2016 MIDAS トンネル・開削分野 技術講座資料及び解析事例集 1/2

MIDAS

Global Leader in Providing Engineering Solutions & Services

MIDAS ITは世界の技術者を支援します

世界 構造解析分野市場占有率1位(midas Gen/iGen)

韓国 建築分野/土木分野/地盤分野CAEソフト占有率1位

中国 土木/地盤構造解析分野市場占有率1位 (midas Civil, midas GTS)

建設業界	No.1	現地法人	8
海外代理店	35	使用国	110

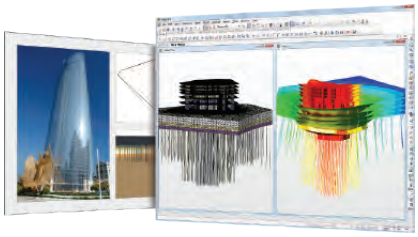
About MIDAS IT

MIDAS ITは、工学技術用ソフトウェア開発および普及、そして構造分野のエンジニアリングサービスとウェブビジネス統合ソリューションを提供する会社です。
2000年9月に設立、現在は約600名のグローバル専門技術者が在籍し、日本、アメリカ、中国、インド、ロシア、イギリス、ドバイ、シンガポールの現地法人や35ヶ国の代理店など、全世界ネットワークを通し、110ヶ国に工学技術用ソフトウェアを販売する世界的な企業として成長しました。

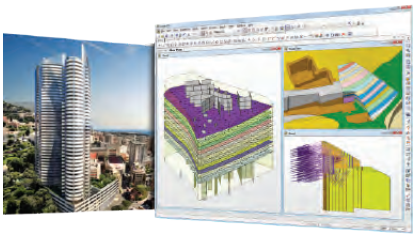
また、技術者の皆様の技術力向上のために各分野別に技術講座を実施しており、今後もこのような技術講座を定期的に開催していきたいと考えております。

このようなセミナーに是非ともご参加頂けますようお願い申し上げます。

Dubai Tower



Palazzo Versace & D1 Tower



Odeon Tower

2016
MIDAS
トンネル・開削分野
技術講座資料及び解析事例集 1/2

01 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 03-60
琉球大学 工学部 環境建設工学科　藍檀 オメル 教授

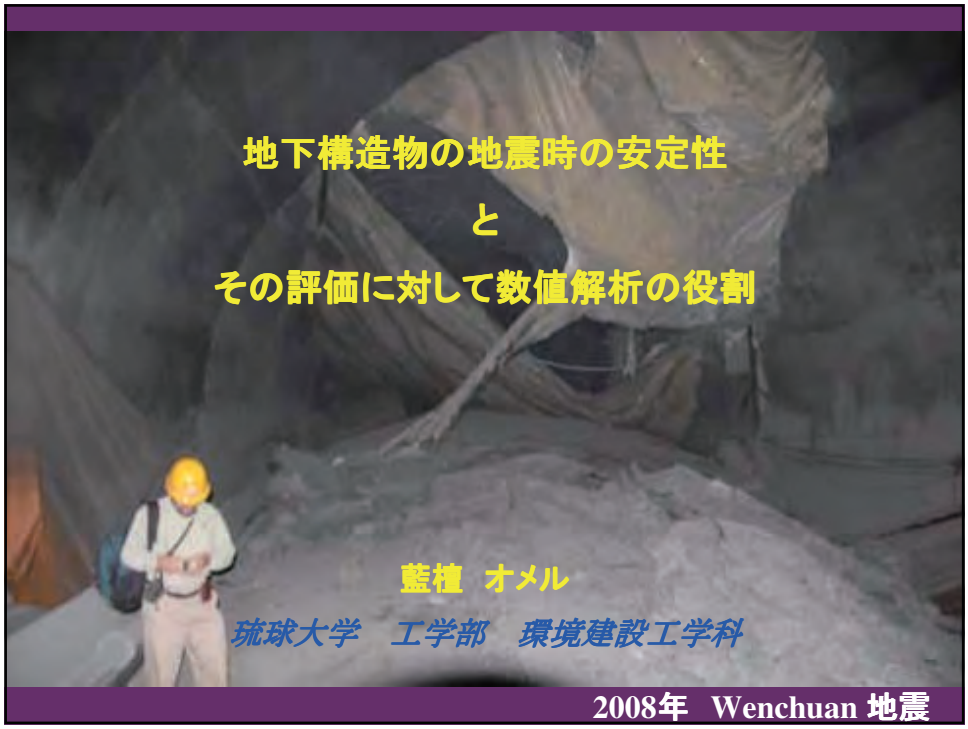
02 3次元 FEM解析（トンネル掘削問題） 61-82
株式会社フジタ　池内 正明 様

03 避難連絡坑を考慮したトンネル 3次元解析モデル 83-102
株式会社フジタ　徳永 高志 様

04 作業用横坑より本線トンネルを施工する際の施工過程の応力変形解析 103-115
株式会社クレアテック　鈴木 崇史 様

01 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 工学部 環境建設工学科　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

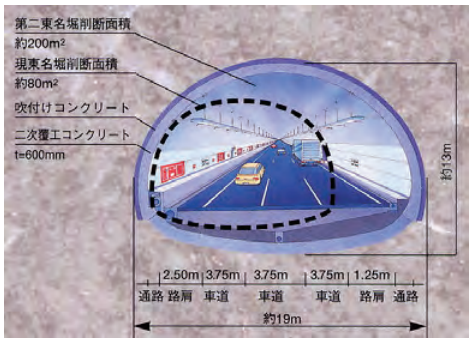
7）今後の課題

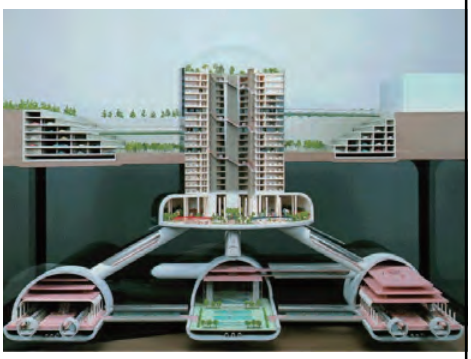
地下構造物は何か

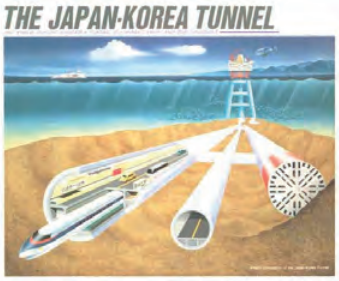
- トンネル
- 地下発電所
- シェルター
- 石油・天然ガスの貯蔵
- 工場
- 放射性廃棄物の地層処分

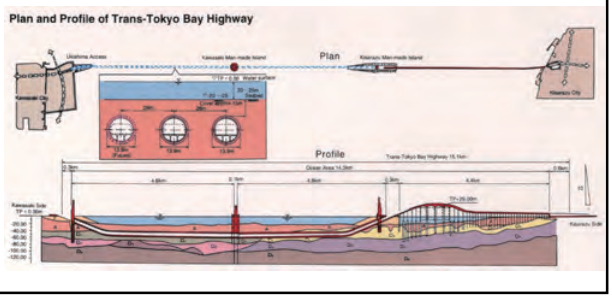
スポツホール・プール・会議場・レストラン

トンネル（鉄道、道路、水道、地下鉄）

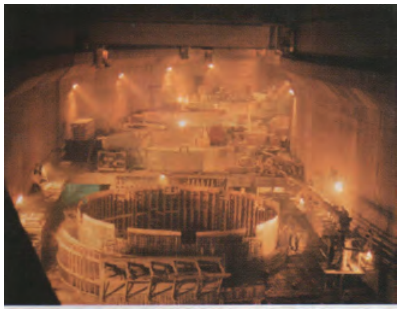


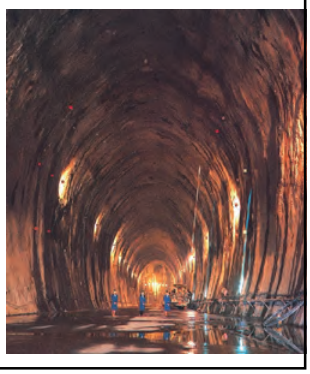


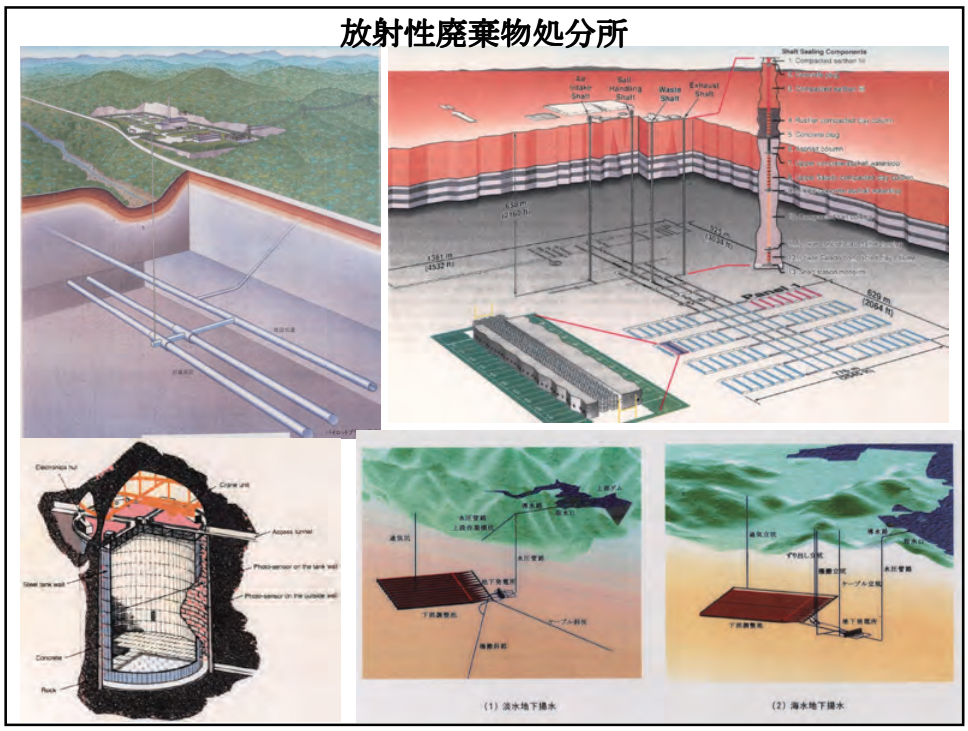




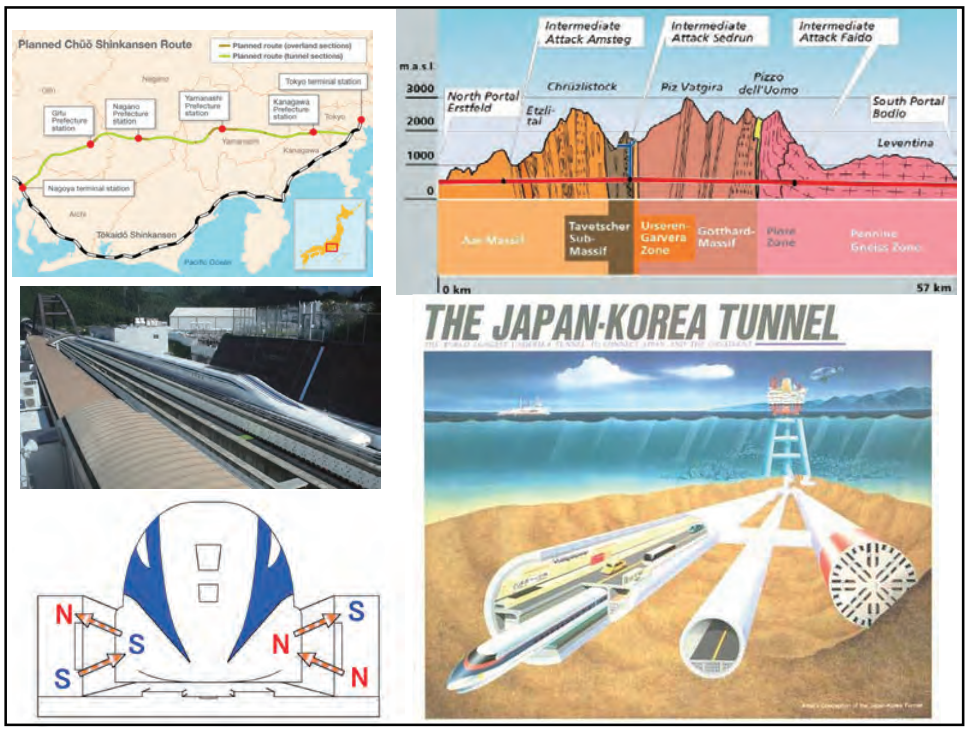
地下空洞（発電所、貯蔵（石油、ガス）、洪水制御地下タンク、放射性廃棄物処分所）



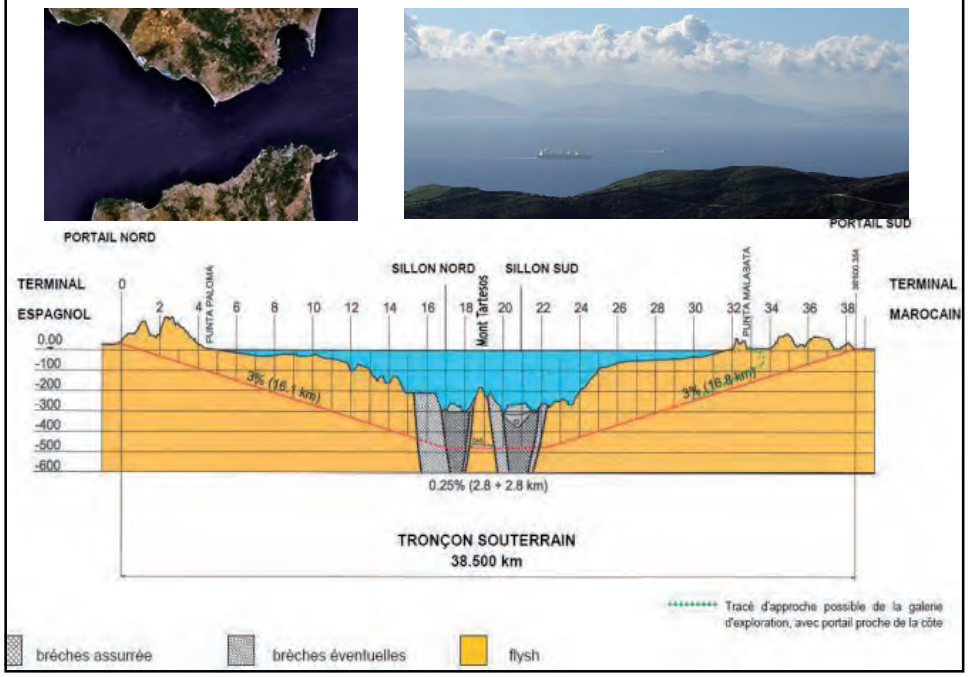




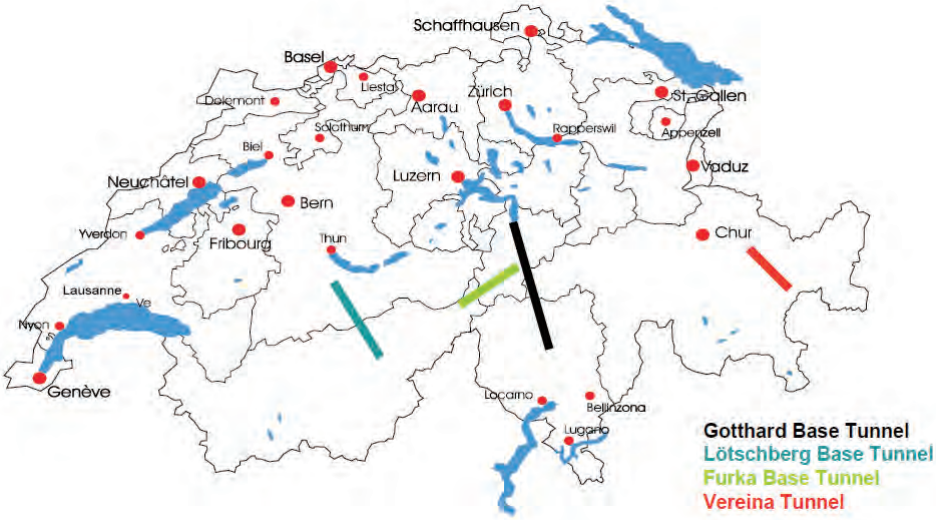
2） 近年地下構造物の動向



Gibraltar海峡トンネル

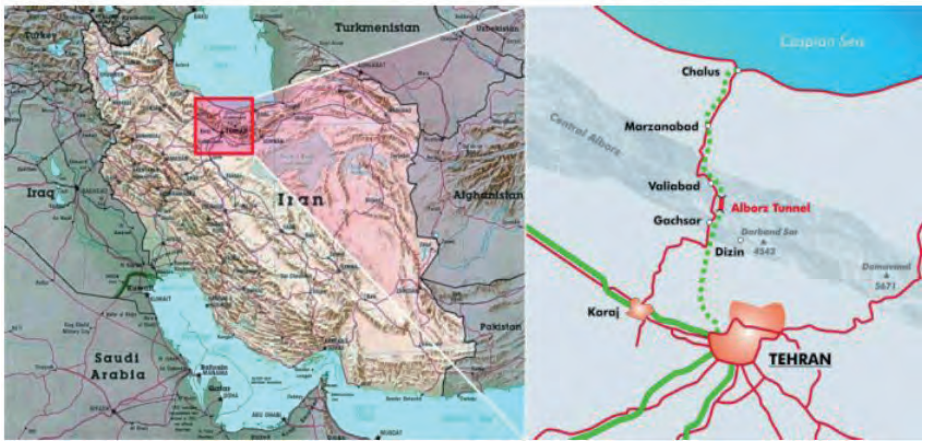


スイス(Gothard, Lotscberg Base Tunnels)



イラン

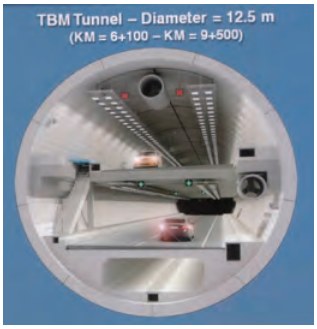
(Alborz Base Tunnel)



Qomroud Long Tunnel, Nosoud Tunnel)

トルコ

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

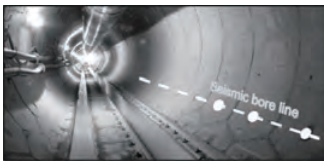


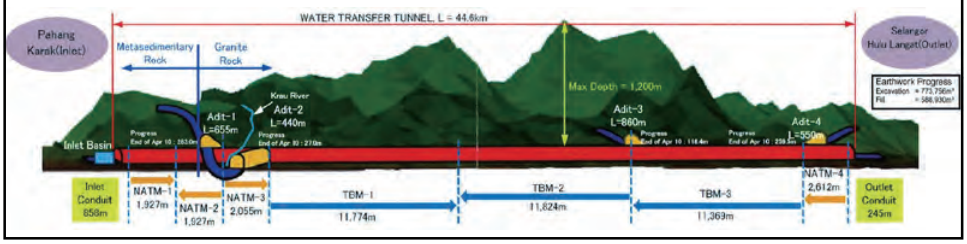
マレシア（Pahang-Selangor Water Transfer Project)

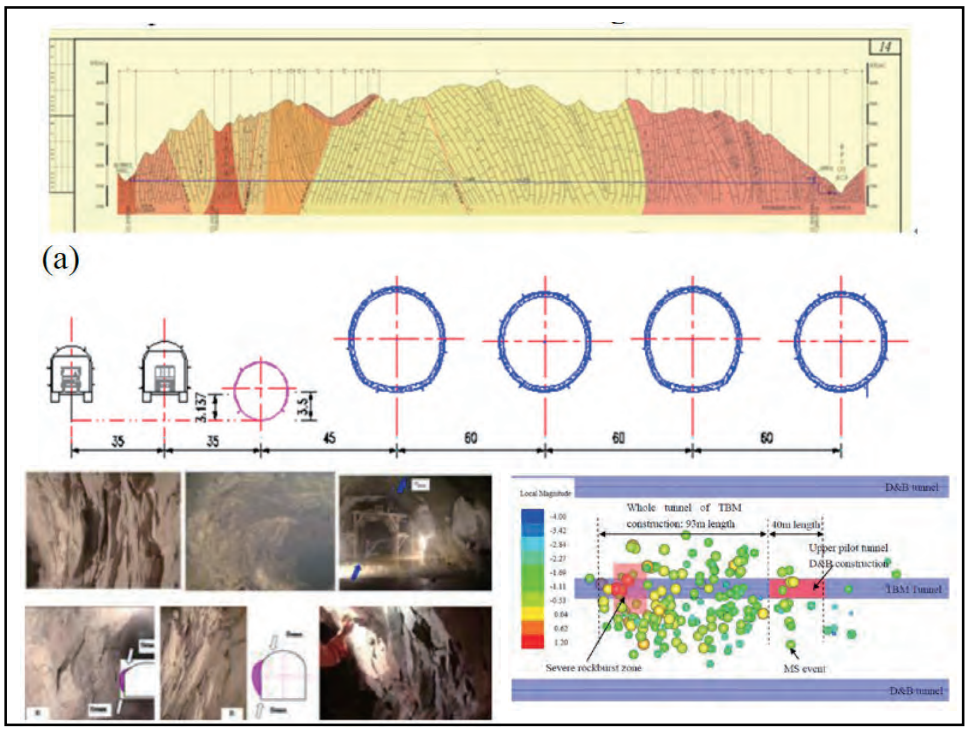
清水：西松JV

長さ：44.6km

最大土かぶり：1200m



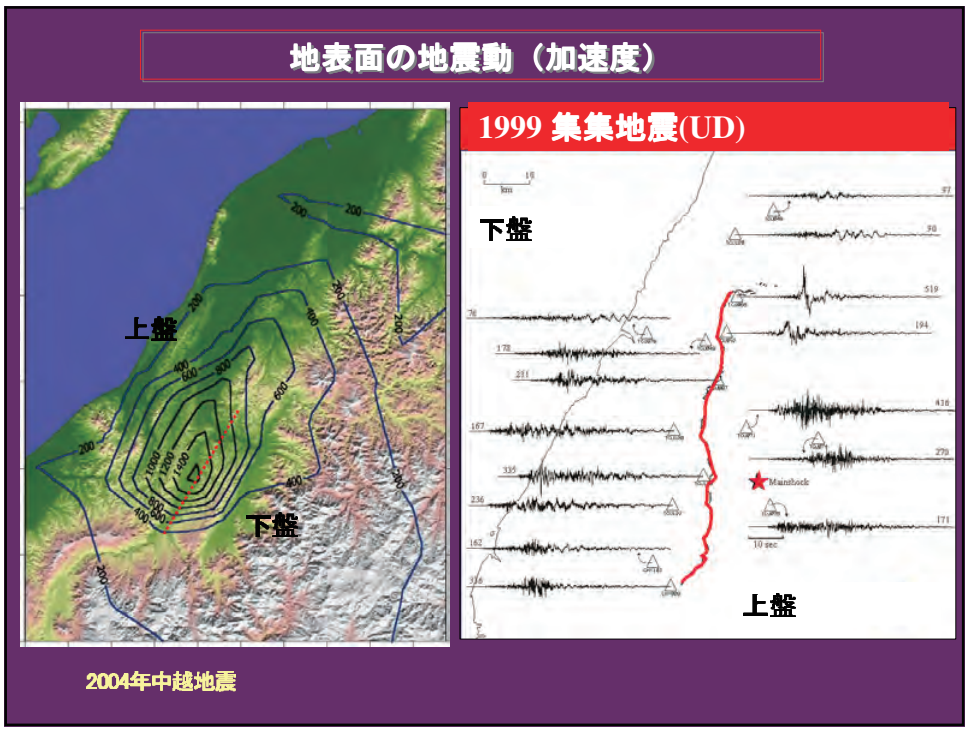


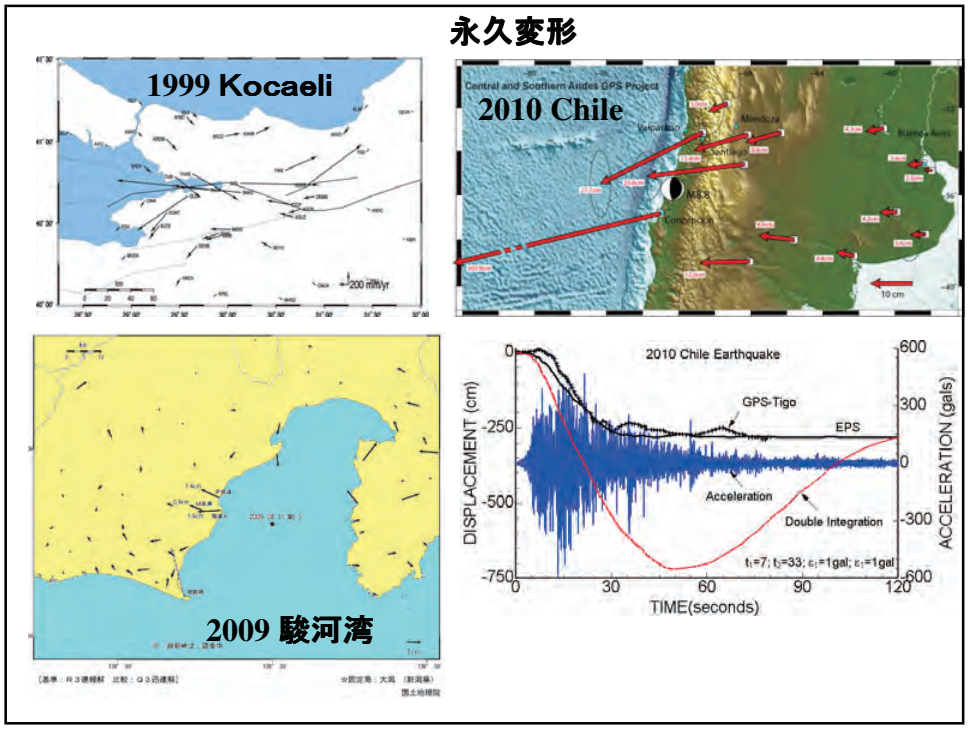


地震の構造物の影響および

地下と地上における地震動

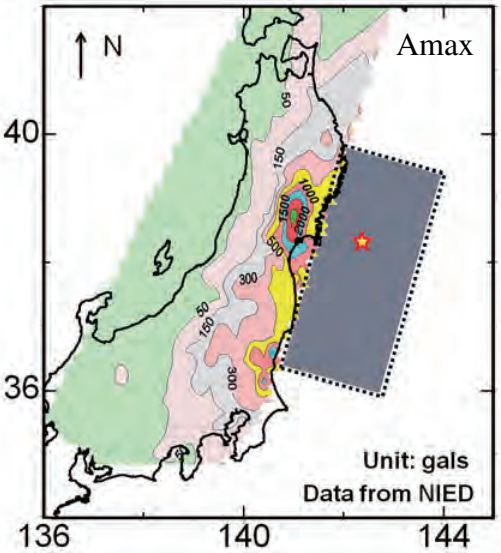
1) 振動、増幅、断層の上盤・下盤の影響
2) 永久変形・ひずみの影響
   断層運動
   地盤の変状（傾斜地盤）
   液状化


地表面の地震動（加速度）
1999 集集地震(UD)
上盤
下盤
下盤
上盤
2004年中越地震

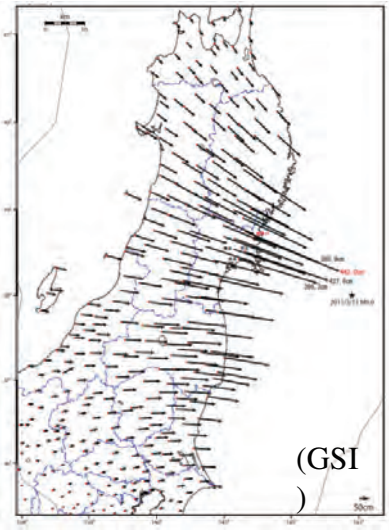

永久変形
1999 Kocaeli
2010 Chile
2009 駿河湾
2010 Chile Earthquake
GPS-Tigo
EPS
Acceleration
Double Integration
DISPLACEMENT (cm)
ACCELERATION (gals)
TIME(seconds)

2011 東日本大震災

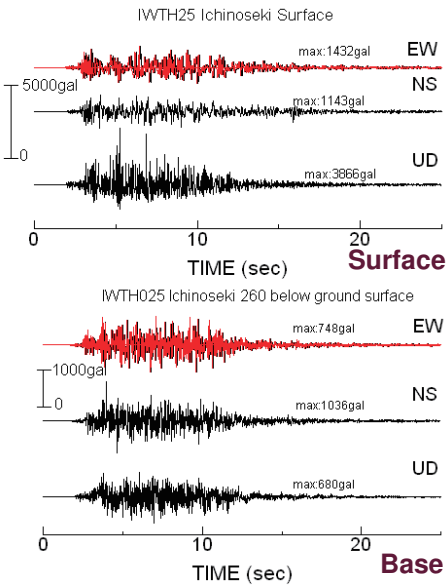
最大加速度

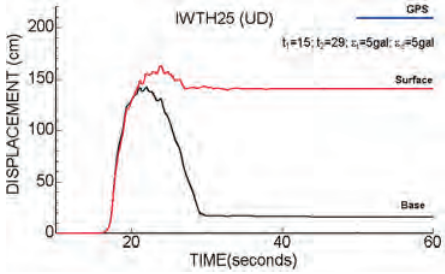


永久変形



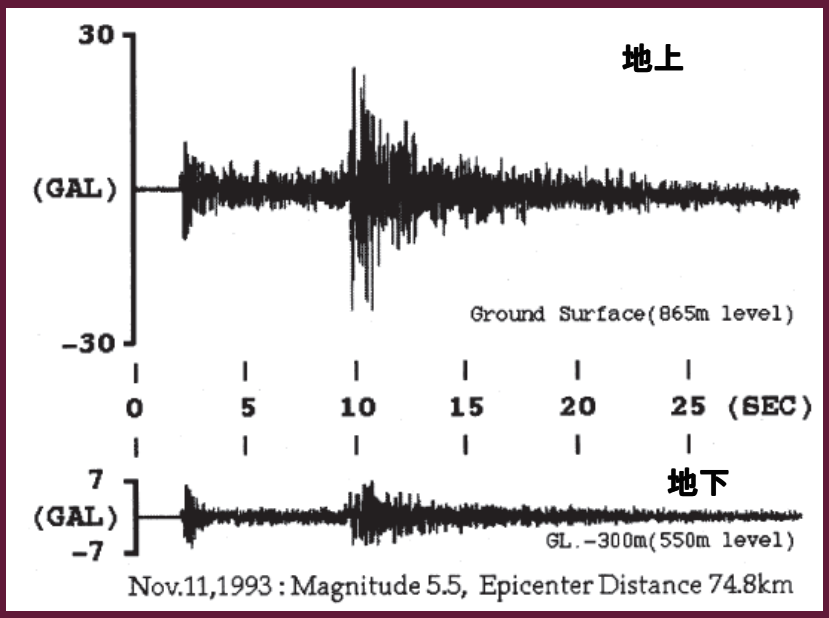
2008 岩手・宮城内陸地震



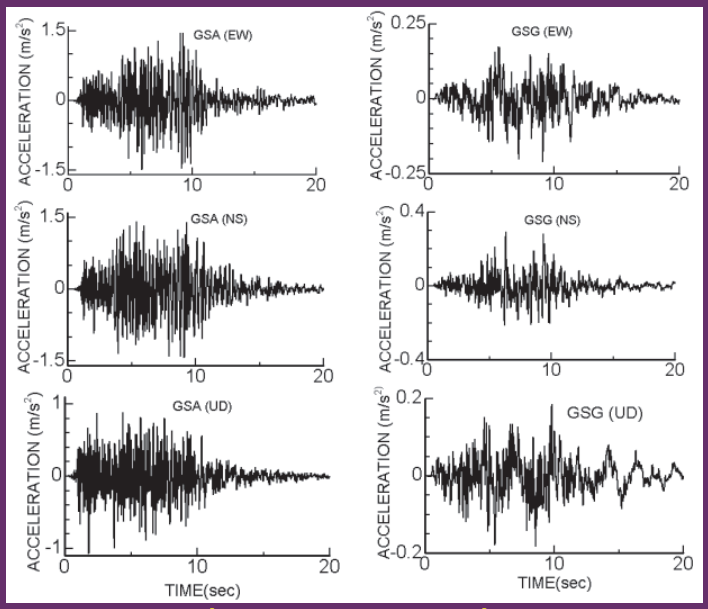


振動および永久変形を変形を考慮すべき。振動のみは不十分

釜石地下実験場



増幅



地上　　地下

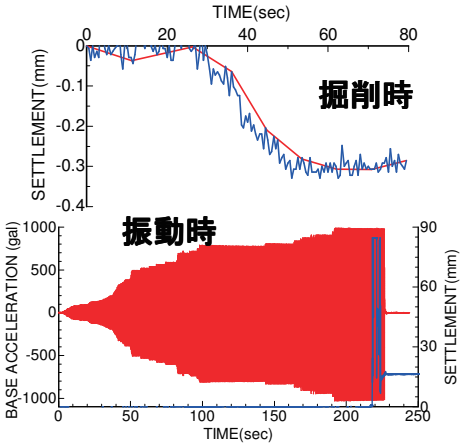
2009 L'Aquila地震

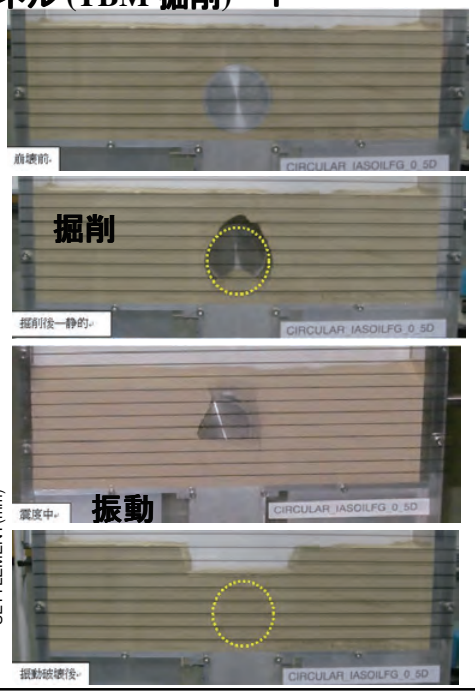
地震による地下構造物の被害

1）室内模型実験

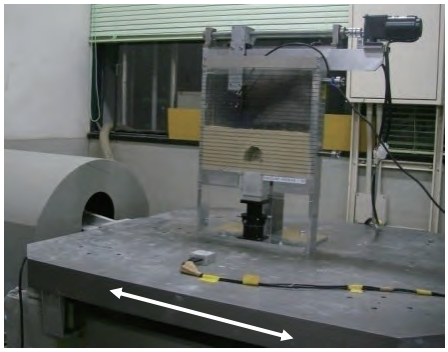
2）国内外の被害例

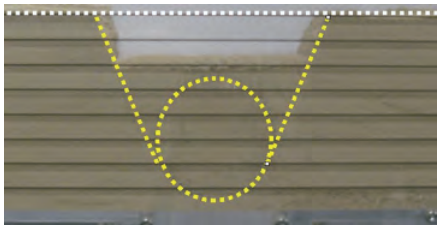
地盤内の円形トンネル (TBM 掘削)－1

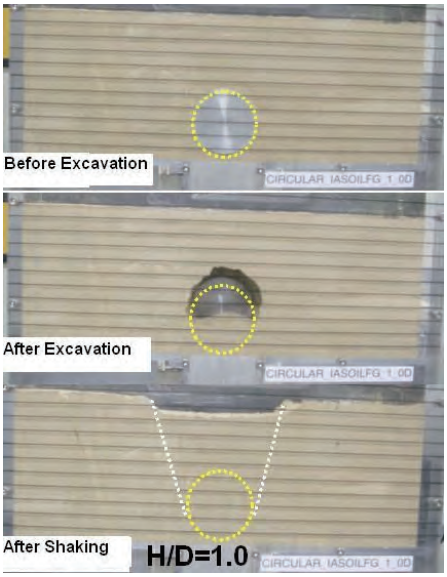




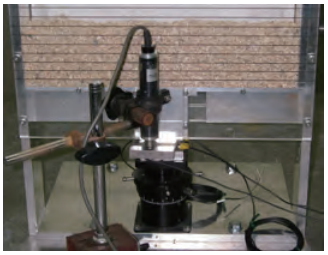
地盤内の円形トンネル (TBM 掘削)－2

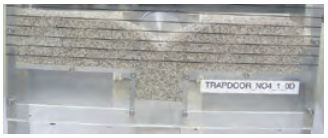


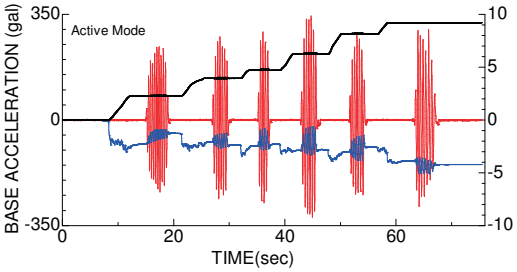


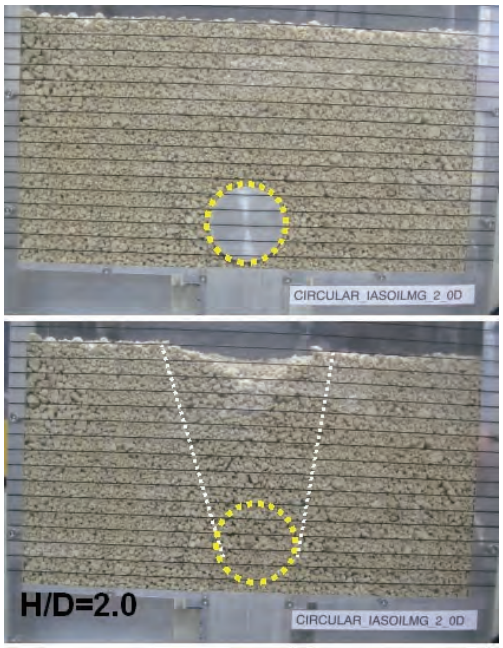


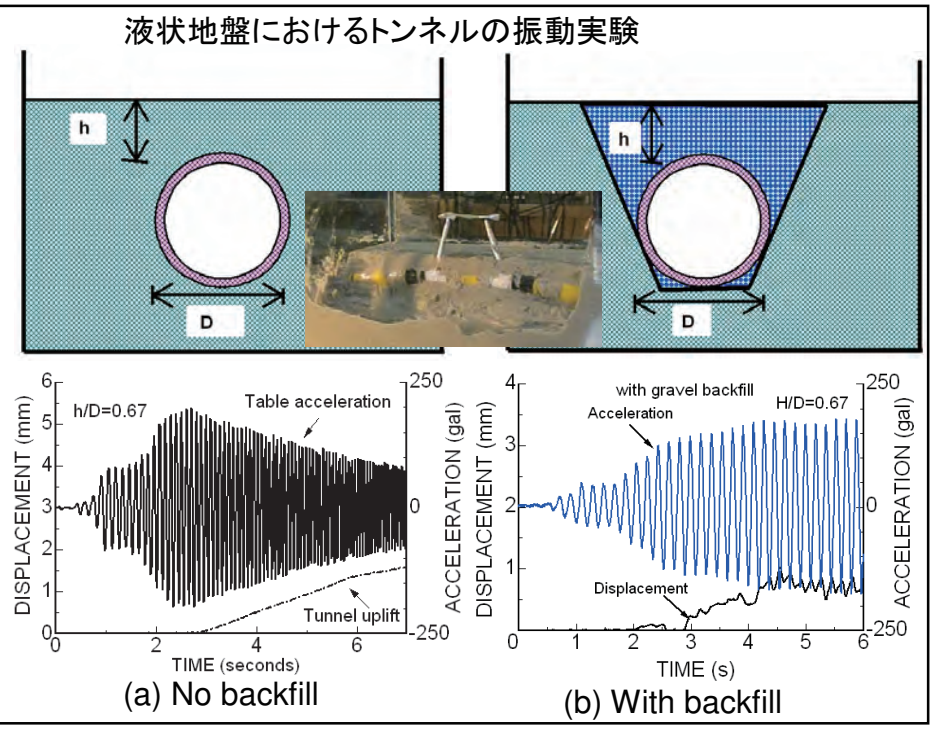
動的おとし戸実験



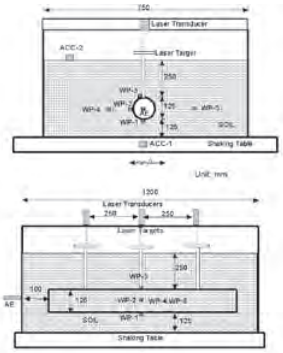




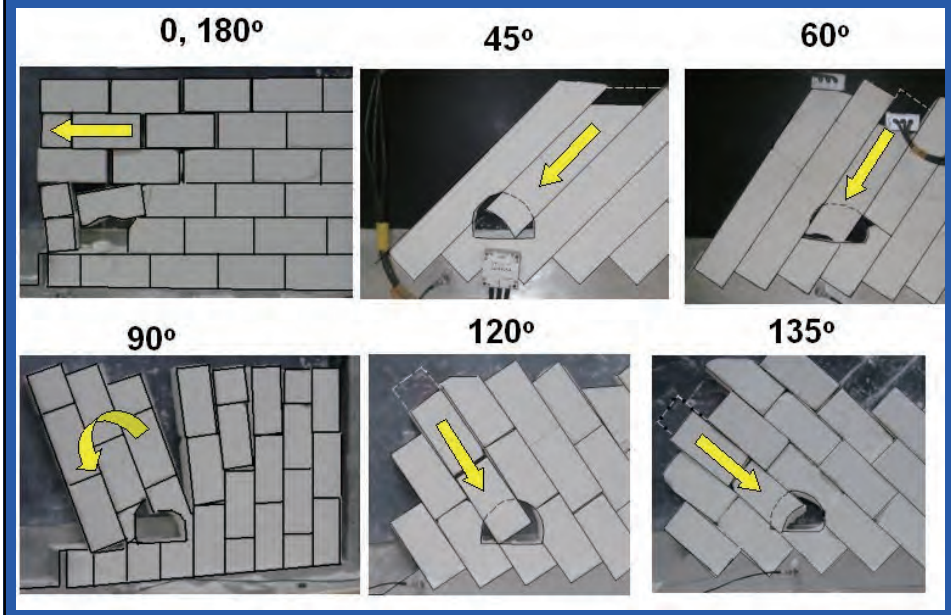

CIRCULAR_IASOILMG_2_0D
H/D=2.0
CIRCULAR_IASOILMG_2_0D


液状地盤におけるトンネルの振動実験
h
D
h
D
h/D=0.67
Table acceleration
Tunnel uplift
DISPLACEMENT (mm)
ACCELERATION (gal)
TIME (seconds)
(a) No backfill
with gravel backfill
Acceleration
H/D=0.67
Displacement
DISPLACEMENT (mm)
ACCELERATION (gal)
TIME (s)
(b) With backfill

