GTS NX

実務適用事例集 II

MIDAS
CONSTRUCTION
TECHNICAL
DOCUMENT
COLLECTION

1 開削工事の盤ぶくれ評価へのFEM解析の応用性について 3-26
株式会社 大林組 杉江 茂彦 様

2 MIDAS GTS NX解析事例
杭の先行削孔による既設シールド管への影響検討 27-56
株式会社 フジタ 池内 正明 様

3 3次元FEM解析（トンネル掘削問題） 57-78
株式会社フジタ 池内 正明 様

4 避難連絡坑を考慮したトンネル3次元解析モデル 78-98
株式会社フジタ 徳永 高志 様

5 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 99-110
株式会社クレアテック 鈴木 崇史 様

6 トンネル・地下構造物における数値解析-除荷挙動が与える影響 111-118
首都大学東京大学院 西村 和夫 教授

7 地層境界面を考慮した3次元解析モデルの作成方法例 119-130
株式会社フジタ 徳永 高志 様

8 トンネル解析における三次元解析と二次元解析 131-139
株式会社NOM 大河内 保彦 様

MIDAS CONSTRUCTION TECHNICAL DOCUMENT COLLECTION

GTS NX 実務適用事例集

1. 地盤変形・トンネル分野

開削工事の盤ぶくれ評価へのFEM解析の応用性について

株式会社 大林組　杉江 茂彦 様

1/42

開削工事の盤ぶくれ評価への FEM解析の応用性について

株式会社 大林組 杉江 茂彦

2/42

本日の内容

1. 開削工事の盤ぶくれ
   - 既往検討式と土/水連成ＦＥＭ
2. 盤ぶくれの遠心模型実験（伊藤政人他、2002）
   - 観察、FEM再現性
3. ビル建築/逆打ち建屋同時施工事例
   - FEMの応用性/可能性

盤ぶくれの検討式

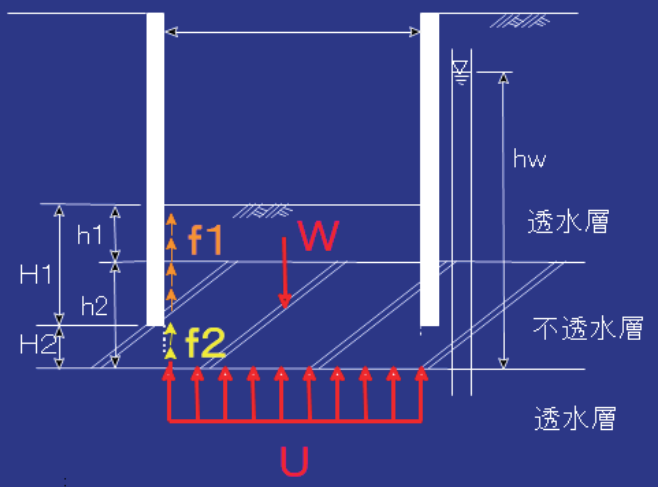
3/42

荷重バランス

$$\frac{W}{F_{s1}}+\frac{2f_1H_1}{F_{s2}}+\frac{2f_2H_2}{F_{s3}}\geq U$$

壁面摩擦

地盤のせん断強度



例えば、 $F_{s1}=1.1,\ F_{s2}=F_{s3}=3.0$

4/42

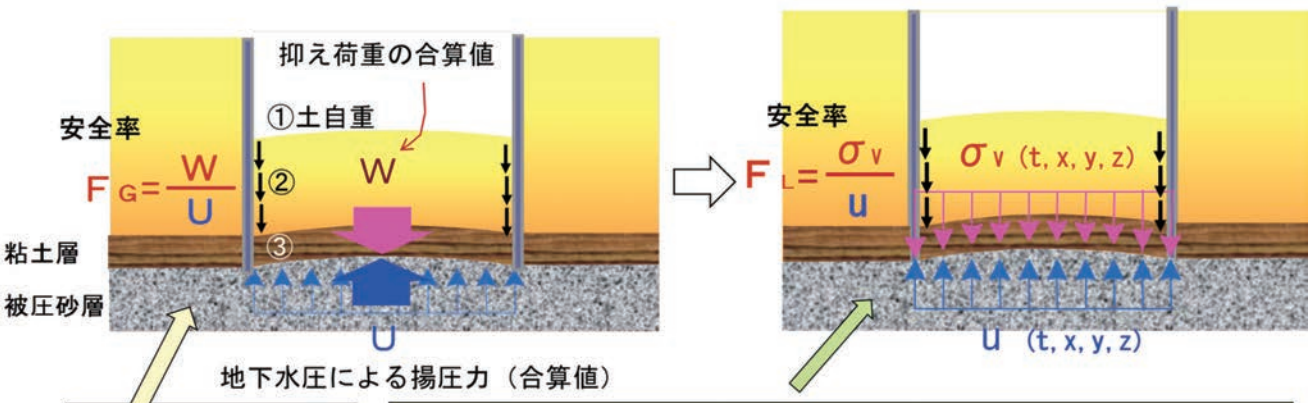
盤ぶくれ　慣用検討式 v. s. ＦＥＭでの安全率の定義

慣用の検討式 （どこもかしこも減圧）

総和量の比較でどこでも同じ安全率

ＦＥＭ （そこだけ減圧）

場所ごとに安全率を得られる



慣用の安全率

$$F_G=\frac{W①+②+③}{U}$$

土/水連成ＦＥＭで安全率をつくると

粘土層下端の鉛直全応力（残留土被り圧）

鉛直有効応力　間隙水圧

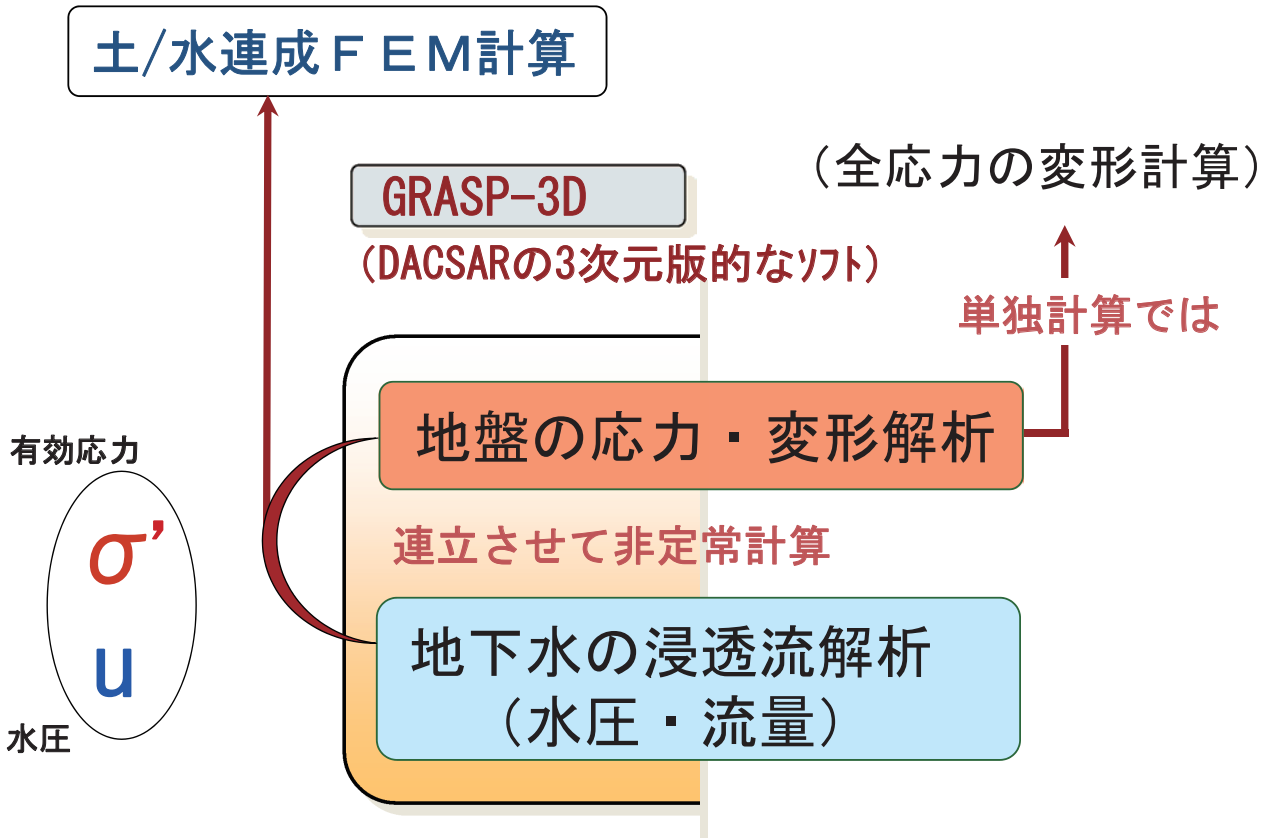
$$F_L(t,x,y,z)==\frac{\sigma'_v+u}{\text{地下水圧 } u}$$

盤ぶくれ

$\sigma'_v \leqq 0$

開削工事のシミュレーションの計算ツール

5/42



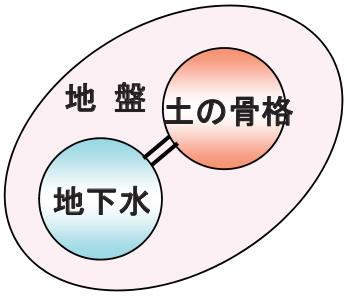
6/42

土/水連成　ＦＥＭ　計算の支配方程式　　Biotの多次元圧密理論

弱形式によるFEM定式化

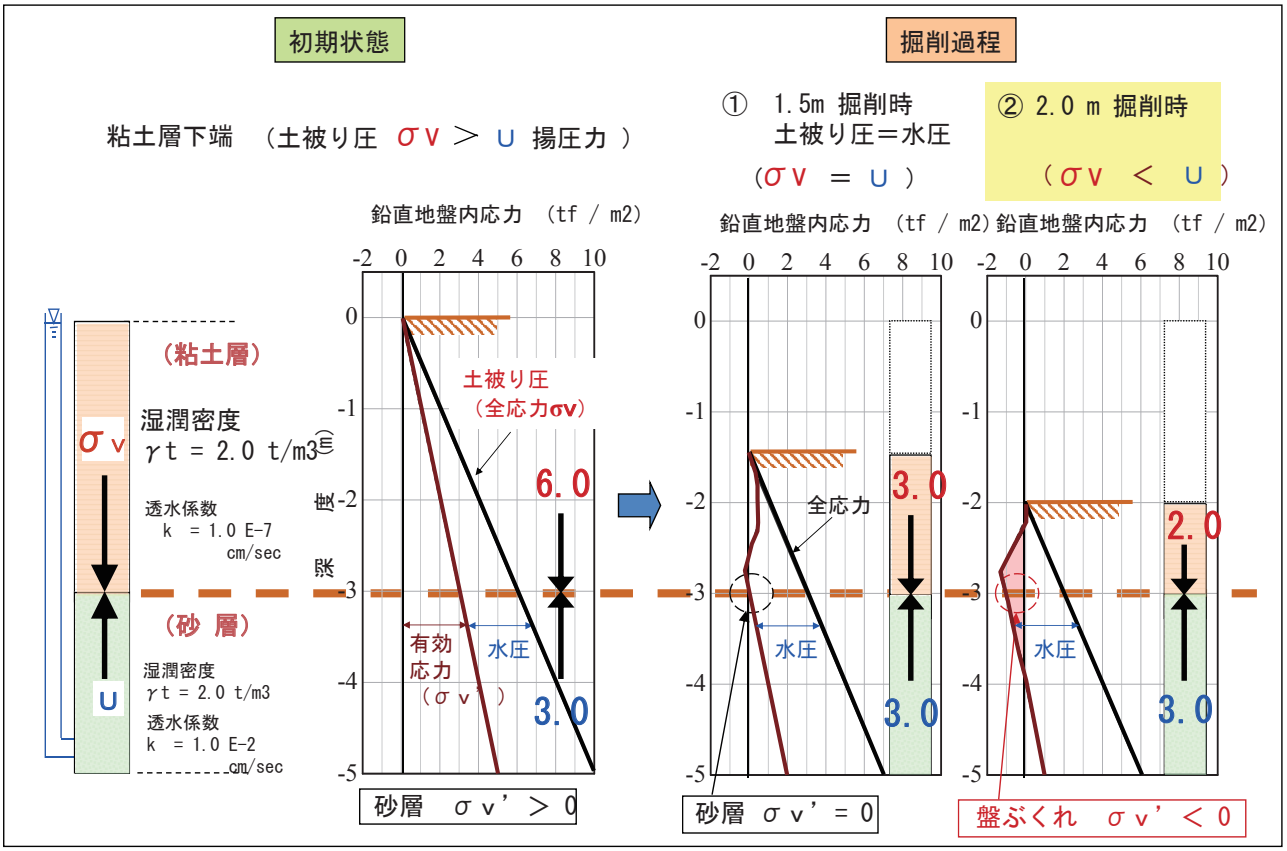
土の骨格	つりあい条件	$\dot{\sigma}_{ij,j} = 0$
	応力 ～ ひずみ	$\dot{\sigma}'_{ij} = D_{ijkl}\dot{\varepsilon}_{kl} - \dot{\sigma}^{R}{}_{ij}$
	ひずみ ～ 変位	$\dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{1}{2}\left(\dot{u}_{i,j} + \dot{u}_{j,i}\right)$
	有効応力の原理	$\dot{\sigma}_{ij,j} = \dot{\sigma}'_{ij} + \dot{p}_w \delta_{ij}$
地下水	連続条件	$\dot{\varepsilon}_v = -v_{i,i}$
	Darcy 則	$v_i = -k_{ij} \cdot h_{,j}$
	$\left(h = \frac{p_w}{\gamma_w} + \Omega\right)$	Ω ： 位置水頭

粘性土層
- 関口・太田 モデル 1977
- 大野・飯塚 太田 2006 修正型 コントラクタンシーに非線形性
（弾塑性・弾粘塑性）



7/42

土/水連成FEM の性能検証　（１次元掘削問題で試算）



8/42

本日の内容

1．開削工事の盤ぶくれ

・既往検討式と土/水連成ＦＥＭ

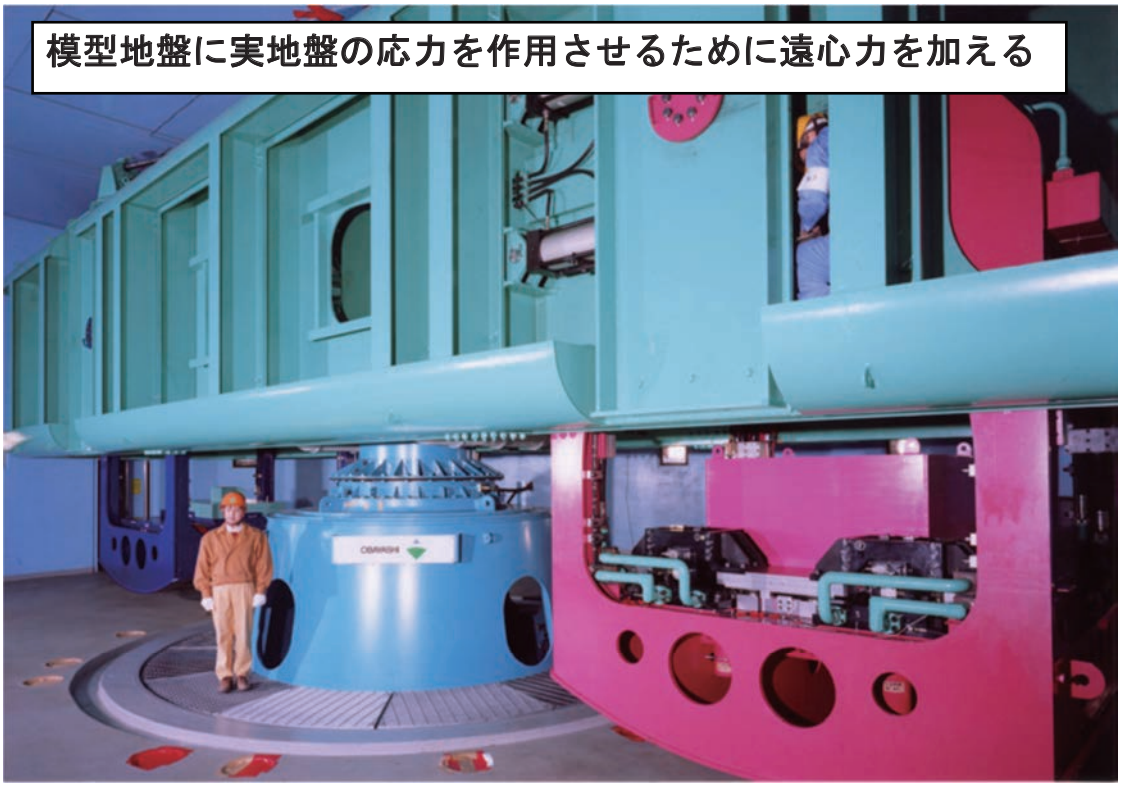
② 盤ぶくれの遠心模型実験（伊藤政人他、2002）

・観察、FEM再現性

3．ビル建築/逆打ち建屋同時施工事例

・FEMの応用性/可能性

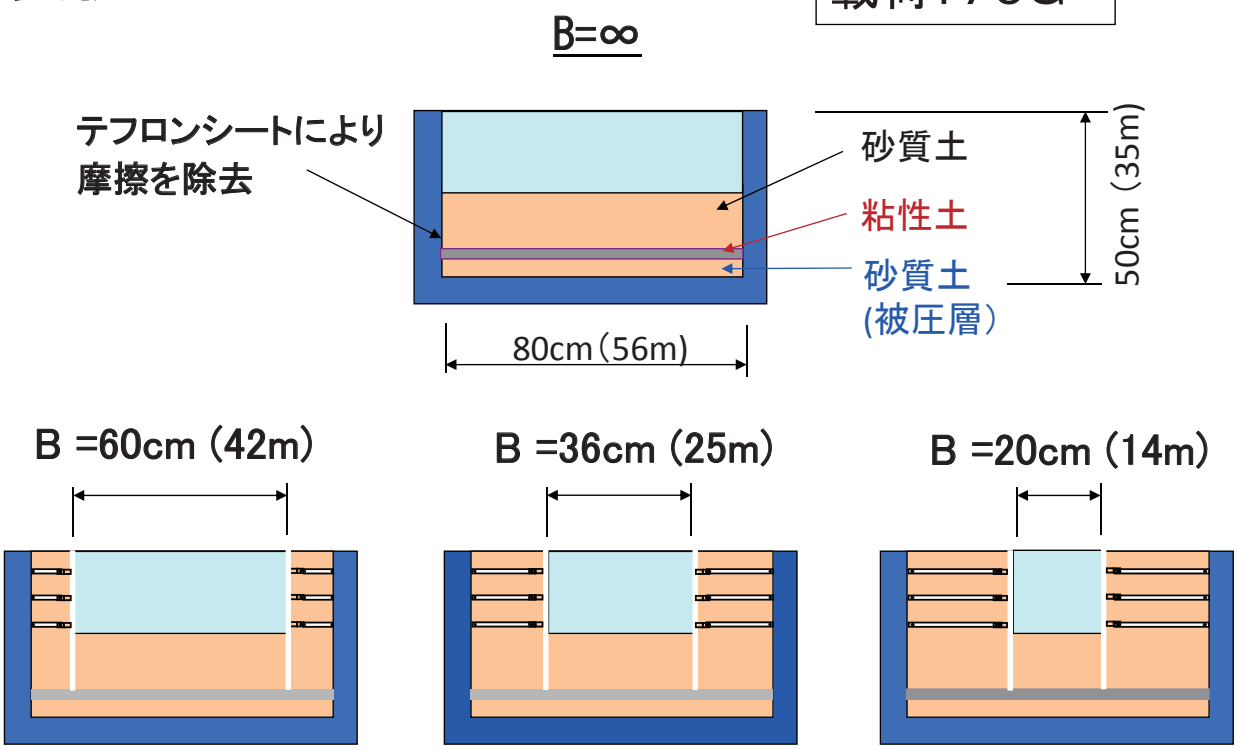
遠心実験装置全景



回転半径：7.4m　　バケット：2.2×2.2 m　　最大遠心重力：120G

実験ケース

載荷：70G

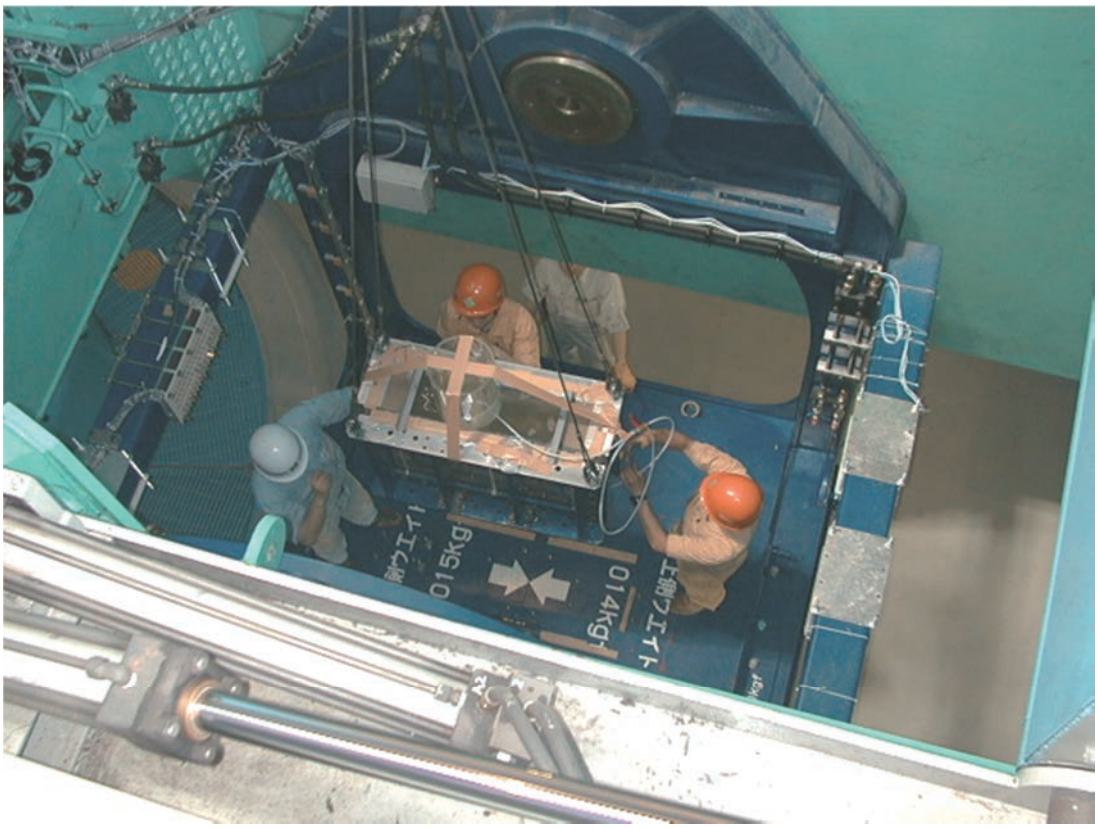


盤ぶくれ抵抗に及ぼす壁面摩擦の寄与度を把握

実験準備状況

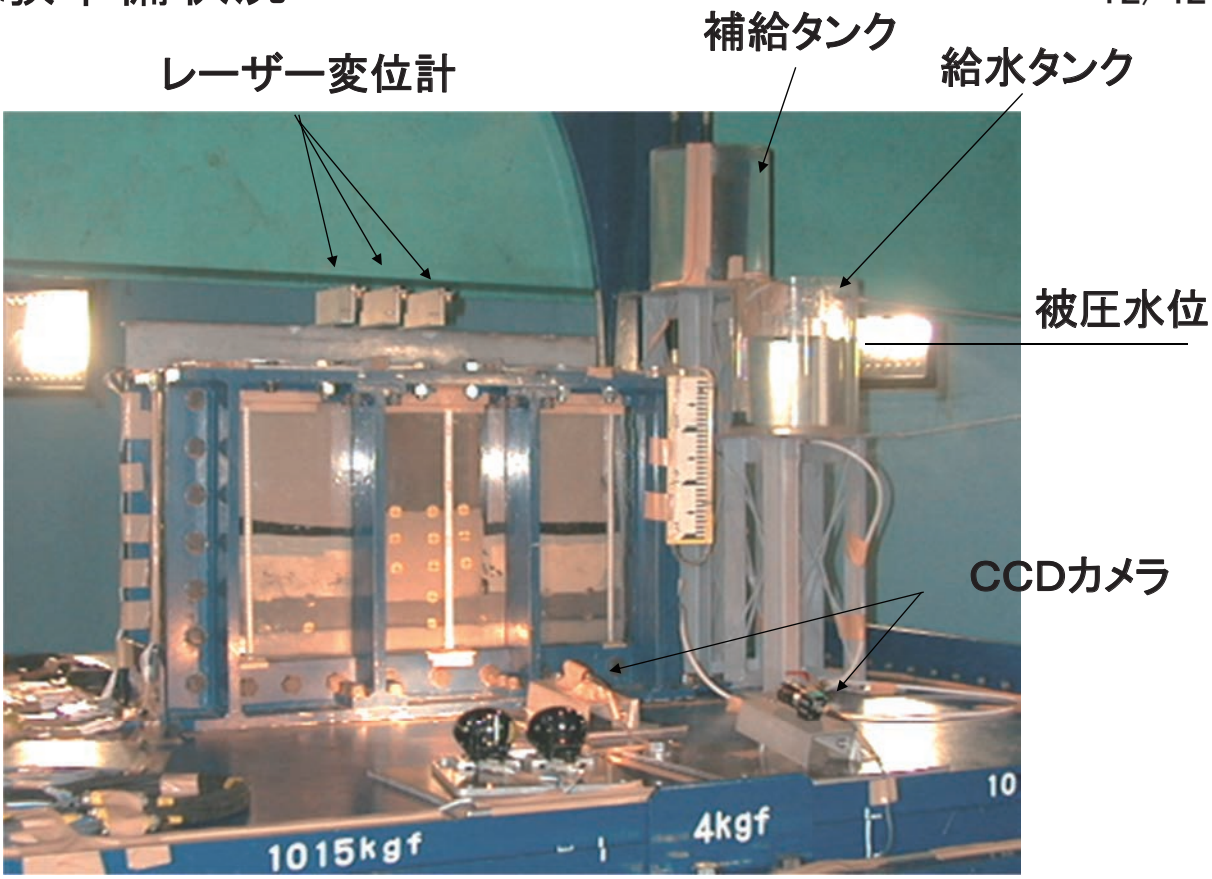
11/42

バケット搭載



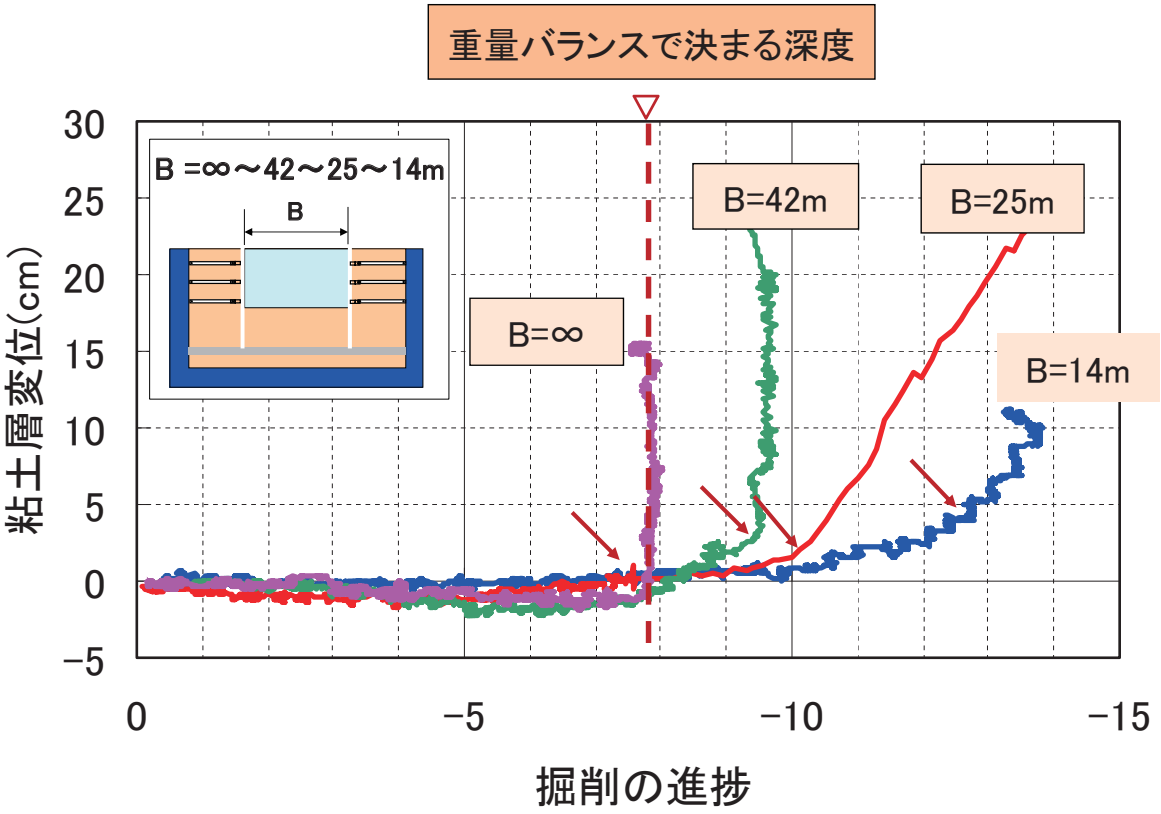
実験準備状況

12/42



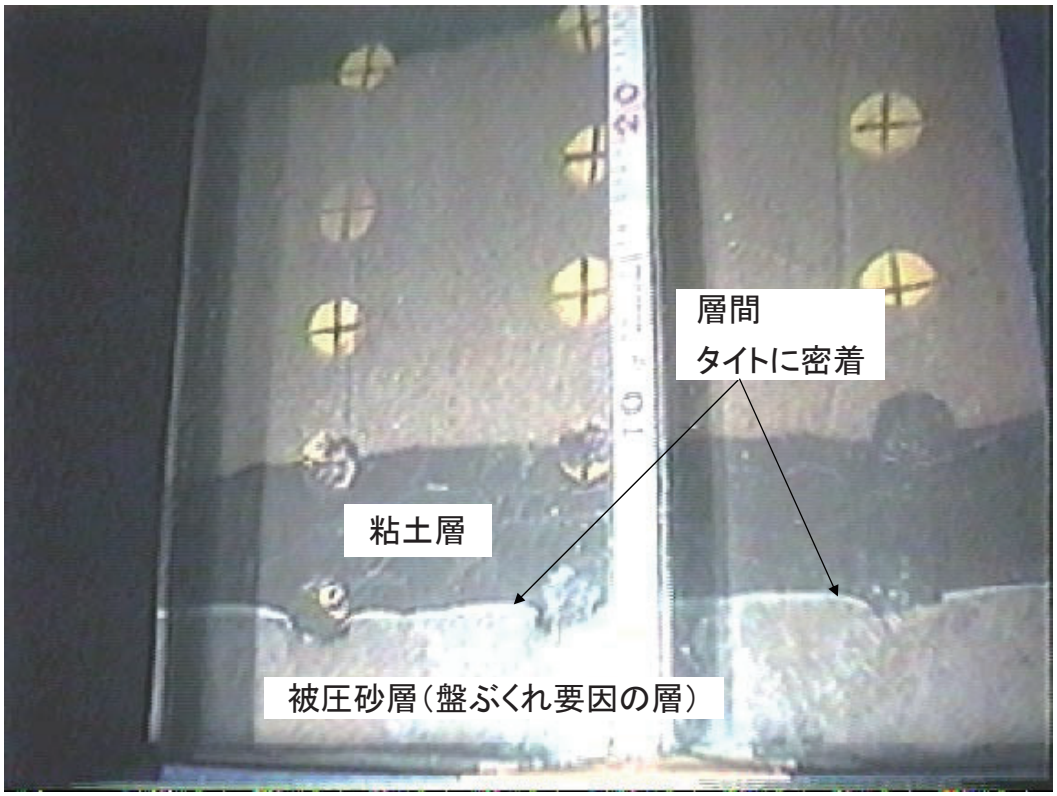
実験結果（掘削の進捗と粘土層の変位）

13/42



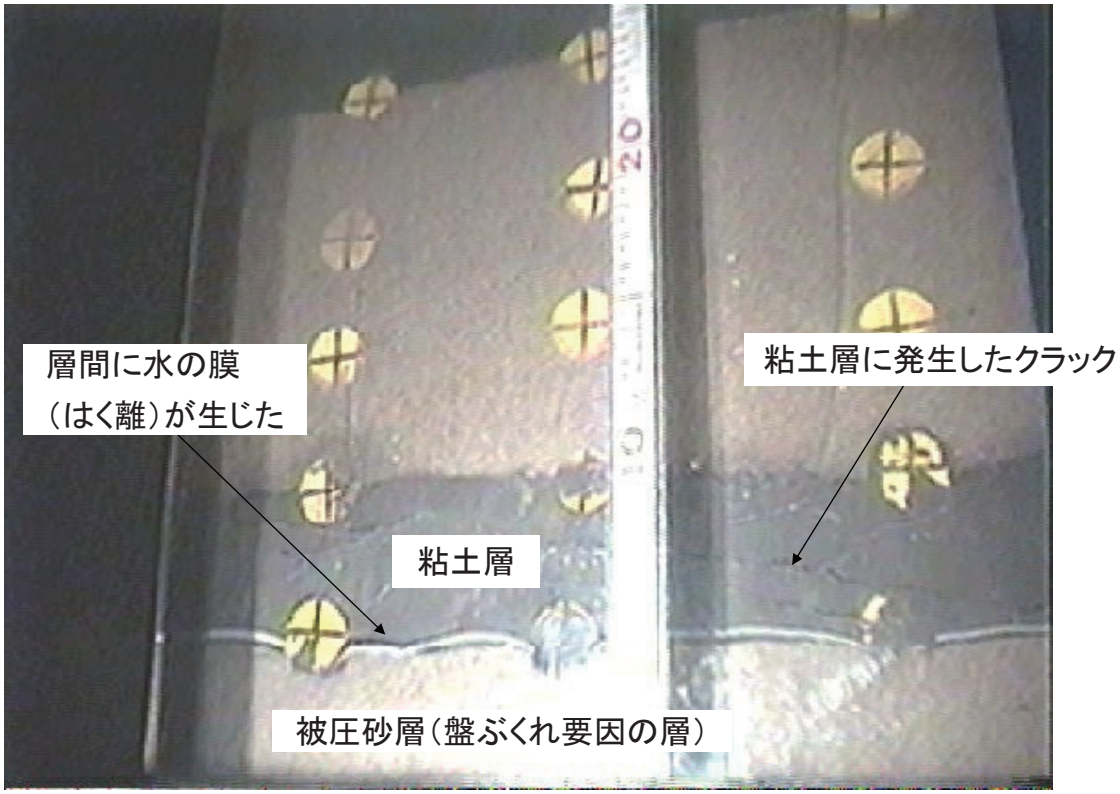
盤ぶくれ前の掘削底部地盤の状況

14/42



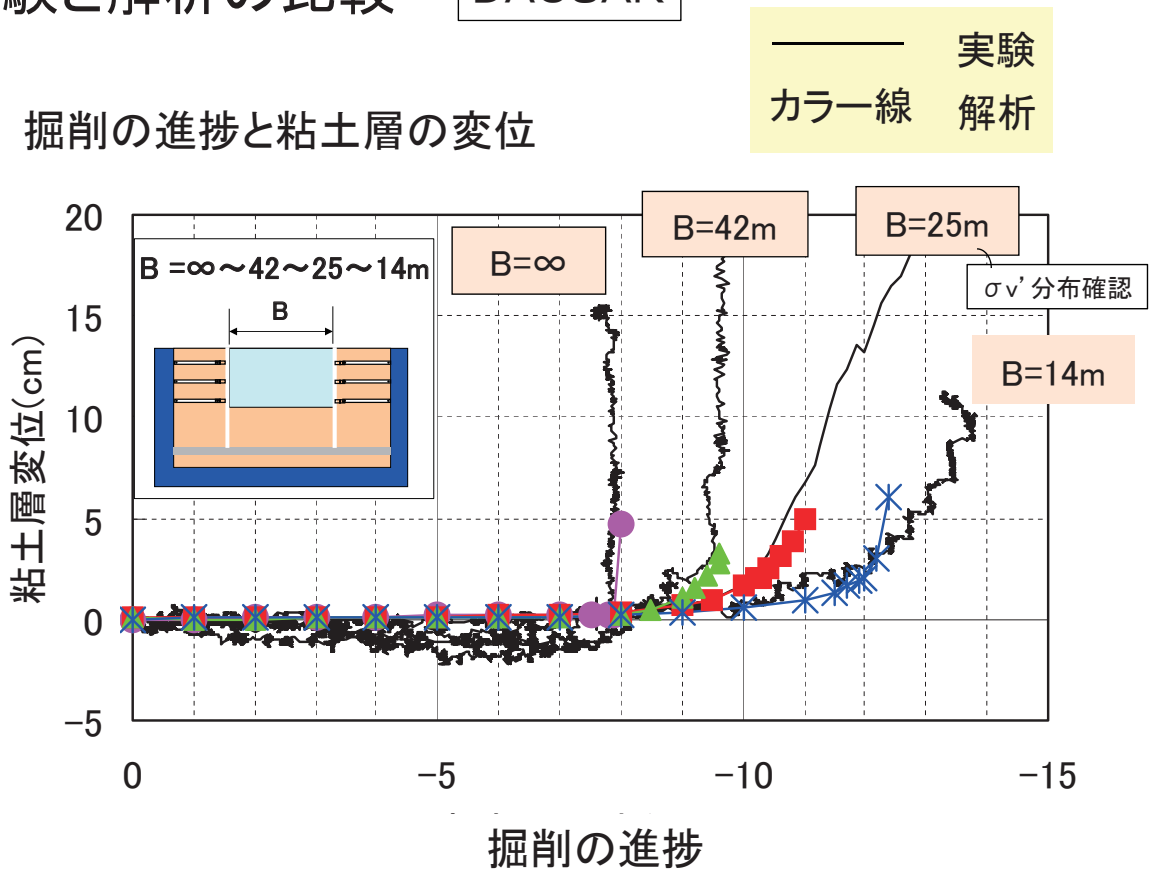
15/42

盤ぶくれ中の掘削底部地盤の状況



実験と解析の比較　DACSAR

16/42



解析結果

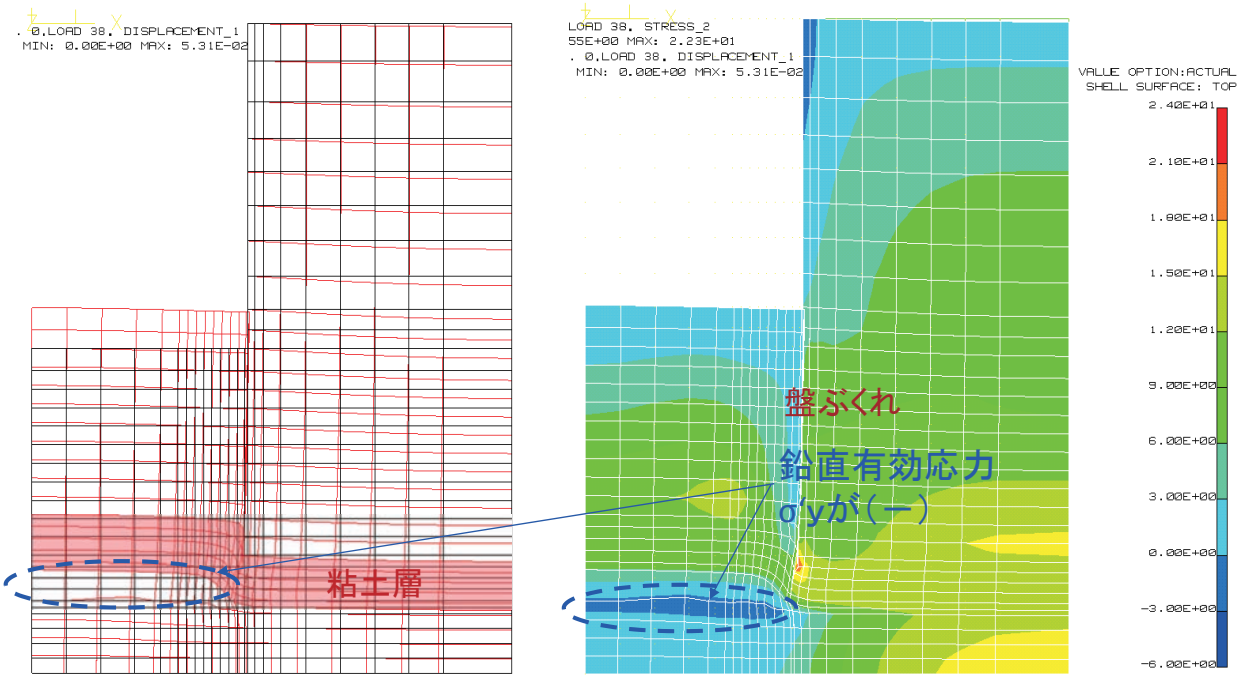
17/42

B=25m　38STEP　ΔH=11.0m

DACSAR

変形図

鉛直有効応力コンター　:σ'v



18/42

遠心実験と土/水連成ＦＥＭ解析　まとめ

実験

- 盤ぶくれの観察
  （被圧層内上部に水膜・粘土層境界に剥離）
- 壁 / 地盤 間の摩擦の盤ぶくれ抑制効果

解析

- 盤ぶくれの場所では有効応力がマイナス
- 壁の効果も実験と同様感度よく違いが出る

（盤ぶくれの評価に応用できそう）

本日の内容

19/42

1．開削工事の盤ぶくれ

・既往検討式と土/水連成ＦＥＭ

2．盤ぶくれの遠心模型実験（伊藤政人他、2002）

・観察、FEM再現性

3．ビル建築/逆打ち建屋同時施工事例

・FEMの応用性/可能性

20/42

ビル地下階の逆打ち施工事例：大阪

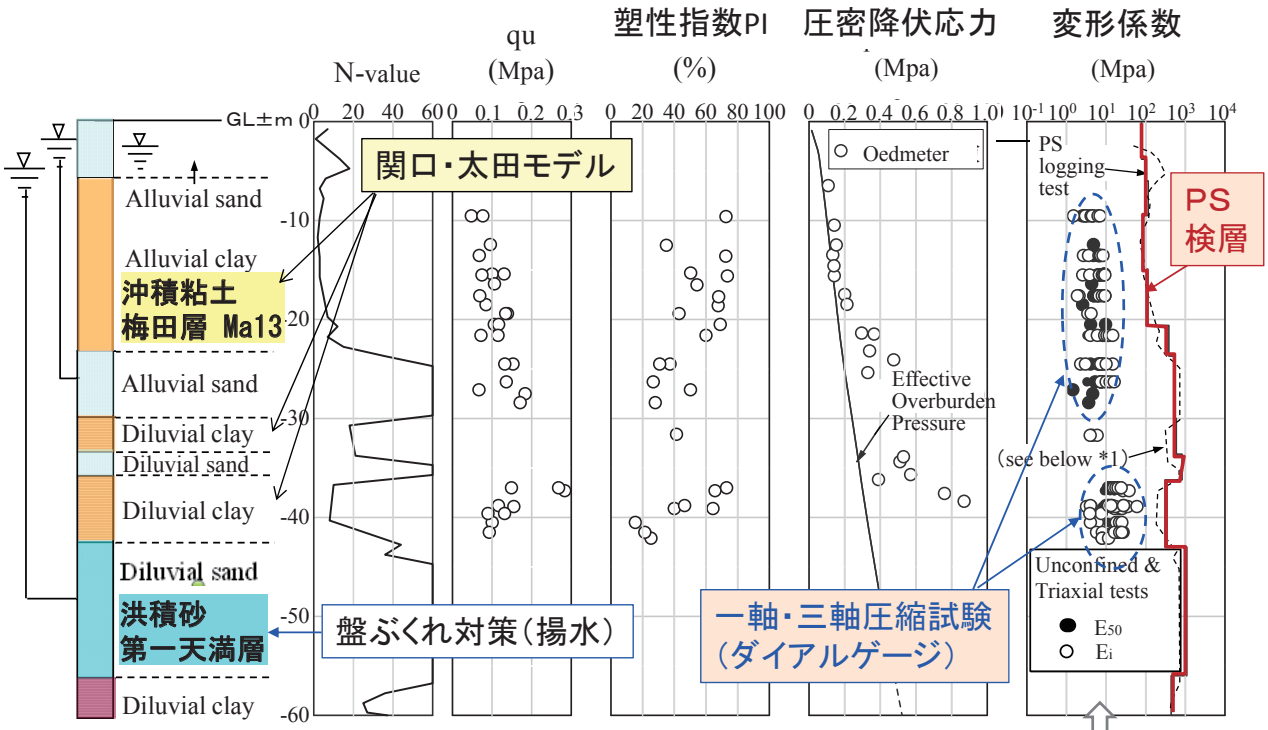
土/水連成FEM

■ 施工時の挙動のシミュレーション

■ 盤ぶくれ検討への応用性/可能性

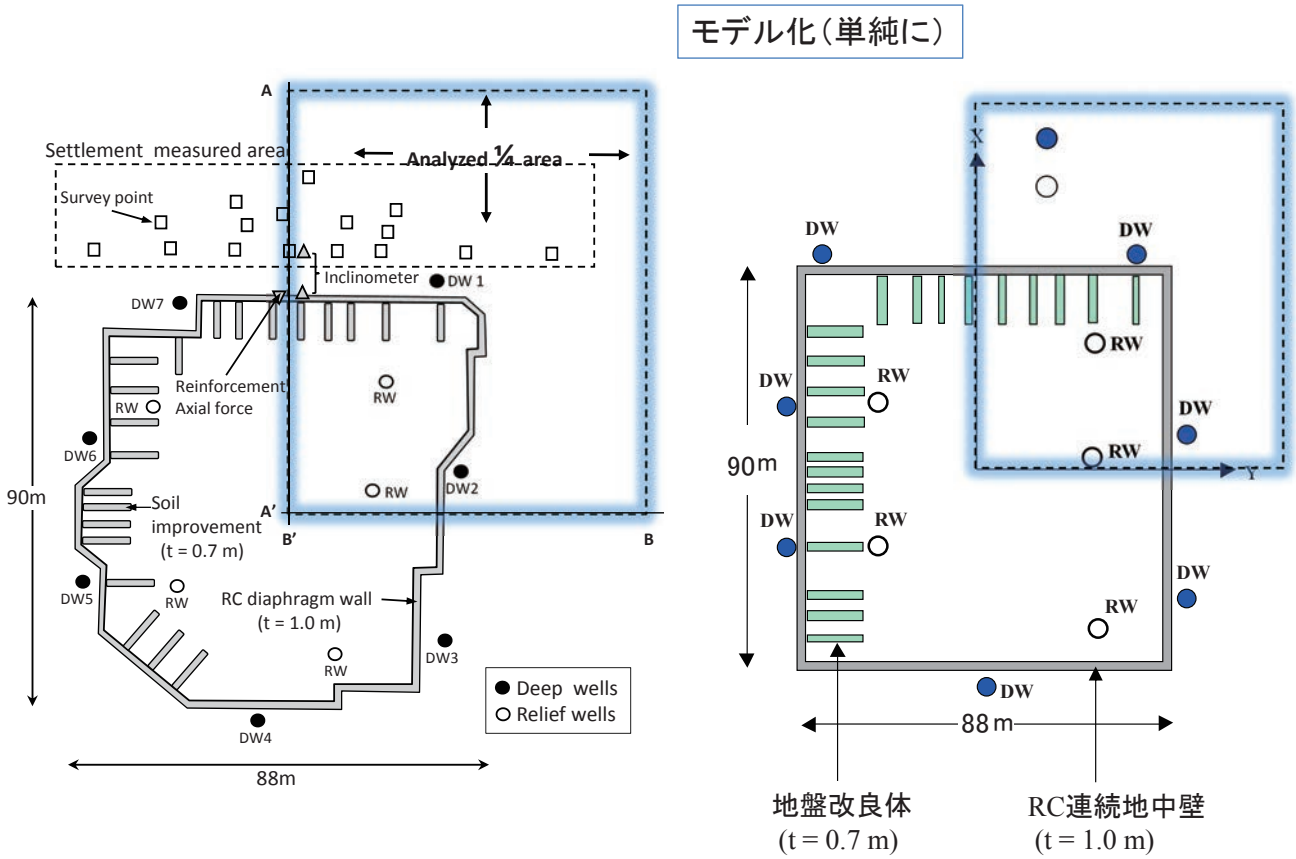
サイト地盤の概要

22/42



掘削平面と解析領域

23/42



地盤のモデル

24/42

粘土層

関口・太田モデル
（定数設定法）
Iizuka, Ohta
(S&F, 1986)

室内試験
（圧密・三軸
塑性指数、他）

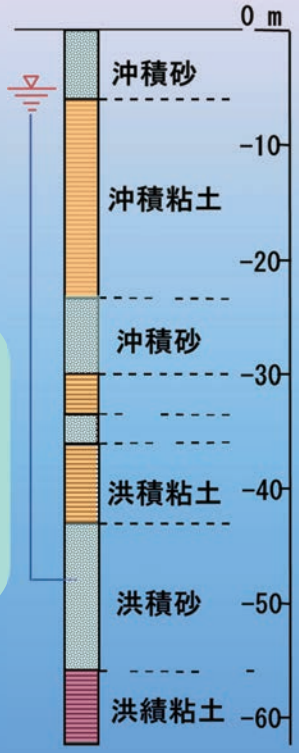
砂　層

線形弾性（今回）
E=0.2～0.5×Eps

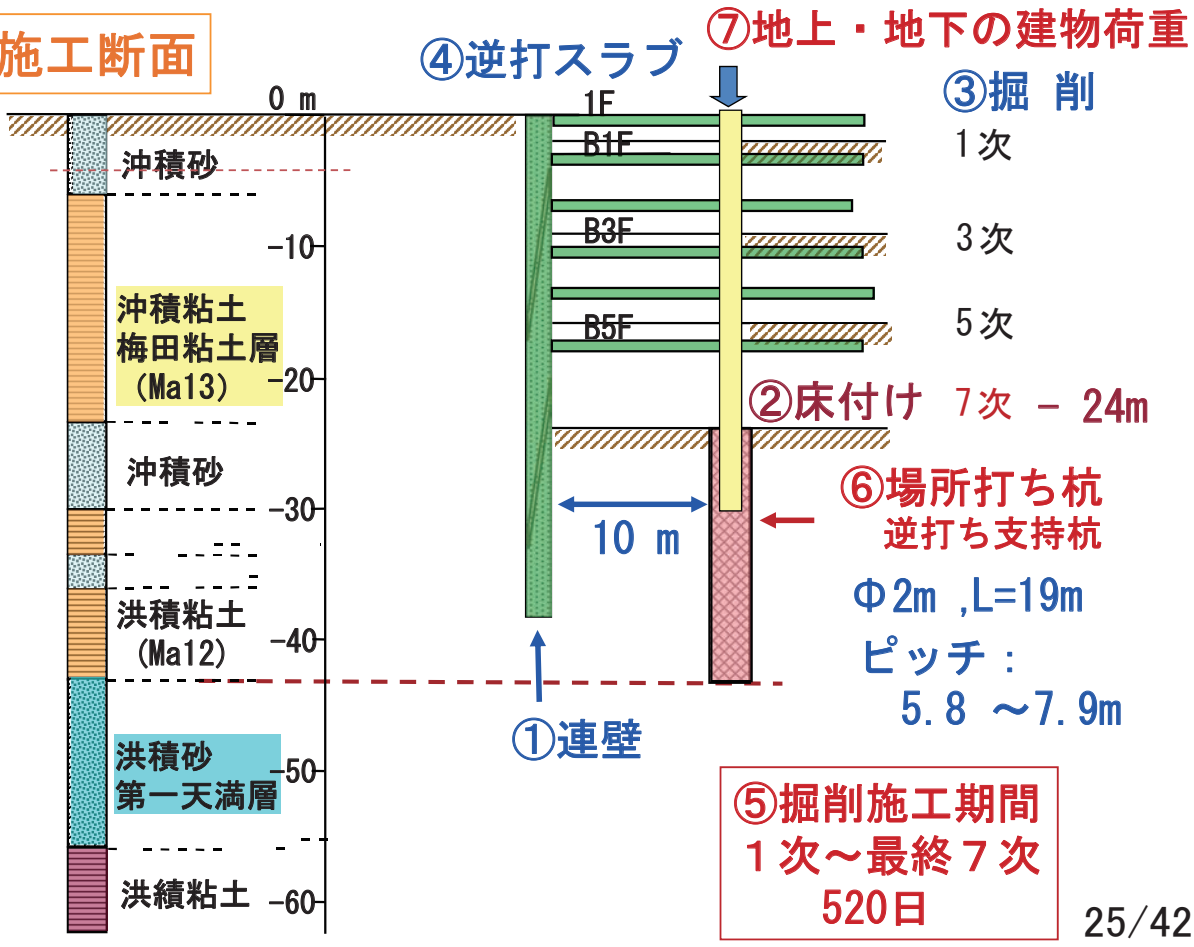
変形係数 Eps
Vs：PS検層
Vs：相関式
今井・殿内
Vs=91×N^0.337 m/sec

非線形
・Hardin-Drnevich
・Drucker-Prager (C', φ')

