省，国交省）
 - 教育行政において，理科（特に地学）を重視する。
 - 建設行政などにおいて，協働を奨励する。
- (4) 産業界・発注者
 - 発注の方法を改良する。
 - 業務管理・評価の方法を改良する。
- (5) 産業界・受注者（業界団体，調査会社，建設会社）
 - 大規模な会社では，自社内で協働の体制を構築する。
 - 小規模な会社では，外部との連携により協働を可能とする。
 - 技術者資格の取得を推奨する。【問 5】
- (6) 学術団体（学会）
 - 両学会の協力関係を構築するための協定を結ぶ。
 - 共通会員の特典（会費の減免，共通サービスの提供など）を検討する。
 - 調査研究・教育・出版・資格制度・アーカイブ管理などの事業で協力する。
 - 将来的に，連合組織または合同組織を作る。
 - 全地連と協力関係を構築するための協定を結ぶ。
 - 調査研究・教育・出版・資格制度・アーカイブ管理などの事業で協力する。
 - 社会人が基礎的な内容を学習するための教育サービスを提供する。
- (7) 個人
 - 研鑽する。

3.5 学術団体（学会）に向けた提言の具体案

- (1) 地盤工学会と応用地質学会の協働を推進する講習会・勉強会を定期的に共同開催する。
 - ① 土木系卒業者向け応用地質学を学ぶ講習会内容（案：名称は要検討）
 - 応用地質学・地質工学
 - 地質調査法
 - 地形学
 - 岩盤力学
 - 岩石の風化・劣化に関する地質学的知識
 - 地下水理・水文学

② 理学系学部卒業生向け地盤工学を学ぶ講習会内容（案：名称は要検討）

- 地盤調査
- 土の圧密と地盤沈下
- 斜面安定（地すべり・崩壊を含む）
- 支持力・浅い基礎・杭基礎
- 土のせん断
- 浸透と地下水
- 地盤材料試験（土質試験）
- 地盤改良

課題：巡検や現地調査も含めるか？講師案や費用？（ここまで提案した方がよいか）

(2) 応用地質学と地盤工学との協働によってうまくいった実際の施工事例や協働しなかったために失敗した事例をまとめた資料を学会として公表する。

課題：WG1 との調整が必要。

(3) 地盤科学技術の普及・発展を目的として、地盤工学会と応用地質学会が中心となり地盤科学技術に関連する学協会を連携した「地盤関連学会連合」を組織し、学会連合として次のような各種共同事業を推進する。

- ・ 地盤科学技術に関する学術的な大会あるいは会合の開催
- ・ 地盤科学技術に対する社会からの諸要請への対応
- ・ 地盤科学技術の重要性に関する対外的情報発信
- ・ 地盤関連諸学問分野の普及
- ・ その他、連合の目的を達成するために必要な事業

本学会連合のもとに両学会の協働を推進するための「地盤・応用地質教育・研究の改善を目指す人材育成委員会」、および両分野の用語の統一を検討する「地盤・応用地質用語検討委員会」および「〇〇」を設置する。

以上

自由投稿

タイトル	氏名(敬称略)	所属	頁数
渡邊貫(とおる)と丹那トンネル	末岡 徹	(株)キタック	1
理由がある	宮田 和	清水建設(株)	19
体感した「科学・技術知識の波紋形成とその拡大」	石井 裕泰	大成建設(株)	21
思うままに	今村 遼平	アジア航測(株)	22
地質技術者として斜面防災対策に取り組んで	上野 将司	応用地質(株)	33
ニューレトロと地質技術者	宇田川 義夫	清水建設(株)	36
念力土質力学	柿原 芳彦	応用地質(株)	40
カール・テルツァーギと渡邊貫が創始し目指したもの	栗原 則夫	元日本道路公団/NEXCO	42
地質技術者と地盤調査技術者の連携強化	田中 耕一	一般財団法人エンジニアリング協会	59
災害復旧業務を通じて	鈴木 健介	鹿島建設(株)	60
応用地質学と地盤工学の協働を考えるにあたって	田中 淳	基礎地盤コンサルタンツ(株)	61
泥岩と戦うこれまでとこれから	横田 聖哉	東日本高速道路(株)	62
応用地質学と地盤工学の協働の場に関わって	森 良樹	(株)パスコ	66

渡邊貫（とおる）と丹那トンネル

(株)キタック 末岡徹

熱海・殉職碑での慰霊祭

2017年4月5日、熱海市梅園町の丹那トンネル殉職碑（写真—1）前で、第39回「丹那トンネル感謝祭」が開催された¹⁾。

丹那トンネルの建設工事で亡くなられた67名の方々の犠牲のもとに、熱海市が飛躍的発展を遂げたことに対する感謝の催しであり、熱海市長、観光協会長、県議、そして宮原知子 JR 東日本熱海駅長、高橋満康 JR 東海熱海駅長、市議、市幹部、観光、JR 関係者などの方々、およそ50人が出席した¹⁾。

JR 東海・JR 東日本、両鉄道会社の関係者が参列していることが注目される。

すなわち、殉職碑は、丹那トンネル建設において亡くなられた方々の尊い命の慰霊の象徴であるとともに、丹那トンネル建設という日本の鉄道史上未曾有の壮大かつ壮絶な鉄道近代化の歴史が刻まれており、工学的にはトンネル工事をきっかけに地質工学・応用地質学・地盤工学などの学問・技術が進歩・創出されたことと並んで、丹那トンネルの建設を礎として日本が近代化を進めた当時の政治社会情勢がうかがえる。これからそれらの苦闘の歴史を辿ってみよう。



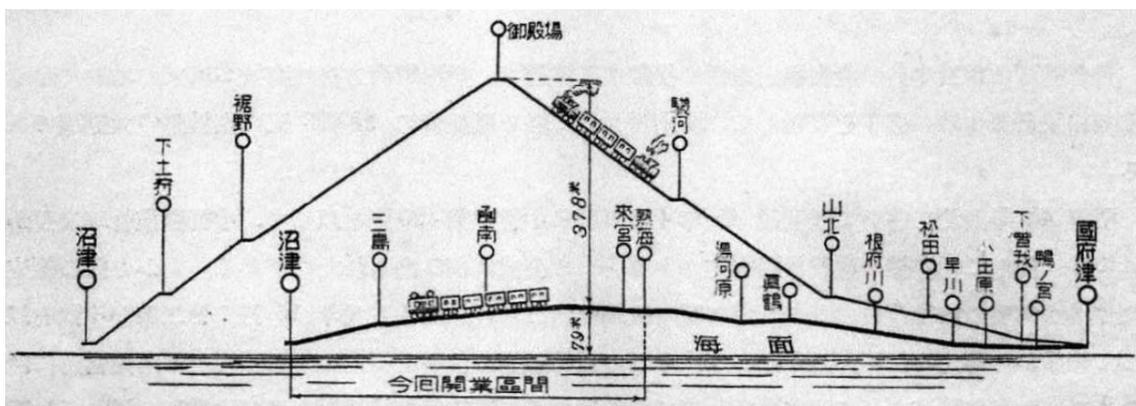
写真—1 丹那トンネル殉職碑（2021年12月3日、筆者が撮影）

丹那トンネル建設の理由

丹那トンネルの建設開始時（1918年・大正7年）、日本の大動脈（メインルート）東海道線には、国府津（神奈川県）—沼津（静岡県）間、垂井—関ヶ原間、大津—京都間の3箇所の難所¹⁾があった。その一つが、国府津（神奈川県）-沼津（静岡県）間のいわゆる箱根越え（図-1²⁾参照）で、当時の東海道線は、現在の御殿場線経由であり、補助蒸気機関車による列車との連結や牽引で2時間半以上の時間がかかっていた³⁾。このルートは40分の1の急こう配⁴⁾で、補助機関車をつなげなければ列車を引っ張ることができなかった。加えて、いくつかの駅にはスイッチバック施設があり、通過に時間を要した（図-2⁴⁾参照）。これが、当時の日本の大動脈東海道線の実情と実力だった。



図—1 東海道線の箱根越えルート（参考文献2）を基図として著者が作成）



図—2 熱海線と御殿場線のこう配の比較

（参考文献4）鉄道省熱海建設事務所丹那隧道工事誌の第2図を引用）

鉄道院（1920年から鉄道省、戦後は49年に日本国有鉄道、1987年からJR各社に改名）は旧態依然の当時の御殿場線経由の東海道線をやめ、国府津・小田原・熱海を経て三島に抜けるルートで、東海道線の輸送力の増強^{4)、5)}を図った（図—1²⁾参照）。それが、熱海—函南間で丹那トンネル（7804m、複線）を建設し通過させる熱海線の建設であった。

この地域の地殻は、フィリピン海プレートの上にできた火山島などがプレートとともに沈み込めずに日本列島に衝突し、活発な火山活動を伴って地質・地形が形成された大地である。伊豆半島には、箱根から天城に続く山脈が縦走しており^{1)、4)}、たとえ、箱根をよけても、どこかでこの山脈を横断するルートが必要になる^{1)、4)}。そこで、大トンネル建設計画は、早くも1909年（明治42年）、鉄道院初代総裁後藤新平の時に提案され^{1)、6)}、その後このルートの調査・測量が始まった。

当時の鉄道院の計画では、工事期間7年、工費770万円⁴⁾であった。しかし後述するように断層・亀裂・温泉余土と呼ばれる弱層がある地山のトンネル掘削過程で、激しい湧水と落盤・崩壊が数多く発生し、多くの犠牲者を出すというすさまじい自然との闘いとなり、工期は16年、工費は2600万円⁴⁾という、とてつもない規模に達した。

また、技術的には当時の地質学者と土木技術者の間の論争にみられたようにトンネル建設の経験不足や事前地質調査が不十分だったことなど技術の未熟さも加わり、トンネル工事で1921年（大正10年）4月1日⁷⁾に16名、1924年（大正13年）2月10日⁸⁾に16名の死亡者を出す土砂崩壊事故が発生し、建設工事全体で67名⁸⁾というとんでもない数の犠牲者を出してしまった。

熱海口側トンネル崩壊事故—1921年4月1日

最初の重大事故は1921年（大正10年）4月1日16時20分に発生した⁷⁾。熱海側の坑口（東口）から300m付近で、掘削後トンネル覆工のレンガ積み作業をしている箇所が発生した。

吉村昭の「闇を裂く道」³⁾によれば、事故後の調査でこの個所は、地質が想像以上に悪く、それに気づかなかつたのが原因であることが明らかになったと記されている⁹⁾。粘土層を含むすべりやすい部分があり、そこを岩石が滑って動き、支保工の丸太が次々に倒れて、大崩壊につながった、と判定された⁹⁾。まさに破碎帯に遭遇したのだ。そして、あとから考えれば、前日の3月31日、その箇所の天井で土が崩れ落ち、ただちに土を埋め込んで、元どおりにしたがそれが大崩壊の前兆でなかったか、という工事関係者の証言も得られた¹⁰⁾。また、トンネルに関する設計・施工の観点からは、丹那トンネルを、それまでのトンネルがほとんど単線型であったのに対して、それまで経験のない広い複線型にしたのが、技術的に無謀で間違いであったのでは^{10)、11)}、という意見が崩壊事故によって坑道内に閉じ込められた工事関係者からも寄せられている。

まさに、本研究委員会の報告および提言（案）で言及している「自然地盤の構造の解明¹²⁾」なしに、地盤構造物であるトンネルの設計・施工（建設）は不可能であることを、裏付けて

いる。

1922年（大正11年）、鉄道省はスウェーデンから技師を招いて、破砕帯調査のボーリング調査を開始し¹³⁾、1923年以降は、渡邊貫（とおる）らが地質調査を担当した¹⁴⁾。ボーリング箇所は、今後工事が進む三島口からのトンネル掘削に必要な地質情報を得るため、丹那盆地（写真—2）が選ばれた。



写真—2 丹那盆地の風景、遠方に富士山を望む（2021年12月3日、筆者が撮影）

丹那盆地の形成に関しては、様々な学説がある中、湖水の跡であったということは、一致していた¹⁵⁾、¹⁶⁾。すなわち丹那盆地は、今もって周囲の水の大集合地で、地中の断層は大きく、それがトンネルを掘る予定線を横切っており¹⁵⁾、多くの困難が予想された。

なおこの丹那トンネルの地質調査では、渡邊貫のほかにも、久野久¹³⁾や平林武¹⁶⁾らの努力も特筆すべきものがある。平林は、丹那盆地の現地踏査と地質調査¹⁶⁾を行い、ち密な地質図を作成している。久野久¹³⁾、¹⁷⁾は丹那トンネルおよび新幹線用の新丹那トンネルにおける詳細な地表および坑内地質調査、採取試料の顕微鏡観察、火山岩の成因に関する研究など地道な地質学的研究¹⁷⁾を行っている。

上述したように、多くの困難に直面した鉄道省は、丹那トンネルの工事に地質学の知識が必要と認識し、1923年（大正12年）東京帝国大学理学部地質学科卒業の渡邊貫（とおる）を、広田孝一、佐伯謙吉と一緒に採用した¹⁸⁾。渡邊貫は、さっそく丹那トンネルの建設現

場のある熱海線建設事務所配属の所員となり、ここで 2 年半のトンネル建設現場を体験することになる。

これ以降、渡邊貫のプロフィールを年代ごとに分けて紹介¹⁸⁾、¹⁹⁾する。

渡邊貫のプロフィール（1898 年～1926 年）

渡邊貫（とおる）は 1898 年（明治 31 年）大分県の生まれで、1923 年（大正 12 年）東京帝国大学理学部地質学科を卒業すると、地質学の専門家として鉄道省に入省した。彼は、奔放な発想でしばしば周囲を煙に巻く人物で、「ホラ貫（カン）²⁰⁾」のニックネームで愛され、鉄道省内の残りの 2 人「ホラ弥寿（やす）」と「ほら次郎」とともに、窮屈な官僚組織に風穴を開け鉄道の発展の貢献した人物²⁰⁾といわれている。その筆頭格が、「ホラ貫」こと渡邊貫であり、理学部出身という少数派であったため、土木工学科の出身者で占められていた鉄道土木の分野では貴重な存在となり、その希少価値を生かして組織や分野の枠にとらわれない奔放な活動を行い、その結果として土木工学と地質学の境界分野として「地質工学」という概念を体系化した²⁰⁾。

彼は剛毅な性格の持ち主であるとともに、技術的にもたいへん鋭い感覚を持ち、1925 年（大正 14 年）熱海線建設事務所から本省建設局計画課に移動した後、翌年の丹那隧道第一回委員会研究問題討議では、鉄道技師として調査によって地下水のコンターを描く必要性を、堂々と主張している²¹⁾。そして本提案は、以降大きな困難となった丹那盆地の渇水という環境問題に関する基礎データとして役に立つことになる。

関東大震災の発生—1923 年 9 月 1 日

1923 年（大正 12 年）、すなわち渡邊貫が、鉄道省に入省し、熱海線建設事務所働き始めた年の 9 月 1 日、11 時 58 分、東京市の气象台では、地震計の針が激しく動き記録紙の外に飛び出し、大轟音とともに建物の瓦が滑り落ち²²⁾、関東大震災が発生した。相模湾南西部の海底部でマグニチュード 7.9 の大変動が発生し、深さ 1300m の海底が、長さ 24km、幅 2 km から 5 km にわたって、100m から 150m も陥落し、その反動で湾の北東部の海底が 100m 以上も隆起した²²⁾。

相模湾沿岸の地域の震動は、最もすさまじく災害は甚大だった。家屋の 3 分の 1 以上が、倒壊・半壊し、大津波で流失した家屋も多かった。東京では地震による火災が発生し、3 日間の火災により東京市の 4 割以上が焦土と化した²²⁾。

熱海線の被害も激しく、根府川では、列車が駅舎・線路もろとも崖から海岸に転落・倒壊し、多くの犠牲者が出た²²⁾。根府川付近では、万を超す避難民であふれ²³⁾、熱海線の小田原・熱海間の線路は、山崩れや土地の陥没で全滅し、熱海は孤立した²³⁾。

しかし幸いなことに、丹那トンネルの被害は軽微だった²³⁾、²⁴⁾。

三島口側トンネルの崩壊—1924年2月10日

三島口（西口）側からのトンネル工事においては、断層帯に突入し、工事は2年間西口から1500m付近で難渋を極めていた²⁵⁾。そんな中、1924年（大正13年）2月10日、午前9時20分、西口1500m付近の約10mの区間が、突然土砂崩壊奔流し、建設作業員ら16名が埋没または閉塞させられる死亡事故⁸⁾が発生した。死因は、退路を崩壊土砂で絶たれたための溺死であった^{8)、25)}。

渡邊貫のプロフィール（1925年～1940年）

渡邊貫は、1925年、鉄道省熱海線建設事務所から、鉄道省建設局計画課に転勤した。この頃になると、ヨーロッパを中心として発達した土質力学の知識も日本に入ってきた。1925年には、カール・テルツァーギが「Erdbaumechanik」（土質力学）を著して土質力学理論を体系化し、世界的な注目を集める²¹⁾と同時に、スウェーデン鉄道省では、1913年（大正2年）に土質研究委員会を発足させ、ウォルマー・フェレニウス（斜面の安定解析で有名）やアルバート・アッターベルク（液性・塑性限界で有名）などの人材を擁して、多くの成果を上げていた^{18)、21)}。

（鉄道省土質調査委員会（Geotechnical Commission）の発足）

渡邊は、こうした海外の動向を踏まえて、1929年（昭和4年）に私的な勉強会として「土と水研究委員会」を立ち上げ、この分野に関心のある鉄道技術者や大学教官などを集めて情報交換²⁶⁾を開始した。その内容は、地質学的な日本列島の造山運動、トンネルの破壊に関する岩盤力学、水文学、地質調査法、施工や調査におけるケーススタディなど多岐にわたっている²⁶⁾。今日なら学会や事業者などが主催する研究委員会に相当する活動だろう。

そして「土と水研究委員会」が母体となり、1930年（昭和5年）11月、鉄道省内に土質調査委員会（Geotechnical Commission）が設置され、地質や土質に関わる研究を進める体制が整えられた。鉄道省各局部からの人材に加えて、東京帝国大学からは山口昇が委員として参加した²⁶⁾。渡邊貫は幹事の役目だった。

土質調査委員会は、常置の調査機関として、「第1部、土質科学的調査（土質力学調査、土質分類、土質構造及び成層調査）」、「第2部、土質調査を基礎とする構造物の設計（地形及び成層調査、土質試験、設計）」、「第3部、土質調査を基礎とする工事施工法（地形及び成層調査、土質試験、施工法）」を設けた²⁶⁾ほかに、内外の文献の収集・翻訳・分析を目的として雑誌会を隔週開催²⁶⁾していた。

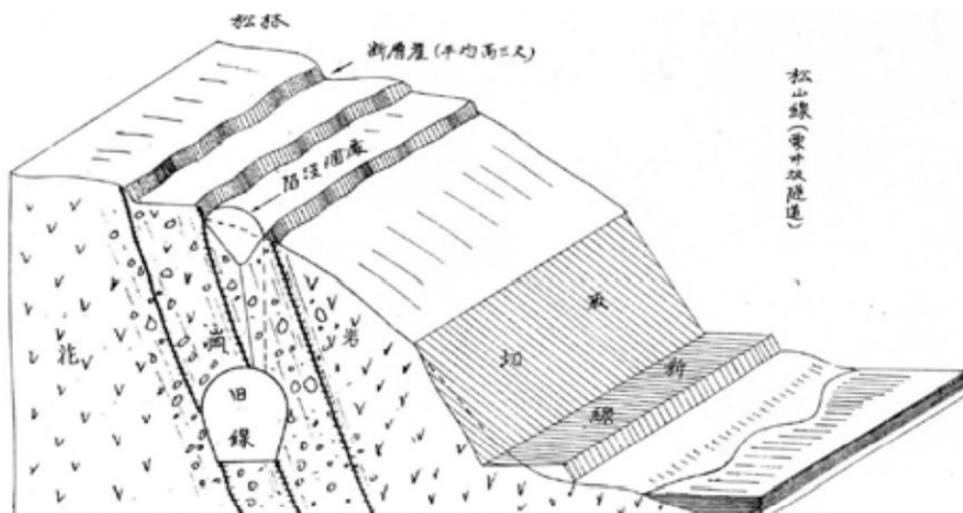
まさに、本研究委員会の報告および提言（案）¹²⁾でも提案している「調査（自然地盤の構造の解明）と設計・施工が強く結びつき、さらに学問・技術が、有機的に結合する組織」だった。なお、直接の傘下ではないが、第一実験室、第二実験室も身近にあり、土質調査委員会が、調査と試験並びに設計・施工を結び付け、直轄でコンサルティング業務にあたっていた²⁶⁾。

こうした土質調査委員会の活動・成果は、『鉄道省土質調査委員会報告』として随時まと

められ、1931年から1938年までで5冊が発行され²⁶⁾、現在でもその活動を知ることができる。例えば、第5号では、「土工に関する研究」、「隧道工事に関する研究」、「基礎工事に関する研究」、「土質組成分とその力学的ならびに物理的性質の相関関係に関する研究」、「地盤探査に関する研究」、「地盤内圧力分布に関する研究」など、具体的な目標を掲げた研究内容²⁷⁾だった。

(地質工学の体系化と集大成²⁷⁾ - 「地質工学」²⁸⁾ の出版)

渡邊貫はこの時期、土木技術者に対して地質学の知識を啓蒙する活動に専念した。例えば、1928年(昭和3年)には、「土木地質学・工事編」、1930年(昭和5年)には「土木地質学・理論編」を出版し、知識の普及と地質工学の体系化を試みている。特に「土木地質学・工事編」は、鉄道省内の「線路選定に必要な地質の智識」の講義²⁷⁾を基本としており、工事に関連する地形・地質の知識や「地質調査とは如何なる仕事か」も含めて幅広い基礎知識を現場担当者が、直接現地で役立てられ理解できるよう平易に解説した(図—3²⁷⁾)。