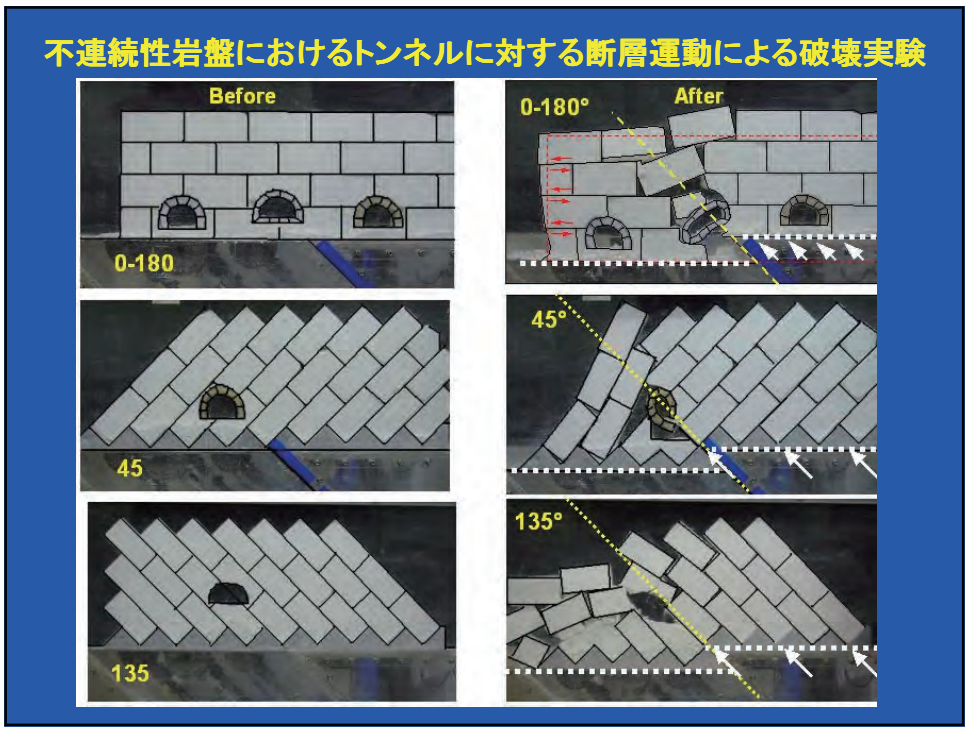
液状化可能地盤のトンネル

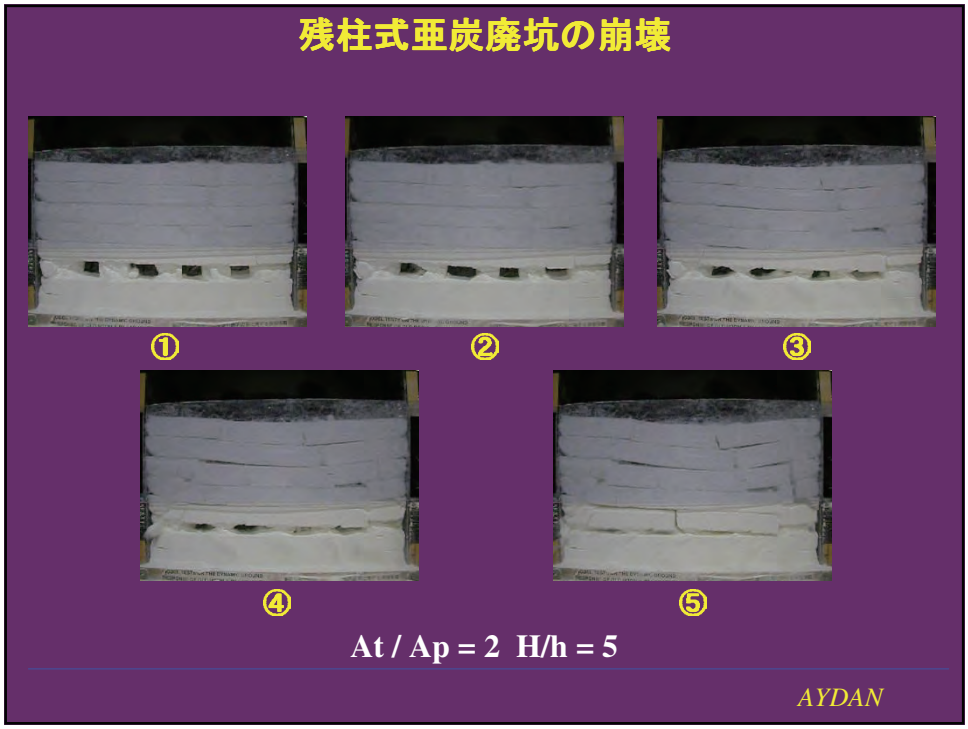


不連続性岩盤におけるトンネルに対する振動実験



不連続面の分布状況によって破壊パターンが異なる

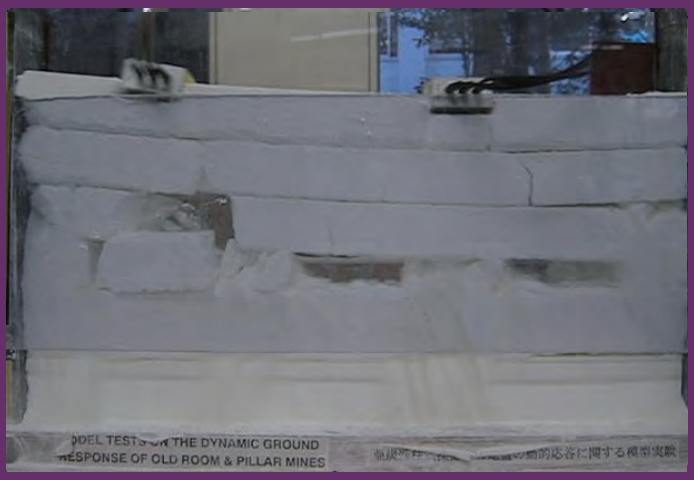

不連続性岩盤におけるトンネルに対する断層運動による破壊実験
Before
0-180
0-180°
After
45
45°
135
135°


残柱式亜炭廃坑の崩壊
①
②
③
④
⑤
At / Ap = 2 H/h = 5
AYDAN

実験結果　模型の破壊状況①

At/Ap=2 , H/h=5 , α=9.64

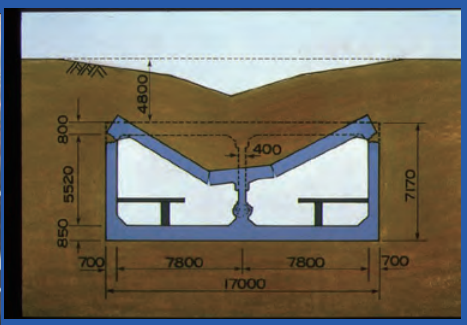
実験結果　模型の破壊状況②



At/Ap=3 , H/h=3 , α=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

トンネルの被害例
Aydan et al.(2010,2011)
1906 San Francisco
1923 関東
1930 北伊豆
1939 Erzincan
1978 伊豆
1952 Kern
1995 神戸
1999 Chichi
1999 Düzce
2004 中越
2007 Singkarak
2008 Wenchuan
津波・東日本大震災

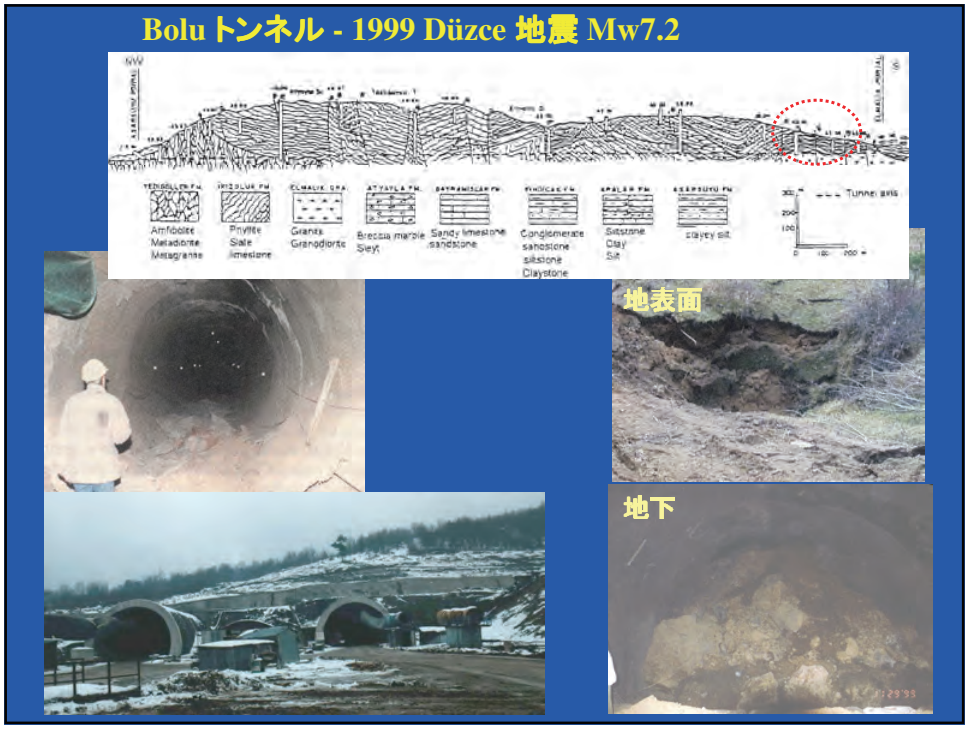
1923関東地震によるトンネルの被害 (JSCE-Archive)

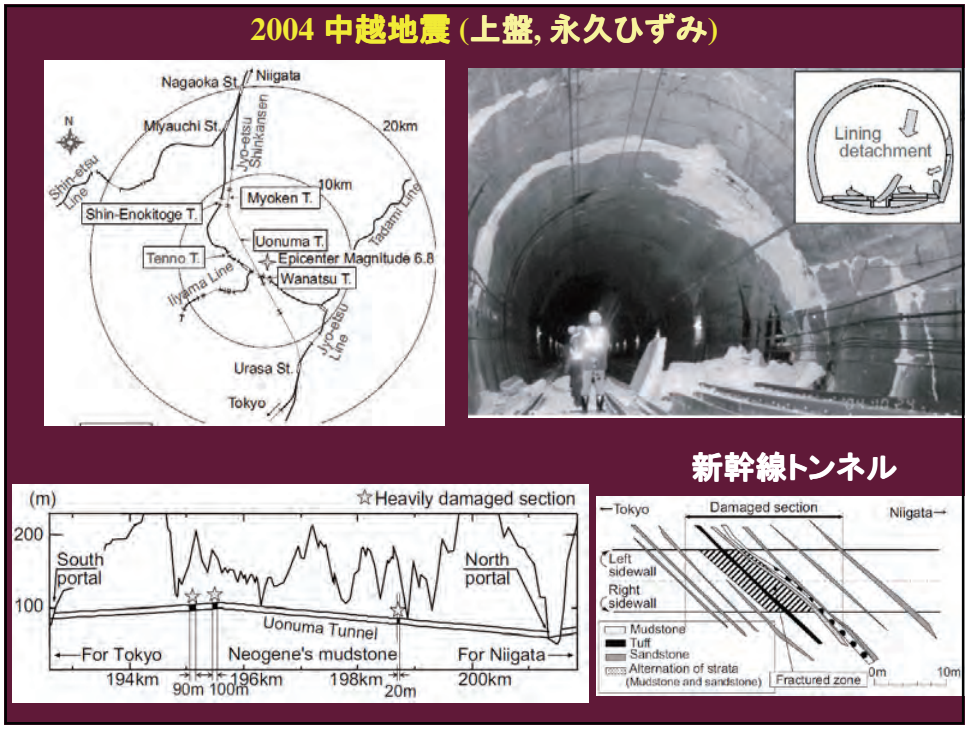
北海道南西沖
Chichi
Kashmir
坑口の被害
Erzincan
Erzincan
岩手・宮城

2008 Wenchuan（四川省）地震
坑口の地すべり、落石による被害

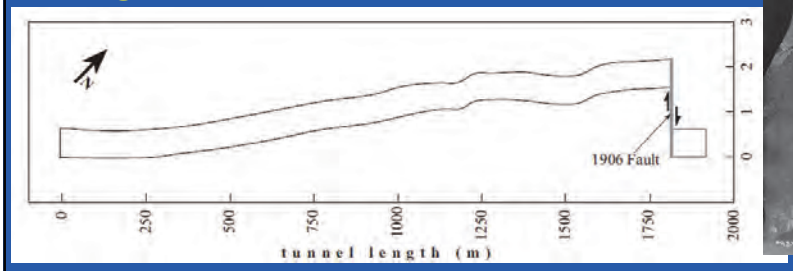
在来線
2004中越地震
Myoken-Uragara
Spalling
Compressive failure

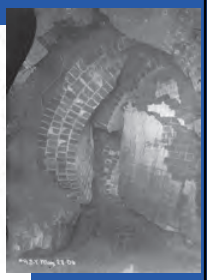
Wanazu トンネル – ライニングが崩落（本来岩盤を支えるべき）
和南津トンネル崩落南側から（川口町和南津）


Bolu トンネル - 1999 Düzce 地震 Mw7.2
地表面
地下


2004 中越地震 (上盤, 永久ひずみ)
Nagaoka St.
Niigata
Miyauchi St.
20km
10km
Shin-etsu Line
Jyo-etsu Shinkansen
Myoken T.
Shin-Enokitoge T.
Uonuma T.
Tadami Line
Tenno T.
Epicenter Magnitude 6.8
Iiyama Line
Wanatsu T.
Jyo-etsu Line
Urasa St.
Tokyo
Lining detachment
新幹線トンネル
(m)
Heavily damaged section
200
100
South portal
North portal
Uonuma Tunnel
For Tokyo
Neogene's mudstone
For Niigata
194km
196km
198km
200km
90m
100m
20m
Tokyo
Damaged section
Niigata
Left sidewall
Right sidewall
Mudstone
Tuff
Sandstone
Alternation of strata (Mudstone and sandstone)
Fractured zone
0m
10m

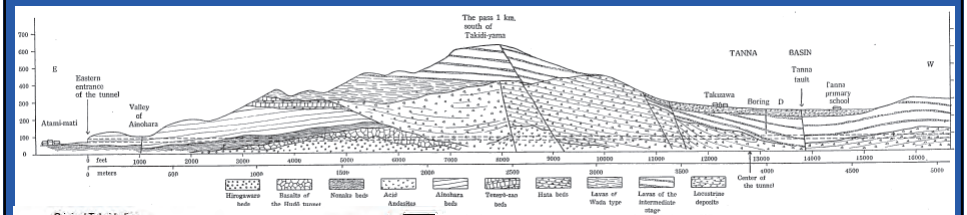
Wrights トンネル- 1906 San Francisco 地震 Mw7.9

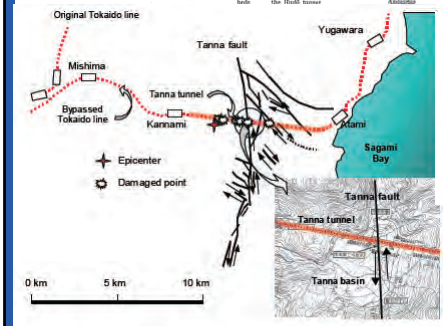


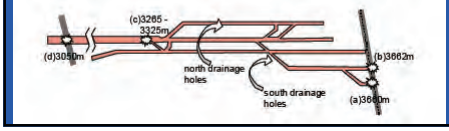


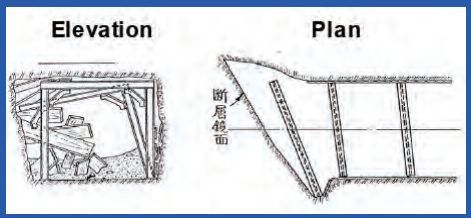
1952 Kern 地震 Mw7.5

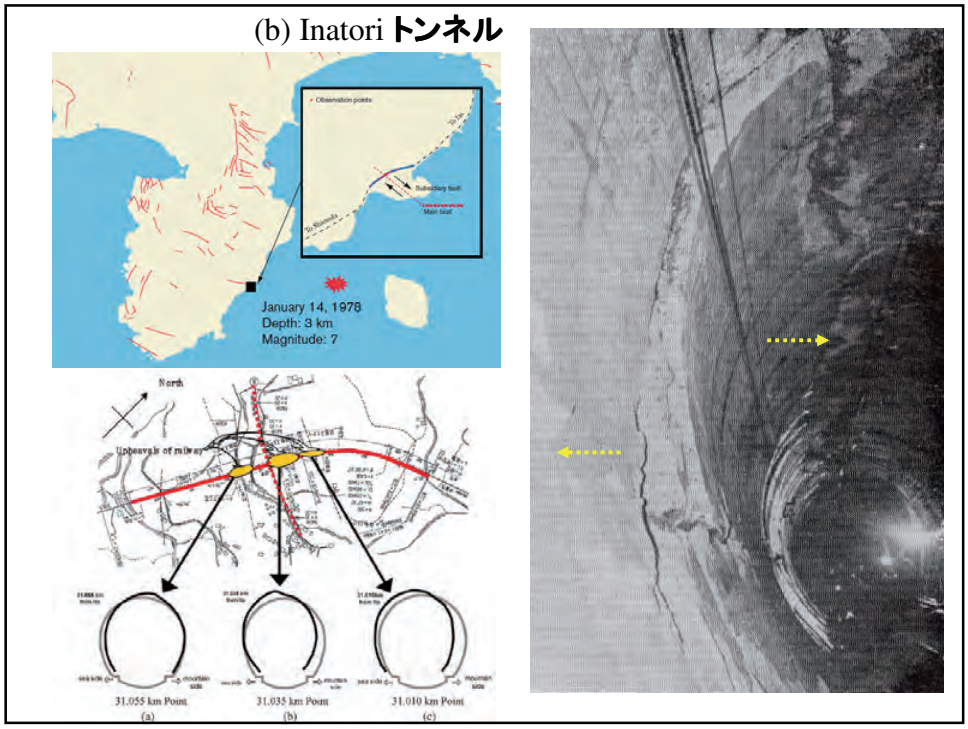
Tanna トンネル - 1930 北伊豆地震 M7.2










(b) Inatori トンネル
January 14, 1978
Depth: 3 km
Magnitude: 7
North
31.055 km Point
31.035 km Point
31.010 km Point
(a)
(b)
(c)

Jiujiaya トンネル

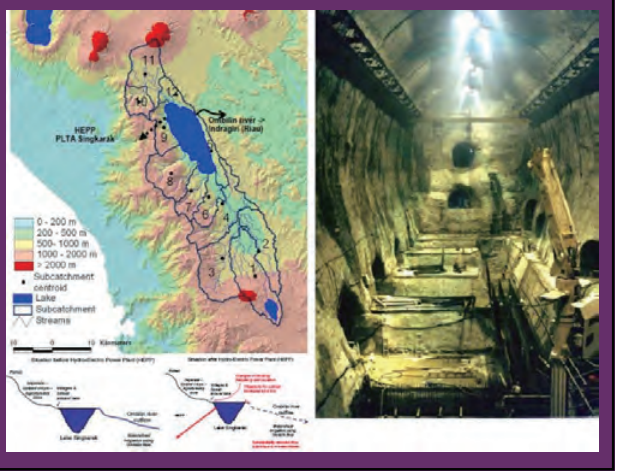
地下発電所の被害

Singkarak 地下発電所

Indonesia:(25x37x90m):片麻岩

2007 Singkarak 地震, Mw:6.4; Re: 13 km;

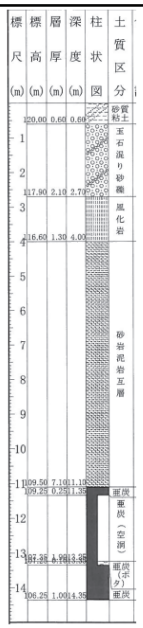
大きな被害ないが、内部の設備に被害



自然鍾乳洞の陥没

亜炭廃坑や旧鉱山による陥没問題
地表面
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．



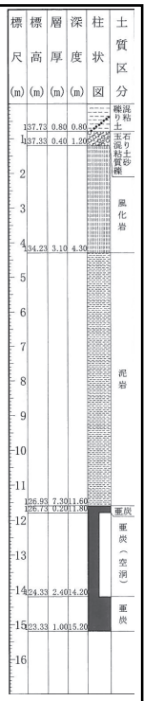
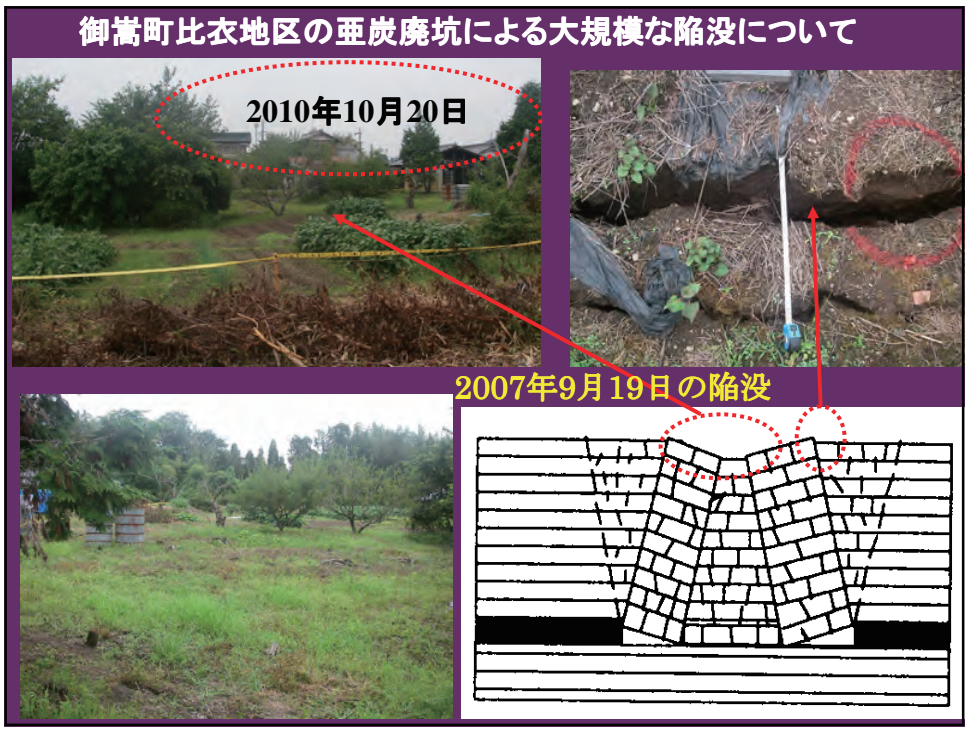


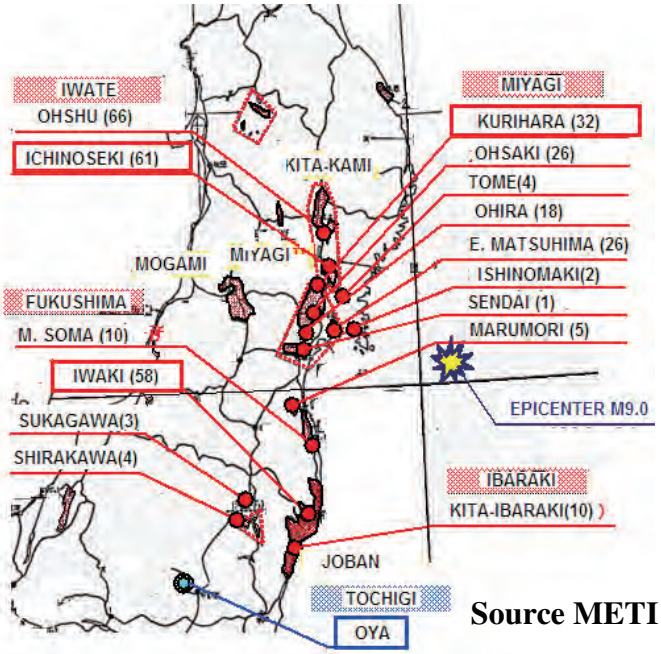
図-6

亜炭廃跡地における陥没・地盤沈下


御嵩町比衣地区の亜炭廃坑による大規模な陥没について
2010年10月20日
2007年9月19日の陥没

2010年10月20日；13時15分

亜炭・石炭跡地における陥没・沈下被害



Source METI July 25, 2011

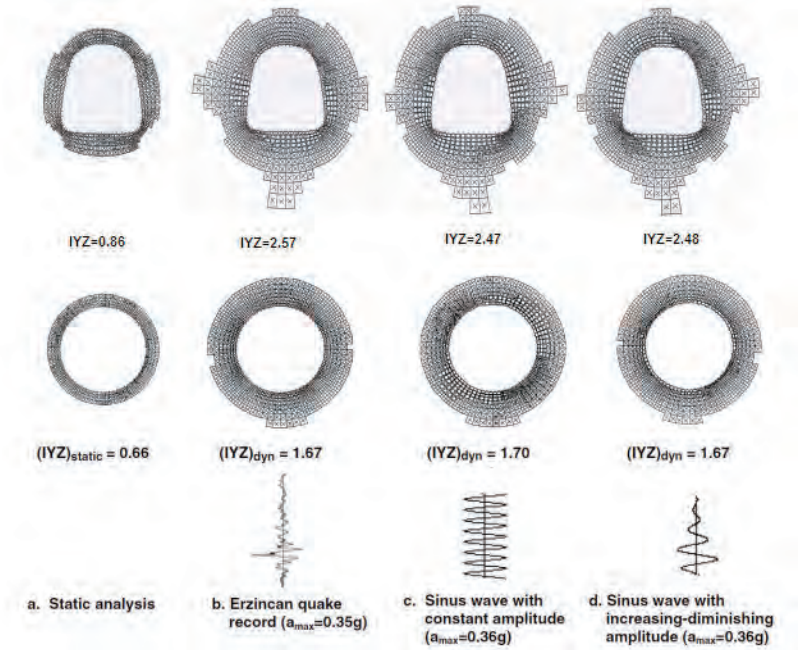
若柳における陥没被害 (宮城県)

大平村における陥没被害 (宮城県)

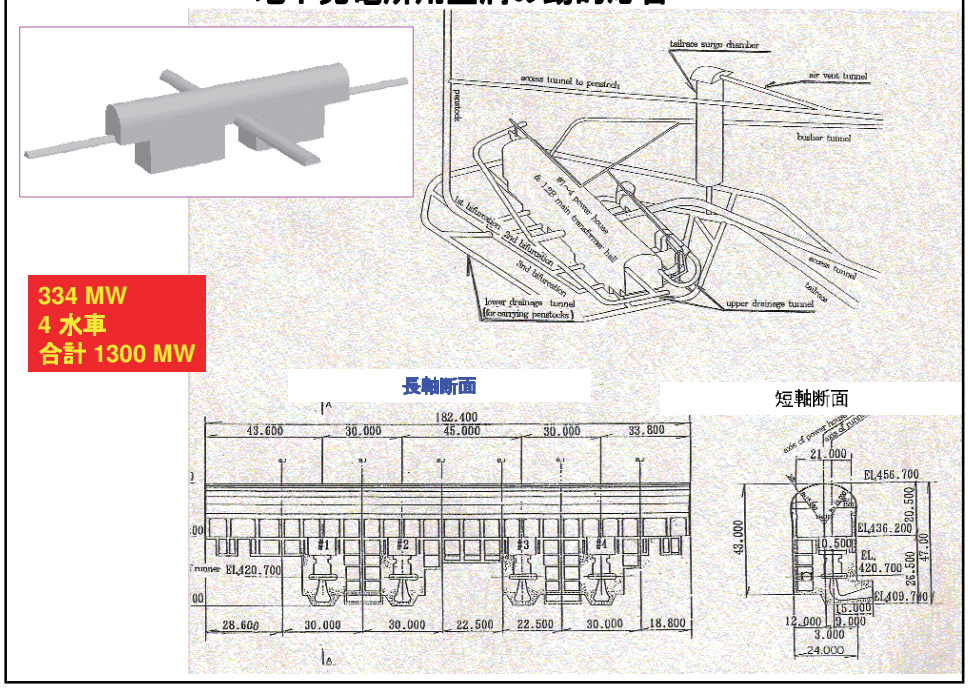
2003年の宮城北部地震による矢本町における陥没被害

数値解析手法の役割

地下空洞周辺の塑性域（形状と波形お影響）



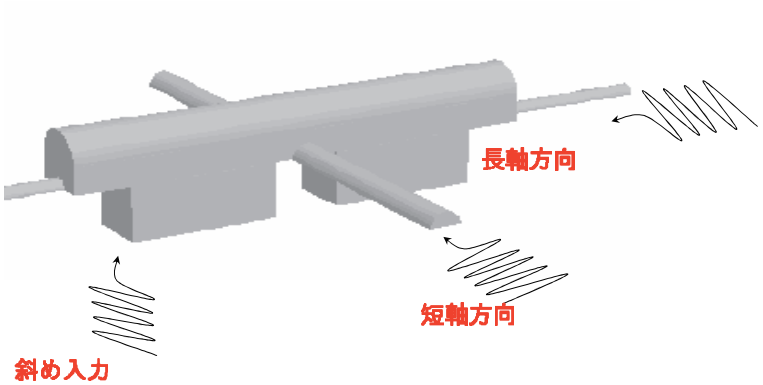
地下発電所用空洞の動的応答



・動的解析

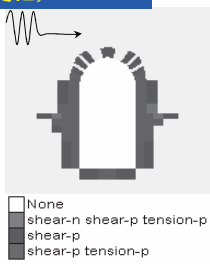
正弦波を用いて解析

- 地震波入力は長軸方向方向
- 地震波入力は短軸方向
- 斜めの入力



細田振幅の変化, f = 1 Hz

静的解析



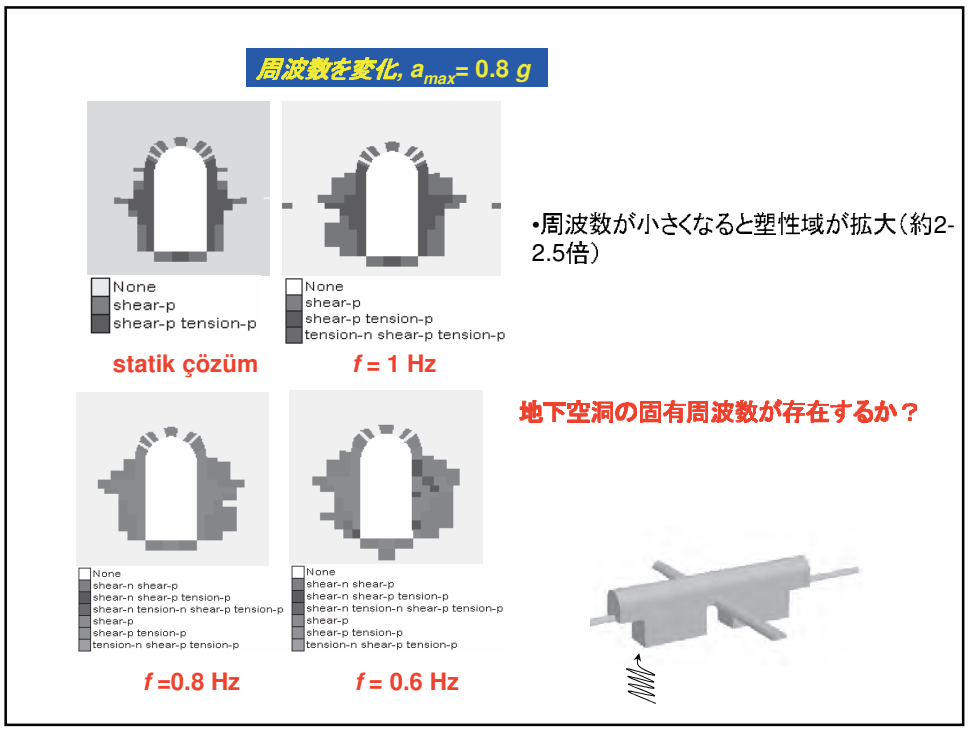
a_{max}=0.4g

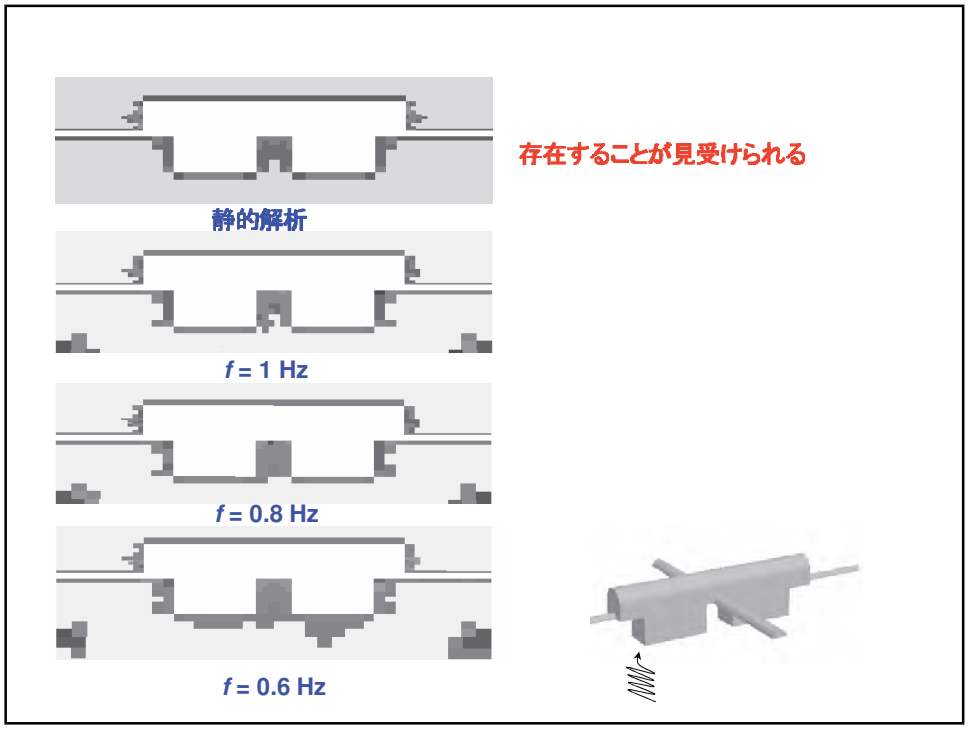
側壁における塑性域が拡大

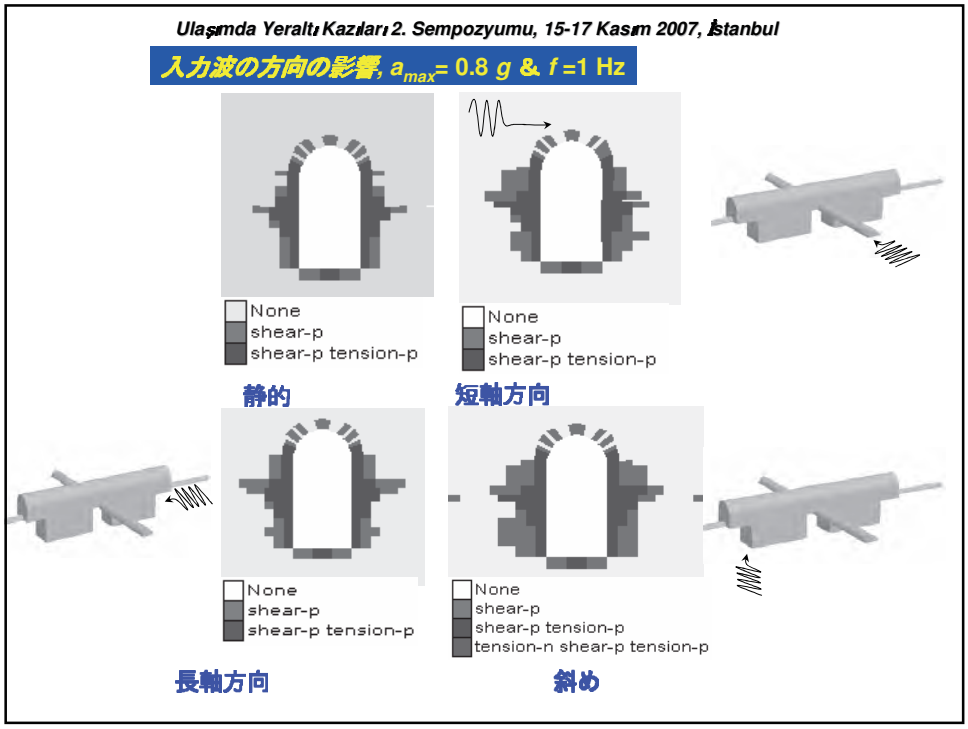
a_{max}=0.6g

a_{max}=0.8g

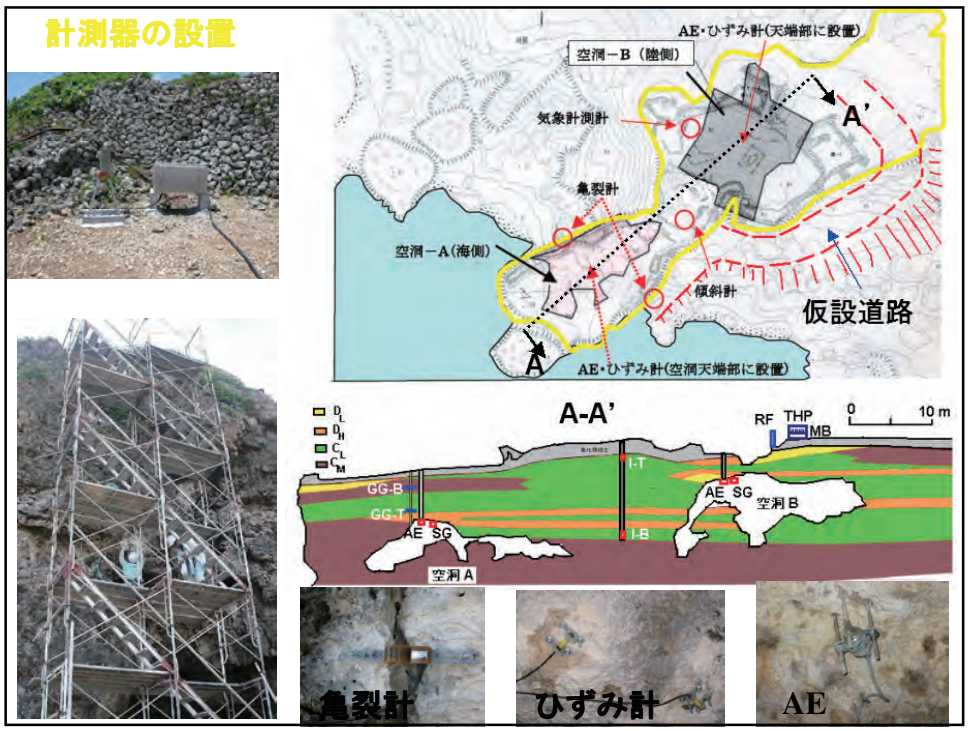
a_{max}=0.6-0.7g

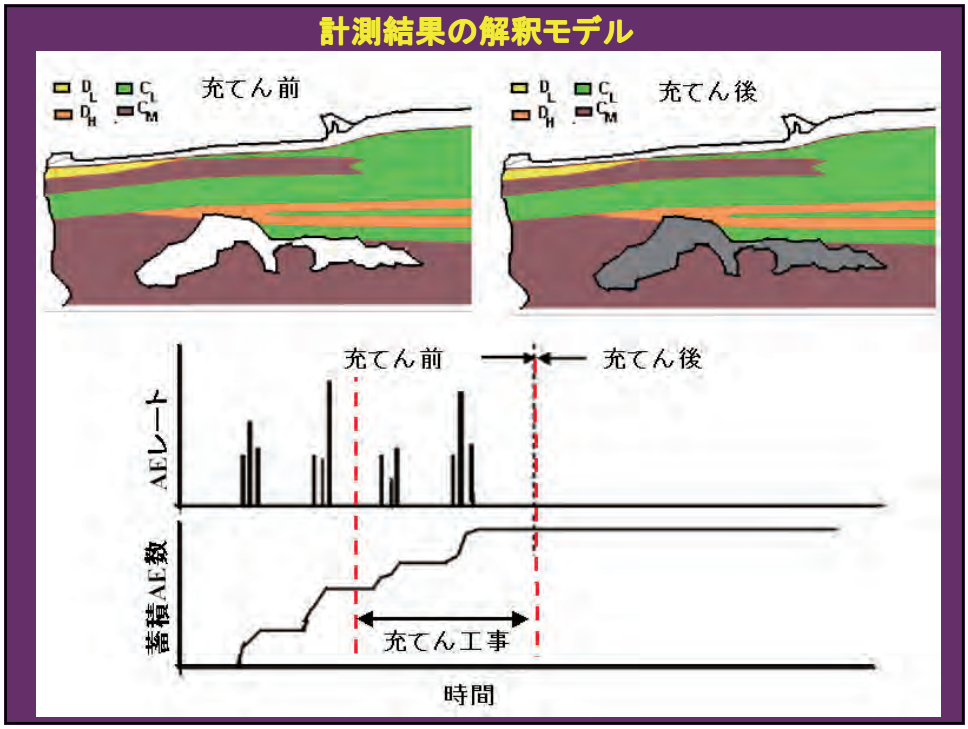

周波数を変化, a_{max}= 0.8 g
None
shear-p
shear-p tension-p
statik çözüm
None
shear-p
shear-p tension-p
tension-n shear-p tension-p
f = 1 Hz
•周波数が小さくなると塑性域が拡大（約2-2.5倍）
地下空洞の固有周波数が存在するか？
None
shear-n shear-p
shear-n shear-p tension-p
shear-n tension-n shear-p tension-p
shear-p
shear-p tension-p
tension-n shear-p tension-p
f =0.8 Hz
None
shear-n shear-p
shear-n shear-p tension-p
shear-n tension-n shear-p tension-p
shear-p
shear-p tension-p
tension-n shear-p tension-p
f = 0.6 Hz


存在することが見受けられる
静的解析
f = 1 Hz
f = 0.8 Hz
f = 0.6 Hz


Ulaşımda Yeraltı Kazıları 2. Sempozyumu, 15-17 Kasım 2007, İstanbul
入力波の方向の影響, a_{max}= 0.8 g & f =1 Hz
None
shear-p
shear-p tension-p
静的
None
shear-p
shear-p tension-p
短軸方向
None
shear-p
shear-p tension-p
長軸方向
None
shear-p
shear-p tension-p
tension-n shear-p tension-p
斜め

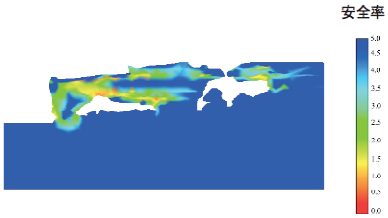
具志川城址における多重パラメータ計測
空洞A
空洞B


計測器の設置
AE・ひずみ計(天端部に設置)
空洞－B（陸側）
気象計測計
亀裂計
空洞－A（海側）
傾斜計
仮設道路
A
A'
AE・ひずみ計(空洞天端部に設置)
A-A'
RF
THP
MB
0
10 m
GG-B
GG-T
AE
SG
I-T
I-B
空洞 A
空洞 B
亀裂計
ひずみ計
AE

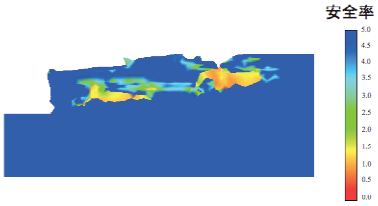

計測結果の解釈モデル
充てん前
充てん後
AEレート
蓄積AE数
充てん工事
時間

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



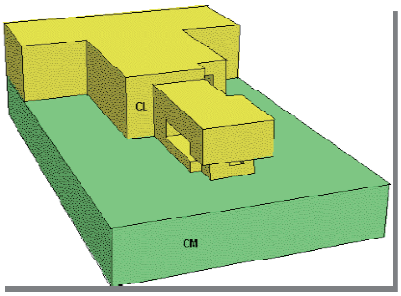
現在の基礎岩盤の安全率分布



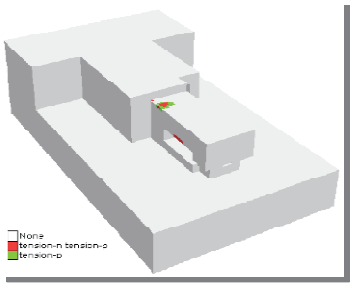
充填後の基礎岩盤の安全率分布

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



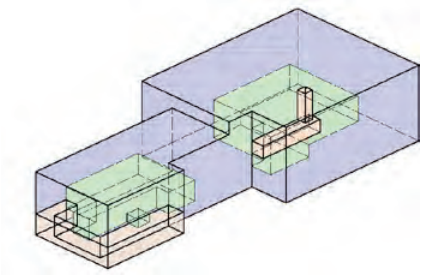
現在の空洞モデル



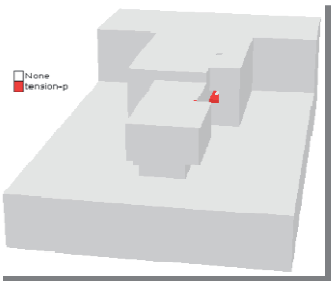
基礎岩盤の塑性域の発生

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



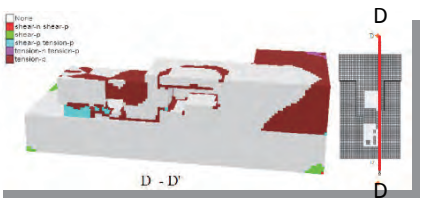
空洞充填後の解析モデル

充填材料の物性値

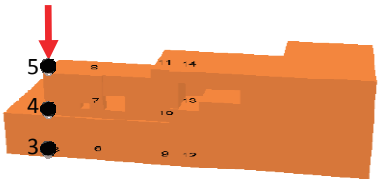
γ kN/m³	E MPa	υ	ϕ	σ_c kPa
20	200	0.26	30	1000

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

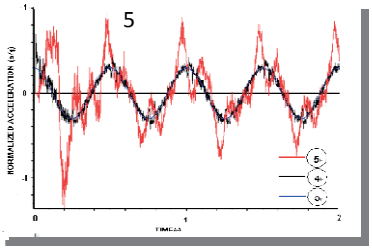


動的載荷による塑性域の発生



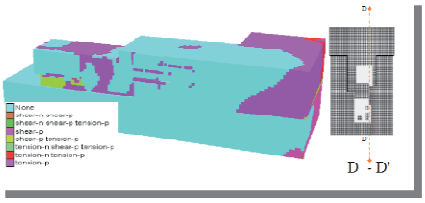
加速度応答の着目点

着目点3,4,5における
加速度応答

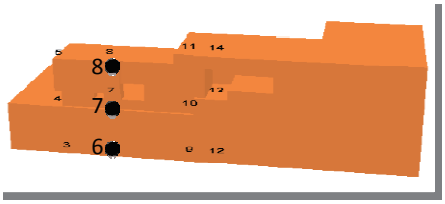


3次元有限要素解析による動的安定性評価

空洞充填後の動的挙動

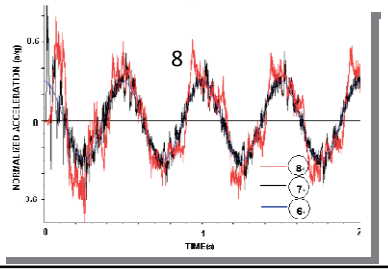


動的載荷による塑性域の発生



加速度応答の着目点

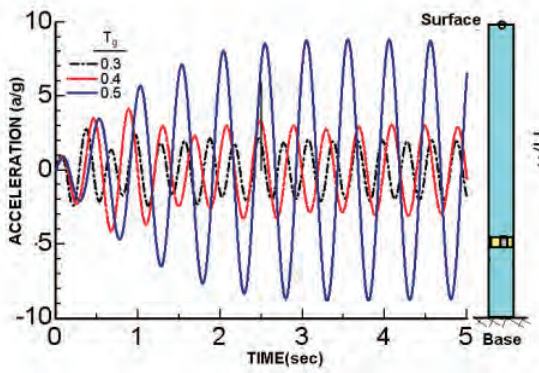
着目点6,7,8における
加速度応答



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



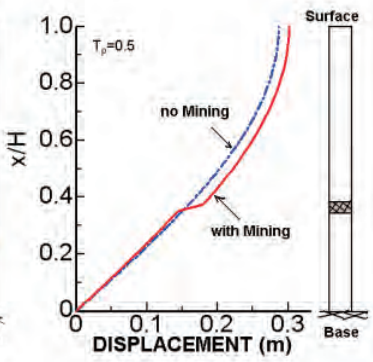
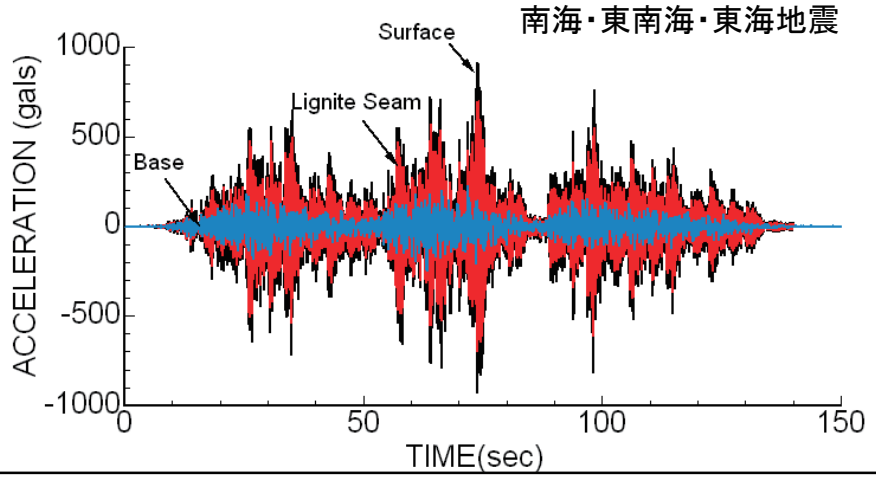


Table 2. Parameters used finite element analyses.

