

# 令和6年能登半島地震における 地すべり・斜面崩壊の特徴

～広域的な地震応答解析を用いた再現解析事例～

(一財)砂防・地すべり技術センター  
奥山ボーリング株式会社  
群馬大学

○宮城昭博、相楽渉、岸本海笛  
田中頼博、林一成  
若井明彦

- 令和6年能登半島地震では、多くの地すべりや斜面崩壊が発生した。
- 地震により発生する地すべり等の発生場の地形的・地質的特徴に加え、水平加速度やせん断応力等の力学的指標も含めた特徴を明らかにしたい。
- そこで、地すべり等が集中的に発生した国道249号を中心に広域的な地震応答解析を実施することとした。
- 令和6年能登半島地震で発生した地すべり等の発生場の特徴を明らかにすることを目的に広域的な3次元地震応答解析を実施

## 【解析範囲】

国道249号周辺

南北約10km×東西約30km

## 【地形】※地震前の地形

基盤地図情報5mメッシュ

## 【地質】

1/20万のシームレス地質図

地質を4つに大別

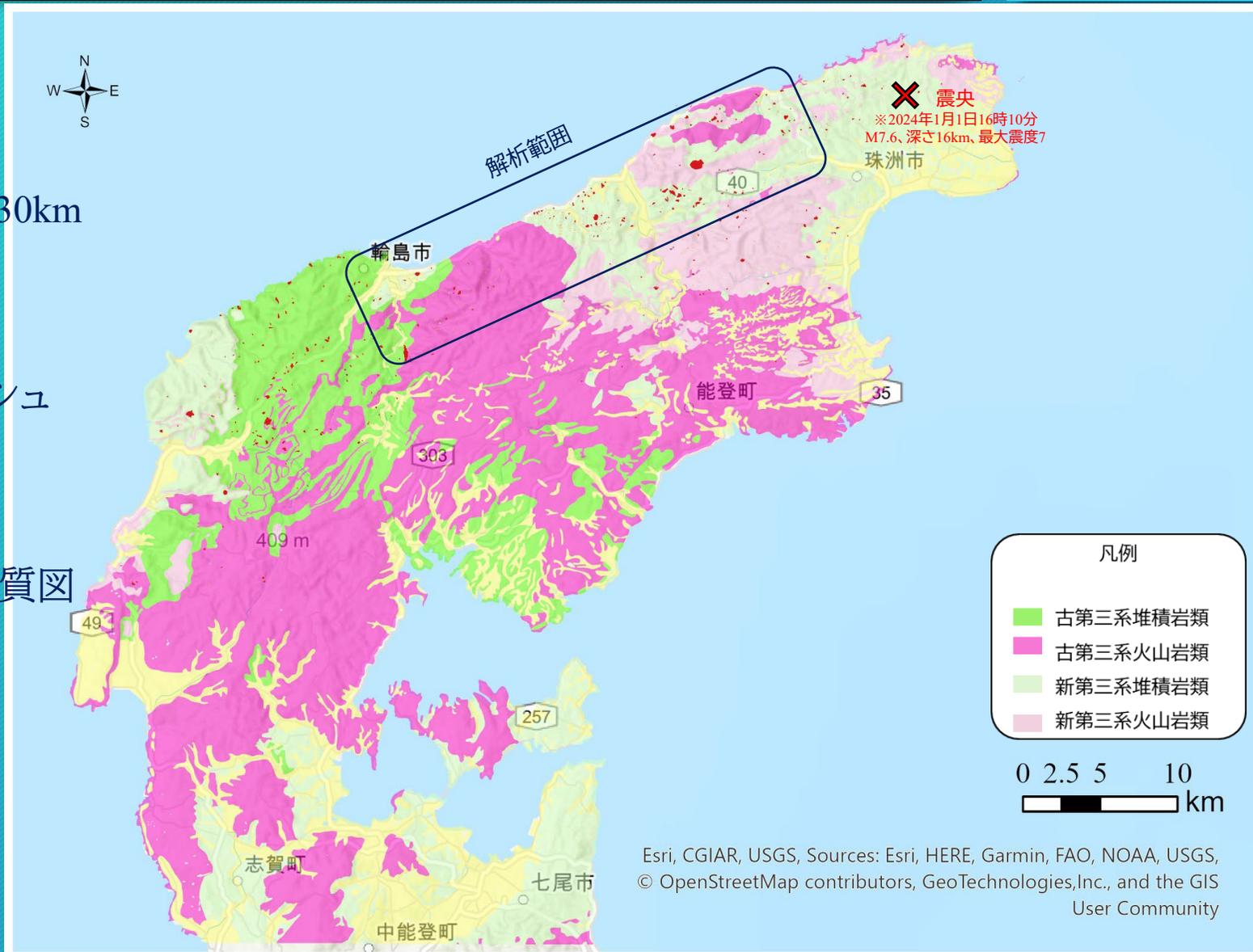


図. 解析範囲の位置図

Esri, CGIAR, USGS, Sources: Esri, HERE, Garmin, FAO, NOAA, USGS, © OpenStreetMap contributors, GeoTechnologies, Inc., and the GIS User Community

# 2.方法

表. 使用した3次元地震応答解析の諸元

名称	BESSRA(Midas IT社)
種別	3次元動的弾塑性有限要素法(QUAKE3UWGIS.F)
解析手法	全応力解析
対象領域	3次元
計算領域	時刻歴解析法
材料特性	非線形モデル
地盤モデル	有限要素モデル
未知数	変位(u, v, w)
構成則	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Mohr-Coulomb則に基づくせん断強度</li> <li>・G-<math>\gamma</math>、h-<math>\gamma</math>関係</li> <li>・等体積条件</li> </ul>
解析様式	地震動入力による時刻歴応答解析(今回は水平成分のみの入力)
特徴	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 計算時間・記憶装置節約のための分割計算方式を採用(通常の計算機で広域解析が可能)</li> <li>② 広域の地質分布を指定可、各地質属性ごとに地層構造を定義し各地層の材料を指定可</li> </ol>
適用性	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 山間地の広域震度予測</li> <li>② GISと連動した各種震度・崩壊指標の平面分布の図化支援</li> </ol>

第1層:表層(深度5mまで)  
 第2層:強風化層(深度5~30m)  
 第3層:弱風化層(深度30m~100m)  
 第4層:基岩(深度100m以深)  
 速度構造(P波、S波)によるモデル化