図—3 予讃線栗井～堀江間の栗井坂トンネル付近の地形・地質とトンネルの関係(小野田滋：渡邊貫とその足跡、地質工学第15号より引用²⁷⁾)

そして、1935年(昭和10年)、二つの重要な書籍の出版を行っている。一つは、「地学辞典」の編纂・出版であり、残りの一つは、「地質工学²⁸⁾」の執筆・出版である。渡邊は、地学辞典の編纂の動機について「物理学や化学、生物学が体系化されているにもかかわらず、地学のみが、様々の分野に細分化されてひとつの講座としてまとまっていない。用語も統一されていない。また新聞などで通俗的な知識が横行している現状を憂いて²⁷⁾」と記している。「地質工学」²⁸⁾の執筆・出版に際しては、先述した土木地質学の工事編及び理論編に、土質調査委員会の成果を含めて一冊にまとめ体系化を図るとともに、渡邊の丹那トンネル建設に伴う様々な体験も加えて集大成²⁷⁾を行っている。

特に著書「地質工学」²⁸⁾に関しては、1925年に出版され世界的規模で土質力学の原点・

原典となったカール・テルツァーギ²⁹⁾の著書「土質力学」および彼の学術論文を数多く引用しており、筆者が確認したところ、両者合わせて引用箇所数は合計 42 箇所に及んでいる。渡邊貫の欧米の本分野の技術・学問に早く追いつこうという並々ならぬ意気込みが感じられる。

さらに、渡邊貫の「地質工学」²⁸⁾では、現代に通じる新しい地盤力学（土質力学）の視点にも言及している。例えば、「物質の力学的研究は、一方は鋼から即ち剛体力学から、他方は、水から即ち流体力学から攻め立てられてきた。その中間にあたる粉体力学³⁰⁾こそ曲者である。弾性体でもないプラスチックな物体でもない中間の性質をもった物体の力学、換言すれば土圧論こそ最後の難関である。」³⁰⁾と主張し、この場合の物質を土・地盤と読み替えれば、その力学の中心に「粉体力学」という用語と概念を登場させたことになる。そしてこの「粉体力学」³⁰⁾こそ、現在なら土・地盤に関する力学の本質論である「粒状体の力学」そのものに他ならないと推察される。

また学問に対しても、常識にとらわれないユニークな考え方を持っており、例えば、地質工学の研究方法が、結局は「地質学の根本原理を培う」¹⁸⁾、³⁰⁾はずだと主張し、工学（地質工学）から理学（地質学）を生み出すのだという強い信念を持っていた。

これはあたかも、英国の土木技術者（工学）ウィリアム・スミスが、運河建設という土木工学の体験から「地層累重の法則」をはじめとした地質学の根本原理や学問としての地質学を誕生させた³¹⁾ことを想起させるかのようである。

トンネル工事と渇水,そして環境問題^{5), 32)}

1924年（大正13年）頃から渇水問題³²⁾が頭をもたげてきた。その当時は1923年（大正12年）の関東大震災の直後であり、また、渇水程度も微少であったため、トンネル工事がその原因かはっきりしなかった。渇水問題は丹那トンネルの直上にある丹那盆地から始まった³²⁾。

もともと丹那盆地は水の豊かな地域で、流れが至る所にあり、大きな水車が回り、村には水の流れの音と匂いが満ちていた³³⁾。村民は飲み水として直接湧水を利用し、水田やワサビ田を営み、乳牛を放牧³³⁾する自然豊かでのどかな村だった。

それが丹那トンネル建設に伴う渇水により水田耕作やワサビ生産が不可能になり、酪農中心に生活の転換³³⁾を迫られ、国会への補償請願に伴う争いなどにより村落共同体にひびが入る危機にも直面した。しかし、最終的には鉄道省は被害者の救済に努め、直接被害者との折衝³²⁾を行い、その間静岡県庁の斡旋もあり補償問題などの諸問題は解決した。この丹那トンネルの渇水問題は、建設工事における日本史上最初の大規模な環境問題⁵⁾と位置付けることができ、丹那トンネル建設の大きな代償となった。

北伊豆地震の発生—1930年11月26日

渡邊貫が鉄道省内で土質調査委員会¹⁹⁾を幹事として運営し始めた1930年（昭和5年）

の11月26日午前4時02分に北伊豆地震³⁴⁾が発生した。地震の大きさ³⁴⁾は、マグニチュード7.3、震源は丹那盆地付近の地下0~5キロメートル、震央付近の震度は6の活断層を震源とする大地震だった(写真—3参照)。

トンネルは一般に地震に対して安全といわれている³⁵⁾が、北伊豆地震の場合、震央が丹那トンネル中央に近かったためか、掘削済みの部分で沈下箇所や断層の食い違いが発生し、特に西口坑奥にある南側第3水抜き抗の切り端が大断層に遭遇していた³³⁾。この断層が今回の立役者の丹那大断層であったため、2.4mもずれが発生し³⁵⁾トンネル崩壊などで犠牲者3名³⁵⁾を含む大きな被害が発生した。



写真—3 丹那断層(国指定天然記念物、丹那断層公園・説明版を筆者が2021年12月3日写真撮影)

丹那トンネルの建設—自然との死闘

以上、紹介した丹那トンネル建設に伴う種々の地質問題、さらにそれらを原因とした数々の崩壊事故、そして多くの犠牲者の発生、またトンネル崩壊原因調査を含む地質工学的研究、さらに技術者が経験した命がけの観察結果や証言記録は、まさに渡邊貫が提唱した「地質工学」の礎・原点となっており、丹那トンネルの建設は、地震災害も含めて「壮絶な自然との死闘」だったことを物語っている。

我々は、先人たちのこのような生命(いのち)をかけた貴重な経験を無駄にすることなく、地質工学・応用地質学・地盤工学として発展させていかねば、多くの犠牲者に申し訳が立たない。尊い犠牲を単なる記憶だけのとどめるのではなく、そして建設従事者の死を無駄にしないためにも、今後建設事故をさらに減らし、人々や社会に役立つ普遍性のある学問・技術として渡邊貫の提唱した「地質工学」²⁸⁾をさらに発展・進歩させていかねばならない。渡邊

貫もきっと同じ思いを心に抱き、時間を惜しんで、鉄道省内の土質調査委員会 (Geotechnical Commission)²⁶⁾ で幹事を務め、「地質工学」²⁸⁾ (1935 年) を執筆・出版し、「地学辞典」(1935 年) を編纂・出版した、と推察される。

渡邊貫のプロフィール (1941 年～1974 年)

1941 年 12 月 8 日、米国との戦争が始まった。鉄道省では、その影響で 1942 年 6 月、組織の大幅な統廃合と 1 割の人員削減が断行され³⁶⁾、土木系では、建設局と工務局が統合され、施設局が発足した³⁶⁾。

(日本物理探鑛の設立³⁶⁾)

渡邊貫は、このタイミングで鉄道省を退官することを決意するとともに、1942 年 12 月新しい民間コンサルタント会社「日本物理探鑛株式会社」を設立し、自ら社長に就任した³⁶⁾。

社業としては、弾性波探査を主な技術とし、戦時中は、海外を含む資源探査³⁶⁾ なども行った。やがて戦争も終わり戦後復興が始まると、弾性波探査の需要は、急激に伸び、多くの技術者が必要になり、戦前・戦後の渡邊の人間関係のついでで知り合った人たちも雇って社業を盛り上げた。

渡邊貫は鉄道省 (その後国鉄に改名) 時代を通じて、省外も含め多方面で活躍したが、会社創立後は社業に専念し、ほとんど社外活動は行っていない。唯一、1952 年 (昭和 27 年) 日本物理探鑛創立 10 周年を記念して、論文誌「地質工学」を創刊³⁶⁾ し、紙面で旺盛な好奇心と地質工学に対する情熱は失っていない³⁶⁾ ことを証明した。

1967 年 (昭和 42 年) には、自宅の近くの大田区中馬込に本社新社屋 (写真一4、中馬込の新社屋) を新築³⁶⁾ し、地質探査事業に全集中した。

会社は戦後復興から高度成長期を迎えて、青函トンネルや新幹線などの大プロジェクトが推進され、地質の専門家の重要性は増し活躍する場が広がった。

そんな中、著書「地質工学」²⁸⁾ で世の中を覚醒し、現場に根ざした実学として地質学の普及に貢献した渡邊貫は、1974 年 (昭和 49 年) 12 月 17 日他界した³⁶⁾。76 歳だった。

渡邊貫の性格は、「渡辺貫のプロフィール (1898 年～1926 年)」でも紹介したが、たいへん興味深い人物である。彼の押しの強い性格や強引な仕事の進め方は、しばしば鉄道省内でも摩擦を引き起こしていたと伝えられている³⁶⁾ が、それらの批判を押しつけ、自らの信念に基づいて行動し、結果的に多くの成果をもたらした³⁶⁾。

実は、四代目国鉄総裁の十河信二³⁷⁾ は、「鉄道は斜陽化すると予想されるが、最新の技術を導入すれば有力な交通機関になり得る」という強い信念をいただき、新幹線事業を進めた人物である³⁷⁾。そして彼も型破りの性格で、周囲を巻き込んで新幹線という新しい鉄道事業を立ち上げた人³⁶⁾ だったといわれており、渡邊と十河の二人は、鉄道省内および国鉄内において鉄道事業に新風をもたらした³⁶⁾、鉄道改革にはっきりと足跡を残した。

ある人は渡邊貫には芸術家の性格の側面³⁶⁾ があると言い、また地質屋らしいロマンチストの側面³⁶⁾ があったとも伝えられている。とにかく大変興味深い人物だったのは間違いな

さそうである。



写真—4 大田区中馬込にある日本物理探鑛本社ビル（2021年10月21日、筆者が撮影）

半世紀前の私の体験

渡邊貫が亡くなった年の前年、つまり今からおよそ半世紀前の1973年4月、私はT建設に入社した。勤務場所は技術研究所だった。困った。焦った。

実は高校時代から「大学の校風・自由とボートの愛唱歌・琵琶湖周航の歌」にあこがれ、1968年4月京大ボート部に入部した。琵琶湖畔の瀬田川の合宿所で年間200日以上合宿し、練習に明け暮れた。ローイングの途中で、瀬田川からは石山寺を、琵琶湖からは比叡山・比良の山々を眺めながらのおおらかな日々だった。そのかわり勉強・学問は、さっぱりだめだった。まして、今回の仕事場は技術研究所である。気分が落ち込んだ。しかも所属は1年間土質試験室であり、訓練として、あまり興味の湧かない土の締固め試験や土の粒度試験、液性・塑性限界試験、比重試験などの土質試験を実施するとともに、時々、トンネル建設現場の膨張性粘土鉱物モンモリロナイトを含む泥岩ブロックから円柱供試体を削り出し、さらにそれを三軸試験機にかけ泥岩の応力・ひずみ関係を測定した。

やることなすこと初めてで、先輩の指導のまま何もわからずとにかくやっていた。研究所の先輩たちは、エンジニアリング業務と称し、建設現場の技術的課題について、楽しそうに仕事をやっていた。自分は無為に過ごしているのではないだろうか、という不安がよぎる毎日だった。

(馬込独身寮時代)

たまには気分転換と、会社の独身寮から気晴らしに近所を散歩した。すぐ近くの建物が気になった。周りの住宅街には不釣り合いなしっかりしたビルである。それがまさに(写真—4)の日本物理探鑛のビル³⁶⁾だった。何の会社かその時はわからず、立ち止まって建物を見ただけだった。ただ、「日本物理探鑛」という会社の名前だけは妙に脳裏に残った。

まさか半世紀後、自分がまたそのビルを作った事業者・渡辺貫の社屋を訪ね、オーナーだった渡邊貫の「人となり」を教わり、彼の歩んできた道を研究するとは思ってもいなかった。

まさに人生は偶然である。

技術研究所の2年目からはエンジニアリングを行う部署に変わったが、毎年自己申告の時期には「早く建設現場に行きたい」と書き続けた。とにかく、大学時代の運動クラブの影響からか、あまり身体を動かさず机と椅子に座っている生活が苦痛だった。合わせて大学時代の不勉強のせいで学問・研究などには自信が持てず、とても技術研究所なんて無理だよな、という気分だった。

そして運命の入社5年目が来た。上司のR部長から呼び出しがかかった。「末岡君、いよいよ現場へ転勤です。」「ところで、どこの現場ですか?」、「アフリカ・ナイジェリアのカドナ製油所です」、「ええ!」という感じだった。しかし今更断るわけにはいかない。答えは、「はい、わかりました。」だけだった。

(ナイジェリア・カドナ製油所建設時代)

1977年10月、羽田空港からアムステルダムスキポール空港を経てナイジェリア・カノ空港に入り、そこから作業所までバスでサバンナを南下すること300キロ、出会うのは灌木の間を移動する牛の群れと遊牧民、最後に、引率した大工さんや重機オペレーターさんと一緒にカドナ製油所作業所に到着した。

プロジェクトは、パイプラインでナイジェリア南部から運んだ原油を日産10万バレルの能力で精製し、列車やタンクローリーでナイジェリア各地に搬送できる石油精製プラント一式であり、敷地内に精製プラントや大小200基以上のタンク設備はもちろんのこと、鉄道操車場やタンクローリー発着場も建設し、さらにドラム缶製造工場まで整備する大型プロジェクトである。プロジェクト全体を総合化学プラントメーカーのC社が、土木・建築一式を私が所属するT建設が請け負っていた。契約にはカドナ川に取水設備を建設しパイプラインで15キロ河川水を製油所まで搬入する工事まで含まれていた。工期は2年半である。

プロジェクトでは、まず現地をよく理解するために、建設予定地全域を踏査した。プロジェクト予定地は、花崗岩が風化した風化残積土地盤地帯³⁸⁾で、局所的にラテライト³⁹⁾と呼ばれる酸化鉄殻(デュリクラスト^{39)、40)、41)}の水平な丘が存在し、固結して強度があり建設材料として使えそうだった。また数十キロ範囲の地域の地形・地質・植生・河川を調査・

観察し⁴²⁾、土壁の家が立ち並ぶ村では井戸の水位を確認させてもらった。また、風化作用の影響でぽつんと地上から飛び出た花崗岩の岩山は島状丘（インゼルベルグ）⁴²⁾、⁴³⁾と呼ばれており、碎石生産に最適な地形の丘を選定し、隣地に碎石製造プラントを設置した。

私の役目は、ラボ（試験研究所）の設立と運営だった。最初は、資材の運搬遅延の影響で建物資材が届かず、コンテナを実験室代わりにして土質試験を始めた。まずは例の土の締固め試験である。土の締固め試験⁴⁴⁾は、ラボができてからもこの後ずっと続くことになる。

土地造成における数百万m³の盛土の品質管理のために、土の締固め試験は絶対必要なのだ。土の締固め試験の必要性や重要性⁴⁵⁾は、この時いやというほどわかった。残りの試験は、土の比重試験、粒度試験、液性・塑性限界試験、一軸圧縮試験、さらに道路舗装が始まってからは、路盤材料のCBR試験、碎石骨材のすり減り試験、アスファルトのマーシャル安定度試験などである。必要な試験用紙は30種類以上あったが、日本で全て英訳して持ち込んだ。

ラボでは、土質・地盤関係の試験ばかりでなく、コンクリート分野の試験も多かった。日本人およびナイジェリア人スタッフといっしょに生コンクリートの配合試験、スランプ試験、コンクリート強度試験、セメントの風化度判定のための強熱減量試験も行い⁴⁶⁾、⁴⁷⁾、さらに作業所内の工場で遠心力を使ってヒューム管を製造し、その耐圧試験も担当した⁴⁷⁾。

この時、技術研究所時代の、いやいややっていた土の締固め試験などの土質試験の意味がよく分かった。土の締固め試験を実際にやってみると、単に出てくる数字だけでなく、その数字の意味や意義、土のメカニズムの不思議、疑問点も出てくる。室内で最も効率よく締固めができる含水比として最適含水比があること、そしてその状態が、土粒子の表面の含水状態や土粒子間の毛管作用に影響されていること、さらに、最適含水比より少し乾燥側で締め固められた土は、その時は強度は十分あるが、浸水し飽和化すると、極端に強度が低下し弱体化してしまうこと、実際の建設現場の機械転圧方法は室内のランマーによる土の締固め方法とはまったく違うこと、そしてこのランマーによる土の締固め試験は、もともと羊の蹄で堰堤を締固め⁴⁵⁾たところから派生しているらしいこと、など興味深いことが多い。土の締固めについて研究した久野悟郎先生⁴⁸⁾の表現を借りれば、土の締固め、そこでは土のおいがする。レキのため息が漏れ、粘土の叫び声が聞こえる、という訳だ。

そして、昔先輩にやり方を教わった日々を思い出すことになる。ありがたかった。あの時の経験がすごく役に立っている。この時ほど、自分だけの感情・考えだけでやることの危険性を感じたことはない。何がどこでどう役に立つかわからない。無駄だと一見感じたことも、先輩の意見は聞くものだ。

逆に現在、どれくらいの地盤技術者が、土質試験や土の締固め試験ができるだろうか、と考えてしまう。また、体験（フィールド）なしに地質工学・応用地質学・地盤工学を理解するのは、相当難しいのではないかと、思ってしまう。そういう意味でも、大学などでの教育・講義も基礎的学理・学問とともに、どうしたら臨場感のある話ができるか、相当の工夫が必要だ、と感じている。

そして、私が強調したいのは、建設現場におけるラボ（試験研究室）の重要性である。もちろんプロジェクトの種類と規模にもよると思うが。カドナ製油所建設プロジェクトの場合、ラボ（試験研究室）が敷地内にあり、いつでも気軽に試験・品質管理ができ、それらの結果を設計に生かすことができた。例えば、ラテライト性土の粒度試験と土の物性試験から土の工学的分類を行い締固め試験結果と結びつけることにより、路盤材やタンク基盤の設計に生かした⁴⁴⁾。カドナ製油所建設の場合は、地元の大学アハマド・ベロー大学（ABU）土木工学科 S.A.Ola 教授とも連携し、施主側のコンサルタントとも実験・試験を通して対応した。このようなラボ（試験研究室）を活用した建設プロジェクトの推進は、まさに先述した渡邊貫の場合のように、身近に第一、第二実験室²⁶⁾があり、丹那トンネル建設の設計・施工に結びついていたプロジェクト運営方法とそっくりである。

現代の建設産業においては、地盤調査・試験、設計、施工は分業体制をとっており、各作業の連携とコミュニケーションによる意思伝達が問題になる^{12)、49)}。最近の地盤が関係する建設事故の多さは、そこが原因で起こっているのではないかと危惧されている⁴⁹⁾。もしそうなら、それを防ぐ具体的な方策の提案と実行が求められる。

1980年4月、カドナ製油所のオフィス棟が最後に完成し、製油所全体を NNPC（ナイジェリア石油公社）に引き渡し、カドナ製油所建設プロジェクトは終了した。そして2年半余にわたる私のナイジェリアの建設現場での生活も終わりを告げた。1980年4月末、ナイジェリアを離れ、ケニア・インドに一週間ずつ滞在した後、日本への帰路についた。

私は、アフリカ・ナイジェリア・カドナ製油所建設をとおして、熱帯の風化残積土に出会い、様々な地盤工学的・応用地質学的体験をする中で、地盤工学の意味・意義・重要性を理解することができたと同時に、応用地質学も含めてそれらの学問・技術・研究の面白さに目覚めた。以前の私とはだいぶ違う。そして、これから先も地盤工学や地質工学・応用地質学に関わっていきたいと思っている。

丹那トンネル建設の光と影

吉村昭の丹那トンネル建設の苦闘をテーマにした小説「闇を裂く道」³⁾では、作家の高山文彦氏が解説⁵⁰⁾を書いている。高山氏はその解説の中で、詩人・金子光晴を登場させ、「日本の近代化の過程において、人間の理想というものは、大変な犠牲を人に求め無慈悲なものだ。理想に加担しないことだけが、人が悲惨から身を守る方法かもしれない」という趣旨の金子光晴の主張を紹介している。しかし一方、その解説の末尾では「詩人金子光晴のような自由人は何とでもいえる。」とも述べている。

高山氏のこの金子光晴についての「理想が犠牲を求める」という発言と「自由人は何とでもいえる」という発言は、どう解釈すればよいのだろうか？ 私は、高山氏は日本の近代化について、丹那トンネル建設の意義や価値をある程度認識する一方、払ったあまりにも大きな犠牲をどう評価し、どう考えたらよいかを決めかねているのではないかと、つまり丹那トン

ネル建設による近代化に対してその恩恵と犠牲というアンビバレントな感情を持っていると感じる。それぞれ当然の感情だろう。そして、高山氏は最後に、著者吉村昭が、事故死した人々、村の人々、難工事を推進した人々の実名を「闇を裂く道」³⁾に刻み著わすことで、「紙碑一紙の記念碑」としたかったのではないかと述べている。つまり、話の焦点を、近代化の理想の是非からやや移動させ、困難の時代の普通の市井の人々の生き方を後世に伝えたかったのではないかとしている。つまり「闇を裂く道」³⁾は鎮魂の書ということになる。

私は、吉村昭や高山文彦氏の最初の問題提起、近代化の功罪は私自身にも突き刺さっていると感じ、自分なりの結論を見つけるべくよく考えてみた。最後にたどり着いた私の結論は、「物事・歴史・社会には、光と影の両面がある」ということだった。どちらかに重点を置くと、反対側が見えにくくなる。影の部分に裏打ちされた光が必要なのだ。

丹那トンネルの建設とその開通は、東海道線の列車運行の迅速化を実現し、その結果、人々の自由な移動を容易にし、便利な生活と豊かな物資の運搬を実現した。熱海市の繁栄を含む日本経済の成長と人々の生活の向上を実現したのだ。大変喜ばしいことだ。また丹那トンネル建設に伴う様々な経験・失敗により、地質工学・応用地質学・地盤工学などの学問・技術は、飛躍的に進歩・発展した。しかもそのプラスの効果はその後の新幹線の実現にまで及んでいる。