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）

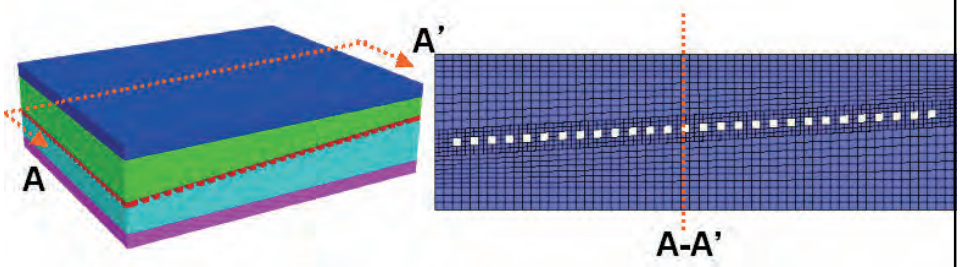
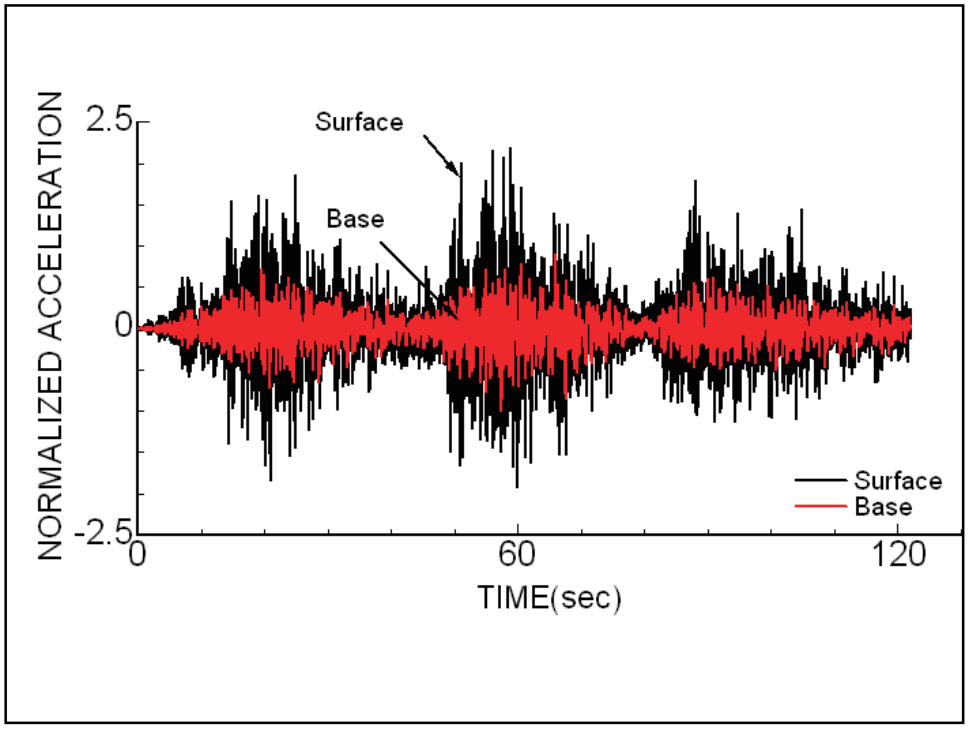
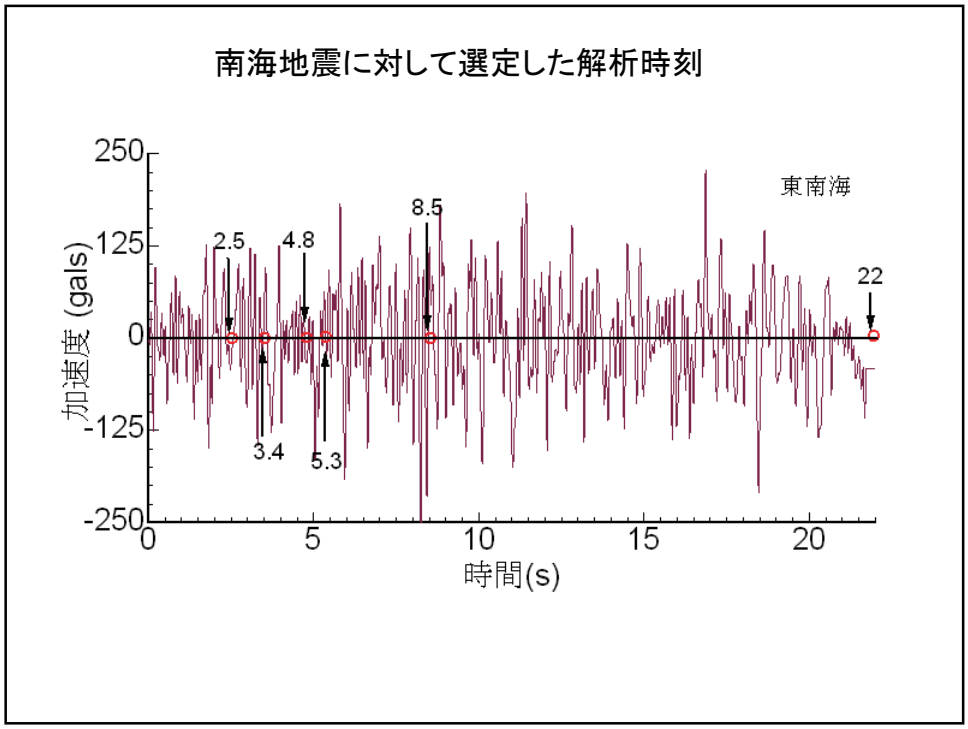
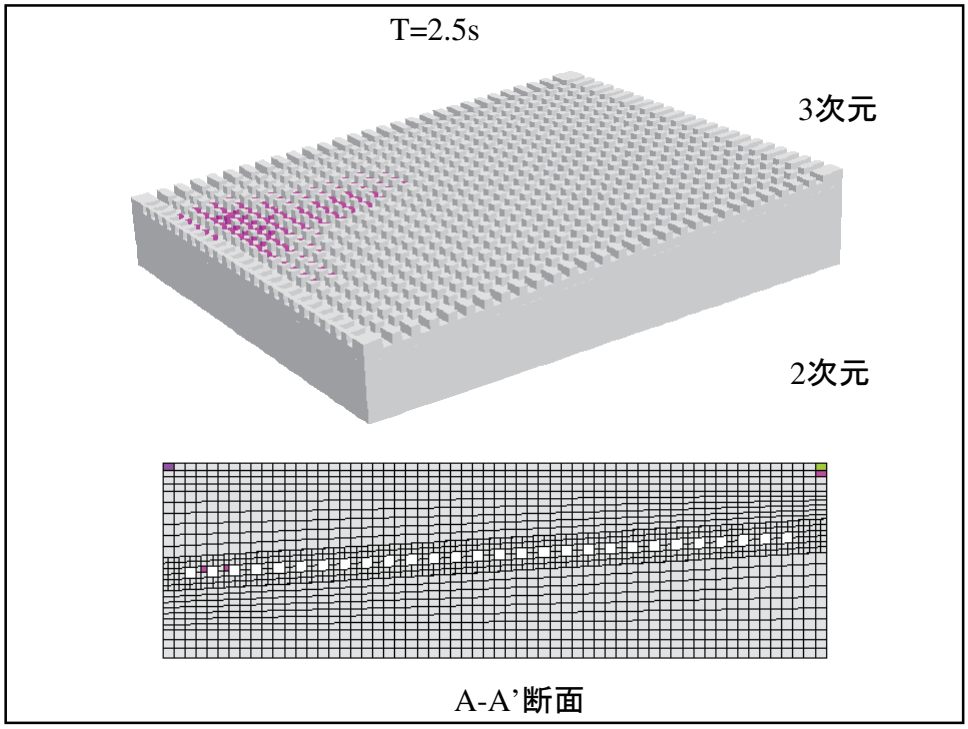


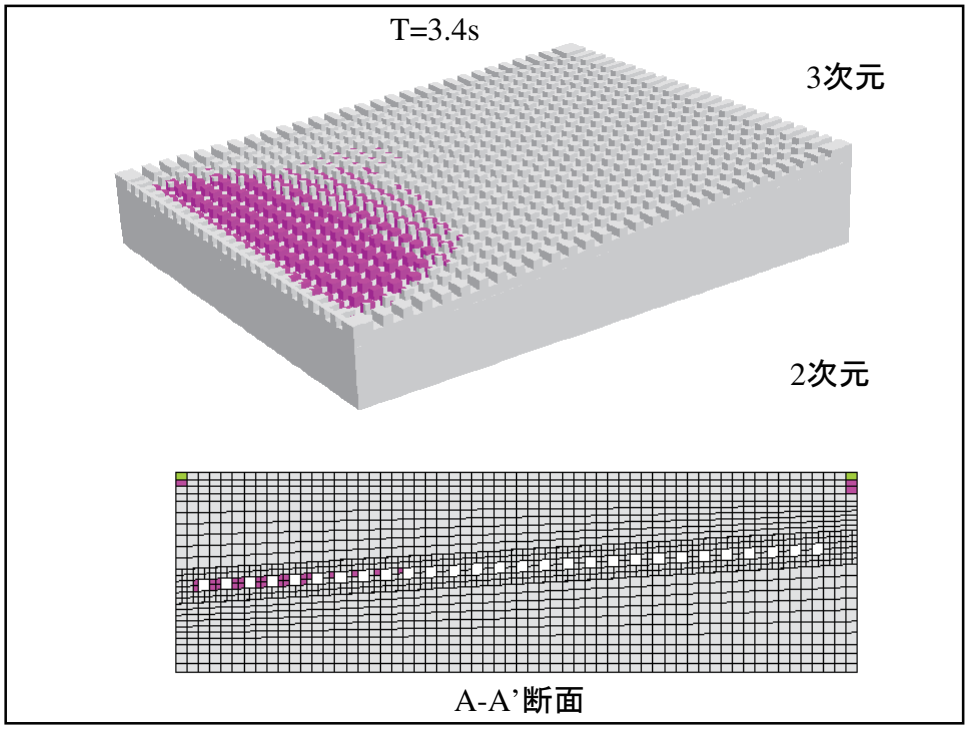
Table 3. Parameters used numerical analyses.

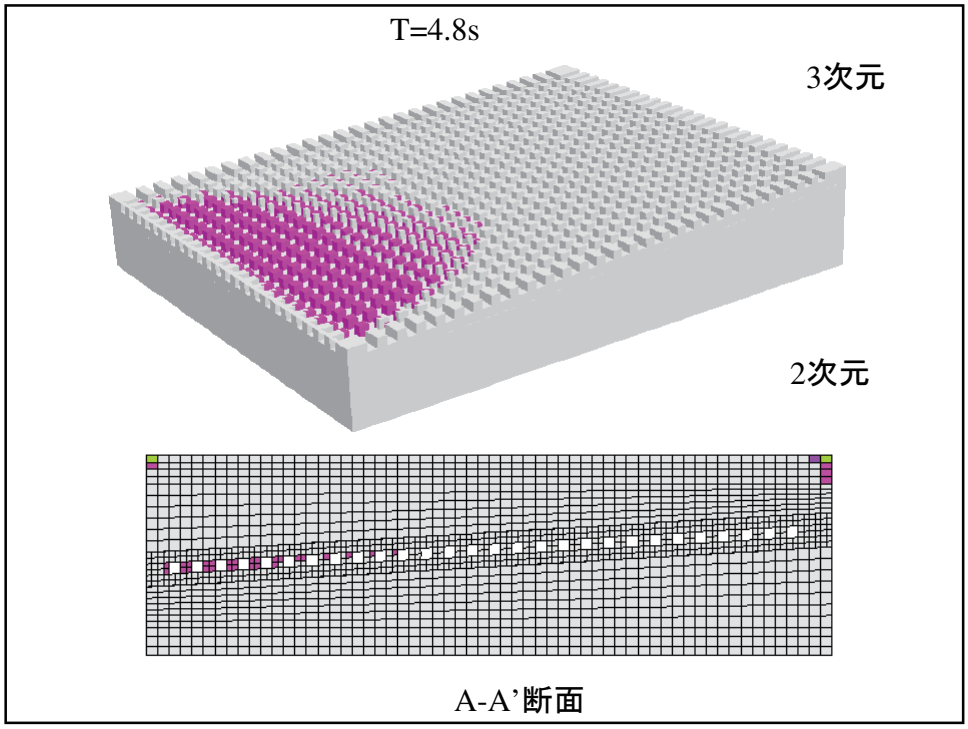
Layer	Vs (m/s)	ρ (kN/m3)	E (MPa)	Poisson	Damping
Soil	300	19	270	0,35	5
Mst-Sst	500	19	750	0,30	5
Lignite	400	14	400	0,30	5
Mst-Sst	600	19	1073	0,30	5
Chert	1000	19	3647	0,30	5

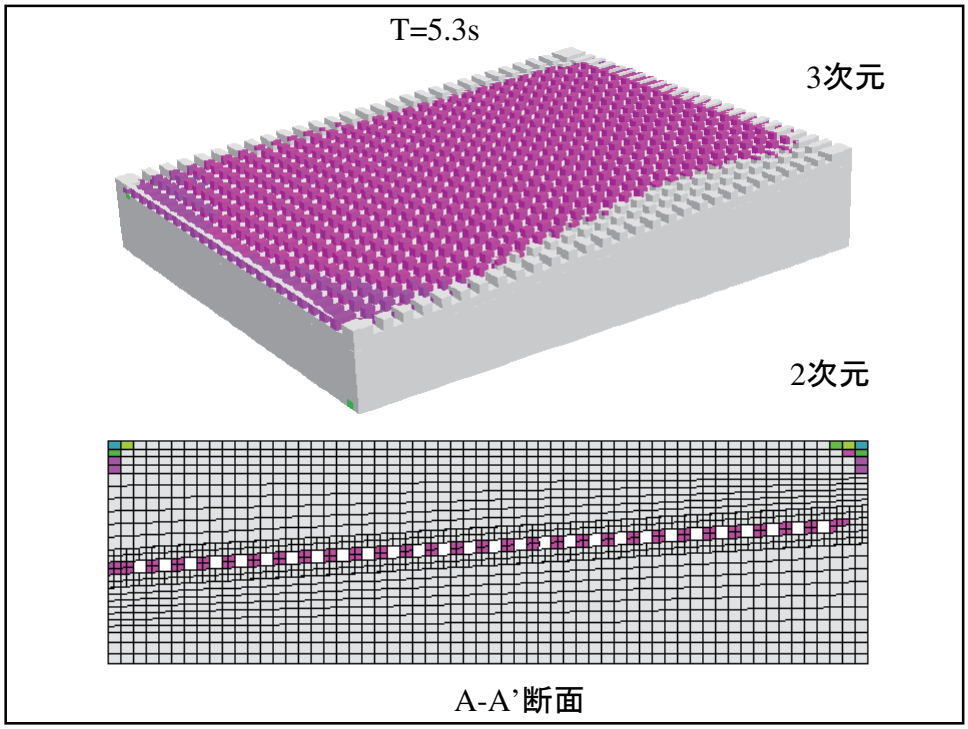

NORMALIZED ACCELERATION
2.5
0
-2.5
Surface
Base
0
60
120
TIME(sec)
Surface
Base


南海地震に対して選定した解析時刻
250
125
0
-125
-250
加速度 (gals)
東南海
2.5
4.8
8.5
22
3.4
5.3
0
5
10
15
20
時間(s)


T=2.5s
3次元
2次元
A-A'断面


T=3.4s
3次元
2次元
A-A'断面


T=4.8s
3次元
2次元
A-A’断面


T=5.3s
3次元
2次元
A-A’断面

長壁採掘式地域における地震動の増幅解析

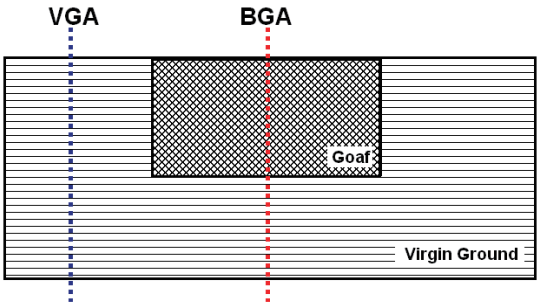
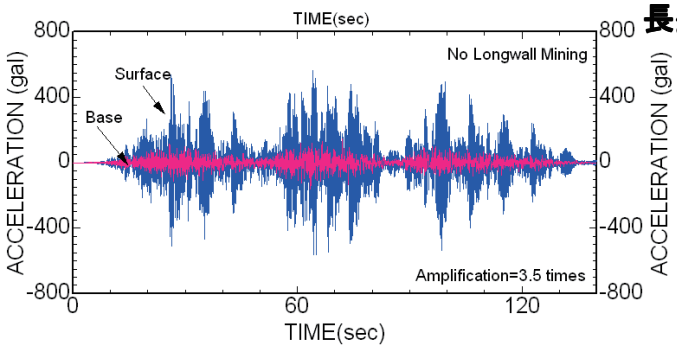
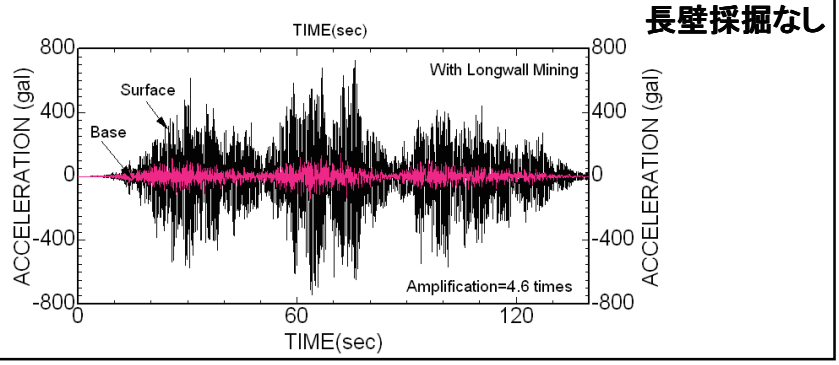


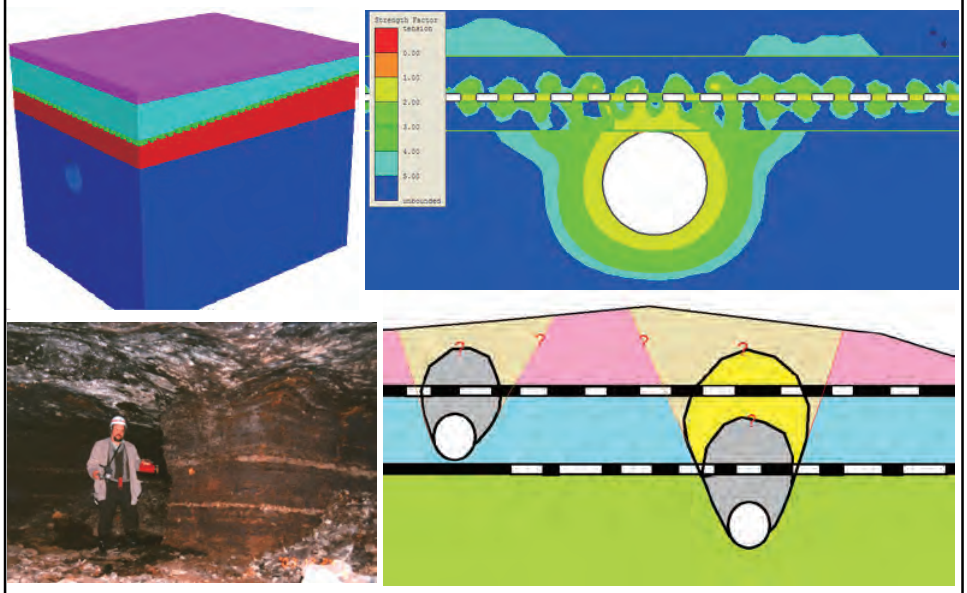
Table 5. Parameters used finite element analyses.

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

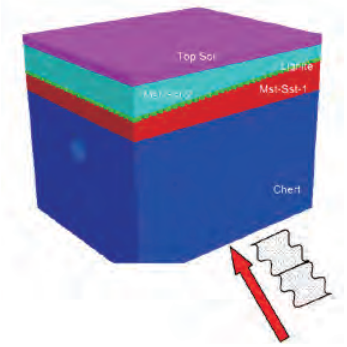




亜炭廃坑跡地直下で空洞解析



What would be the effect of underground excavation the stability of the abandoned mine?

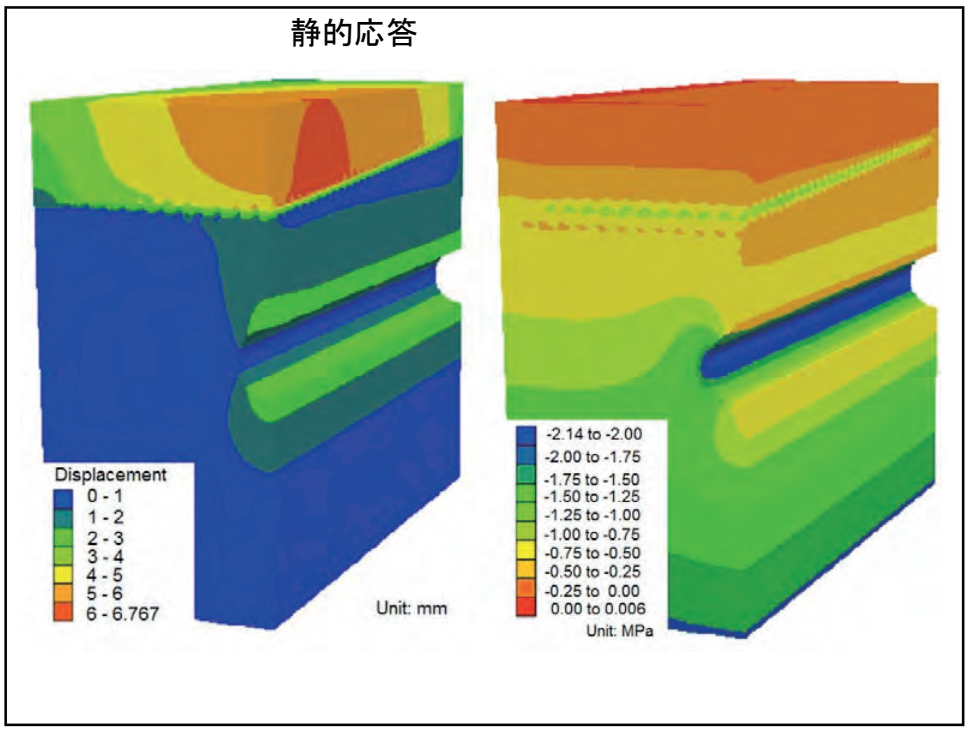


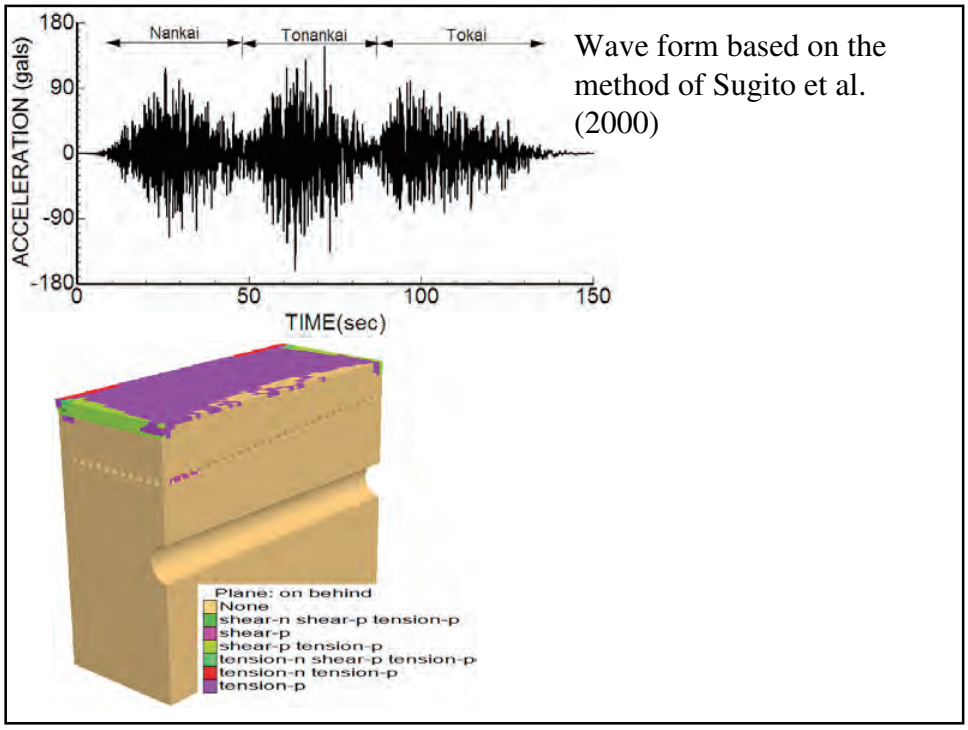
解析手順

1) 重力を作用させる
2) 亜炭廃坑の掘削
3) トンネル掘削
4) 地震波の入力

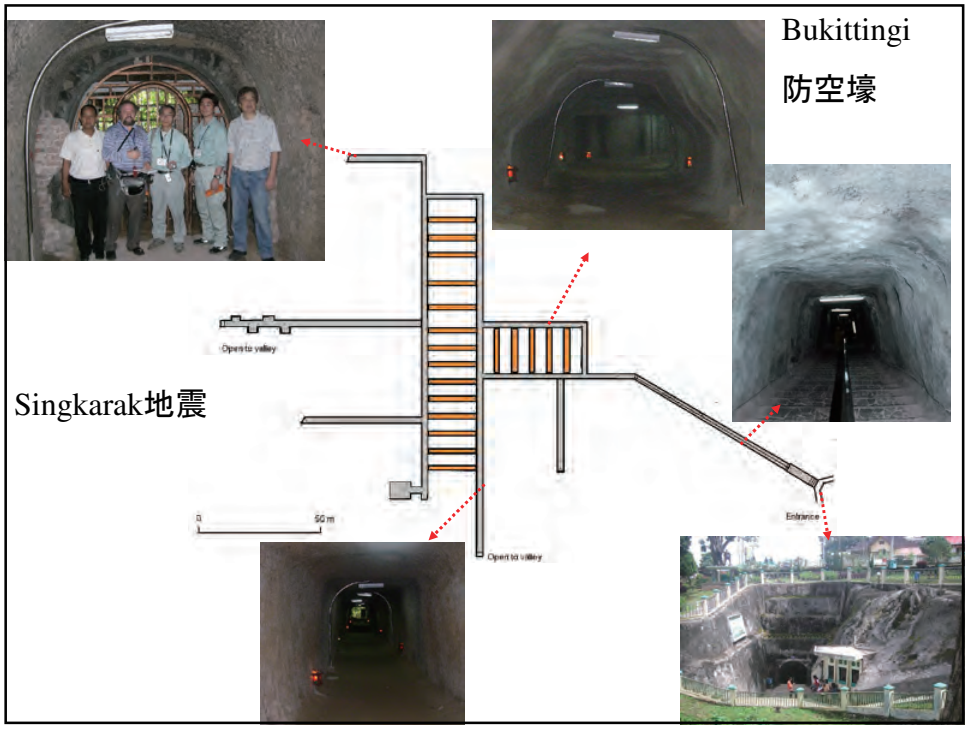
Table 3. Material properties used numerical analyses.

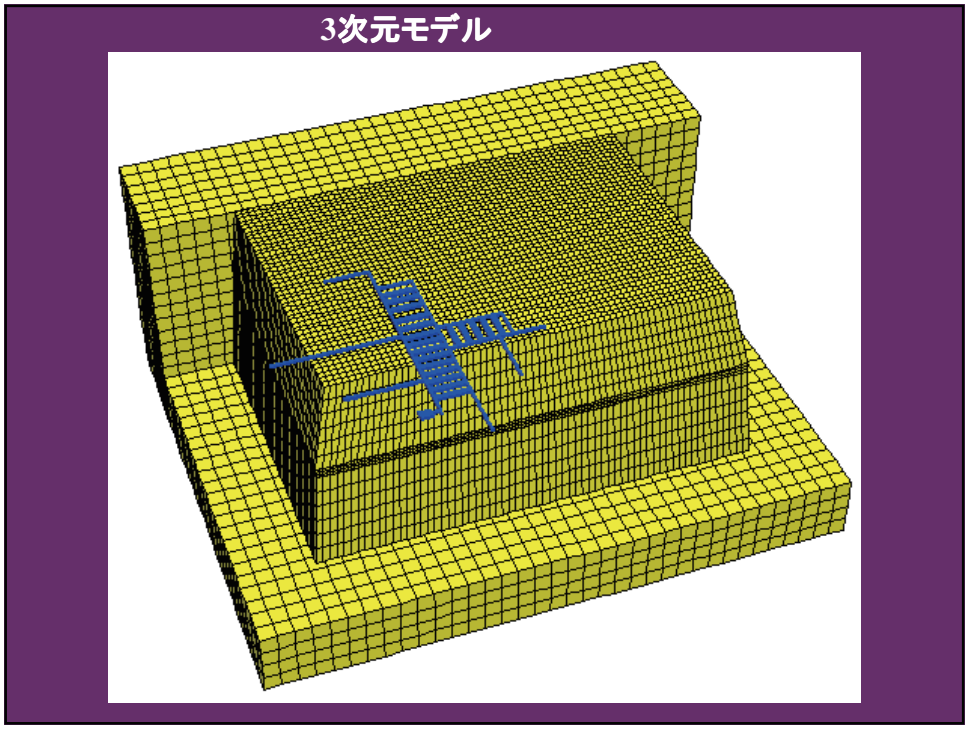
Layer	Υ kN/m³	c kPa	ϕ (°)	σ_t kPa	E MPa	ν
Soil	19	50	38	10	270	0.35
Mst-Sst-1	19	700	25	500	750	0.3
Lignite	14	656	45	500	400	0.3
Mst-Sst-2	19	1000	45	700	1073	0.3
Chert	19	3000	45	2000	3647	0.3

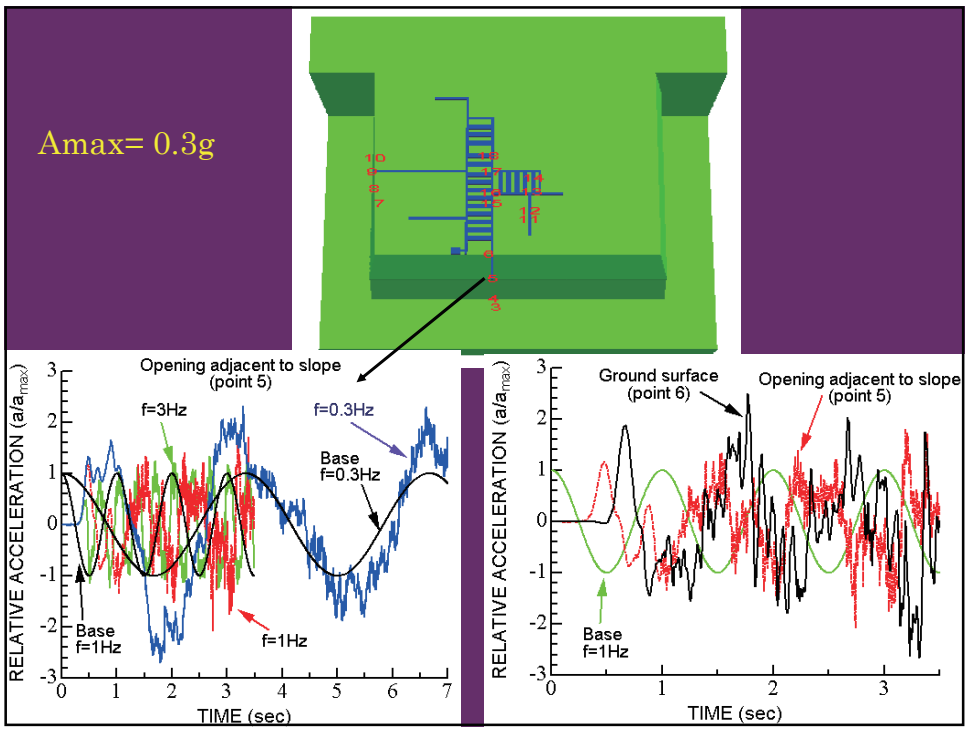


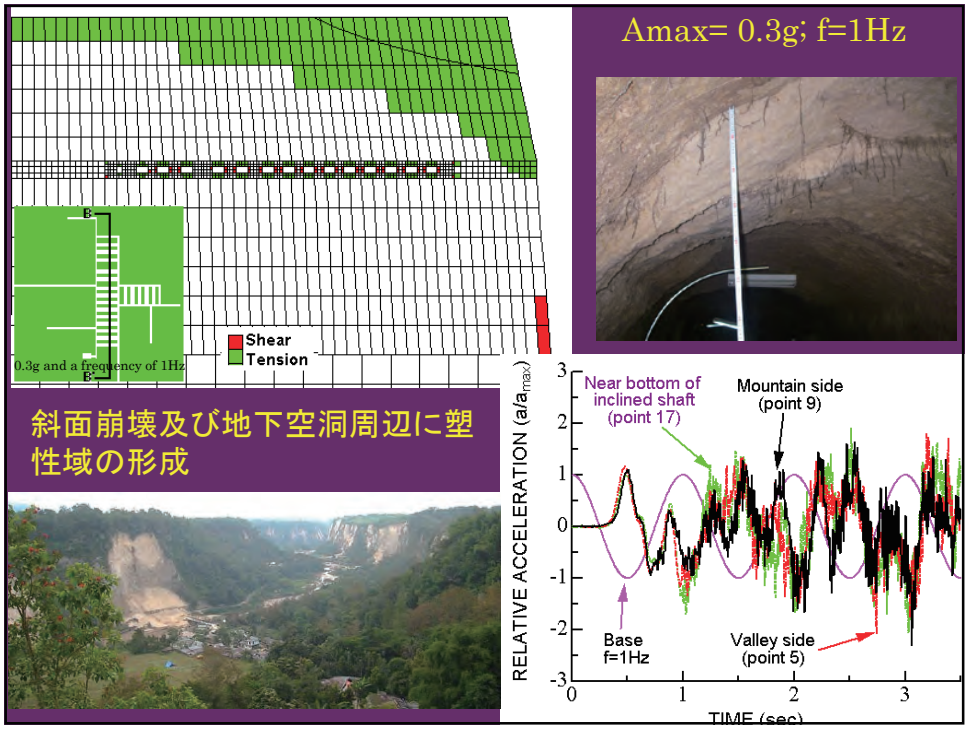


Wave form based on the method of Sugito et al. (2000)

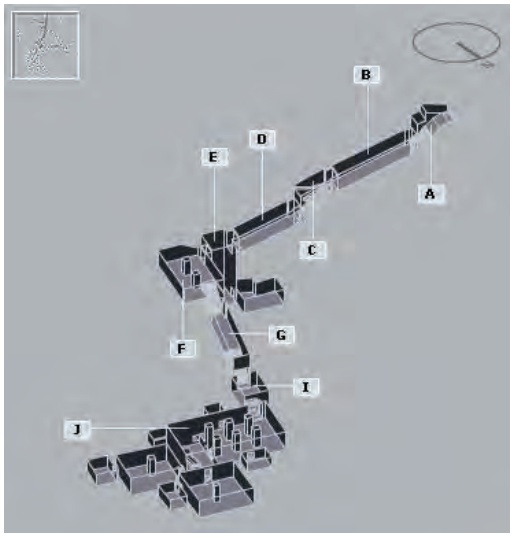

Bukittingi
防空壕
Singkarak地震
Open to valley
Entrance

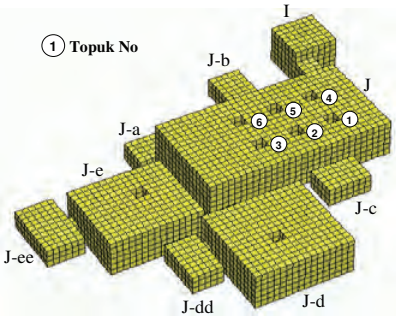

3次元モデル

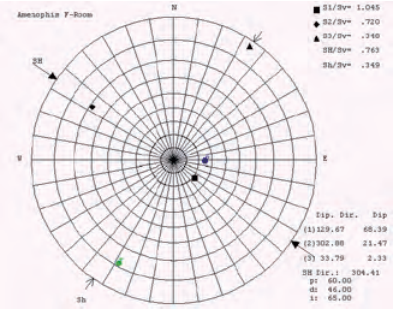

Amax= 0.3g
Opening adjacent to slope
(point 5)
f=3Hz
f=0.3Hz
Base
f=0.3Hz
Base
f=1Hz
f=1Hz
RELATIVE ACCELERATION (a/amax)
TIME (sec)
Ground surface
(point 6)
Opening adjacent to slope
(point 5)
Base
f=1Hz

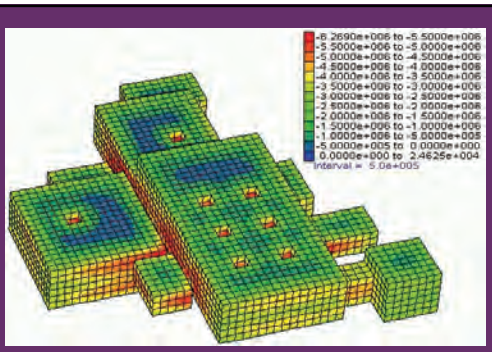

Amax= 0.3g; f=1Hz
Shear
Tension
0.3g and a frequency of 1Hz
斜面崩壊及び地下空洞周辺に塑性域の形成
Near bottom of
inclined shaft
(point 17)
Mountain side
(point 9)
Base
f=1Hz
Valley side
(point 5)
RELATIVE ACCELERATION (a/amax)

