

MIDAS CONSTRUCTION TECHNICAL DOCUMENT COLLECTION

動解析・液状化分野 12



MIDAS CONSTRUCTION TECHNICAL DOCUMENT COLLECTION

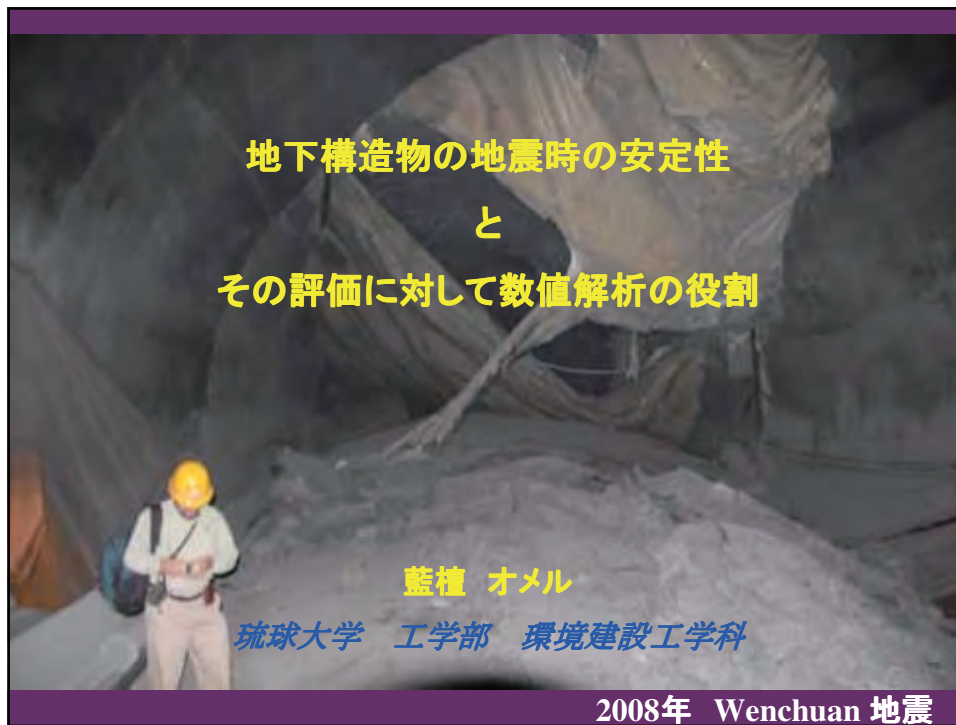
動解析・液状化分野

12.

地下構造物の地震時の安定性
とその評価に対して数値解析
の役割

琉球大学 藍檀 オメル 教授





内容

- 1) 地下構造物は何か
- 2) 近年地下構造物の動向
- 3) 地震の構造物の影響および地下と地上における地震動
- 4) 地震による地下構造物の被害
- 5) 地下構造物の地震時の応答および被害
- 6) 各種地下構造物の地震時の安定性に関する数値解析
- 7) 今後の課題

地下構造物は何か

トンネル

地下発電所

シェルター

石油・天然ガスの貯蔵

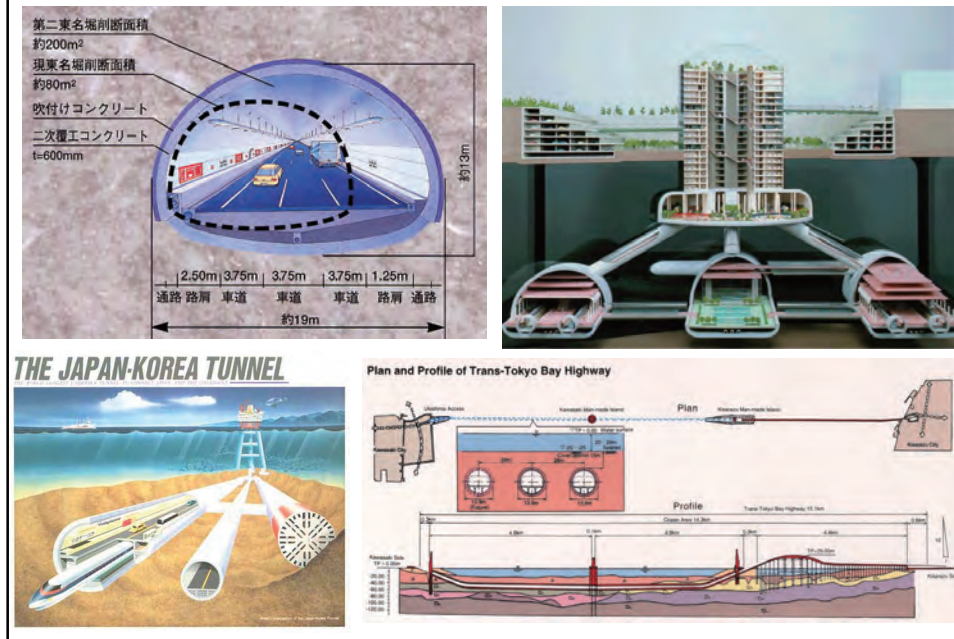
工場

放射性廃棄物の地層処分

スポーツホール・プール・会議場・レストラン

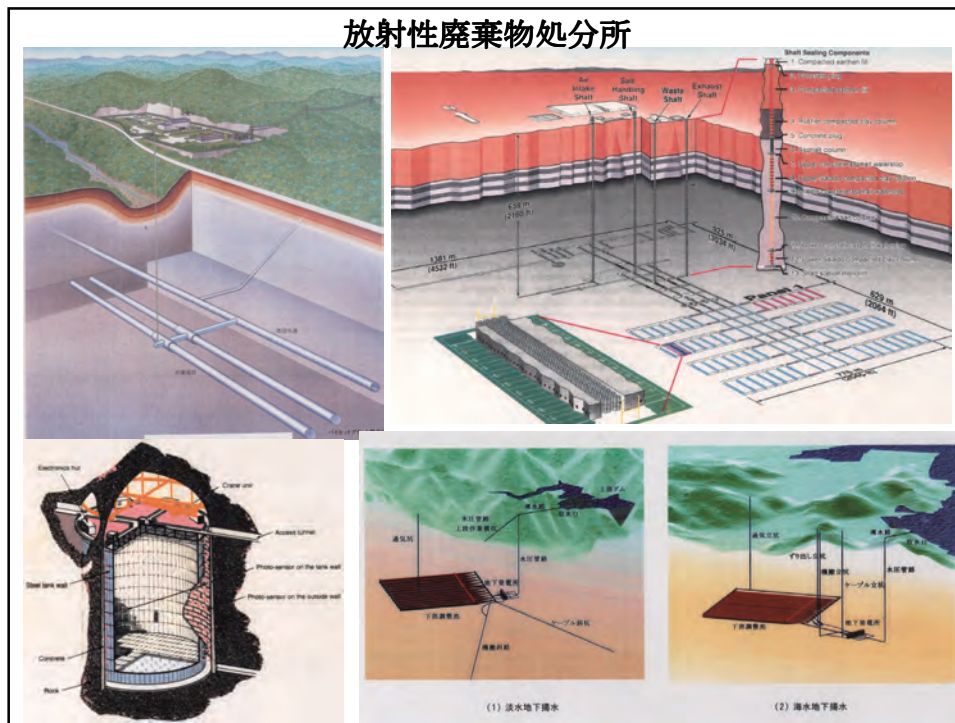


トンネル（鉄道、道路、水道、地下鉄）

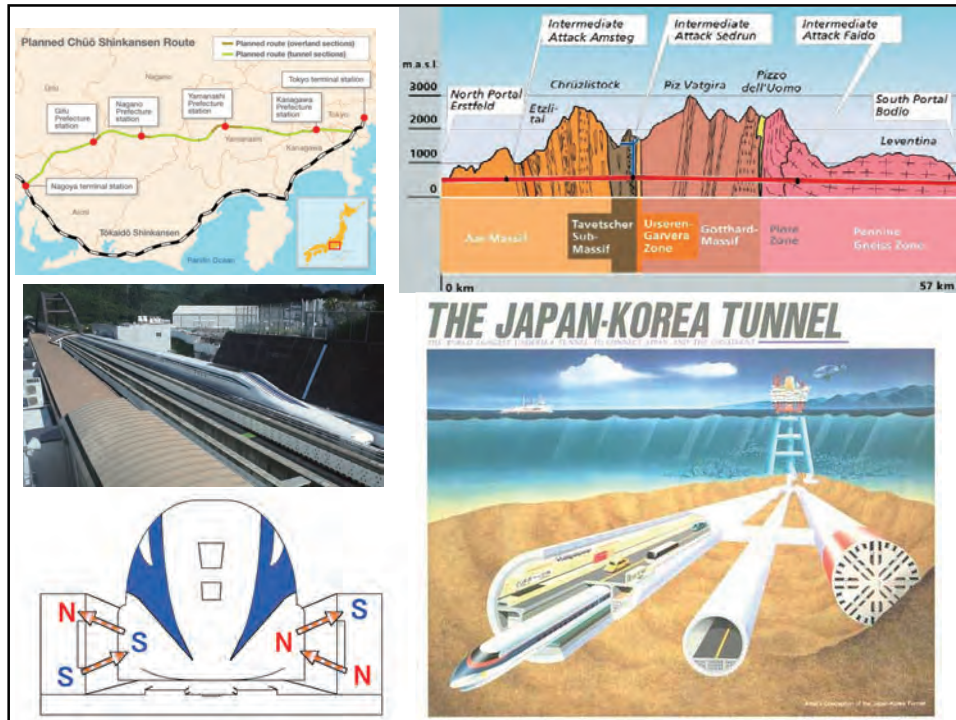


地下空洞（発電所、貯蔵（石油、ガス）、洪水制御地下タンク、放射性廃棄物処分所）

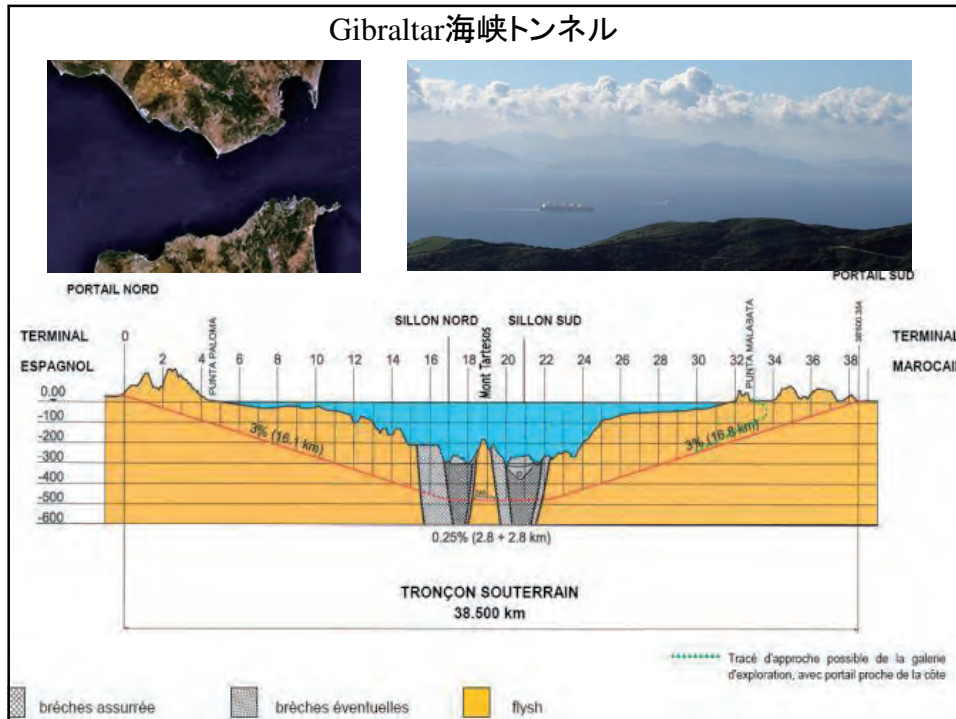




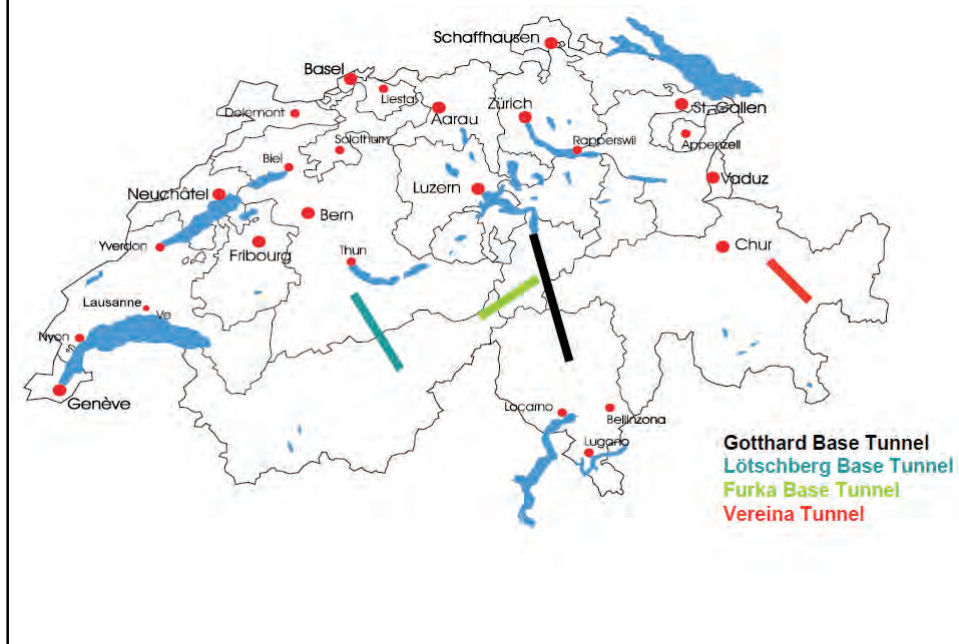
2) 近年地下構造物の動向



Gibraltar海峡トンネル

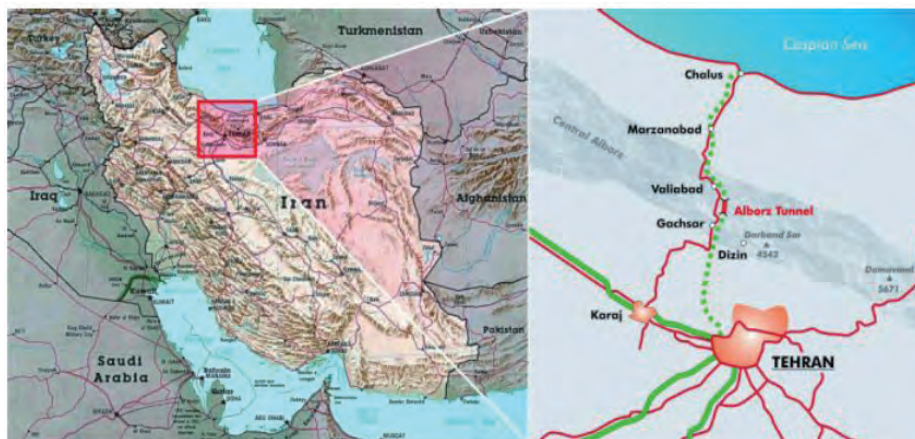


スイス(Gothard, Lotschberg Base Tunnels)



イラン

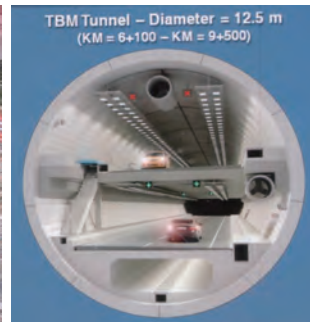
(Alborz Base Tunnel)



Qomroud Long Tunnel, Nosoud Tunnel)

トルコ

(Istanbul Strait Tunnel, Metro Tunnels, Rapid Train Tunnels)

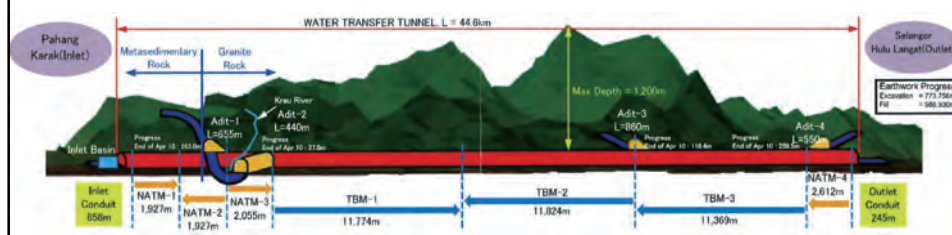
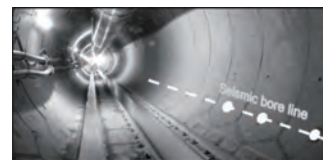


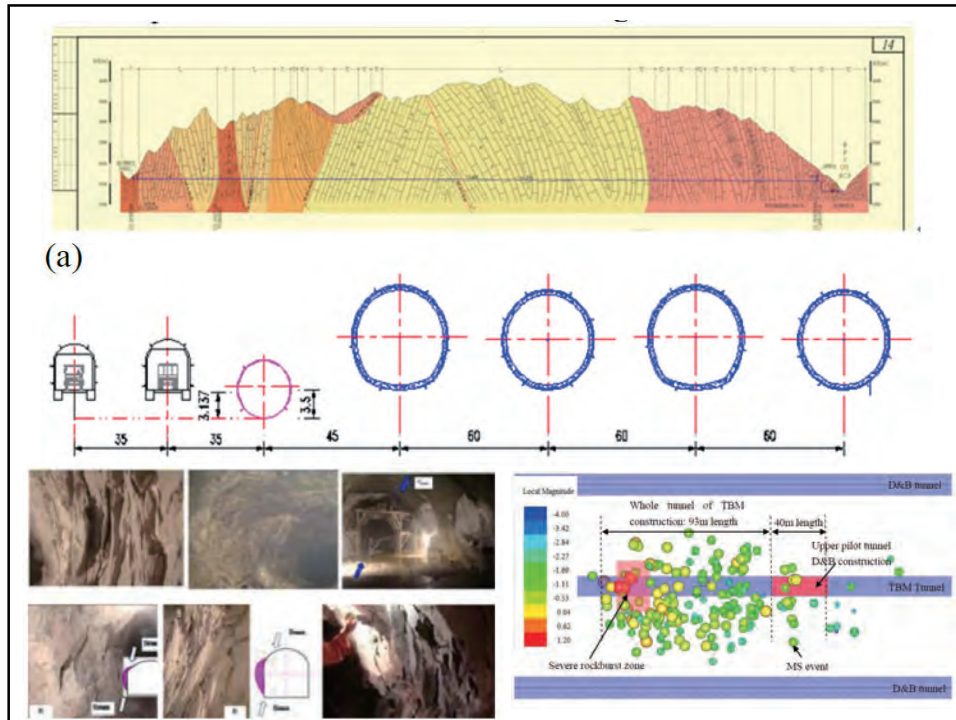
マレーシア (Pahang-Selangor Water Transfer Project)