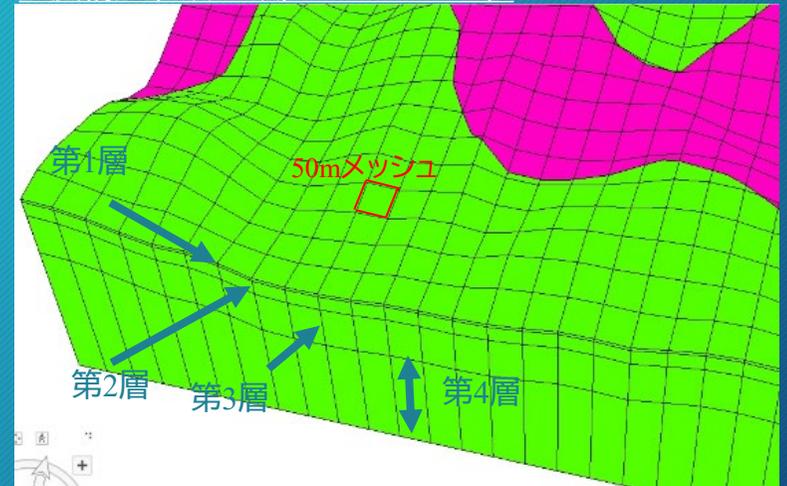


表. 解析モデルに設定した物性値

図. 3次元解析モデル

凡例	地盤モデル (深度[m])	層厚	Vp [m/s]	Vs [m/s]	ヤング率E [kN/m <sup>2</sup> ]	ポアソン比 $\nu$	内部摩擦角 $\phi$ [°]	粘着力C [kN/m <sup>2</sup> ]	履歴ハングラム b・ $\gamma$ G0	履歴ハングラム n	単位体積重量 $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Rayleigh減衰 $\alpha$	Rayleigh減衰 $\beta$	
新第三系 堆積岩類	第1層	5	700	300	449,688	0.39	30	10	0.72	8.50	18	0.171	0.00174	
	第2層	30	25	1,700	600	2,058,179	0.43	30	100	0.74	5.00	20	0.171	0.00174
	第3層	100	70	2,300	900	5,025,345	0.41	35	1,000	1.30	1.70	22	0.171	0.00174
	第4層	基盤まで	200	2,500	1,000	6,463,881	0.40	40	2,000	4.80	1.45	23	0.171	0.00174
新第三系 火山岩類	第1層	5	1,000	400	674,492	0.40	30	10	0.72	15.00	15	0.171	0.00174	
	第2層	30	25	1,700	600	1,852,361	0.43	30	100	0.90	2.40	18	0.171	0.00174
	第3層	100	70	2,400	1,000	6,139,693	0.39	35	1,000	1.10	1.90	22	0.171	0.00174
	第4層	基盤まで	200	2,600	1,100	7,744,624	0.39	40	2,000	1.80	1.61	23	0.171	0.00174
古第三系 堆積岩類	第1層	5	900	400	853,645	0.38	30	10	0.72	15.00	19	0.171	0.00174	
	第2層	30	25	2,400	1,100	7,280,310	0.37	35	100	0.72	15.00	22	0.171	0.00174
	第3層	100	70	3,100	1,600	15,530,696	0.32	40	1,500	0.90	2.40	23	0.171	0.00174
	第4層	基盤まで	200	3,400	1,900	21,145,173	0.27	45	2,500	1.05	2.00	23	0.171	0.00174
古第三系 火山岩類	第1層	5	1,100	500	1,257,074	0.37	30	10	0.72	30.00	18	0.171	0.00174	
	第2層	30	25	2,800	1,300	10,135,405	0.36	35	100	0.72	30.00	22	0.171	0.00174
	第3層	100	70	3,000	1,400	12,272,685	0.36	40	1,500	0.97	2.20	23	0.171	0.00174
	第4層	基盤まで	200	3,500	1,800	19,682,277	0.32	45	2,500	1.05	2.00	23	0.171	0.00174

