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

MIDAS

Global Leader in Providing Engineering Solutions & Services

MIDAS ITは世界の技術者を支援します

世界 構造解析分野市場占有率1位(midas Gen/iGen)

韓国 建築分野/土木分野/地盤分野CAEソフト占有率1位

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

建設業界 **No.1**

現地法人 **8**

海外代理店 **35**

使用国 **110**

About MIDAS IT

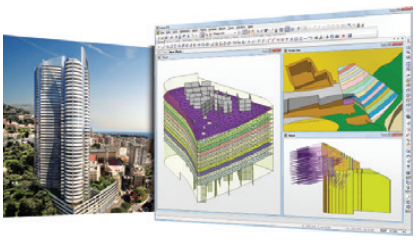
MIDAS ITは、工学技術用ソフトウェア開発および普及、そして構造分野のエンジニアリングサービスとウェブビジネス統合ソリューションを提供する会社です。
2000年9月に設立、現在は約600名のグローバル専門技術者が在籍し、日本、アメリカ、中国、インド、ロシア、イギリス、ドバイ、シンガポールの現地法人や35ヶ国の代理店など、全世界ネットワークを通し、110ヶ国に工学技術用ソフトウェアを販売する世界的な企業として成長しました。

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

このようなセミナーに是非ともご参加頂けますようお願い申し上げます。

Dubai Tower

Palazzo Versace & D1 Tower



Odeon Tower

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

01 琉球諸島における土木工学問題に対する数値解析の役割とその適用 03-26
琉球大学 工学部 環境建設工学科　藍檀 オメル 教授

02 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」 27-34
首都大学東京大学院 都市環境科学研究科　西村 和夫 教授

03 地層境界面を考慮した 3次元解析モデルの作成方法例 35-46
株式会社フジタ　徳永 高志　様

04 杭の先行削孔による既設シールド管への影響検討 47-76
株式会社 フジタ　池内 正明　様

05 開削工事の盤ぶくれ評価への FEM解析の応用性について 77-100
株式会社 大林組　杉江 茂彦　様

06 GTS NX 差別化機能の紹介「トンネル編」 101-119
株式会社マイダスアイティジャパン

01 琉球諸島における土木工学問題に対する数値解析の役割とその適用

琉球大学 工学部 環境建設工学科　藍檀 オメル 教授

2016 MIDAS SEMINAR IN OKINAWA - MIDAS 沖縄セミナー 2016.9.26

琉球諸島における土木工学問題に対する数値解析の役割とその適用

藍檀　オメル
琉球大学　工学部　環境建設工学科

基礎式

質量保存則　$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\nabla \cdot \mathbf{q} \pm Q$$

浸透流

拡散問題

2D・3D一般的に厳密解を得ることが大変難しいため、近似解と呼ばれる数値解析が不可欠である。

運動量保存則　$$\rho \frac{d\mathbf{v}}{dt} = -\nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} + \mathbf{b}$$

エネルギー保存則　$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = -\nabla \cdot \mathbf{q}_h + \boldsymbol{\sigma} \cdot \dot{\boldsymbol{\varepsilon}} + Q_h$$

数値解析法

有限差分法（FDM）、有限要素法（FEM）、境界要素法（BEM）

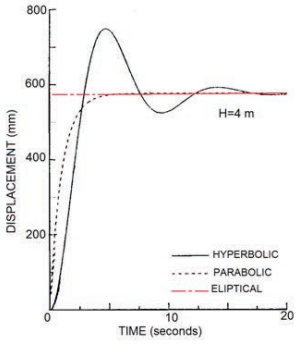
離散化された形（大円型、放物型、双曲型）

構成則：線形、非線形

双曲型　$$[\mathbf{M}]\{\ddot{\phi}\} + [\mathbf{C}]\{\dot{\phi}\} + [\mathbf{K}]\{\phi\} = \{\mathbf{F}\}$$

放物型　$$[\mathbf{C}]\{\dot{\phi}\} + [\mathbf{K}]\{\phi\} = \{\mathbf{F}\}$$

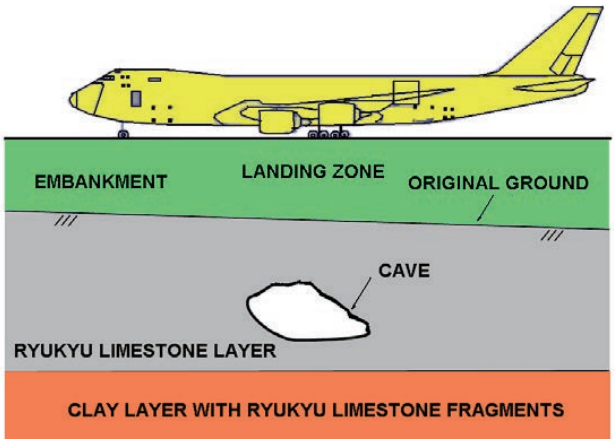
大円型　$$[\mathbf{K}]\{\phi\} = \{\mathbf{F}\}$$

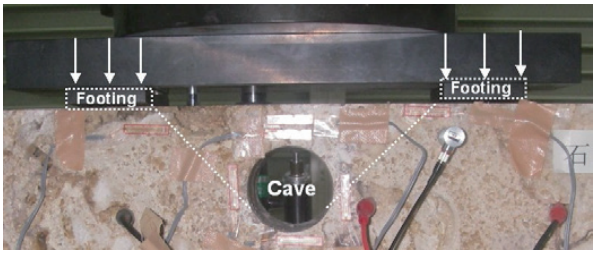


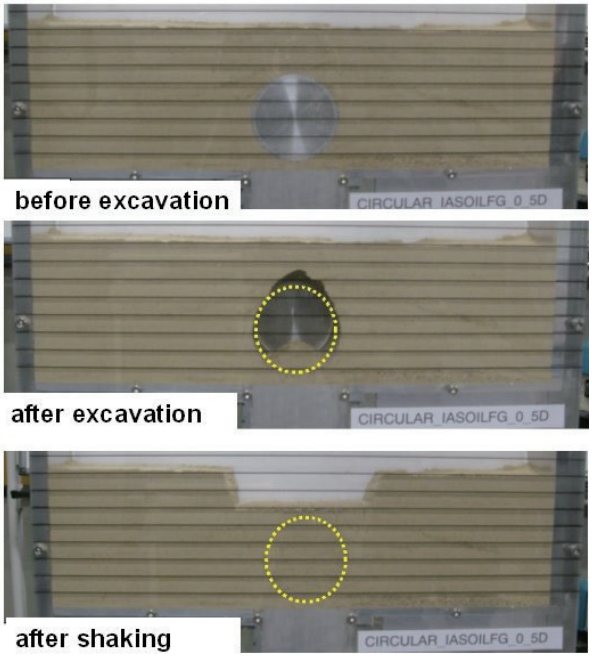
適用例

1） 新石垣空港・鍾乳洞問題
2） 具志川城址・鍾乳洞問題
3） 姫ゆり塔・鍾乳洞問題
4） 運転トンネルの補強
5） 地下墓に対する橋脚の杭工事の影響の検討
6） 掘りこみ港（南大東島）
7） 琉球石灰岩の海食岸の不安定性
8） 島尻層群における地すべり問題
9） 石造文化材におけるアーチの安定性問題
10）島尻層群上の中城城址の長期挙動
11）島尻層群内空洞の短期・長期挙動
12）用水発電所周辺の岩盤の浸透・熱応答
13）液状化
14）普天間基地の変換後の再開発の際に空洞対策問題
15）構造物の非破壊健全性評価法

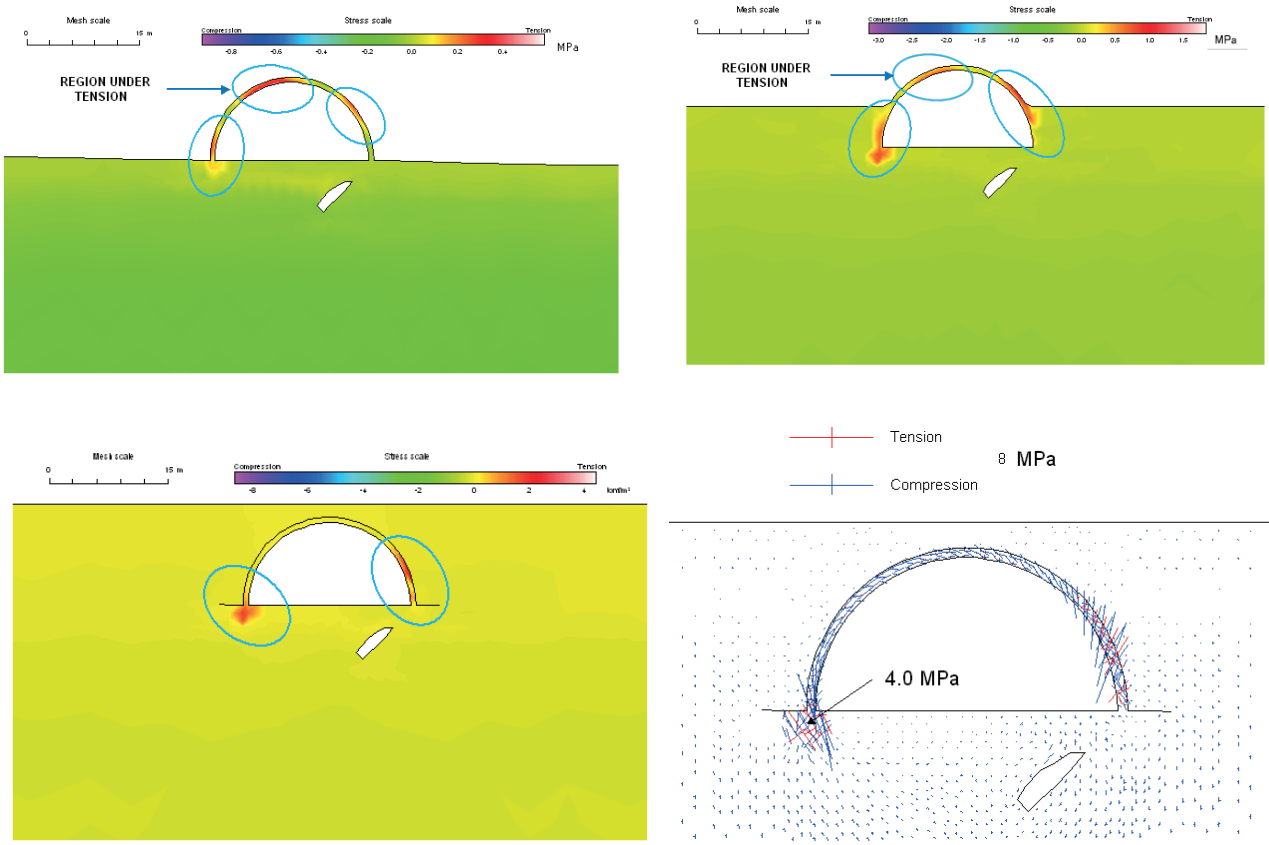
新石垣空港における鍾乳洞とその対策



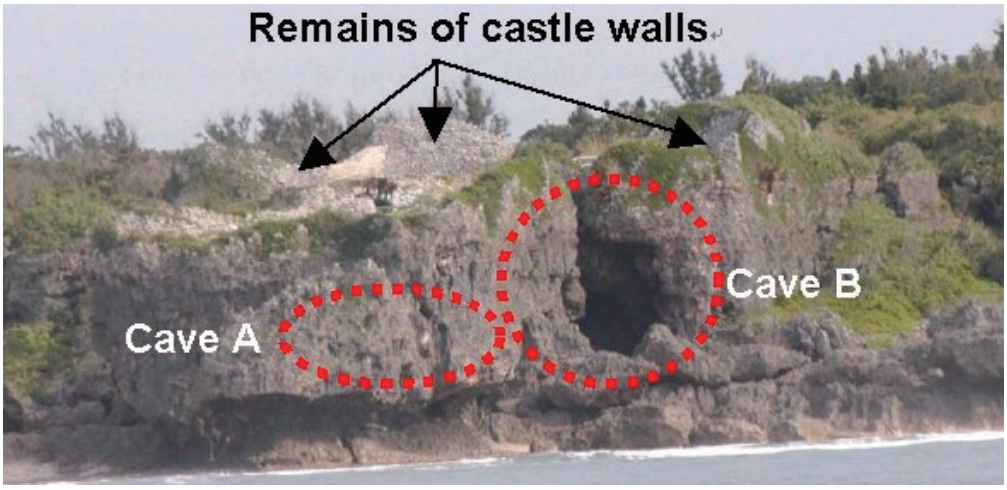


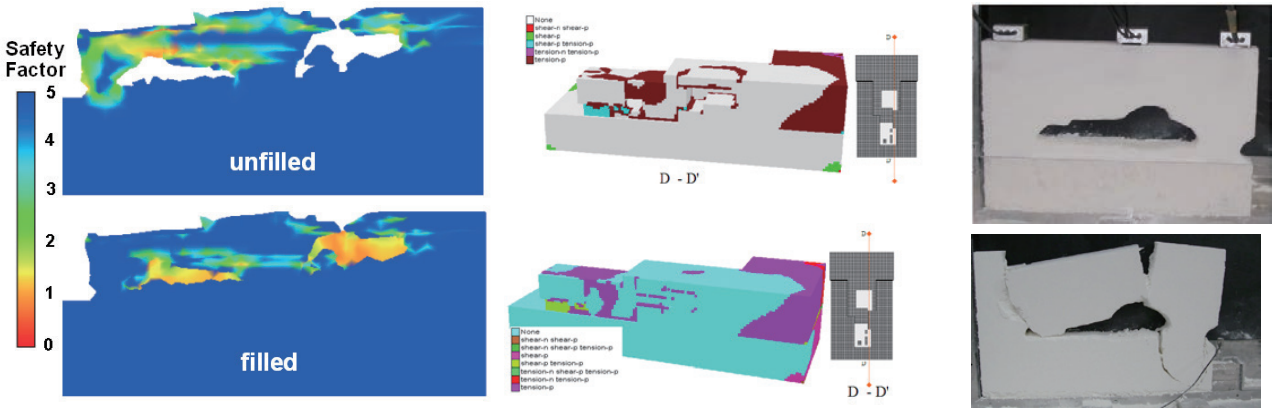


盛土の建設に伴う空洞対策工の応力分布

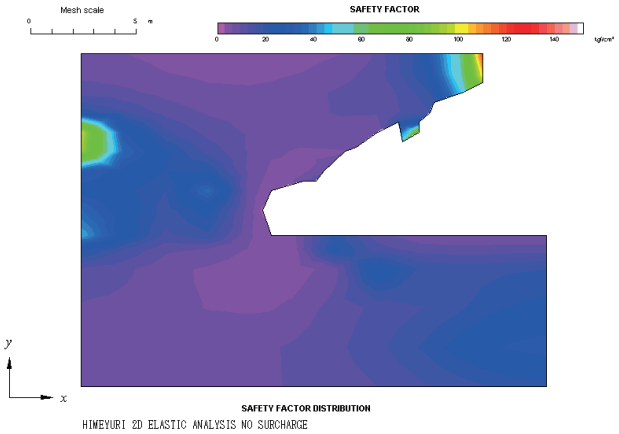


具志川城址基礎岩盤内における鍾乳洞問題の解析

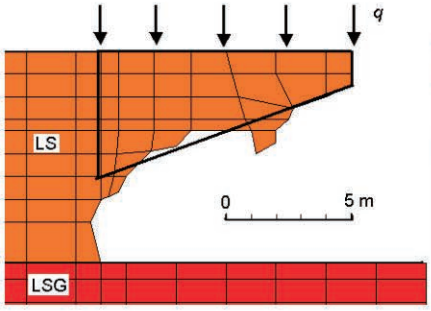


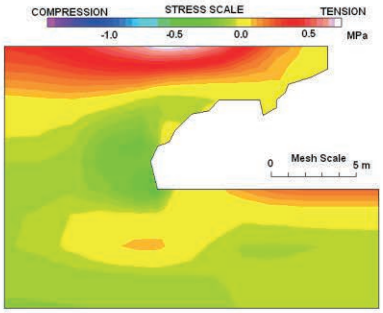


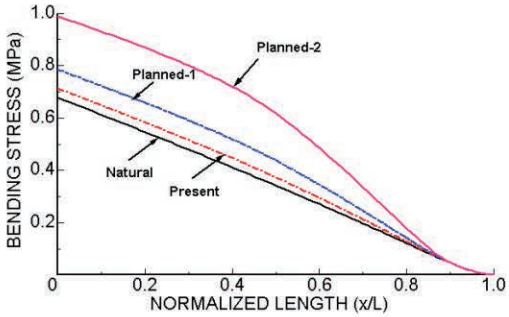
姫ゆり塔



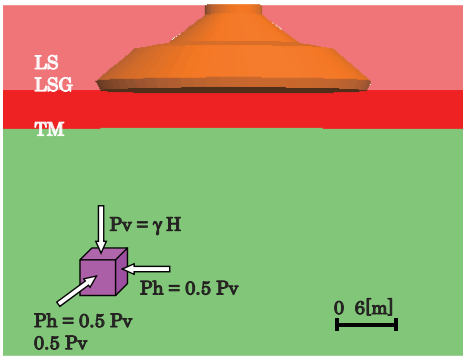
2D

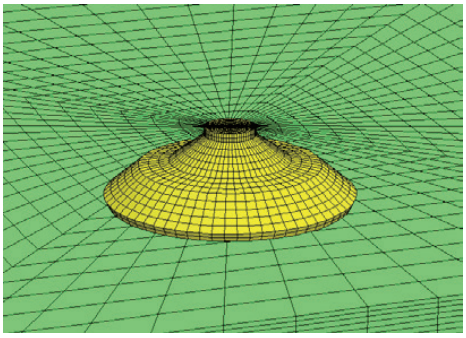


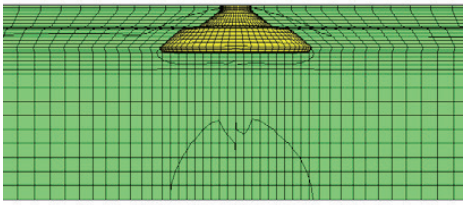


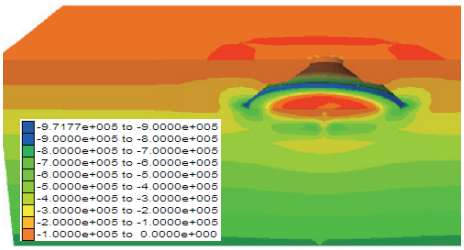


3D－FDM－弾性解　側圧係数 (0.5)

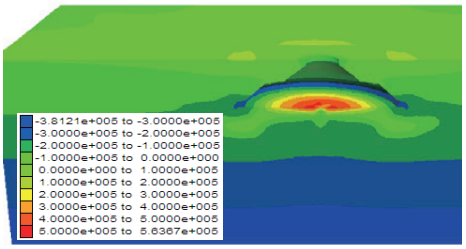




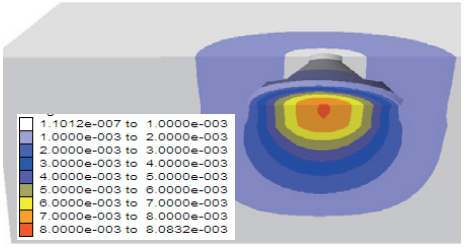




最大主応力 (Pa)

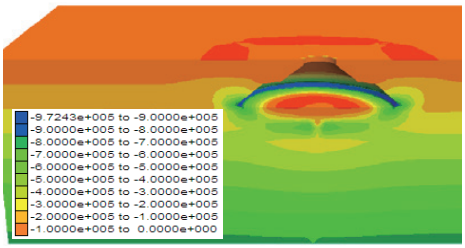


最小主応力 (Pa)

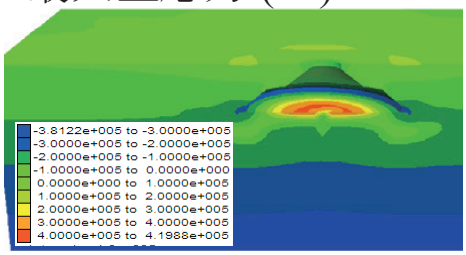


変位 (m)

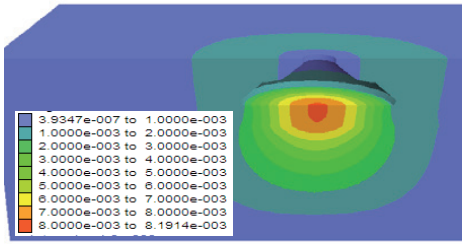
3D－FDM－弾塑性解



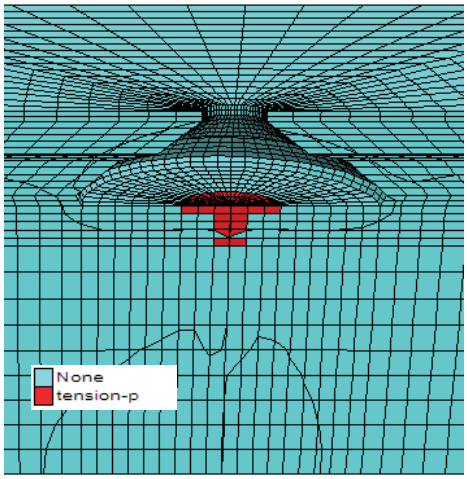
最大主応力 (Pa)

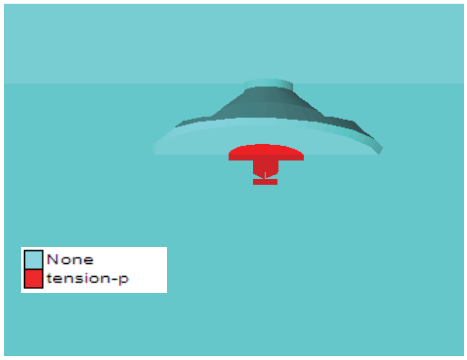


最小主応力 (Pa)



変位 (m)

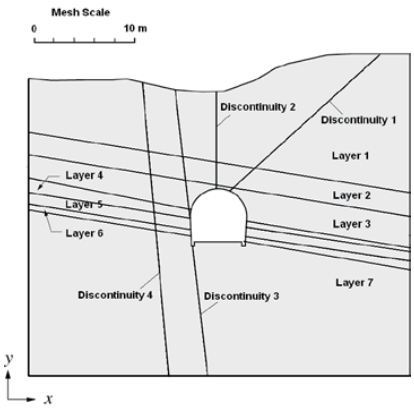


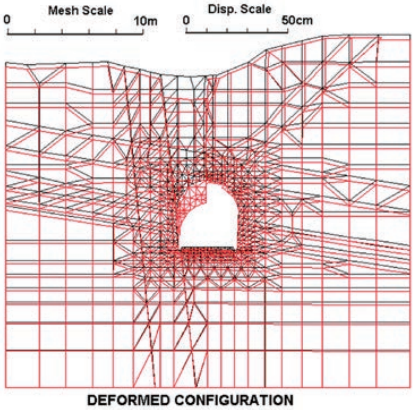


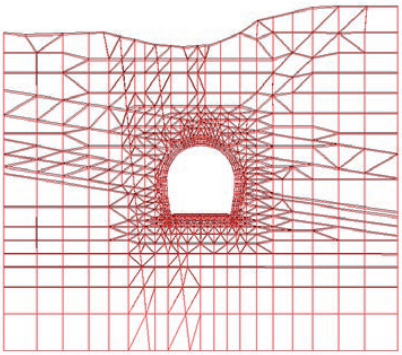
空洞周辺の塑性域

スボリのトンネルに対する対策(運転トンネル)