清水：西松JV

長さ:44.6km

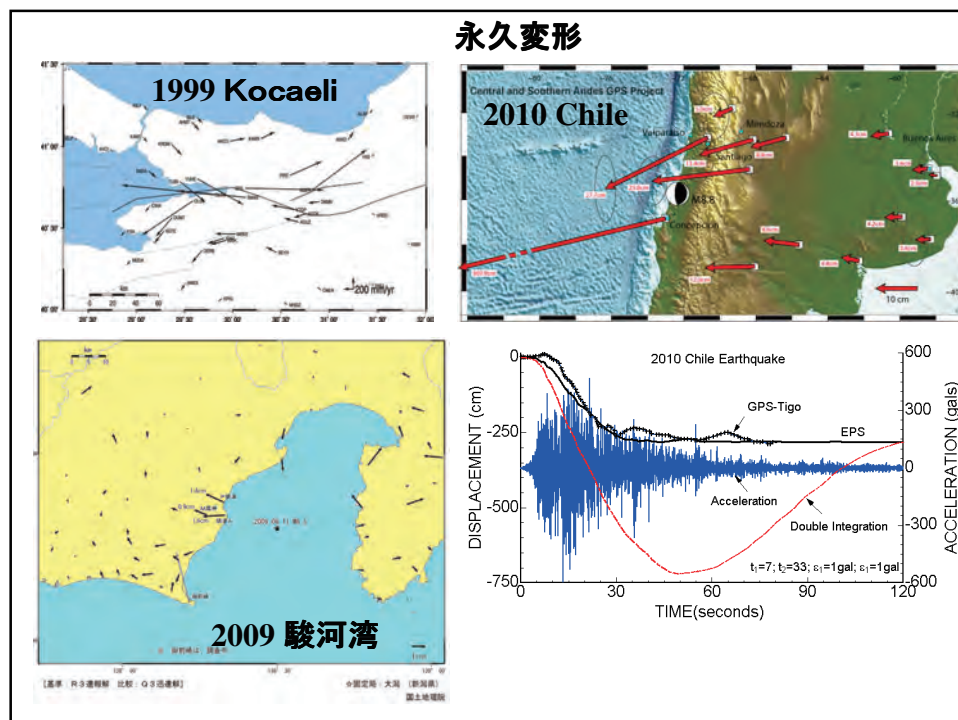
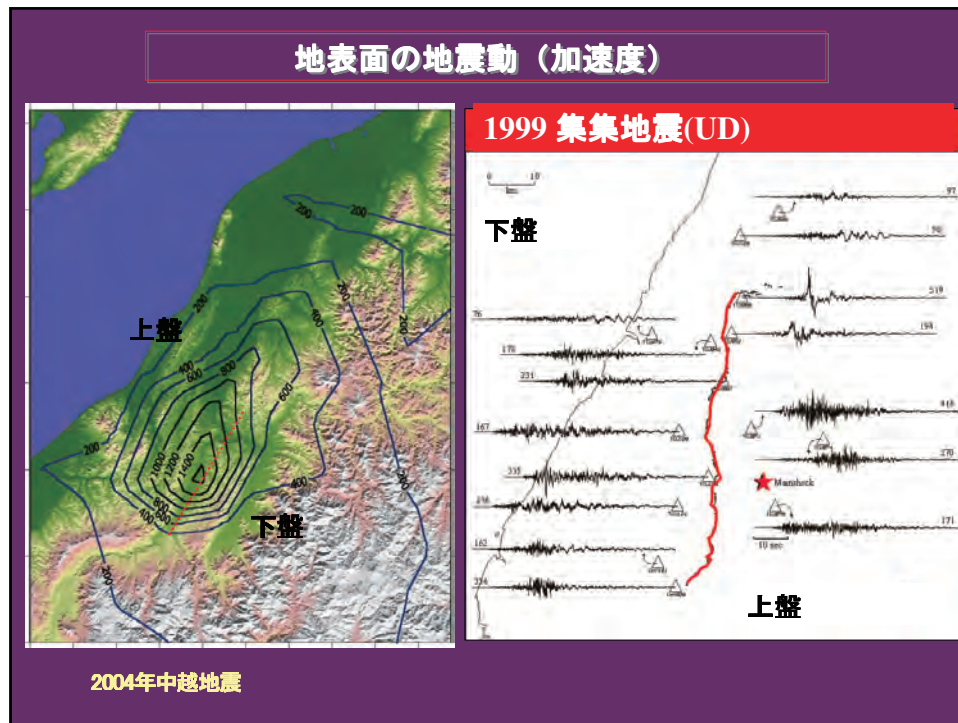
最大土かぶり:1200m

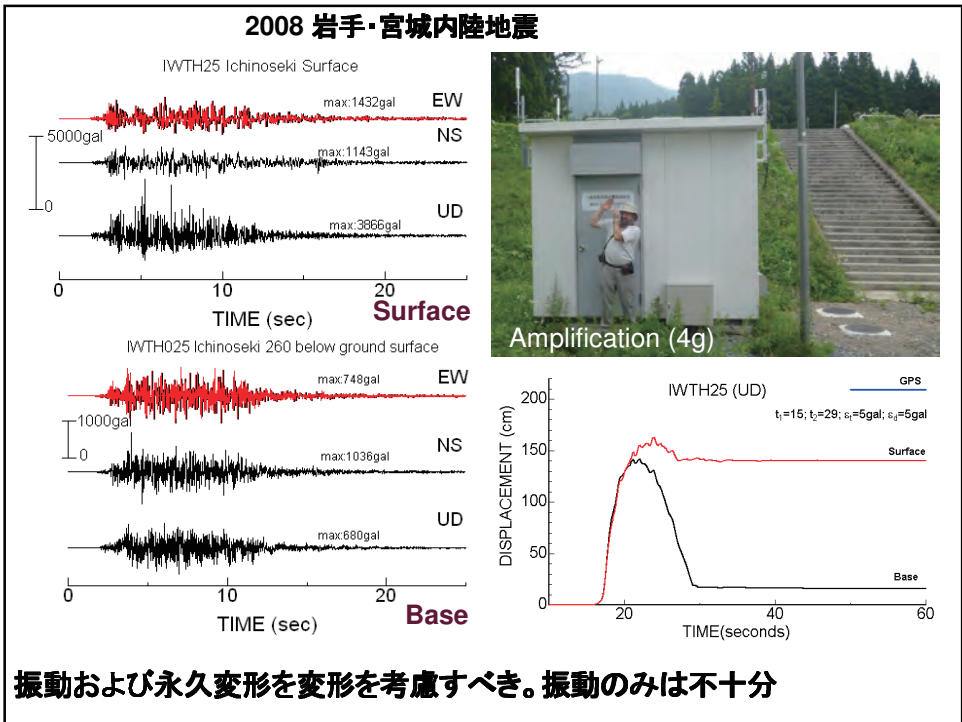
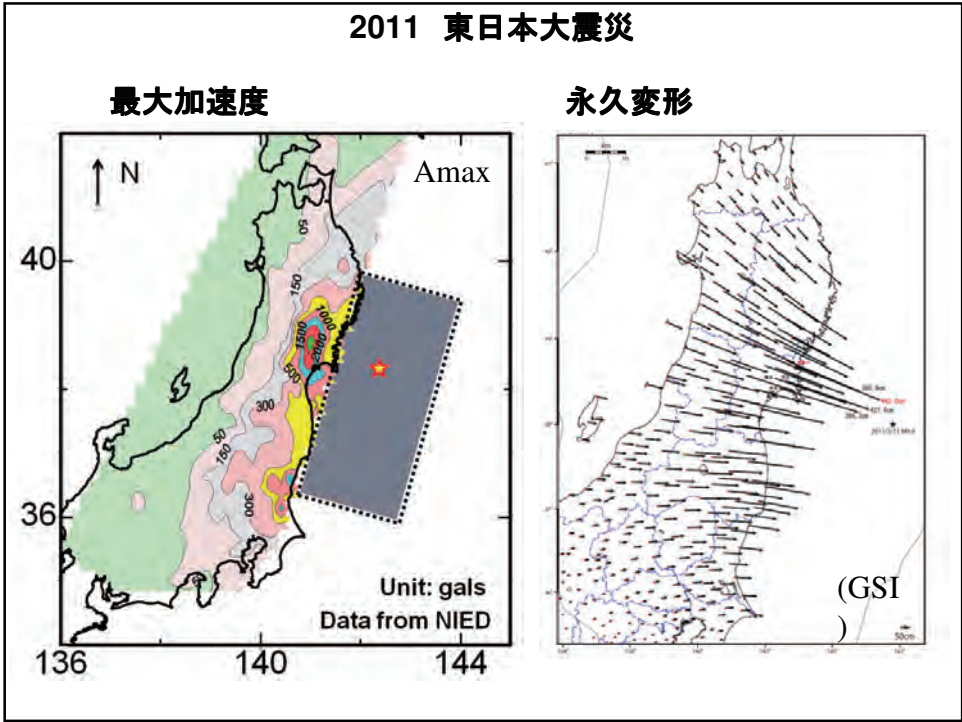




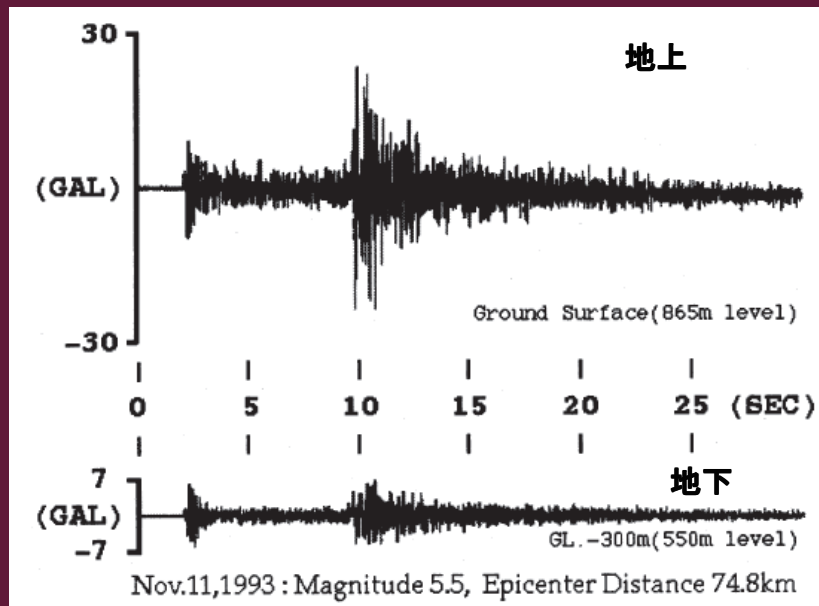
地震の構造物の影響および 地下と地上における地震動

- 1) 振動、増幅、断層の上盤・下盤の影響
- 2) 永久変形・ひずみの影響
 - 断層運動
 - 地盤の変状(傾斜地盤)
 - 液状化

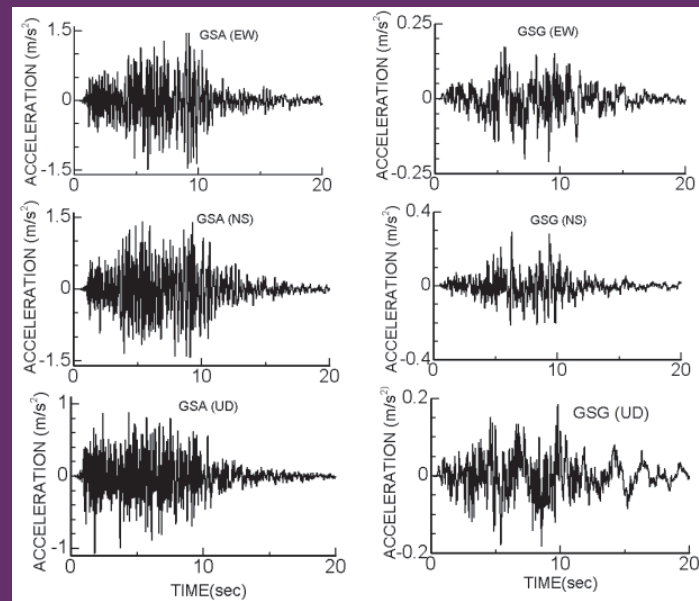




釜石地下実験場



増幅



地上

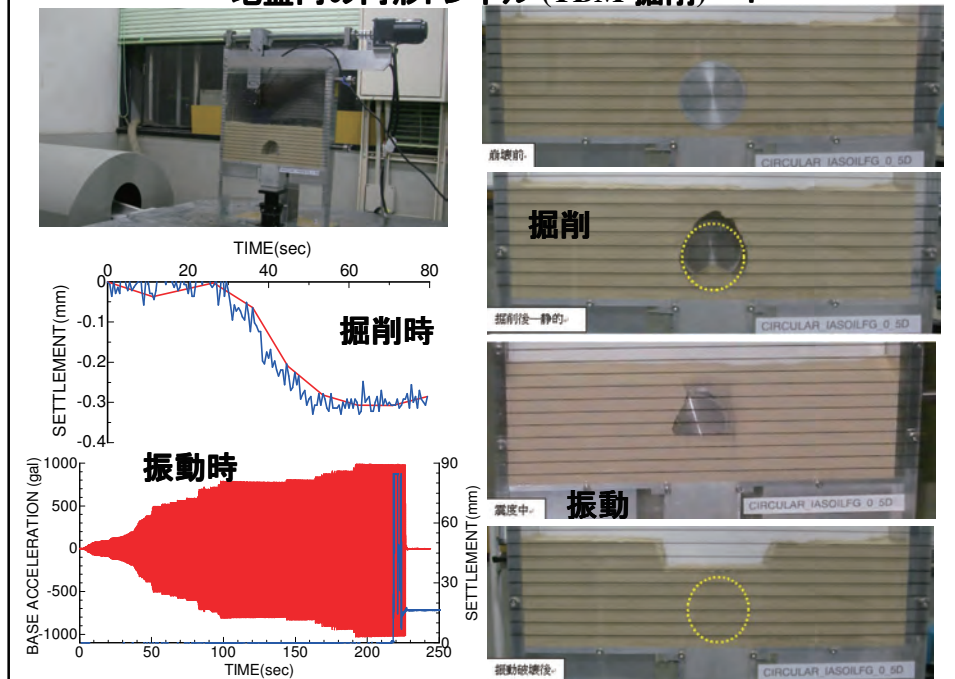
地下

2009 L'Aquila地震

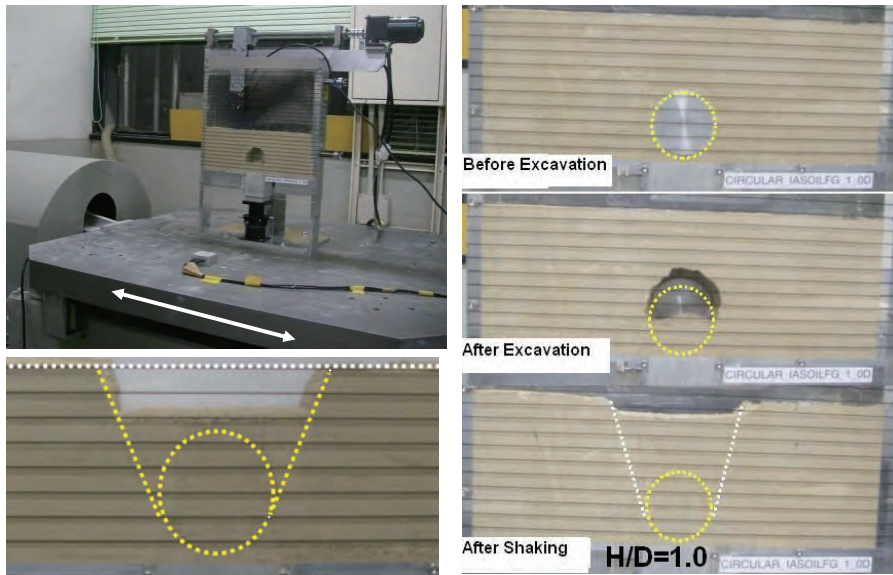
地震による地下構造物の被害

- 1) 室内模型実験
- 2) 国内外の被害例

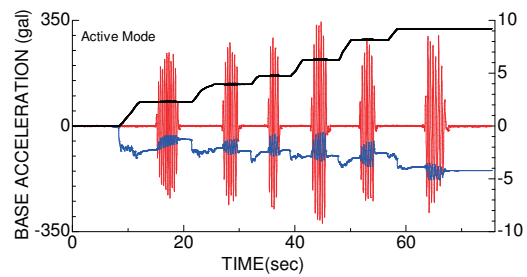
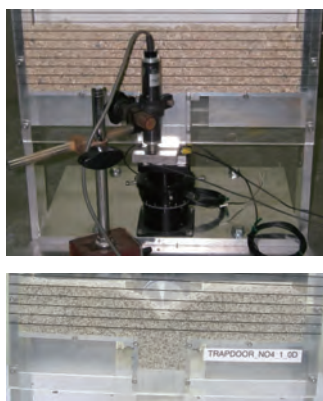
地盤内の円形トンネル (TBM 掘削) - 1

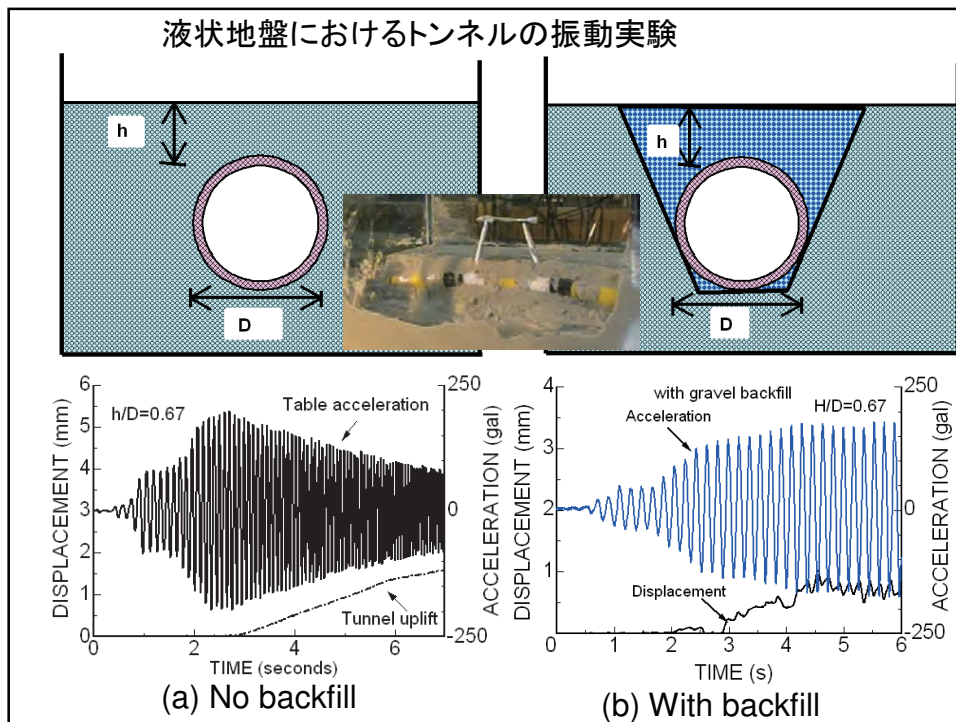
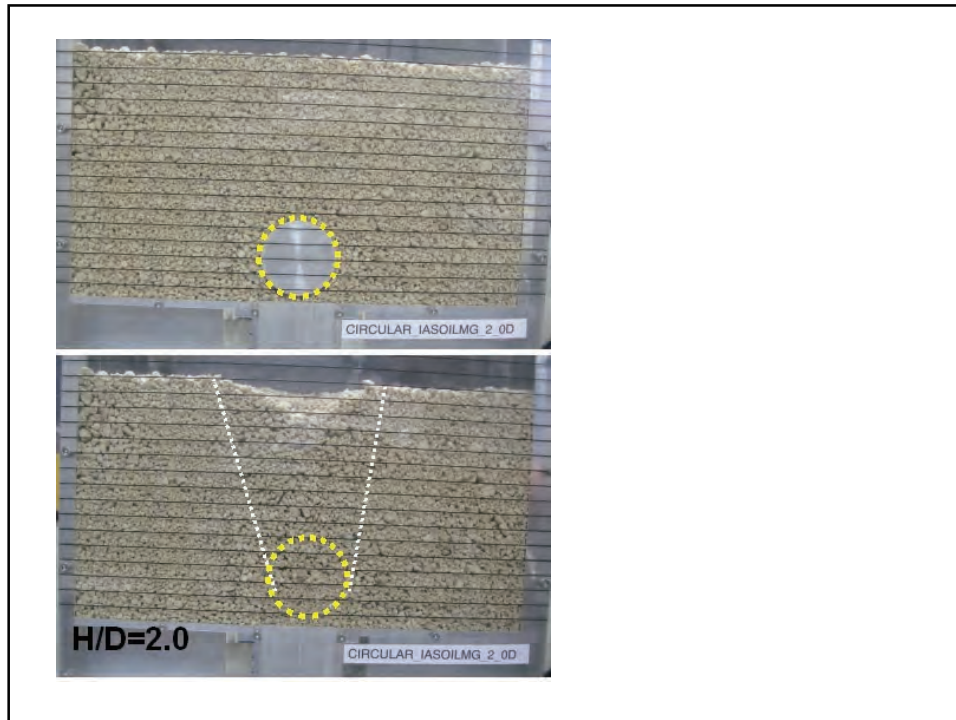