## 【地震波】

入力する地震波は、KiK-net珠洲で観測された地震波のうちNS・EWの2成分特に震幅の大きな80秒間(120~200秒)を解析モデルの基盤入力波とした。

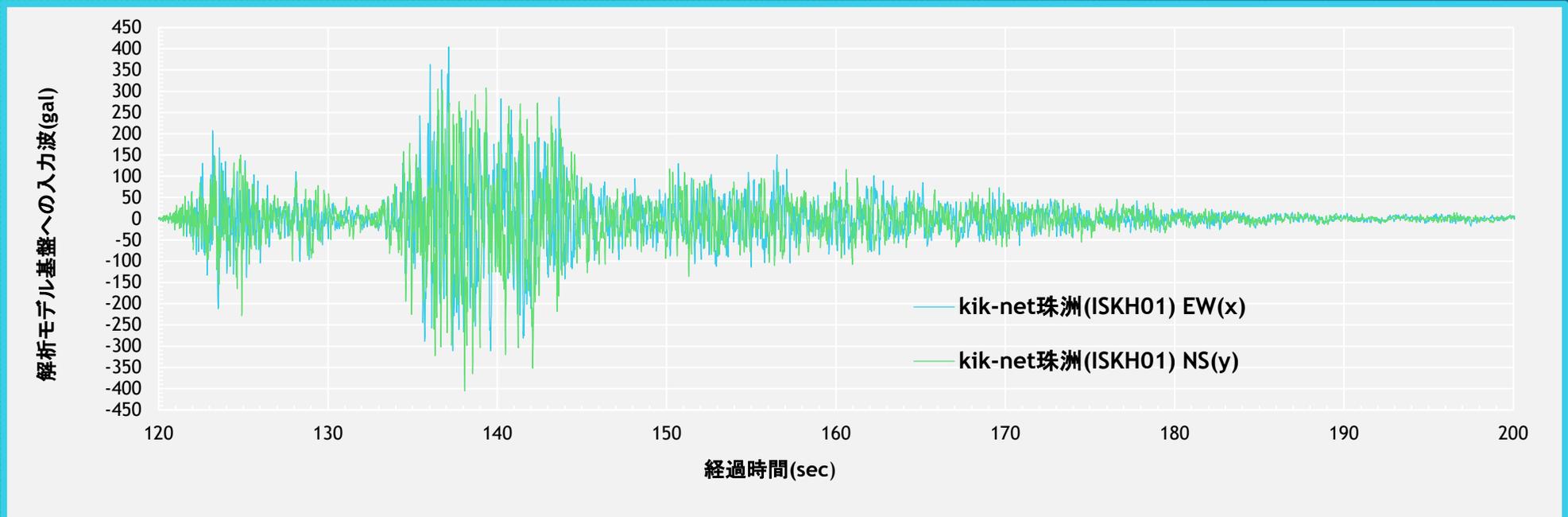


図. 基盤入力波

# 3.結果・考察

- KiK-NET珠洲における観測地震波とFEM解析結果を照査した。
- 計測震度SIは、観測波でSI=6.25、FEMでSI=6.30であった。
- 振幅的には、両方向とも過大評価していた。
- 応答スペクトル的には、約1s以下の周期で過大、1s以上の周期では過小評価している。
- 総合的にみて、該当サイト(珠洲)において、計測震度SI(揺れの強さ)がほぼ再現できているため、解析結果は妥当性を有していると考える。