しかし一方、マイナスの側面を見ると、トンネル崩壊事故などで67名という多くの犠牲者を出し、工事に伴う丹那盆地の湧水により、農民の生業の形さえ変える大規模な環境問題を引き起こしてしまった。吉村昭の本のタイトルのことば「闇」を借りれば、「光がまばゆければまばゆいほど、闇もまた深い」ということになる。

そして結局、現在の私にできることは限られており、光のまぶしさだけに幻惑されることなく、深い闇も忘れず、未来に向かって生きていくだけだ。

(本稿の一部には、筆者の想像・推察が入っていることをお断りいたします。また丹那トンネルの建設に関しては、上述した吉村昭著「闇を裂く道」³⁾のほかに、土木技術の観点から丹那トンネル建設の16年の苦闘の歴史を紹介した峯崎淳著『動く大地』の鉄道トンネル」⁵¹⁾の著作がある。)

謝辞

日本物理探鉱株式会社取締役・企画本部長・営業本部長 内田篤貴氏には、本社ビルの撮影を許可していただくと同時に、「地質工学」第15号を始めとした多くの資料をご提供いただき、筆者が渡邊貫氏に関する研究を行うことができました。さらに筆者の拙文の査読もしていただきました。ここに心より感謝の意を表します。

また、栗原則夫氏、石井裕泰氏、上野将司氏には、アドバイスとともに筆者の拙文の加筆修正をしていただきました。記して感謝申し上げます。

最後に、京大ボート部同輩の朋友・藤井シュン氏には、筆者の投稿原稿に対して読者の立場から貴重なご意見を賜りました。ここに改めて感謝申し上げます。

(参考文献)

- 1) 熱海ネット新聞：丹那トンネル感謝祭、熱海の繁栄築いた 67 柱に感謝、2021 年 11 月 2 日閲覧
- 2) 学びスポット：丹那トンネルについて、16 年に及ぶ難工事、東海道を繋ぐ「丹那トンネル」に秘められた数々の物語、2021 年 11 月 22 日閲覧
- 3) 吉村 昭：闇を裂く道、文春文庫（新装版）、文芸春秋、p.56、2016 年 2 月
- 4) 鉄道省熱海建設事務所：丹那隧道工事誌、pp.1~3、1936 年 3 月
- 5) 大島洋志：私の地質工学随想（増補）、個人出版、p.120
- 6) 文献 3)、p.445
- 7) 文献 4)、第 12 章、事故、第 1 節、東口 990 尺付近崩壊事故、pp.265~270
- 8) 文献 4)、第 12 章、事故、第 2 節、西口 4950 尺付近事故、pp.270~277、並びに、特殊編、第 2 章、西口 4950 尺工事、第 8 節 大崩壊事故、p.303
- 9) 文献 3)、p.209
- 10) 文献 3)、pp.162~163
- 11) 文献 3)、p.199
- 12) 地盤工学のあり方—応用地質学と地盤工学の協働を考える—研究委員会：提言 2、「地盤工学のあり方—応用地質学と地盤工学の協働を考える—研究委員会」報告および提言（案）、2021 年 11 月
- 13) 日本応用地質学会編：12-2-1 本格的な地質調査（ボーリング調査）論文名 丹那隧道工事誌、原点から見る応用地質学 その論理と実用、pp.275~277、2011 年 12 月
- 14) 文献 4)、p.597
- 15) 文献 3)、p.264
- 16) 平林 武：丹那盆地付近の地質調査報告（大正 13 年 12 月踏査）、土木学会誌、第 11 巻第 1 号、pp.1~14、1925 年 12 月
- 17) 服部 仁：丹那断層と丹那トンネル難工事と二つの大地震（その 2）—トンネルルート選定・地質調査・断層から大湧水—、日本地質学会、コラム、2021 年 11 月 23 日閲覧
- 18) 大島洋志：温故知新 渡邊貫の地質工学再考、応用地質、第 47 巻第 1 号、pp.27~38、2006 年
- 19) 小野田滋：渡邊貫とその足跡、地質工学、NGP 日本物理探鉱株式会社、第 15 号、pp.1~14、2018 年 4 月
- 20) 文献 19)、p.1
- 21) 文献 19)、p.2
- 22) 文献 3)、pp.228~233、なお本記述の関係資料として「報告・吉田明夫、原田昌武、小田

- 原啓：大正関東地震の際の海底地殻変動、神奈川県温泉地学研究所報告、第 44 巻、pp.17~28,2012 年」がある
- 23) 文献 3)、pp.238~245
 - 24) 文献 4)、第一部、関東大震災、p.421
 - 25) 文献 3)、pp.246~263
 - 26) 文献 19)、pp.3~7
 - 27) 文献 19)、pp.7~10
 - 28) 渡邊 貫：地質工学、古今書院、627p、1935 年
 - 29) 末岡 徹：カール・テルツァーギとボスポラス海峡、地盤工学会誌、第 69 巻第 4 号、pp.40~46、2021 年 4 月
 - 30) 文献 28)、序、pp.1~5
 - 31) サイモン・ウインチェスター、野中邦子訳：世界を変えた地図、ウィリアム・スミスと地質学の誕生、372p、早川書房、2004 年 4 月
 - 32) 文献 4)、渇水問題、pp.433~434、(ほかに「丹那隧道工事誌・渇水編」がある)
 - 33) 文献 3)、p.43、p.511、
 - 34) 静岡県函南町：丹那断層-国指定天然記念物パンフレット
 - 35) 文献 4)、第 2 節、北伊豆地震、pp.421~432
 - 36) 文献 19)、pp.10~14
 - 37) 文献 3)、pp.492~500、
 - 38) 末岡 徹、小山 哲、佐藤洋一：ナイジェリア・カドナ地方における花崗岩質風化残積土の地盤工学的考察、土木学会論文集、第 346 号/III—1、pp.67~76、1984 年 6 月
 - 39) 末岡 徹：ラテライトの定義について—その歴史の変遷も含めて、応用地質、第 61 巻第 6 号、pp.326~334、2021 年 2 月
 - 40) 末岡 徹：世界に分布する特異な風化土、土と基礎、Vol.39、No.6、pp.63~68、口絵写真あり、1991 年 6 月、
 - 41) 松倉公憲：2.7.2、デュリクラスト、地形変化の科学—風化と侵食、p.31、朝倉書店、2008 年 11 月
 - 42) 末岡 徹：熱帯および温帯に分布する花崗岩質風化残積土の特性 (その 1) —風化残積土地盤の応用地質学的特徴、応用地質、第 61 巻第 4 号、pp.183~191、2020 年 10 月
 - 43) 松倉公憲：(2) インゼルベルグとトア、4.3 深成岩の化学的風化と地形、地形変化の科学—風化と侵食、朝倉書店、pp.73~74、2008 年 11 月
 - 44) 末岡 徹、高田直樹、長野親義、藤原 靖：路盤材としてのラテライトおよびラテライト性土—ナイジェリア、土と基礎、第 35 巻第 7 号、pp.9~14、1987 年 7 月
 - 45) 末岡 徹：巻頭言 地盤工学の自由さよ、永遠なれ、基礎工、p.1、2020 年 11 月
 - 46) 高田直樹、末岡 徹、坂上 勝：ナイジェリアの生活とコンクリート、コンクリート工学、Vol.19、No.1、pp.63~66、1981 年 1 月

- 47) 末岡 徹：アフリカ・ナイジェリアでのコンクリート体験、コンクリート工学、Vol.56、No.11、p.974、2018年11月
- 48) 久野悟郎：序文、土の締固め、主として道路土工に関連して、技報堂全書、p.2、1963年3月
- 49) 国土交通省大臣官房技術調査課・国立研究開発法人土木研究所・土木事業における地質・地盤リスクマネジメント検討委員会：土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガイドライン—関係者が ONE=TEAM でリスクに対応するために—、2020年3月
- 50) 文献3)、pp.510~515
- 51) 峯崎淳 著：第3章 丹那トンネル—湧水と断層との16年間の苦闘が技術を進歩させた—、「動く大地」の鉄道トンネル 世紀の難関「丹那」「鍋立山」を掘り抜いた魂、交通新聞社新書035、pp.79~130、2011年10月

理由がある

清水建設(株) 宮田 和

「土と接して」と言えば、それこそ子供の頃に遡る。土を使って、泥団子やトンネルを掘って遊んだ。違いがあることをなんとなく小さい頃から理解していた。土を専門にするようになって、工学的な分類で土を見るようになった。頭で分かっているけど、見て触って匂いを嗅いで土の分類の感覚を身につけてきた。

単体で取り出せば分類上の砂質土、粘性土等の名称で呼ばれる土であるが、堆積した環境から見ると同じ土として一括りで分けることはできなくなる。やはりそれぞれの顔つきが出てくるのだ。顔つきは、色や粒度、見た目など様々な違いがある。

ふと感じるのだが、人は深度〇〇から〇〇まで何々層だと決めつけるが、その地層ができるまでの間100~1000年オーダーの時間を要している。そんな時間をかけてできたものを一緒にくたにしていいものだろうか。一人の人生よりも長い時間をかけてできあがったものが、同じとして良いのか。

人の一生にも転機や大きな出来事がある。同じく土も堆積していく中でいろんな出来事がある。その出来事が顔つきとして現れている。

土のちょっとした顔つきの違いが、人間が作る構造物にそうそう大きな影響を与えるわけではないのだが、たまに予想しない結果を出してくる。なぜそのような結果になったのか、よくよく調べると「理由がある」のである。理由までたどり着くまで時間がかかるものもあるが、すぐに分かるものもある。理由を見つけてしまうとなるほど、なぜ気がつかなかったのかと納得と後悔をするのである。

土は始めから答えを見せてくれている。「顔つきはちゃんと出しているよ」と言わんばかりに。だが、人が十把一絡げにしてしまい、その顔つきを見逃し、理由を葬っているのである。

人の側に問題がある。土の顔つき見る人と、そこでものを計画し作る人が異なるのである。お互いがプロであるが、プロであるが故お互いの領域に口を挟まないのである。土の顔つきを見る人が、顔つきの違いを知っているが、ものの作り方や作る過程を知らず、または教えてもらっていないので、ものを作る上でどのように影響するかまでは見通せない。一方、ものを計画し作る人は、調査結果を信じ、モデル化という大胆な割り切りで細部をそぎ落としてしまう。



土の顔つき見る人と、ものを計画し作る人がバトンを渡して終わりではなく、一緒に併走していけば、土の顔つきから構造物を作るときに影響を及ぼすかどうかを両者で見極めていけるのである。



体感した「科学・技術知識の波紋形成とその拡大」

大成建設株式会社 石井 裕泰

本委員会活動を通して、地盤工学・応用地質学の歴史、両学問に関する現状や先駆的取り組みの整理、さらには学術・技術に関する提言準備・とりまとめまで、多岐にわたる活動を経験させて頂き、私自身が、大きな学びを得ることができました。委員会メンバーとして、また WG1 のサブリーダーとして関与させて頂きましたことに深い感謝の念を覚えるしだいです。

本委員会発足に先立ち末岡委員長の掲げた活動趣意を拝読した際、元地盤工学会会長の日下部治先生がいくつか総説等で言及されていた「科学・技術知識の波紋形成とその拡大」に考えが及びました。「地盤工学の将来と社会貢献」¹⁾から記述を引用しながら要約すると、物事を分析して構成要素にまで細分し、細分化した後で要素を再構築・再生して物事を理解する「還元主義」は、化学的思考の石が水面に投げられて形成される波紋に見立てられ、その拡大の輪は減衰せずに広がり続けていると解釈されています。その上で、「放射状に広がる知識の波紋の先端に位置する科学者・技術者は、180° 反対の波紋の対岸が見えなくなってきたしまっている。いや 90°、ひよっとしたら 45° の角度ほどの狭隘な視野しか持たなくなってきたのではないだろうか」と問題提起されています。このことは本委員会活動が扱う地盤工学と応用地質学の関係性にも通じる側面と私自身でとらえたことが、本委員会活動に興味を持って参画する強い動機づけとなりました。

委員会活動の一区切りを迎えて、「科学・技術知識の波紋形成とその拡大」を、ごく一部でしようが体感できたように思います。先達者の方々が築き上げてきた地盤工学を、日常業務や一般的な学会活動とは異なる形で理解を深めたことは、私自身の技術者人生で価値あるものだったと実感します。今後、この経験を礎に、地盤工学、応用地質学に関与し、さらなる学びを深めていきたいと思えます。

【参考文献】

- 1) 日下部治：地盤工学会の将来と社会貢献，pp.3-5，土と基礎，Vol.55，No.1，地盤工学会，2007.

思うままに

アジア航測(株) 今村遼平

末岡さんのご意見に甘えて「思うままに」記します。最近のテレビ委員会には欠席して
いましたので、そこでの発言は踏まえておらず失言の部分があるかもしれません。なお、
前に送ったものに1, 2加筆しましたので、前のは、没にしてください。

なお、中間報告では、栗原さん尽力を踏まえ、上野さん・宮田さん・末岡さん・鈴木さ
ん、などなど細かくチェックしていただいて、いい成果ができたと感謝しています。深く
御礼申し上げます。

1) 理学屋的・・・地質屋の楽しみ

- (1) 真理を探究する楽しみ
- (2) 今まで誰も気づいていない未知の事実を発見する楽しみ
- (3) フィールドを歩き回ると、必ず見えてなかった「何か」が見えてくる楽しみ
- (4) その中の普遍的な部ところを体系化して、論文や報文にして多くの人に知って
もらう楽しみ
- (5) しかもそれが社会に役に立つ見方・考え方として広く利用される楽しみ

以下にこれら(1) — (5)について簡単な実例を示してみたい。

● 真理を探究する楽しみ

土石流の流下・堆積は、その谷底に貯留されている堆積物が、ある限界に達したとき
に豪雨があると起こるとい原則(真理)を実証した。だから、谷によってその発生
サイクルは違う。富士山大沢では7.8年に1回、焼岳の上堀沢・上上堀沢・中堀沢な
どでは、1. 2年に1回、通常の谷では2,300年に1回、といったサイクルでの発生
である。富士山大沢での10年余りの実測にもとづき、以上の事実を踏まえてのシー
ソータイプのアナログカルな「富士山大沢における土石流的な土砂流出システム」を
作り、実用に供して、好成績を得た。

● 今まで誰も気にしていない未知の事実を発見する楽しみ

医者が顔色や体形、排せつ物などを見て、患者の具合を判断するように、例えば土石
流の堆積物である“沖積錐”の新旧や堆積形態を細かく見ることにより、その溪流にお
ける将来の氾濫・堆積を正しく推測することができるように、「静的な地形地質情報
からの土木地質に必要な動的地質状況を把握することができる」という事実を見出
し、体系化して論文にして公にした(応用地質 vol.17, No.3 1977 など)。私たちは沖
積錐や沖積扇、崖錐、段丘崖の崩壊面などの静的地形情報から、それをもたらした動
的な現象の実態を知ることができる。この見方・考え方は今では常識化してそのまま
土砂災・害水害などの「ハザードマップ作製」に利用されるようになった。このよう

な「新しい観方・考え方」は地形・地質屋の得意とするところではないだろうか。私はこの種の論文や報告書をかなり書いてきた。これは大きな楽しみであった。

- **フィールドを歩き回ると、必ず見えていなかった「何か」が見えてくる楽しみ**

富士山の大沢崩れが問題になり始めた昭和 40 年代初めころ、建設省沼田工事事務所の仕事で大沢扇状地の土砂堆積状況を把握して、大沢崩れからの土砂流出機構を明らかにするために、現地調査に入ったことがある。仕様書には大まかな目的が示されているだけで、調査方法はこちらで適当に考えればいいわけだが、4 km 四方の見渡す限りススキが原に石礫が累々とした広大な扇状地を見て、呆然とした。

それでも地質屋の習性から、ともかく歩き回れるだけ歩き回った。二日間にわたって広大な扇状地をくまなく歩きまわり、ある部分は同じところを何度も歩き回っているうちに、ある時点から急に、今まで見えなかったことがだんだん見えるようになってきた。すべては最初から見えていたはずなのに、それがある一つの〈体系〉としては見えていなかったのである。一つきっかけができると、あとは面白いように現場の諸事実が全体系の部分部分としての的確に認識できるようになり、最後の日（3 日目）の半日で土砂の堆積と侵食にもとづく大沢扇状地の「地形区分図」（図—1）が仕上がった。できてしまうと、今日ではどうということもない平凡な地形分類であるが。

このとき、「どういう現場であろうと。全身の感官を精一杯働かせて十二分に現地を観察したら、必ずものがみえてくる」という確信を得た。あとで考えてみるとこの時も結局、地質屋が身に着けているべき①ものごとを単元に分けてみる、②物事の階層性を明確にして見る、③物事を歴史的・発展的に見る（以下省略）といったアプローチの方法（このことは後述するが、当委員会でも詳しく述べた）をとっていたことがわかる。とにかく丹念に歩けば必ず、「何か」が見えてくるという確信といえる楽しみを覚えた。

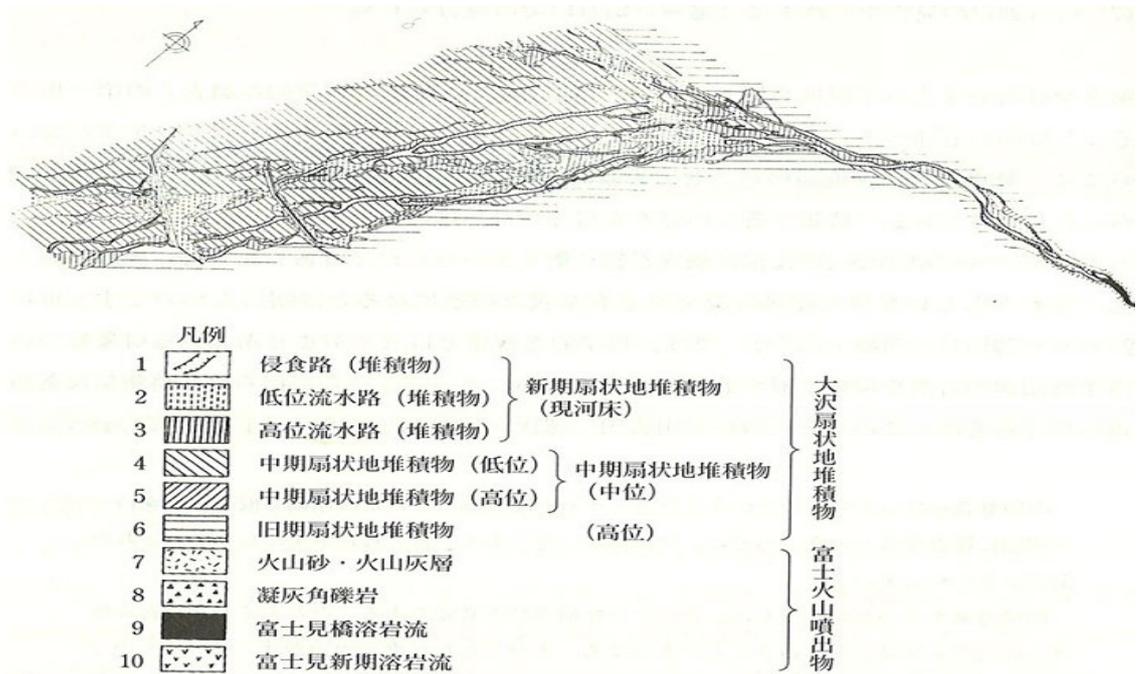


図-1 大沢扇状地の地形分類図

● それを体系化して、報告書や論文にして公にして知ってもらおう楽しみ

フィールドを歩き回って得た「新しい観方・考え方」は、その大小を問わず、普遍性のある部分を体系化した形 (図-2) で論文や報文 (あるいは著書) などにして公にしないと、他人には認めてもらえず埋没してしまう。これは自分にとっても社会にとっても損失である。この委員会に出席の方々はそのことは十二分に承知し、実践しておられること。このように自分の考えを公にすることは、いろいろの批判を受けることもあるが、技術屋の一つの楽しみである。私は、①前述したような静的地形地から動的な地質情報の読み取り、②土石流体の普遍的な構造の明確化、③ランダム・ウォークモデルによる土石流の堆積予測システムの構築、④シーソーモデルによる富士山大沢之土砂流出モデルの構築、④溪流における土砂流出の免疫性の本質の明確化、⑤数量化2類による溪流の土砂流出の危険度判定法などなど (以下省略)、論文として公にしたほか、業界のセミナーなど (例えば、ハザードマップの作製法など) で公表して、社会での利用を促す楽しみを十分に味わった。

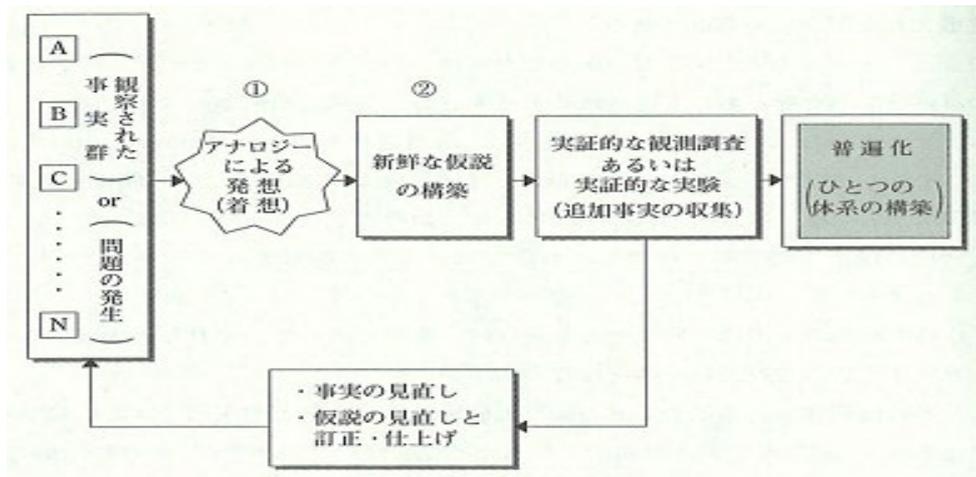


図-2 「体系化」を心がける

● それが社会に役に立つ見方・考え方として利用される楽しみ

上述のようにして得られた新しい手法やそのノウハウなどは、可能な限り論文や報文・著書などを通して公にし、広く知ってもらい社会に認めてもらうようにつとめた。これも、フィールドを歩き回っている地形・地質屋としての楽しみである。