地盤内の円形トンネル (TBM 掘削) - 2

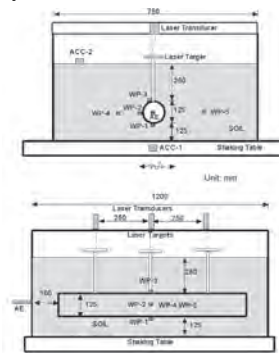


動的おとし戸実験

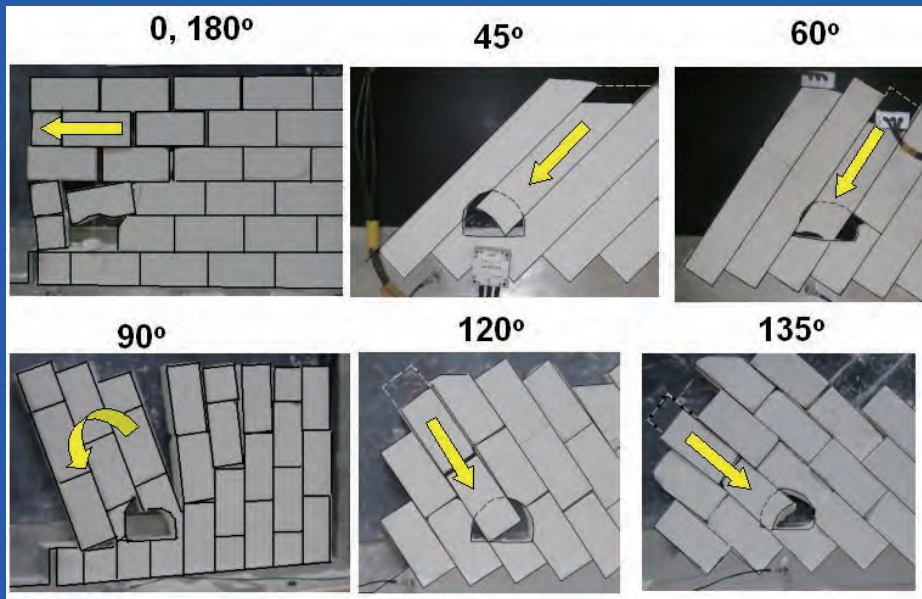




液状化可能地盤のトンネル

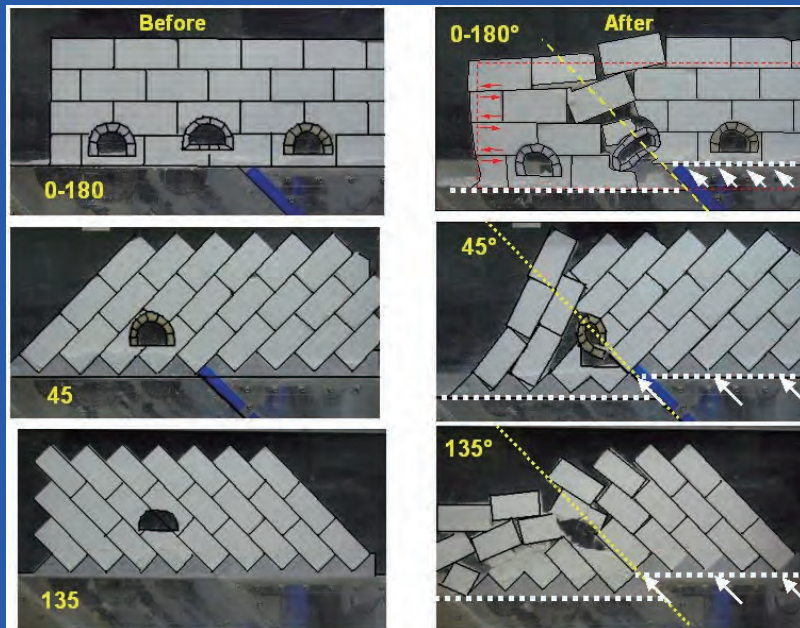


不連続性岩盤におけるトンネルに対する振動実験

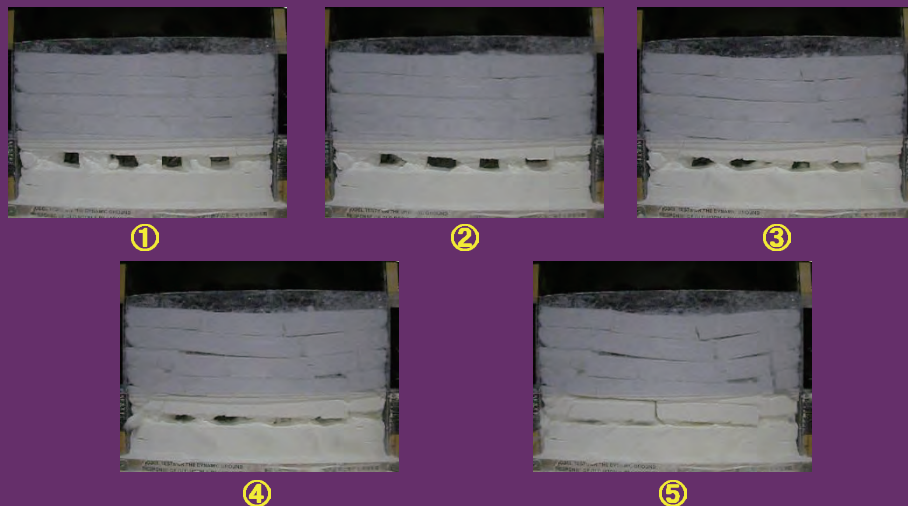


不連続面の分布状況によって破壊パターンが異なる

不連続性岩盤におけるトンネルに対する断層運動による破壊実験



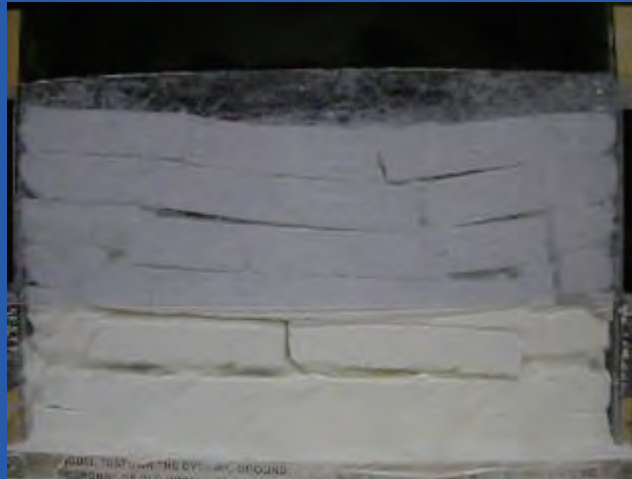
残柱式亜炭廃坑の崩壊



$$A_t / A_p = 2 \quad H/h = 5$$

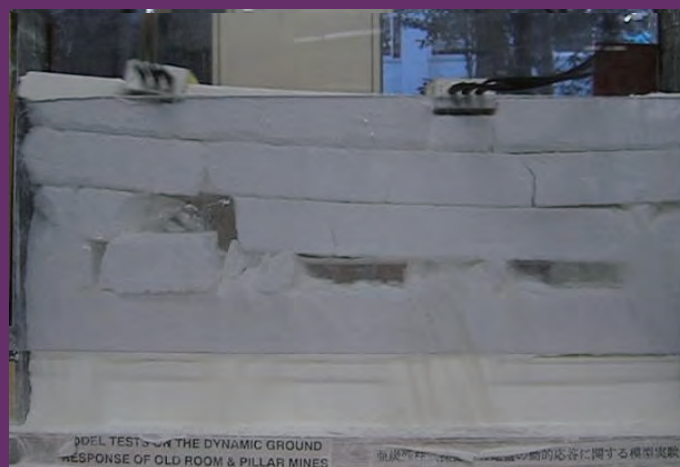
AYDAN

実験結果 模型の破壊状況①



$A_t/A_p=2$, $H/h=5$, $\alpha=9.64$

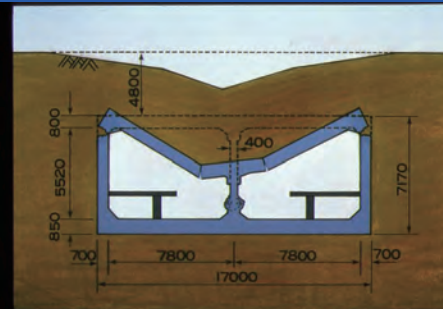
実験結果 模型の破壊状況②



$A_t/A_p=3$, $H/h=3$, $\alpha=5.50$

国内外の被害例

1995 阪神大震災

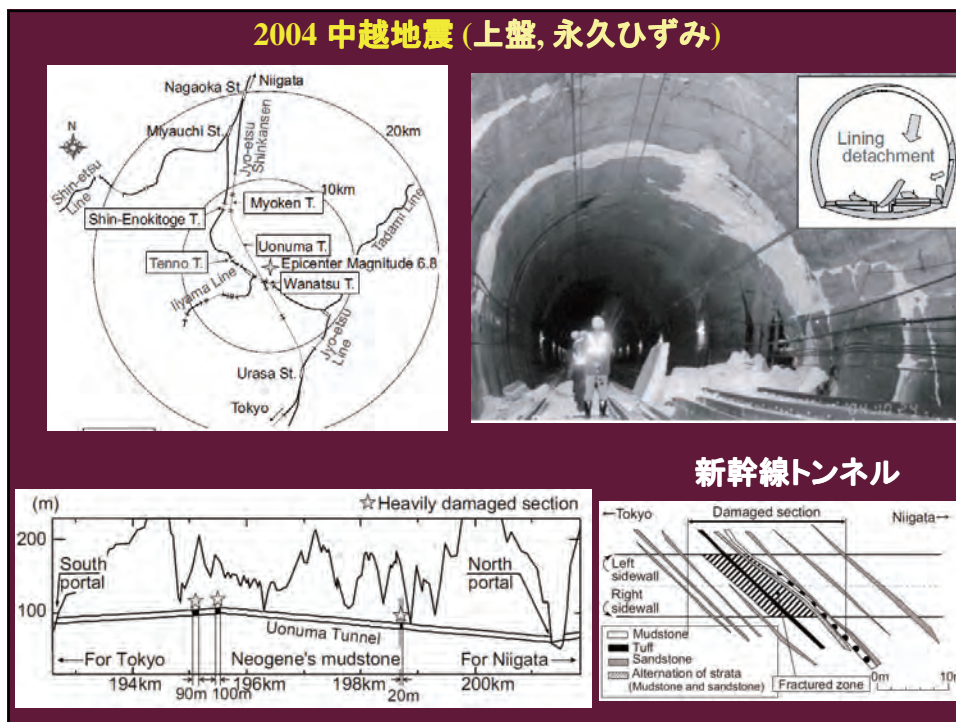
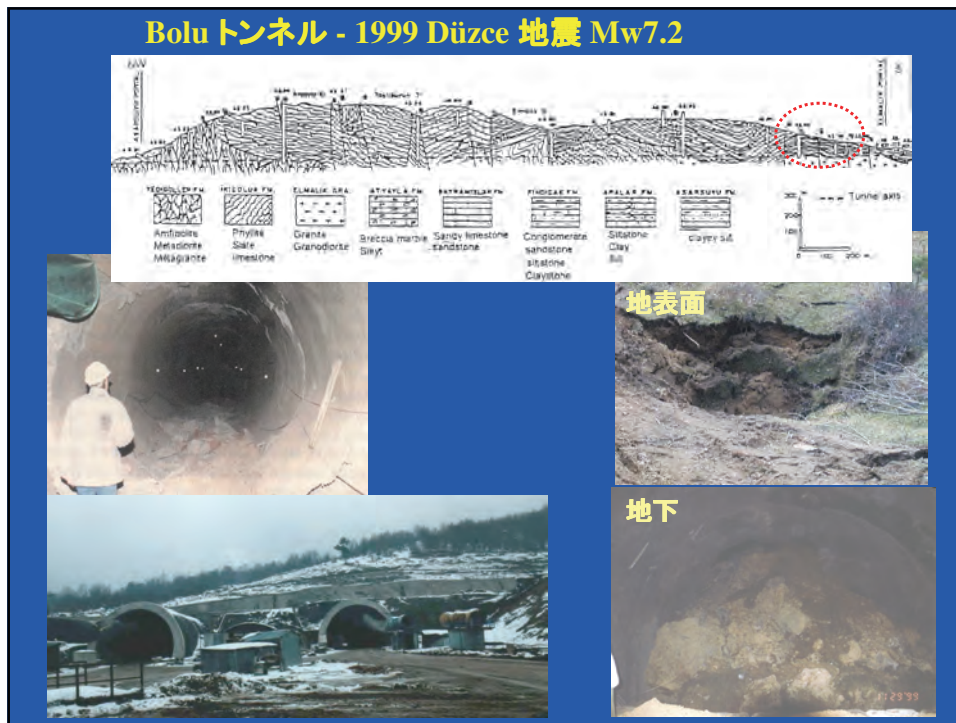


Daikai 駅 (振動より断層運動による破壊)

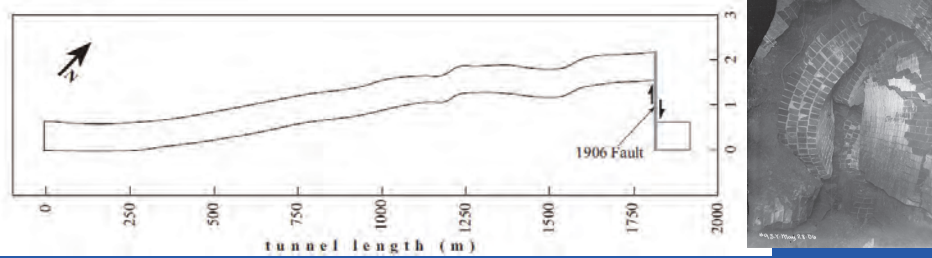








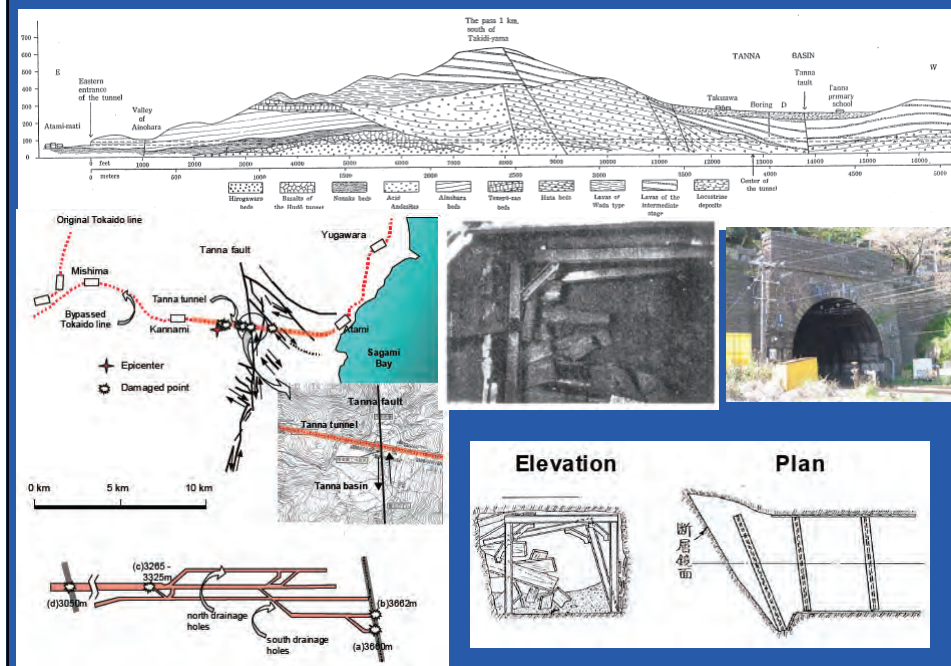
Wrights トンネル- 1906 San Francisco 地震 Mw7.9