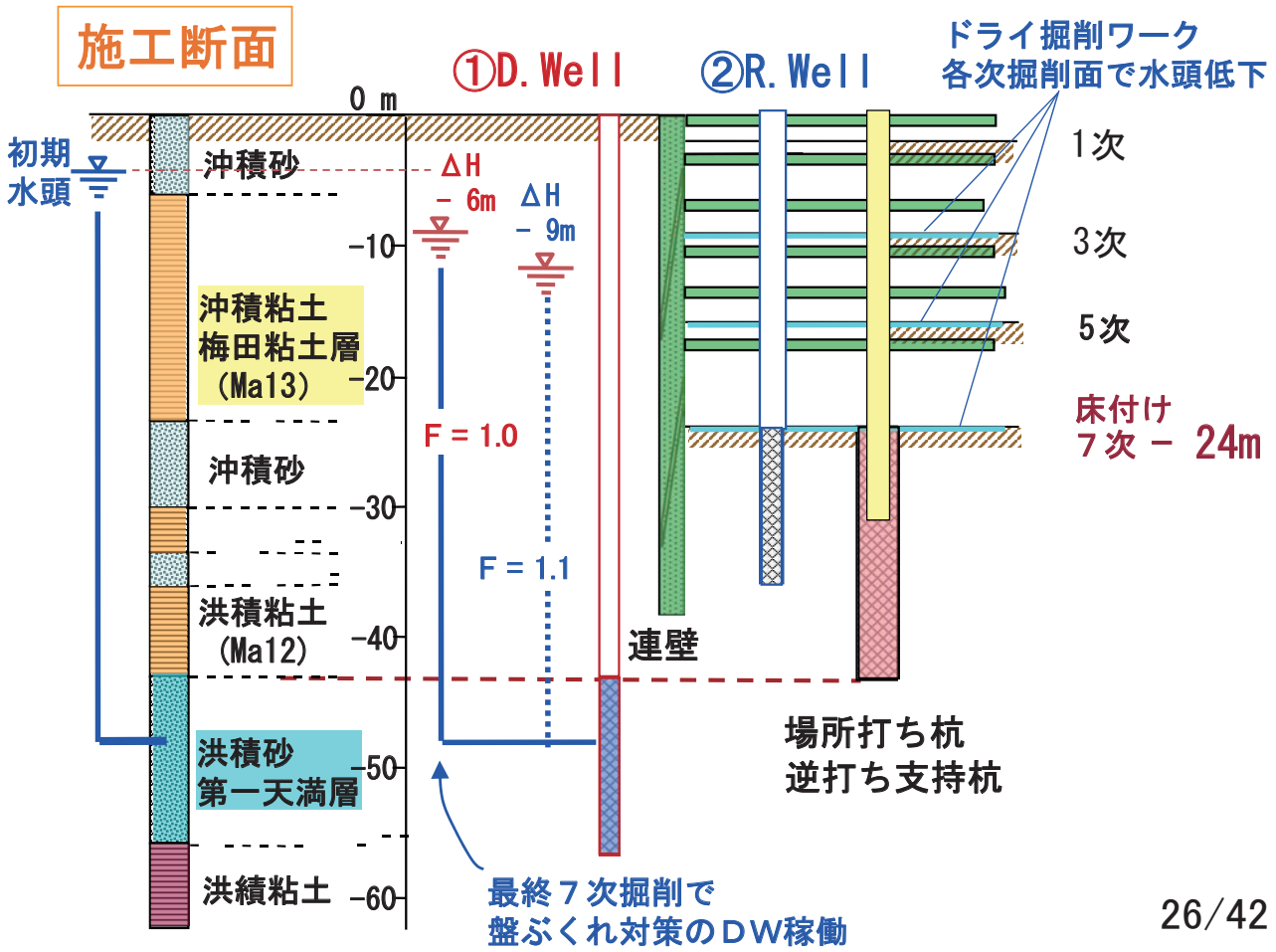
透水性 ⟷ 現場透水試験



施工断面



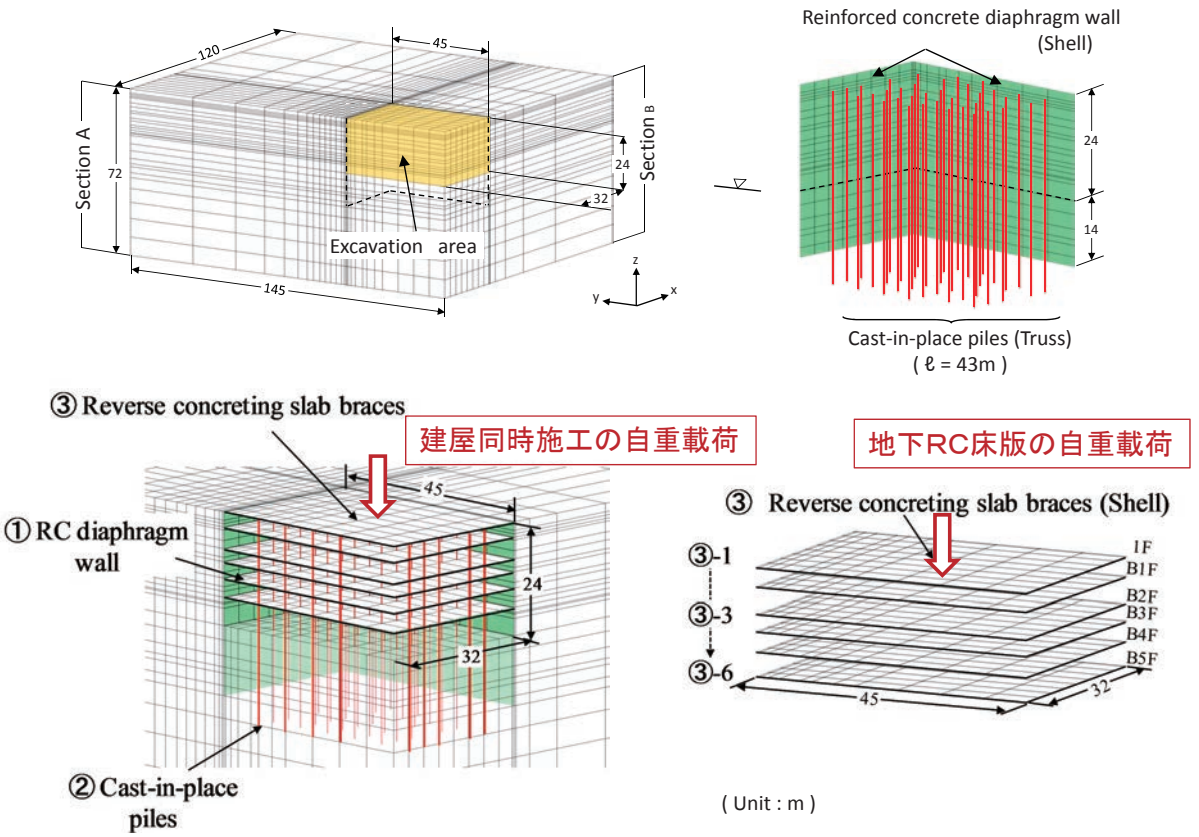
25/42



26/42

ＲＣ床版逆打ち・掘削施工のモデリング

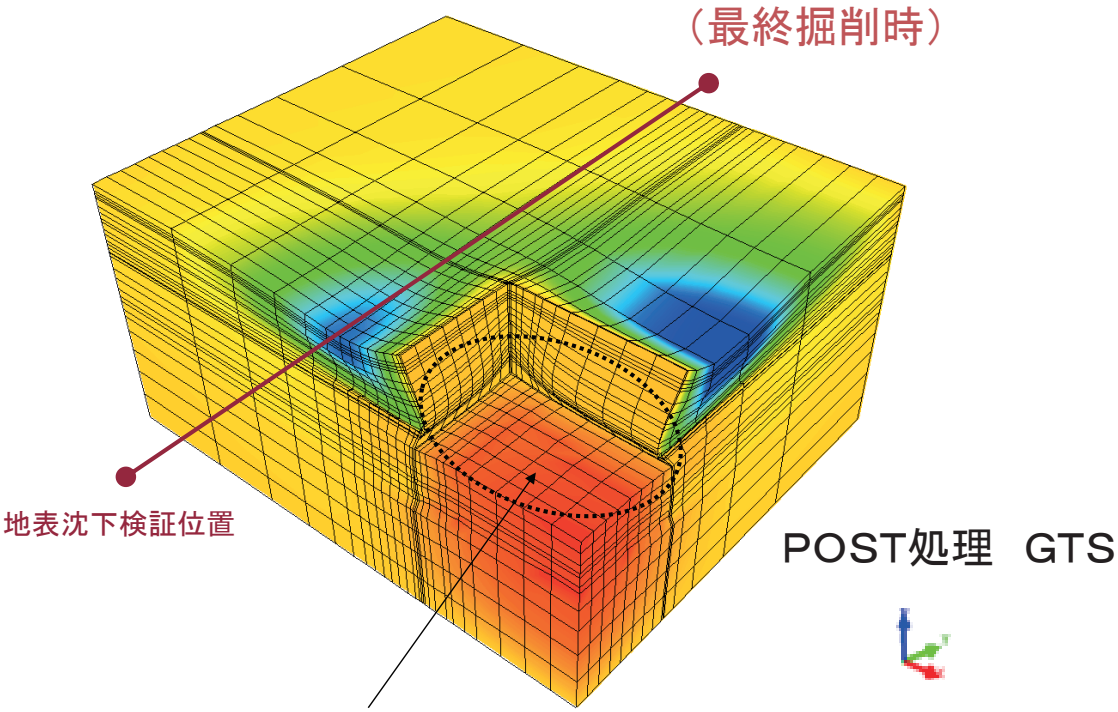
27/42



掘削部周辺地盤の変形図と沈下コンター

28/42

（最終掘削時）

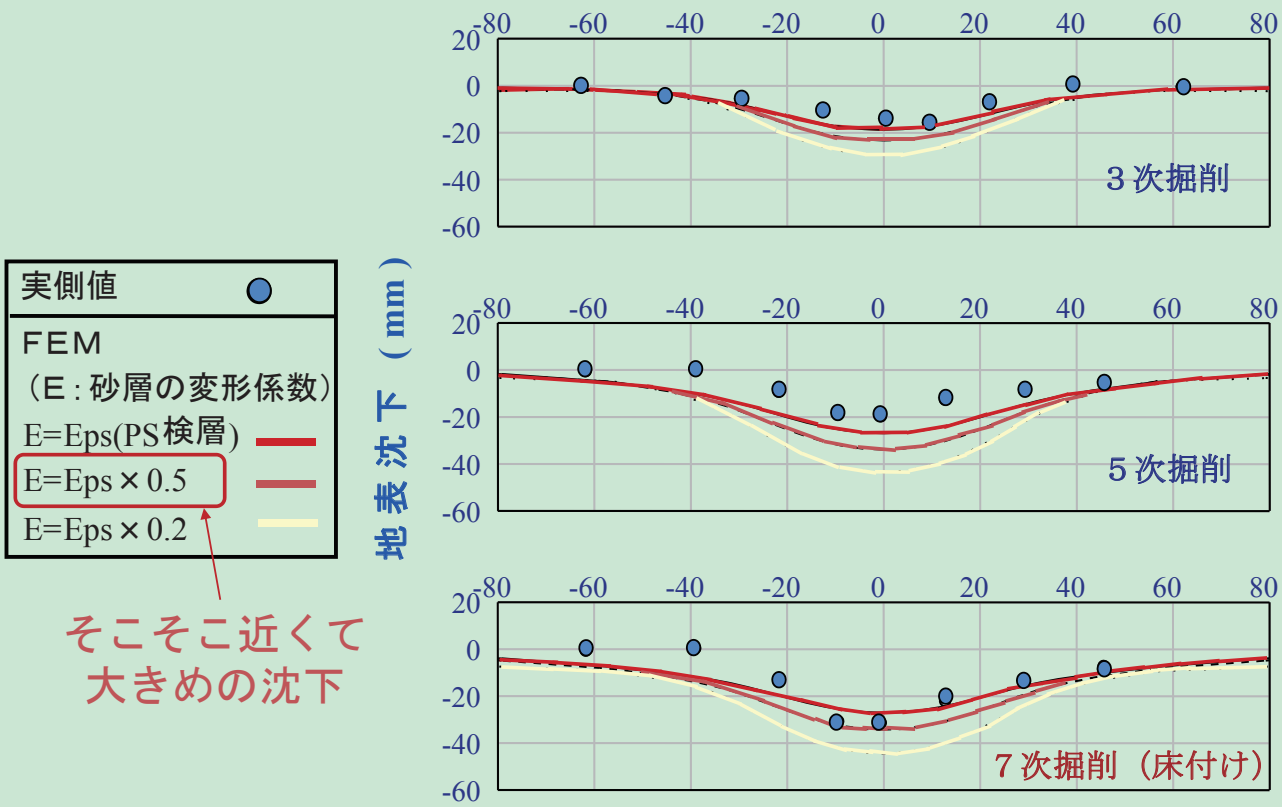


ＲＣ連壁・逆打ＲＣ床版はSHELL要素でモデル化

場所打ち杭（逆打支持杭）はTRUSS要素でモデル化

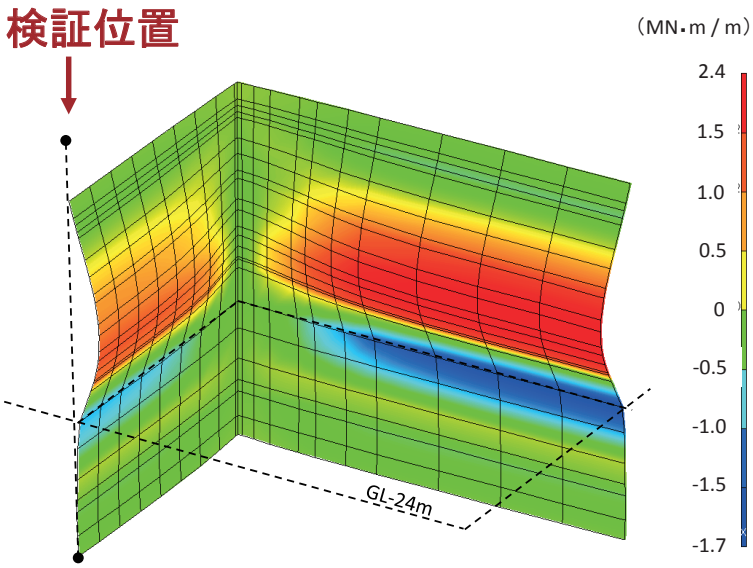
背面地盤の地表沈下

29/42

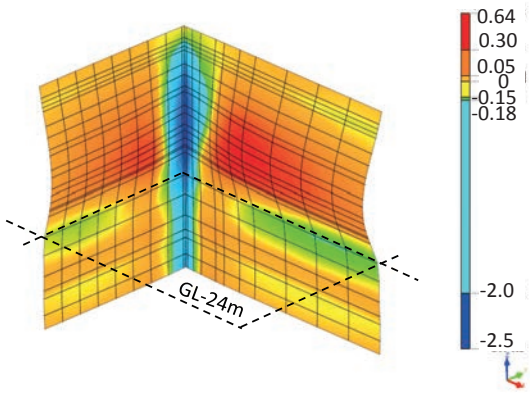


土留め壁の変形と曲げモーメントコンター

30/42



鉛直方向曲げモーメント



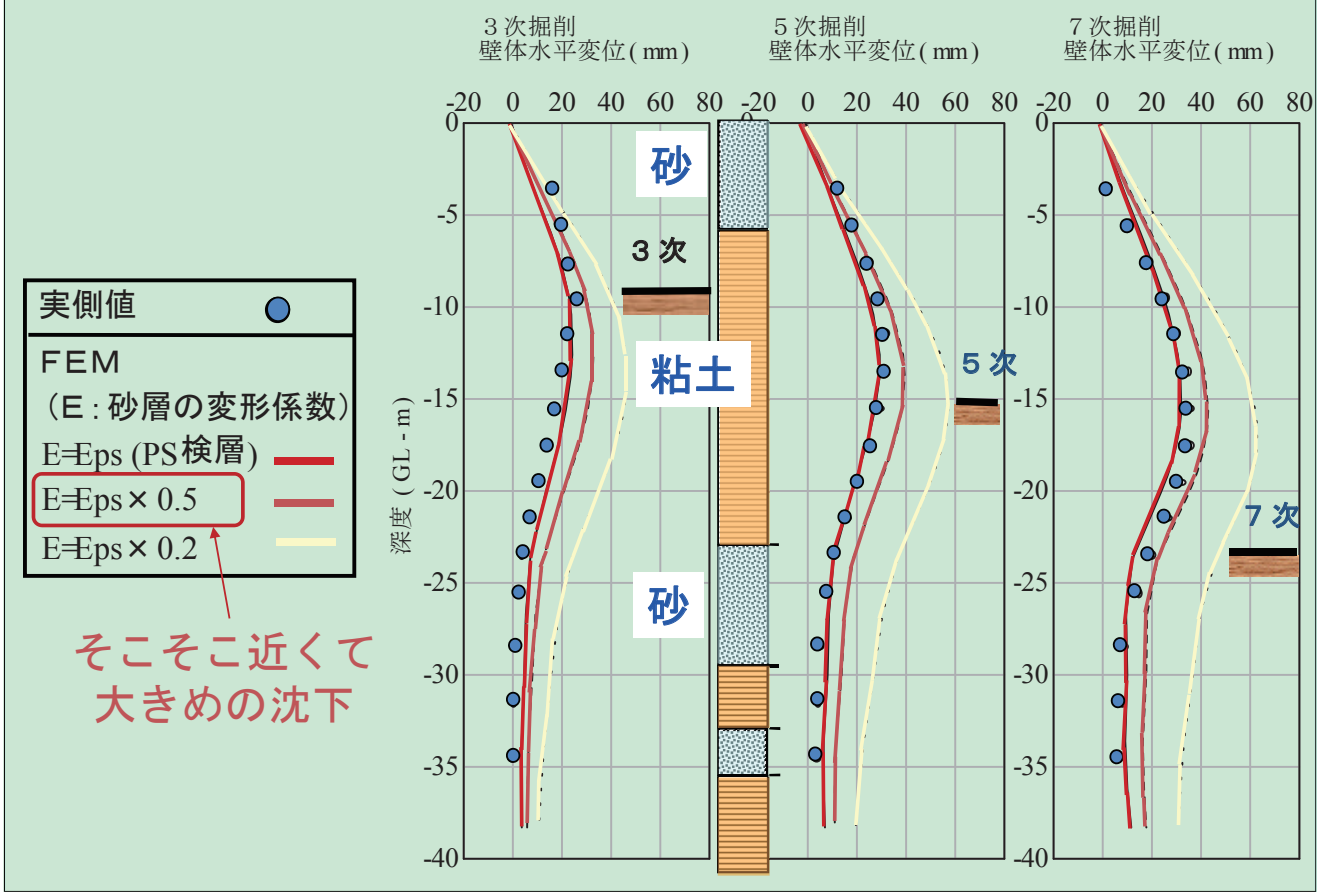
水平方向曲げモーメント

発生レベル　小

POST処理　GTS

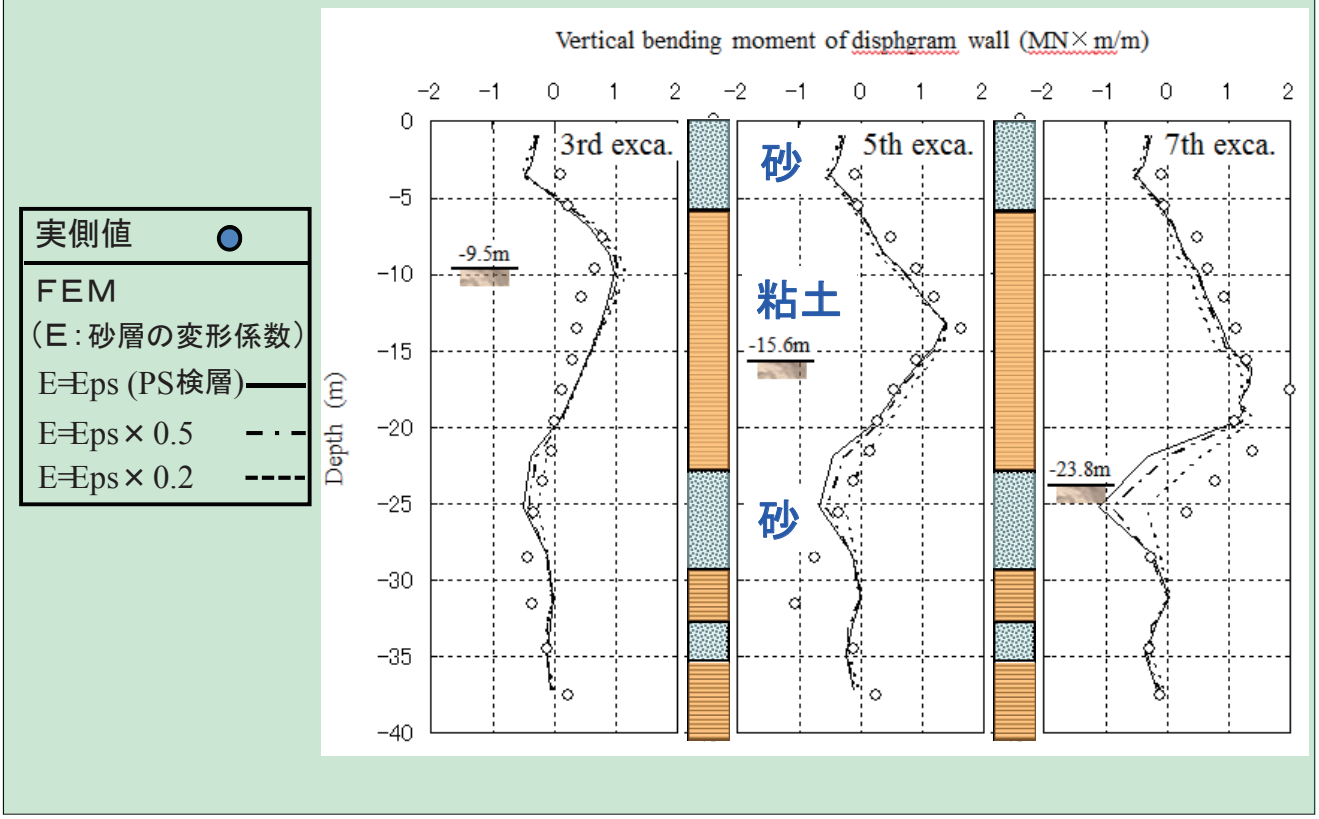
土留め壁の水平変位

31/42



土留め壁の鉛直曲げモーメント

32/42



ビル地下階の逆打ち施工事例

33/42

土/水連成FEM

■ 施工時の挙動のシミュレーション

■ 盤ぶくれ検討への応用性

盤ぶくれ抑制要因のモデル化

地盤との摩擦抵抗 →

- ディープウェル揚水/被圧地下水位の低下
- 土留めRC連壁
- 場所打ち杭　（逆打ち工法の構真柱）

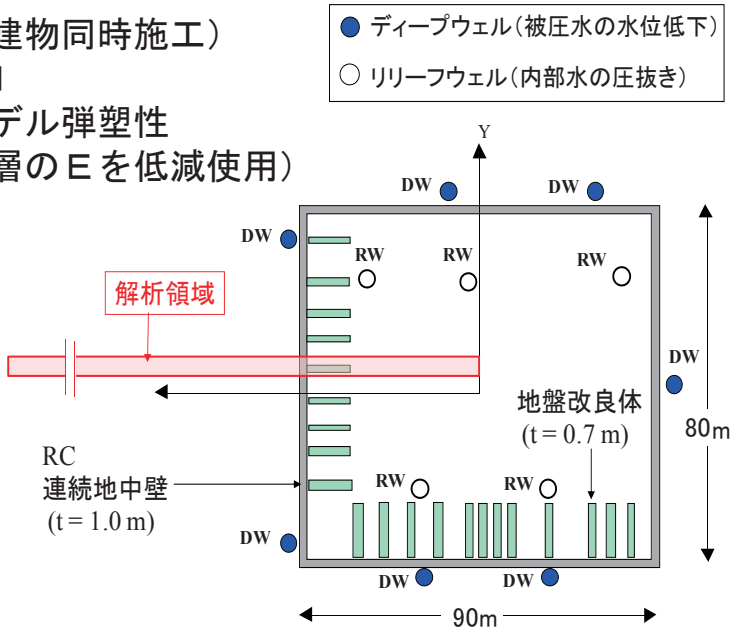
↑ 同時施工の地上階構築部の自重支持

34/42

盤ぶくれの検討解析

ここでの解析も先述の３次元解析（4分の1モデル）と同様の方法で実施

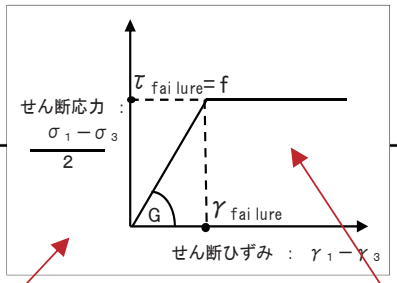
・施工過程追跡（逆打・建物同時施工）
・３次元土/水連成ＦＥＭ
　粘土：関口・太田モデル弾塑性
　砂・砂礫：（ＰＳ検層のＥを低減使用）



有限要素メッシュの平面図と杭・壁の周面摩擦

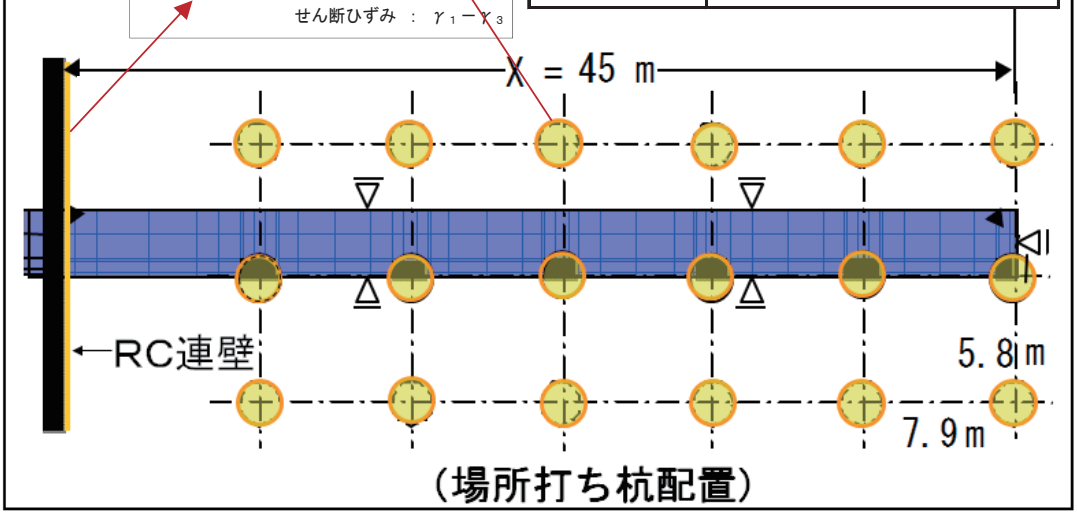
35/42

・ＲＣ場所打ち杭・ＲＣ土留め壁の周面摩擦
　鉄道構造物等設計標準・同解説



極限周面摩擦力： f kN/m²

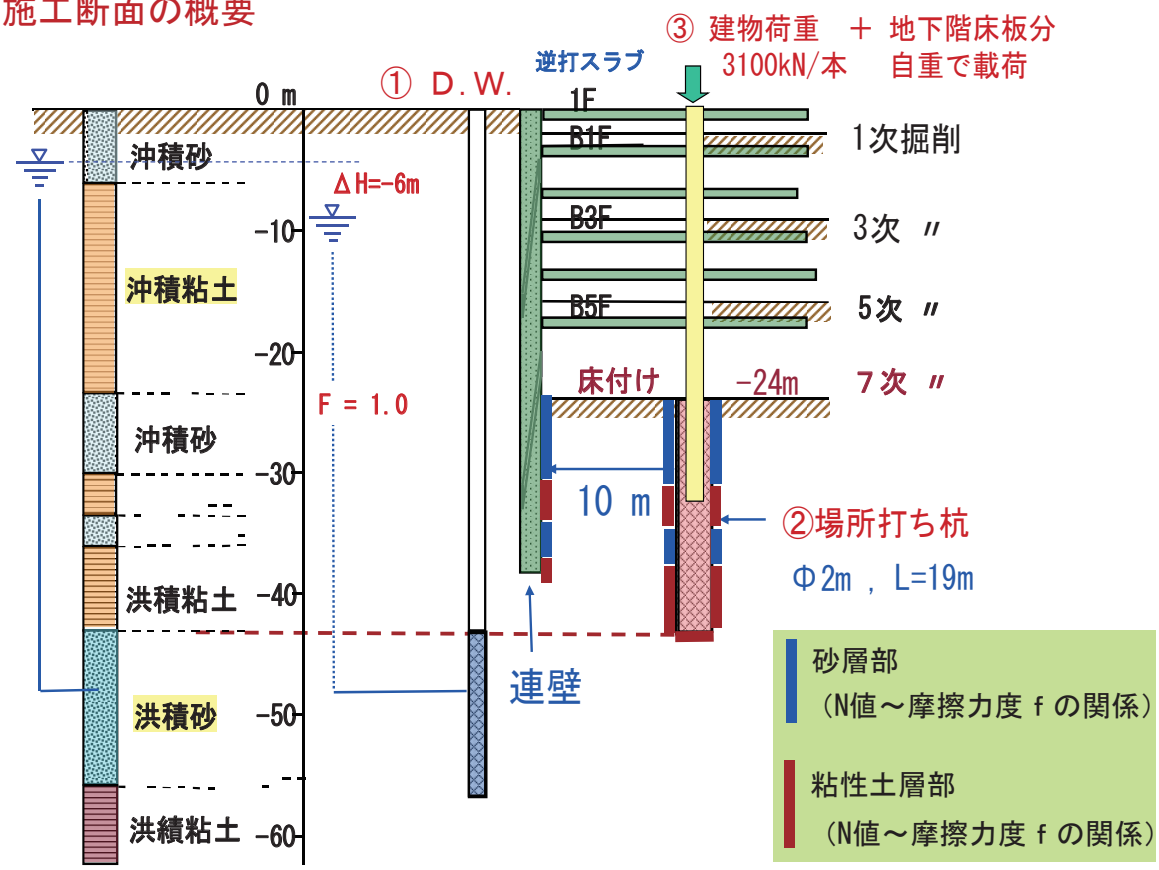
	砂質土	粘性土
RC地下連壁 場所打ち杭	2N≦100	qu/2 または 10N≦80
	但し、2＜N	



（場所打ち杭配置）

36/42

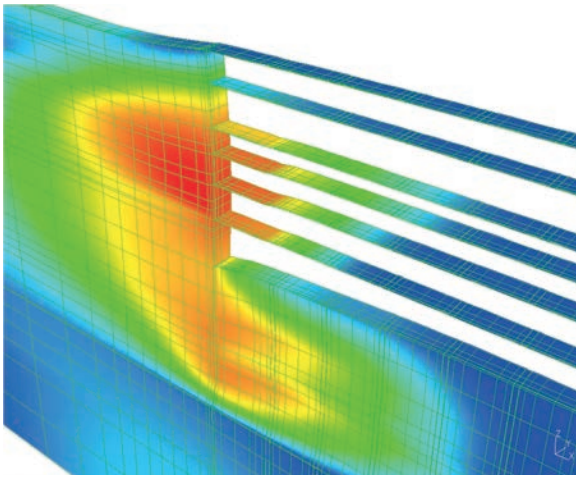
■ 施工断面の概要



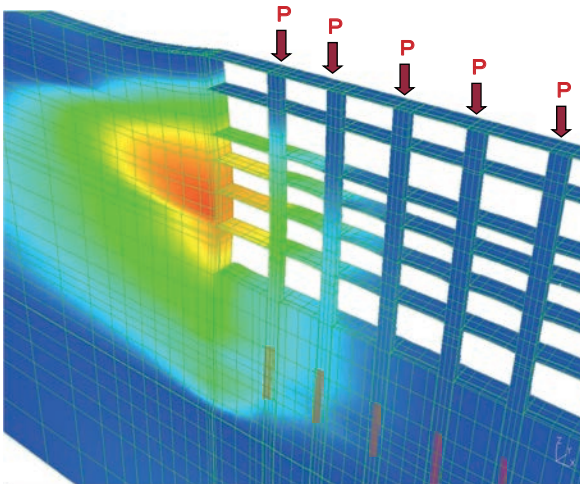
37/42

土留めと地盤の水平変位コンター

杭を未考慮



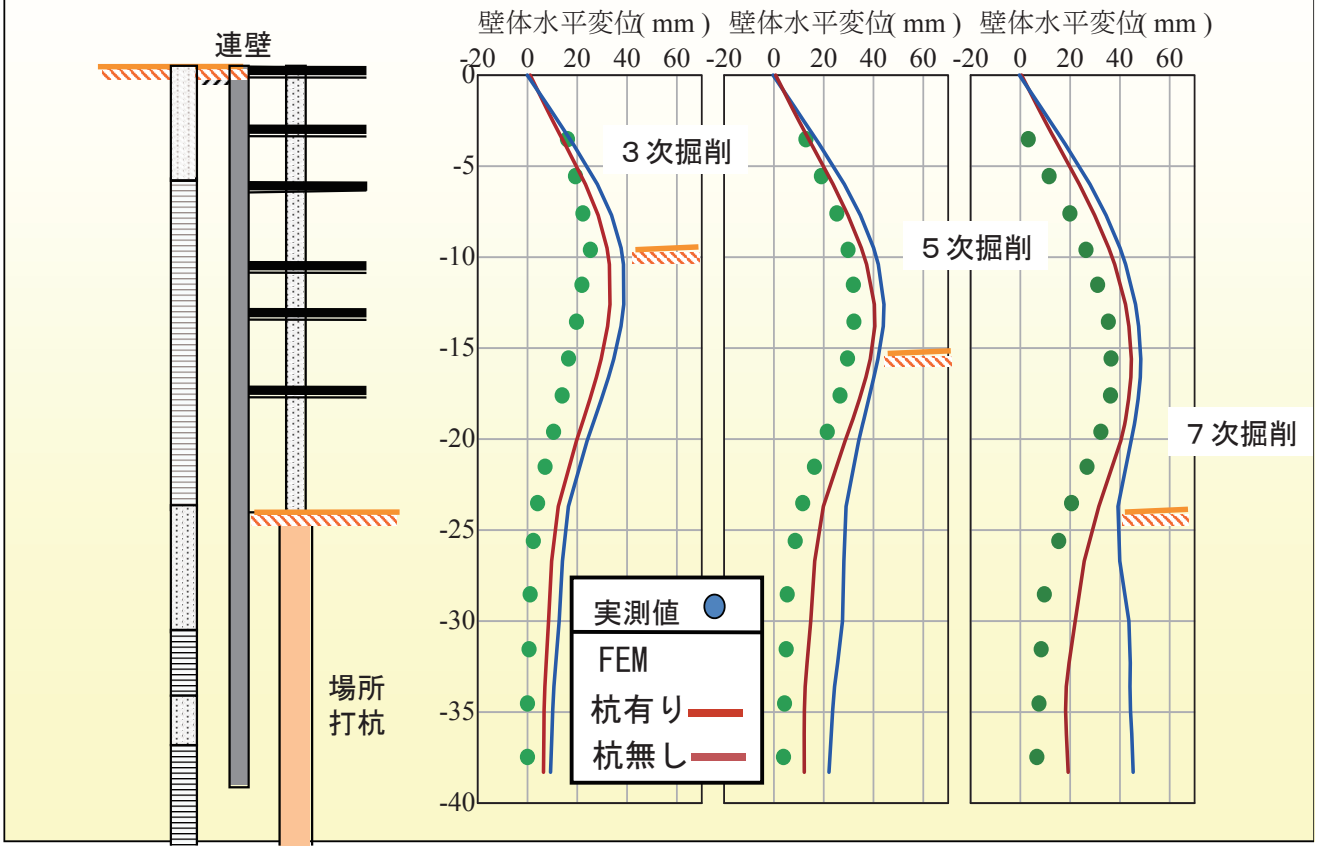
逆打鋼真柱と根入れの
場所打ち杭（φ200cm）考慮



杭により掘削底部の地盤が拘束されている。これにより土留めと
周辺地盤の変位が抑制されている。　（明るい色ほど変位大）

38/42

土留壁の変位　地盤まわりの条件を全部入れ込む

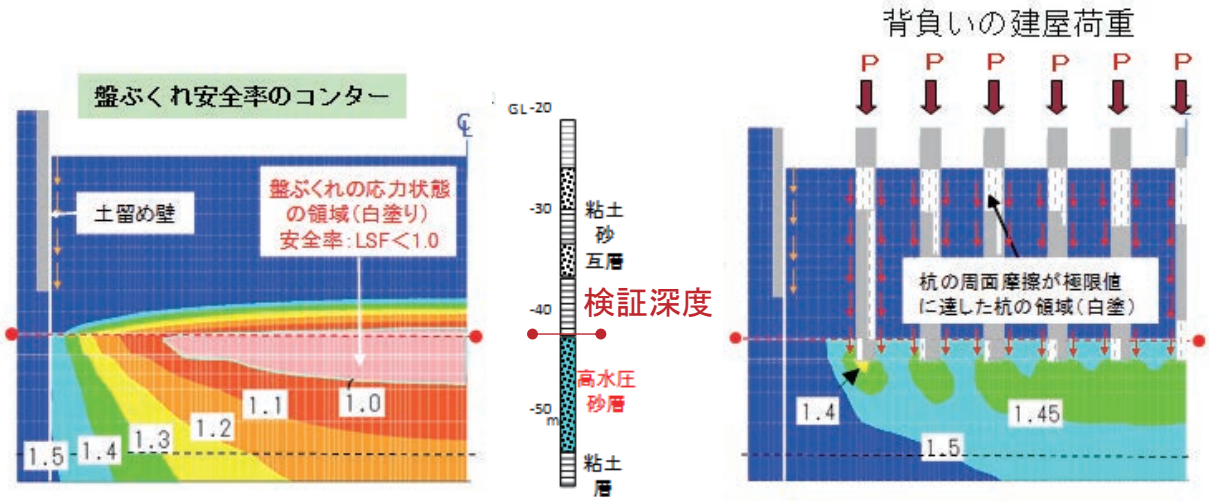


39/42

土/水連成ＦＥＭ解析

掘削底部地盤の盤ぶくれの安全率コンター（ＦＬ）

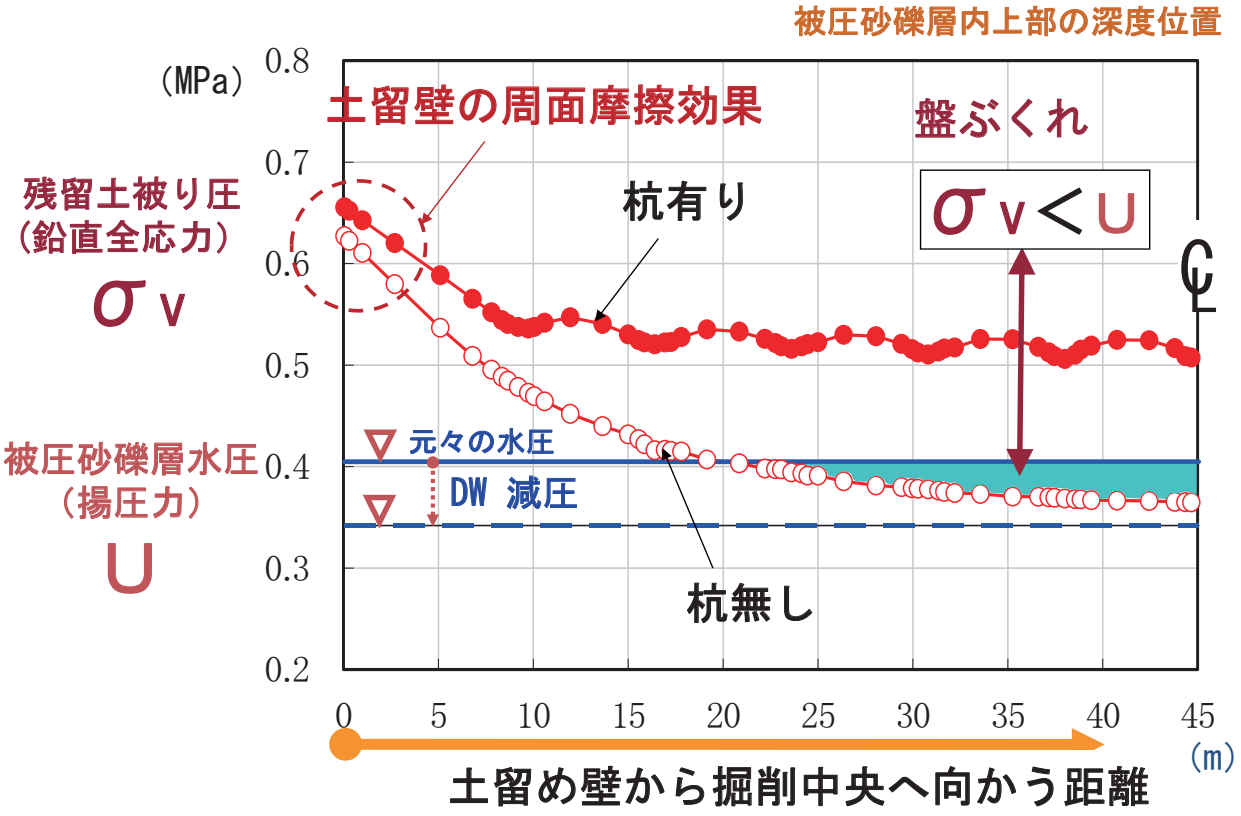
地下水低下対策が無しで杭の効果を比較



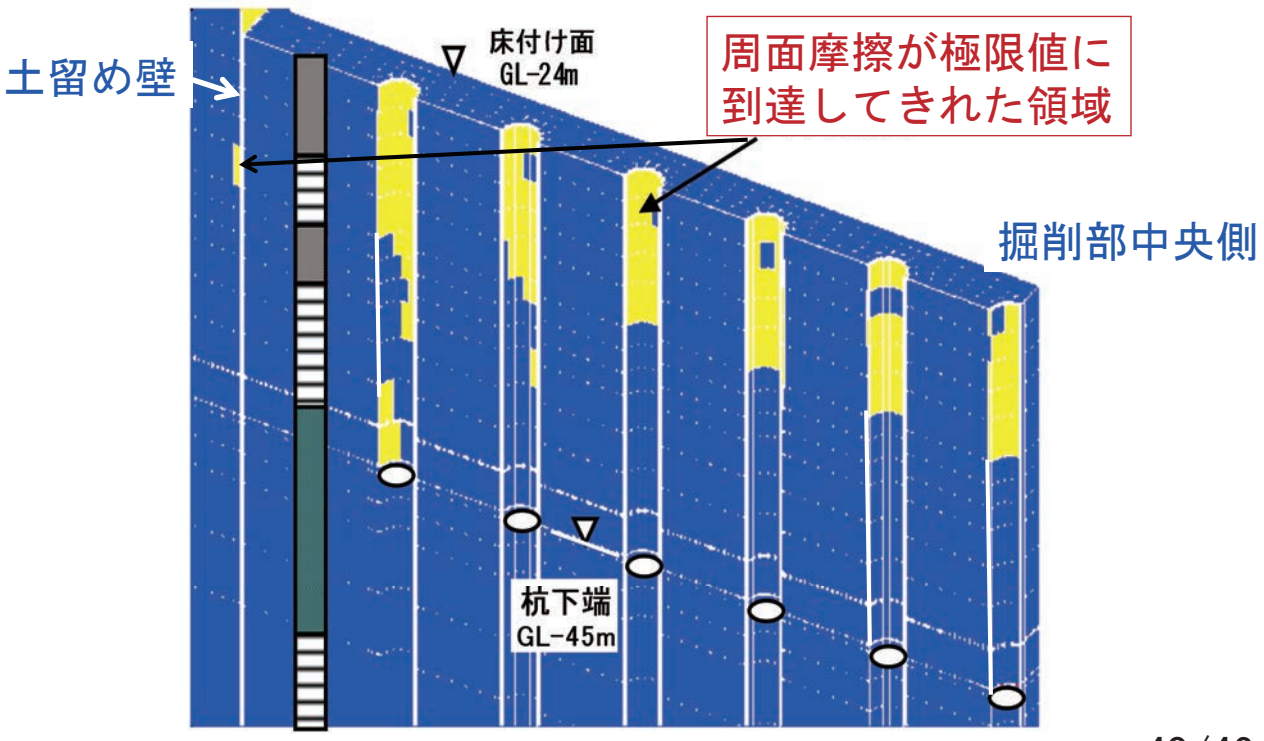
杭を未考慮

杭を考慮
（建物荷重・杭周りの周面摩擦）

残留土被り圧と被圧水圧の大小関係



杭根入れ部の場所打ち杭と土留め壁の周面摩擦



40/42

盤ぶくれ対策の揚水井戸の配置のあり方

41/42

従　来

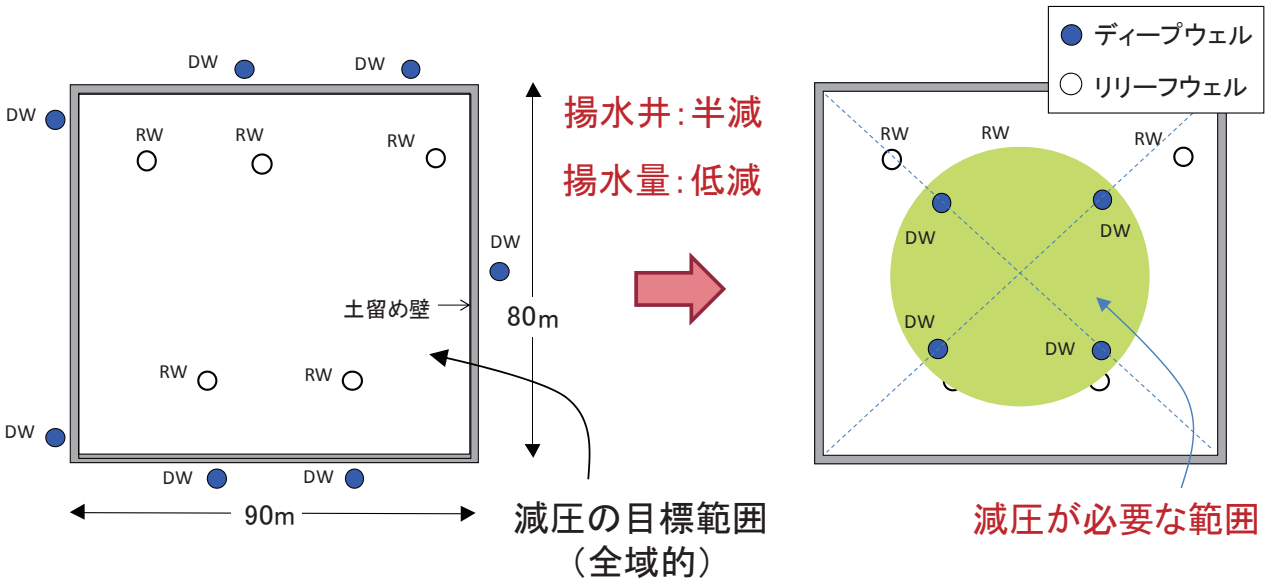
慣用の検討式（どこもかしこも減圧）

安全性を開削域全体で単一評価

今　後

FEM（危ないところだけ減圧）

安全性を場所ごとに評価



42/42

開削工事の盤ぶくれ評価へのFEM解析の応用性

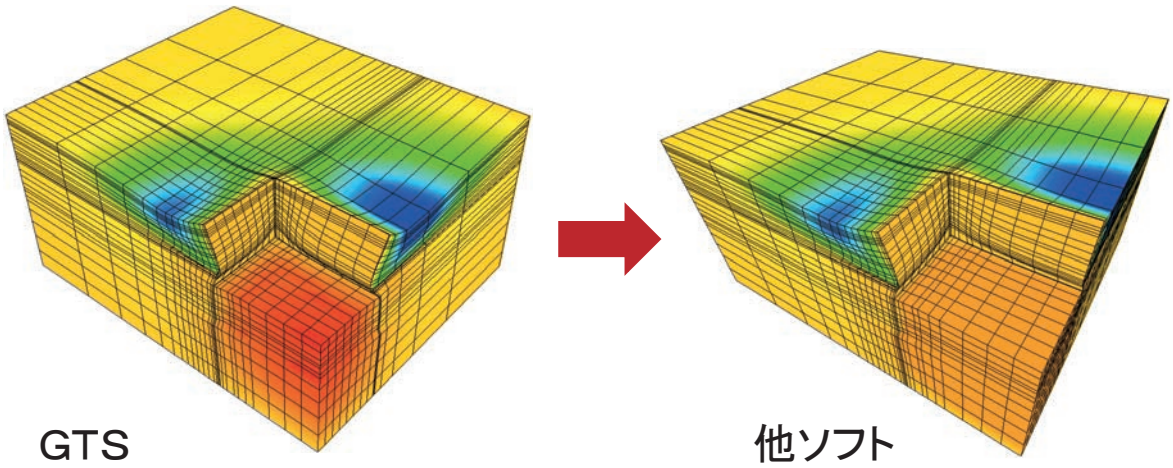
期待・効果

- □ 確度の高い評価　（揚水井の本数・排水コストの低減）
- □ 環境影響を軽減　（圧密沈下　・　地下水環境）

適用条件

- □杭の効果期待は逆打ち施工の建屋同時施工の場合に限定
  （建物荷重による抑えがある場合のみ）
- □掘削地盤の計測・安定管理（浮き上がりの収束性の確認
  ＊層別沈下計の不動点（アンカー）を確実にとる
- □被圧砂礫層の在り方、介在状況が明快な場合であること

要望
パースを与えて描画する場合のパースの度合いを高めて描きたい



以上で発表を終わります。
ご静聴、ありがとうございました。

MIDAS CONSTRUCTION TECHNICAL DOCUMENT COLLECTION

GTS NX 実務適用事例集

2. 地盤変形・トンネル分野

MIDAS GTS NX 解析事例

杭の先行削孔による
既設シールド管への影響検討

株式会社 フジタ　池内 正明 様

FUJITA
Daiwa House Group

Fujita Corporation

㈱フジタ　建設本部　土木EC設計部

MIDAS GTS NX 解析事例
～杭の先行削孔による
既設シールド管への影響検討～

池内　正明

（ 2015.10.22 ）

■概要

Fujita Corporation

© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 2013

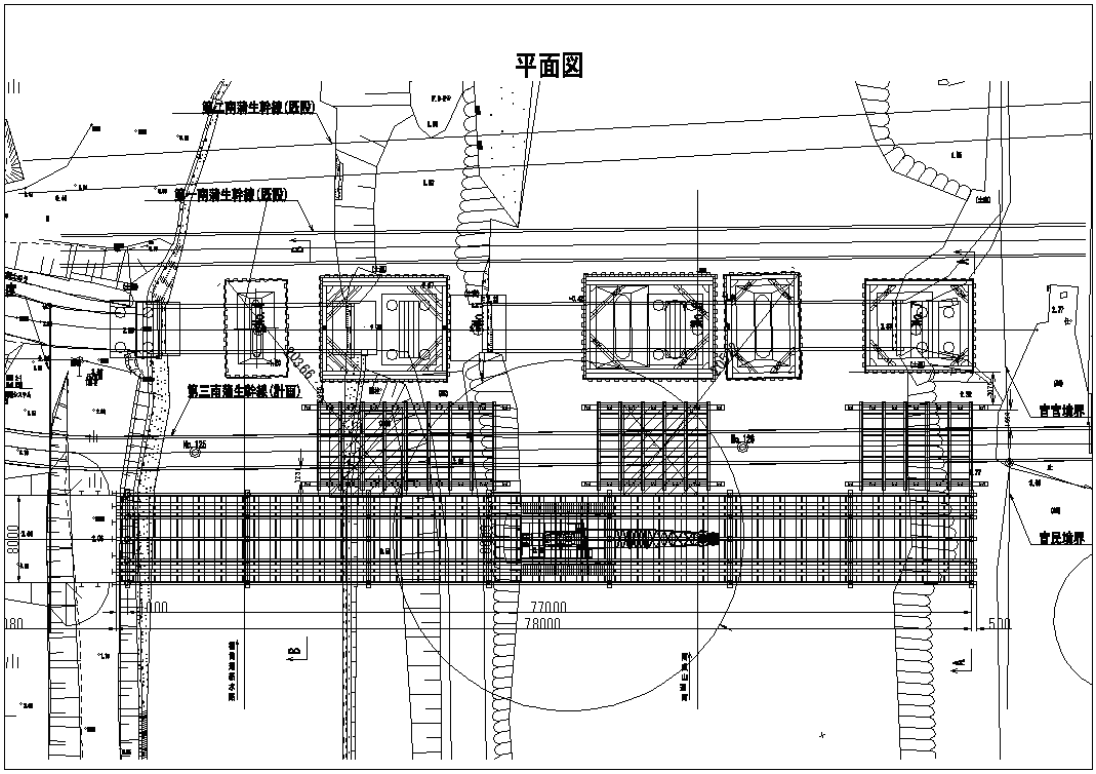
■概要

Fujita Corporation

© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 2013 2

■概要

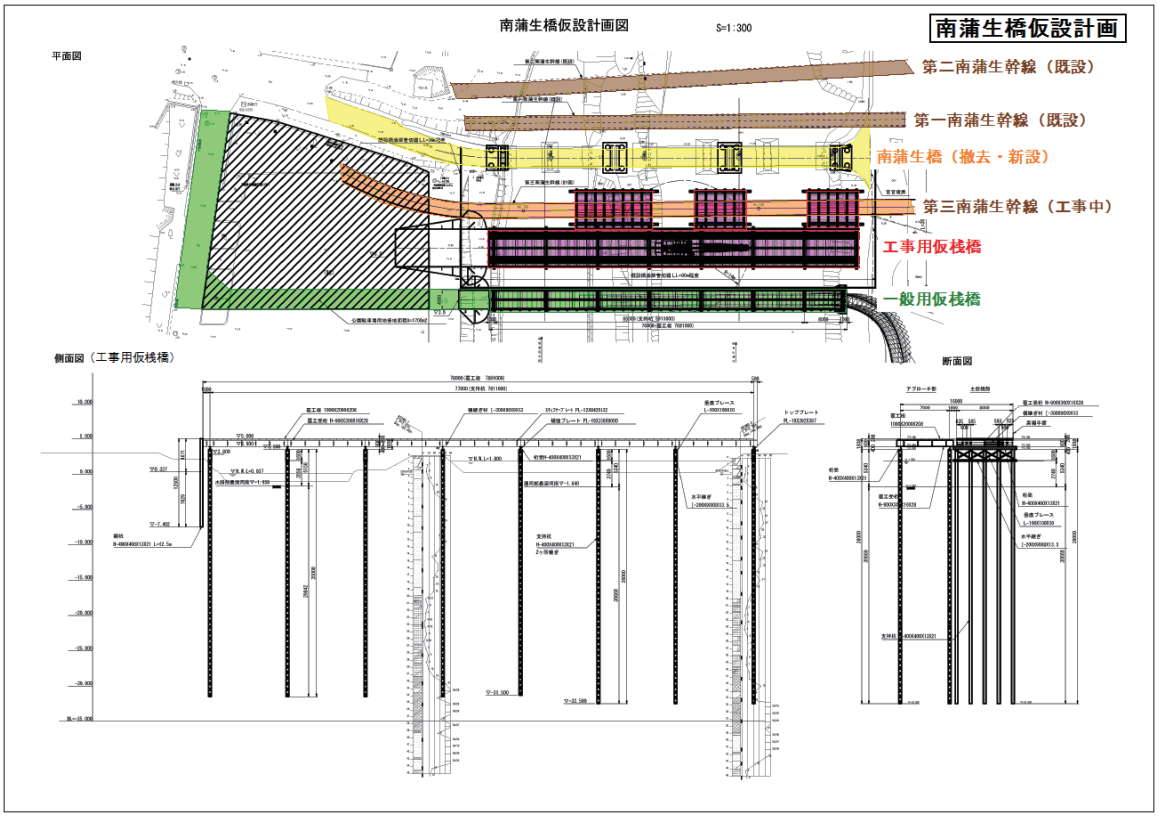
Fujita Corporation



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 2013 3

■概要

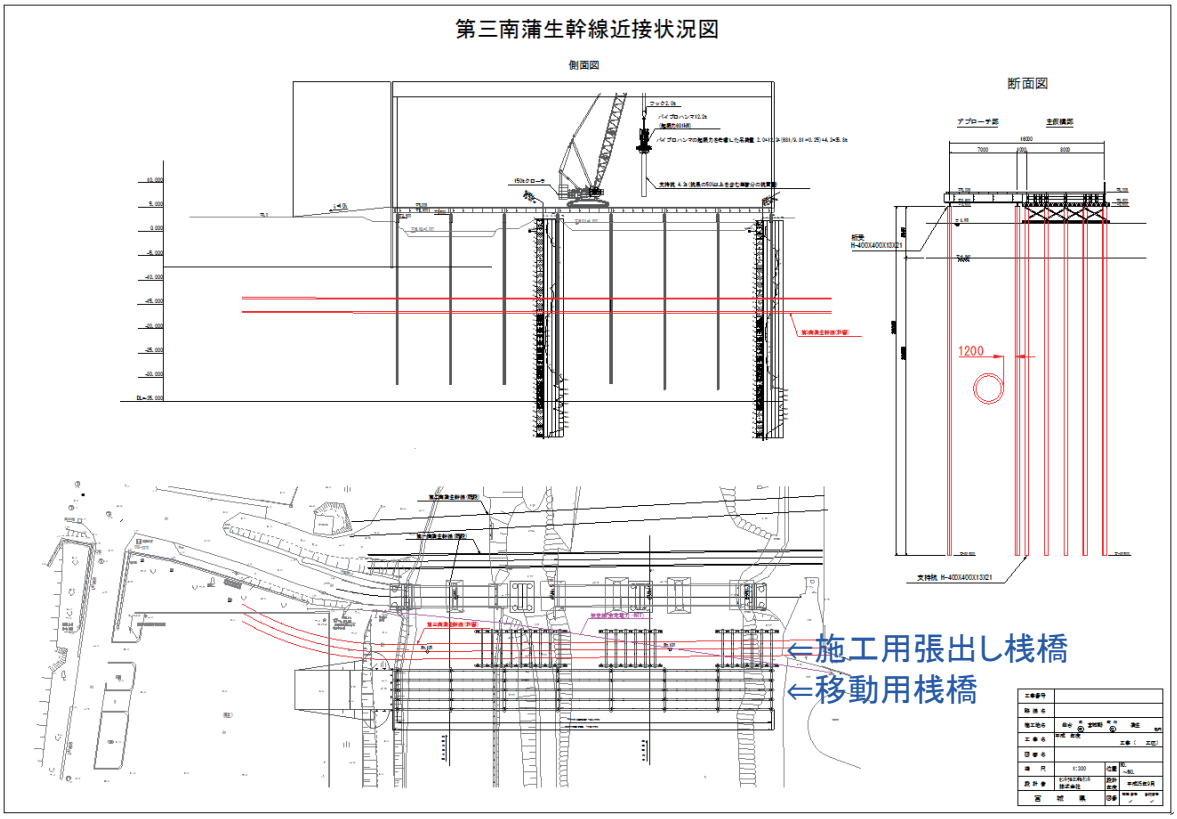
Fujita Corporation



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 2013 4

■概要

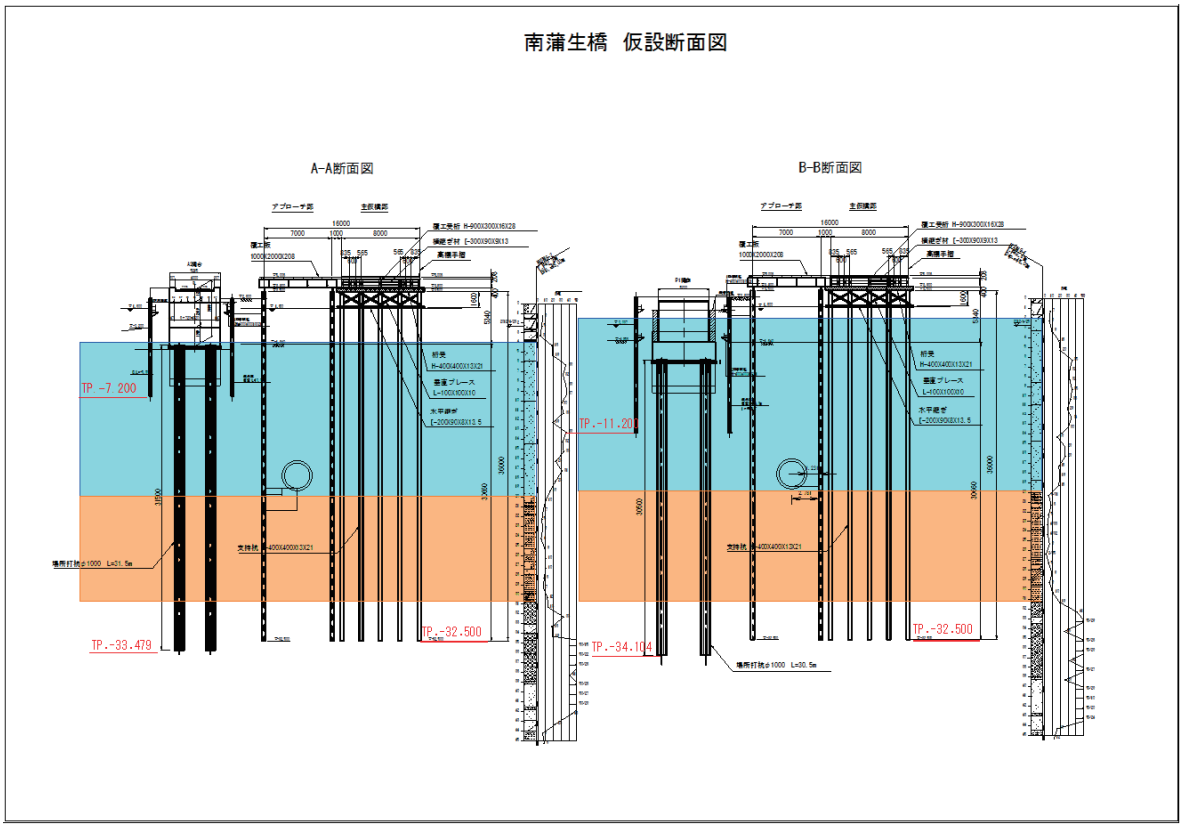
Fujita Corporation



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 2013 5

■概要

Fujita Corporation



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 2013 6

■解析概要

Fujita Corporation

【解析目的】

桟橋支持杭を先行削孔により打設するが、既に施工済みのシールド管（RCセグメント、φ3100mm）に対する影響について、数値解析により定量的に評価し、問題のないことを確認する。

【解析種別】

３次元FEM弾性解析（施工段階解析）

【使用ソフト】

MIDAS GTS NX

© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 2013 7

■解析概要

Fujita Corporation

【地層･地質条件】

設計断面図・ボーリング柱状図を参考にし、砂質土層・粘性土層・砂礫層の３層から成る水平成層地盤とした。

【解析CASE】

応力解放および荷重状態について３ケース

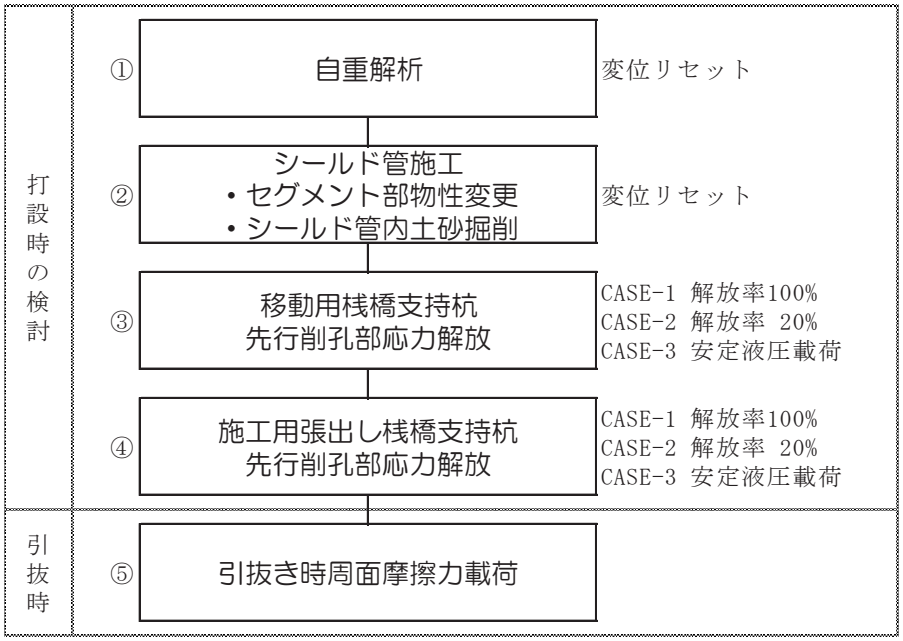
- CASE-1 ：先行削孔部100%応力解放
- CASE-2 ：先行削孔部 20%応力解放
- CASE-3 ：先行削孔部に安定液圧を載荷

© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 2013 8

■解析概要

Fujita Corporation

【解析Step】



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 2013 9

■解析モデル概要

Fujita Corporation

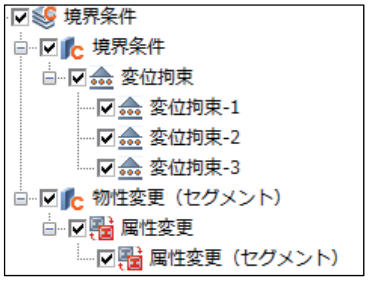
・節点数　　：383,142
・要素数　　：382,258
・要素グループ数　：26

© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 2013 10

■解析モデル概要

Fujita Corporation

・境界条件グループ数：4
　・変位拘束（グループ数：3）
　　X方向側面 ⇒ X固定，Y・Zローラー（9,508節点）
　　Y方向側面 ⇒ Y固定，X・Zローラー（7,200節点）
　　モデル底面 ⇒ X・Y・Z固定（7,904節点）
　・属性変更（グループ数：1）
　　属性変更⇒セグメント（3,552要素）



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 2013 11

■解析モデル概要

Fujita Corporation

・荷重グループ数：3

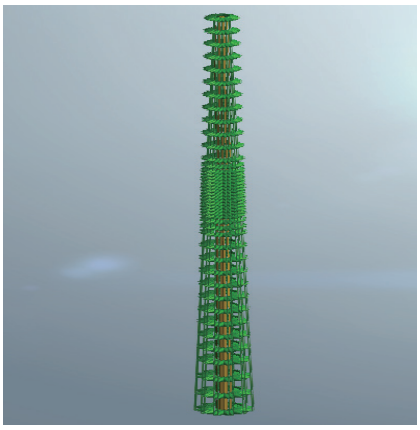
・自重解析 ⇒ 重力加速度（g＝9.80665 m/sec^2）

・安定液圧 ⇒ 圧力荷重

（削孔部孔壁面に該当する要素フェイスに液圧を載荷）

安定液圧-1：移動用桟橋支持杭削孔部（ 5,160要素）

安定液圧-2：施工用桟橋支持杭削孔部（10,320要素）

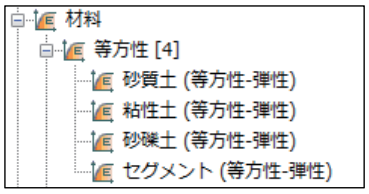


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201312

■解析モデル概要

Fujita Corporation

・材料データ数：4（等方性材料）



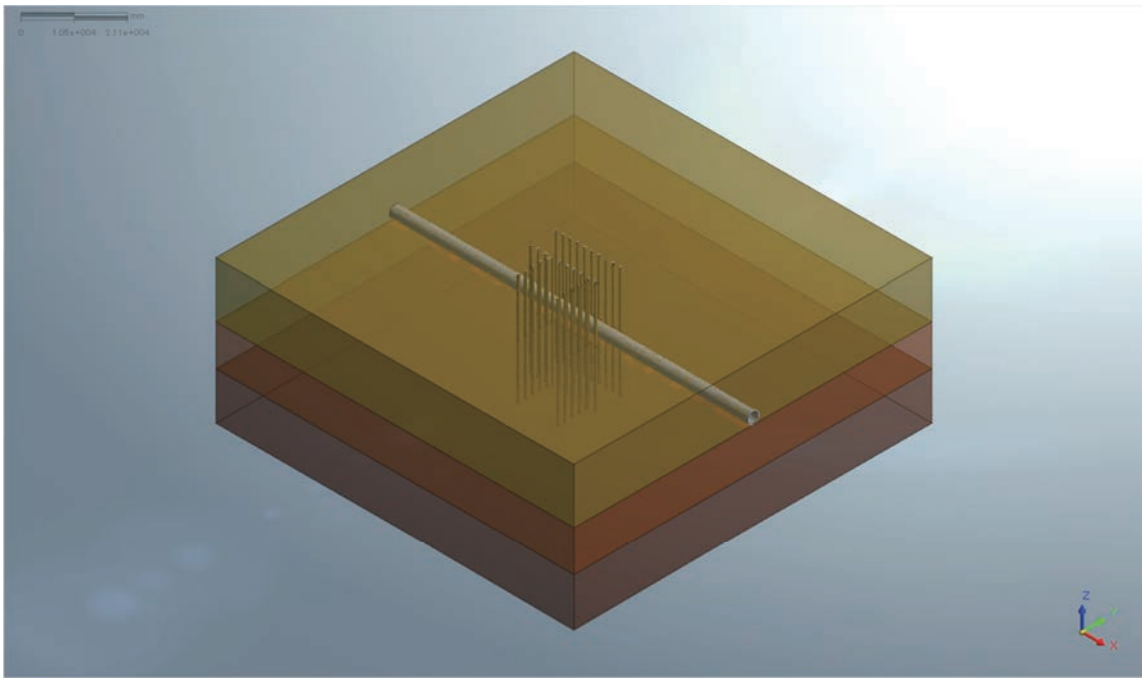
材料データ入力値一覧表

区　　分	単位体積重量 γ (kN/m^3)	変形係数 E (kN/m^2)	ポアソン比 ν
砂質土	18.0	18,900	0.350
粘性土	17.0	4,200	0.400
砂礫	20.0	35,000	0.300
セグメント	24.5	31,000,000	0.167

© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201313

■解析モデル図

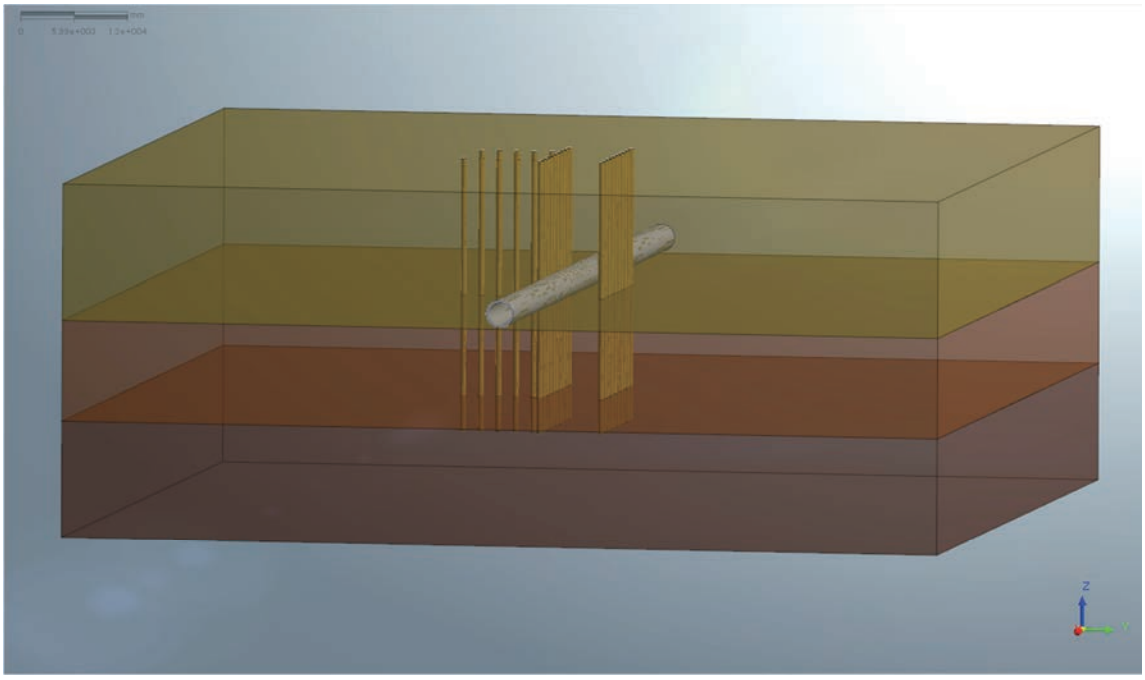
Fujita Corporation



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201314

■解析モデル図

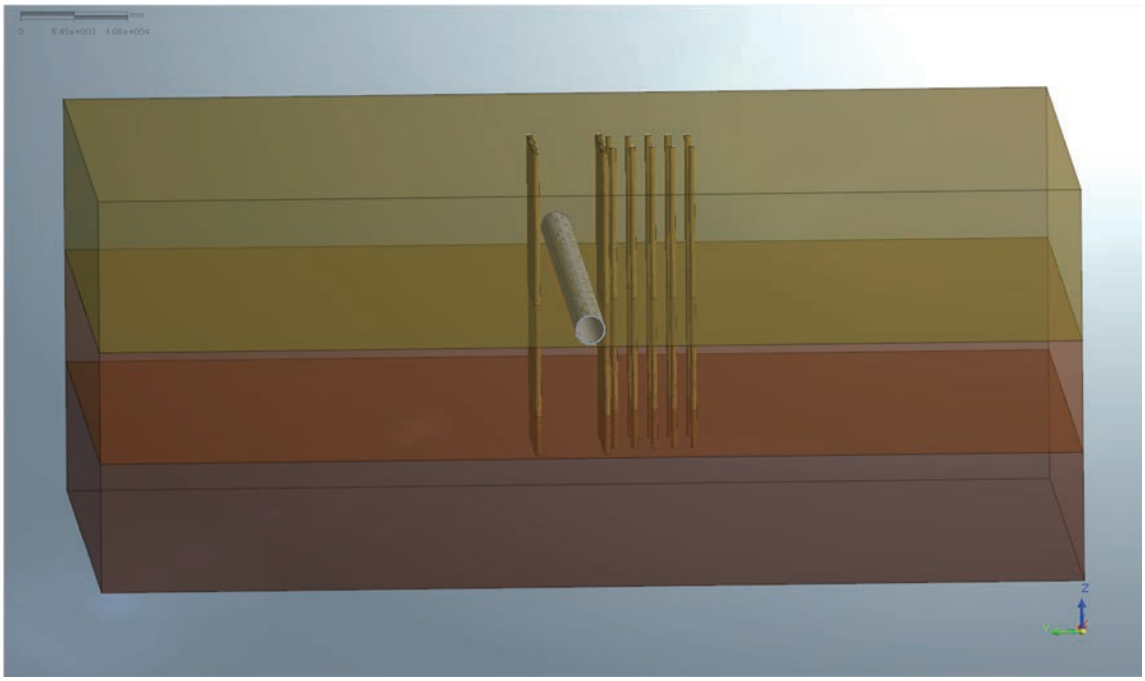
Fujita Corporation



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201315

■解析モデル図

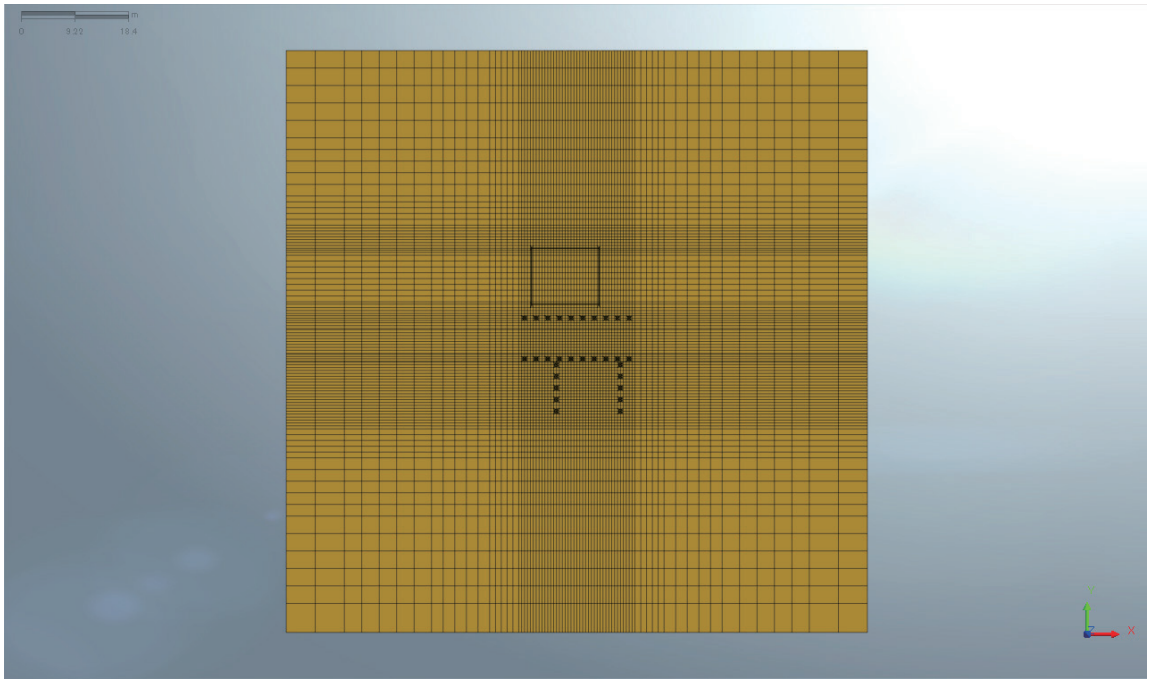
Fujita Corporation



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201316

■解析モデル図

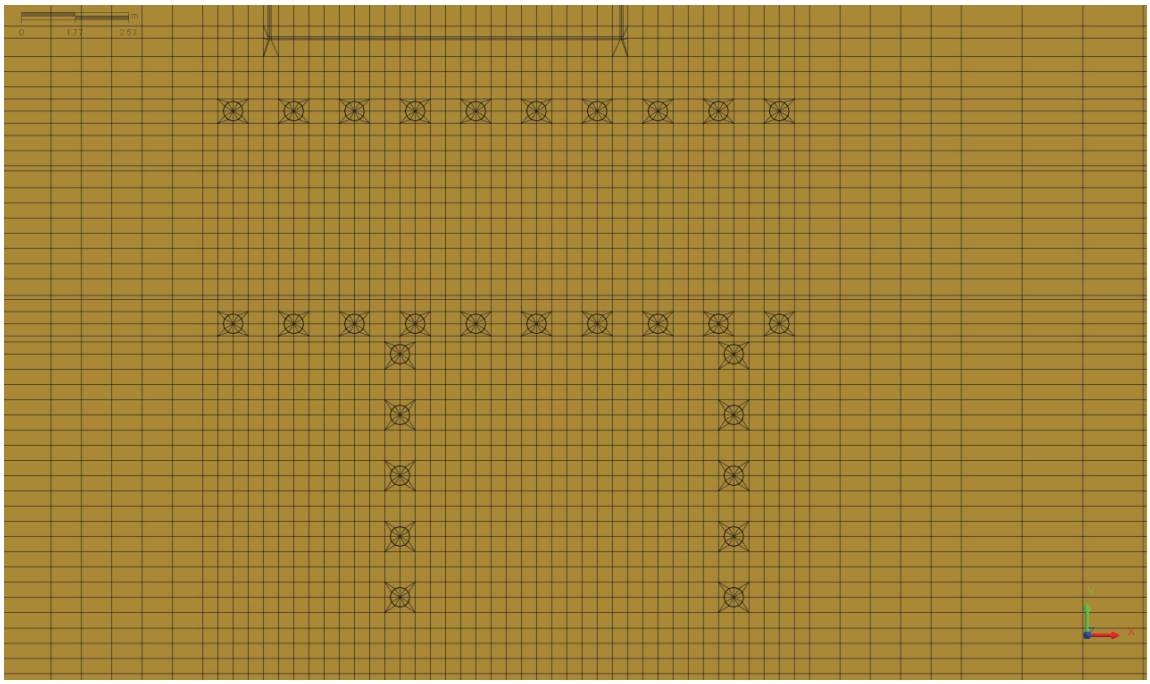
Fujita Corporation



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201317

■解析モデル図

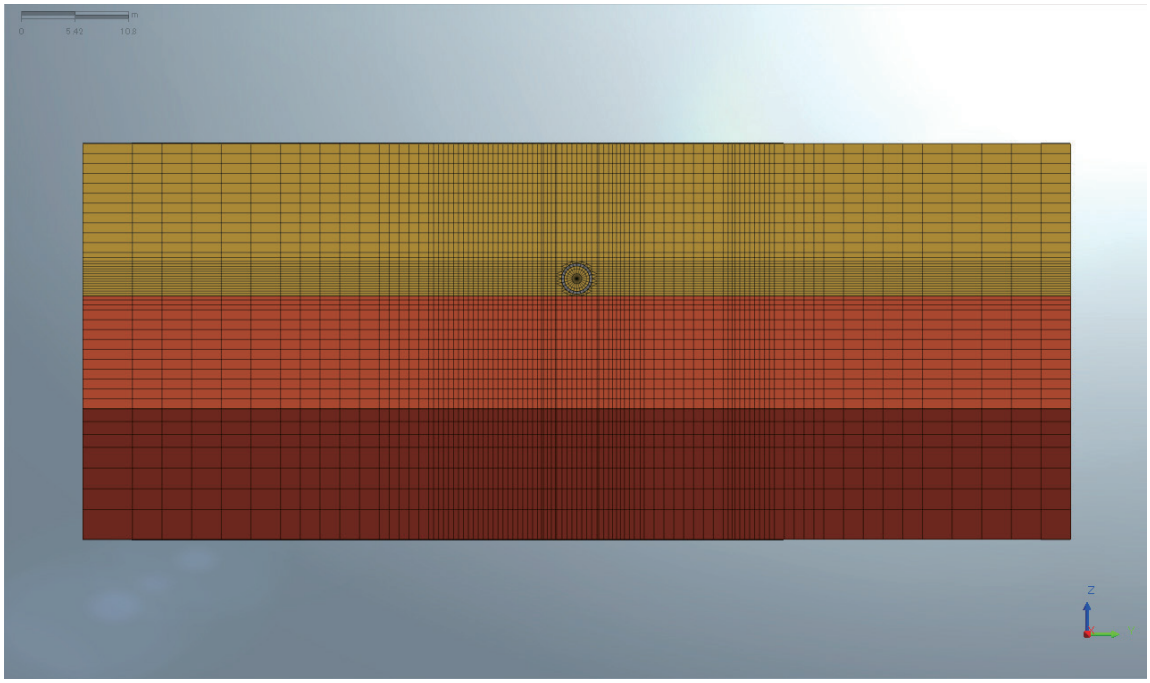
Fujita Corporation



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201318

■解析モデル図

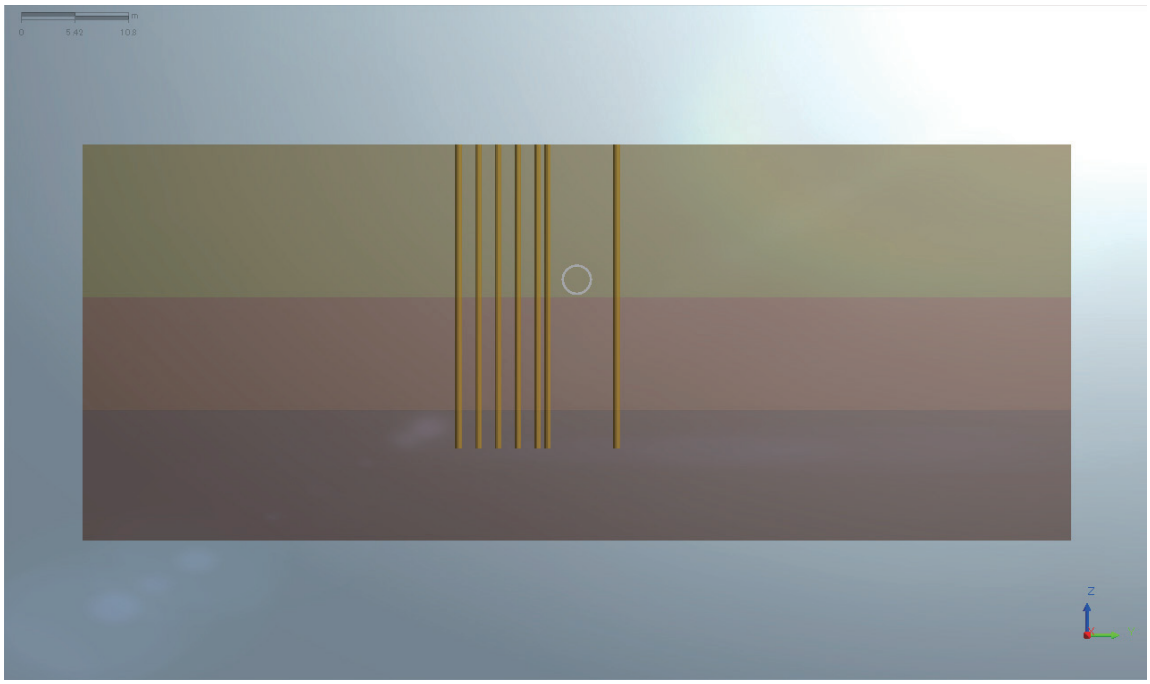
Fujita Corporation



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201319

■解析モデル図

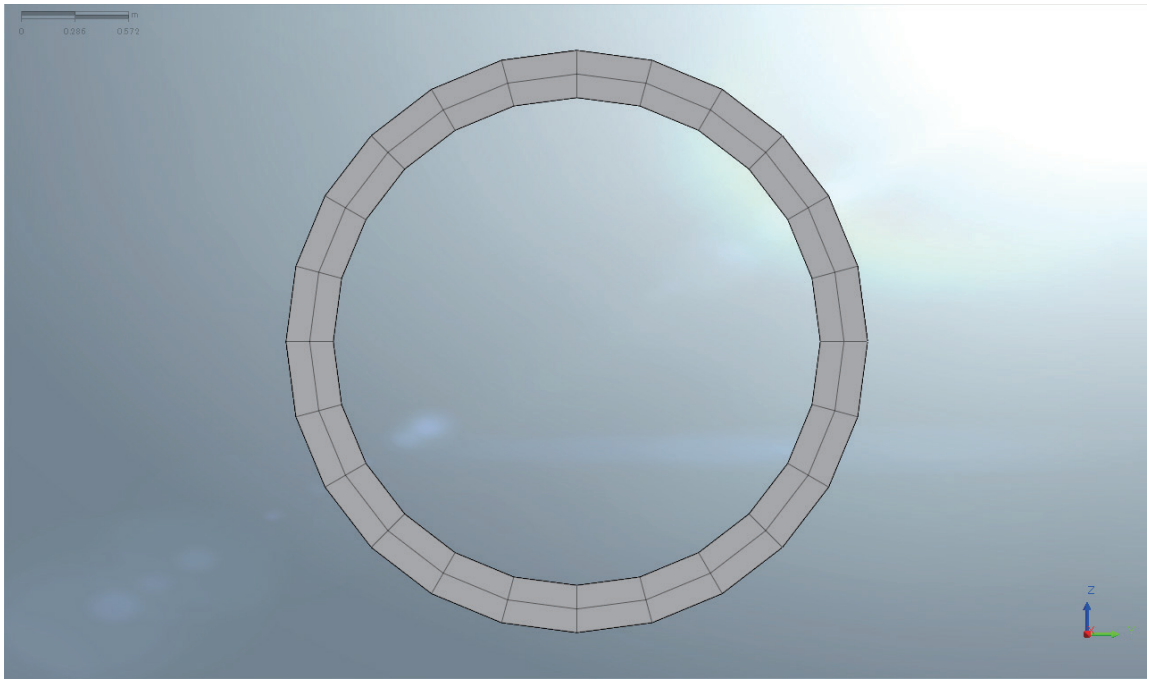
Fujita Corporation



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201320

■解析モデル図

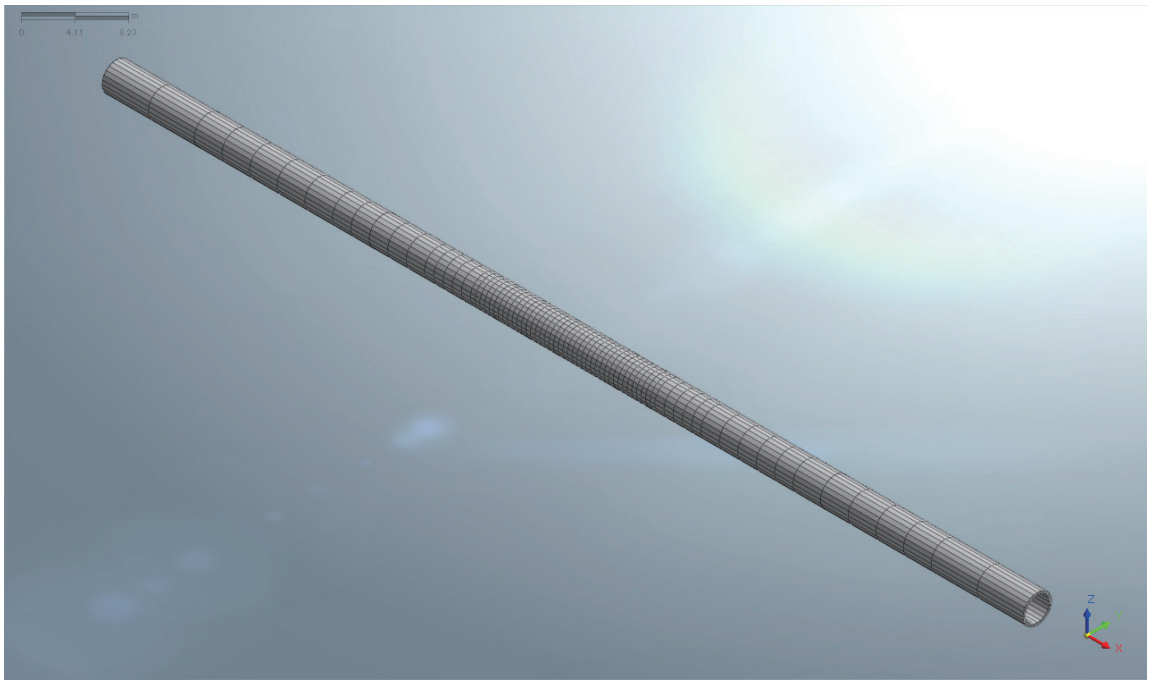
Fujita Corporation



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201321

■解析モデル図

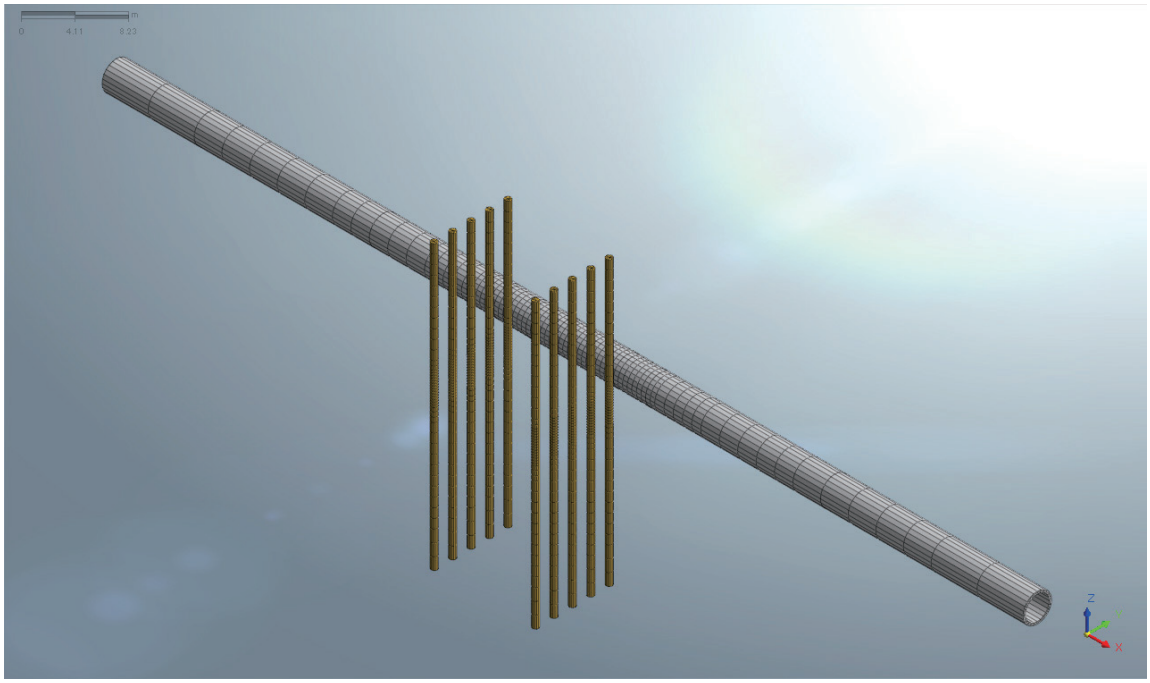
Fujita Corporation



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201322

■解析モデル図

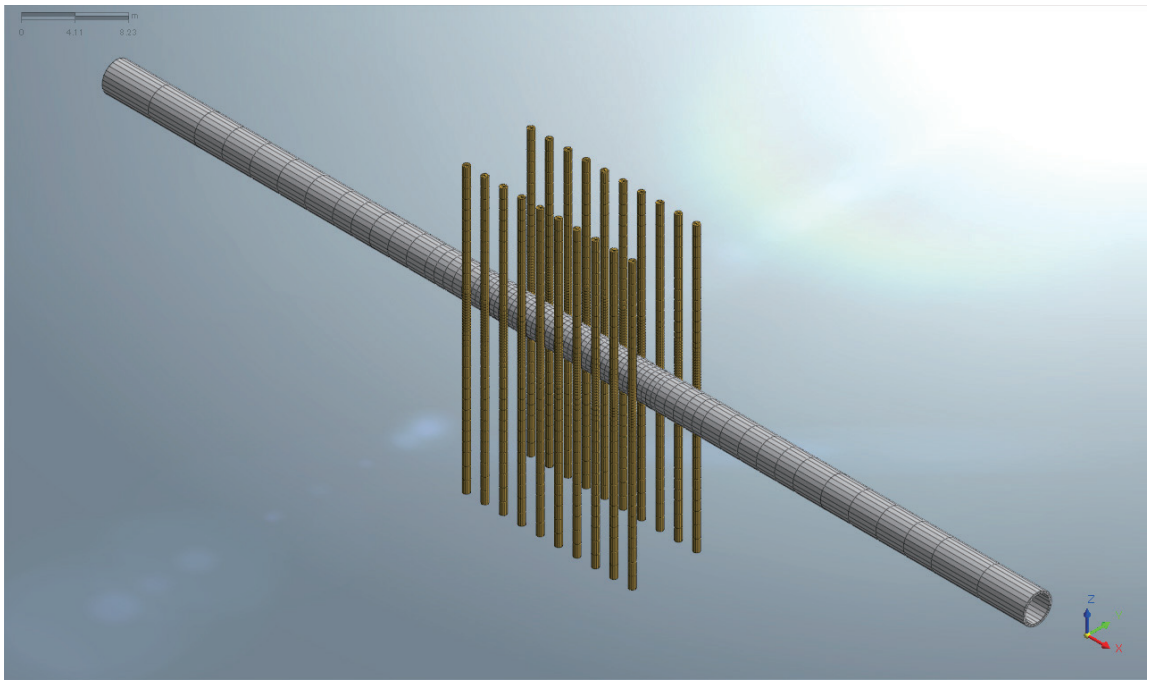
Fujita Corporation



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201323

■解析モデル図

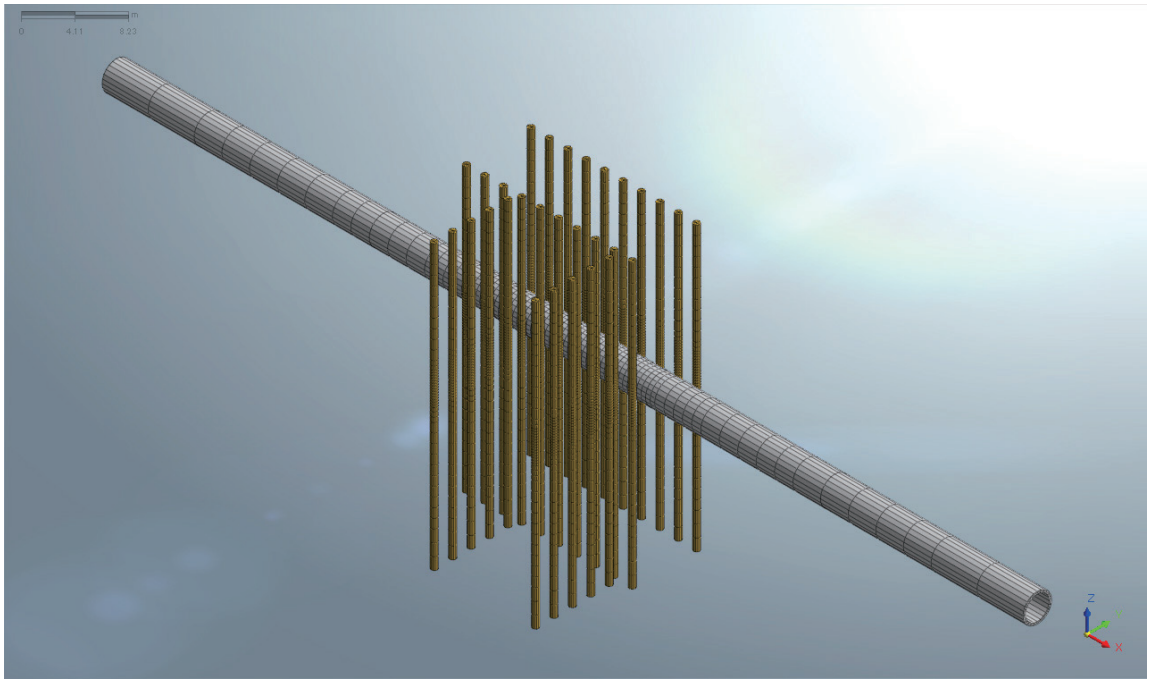
Fujita Corporation



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 2013 24

■解析モデル図

Fujita Corporation



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 2013 25

■モデリング

Fujita Corporation

【モデル作成手順】

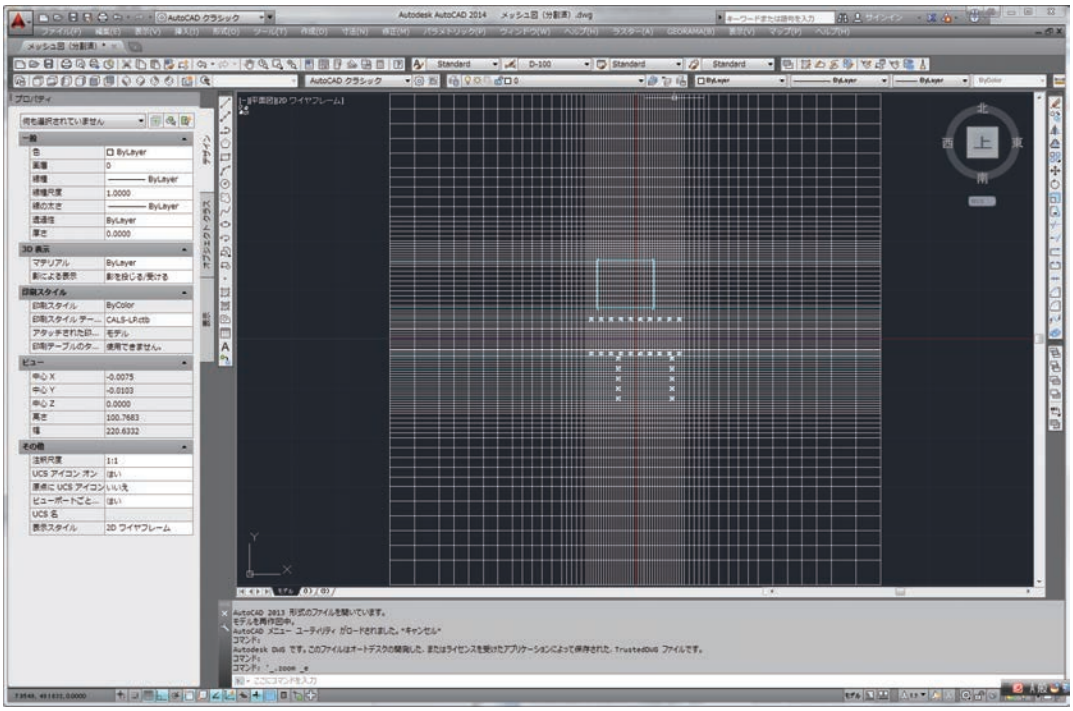
①AutoCADで平面メッシュ作成
②GTS NXでCADファイル読込み
③2D要素作成
④鉛直方向に押出しメッシュ
⑤シールド管周囲要素くりぬき
⑥AutoCADでシールド管周囲のメッシュ作成
⑦GTS NXでCADファイル読込み
⑧シールド管周囲2D要素作成
⑨シールド管周囲水平方向に押出しメッシュ

© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201326

■モデリング

Fujita Corporation

【①AutoCADで平面メッシュ作成】

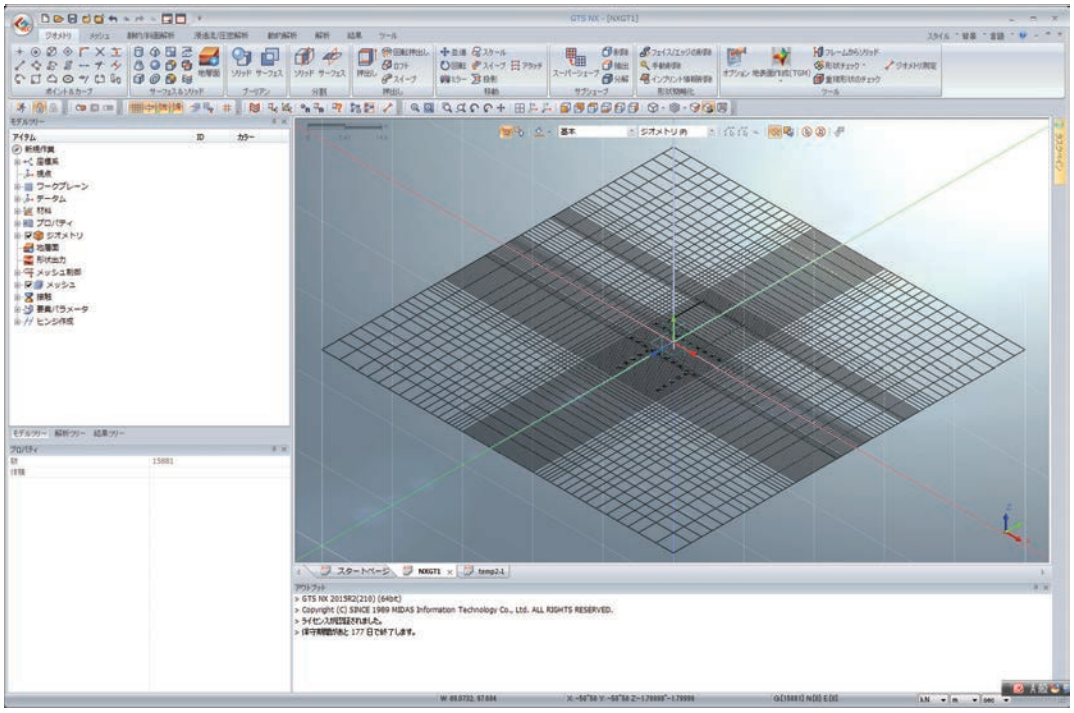


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201327

■モデリング

Fujita Corporation

【②GTS　NXでCADファイル読込み】

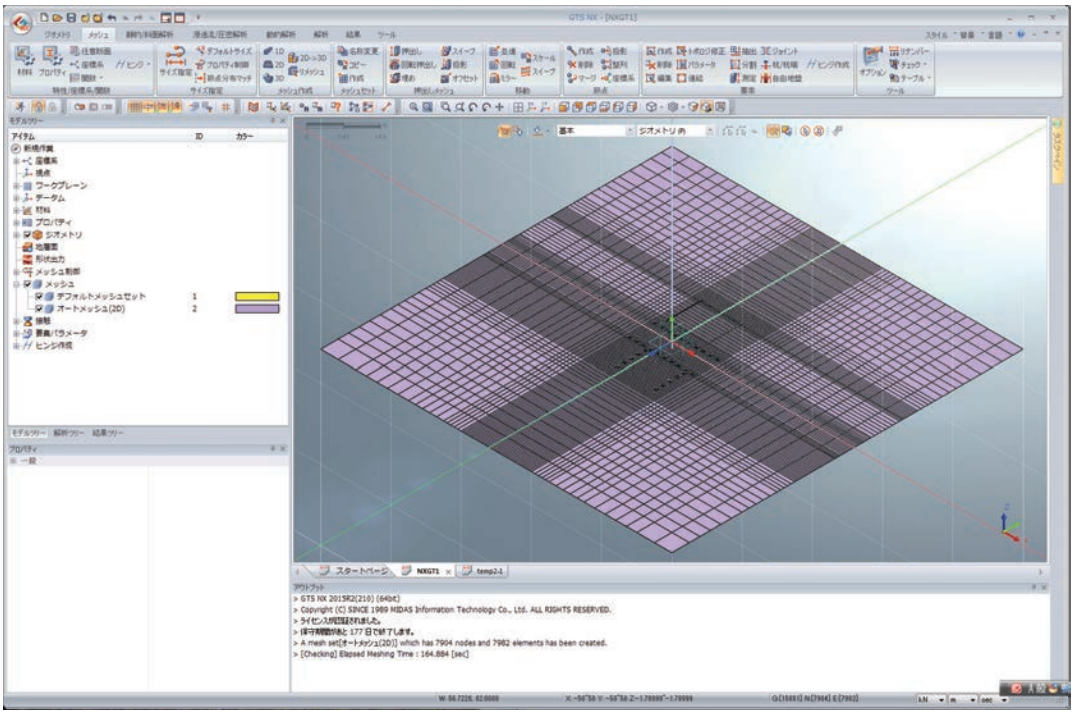


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved.　Jan. 00th, 201328

■モデリング

Fujita Corporation

【③2D要素作成】

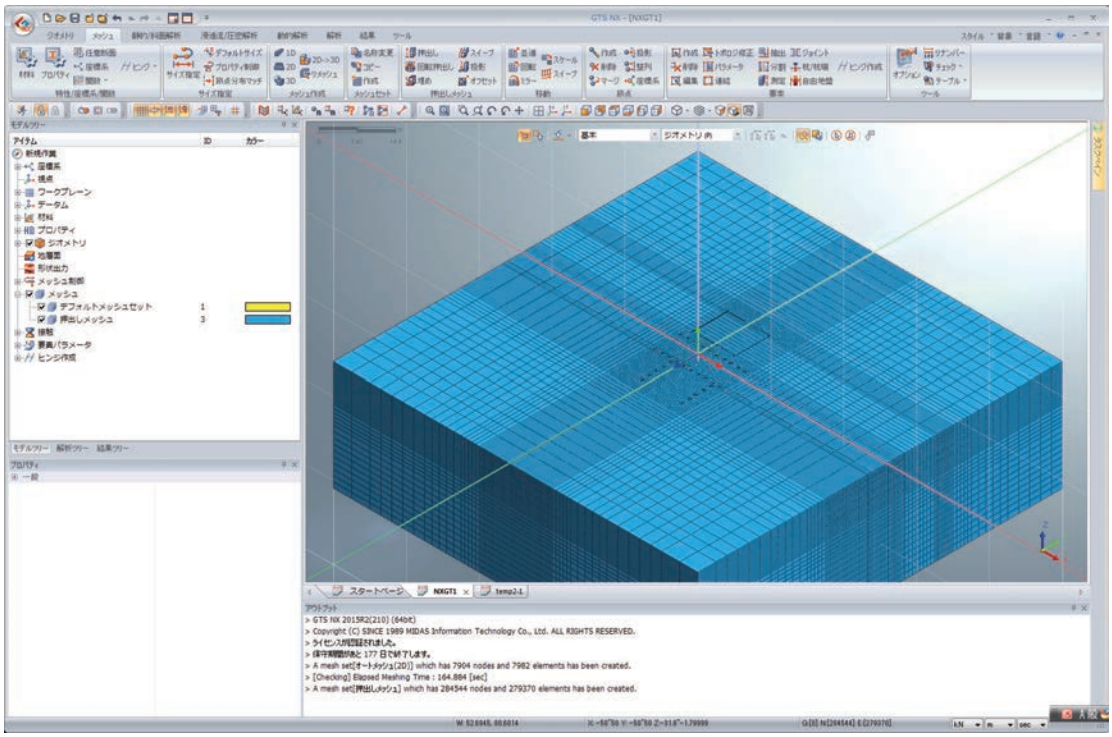


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved.　Jan. 00th, 201329

■モデリング

Fujita Corporation

【④鉛直方向に押出しメッシュ】

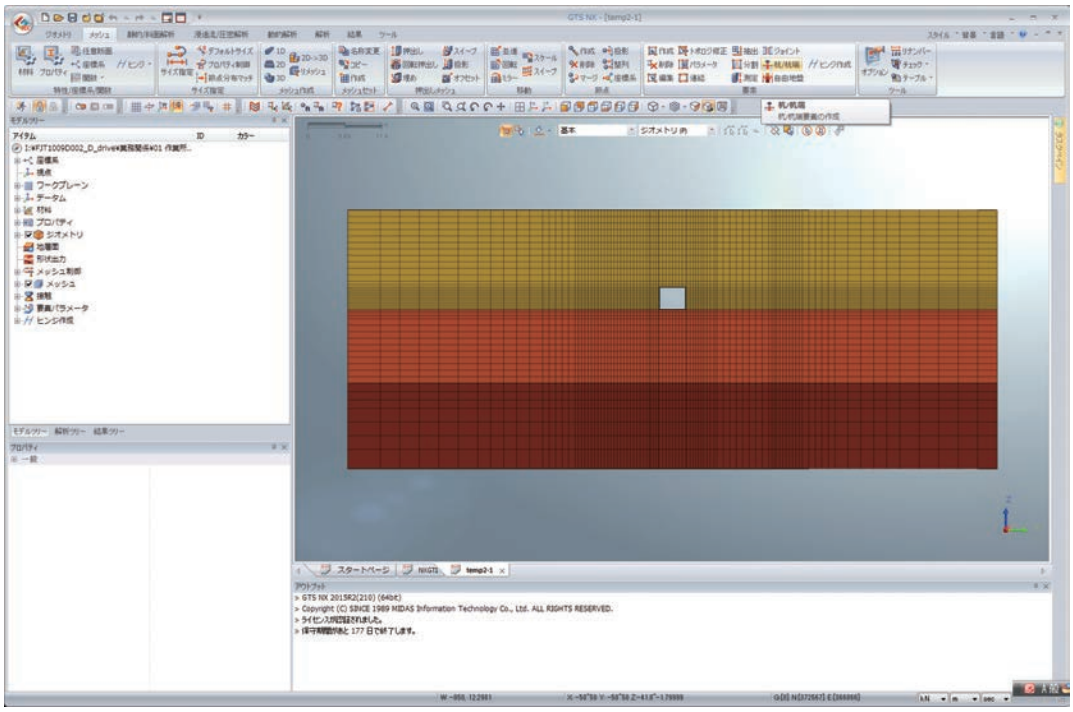


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201330

■モデリング

Fujita Corporation

【⑤シールド管周囲要素くりぬき】

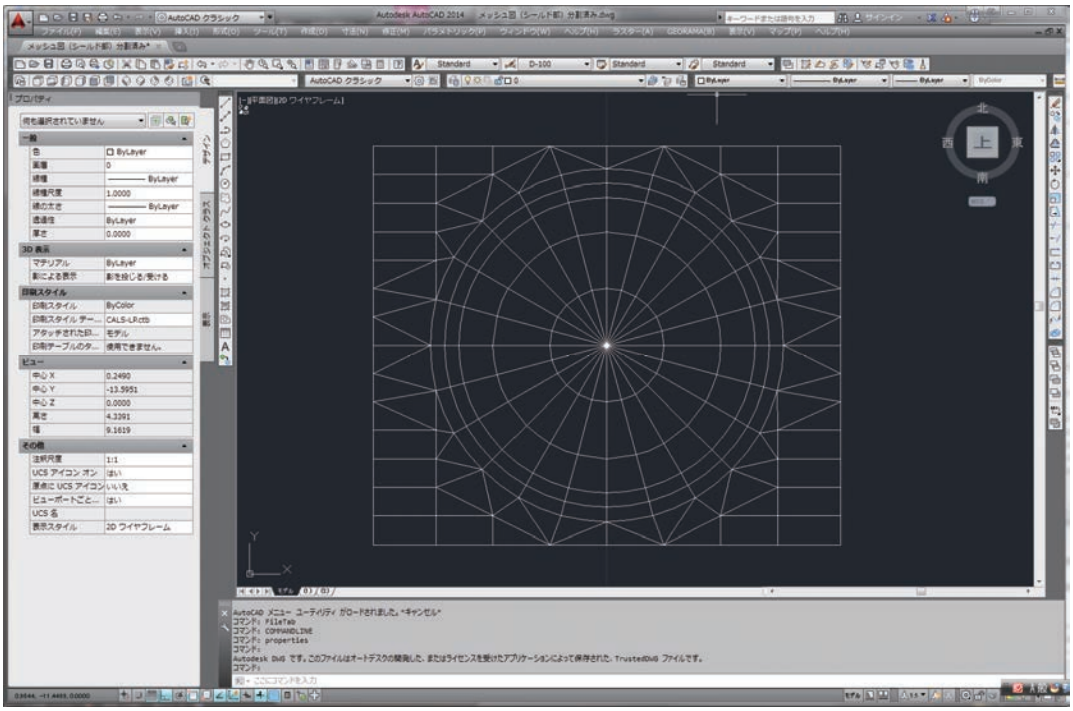


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201331

■モデリング

Fujita Corporation

【⑥AutoCADでシールド管周囲のメッシュ作成】

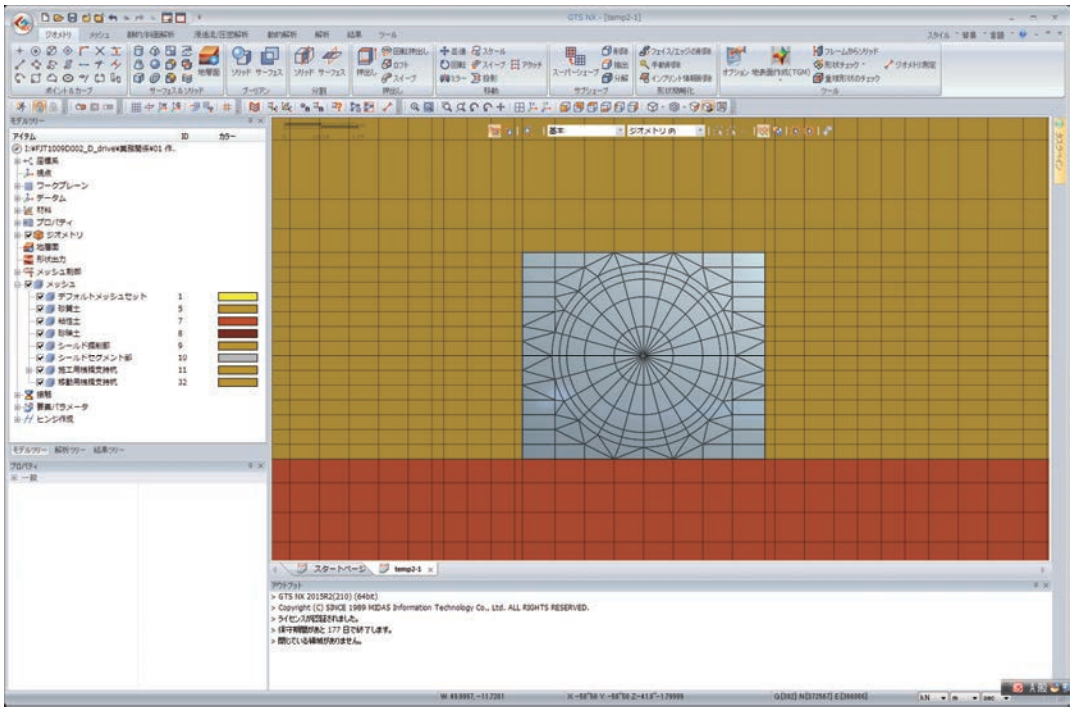


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201332

■モデリング

Fujita Corporation

【⑦GTS　NXでCADファイル読込み】

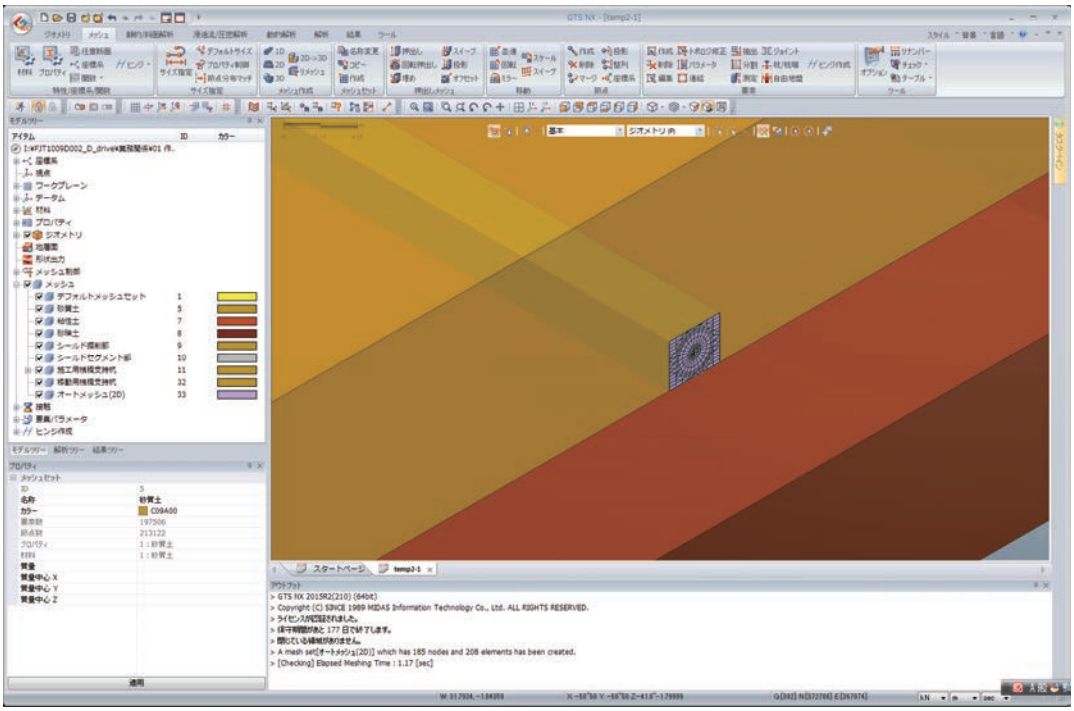


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201333

■モデリング

Fujita Corporation

【⑧シールド管周囲2D要素作成】

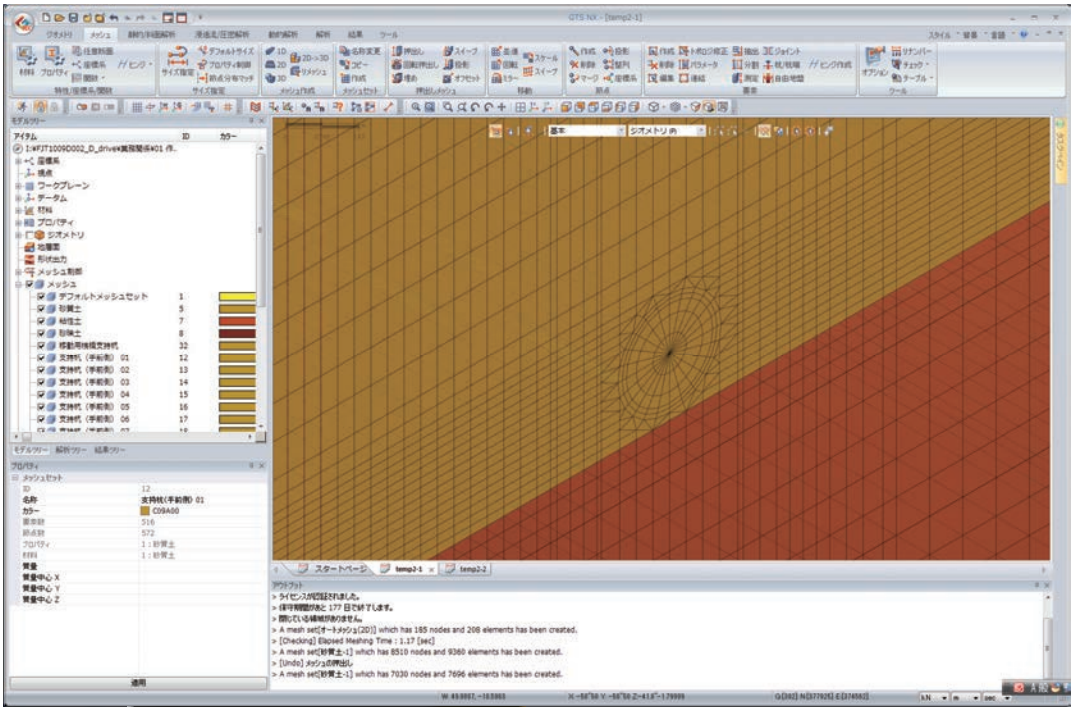


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201334

■モデリング

Fujita Corporation

【⑨シールド管周囲水平方向に押出しメッシュ】

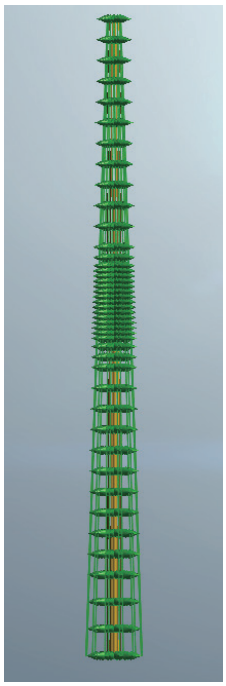


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201335

■モデリング

Fujita Corporation

【圧力荷重の入力】

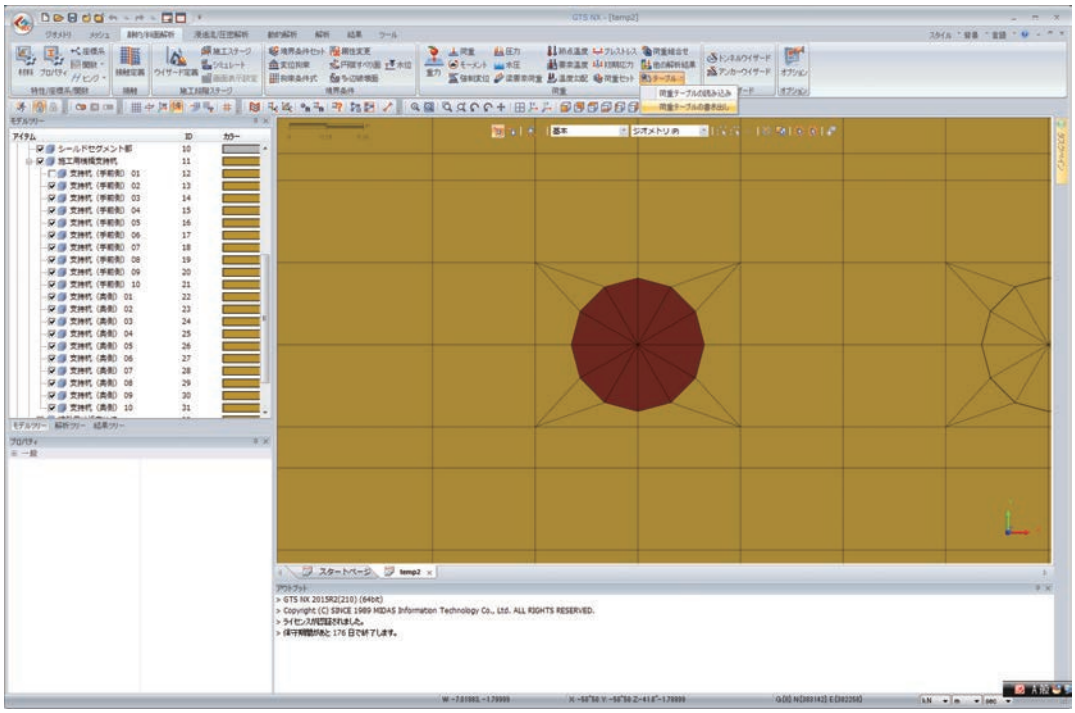


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 2013 36

■モデリング

Fujita Corporation

【圧力荷重の入力】

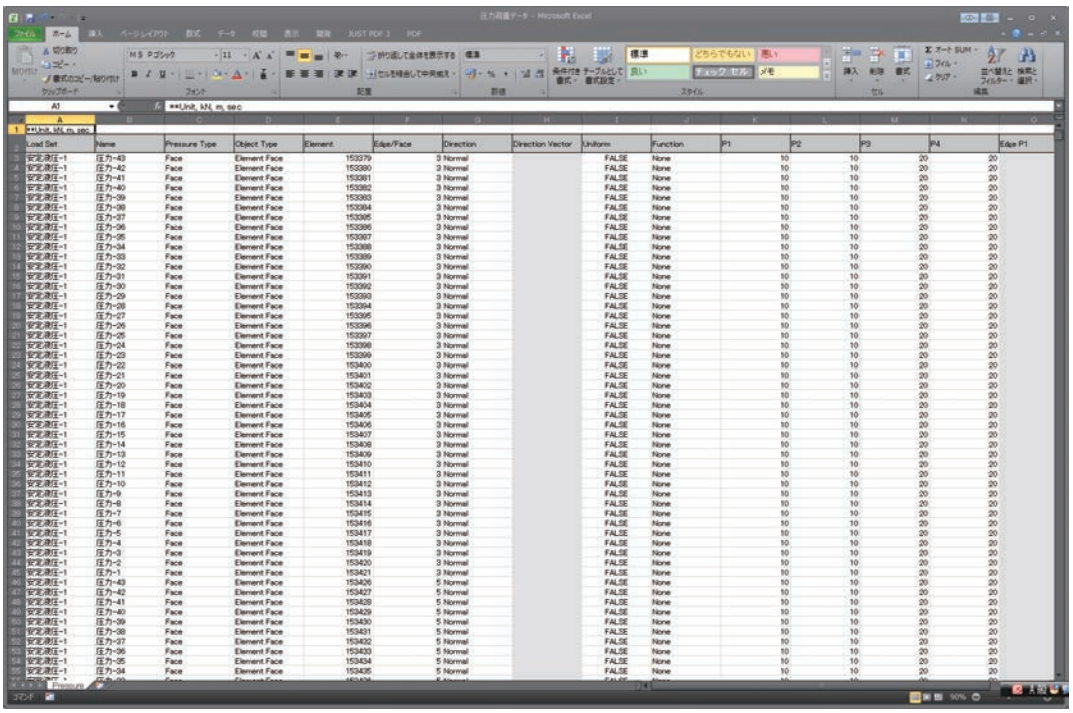


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 2013 37

■モデリング

Fujita Corporation

【圧力荷重の入力】

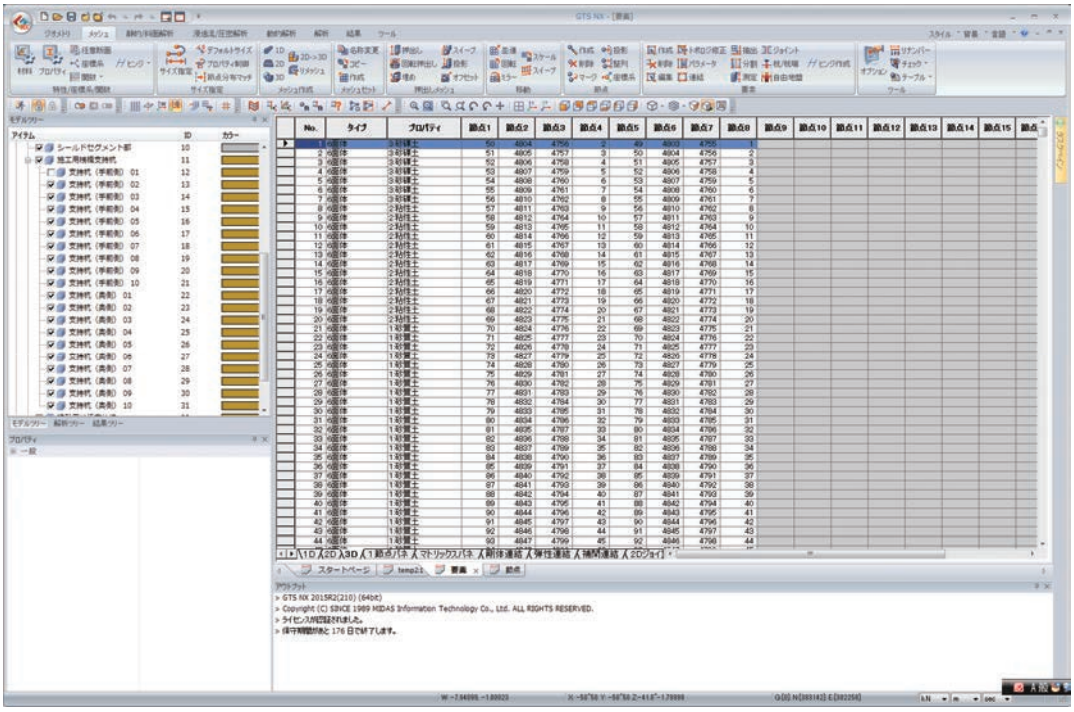


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201338

■モデリング

Fujita Corporation

【圧力荷重の入力】

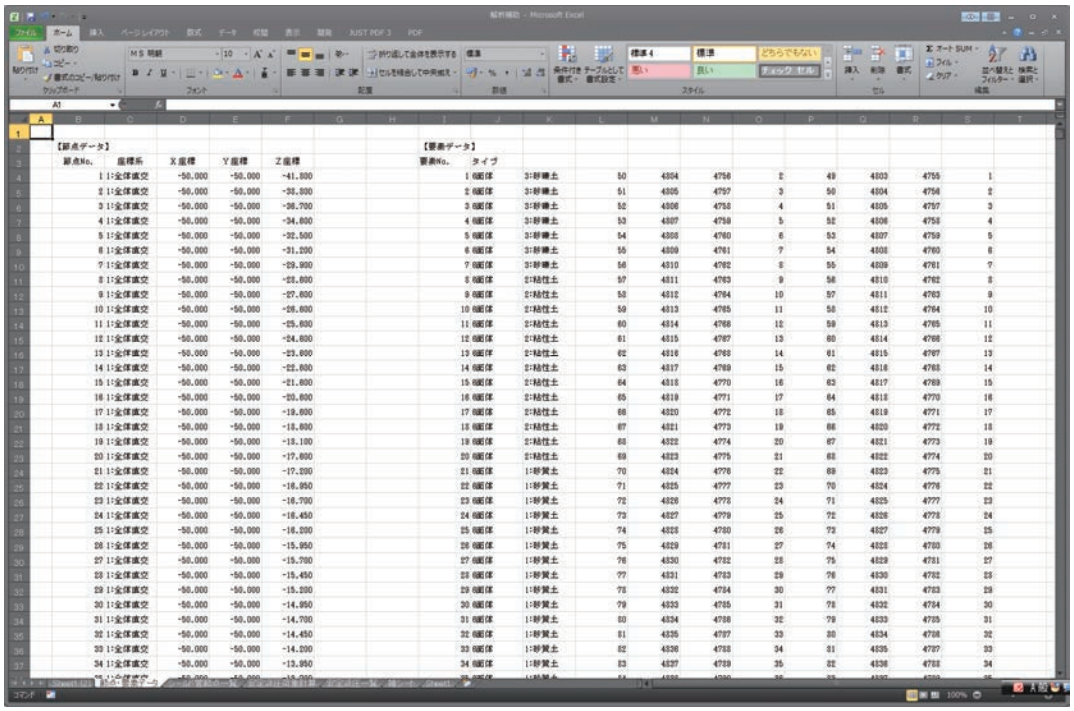


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201339

■モデリング

Fujita Corporation

【圧力荷重の入力】

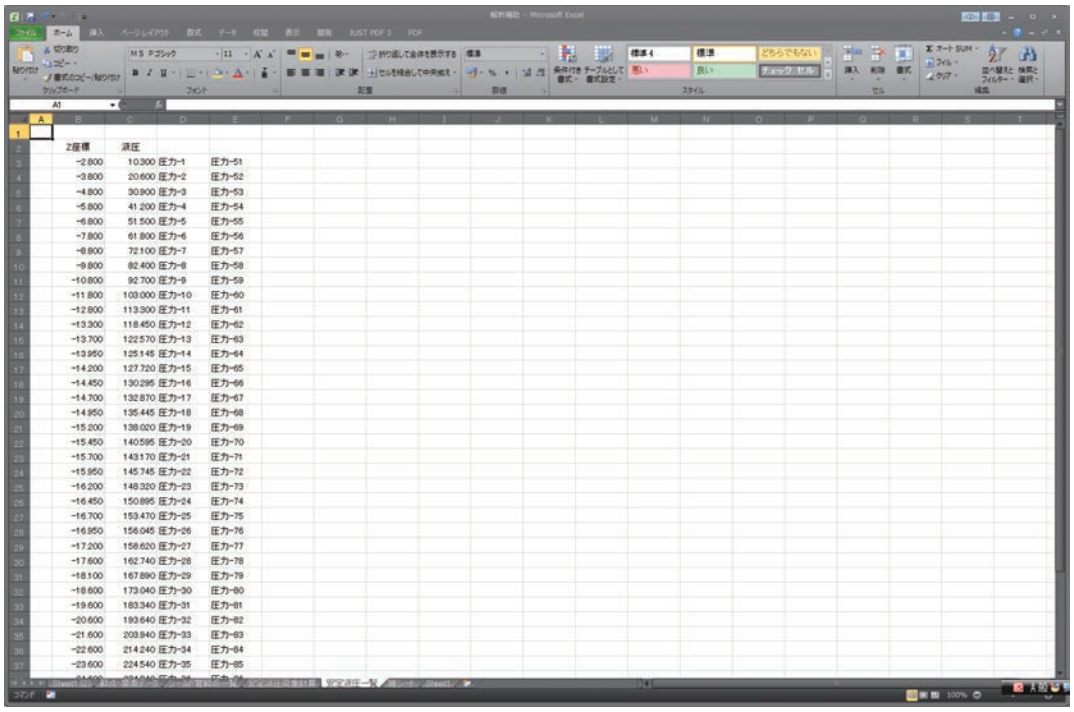


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201340

■モデリング

Fujita Corporation

【圧力荷重の入力】

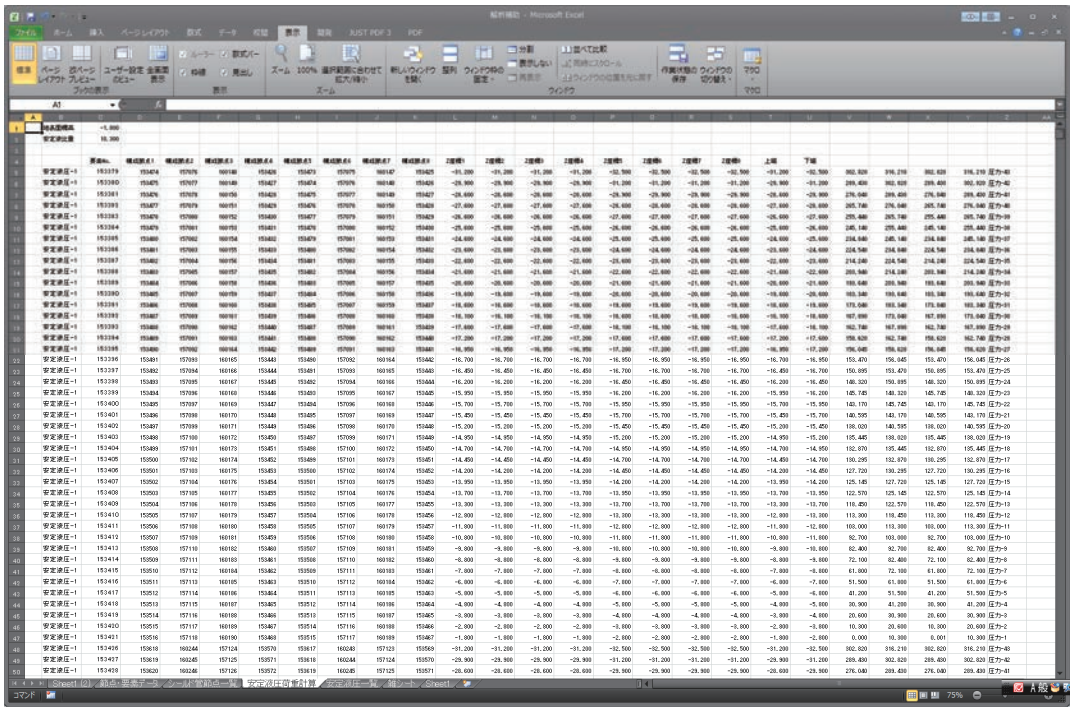


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201341

■モデリング

Fujita Corporation

【圧力荷重の入力】

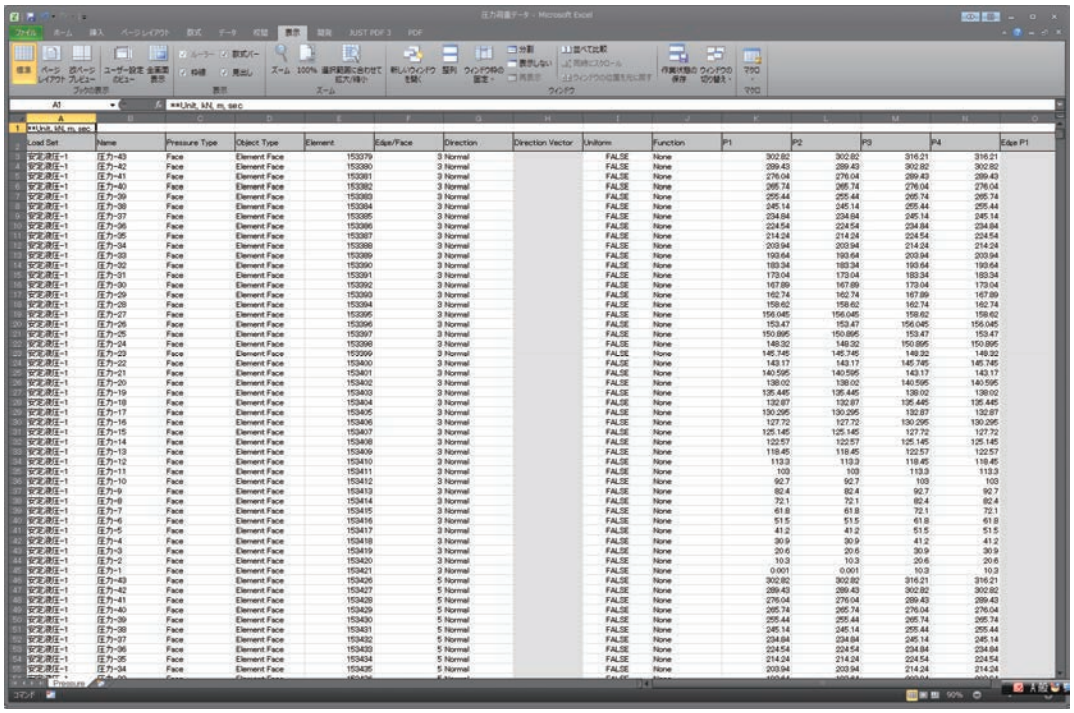


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201342

■モデリング

Fujita Corporation

【圧力荷重の入力】

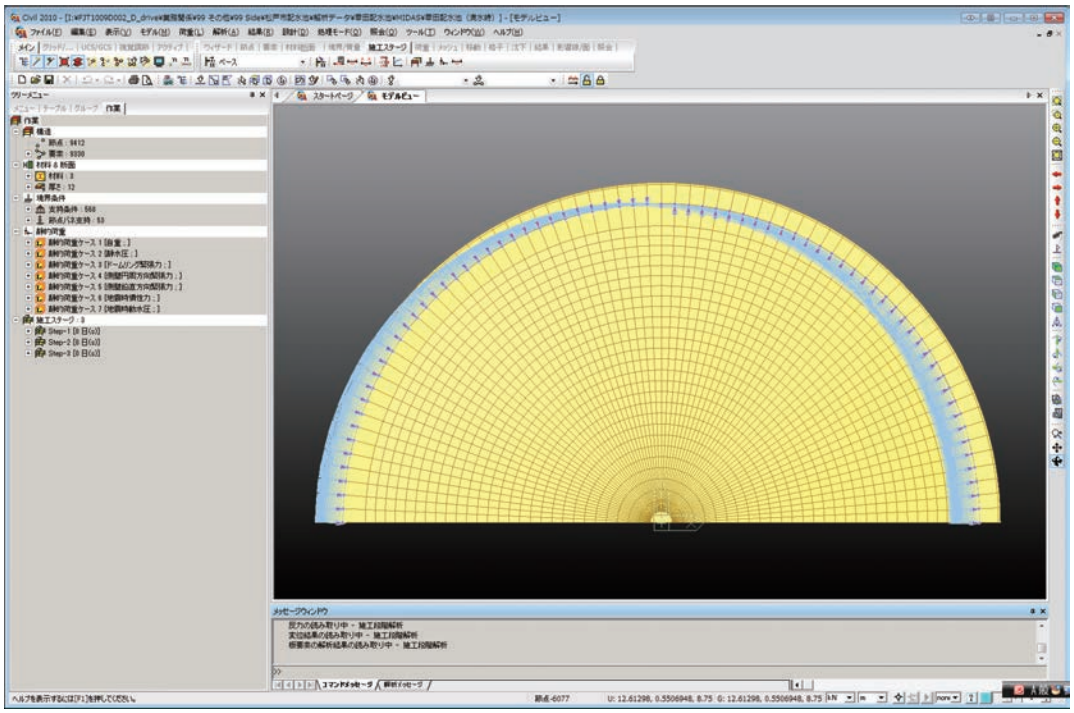


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201343

■モデリング

Fujita Corporation

【圧力荷重の入力】

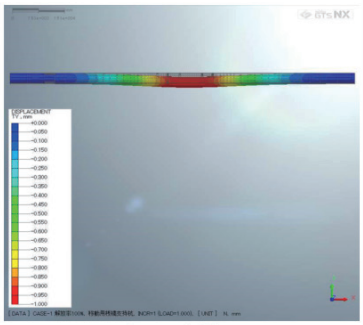
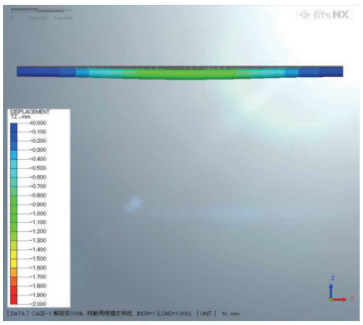
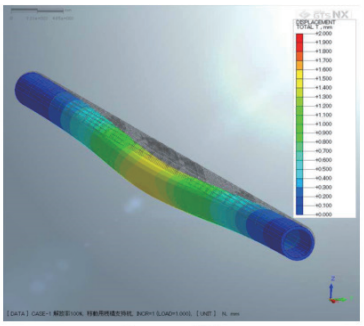
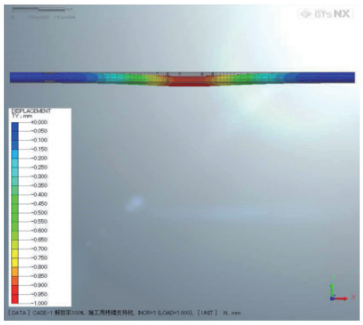
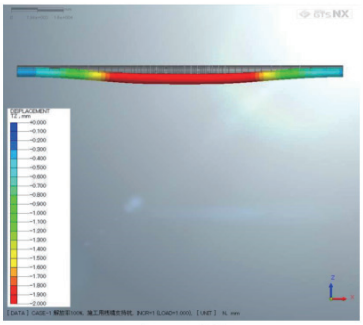
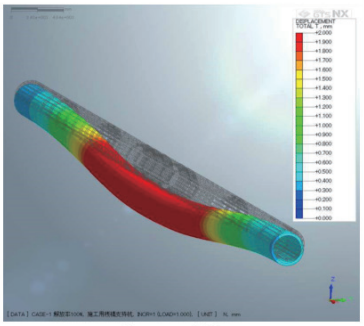