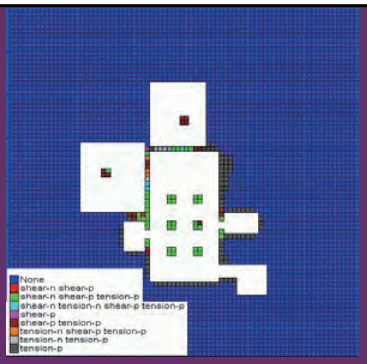
AmenophisIIIの王墓の3次元数値解析解析



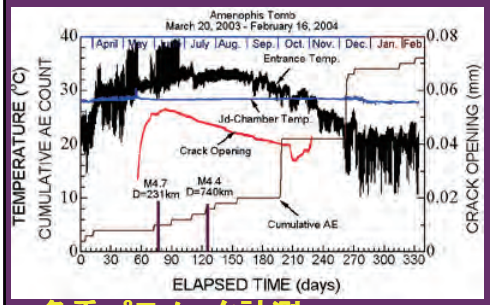




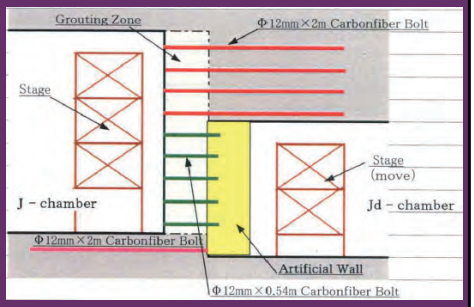




3D 檀塑性数値解析

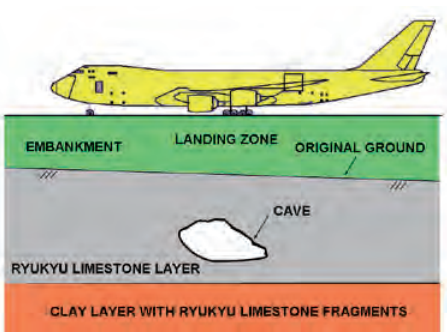


多重パラメータ計測

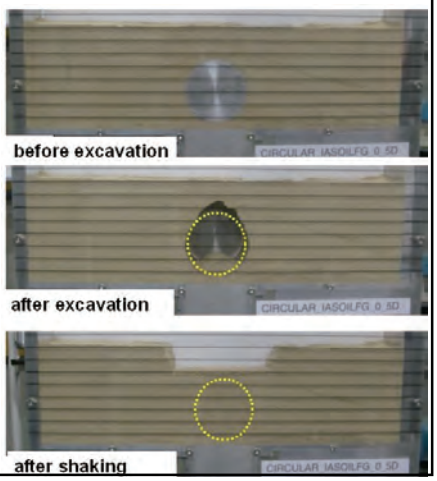


補強案

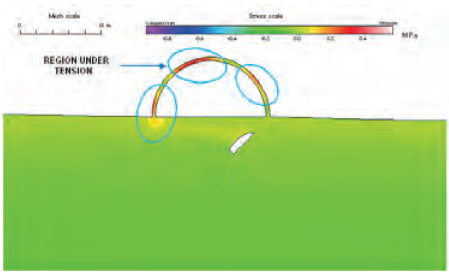
新石垣空港

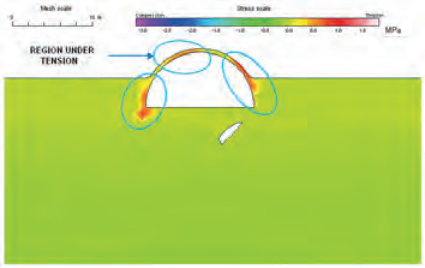

EMBANKMENT
LANDING ZONE
ORIGINAL GROUND
CAVE
RYUKYU LIMESTONE LAYER
CLAY LAYER WITH RYUKYU LIMESTONE FRAGMENTS

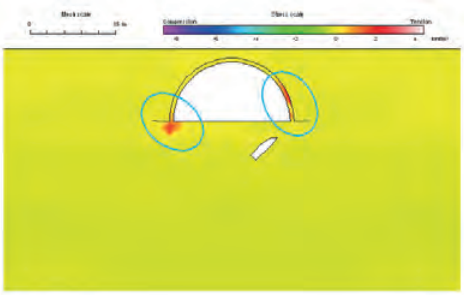
Footing
Footing
Cave

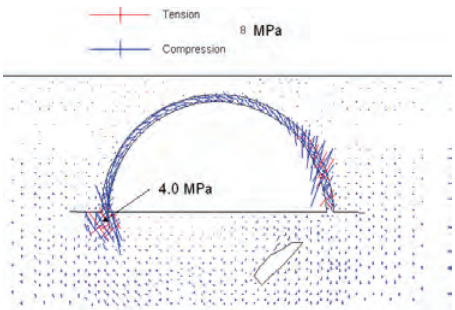

before excavation
after excavation
after shaking

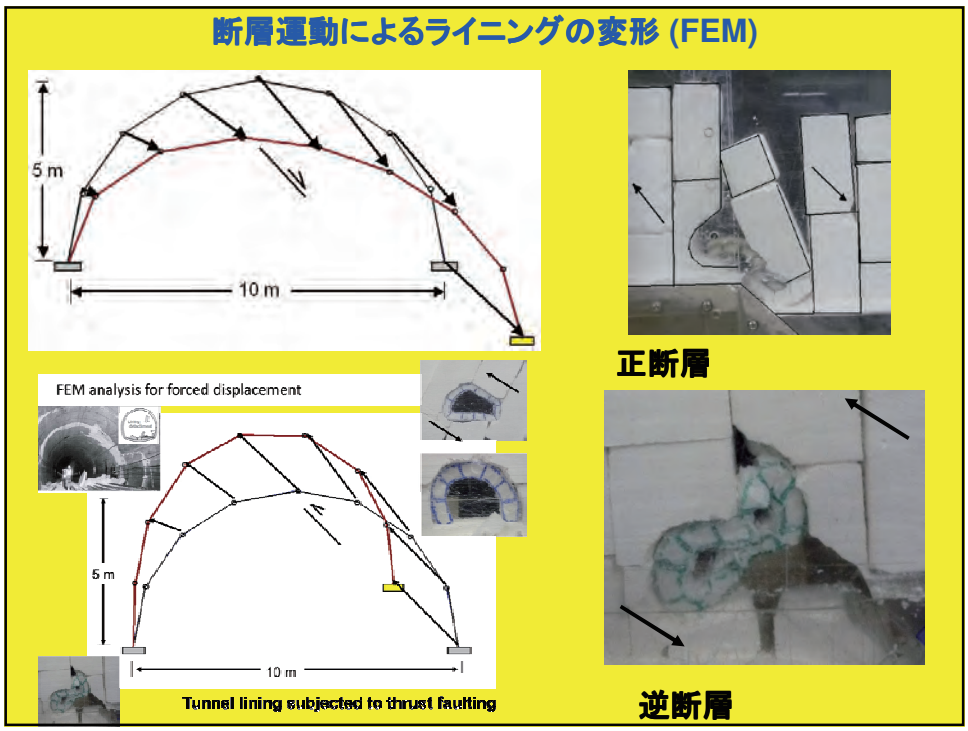
2D解析

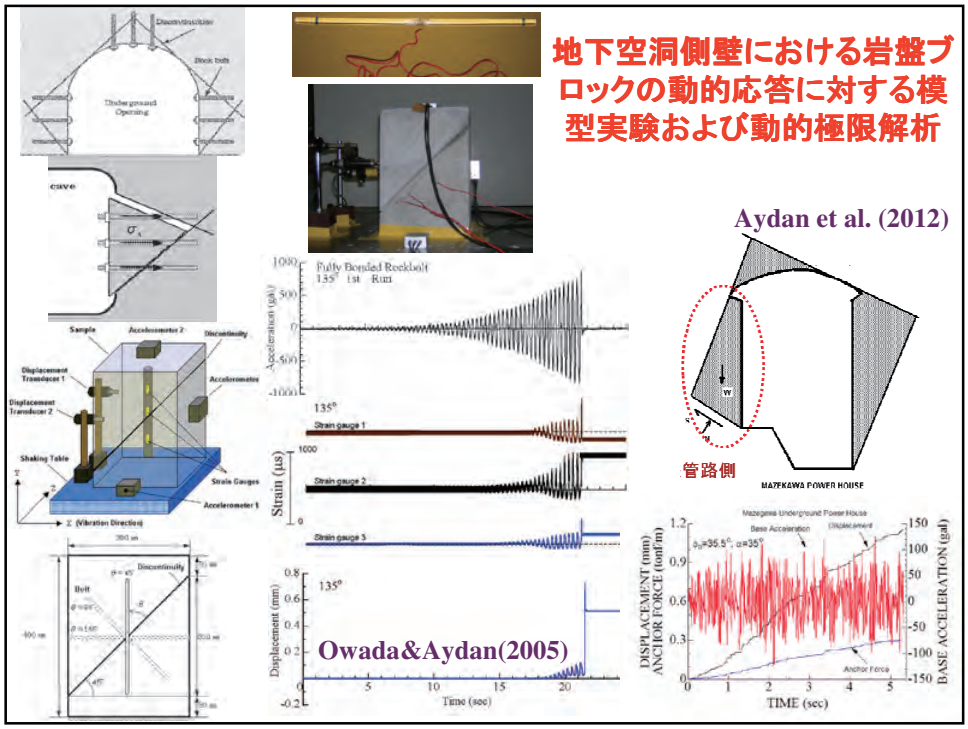

REGION UNDER TENSION

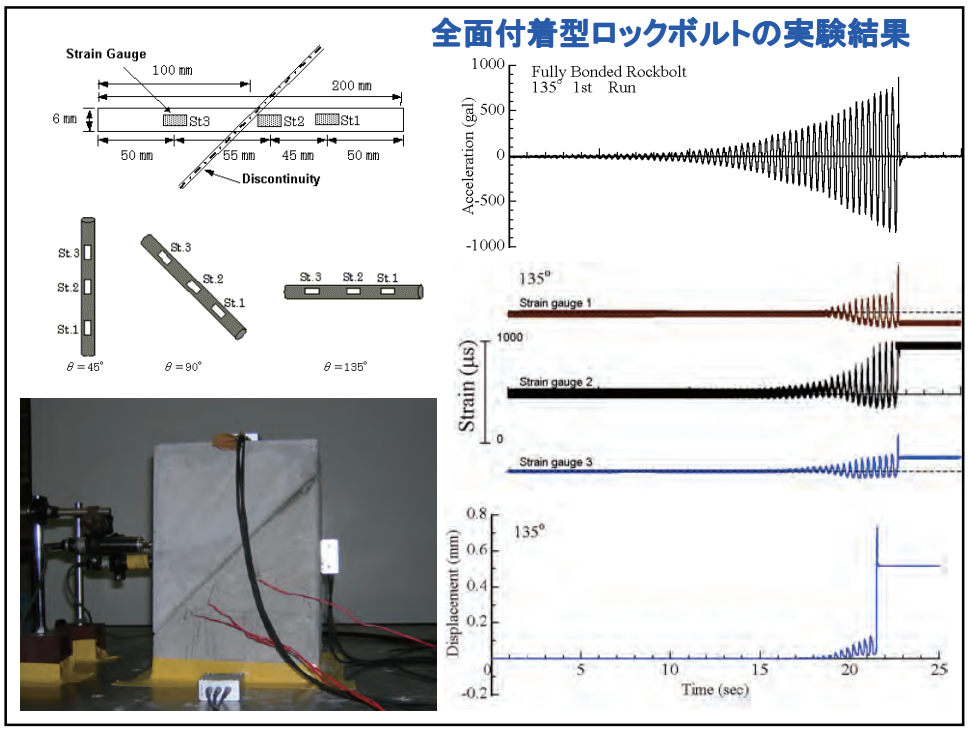

REGION UNDER TENSION

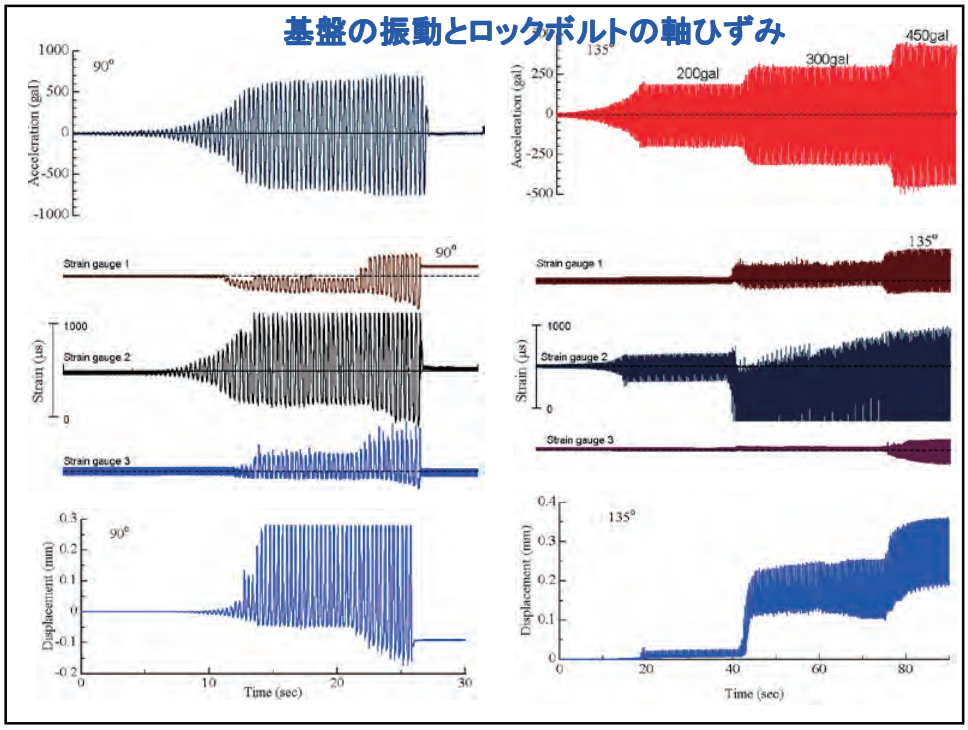



Tension
Compression
8 MPa
4.0 MPa

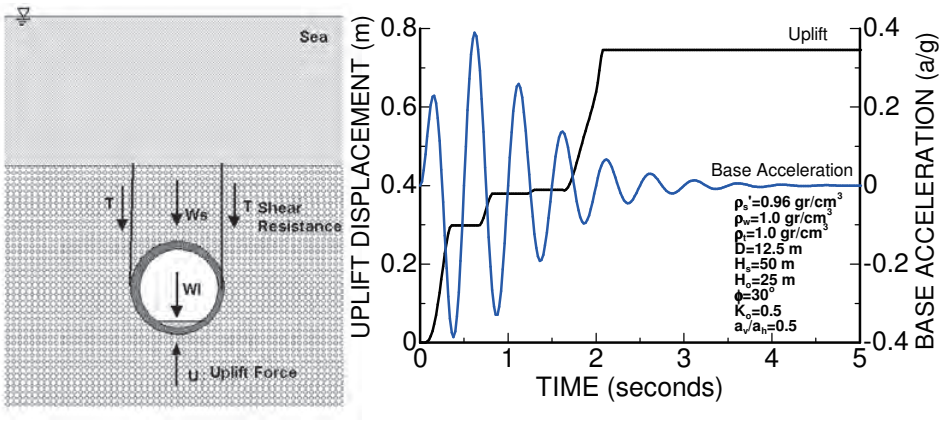

断層運動によるライニングの変形 (FEM)
5 m
10 m
正断層
FEM analysis for forced displacement
5 m
10 m
Tunnel lining subjected to thrust faulting
逆断層


地下空洞側壁における岩盤ブロックの動的応答に対する模型実験および動的極限解析
Aydan et al. (2012)
管路側
MATSKAWA POWER HOUSE
Owada&Aydan(2005)
Fully Bonded Rockbolt
Strain (μs)
Displacement (mm)
Time (sec)
DISPLACEMENT (mm)
ANCHOR FORCE (tonf/m)
BASE ACCELERATION (gal)
TIME (sec)

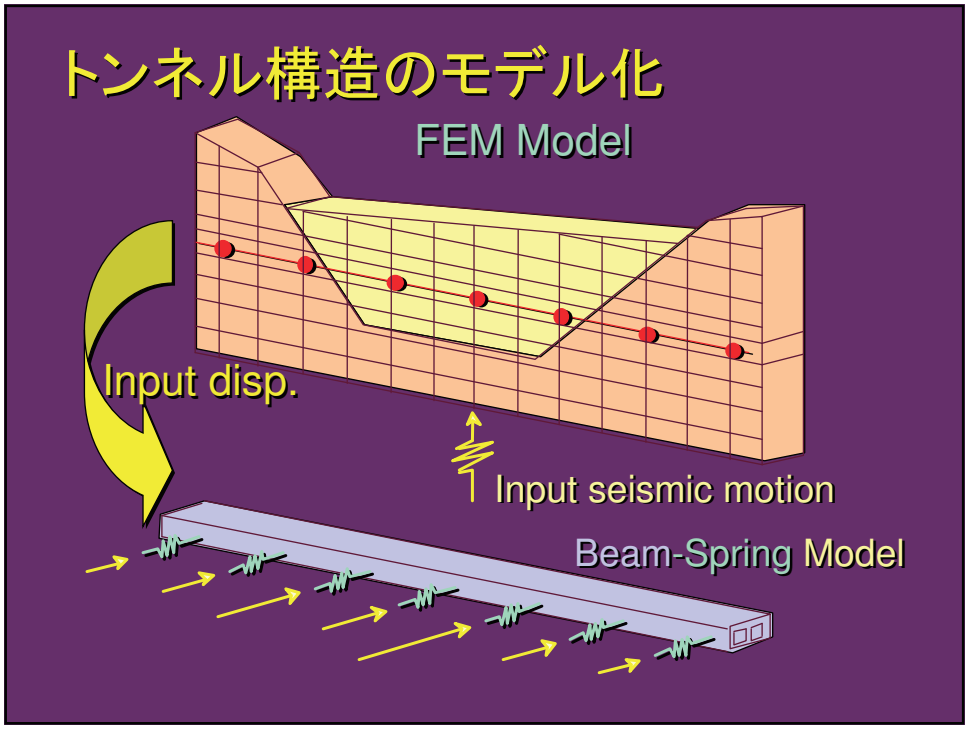

全面付着型ロックボルトの実験結果
Strain Gauge
100 mm
200 mm
6 mm
St3
St2
St1
50 mm
55 mm
45 mm
50 mm
Discontinuity
θ = 45°
θ = 90°
θ = 135°
Fully Bonded Rockbolt
135° 1st Run
Acceleration (gal)
Strain gauge 1
Strain gauge 2
Strain gauge 3
Strain (μs)
Displacement (mm)
Time (sec)

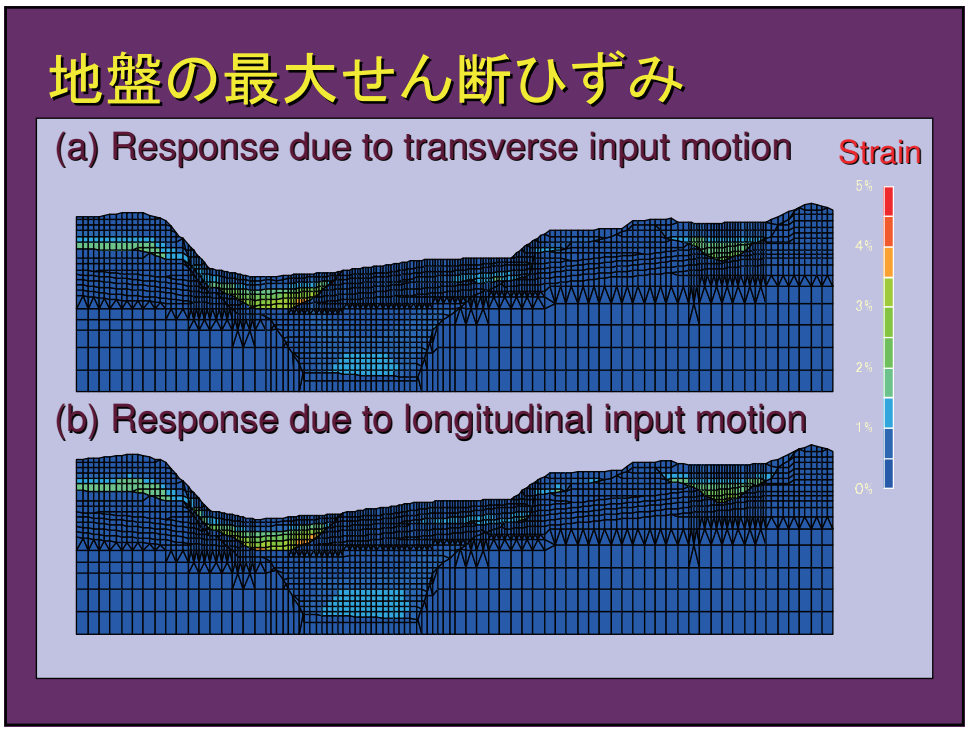

基盤の振動とロックボルトの軸ひずみ
90°
135°
200gal
300gal
450gal
Acceleration (gal)
Strain gauge 1
Strain gauge 2
Strain gauge 3
Strain (μs)
Displacement (mm)
Time (sec)

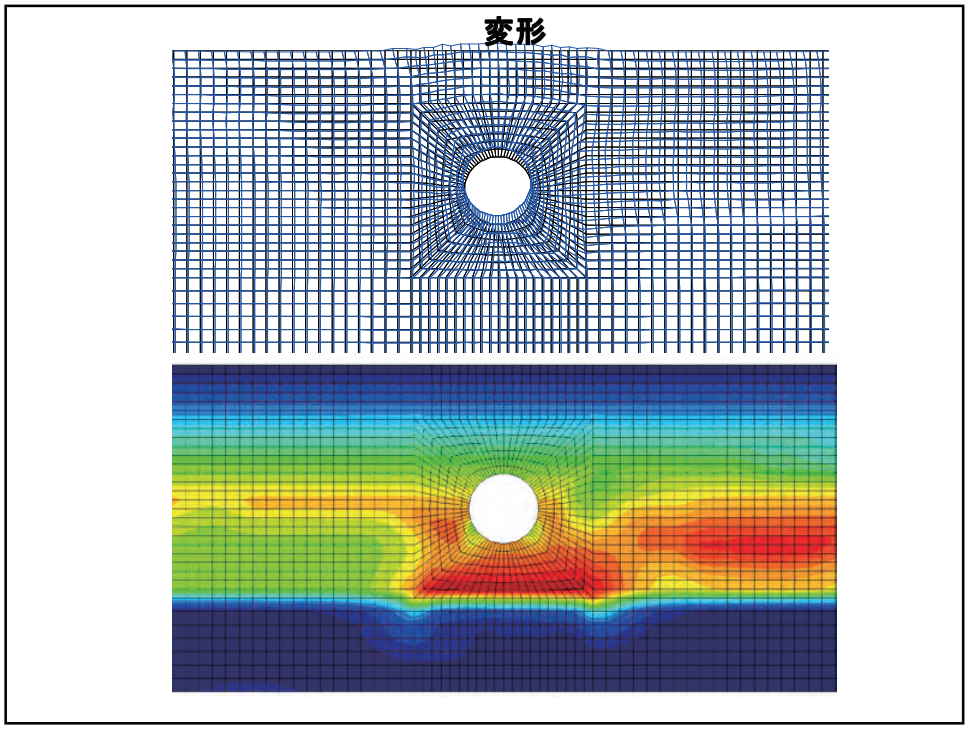
液状化地盤内のトンネルの上昇



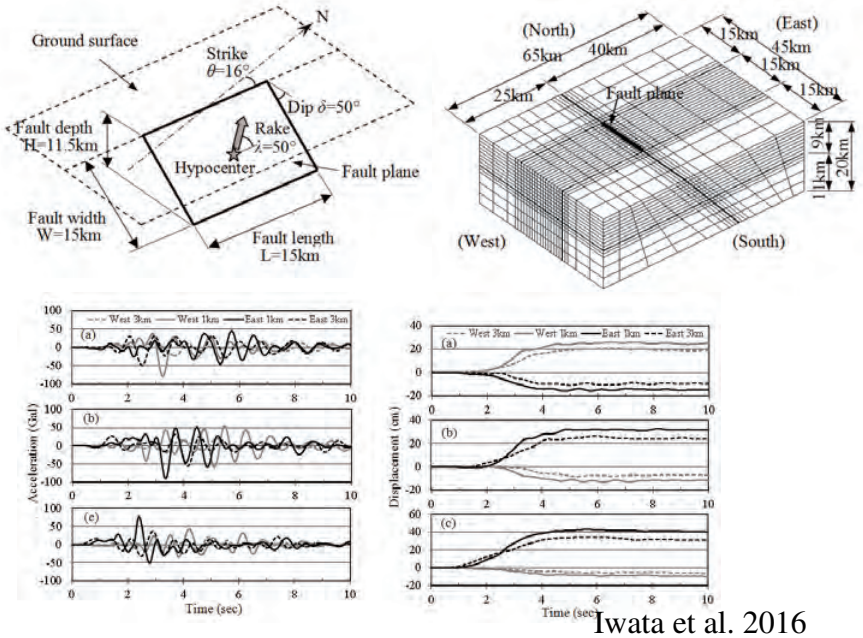
To be evaluated using actual ground data and scenario earthquake acceleration records




地盤の最大せん断ひずみ
(a) Response due to transverse input motion
Strain
5%
4%
3%
2%
1%
0%
(b) Response due to longitudinal input motion


変形

地震動の影響の評価

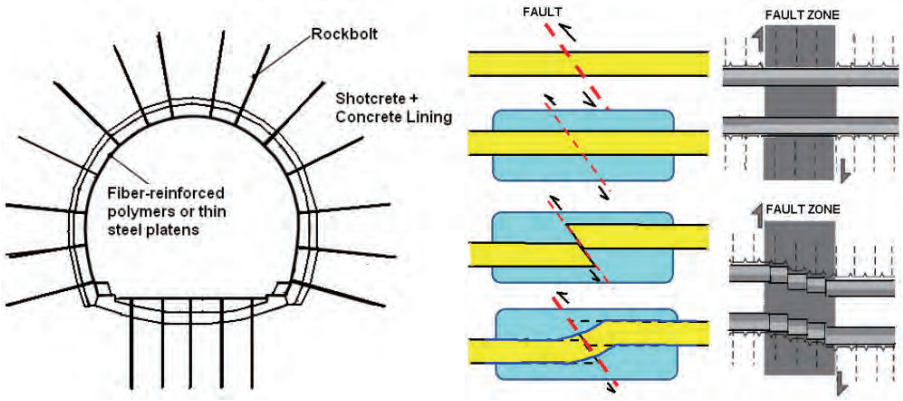


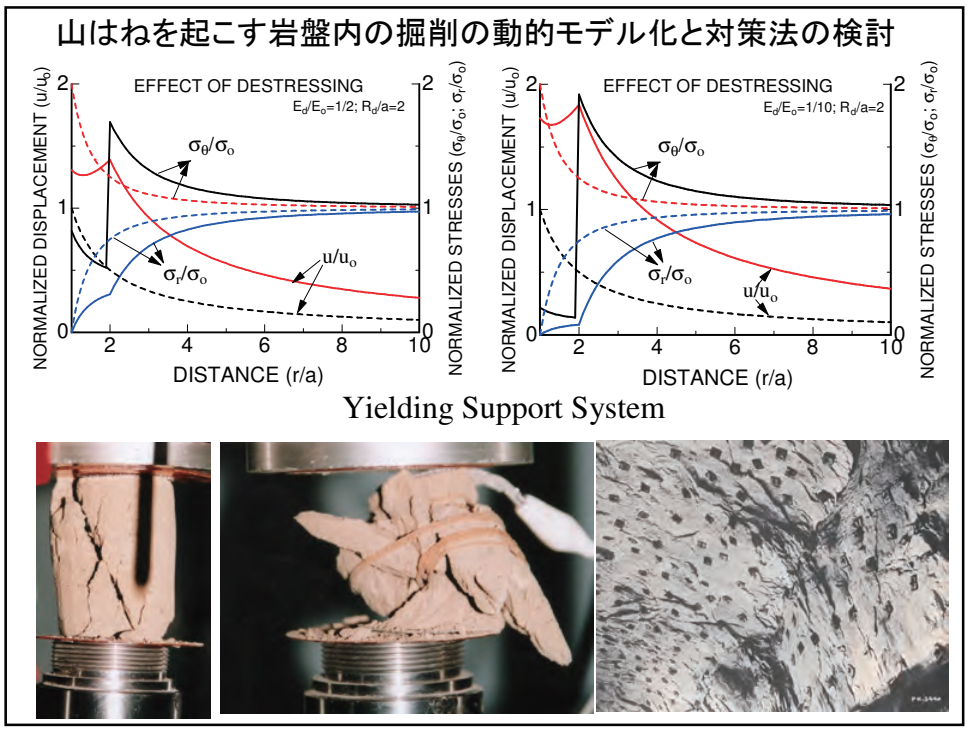
Iwata et al. 2016

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




山はねを起こす岩盤内の掘削の動的モデル化と対策法の検討
EFFECT OF DESTRESSING
E_d/E_o=1/2; R_d/a=2
σ_θ/σ_o
σ_r/σ_o
u/u_o
NORMALIZED DISPLACEMENT (u/u_o)
NORMALIZED STRESSES (σ_θ/σ_o; σ_r/σ_o)
DISTANCE (r/a)
EFFECT OF DESTRESSING
E_d/E_o=1/10; R_d/a=2
σ_θ/σ_o
σ_r/σ_o
u/u_o
NORMALIZED DISPLACEMENT (u/u_o)
NORMALIZED STRESSES (σ_θ/σ_o; σ_r/σ_o)
DISTANCE (r/a)
Yielding Support System

02 3次元 FEM解析（トンネル掘削問題）

株式会社フジタ　池内 正明 様

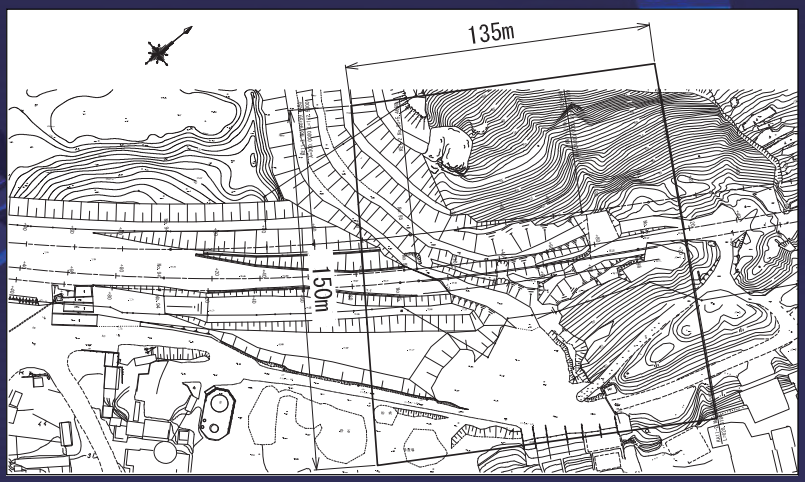
～ MIDAS GTSを使用した解析事例紹介 ～

3次元FEM解析（トンネル掘削問題）

株式会社フジタ
池内　正明

■工事概要

- トンネル延長　L＝99m（NATM工法，機械掘削）
- 幅員　W＝10.5m
- 内空断面積　A＝76.2m^2
- 掘削土量　V＝19,160m^3



■経緯

・斜面対策としてトンネル上に押さえ盛土

・地形が当初設定と異なる

・地層構成が当初の想定と異なる

⇩

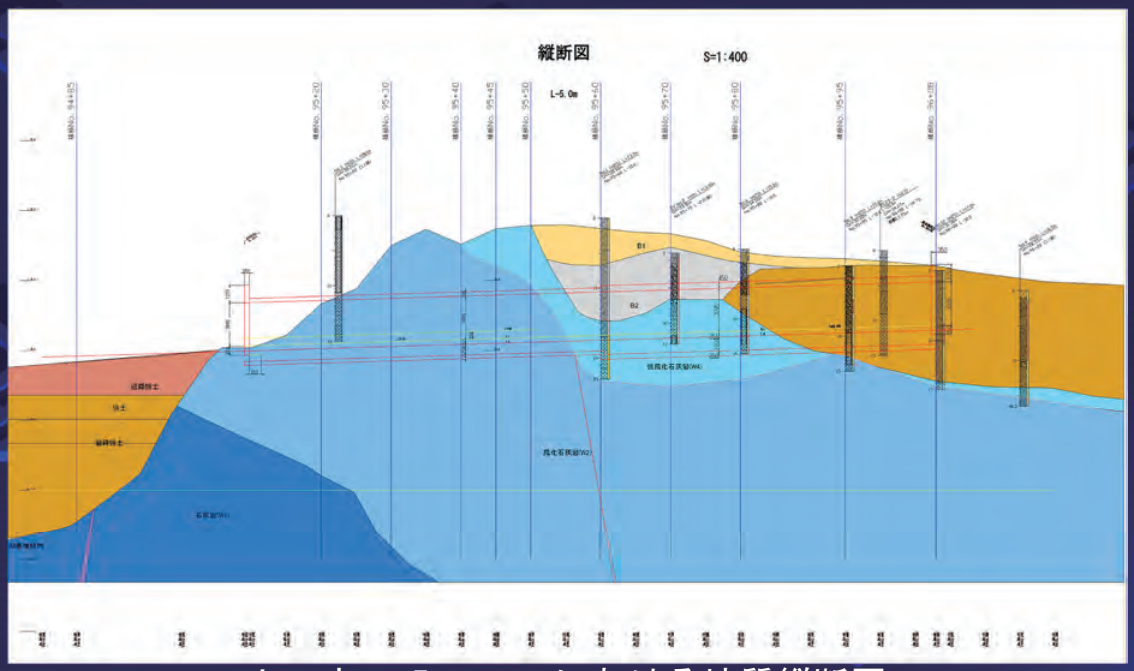
修正設計が必要

（設計施工）

■修正設計業務内容

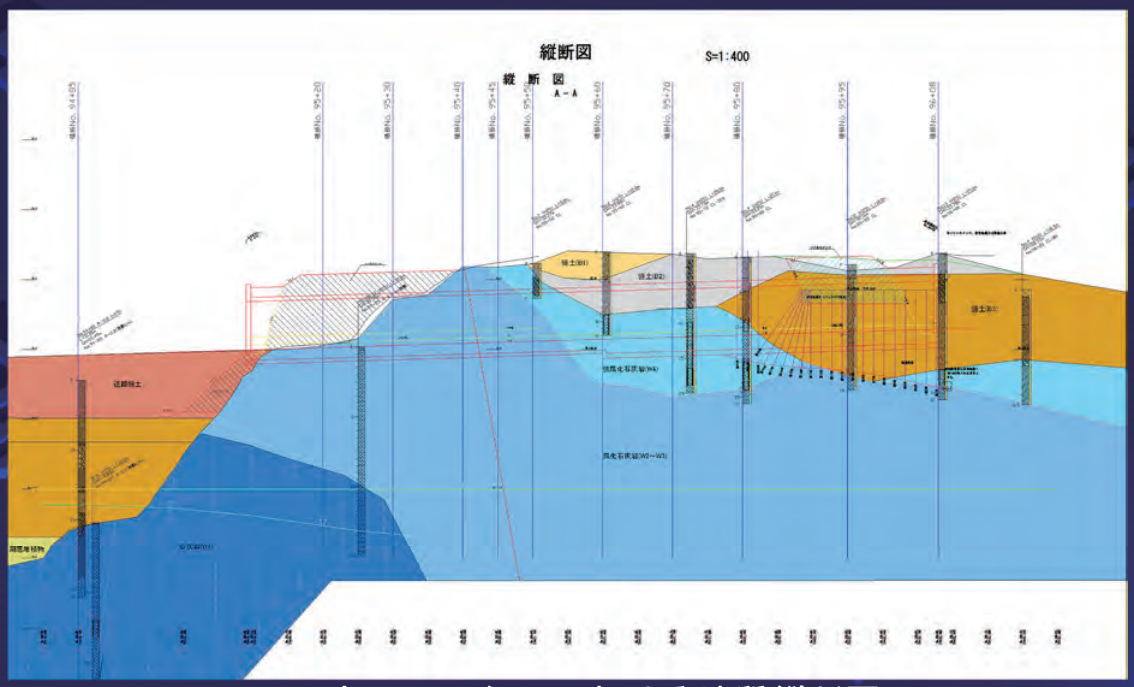
項　　目	単　位	数　量
山岳トンネル詳細設計		
設計計画，条件確認，現地踏査	式	1
本体工設計	断面	3
補助工法の選定		
天端・脚部の検討(2次元FEM解析)	断面	3
切羽の検討(3次元FEM解析)	式	1
支保構造照査（フレーム解析）	断面	3
覆工構造設計		
Ⅱ期線影響検討（2次元FEM解析）	断面	3
構造設計（フレーム解析）	断面	3
照査	式	1
設計協議	式	1