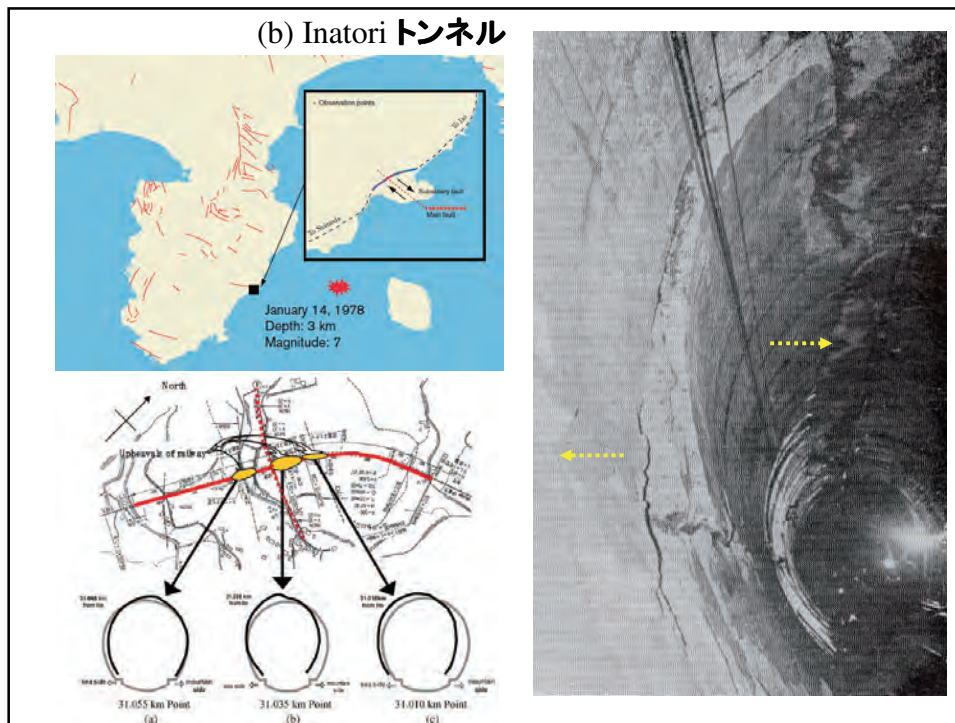


1952 Kern 地震 Mw7.5



Tanna トンネル - 1930 北伊豆地震 M7.2







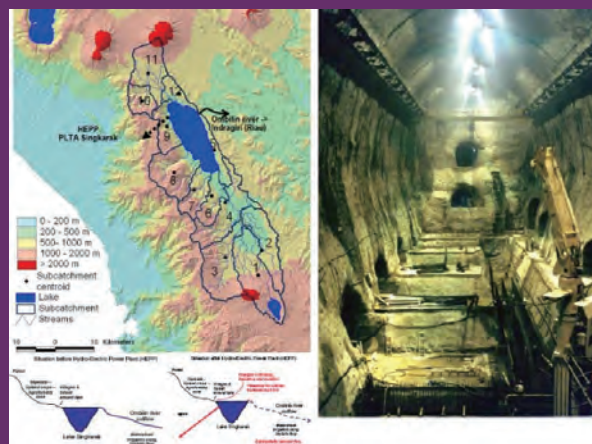
地下発電所の被害

Singkarak 地下発電所

Indonesia: (25x37x90m): 片麻岩

2007 Singkarak 地震, Mw:6.4; Re: 13 km;

大きな被害ないが、内部
の設備に被害



自然鍾乳洞の陥没



亜炭廃坑や旧鉱山による陥没問題



地下

図-6に観測位置における地盤の柱状図を示す。水なしの地点において空洞深さは11mで、水あり地点においては、約12mで、空洞高さは2mである。

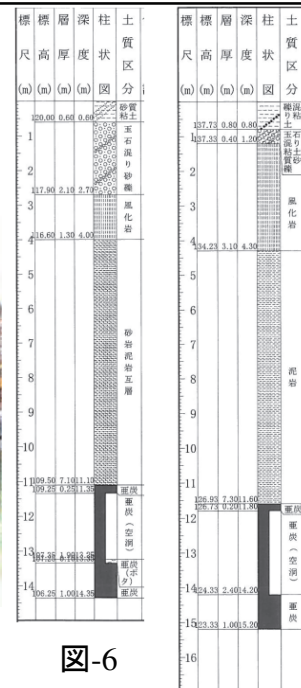
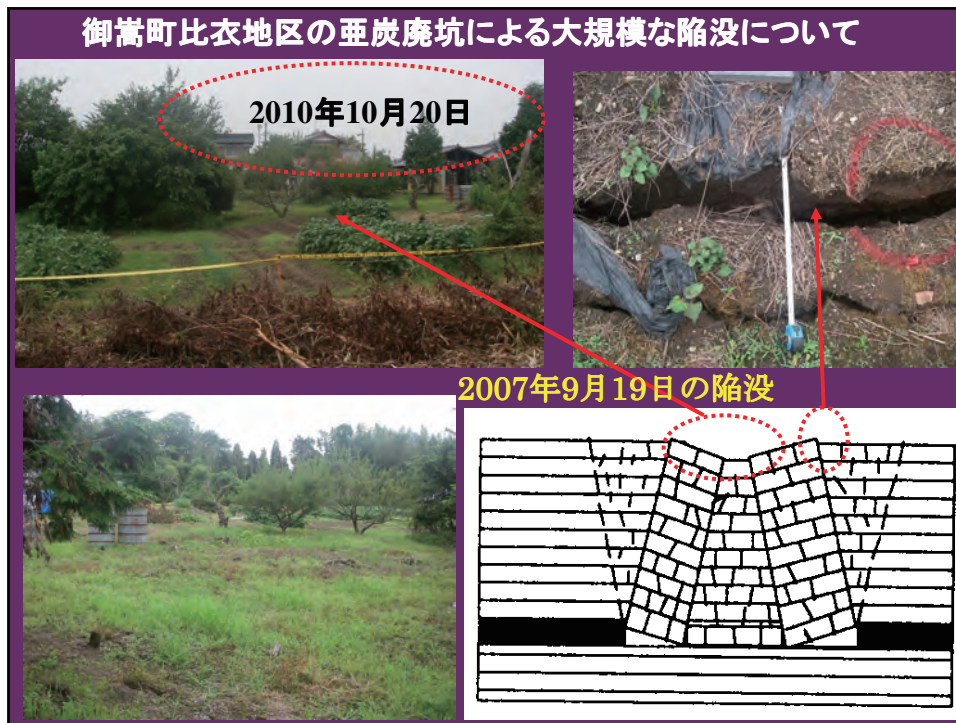


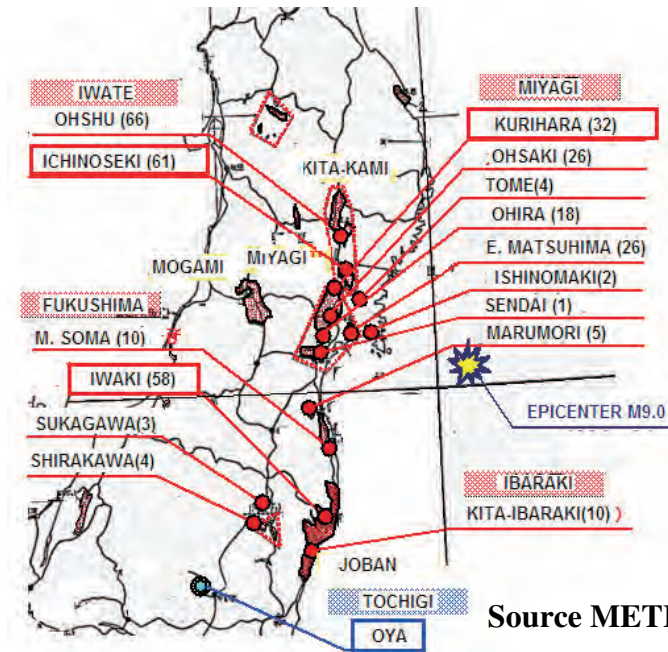
図-6

亜炭廃跡地における陥没・地盤沈下





亜炭・石炭跡地における陥没・沈下被害



若柳における陥没被害 (宮城県)



大平村における陥没被害 (宮城県)

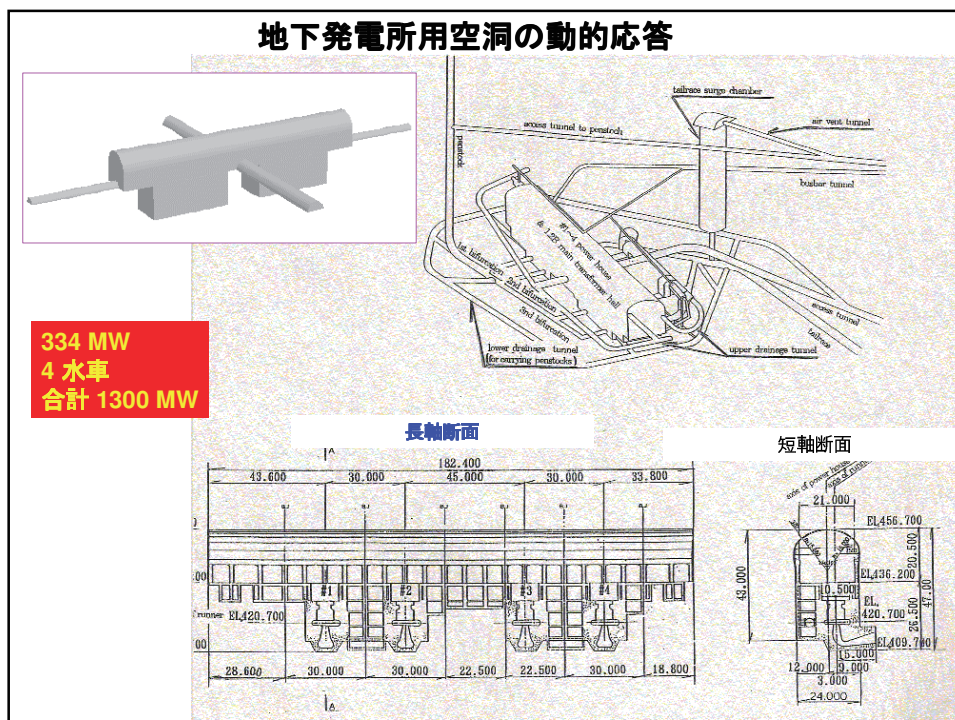
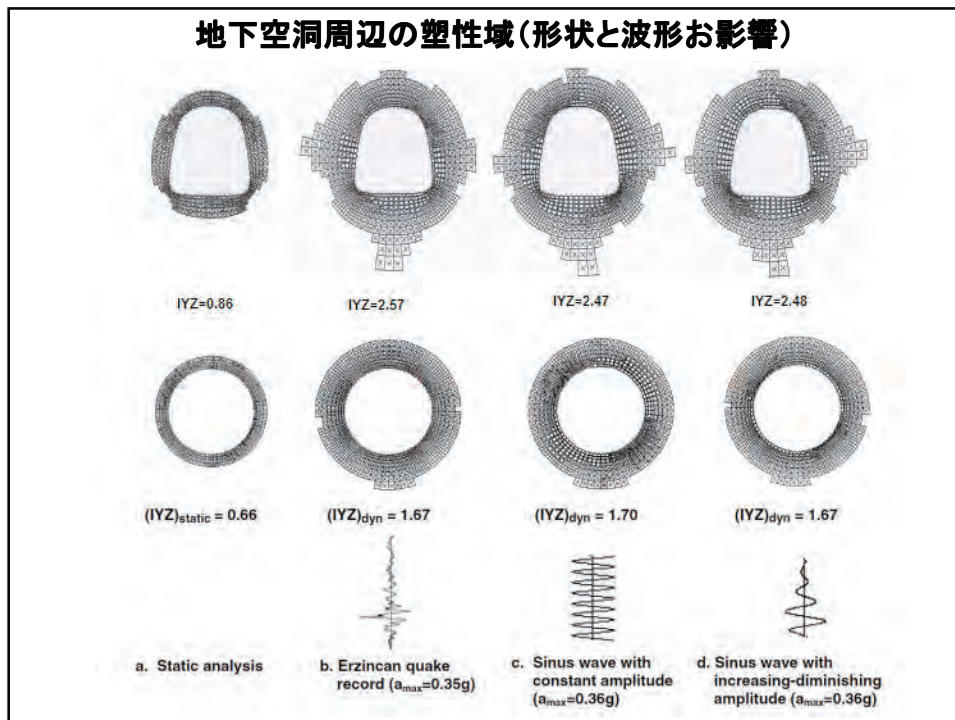
20 sinkholes. 7 sinkholes very large



2003年の宮城北部地震による矢本町における陥没被害



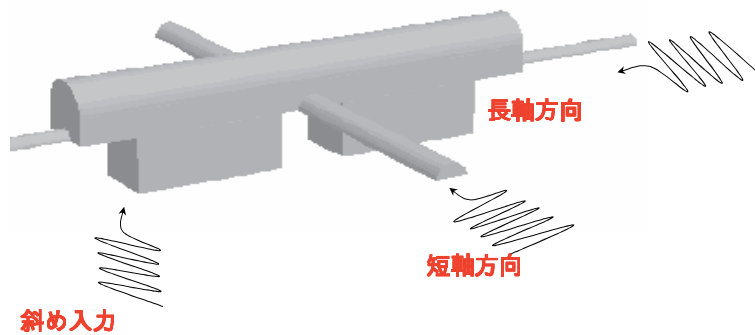
数値解析手法の役割



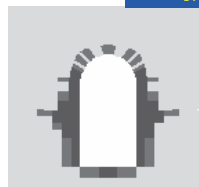
・ 動的解析

正弦波を用いて解析

- ・ 地震波入力は長軸方向
- ・ 地震波入力は短軸方向
- ・ 斜めの入力

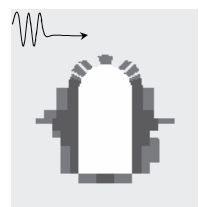


細田振幅の変化, $f = 1 \text{ Hz}$



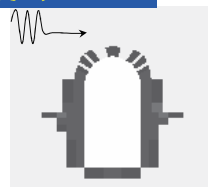
None
shear-p
shear-p tension-p

静的解析



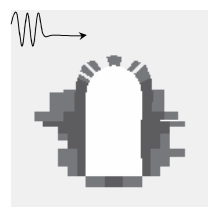
None
shear-p
shear-p tension-p

$a_{\max} = 0.6g$



None
shear-n shear-p tension-p
shear-p
shear-p tension-p

$a_{\max} = 0.4g$

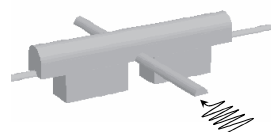


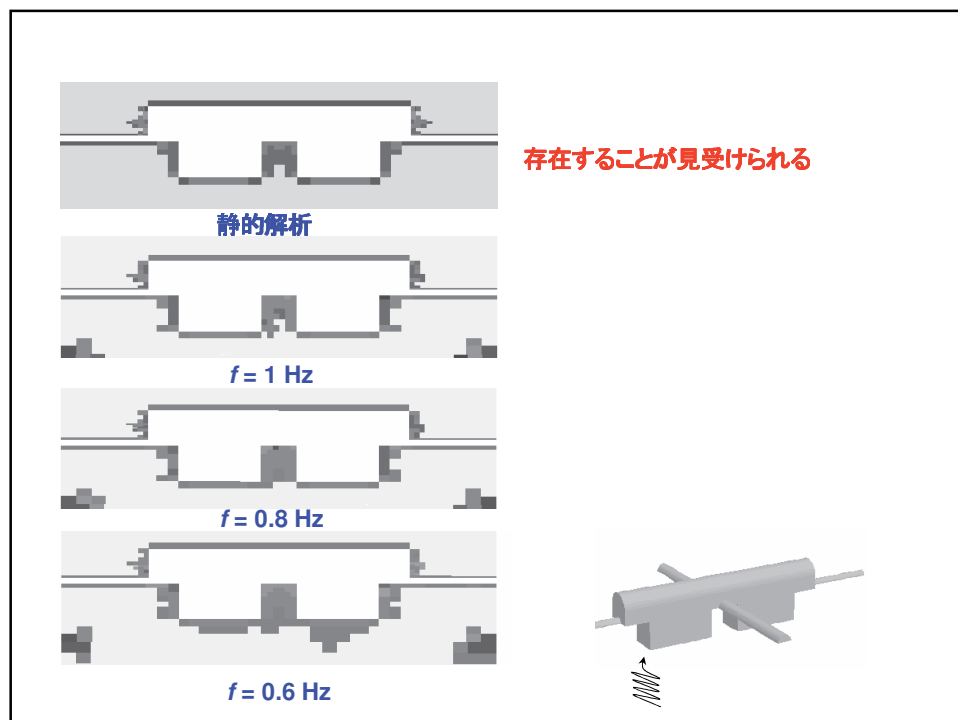
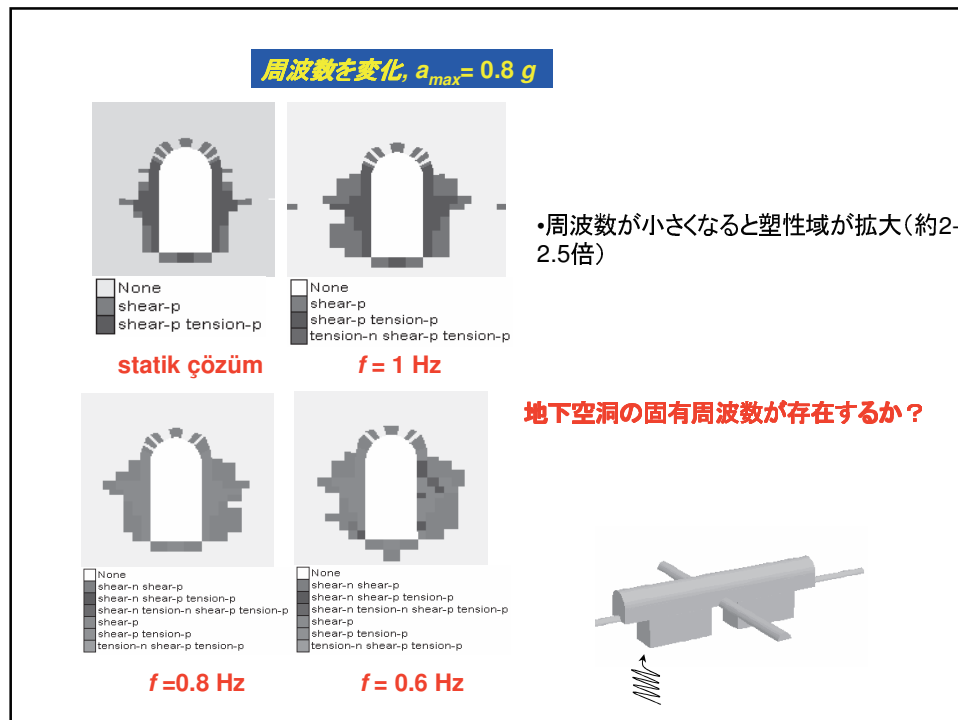
None
shear-p
shear-p tension-p

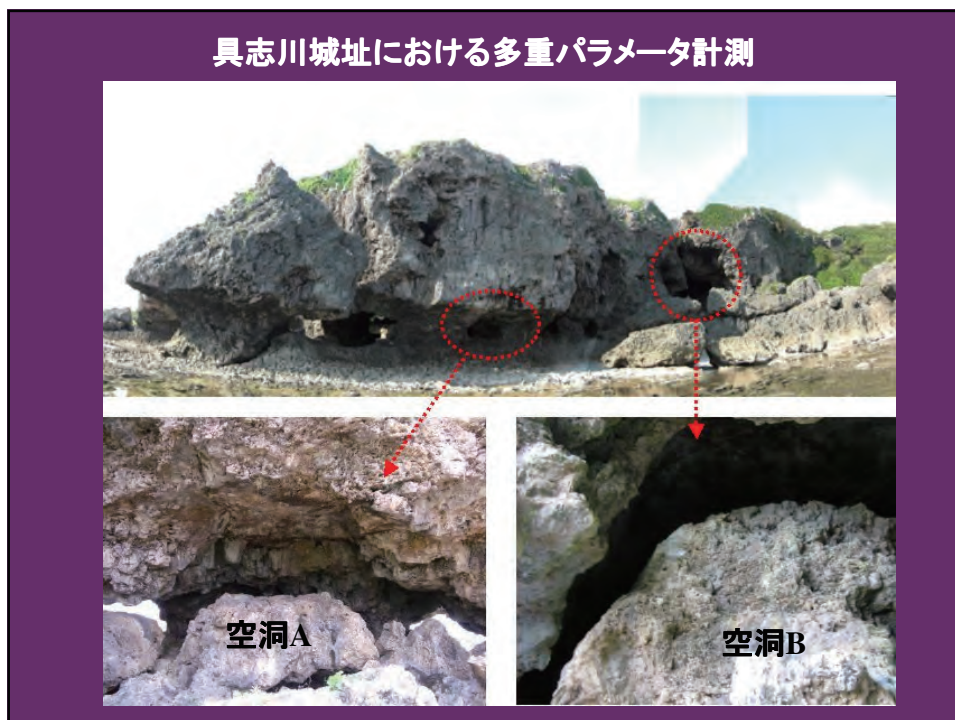
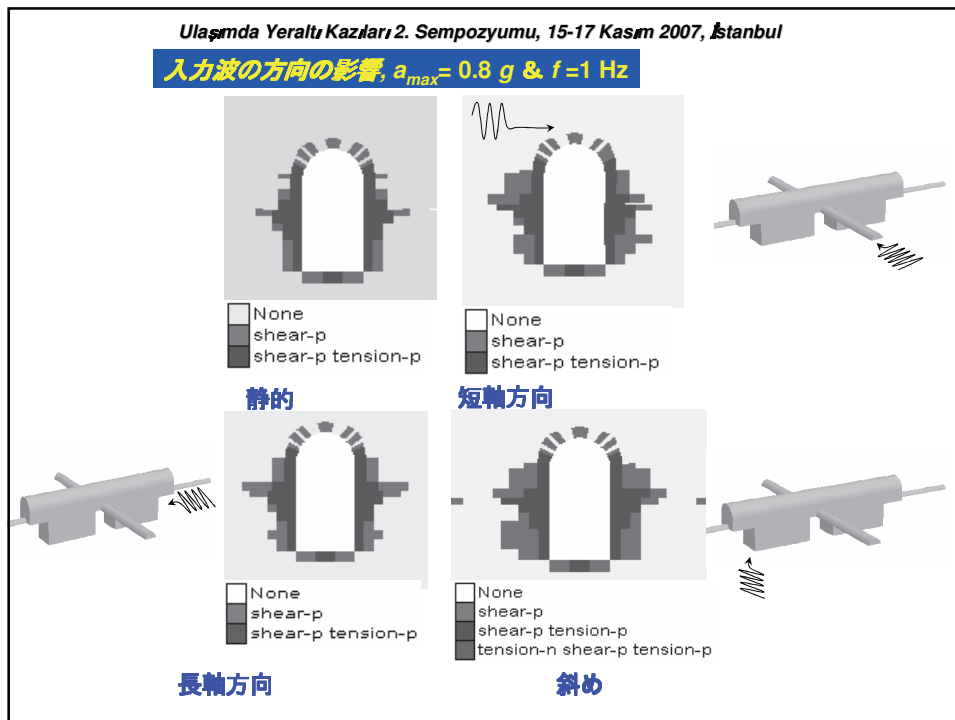
$a_{\max} = 0.8g$