2D－DFEM



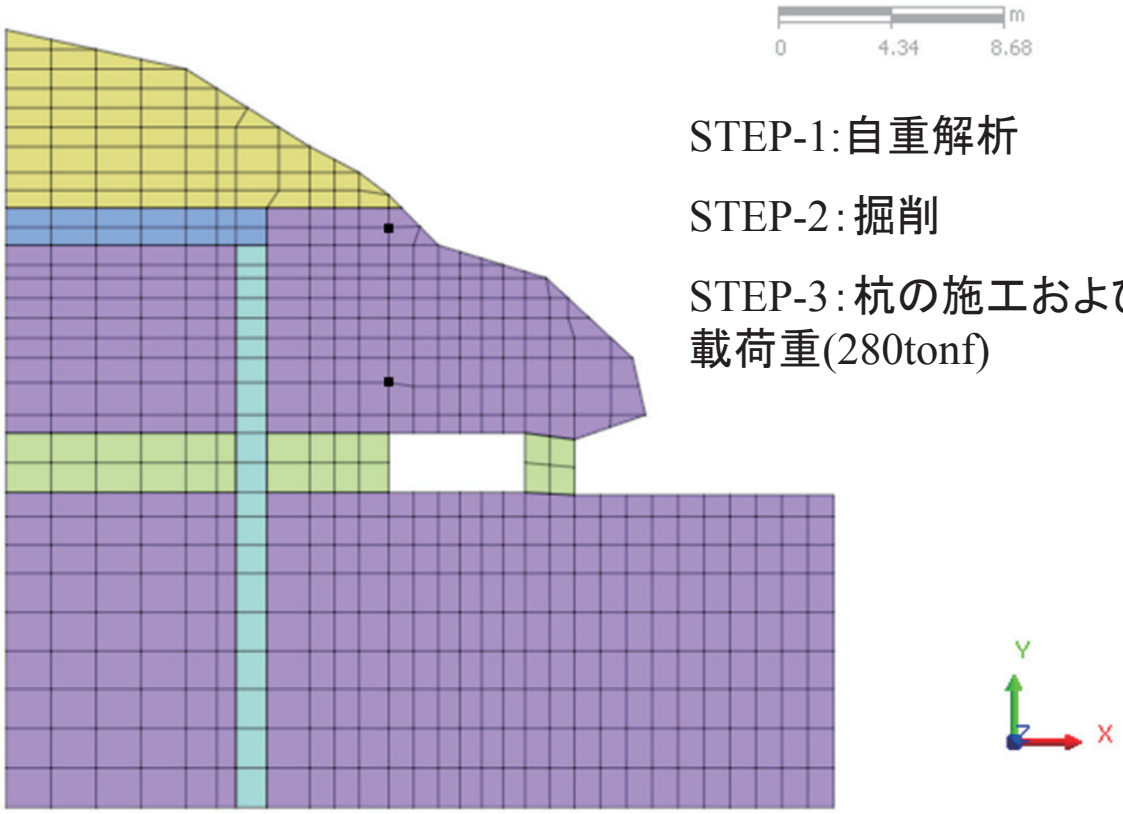




地下墓に対する橋脚の杭工事の影響の検討

RMQR=68-79

有限要素法による解析ーMIDASーGTS



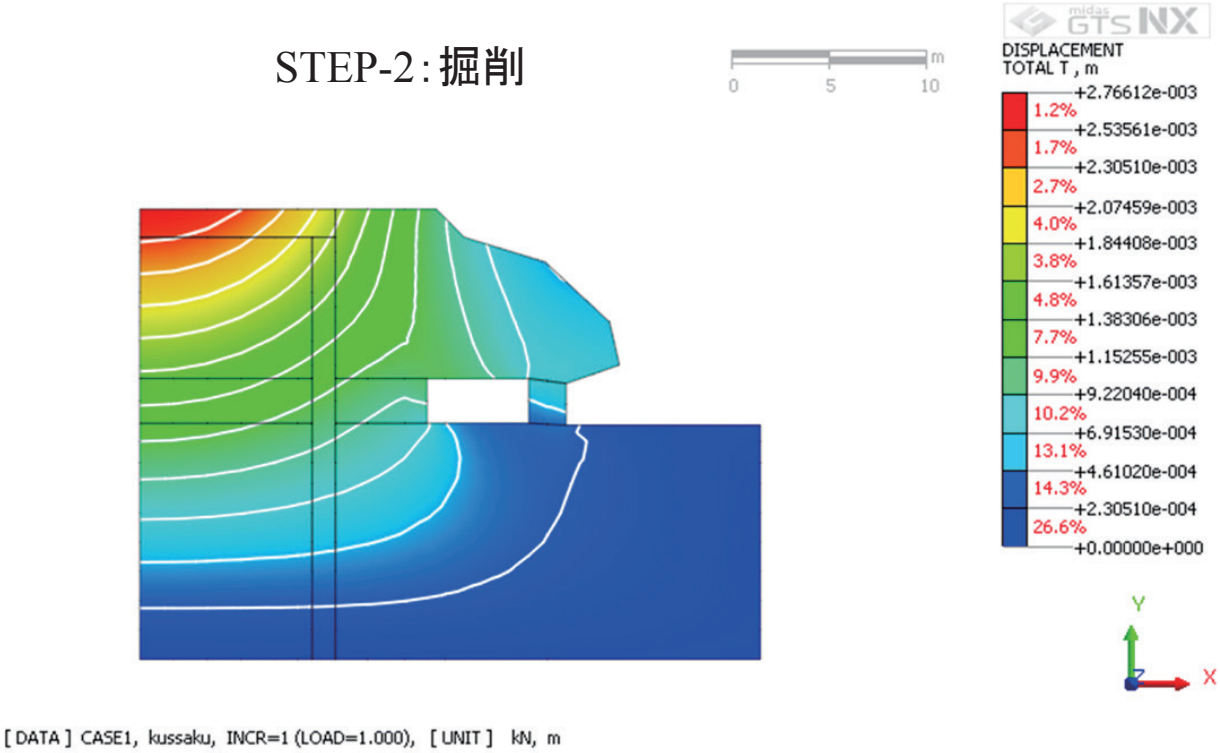
STEP-1:自重解析

STEP-2:掘削

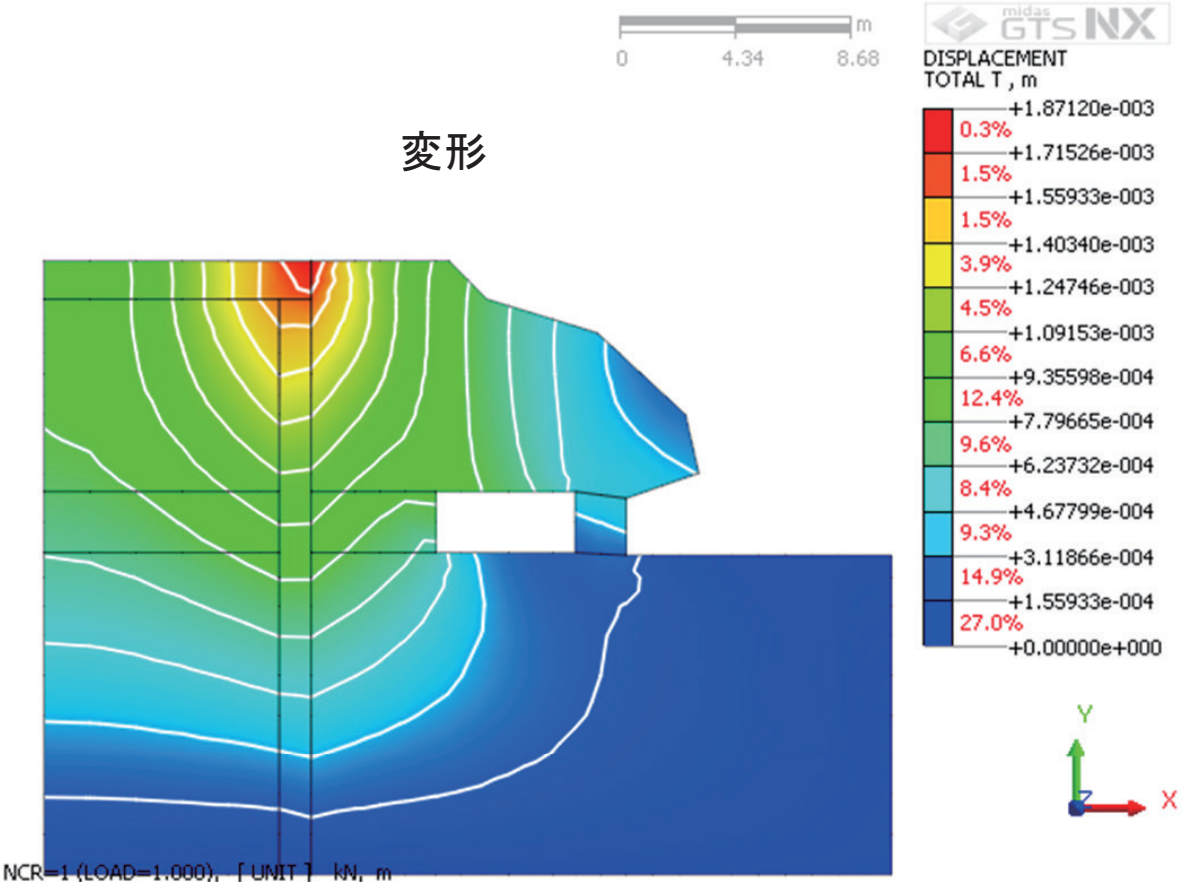
STEP-3:杭の施工および載荷重(280tonf)

掘削による変形

STEP-2：掘削

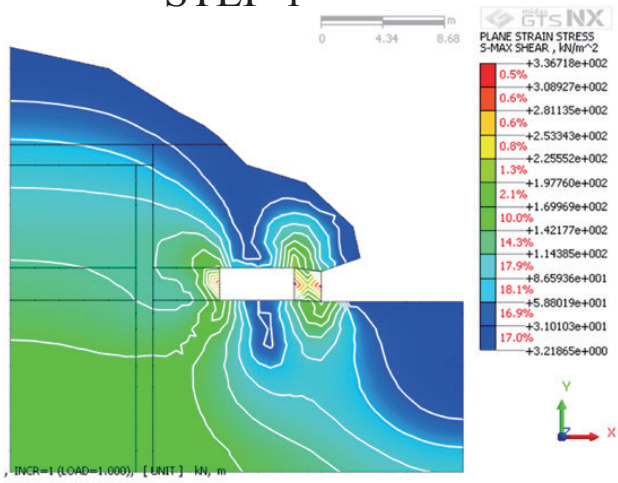


STEP-3：杭の施工および上部構造物の荷重(280tonf)