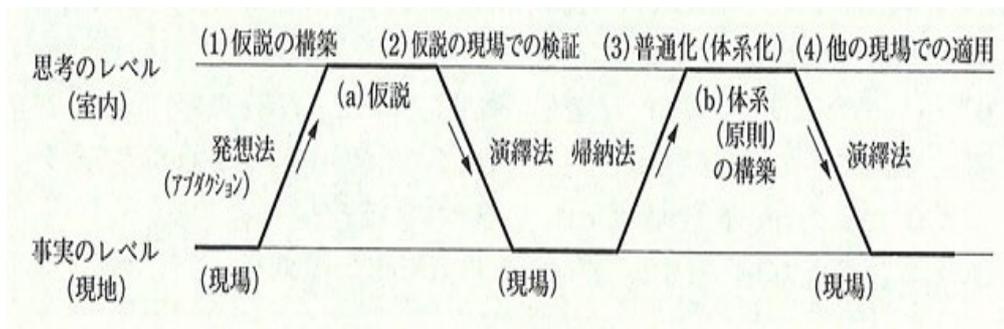


図-3 実際への適用

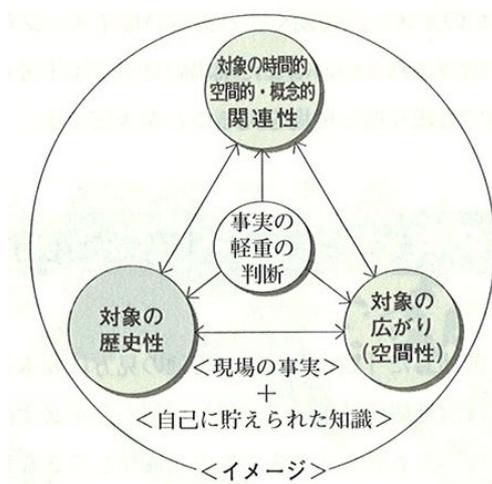
2) その時の調査で必要なこと

私は日常業務を实践する際、地質屋としてフィールドを歩き回ることにより、上記(1)～(5)を「楽しみ」として実践してきた。これらはそれぞれに小さなことであるが、我々の調査はフィールド・サイエンスであるから、いずれも常にフィールドに出ないと体験できないこと。私は日常業務では、常にフィールドを中心にこれら(1)～(5)があり それらを楽しみにやってきたということである。これらの「楽しみ」を実体験したことのない技術屋があるとすれば、寂しいことだと思う。

ただ、これらの楽しみを得るためには、「私たち野外技術屋の発想の基本、は常フィールドにある」という基本的な認識のもと、現場を観る観察力と観察技術を養うには、少

なくとも次のことが大切だと実感する。

- ① 現場を見たときの驚きや好奇心に触発される感性の鋭さ
- ② 現場についての予備知識の有無
- ③ 現場観察（現地調査）の経験の多寡
- ④ 現地の状況に対する問題意識の大小（調査目的を含む）
- ⑤ 現場から土木工学的な問題点や新しい何かを得たいという、強い知的欲求
- ⑥ 現場への執着心と新しい事実がわかるまでの繰り返しの観察とイメージの形成
- ⑦ 自分独自の見方や、これまでと違った切り口での見方・考え方の有無



図－4 現場で何を見るか—現場観察の3本柱

3) 工学的・・・土木地質へのアプローチに向けて

- (1) 過去の土木地質的に必要なことを先学に学び、それに基づいてフィールドを観る
- (2) (1)を踏まえたうえでフィールド調査を行い、土木工事に必要と思われることをイメージ（付度？）して、地形・地質屋の観点から所見を述べる
- (3) 土木屋・土質屋が知らないこと・気づいていないと思われる現象など、土木工事に大切と思われることを、地形・地質学的に見た所見として論理的に述べる
- (4) とくに、地形・地質の物性と現象のメカニズムを、土木屋・土質屋にわかりやすく述べる
- (5) 地形・地質学も土木地質学も、完成された学問とは思わない。まだ知られていない、あるいは私たちが気づいていない、あるいは社会の発展につれて今後生まれて問題となる「新しい見方・考え方」があるはずだという信念のもとに、設計・施工をイメージしながら、とにかくフィールドをよく歩く。

私は理学出身の地形・地質屋として、あくまでもこれらのことをベースに、そこで得られた知見を、土木設計・施工にどう利用できるかを考え、対応してきた。ただ、テルツア

一ギのように、「自分で調査し、設計・施工した上での体験的な知見ではない」ことに常に負い目を感じ、そこに自分の弱点があると感じてきた。「常にあくまでも土木屋・土質屋に必要と思われることをイメージ（忖度）しての所見の提供」であったことを自認している。この点が地形・地質屋ひいては土木地質屋の弱点だと思っている。

4) そして、この委員会についての所見・・・

- (1) 私は理学部出身の地形・地質屋として、1) に述べたことを中心に、この委員会でそのつど意見を述べてきたが、それがどれだけ理解されたか不明である。これは私と同じ地形・地質屋に対しても言えること。実際に現場体験の少ないあるいは感性の低い人には理解できないことも多いだろうと、半分あきらめてきた。とりわけ、地質屋にとって必要なフィールドの的確な観方については、2006年に出版した『フィールドロジ—現場の知—』¹に、経験に基づいて常に考えていることを余すところなく詳しく書いたため、委員会ではそのごく一部しか発言していない（現場を歩かなくなった現在、本書に書いたこと以上のことを考えることはおこがましいと思っている）。「地質学の9つのものの観方」（下の注参照）などもお話ししたが、あまり理解されなかったのかもしれない。地質屋さえ十分理解しているか疑問のことである。地形・地質屋はこの本を読んでいただければいいと思っている。また、土木屋・土質屋に読んでもらえば、「土木地質屋は、こういう見方・考え方でフィールドを観ているのか」と納得していただけるかと思う。

注：地質屋の現地の観方

- (1) 物事を単元（ひとまとまり）に分けて見る
 - (2) 物事の階層性（レベルの上下）を明確にして見る
 - (3) 物事を歴史的・発展的に見る
 - (4) 空間規模と時間規模とを関係づけて見る
 - (5) 地盤の構造（地質構造）を明らかにすることを重視する
 - (6) 地盤を不均質なものとして見る
 - (7) 地盤を不連続なものとして見る
 - (8) 「地質学の原理」を重視する
 - (9) 見えない地中を3次元的に表現する努力をする etc.
- (2) しかし、この委員会で、「土木地質の業務」として実施するうえでこのような自分（理学部出身の地形・地質屋）に対して、私がイメージして発言してきたこ

¹ 今村遼平：フィールドロジ—現場の知— 電気書院 2006

と以外に、「何が必要か？」を問い続けてきたが、土木屋・土質屋からの意見—地質的に「こういうことが知りたい」「こういうことが明らかにならないか？」—といった具体的な要望・要求—が、栗原さん以外からは、あまり聞こえてこなかったように思う。だから、この委員会でのこれまでの「まとめ」は、ほとんど数名の地形・地質屋と栗原さんとの対話（やりとり）だけからできているような気がする。

- (3) これは中間報告だから仕方がないかもしれないが、もっと第一線の土木屋・土質屋さんの具体的で細かい意見が入るべきではないかと思う。確かに問題意識の明確な栗原さんの「きちんとよく体系化された意見」—これは栗原さんが実作業でこれまで地形・地質のことも含めて、常に問題意識をもって対応して来られた実践者だからこのように体系的に提言できるのだと思う—には、口をはさみづらかった面があるのかもしれない。もっと具体的で細かい各人の意見—地形・地質屋に対する具体的な意見（表一 1 参照）—があることを私は期待し、それが栗原さんの明確な体系のなかに組込めるのではないかと思っていたが、それがまだ少ないように思う。委員会では、土木地質的（地形・地質的）な具体的な項目を意見として出してもそれに対する手ごたえがなく（以下の注参照）、中間報告への反映は意外と少ない。中間報告としてはこれが限界で、地質屋は当然知っていることだからとオミットされたのかもしれないが……。土木屋・土質屋からの細かな具体的な要求・要望が明示されないと、土木地質の業務を実践する土木地質屋側としては、この委員会の意味が薄れると思うのだが、どうであろうか。なお、栗原さんのお考えの大部分は著書『現場の知とは何か』（2004 丸善）に詳しい。

注：以下の事項は、土木地質屋として明確にすべきと思っていることである。なおここで示す「構造化」とは、「詳しく調査すること」と理解してもらえばいい。ただこれらは、土木地質屋が考えていることであって、土木屋・土質屋の意見が入っているわけではない。そこに問題を感じる。

[I] 地形の構造化

- 1) 斜面傾斜の構造化・・・斜面傾斜の地盤工学への影響
- 2) 狭義の地形（地貌）から見た構造・・・①縦断形、②横断形、③特殊地形など
- 3) 地形面の広がりの問題（地形規模）
- 4) 地形面の形成時間の問題（相対的時間・絶対的時間）
- 5) 地形の「読み換え」理論：沖積錐→土石流、段丘→洪水、崖錐→斜面崩壊 etc.

[II] 地質（岩）・土質（未固結）の構造化

- 1) 岩種から見た構造（岩）・・・①固結度、②強度、③脆さ、④風化難易度、⑤軟弱地盤
（数値として表示できないのが問題かもしれない）
- 2) 土質から見た構造・・・土層の①固結度、②強度、③粒度（これも上記同様）
- 3) 地質構造・・・①成層、②不整合、③断層、④褶曲、⑤その他の構造、⑥構造規模
- 4) 風化・変質の構造化（地層・岩盤の歴史性：地質時代との関連性）
 - (1) 風化過程と構造・強度・・・①物理的風化、②化学的風化、③生物学的風化
 - (2) 土壌構造（化学的）の影響
 - (3) 裂罅（割れ目）の構造化・・・①位置、②規模、③性質、④分布密度
⑤密着度、⑥方向性
 - (4) 地盤の均等性（同一地盤の均質性）の問題・・・①限界幅、②広がり限界距離

[III] 地下水の構造化

- 1) 地下水の存在位置の構造・・・①裂隙水、②自由地下水、③被圧地下水
④宙水の別とその位置と構造
- 2) 地下水盆の構造・・・容水構造と地盤工学・・・①形、②規模、③地下水の位置、④傾斜
- 3) 地下水流動の構造・・・①透水性、②水頭圧、③ダルシー則、④浸透圧、⑤帯水層の性質、⑥流下方向
- 4) 地下水流動に伴う水質の化学的变化。

[IV] 営力（災害現象）の構造化（将来の営力をどう見積もるかに焦点）

- 1) 外部現象の構造化・・・①水害、②土砂災害（クリープ、崩壊、崩落、地滑り、土石流：もらい災害も考慮）
③地震災害（地震動、液状化、津波）
- 2) 内部現象の構造化・・・①圧密（圧密沈下量・圧密沈下速度・圧密係数・過圧密比・1次圧密・土のせん断・土中応力）・②水平変位、③垂直変位、④クリープ、⑤応力解放、⑥間隙水圧、⑦水圧、⑧地震波の伝播など

[V] 土木構築物の構造化・・・これらは地盤技術者の知恵を借りないとできない。

- 1) 構築物の位置（位置論）
- 2) 構築物の規模（規模論）
- 3) 施工のタイプ（工種）・・・切土、盛土、橋梁基礎、根切（建築物基礎）、トンネルなど
- 4) 対策の構造（営力に対する対策の構造化）

[VI] 環境問題の構造化

- 1) 対象（施工）地点の環境問題・・・①避けるべき問題、②影響度など
- 2) 沿線（周辺）環境への影響問題
- 3) 景観問題（施工規模、必要対策などを勘案）

若い地質屋はこれらの見方・考え方を身につけ必要がある。また、土木屋・土質屋は、地質屋がこういう見方・考え方で対処していることを理解しておいてもらうといいと思う。ただ、繰り返すが、これには土木屋・土質屋の意見が入っていないのが問題だと思っている。

表—1 地形・地質に関して¹

土木地質屋が明らかにしようとしていること (例を示す：未だ他にもあろう) ²	土木屋はどういうことを知りたいのか？ (左の例のように記入してほしい)
① 切土区間 <ul style="list-style-type: none"> ・ 地層の走向傾斜 ・ 流れ盤か受盤か ・ 風化状況の明確化 ・ 地下水・地表水の状況 	
② 盛土区間 <ul style="list-style-type: none"> ・ 地盤の軟弱度 ・ 低地地盤 n 地形区分 ・ 既存地盤図による 基礎地盤の深さ 	
③ 橋梁基礎 <ul style="list-style-type: none"> ・ 表土の厚さ ・ 地盤強度のランク区分 ・ 地層の走向傾斜 ・ 断層の有無や状況 ・ 節理などの状況 	
④ トンネル区間 <ul style="list-style-type: none"> ・ 岩相区分 ・ 地層の走向傾斜 ・ 割れ目系の分布 (大小や性状など) ・ 地下水の有無、深さ ・ 地滑りの有無や状況 	
⑤ ダム予定地 <ul style="list-style-type: none"> ・ 表層の厚さ ・ 地層の走向傾斜 ・ 岩盤のランク区分 ・ 割れ目系の分布 (大小や性状など) ・ 地滑りの有無や状況 	
⑥ ダム貯水池 とその周辺 <ul style="list-style-type: none"> ・ 地層の走向傾斜 ・ 地滑りの有無や状況 ・ 周辺溪流の状況 (特に土砂流出の状況) ・ 岩相区分 	

¹ ルート選定時とが概略設計時や実施設計時で比重は変わるものの、基本的には同じ。

² スペースの関係で一部省略

5) 今後のこと

今後以下の様なことをもっと議論したらどうかと思う。

- (1) 土木地質図表現の再検討 (内容は豊富で、優しい表現が大事)
- (2) 地形・地質の3次元表現 (同上)
- (3) これまで土木屋・土質屋さんたちがほとんど発言してこなかった (あるいは考えてこなかった?) 内容の具体化
- (4) AIの導入の具体化の方向
- (5) 委員会成果の地形地質屋や土木屋・土質屋の教育への生かし方

以上

地質技術者として斜面防災対策に取り組んで

応用地質(株) 上野将司

1. 地質学を学ぶ

高校まで地学や地理は必修科目の時代であったので大学入学前に地形・地質に関する予備知識を得ることが出来、とくに地質に興味を持った私は地質学科の大学に進学した。

進学後の大学3年では修業(進級)論文が課せられ、7月26日~8月30日(36日間)北海道の羽幌炭鉱地域で指導を受けつつ地表地質踏査を行った。大縮尺地形図は無いので縮尺1/2,000のルートマップ作製は歩測とクリノメータによる簡易測量を行いながら地質露頭の位置を記録する。踏査ルートは地質が露出する谷沿いの沢歩きになる。指導はマンツーマンでO先生にルートマップ作製の手ほどきを受けたが、露頭観察のため股下まで水に付きながらの沢の渡渉を繰り返す親身な教育が今でも忘れられない。宿舎に帰れば炭鉱の地質技師であったUさんから指導を受けつつ踏査図の整理に始まり地質図や断面図にまとめていく楽しさを知った。

大学4年の卒業論文では日高山脈南部を対象として地質図作成を行った。卒論に集中するため4年生は前期に座学の科目の履修を終えてフィールドに出るスケジュールであった。期間は7月22日~9月3日と9月23日~10月13日の67日間である。宿舎は営林署の職員宅にお世話になり、前進基地とした造材飯場ではランプ暮らし、同じく前進基地のテント暮らしで踏査を行った。調査対象地域には山道がないため時には全身に水を浴びながら沢の登り下りになる。中間時点でH教授やA先生の現場指導を受けて当時の日高造山運動を読み取れるような地質図を作成していった。教室に帰り岩石の薄片作りや鏡下観察、X線回析などの分析も行ったがこちらのほうはすっかり忘れてしまった。

学部で徹底したフィールド歩きをたたき込まれて、その後にこれらの技術が役立つ業界に身を投じることは幸せに感じた。現在の大学地学関係学科では様々な理由でこれほどのフィールド歩きを教育することはできなくなっている。

2. 就職後の疑問 ~地質で飯が食えるのか?~

地質調査会社に就職し、上司の指導を受けつつ沖積低地の建築物の調査ボーリングでは柱状図や数本の柱状図から地質断面図を作成して成果品を作成したが、同僚の土質技術者が同様な成果品を作成しており私の経験したような地質学は売り物になるのか疑問に感じて先行きの仕事に不安を感じた。トンネルの地質調査ではフィールド歩きによる地質図作成に従事したが、調査結果が施工にどのように利用されているのかわからず同じような疑問を感じた。

また道路の切土後に発生した地すべり現場では、踏査結果と多数のボーリング調査結果をもとに地質図や断面図(図-1)を作成し、パイプひずみ計などの観測結果からすべり面

(赤破線)を明らかにした。道路の切土前の地形(緑破線)は過去の地すべりで形成された末端隆起部であり、地質構造からもすべり面は過去の地すべり移動で形成された古傷であることを示すことが出来て地質学が役に立つことがわかった。しかし安定計算に際しては単一円弧すべり(黒線円弧)が適用されて地質断面が考慮されていない点に対し、地質学は役に立っているのか疑問が残った。このような山地斜面の地質構造を無視した単一円弧による安定計算の適用は最近でも行われている例があるのは残念に思う。

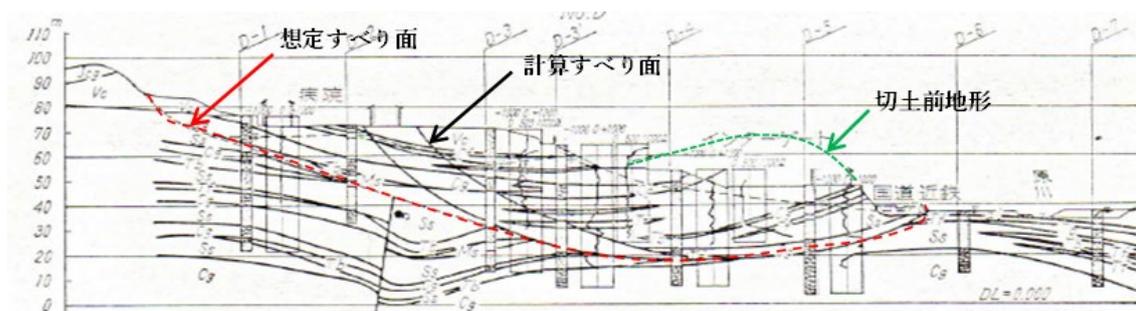


図-1 道路切土で再活動した地すべりの地質断面と安定計算に適用した円弧すべり

3. 土木設計に挑戦

実務4年目に緊急地すべり対策調査を担当することになった。地表地質踏査をはじめボーリング調査、地すべり動態観測などを行って地すべりの規模・機構の解明などを明らかにしたが、緊急事業であるため対策工の立案と設計をしなければならなくなった。当時の会社の出先の上司には土木設計のできる技術者がおらず、同僚の土木技術者の意見や論文を参考に独力で苦しみながら抑止グイや集水井などの詳細設計を行った。法面保護工の法枠や排水路の設計は他現場で寸法を測るなどして見様見真似で設計した。成果品に対する自信がなく説明では大汗をかいたことが忘れられない。この業務では地質構造をもとに地すべり機構を明らかにして対策工の立案に結びつけることができ、地質が売り物になることを知った。地質を売り物にするためには対策工や設計に関する知識を持たねばならないと痛感し、会社に設計技術者の増員と組織の充実を訴え、土木技術者の増員や組織が充実されていった。

これで設計業務に多少の自信をもって九州の地すべり地帯で切土のり面の勾配や保護工の詳細設計をおこなった。地質構造から流れ盤や受け盤のり面の勾配決定は上手くできたが、法面保護工の吹き付け法枠の設計では恥をかくことになった。中間報告で建設省(現、国土交通省)の課長から「君はスターラップを知っているか?」と問われ「えっ、それって何ですか」と答え、教えてもらったのである。あつかましく中間報告をしたものと恥じ入ったが、この件で課長さんとは懇意になり多くのことを教わった。昭和50年頃の事で、地すべりや切土のり面の安定対策に関するマニュアルが十分に整備されていない時代の事であった。

4. 設計技術者との協働

地質調査を主体とした企業にあっては、軟弱地盤上の道路・堤防盛土の沈下・安定対策や斜面防災対策が主要な業務対象になった。私の担当が地すべりをはじめとする災害や斜面防災対策が主な仕事になると、調査と対策工の設計を一体的に行わねばならず自然に土木技術者との共同作業をすることになった。幸い、社内には同年代の土木技術者が何人かいたので業務の着手時から連れだって現場下見から始まり、対策検討・設計まで対話しながら進めることが出来た。時には一杯やりながらの調査や対策の突っ込んだ話や調整も出来た。私が土木設計に多少の経験のあったこと、土木技術者 T 君が地質に関心のあったことでお互いの理解が進み、二人が本社の管理職になると組織的にも地質技術者と土木技術者の協働作業が普通に行われるようになった。

このような状況になると手戻りや失敗がなく調査・設計を円滑に進めることが出来、合理的な土木設計に結びつくようになり、一人で悩み長時間労働に繋がっていた環境が改善されていった。緊急災害にもチームを組んで初動調査から効果的な対策設計までを迅速な対応で進めることが出来、発注者の信頼を得ることにもなった。