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201344

■解析結果

Fujita Corporation

■変形量解析結果－シールド管部（CASE-1 応力解放率 100%）

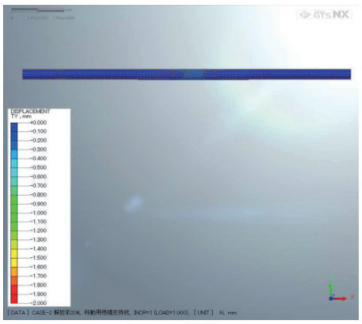
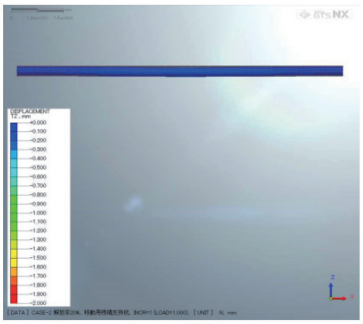
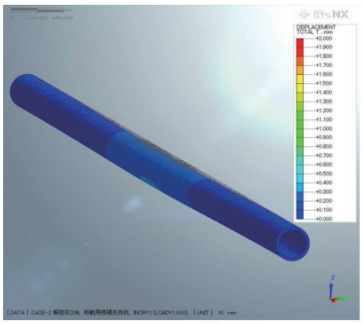
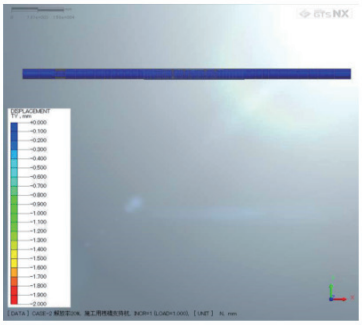
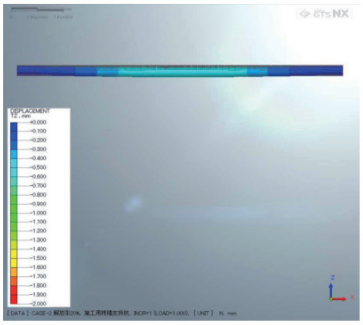
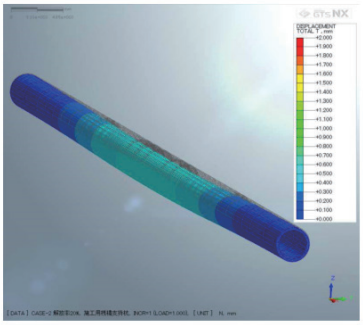
	水平変位（δy）	鉛直変位（δz）	トータル変位（δxyz）
移動用桟橋支持杭施工時	 δymax＝-1.196mm	 δzmax＝-1.108	 δxyzmax＝1.599mm
施工用張り出し桟橋支持杭施工時	 δymax＝-1.190mm	 δzmax＝-2.681	 δxyzmax＝2.909mm

© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201345

■解析結果

Fujita Corporation

■変形量解析結果－シールド管部（CASE-2 応力解放率 20%）

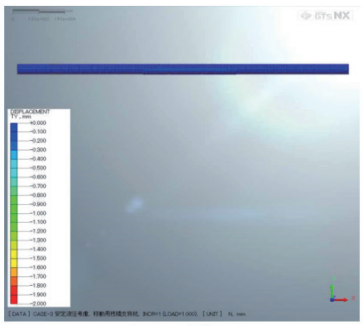
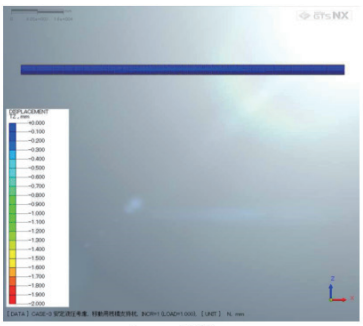
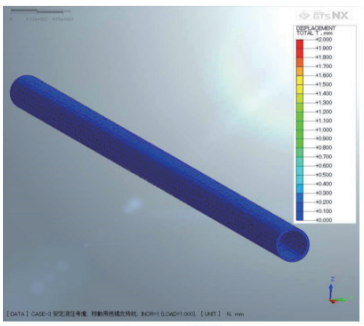
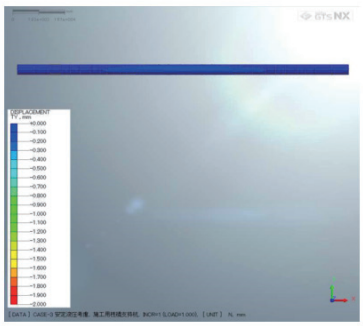
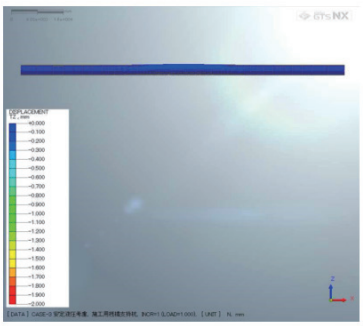
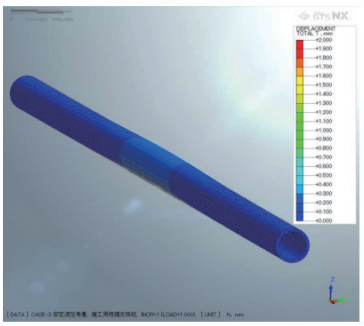
	水平変位（δy）	鉛直変位（δz）	トータル変位（δxyz）
移動用桟橋支持杭施工時	 δymax＝-0.239mm	 δzmax＝-0.222mm	 δxyzmax＝0.320mm
施工用張り出し桟橋支持杭施工時	 δymax＝-0.238mm	 δzmax＝-0.538mm	 δxyzmax＝0.584mm

© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201346

■解析結果

Fujita Corporation

■変形量解析結果－シールド管部（CASE-3 安定液圧考慮）

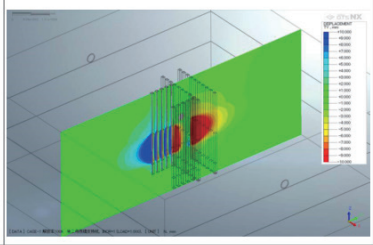
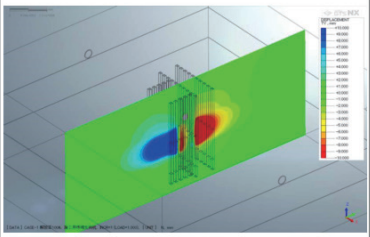
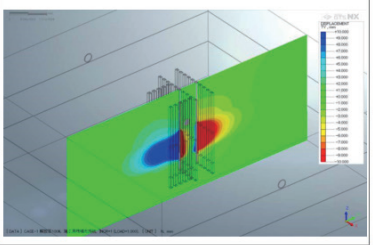
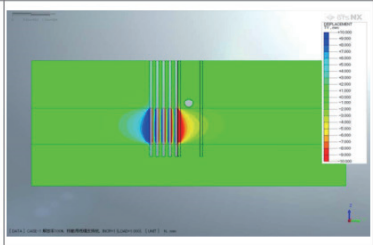
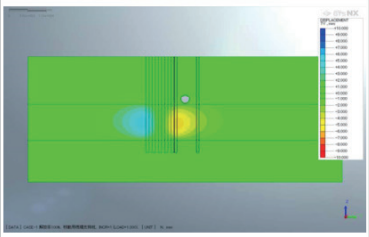
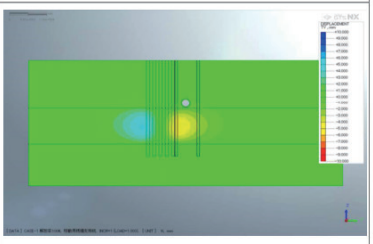
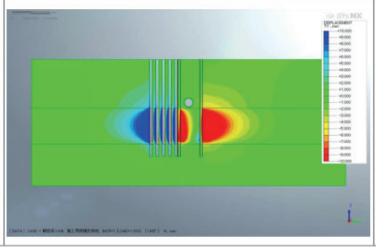
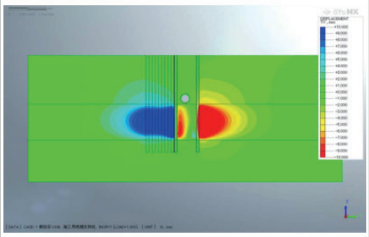
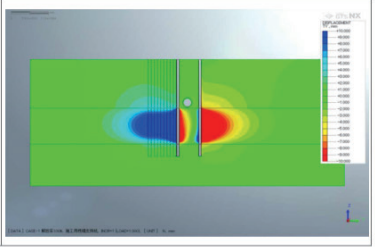
	水平変位（δy）	鉛直変位（δz）	トータル変位（δxyz）
移動用桟橋支持杭施工時	 δymax＝-0.054mm	 δzmax＝0.047mm	 δxyzmax＝0.066mm
施工用張り出し桟橋支持杭施工時	 δymax＝-0.054mm	 δzmax＝0.271mm	 δxyzmax＝0.272mm

© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201347

■解析結果

Fujita Corporation

■変形量解析結果－地中部水平変位（CASE-1 応力解放率 100%）

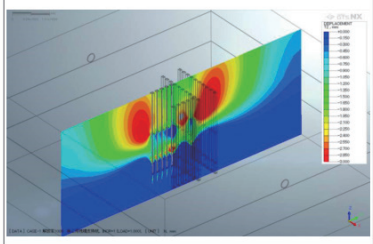
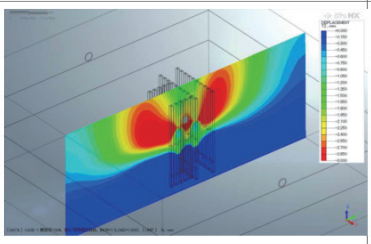
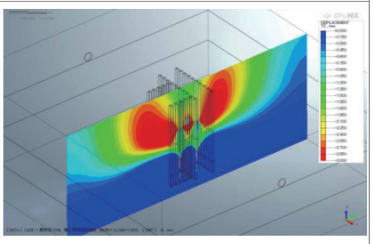
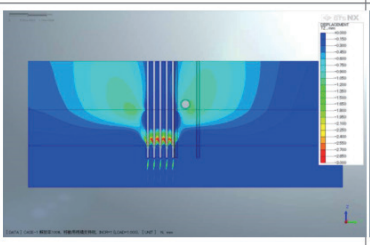
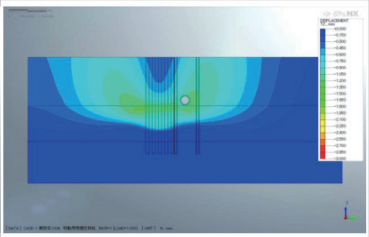
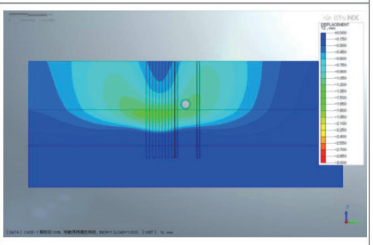
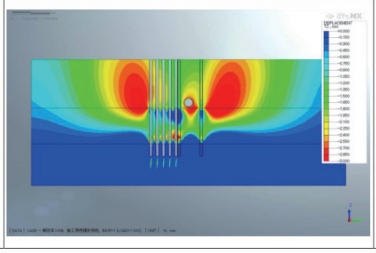
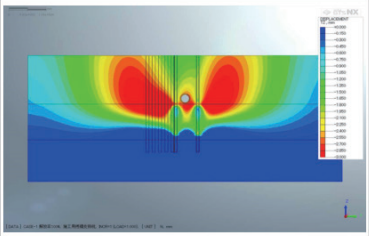
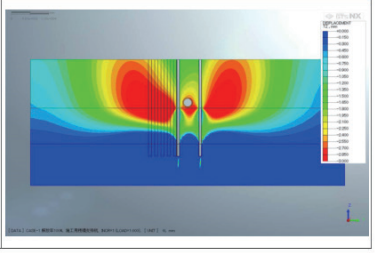
	X=-3.500m（移動用桟橋支持杭位置）	X=0.000m（モデル中心位置）	X=1.000m（施工用張り出し移動用桟橋支持杭位置）
最終ステップ鳥瞰図			
移動用桟橋支持杭施工時			
施工用張り出し桟橋支持杭施工時			

© 2013 Daiwa House Group All rights reserved.

■解析結果

Fujita Corporation

■変形量解析結果－地中部鉛直変位（CASE-1 応力解放率 100%）

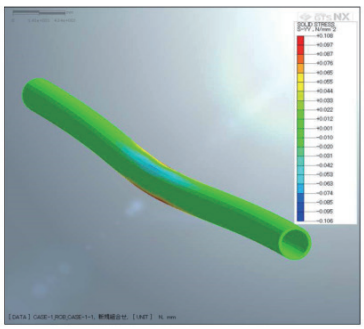
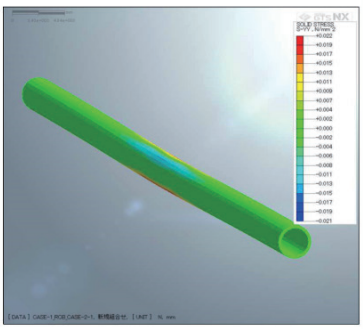
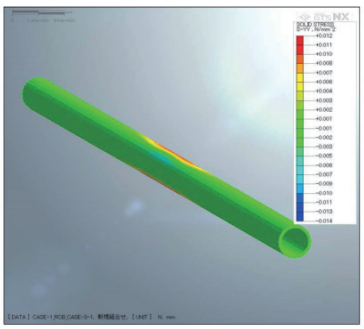
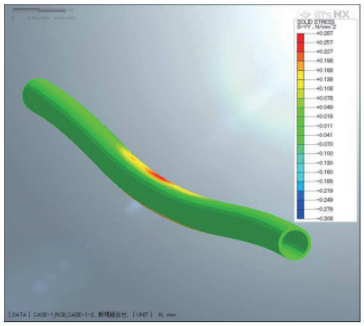
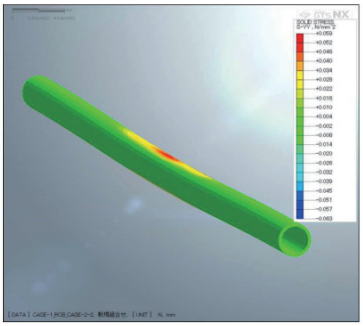
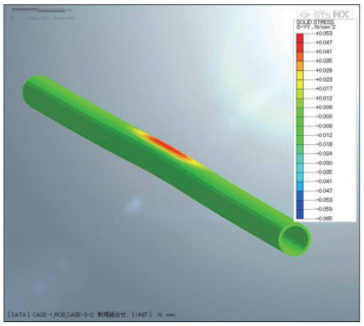
	X=-3.500m（移動用桟橋支持杭位置）	X=0.000m（モデル中心位置）	X=1.000m（施工用張り出し移動用桟橋支持杭位置）
最終ステップ鳥瞰図			
移動用桟橋支持杭施工時			
施工用張り出し桟橋支持杭施工時			

© 2013 Daiwa House Group All rights reserved.

■解析結果

Fujita Corporation

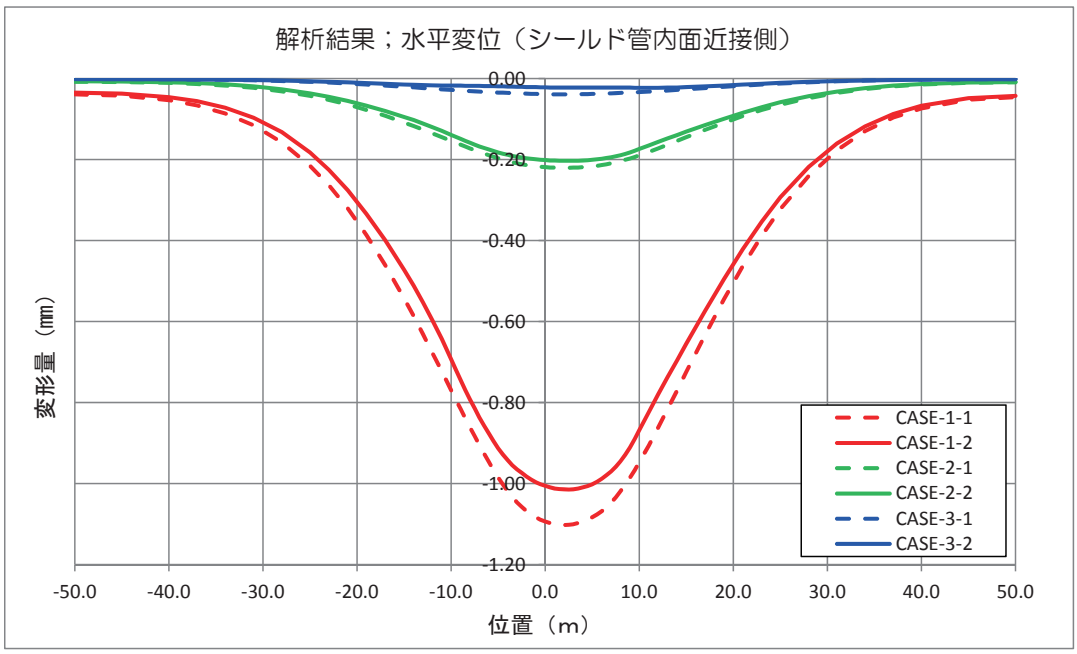
■シールド管（セグメント）部　増分応力度（σy；横断・水平方向）

	CASE-1 応力解放率 100%	CASE-2 応力解放率 20%	CASE-3 安定液圧考慮
移動用桟橋支持杭施工時	 ⊿σ ymin＝-0.106N/mm²（圧縮） ⊿σ ymax＝ 0.108N/mm²（引張）	 ⊿σ ymin＝-0.021N/mm²（圧縮） ⊿σ ymax＝ 0.022N/mm²（引張）	 ⊿σ ymin＝-0.014N/mm²（圧縮） ⊿σ ymax＝ 0.012N/mm²（引張）
施工用張り出し桟橋支持杭施工時	 ⊿σ ymin＝-0.308N/mm²（圧縮） ⊿σ ymax＝ 0.287N/mm²（引張）	 ⊿σ ymin＝-0.063N/mm²（圧縮） ⊿σ ymax＝ 0.059N/mm²（引張）	 ⊿σ ymin＝-0.065N/mm²（圧縮） ⊿σ ymax＝ 0.053N/mm²（引張）

© 2013 Daiwa House Group All rights reserved.

■解析結果

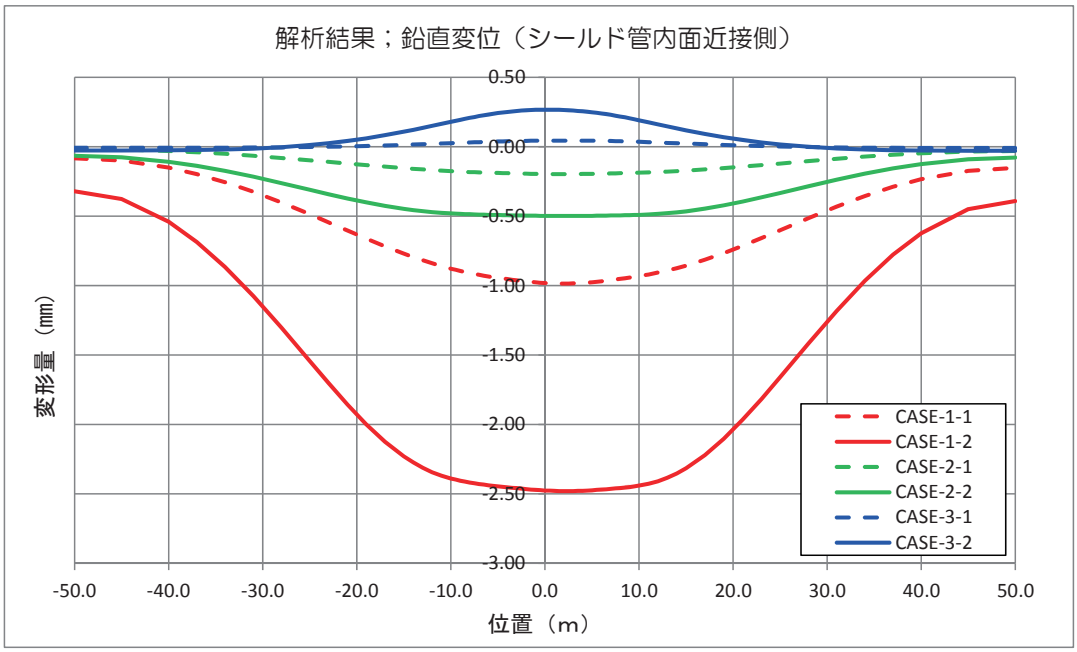
Fujita Corporation



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved.

■解析結果

Fujita Corporation



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 2013 52

FUJITA
Daiwa House Group

ご清聴ありがとうございました

www.fujita.co.jp

MIDAS CONSTRUCTION TECHNICAL DOCUMENT COLLECTION

GTS NX 実務適用事例集

3. 地盤変形・トンネル分野

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

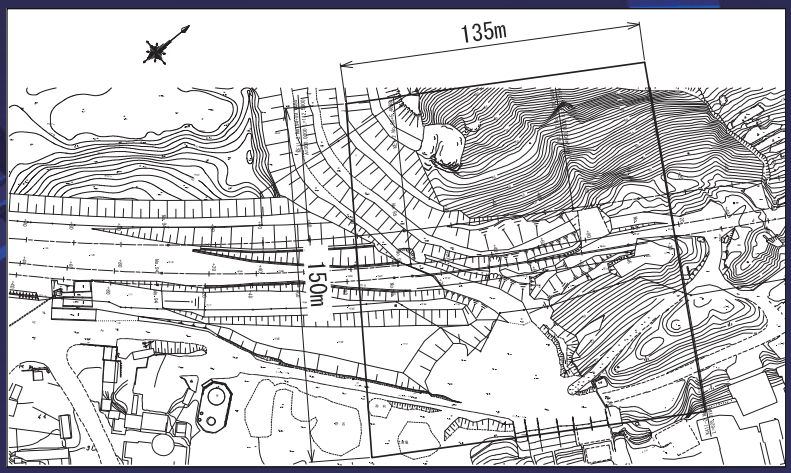
～ MIDAS GTSを使用した解析事例紹介 ～

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

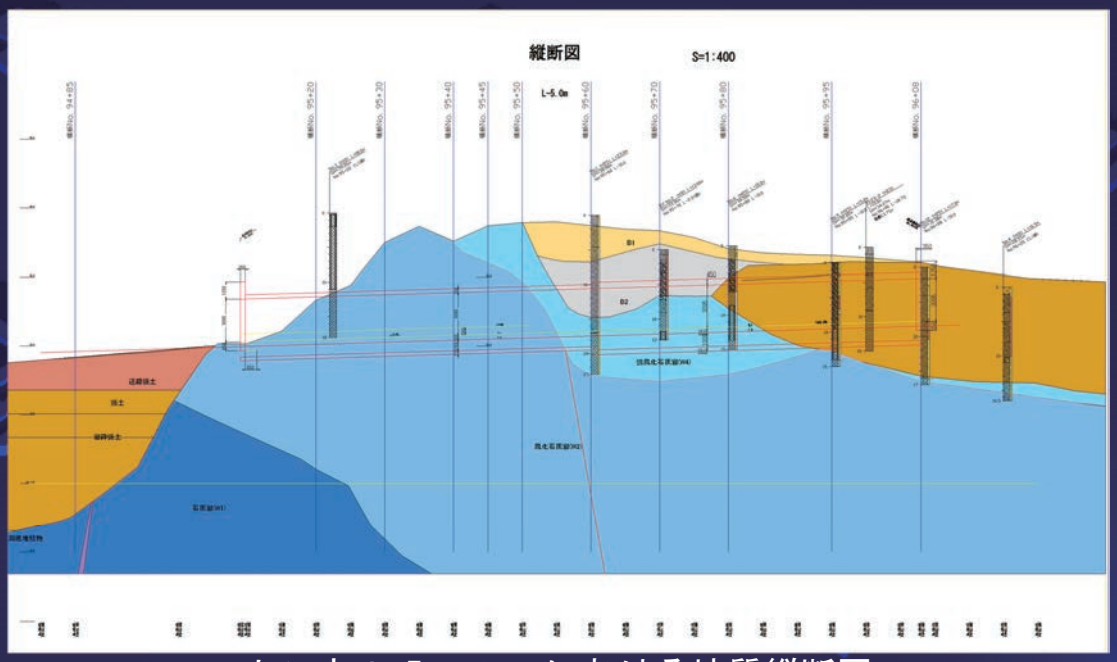
修正設計が必要

（設計施工）

■修正設計業務内容

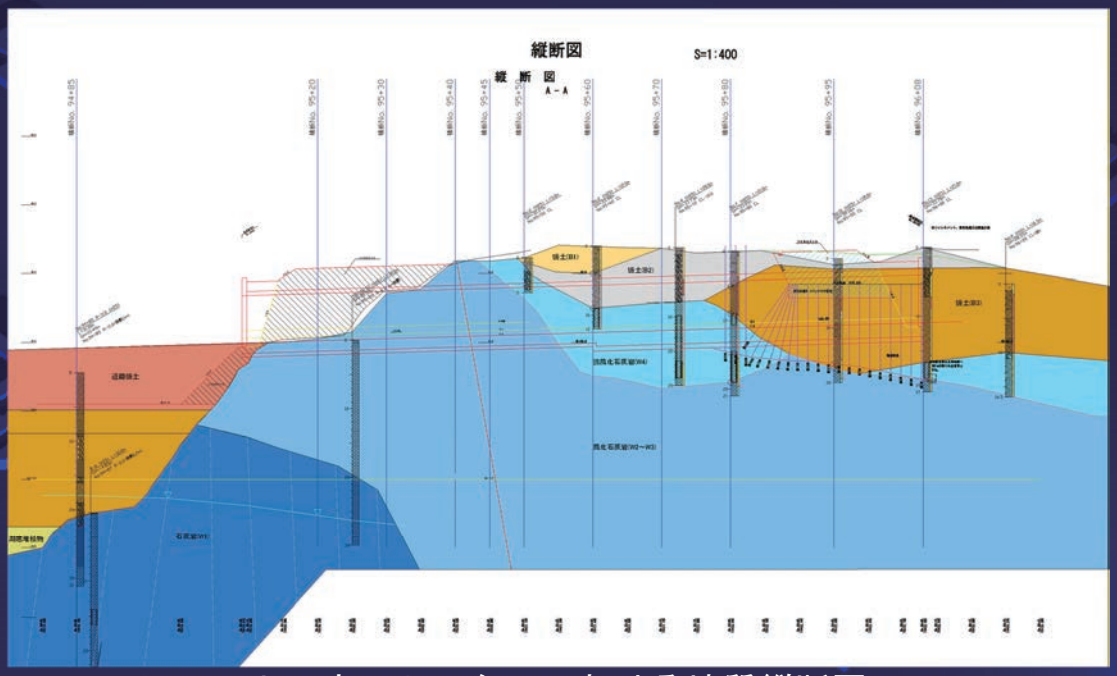
項　　目	単　位	数　量
山岳トンネル詳細設計		
設計計画，条件確認，現地踏査	式	1
本体工設計	断面	3
補助工法の選定		
天端・脚部の検討(2次元FEM解析)	断面	3
切羽の検討(3次元FEM解析)	式	1
支保構造照査(フレーム解析)	断面	3
覆工構造設計		
Ⅱ期線影響検討(2次元FEM解析)	断面	3
構造設計(フレーム解析)	断面	3
照査	式	1
設計協議	式	1

■地質縦断図



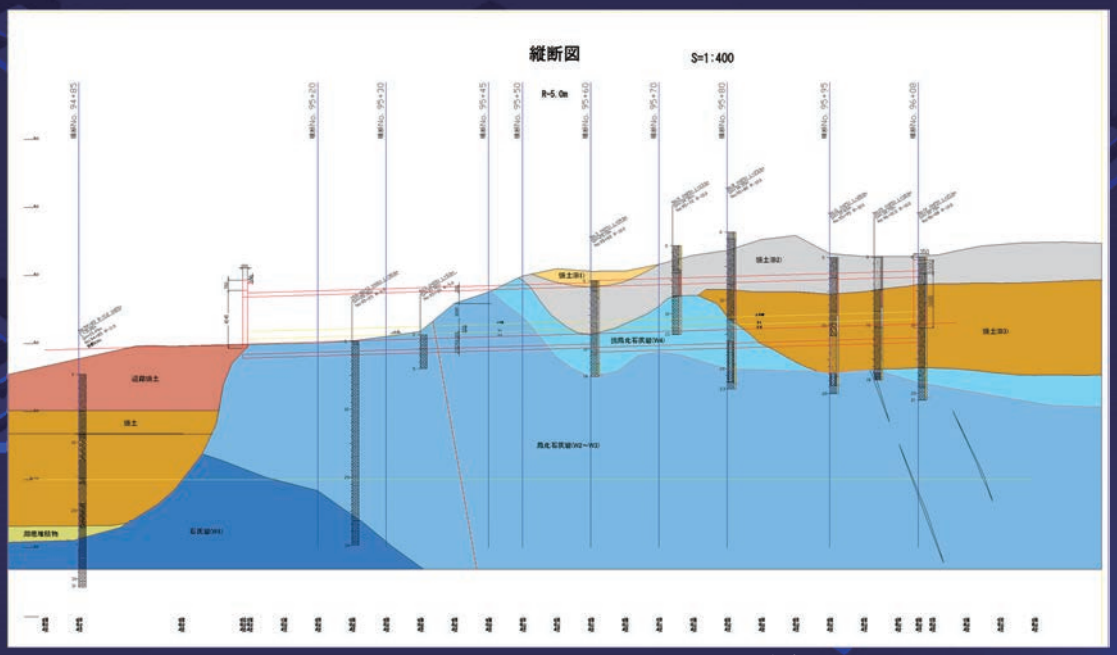
トンネル L-5.0m における地質縦断図

■地質縦断図



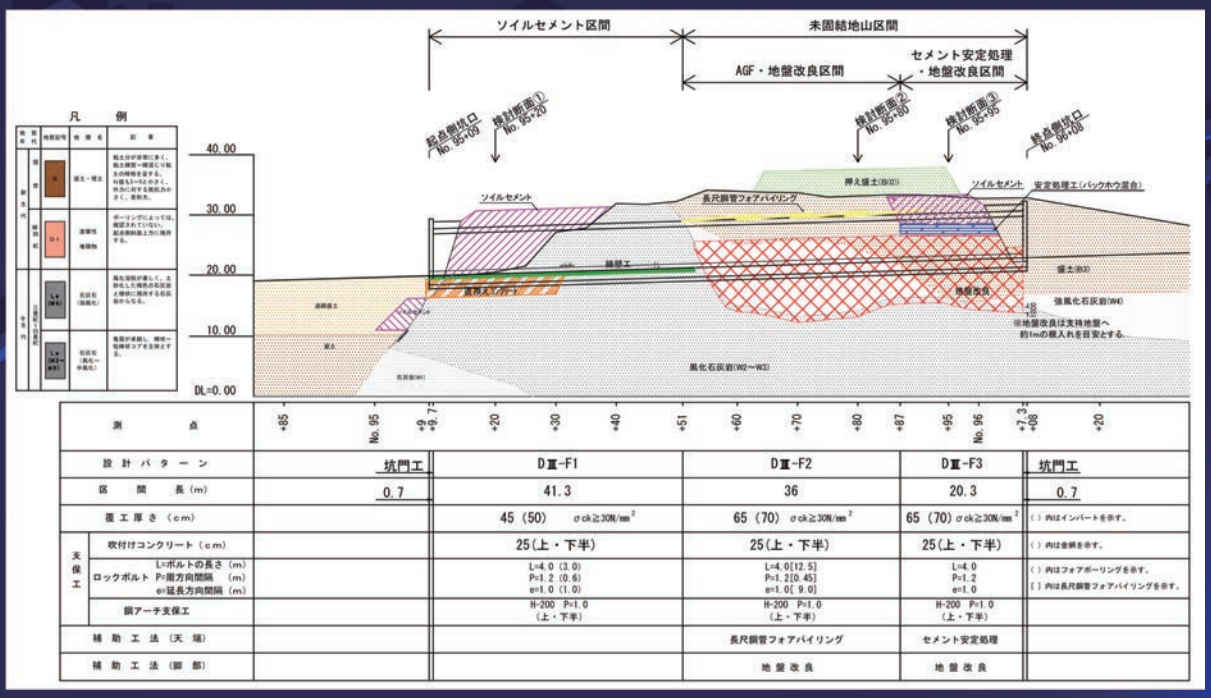
トンネルセンターにおける地質縦断図

■地質縦断図



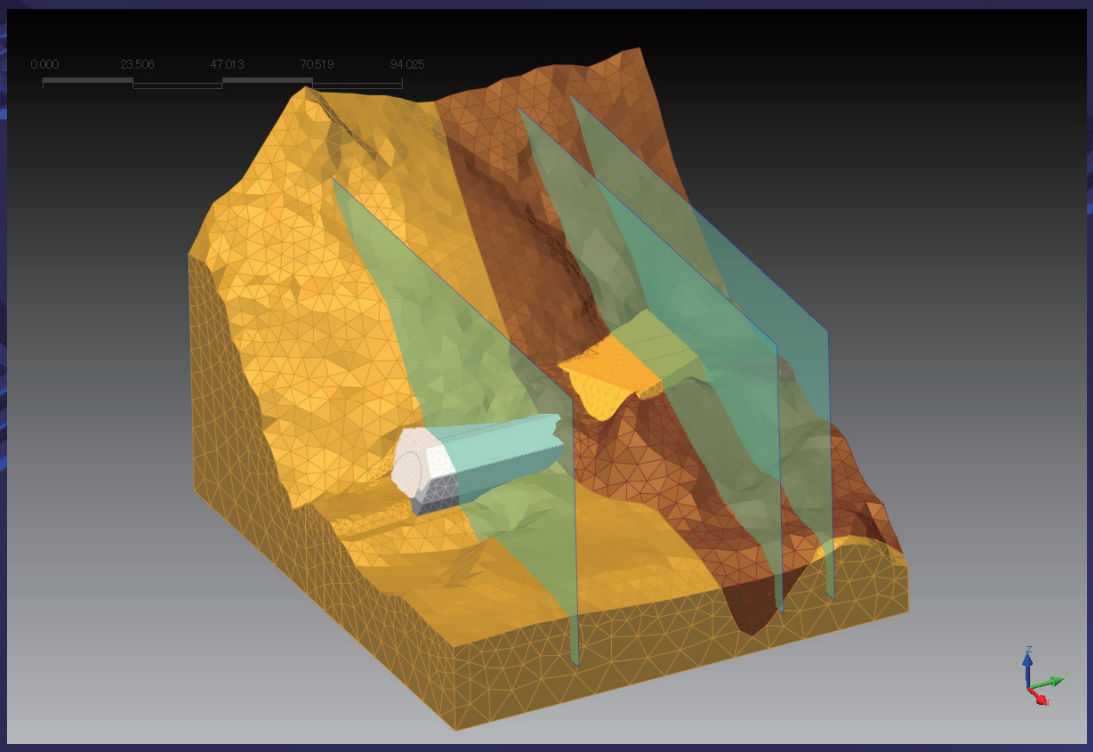
トンネル R-5.0m における地質縦断図

■設計結果

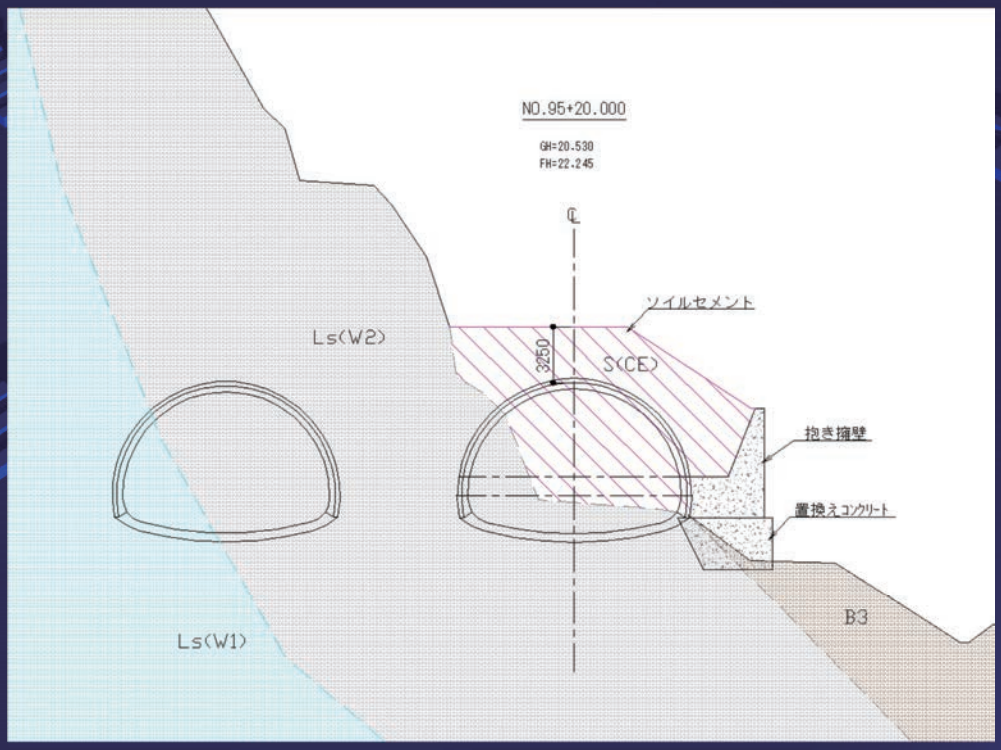


測点		+85	No.95	+9.7	+20	+30	+40	+51	+60	+70	+80	+87	+95	No.96	+7.3	+08	+20
設計パターン			坑門工		DⅢ-F1				DⅢ-F2				DⅢ-F3				坑門工
区間長(m)			0.7		41.3				36				20.3				0.7
覆工厚さ(cm)					45 (50) σck≧30N/mm²				65 (70) σck≧30N/mm²				65 (70) σck≧30N/mm²				( ) 内はインバートを示す。
支保工	吹付けコンクリート(cm)				25(上・下半)				25(上・下半)				25(上・下半)				( ) 内は金網を示す。
支保工	ロックボルト L=ボルトの長さ(m) P=周方向間隔(m) e=延長方向間隔(m)				L=4.0 (3.0) P=1.2 (0.6) e=1.0 (1.0)				L=4.0[12.5] P=1.2[0.45] e=1.0[9.0]				L=4.0 P=1.2 e=1.0				( ) 内はフォアポーリングを示す。 [ ] 内は長尺鋼管フォアパイリングを示す。
支保工	鋼アーチ支保工				H-200 P=1.0 (上・下半)				H-200 P=1.0 (上・下半)				H-200 P=1.0 (上・下半)				
補助工法(天端)									長尺鋼管フォアパイリング				セメント安定処理				
補助工法(脚部)									地盤改良				地盤改良				