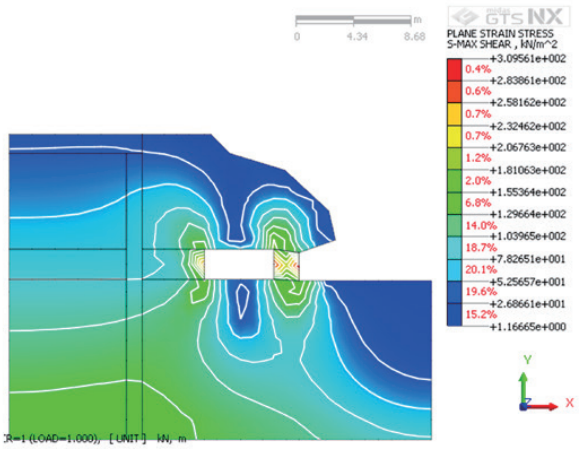


変形

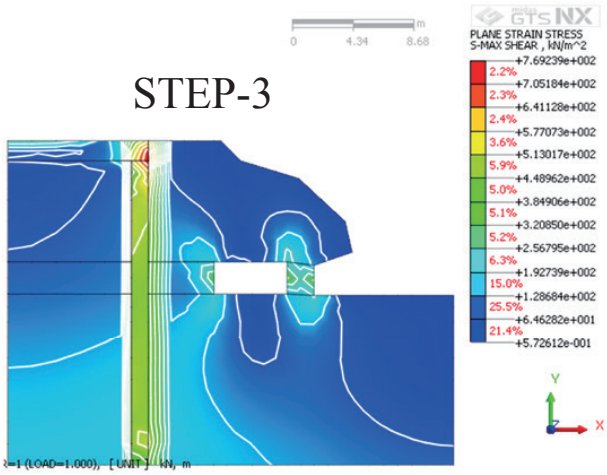
STEP-1



STEP-2

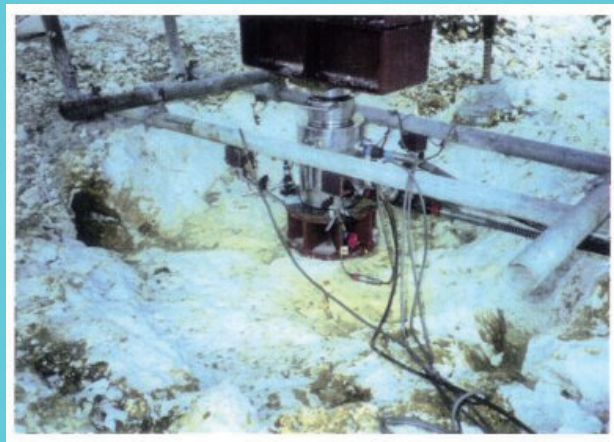


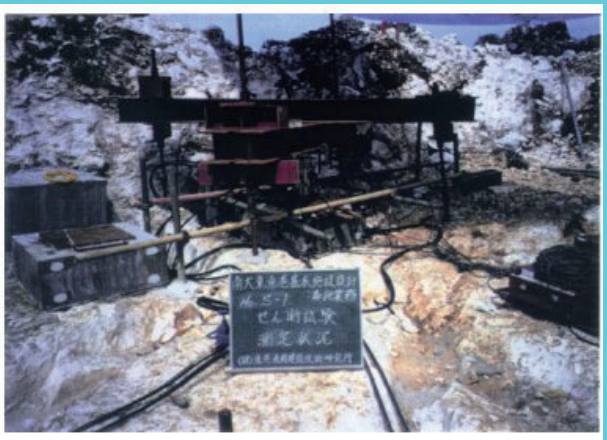
STEP-3



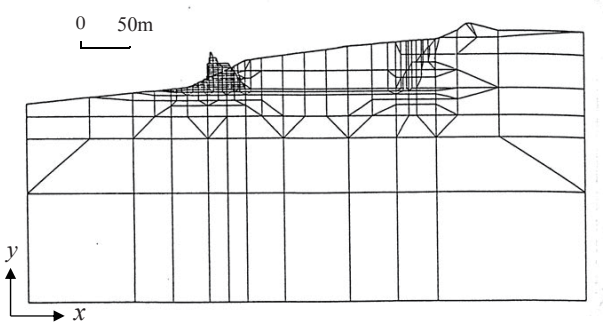
最大せん断応力分布

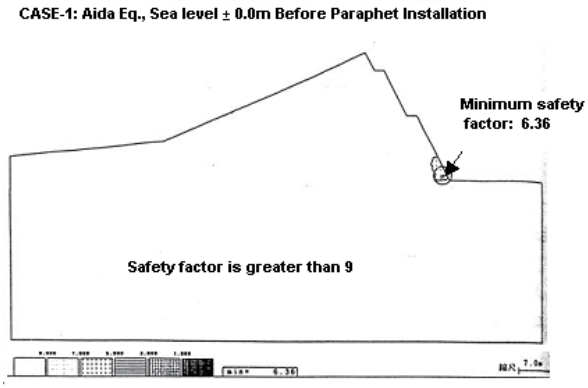
南大東島港プロジェクト

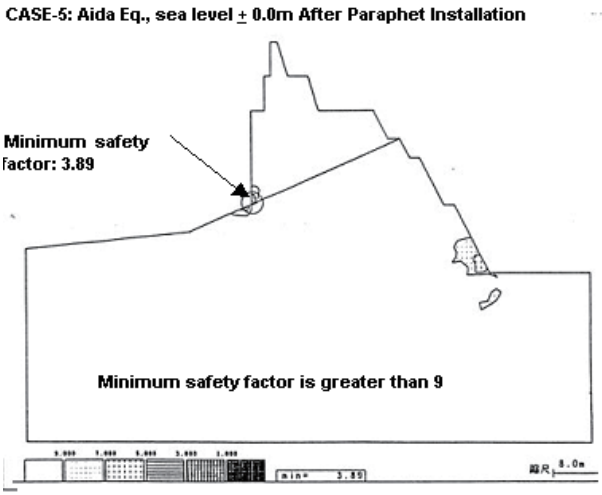


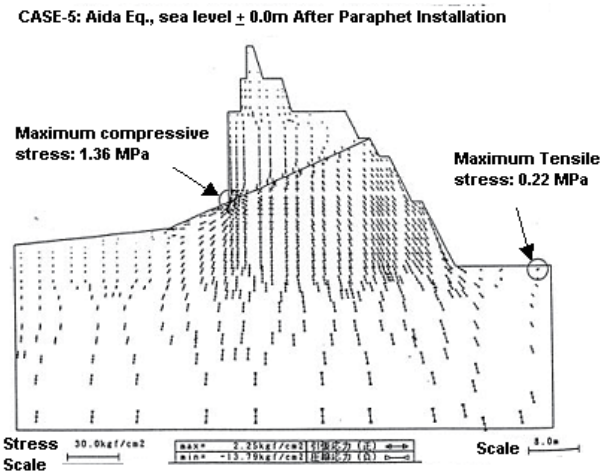


From Tokashiki,　2010



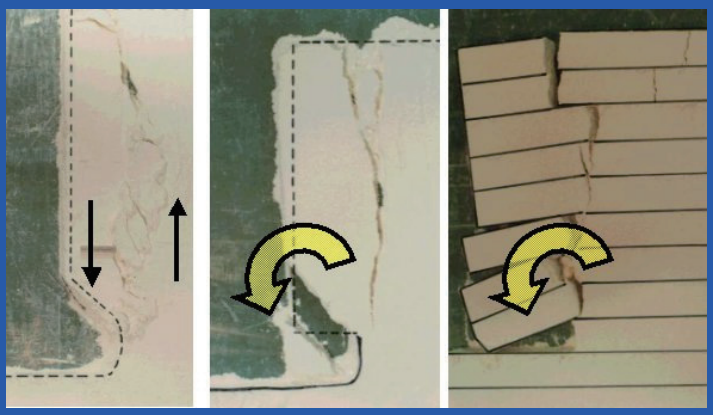






琉球諸島における海食岸の崩壊様式と関連の問題

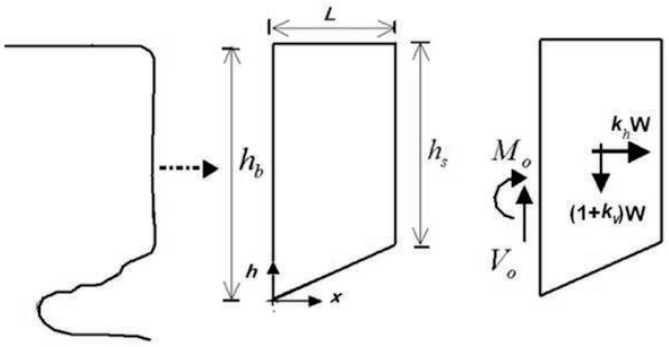
キャン岬海岸

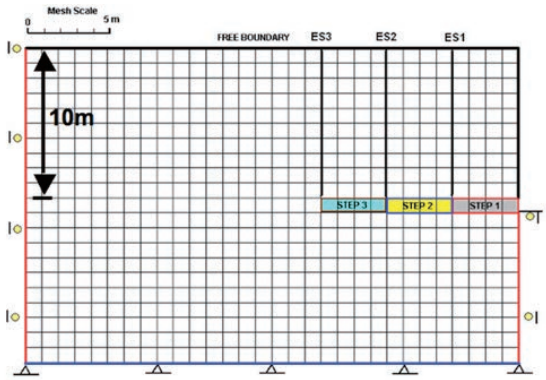


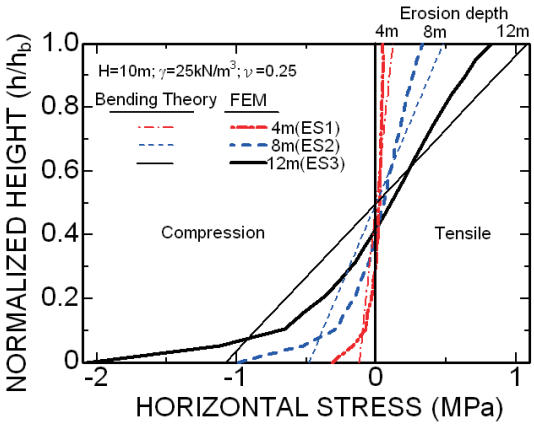
Aydan et al., 1985

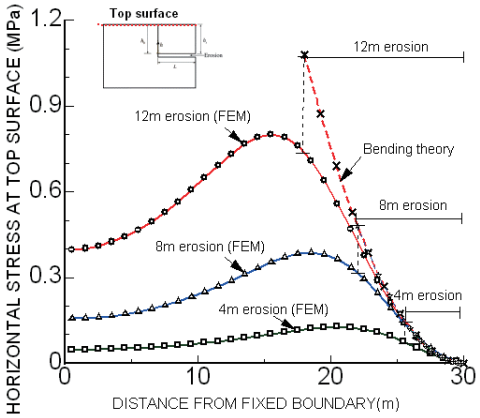
Tokashiki & Aydan, 2010

2D－FEM－弾性解







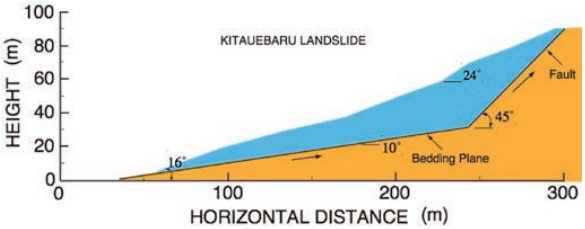


Tokashiki & Aydan, 2010

琉球諸島における地盤工学問題

島尻層泥岩斜面の崩壊事例

中城村北上原斜面崩壊（2006年）



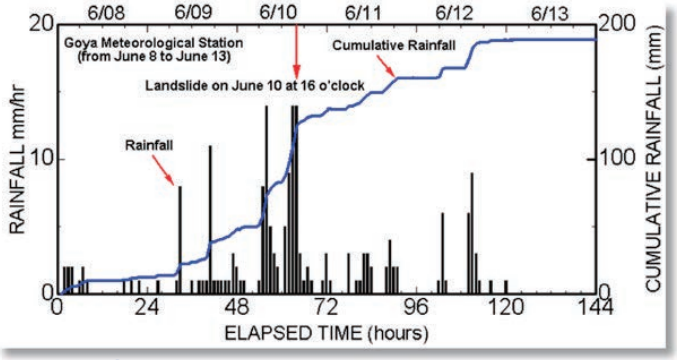
予想すべり面

岩塊のすべりをもたらした層理面

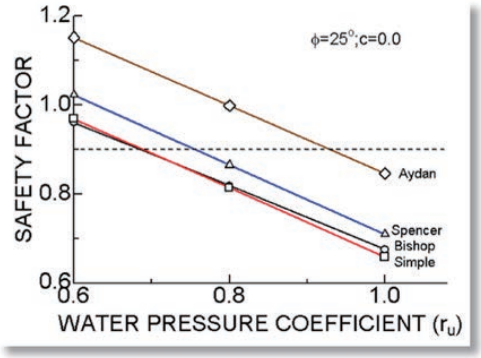
Tokashiki & Aydan, 2010

琉球諸島における地盤工学問題

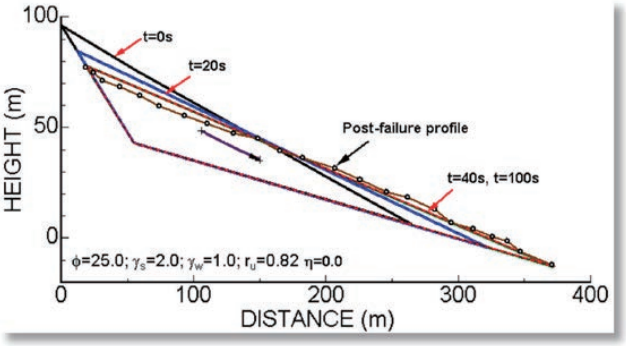
島尻層泥岩斜面の崩壊事例



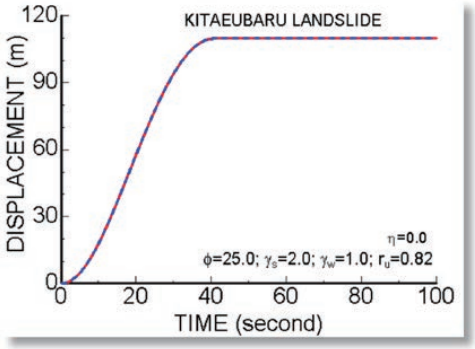
集中豪雨記録（2006年6月8日～13日）



斜面安全率

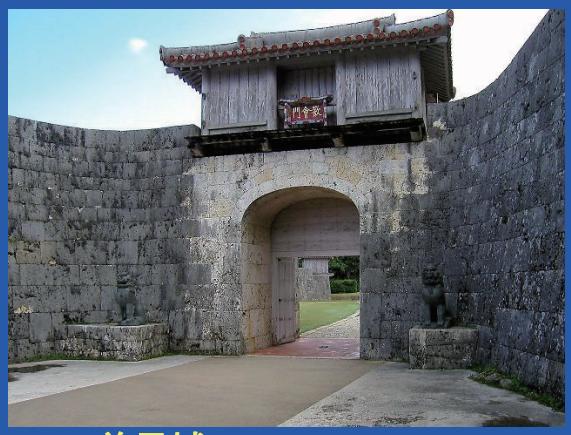


斜面崩壊後移動状況



崩壊岩塊移動距離

石積構造物の安定性と修復

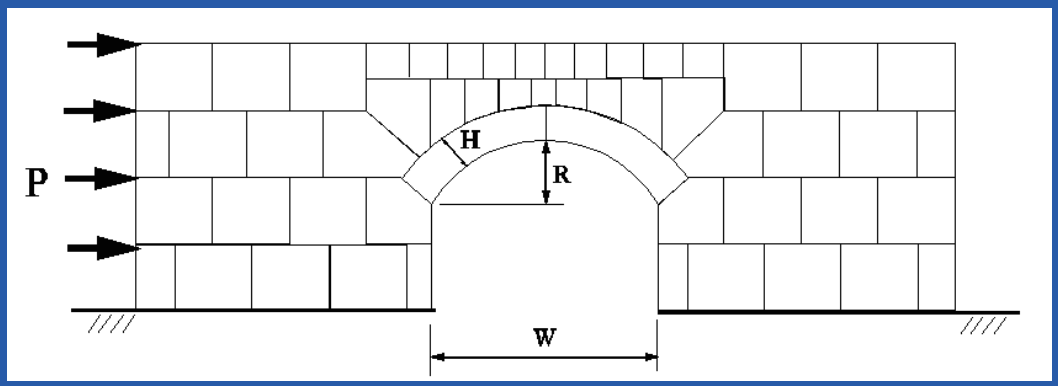


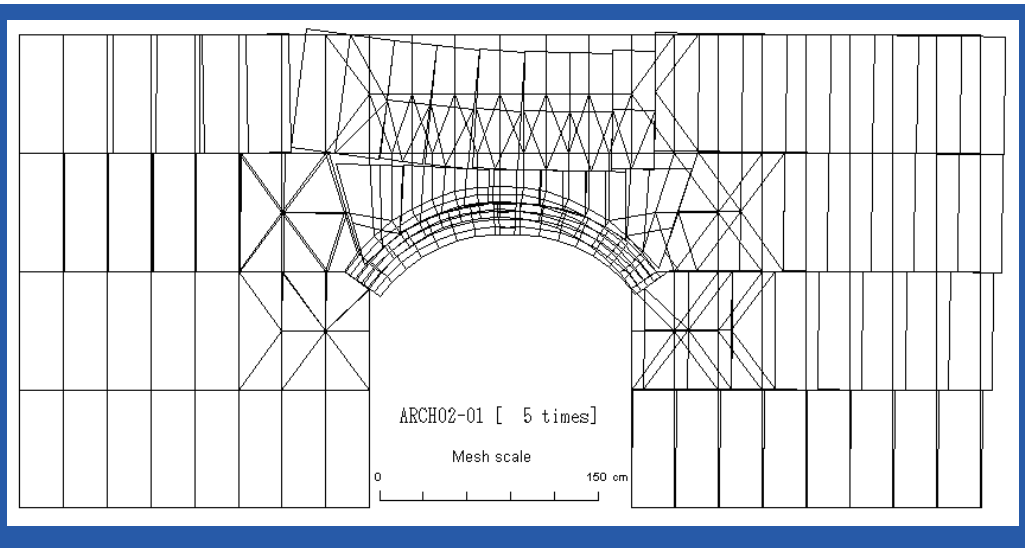
首里城

伊江殿内石橋

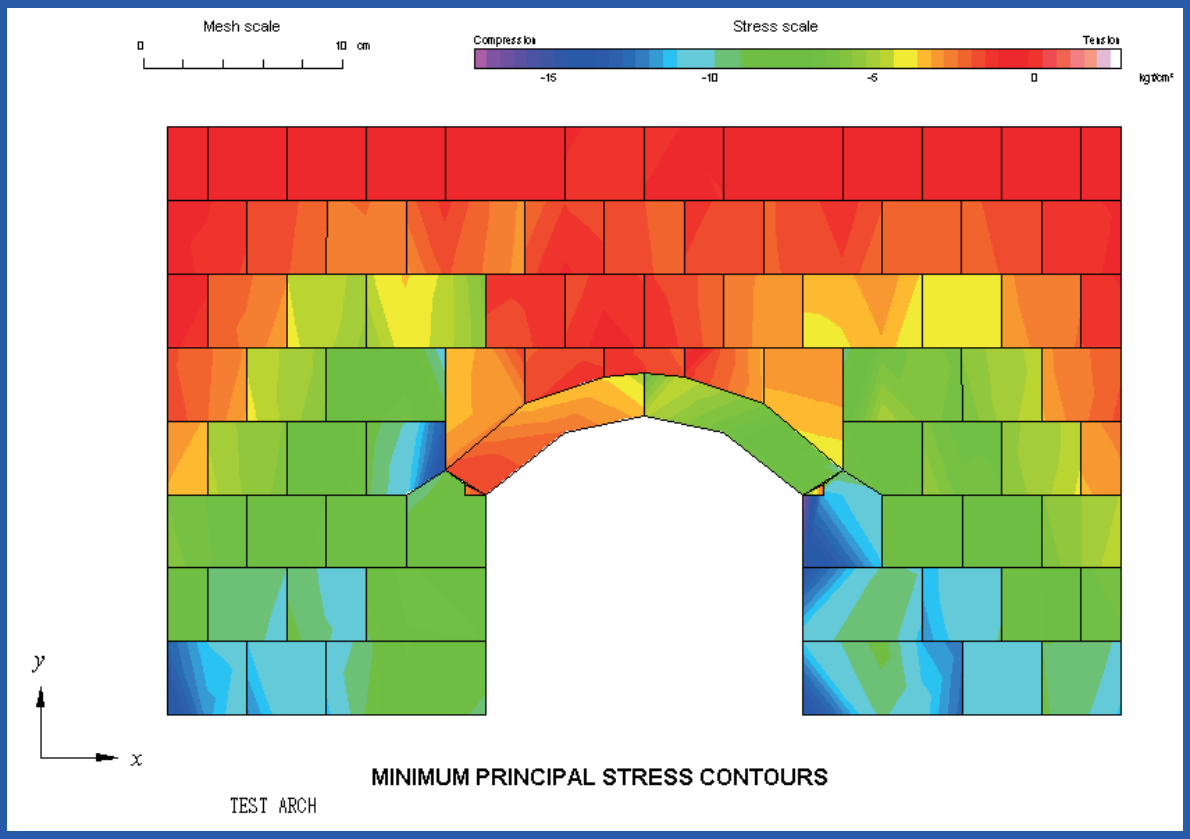
浦添ようどれ

DFEMを用いてアーチ門の安定性解析

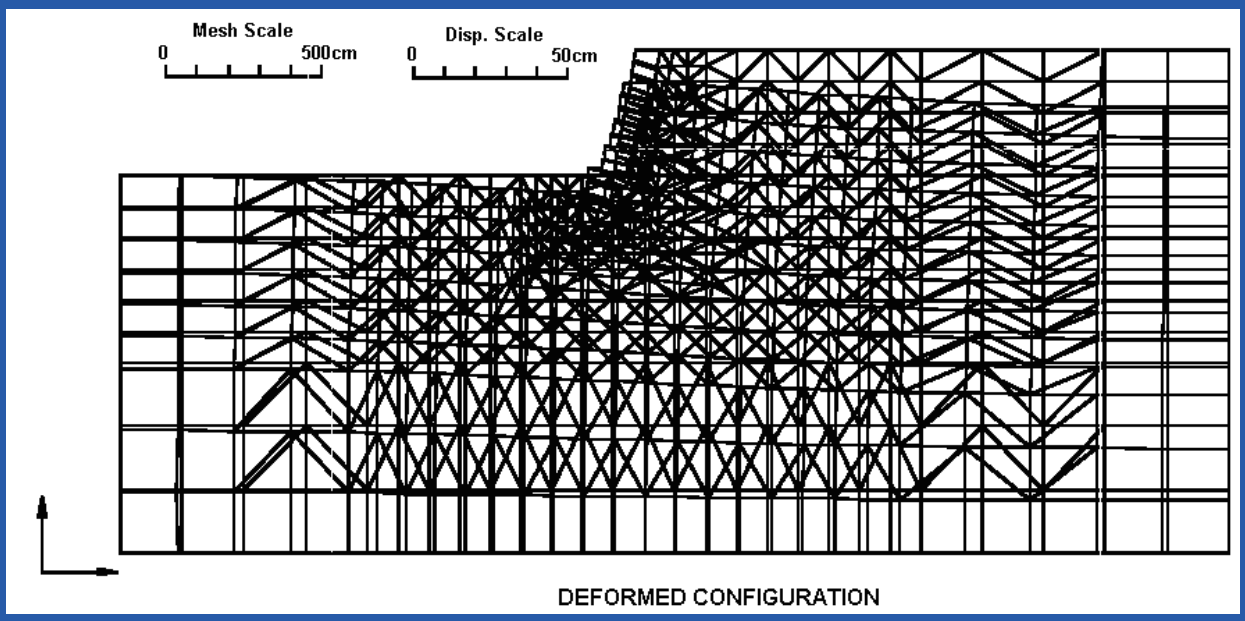




個別有限要法(DFEM)に対するアーチ門の解析



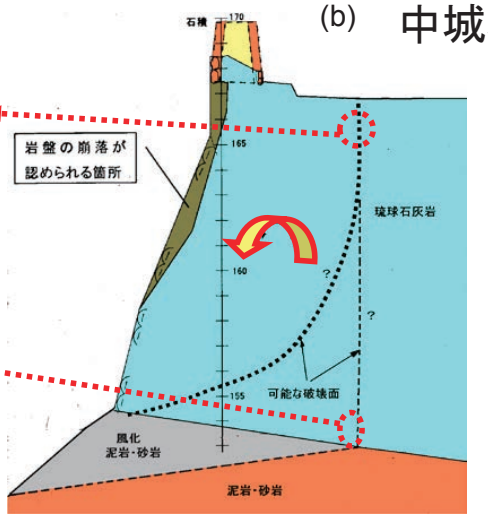
個別有限要素法(DFEM)による石積み擁壁の安定性解析



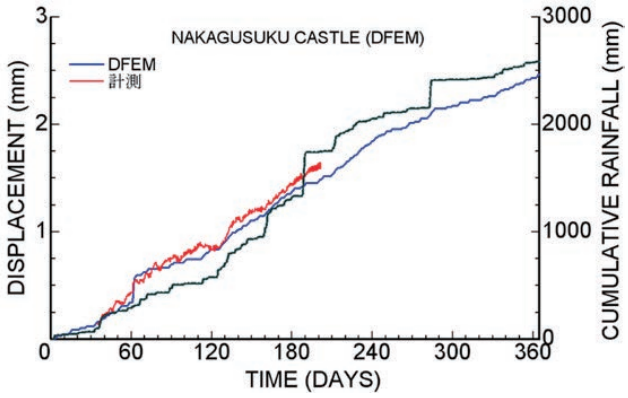
中城城址

(a)

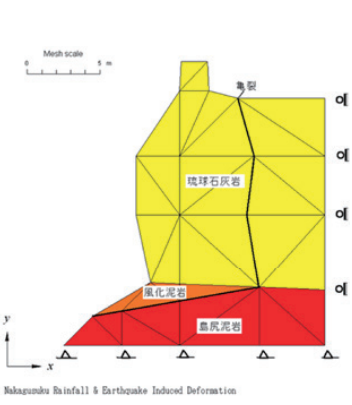
(b)

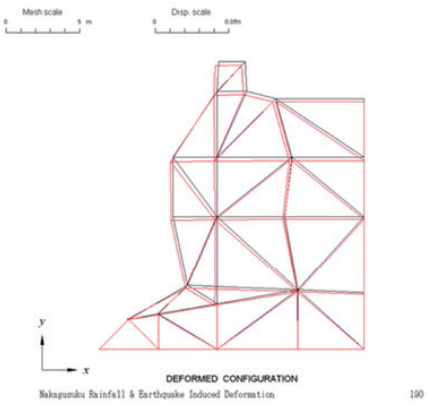


(c)

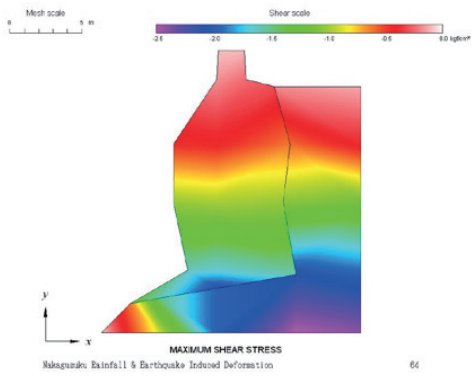


(d)



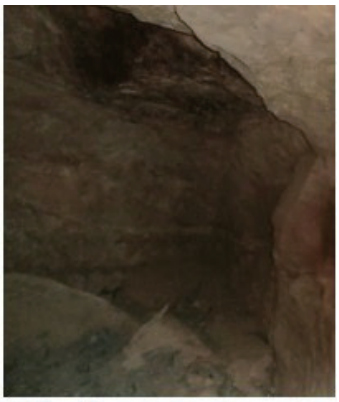


(e)



島尻層群内空洞の短期・長期挙動－1

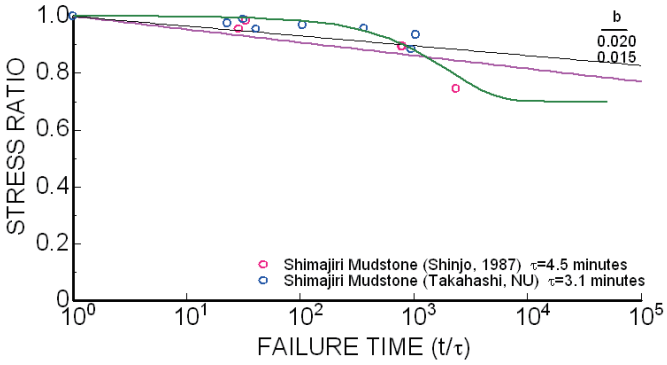
島尻層群内空洞の短期・長期挙動－2

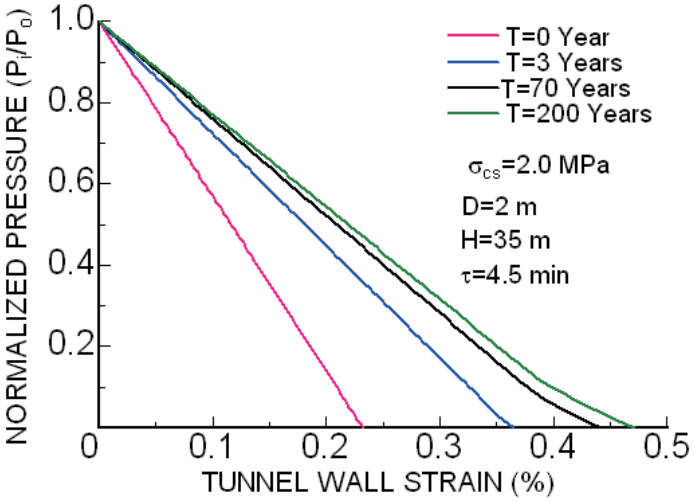


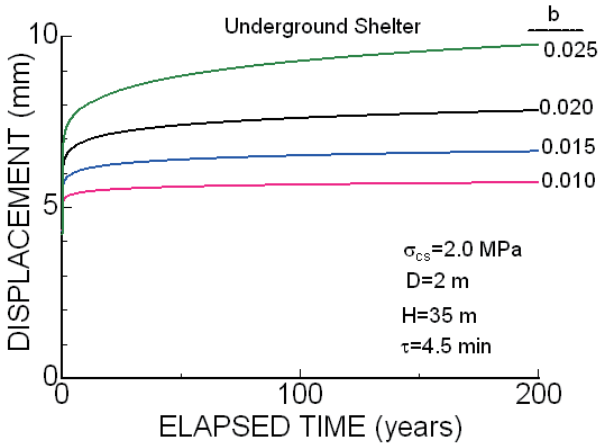
島尻層群内空洞の短期･長期挙動－3

長期的安定性の検討

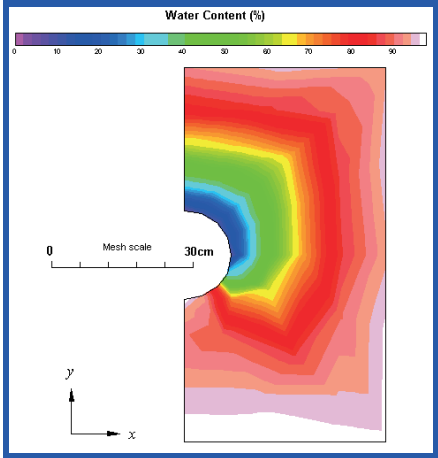
$$\frac{\sigma_c(t)}{\sigma_{co}} = 1 - b\ln(t/\tau)$$



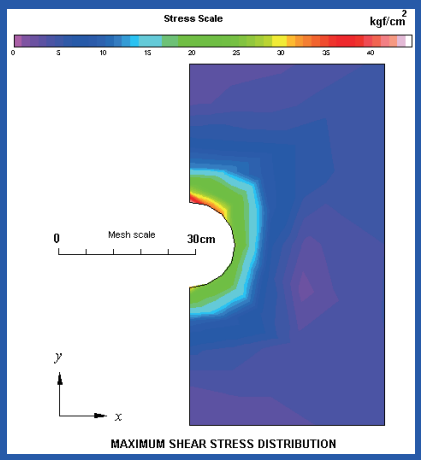




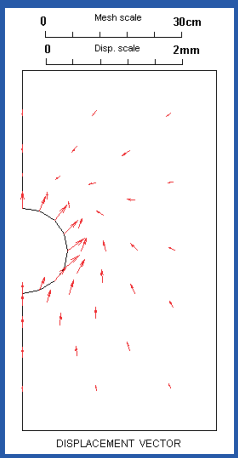
水分量の変化により空洞の安定性問題 (Aydan 2006)



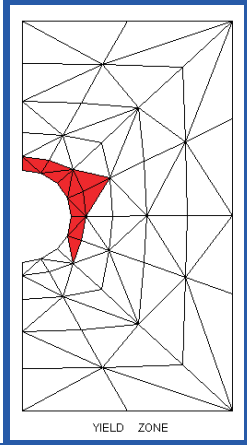
水分量の分布



最大せん断応力

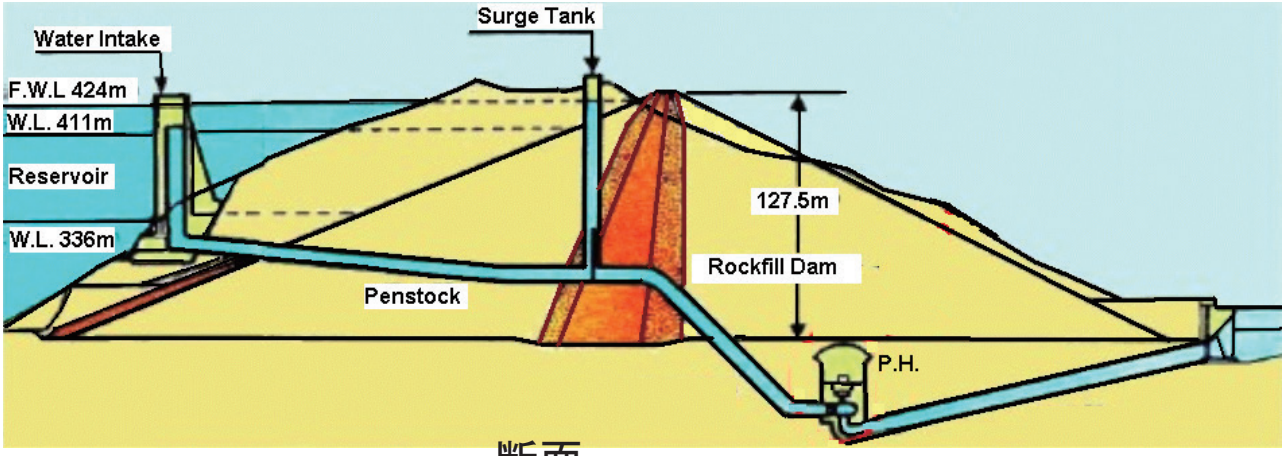


変位

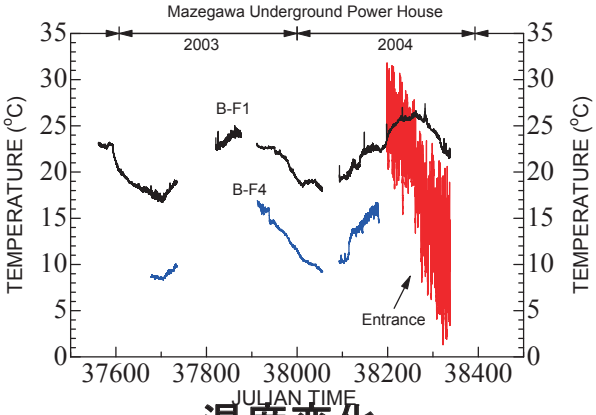


塑性域

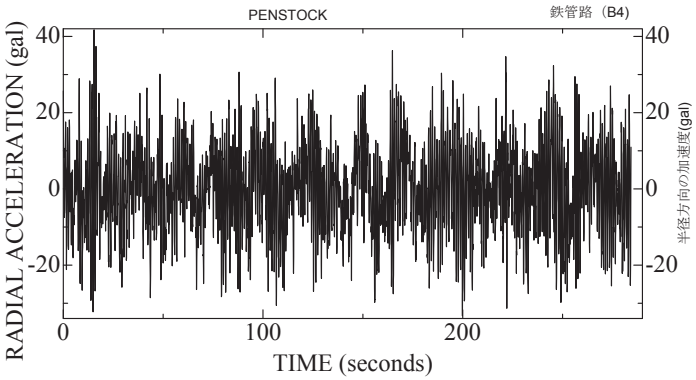
温度・浸透・振動が揚水発電所周辺の岩盤に当てる影響



断面

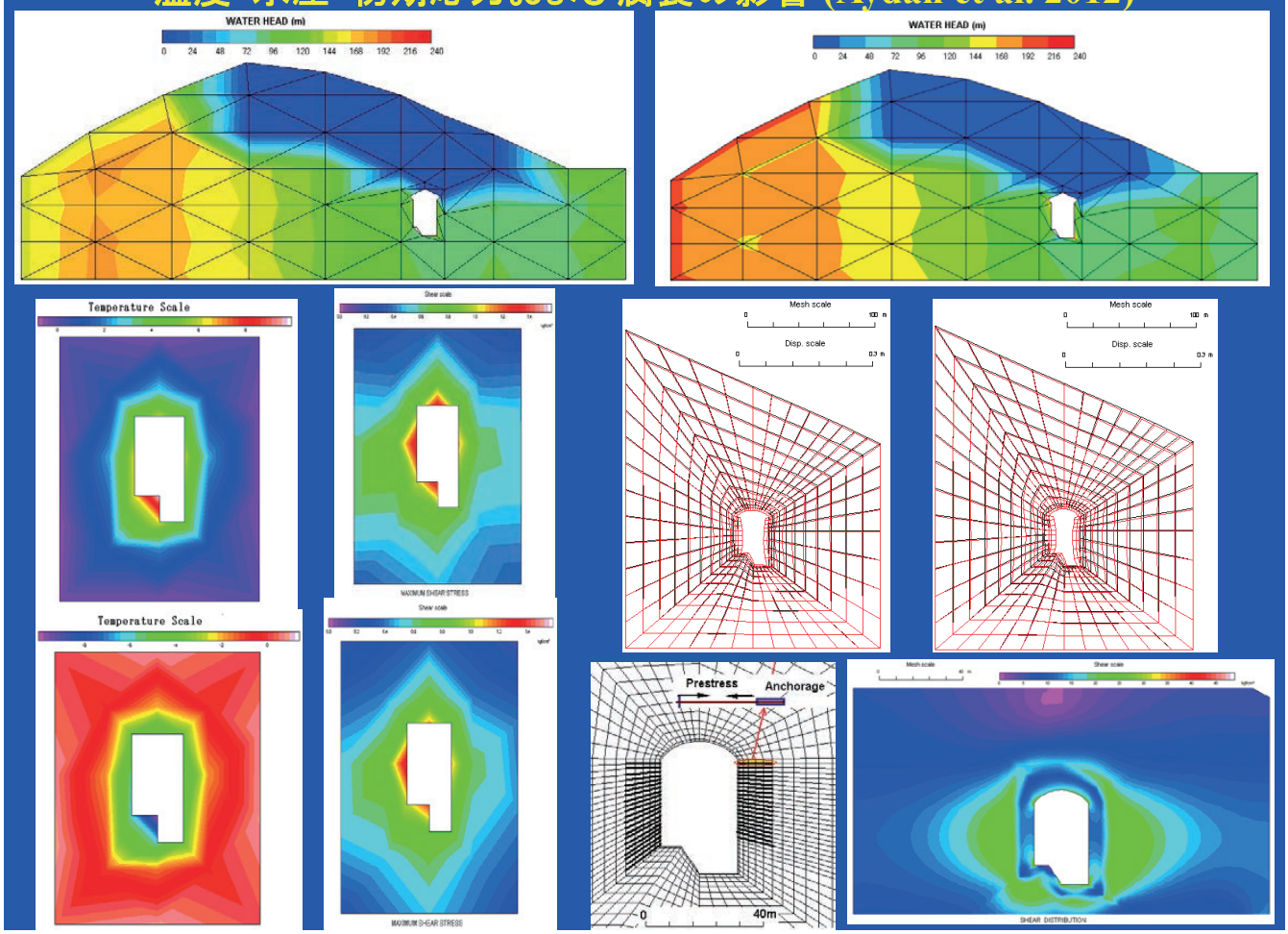


温度変化

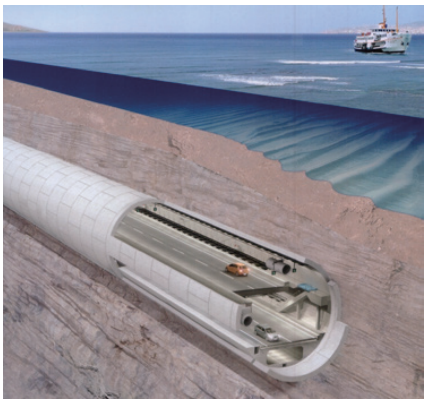


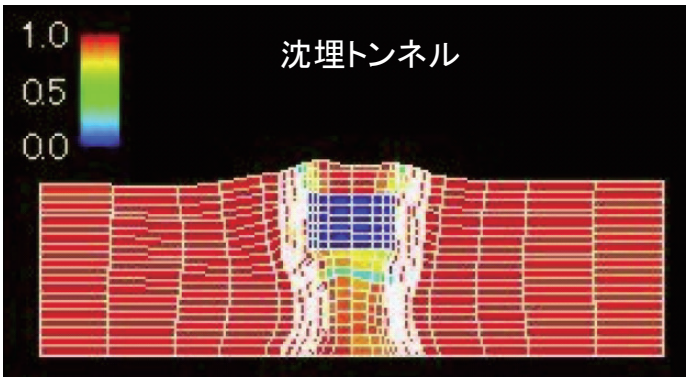
水車による振動

温度・水圧・初期応力および腐食の影響 (Aydan et al. 2012)