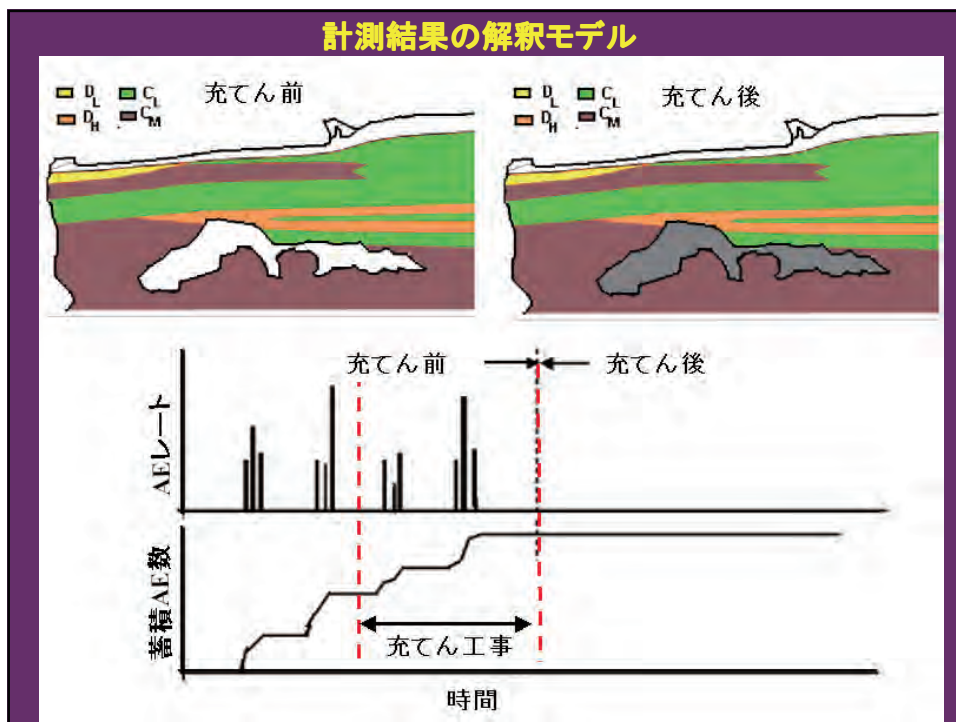
側壁における塑性域が拡大

$a_{\max} = 0.6-0.7g$



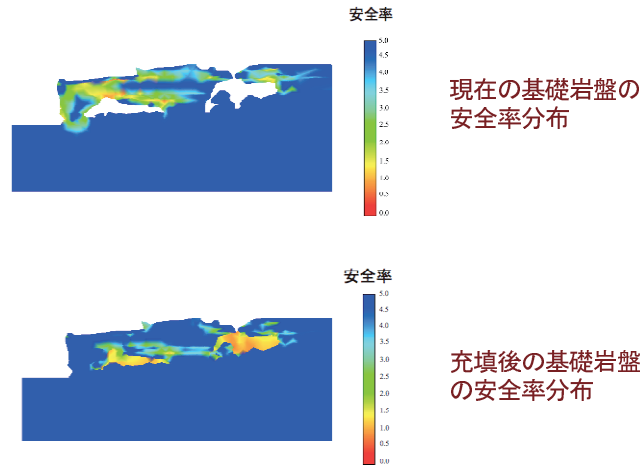






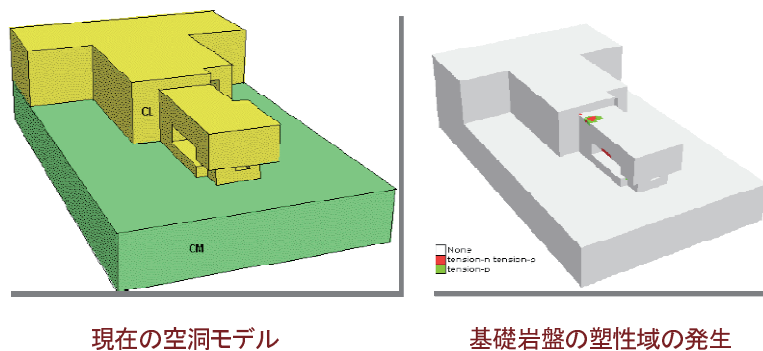
現在・充填後の基礎岩盤の静的安定性評価

2次元有限要素モデルによる空洞の安定性解析



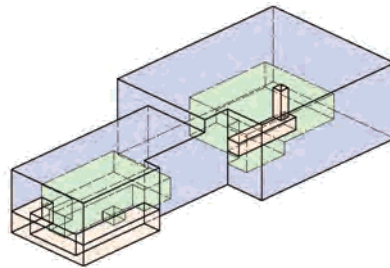
3次元有限要素解析による静的安定性評価

現在の空洞の静的安定性



3次元有限要素解析による静的安定性評価

空洞充填後の静的安定性



空洞充填後の解析モデル



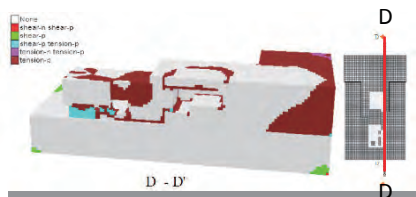
空洞充填後の解析モデル

充填材料の物性値

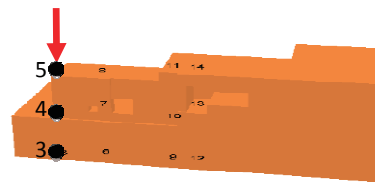
γ kN/m ³	E MPa	ν	ϕ	σ_c kPa
20	200	0.26	30	1000

3次元有限要素解析による動的安定性評価

現在の空洞の動的挙動

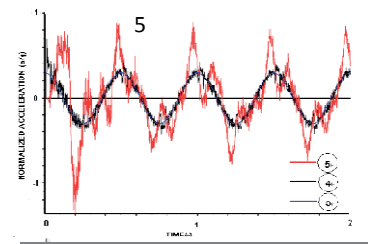


動的载荷による塑性域の発生



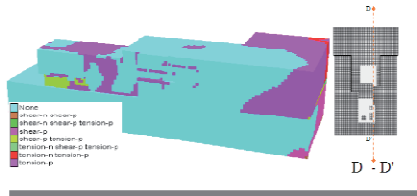
加速度応答の着目点

着目点3,4,5における
加速度応答



3次元有限要素解析による動的安定性評価

■ 空洞充填後の動的挙動

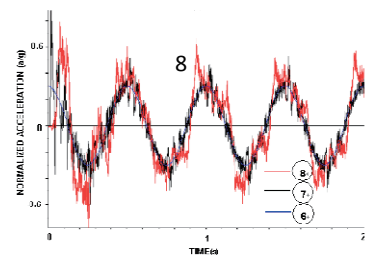


動的載荷による塑性域の発生



加速度応答の着目点

着目点6,7,8における 加速度応答



亜炭廃坑の1次元せん断層モデル

Table 1. Parameters used finite element analyses.

Layers	$(G/\rho)^{1/2}$ (m/s)	η/ρ (m ² /s)	(b/ρ) (m/s ²)
Layer 1 (30-40m)	320	32	10
Layer 2 (28-30m)	160	16	10
Layer 3 (0-28)	320	32	10

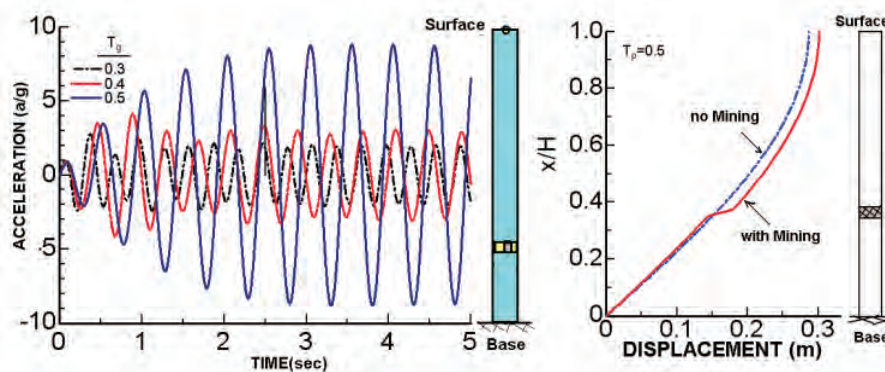
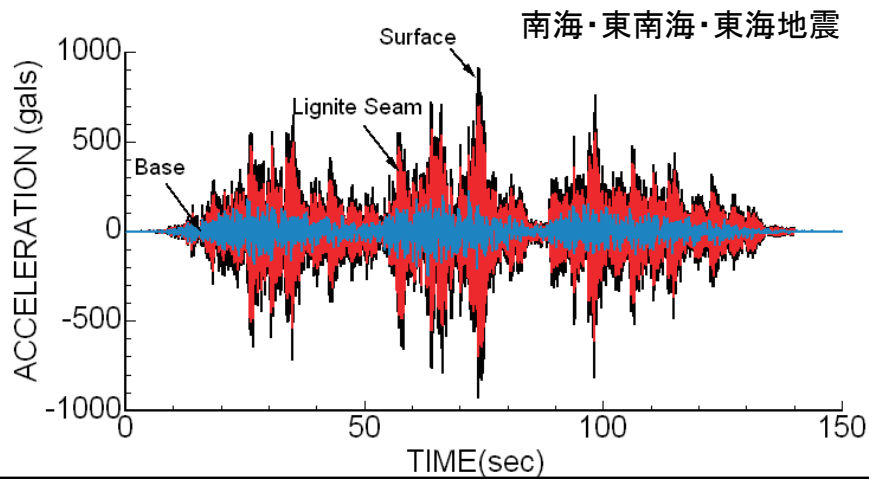


Table 2. Parameters used finite element analyses.

Layers	$(G/\rho)^{1/2}$ (m/s)	η/ρ (m ² /s)	(b/ρ) (m/s ²)
Layer 1 (36-31m)	900	45	19
Layer 2 (18-31m)	600	30	19
Layer 3 (16-18)	400	20	14
Layer 4 (5-16m)	500	25	19
Layer 5 (0-5)	300	15	19



亜炭廃坑跡地における3次元動的解析（共和中学校・御嵩町）

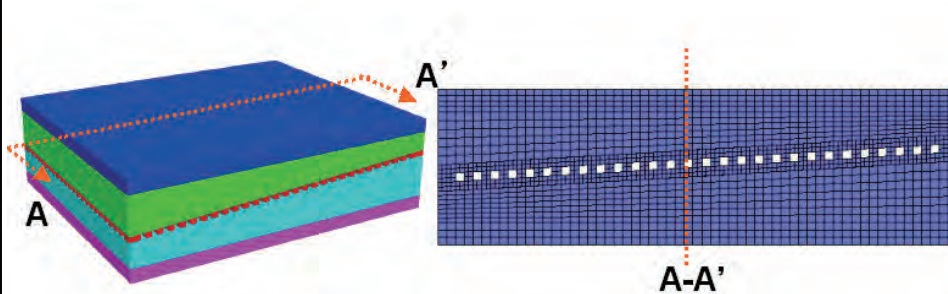
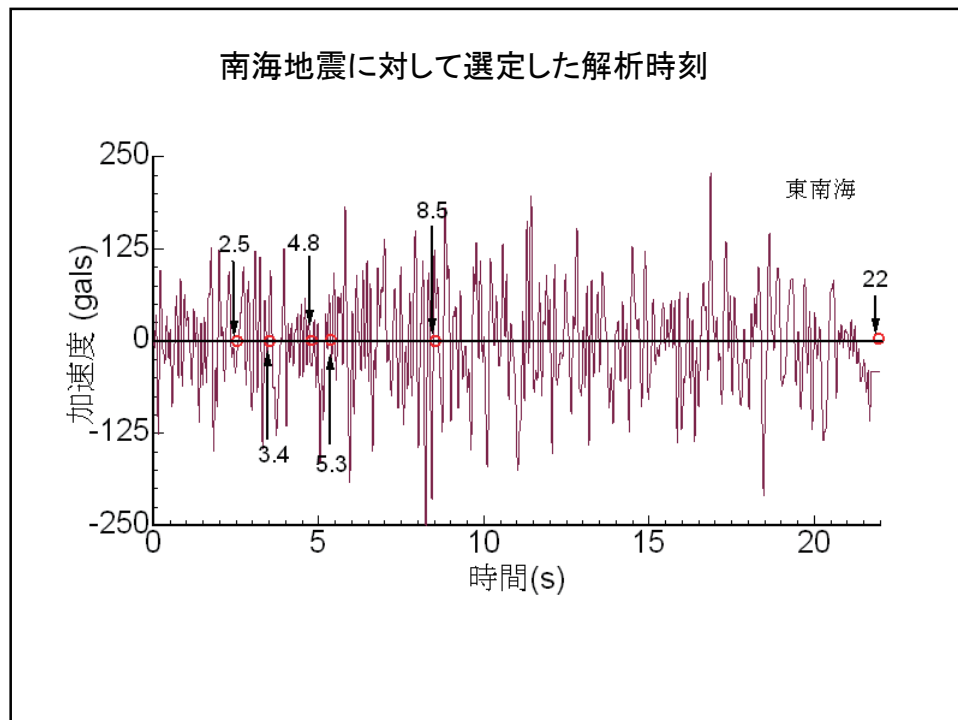
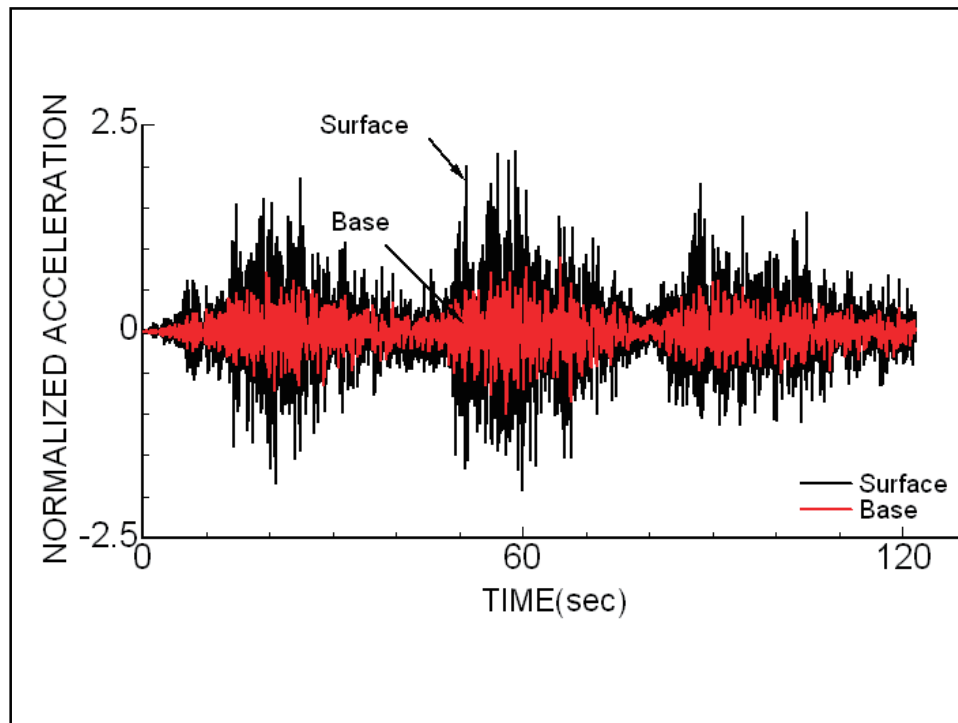
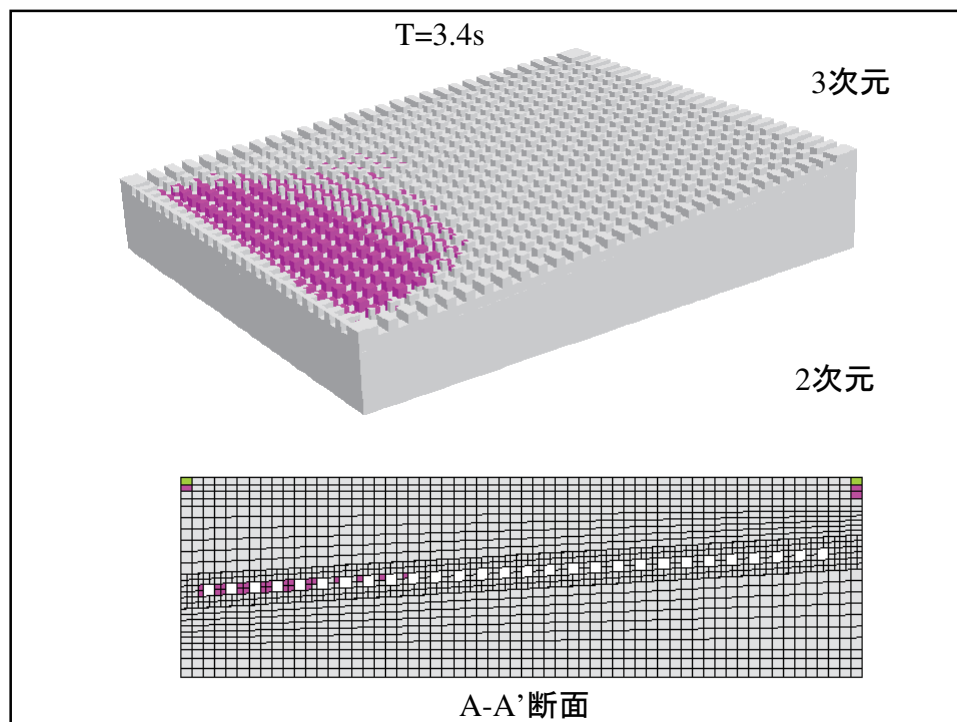
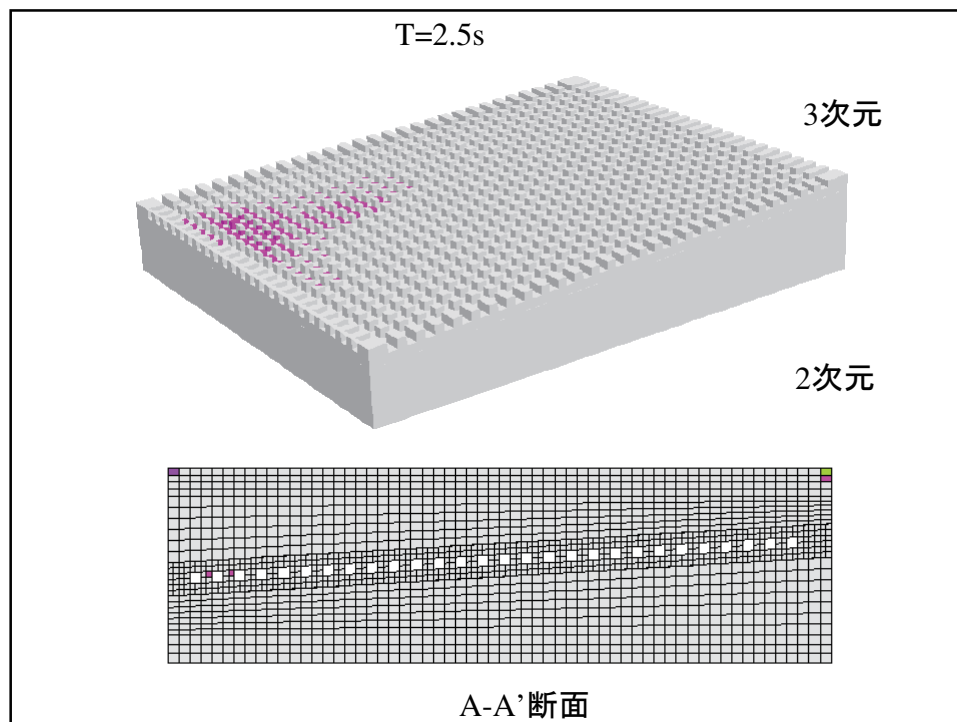
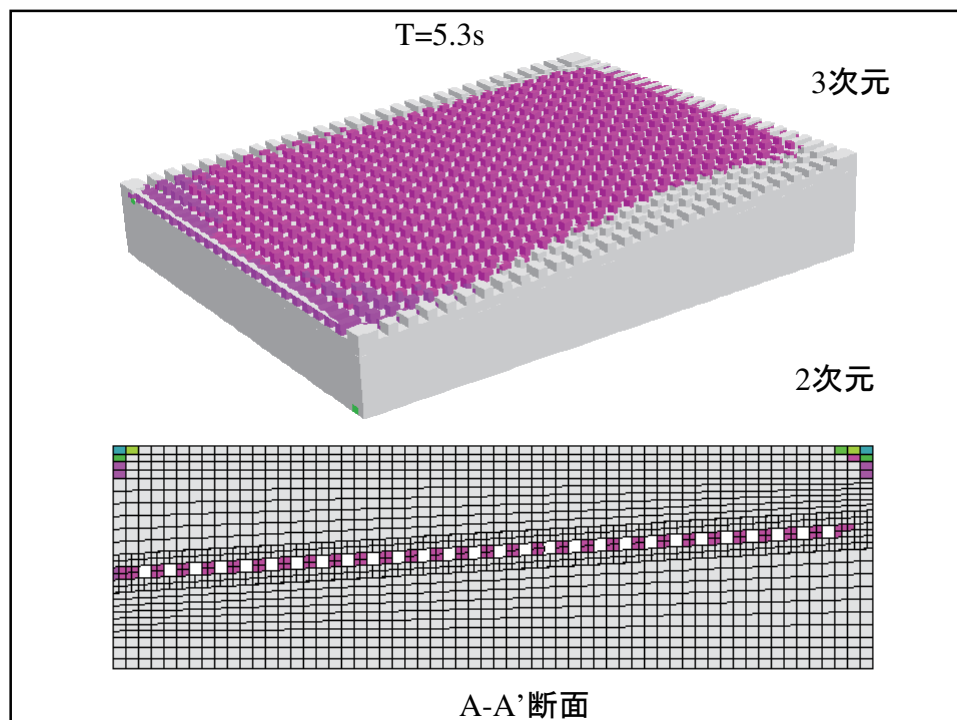
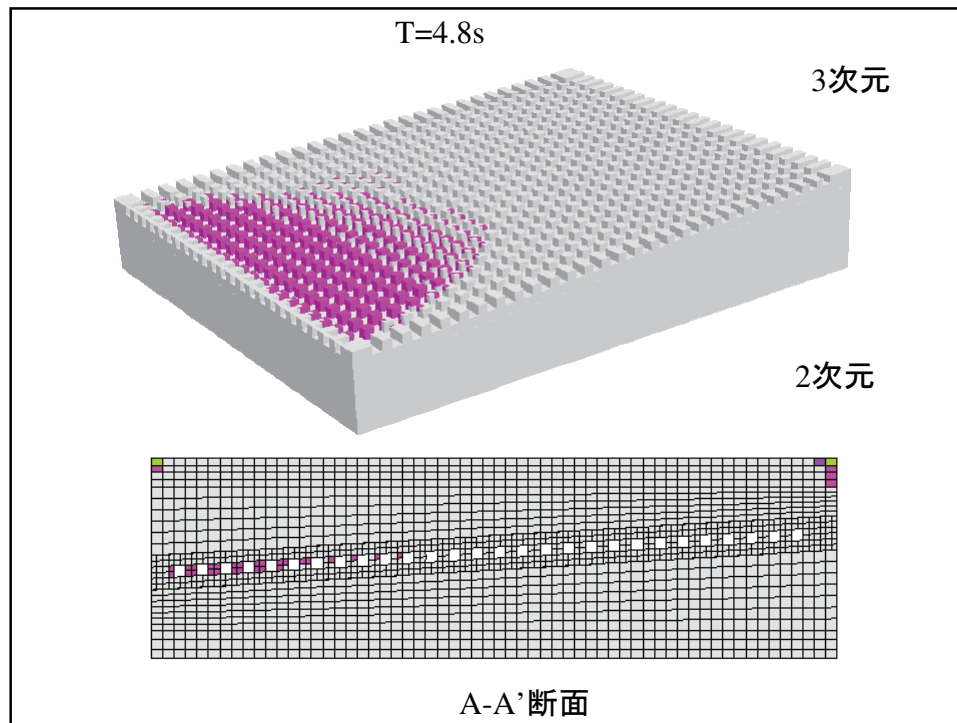