5. 最近の課題と改善点

最近の課題として、分業化が進んで地質技術者と土木技術者の協働が上手くいっていないような傾向が業界全体に認められるようになった。つまり相互の検討が十分に行われないうちに地質技術者の調査業務が終わると土木技術者の設計業務にバトンタッチしてしまうのである。両者がそろって現場で意見を交わし対策（業務）の方向性を定めるような機会が希薄になっていることを感じる。地質調査の成果をベルトコンベアのように設計技術者に渡すことで両者の勤務時間は短くなるので歓迎されやすい働き方である。マニュアル化が進んだこともあるが調査と設計の橋渡しが上手くいっていないため、良い成果（設計）とはいえない例が業界全体に散見される。

また冒頭で述べたような大学における地質の野外教育はさまざまな理由で十分ではないため、地質技術者の現場力（踏査技術）の低下がある。地質調査には地表地質踏査のほかに原位置試験や現場計測などがあるが、ここでも分業化が進んでいる。働き方の改革が進む中で地質技術者の試験・計測を含めた総合的な現場経験は少なくなっており、土木技術に顔を突っ込む余裕もなくなっている。一方の土木技術者の多くは地質技術者と現場に同行する時間を惜しみ、設計に必要な条件だけを求める傾向がある。これでは地質技術者と土木技術者の相互乗り入れ（協働）はできるわけがないし、双方の技術者としての成長も見込めないと思う。

以上の課題を関係者が共有して、大学の地学関係における踏査技術や応用地質学の必修化をはじめとする教育問題の改善、協働し易いような組織作りと作業の見直しが望まれるところであり、一企業内にとどまらない取組が望まれる。この意味で本委員会の取組は時期を得たものと言えよう。

ニューレトロと地質技術者

清水建設(株) 宇田川義夫

1. ニューレトロ

先日、TV ニュースを見ていたら「ニューレトロ」という言葉が紹介されていた。新しい時代に昭和などの昔の流行をアレンジ、再熱して登場したものを「レトロ回帰ブーム」または「ニューレトロ」と呼ばれているそうである。ニュースでは、昭和 50 年代後半に大ヒットを飛ばした、大瀧詠一のアルバム「A LONG VACATION」のイラストを手掛けた永井博のイラスト画が 20 代 30 代の若い世代で「かっこいい」とブームになっていることが紹介されていた。

さて、土木分野ではどうであろうかとふと考えた。私の一つ前の世代（おそらく 70 代から 80 代）では、石原裕次郎主演の映画「黒部の太陽」に影響を受けて、土木の世界に憧れた人も多いと聞いたことがある。私の恩師である菊地宏吉先生（早稲田大学非常勤講師であったときに私が大学卒業論文の指導を受けた）もその一人であり、大学の講義で先生から東電・奈川渡ダムの建設に従事した時の話を伺って感銘を受けた記憶がある。その後、ゼネコンに就職してすぐに、青函トンネル開通、本四連絡橋開通などのビックイベントがあり、日本鉄道建設公団海峡線部長であり、土木地質技術者であった持田豊氏をモデルにしたといわれる高倉健主演の映画「海峡」なども公開された。

十数年前にドラマで「黒部の太陽」がリメイクされ放映されたことがあったが、土木分野が「ニューレトロ」として、若い世代で「かっこいい」とブームになることがあるのだろうか。大学で教鞭をとられる先生方には、土木の魅力が学生諸君に伝えてほしいと個人的に期待している。

2. 地質技術者の道

ここで、私の地質技術者の道を振り返ってみることにする。

地質技術者への道は、私の学生時代に遡る。当時、母親は膠原病（重度のリウマチ）で寝たきり状態であったため、私は今で言う「ヤングケアラー」に近い状態であった。当時、大学卒業後は大学院に進学し、専門である応用地質学を極めたいと考えていた。その頃、帰宅途上に、電車から街の明かりが目飛び込んできた。ふと思った。ひとつひとつの明かりのもとに家族の団らんがあり、人々の幸福がある。将来、自分の能力を活かし、人々の幸せにつながる仕事がしたいと。また、「母親が病気で、経済的にも大変なので、早く就職して両親を安心させてやりなさい」との教室の主任教授の勧めもあり、大学院への進学を辞退し、急遽ゼネコンへの就職を決意した。

私の大学卒論テーマは、「異方性岩盤の力学的特性についての地質工学的研究～原位置せん断試験結果と地質諸要素の関係～」である。私は大学 3 年生の時には、研究機関にアルバイトとして通い、ダム計画サイトで掘削されたボーリングコアで供試体を作成し、一軸圧縮

試験を行ったり、ダムサイトの地質図を作成したりしていた。また、大学4年生の時には、建設コンサルタント会社にアルバイトとして通い、原位置せん断試験や原位置変形試験の補助業務などをした。そのような経緯もあり、大学卒論テーマは、三波川帯における結晶片岩の原位置異方性をテーマとした。結論としては、結晶片岩の片理面の方向と載荷方向の成す角度 θ によってせん断強度 C, ϕ は低減するが、その低減率について、岩盤等級ならびにせん断面の凹凸性と関連して考察したものである。実際に補助業務をおこなったサイトの原位置試験データと、ゼネコン技術研究所に勤務している研究室の先輩達を訪ねて、三波川帯における結晶片岩の原位置試験データをたくさん集めて解析を行った。

現在、私は大手ゼネコンで勤務しているが、私の社会人人生はいわゆる準大手ゼネコンでスタートしている。後で一学年上の研究室の先輩に聞いたのであるが、現在勤務している会社とは別の大手ゼネコン K に内定していたらしいが、研究室の卒業生がまだ誰も入社していないこと、先に内定をいただいていたことで恩師が大手ゼネコン K の内定を断り、準大手ゼネコン F に入社を決めていた。会社 F では、地質技術者ではなく、ダム技術者でスタートをしている。東北地方のロックフィルダム現場に配属となり、測量丁張、原石山骨材調査、グラウチング施工管理、ダム堤体材料（コア材、フィルタ材、ロック材）の土質試験などに約3年間従事した。その後、本社土木統括部技術課勤務を経て、富山県の重力式コンクリートダム現場に異動となり、ダム基礎岩盤の地質調査、グラウンドアンカーの設計（主に各アンカー体の自由長の決定）などの業務に従事した。

その後、本社に異動となったが、このままでは地質の技術について研鑽ができないと感じ、コンサルタント会社に研修に出してもらいたく上司に直訴した。当時、恩師の菊地先生が東電設計株式会社の応用地質部長をしており、上司が菊地先生に相談したところ、「それだったらウチに来ればいい」ということで、東電設計への出向が決まった。晩秋の神宮外苑のイチョウが黄金色に染まった快晴の日に、元鉄建公団青函建設局長の横山章副社長と上司と私が社用車に乗り、神宮外苑、国会前、霞が関を通り、東電設計へと向かったことを思い出す。東電設計では、岩盤浸透流の現地実験、ダムなどの水力発電新規計画サイトの地質調査、既設の送電線鉄塔周りの斜面変状等の現地踏査、都内一等地の地中線計画地点の地質調査など、様々な業務を約2年4か月という短い期間で経験した。当時の思い出としては、既設の送電線鉄塔周りの斜面変状等の現地踏査のため、糸魚川ー静岡構造線沿いの山梨県早川水系の民宿を約半年間転々とし、地元の方と毎日山歩きをしたこと。出向期間中に恩師の菊地先生が京都大学資源工学科教授として赴任されることになり、その時に「助手として一緒に京都に来ないか？」と誘われたが、家庭の事情もあり丁重に断ったこと、菊地先生、桜井春輔教授、吉中龍之進教授と霞が関ビル地下の日本料理店で会食したことなどである。この研修期間中に足腰も鍛えられ、地質調査の基本を学ぶことができたと考えている。研修終了の翌年に技術士（応用理学部門）の国家試験に合格できたのも、この期間に学んだことが大きい。

会社 F に戻った私は、地質技術者として全国のダム、トンネル現場を中心として、地質に

関わることとなった。その頃（30代前半）、トンネル計測、斜面計測などの動態観測や2Dシグマなどの数値解析にも関わることとなる。必然と全都道府県の現場に足を運んだ。あまりに忙しく、3か月で本社の席に座っていたのは2日だけという時期もあった。当時の思い出としては、日本全国の様々な地質の露頭・切羽を見られたこと、川本兆万・名古屋大学教授を団長とする土木学会三峡ダム技術調査団に参加したこと、3年間業務と並行して千葉大学自然科学研究科地球科学教室に休日をすべて潰して通い、日本のテクトニクス研究の第一人者である伊藤谷生教授のご指導の下、博士(理学)の学位を取得したことである。博士(理学)の研究は、フラクタル幾何学を応用した断層破碎帯のモデル化であり、トンネル切羽前方の断層破碎帯予測に応用が利く研究である。また、西日本岩盤力学シンポジウムの学会発表では、東京大学地震研究所所長であった地震学の権威である茂木清夫先生とお酒を飲みながら会話する機会に恵まれ、「自信を持って今の研究をどんどん進めなさい」と茂木先生から励まされたこともあった。

その後、F社技術研究所にて約3年間、AEによる地盤評価、トンネル切羽岩盤のフラクタル画像解析による岩盤評価の研究を行った。その後、技術研究所が遠隔地に移転するのに伴い、私は国交省外郭団体である一般社団法人先端建設技術センターに3年2か月出向した。先端建設技術センターでは、河川系の部署に所属し、国土交通省・地方自治体からの委託業務をおこなった。主な業務としては、地質とは縁遠いポーラスコンクリート河川護岸に関する業務であり、また猪苗代湖十六橋水門補修・改築検討業務、辰巳用水移設復元工法技術検討業務、白岩砂防堰堤右岸部岩盤補強工事技術検討業務などの土木遺産に関連した業務を3件おこなった。当時の思い出としては、北海道から九州まで全国の一級河川を廻って現地調査を行ったこと、全国10箇所、延べ11回、各会場の聴講者300名程度を集めて生態系保全を目的とした多自然型河川について国土交通省、地方自治体、民間企業を対象に教育講師を務めたこと、コンクリート工学の第一人者である長瀧重義先生、地盤工学の第一人者である太田秀樹先生など、超一流の先生方と知り合うことができ、飲みながら会話をする機会にも恵まれ、いろいろなお話を伺うことができたことである。また、カナダ・バンクーバーで開催されたIAEG国際会議、フランス・パリのISRM国際会議、ブラジル・ベロオリゾンテの環境地盤工学国際会議で論文発表したことである。ブラジルに行った際には、世界最大級のイタイプダム水力発電所（貯水池が琵琶湖の4倍）の視察もおこなった。技術士（建設部門）、技術士（総合技術監理部門）の国家試験に合格したのもこの時期である。

F社に戻った私は、全国のダム・トンネル現場を廻るとともに、社の土木部門代表として、当時、支店・技術研究所ごとにバラバラに運用されていた品質・環境マネジメントシステムの統合（全店統合品質・環境マネジメントシステムの構築）の業務もおこなっていた。メンタルがやられるほどの首都圏支店担当者の猛反発にあったが、この時に学んだことは、現在、地質リスクマネジメントシステムを考えるうえで非常に参考になっている。

47歳の時には、独立行政法人土木研究所に任期付き主任研究員として採用され、3年間、主にトンネル機械掘削時の粉じん低減技術の開発に取り組んできた。当時の思い出として

は、国交省関東技術事務所で特別講演講師を務めたこと、インド・アグラおよびハンガリー・ブダペストで開催された ITA 国際会議で論文発表したこと、早稲田大学環境資源工学科で博士(工学)の学位を取得したことなどである。

その後、F社で私は全国のダム・トンネル現場を廻るとともに、日建連火薬専門委員として約 11 年間同業他社のダム・トンネル現場も火薬類保安検査のために廻った。火薬類保安検査は地質技術者として全く関係のない業務のように一見思えるが、この間、約 60 現場の地質を観察することができた。

3. 将来に向けて

こうして自身の地質技術者の道を振り返ってみると、地質とは全く関係のない分野のこともたくさん経験してきた。しかしながら、それぞれに真摯に業務に取り組む中で、超一流の研究者・技術者と知り合い、学ぶこともでき、実績を積むことができた。発表論文は 100 編を超えた。著書もいくつか出した。早稲田大学で非常勤講師として応用地質学、地質工学を 23 年にわたって学生に教えている。今は、学会の委員会活動などを通じて、社内外を問わず、次世代を担う地質技術者の養成に取り組まなくてはならないと考えている。地質リスクマネジメントや AI 技術も取り組むべきテーマだと考えている。

「地質リスクマネジメント」とは、リスクにつながる地質リスク事象の原因となる地質リスク源を特定し、その地質リスク源をマネジメントしていく一連の取り組みである。したがって、この「地質リスク源」を特定できなければ何も始まらないし、リスクを野放しにすることとなる。誤った判断を下した地質技術者自身が「地質リスク源」となることもありうるのである。地質技術者の使命としては、まず「地質リスク源」を特定できる技術的力量ならびにそれをマネジメントできる能力を身に付けることであろう。そのためには、並大抵ではない知識の集積と豊富な実務経験が必要なのである。

私は、応用地質学は 3 次元に時間軸を加えて 4 次元で考えるものだと思っている。応用地質学の基本中の基本である岩種判定も非常に重要である。岩種判定にもとづく地質の成因を考察することが、切羽前方などの見えない部分の地質構造の解明、しいては土木構造物に与える影響を設計・施工に反映させる上で非常に重要であると考えている。「温故知新」という言葉がある。先人の知見や知恵に AI などの新技術を融合させた「ニューレトロ」の土木ブーム到来を期待している。私自身、頭と体が動く限り地質技術者として取り組んでいきたいし、これからの若手地質技術者に期待している今日この頃である。

念力土質力学

応用地質（株） 柿原 芳彦

念力土質力学 この言葉は、30年余り前、当時、応用地質（株）の技師長であった菅原紀明さんから聞いた言葉です（ご自身の経験に基づく造語と思います）。菅原さんは、様々なプロジェクトに関わられるとともに、海外の地質調査機器、計測機器を調査・導入、さらに独創的な調査機器を開発され、また、地すべり移動速度と安定度評価¹⁾はご存じの方も多と思います。何かの機会に、菅原さんから「念力土質力学」という言葉を聞き、その主旨をどう話されたかは記憶に残っていませんが、この投稿文を書くにあたり、ふと思い出したものです。「念力」、広辞苑には「精神をこめた力」とあり、「念力岩をも通す」と慣用句が添えられます。私は、地盤に関わる仕事を行う上で「真実を求めんとする精神」を示す言葉と受け止めます。地盤の中は目には見えません。断片的な調査データをもとに仮説と検証を繰り返す、真実に迫らんとする行為を支える精神が「念力」に至るものと思います。それは、良いものを作ろうという気概に通じ、そこには「応用地質学と地盤工学の協働」の側面が必然的に存在すると思います。技術者個人においては経験とともに「念力」が輝きを増しますが、地盤を対象とする生産システムの中に「岩をも通す」仕組み、有限なリソースのもとで検証できないリスクを抽出・評価する仕組み、これらをどう構築していくかを示すことが本研究委員会のテーマであったものと振り返って思う次第です。

地盤構造物とその設計という概念 本研究委員会の提言2には、地盤構造物の設計という概念と、そこでの地質技術者（調査）と地盤技術者（設計・施工）の協働の実践及び協働の仕組みの必要性が示されています。私は、軟弱地盤対策、河川堤防の浸透対策、長大切土のり面の設計等に携わる中で、地盤設計という概念が存在すべきと常々感じていました。提言2は、まさにこれに合致するものと考えています。地盤の不均質性、不連続性、著しい非線形性、地下水や浸透水の影響、化学的要素、さらには、風化や内部応力の時間的変化など、自然の産物である地盤の解明は容易ではなく、そこには地盤の生成環境という地質学的要素が大きく関係しています。地盤の持つ特異性が、極めて重要な設計、施工及び維持管理上の要素になり得ることから、応用地質学と地盤工学の協働による「工学的な地質図」の作成、そして、意思決定を迅速に行う上で三次元地盤モデルとすることは必要不可欠と考えます。

これからの協働に向けて 本研究委員会の提言は、協働に向けて「何をすべきか」を示したものとなりますが、今後は、「どうしたらそれを実行できるか」を考え、実践していくこととなります。既に地質・地盤リスクの取組みは始まっており、さらに、脱炭素、労働環境の変革等の急速な社会経済環境の変化に対応した施策を講じていく必要があります。その中で「知の集積と活用」は重要な取組みと考えます。このことは、「報告および提言（案）」の「研究の背景⑤」に記載の通りです。上述した「念力」を有する技術者から、「頭の中に持つ」大量の知識を実地に学ぶことはもはや困難です。知識の共有は、生産性の向上、ワーク

ライフバランスの確保、クオリティ・オブ・ライフの向上が至上命題となっている企業において深刻な問題です。応用地質学会、地盤工学会が持つアーカイブは、それぞれの検索システムからさらに発展させ、共有の情報プラットフォームとし、言語化 AI 技術を組み込むことで、設計施工上の課題解決メニュー（提言 2 で示す複合構造体や設計代替案）を導くシステムを構築することができれば、地質・地盤リスクの課題解決だけでなく、産業全体の生産性の向上、リモートワーク含めた働き方の変化に大きなプラスの影響を与えると考えます。会員及び会員企業から得る利用料を、投資回収と維持費に充当する運営のあり方とともに検討の価値があるのではと考えます。 《参考文献》 1) 菅原紀明：クリープ性地すべり斜面の安全率と地表の移動速度、応用地質技術年報、No.23、pp.1-18、2003

カール・テルツァーギと渡邊貫が創始し目指したもの

元日本道路公団/NEXCO 栗原則夫

1. はじめに

近代土質力学の誕生といわれる『Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage』がカール・テルツァーギによって1925年に出版されてから、ほぼ1世紀になろうとしている。テルツァーギは、自ら創始した土質力学を駆使して、地盤構造物の設計・施工の難しい事例のコンサルティングを数多く手掛けたが、終生、土質力学とともに応用地質学の重要性を指摘し続けた。

一方、日本における地質工学の祖といわれる渡邊貫は、丹那トンネルの難工事の経験を経て、テルツァーギの土質力学を取り入れ、1935年に「地質工学」を出版して、応用地質学と土質力学を統合した新しい工学を提唱した。

現在の地質・地盤技術の対象分野は、地盤構造物の建設だけでなく、地盤災害や地盤環境まで拡大されてきて、その設計・施工にあたっては、土質力学だけでなく、応用地質学の知識なしには、必要十分な対応ができない状況が明白になってきている。そうした状況もあって実務技術者の間では、地盤工学とともに、応用地質学やその発展形である地質工学が不可欠であるとの認識が以前にも増して広まっている。

しかし、いまだに地質学的要因によって失敗につながったと見られる地盤構造物の設計・施工事例が少なからず発生している。失敗の原因は様々であるが、共通しているのは、計画・調査・設計・施工の過程を通じて、関係者間での情報共有、より根本的には地質技術者と地盤技術者間での協働がうまく機能していないことである。

本文の目的は、テルツァーギと渡邊のパイオニア的業績を振り返り、彼らが目指したものについて思いを巡らすことによって、彼らの創始した新しい工学の発展形である地盤工学と地質工学の現状を考察するとともに、その将来のあり方を展望することにある。

2. 土質力学と地質学の関係および設計法の考え方

2. 1 土質力学と土質工学および地盤工学

2. 1. 1 テルツァーギの土質力学

土質力学の創始者であるカール・テルツァーギは、土質力学と地質学^{注)}の関係および設計法について、どのように考えていたのであろうか。それを理解するために、まず彼の経歴を見ておこう。

彼の経歴は、19世紀末、オーストリアのグラーツ工科大学での機械工学専攻から始まっているが、その傍ら3つの地質学のコースを受講し、地質学のフィールドワークに熱心に取り組んでいる。大学卒業後、コンクリートの設計・施工を専門とする会社に入り、水力発電所の計画および建設の仕事を通じて地質に関わる問題に直面して、その解決に取り組む中で、当時一般

注) テルツァーギの文献には、geology と engineering geology の2通りの表現があるが、後者は“実用的な地質学”というような意味合いで使われていて、前者との違いを意識して使い分けているわけではないように思われるので、彼の文脈においては、いずれも地質学という日本語で統一している。

的に行われていた「地質学による定性的な土の表記にもとづく設計の仕方」に疑問を持つようになる。

その後、王立オスマントルコ工科大学で研究生活に入ったテルツァーギは、定量的な土の性質や挙動を定義する研究を行って土質力学を創始する。そして、それまで専ら定性的な地質学の知識に基づいて当て推量的に行われていた地盤構造物の設計に、土質力学という科学的な手法を導入し、その生涯にダム、トンネル、基礎、地盤沈下など様々なプロジェクトのコンサルティングを手掛け、数々の成功を収めた。

テルツァーギの仕事ぶりは、明確な地質学的根拠をもって土質力学を適用するという、それまでのエンジニアにはなかった画期的なものであった。パートナーとして彼と長年仕事をしたラルフ・ペックは、次のように証言している²⁾。

彼はいつも地質条件を明らかにするためにボーリングや土質試験を計画したのであり、彼はいつも地質学的根拠をもって結果を解釈したのである。現場における地質条件を詳細に把握してからでないと、試験や理論や統計的解析に基づく予想を信用することはないのであった。

テルツァーギの土質力学は、1943年の『Theoretical Soil Mechanics』(テルツァーギ著)と1948年の『Soil Mechanics in Engineering Practice』(テルツァーギ、ペック共著)によって知ることができる。前著は、土質力学の理論のみを記述したものであるが、後著は、その理論の実際問題への適用について記述した実践編となっている。

『Soil Mechanics in Engineering Practice』の目次は、**図1**のようである³⁾。目次からわかるように、同書では、まずI部で土の物理的性質について記述し、次いでII部で土質力学の理論を記述した上で、III部でそれらの設計と施工の諸問題への適用について記述している。このIII部は、「設計と施工に関する諸問題」というタイトルになっているが、その内容は、土質力学理論の実際問題への適用事例である。これは、同書には明示されていないが、「設計=設計計算=力学計算」という設計の定義が暗黙の了解になっているからである。ちなみに、この設計の定義は、現在の地盤工学と地質工学においても変わらないが、後述するように、設計の一面しかとらえていない。