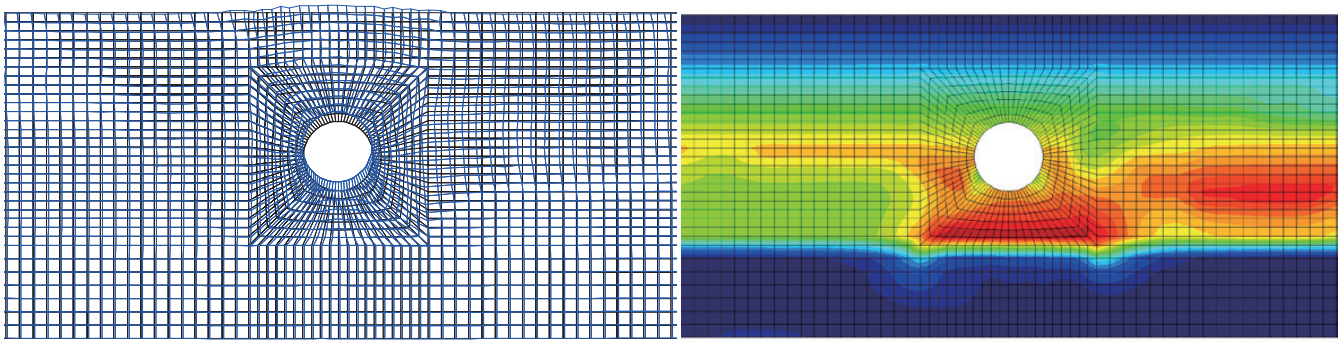


地盤の液状化





シールドトンネル



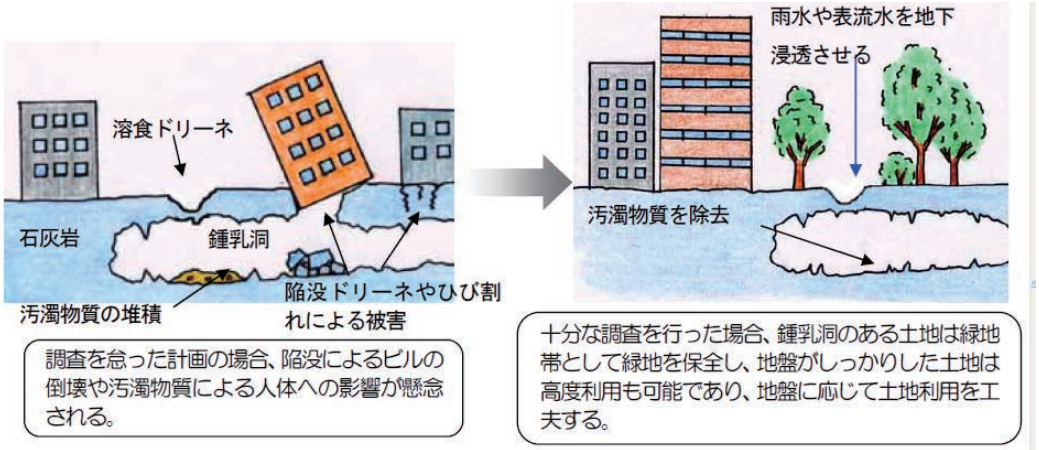
ユーロアジアトンネル（トルコ）

今後の課題

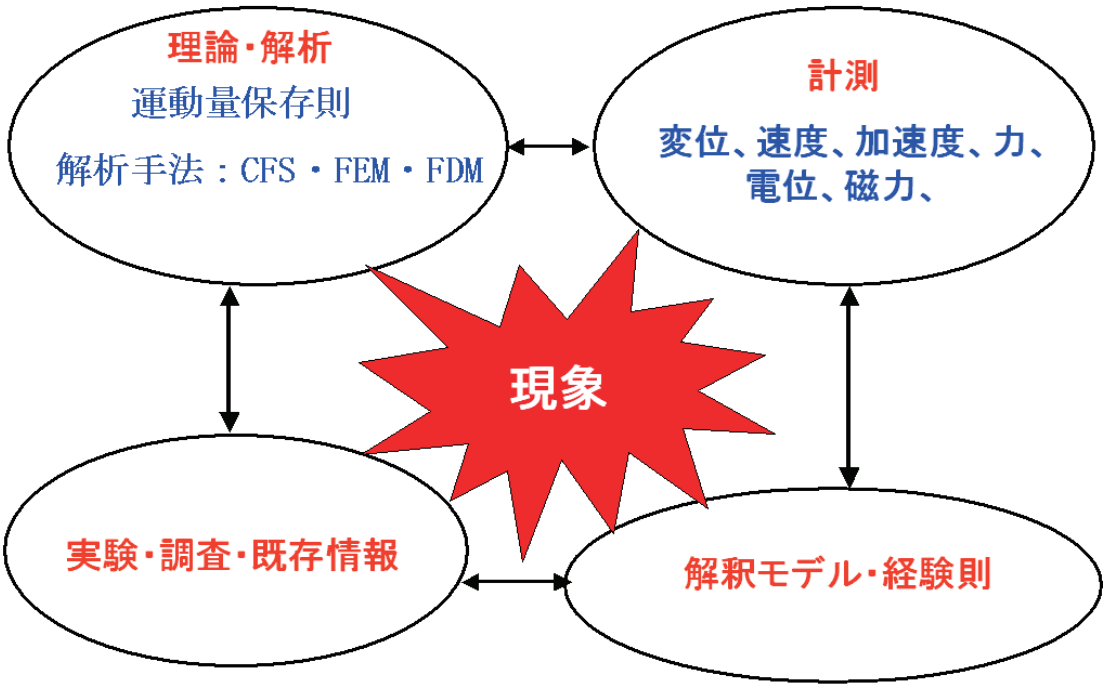
琉球石灰岩城の普天間基地の変換後の再開発の際に空洞対策は大きな課題になる。空洞調査と陥没による基礎破壊などを防ぐため空洞充てん対策が必要である。

普天間基地

普天満宮内の鍾乳洞



構造物の非破壊健全性評価法



単価がやすい；信頼できる；設置・設定が簡単；自然環境に強い

従来の試験方法（リフトオフ試験）

一部の箇所
試験体の破断

非破壊的な試験方法があれば、単価が安く、数多くの
の場所で利用が可能に！

基礎式の有限要素法における定式化

弱形式化

$$\int \delta u_b \rho \frac{\partial^2 u_b}{\partial t^2} dx = \int \delta u_b \frac{\partial \sigma}{\partial x} dx + \int \delta u_b \frac{2}{r_b} \tau_b dx$$

$$\delta u_b \frac{\partial \sigma}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x}(\delta u_b \sigma) - \frac{\partial \delta u_b}{\partial x} \sigma$$

$$\int \delta u_b \rho \frac{\partial^2 u_b}{\partial t^2} dx + \int \frac{\partial \delta u_b}{\partial x} \sigma dx - \int \delta u_b \frac{2}{r_b} \tau_b dx = \int \delta u_b \sigma_n \Big|_{x=a}^{x=b}$$

離散化

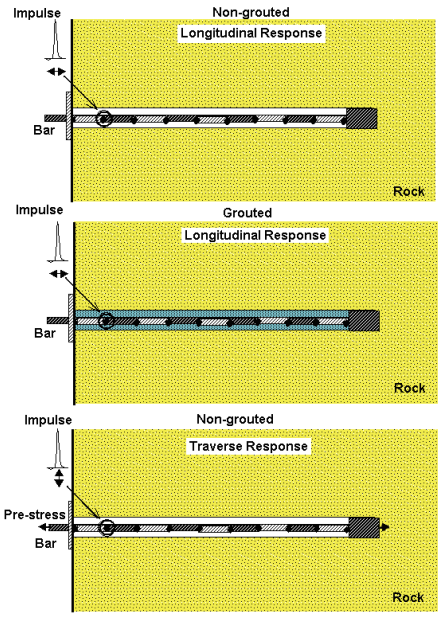
$$u_b = [N]\{U_b\} \qquad a_b = \frac{\partial^2 u_b}{\partial t^2} = [N]\{\ddot{u}_b\}$$

$$\varepsilon_b \frac{\partial u_b}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x}([N(x)]\{u_b\}) = [B]\{u_b\}$$

$$[M_e]\{\ddot{u}_b\} + [C_e]\{\dot{u}_b\} + [K_e]\{u_b\} = \{f_e\}$$

$$[M_e] = \int \rho [N]^T [N] dx \qquad [C_e] = \int \eta [B]^T [B] dx$$

$$[K_e] = \int E [B]^T [B] dx - \int \frac{2Kg}{r_b} [N]^T [N] dx$$



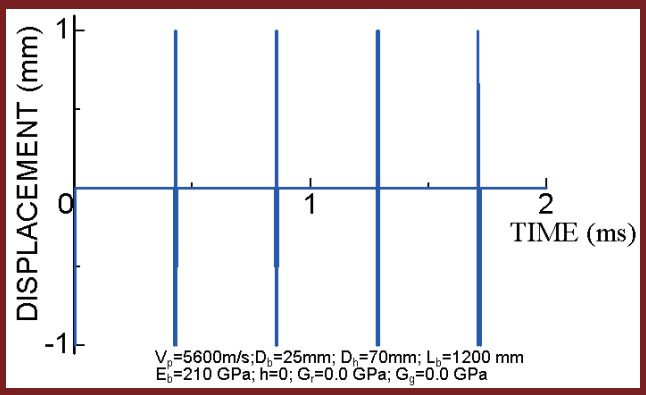
長軸直行直行方向の定式化

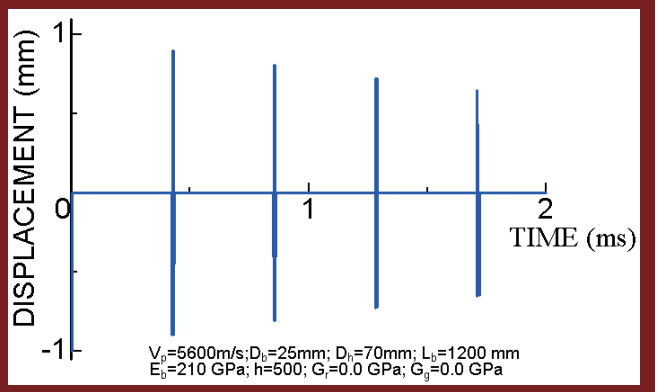
$$[M_e]\{\ddot{v}_b\} + [T_e]\{v_b\} = \{t_e\}$$

$$[M_e] = \int \rho [N]^T [N] dx$$

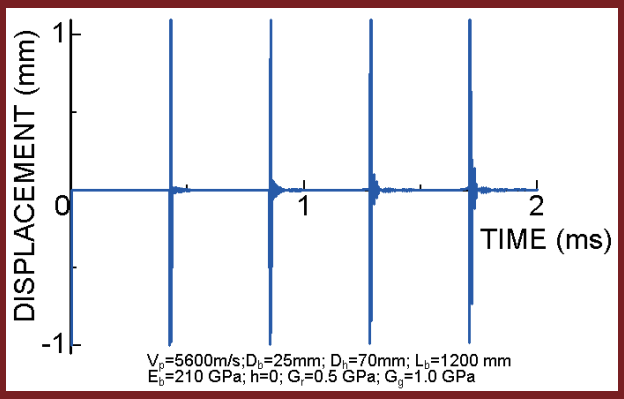
$$[T_e] = \int \frac{T}{A} [B]^T [B] dx$$

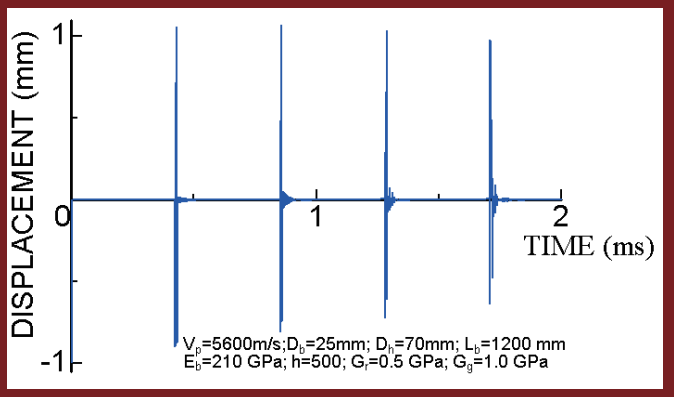
付着なし　L＝1200mm





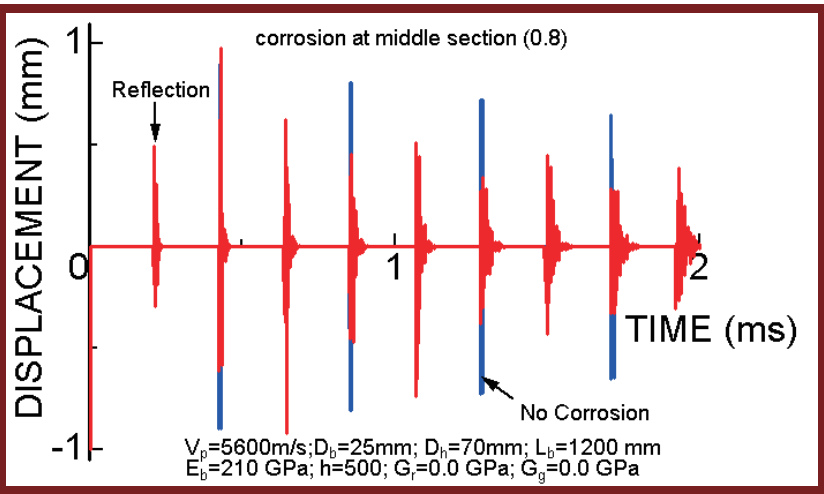
減衰なし　付着有　減衰有



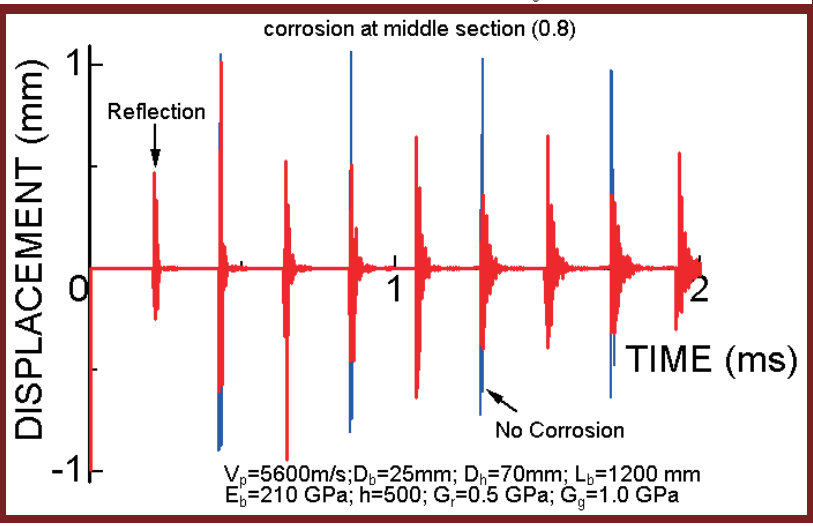


減衰なし　減衰有

真ん中に腐食部分があり

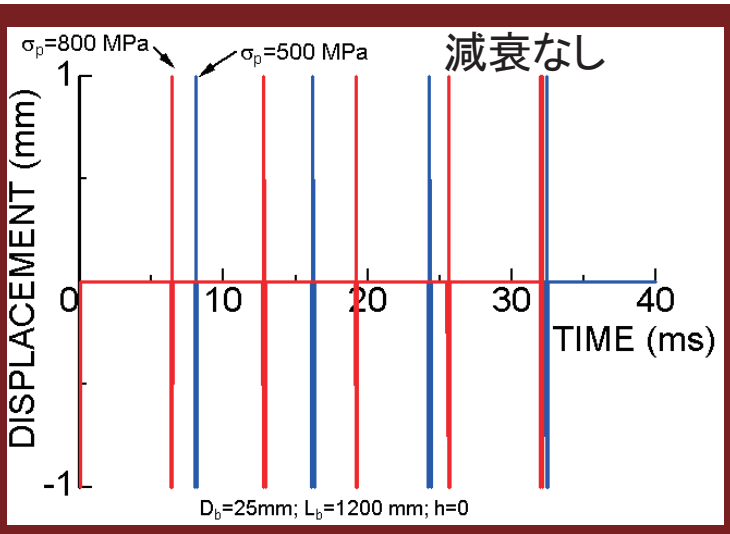


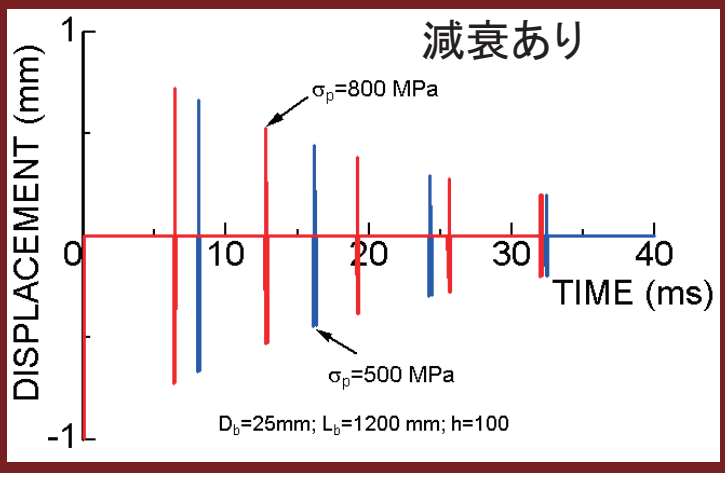
付着なし



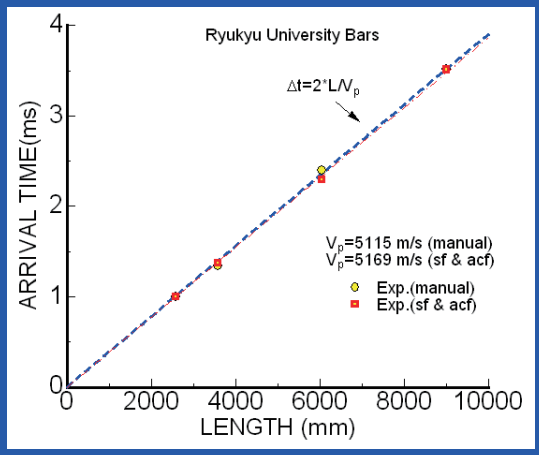
付着有

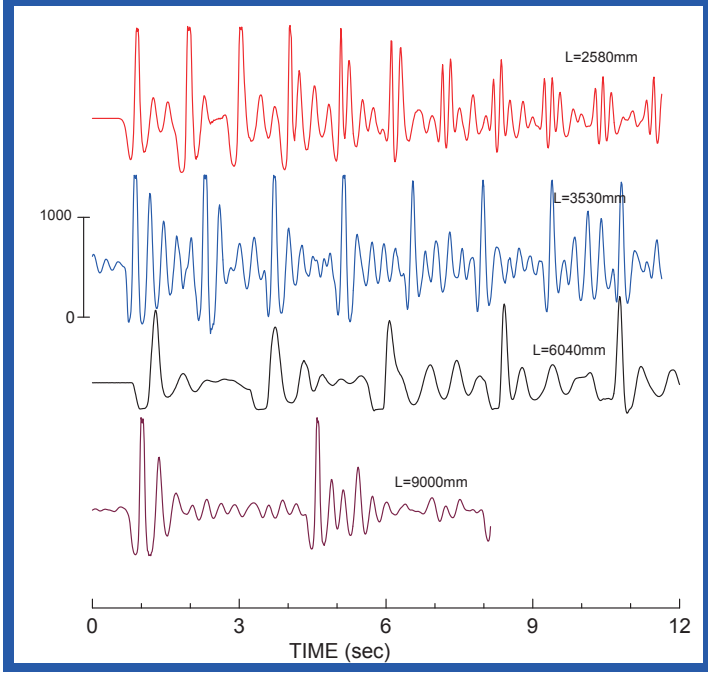
導入力の影響





マニュアル的読み取り手法とSF-ACF法





$$\Delta t = \frac{2}{V_p} L$$

縦波速度：5115m/s

鉄筋棒の縦波速度：5500-5900 m/s)

$$\alpha = 1 - \left(\frac{v_p^*}{v_p^o} \right)^2$$

腐食断面率：14-25%

2019 Rock Dynamics Summit
A Specialized Symposium of ISRM
3-4-5 April, 2019
Okinawa, JAPAN
Organized by
JSCE-Rock Dynamics Committee of Japan
Japanese Rock Mechanics Society
To be held in Bankoku Shinryokan where 2000 Kyushu-Okinawa G-8 Summit was hosted

02 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 都市環境科学研究科　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．