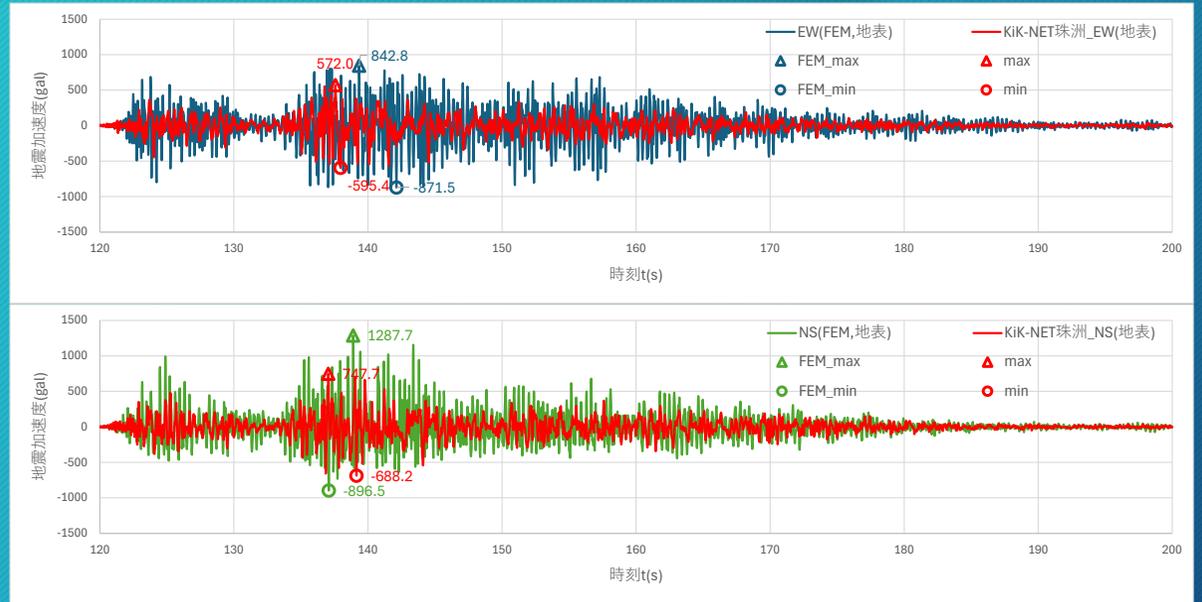


図. KiK-net珠洲位置における地震波の比較

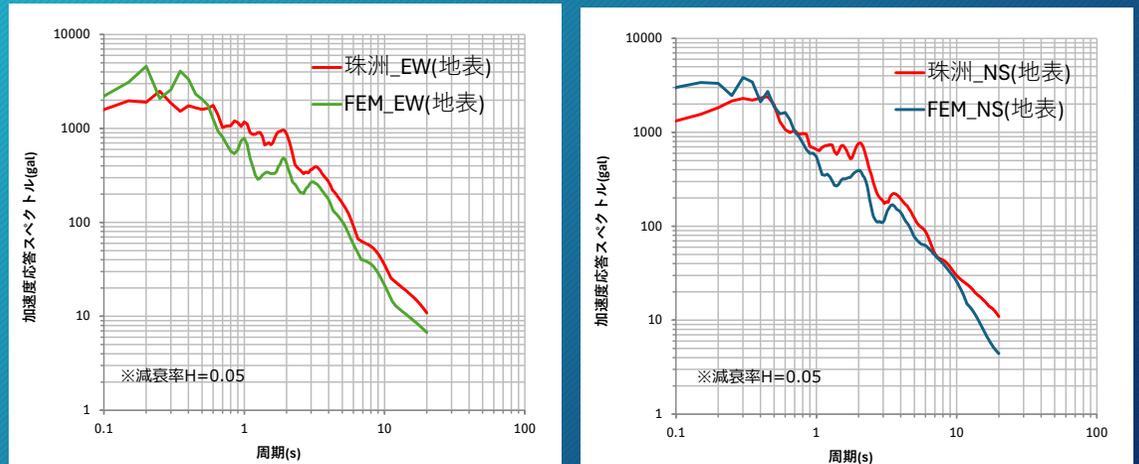


図. KiK-net珠洲位置における応答スペクトルの比較

## 【解析範囲の全域】

○最大水平加速度は、約1,100～1,200galが最も高頻度であった。中央値は1,183gal

○最大せん断応力は、約16～17kN/m<sup>2</sup>が最も高頻度であった。中央値は19.2kN/m<sup>2</sup>

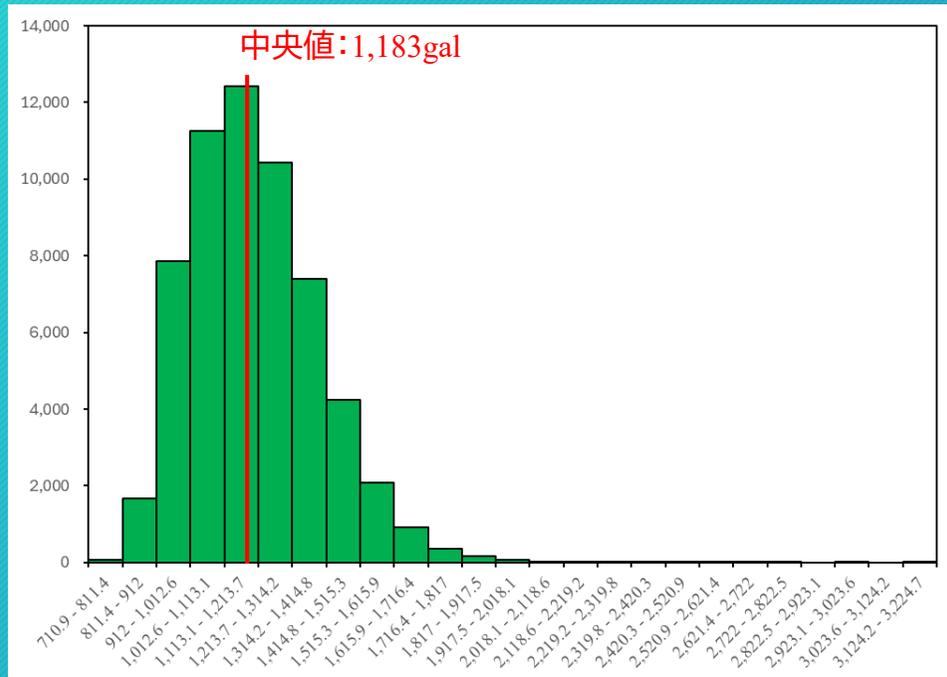