I 部 土の物理的性質	II 部 理論的な土質力学	III 部 設計と施工に関する諸問題
1 章 土の分類特性	4 章 土の水理学	7 章 土質調査
2 章 土の水理学的 および力学的性質	5 章 土の塑性的釣合	8 章 土圧と斜面安定
3 章 土の排水	6 章 沈下と接地圧	9 章 基礎
		10 章 特殊な原因による沈下
		11 章 ダムとダム基礎
		12 章 施工観測

図1 『Soil Mechanics in Engineering Practice』³⁾の目次

土質力学と地質学の関係についてのテルツァーギの考え方は、このIII部に表されている。まず7章の「土質調査」の中で、堆積土 (deposits) についての地質学的な説明があり、8章以降の構造物各論において、土質力学理論を各種の構造物へ適用する方法が事例を用いて記述されており、そこで、理論と実際のギャップを地質学の知識によってカバーすることの重要性が繰り返

し指摘されている。

この土質力学と地質学の関係について注目すべきは、同書が発刊された同じ 1948 年の第 2 回国際土質基礎工学会議の開会演説において、テルツァーギが「土質力学と地質学が *Geotechnology* というような名称の下に 1 つになるのが相応しいとされる時代が来るかも知れない」と述べていることである⁴⁾。それは、将来、彼の土質力学が地質学と然るべき形で融合して新しい学問体系として発展することへの期待の表明であったのではないかと推察される。

その約 10 年後の 1957 年 2 月に、テルツァーギがハーバード大学で行った地質学の講義の冒頭部分の録音記録が残されているが、そこで彼は、次のように述べている⁵⁾。

私の活動は今や半世紀に及び四つの大陸にわたるのだが、私が出会った主要なエンジニアリングの問題の中で、地質学だけで、あるいは土質力学だけで解決できたものはない。その解決には、常に両方の専門分野の知識が必要だった。

またこの講義の中では、旧い地質学依存の時代から土質力学の実践の時代を経て、「我々の関心は、地質学へと、しかし今回は非常に高いレベルで戻ってきた」ということも述べて、実際問題の解決に際して、進歩した地質学が一段と高いレベルで役に立つようになっていることを評価している。

テルツァーギは、彼にとっての地質学の重要性について、次のように表現している⁶⁾。

私の体に浸透して健全な判断力として結晶している一連の役に立つ知識というものを考えてみると、構造力学と土質力学の理論 1 ポンドに対して、1 オンスの地質学が含まれていることに気づく。1 オンスの地質学は、発酵過程におけるイーストのように重要なものである。

(注：1 オンス = 1/16 ポンド)

また次のようにも述べている⁷⁾。

地盤技術 (*earthwork engineering*) の問題を理論的に取り扱うことが難しいのは、現場の土層がもつ地質学的履歴のためである。したがって私は、ハーバードで教えた地質学のコースを私の著書『*Theoretical Soil Mechanics*』の解毒剤と呼び、また実際そのつもりで教えてきたのである。

テルツァーギにとって、終始一貫して重要視した実用的な地質学の本を書くことは、若い時からの夢であったようで、その出版のための努力をしていたが、実現することなく亡くなってしまい、結局、『*Theoretical Soil Mechanics*』と『*Soil Mechanics in Engineering Practice*』の 2 冊の本が土質力学の教科書の手本として広く世界へ普及していった。

3. 1. 2 土質工学から地盤工学へ

日本では、テルツァーギ著の 1943 年の本に相当する内容を「土質力学」(*soil mechanics*) とし、テルツァーギ、ペック共著の 1948 年の本に相当する内容をベースにしたものを「土質工学」(*soil engineering*) として使い分けてきた。つまり土質力学の実践編が土質工学であるという理解である。

ちなみに、土質力学と土質工学の違いをペックは、「土質力学は科学(*science*)であり、土質工学は術(*art*)である」と表現している⁸⁾。すなわち、土質力学の理論だけでなく、豊富な経験を踏

まえて体得される熟練のわざがあつてこそ、実際問題の解決のための的確な工学的判断ができるのであり、それが土質工学たる所以だということである。ただし、土質工学が土質力学の実際問題への応用体系であるという本質に変わりはないことに留意しておく必要がある。

日本における土質工学およびその発展形である地盤工学の体系は、土質工学会およびその後身の地盤工学会が編纂したハンドブックの内容からわかる。図2は、これまでに出版された3つのハンドブックの目次を示している⁹⁾。

まず1965年版および1982年版の『土質工学ハンドブック』で特徴的な点は、第1章「土の起源と生成」において地盤についての地質学的記述を章立てして、土質力学理論、土質調査および構造物各論と並列していることである。図1のテルツァーギ、ペック共著の教科書では、地質学の記述が「土質調査」の章に含まれていたのに比べると、地質学の重要性を重視した結果と見ることができるが、全体として体系的な記述にはなっていない。

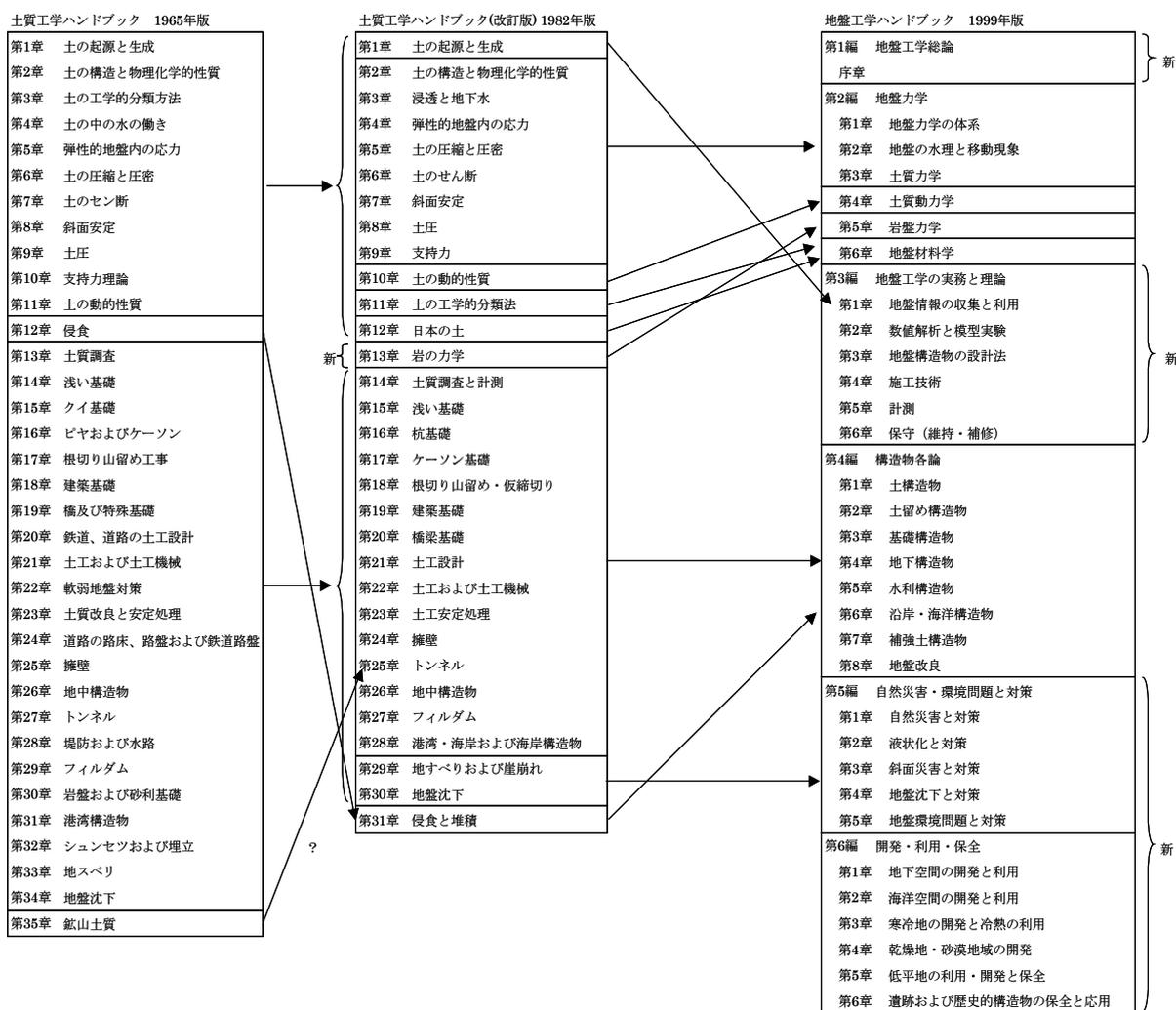


図2 土質工学・地盤工学ハンドブックの目次⁹⁾

その後、1995年に土質工学会が地盤工学会と改称されたのを契機に、土質工学は岩盤工学を加

えて地盤工学として再編された。そして地盤工学会が創立 50 周年記念事業として出版した 1999 年版『地盤工学ハンドブック』では、「二年間にわたる大激論の結果、従来のハンドブックの改訂ではなく、変化しつつある地盤工学の枠組みを先取りした地盤工学の体系化を目指すこととなり」¹⁰⁾、それまでのハンドブックからの抜本的な転換が図られたという。その概要は、序で次のように説明されている。

第 1 編「地盤工学総論」で地盤工学の歴史、役割、将来の姿を概観し、第 2 編「地盤力学」で地盤工学の基礎となる力学、材料学を最新の形で体系的に記述する。第 3 編「地盤工学の実務と理論」は、基礎理論から実務への橋渡しとしての役割を果たすことを目的としている。本書の 4 割を占める第 4 編「構造物各論」は、個々の構造物を計画・調査・設計・施工していく実務にかかわる専門知識の集約編であり、従来ハンドブックの中核を成してきた部分である。すなわち、第 1 編から第 4 編が基礎から応用への展開をめざしている。

これに対して、第 5 編「自然災害・環境問題と対策」、第 6 編「開発・利用・保全」は、地盤工学ならびに境界分野の専門知識を結集、総合化する技術分野を記述している。第 5 編は自然災害、環境にかかわる地盤工学の取り組みを、第 6 編は代表的な開発・保全プロジェクトにおける地盤工学の取り組みをまとめるものである。

この序で述べられているように、2つの『土質工学ハンドブック』（1965 年版および 1982 年版）では、体系的な記述がされていなかったが、初めて地盤工学として体系化されたこと、そしてその体系の中に設計法が初めて取り入れられたことが、このハンドブックの大きな特徴である。その体系化の要点は、次のようにまとめることができる。

- (1) 地盤工学が地盤の力学理論を実務へ応用する学問であることを明確にしている。
- (2) 設計法は、基礎理論から実務への橋渡しの中に位置づけて、設計計算法、すなわち理想化したモデルでの応力や変形の力学計算法として記述している。
- (3) 地質学の基礎知識は、上記と同じ位置づけの中で、地盤情報として扱っている。
- (4) 地盤構造物の用語が使われているが、その定義がされていない。

このうち(1)は、地盤工学の前身である土質工学が土質力学の応用体系の学問である以上、必然の帰結であり、それは第 1 編「地盤工学総論」の序章において、地盤工学の歴史がほぼ土質力学の歴史として記述されている点に如実に表れている。

また(2)については、設計を力学計算のような分析過程としてとらえるのは、従来の工学一般の傾向である。

さらに(3)については、2つの『土質工学ハンドブック』では、第 1 章として章立てしていた地質学の記述を第 3 編第 1 章「地盤情報の収集と利用」へ集約しており、 1 に示した『Soil Mechanics in Engineering Practice』と同じ扱いに戻している点は注目に値する。つまり地盤工学を力学体系として構成するためには、地盤に関する地質学的情報は、設計計算のための情報として取り扱うほかない。

なお(4)については、地盤構造物について定義されていないのは、地盤構造物といえ、その意味するものは自明のものということであろうか。

3. 1. 3 地盤工学における設計法の問題点

前項において、地盤工学の体系化の要点として挙げた(2)と(3)、すなわち設計法と地質学の役割について、詳しく見てみよう。設計法については、テルツァーギの土質力学以来、「設計＝設計計算＝力学計算」という設計概念が暗黙の了解になっていて、その学問体系の中で表立って取り上げられることがなかったが、前項で触れたように1999年版『地盤工学ハンドブック』において、初めて独立した章として採り上げられ、体系的に記述された。

このハンドブックの第3編第3章において、「普通、狭義には、**図3**の③、あるいは③から⑤までの作業を設計と呼んでいるが、本章では、断らない限り②から⑥までのすべての作業を設計と呼ぶことにする」とし、設計を「調査と試験、設計計算、設計代替案の評価、実施のすべての作業段階で生じる不確実性を認め、かつ理解しながら、現時点での最善の意思決定を下し、要請される安全性、使用性、経済性をできる限り満たす構造物をつくっていく作業」と定義している¹¹⁾。

ここでは、「調査と試験」も含めて設計と呼んでいるが、それは、設計を不確実性下の意思決定過程としてとらえることによるものであり、一般には、テルツァーギの土質力学以来、設計を「設計計算＝力学計算」、すなわち「理想化されたモデルでの応力や変形の計算」からの作業とする設計の定義が広く通用している。

しかし、このような設計の定義では、地質技術者が行う「調査と試験」の目的は、地盤技術者が行う「設計計算」に必要な地盤の物理的・力学的性質を収集することに矮小化されてしまい、地質技術者が設計に携わる必然性は出てこない^{注)}。

実際、このような設計の定義によって、「調査と試験」、すなわち地質調査は、地質技術者（調査業者）が行い、設計は、地盤技術者（設計業者）が行うという分業が当たり前の姿となってきた。この状態は、地質技術者と地盤技術者がそれぞれの得意とする作業を受け持つことで棲み分けるのには都合がよかったが、そのことが結果的には、お互いの業務に対する理解を深める妨げとなってきた。地質技術者は、自分が提供した地質調査情報が設計にどのように利用されるのかに無関心となり、地盤技術者は、地質技術者が提供した情報を与件扱いして、専ら関心を設計に集中してきた。

このため、地質調査情報には様々な不確実性が含まれているにもかかわらず、そのことがきちんと評価されないままに設計に引き継がれ、その結果、地質調査情報が設計、さらには施工に与

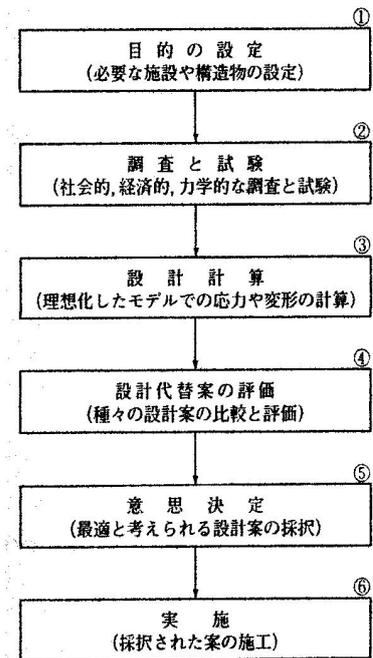


図3 従来の設計フロー¹¹⁾

注) 本文でいう地質技術者とは、地質学、応用地質学を専攻し、地質調査に従事している技術者、地盤技術者とは、土質力学、土質工学、地盤工学を専攻し、土木工事の設計・施工に従事している技術者、という程度の意味である。

える影響についての深い理解が進まず、設計や施工の失敗につながったというケースは、決して少なくない。

ここに、地盤工学と応用地質学の協働を阻害している根本的な原因がある。

3. 2 応用地質学と土木地質学および地質工学

3. 2. 1 応用地質学と土木地質学

産業革命期のイギリスにおいて、ジェームズ・ハットン、ウィリアム・スミス、チャールズ・ライルの3人が近代地質学を築いたといわれている。中でも層序学の父といわれるウィリアム・スミスは、19世紀初頭、運河建設という実用目的からイギリスで最初の地質図を作成し、同時にその過程で「地層累重の法則」や「地層同定の法則」などを発見した。こうして産業革命期に、博物学としての地質学から脱皮した実践的な地質学、いわゆる応用地質学（*applied geology*）がスタートした。

日本における応用地質学については、日本学術会議の第18期学術の在り方常置委員会報告「日本学術の質的向上への提言」の「6 地質科学」の項で地質学の歴史について記述された中で、簡単に紹介されている¹²⁾。それを要約すれば、次のようである。

日本の地質学は、幕末から明治期に欧米から実学、つまり応用地質学として導入され、資源産業とともに資源地質学中心に発展してきた。例えば、岩石学や鉱物学は金属鉱物資源探査に、堆積学や古生物学は石炭・石油資源探査に不可欠であった。戦後も石炭・鉄鋼の傾斜生産方式が採用され、地質学は戦後復興の旗手としてもはやされた。こうして応用地質学イコール資源地質学の時代が1950年代まで長く続いた。

この間、20世紀初頭、丹那トンネル工事や関東大震災後の復興事業などを通じて、土木地質学ないし地質工学的な研究が鉄道省など官界の地質家の手によって、また戦後の食糧増産のための開拓事業を通じて、水文地質学が農林省など官界の地質家の手によってなされていた。それらは世界的に見ても先駆的なものであったが、岩石学や地層学中心のアカデミズム地質学からは、無視されてしまった。

さらに佐久間・黒四など大規模ダムの建設ラッシュとともに土木地質学が勃興し、地質学科卒業生が土木建設方面にも進出するようになった。1960年代からの高度経済成長期に入ると、土木地質学は隆盛を極め、応用地質学イコール土木地質学と認識されるようになった。しかしアカデミズム地質学は、旧来路線を墨守し、結局、土木地質学は大学の支援なしに自学自習、民間の手によって工学サイドの視点から開拓されていった。

とはいえ客観的に見れば、日本の土木地質学は、世界のトップレベルに達しているといっても過言ではない。日本列島のような若い変動体は、安定大陸にくらべて地質条件が非常に悪い。その悪条件を克服してトンネルやダムを建設してきたのは、土木技術だけでなく土木地質学のおかげである。しかし主として公共事業とともに発達してきたという経緯から、守秘義務の壁に阻まれて民間コンサルタントには論文発表の自由がなく、せつかくの技術情報がノウハウとして個人や社内に蓄積されたまま埋もれてしまっている。

そして現在は、先進国における土壌・地下水汚染などの地質汚染や途上国での水資源不足、さ

らには地球温暖化に伴う自然災害の激化が大きな社会問題化しており、環境地質学や災害地質学への社会的要請が強まっている。

3. 2. 2 地質工学

(1) 渡邊貫の地質工学

資源地質学から発展してきた日本の応用地質学において、土木地質学の発展に大きな貢献をした地質技術者として、渡邊貫がいる。渡邊は、1923年に東京帝国大学理学部地質学科を卒業後、直ちに鉄道省熱海線建設事務所へ配属され、1918年に着工し難航していた丹那トンネルの工事に従事しているが、それは地質学の知識が必要と認識した鉄道省土木技術幹部の判断だったとされている¹³⁾。

かくして1920年代に丹那トンネル工事に従事した渡邊は、その体験を基にして、1935年に『地質工学』という著書を出版した¹⁴⁾。それによると、当時、テルツァーギによって創始された土質力学を始めとした応用力学が土木工事における様々な問題解決に取り入れられているのを体験した渡邊は、そうした挑戦を「地質学と応用力学が両手をつなぎ合わせて進んで行こうという企て」と見て Geomechanik と名付け、自らも土木地質学の範囲を超えた地質工学を提唱したのである。『地質工学』の目次は、**図4**のようになっている。

緒言	
第一部 地質概論	第四章 工事施行法(切取及び隧道/基礎)
第一章 地球及び地殻(地球開闢説/地殻に関する学説)	第五章 堰堤施行法(堰堤位置の選定/岩盤を基礎とする堰堤/沖積層基礎の堰堤/土堰堤/圧力隧道)
第二章 地殻の変動(地殻変動の学説/地殻運動/岩漿運動)	第六章 地下探査法(試錐法/地球物理学的地下探査法)
第三章 地面の起伏(地表の平坦化/河蝕地形/氷蝕及びカルスト地形/海蝕地形)	第七章 地盤調査法(風化土層/風化土の成熟と土壌の類型/堆積土/泥炭地)
第四章 地殻の構造(岩石の種類/岩石の実験的研究/火成岩成因論/地質構造)	第八章 土質試験法(土の機械的分析/土の組成成分/土の物理的性質/土の力学的性質/土質調査機関)
第五章 地殻の歴史(地史の研究法/各地質時代の古生物学的層位学的特性/地殻変動史)	第九章 基礎調査法(地質調査/平板載荷試験/杭基礎試験)
第二部 地質工学	第十章 地盤の力学(土圧論/擁壁の安定/基礎の沈下/斜面の安定/隧道地
第一章 地質調査法(地質踏査法/地質図作製法)	
第二章 地下水調査法(地下水/地下水の流動/水文学的調査)	

図4 渡邊貫の『地質工学』¹⁴⁾の目次

緒言の前半部分で、まず次のようにいう。

最も著しい例で、またしばしば問題を起こし易いことは、地質図殊に地質断面図の判断ということである。多くの土木技術者は—彼らは必ずしも地質学については全くの素人ではない筈ではあるが—、地質断面図というのは寸法から何までそっくりそのまま自然の現実状態のままであるかのように思っている。それがためそれを実際問題に応用した結果は、もちろん地質学者の価値は、たちまち千尋の谷底に蹴落とされることになるのである。これは、元来、地質断面図をば地質学的関係を表す一種の Formula であるということをよく彼らに徹底させていなかったことがそもそも間違いの因である。

その典型例として、丹那トンネル工事を挙げる。丹那トンネルの場合、いろいろな地質学者の報告書が作成され、まったく相異なる地質断面が提示された結果、土木技術者は、その選択に困り、結局、独断でその中心線を決めたが、工事着手後数回にわたる大事故を起こしてしまった。しかるに当局は、その原因を地質学者の無能のせいだと言い訳している。確かに非凡な地質学者のつくる地質図もあれば、未熟な地質技師のつくる地質図もあるが、土木技術者側も、その区別もできず、出された地質図をそのまま鵜呑みにするべきではない。まして地質学者がつくる地質図が地質学上の約束に基づいていることが理解されていないことが多いことは、大変困ったことである、と渡邊はいう。