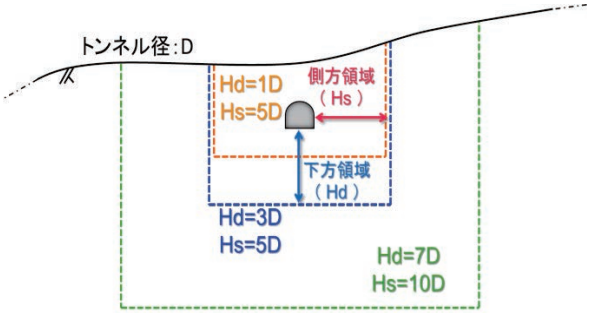


図-1　解析領域の設定

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．

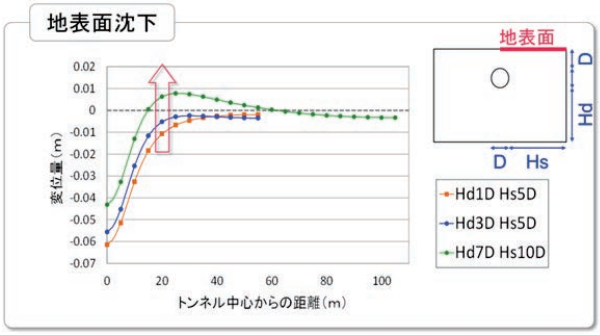


図-2　地表面沈下

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．

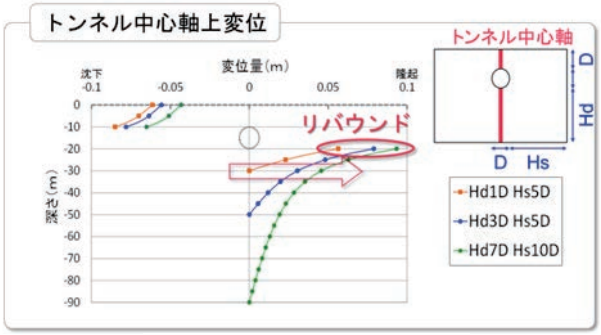


図-3　地中変位

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．

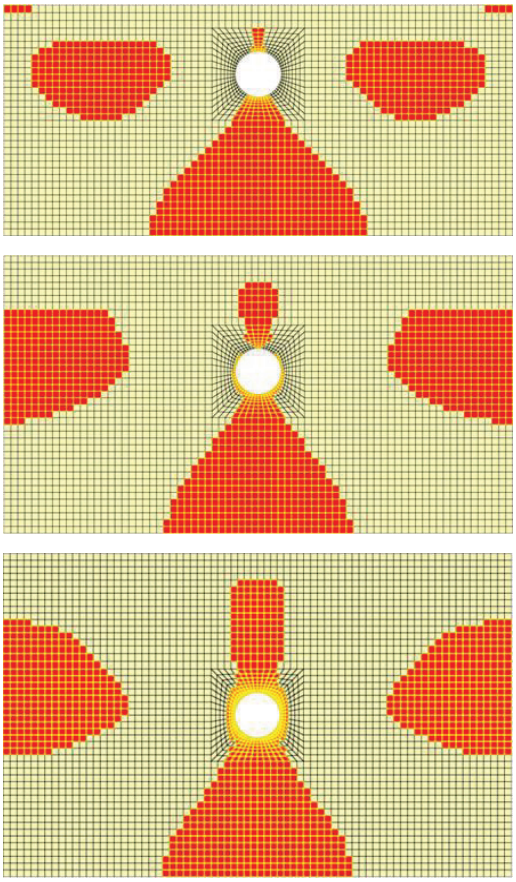


図-4　掘削による除荷領域(円形)

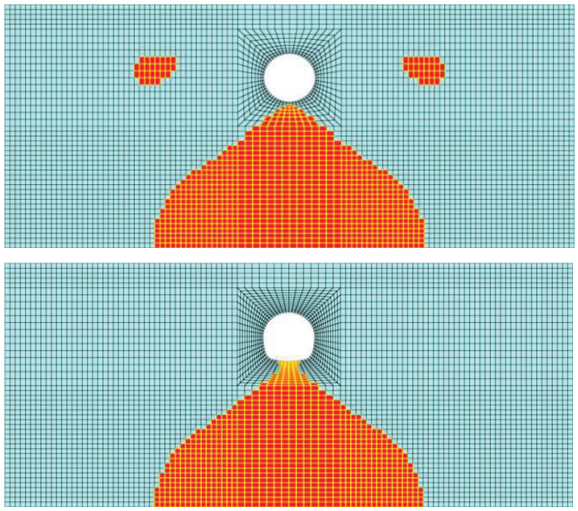


図-5　トンネル形状による違い

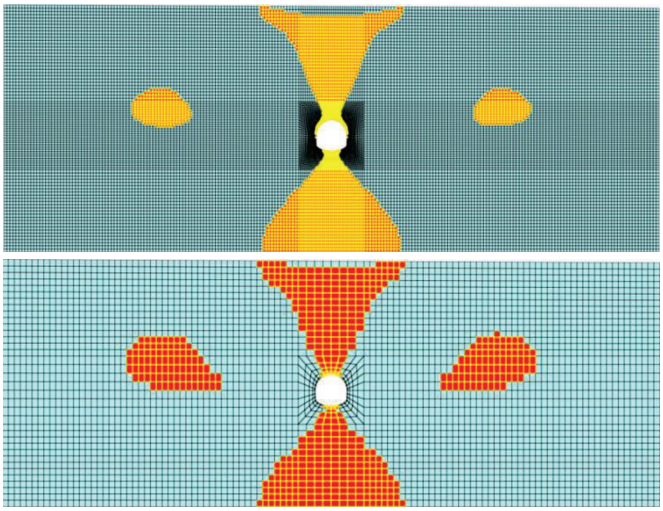


図-6　メッシュの粗さによる違い（馬蹄形）

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．

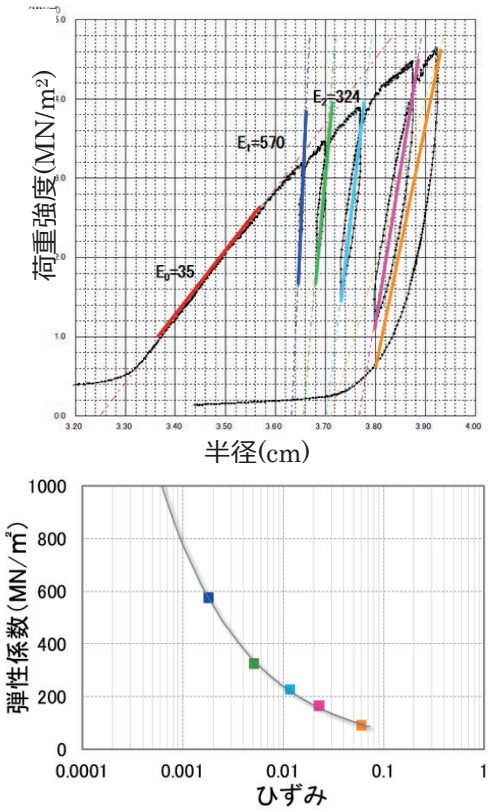


図-7　孔内載荷試験の例

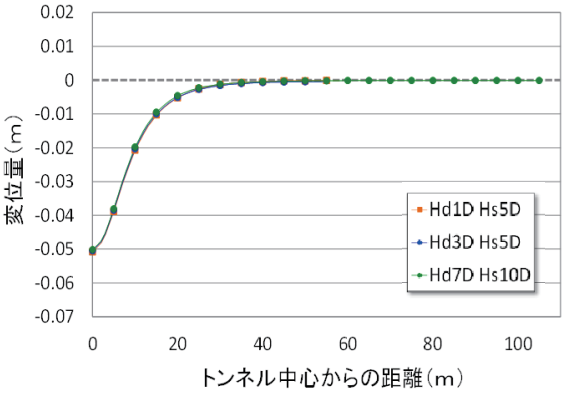


図-8　地表面変位

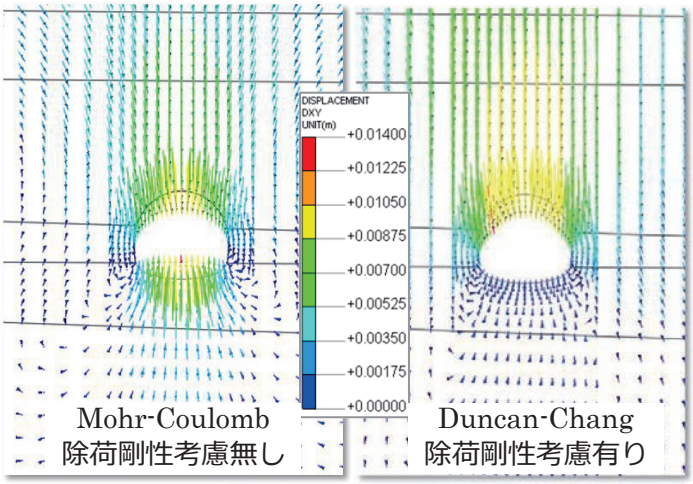


図-10　トンネル周辺の地中変位ベクトル

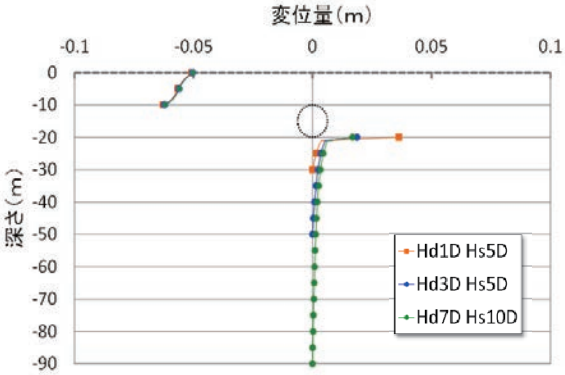


図-9　地中変位

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．

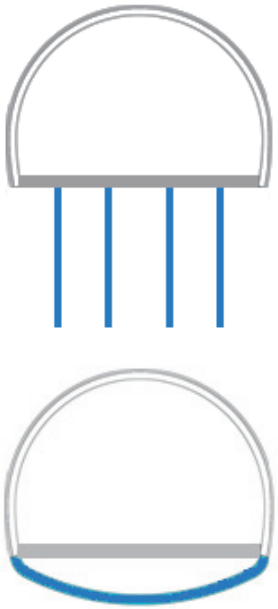


図-11　盤膨れ対策例

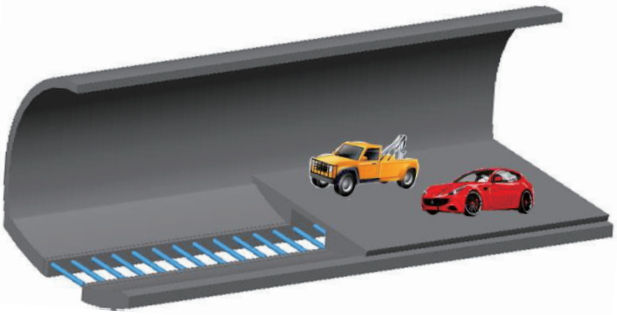
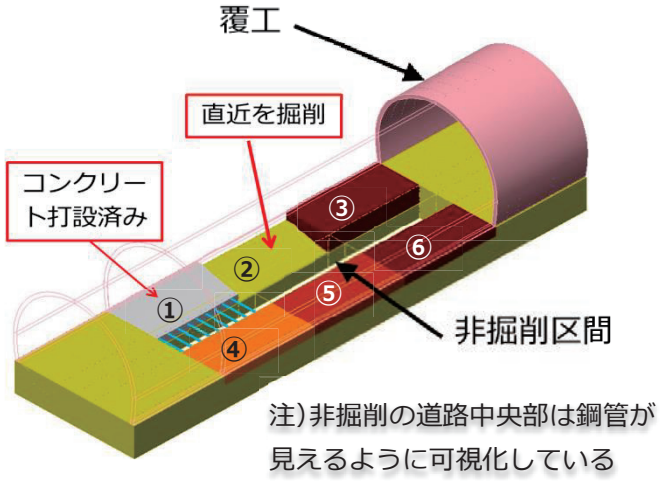


図-12　鋼管複合インバート



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.

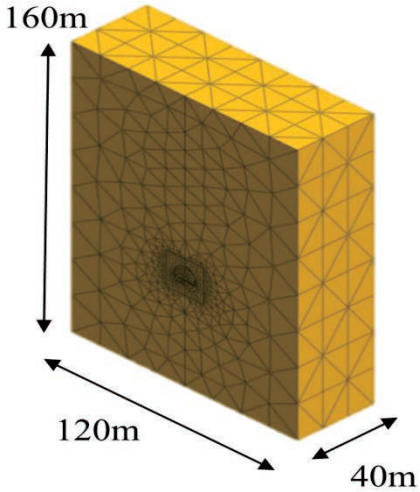


図-14　解析モデル

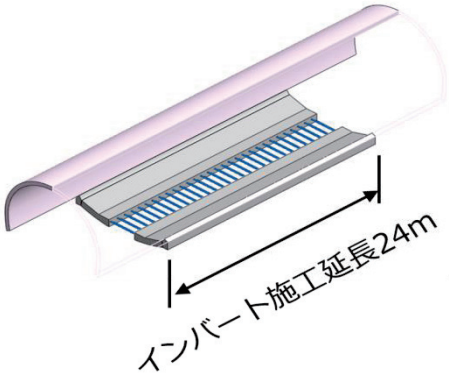
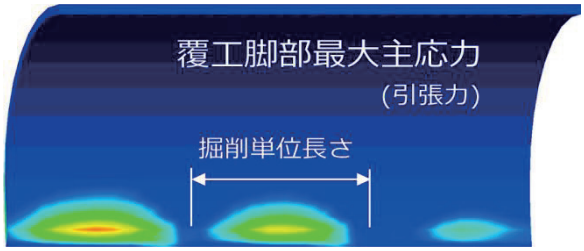


図-15　インバート施工区間



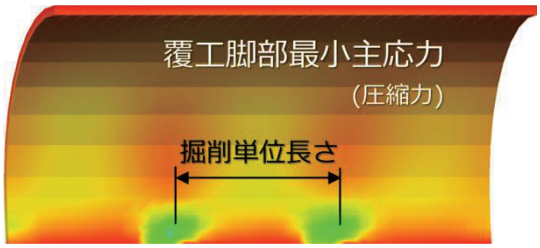


図-17　インバート施工区間

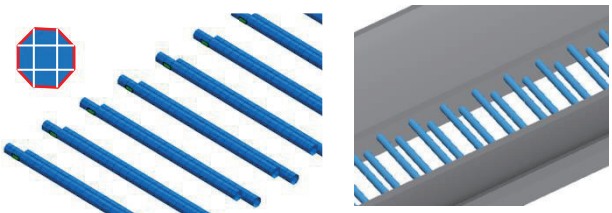


図-16　鋼管部分の拡大図

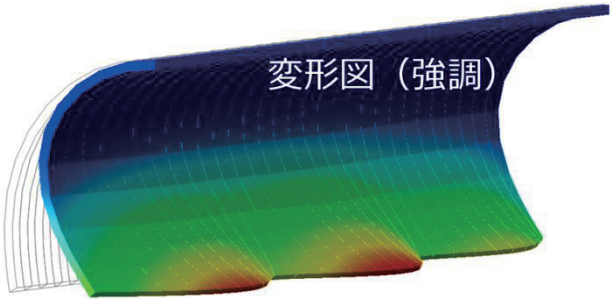


図-18　インバート施工区間

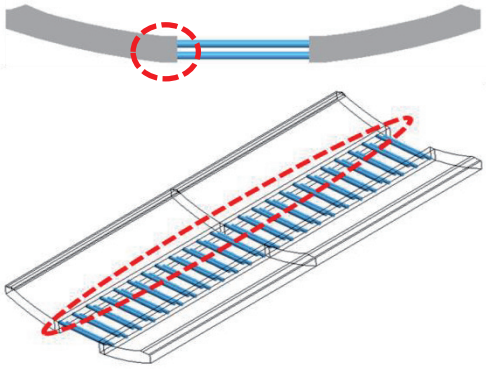


図-19　鋼管部分の応力集中部

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．

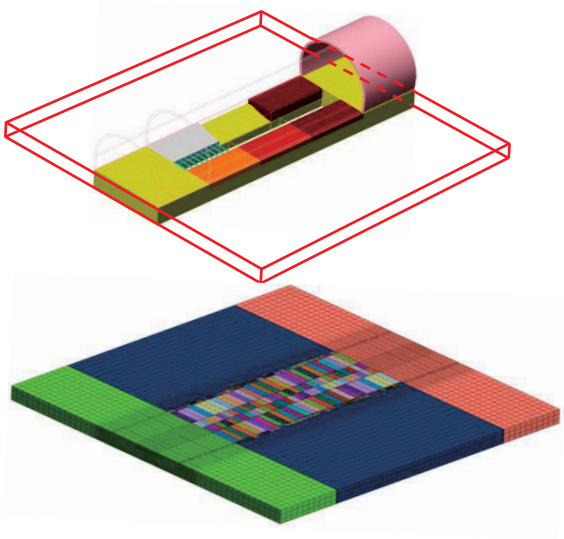
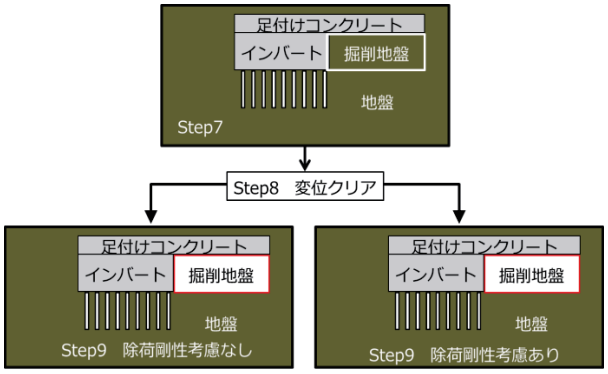


図-20　簡易モデルによる検証



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

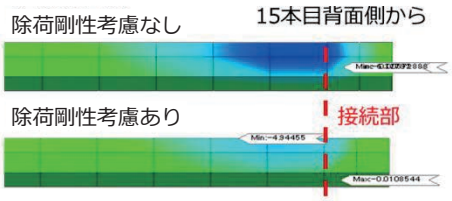


図-22　鋼管部応力

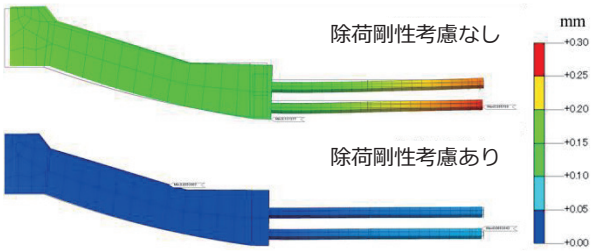


図-23　インバート部の変形

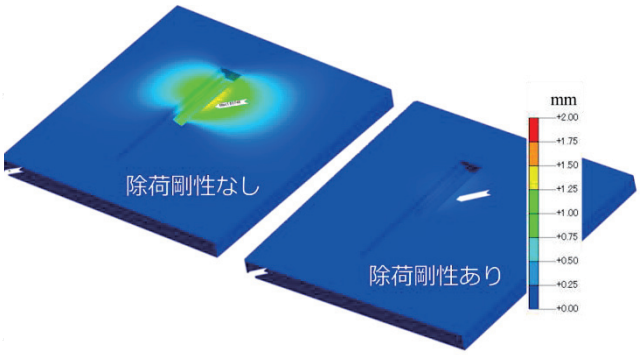


図-21　路盤部の地盤変位

03 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

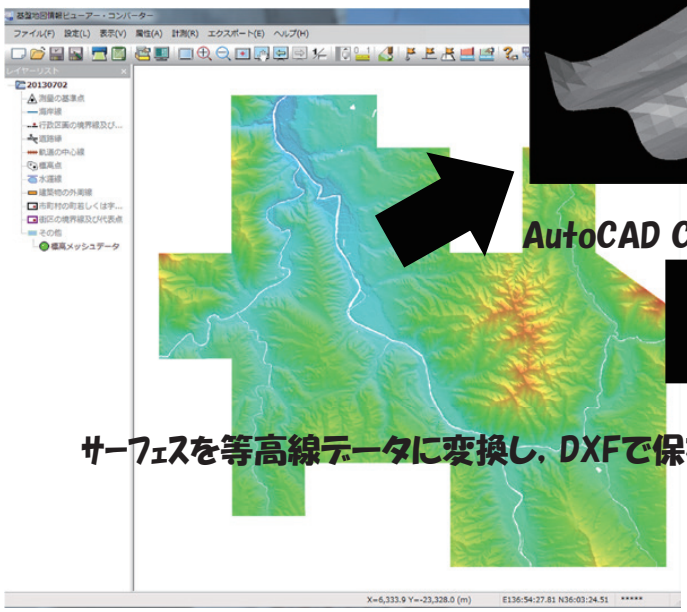
株式会社フジタ　建設本部
土木ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞｾﾝﾀｰ　設計部
徳永　高志