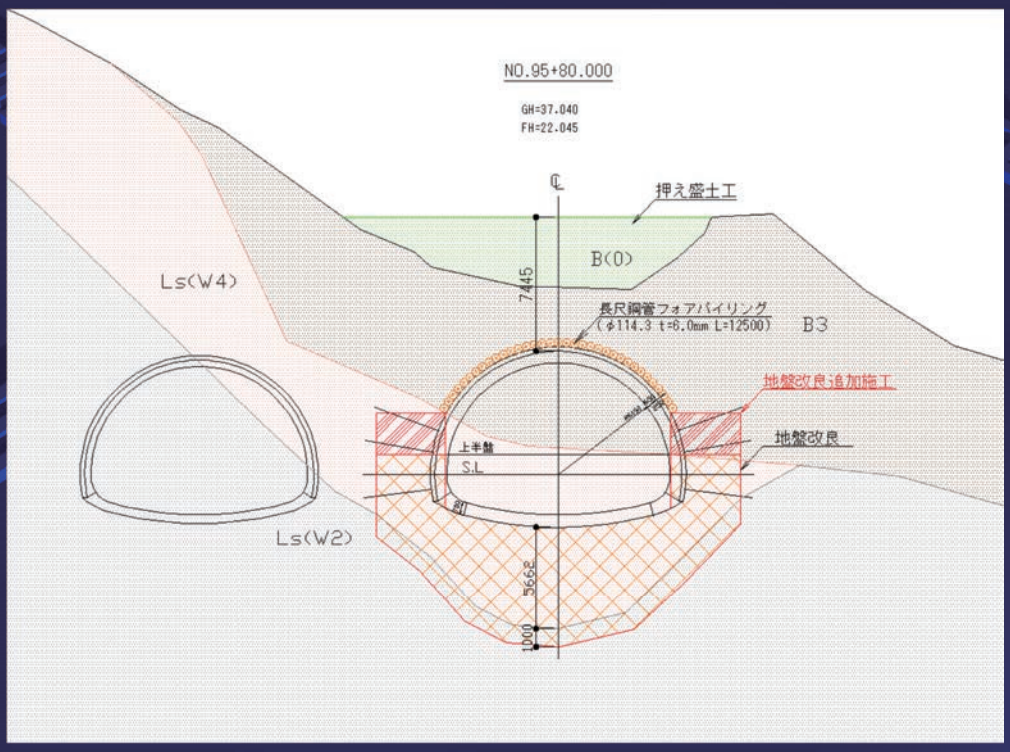
■覆工設計断面



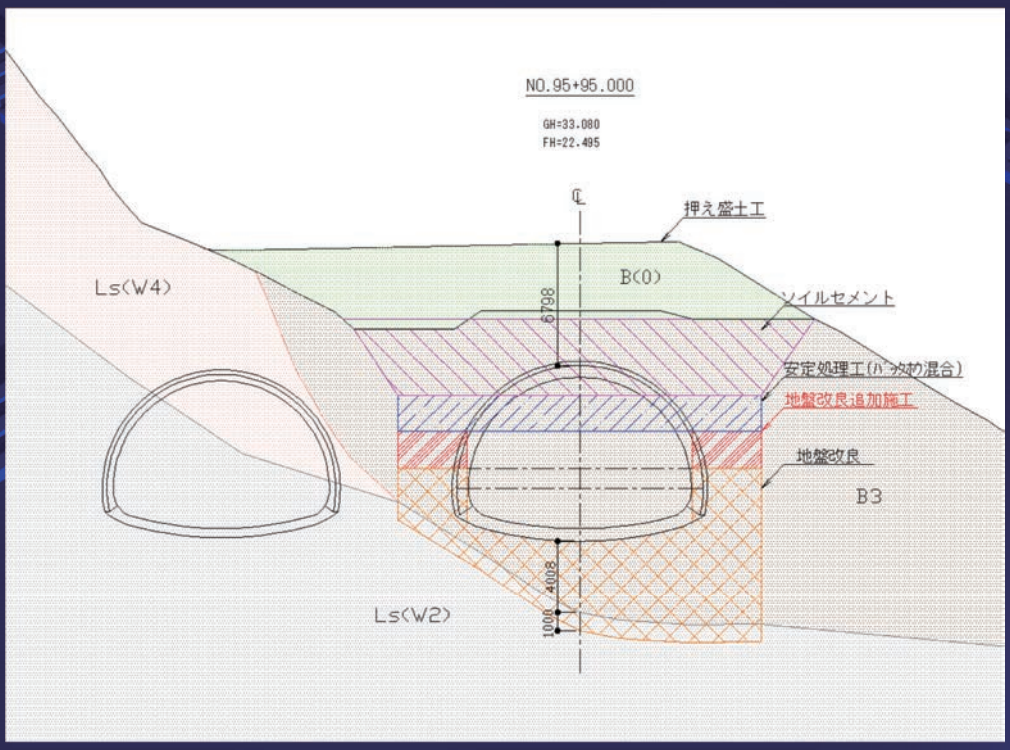
■覆工設計断面



■覆工設計断面



■覆工設計断面

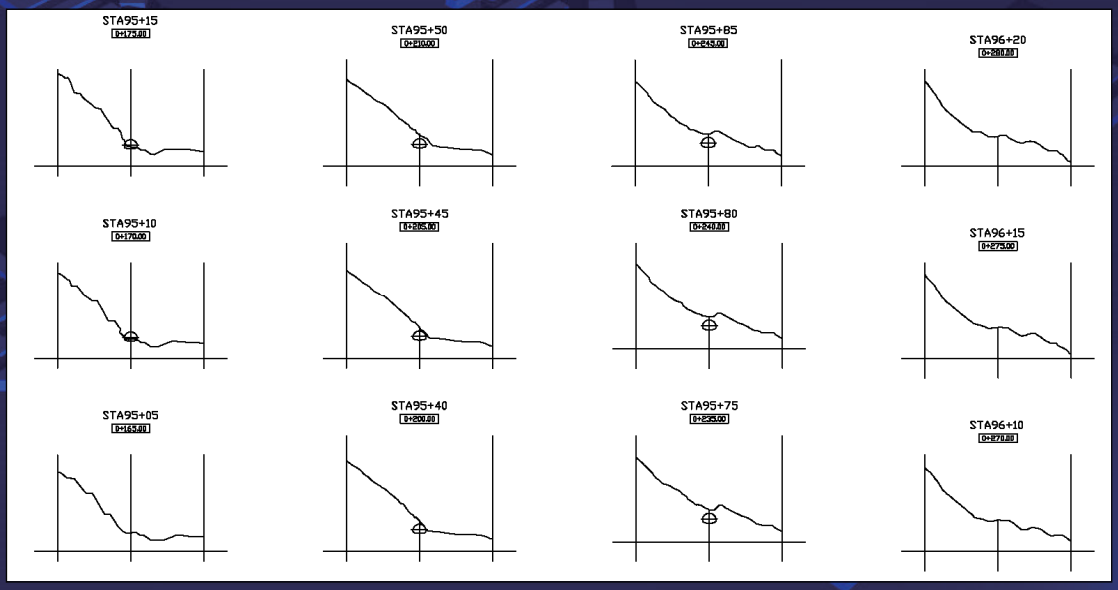


■ ３次元FEMのモデル化

・地表面形状作成手順の紹介

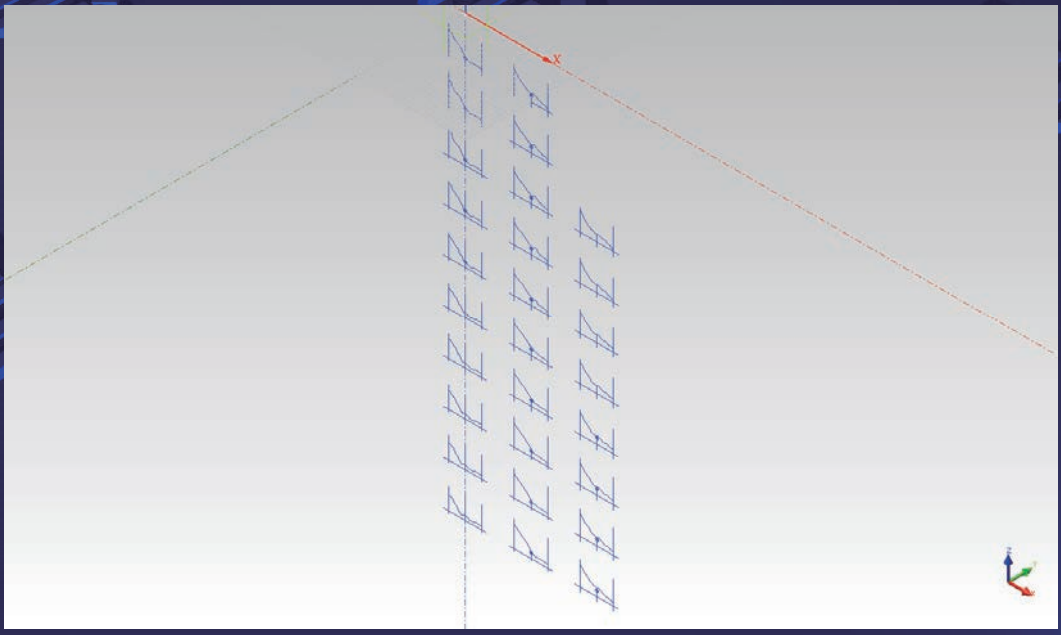
■ ３次元FEMのモデル化

Step-1 CADで横断図を作成



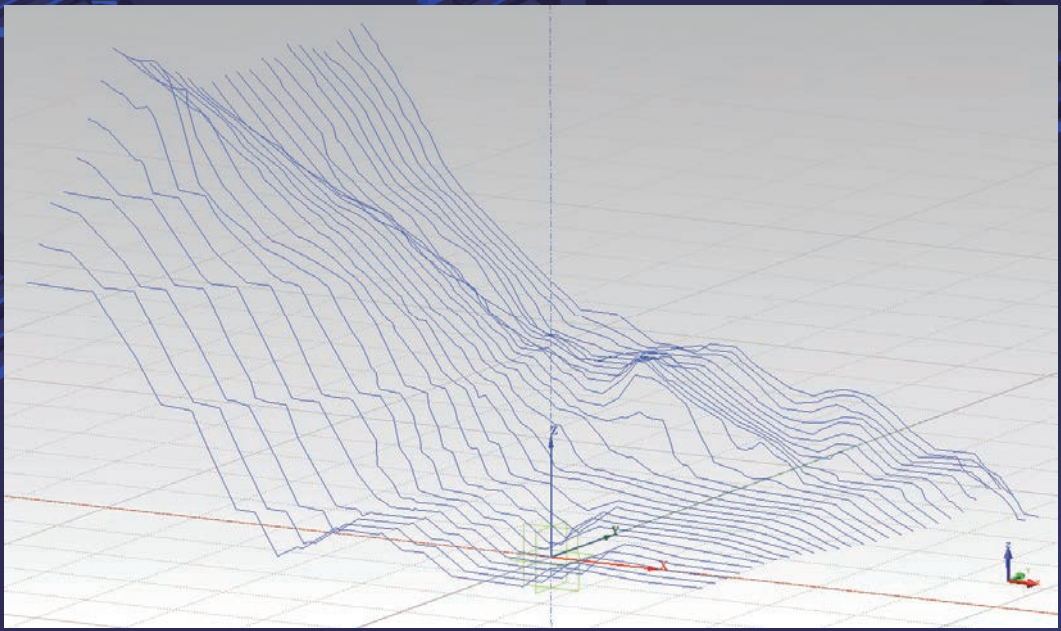
■３次元FEMのモデル化

Step-2 GTS上でCADデータ（DXF）読込み



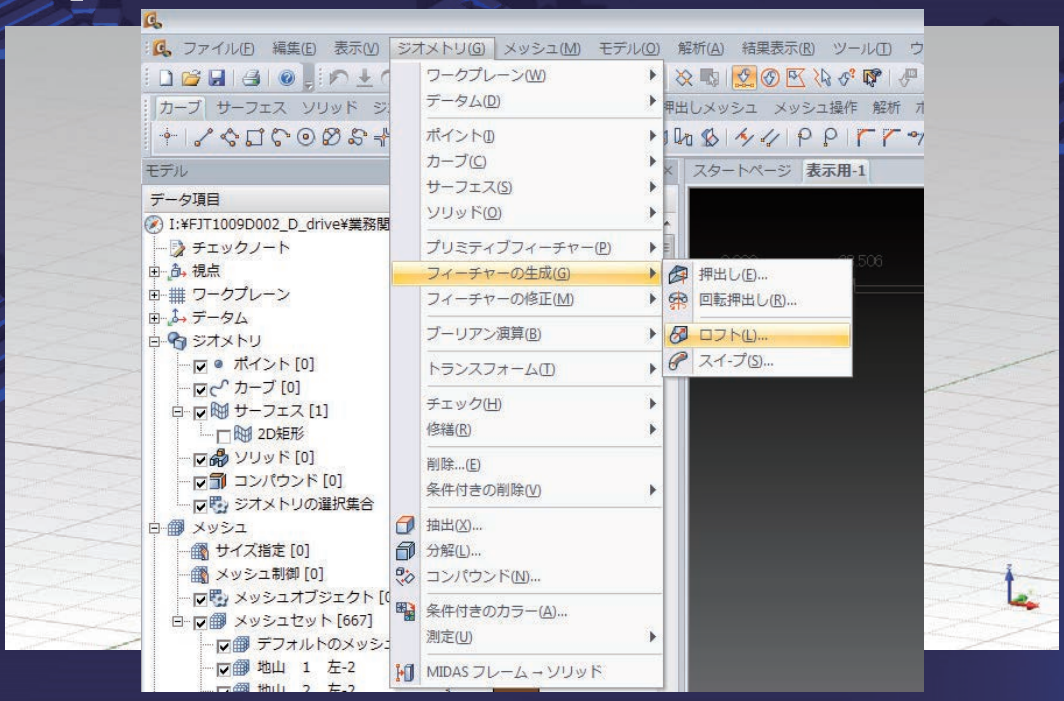
■３次元FEMのモデル化

Step-3 地表面ラインを３次元に配置

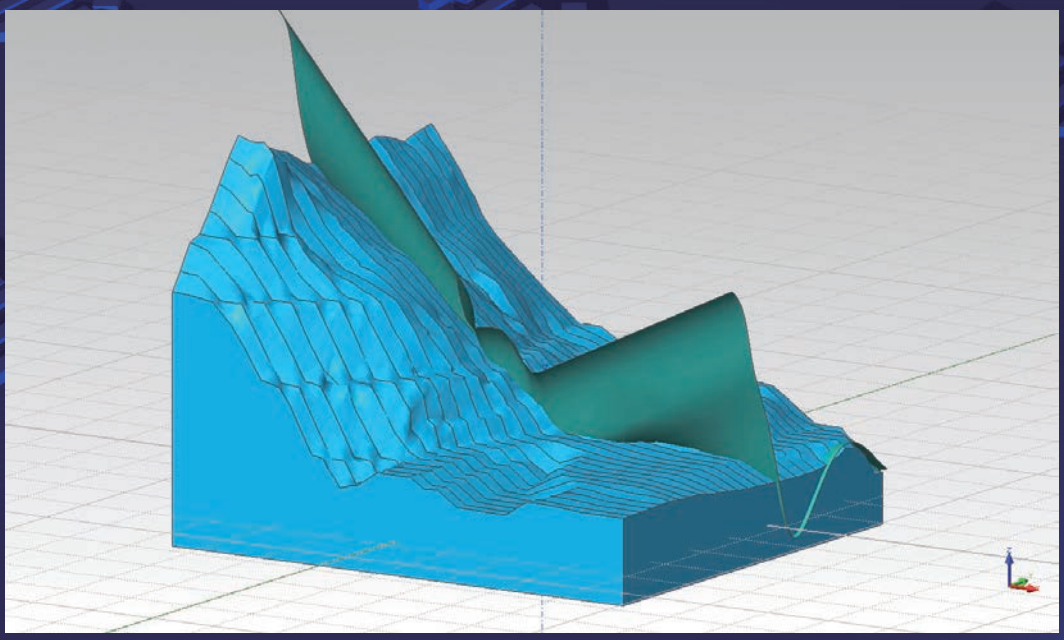


■３次元FEMのモデル化

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

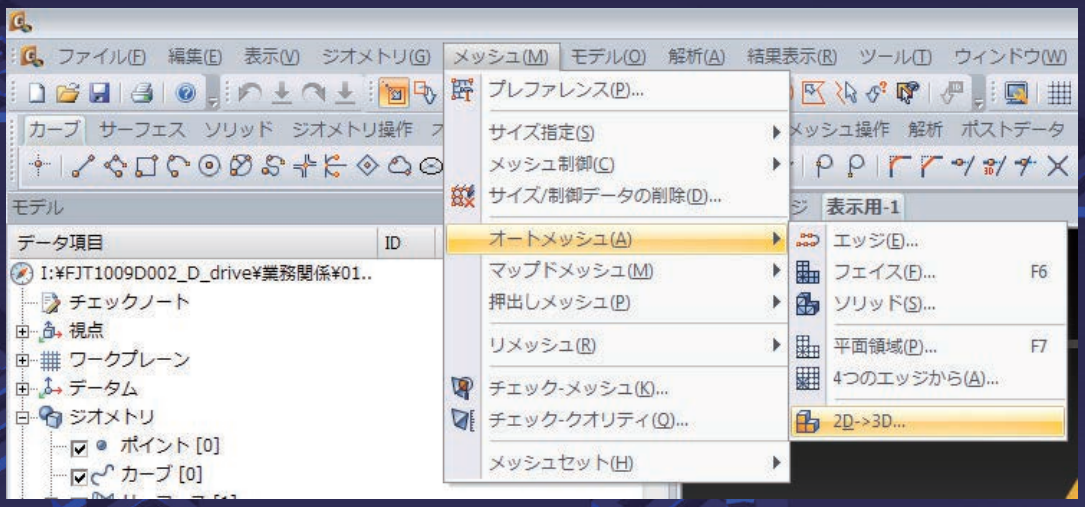
・メッシュ作成手法の紹介

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

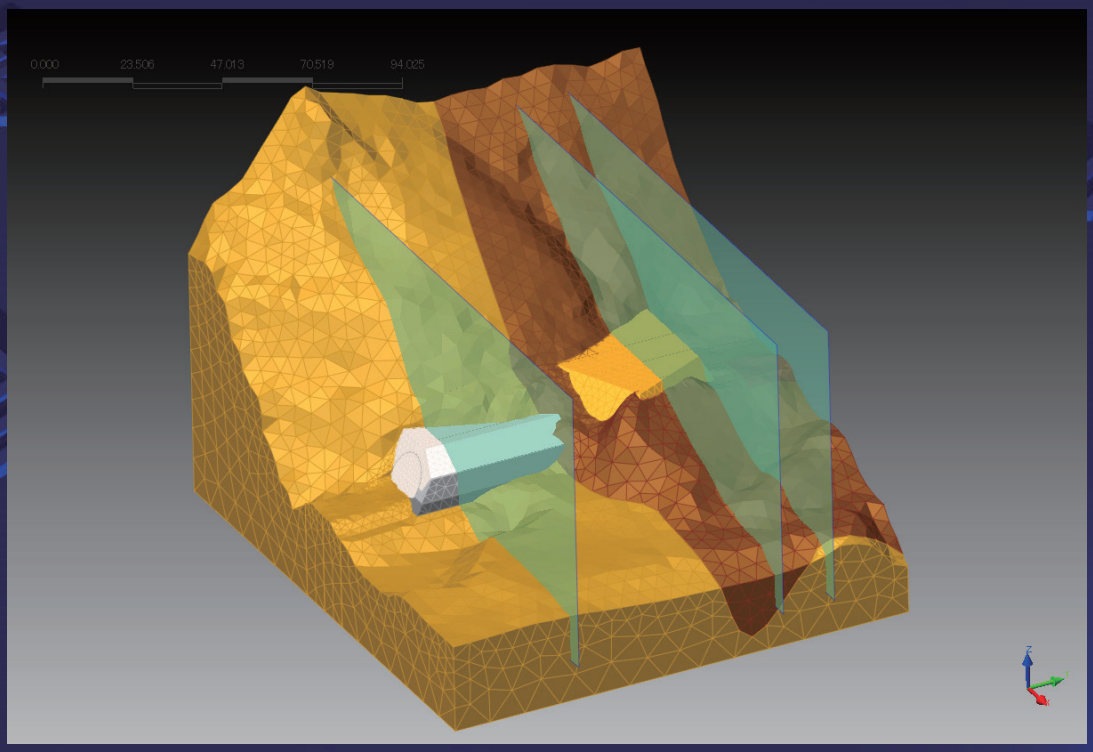
メッシュ⇒オートメッシュ⇒2D→3D

■３次元FEMのモデル化

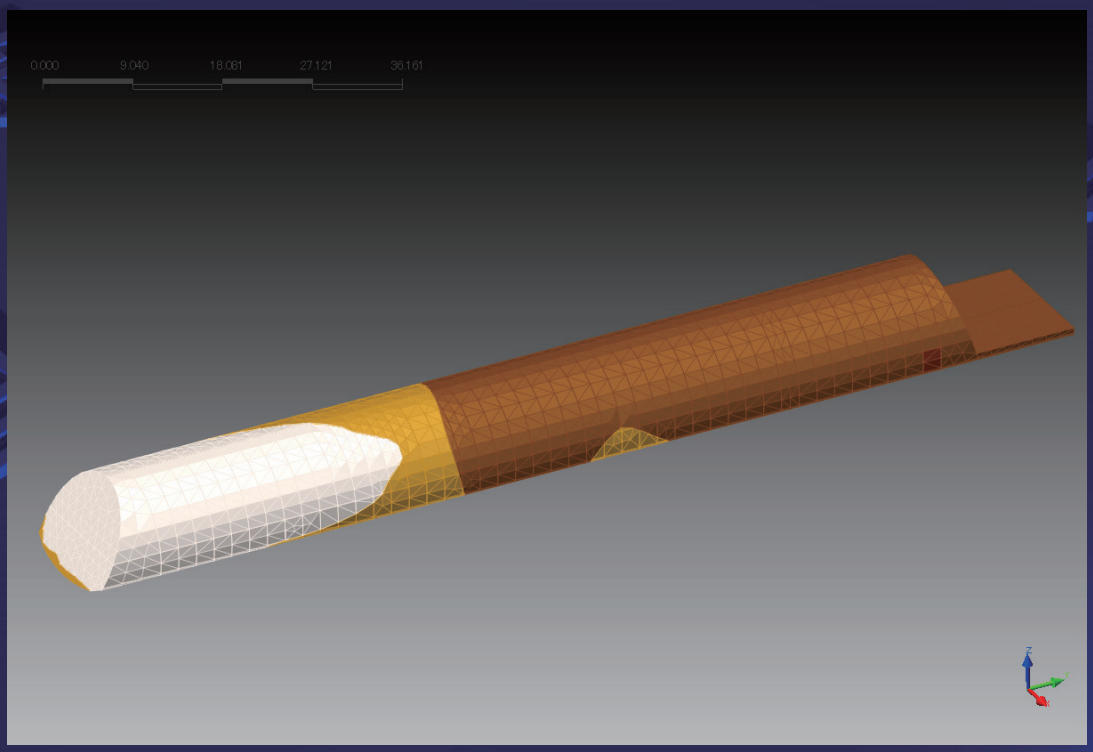


メッシュセット単位でソリッドを分割し、その表面に2D要素を作成して閉じた箱を作り、その中を3D要素で詰める手法。

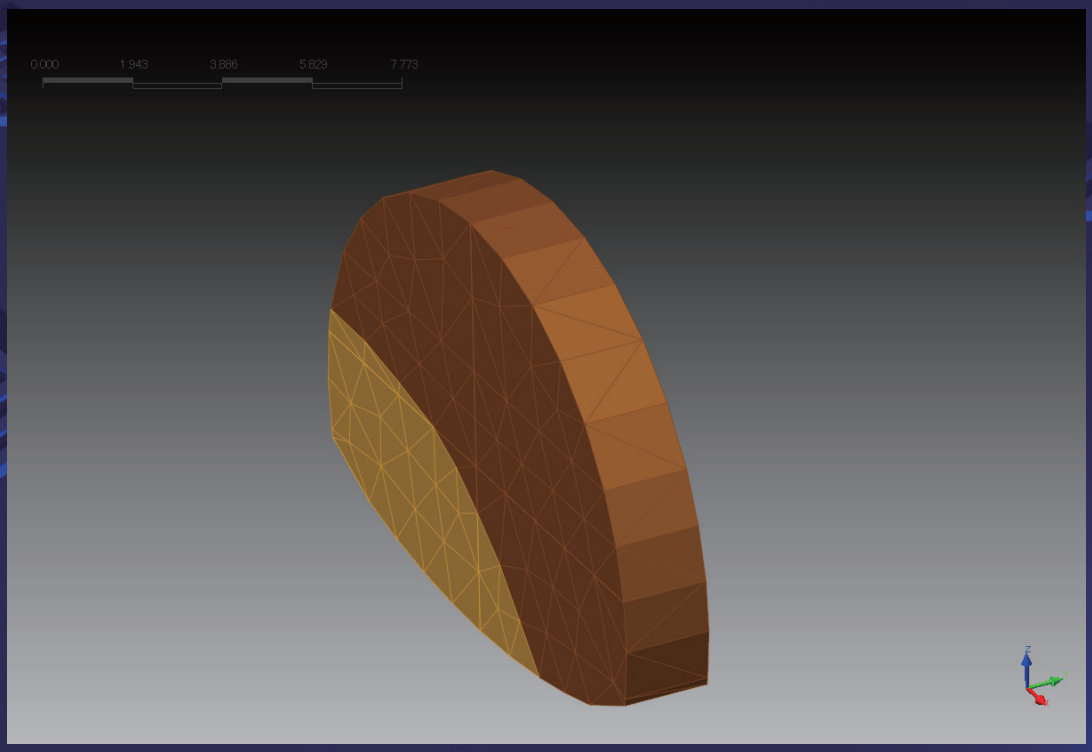
■ ３次元FEMのモデル化



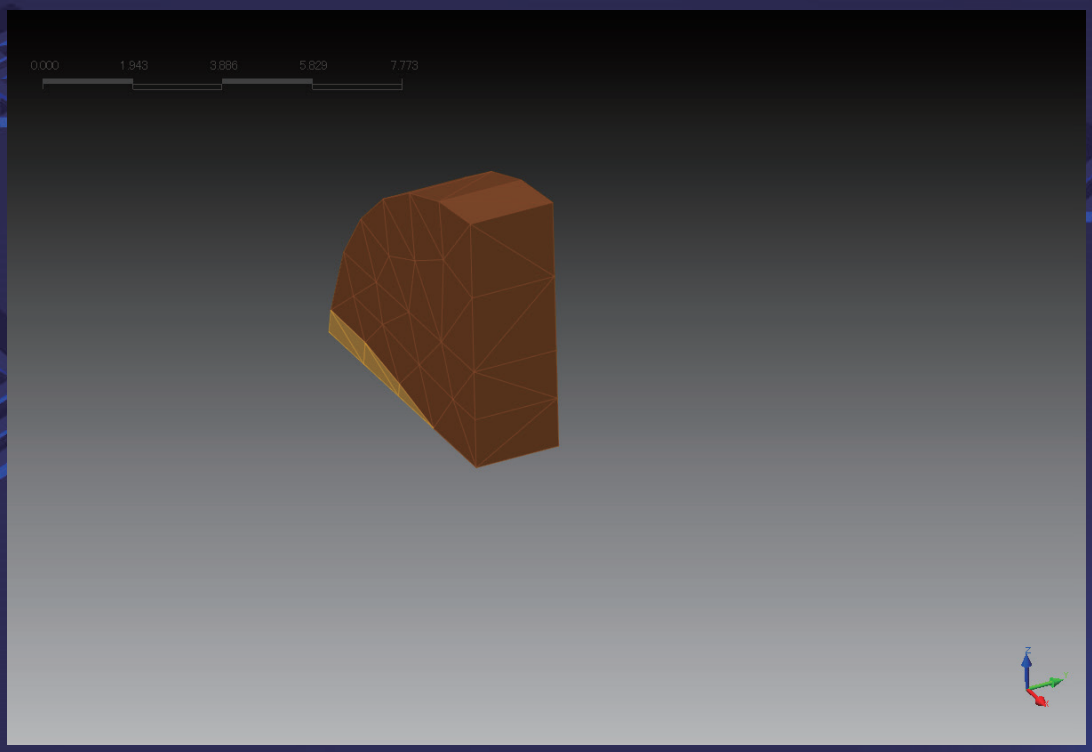
■ ３次元FEMのモデル化



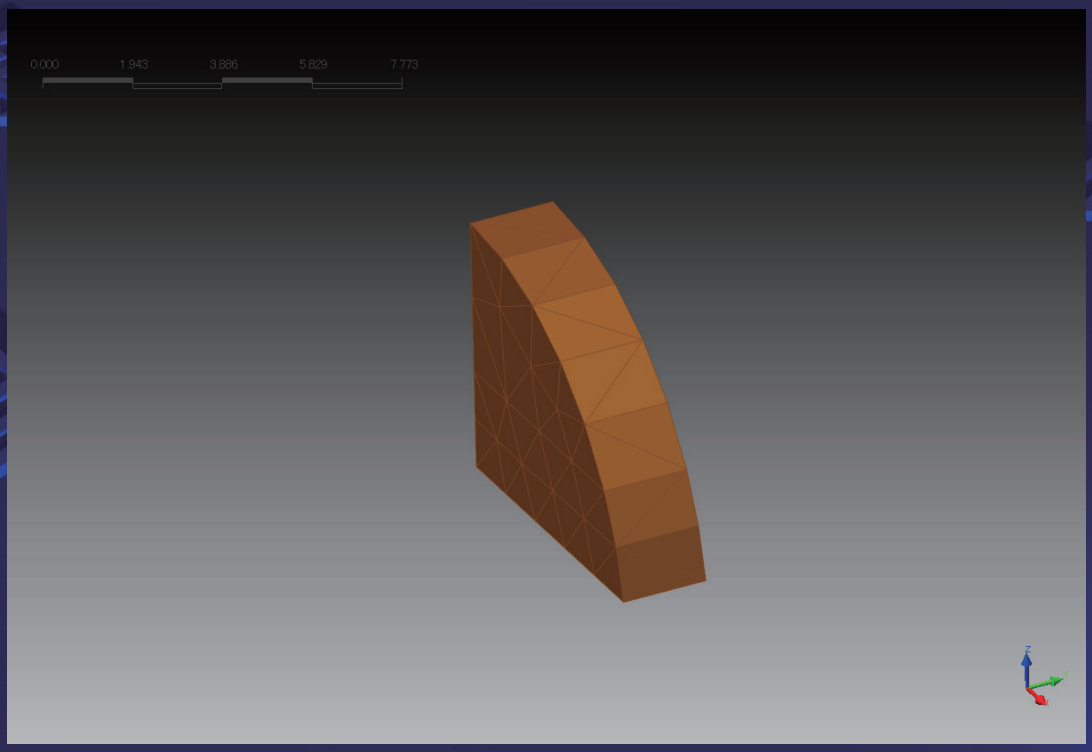
■ 3 次元FEMのモデル化



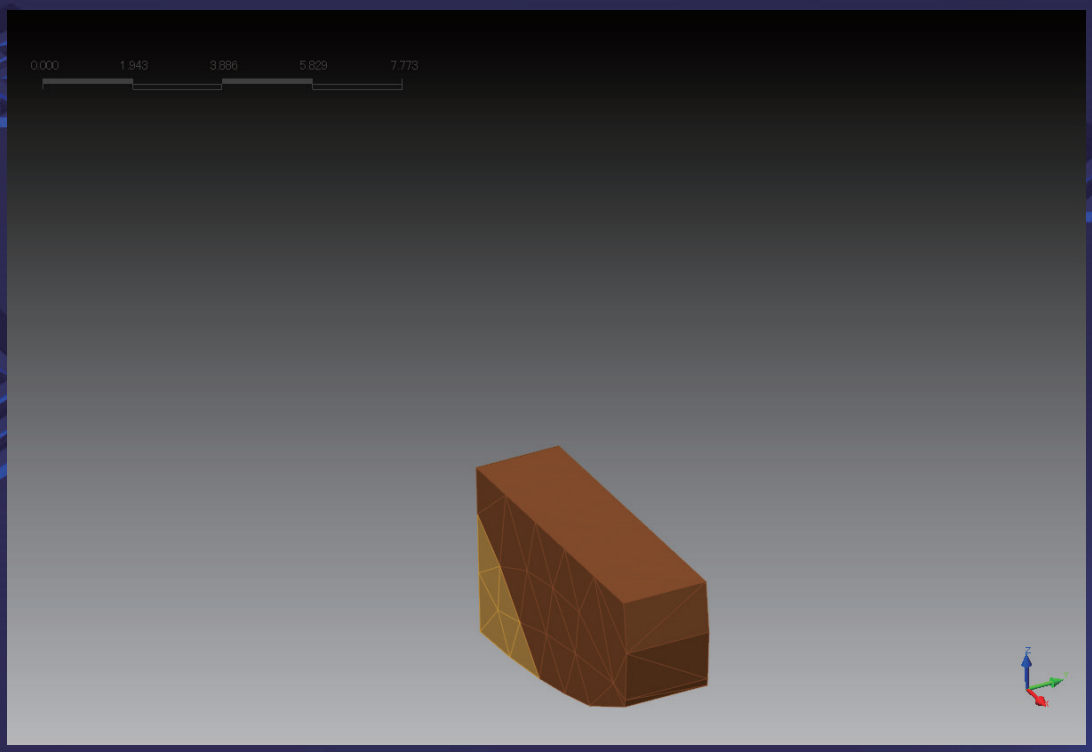
■ 3 次元FEMのモデル化



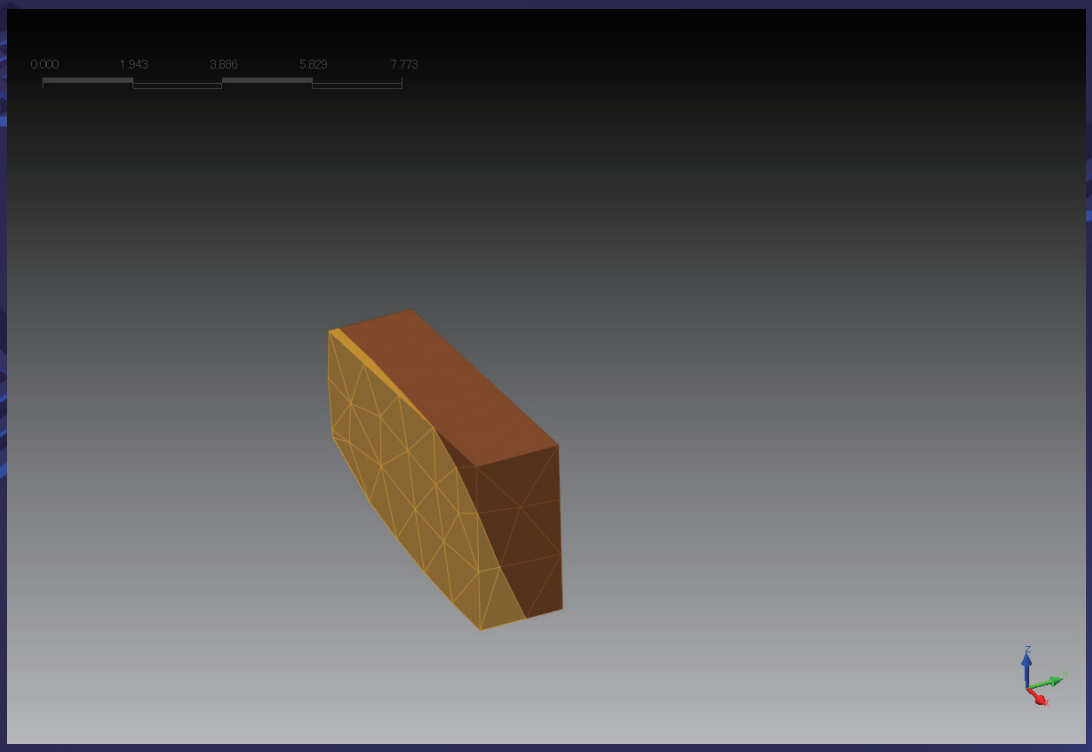
■ ３次元FEMのモデル化



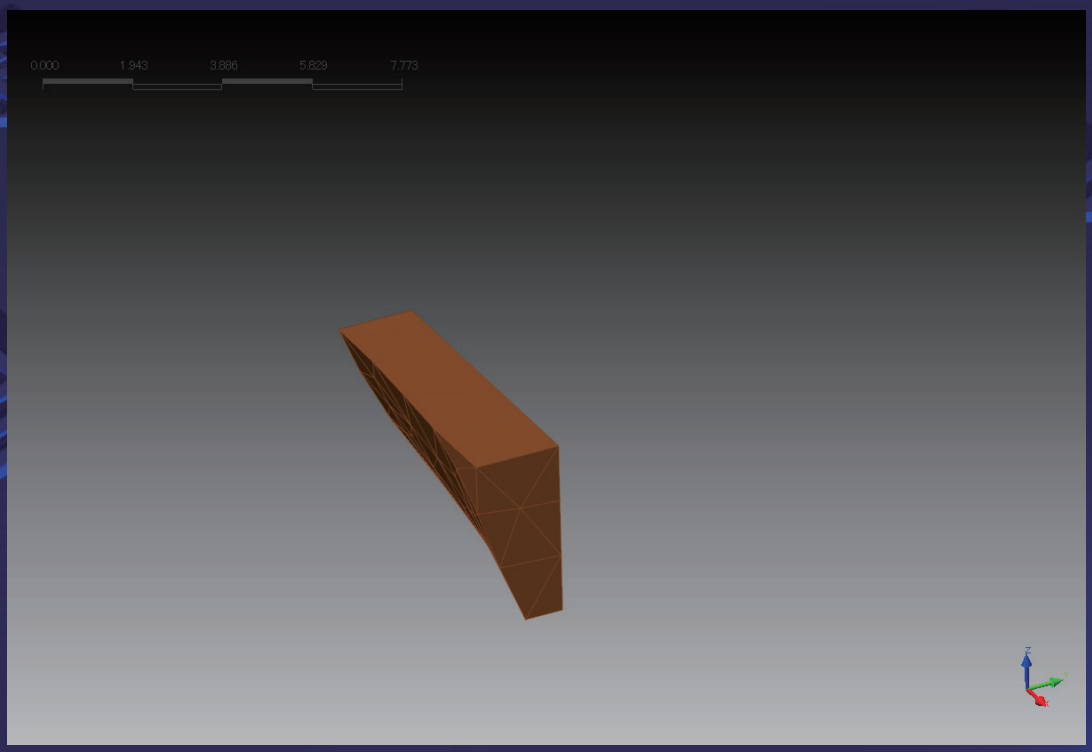
■ ３次元FEMのモデル化



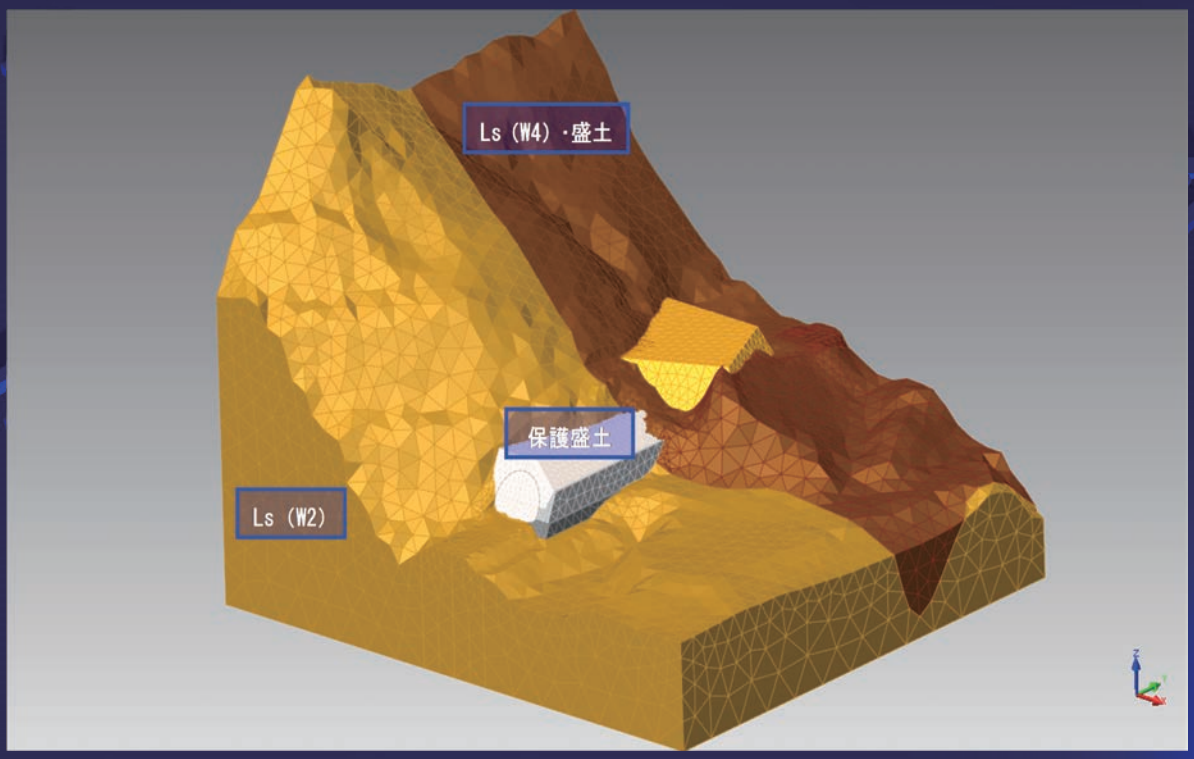
■ 3 次元FEMのモデル化



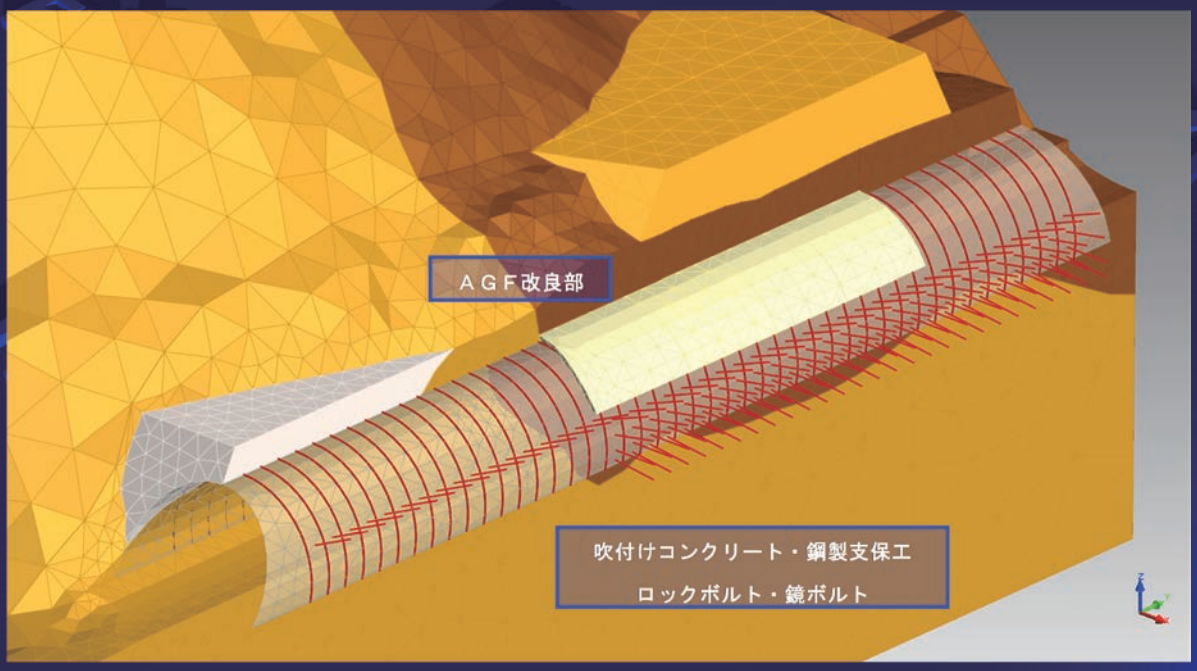
■ 3 次元FEMのモデル化



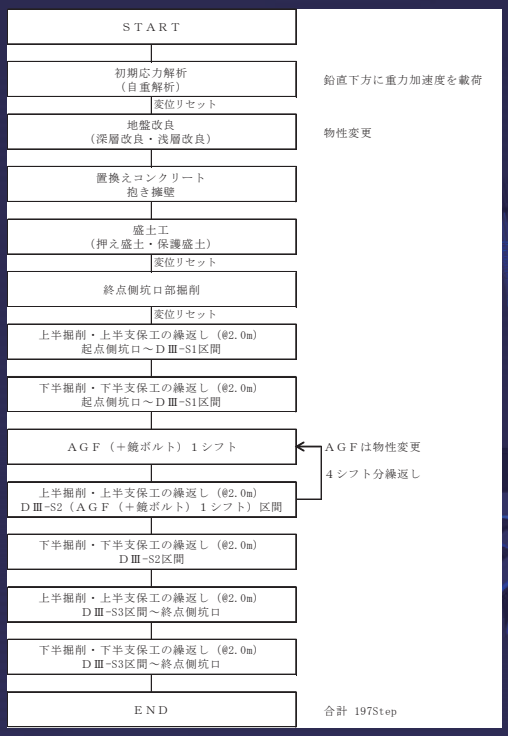
■３次元FEMのモデル化



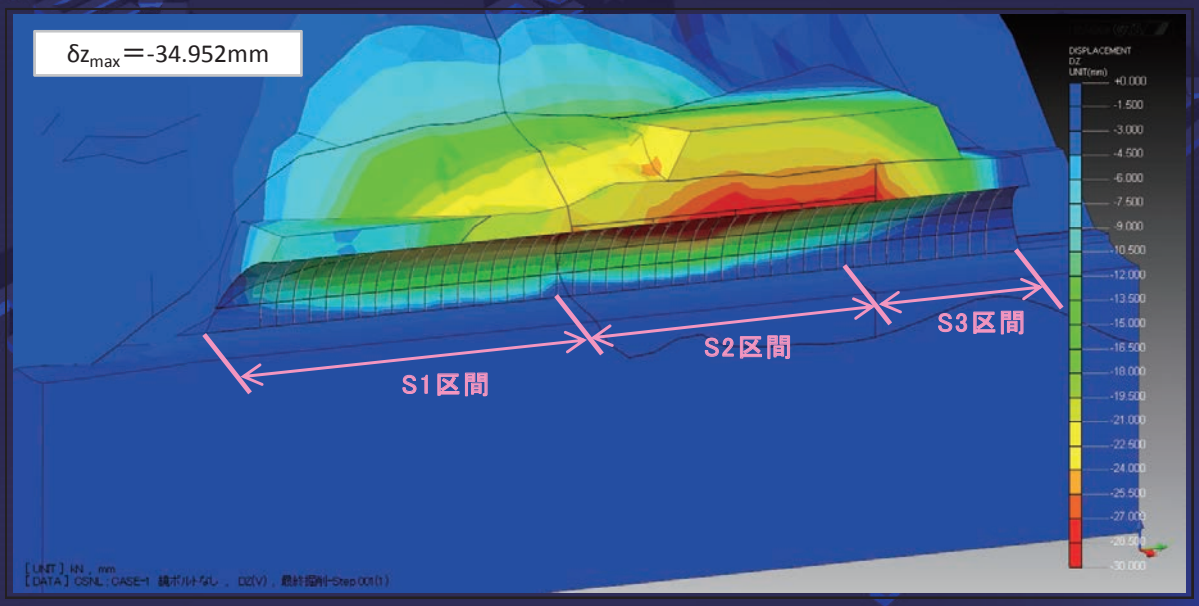
■３次元FEMのモデル化



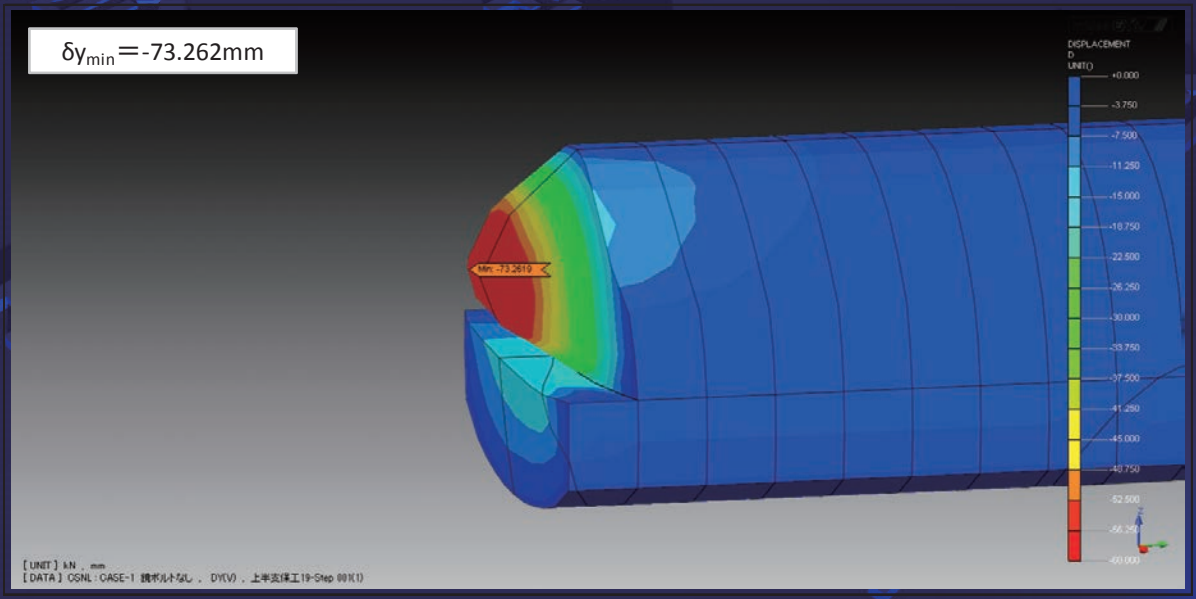
■３次元FEMのモデル化



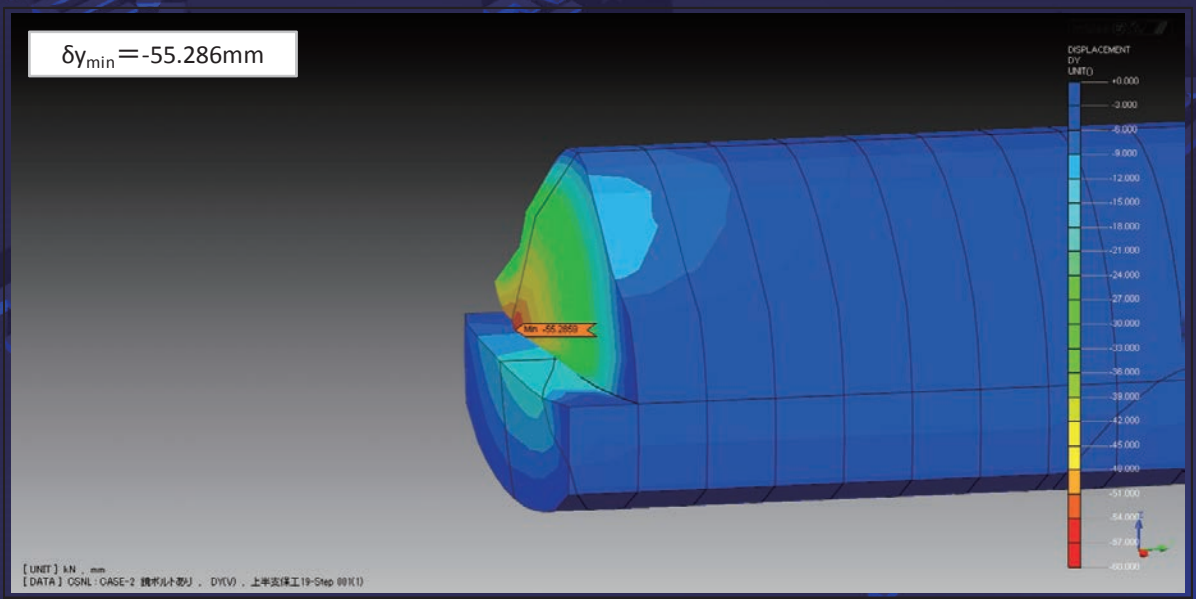
■解析結果の一例



■解析結果の一例

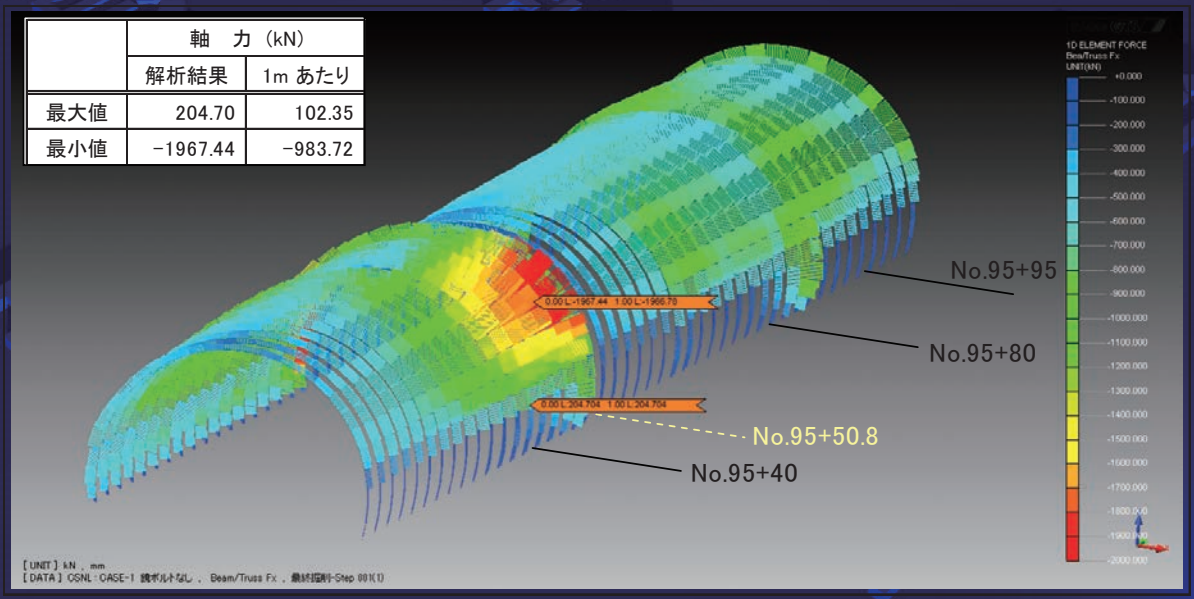


■解析結果の一例



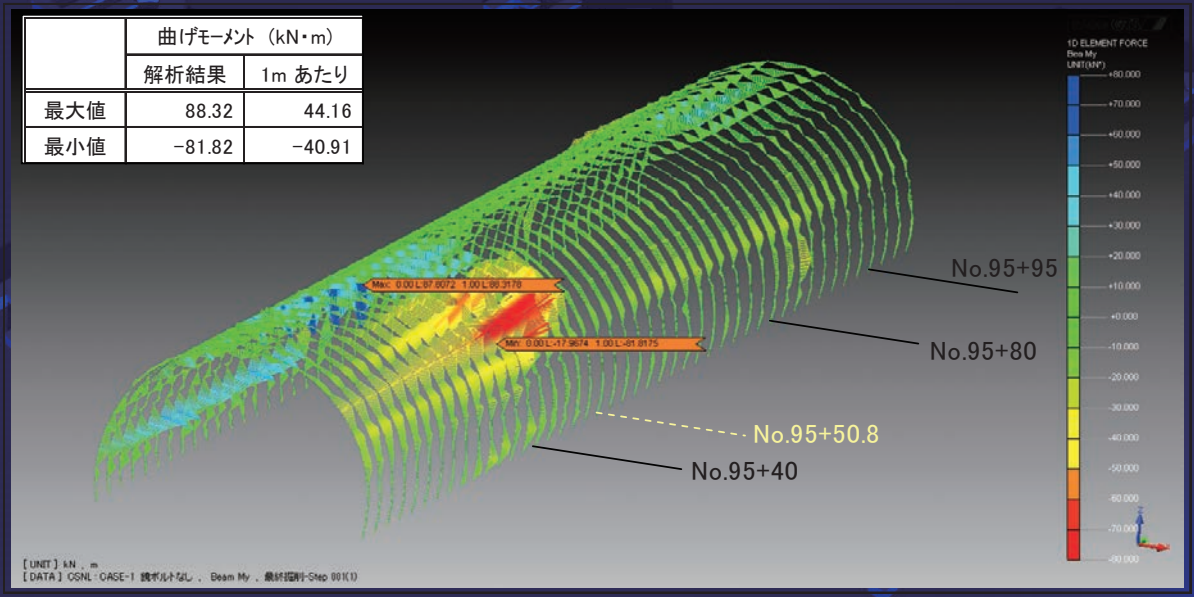
■解析結果の一例

	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

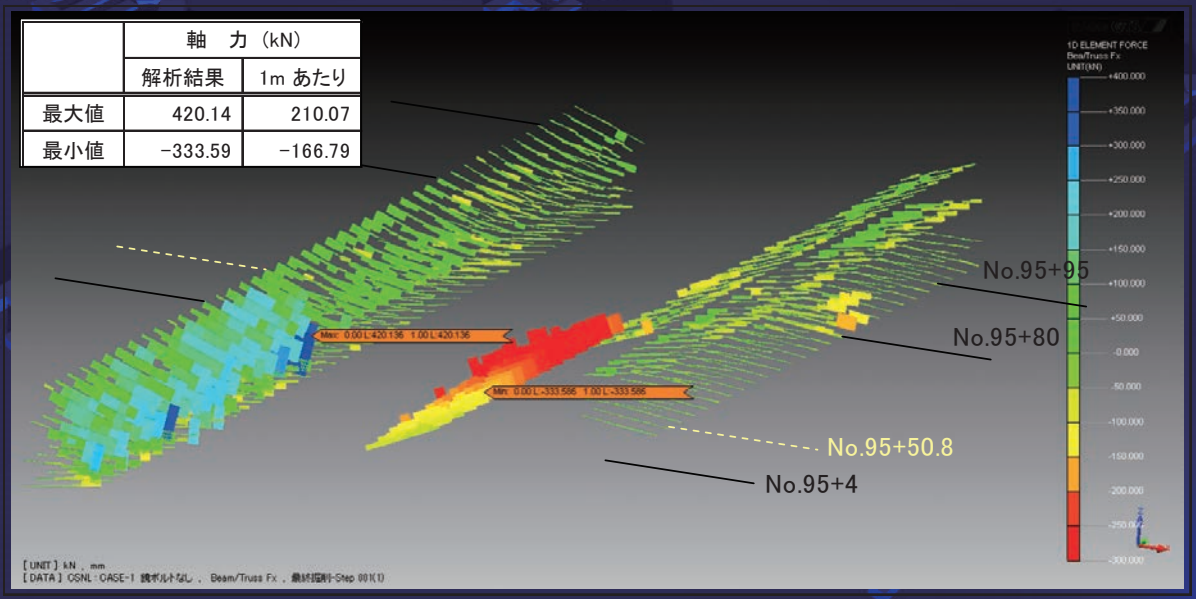


■解析結果の一例

	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!!!

MIDAS CONSTRUCTION TECHNICAL DOCUMENT COLLECTION

GTS NX 実務適用事例集

4. 地盤変形・トンネル分野

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

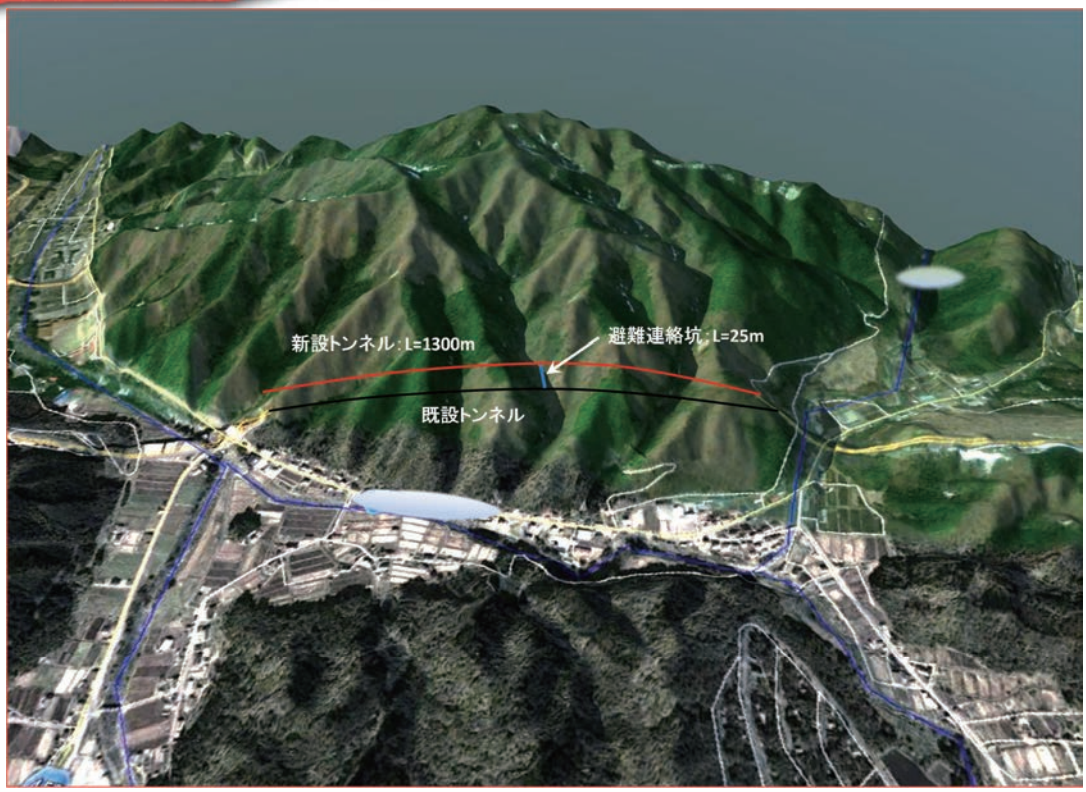
2015年4月22日（水）

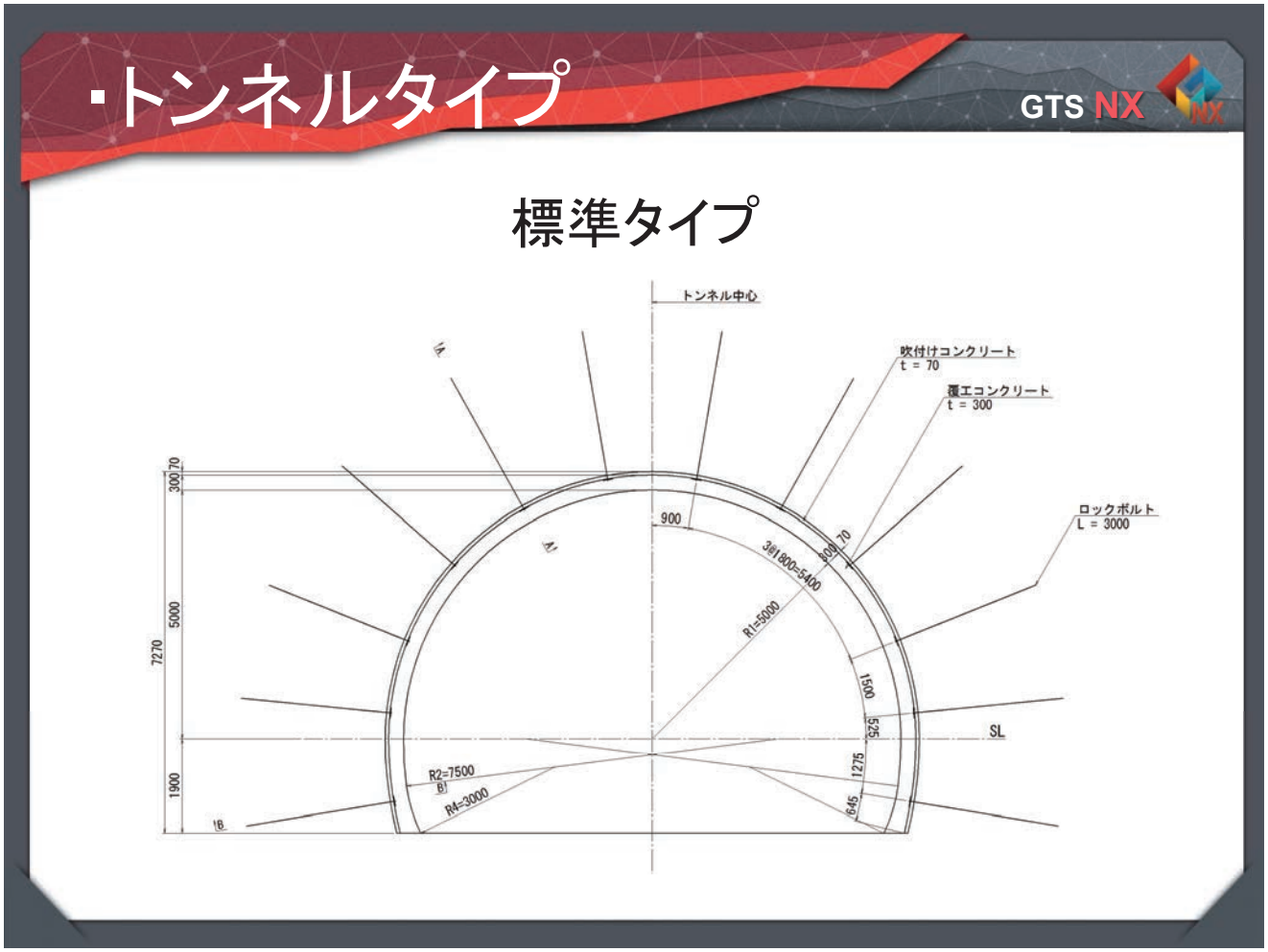
避難連絡坑を考慮した トンネル3次元解析モデル

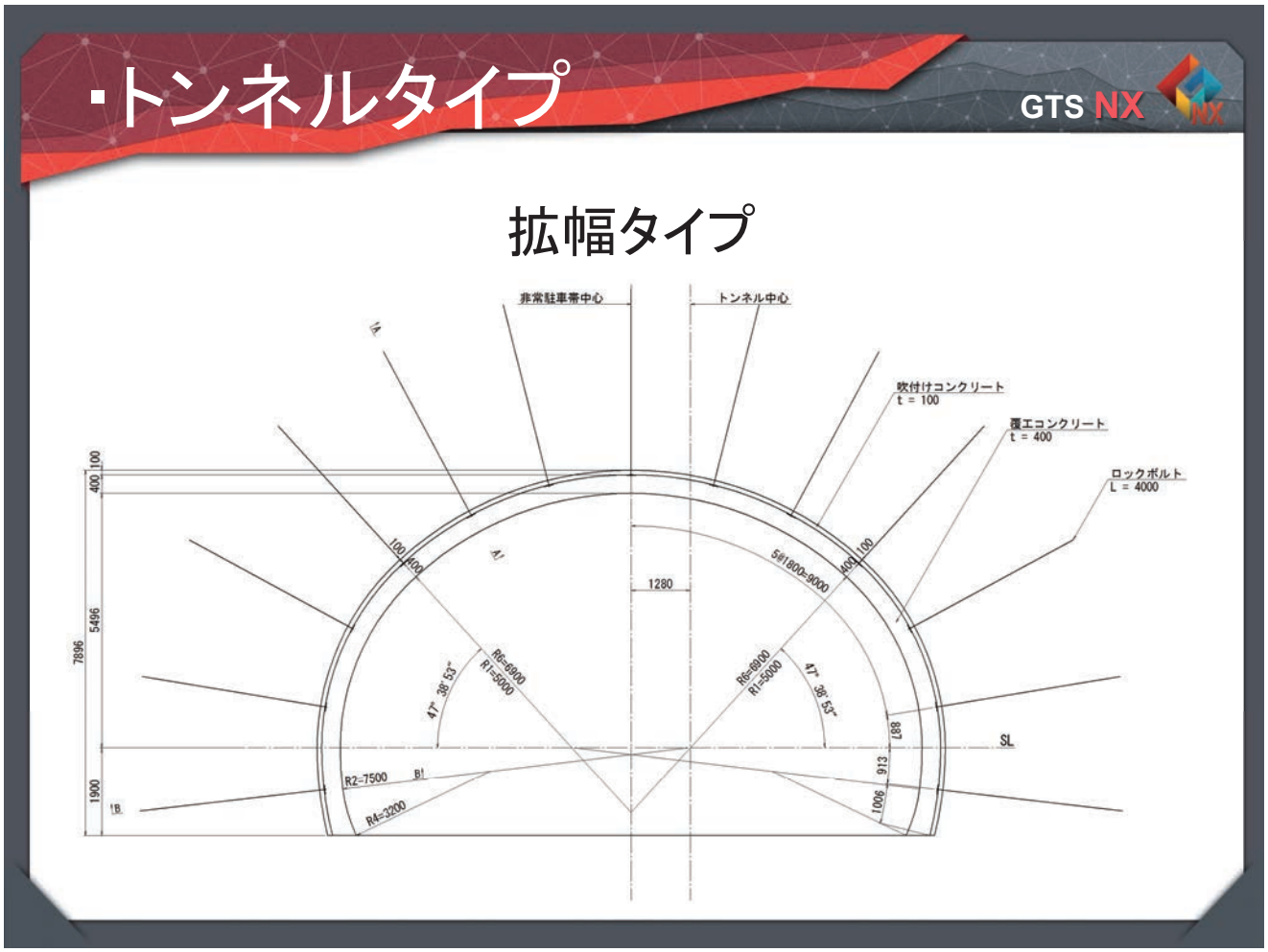
株式会社フジタ
徳永　高志

1.解析概要

GTS NX



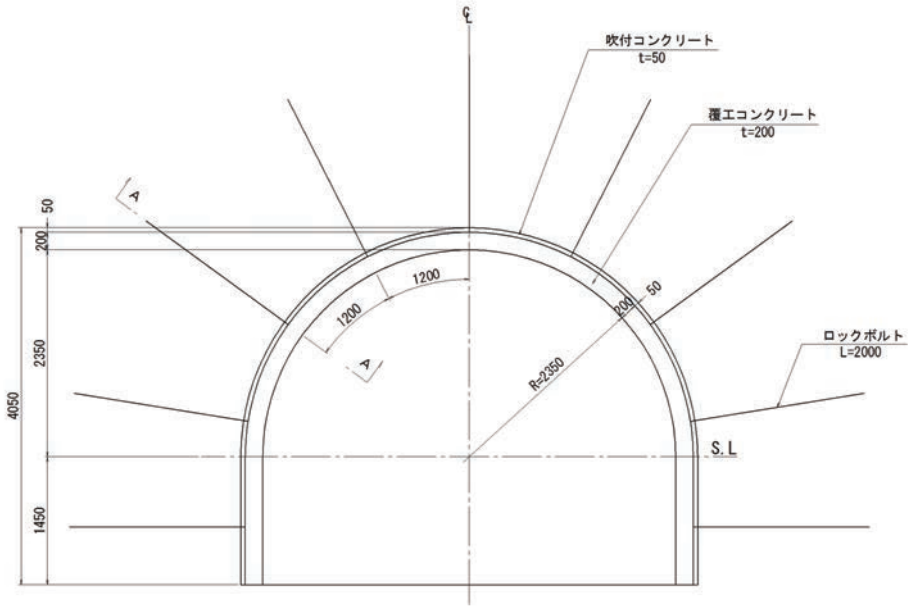

・トンネルタイプ
GTS NX
標準タイプ
トンネル中心
吹付けコンクリート
t = 70
覆エコンクリート
t = 300
ロックボルト
L = 3000
900
3@1800=5400
R1=5000
R2=7500
R4=3000
SL
7270
5000
1900
300
70
1500
525
1275
645


・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
覆エコンクリート
t = 400
ロックボルト
L = 4000
1280
5@1800=9000
R6=6900
R1=5000
47° 38' 53"
R2=7500
R4=3200
SL
7896
5496
1900
400
100
887
913
1006

・トンネルタイプ

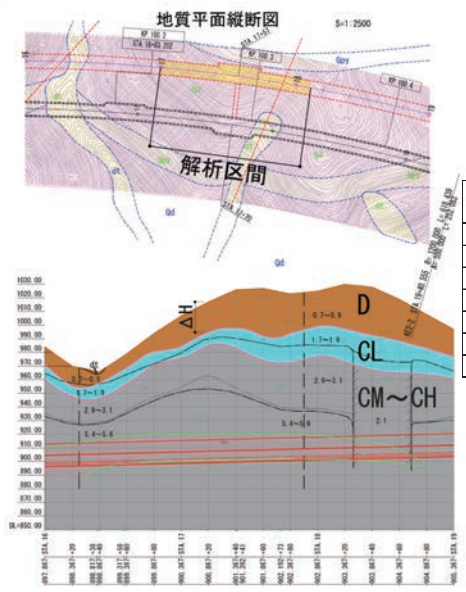
GTS NX

避難連絡坑



・地質縦断図

GTS NX



岩 級 区 分		N値	単位体積重量	変形係数：E_0	ポアソン比	粘着力	内部摩擦角	備　考
			γ (kN/m^3)	(kN/m^2)	ν	C (kN/m^2)	ϕ (°)	
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
	CI-a(H)-B	B-a(H)-B	CI-B(H)-L	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