■地質縦断図



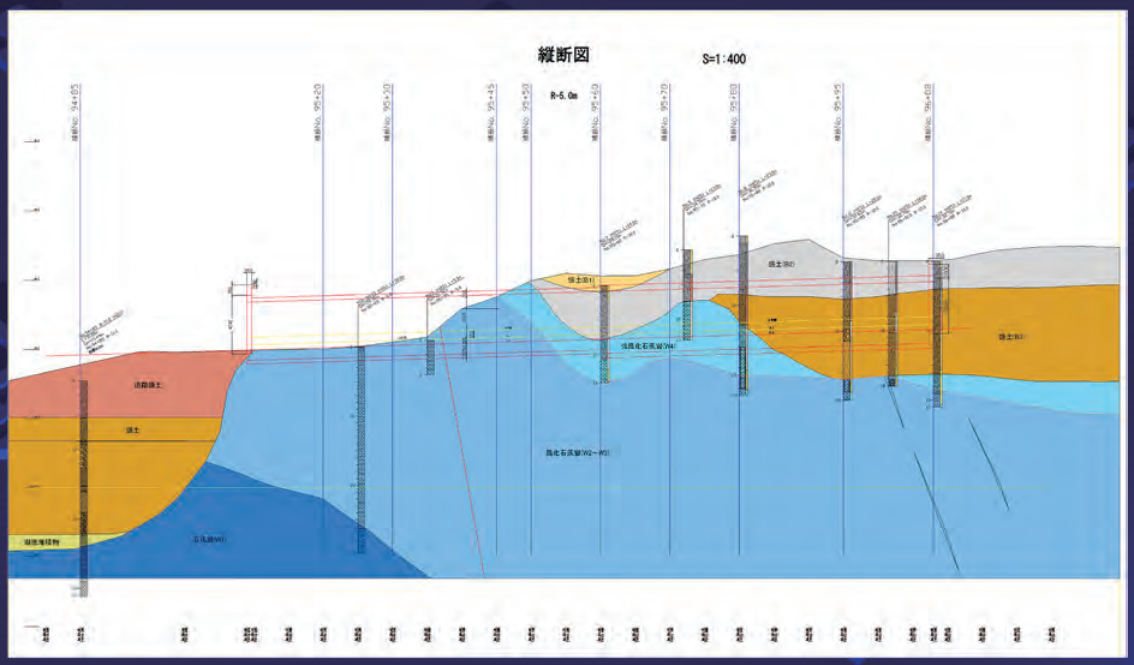
トンネル L-5.0m における地質縦断図

■地質縦断図



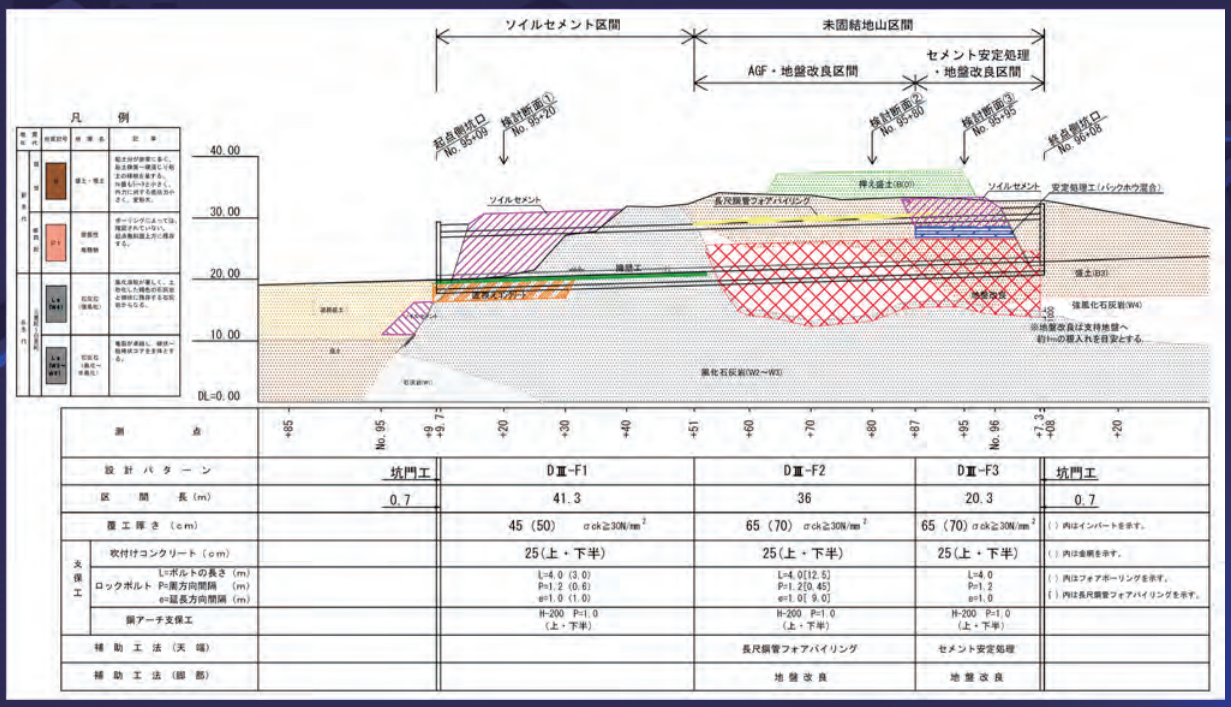
トンネルセンターにおける地質縦断図

■地質縦断図

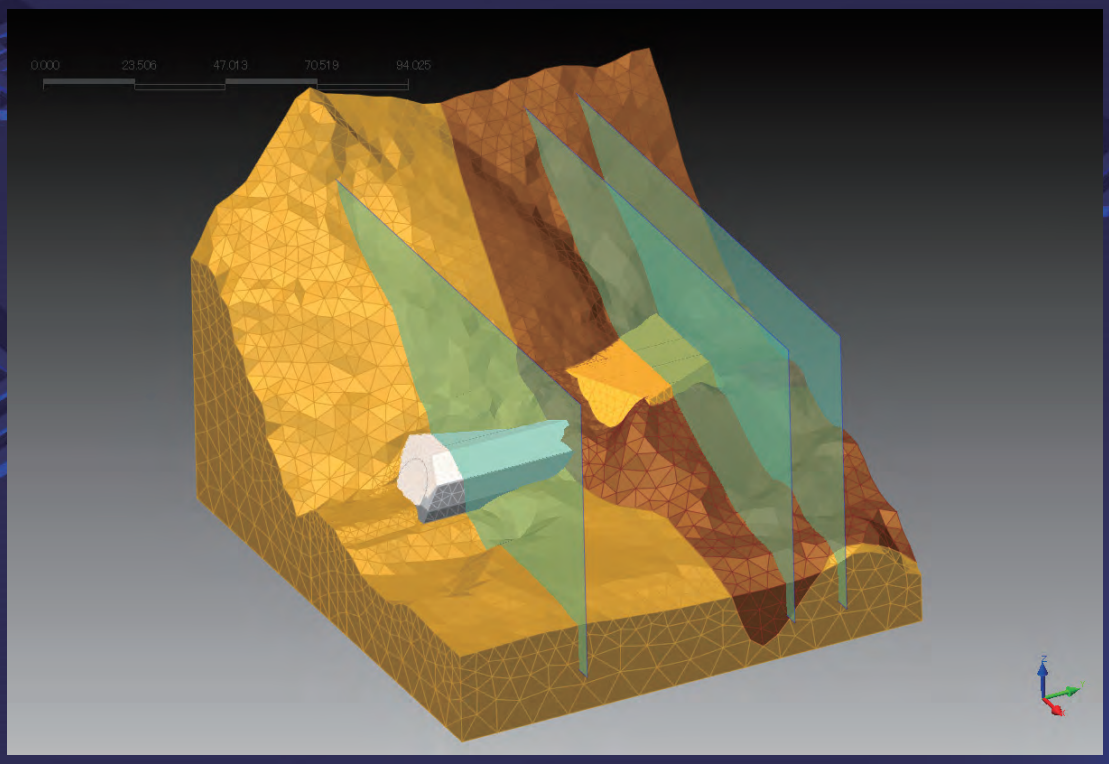


トンネル R-5.0m における地質縦断図

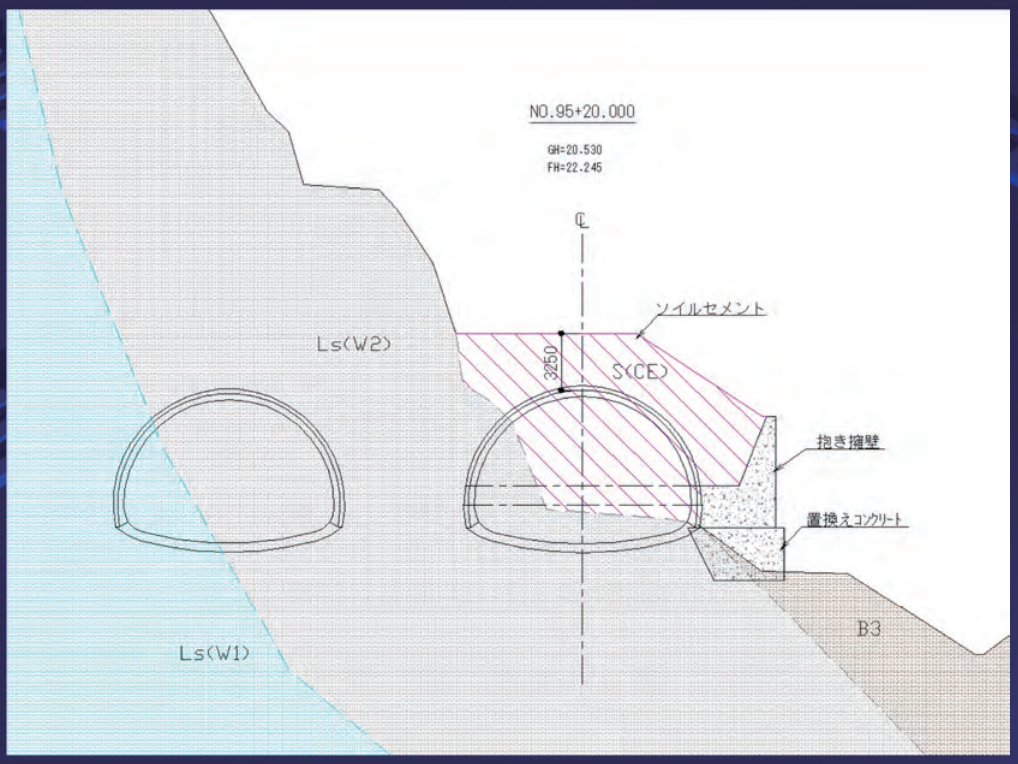
■設計結果



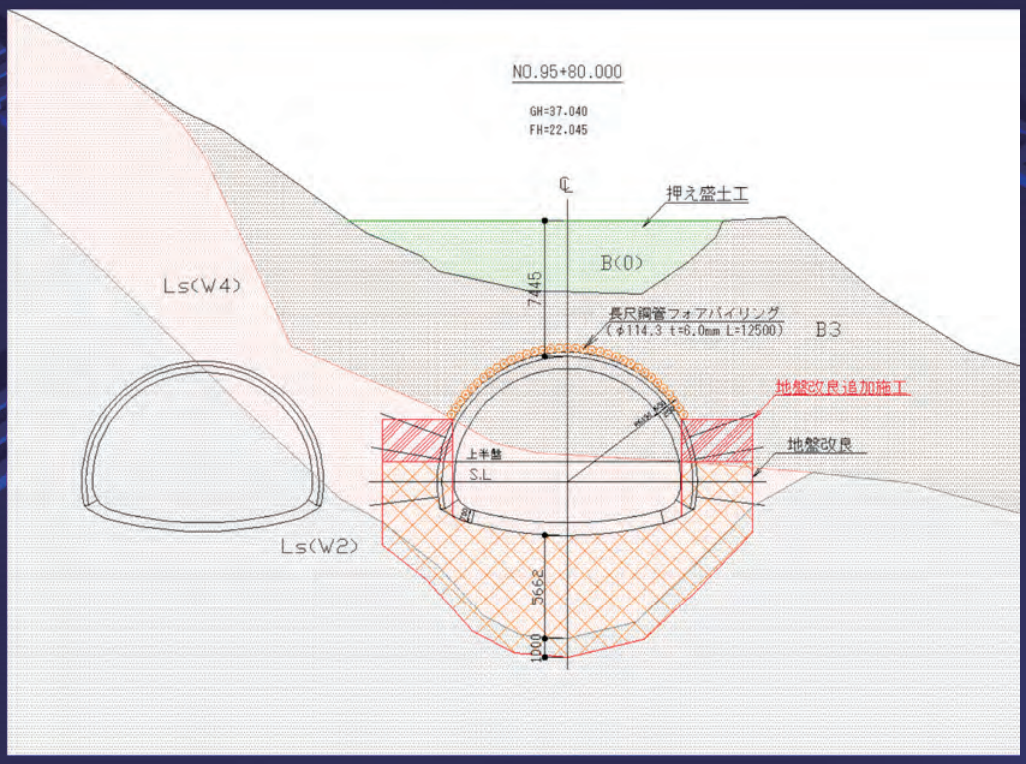
■覆工設計断面



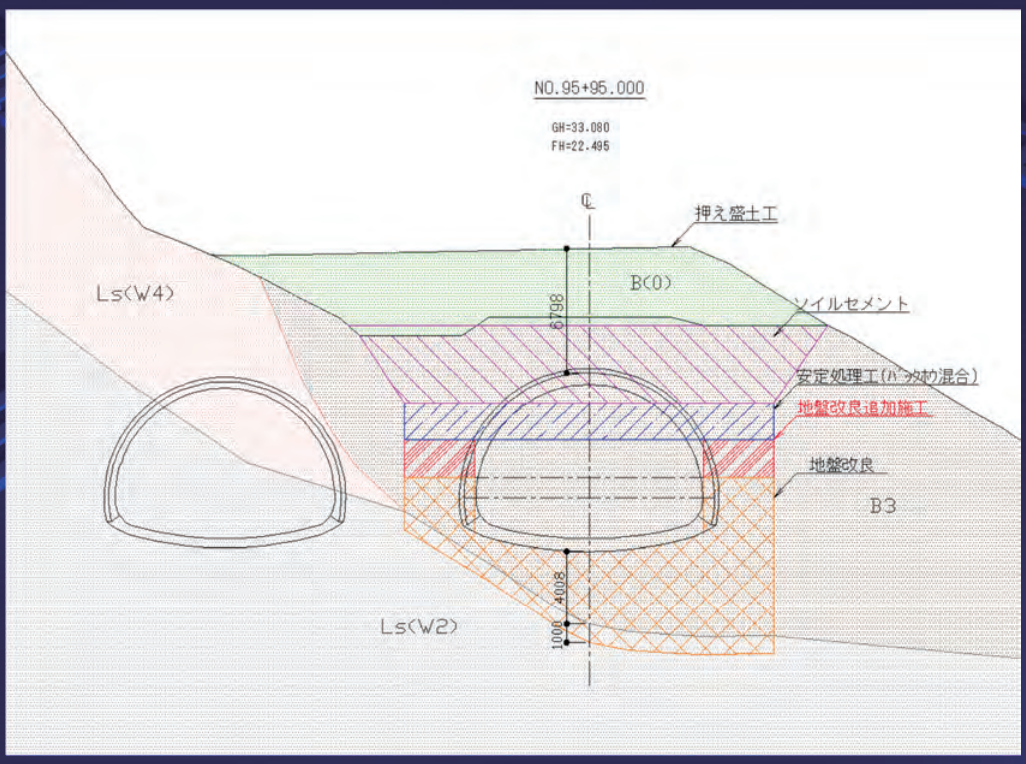
■覆工設計断面



■覆工設計断面



■覆工設計断面

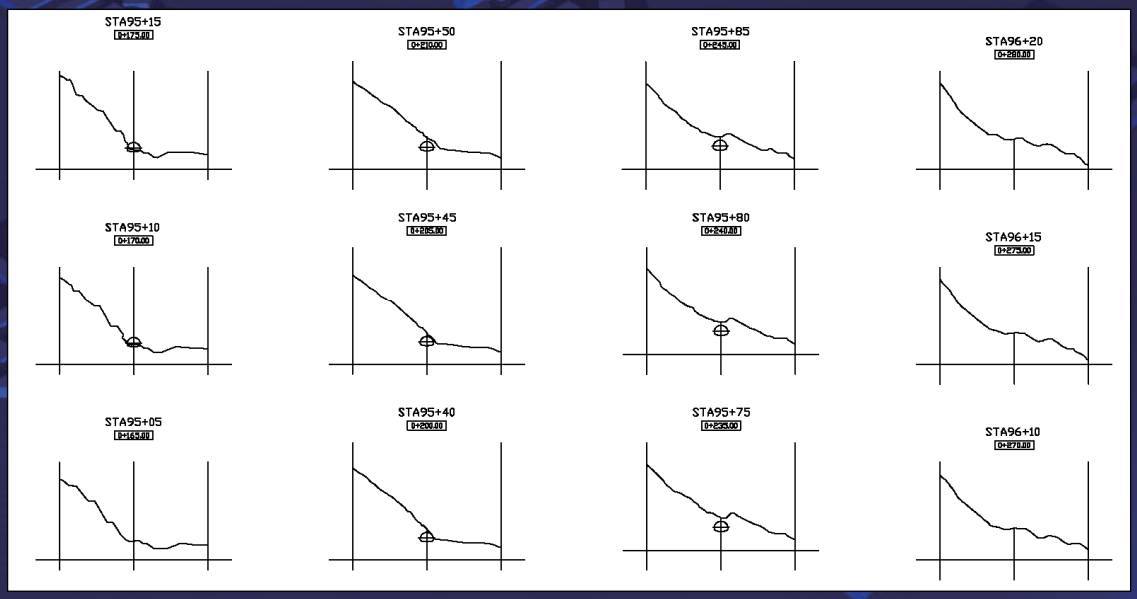


■ 3 次元FEMのモデル化

・地表面形状作成手順の紹介

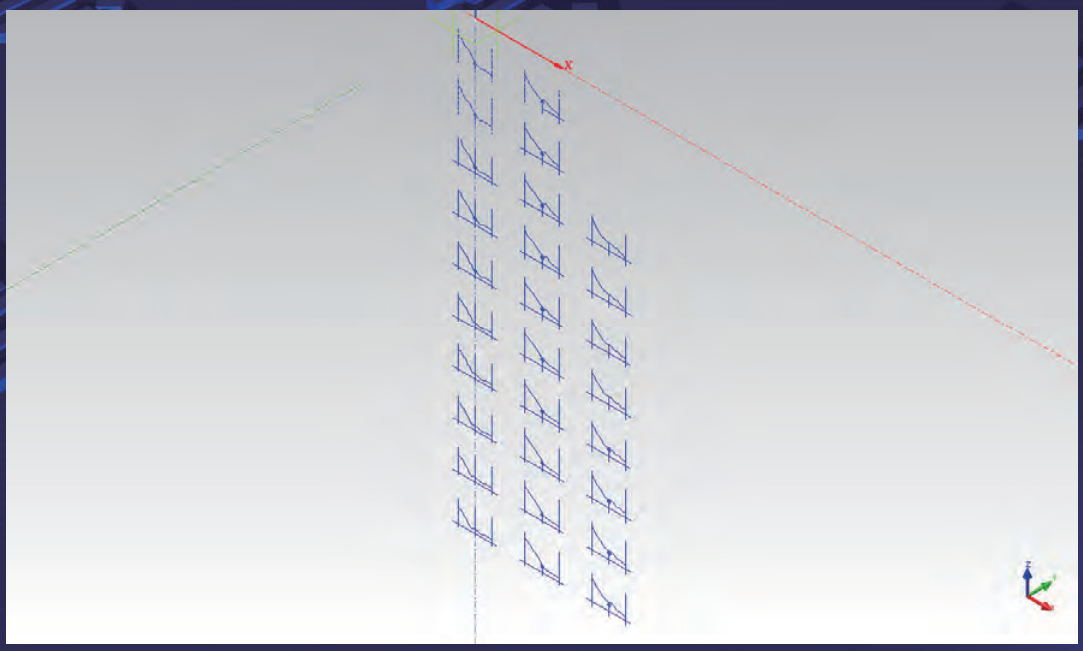
■ 3 次元FEMのモデル化

Step-1 CADで横断図を作成



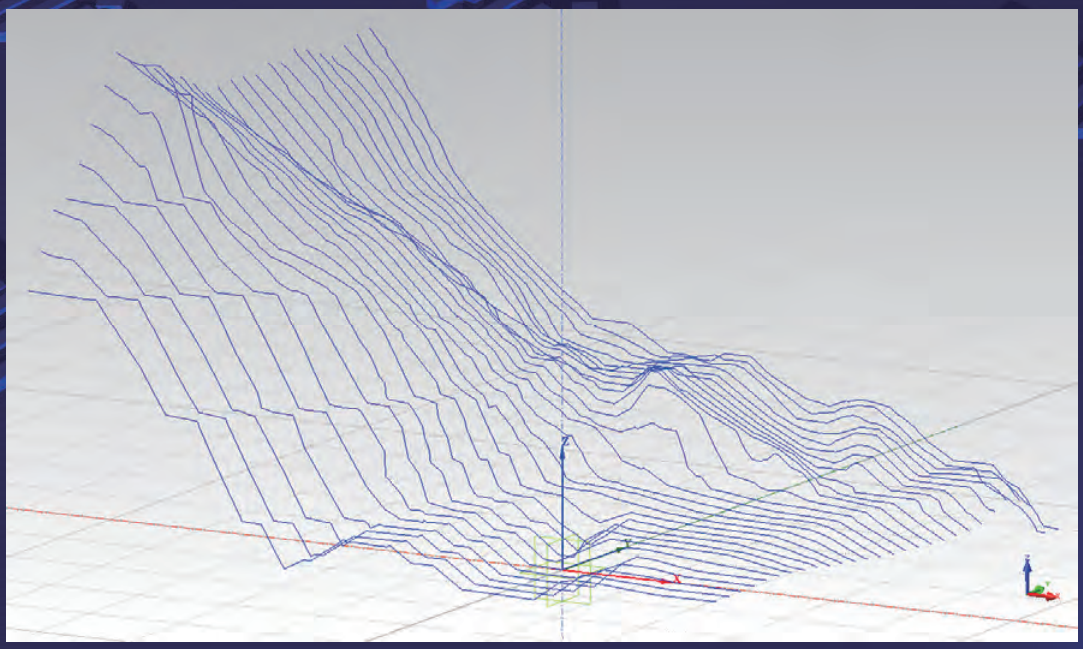
■３次元FEMのモデル化

Step-2 GTS上でCADデータ（DXF）読込み



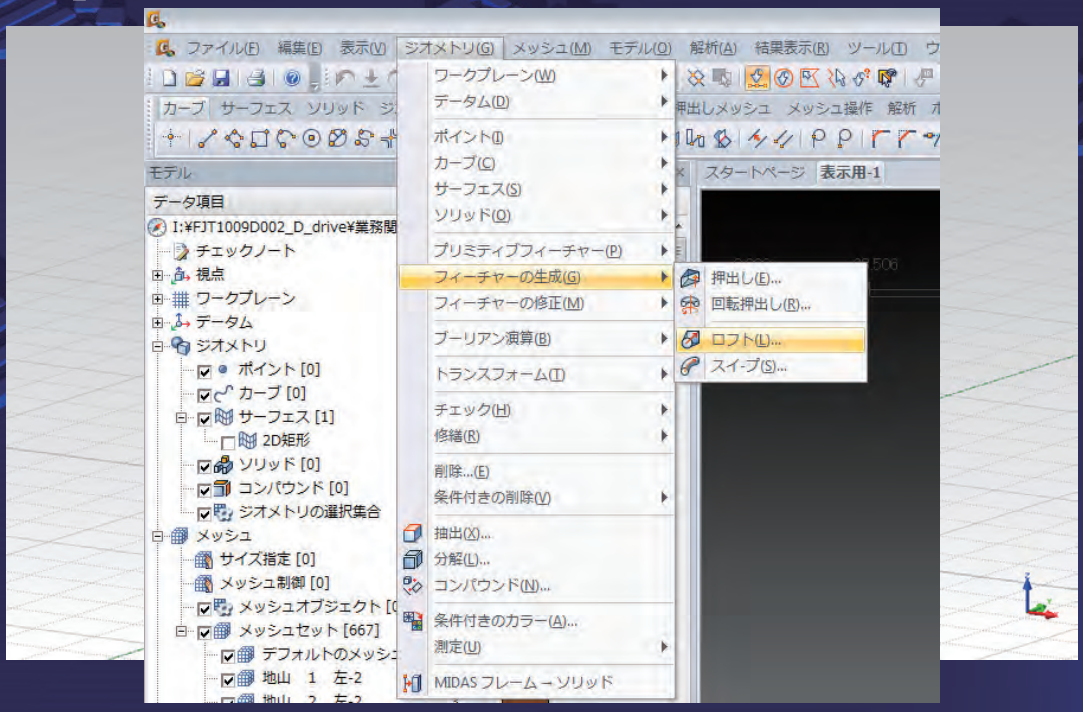
■３次元FEMのモデル化

Step-3 地表面ラインを３次元に配置

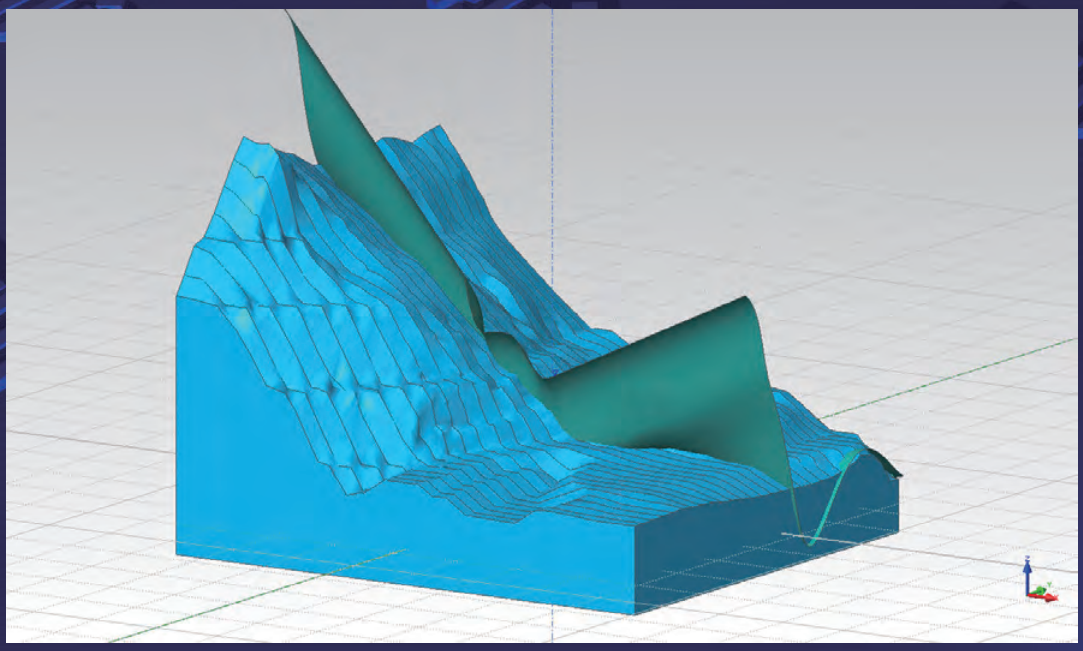


■３次元FEMのモデル化

Step-4 ロフトによりサーフェスを生成



■３次元FEMのモデル化



■３次元FEMのモデル化

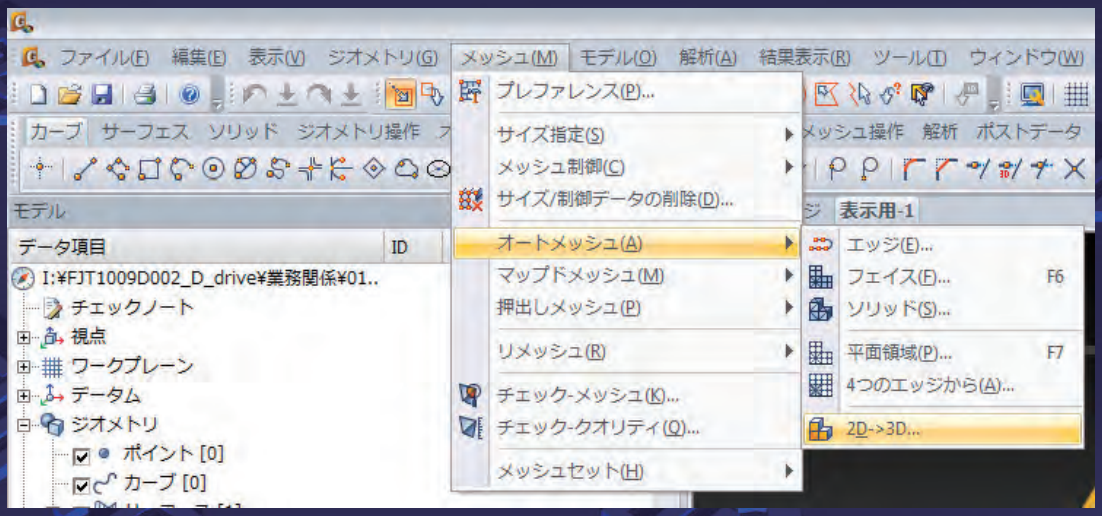
・メッシュ作成手法の紹介

モデル化において最も厄介な点はメッシュセット隣接面の節点共有!!!