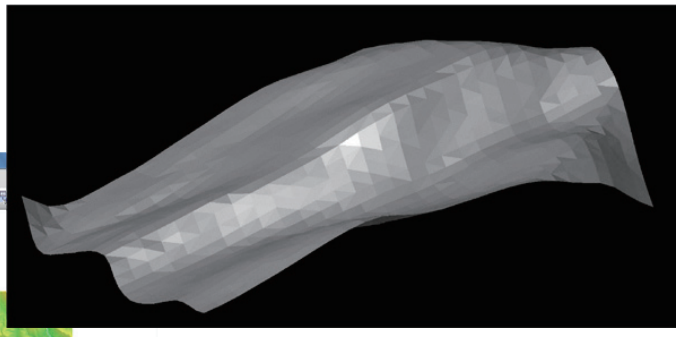
Fujita Corporation

地表面モデル作成①

Fujita Corporation

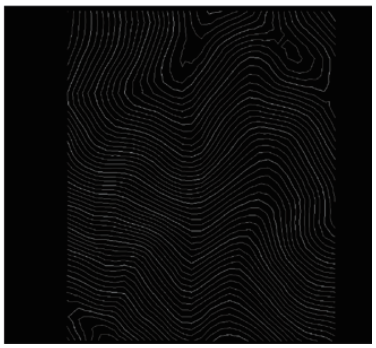
★国土地理より無料で入手





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！

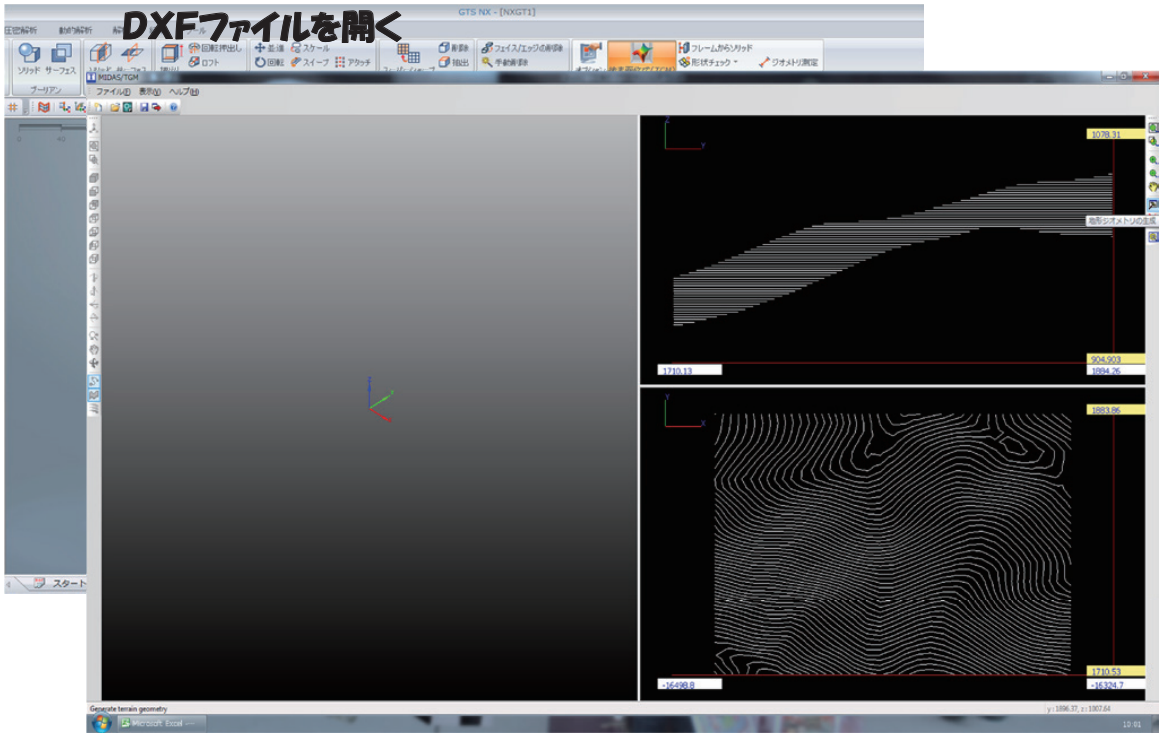


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ＞「ヘッダーとフッター」で編集できます。

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！

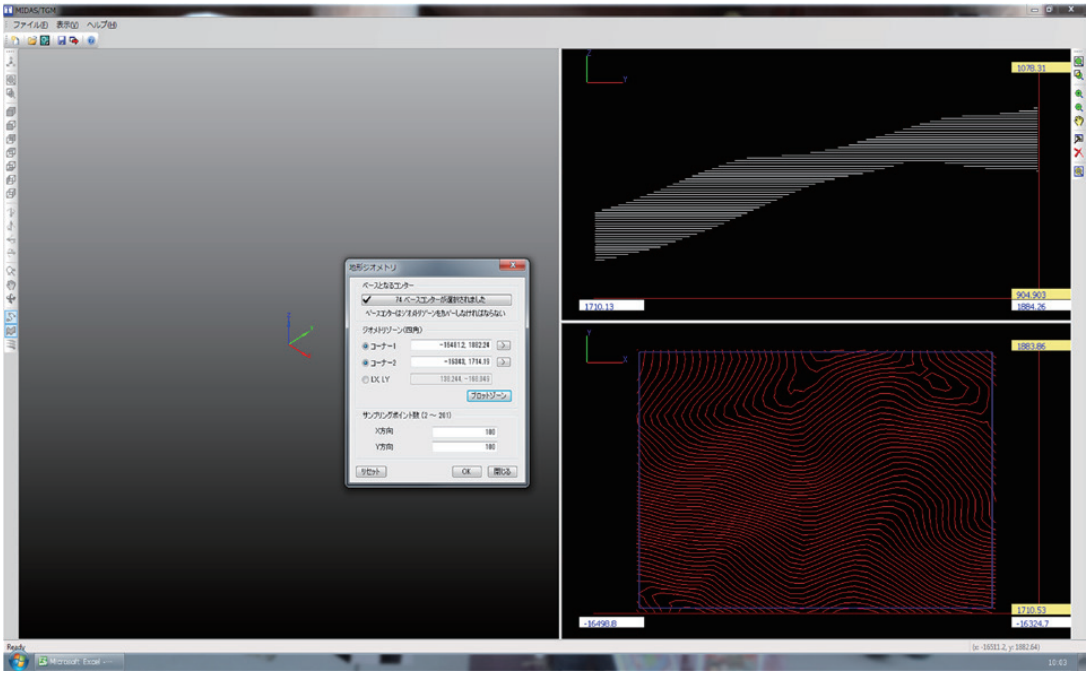


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ＞「ヘッダーとフッター」で編集できます。 2

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

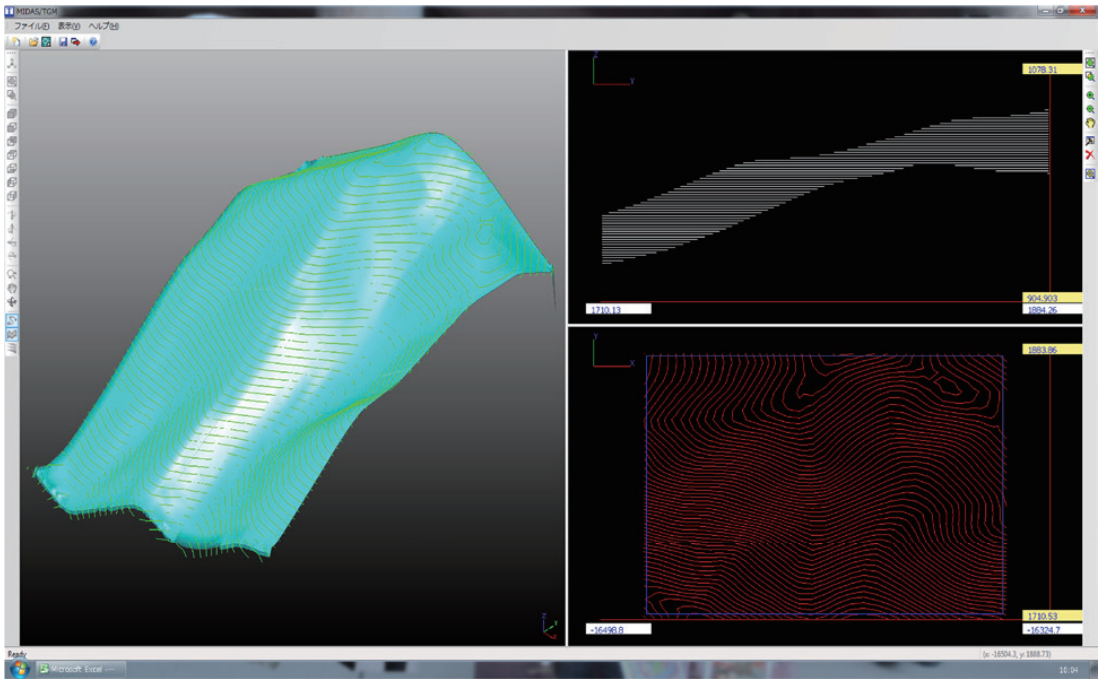


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ＞「ヘッダーとフッター」で編集できます。 3

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。

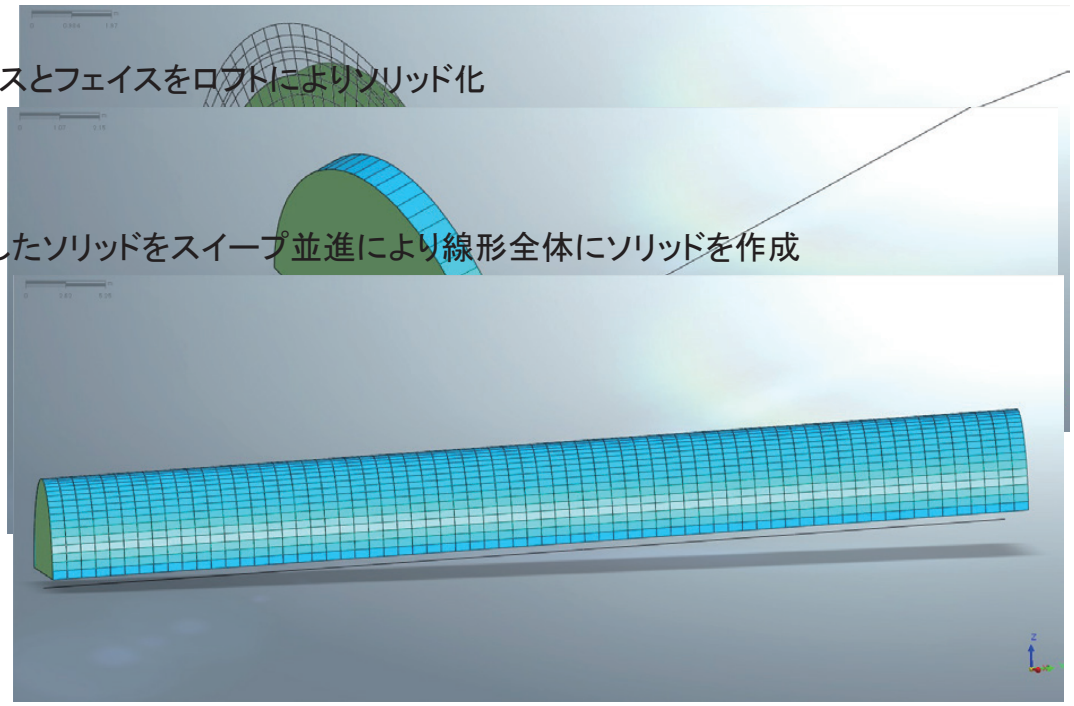
トンネルソリッドモデル作成

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

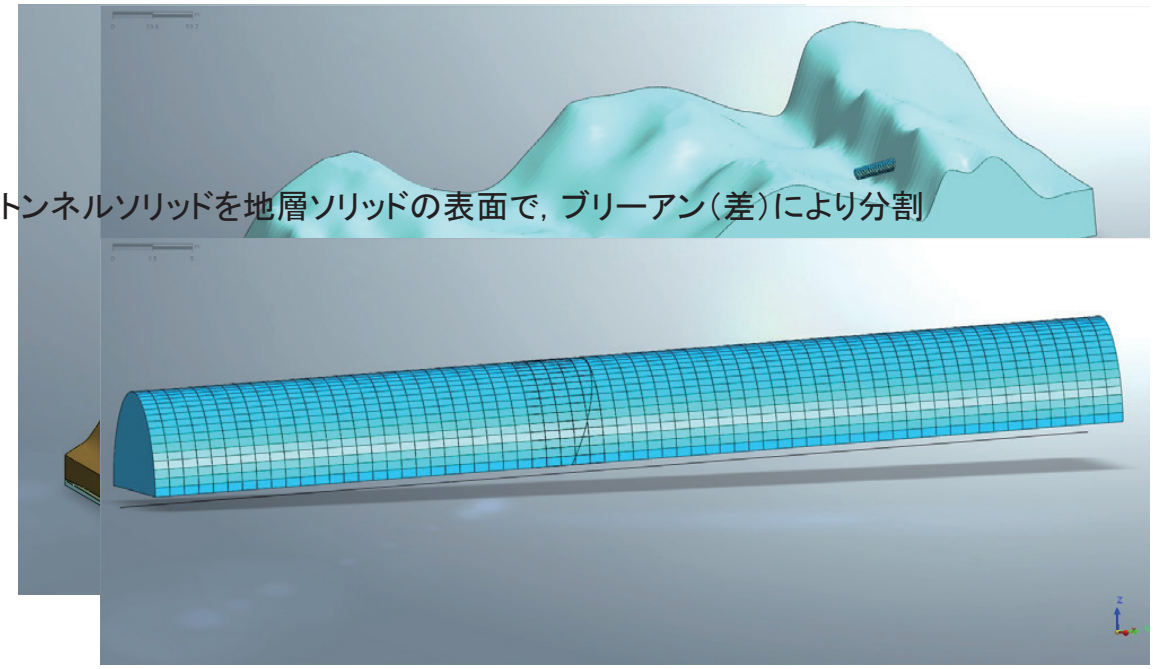


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved.　※作成日※挿入タブ＞「ヘッダーとフッター」で編集できます。

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



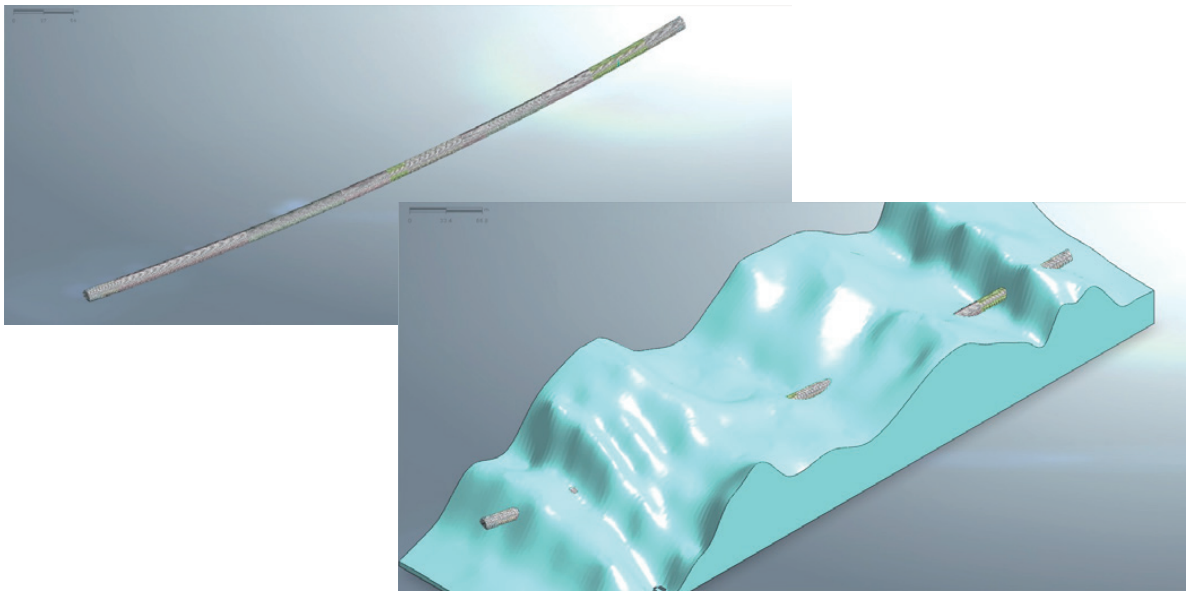
③トンネルソリッドを地層ソリッドの表面で，ブリーアン（差）により分割

© 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

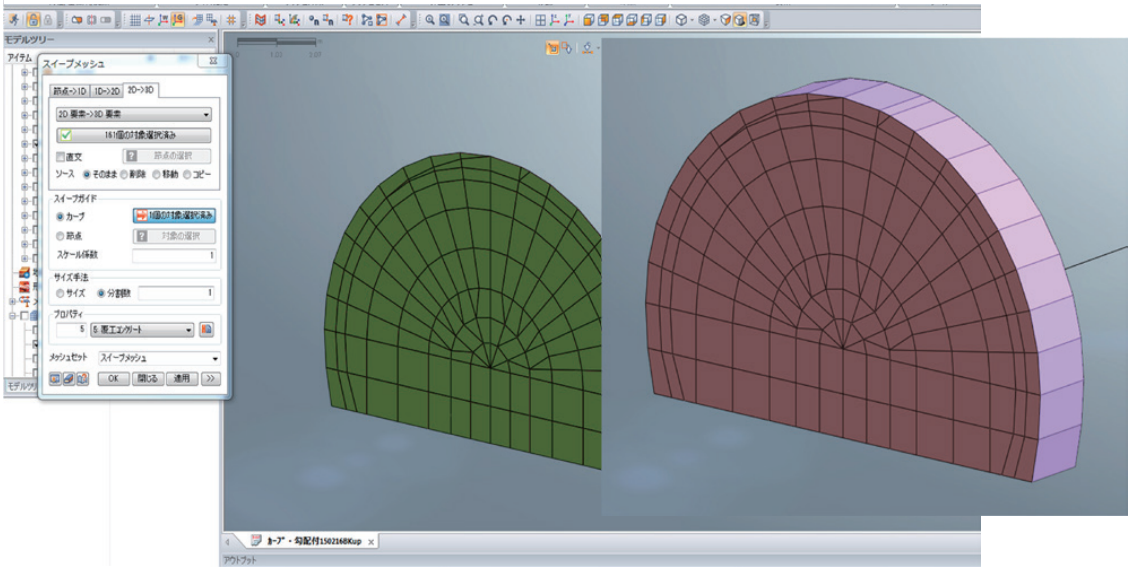
© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ＞「ヘッダーとフッター」で編集できます。 7

※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！

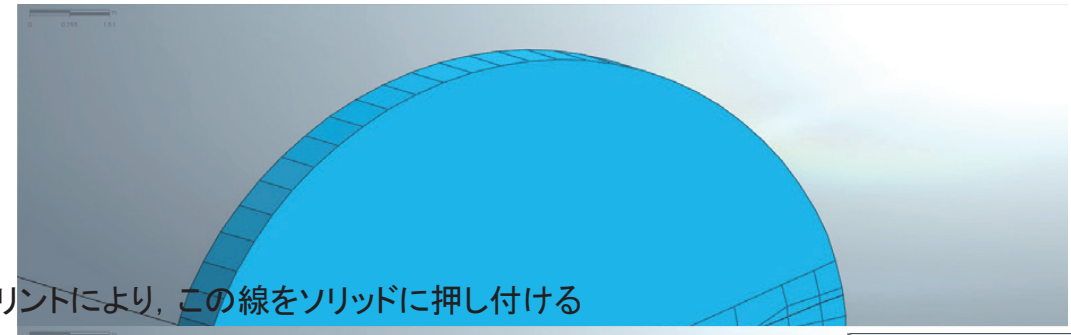


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ＞「ヘッダーとフッター」で編集できます。 8

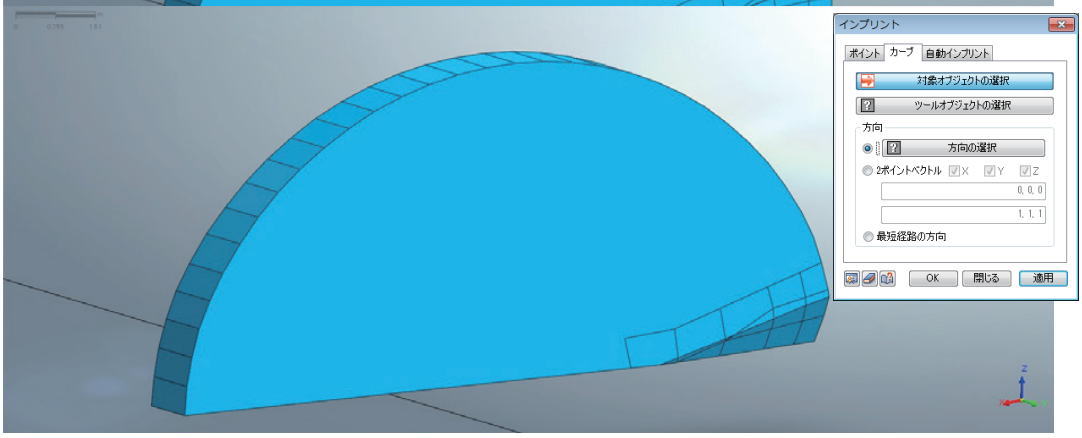
地層境界部のメッシュ作成②

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

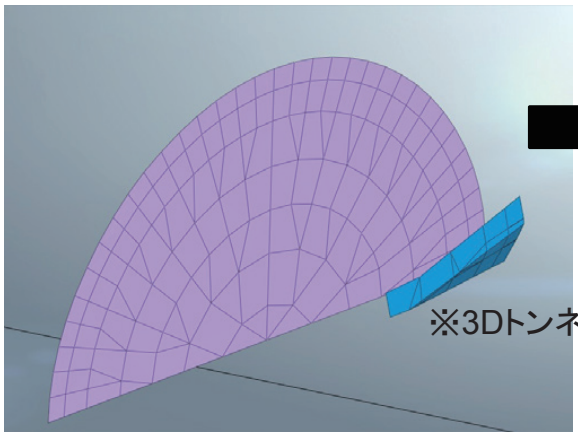


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ＞「ヘッダーとフッター」で編集できます。 9

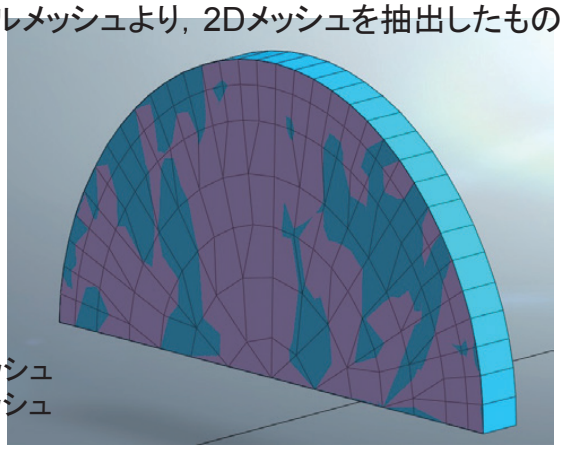
地層境界部のメッシュ作成③

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

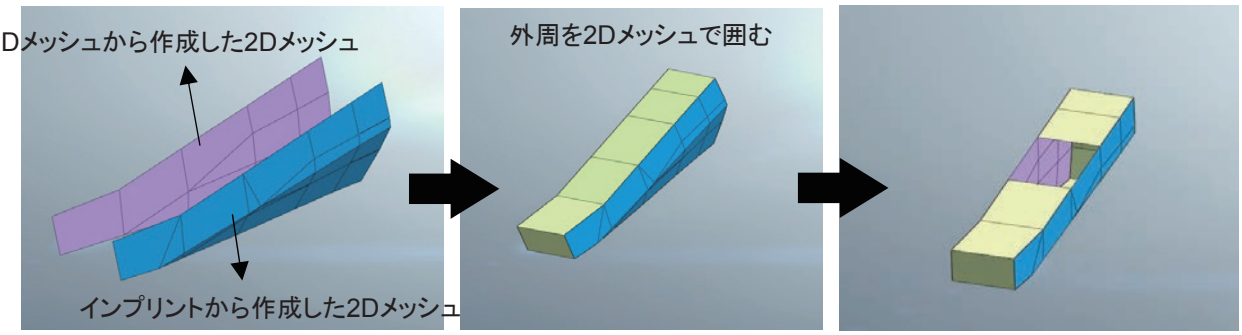


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ＞「ヘッダーとフッター」で編集できます。 10

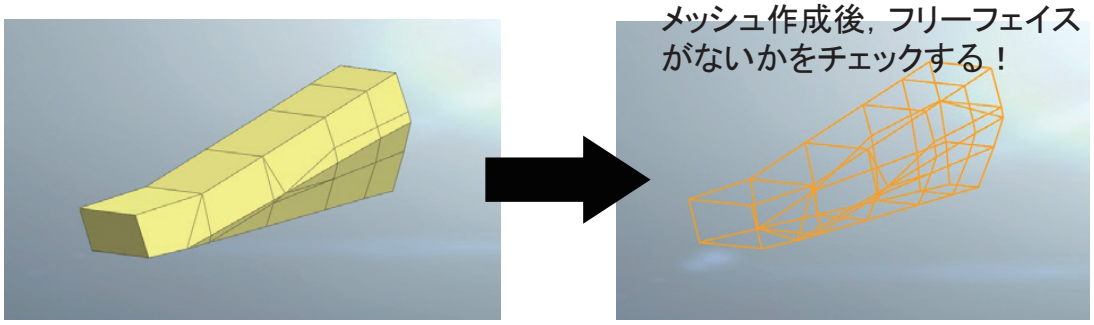
地層境界部のメッシュ作成④

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

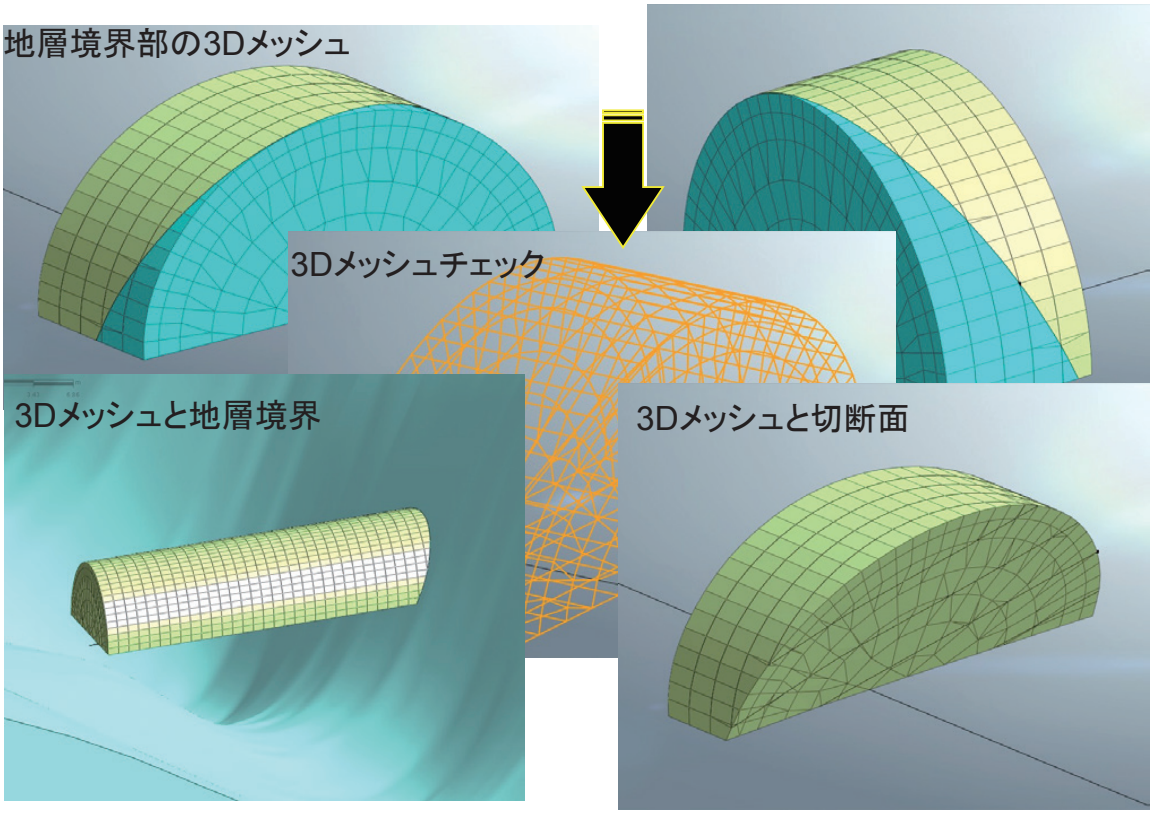


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ＞「ヘッダーとフッター」で編集できます。 11

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

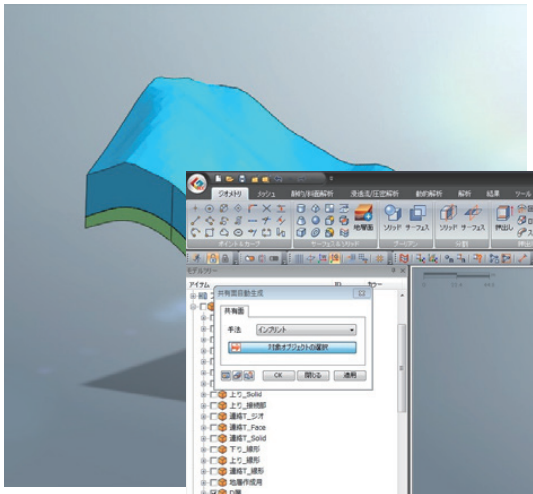


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved.　※作成日※挿入タブ＞「ヘッダーとフッター」で編集できます。