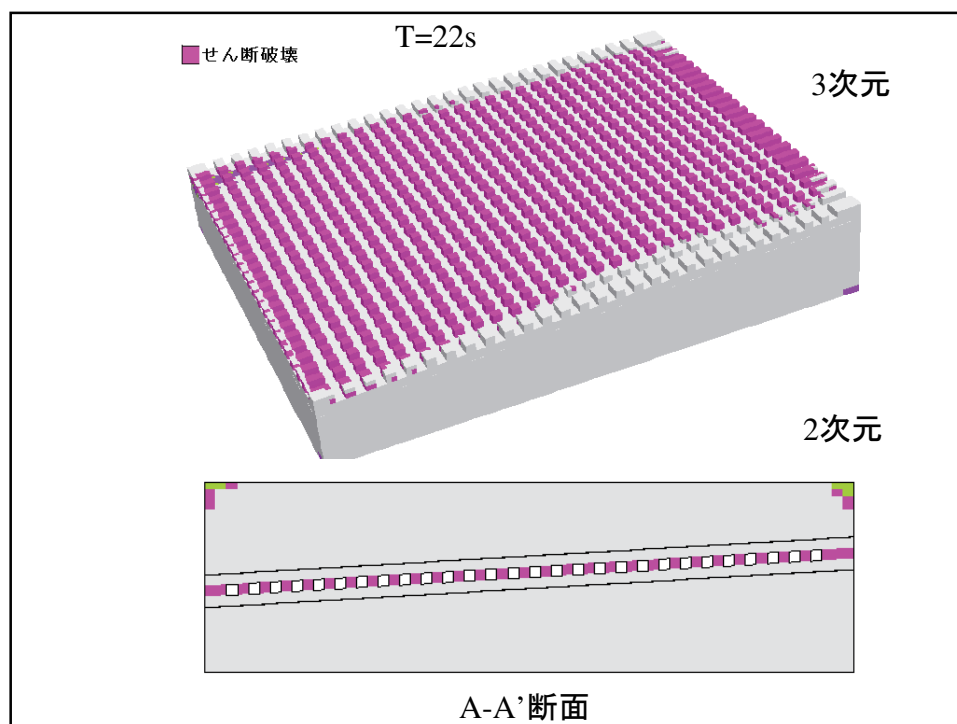
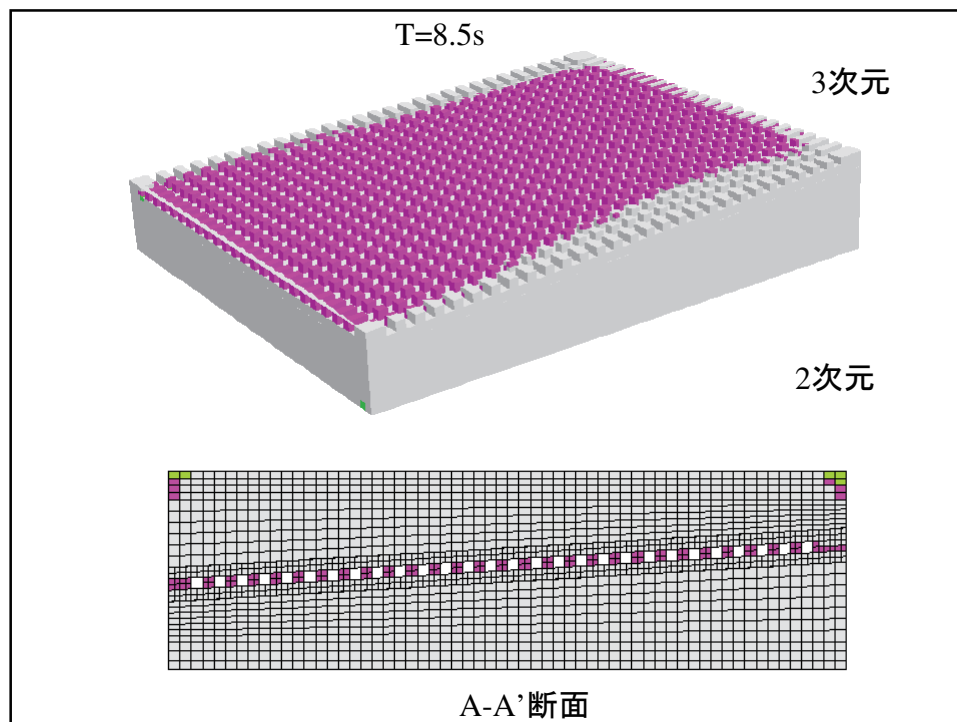
Table 3. Parameters used numerical analyses.

Layer	Vs (m/s)	ρ (kN/m ³)	E (MPa)	Poisson	Damping
Soil	300	19	270	0,35	5
Mst-Sst	500	19	750	0,30	5
Lignite	400	14	400	0,30	5
Mst-Sst	600	19	1073	0,30	5
Chert	1000	19	3647	0,30	5









Three-dimensional Analyses of Abandoned Mine with Flat Ground Adjacent to Cliff

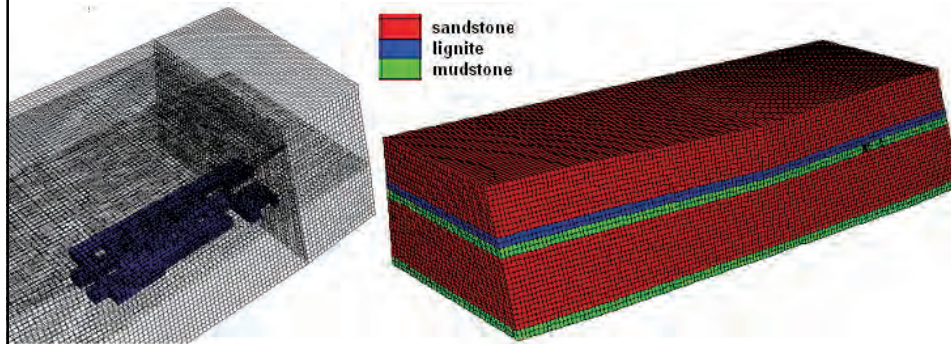
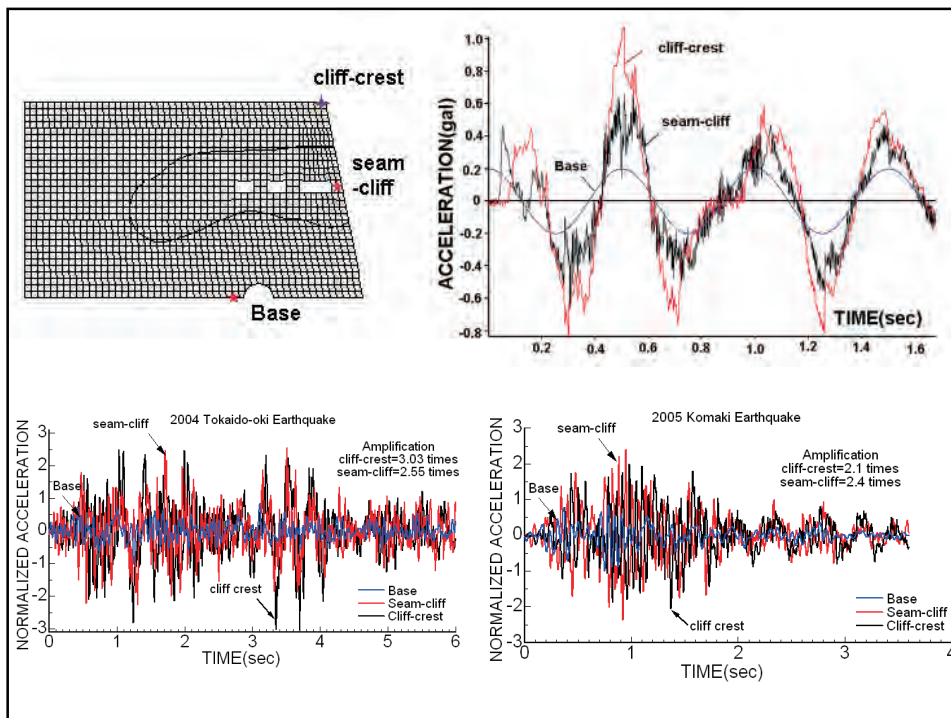


Table 4. Rock material properties used in numerical analyses.

Unit	Unit weight (kN/m ³)	Elastic modulus (MPa)	Shear modulus(MPa)	Damping Ratio (%)
lignite	20	557	229	5
sandstone	20	257	103	5
Mudstone	20	76	30	5