図. 最大水平加速度の頻度分布

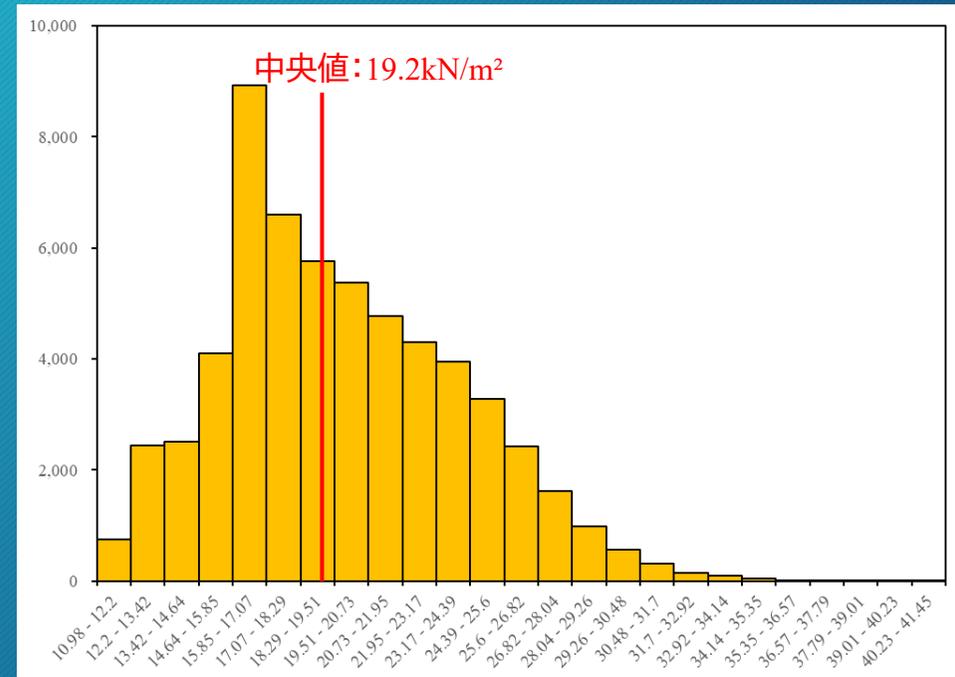


図. 最大せん断応力の頻度分布

## 【既往研究成果】

○地震時に大規模な地すべりが発生する斜面の特徴

- ①尾根部や凸部で加速度が増幅される
- ②末端部でせん断応力が増大する

○芋川流域では

- ①尾根部や凸部の水平加速度 : 800gal以上
- ②末端部のせん断応力 : 30kN/m<sup>2</sup>以上

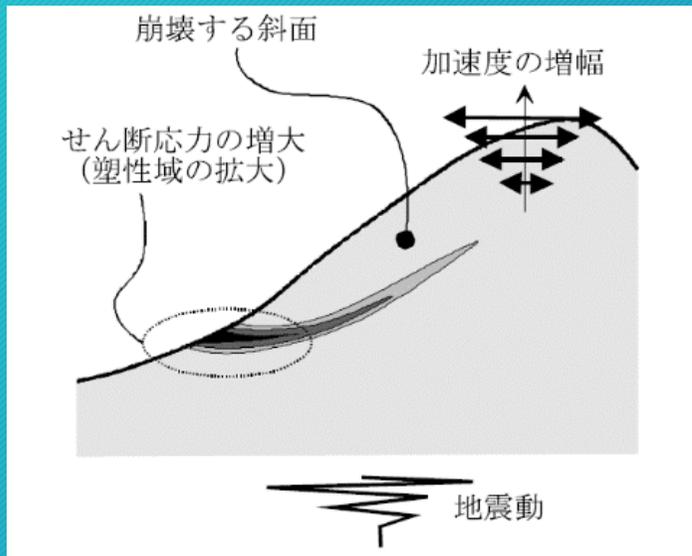