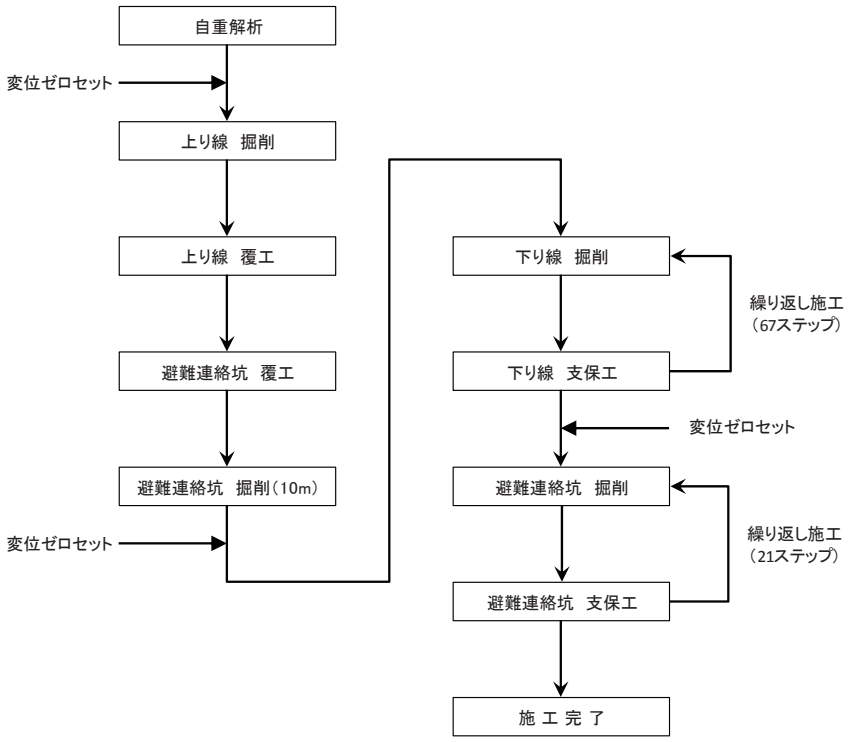
・解析条件

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

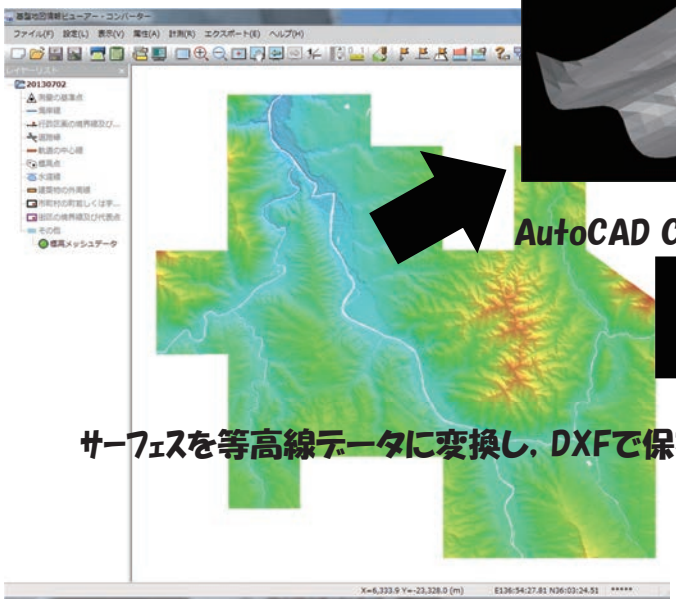


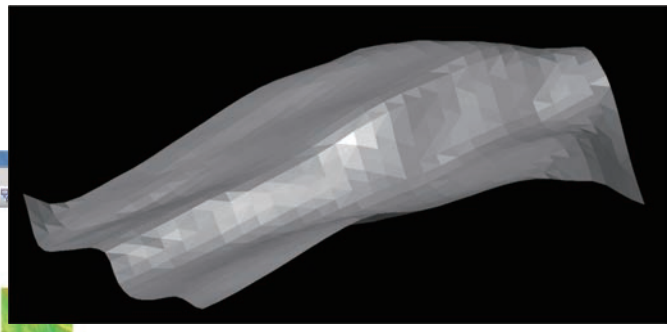
2.モデル作成

GTS NX

・地表面データの取込

★国土地理より無料で入手





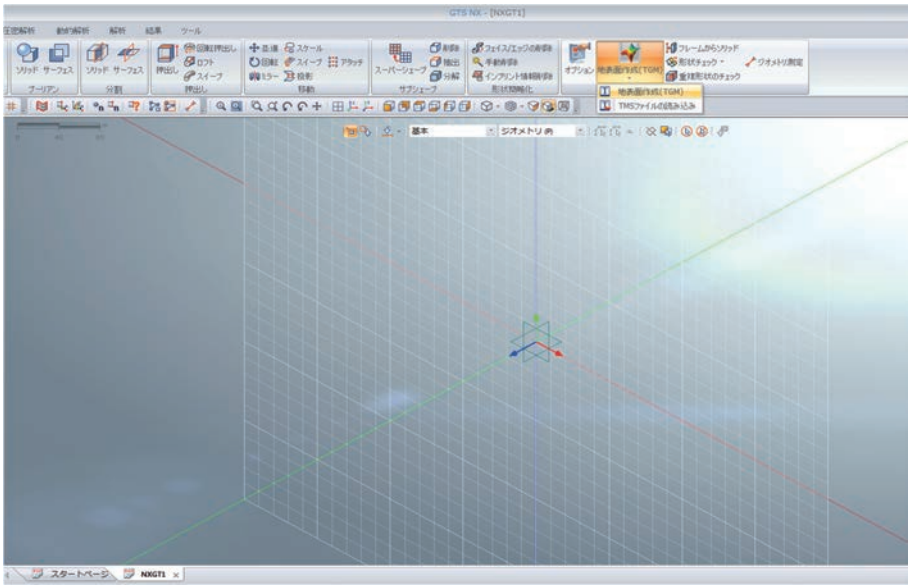
AutoCAD Civil3Dに取込み，サーフェスを作成！

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

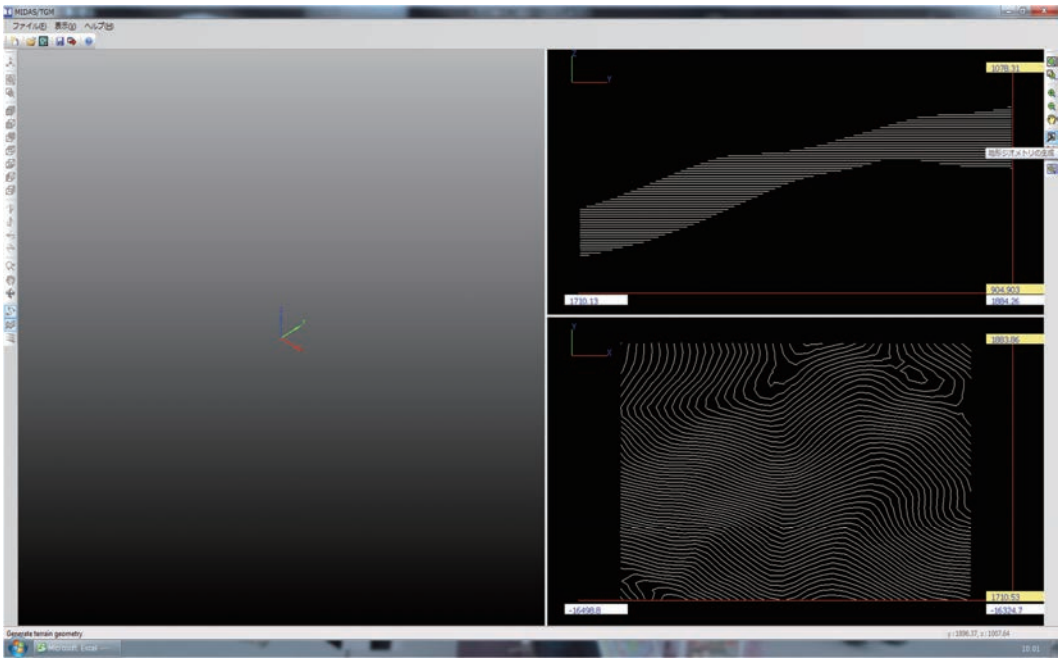
ジオメトリ → ツール → 地表面作成(TGM)を開く！



サーフェスの取込

GTS NX

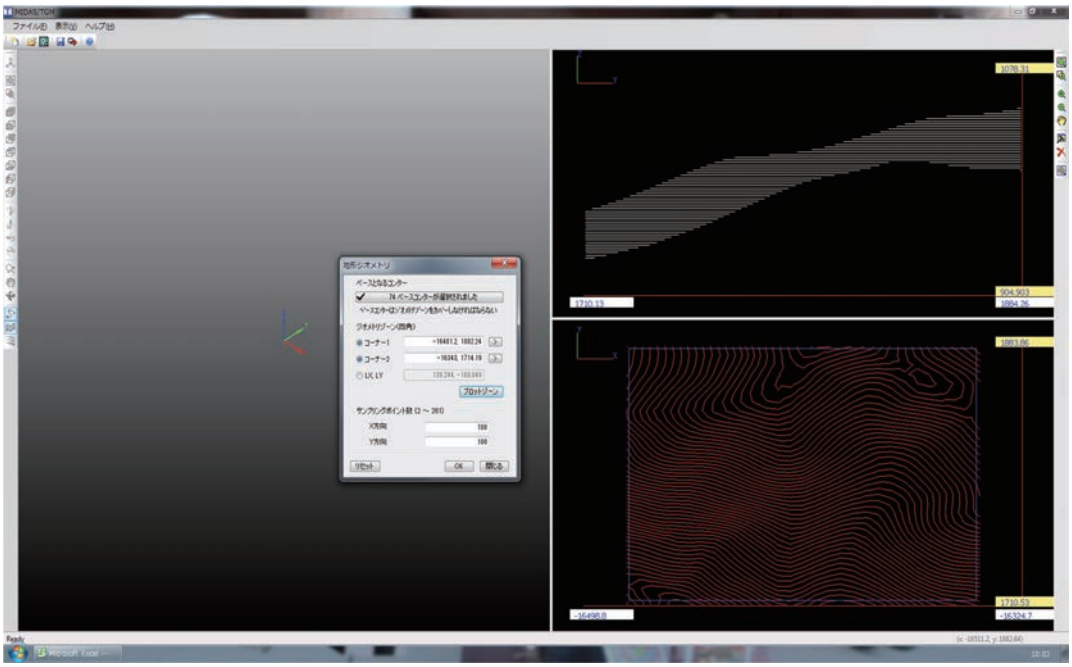
DXFファイルを開く



サーフェスの取込

GTS NX

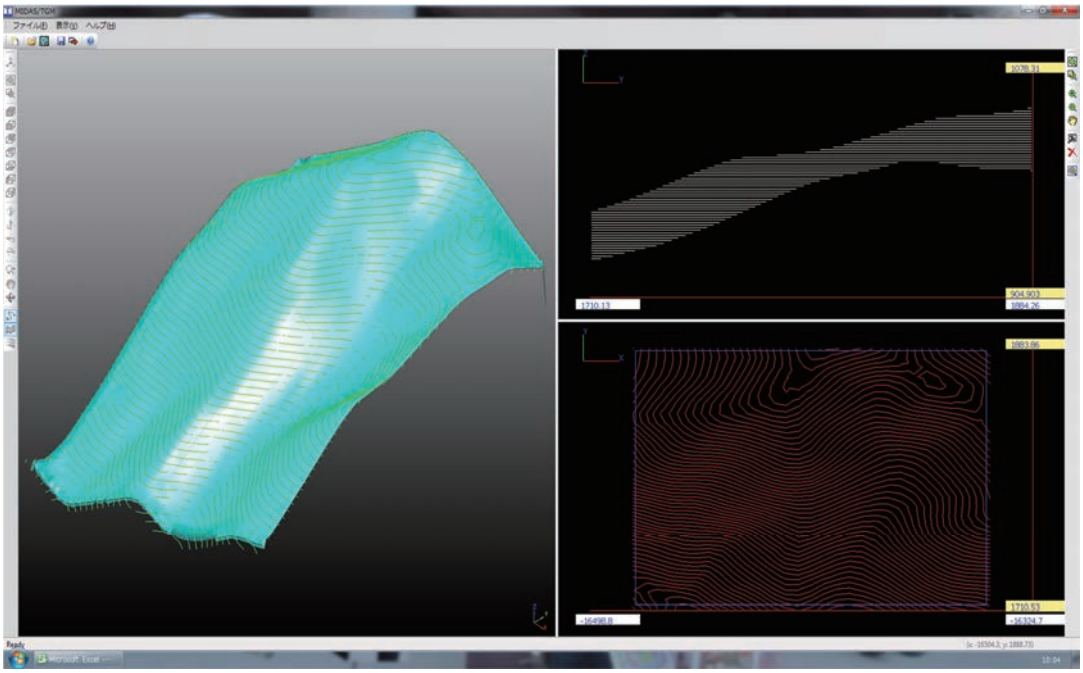
ベースコンタおよびプロットエリアの設定



サーフェスの取込

GTS NX

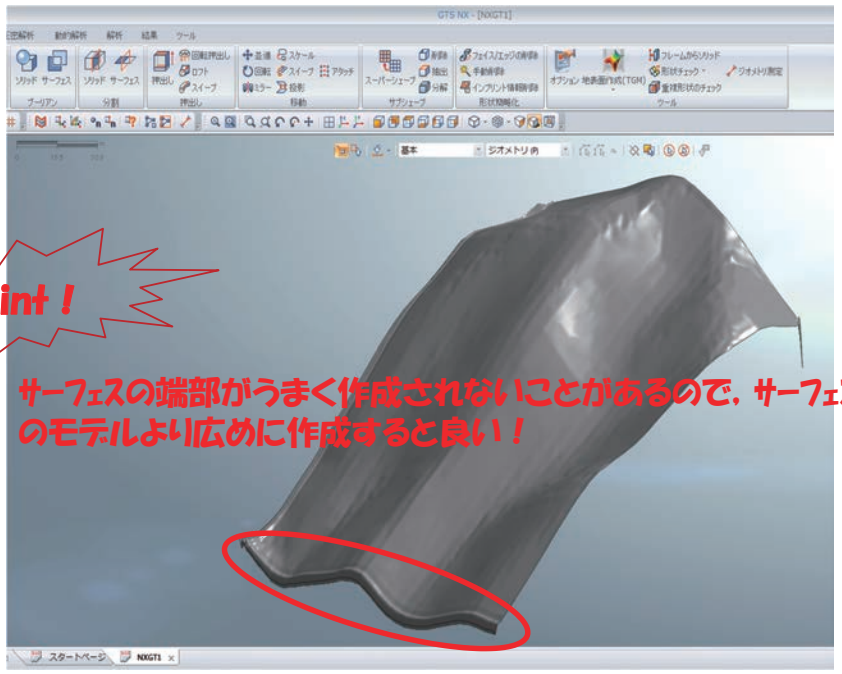
サーフェスの作成　→　サーフェスの書出しでTMSファイルで保存！



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！



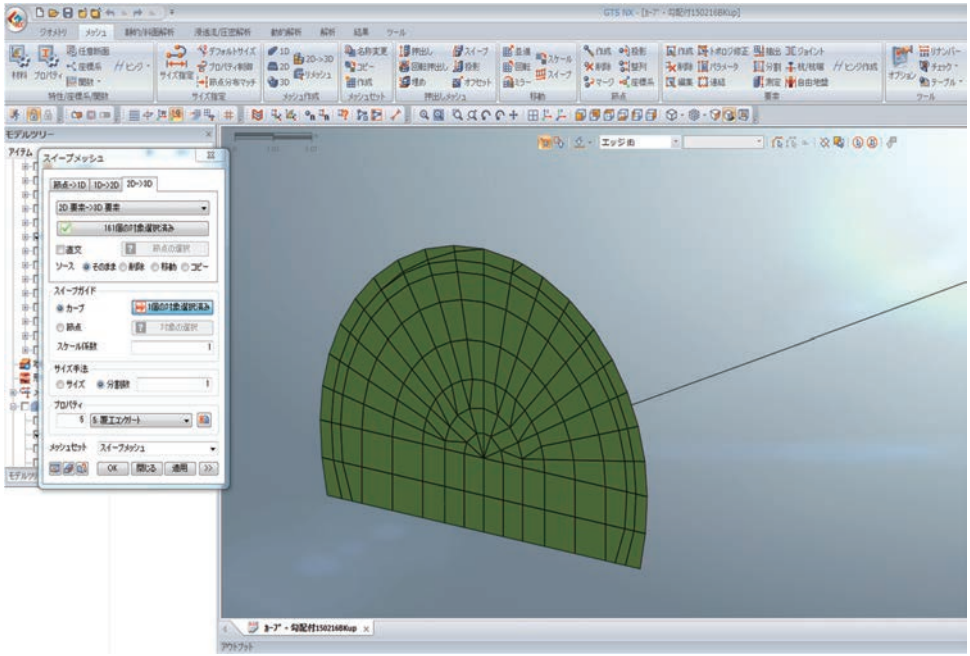
Point！

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！

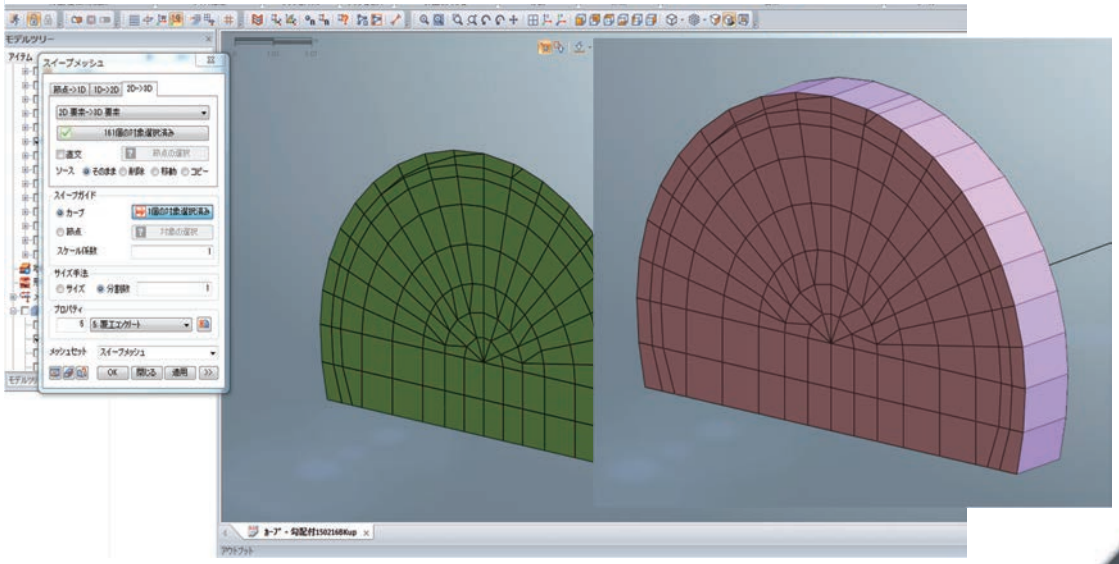


トンネルメッシュ

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！

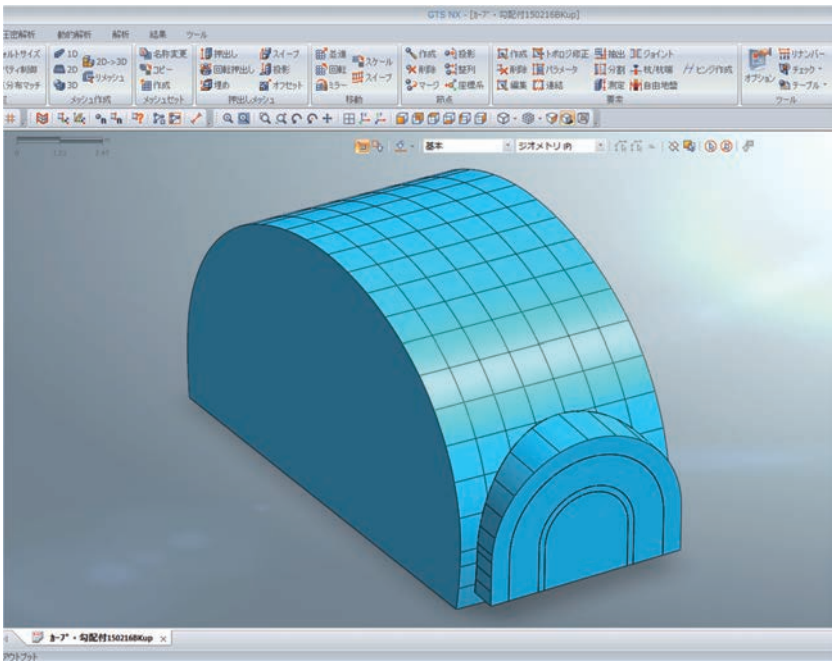


避難連絡坑接続部

GTS NX

まず，接続部のソリッドを作成

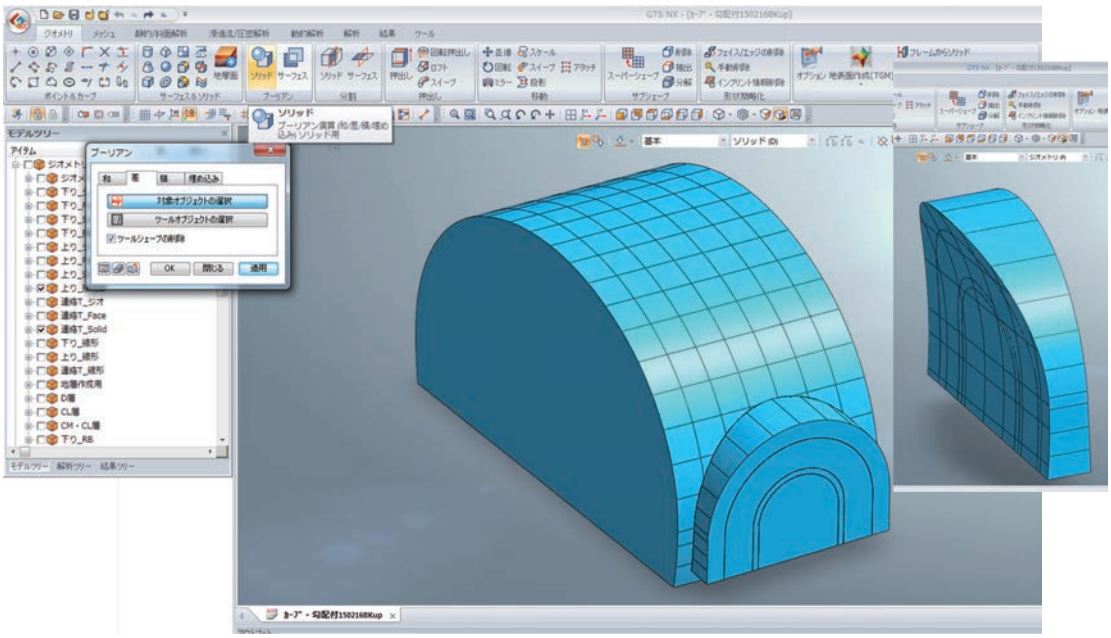
Point：この時，ソリッドは掘削長単位，外形はメッシュと同じ形状！



避難連絡坑接続部

GTS NX

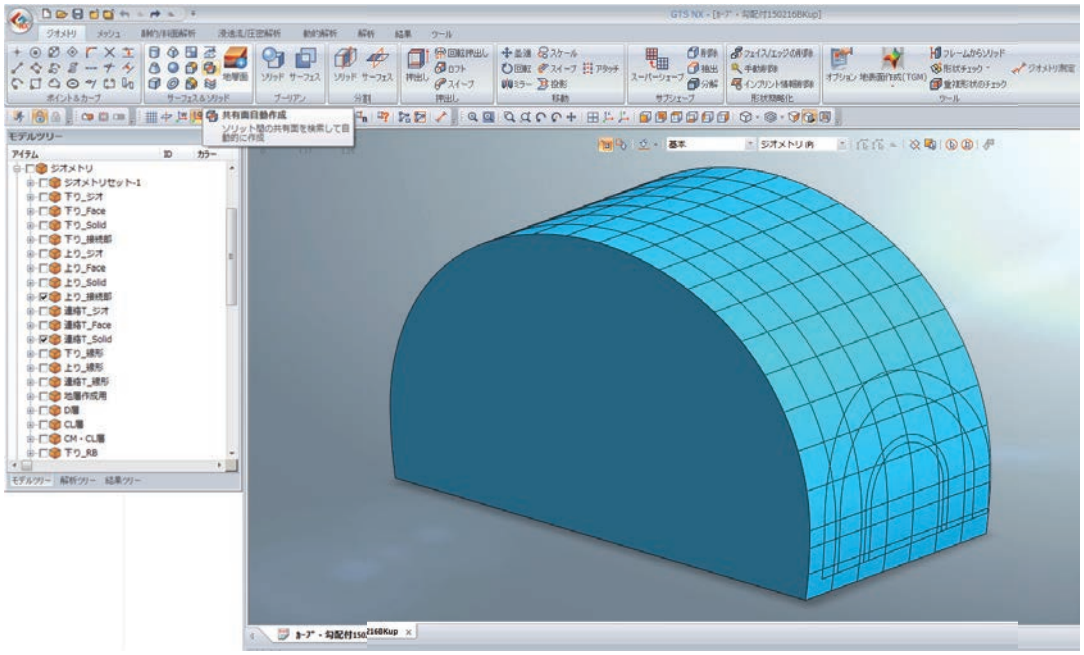
ジオメトリ → ブーリアン → 差　の機能を使い，連絡のソリッドを本設トンネル形状とする



避難連絡坑接続部

GTS NX

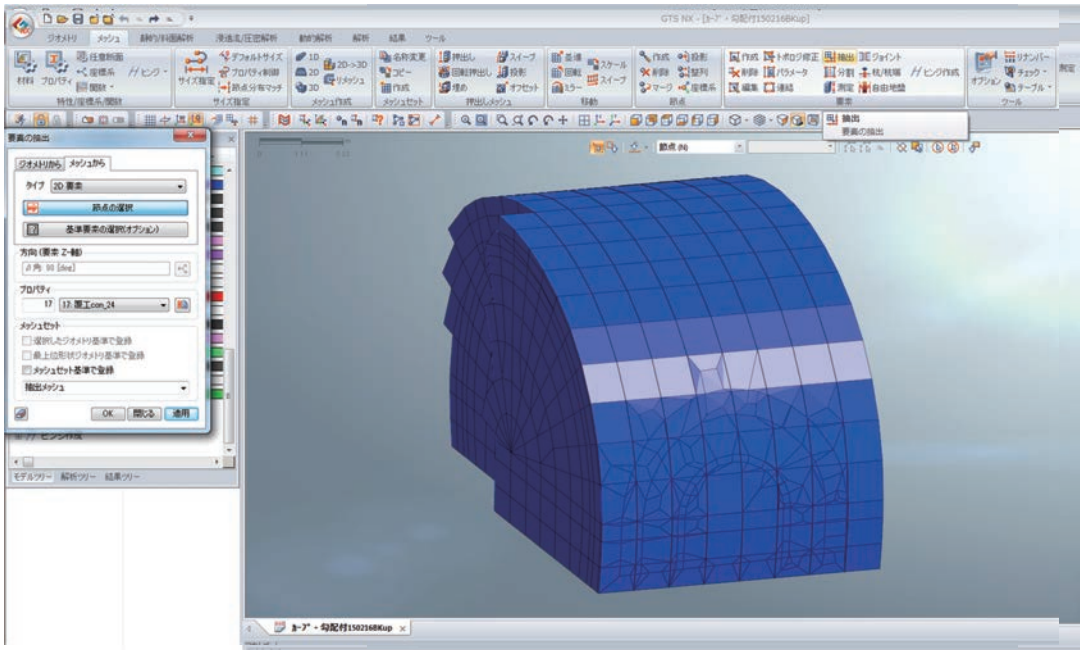
作成したソリッドを共有面自動作成で，共有する！
→ その後，自動メッシュでメッシュを作成！



避難連絡坑接続部

GTS NX

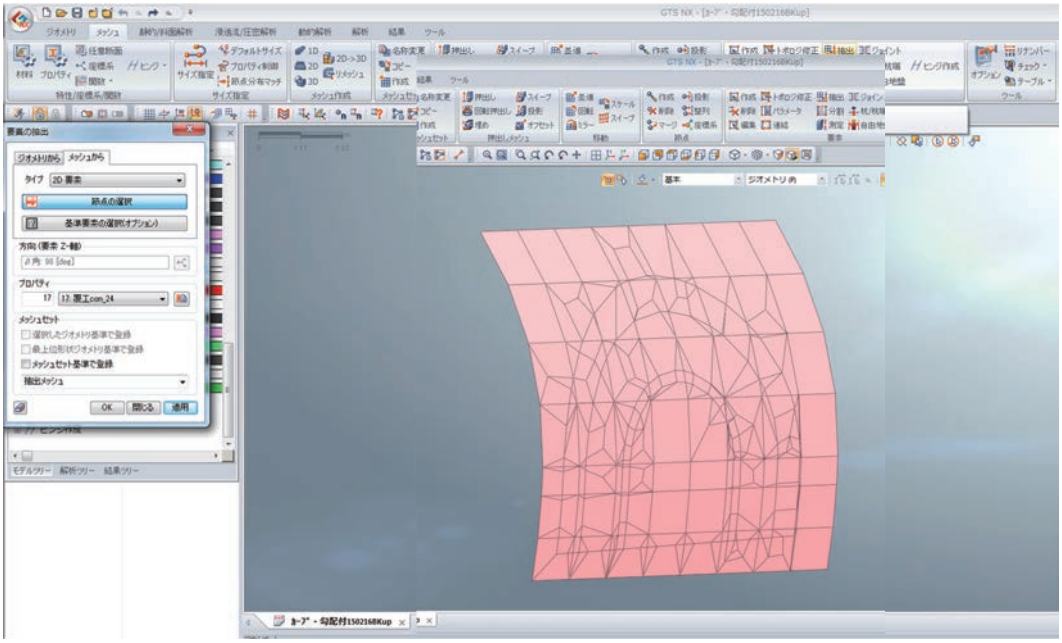
作成したソリッドを共有面自動作成で，共有する！
→ その後，自動メッシュでメッシュを作成！



避難連絡坑接続部

GTS NX

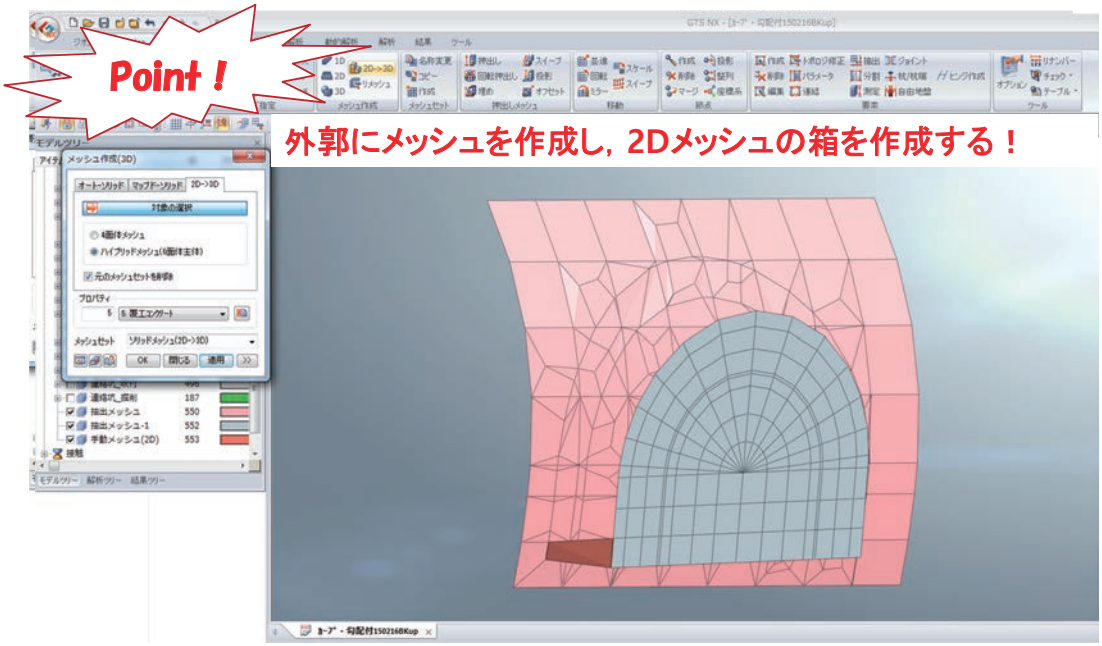
3Dメッシュから接続部の2Dメッシュを抽出する！
※メッシュ → 要素 → 抽出

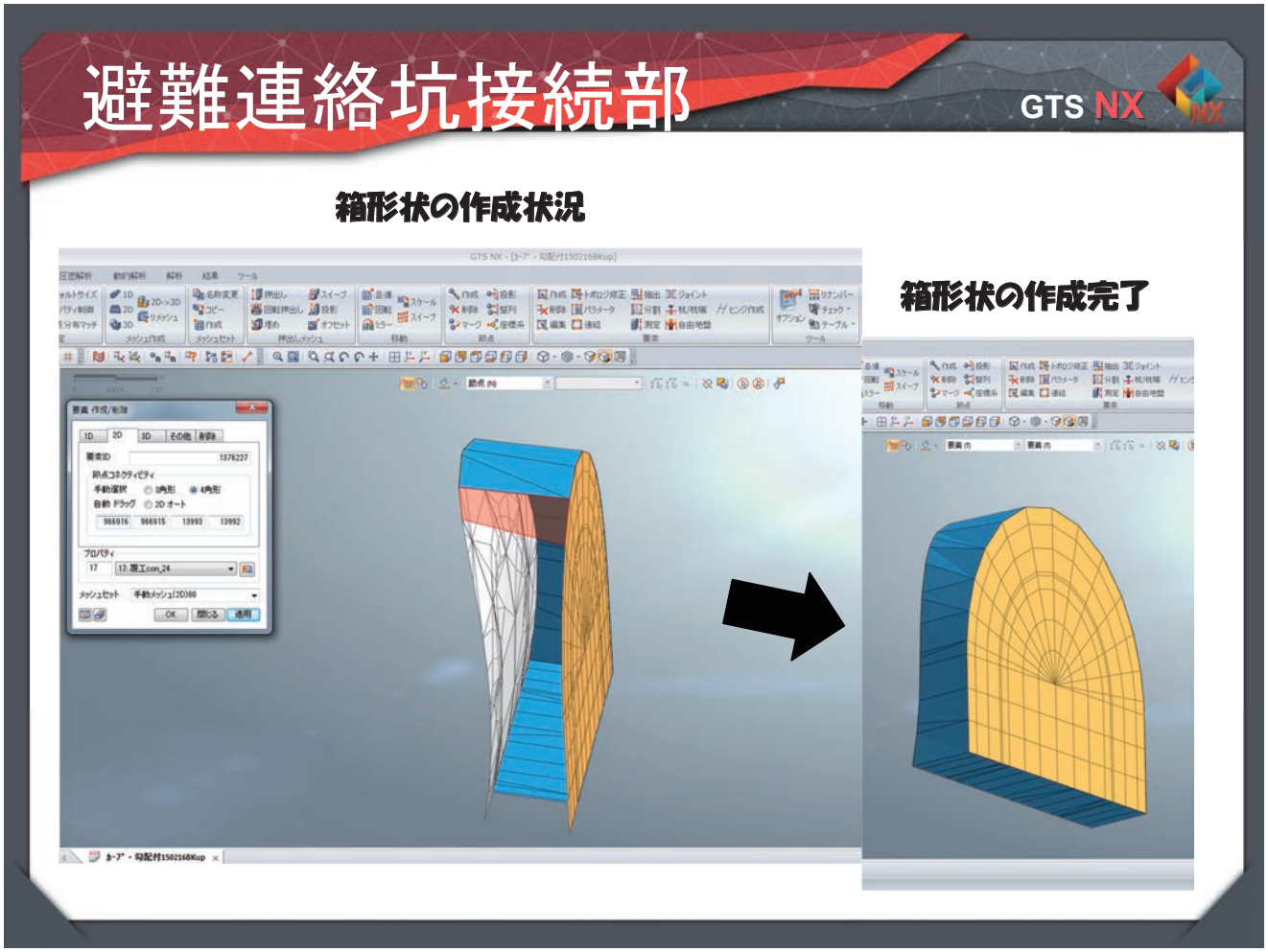


避難連絡坑接続部

GTS NX

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



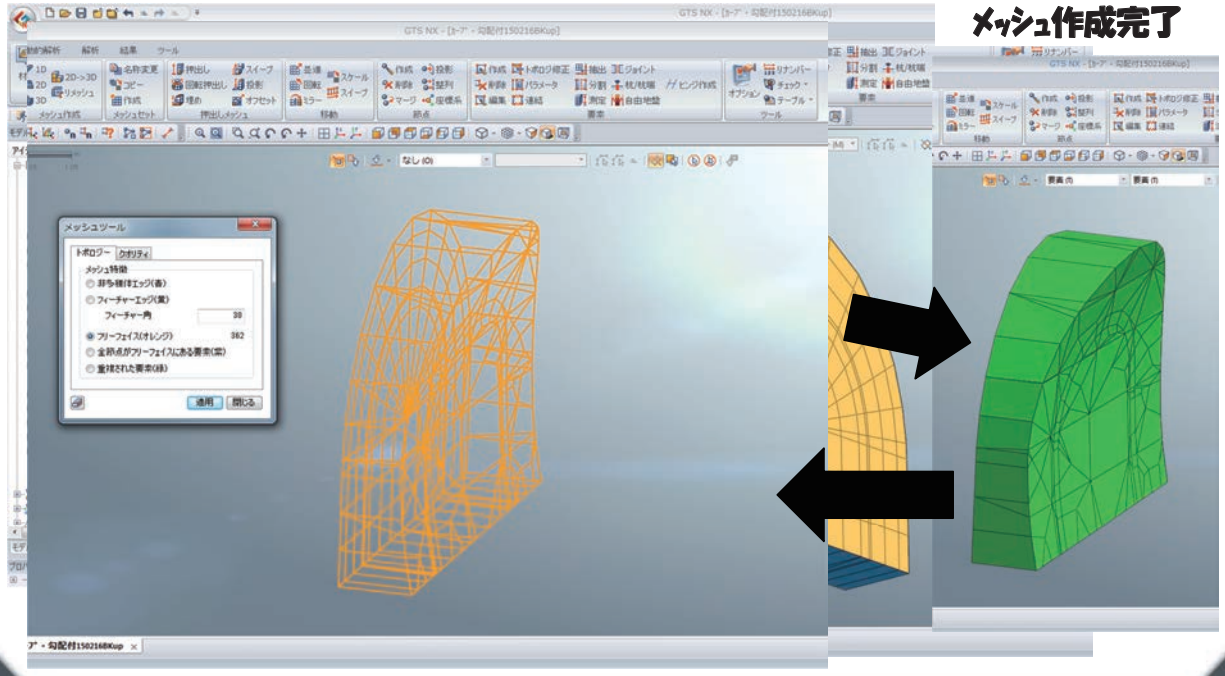

避難連絡坑接続部
GTS NX
箱形状の作成状況
箱形状の作成完了

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

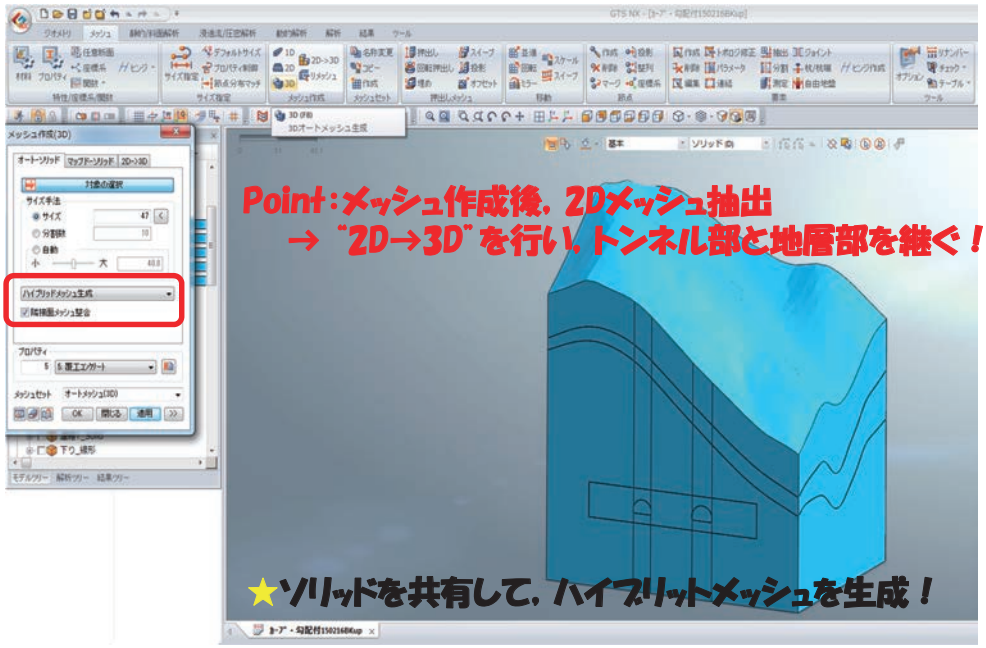
重要：メッシュ作成後，フリーフェイスの有無のcheck!
※メッシュ → ツール→ チェック → トポロジー