それに続けて、彼は、現場監督としてボーリングを実施し、その結果を基に精確な地下構造を推定することができたため、丹那トンネルの掘削工事に大変役に立った、という自らの経験から、「土木工事に必要な地質図は、周到にして精細な地質調査を行い、その結果に基づいて訂正したものが最も役に立つ」と述べている。

そして渡邊は、第二部で取り上げている地質工学の特徴は、七章以下にあるとして、次のように述べている。

ところで第二部第七章以下に述べようとするところは、前者（六章まで）とは大分趣を異にしている。あるいは土木地質学の項目とはいえないかも知れない。少なくとも地質学ではない—応用地質学ともいえないかも知れない。ただ筆者が土木工事に関係している中、土木技術者の地質的工学、換言すれば大地の工学に幾分か親しむようになったことによる。筆者はこれに Geomechanik の新造語を与えた。種々雑多のいかに多くの問題がこうした考え方の下に取り扱われつつあるか、すべては未完成のままながら論ぜられ考究せられ実験せられつつ歩一歩進みつつある。そこには新興科学の澁刺たる仕事を見ることができる。（注：原文の旧仮名遣いを現代仮名遣いに直している）

第二部第七章以下に示されているのは、「地盤調査法」、「土質試験法」、「基礎調査法」および「地盤の力学」である。「土質試験法」では、テルツァーギの『Erdbaumechanik』から多くの引用があり、テルツァーギの圧密理論も紹介されている。また「基礎調査法」では、基礎沈下に関するフェレニウス、ケグラール、ハウゼルの研究、テルツァーギらの杭打ち公式などが、さらに「地盤の力学」では、土圧論（クーロン、ランキン）、擁壁や斜面の安定、基礎の沈下などに関する力学理論が紹介されている。

そして彼は、Geomechanik について、次のように評価している。

狭義に言えば土壌学と土圧論，しかもこれを広義に言えば地質学と応用力学とがここに両手をつなぎ合せて進んで行こうというのである．実に壮大な企てではある．これさえ解決がつけば物質の本性は全て白日の下に曝け出されようということにもなる．

幸か不幸か筆者もこの竜巻の中に巻き込まれてきた一人である，あるいはもう土木地質学とか何とかいった小さな城郭を守っている時期ではないかも知れない．この **Geomechanik** の研究方法が結局は地質学の根本原理を培うものであることは元より論を俟たない明白な事実である．

以上からわかるように，渡邊の提唱した地質工学は，土木地質学と土質力学の融合へ踏み出すもので，それまでの土木地質学からの質的な変革の試みであった．すなわち，設計計算には土質力学が必要であり，土質力学を含むことによって，地質工学は，設計のための基本的な手段を備えた学問となったといつてよい．

しかし渡邊の地質工学は，土木地質学に土質力学を接ぎ木したような状態で，まだ十分体系化されてはいない．

(2) その後の地質工学

渡邊が提唱した地質工学のその後の展開については，例えば，1995年に出版された『地質技術の基礎と実務』（小島圭二・中尾健児共著）に見ることができる．同書では，地質工学は，現時点では「問題を解決するに当って，地質学の知識を適用するための技術と経験を含めた地質学の情報を利用する学問の一分野」と定義づけることができる¹⁵⁾として，地質学を工学的に利用する学問であることが明言されている．

ちなみに，同書の表題は地質技術となっているが，その序では，地質工学のうち，建設技術者として実務に携わる人々にとって最小限必要と考えられる内容を取りまとめたものと解説されている．その目次は，**図5**のようである．

基礎編	2. 調査と試験	3.7 海岸と海洋構造物
1. 地質工学と地質技術	2.1 現地調査と探査	3.8 地震と耐震設計
2. 地質構造と地形	2.2 現場試験と計測	3.9 地下水の利用と保全
3. 岩石と岩盤の性質	2.3 室内試験とモデル実験	4. 立地選定と地質環境保全
4. 土の形成	2.4 結果のまとめとその評価	4.1 立地選定要項
5. 土の性質	3. 地質技術要項	4.2 地質環境保全
6. 地下水とその性質	3.1 建設材料	5. 地質管理
実務編	3.2 構造物基礎	5.1 地質管理技術の概要
1. 地質に関わる設計の概念	3.3 ダムと堰堤	5.2 地盤工事と法律
1.1 構造物基礎設計の概念	3.4 土工事	5.3 管理技術者の責任
1.2 斜面安定設計とその対策	3.5 トンネルと地下空洞	
1.3 岩盤の掘削設計の概要	3.6 自然斜面と地すべり	

図5 小島らの『地質技術の基礎と実務』¹⁵⁾の目次

その内容を見ると、基礎編では、地形、地質構造、地盤の構成物質（土、岩石、地下水）の工学的性質および地質図など、地質学の基礎的な知識が記述されている。

一方、実務編では、まず「1. 地質に関わる設計の概念」の項で構造物基礎、斜面安定、岩盤掘削の土質力学や岩盤力学にもとづく設計計算法が記述され、「2. 調査と試験」の項でそのために必要な工学的性質を得るための調査や試験について記述されている。

この点、渡邊の地質工学では、土質力学を取り込みはしたものの、設計についての言及がなかったのが、小島らの地質工学では、設計という概念が明示され、体系化されている。このように設計法を導入することによって、地質工学は、土木地質学と一線を画する学問に変貌したといつてよい。

「3. 地質技術要項」は、各種地盤構造物を対象とする内容であり、この中で設計・施工上で留意すべき岩質や地質構造について触れた記述がある。なお「4. 立地選定と地質環境保全」は地盤環境に関する内容であり、「5. 地質管理」は施工管理に関する内容である。

3. 3 現状の地盤工学と地質工学の関係

1999年版地盤工学ハンドブックの地盤工学（図2参照）と小島らの地質工学（図5参照）を対比すると、次のことがわかる。

- (1) 地盤工学の「第1編地盤工学概論及び第2編地盤力学」と地質工学の「基礎編」が対応し、前者は力学理論、後者は地質学理論が基礎であることを示している。
- (2) 地盤工学の「第3編地盤工学の実務と理論」と地質工学の「実務編1. 地質に係わる設計の概念及び2. 調査と試験」が対応し、調査・試験・設計計算法・施工・計測など共通する内容となっている。またこれらの項目において、地盤工学の場合は、設計のための地盤情報として地質学の知識を、地質工学の場合は、設計法として地盤の力学理論を、それぞれ簡単に

記述している。なお、地質工学の「5. 地質管理」には、情報化施工についての記述もある。

(3) 地盤工学の「第4編 構造物各論」と地質工学の「3. 地質技術要項」が対応し、ともに各種構造物の設計・施工技術についての同じような記述内容になっている。

以上のことからわかるように、地盤工学と地質工学は、それぞれの出自の理論、すなわち土質力学と応用地質学を基礎理論にしながら、相手の理論は、設計概念の中で取り扱うという工夫によって体系化を図っているという違いはあるものの、それらの実践編としての構造物各論は、ほぼ同じ内容になっている。

このことは、小島らの著書に「現在の地質工学は、土質力学、岩石力学を中心に、幾つかの地球科学の一部を含めた境界分野を取り扱う工学分野の一領域である」¹⁶⁾という、地盤工学の定義ともとれる記述があることから裏づけられる。

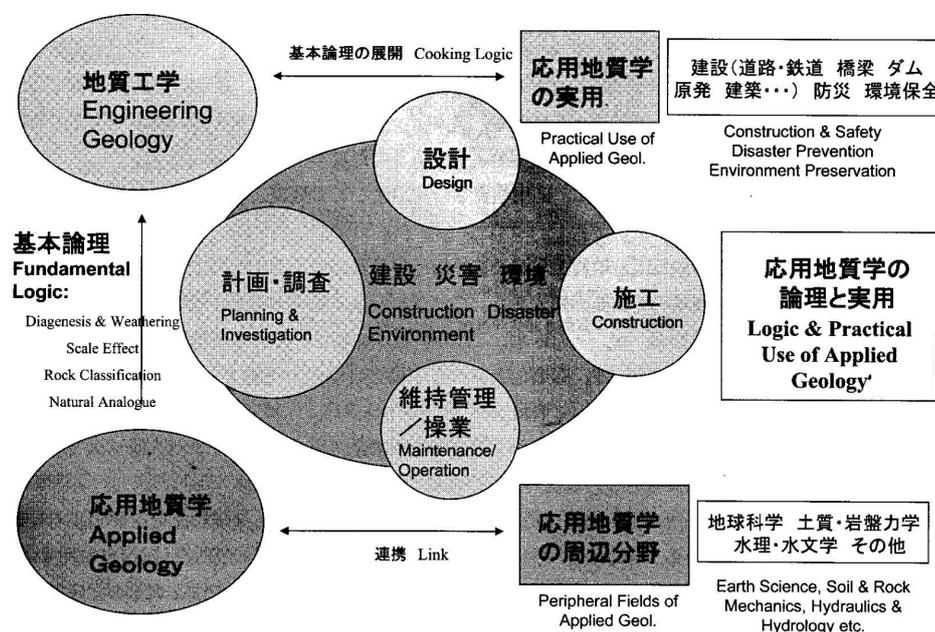


図6 応用地質学の論理と実用¹⁷⁾

ところで応用地質学と地質工学の関係については、日本応用地質学会編「原典からみる応用地質学—その論理と実用—」2011に、図6とともに次のように述べられている¹⁷⁾。

応用地質学は、その周辺の基礎学問分野である地球科学、土質・岩盤力学、水理学などの知見を取り入れ、建設、災害、環境などを対象とした実用分野へ展開するための基本論理を体系化してきた。地質工学は、これらの基本論理とその知見に基づいて、様々な応用地質学の実用分野で、土質工学、環境工学など、他の実用分野とリンクしながら、計画・調査、設計、施工、そして維持管理/操業の流れの中で、地質・地盤に関する解釈と判断をおこなう工学と位置付けられる。

ここで示されているのは、応用地質学が、その周辺の基礎学問の知見を取り入れて体系化した基本論理に基づいて、実用分野において「地質・地盤に関する解釈と判断」を行うのが地質工学

だということである。

しかるに図6において、応用地質学と地質工学をそれぞれ土質・岩盤力学と地盤工学に置き換えれば、そのまま土質・岩盤力学と地盤工学の関係を表す図になる。ただし、その場合は、地盤工学は、実用分野において「地盤構造物に関する解釈と判断」を行うということになる。すなわち、実用分野における計画・調査、設計、施工、そして維持管理／操業の流れの中での「解釈と判断の対象」を「地質・地盤」とするか、「地盤構造物」とするかの違いが地質工学と地盤工学の違いということである。しかしこの違いは、両者の学問としての出自を考えると、ある意味当然といえる。

このように見てくると、現状の地質工学と地盤工学は、実質的にはほとんど違いはない。

3. 4 地盤工学と地質工学の融合の可能性

カール・テルツァーギは、様々な地盤構造物の設計・施工を行うにあたって、常に土質力学と地質学を連携させて適用することの重要性を繰り返し強調し、将来、この2つが1つになることが相応しいとされる時代が来るかも知れないという期待を語ったが、土質力学の実践編としての土質工学は、応用力学の学問体系という構成のまま発展する歴史をたどってきた。

すなわち、日本の場合でいえば、地質・地盤技術の分野では、実務技術者たちによって土質工学・地盤工学と応用地質学の連携の必要性が認識され実践されてきたが、学問の分野では、土質工学が地盤工学へ再編されるにあたって、地盤工学は明確な応用力学体系としてオーソライズされ、現在に至っている。

一方、応用地質学の分野では、丹那トンネルでの経験から、渡邊貫が土木地質学と土質力学を連携させる必要性を感じて、土木地質学の範囲を超えた地質工学を提唱した。しかし地質工学は、その後の小島圭二らによる展開を見ても、あくまでも応用地質学の学問体系という構成になっている。これは、地盤工学が応用力学の学問体系という構成になっているのと対照的ではある。

以上のように学問としては異なる体系になっているが、実際の設計・施工へ適用する上では、両者はほとんど変わるところはない。このことは、地質・地盤技術の分野において、実際の建設現場などで起こる多くの地盤に関わる問題解決には、地盤工学と応用地質学の両方の視点からのアプローチが重要であるとの認識が広まっていること^{18),19)}と無関係ではない。

このような地質・地盤技術の分野での状況の中で、ともに土質・岩盤力学と応用地質学を含み、かつ実質的にも類似した地盤工学と地質工学を融合して、新たな「地盤の工学」を実現することができれば、近年の地質・地盤技術が様々な分野で対応を迫られている設計・施工上の困難な諸課題について、地盤工学と応用地質学を協働させて問題解決を図る上で、非常に大きな原動力になることは間違いない。

4. 新たな「地盤の工学」へのアプローチ

4. 1 地盤工学と地質工学の融合

本研究委員会の報告で提案している図7のように、地盤構造物の設計を「機能から構造を発想し、機能保証する」という設計過程としてとらえ直すことによって、設計過程における地盤工学と応用地質学のそれぞれの役割を明確に位置づけることができ、従来の「地質調査」と「設計」

の分断の原因を解消することができる。

すなわち、地質・地盤技術が「地盤と人工物の複合構造体」である地盤構造物を対象とする場合、設計にあたっては、まず「地盤の構造の解明」が必要であり、そのためには主体となる応用地質学に加えて、地盤工学の設計の知識が不可欠である。

そして設計計算では、解明した地盤の構造を基にした「地盤と人工物の複合構造体」の土質力学や岩盤力学による解析が行われ、人工物の構造の属性が決定される。

しかし、土質力学以来、「設計＝設計計算＝力学計算」というとらえ方が一般的であり、地質調査はそのために必要な地盤情報の収集過程と見なされてきたため、地質学の役割を正當に位置づけることができなかつた。そして、まさにこのような「地質調査」と「設計」のとらえ方のために、地盤工学と地質工学を「土質力学と応用地質学を融合した学問体系」として再構築する道筋が見えなかつたのである。

ところで、8国立大学工学部等による「工学における教育プログラムに関する検討委員会」が、1996年から3年間にわたって「わが国における工学教育カリキュラム」を見直す議論を行っているが、その成果として1998年に作成した資料「8大学工学部を中心とした工学における教育プログラムに関する検討（平成10年5月8日）」において、それまで工学や工学教育に関する用語の明確な定義がなかつたことから、技術と工学について、次のように定義している²⁰⁾。

技術とは、自然や人工の事物・システムを改変・

保全・操作して公共の安全、健康および福祉に有用な事物や快適な環境を作り出す手段である。それらの人間の行為に知識体系を与える学問が工学である。

工学とは、数学と自然科学を基礎とし、ときには人文社会科学の知見を用いて、公共の安全、健康、福祉のために有用な事物や快適な環境を構築することを目的とする学問である。工学は、その目的を達成するために、新知識を求め、統合し、応用するばかりでなく、対象の広がりに応じてその領域を拡大し、周辺分野の学問と連携を保ちながら発展する。また、工学は地球規模での人間の福祉に対する寄与によってその価値が判断される。

そもそも技術とは、ものづくり、つまり人工物の製作であるから、技術は、「人工物の設計・施工・保全の過程」として記述される。したがってこの定義で述べられているのは、工学は、「技

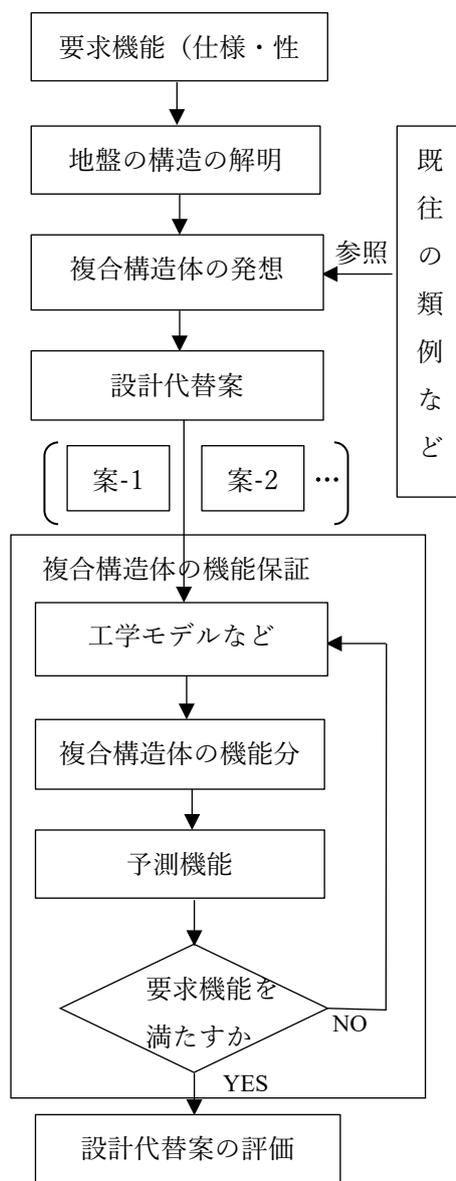


図7 地盤構造物の設計過程

術という人間の行為に知識体系を与える学問」, すなわち「自然や人工の事物・システムの設計・施工・保全に関する知識体系を与える学問」ということである.

そこで、「要求機能を満たす地盤と人工物の複合構造体の発想と機能保証」という地盤構造物の設計の新たな定義を根拠にすることによって、土質力学と地質学の知識をそれぞれの役割に相応しい形で、より有効に生かすような「地盤構造物の設計・施工・保全に関する知識体系」、すなわち新たな「地盤の工学」体系として、従来の地盤工学と地質工学を再構築することが可能になると考えられる.

4. 2 新たな「地盤の工学」の学問体系

地質・地盤技術は、豊かな社会や人間の健康・福祉に貢献することを目的にした地盤構造物の設計・施工技術である。「地盤と人工物の複合構造体」である地盤構造物の設計・施工技術は、地盤を対象に、そこに人工物を組み合わせたり、あるいは地盤そのものを人工物で改良したり補強したりするための設計・施工技術であるから、土質・岩盤力学と応用地質学という異種の科学の応用が必要となる.

またそこには、地盤災害や地盤汚染に対して、事前あるいは事後に対策を行う設計・施工技術も含まれ、土質力学や岩盤力学などおよび地質学の知識だけでなく、経験的な知識、さらには人文科学の知識も活用されている.

新たな「地盤の工学」は、こうした地質・地盤技術の基礎学問であり、土質・岩盤力学と応用地質学を中心に、関連する科学や工学が系統的に融合された学問体系である.

新たな「地盤の工学」の知識体系の具体的な内容については、現状の地盤技術のニーズがどこにあるのかを押えた上で、そのニーズに対応するためには、どのような新知識を取り入れ、その領域をどこまで拡大する必要があるのかを検討する必要があるが、大枠としては、次のようになるであろう.

地質・地盤技術は、地盤構造物の建設技術を主体に発展してきたが、近年、地盤災害や地盤汚染が大きな社会的問題となってきたことから、その対策技術が開発されてきた. そこで新たな「地盤の工学」の分野は、大きく建設分野、災害分野および環境分野とするのが適当であろう. 建設分野は、地盤構造物の建設、災害分野は、液状化・土石流・地すべりなどの対策、そして環境分野は、土壌汚染・建設廃棄物などの対策である.

したがって新たな「地盤の工学」は、地盤構造物の建設および地盤の災害や汚染の対策の設計・施工の方法論に関する学問であり、その体系は、i) 土質力学、岩盤力学などおよび応用地質学の基礎理論などからなる基礎編と、ii) 設計・施工の方法論およびその実際問題への適用からなる設計編の2編で構成されることになるであろう.

この「地盤の工学」を構成する主な学問等の関係を図示すると、**図8**のようになる.