図. 大規模な地すべりが発生し易い斜面の概念図 (若井ほか,2008)

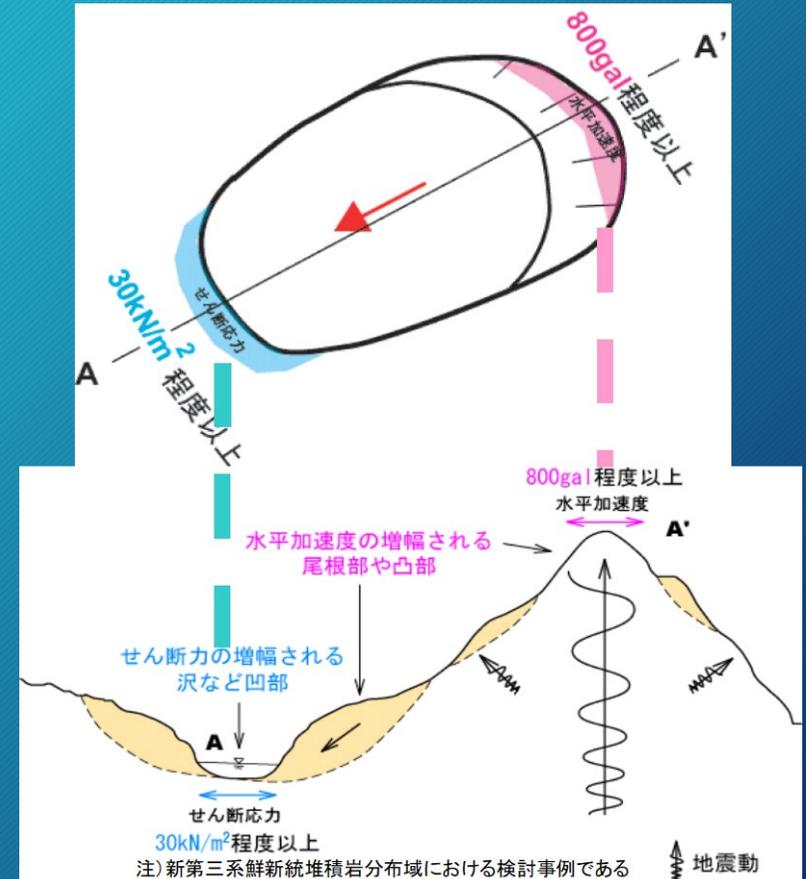


図. 芋川流域を対象とした地震応答解析結果 (STC,2007)

- 3次元地震応答解析の結果では、解析範囲の大部分で800galを超え、中央値で1,183galであった。
- 一方、解析範囲内のせん断応力は40kN/m<sup>2</sup>以下であり、中央値で19.2kN/m<sup>2</sup>であった。
- 今後は、これらの結果と既往の研究成果とを比較し、力学的指標の違いを分析するとともに、現地調査等による詳細な機構解析を進める必要がある。