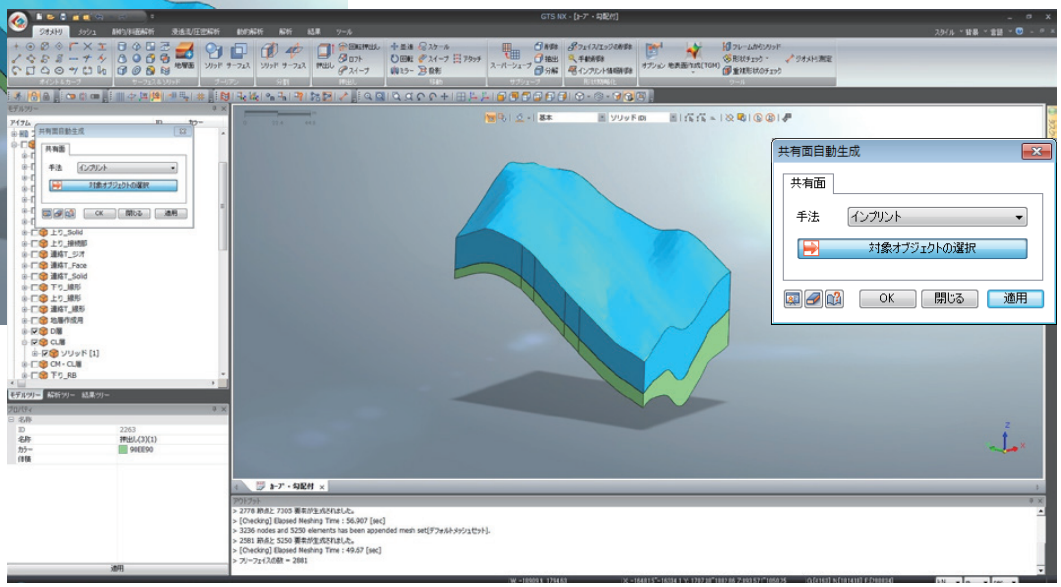
地層（地山）の作成①

Fujita Corporation

地層ごとのソリッド



ソリッドの共有面を自動作成

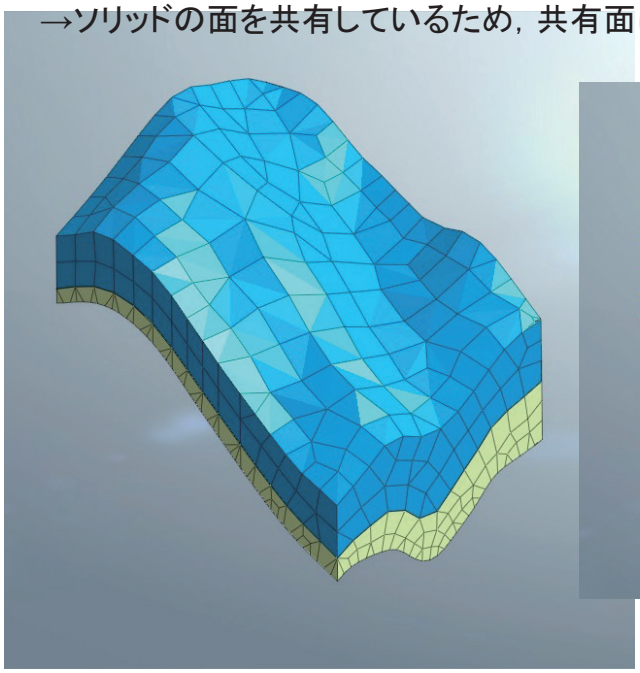


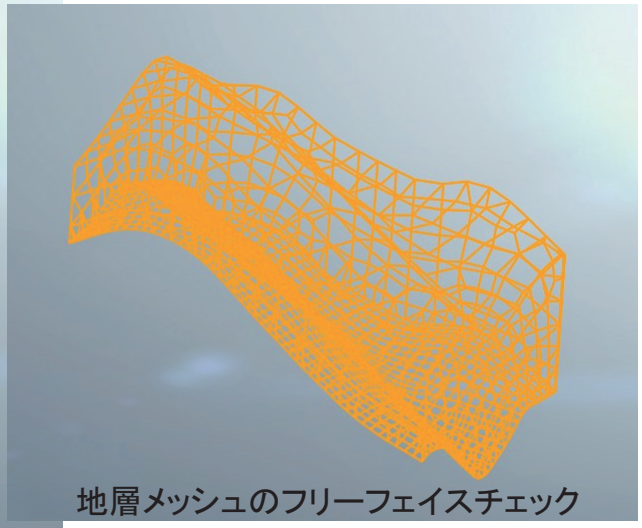
© 2013 Daiwa House Group All rights reserved.　※作成日※挿入タブ＞「ヘッダーとフッター」で編集できます。

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



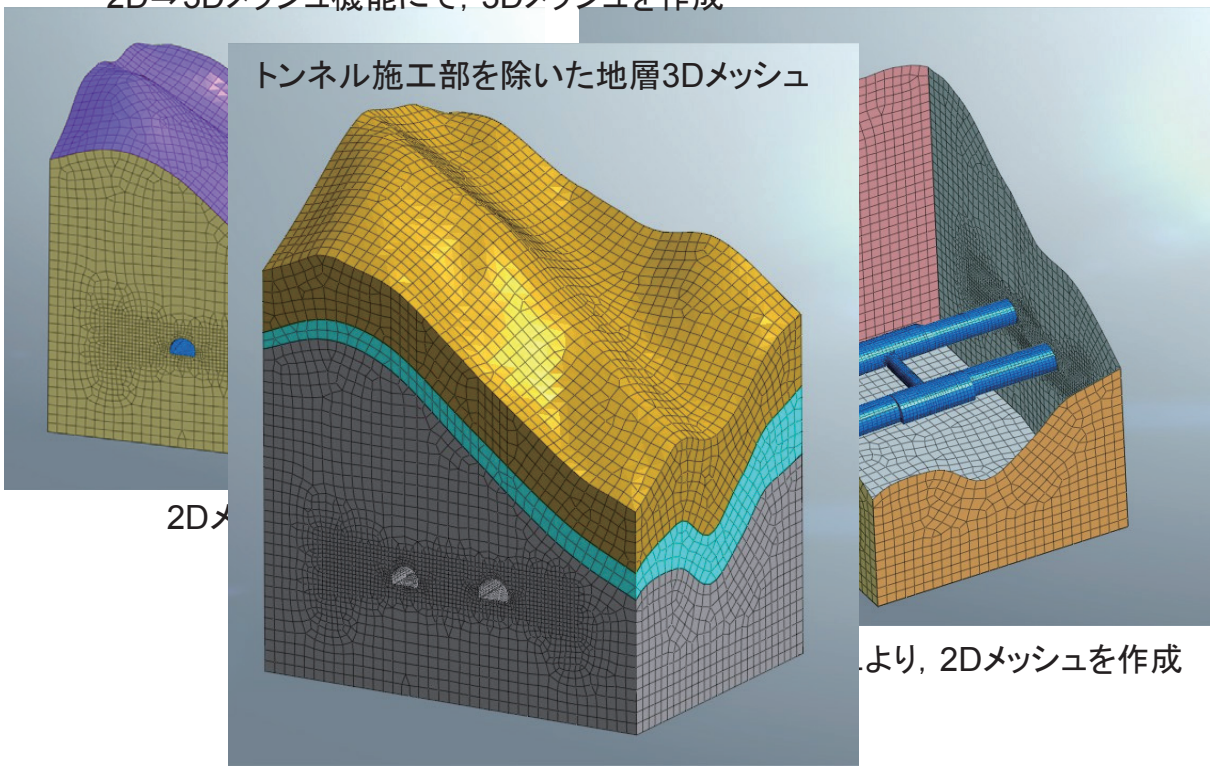


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. ※作成日※挿入タブ＞「ヘッダーとフッター」で編集できます。 14

地層（地山）の作成③

Fujita Corporation

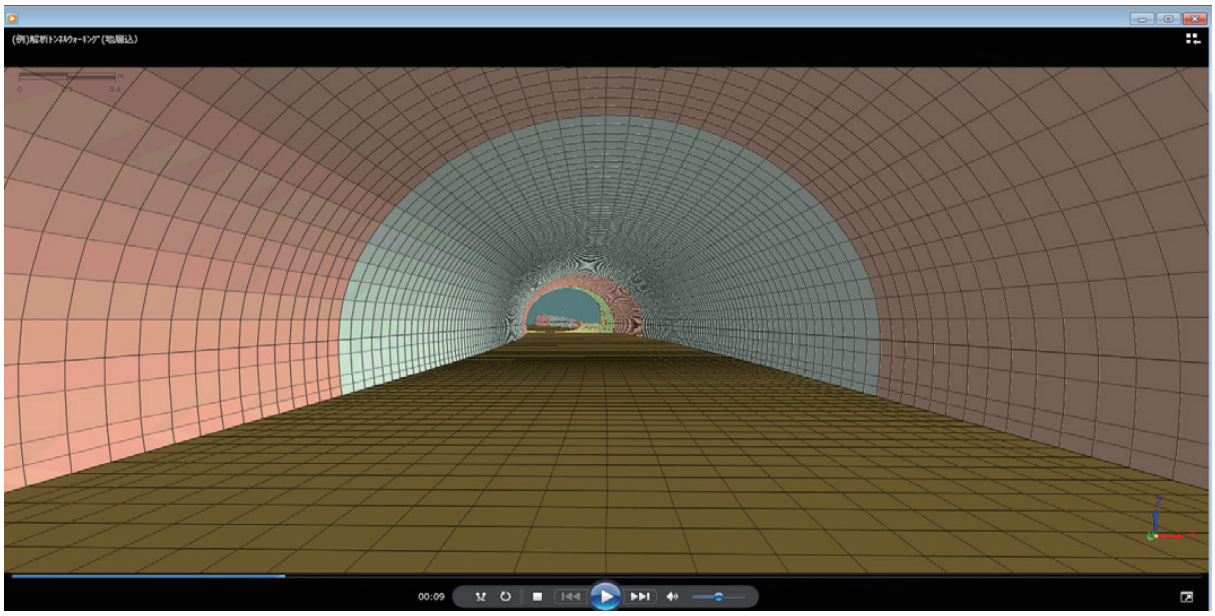
地層境界部と同様に，2Dの箱を作成して，
2D⇒3Dメッシュ機能にて，3Dメッシュを作成



© 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

04 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

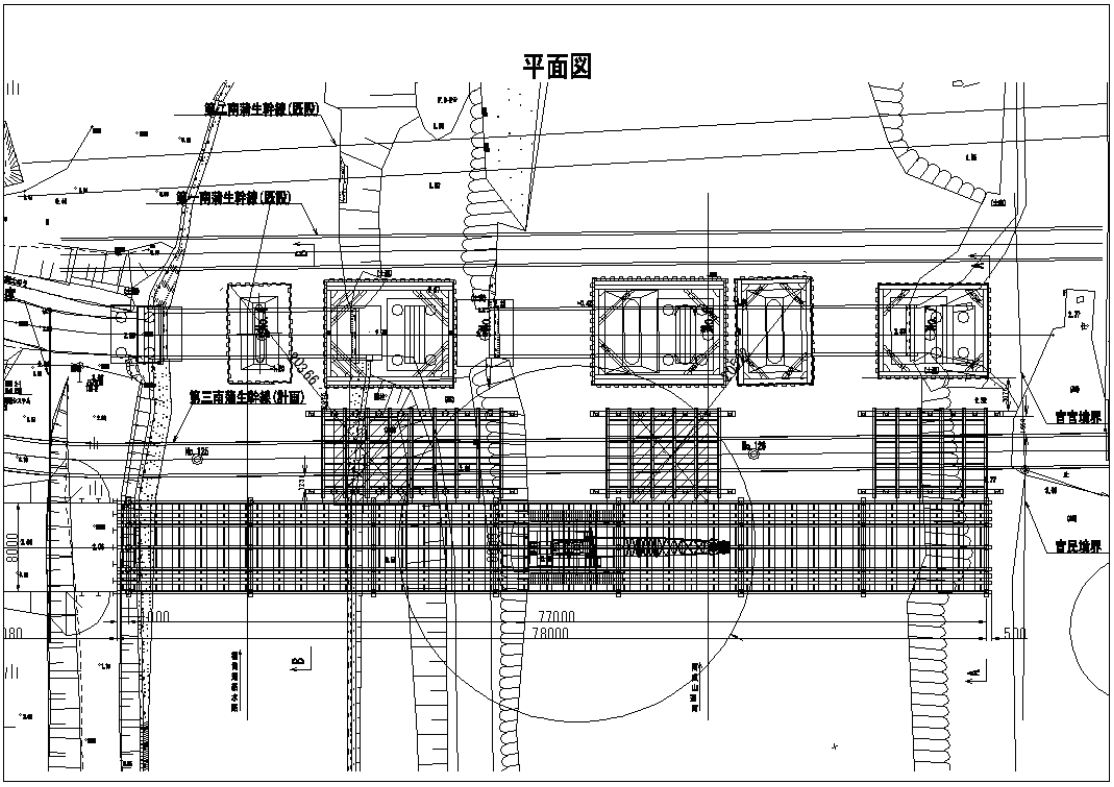
■概要

Fujita Corporation

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

■概要

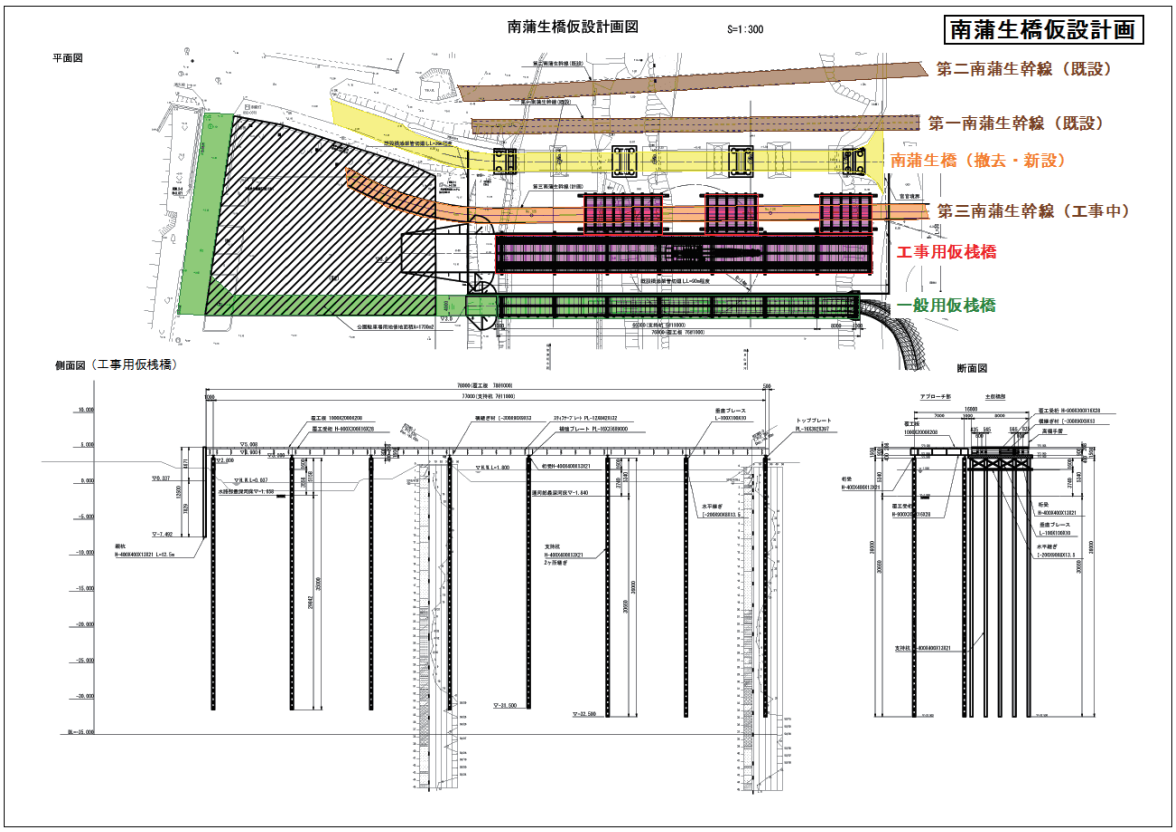
Fujita Corporation



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

■概要

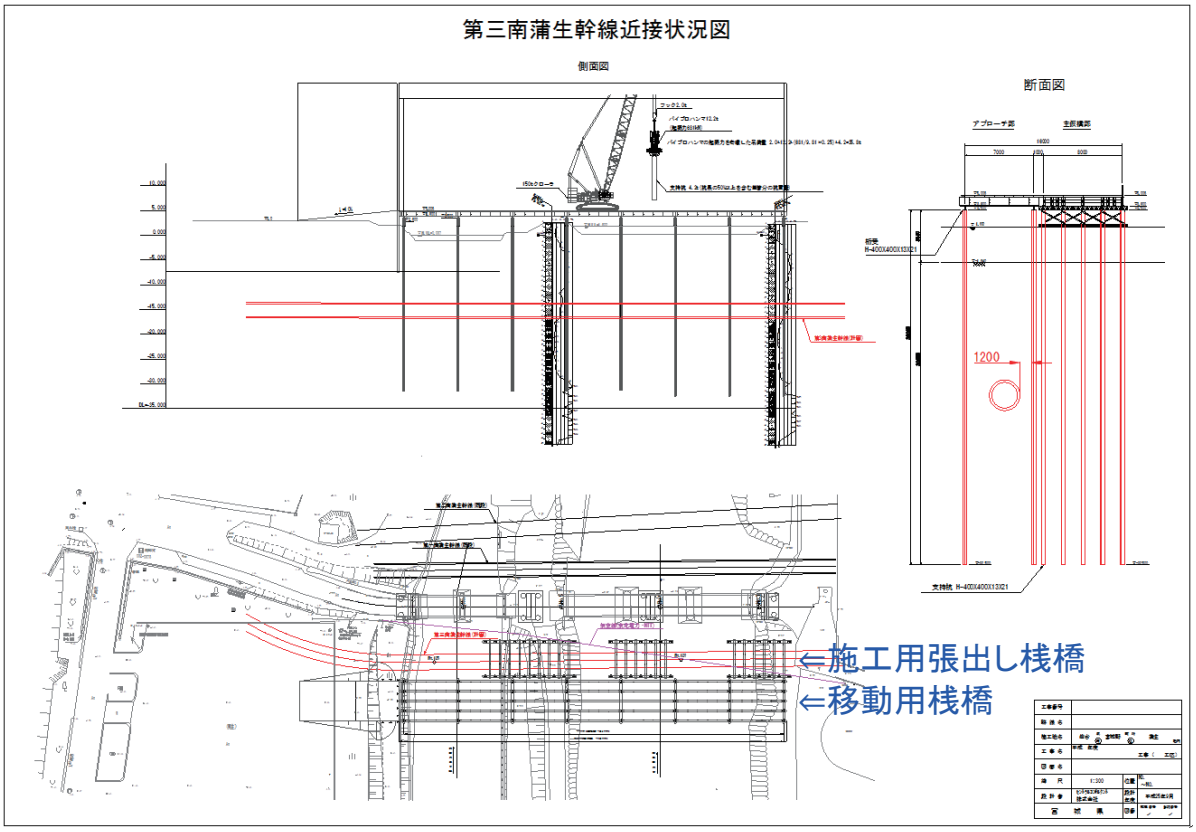
Fujita Corporation



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

■概要

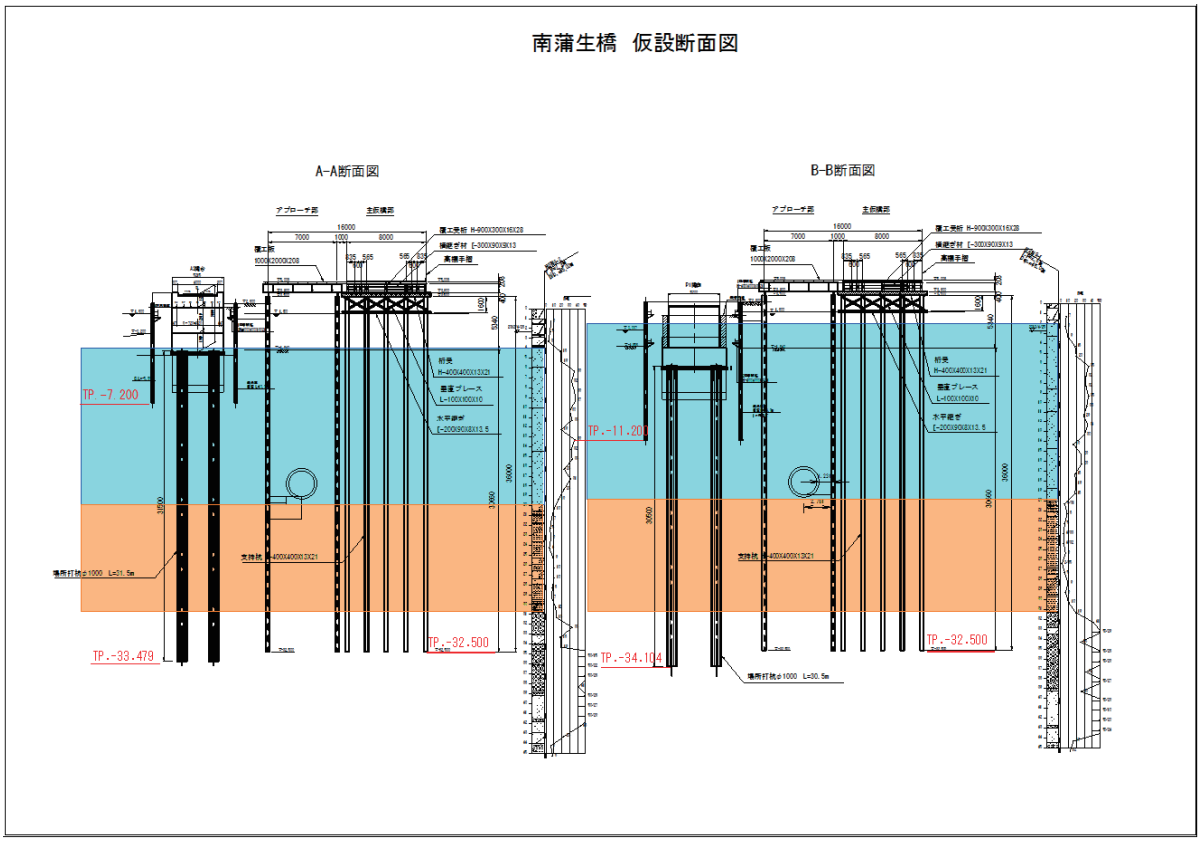
Fujita Corporation



© 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

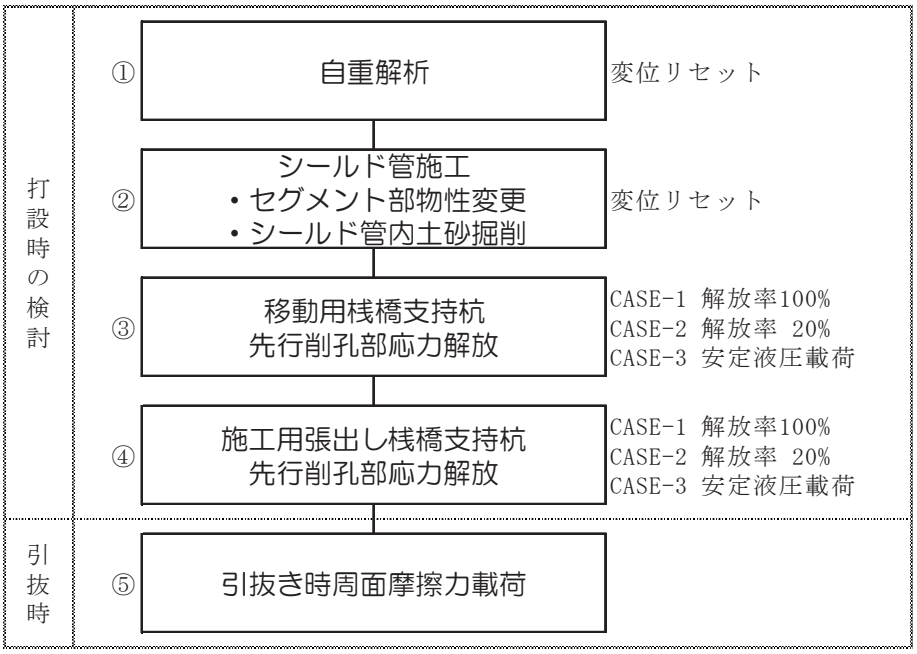
- CASE-1 ：先行削孔部100%応力解放
- CASE-2 ：先行削孔部 20%応力解放
- CASE-3 ：先行削孔部に安定液圧を載荷