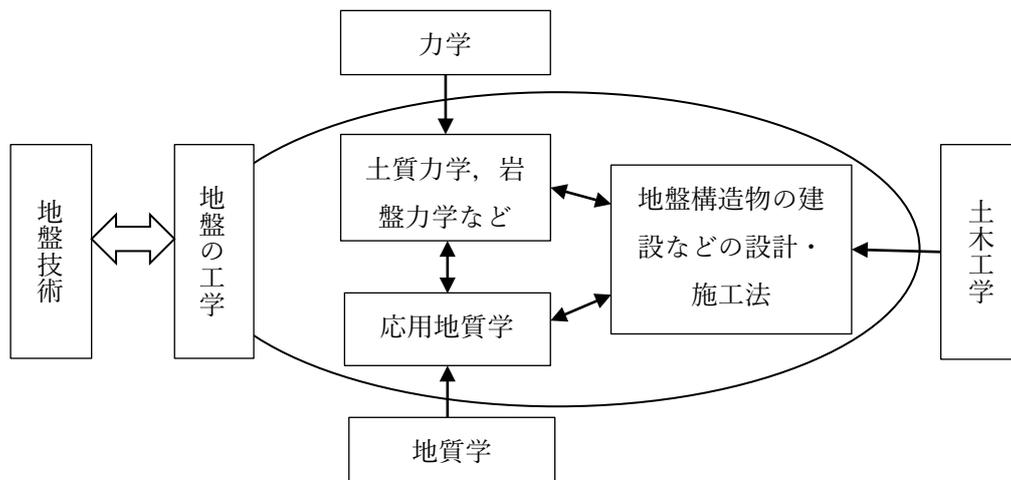


図8 新たな「地盤の工学」を構成する主な学問の関係

5. おわりに

本文では、カール・テルツァーギと渡邊貫の「土質力学および地質工学のパイオニア的業績」を評価することから始めて、土質力学から土質工学・地盤工学へ、また地質学から応用地質学(土木地質学)・地質工学へ、それぞれ変遷してきた各学問体系の中で、土質力学と応用地質学の関係および設計法がどのようにとらえられてきたかについて検討し、その上で、現状の地盤工学と地質工学を融合して、地質・地盤技術の基礎学問としての新たな「地盤の工学」を再構築する可能性について考察した。

70～80年前、奇しくも東西の地質工学と土質力学の2人の泰斗が期せずして「地質学と応用力学の融合」を展望していた。彼ら先駆者の Geomechanik あるいは Geotechnology という夢をどう実現するのか。それは応用地質学や地盤工学を学び、実践している者にとって、極めて大きなチャレンジである。

参考文献

- 1) R.E.グッドマン (赤木俊充 訳) : カール・テルツァーギの生涯, 地盤工学会, 2006
- 2) Peck, R.B.: "Vignettes of Four Presidents, 1936-1969", Special lecture, Proceedings of Ninth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, Vol.3, pp.285～290, 1977
- 3) 星埜和・加藤渉・三木五三郎・榎並昭共訳: 新版テルツァーギ・ペック土質力学, 丸善, 昭和45年
- 4) Terzaghi, K.: Opening address, Proceedings of the Second International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.VI, pp.11～14, 1948
- 5) 前出 1), p.497, 2006
- 6) Terzaghi, K.: Opening session, Proceedings of the Fourth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.3, pp.55～58, 1957

- 7) Terzaghi, K.: "Past and Future of Applied Soil Mechanics", Journal of the Boston Society of Civil Engineers, Vol.48, pp.110～139, 1961
- 8) Peck, R.B. : "Art and Science in Subsurface Engineering", Geotechnique, Vol.12, No.1, pp.60～66, 1962
- 9) 栗原則夫・今村遼平：地盤技術論のすすめ, 鹿島出版会, pp.181～186, 2008
- 10) 寺師昌明：地盤工学と地盤工学会の中長期ビジョン策定へ向けて, 土と基礎, Vol.52, No.1, pp.7～9, 2004
- 11) 地盤工学会：地盤工学ハンドブック, 丸善出版, p.441, 1999
- 12) 日本学術会議：第 18 期学術の在り方常置委員会報告「日本学術の質的向上への提言」, 平成 14 年 7 月 22 日
- 13) 大島洋志：温故知新 渡邊貫の地質工学再考, 応用地質, 47 巻, 1 号, pp.27-38, 2006
- 14) 渡邊貫：地質工学, 古今書院, 1935
- 15) 小島圭二・中尾健児：地質技術の基礎と実務, 鹿島出版会, p.3, 1995
- 16) 前出, p.6
- 17) 日本応用地質学会編：原典からみる応用地質学—その論理と実用—, 古今書院, p.3, 2011
- 18) 山内豊聰：応用地質学と土質工学, 応用地質, 25 巻, 4 号, pp.1～7, 1984
- 19) 池田俊雄：地質学と土質工学の接点, 応用地質, 31 巻, 3 号, pp.31～40, 1990
- 20) www.eng.hokudai.ac.jp/jcep/08-10/pdf/pamph01.pdf

地盤技術者と地盤調査技術者の連携強化

一般財団法人 エンジニアリング協会 田中 耕一

私が現在の職に就く前は、ゼネコンの設計部門に長年在籍した経験があり自分自身の反省も含めて、地盤技術者と地盤調査を行った調査技術者間の連携をより深める必要があると考えている。設計部門は業務が多忙な場合が多く、設計検討で必要となる、土層構成、土砂の単位体積重量(γ 、 γ')、各土層の変形係数(E)、せん断強度(c 、 Φ)などの係数を土質調査報告書から得られれば、その後は、高度な解析などを駆使して地盤の安定性や変位量を把握、評価している。そのため特に多忙になると土質調査報告書の建設地点周辺の広域地盤に関する解説や、建設地点の地盤に関する特徴に関する記述を読み飛ばし、設計定数をまとめた部分の数字のみを拾い解析、設計を行う技術者もいた事は事実である。これでは地盤技術者ではなく単なる、蟻の目しか持たない計算屋になってしまう。やはり地盤技術者は、広域的な地形や建設地点の地質が出来上がってきた過程などの鳥の目にも興味を持ち設計を進めて欲しいと考えている。

それでは、このような状況を具体的にどう補完するかである。やはり地盤調査を実際に現地で行った技術者と、設計や施工を行う技術者間の地盤リスクに関する情報交換の場を作るべきではないかと考えている。数年前は、どちらかの技術者の物理的な移動が必要でかなりの負担を強いる事になったが、コロナ禍を経験し Web 会議が普及した現在では、地盤調査技術者(すでに他の現場に異動)と設計技術者が建設予定地の地盤に関する情報や留意点に関する引継ぎのような意見交換が容易に開催できると考える。是非とも設計の初期や途中段階で、これらの技術者同士がお互いの考えやリスクに関する情報を共有する機会を多く作り、地盤リスクの見落としを減らす努力をして欲しいと思っている。また土質調査とは、このような打合せまで含めたものになって欲しい。少し費用がかかろうが、図書を介しての情報より、やはり現場で調査に当たった技術者の生の声は情報量がより豊富であり、このような打合せが建設会社、地質調査会社の双方で常識的な事になって欲しいと考えている。

災害復旧業務を通じて

鹿島建設(株) 鈴木健介

平成 18 年 4 月の入社と同時に土木設計部門に配属された私は、これまで主にのり面・自然斜面また構造物基礎掘削の安定問題に関する設計および施工時支援の業務に従事してきた。のり面や掘削面の変状・崩壊が発生した場合の業務においては、応急から恒久対策工の調査・設計から施工まで迅速な対応が求められ、業務中においては多忙な時期を過ごす。また近年では、激甚化・頻発化する豪雨災害に伴い、道路・鉄道施設における既設のり面などの変状や崩壊への対応が多く、特に豪雨・台風シーズンにおいては各地の災害現場に飛び回る状況が続いている。

災害復旧工事において対策工を立案するには、のり面を不安定化させた要因を明らかにすることが基本となる。ただし応急復旧時は詳細な調査を行っている時間は無く、既往資料調査や現地踏査などの概査から要因を推定するといった技術が必要となる。そのため円滑に調査・設計を進めるには、設計者の立場から言えば調査技術者との連携が不可欠である。したがって、災害復旧工事では地質・地盤技術者との連携（協働）が図られやすい傾向にあると考える。

ところで、上記以外の建設工事においては調査と設計の分業化が進んで、地質技術者が考える地質リスク（理学的な思考）がうまく伝わらず設計（工学）が行われているケースが認められている。また自戒の念を込めて言うと、調査報告書の土層構成や設計用値を鵜呑みにして、地質・地盤の不確実性を評価しないままいわば計算屋に徹して設計が行われてしまうことも事実である。

今回、当委員会に参加させていただいた中で、応用地質学と地盤工学の 2 分野のそうそうたる面々・専門家の方々から、協働に関する経験・体験談など有益なご教示を受ける機会を得た。その中で地盤技術者は、設計・施工を行うために地質技術者に何を求めるかをもっと明確に伝える必要があること、また円滑に業務を行うために地盤・地質技術者と相互に積極的な意見交換を行う必要があることを学んだ。当委員会に参加して、協働に関する貴重な意見に触れたと感じる。

応用地質学と地盤工学の協働を考えるにあたって

基礎地盤コンサルタンツ(株) 田中 淳

地盤調査会社で実務に携わっているが、そもそも軟弱な地盤は土質屋、岩地盤は地質屋と
いって業務の振り分けを行い、ほとんど混じわらない環境で経験を重ねてきたと思う。そう
いった意味では私は軟弱な地盤の上に盛土を盛って、沈下するか、破壊すべりを生じるか、
周辺地盤へ影響があるか、地下水位等へ影響があるかといった評価、対策、または既設の河
川堤防の安定性照査、対策といった土質屋の経験が多く、岩盤に触れることは少なく、また
土砂災害に関しては地質屋の出番といったことでほぼ経験がない。しかし、ここ5,6年は低
平地では新規盛土等の事例は少なく、山地側でのトンネル、橋梁、盛土・切土といった岩盤
出現域での業務が増えてきており、また、地質リスクマネジメント的な視点も必要となっ
てきていることから、土質屋の地盤工学に加えて、地形学、地質学、応用地質学の知識が必要
なことが多い。

これからの土質技術者として、今回の提言の中で示されている R.ベックが考える土質技
術者に求められる能力として①先例に通じていること、②土質力学をよく理解しているこ
と、③役に立つ地質学の知識を持っていること、の3つが提唱されているが、この3つを
習得していくには基礎知識のみならず必要十分な経験に裏打ちされたものが必要となり、
一生をかけて学んでいくようなものと思う。20年程度、実務に携わっているが、まだまだ
不足するものが多いと痛感しているところであり、この不足を埋めてそれ以上の力を発揮
するためには、適材適所ではないが、土質技術者と地質技術者の協働とそれをあるべき方向
にマネジメントしていく者とチームとして協働していくことが必要なのだと改めて感じた。

現在、洋上風力発電プロジェクトに関わり、海底地盤の調査や評価、適地やリスク判定の
ための海底地質リスク評価を行っているが、海上作業かつ調査手法も初めて経験するもの
もあり勉強しながら進めていることが多く、また、一企業では実施できない調査ボリューム
であったり、調査メニューであったりすることから、企業間でアライアンスを組んで対応す
るなど、正に各専門分野の協働を行っているところである。

泥岩と戦うこれまでとこれから

東日本高速道路(株) 横田聖哉

筆者は東日本高速道路(株)に在籍し、発注者の立場として地盤工学に携わってきた。現場での工事管理経験の他に本社や研究所において設計基準作成にかかわることも多くあり、良い経験ができたと思っている。ここでは地質、特に泥岩にまつわる、思い出深い2つの出来事を紹介する。ひとつは1990年代の終わり頃から本格的になった新東名高速道路(以下「新東名」)の建設で発生したこと、もう一つは東北の現場で経験したことである。

泥岩に振り回された日々。そしてこれからも恐らく……

新東名では、耐久性のある安定した50m級の高盛土をどうやって構築するかが議論になっていた。

「盛土は時間と共に強くなるものだ」と会社の先輩方は言っていた。確かに先輩方が調べた東名高速道路の調査データでは、沼津地区にある愛鷹ロームと呼ばれる火山灰質粘性土は時間と共に強度が増していることが確認されていた。

一方、泥岩も新東名高速道路で沢山出現することが分かっていたが、長期的な強度に関する評価方法について具体的な指針はなかった。

その頃私は新米研究員として、日本道路公団試験所土工試験室において泥岩の基礎実験を行ったり、新東名にて盛土材として使用する可能性がある材料の現地調査を進めたりしていた。図-1は東名高速道路掛川地区盛土の完成からそれぞれ、9年後、22年後、27年後同一地点にてN値を調べたものである。これにより、この材料では盛土の強度低下の傾向を示していることがわかる。当時、この材料だけで高盛土を構築するのは相当難しいと思った。

その後静岡県の実地事務所に異動になり、本格的に県内の泥岩材料を調べることになった。

一口に第三紀の泥岩といっても性質は様々であった。切土で出現する時から非常に硬く、スレーキングをほとんど起こさないものから、切土では塊状な状態だが、一度水に付くと一時間で溶解してしまうようなものまで、様々なものを観察できた。その当時私は、現場で見られるスレーキング特性と地質学的な特性とを適当に結びつける術を持っていなかった。今振り返ってみれば、おそらくスメクタイト類の膨張性鉱物の存在などが大きかったのだと思う。また、類似した泥岩類が発生する区域は比較的大きな河川で区切られていたような気がする。あるところでは白

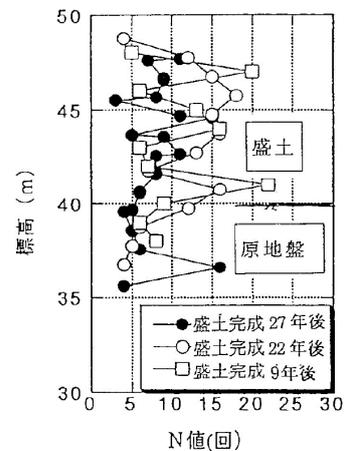


図-1 東名高速道路掛川地区盛土における強度時代変化¹⁾



図-2 牧之原地区の泥岩

っぽい火山灰質土が数百 m に亘って切土で発生しており、どこから飛んで来たのか不思議だった記憶がある。これらの点も、その当時にもっと地質の素養があったら詳しく整理できていたのにと悔やまれる。

新東名の高盛土建設は十数年の時間を要したが、幸いスレーキング率の低い材料に恵まれ完成できた。ただし、一部で変状が擁壁や盛土で発生し、最後まで泥岩に手を焼いた。

2009年8月、東名高速道路牧之原地区において盛り土の崩壊があり、数日間の通行止めを余儀なくされた。この時は(株)高速道路総合技術研究所で土工研究室長を務めており、再びスレーキング性の泥岩と付き合うことになった。崩壊した現場では、青灰色の岩塊が粘土質に柔らかくなっていた。泥岩の塊がこんな状態になるのかと思ったものである(図-2 参照)。この時は泥岩の長期的な強度低下の可能性を経験的に感じ、地震で崩落した要因のひとつであると説明はできたが、不明なことが多くあり、引き続き精進しなければならないと痛感したのであった。

しかし、この災害が契機となり道路における盛土の長期的な安定検討が本格的に進められることとなった。最近では、泥岩のような脆弱岩の研究も各機関で見られるが、まだ分からないことも多い。微力ながら私も、知識と経験を役立てたいと思う次第である。

一矢報いる！

2012年4月、久しぶりに研究所を出て、現場勤務となった。東北地方のある管理事務所である。

挨拶回りも済んでいない4月3日、図-3 に示すクラックが本線に発生した。円弧状に延長約70m、典型的な泥岩盛土のすべり崩落の可能性のある形態である。

道路管理者として、まずは落ち着いて対策を考える必要があった。しかし、「原因は何か」「このまま供用し続けてよいのか」「通行止めをするならどのタイミングか」……などと様々な思いが通り、なかなか考えがまとまら

ない。通行止めをした場合の影響を考えると気が気ではなかったが、ひとまずクラックの進捗状況を把握するため路面に釘を打ち、コンベックスで経時変化を図ることにした。

幸い、クラックの進展は徐々に鈍化したので、最悪の事態は回避された。しばらく舗装補修でしのぎ、その隙に対策を練ることにした。



図-3 路面に発生したクラック

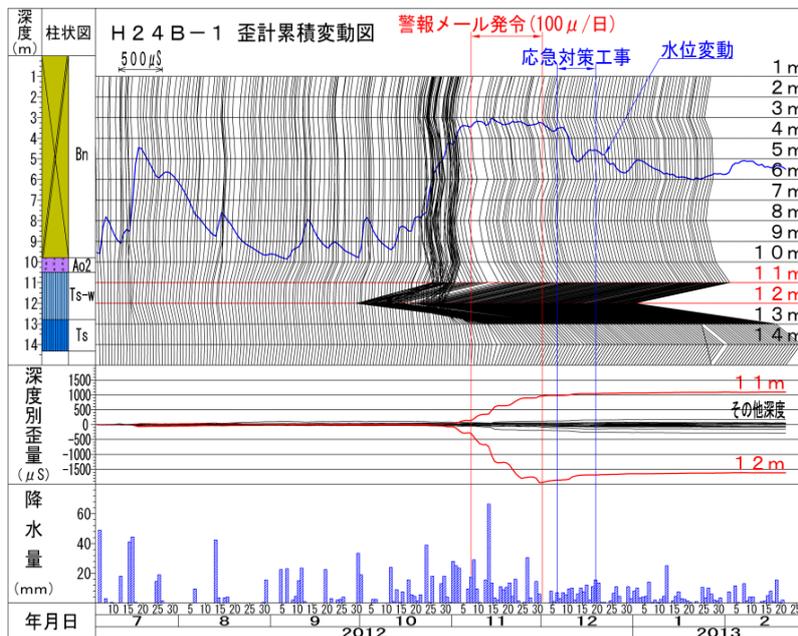


図-4 降水量と地下水位およびパイプひずみ計の値

記録を参照すると、当該箇所は過去より何度となくクラックが発生していたが、その度に簡単な舗装の補修など、対処療法的な対応で済ませていた。自分が現場を任されていたこともあり、これを機に本腰を入れて修繕工事に取り組むことにした。それから夏にかけて現地踏査、ボーリング調査、土質試験を進め、着々と動態観測体制を構築していった。

道路は暫く小康状態を保っていたが、11月になり、雨の日が続くと再び路面にクラックが発生した。この時、埋設し準備していた動態観測機器がめでたく威力を発揮した。図-4 に示すように降雨と共に盛土内の水位が高くなり、基盤下にある強風化泥岩層(Ts-w)の内部でせん断変形を起こしていたことがわかったのだ。当初盛土の途中のすべりかと思っていたが、早とちりをせずに済んだ。盛土内の水位を下げるべく、抑制工として水抜きボーリング22本を行った。面白いように水位が低下すると地盤の変位も終息した。図-5 は、3月に毎分200ℓの排水を記録したときの写真である。水道管を切ってしまったのかと思うくらい水が排出されているのがわかるだろうか。



図-5 排水ボーリングからの水



図-6 舗装をめくった時に発見したクラック

さらに本対策として、抑え盛土によるのり面補強を行い盛土の安定化をはかった。これについての詳細は文献²⁾³⁾⁴⁾を参照していただきたい。図-6 は全てののり面安定化工事を終了し、本線部に置けるクラック補修を行うため、舗装を剥がした時のものである。切削により露出した発生したクラックは非常に大きく、過去のオーバーレイは約 40cm にもなっていた。これだけ舗装の下にクラックがあれば、何度補修しても耐久性舗装による耐久力はなく、クラックが再発するわけだと合点がいった。

今回、本腰を入れて対応したことにより、大事故を未然に防ぐことができた。これは私にとって大きな達成感を得られた経験となった。

日々是精進

私はほぼ同じ時間、研究所と現場を地盤工学者として経験させてもらえた。これにより、実際に現場で起きている事象を、実務的な視点とメカニズムの両方から深く観察する機会に恵まれた。地盤工学の専門家として現場で指導することも多くなってきたが、今でも地質に関する知識不足を痛感することがある。しかしながら、正解は必ず現場にあると信じ、「日々是精進」を心掛けている。

参考文献

- 1) 横田聖哉,三嶋信雄,殿垣内正人,川井洋二:掛川泥岩を用いた盛土の長期安定性,第 31 回地盤工学研究発表会発表講演集,pp.1443~1444
- 2) 横田聖哉,田中義光,澤野幸輝,菊池慎司,永井宏:盛土基礎地盤に軟岩が分布する谷埋め盛土の変状調査と対策工,第 48 回地盤工学研究発表会発表講演集,pp.1113~1114
- 3) 澤野幸輝,横田聖哉,田中義光,栗山大助,永井宏:盛土基礎地盤に軟岩が分布する谷埋め盛土の調査に関する一考察,第 48 回地盤工学研究発表会発表講演集,pp.1115~1116
- 4) 澤野幸輝,菊池外崎靖也:泥岩盛土における法面変状対策(地下水排除),特集:斜面・土構造物の補修・補強技術基礎工,Vol.45,No.10,pp.38~41,2017

応用地質学と地盤工学の協働の場に関わって

(株)パスコ 森 良樹

土木構造物の建設では、例えばトンネル工事に伴い地表面が陥没するケースのように地質・地盤に起因するトラブルが発生してしまうことがある。中でも平成 28 年に発生した博多駅前陥没事故は都市中心部ということ、陥没の状況が映像として記録されていたことから社会的に大きな関心を集めた。また、令和 2 年には東京外かく環状道路の工事現場で住宅地での地表面陥没事故が起きた。いずれも、地盤が、施工が、と報道され、地盤と構造物、施工の相互の関連性が認識された事故だった。陥没発生後の要因分析結果を理解する一方で、そこを事前に予測することの難しさ、重要性を痛感している。これらの課題を受けて、様々な機関から、地質・地盤の不確実性を評価することの重要性、関係者が協働することの重要性が発信されている（例えば 1））。

本提言の一つである地盤構造物を地質・地盤と人工物が融合した複合構造物とする新たな定義は、純粋な人工構造物の設計と異なる地盤構造物の設計の特徴を明確にしている。新たに定義することにより、設計過程における地質・地盤の構造の解明の重要性がより認識され、複合構造物の一つとした地質・地盤が有する構造の複雑さ、不均質な性状といった地質リスク、不確実性の解明を地質・地盤技術者が協働して明らかにしていく過程が充実されていくことが望まれる。地質リスクには大小様々あるが、中には事業全体に影響するものもあり、大きなリスクほど事業の早期の段階で地質・地盤技術者が協働して共有することで、その後のリスク低減に向けた効果的な調査が立案できるものとする。

一方で応用地質学と地盤工学の協働の重要性は、先人たちが残してきた文献や過去の事例においても多数挙げられていて、容易にはなしえない普遍的なテーマである。土木事業のような、長期にわたる様々な段階をふまえた事業では、多数の機関や技術者が関わり、その協働はより難しいものになる。一方で今後の技術者の減少傾向も考えると、協働の仕方に加えて個々の分野での技術継承も大きな課題であるとする。さらに、個々の技術はますます高度化、専門化、多様化し、これは一見すると協働とは逆の流れにもなりうる。これに対して、BIM/CIM や DX といった新しい仕組みや技術が出てきている現状をうまく生かし、より協働しやすい方向へと持っていくことが重要と感じている。

今回、応用地質学会からの派遣という立場で当委員会に参加させていただいた。その中で、普段地質調査という段階で土木事業に関わる立場として、設計（構造物）から見た地盤・地質調査の位置づけをあらたな視点で学ばせていただいた機会となった。当委員会に参加させて頂き、貴重な協働の場に関われたと感じている。

1) 国土交通省大臣官房技術調査課・国立研究開発法人土木研究所・土木事業における地質・地盤リスクマネジメント検討委員会：土木事業における地質・地盤リスクマネジメントのガ

イドライン—関係者が ONE-TEAM でリスクに対応するために、2020 年 3 月