長壁採掘式地域における地震動の増幅解析

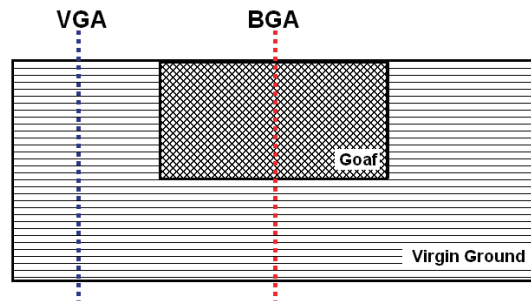
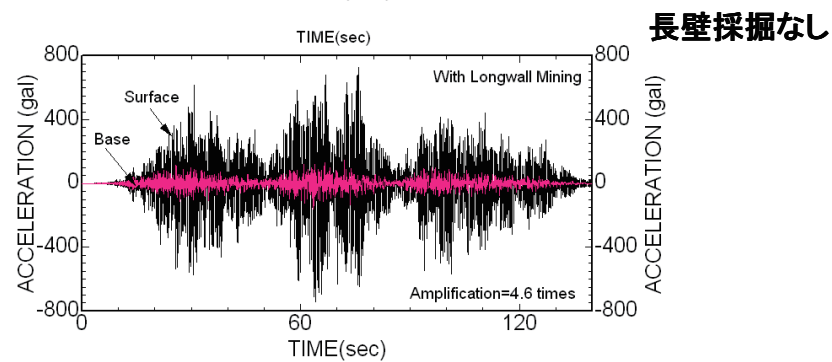
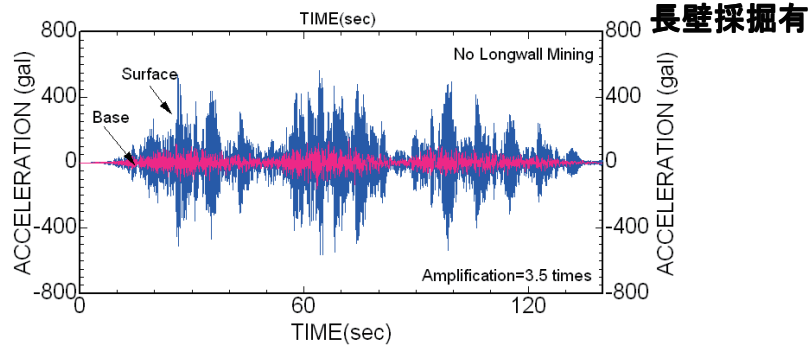
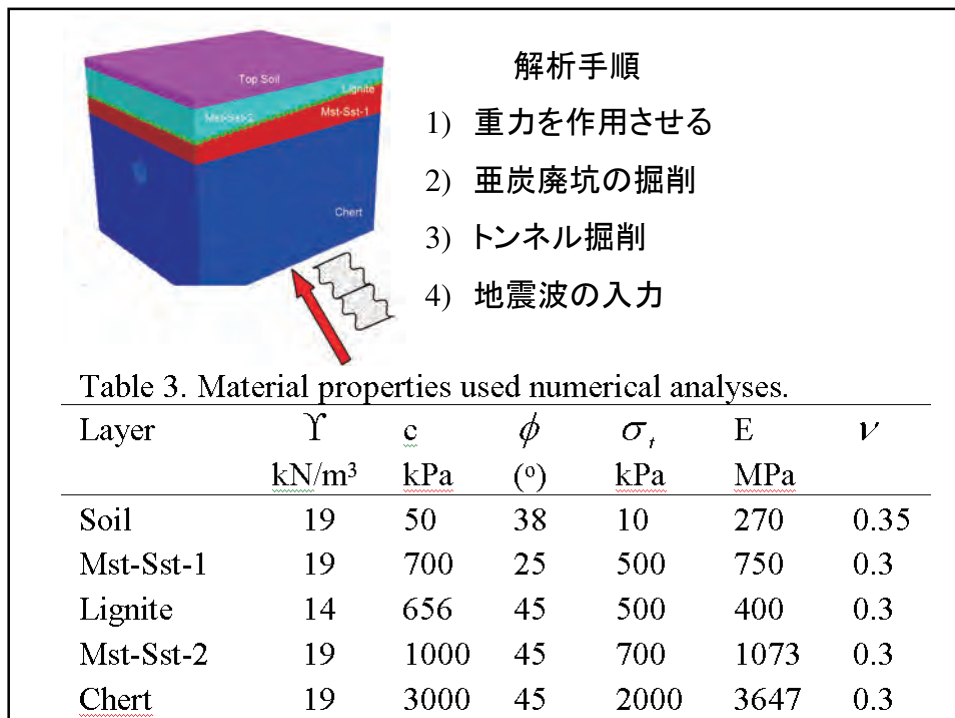
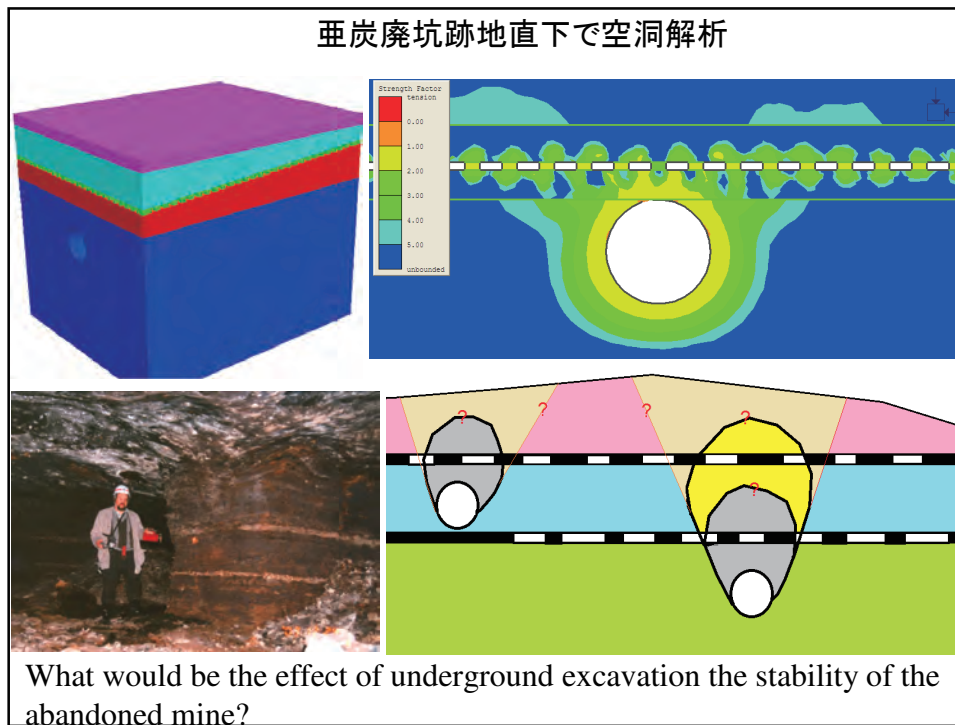
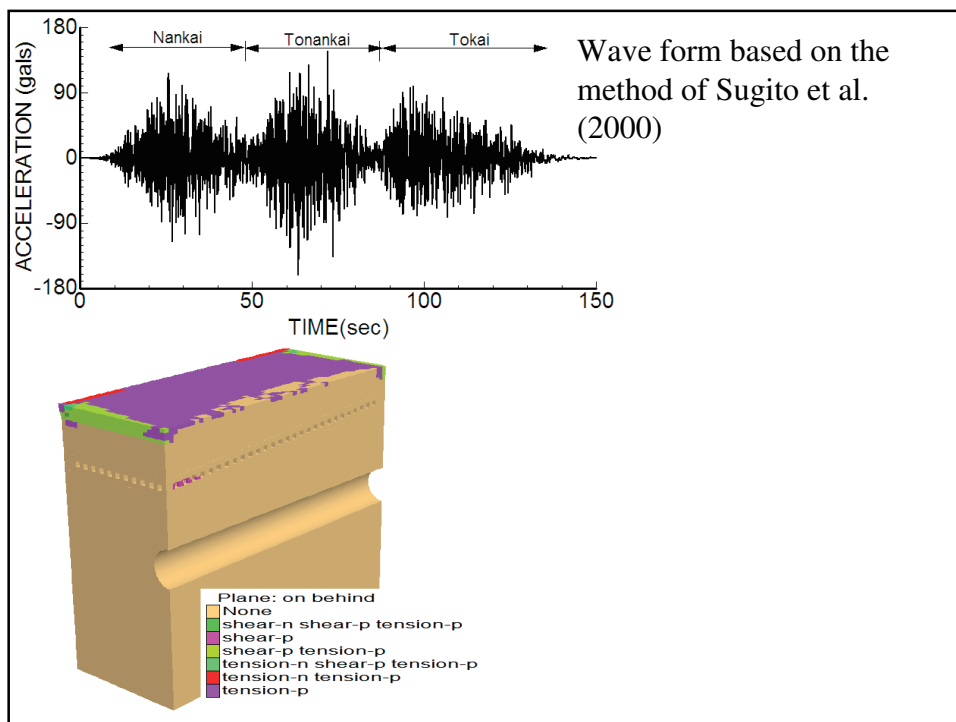
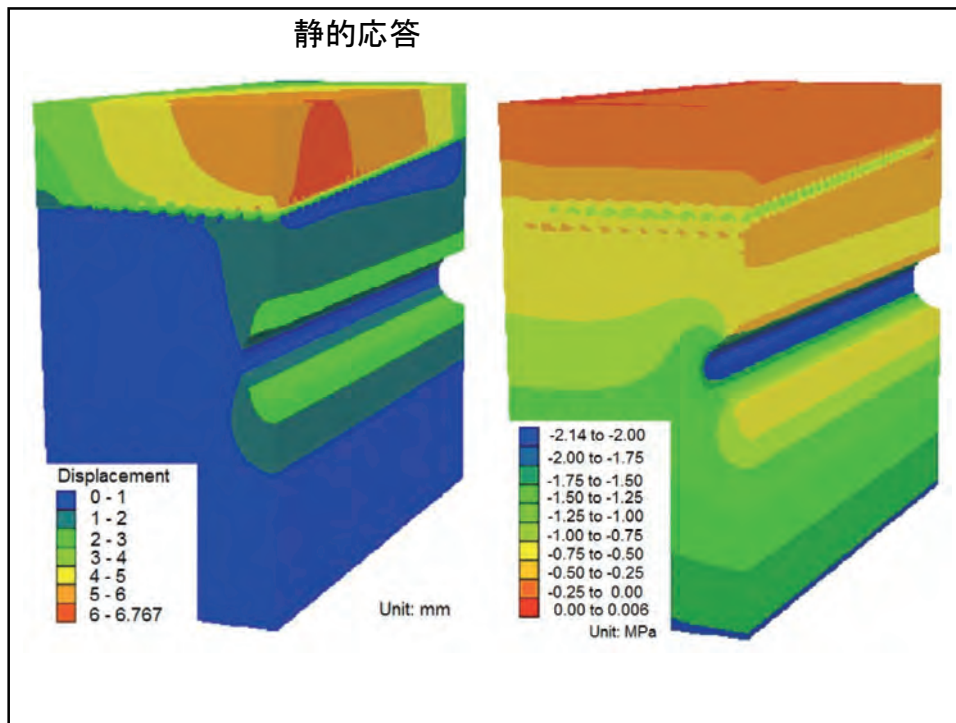


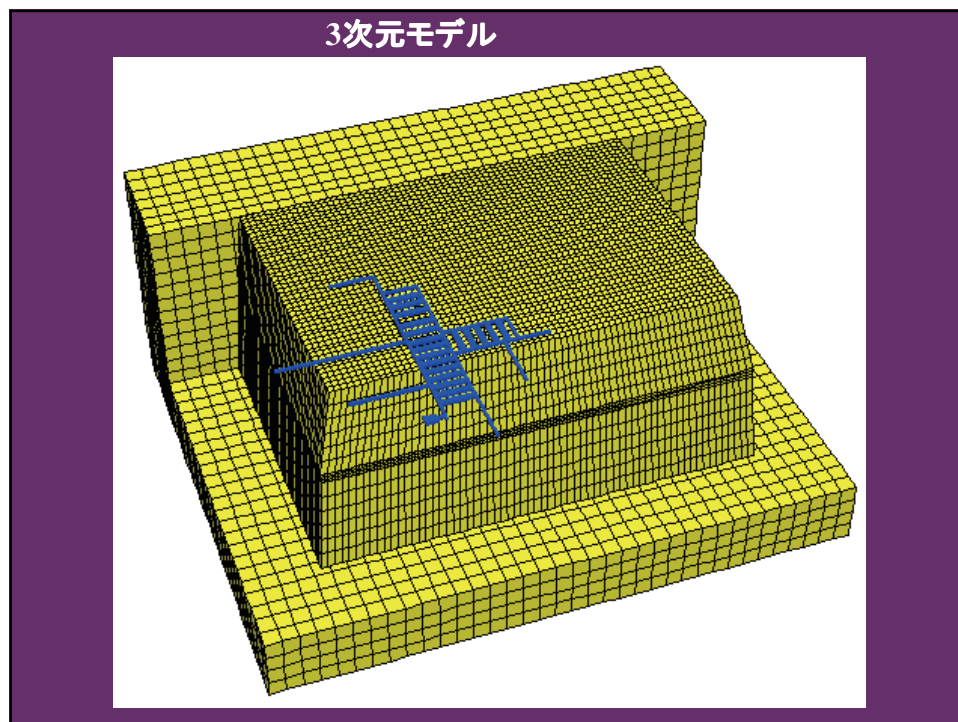
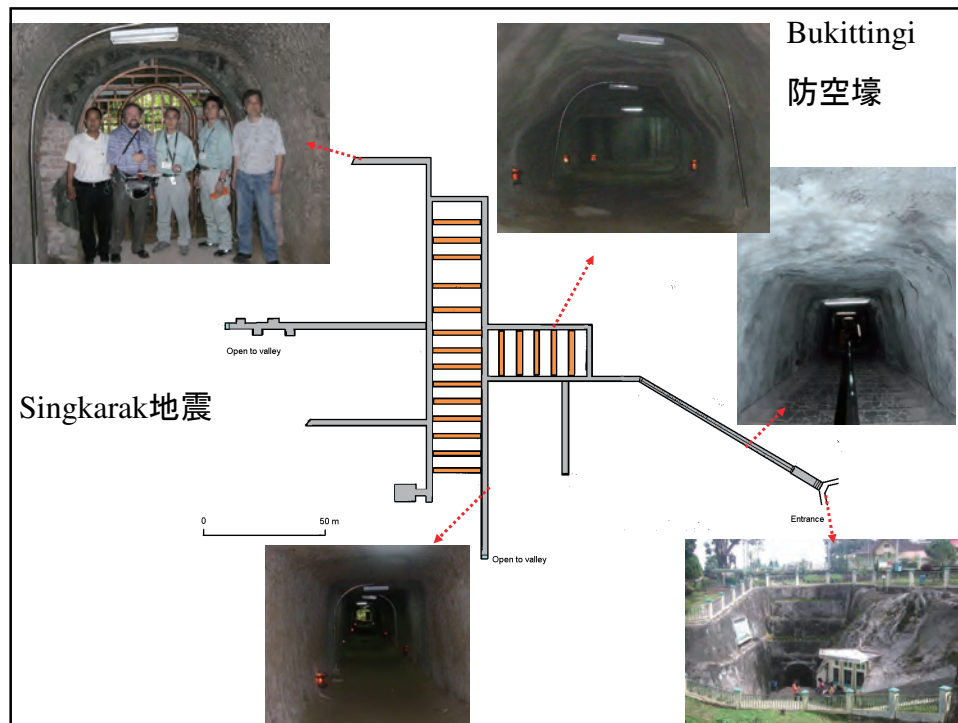
Table 5. Parameters used finite element analyses.

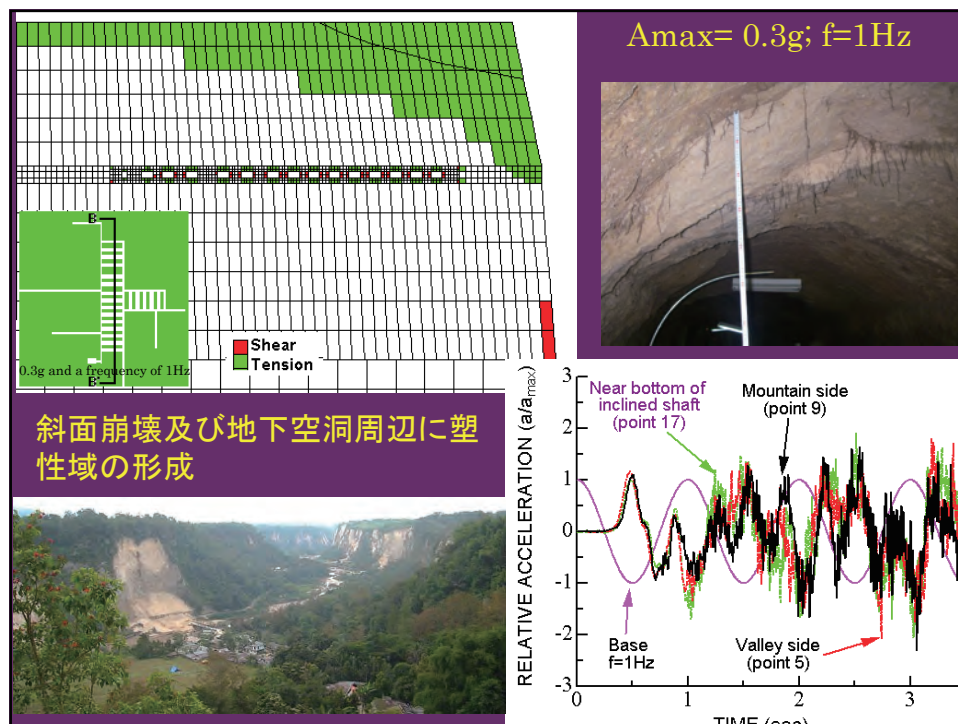
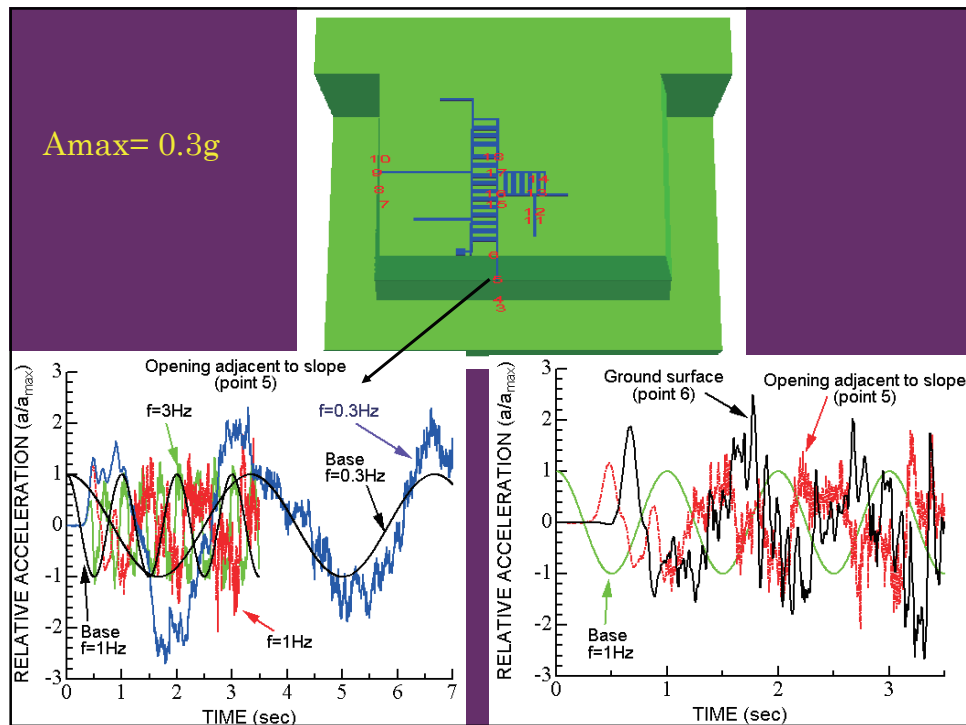
Layers	$(G/\rho)^{1/2}$ (m/s)	η/ρ (m ² /s)	(b/ρ) (m/s ²)
Virgin ground	900	45	25
Goaf	300	15	18



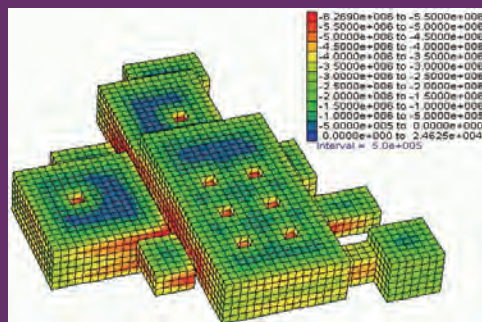
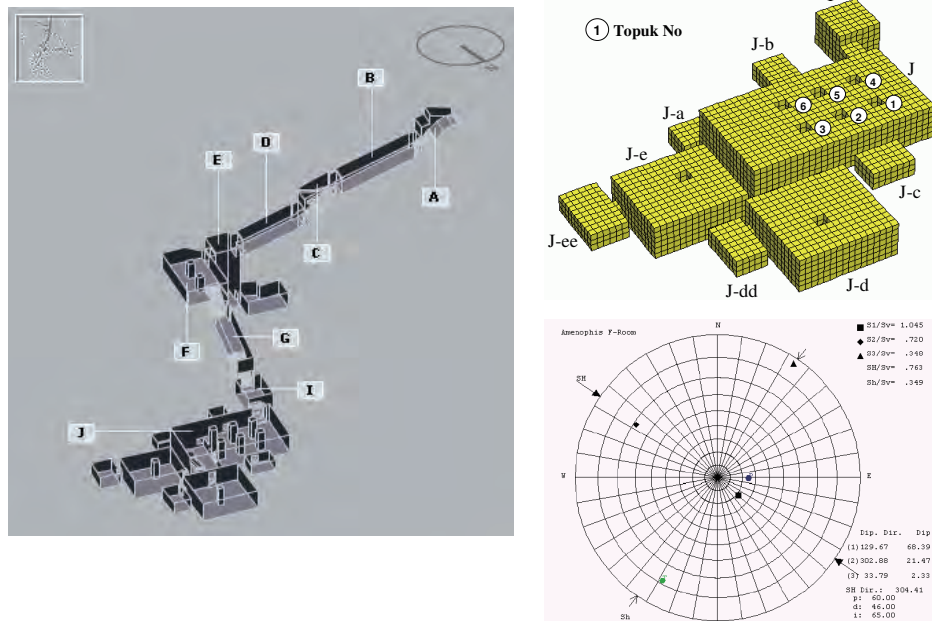




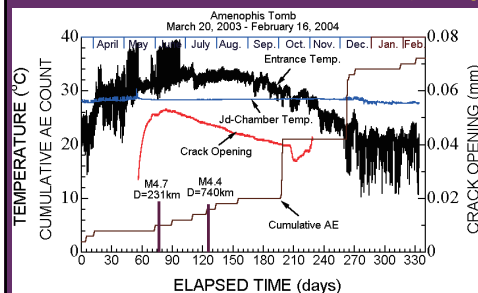
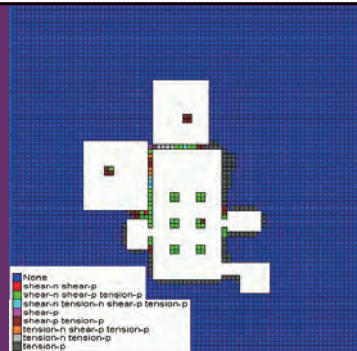