確実に共有させる方法

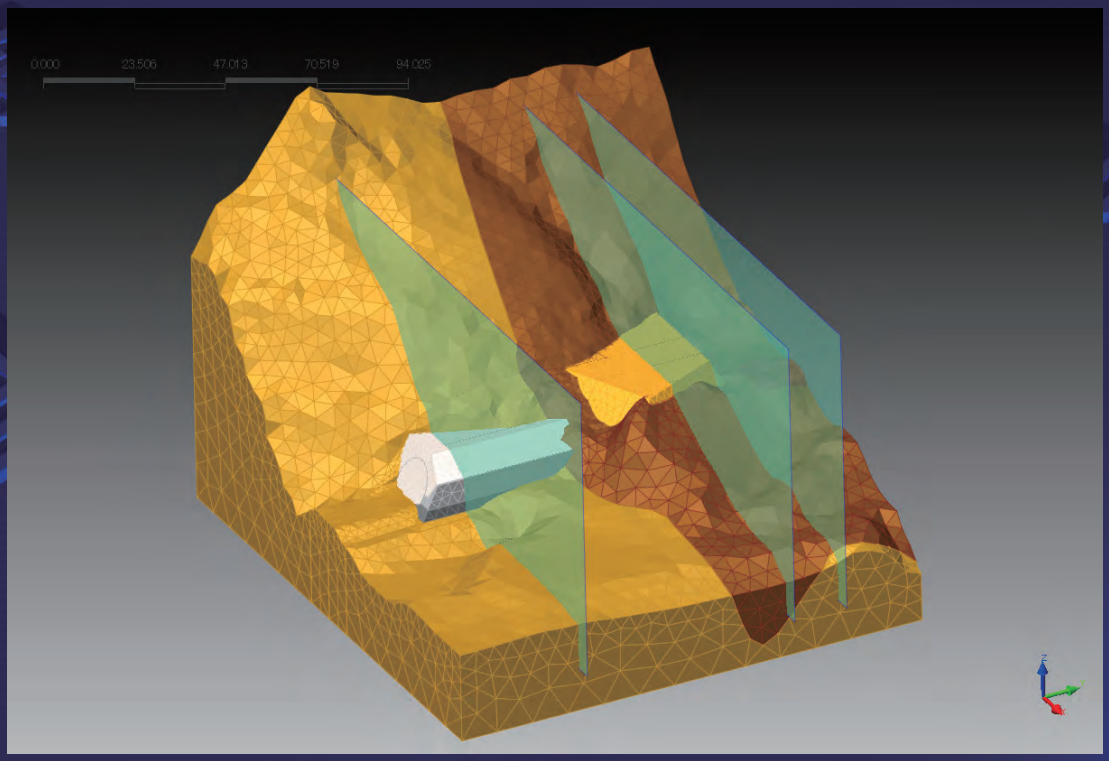
メッシュ⇒オートメッシュ⇒2D→3D

■３次元FEMのモデル化

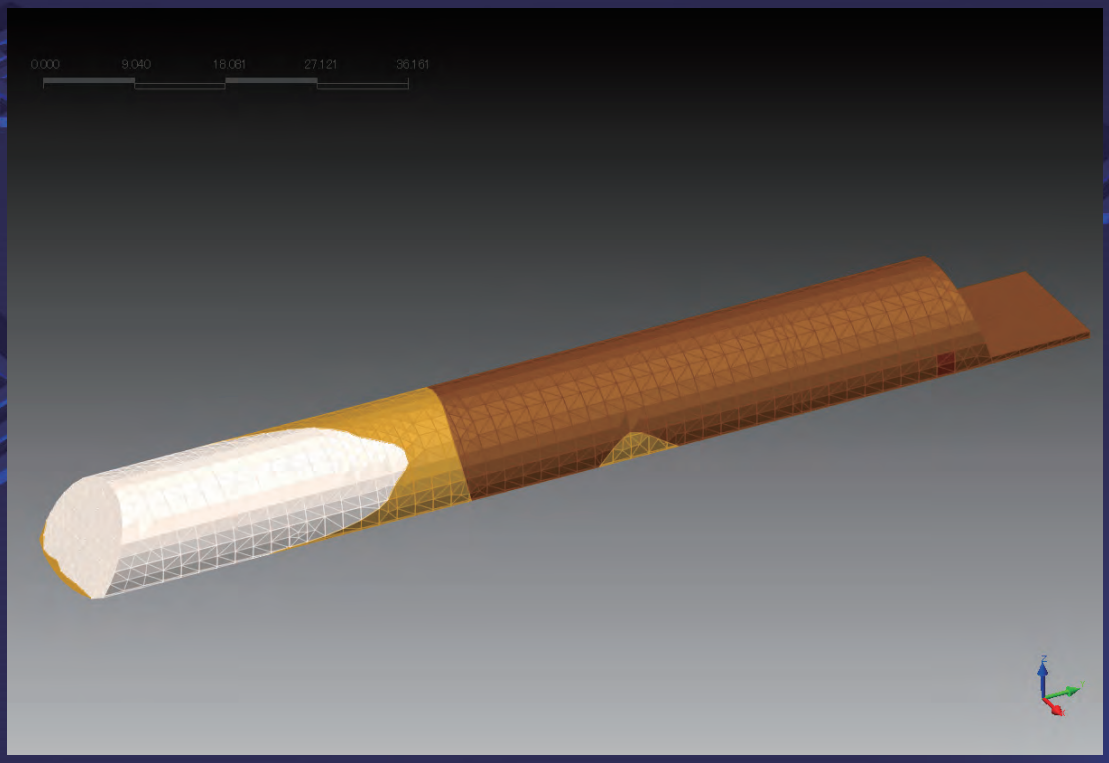


メッシュセット単位でソリッドを分割し、その表面に2D要素を作成して閉じた箱を作り、その中を3D要素で詰める手法。

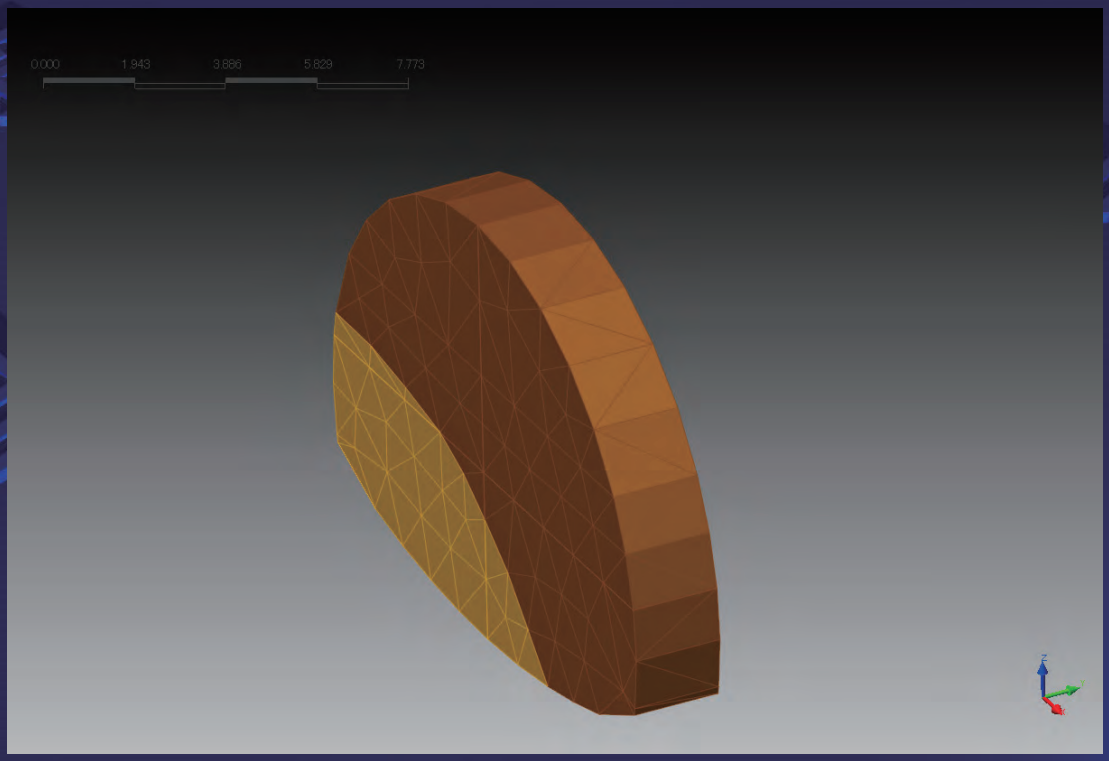
■３次元FEMのモデル化



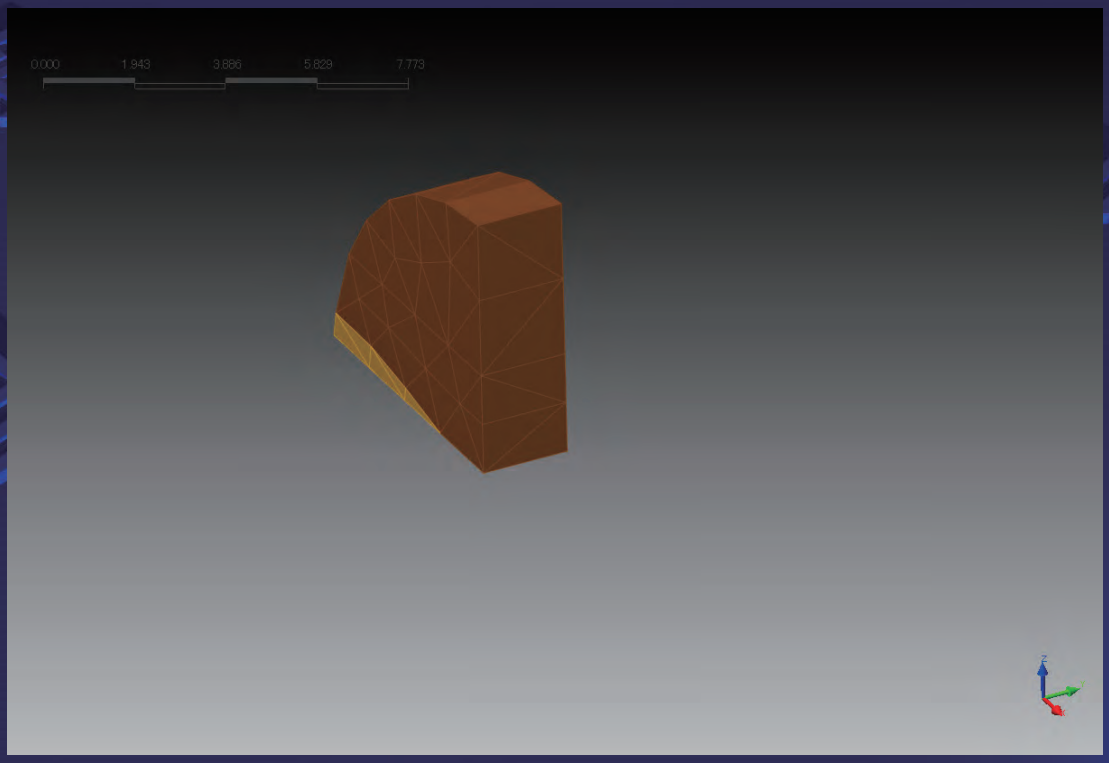
■３次元FEMのモデル化



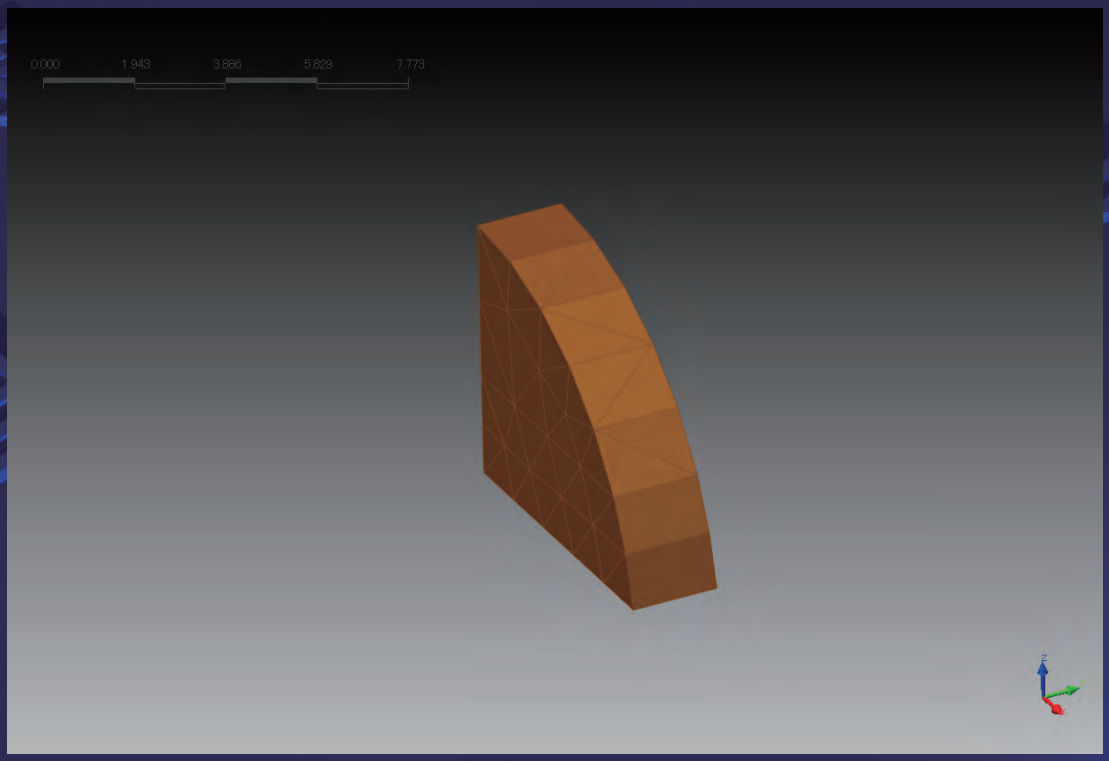
■ 3 次元FEMのモデル化



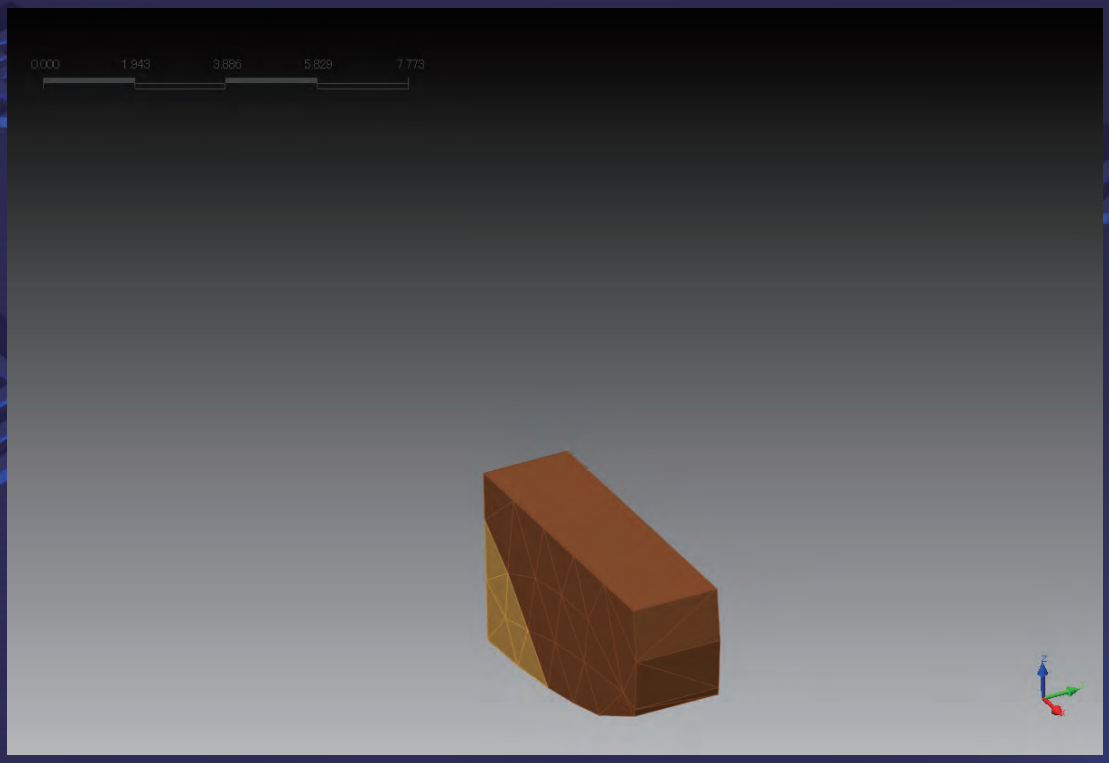
■ 3 次元FEMのモデル化



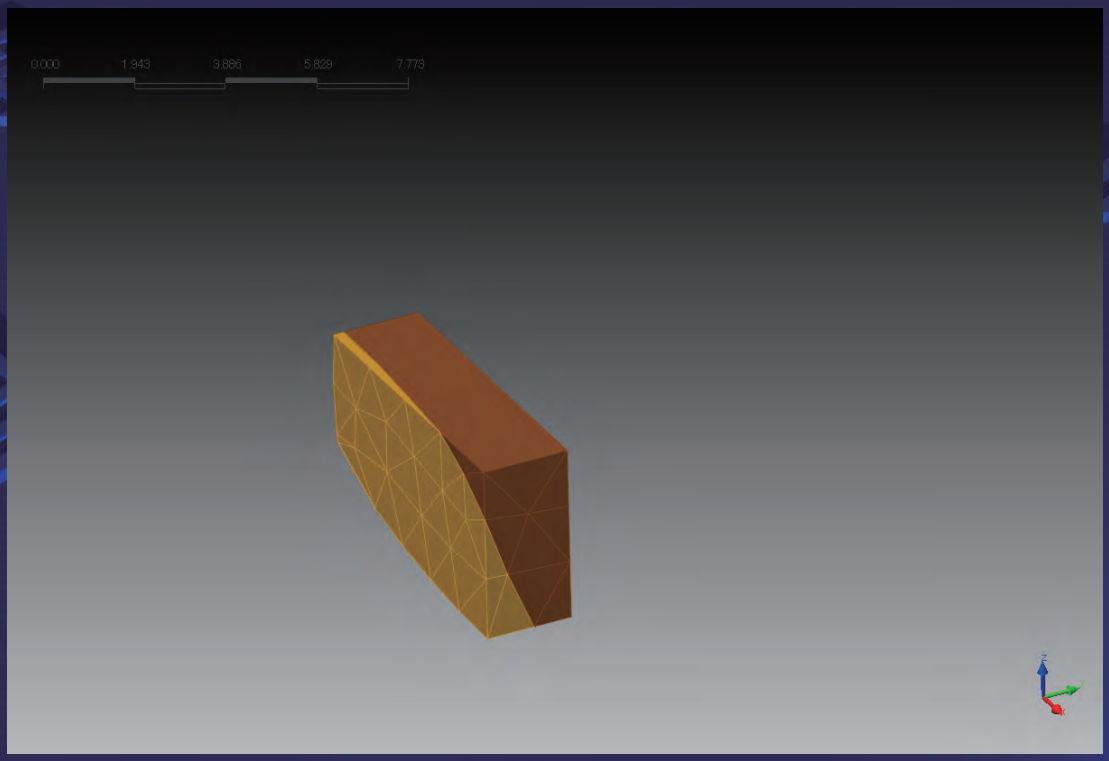
■ 3 次元FEMのモデル化



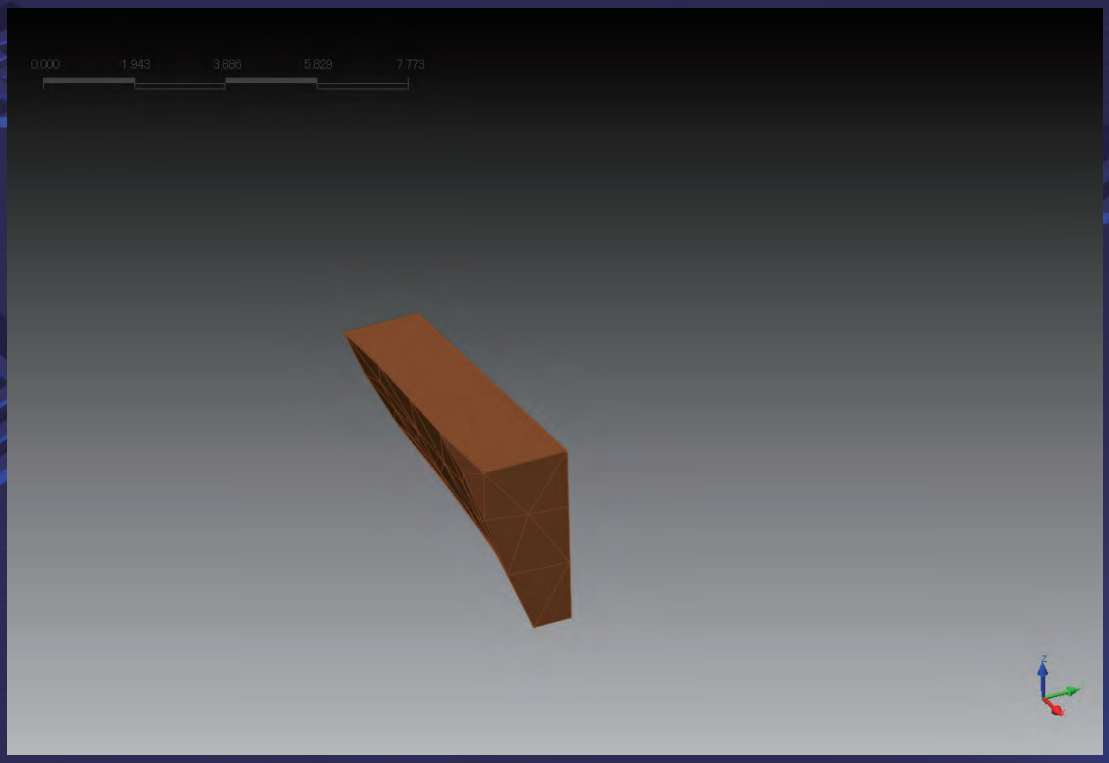
■ 3 次元FEMのモデル化



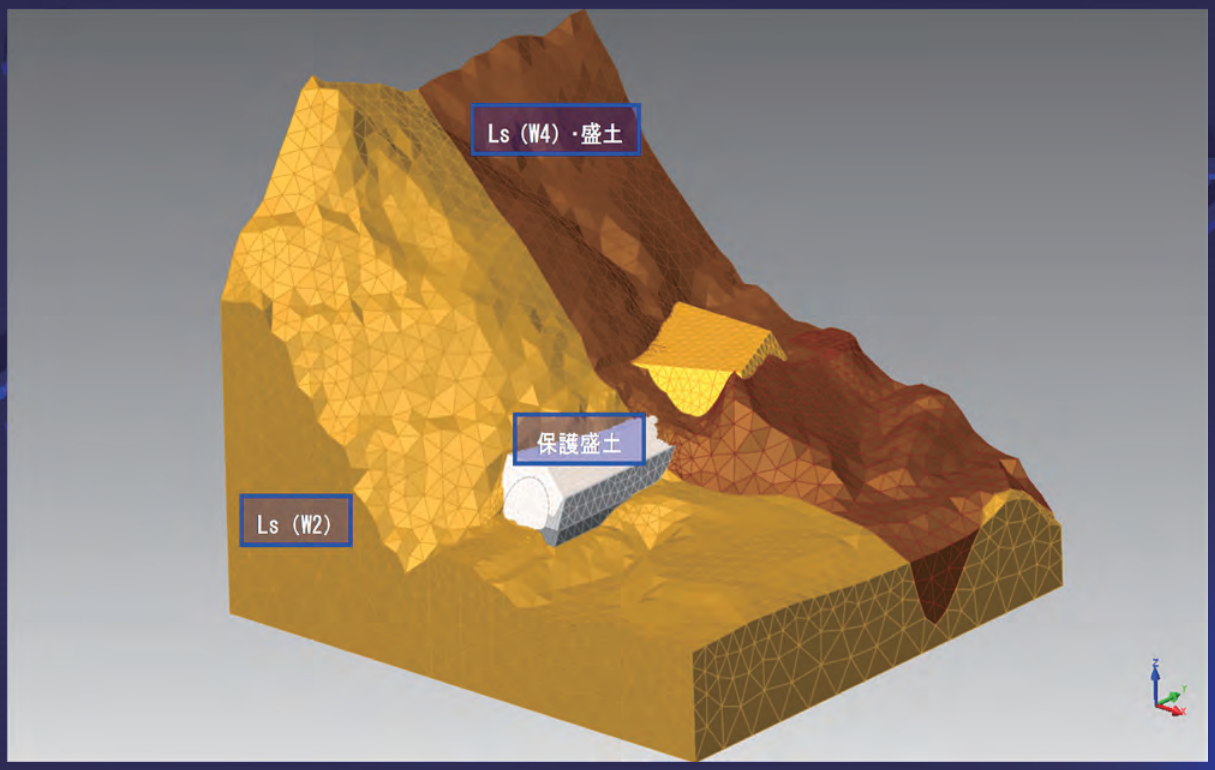
■ 3 次元FEMのモデル化



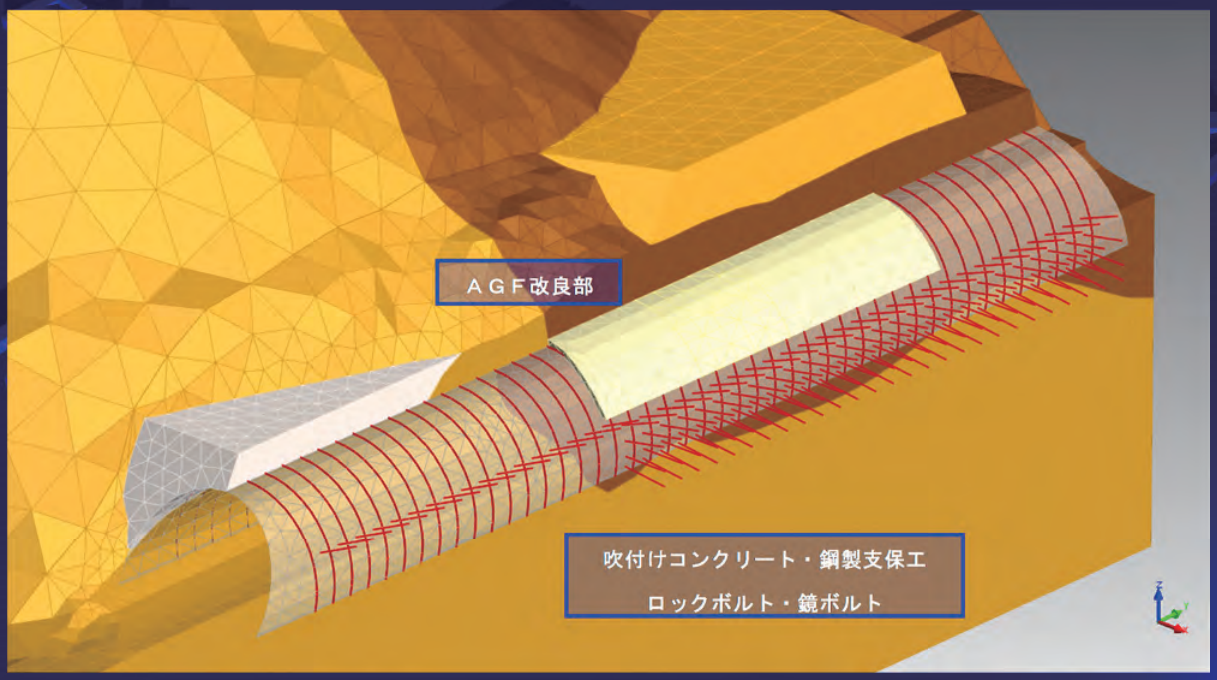
■ 3 次元FEMのモデル化



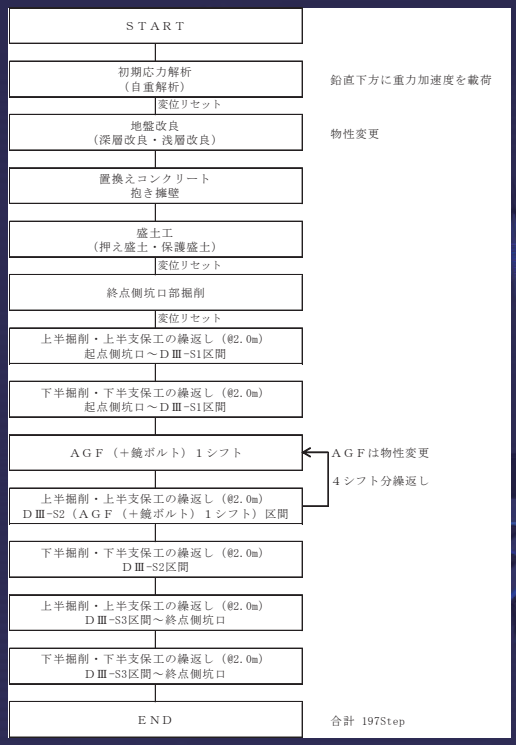
■３次元FEMのモデル化



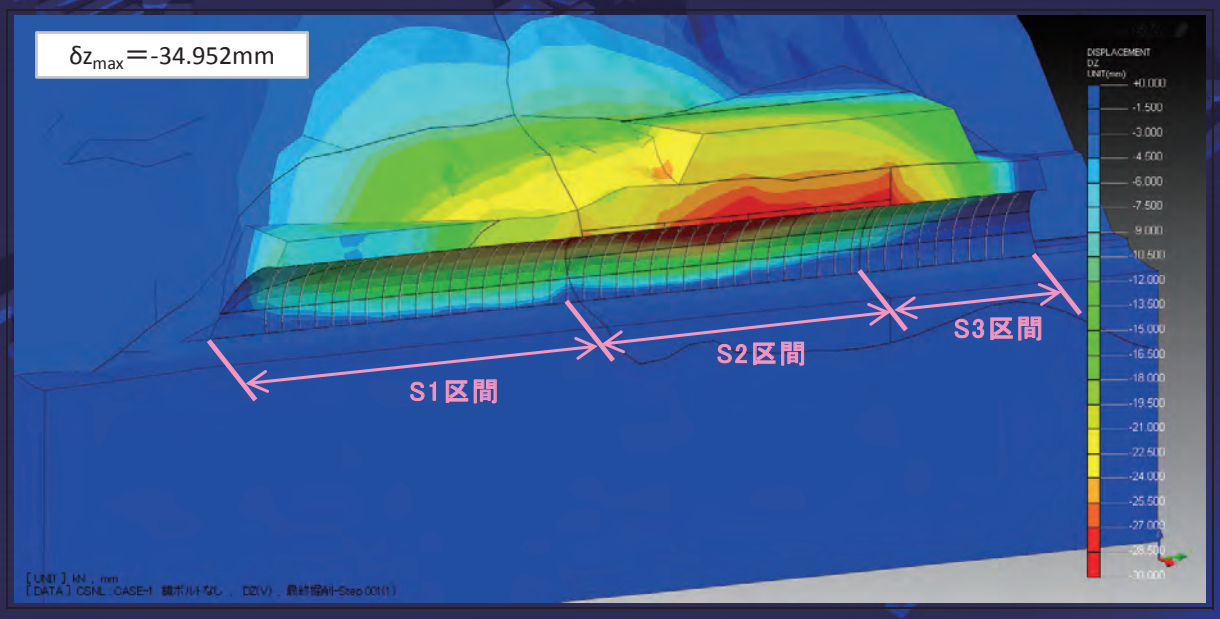
■３次元FEMのモデル化



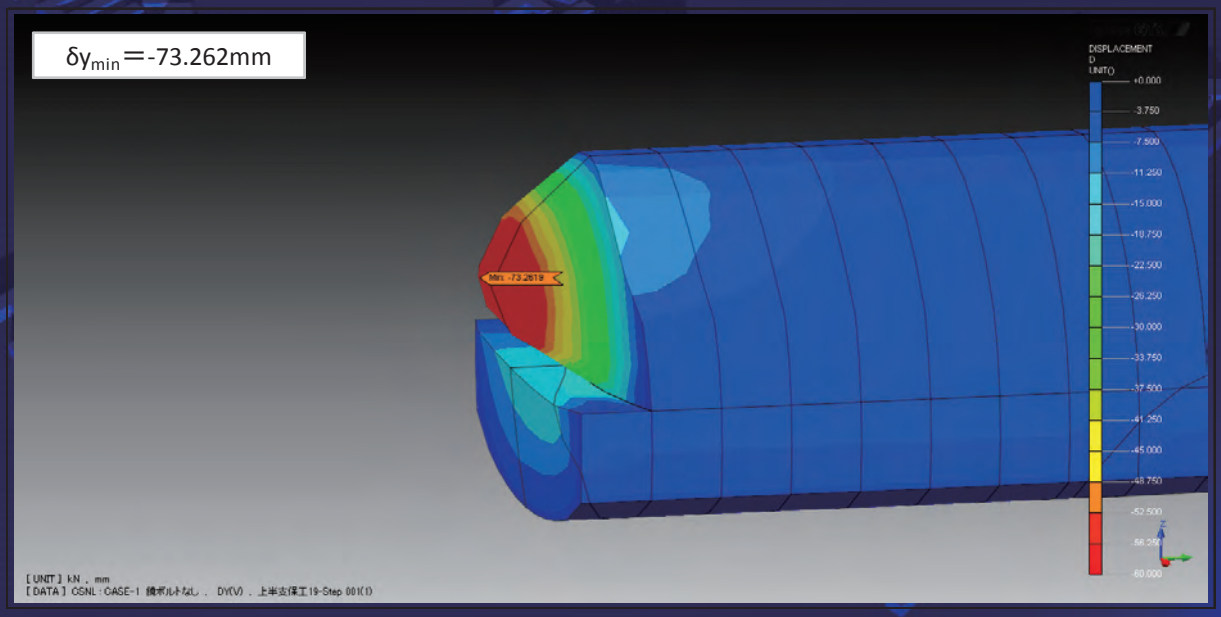
■３次元FEMのモデル化



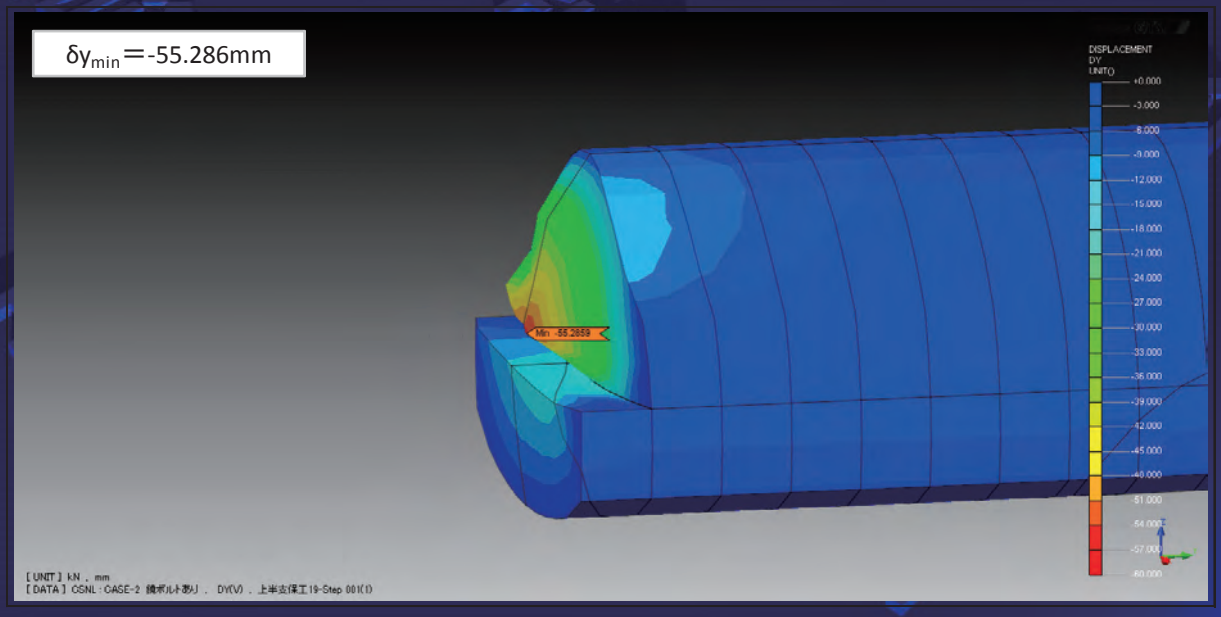
■解析結果の一例



■解析結果の一例

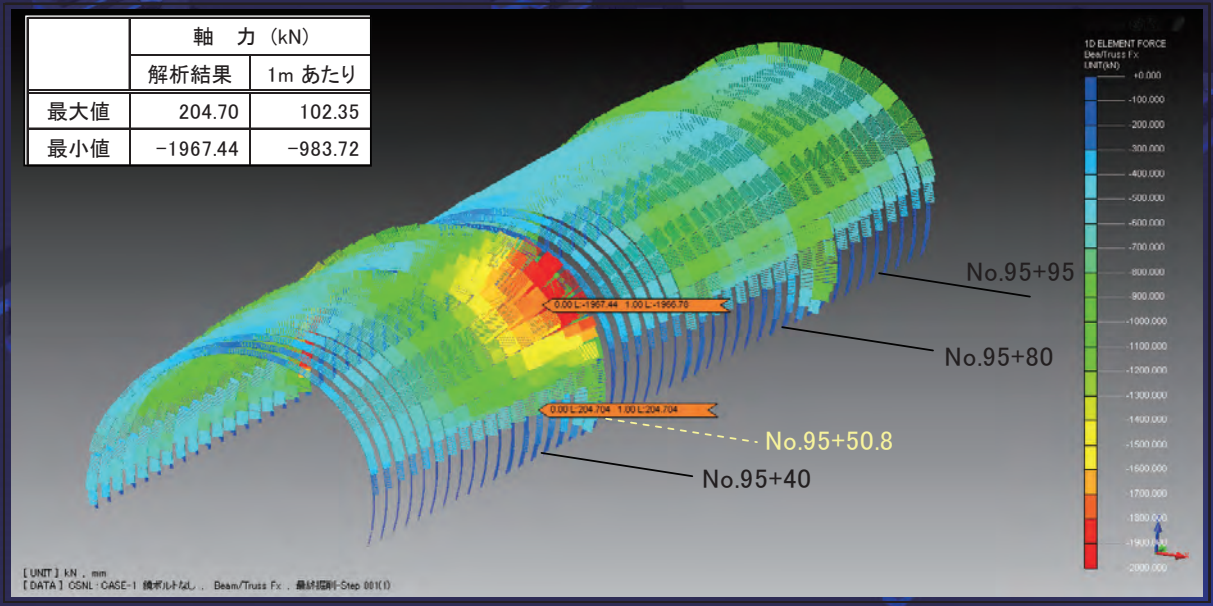


■解析結果の一例



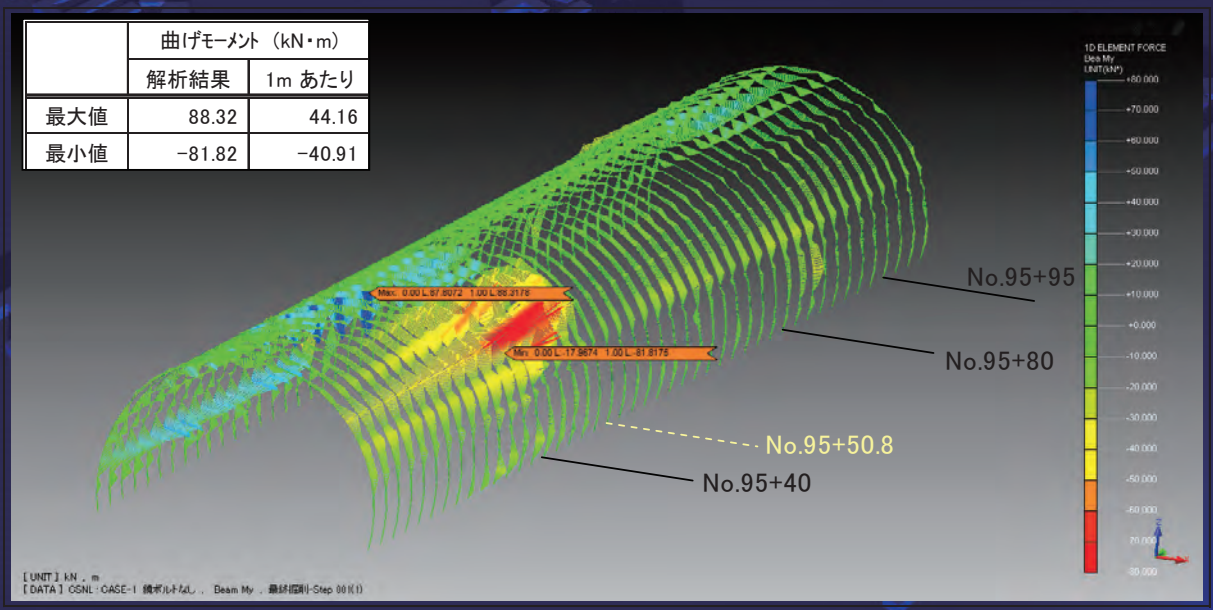
■解析結果の一例

	軸　力（kN）	
	解析結果	1m あたり
最大値	204.70	102.35
最小値	−1967.44	−983.72



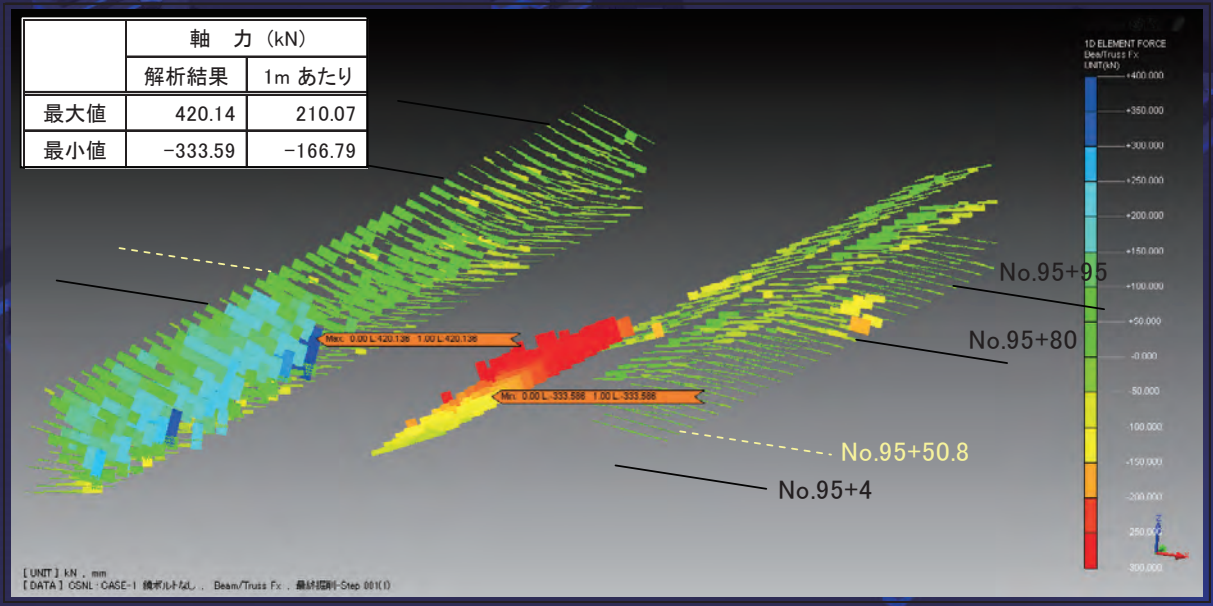
■解析結果の一例

	曲げモーメント（kN・m）	
	解析結果	1m あたり
最大値	88.32	44.16
最小値	−81.82	−40.91



■解析結果の一例

	軸　力（kN）	
	解析結果	1m あたり
最大値	420.14	210.07
最小値	−333.59	−166.79



■まとめ

・３次元解析を行って全体の傾向を把握

↓

・設計断面以外の部分が最も厳しい事が判明

↓

・施工時の注意喚起（変形大，小崩落発生）

↓

・事前予測が出来ていたので素早く対応

３次元解析を実施しないと見えない事も多い!!!

03 避難連絡坑を考慮したトンネル 3次元解析モデル

株式会社フジタ　徳永 高志 様

GTS NX

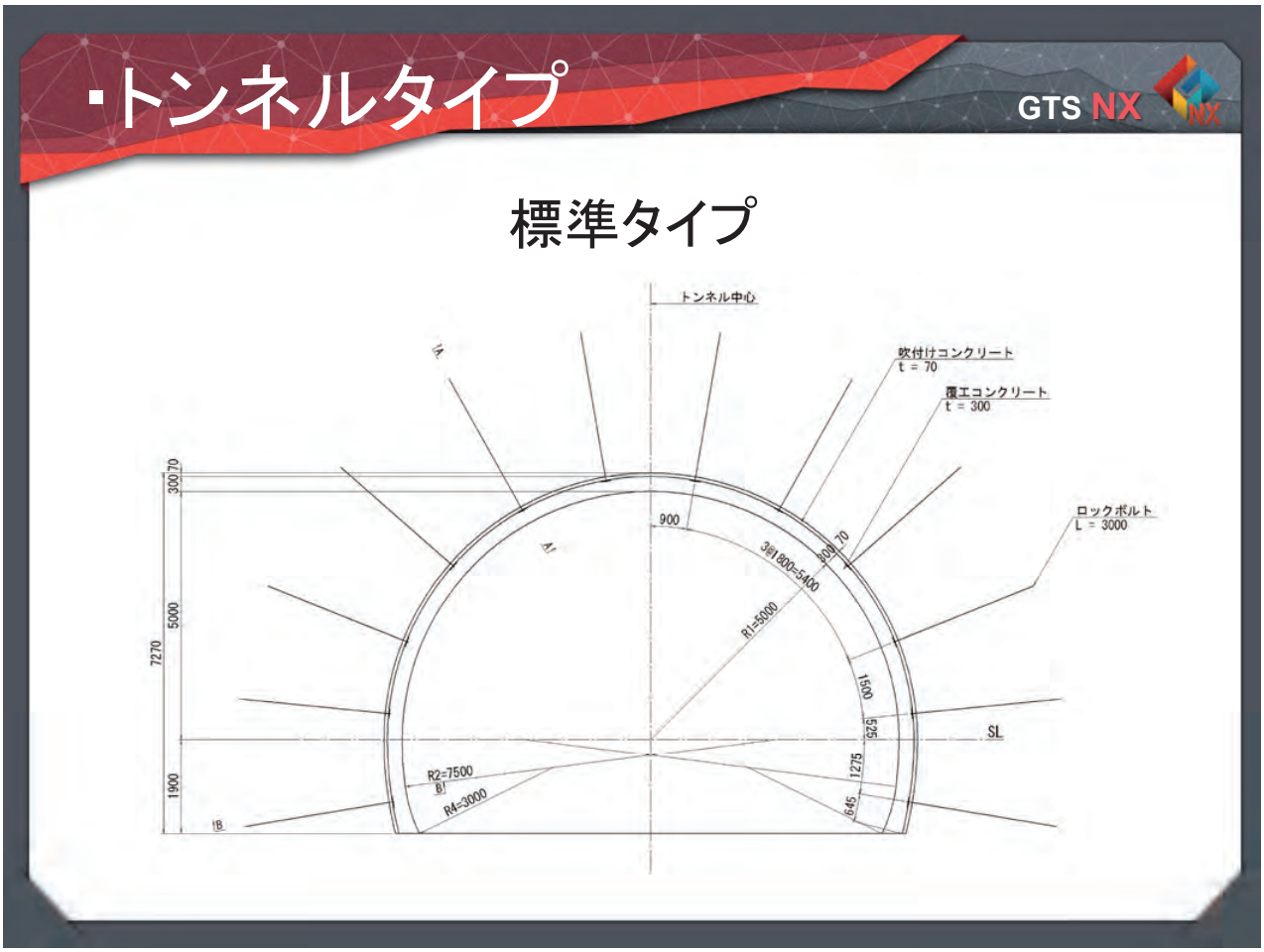
2015年4月22日（水）

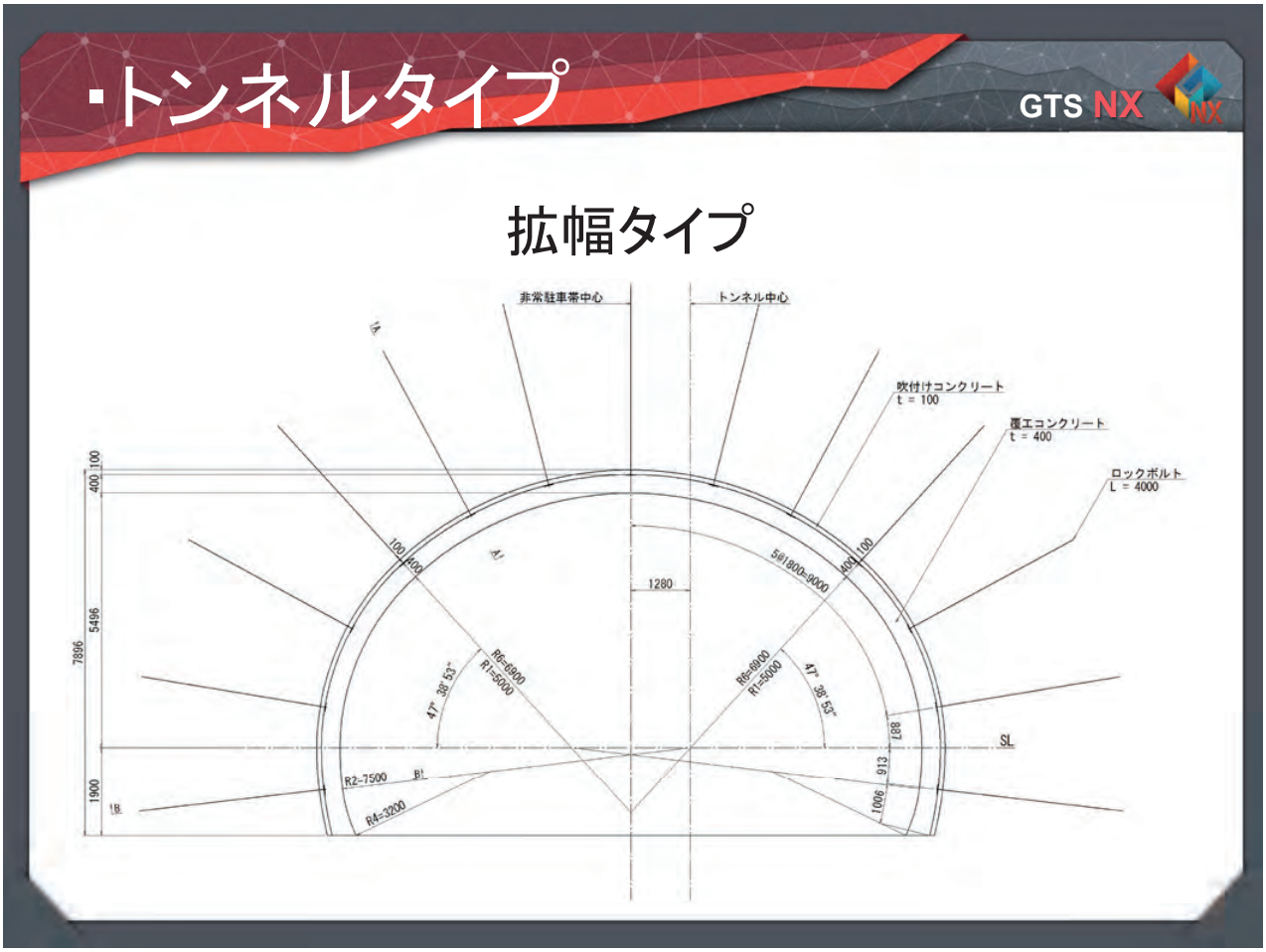
避難連絡坑を考慮した トンネル3次元解析モデル

株式会社フジタ
徳永　高志

1.解析概要

GTS NX

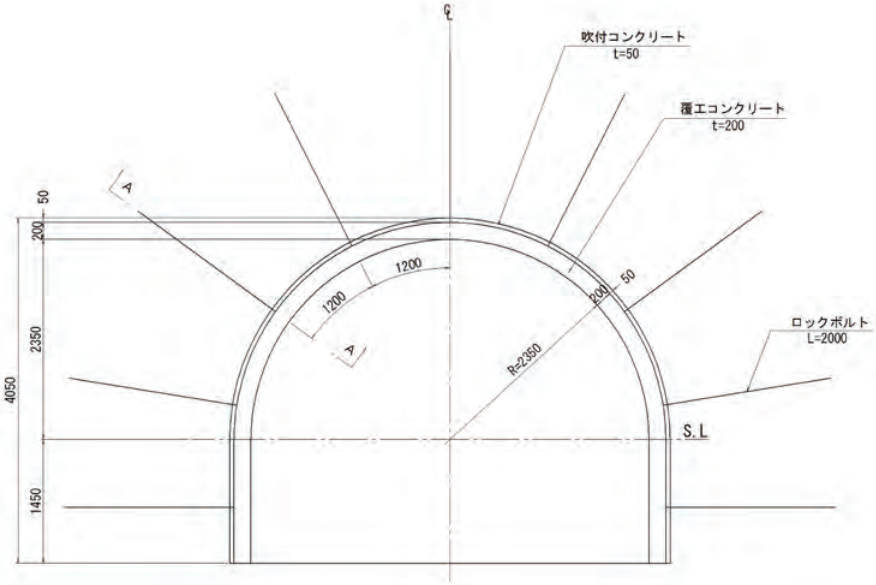

・トンネルタイプ
GTS NX
標準タイプ
トンネル中心
吹付けコンクリート
t = 70
覆工コンクリート
t = 300
ロックボルト
L = 3000
300
70
7270
5000
1900
900
3@1800=5400
R1=5000
1500
525
1275
645
SL
R2=7500
R4=3000


・トンネルタイプ
GTS NX
拡幅タイプ
非常駐車帯中心
トンネル中心
吹付けコンクリート
t = 100
覆工コンクリート
t = 400
ロックボルト
L = 4000
400
100
7896
5496
1900
1280
5@1800=9000
R6=6900
R1=5000
47° 38' 53"
187
913
1006
SL
R2=7500
R4=3200

・トンネルタイプ

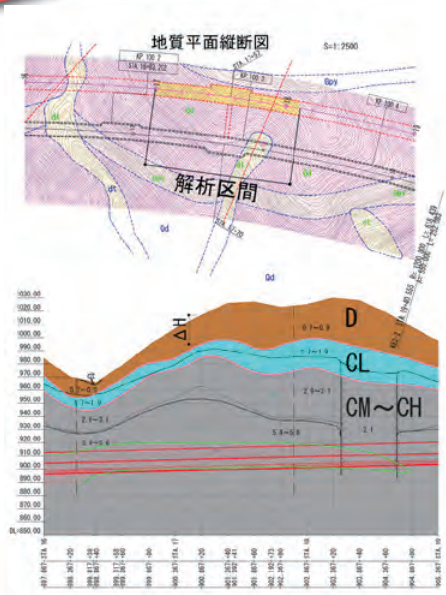
GTS NX

避難連絡坑



・地質縦断図

GTS NX



岩 級 区 分		N値	単位体積重量 γ (kN/m³)	変形係数:E₀ (kN/m²)	ポアソン比 ν	粘着力 C(kN/m²)	内部摩擦角 φ(°)	備　考
土砂	D	—	17.0	50,000	0.35	0	36	
軟岩	CL	—	19.0	90,000	0.30	60	37	
中硬岩	CM	—	24.0	750,000	0.25	320	40	
中硬岩～硬岩	CM～CH	—	25.0	875,000	0.25	660	45	CMとCHの平均値
硬岩	CH	—	26.0	1,000,000	0.25	1000	50	一般値
改良体	—	—	20.0	2,210,000	0.17	—	—	先行注入ボルト(参考値)

CII	CI	B	CI-B(H)-L	CI
	CI-a(H)-B	B-a(H)-B		CI-a(H)-B
30	30	30	40	30
7	7	5	10	7
3.0	3.0 (上半)	3.0	4.0	3.0 (上半)
1.8	2.0	2.0	1.8	2.0
1.2	1.5	2.0	1.5	1.5

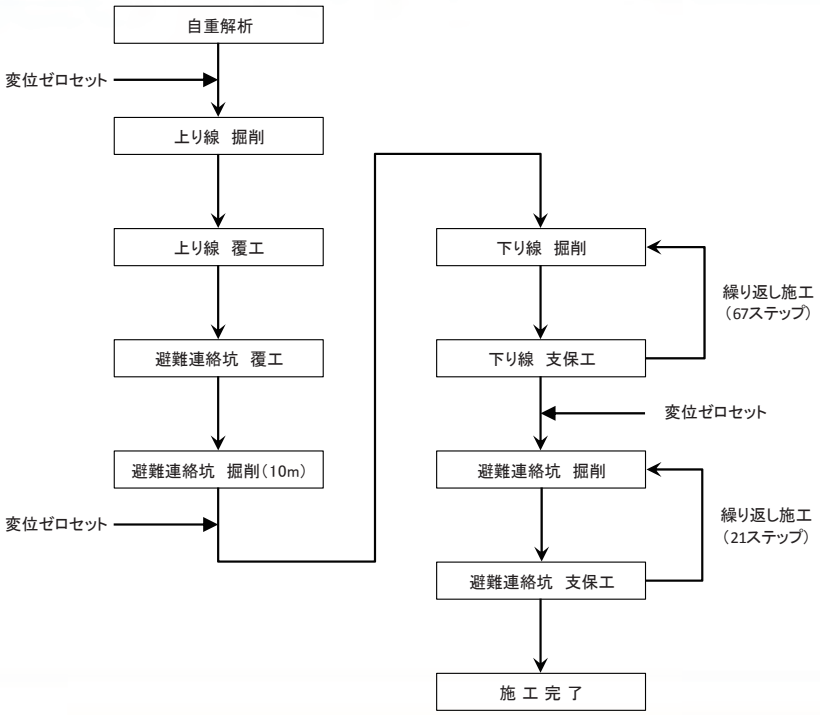
・解析条件

GTS NX

解　析　手　法		本解析 ３次元線形ＦＥＭ解析
解析範囲	側方	50m(4.5D)
	下方	40m(3.5D)
要素モデル	地盤	立体要素
	連絡坑既設コンクリート	立体要素
	吹付・覆工コンクリート	板要素
	ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄ	棒要素
拘束条件	側方	水平変位固定
	下方	水平・鉛直変位固定