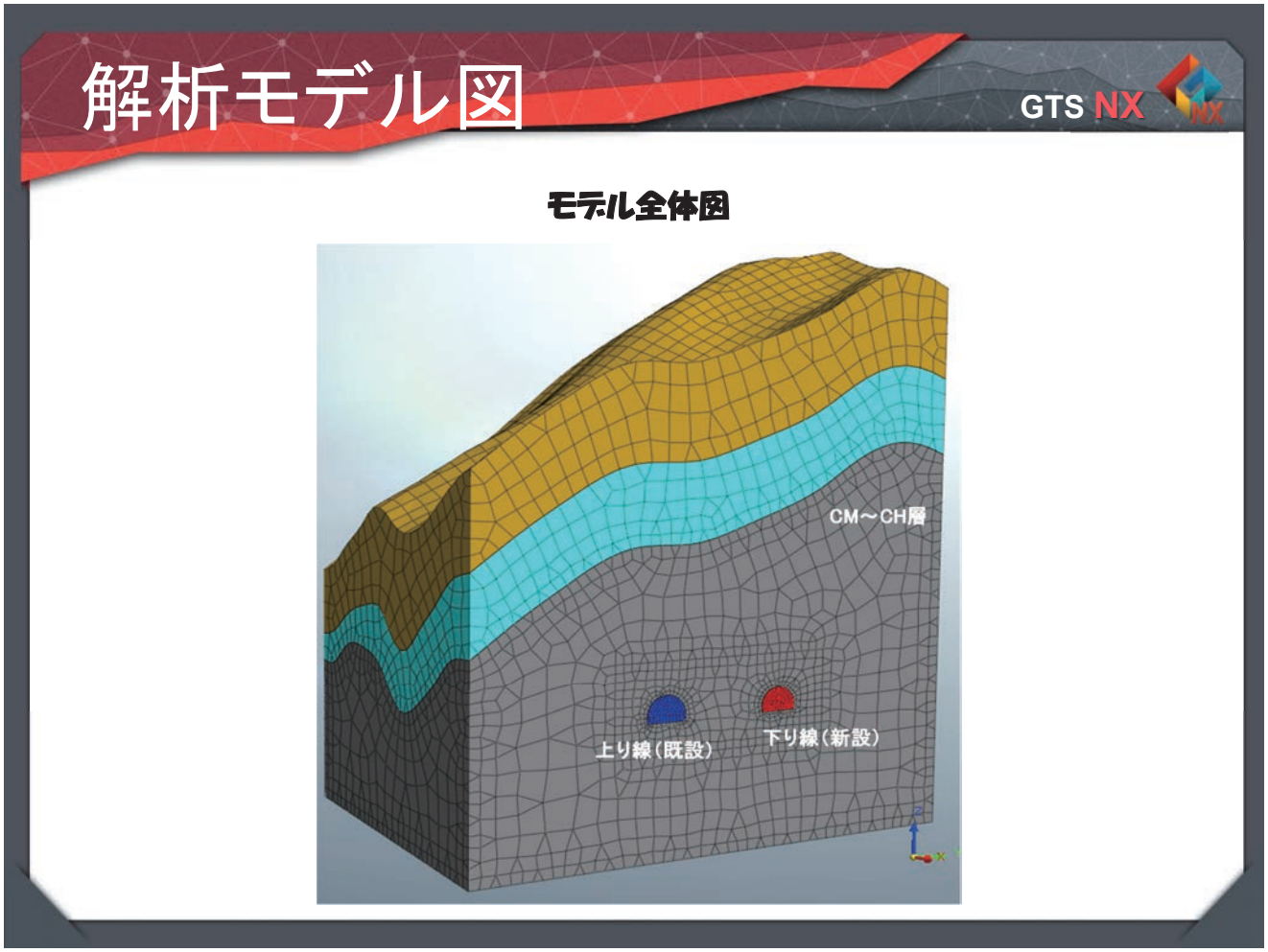


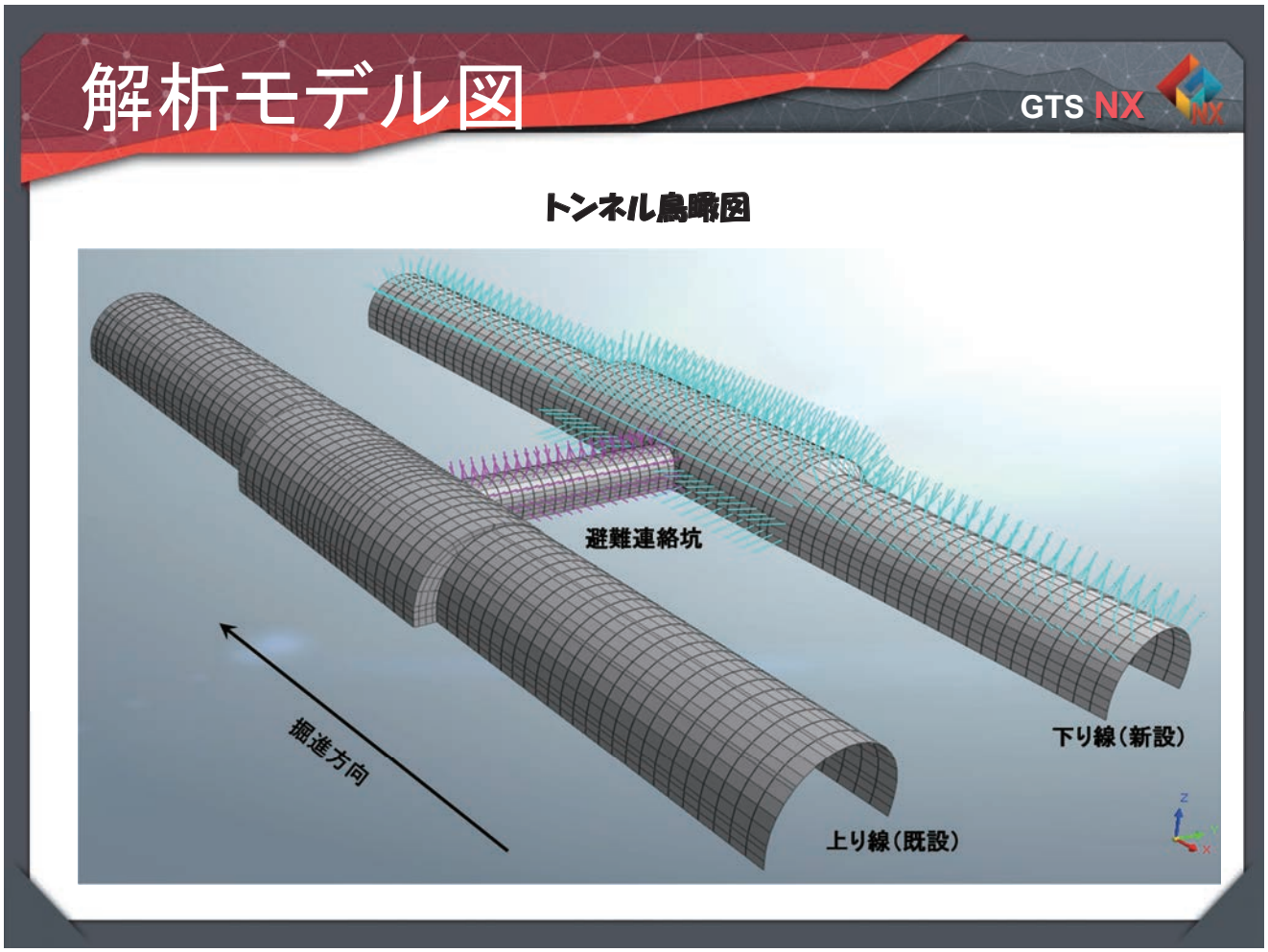
地層メッシュ

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！



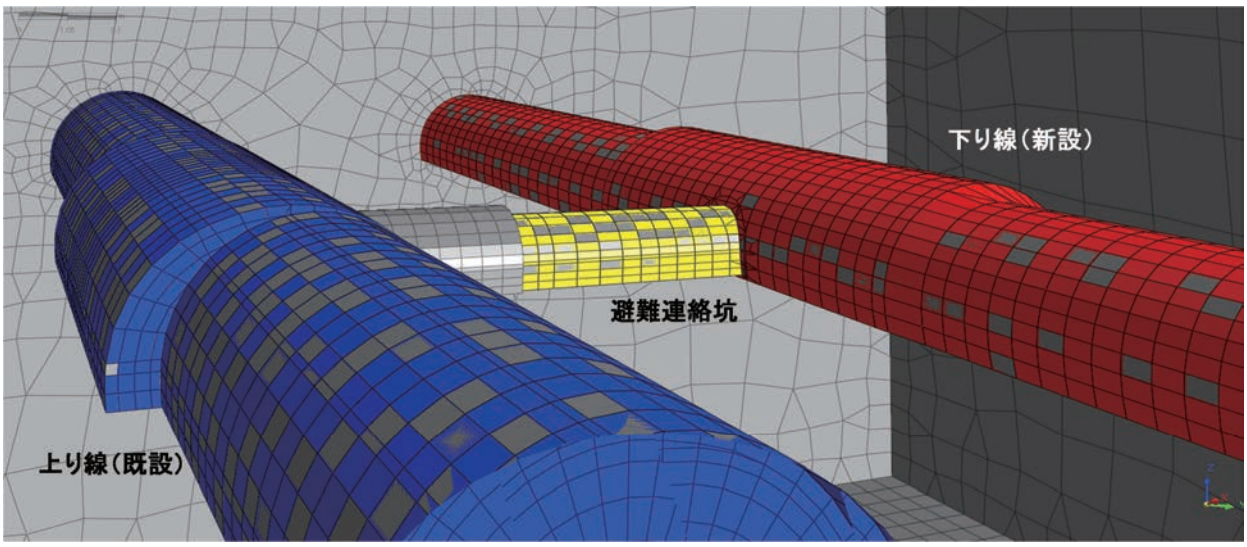

解析モデル図
GTS NX
モデル全体図
CM～CH層
上り線（既設）
下り線（新設）


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

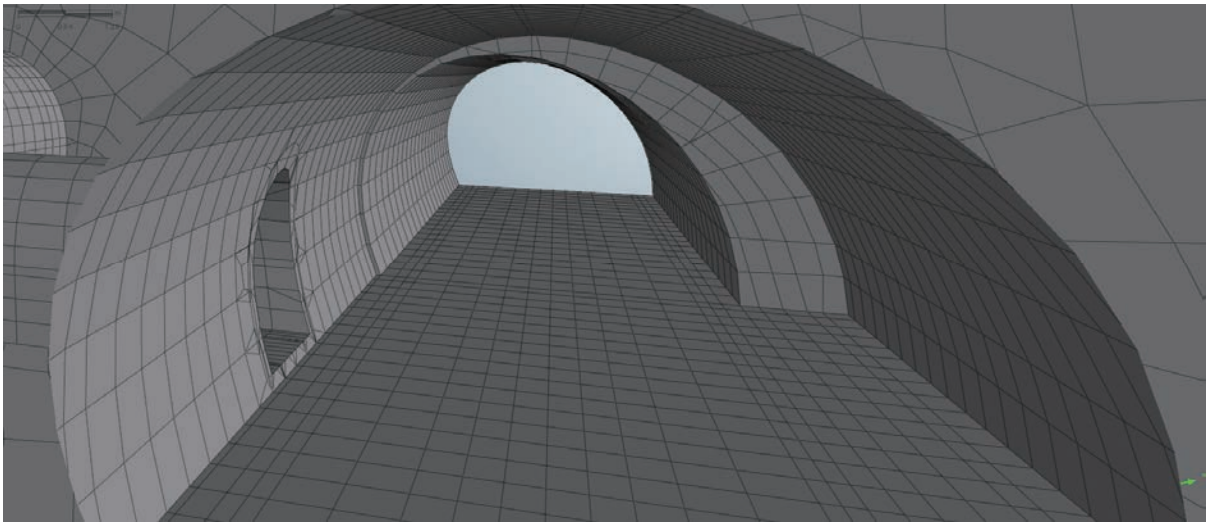
トンネルモデル（地層内部ビュー）



解析モデル図

GTS NX

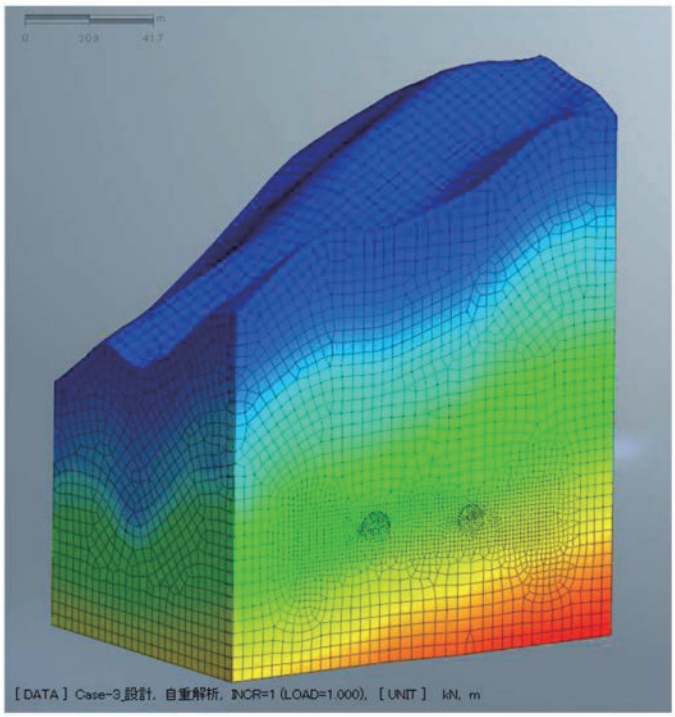
トンネル内部モデル



3.解析結果図

GTS NX

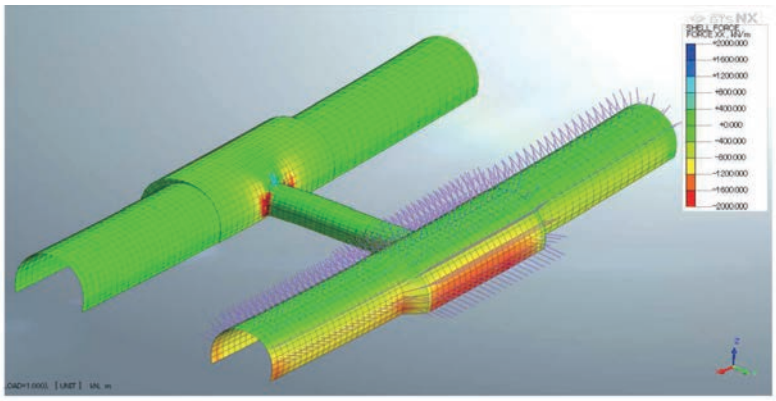
自重解析結果



3.解析結果図

GTS NX

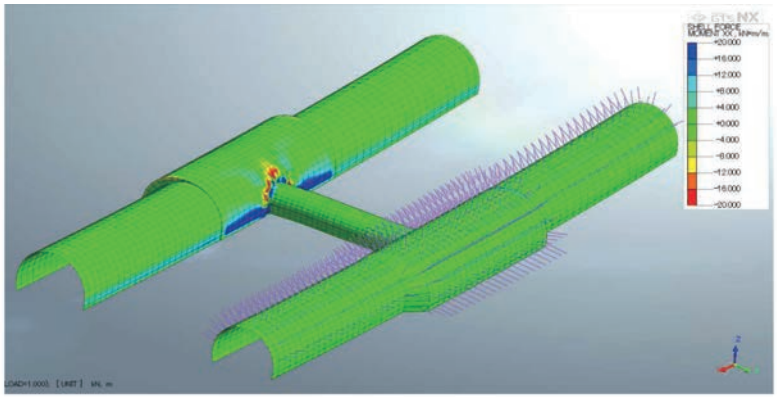
覆工コンクリート 軸力



3.解析結果図

GTS NX

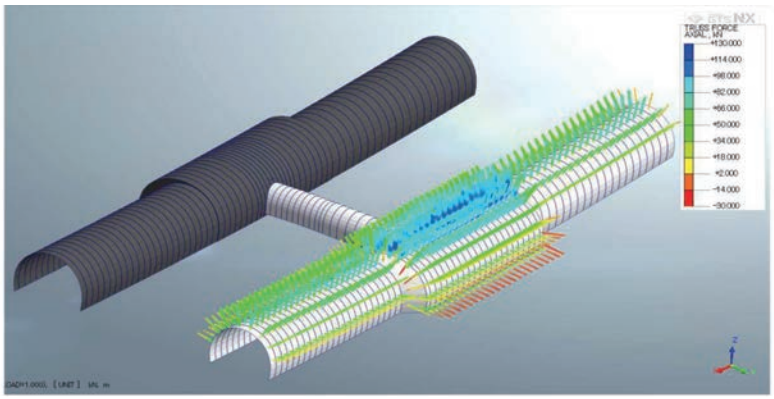
覆工コンクリート 曲げモーメント



3.解析結果図

GTS NX

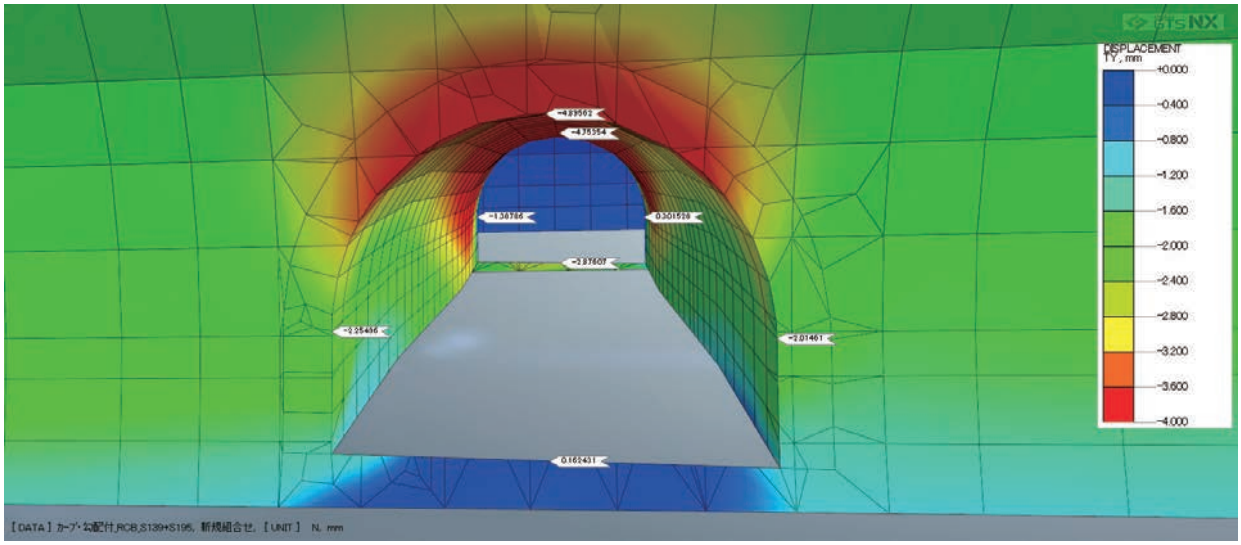
ロックボルト　軸力



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

MIDAS CONSTRUCTION TECHNICAL DOCUMENT COLLECTION

GTS NX 実務適用事例集

5. 地盤変形・トンネル分野

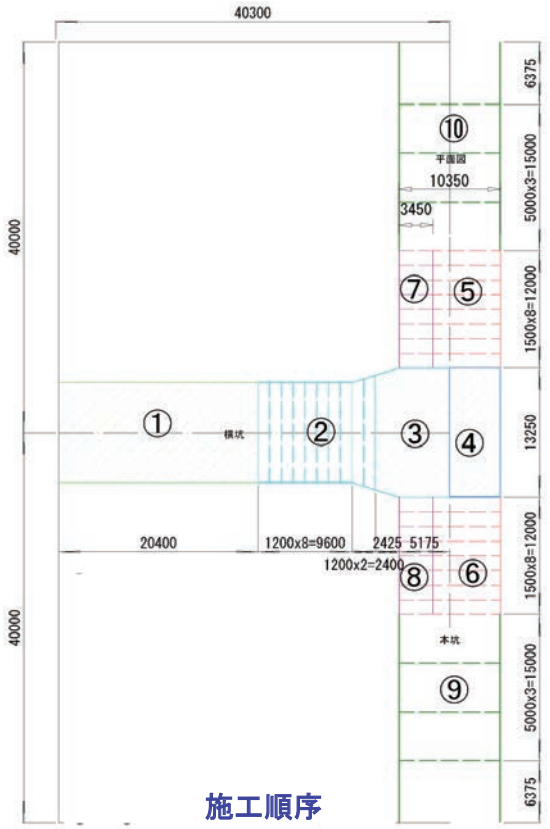
作業用横坑より本線トンネルを施工する際の施工過程の応力変形解析

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

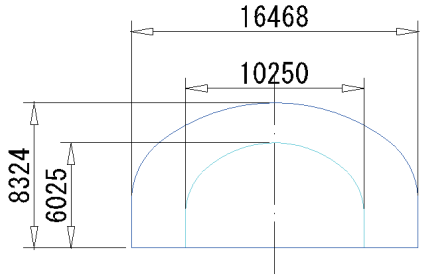
2015.6.16　GTSNXセミナー

解析モデル概要（1）

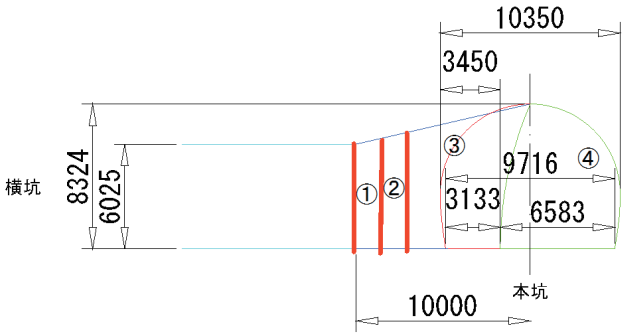


施工順序

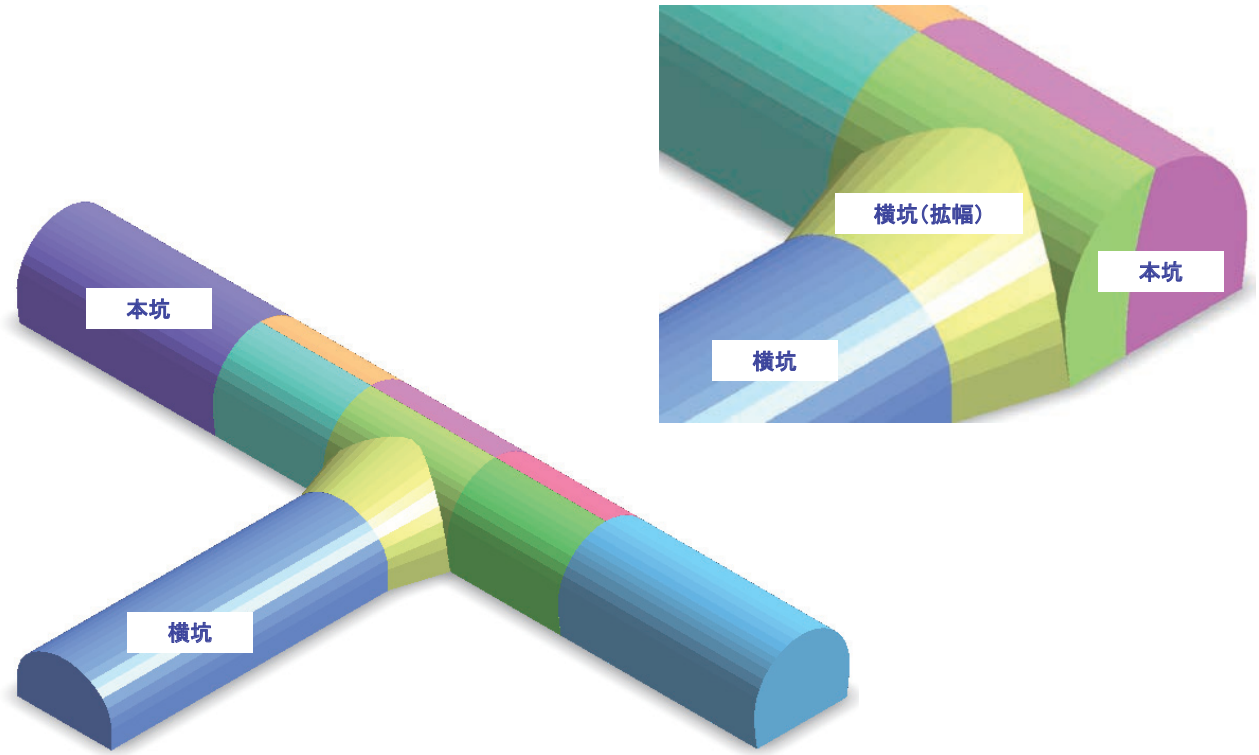
横坑断面



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）

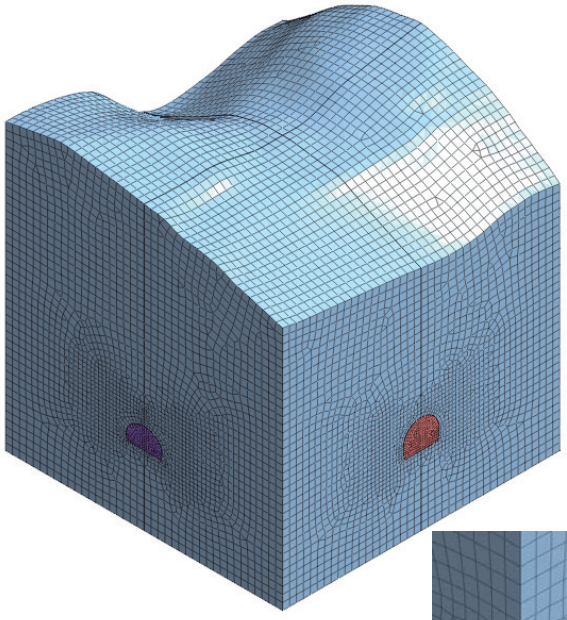
・ロックボルトの軸力の確認
→ロックボルトは埋め込みトラス要素でモデル化

・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

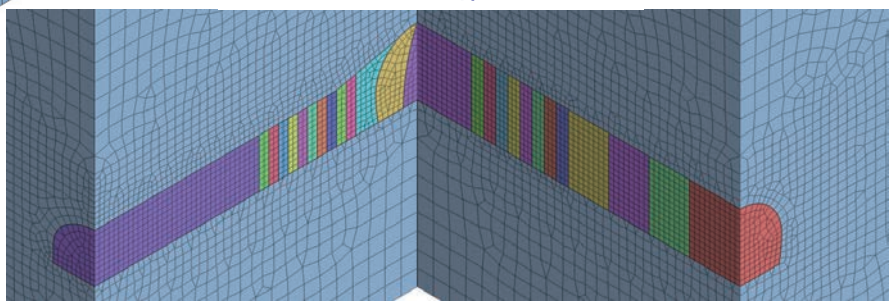
総節点数　：　184,890　節点

総要素数　：　283,464　要素

施工段階ステップ数　：　54ステップ

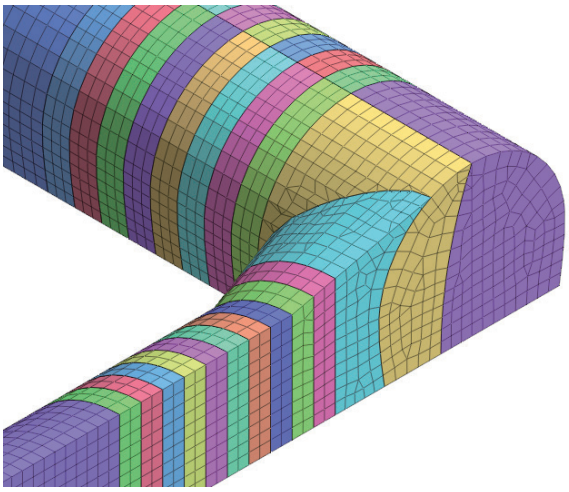
計算時間　：　245分

トンネル部

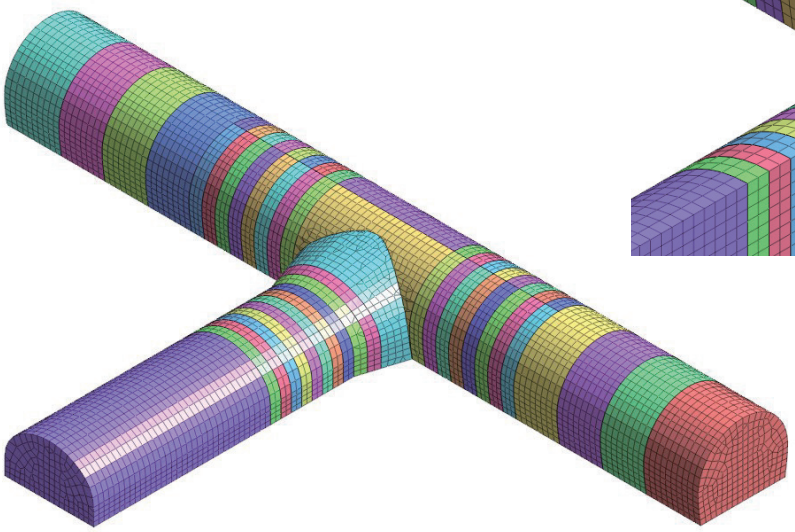


4

解析モデル（掘削部）



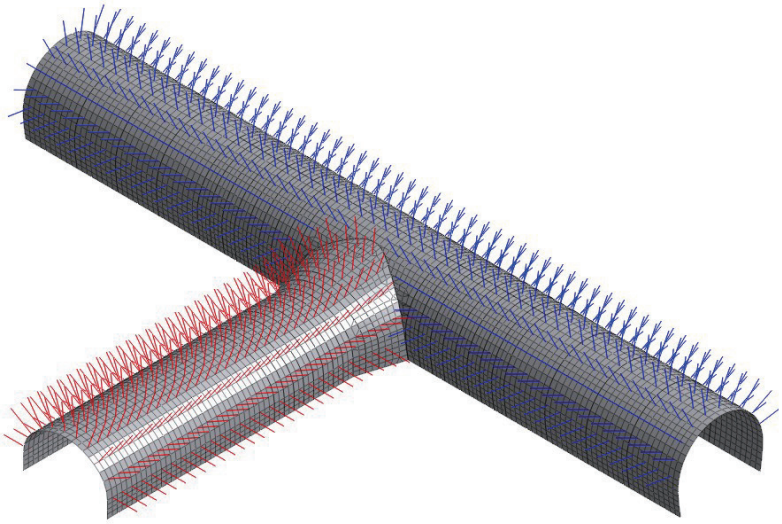
拡大表示（手前非表示）



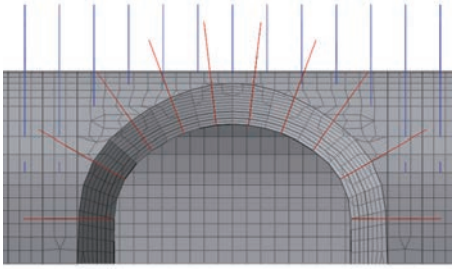
掘削部メッシュ形状

5

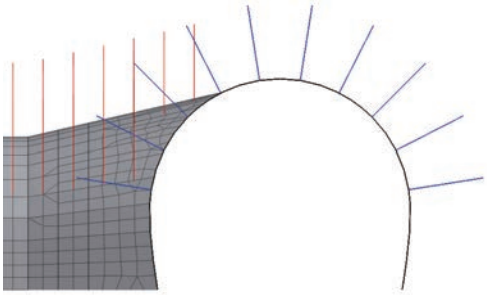
解析モデル（板要素，埋め込みトラス要素）



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）



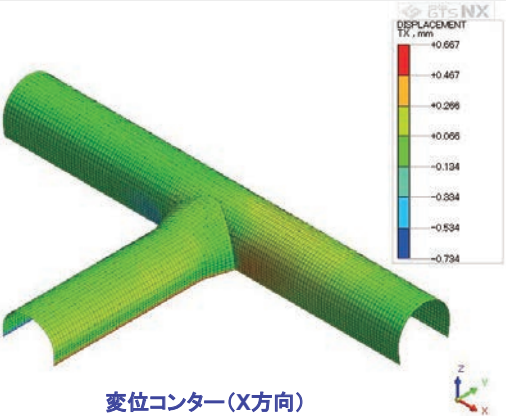
横坑正面



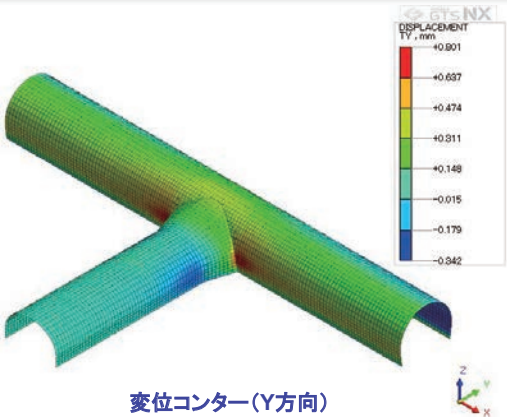
本坑正面

6

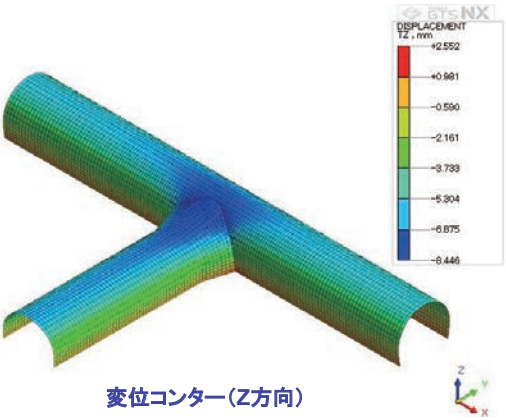
解析結果（変位コンター図）



変位コンター（X方向）



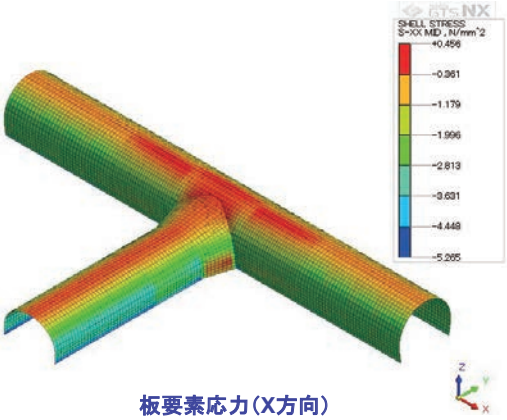
変位コンター（Y方向）



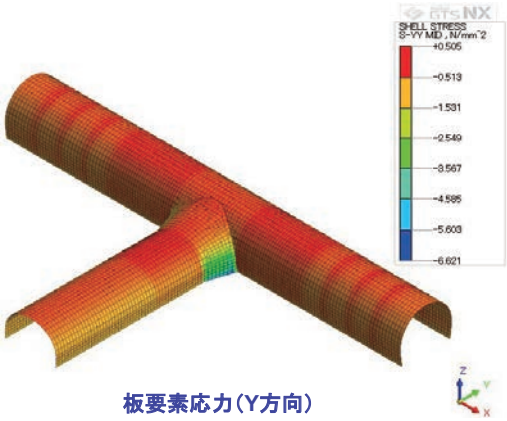
変位コンター（Z方向）

7

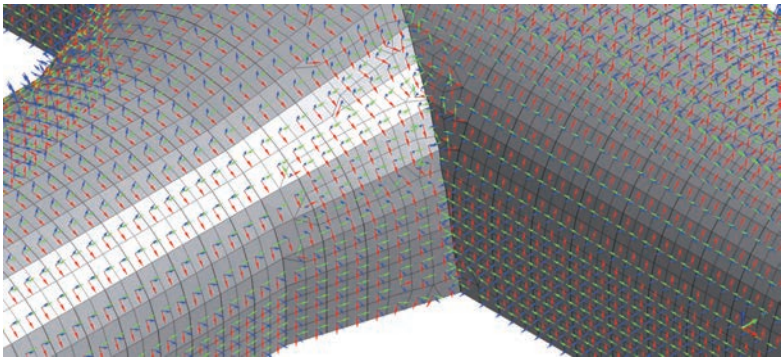
解析結果（板要素応力）



板要素応力（X方向）

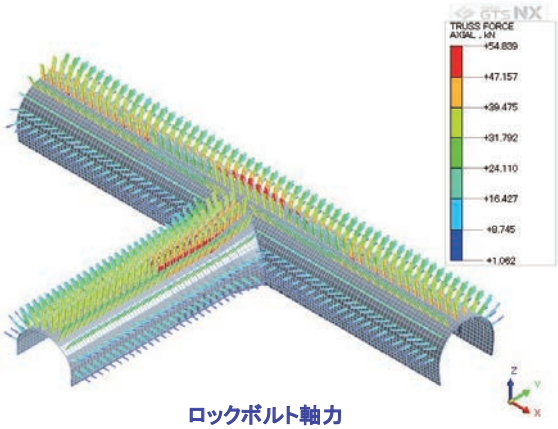


板要素応力（Y方向）



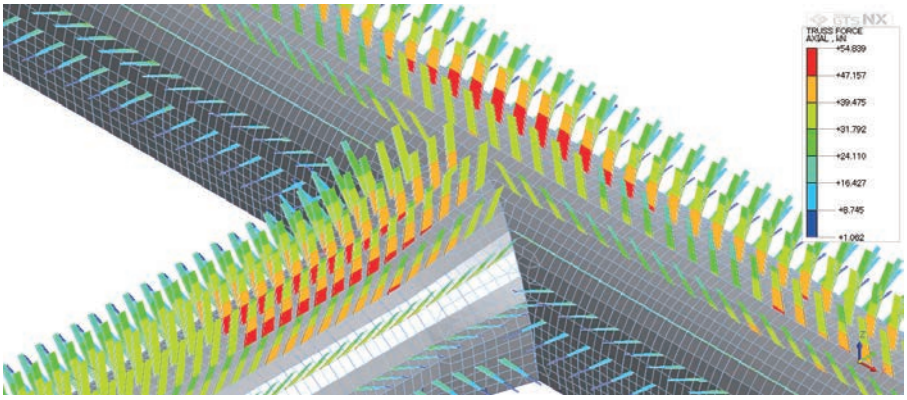
板要素 - 要素座標系

解析結果（ロックボルト軸力）

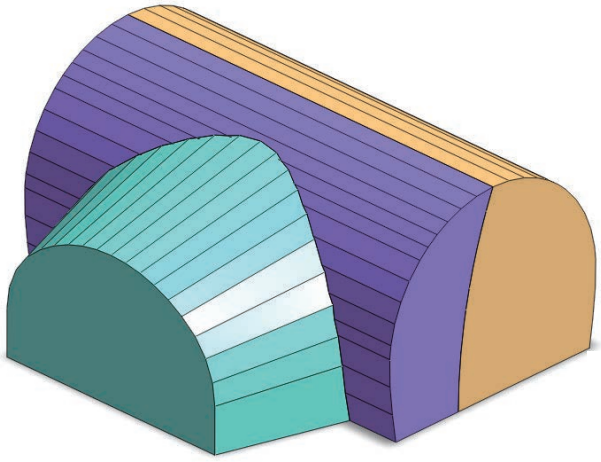


ロックボルト軸力

交差部拡大



交差部モデル化

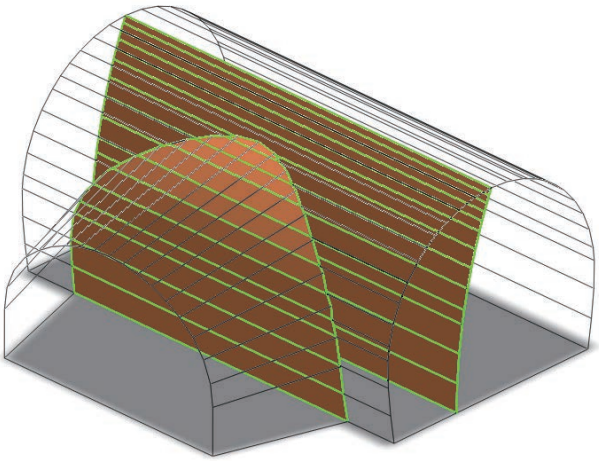


交差部のソリッド形状

・横坑は拡幅しながら本坑にぶつかる形状である

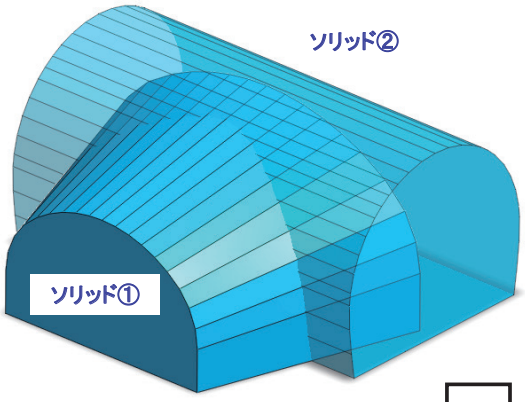
・本坑は段階掘削のため2分割とする

ソリッドの境界で面を共有する必要がある

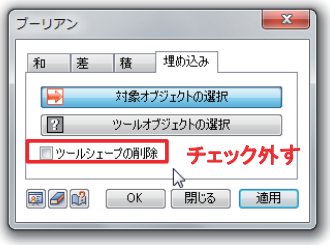


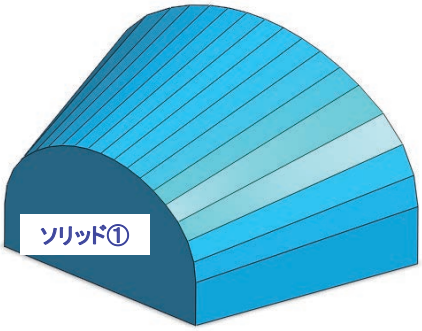
10

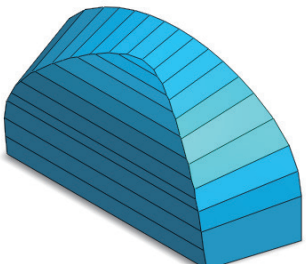
交差部モデル化（ソリッドの演算-埋め込み）



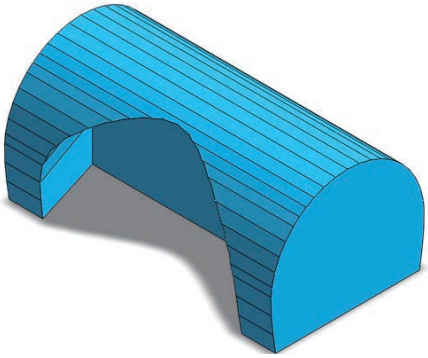
ソリッド②にソリッド①を埋め込む







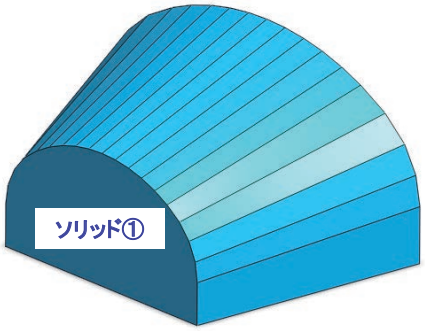
ソリッド②-1

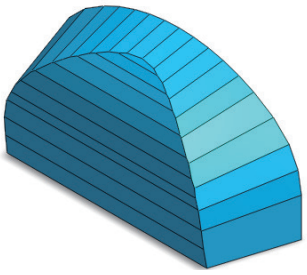


ソリッド②-2

11

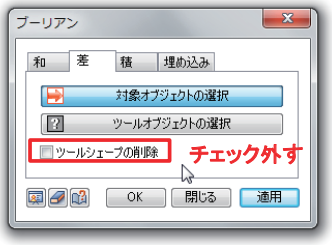
交差部モデル化（ソリッドの演算-差）

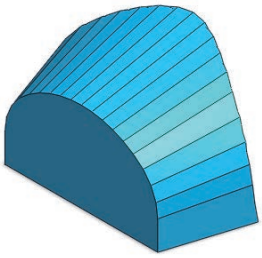




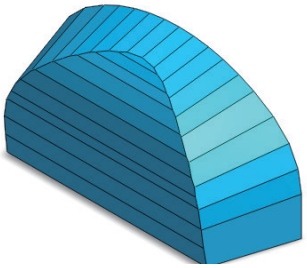
ソリッド②-1

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

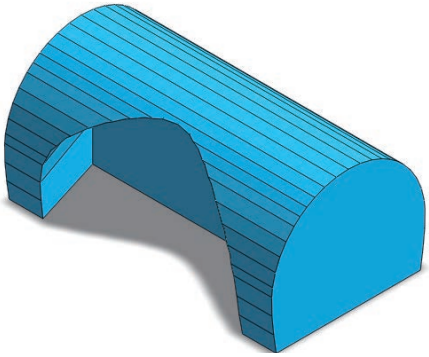




ソリッド①-1

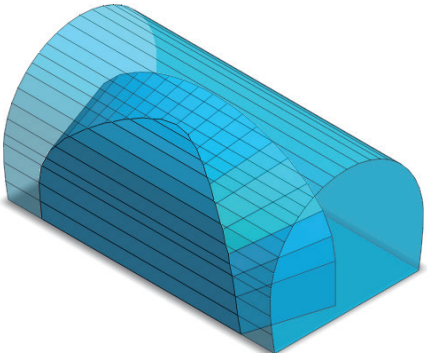


ソリッド②-1



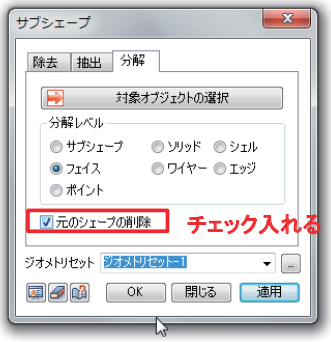
ソリッド②-2

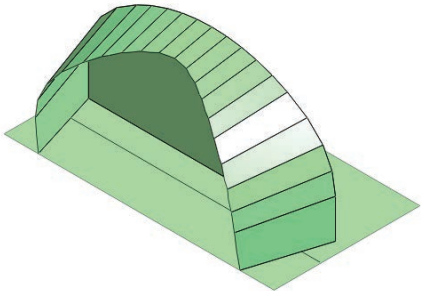
交差部モデル化（ソリッドの分解）



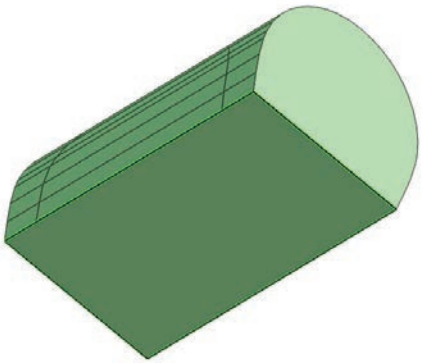
ソリッド②-1＋②-2

ソリッド②-1と②-2を分解してフェイスにする



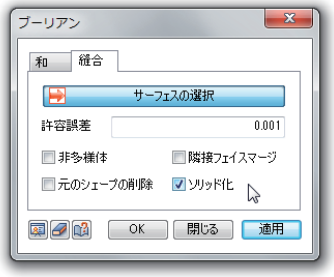


分解したフェイスのうち不要部分を削除する

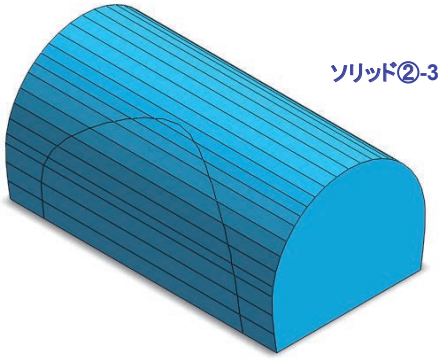


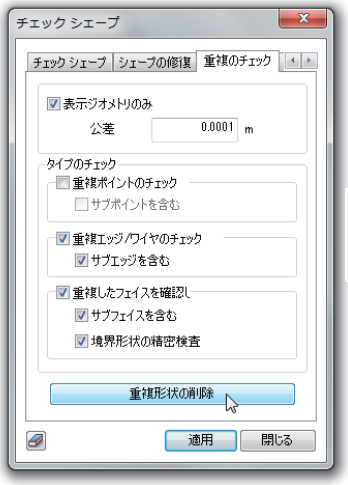
閉じたフェイスとするためにフェイスを追加する

交差部モデル化（フェイス→ソリッド化）

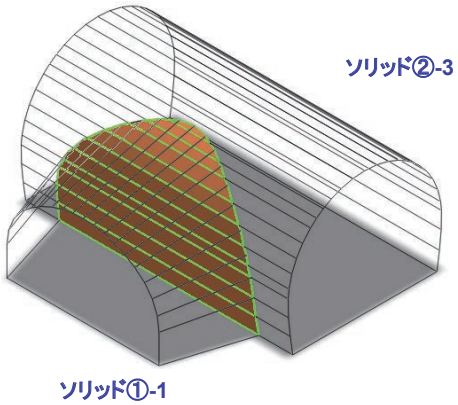


閉じたフェイスを選択してソリッドを作成する





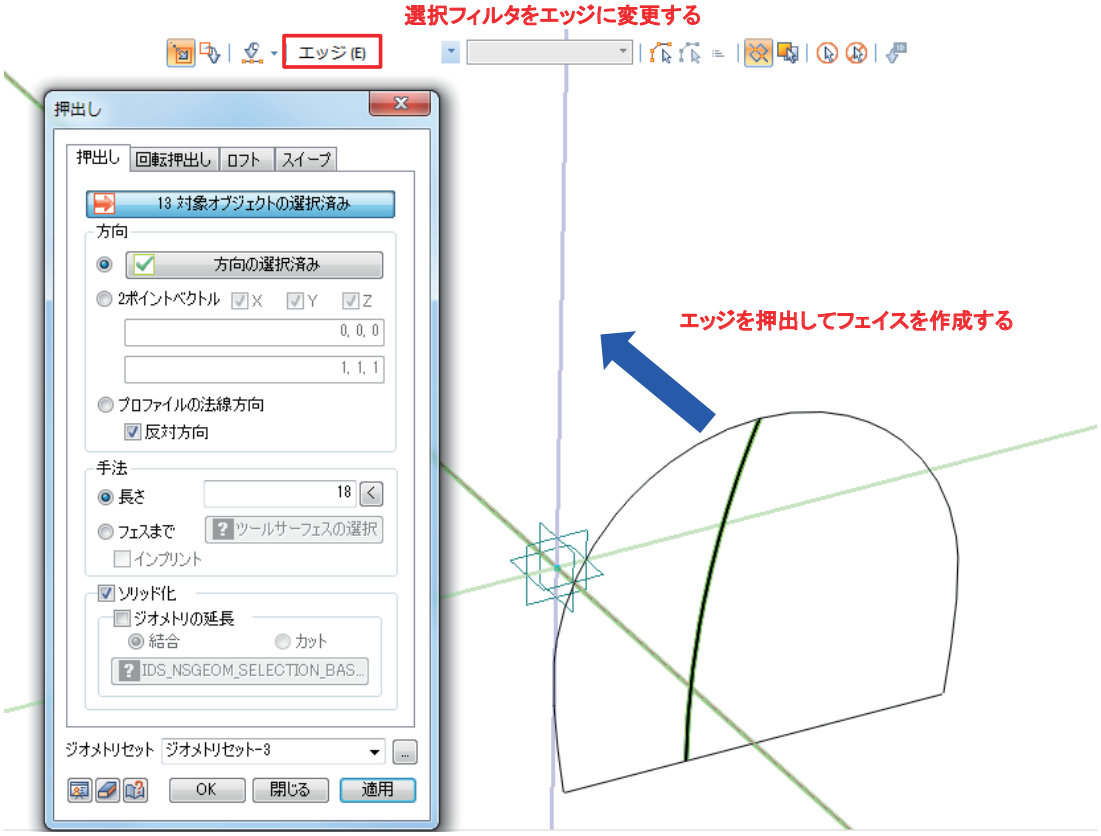
重複形状のチェックでソリッド間の面が共有していることを確認する



14

交差部モデル化（分割フェイス作成）

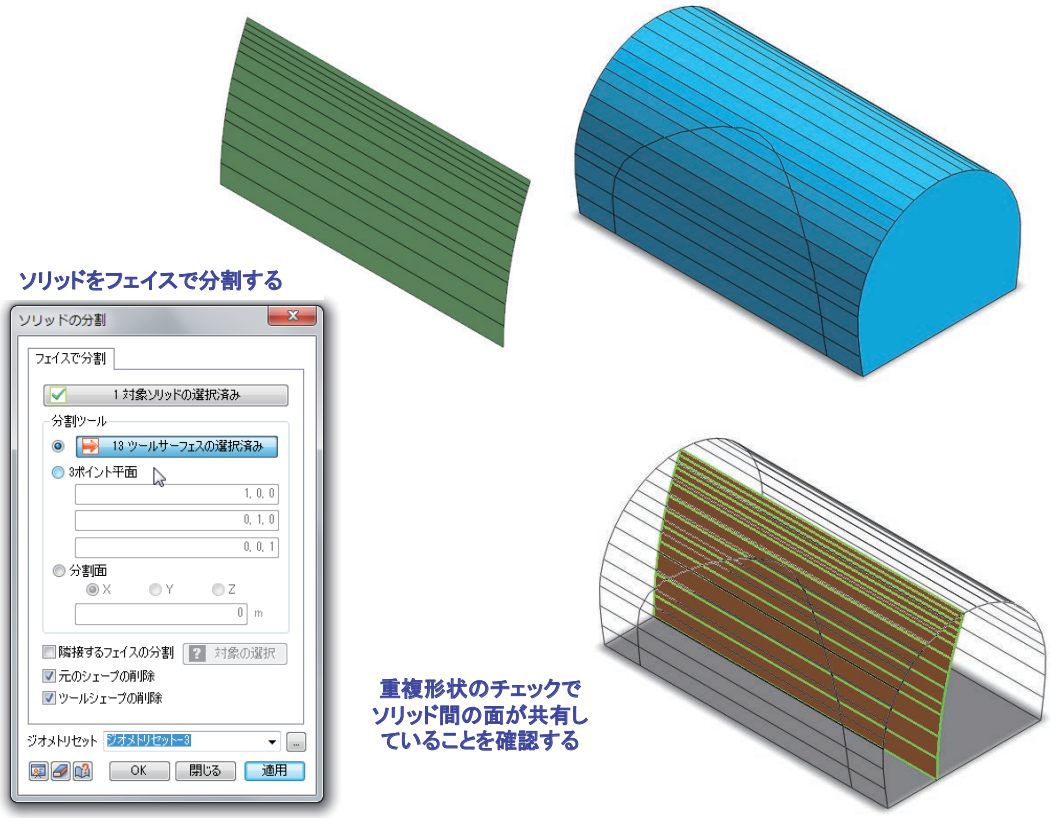
選択フィルタをエッジに変更する



エッジを押出してフェイスを作成する

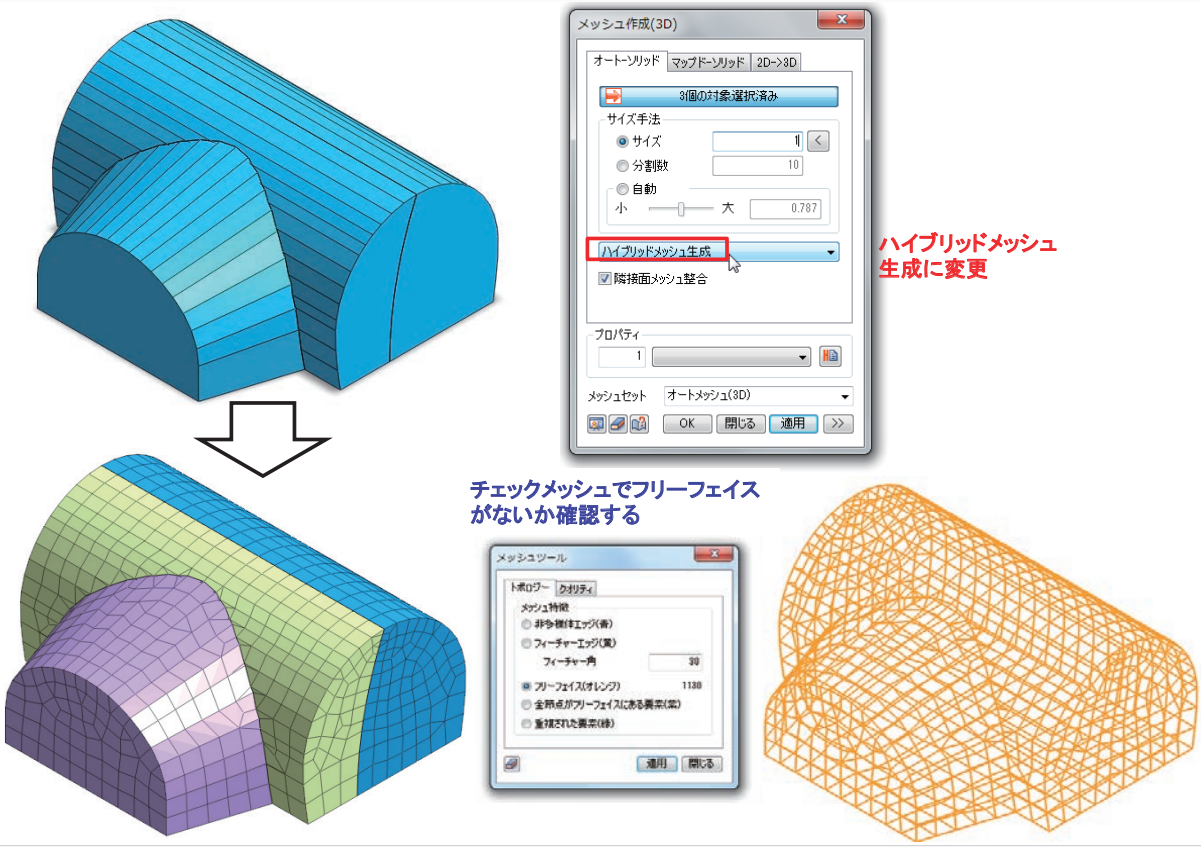
15

交差部モデル化（ソリッドをフェイスで分割）



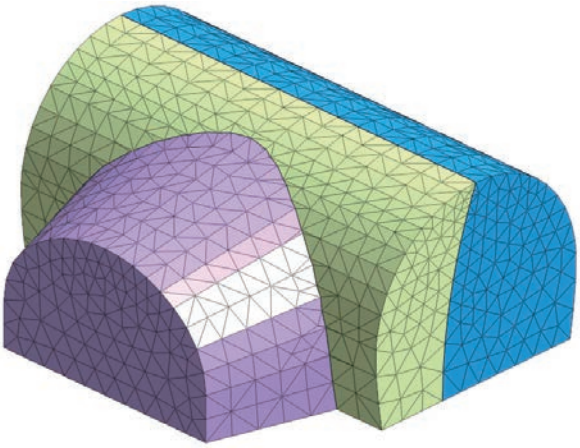
16

交差部モデル化（ハイブリッドメッシュ）



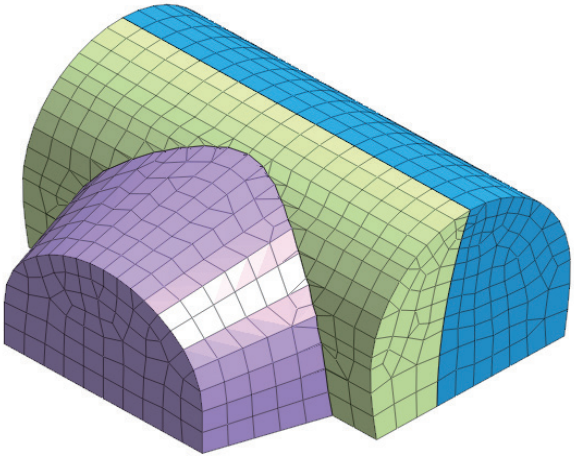
17

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 CONSTRUCTION TECHNICAL DOCUMENT COLLECTION

GTS NX 実務適用事例集

6. 地盤変形・トンネル分野

トンネル・地下構造物における数値解析-除荷挙動が与える影響

首都大学東京大学院　西村 和夫 教授

トンネル・地下構造物における数値解析
ー 除荷挙動が与える影響 ー

首都大学東京　西村　和夫

概要

地盤の掘削解析において，解析領域の大きさは変位に大きな影響を与える．同様に，掘削過程において支保部材等の部材応力もその影響を大きく受けている．それらの影響は地盤の載荷，除荷挙動を解析に反映することで実務的には簡便に除くことができる．

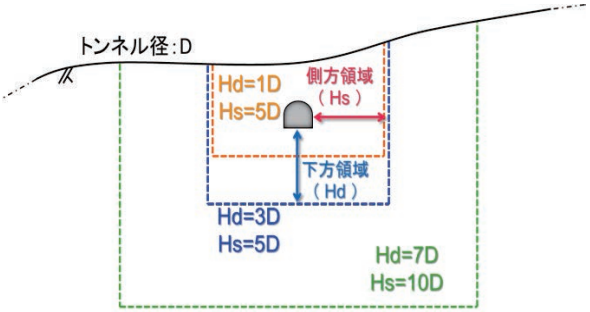


図-1　解析領域の設定

1. 背景

1）解析領域の大きさの設定によって地表面沈下が大きく変わる．→ 正解はなんぞや？

2）田村・足立（2002*）に代表される多くの検討がなされているが，有限要素解析における実務的な検討は行われていない．

3）地表面沈下に限らず解析領域の変形はすべて解析領域の広さに依存する（図-1～3）．

結果としてトンネル周辺の応力・変形，トンネルそのものの変形モードも解析領域に依存する．また，弾塑性解析であっても同様の問題が生ずる．

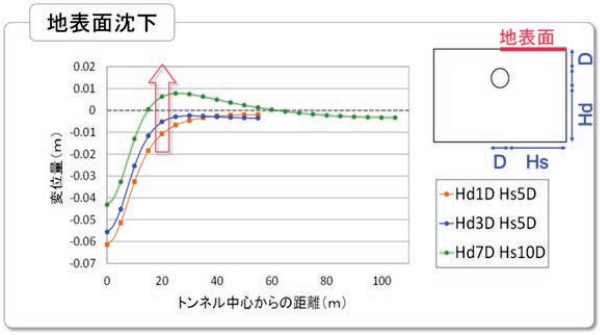


図-2　地表面沈下

4）数値解析に関するマニュアル等には，

下方領域 3~4D 側方領域 4~5D，

下方領域 2~3D 側方領域 4~5D

など，リバウンド抑制のための解析領域の推奨範囲が記述されているが，本来，地盤特性に依存して決まる地盤変形を意図的に制御していることになり，避けるべき．

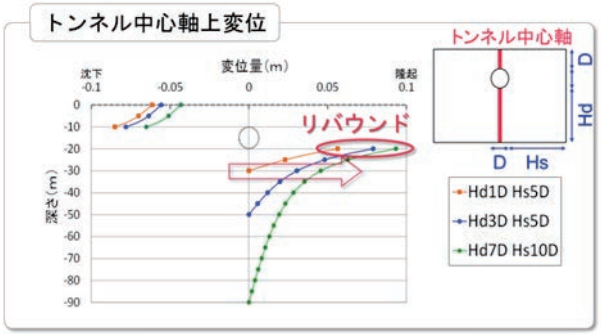


図-3　地中変位

5）地盤本来の特性にしたがってリバウンドの過多が決まるのならば，地盤本来の特性（構成則）を反映させて解析するべき．

→ 掘削は載荷と除荷の合成挙動であることに着目し，単純な構成則でも良いから除荷剛性を反映することが必要．

*田村武･足立紀尚：トンネル掘削解析における領域設定について：土木学会論文集 701-Ⅲ-58

2. トンネルにおける除荷領域（Mohr-Coulomb 則．地盤物性は均一．除荷剛性考慮無し）

1）除荷領域はトンネル形状だけではなく，土被り，地盤物性によっても大きく異なる．

2）図-4 は，均一地盤における土被りの違いによる円形トンネルの解析例．土被りは上図が 1D，中図が 2D，下図が 3D（D:トンネル直径）．

→ 除荷の程度（値）には場所によって大きな差があるが特徴的なパターンを描いている．

→ トンネル下部の広がりに比較して，側部とトンネル上部の除荷領域の広がりが土被りによってかなり異なる．

3）図-5 は同一土被り（1D）における円形トンネルと馬蹄形トンネルの除荷領域の違いの解析例（物性は図-4 と異なる）．

→ 馬蹄形トンネルではトンネル側部に除荷領域が生じていないが，元々距離が遠いうえ，値は小さいので大きな問題ではない．

→ トンネルインバート部直近で違いがある．

4）図-6 は同一地盤物性，領域，トンネル形状（馬蹄形）で，メッシュサイズの違いの解析例（物性は図-4,図-5 と異なる）．

→ 除荷領域の広がりには大差はない．トンネル側部の除荷領域は形状が異なるが，トンネル及び周辺地盤変形には大きな影響は与えない程度の除荷量である．

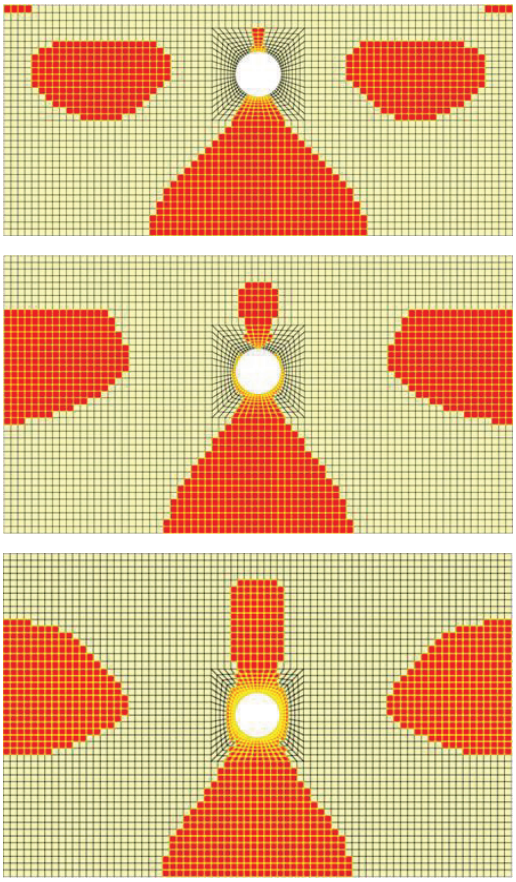


図-4　掘削による除荷領域(円形)

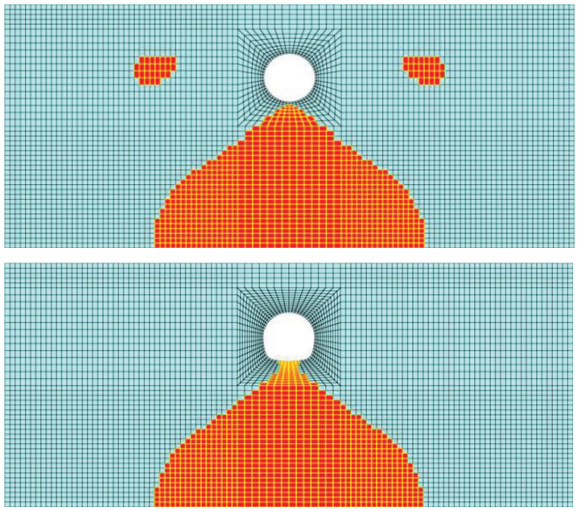


図-5　トンネル形状による違い

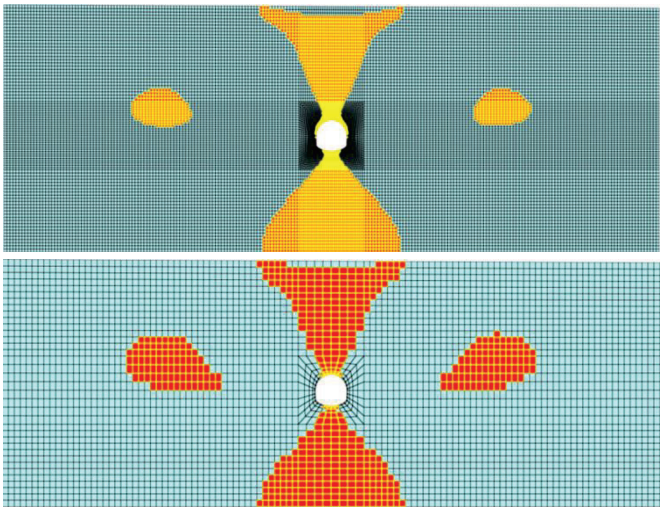


図-6　メッシュの粗さによる違い（馬蹄形）

3. 地盤の除荷挙動の数値解析への反映

1）地盤はもともと除荷挙動と載荷挙動が異なる．

→ 図-7 上図は軟岩の孔内載荷試験の繰り返し載荷試験結果の例．下図は除荷剛性のひずみ依存度．

→ ひずみレベルで異なるが，除荷剛性は初期剛性の 10 倍を超える．

→ ただし，解析において除荷剛性は通常では初期剛性の 3～5 倍程度でよいのではないか．

2）初期剛性の 3 倍の除荷剛性を与えて図-2，3 と同様の解析を行った．

→ 地表面沈下（図-8）は解析領域の大きさに関係なくほぼ一定となる．地中変位（図-9）は，インバートのリバウンドが，下部解析領域が少ない場合（Hd=1D），他のケースとかなり異なる．

→ この結果から，図-1 のように意図的に解析領域の大きさを制御するのではなく，除荷剛性を考慮して十分な大きさの解析領域を設定することがよい．

3）トンネル周辺の変形挙動を確認した（図-10）．

→ 除荷剛性を考慮する（右図）ことによってインバートのリバウンドが抑制されている．

4）図-3，図-9 トンネル上部の深さに対する変形勾配の比較と，図-10 左図と比較して右図の天端上部地山の黄色部分の分布幅の拡大，隣接緑部分の幅の減少から，天端上方地山の地山に緩み領域のようなゾーンが形成されていることがわかる．

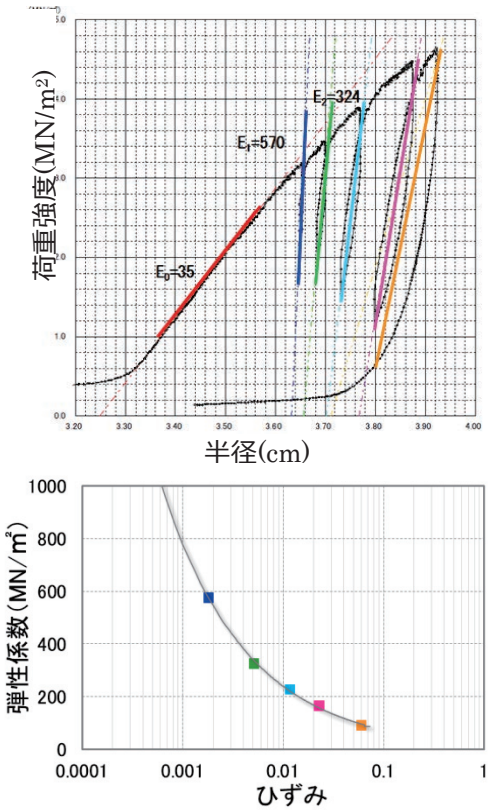


図-7　孔内載荷試験の例

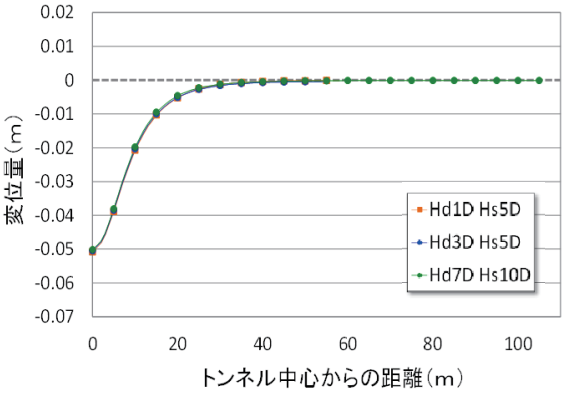


図-8　地表面変位

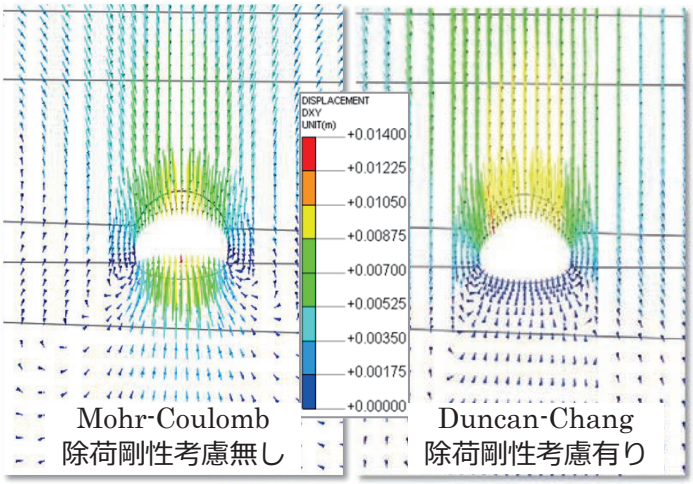


図-10　トンネル周辺の地中変位ベクトル

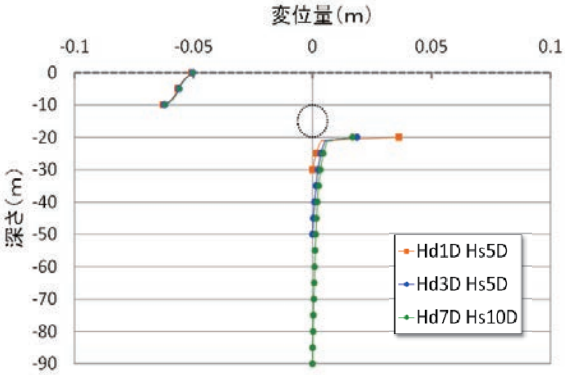


図-9　地中変位

4. 地中構造物に与える除荷剛性の影響の解析事例

1) トンネル周辺の地山変位挙動が除荷剛性の影響を受けていれば，当然，支保部材応力も除荷剛性の影響を受ける．特に，逐次掘削が顕著な場合にはその影響が大きいと推測される．

→ 逐次掘削が顕著である，供用中トンネルのインバート新設補強工事を事例に示す．

2) 盤膨れ対策はインバート設置（図-11 下図）が本手であるが，全面通行止めを伴うため，通常はアンカーやパイル（図 11-上図）を用いることが多い．

→ 片側施工で閉合インバート構造が施工できる工法として，鋼管複合インバート工法を考え，数値解析でその可能性を確認した．

3) この工法は，片側通行を確保した上で，もう片方の路盤を掘削，水平に鋼管を削孔打設し，コンクリートを中詰めする．路盤をインバートアバット状にコンクリートで固める．埋め戻して通行車線を切り替え，反対車線の路盤を掘削，先行打設してある鋼管の先を掘り出し，コンクリートで巻き込んで，図-12 のようなインバート構造とする．

→ 一気に掘削を行うと既設覆工に大きな応力，変形が生ずることから，部分施工を繰り返して構造体を構築する．

→ 地山の部分掘削に伴って地山は載荷部，除荷部が複雑に入れ替わり，覆工，インバートアバット，鋼管に部分掘削に伴う応力が導入される．

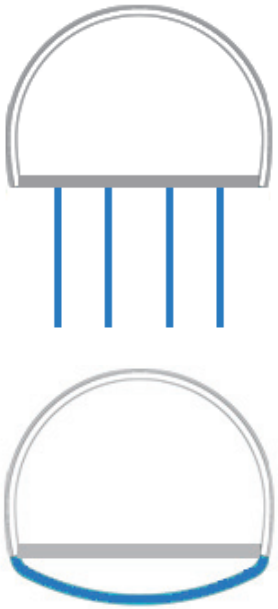


図-11　盤膨れ対策例

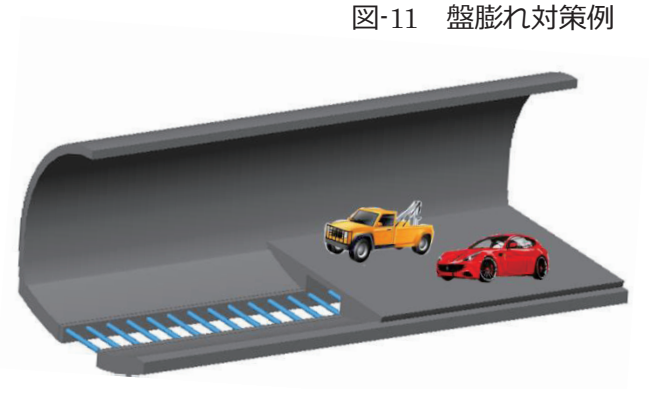
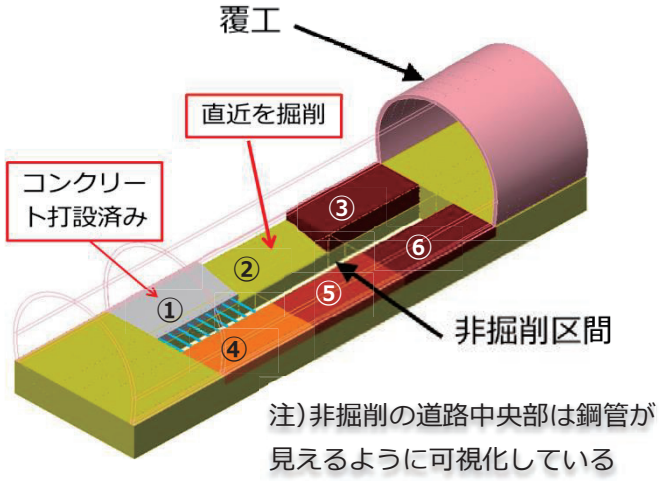


図-12　鋼管複合インバート



step		掘削先行･足付け打設
1		覆工脚部掘削
2		足付けコンクリート打設
3	①	地盤掘削
4	②	地盤掘削
5	①	鋼管中詰コンクリート打設
6	①	インバート打設
7	③	地盤掘削
8	②	鋼管中詰コンクリート打設
9	②	インバート打設
10	③	鋼管中詰コンクリート打設
11	③	インバート打設

図-13　鋼管複合インバート施工手順

5. 部分掘削が与える影響（除荷剛性の考慮無し）

1）解析モデル（図-14～16）.

→ 地山は Mohr-Coulomb の弾塑性のソリッド要素.

→ コンクリート覆工は線形のソリッド要素

→ 鋼管は外径が 8 角形でシェル要素（図-16 左上赤要素）.

→ 鋼管中詰めコンクリートは引張強度設定，鋼管断面あたり 9 要素のソリッド要素（図-16 左上青要素）.

2）ステップ解析の結果.

→ 路盤 3 分割施工（図-13）によって既設覆工には，分割掘削中央部分で引張力が発生（図-17 上図）し，分割施工境界部で圧縮応力が発生（図-17 下図）する．変形は覆工脚下が掘削されて支持を失うために地山変形に伴って内空へ押し出される（図-18）.

→ 値は図示しないが，路盤の部分掘削に伴い，図-19 下図の赤破線部の鋼管付け根に部分掘削の影響による応力が集中的に生ずる.

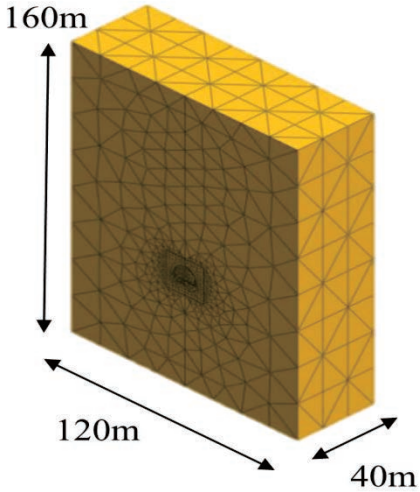


図-14　解析モデル

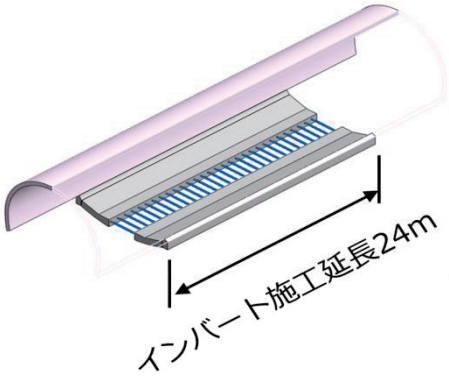
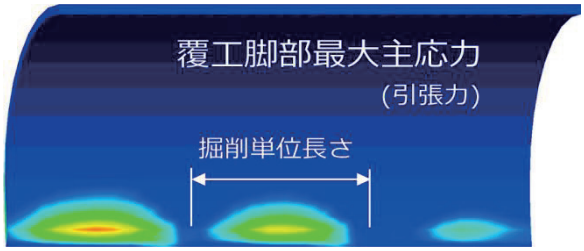


図-15　インバート施工区間



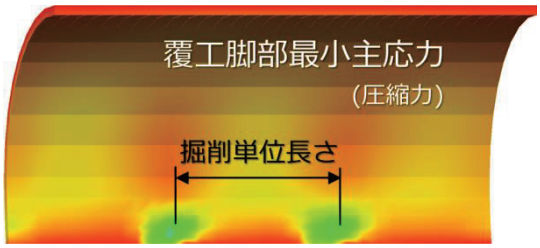


図-17　インバート施工区間

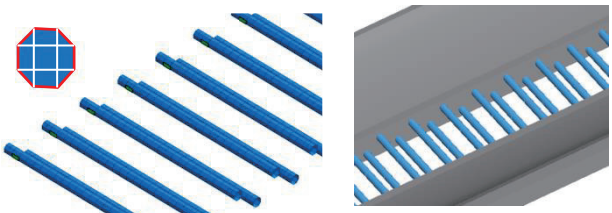


図-16　鋼管部分の拡大図

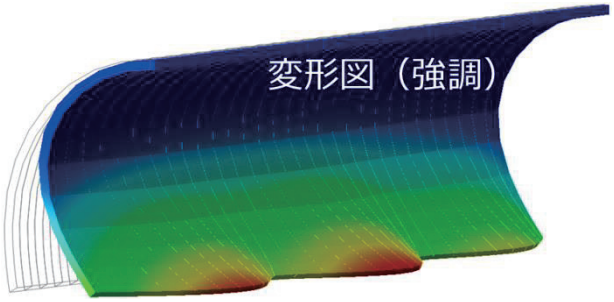


図-18　インバート施工区間

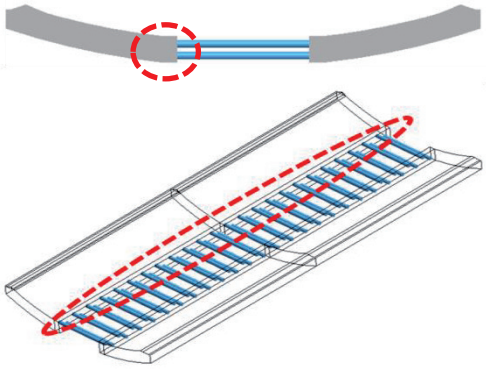


図-19　鋼管部分の応力集中部

6. 除荷剛性を考慮した解析結果

1）図-14 のモデルを用いた，除荷剛性を考慮できる Duncan-Chang の構成則による非線形解析は，モデルの要素数や解析ステップ（25step）の多さのために、解析が回らなかった．

→ 除荷剛性を考慮した解析は，計算に非常に大きな負荷を与える．

→ 解析ソフトの組み込み構成則のアルゴリズムに工夫が求められる．

2）路盤の部分掘削による変形は，ほぼ路盤水平面内の掘削の影響が主となっている．

→ 要素数，ステップ数を減らすために，図-20 のような，ある程度の厚みを持たせた路盤部のみをモデル化し，除荷剛性の有無による結果の相対比較で除荷の影響を評価した．

→ 解析ステップは図-21（上図は平面図）．

→ 除荷剛性は初期剛性の 5 倍．

→ 地山も含めて部材応力，変形は減少した．

鋼管応力は最大引張力 14%減

最大圧縮力 22%減

中詰めコンクリート最大引張力 17%減

最大圧縮力 57%減

→ 除荷剛性は部材応力にも大きく影響する．

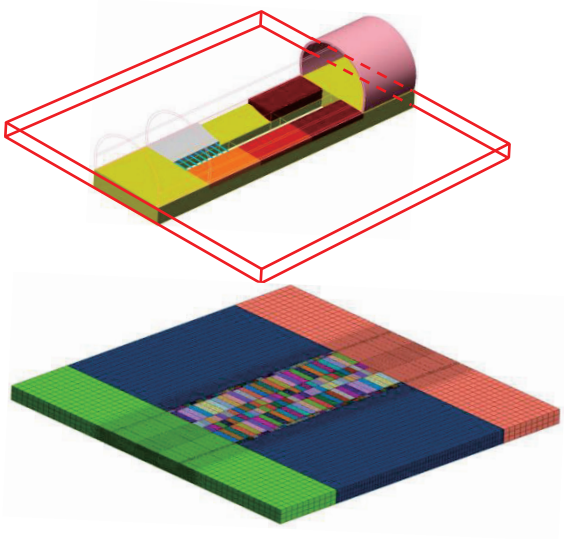
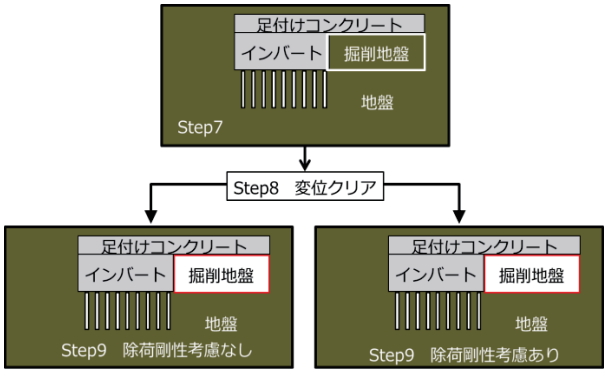


図-20　簡易モデルによる検証



ステップ	詳細	ステップ	詳細
1	自重解析	6	中詰コンクリート鋼管打設
2	変位クリア	7	インバート打設
3	足付け掘削	8	変位クリア(+物性変更)
4	足付け打設	9	12m 地盤掘削
5	12m 掘削		

図-21　簡易モデルによる検証ステップ

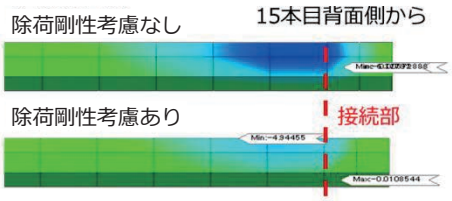


図-22　鋼管部応力

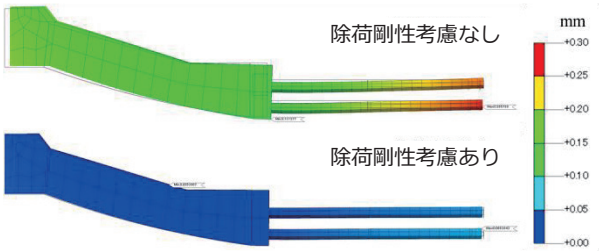


図-23　インバート部の変形

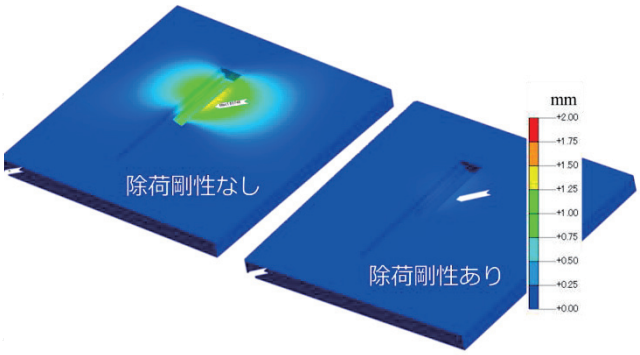


図-21　路盤部の地盤変位

MIDAS CONSTRUCTION TECHNICAL DOCUMENT COLLECTION

GTS NX 実務適用事例集

7. 地盤変形・トンネル分野

地層境界面を考慮した 3次元解析モデルの作成方法例

株式会社フジタ　徳永 高志 様

FUJITA
Daiwa House Group

地層境界面を考慮した 3次元解析モデルの作成方法例

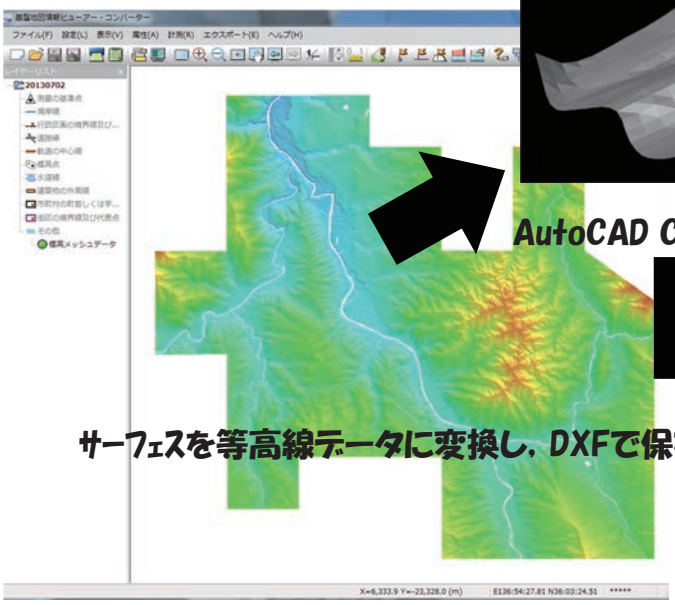
株式会社フジタ　建設本部
土木ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞｾﾝﾀｰ　設計部
徳永　高志