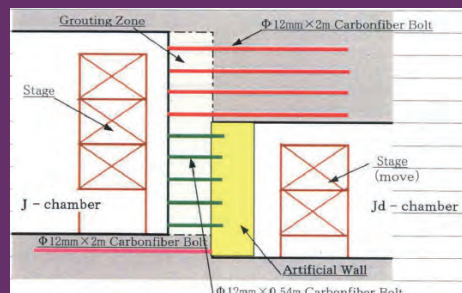
AmenophisIIIの王墓の3次元数値解析



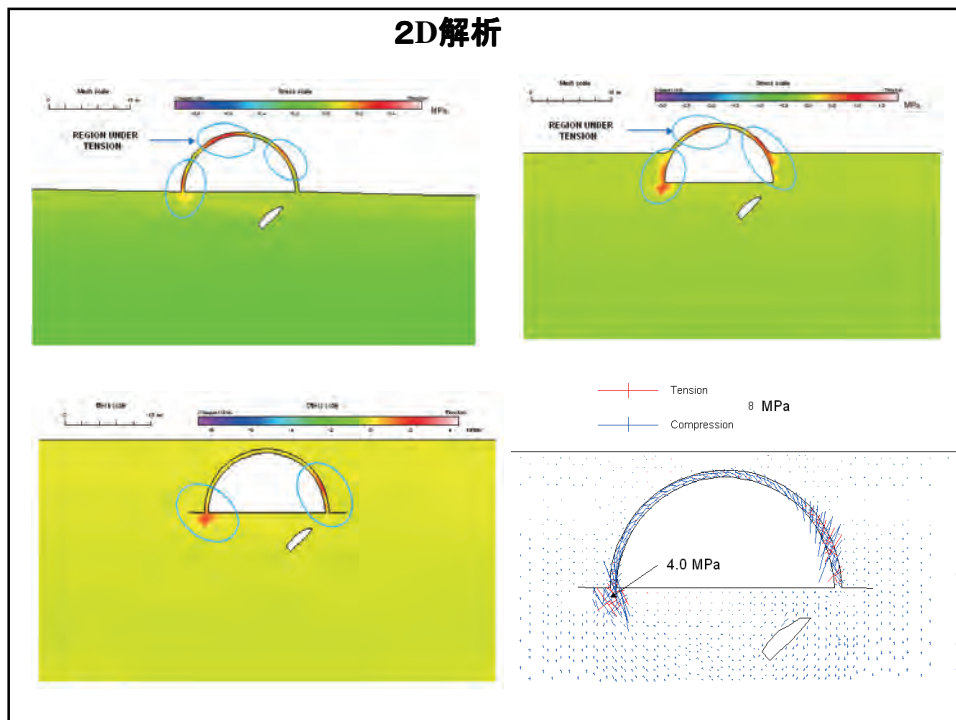
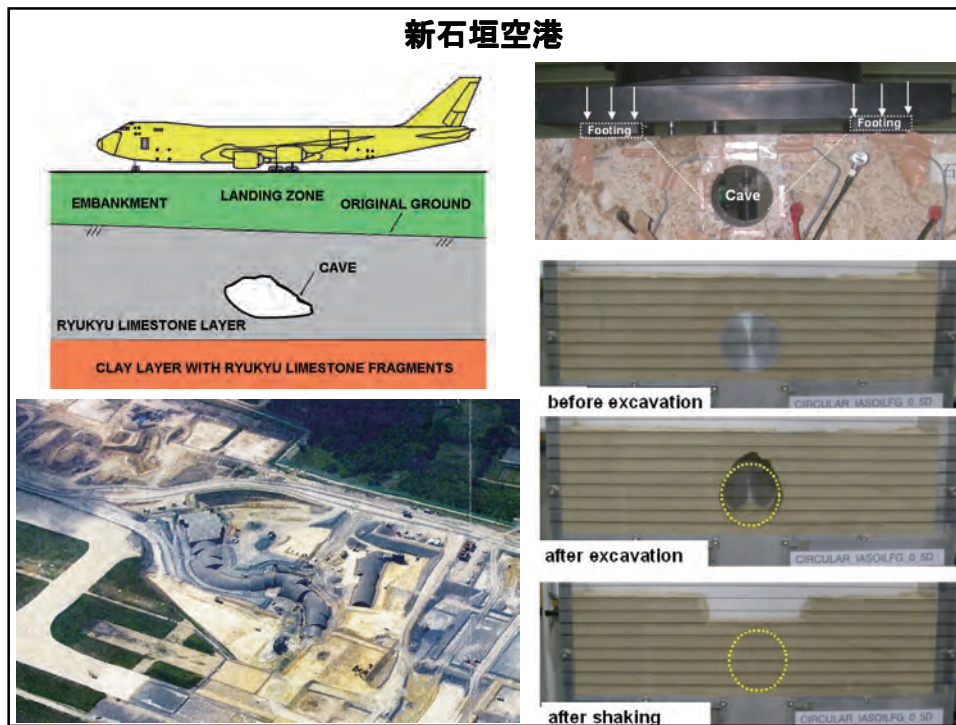
3D 檀塑性数値解析



多重パラメータ計測



補強案



断層運動によるライニングの変形 (FEM)

5 m

10 m

正断層

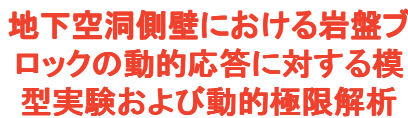
FEM analysis for forced displacement

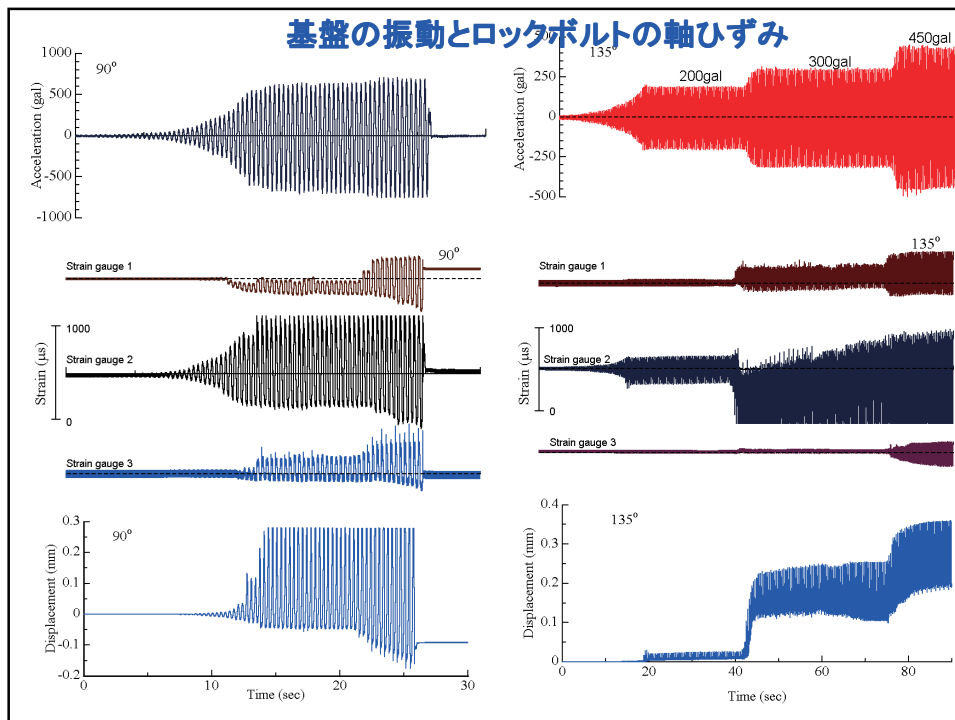
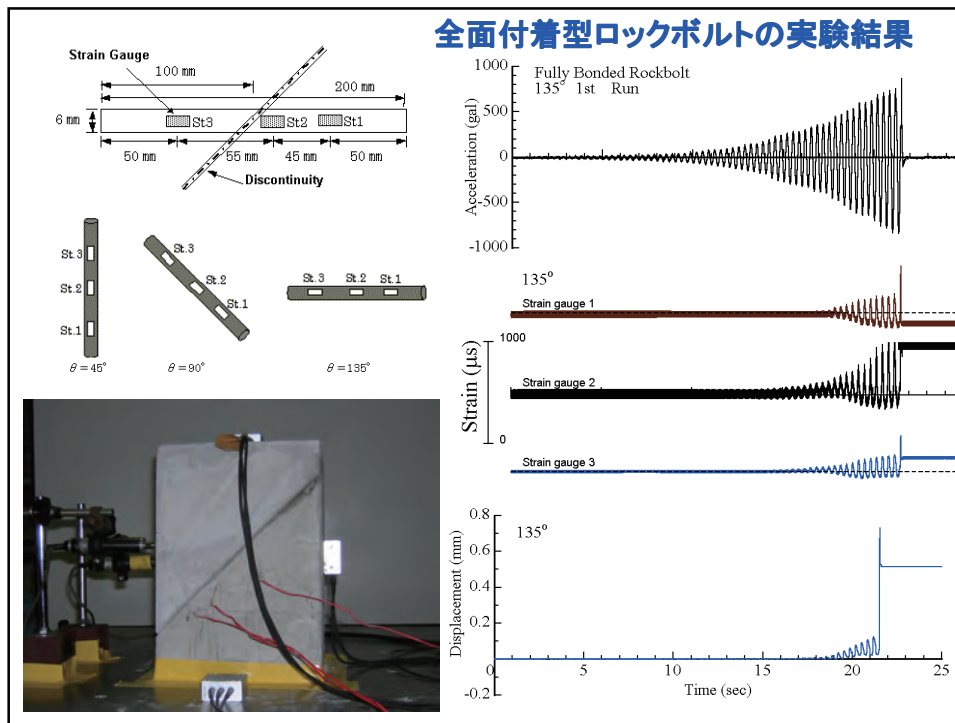
5 m

10 m

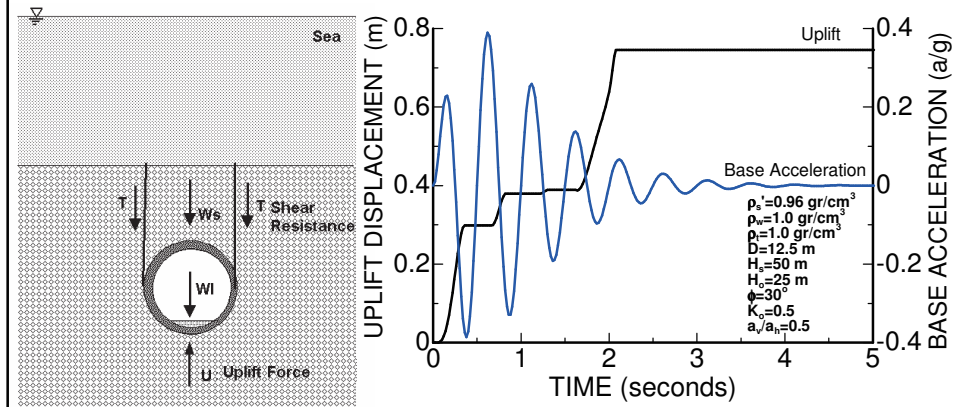
Tunnel lining subjected to thrust faulting

逆断層





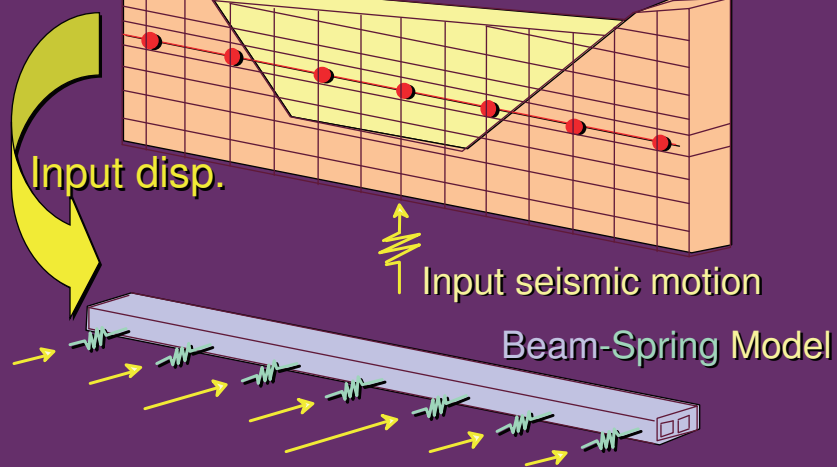
液状化地盤内のトンネルの上昇



To be evaluated using actual ground data and scenario earthquake acceleration records

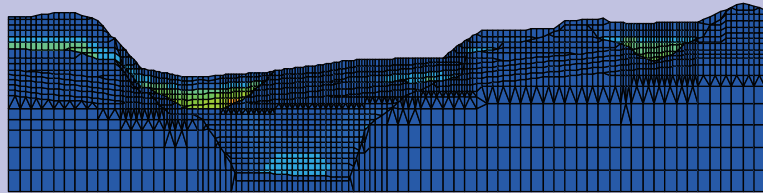
トンネル構造のモデル化

FEM Model

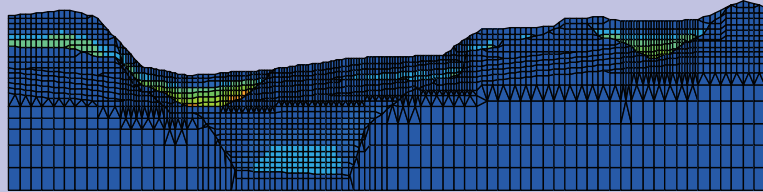


地盤の最大せん断ひずみ

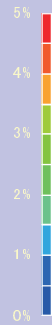
(a) Response due to transverse input motion



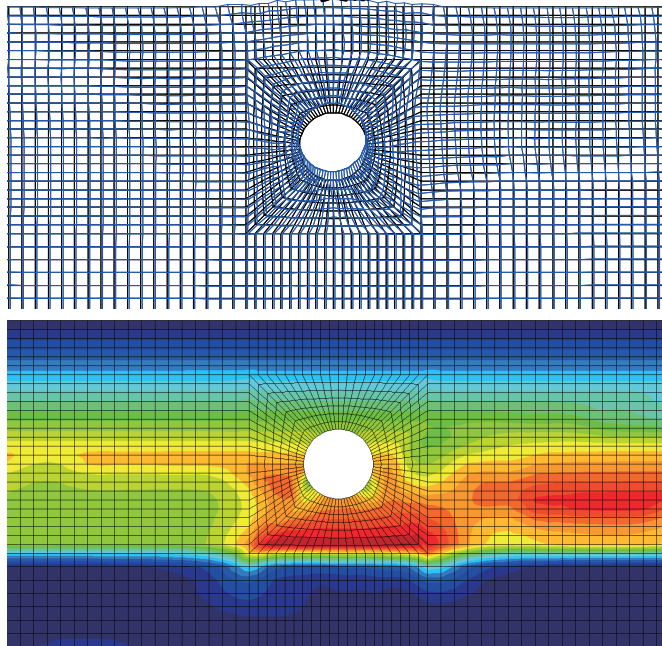
(b) Response due to longitudinal input motion



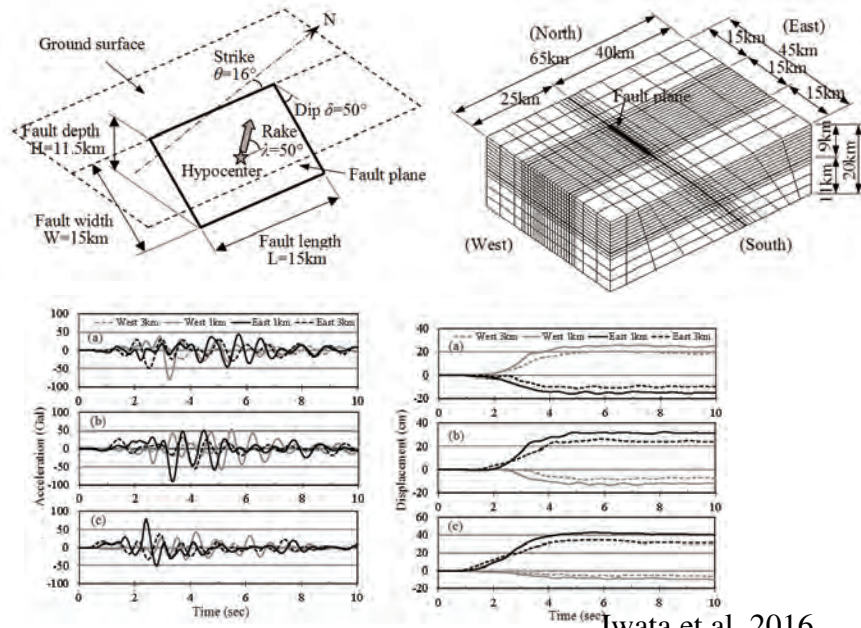
Strain



変形



地震動の影響の評価

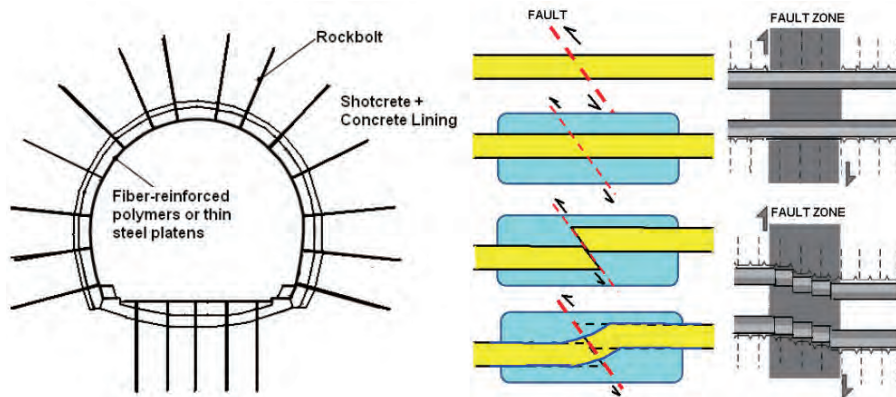


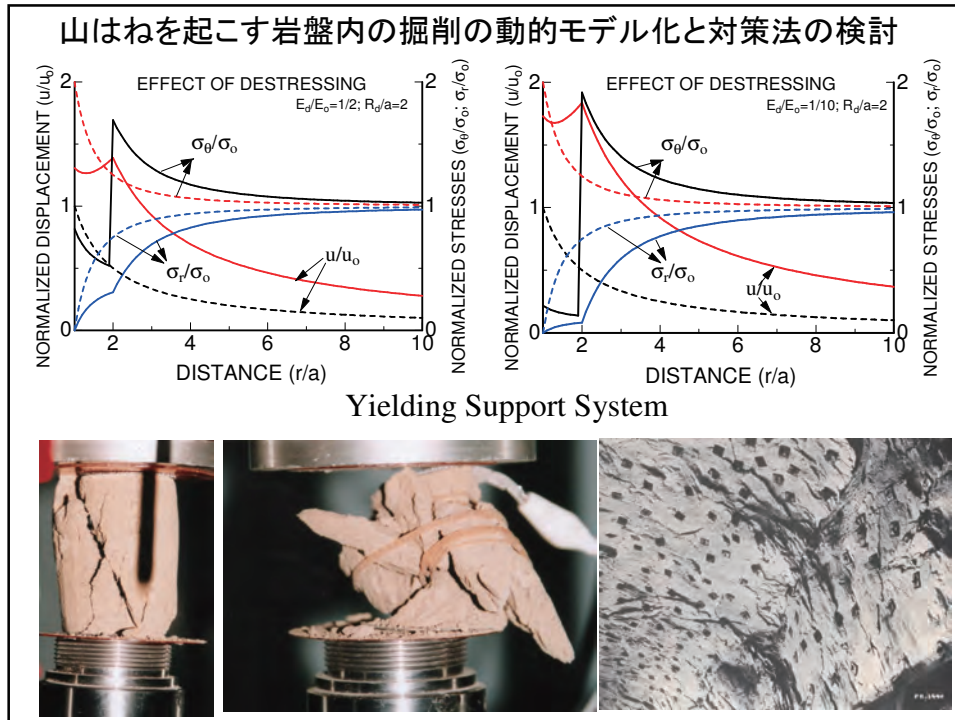
Iwata et al. 2016

地下空洞の耐震補強とその効果の評価

振動による影響が坑口以外はほとんど無視できる。

課題は永久変形である





動解析・液状化分野

MIDAS CONSTRUCTION TECHNICAL DOCUMENT COLLECTION



株式会社マイダスイティジャパン

〒101-0021 東京都千代田区外神田5-3-1 秋葉原OSビル7F

TEL 03-5817-0787 | FAX 03-5817-0784 | e-mail g.support@midasit.com | URL <http://jp.midasuser.com/geotech>

Copyright © Since 1989 MIDAS Information Technology Co., Ltd. All rights reserved.