・解析条件

GTS NX

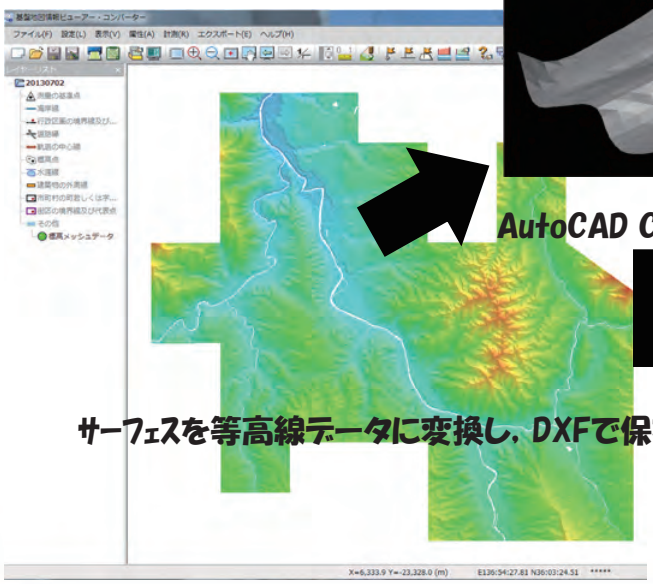


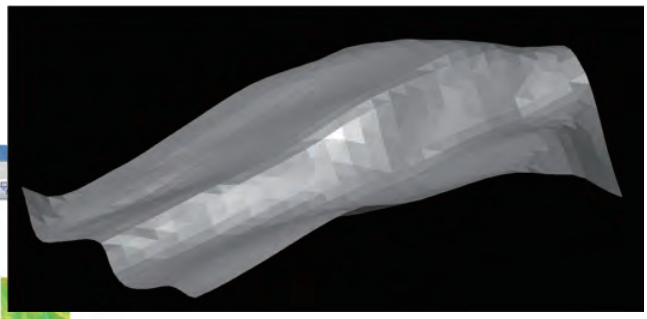
2.モデル作成

GTS NX

・地表面データの取込

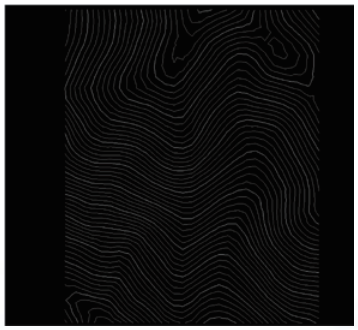
★国土地理より無料で入手





AutoCAD Civil3Dに取込み，サーフェスを作成！

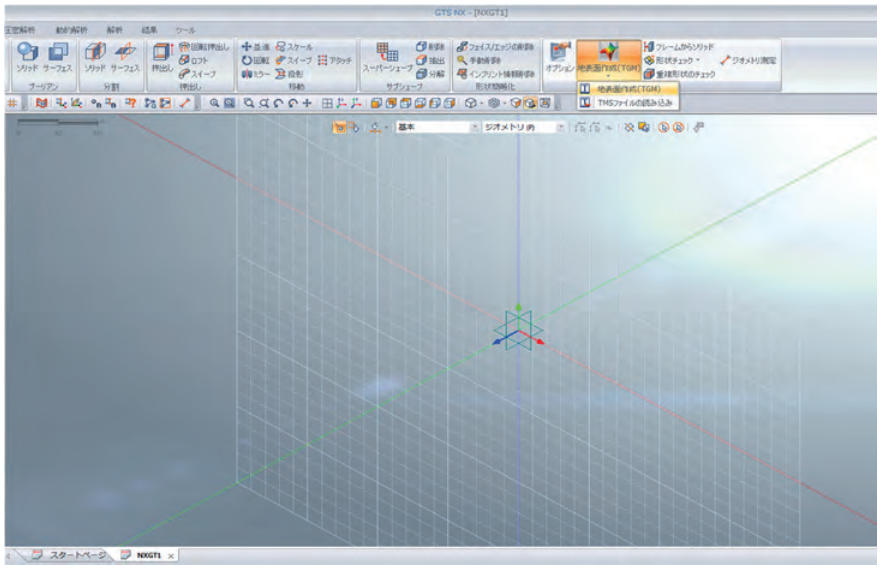
サーフェスを等高線データに変換し，DXFで保存！



サーフェスの取込

GTS NX

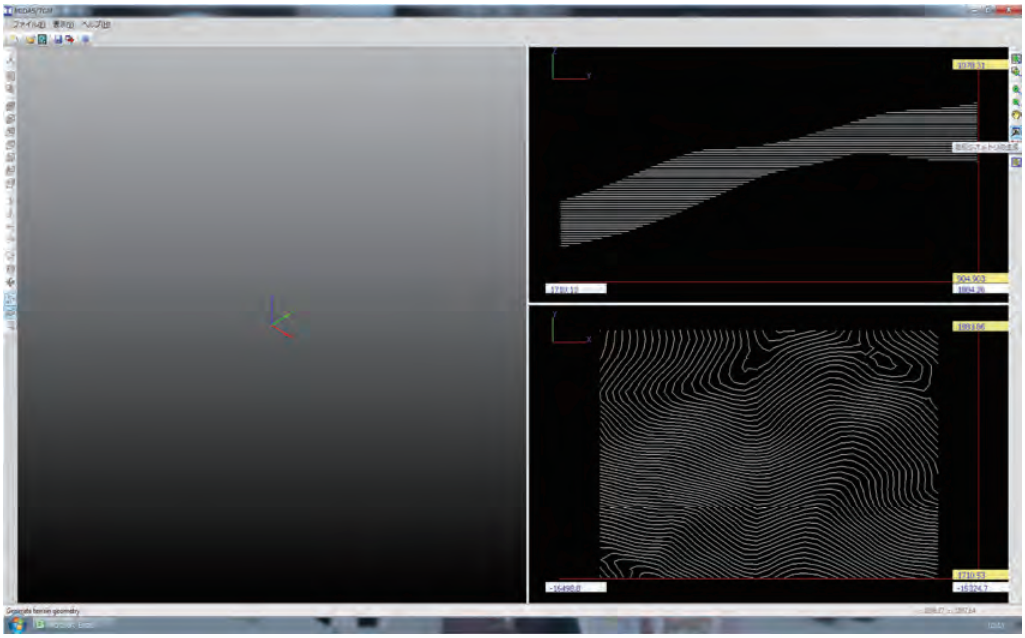
ジオメトリ → ツール → 地表面作成(TGM)を開く！



サーフェスの取込

GTS NX

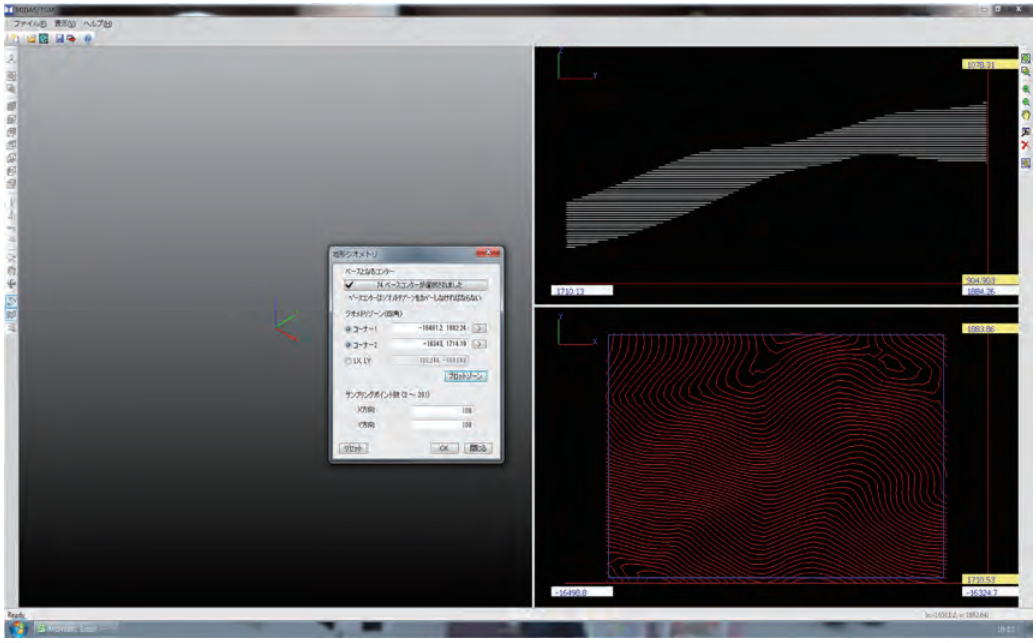
DXFファイルを開く



サーフェスの取込

GTS NX

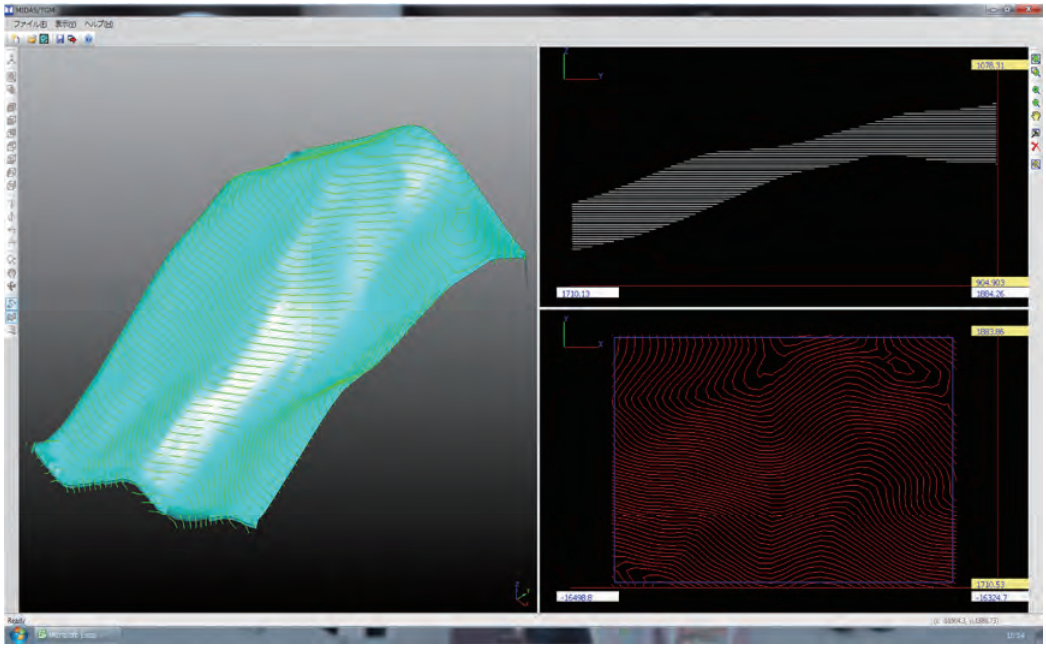
ベースコンタおよびプロットエリアの設定



サーフェスの取込

GTS NX

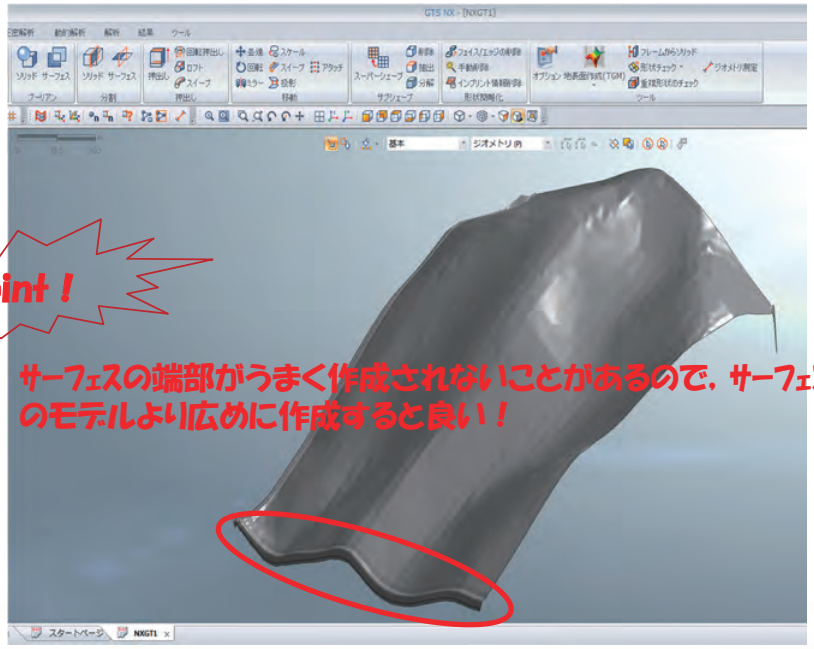
サーフェスの作成 → サーフェスの書出しでTMSファイルで保存！



サーフェスの取込

GTS NX

TMSファイルを地表面作成ツールから読み込む！



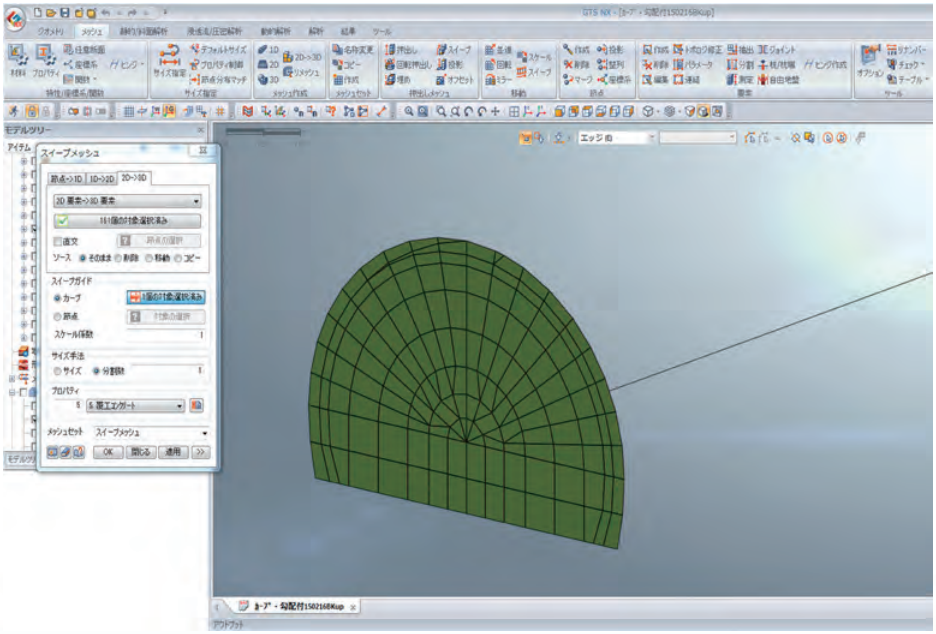
Point！

サーフェスの端部がうまく作成されないことがあるので，サーフェスは実際のモデルより広めに作成すると良い！

トンネルメッシュ

GTS NX

2Dメッシュで好みのメッシュを作成
→ 掘削延長に合わせて2Dメッシュを押出して3Dメッシュを作成！

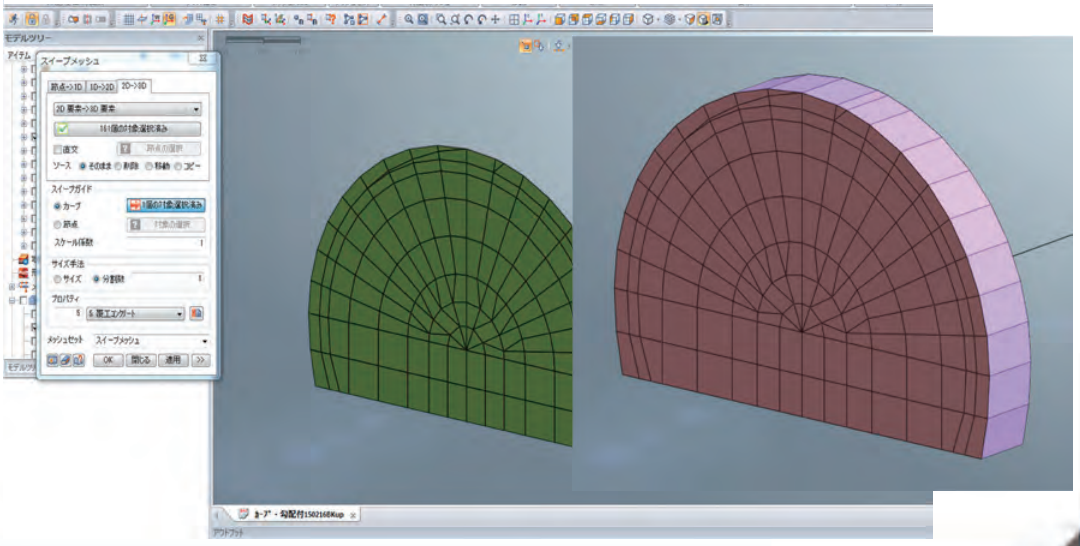


トンネルメッシュ

GTS NX

2Dメッシュで好みのメッシュを作成
→ 掘削延長に合わせて2Dメッシュを押出して3Dメッシュを作成！

あらかじめ，CAD等で3Dポリラインで線形を作成して，NXで読み込む
→ この線に合わせてスイープメッシュで3Dメッシュを作成！

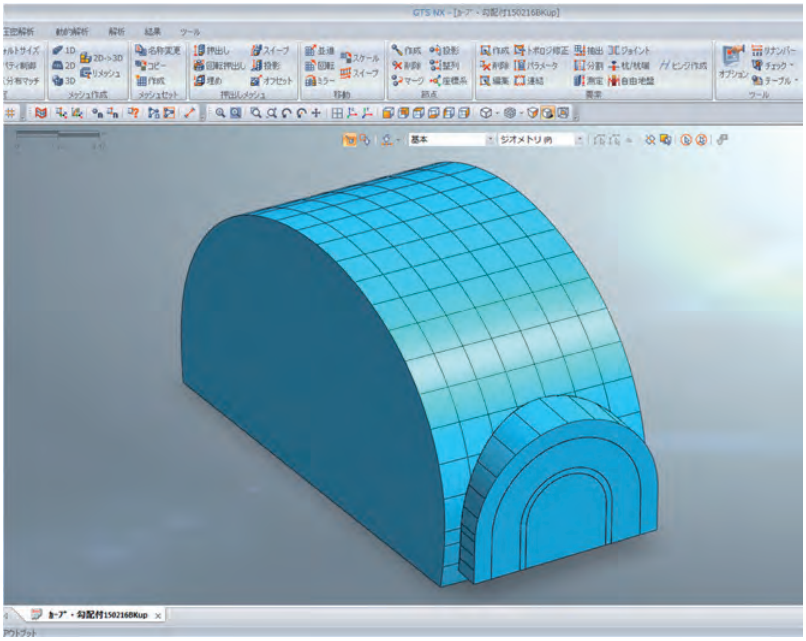


避難連絡坑接続部

GTS NX

まず，接続部のソリッドを作成

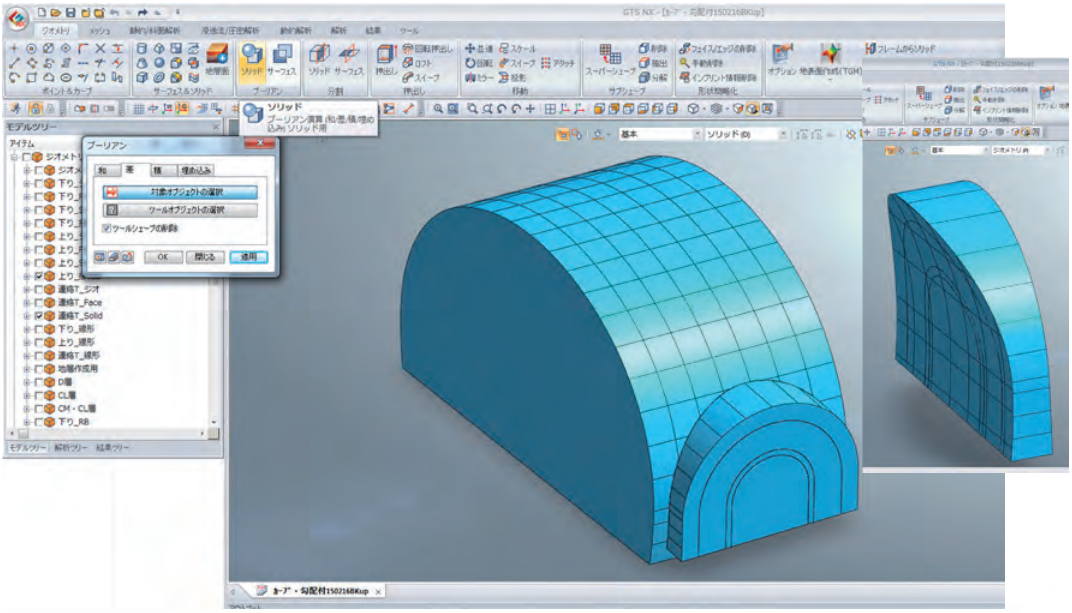
Point：この時，ソリッドは掘削長単位，外形はメッシュと同じ形状！

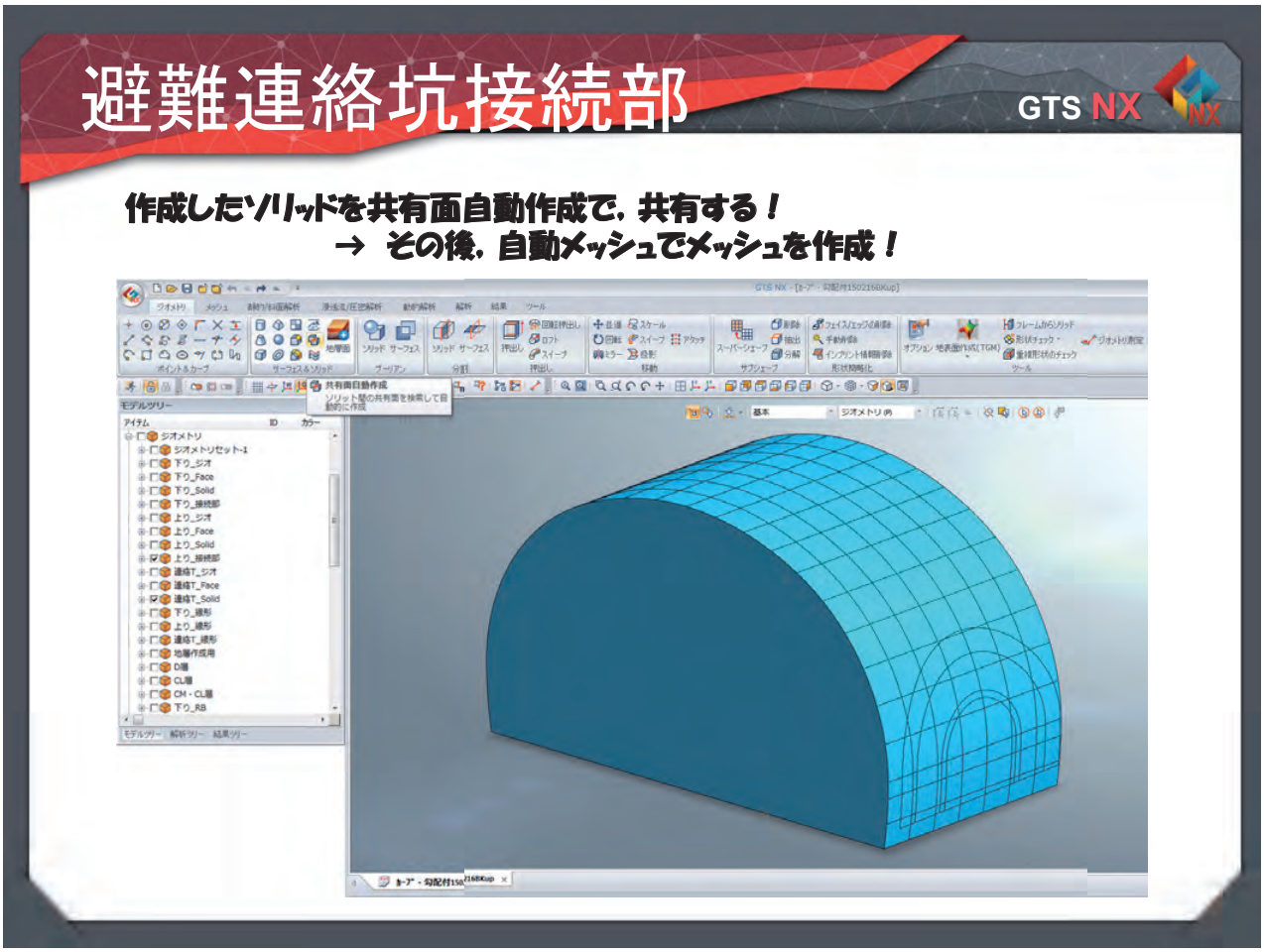


避難連絡坑接続部

GTS NX

ジオメトリ → ブーリアン → 差　の機能を使い，連絡のソリッドを本設トンネル形状とする



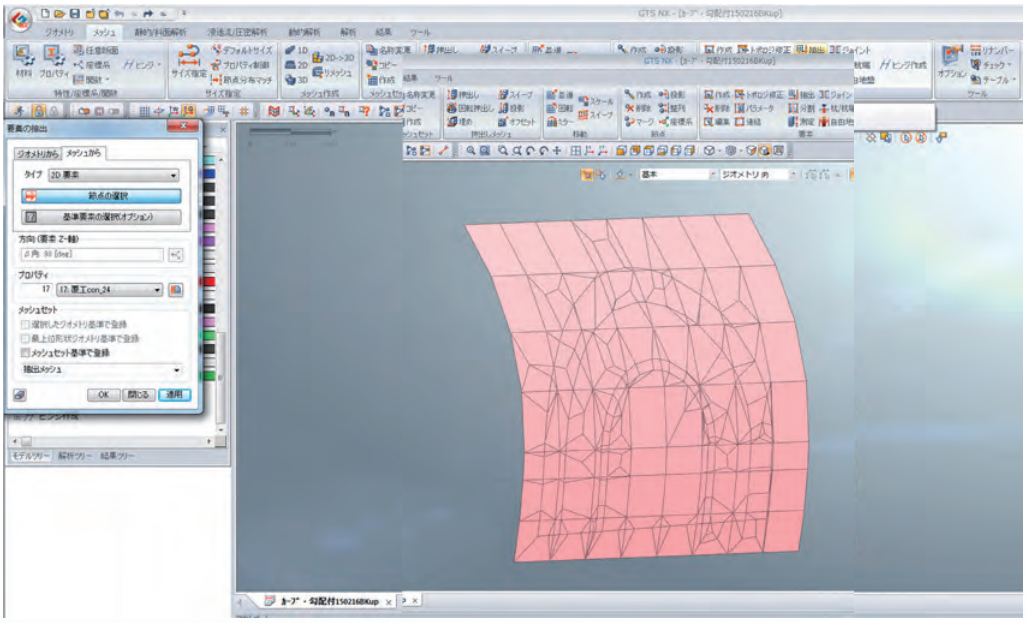

避難連絡坑接続部
GTS NX
作成したソリッドを共有面自動作成で，共有する！
→ その後，自動メッシュでメッシュを作成！

避難連絡坑接続部
GTS NX
作成したソリッドを共有面自動作成で，共有する！
→ その後，自動メッシュでメッシュを作成！

避難連絡坑接続部

GTS NX

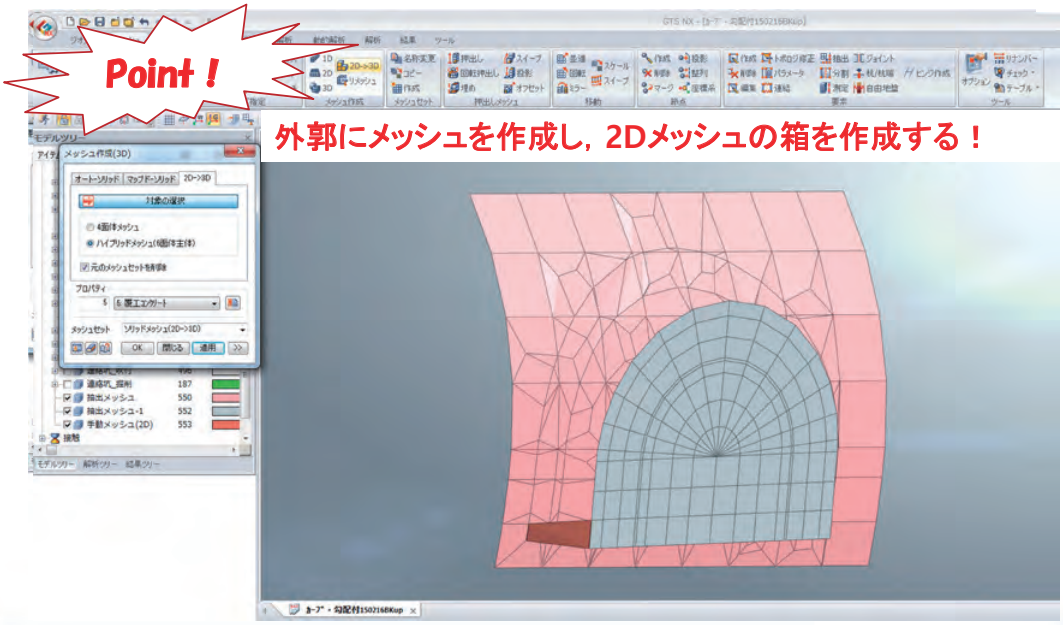
3Dメッシュから接続部の2Dメッシュを抽出する！
※メッシュ → 要素 → 抽出

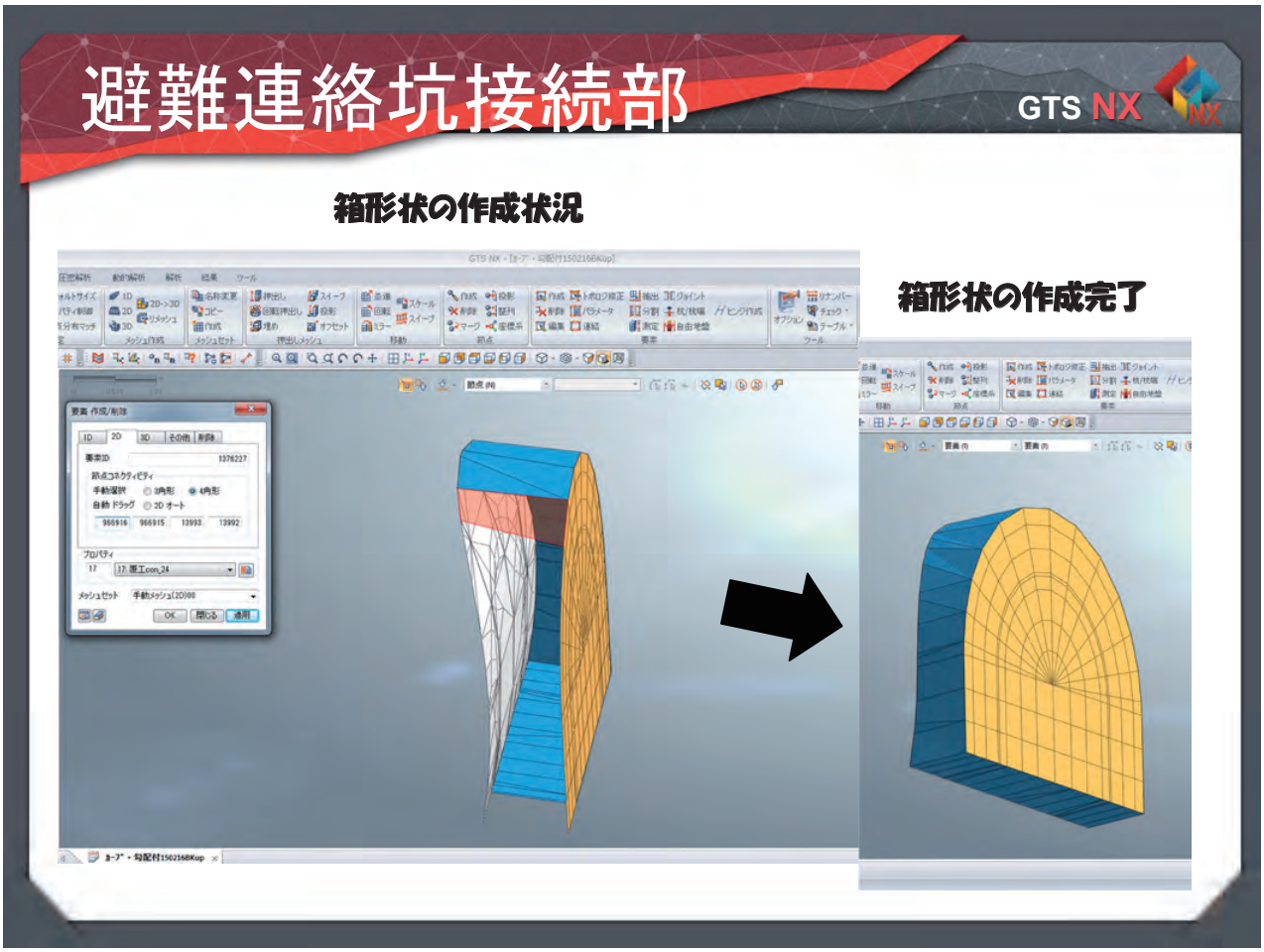


避難連絡坑接続部

GTS NX

避難連絡坑の2Dメッシュと接続部の2Dを継ぐメッシュを作成する！
※メッシュ → 要素 → 作成 →2D



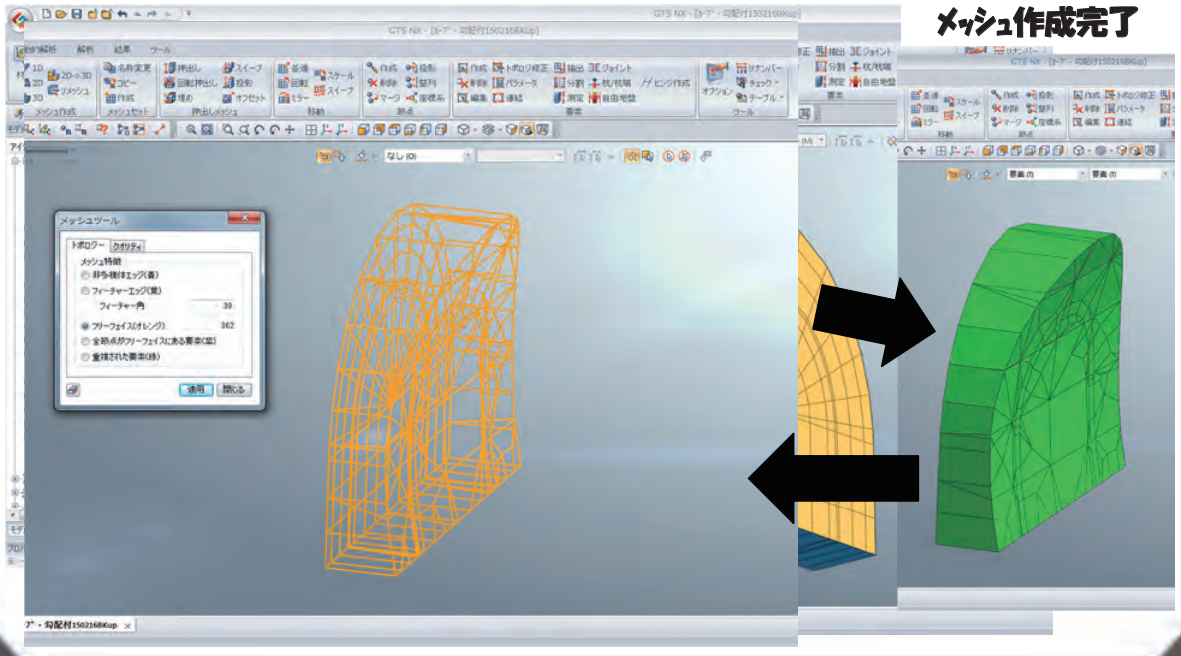

避難連絡坑接続部
GTS NX
箱形状の作成状況
箱形状の作成完了

避難連絡坑接続部
GTS NX
箱の中を埋めてメッシュを作成！
※メッシュ → メッシュ作成 → "2D→3D"
メッシュ作成完了

避難連絡坑接続部

GTS NX

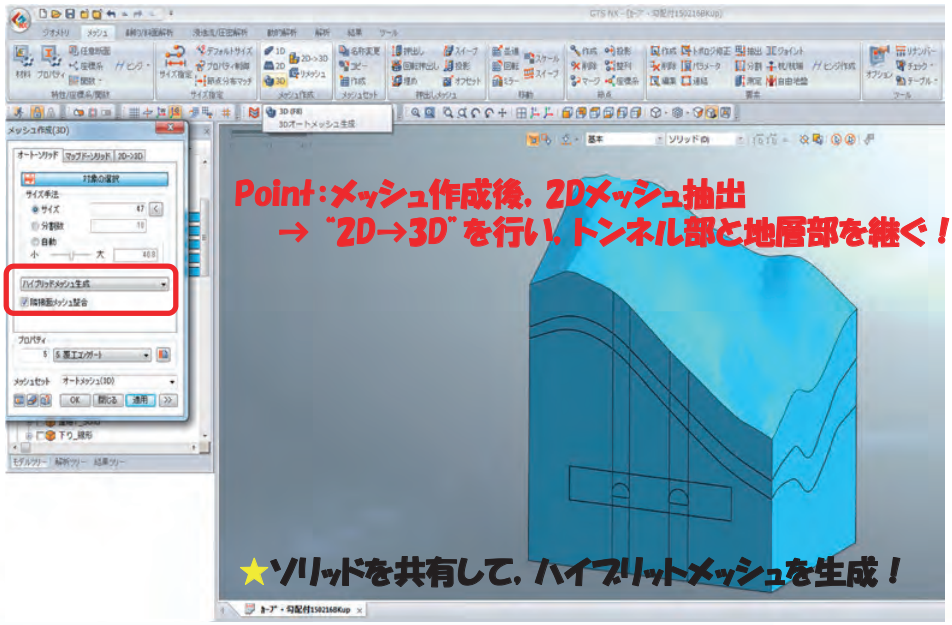
重要：メッシュ作成後，フリーフェイスの有無のcheck!
※メッシュ → ツール→ チェック → トポロジー