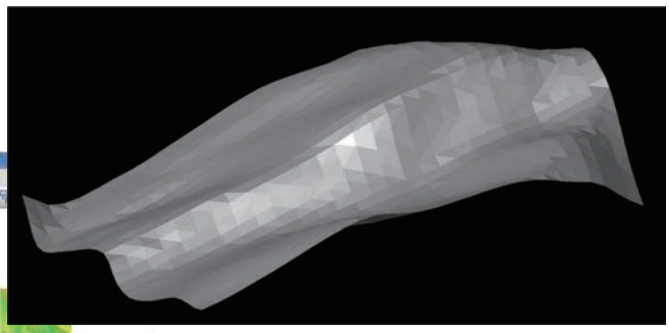
Fujita Corporation

地表面モデル作成①

Fujita Corporation

★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！

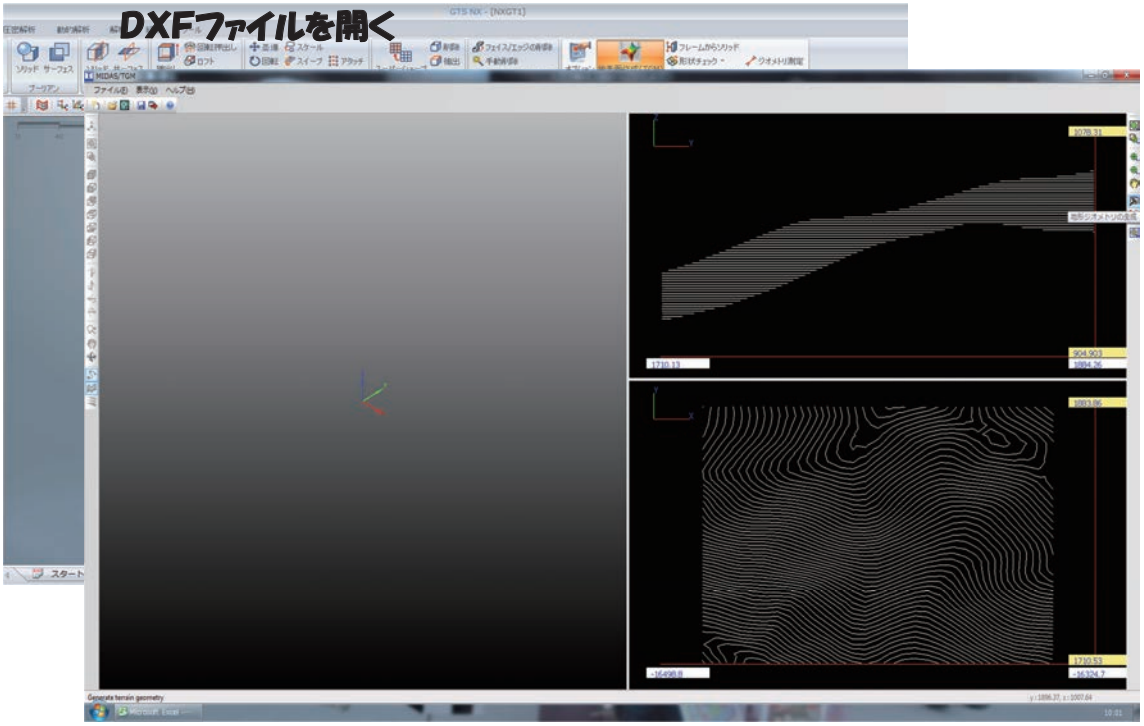
サーフェスを等高線データに変換し，DXFで保存！

© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ>「ヘッダーとフッター」で編集できます。 1

地表面モデルの作成②

Fujita Corporation

ジオメトリ → ツール → 地表面作成(TGM)を開く！

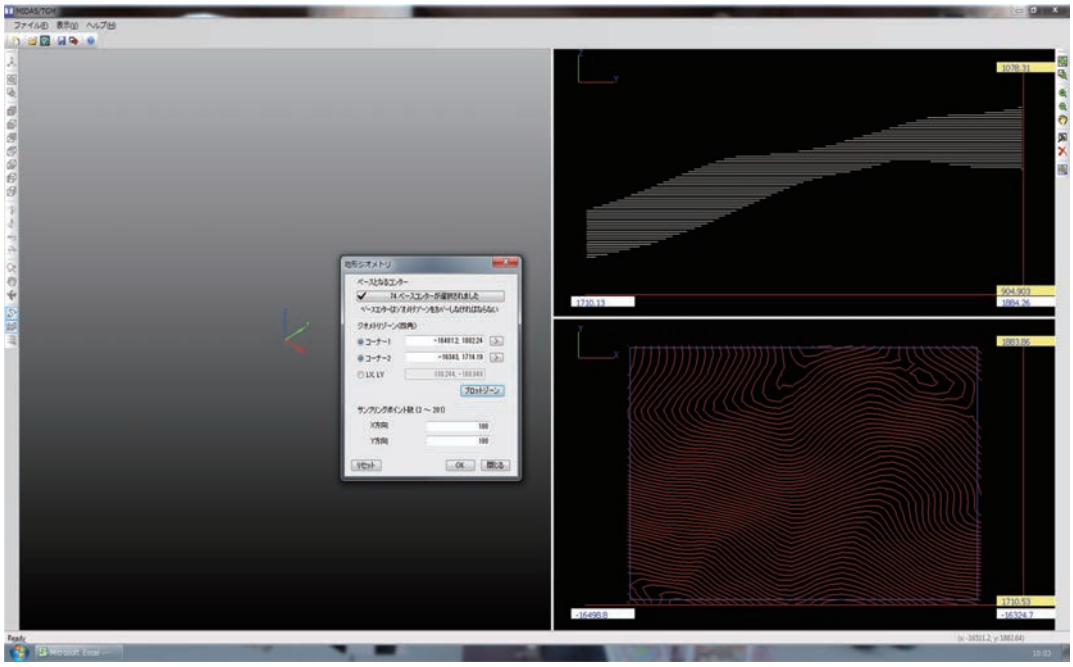


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ＞「ヘッダーとフッター」で編集できます。 2

地表面モデルの作成③

Fujita Corporation

ベースコンタおよびプロットエリアの設定

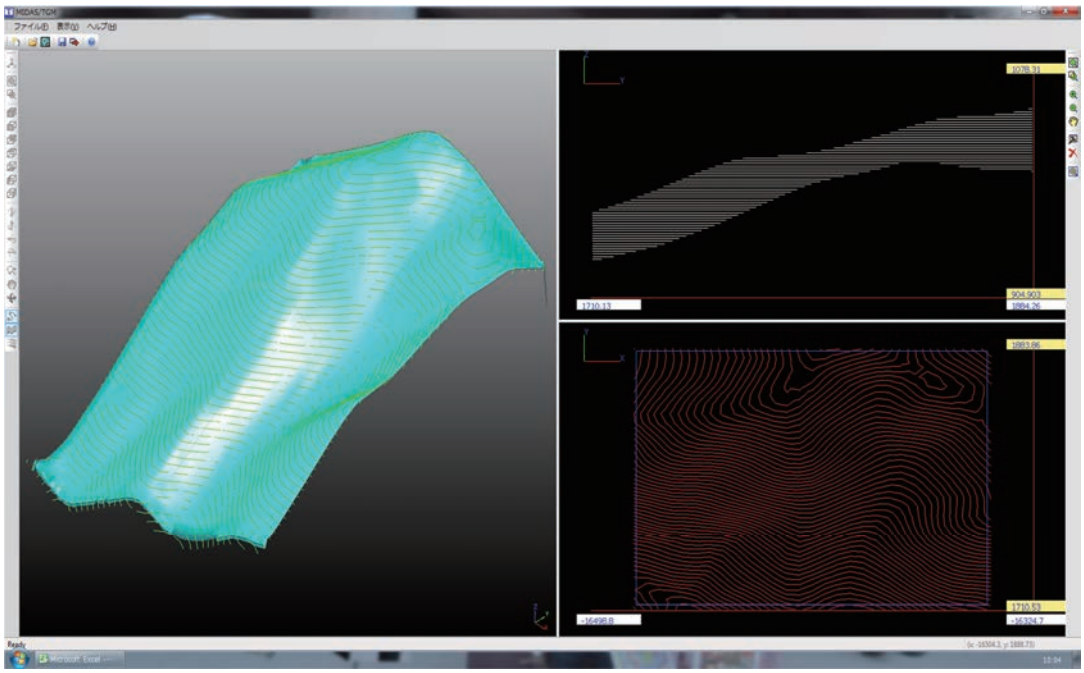


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ＞「ヘッダーとフッター」で編集できます。 3

地表面モデルの作成④

Fujita Corporation

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！



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved.　※作成日※挿入タブ＞「ヘッダーとフッター」で編集できます。

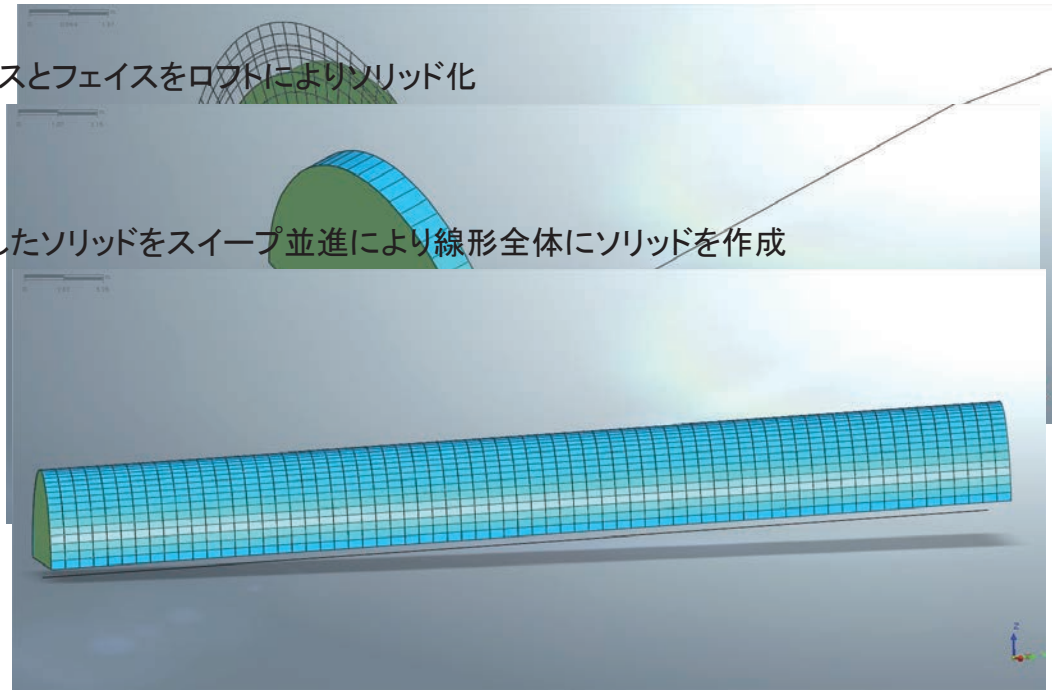
トンネルソリッドモデル作成

Fujita Corporation

①トンネル形状のフェイスを作成
②線形に沿って1掘進長分をスイープ並進

③フェイスとフェイスをロフトにより ソリッド化

④作成したソリッドをスイープ並進により線形全体にソリッドを作成

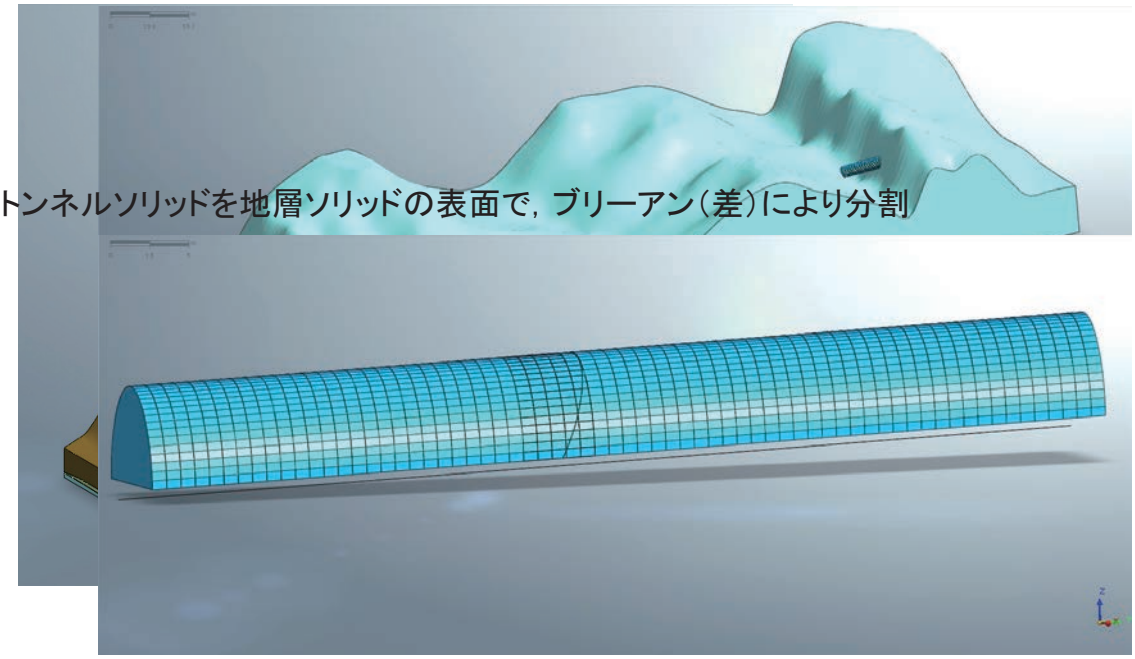


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved.　※作成日※挿入タブ＞「ヘッダーとフッター」で編集できます。

地層境界でのソリッド分割

Fujita Corporation

①地層境界のサーフェスから地層ごとのソリッドを作成
②トンネルと地層のソリッドを同時に表示



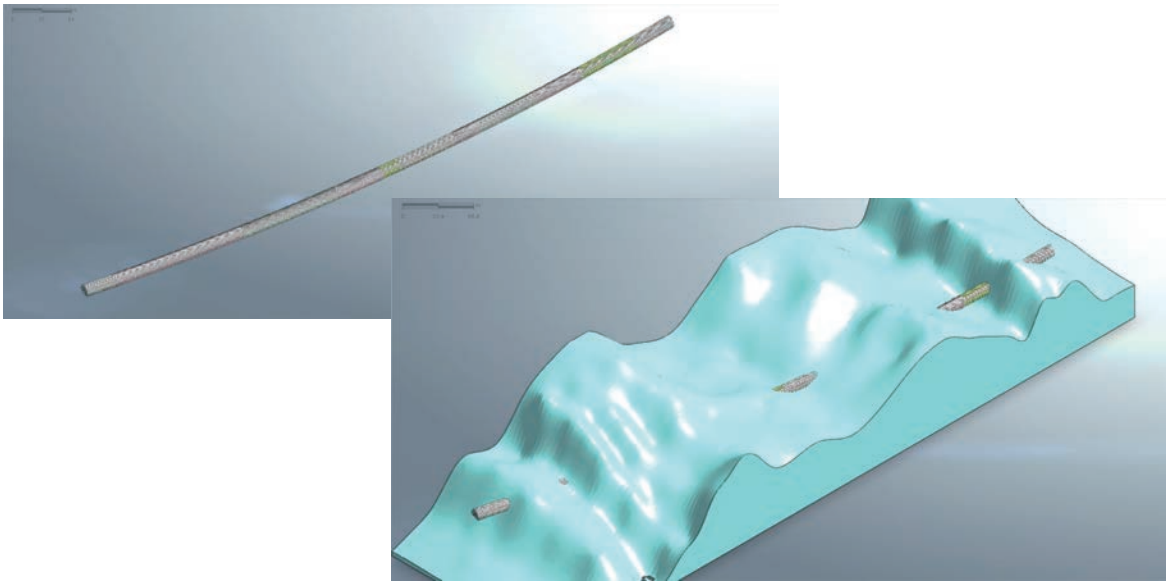
③トンネルソリッドを地層ソリッドの表面で，ブリーアン（差）により分割

© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ＞「ヘッダーとフッター」で編集できます。 6

地層境界部のメッシュ作成①

Fujita Corporation

①基本となるトンネルメッシュを作成



トンネルメッシュと地層ソリッド

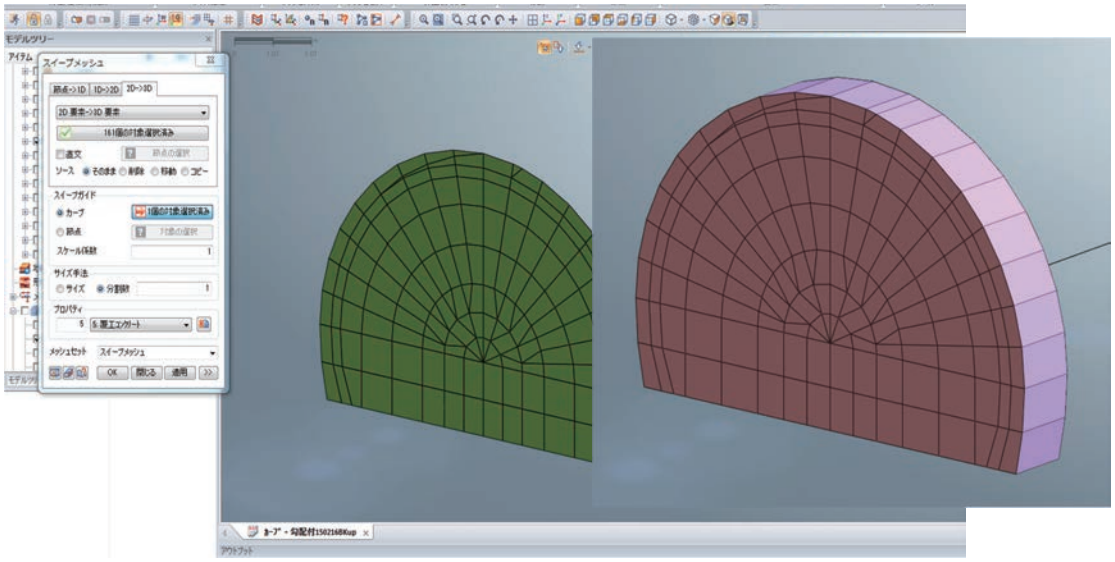
© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ＞「ヘッダーとフッター」で編集できます。 7

※トンネルメッシュ作成例

Fujita Corporation

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！

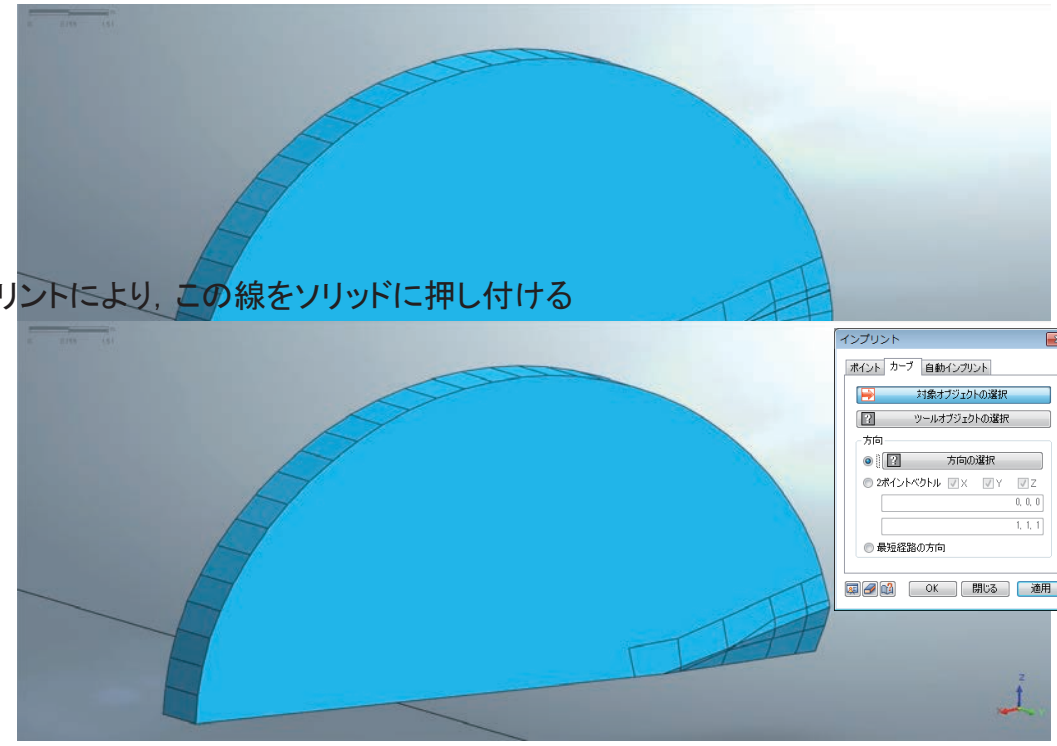


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ>「ヘッダーとフッター」で編集できます。

地層境界部のメッシュ作成②

Fujita Corporation

②地層境界面で切断されたソリッドに接するようにメッシュと同じ線を描く



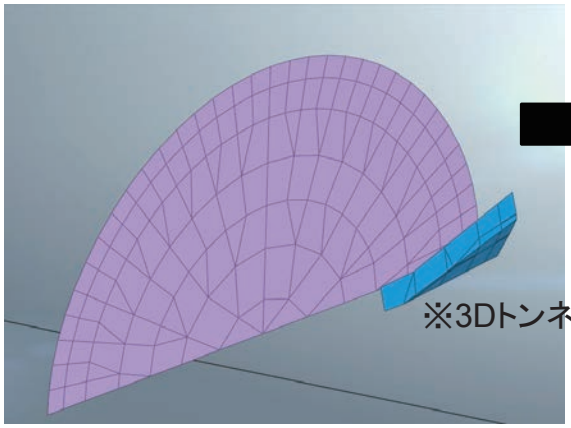
③インプリントにより，この線をソリッドに押し付ける

© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ>「ヘッダーとフッター」で編集できます。

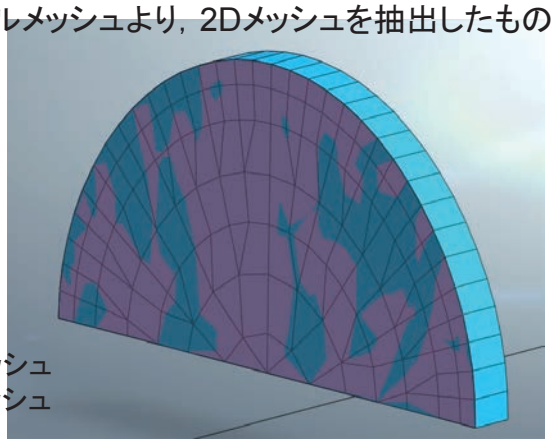
地層境界部のメッシュ作成③

Fujita Corporation

④インプリントしたソリッドをオートフェイスにより，2Dメッシュを作成



※3Dトンネルメッシュより，2Dメッシュを抽出したもの

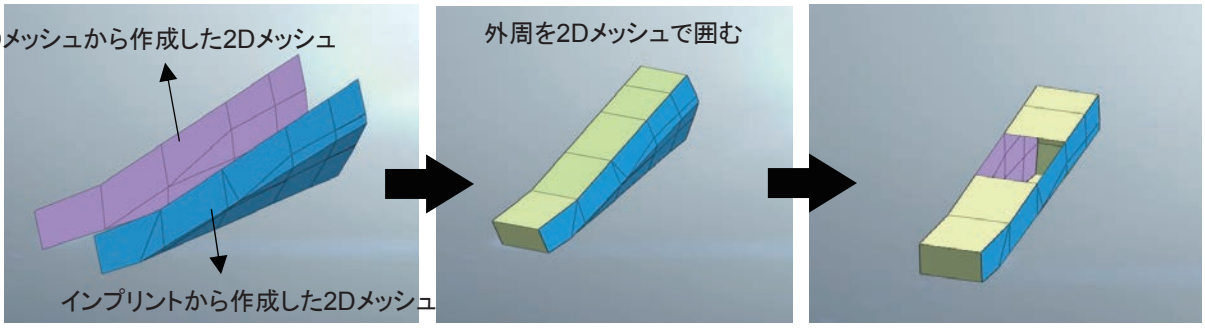


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ>「ヘッダーとフッター」で編集できます。 10

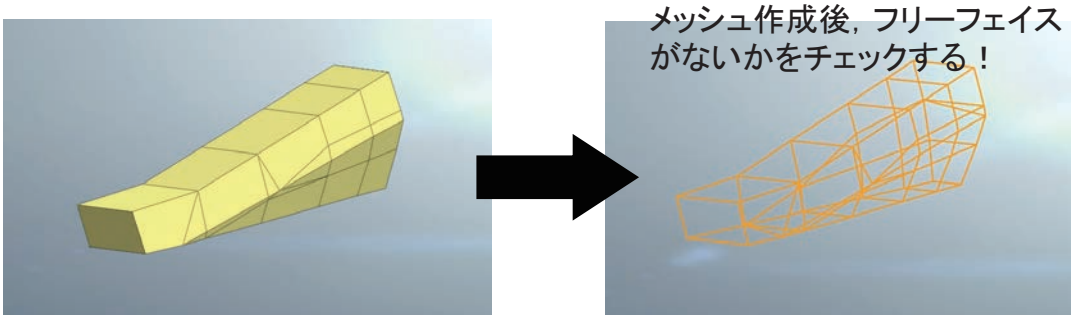
地層境界部のメッシュ作成④

Fujita Corporation

⑤2Dメッシュにて，3Dの箱を作成



⑥2D⇒3Dメッシュ作成機能にて，3Dメッシュを作成

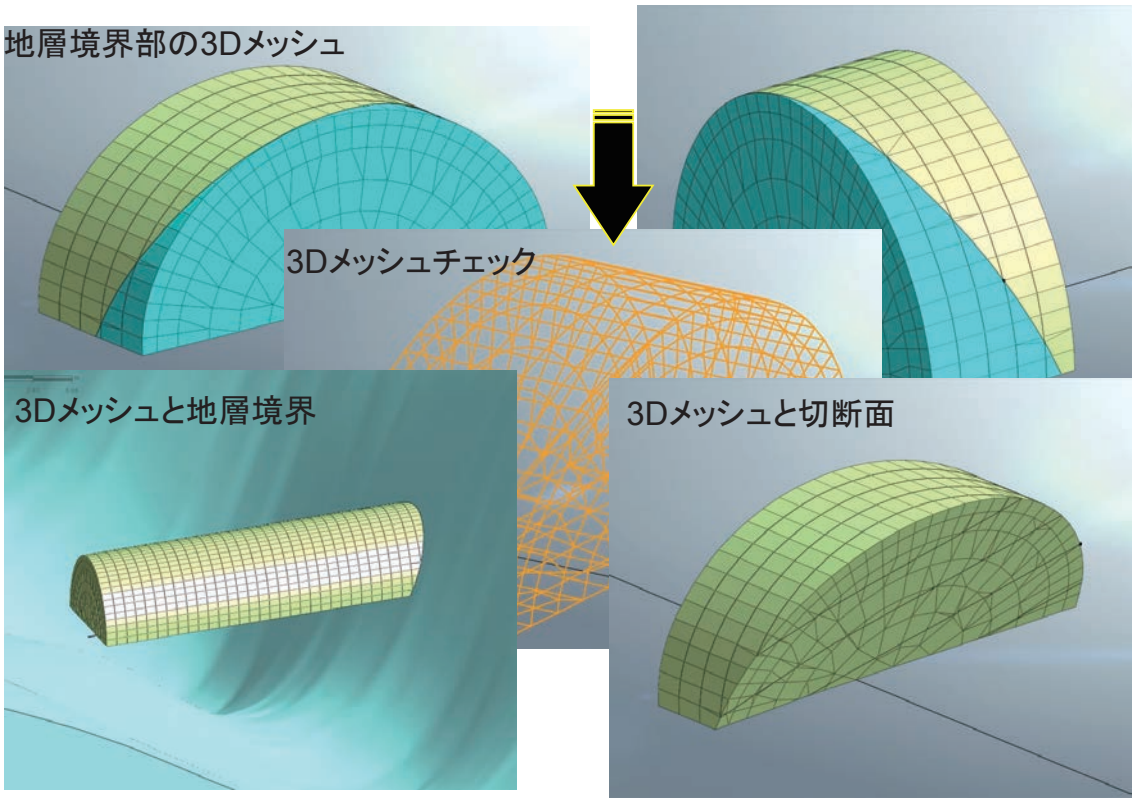


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ>「ヘッダーとフッター」で編集できます。 11

地層境界部のメッシュ作成⑤

Fujita Corporation

⑦以上の操作を繰り返して，地層境界部を1掘進長ごとに作成

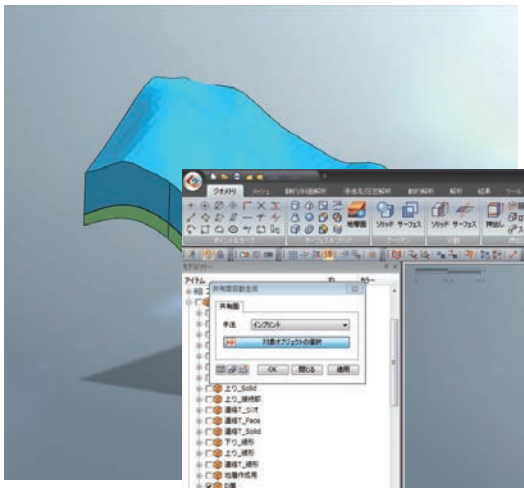


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ>「ヘッダーとフッター」で編集できます。 12

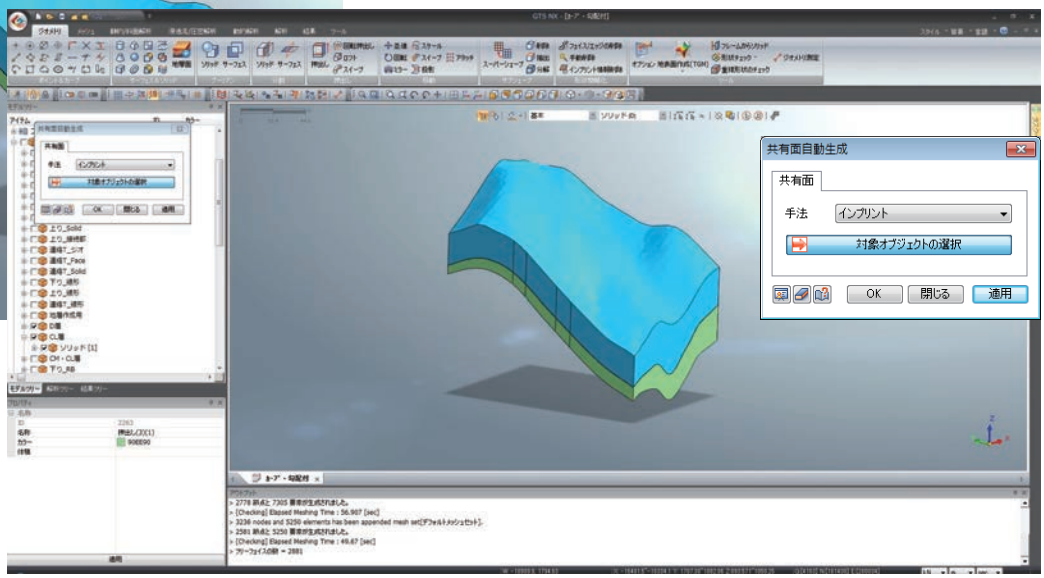
地層（地山）の作成①

Fujita Corporation

地層ごとのソリッド



ソリッドの共有面を自動作成

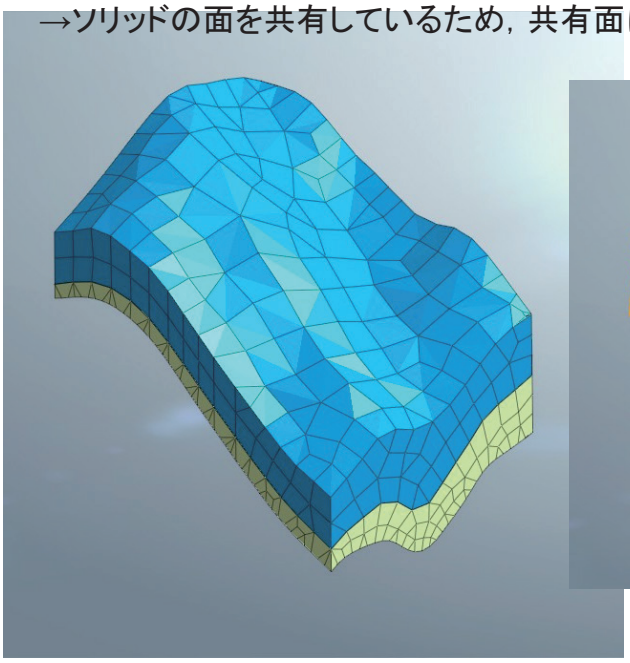


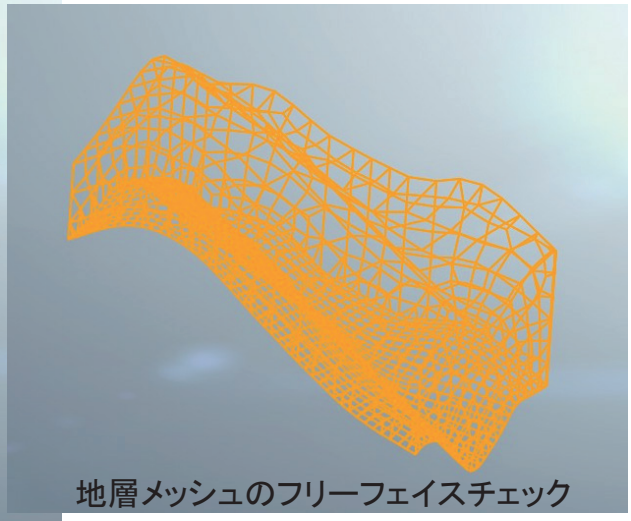
© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ>「ヘッダーとフッター」で編集できます。 13

地層（地山）の作成②

Fujita Corporation

オートメッシュにて，地層のメッシュを作成
→ソリッドの面を共有しているため，共有面は同じメッシュが自動作成される



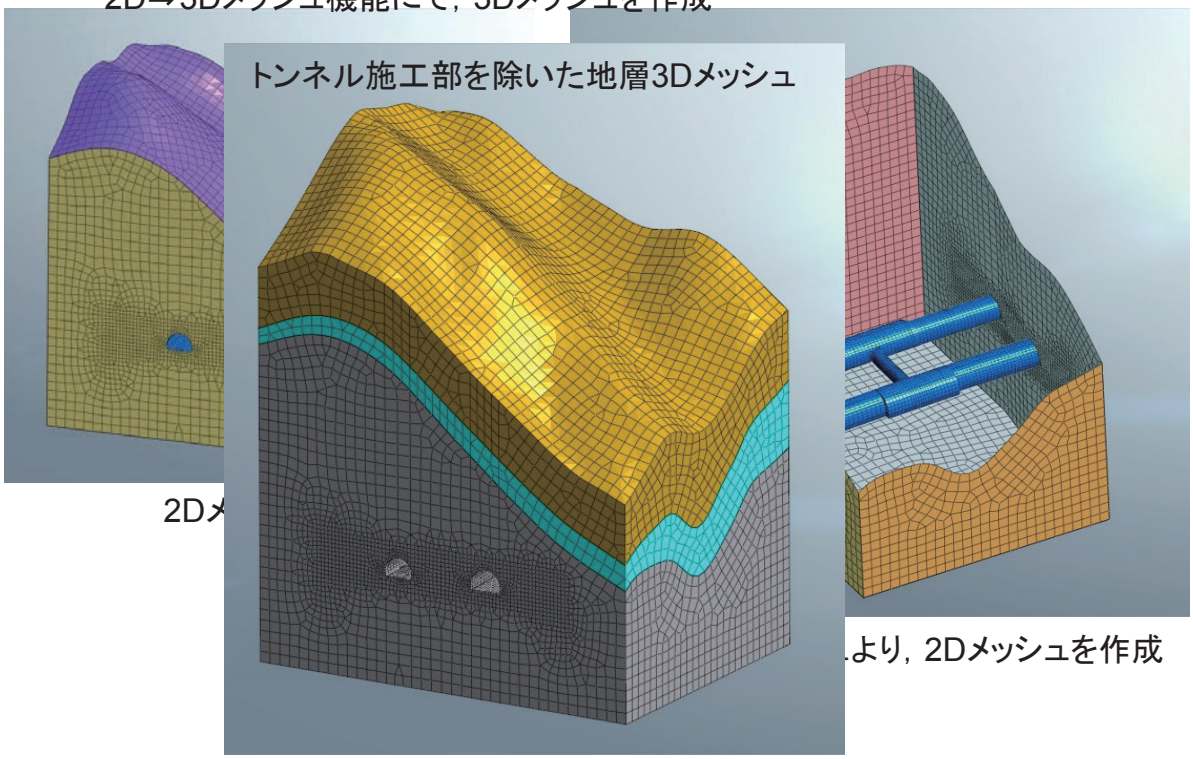


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ＞「ヘッダーとフッター」で編集できます。 14

地層（地山）の作成③

Fujita Corporation

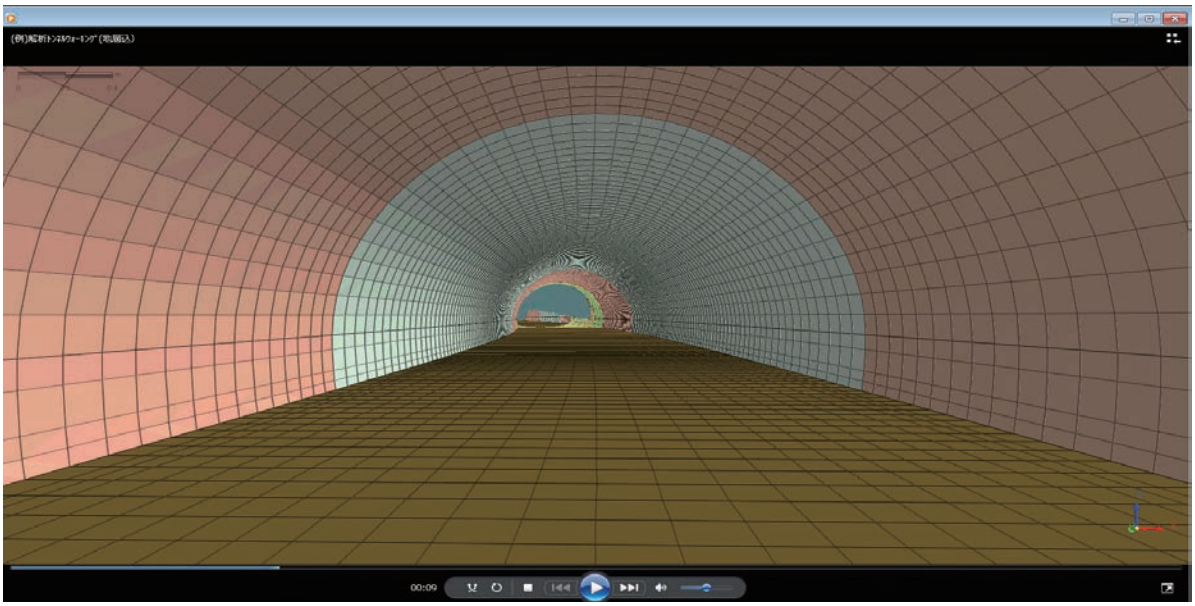
地層境界部と同様に，2Dの箱を作成して，
2D⇒3Dメッシュ機能にて，3Dメッシュを作成



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ＞「ヘッダーとフッター」で編集できます。 15

GTS NXのフライトシュミレーション機能

Fujita Corporation



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ＞「ヘッダーとフッター」で編集できます。 16

FUJITA

Daiwa House Group®

Thank you.

17

MIDAS CONSTRUCTION TECHNICAL DOCUMENT COLLECTION

GTS NX 実務適用事例集

8. 地盤変形・トンネル分野

トンネル解析における三次元解析と二次元解析

株式会社NOM 大河内 保彦 様

トンネル解析における三次元解析と二次元解析

(株)NOM　大河内保彦

1

Contents

1. トンネルの解析
2. トンネルの三次元解析と二次元解析
3. 3Dモデル
4. 2Dモデル
5. 結果の比較
6. まとめ

2

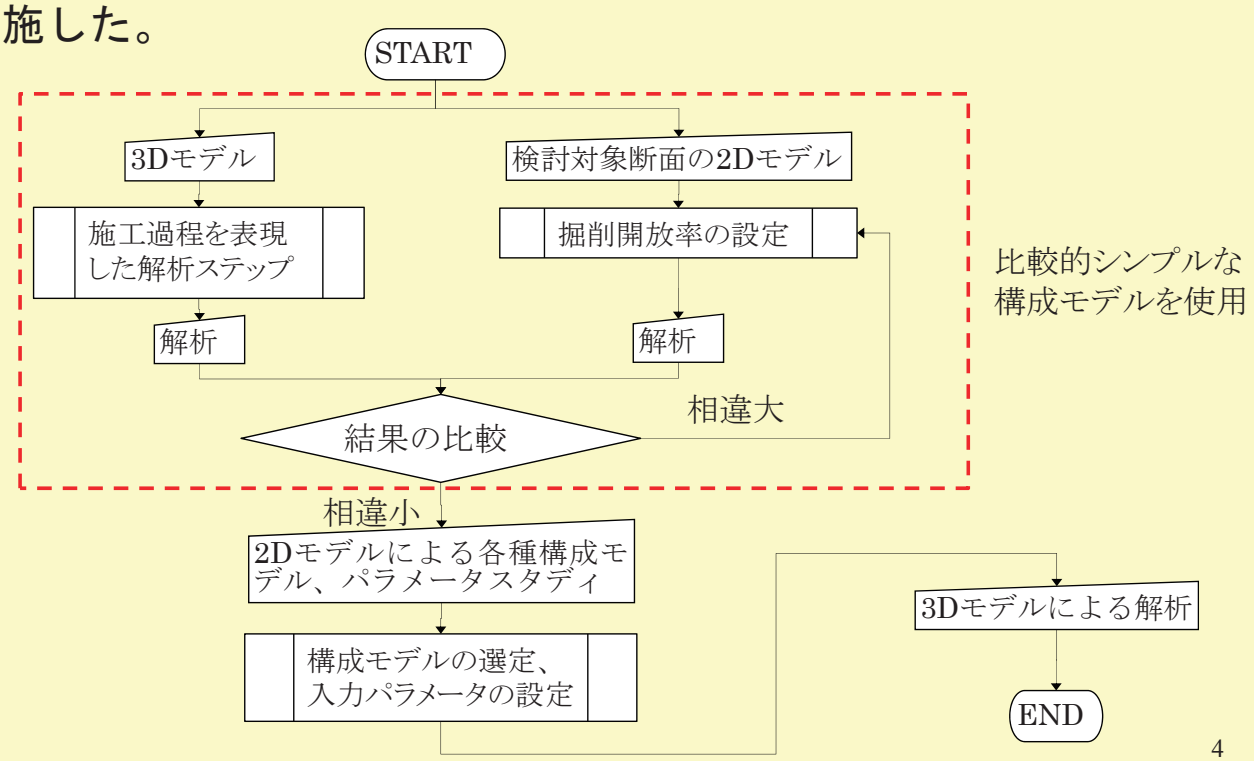
1. トンネル解析

- トンネル問題は基本的に三次元問題であるため、三次元解析を実施することが望ましい。
- 今までは、モデリングの複雑さ、解析時間の制限等から、2次元問題として解析されることが多く、施工過程として、切羽の存在や、支保工設置等をモデル化するために、掘削開放率という概念を用いることが多い。
- この掘削開放率は、地盤特性、無支保区間の長さ等施工状況の種々の関数的なもので決まると考えられるが、現在は経験的な値を用いるのがほとんどと思われる。
- 一方で複数の構成モデルの比較、選定を行ったり、パラメータスタディを三次元モデルでやることは、計算時間等の上からも、現実的ではない。

3

2. トンネルの三次元解析と二次元解析

今回は、2次元解析で種々の構成モデルの検討、パラメータスタディを行うために、三次元モデルと二次元モデルの比較を実施した。

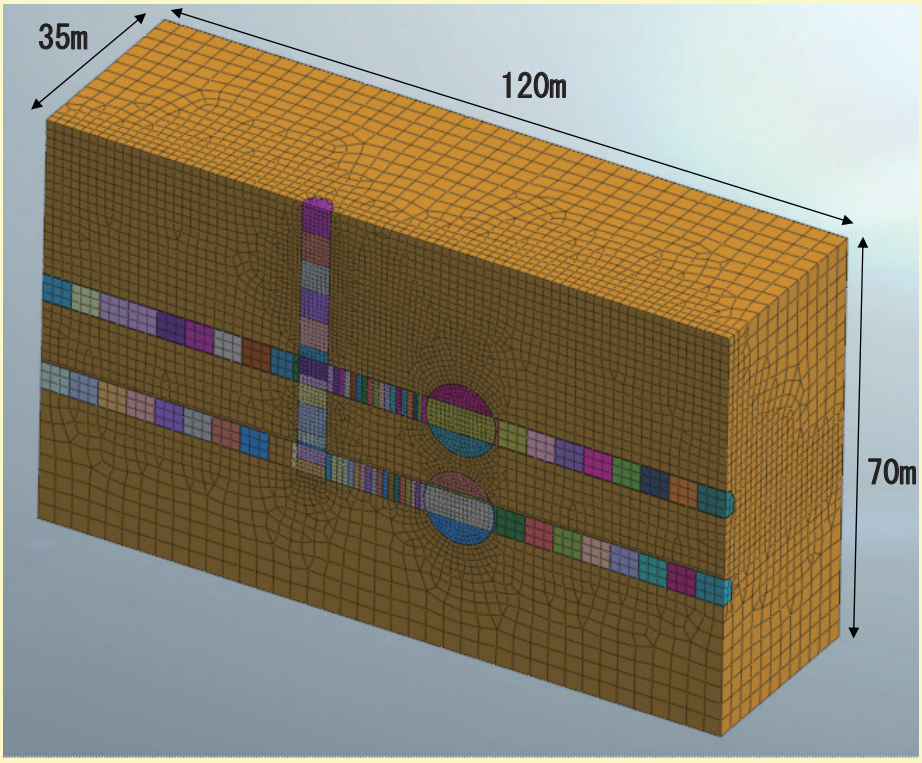


4

3. 3Dモデル

対称性を利用した1/2モデル

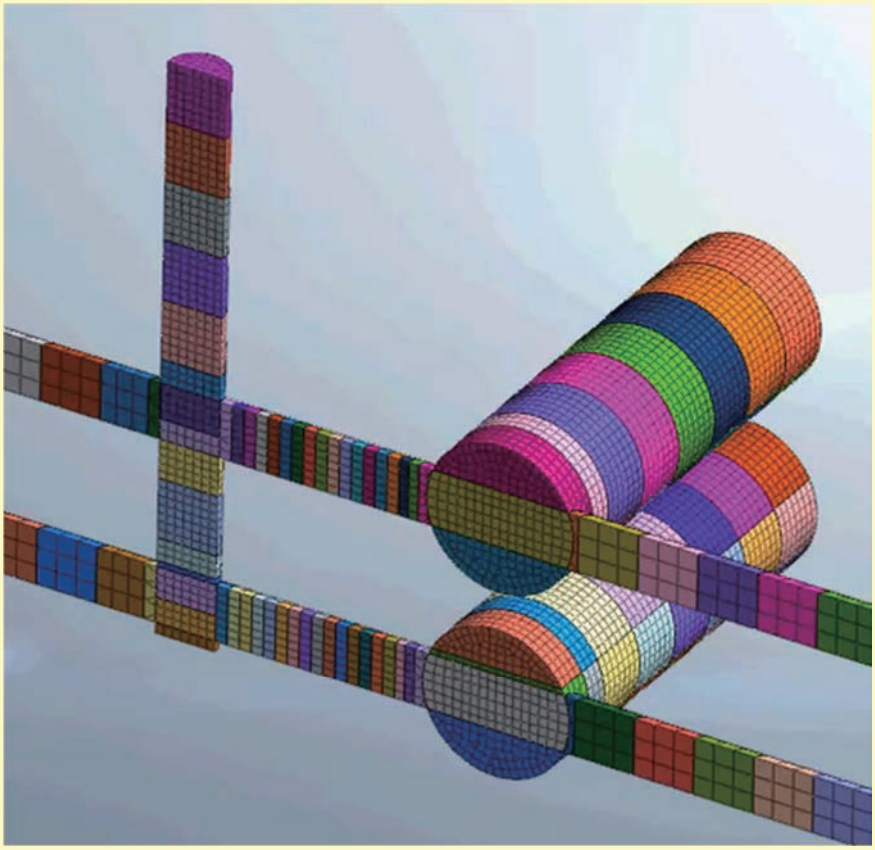
節点数80877、要素数153767、地盤は全体が軟岩



5

3. 3Dモデル-施工ステップ

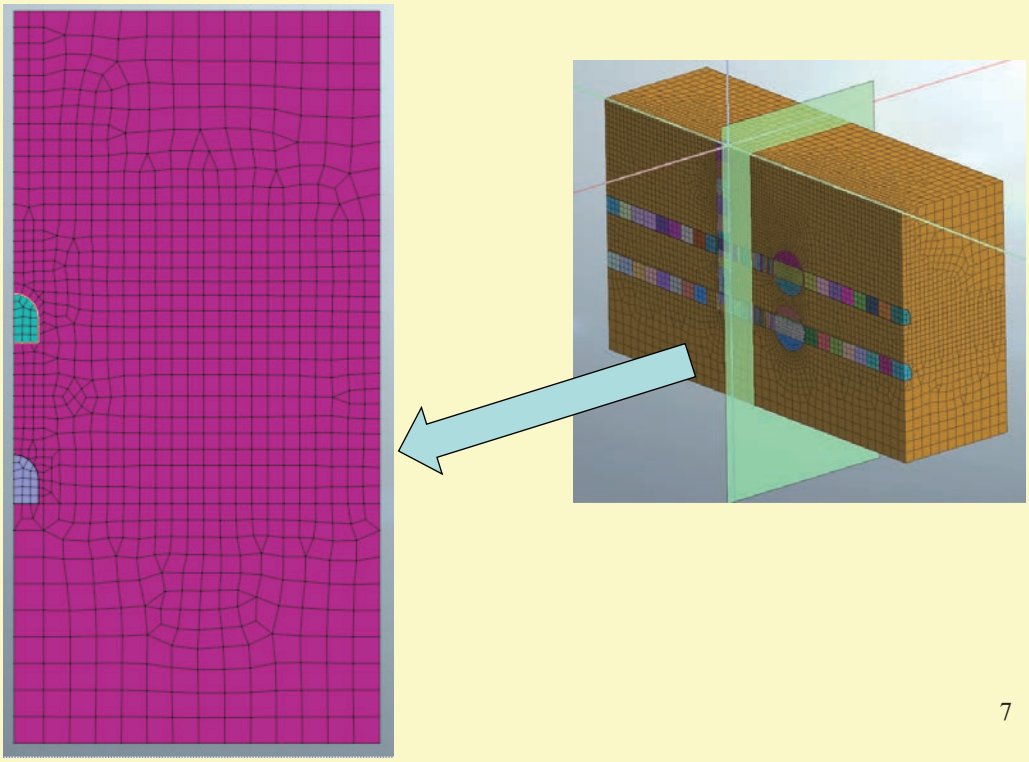
施工ステップ数100, M-Cで計算時間約1時間40分



6

4. 2Dモデル

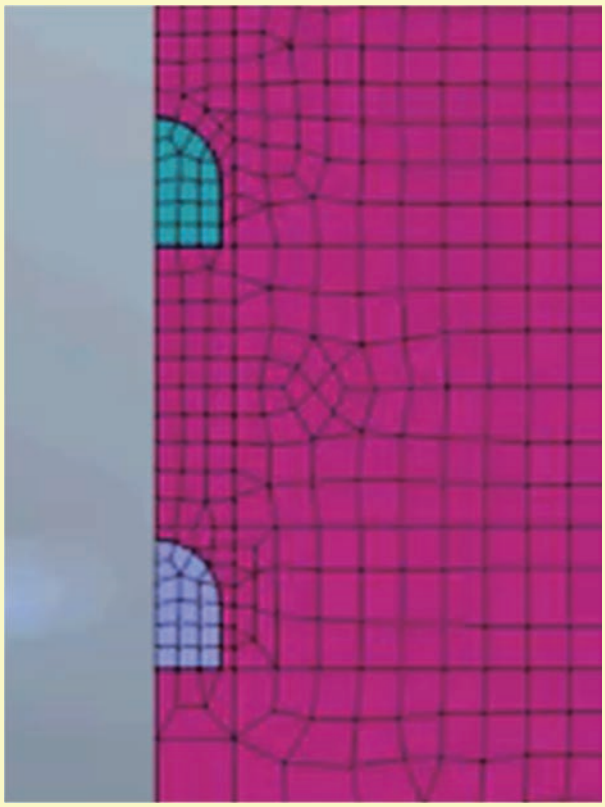
連結トンネル部分のみを切り出してモデル化
節点数1880、要素数2064



7

4. 2Dモデル―施工ステップ

施工ステップ数5、M-Cで計算時間約10秒(掘削開放率30%)

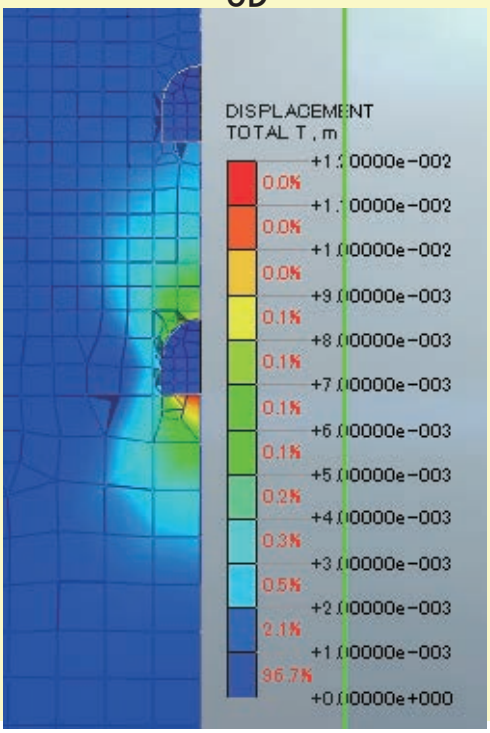


8

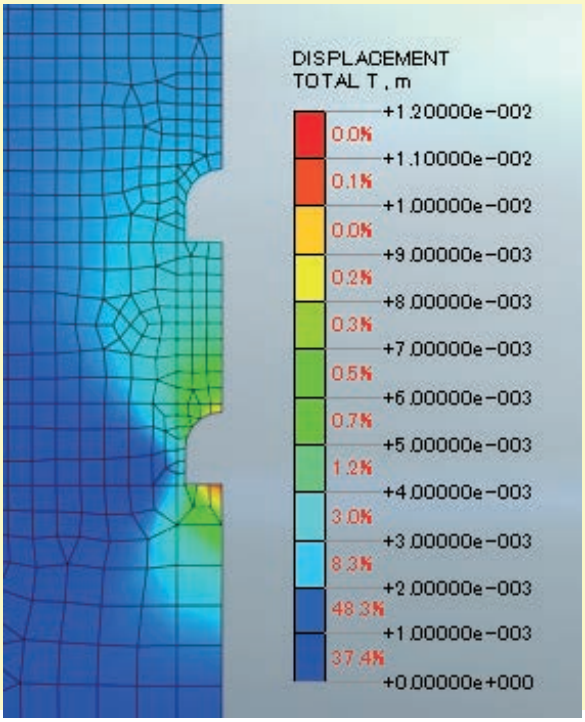
5. 結果の比較-合成変位

3Dがやや大きめだが、傾向は似ている。
3Dの方が影響範囲が小さい。

3D



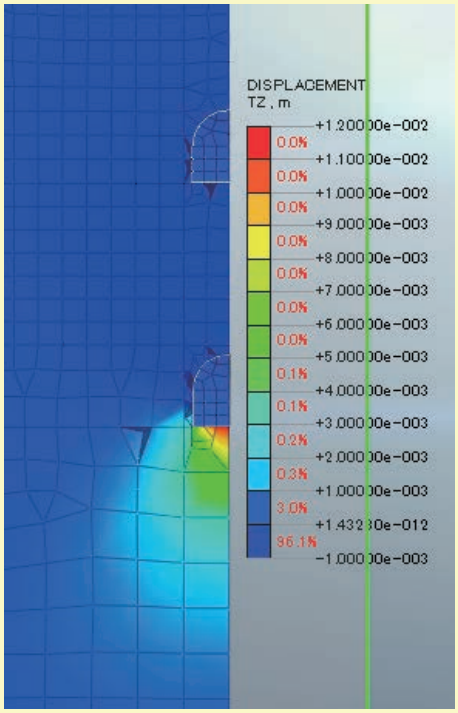
2D



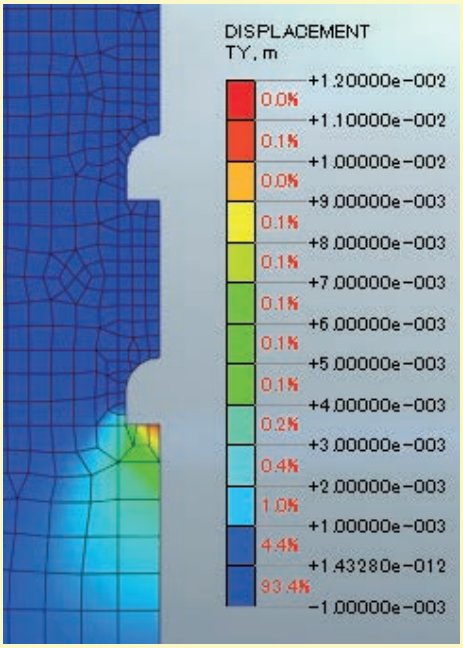
5. 結果の比較-鉛直変位

3Dがやや大きめだが、比較的似ている。

3D



2D

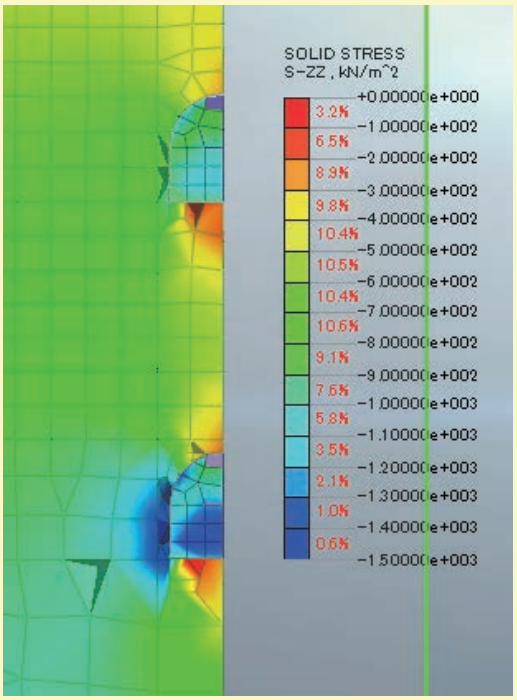


10

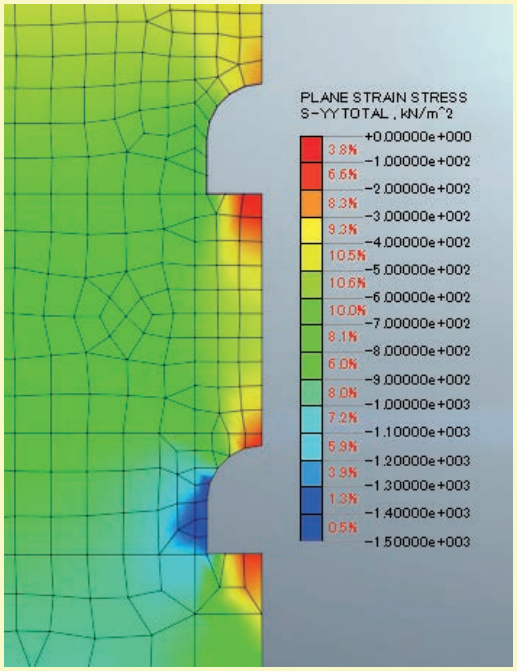
5. 結果の比較-鉛直応力

全体としてよく似ている。

3D



2D

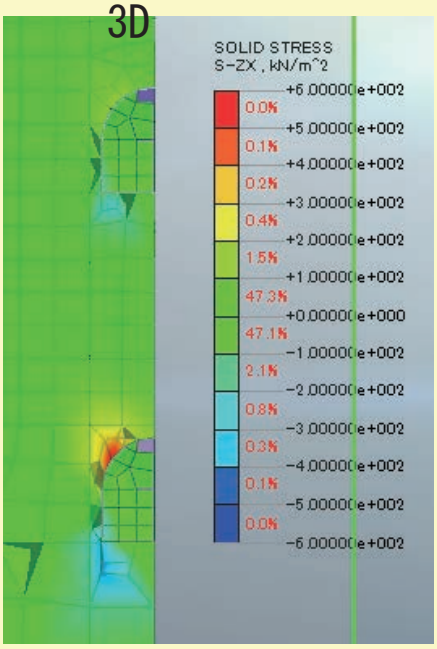


11

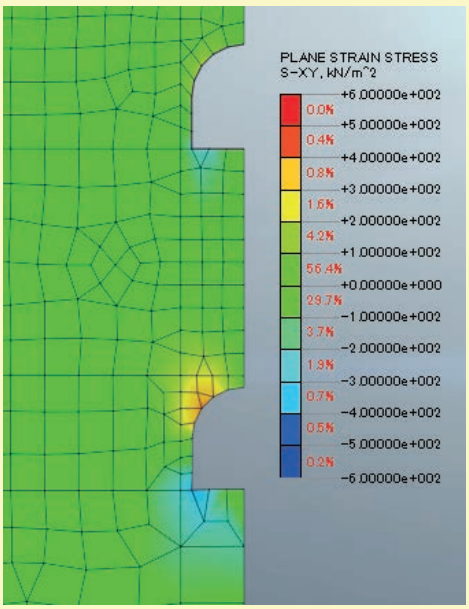
5. 結果の比較-せん断応力

3Dがやや大きめだが、傾向は似ている。

3D



2D



12

まとめ

1. 3Dモデルと2Dモデルによるトンネル掘削の解析結果の結果を比較した。
2. 今回はM-Cモデルを用いたが、3Dモデルでは、パラメータスタディ等、試行錯誤をするには、計算時間がかかりすぎる。
3. 2Dモデルは計算時間が問題ならないほど短いため、試行錯誤に向いている。
4. ただし、2Dモデルは、変形状況、応力状態等が、3Dモデルでの注目面と比較的近いことを確認する必要がある。
5. 今回は掘削開放率を30%として2Dモデルの解析を行い、3Dモデルと応力、変形が、近いことが確認できた。ただし、2Dモデルの変位等は3Dモデルよりやや小さめであり、より掘削開放率を大きくしないと、危険側となる可能性がある。
6. 複雑な構成モデルを用いる場合や、入力パラメータの同定等の場合に、今回のようなアプローチは、有用な場合も多いと思われる。

13

ご清聴ありがとうございました。

14

MIDAS