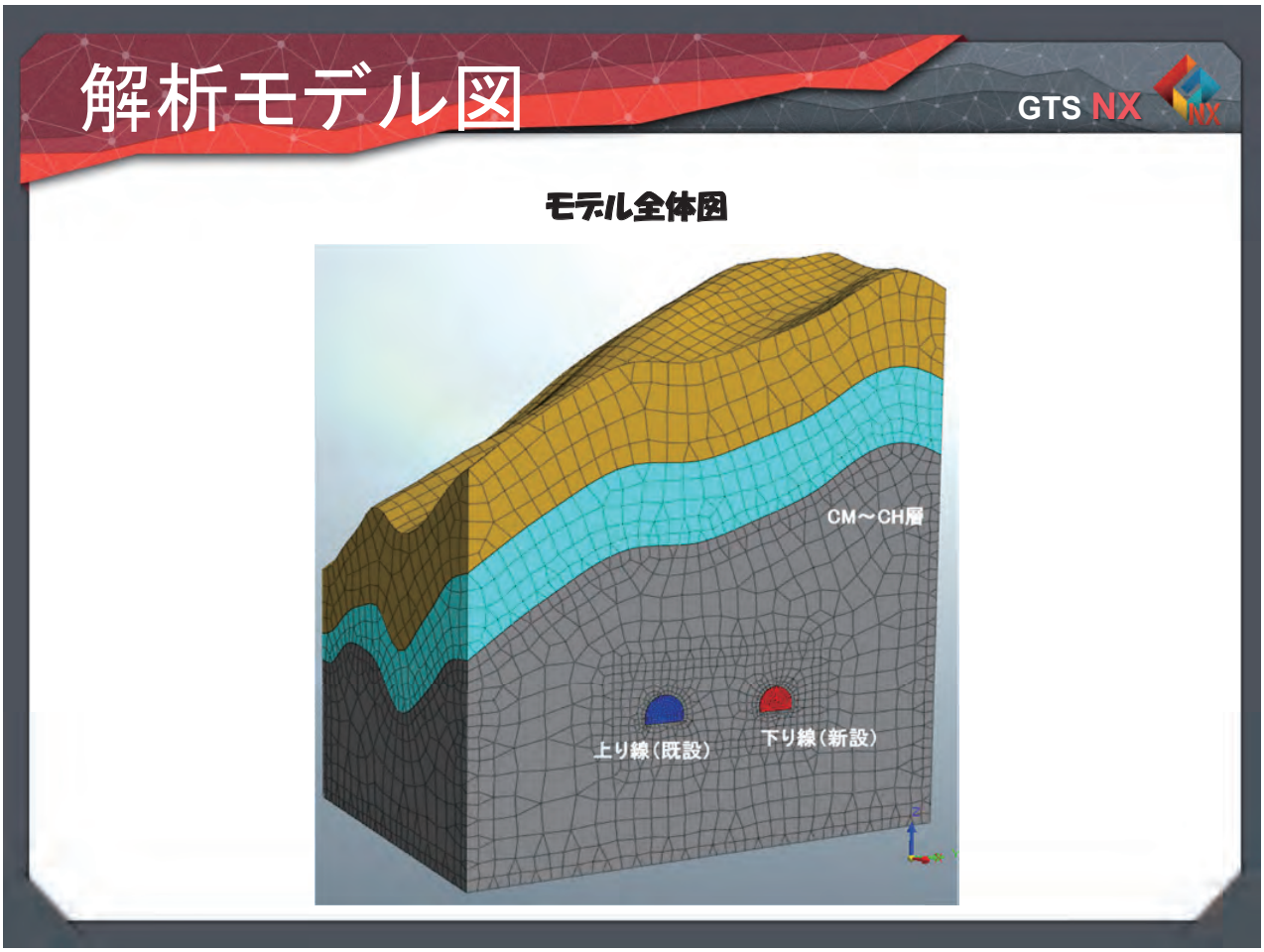


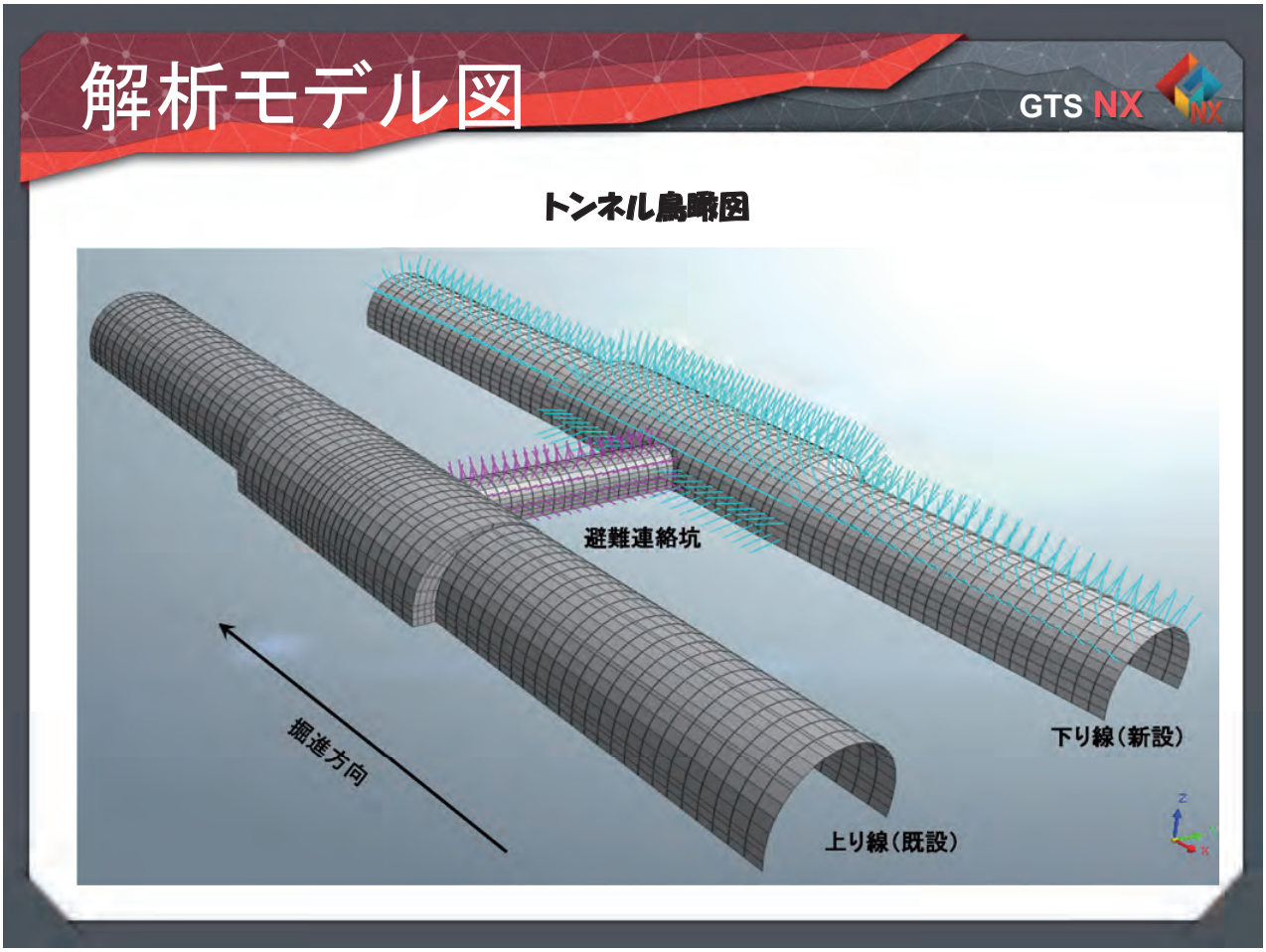
地層メッシュ

GTS NX

地層サーフェスをNX（地表面機能）または，AutoCadで作成
→ サーフェスを押出して地層毎にソリッドを作成！



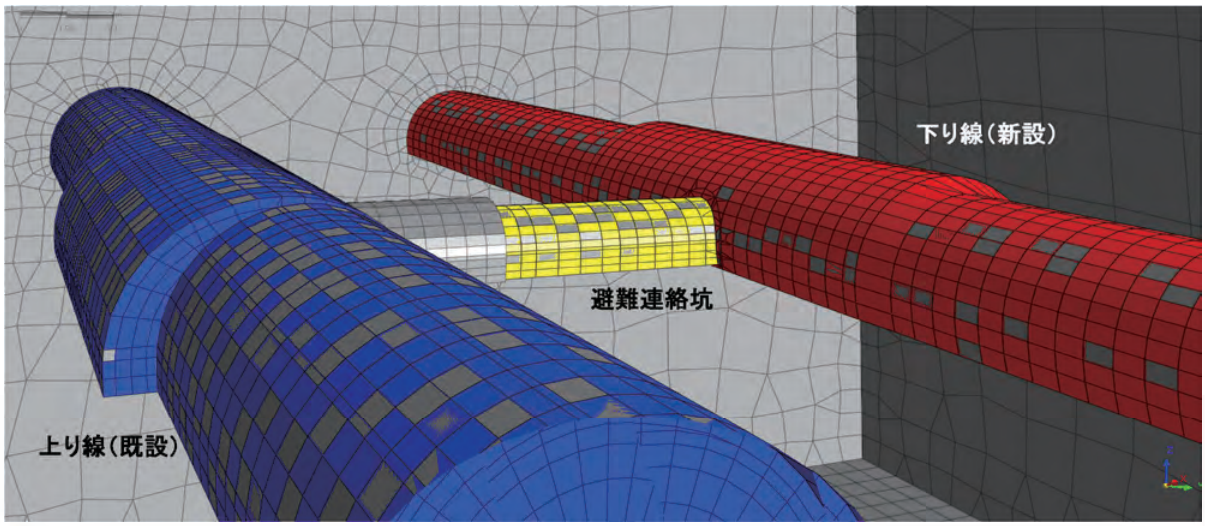

解析モデル図
GTS NX
モデル全体図
CM～CH層
上り線（既設）
下り線（新設）


解析モデル図
GTS NX
トンネル鳥瞰図
避難連絡坑
掘進方向
下り線（新設）
上り線（既設）

解析モデル図

GTS NX

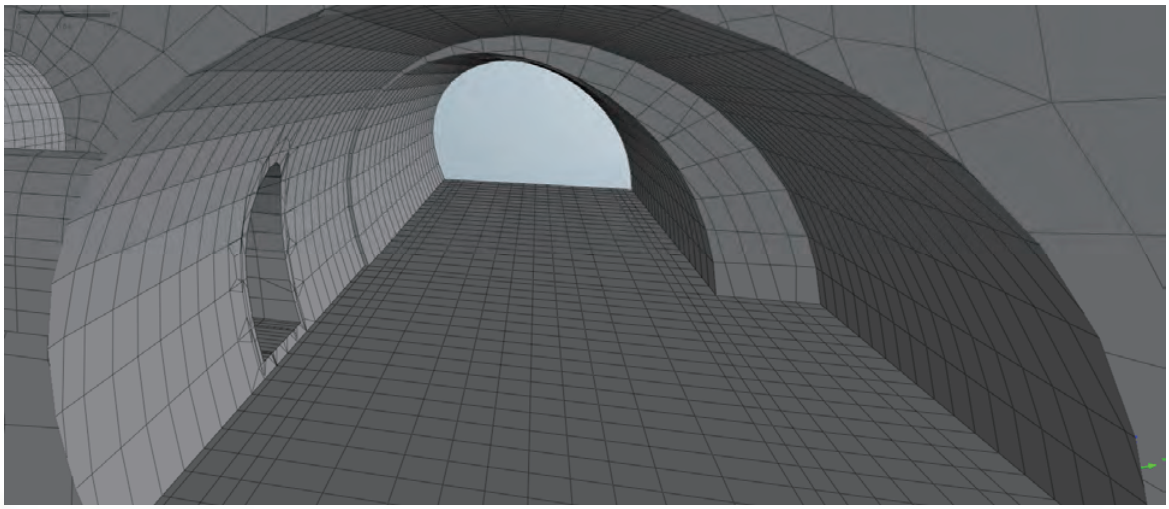
トンネルモデル（地層内部ビュー）



解析モデル図

GTS NX

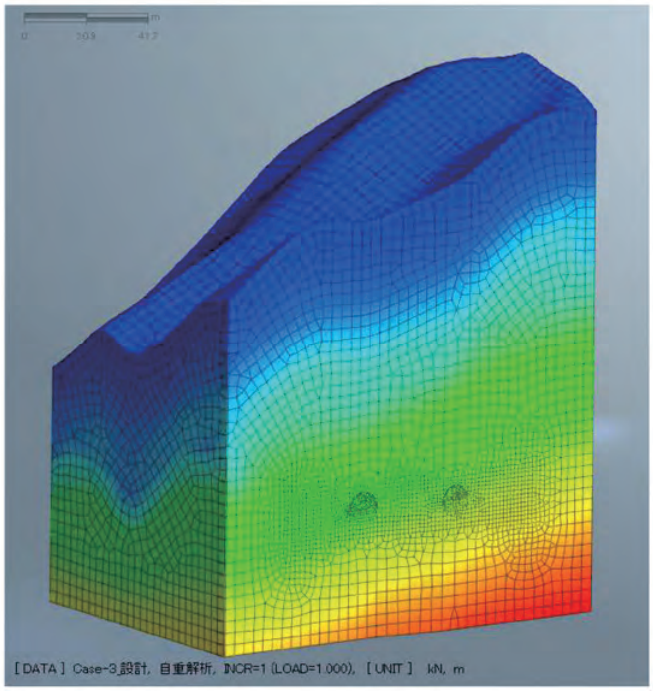
トンネル内部モデル



3.解析結果図

GTS NX

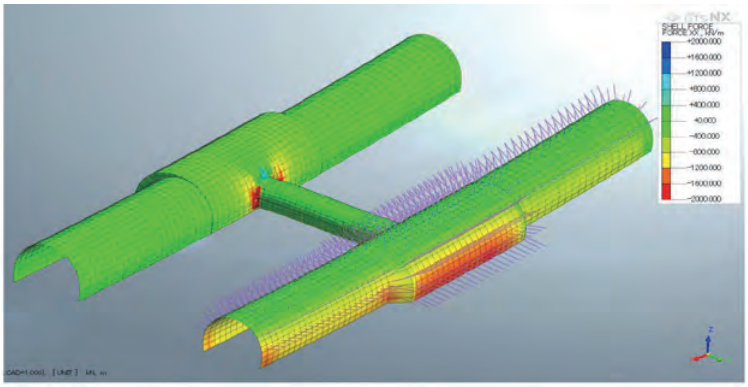
自重解析結果



3.解析結果図

GTS NX

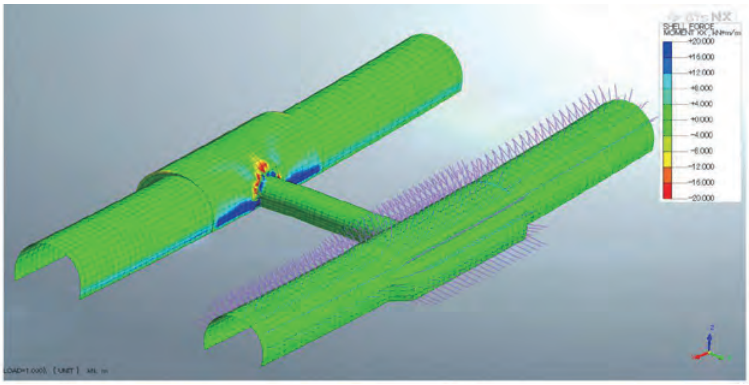
覆工コンクリート 軸力



3.解析結果図

GTS NX

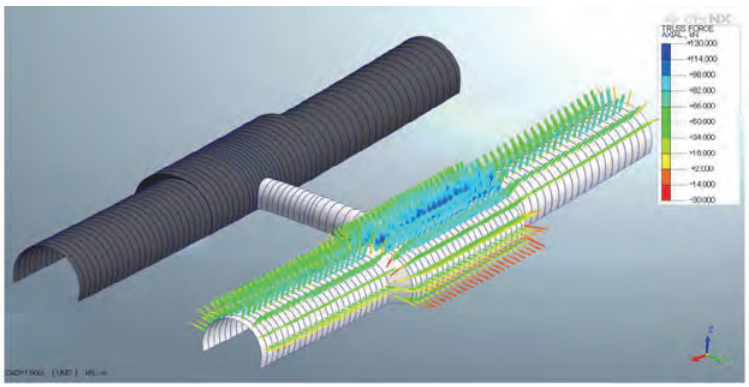
覆工コンクリート 曲げモーメント



3.解析結果図

GTS NX

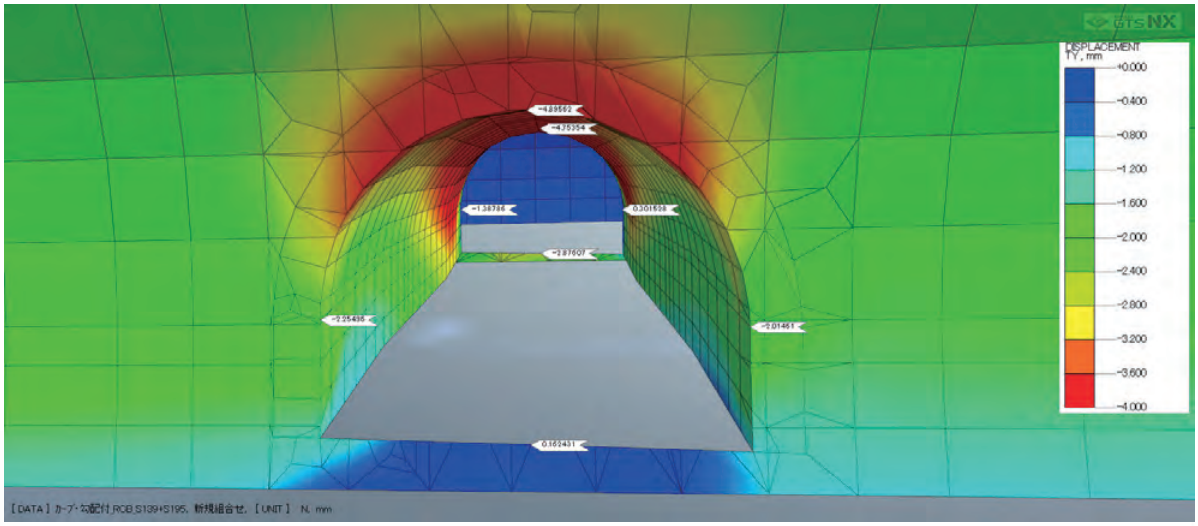
ロックボルト　軸力



3.解析結果図

GTS NX

避難連絡坑接続部の解析結果



GTS NX

ご清聴ありがとうございました

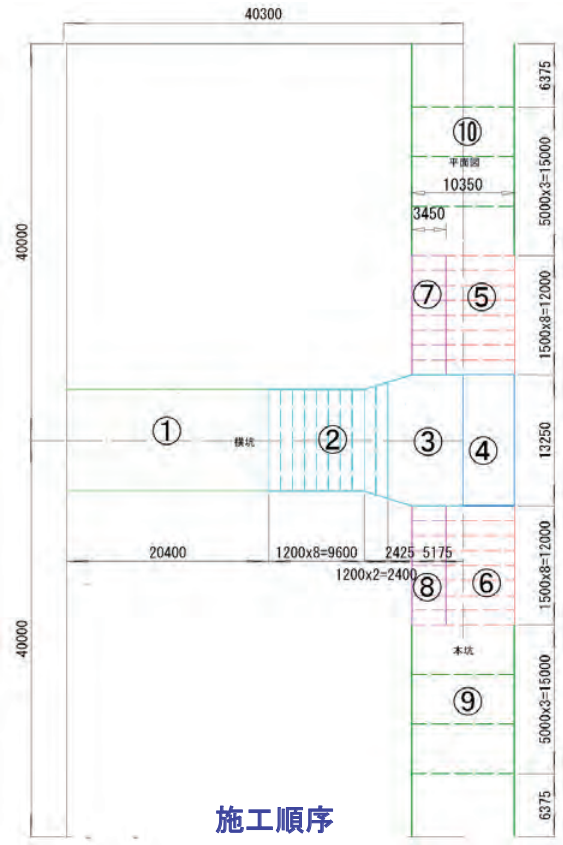
04 作業用横坑より本線トンネルを施工する際の施工過程の応力変形解析

株式会社クレアテック　鈴木 崇史 様

作業用横坑より本線トンネルを施工する際の施工過程の応力変形解析

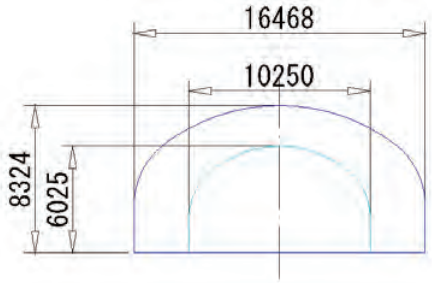
2015.6.16　GTSNXセミナー

解析モデル概要（1）

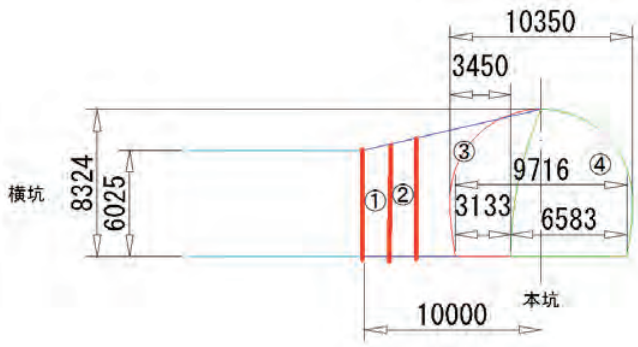


施工順序

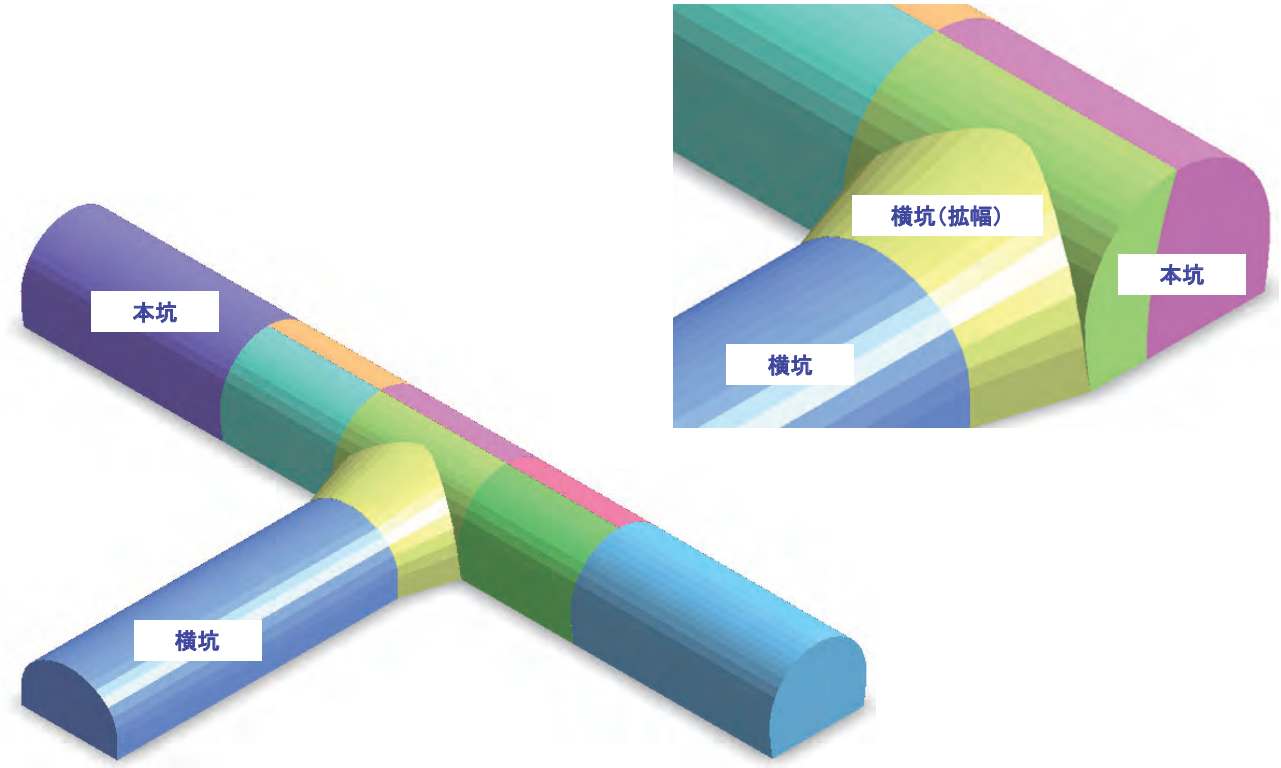
横坑断面



本坑断面



解析モデル概要（2）



2

解析条件

・吹付コンクリートの応力の確認
→四角形の板要素でモデル化
（ハイブリッドメッシュを使用）

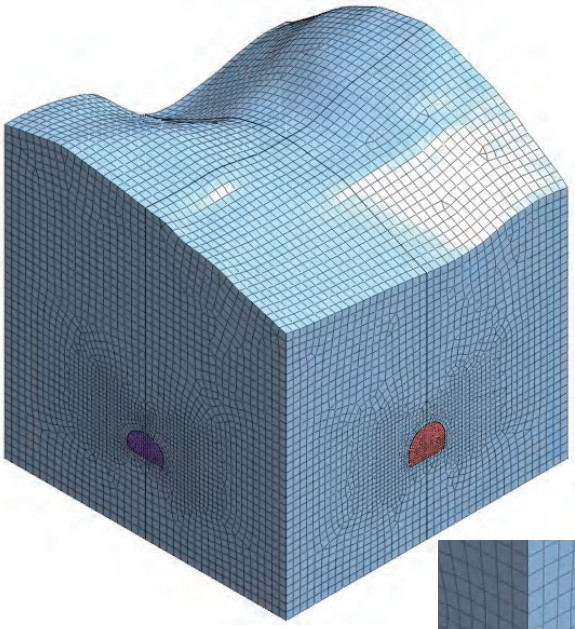
・ロックボルトの軸力の確認
→ロックボルトは埋め込みトラス要素でモデル化

・地表面形状はCADデータから座標値を抽出
→ポイントパッチかグリッドパッチで平面を作成

・地層構成は岩盤層の1層とする

3

解析モデル（全体モデル）



全体モデル

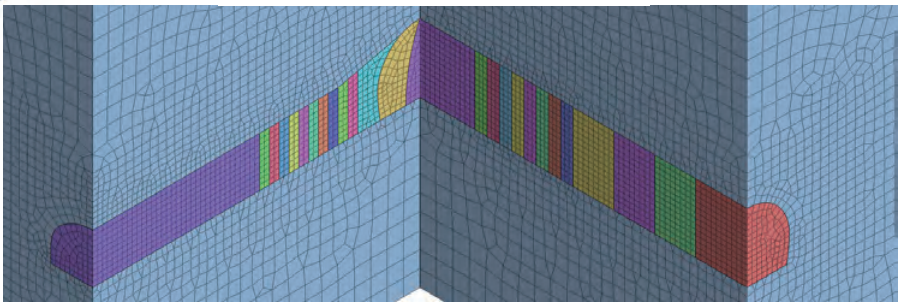
総節点数　：　184,890　節点

総要素数　：　283,464　要素

施工段階ステップ数　：　54ステップ

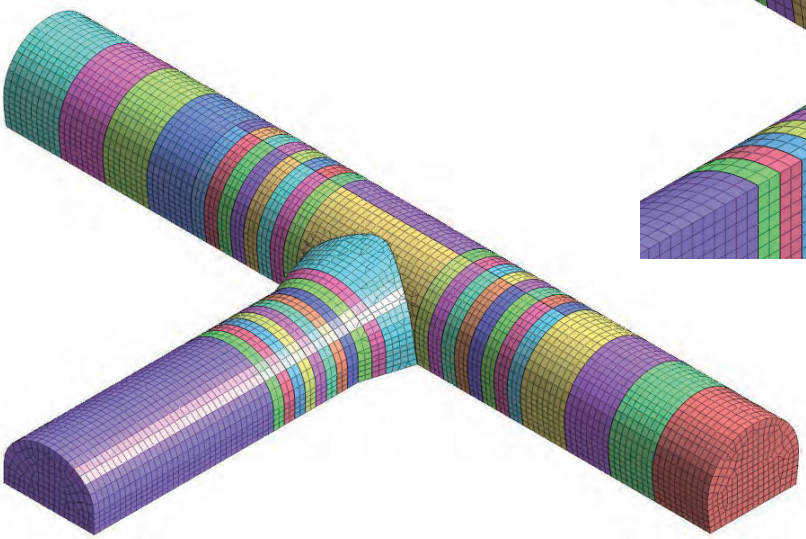
計算時間　：　245分

トンネル部

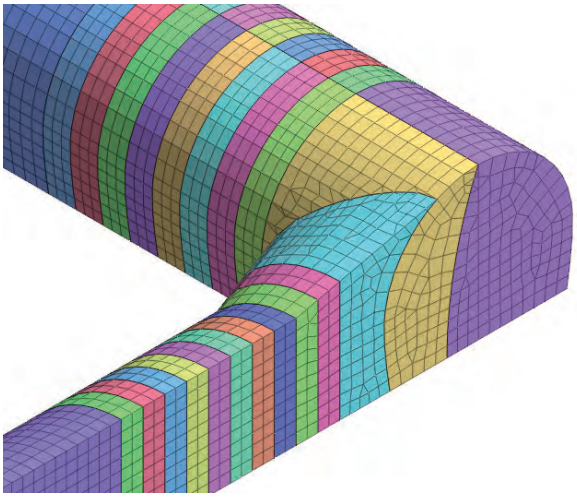


4

解析モデル（掘削部）



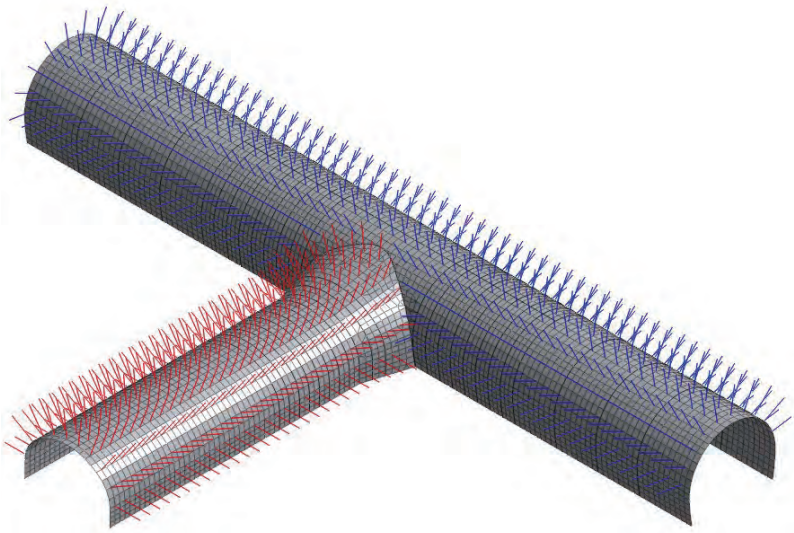
掘削部メッシュ形状



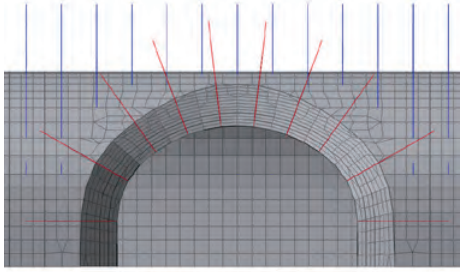
拡大表示（手前非表示）

5

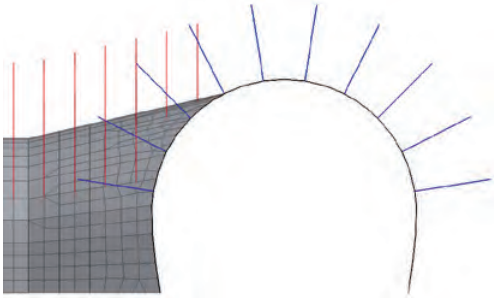
解析モデル（板要素，埋め込みトラス要素）



吹付コンクリート（板要素）
ロックボルト（埋め込みトラス要素）



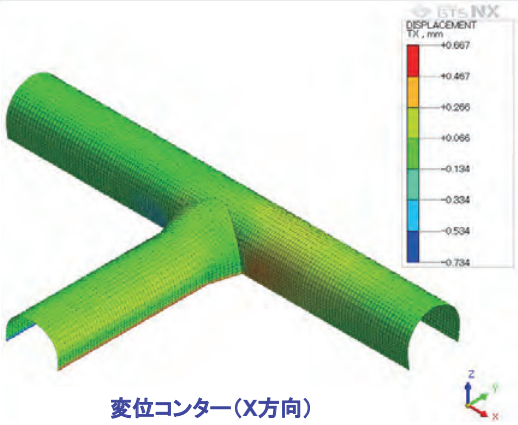
横坑正面



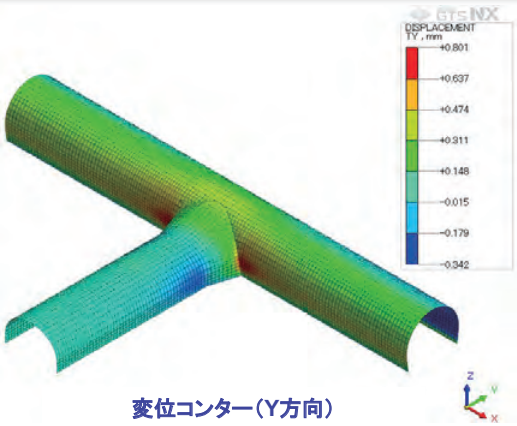
本坑正面

6

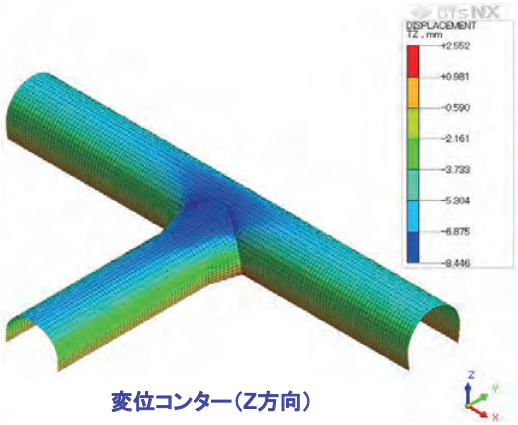
解析結果（変位コンター図）



変位コンター（X方向）



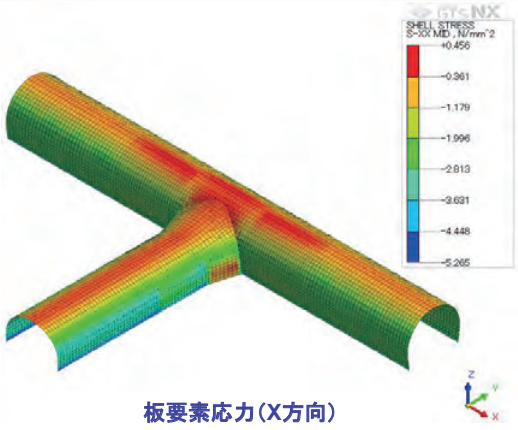
変位コンター（Y方向）



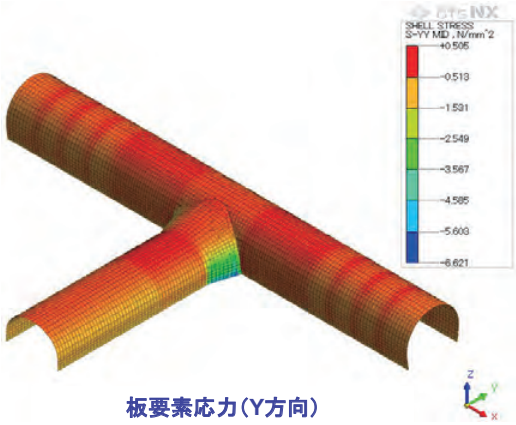
変位コンター（Z方向）

7

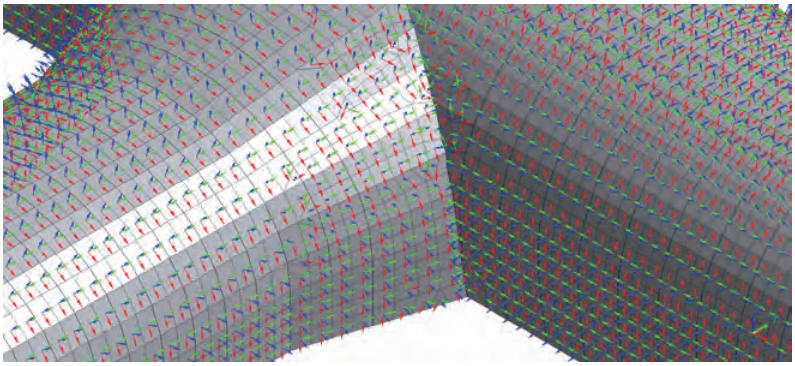
解析結果（板要素応力）



板要素応力（X方向）

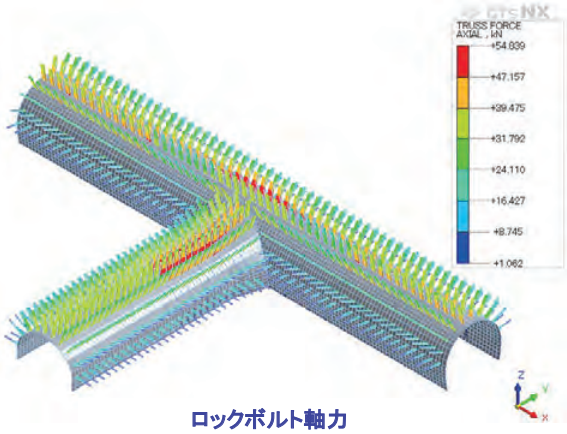


板要素応力（Y方向）



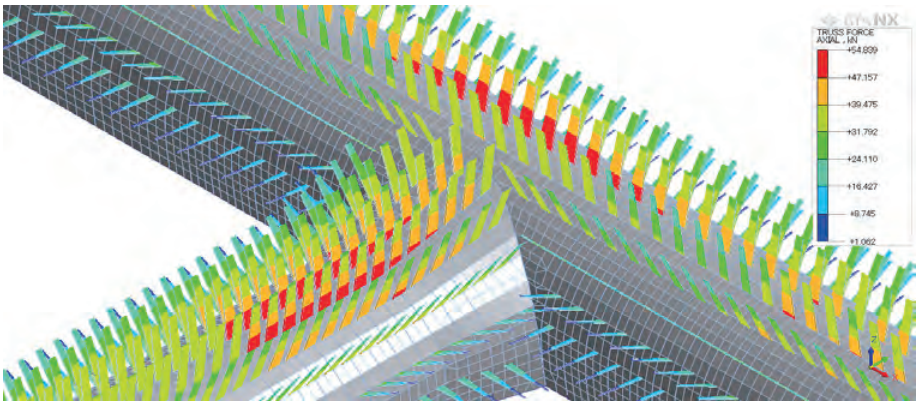
板要素 - 要素座標系

解析結果（ロックボルト軸力）

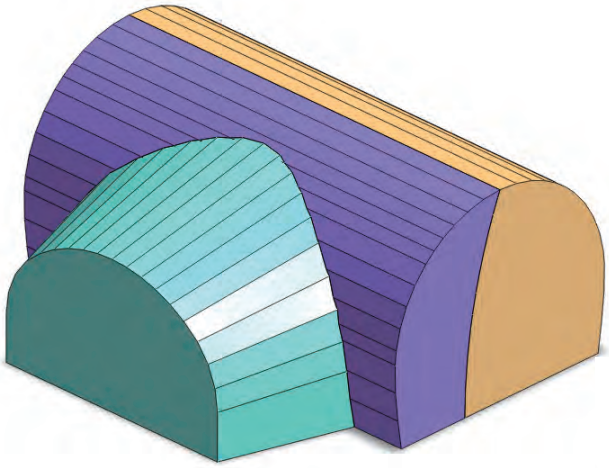


ロックボルト軸力

交差部拡大



交差部モデル化

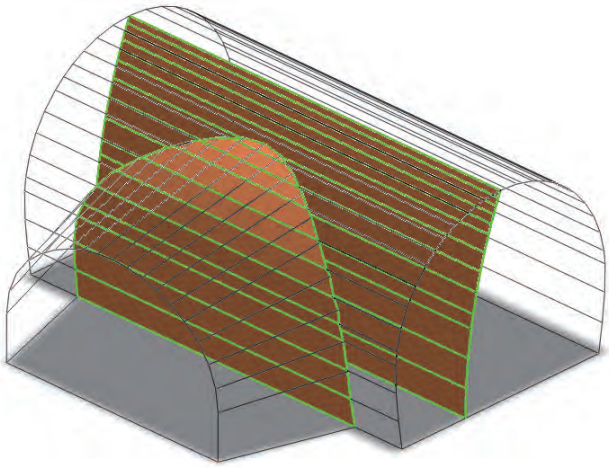


交差部のソリッド形状

・横坑は拡幅しながら本坑にぶつかる形状である

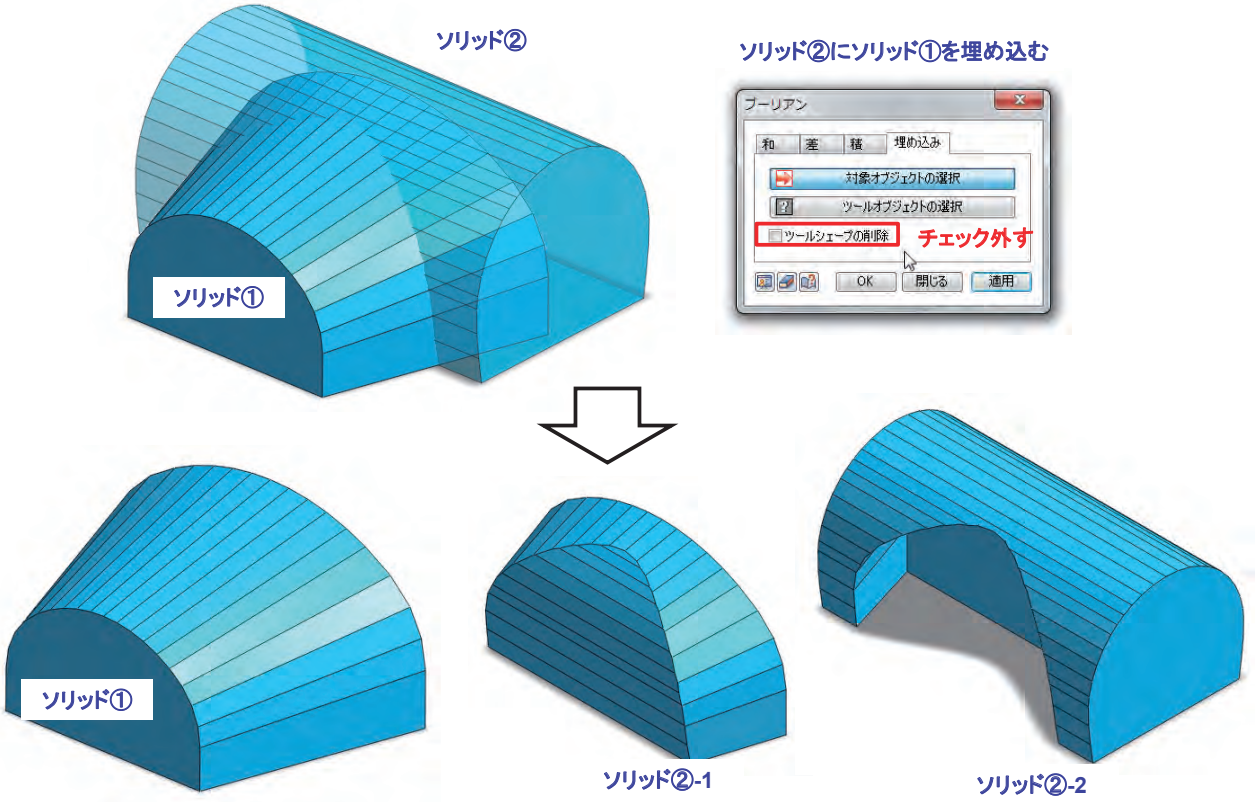
・本坑は段階掘削のため2分割とする

ソリッドの境界で面を共有する必要がある



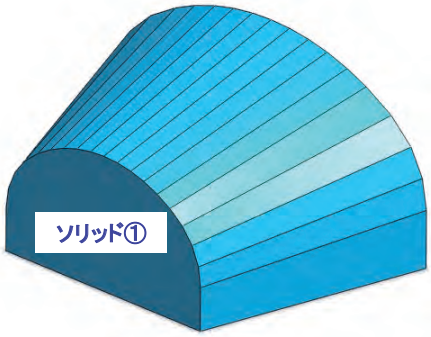
10

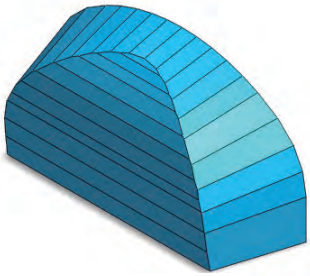
交差部モデル化（ソリッドの演算-埋め込み）



11

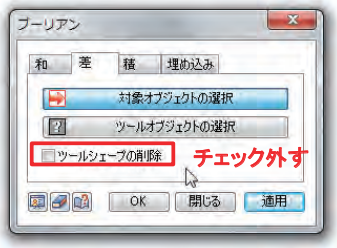
交差部モデル化（ソリッドの演算-差）

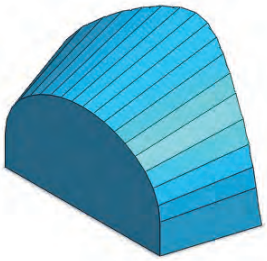




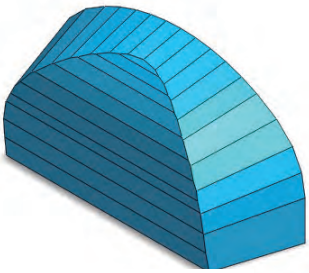
ソリッド②-1

ソリッド①とソリッド②-1は重なっているためソリッド①からソリッド②-1を除く必要がある

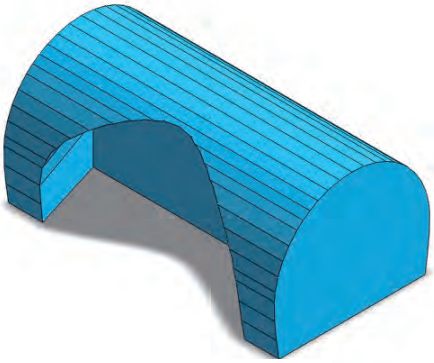




ソリッド①-1

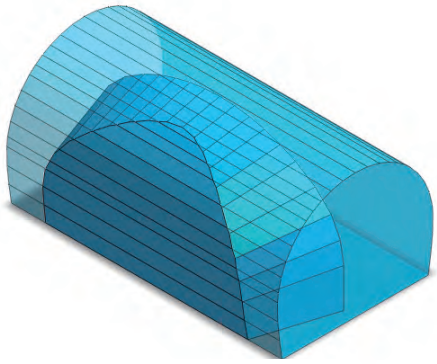


ソリッド②-1



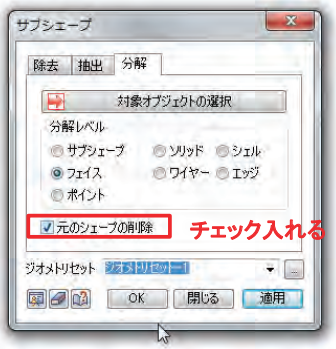
ソリッド②-2

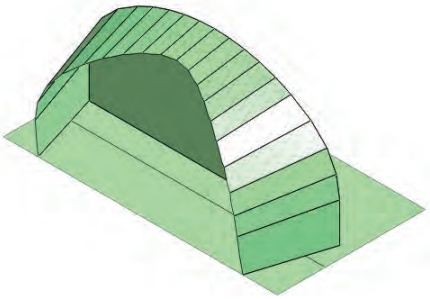
交差部モデル化（ソリッドの分解）



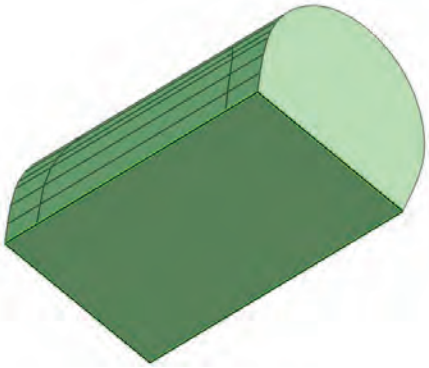
ソリッド②-1＋②-2

ソリッド②-1と②-2を分解してフェイスにする



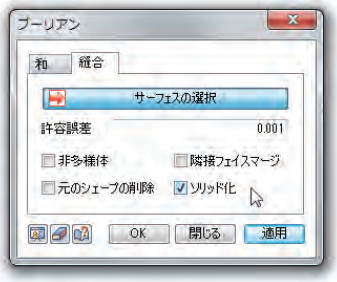


分解したフェイスのうち不要部分を削除する

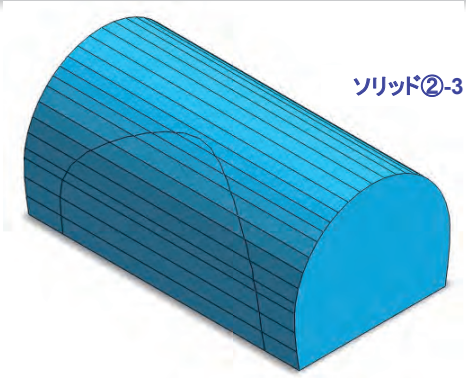


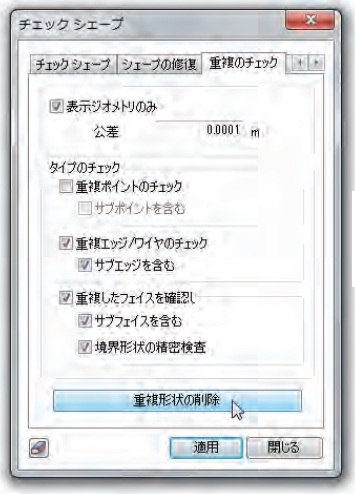
閉じたフェイスとするためにフェイスを追加する

交差部モデル化（フェイス→ソリッド化）

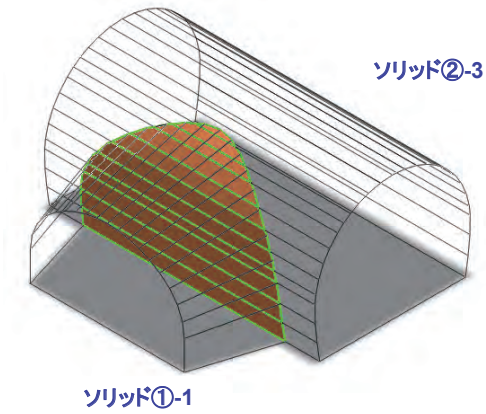


閉じたフェイスを選択してソリッドを作成する





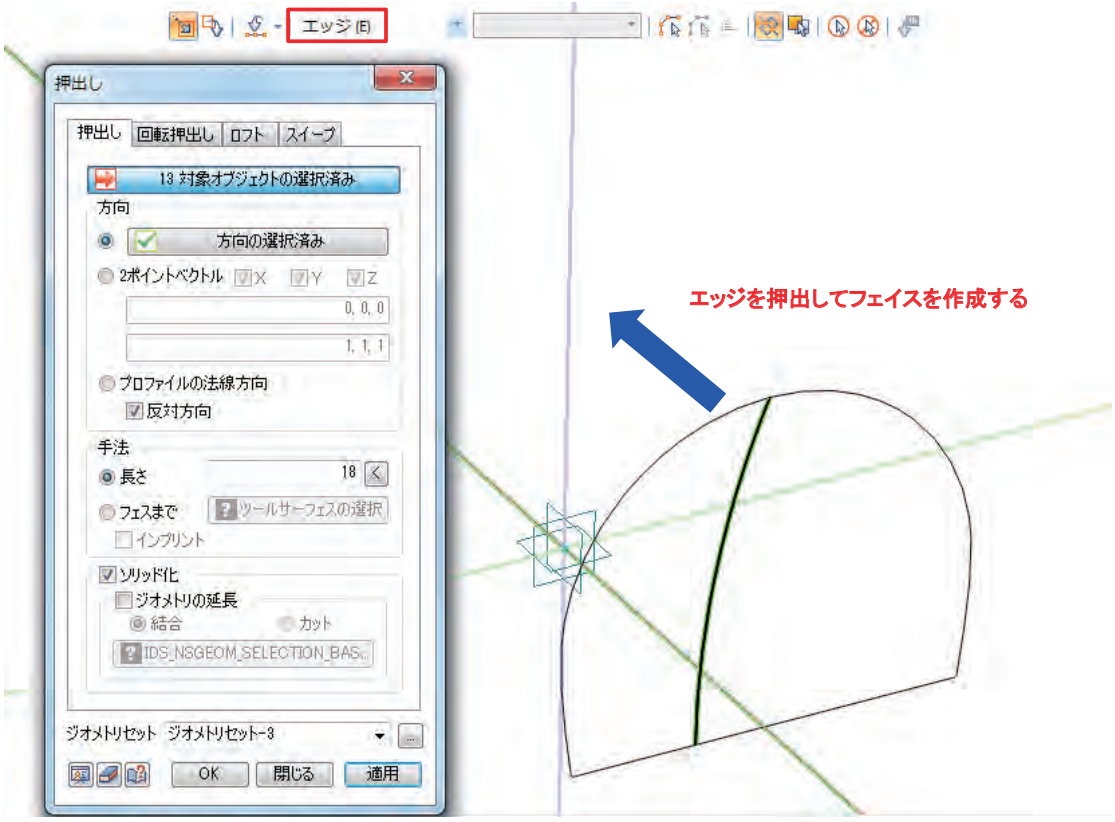
重複形状のチェックでソリッド間の面が共有していることを確認する



14

交差部モデル化（分割フェイス作成）

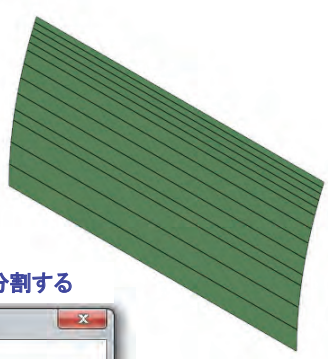
選択フィルタをエッジに変更する

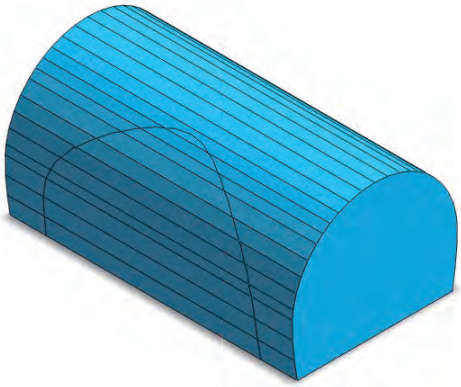


エッジを押出してフェイスを作成する

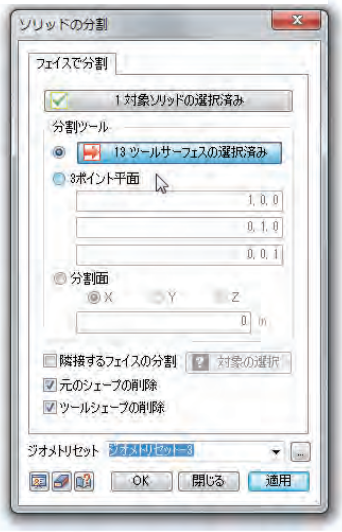
15

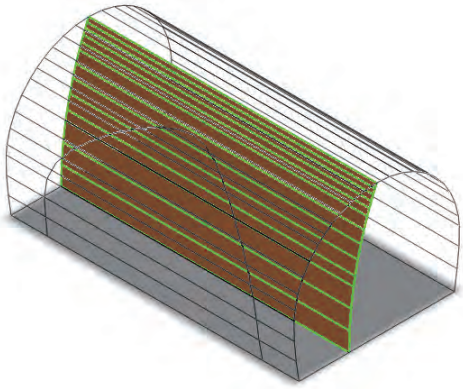
交差部モデル化（ソリッドをフェイスで分割）





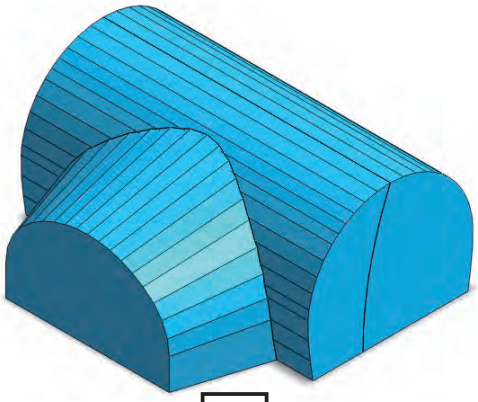
ソリッドをフェイスで分割する

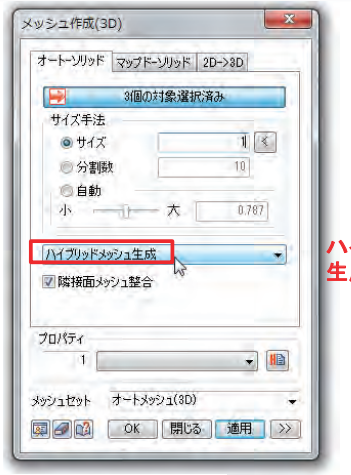




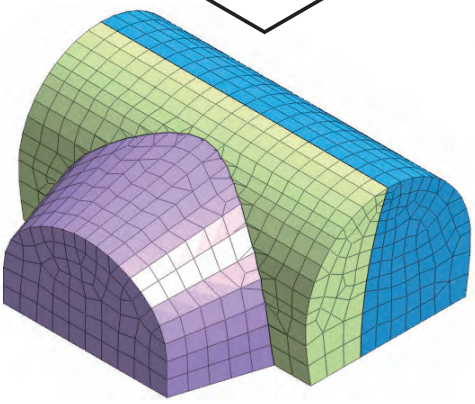
重複形状のチェックで
ソリッド間の面が共有し
ていることを確認する

交差部モデル化（ハイブリッドメッシュ）

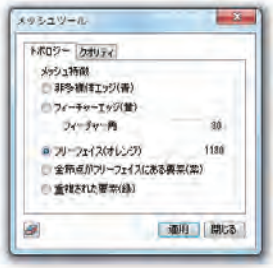


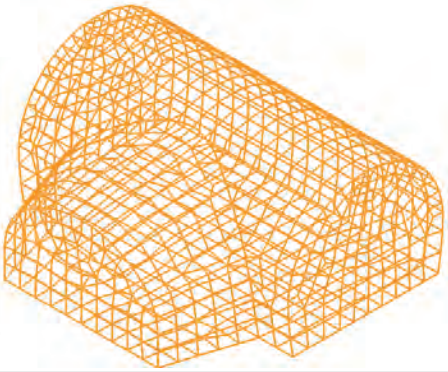


ハイブリッドメッシュ
生成に変更

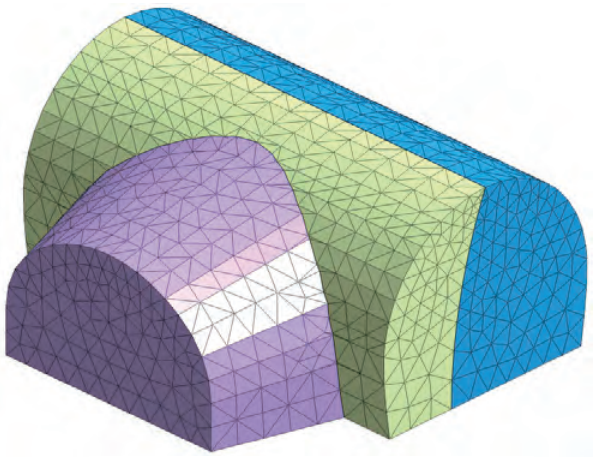


チェックメッシュでフリーフェイス
がないか確認する



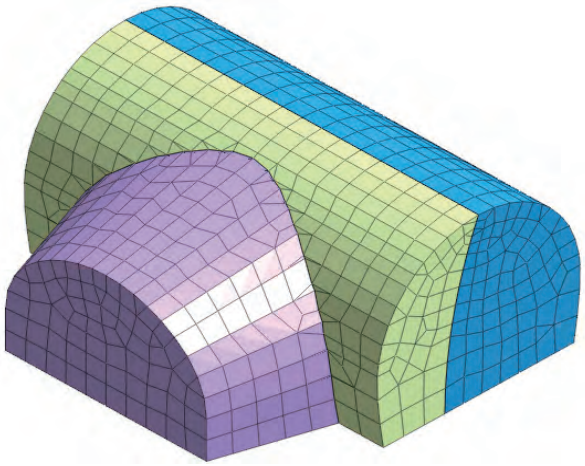


オートメッシュとハイブリッドメッシュ



オートメッシュで作成

すべて4面体（三角錐）で作成しているため
メッシュ表面はすべて三角形になる



ハイブリッドメッシュで作成

6面体（直方体）を基本として4面体（三角錐）やピラミッド型（四角錐），5面体（三角柱）で作成しているため表面はほとんど四角形となる

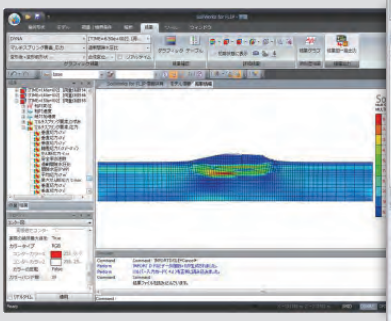
18

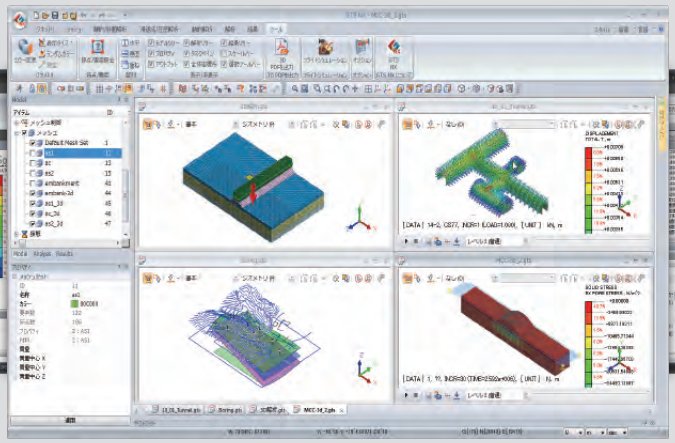
MIDAS

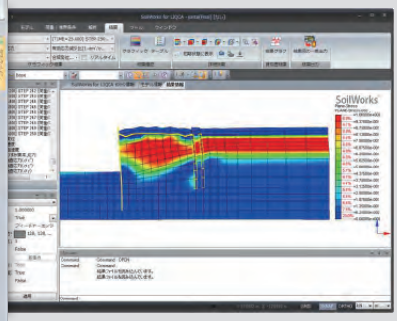
株式会社マイダスアイティジャパン

MIDAS Total Solution

建設分野プログラム







SoilWorks for FLIP

FLIP専用のプリ・ポスト

SoilWorks for FLIPはFLIP「地震時の液状化による構造物被害予測プログラム」専用のプリ・ポストです。SoilWorksの操作性をそのまま継承しており、AutoCAD感覚でデータを作成することができます。データ作成後は、FLIPを起動させ計算を実行することもでき、FLIP解析のための統合された作業環境を提供します。

GTS NX

GTS NX - 地盤分野汎用解析システム

GTS NXは最先端PRE-Postと解析機能を搭載した新しい概念の地盤汎用解析プログラムです。GTS NXは最新のＯＳ環境変化に合わせて64ビット、並列処理を適用した統合ソルバを搭載しており、初心者も使いやすいように直観的なリボンメニュー形式を用意しております。また、様々な解析機能、圧倒的に速い解析速度、優れているグラフィック表現および結果整理機能などを提供します。

SoilWorks for LIQCA

LIQCA専用のプリ・ポスト

SoilWorks for LIQCAはLIQCA専用のプリ・ポストです。SoilWorksの操作性をそのまま継承しており、AutoCAD感覚でデータを作成することができます。データ作成後は、LIQCAを起動させ計算を実行することもでき、LIQCA解析のための統合された作業環境を提供します。

※ LIQCAは1987年京都大学の岡 二三生教授をはじめとするLIQCA開発グループにより開発された有効応力に基づく液状化解析プログラムです。

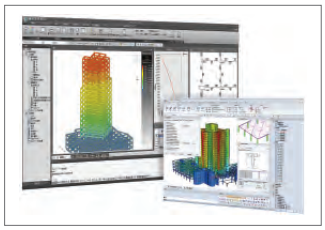
MIDAS Family Programs

MIDAS 製品紹介

MIDAS Family Program は
最先端CAE(Computer Aided Engineering) ソリューションです。

建築

Building Engineering



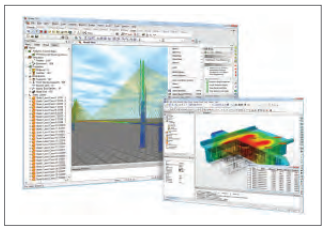
midas iGen
建築分野の
汎用構造解析および
許容応力度計算

midas eGen
保有耐力自動計算＋構造計画/
設計最適化システム
CAD 基盤モデリング

midas Drawing
世界初２次元情報CADプログラム
構造図自動生成

土木

Bridge Engineering

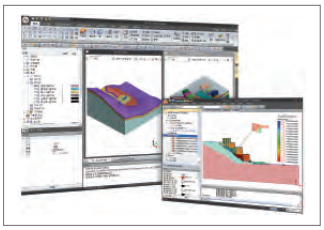


midas Civil
土木分野の
汎用構造解析および
最適設計システム

midas FEA
建設分野の
非線形解析および
詳細解析システム

地盤

Geotechnical Engineering



SoilWorks
2次元地盤汎用解析/設計
プログラム

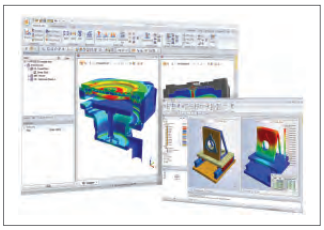
SoilWorks for FLIP
液状化解析プログラム
FLIP用のプリ・ポスト

SoilWorks for LIQCA
液状化解析プログラム
LIQCA用のプリ・ポスト

GTS NX
２次・3次元地盤汎用解析
プログラム

機械

Mechanical Engineering



midas NFX
機械分野の
汎用構造解析システム

midas FX+
有限要素解析汎用の
プリ・ポスト処理プログラム

MIDAS
トンネル
開削分野

Change is Chance

株式会社マイダスアイティジャパン
〒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
Copyright© Since 1989 MIDAS Information Technology Co., Ltd. All rights reserved.

http://jp.midasuser.com/geotech