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

■解析概要

Fujita Corporation

【解析Step】



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

■解析モデル概要

Fujita Corporation

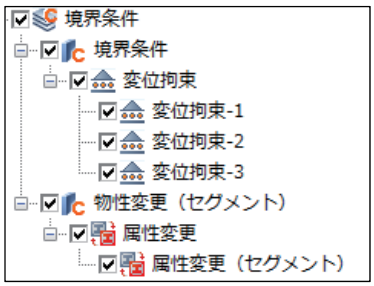
- 節点数　：383,142
- 要素数　：382,258
- 要素グループ数　：26

© 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）

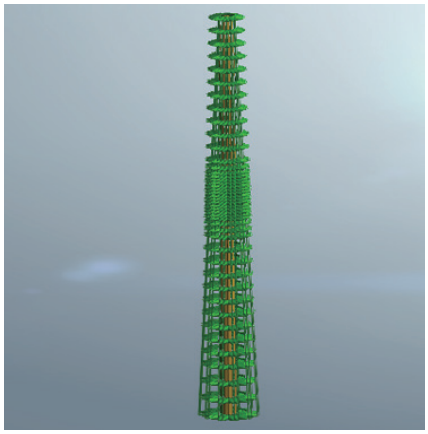


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 2013 11

■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）

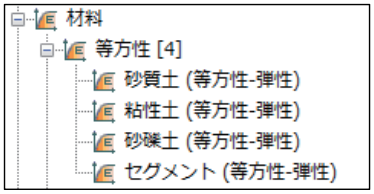


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201312

■解析モデル概要

Fujita Corporation

- 材料データ数：4（等方性材料）



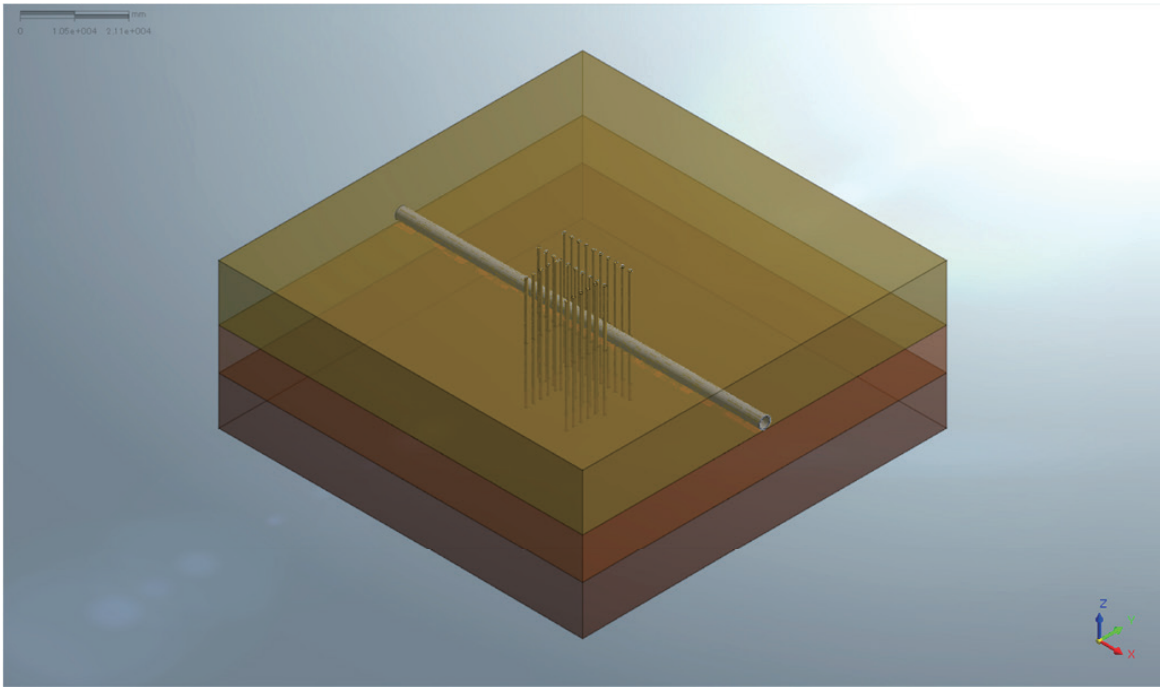
材料データ入力値一覧表

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

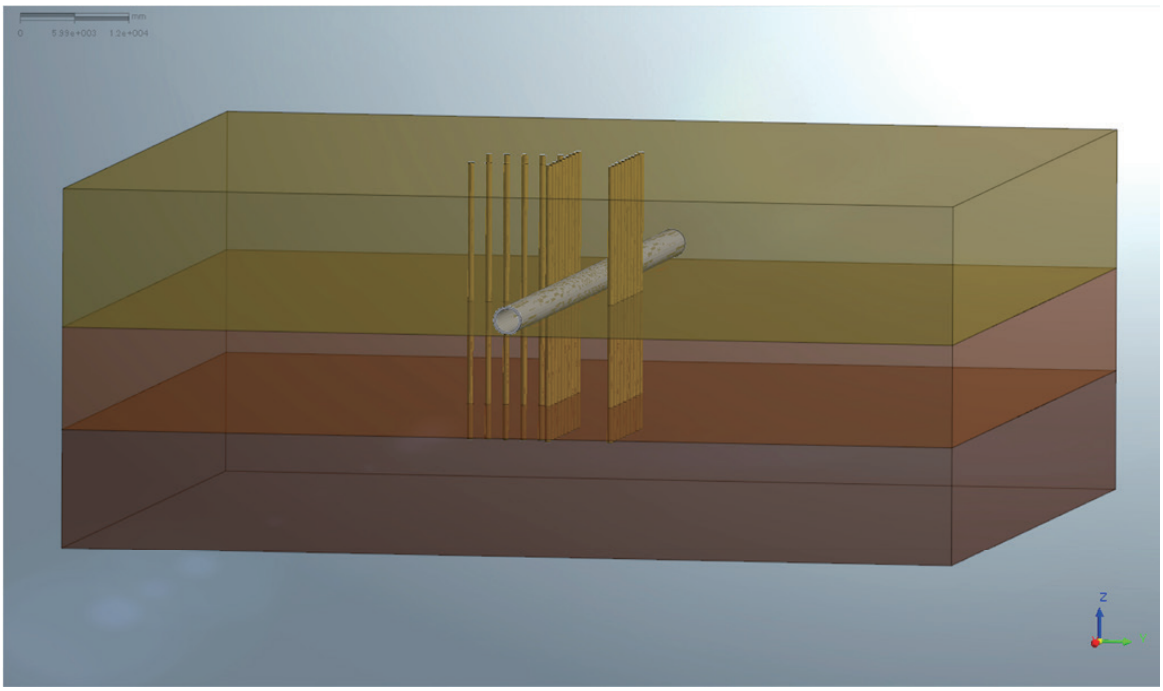
Fujita Corporation



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

■解析モデル図

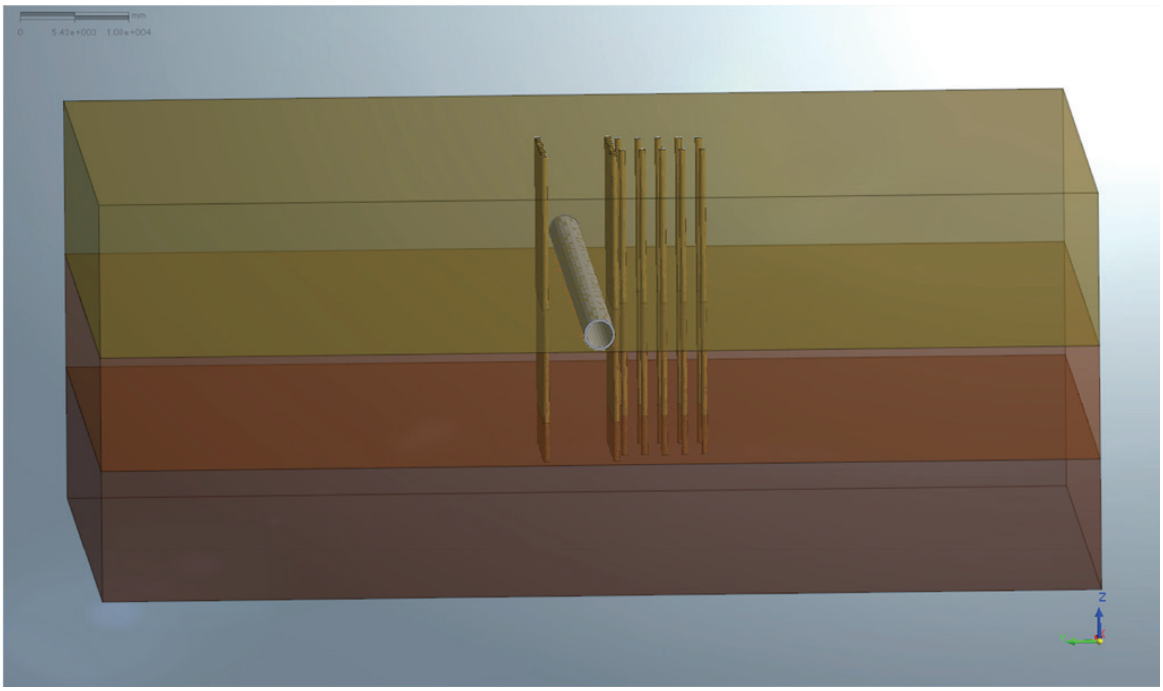
Fujita Corporation



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

■解析モデル図

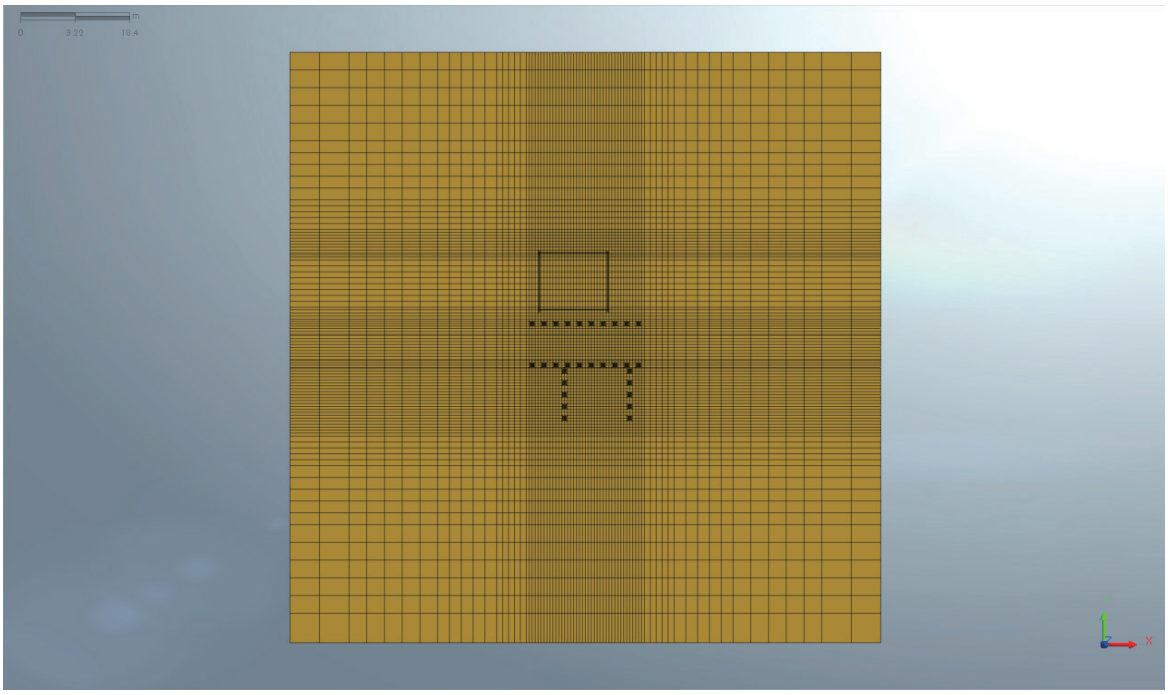
Fujita Corporation



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

■解析モデル図

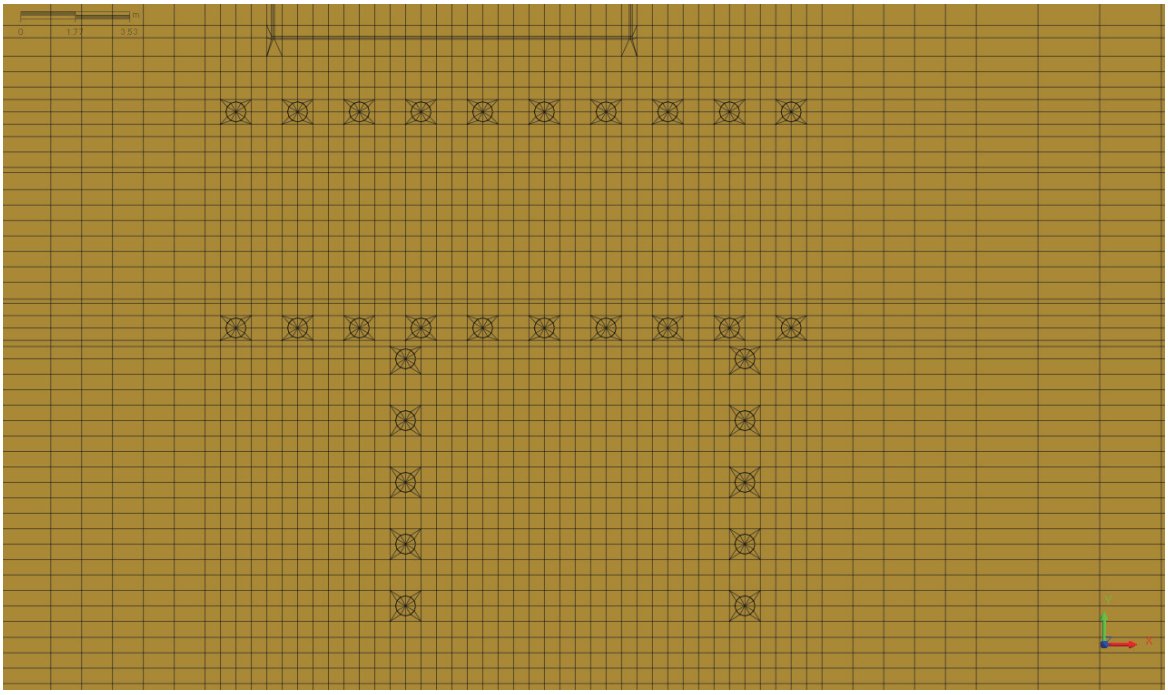
Fujita Corporation



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

■解析モデル図

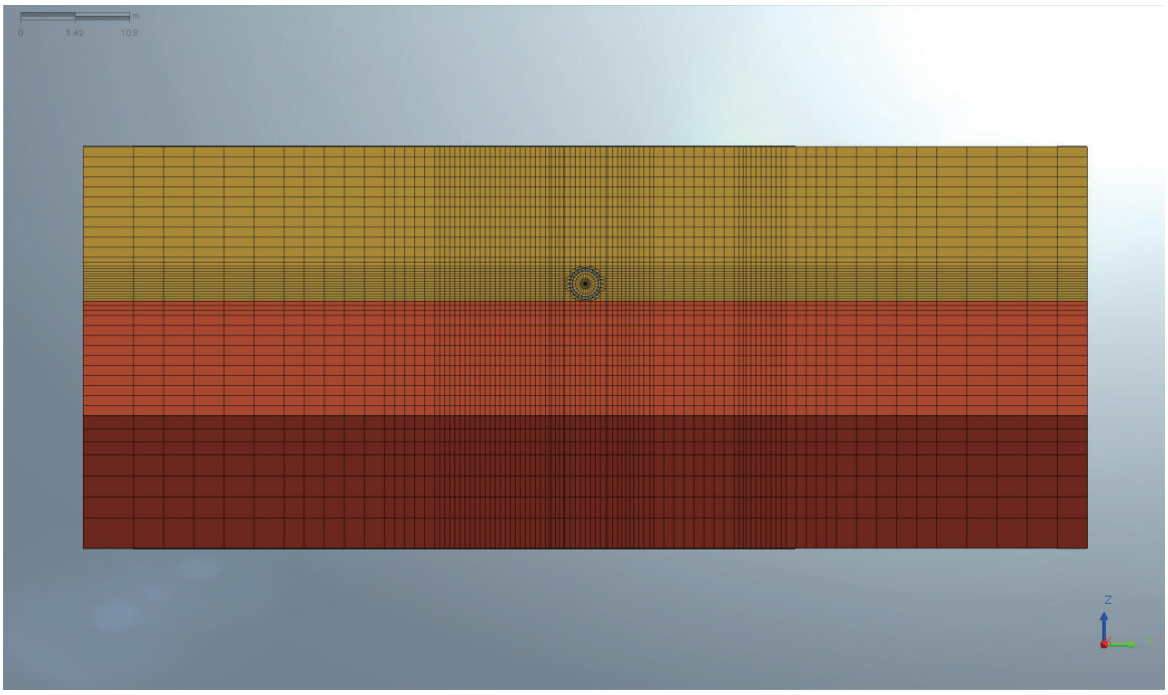
Fujita Corporation



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

■解析モデル図

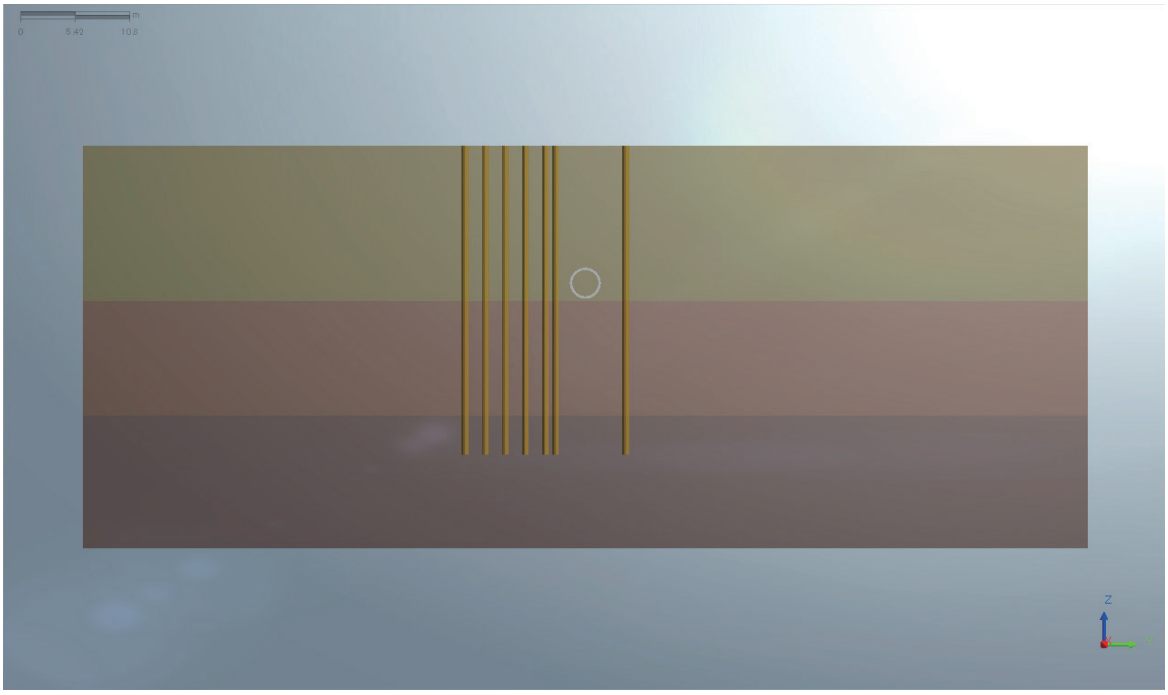
Fujita Corporation



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

■解析モデル図

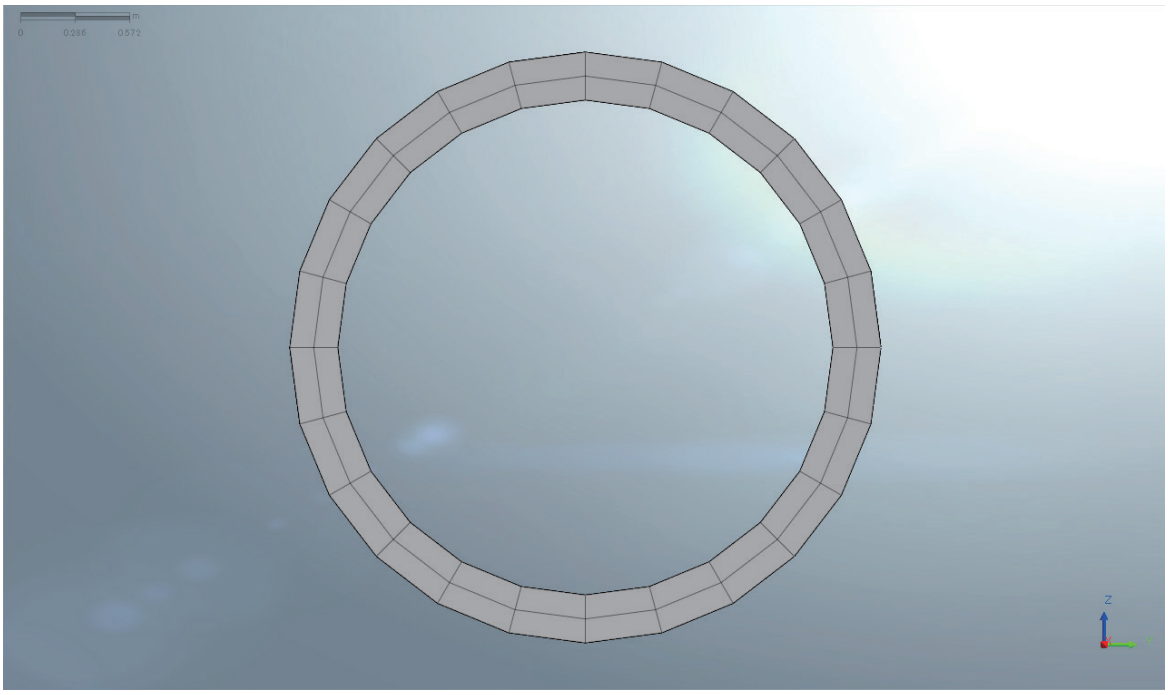
Fujita Corporation



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

■解析モデル図

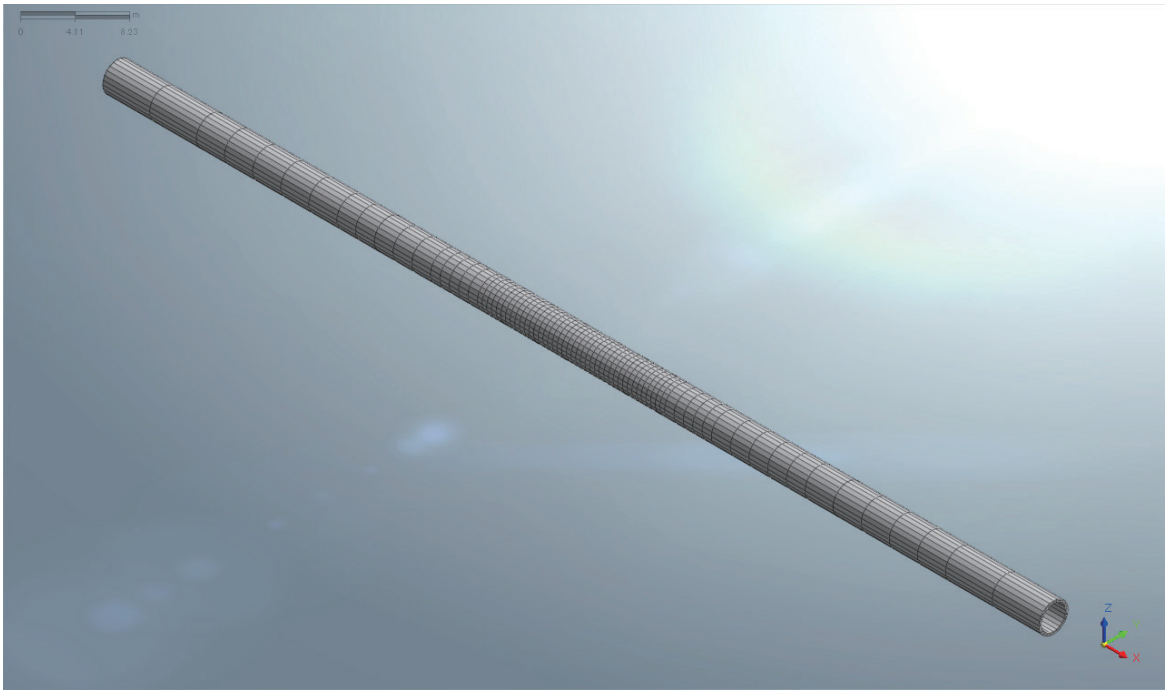
Fujita Corporation



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

■解析モデル図

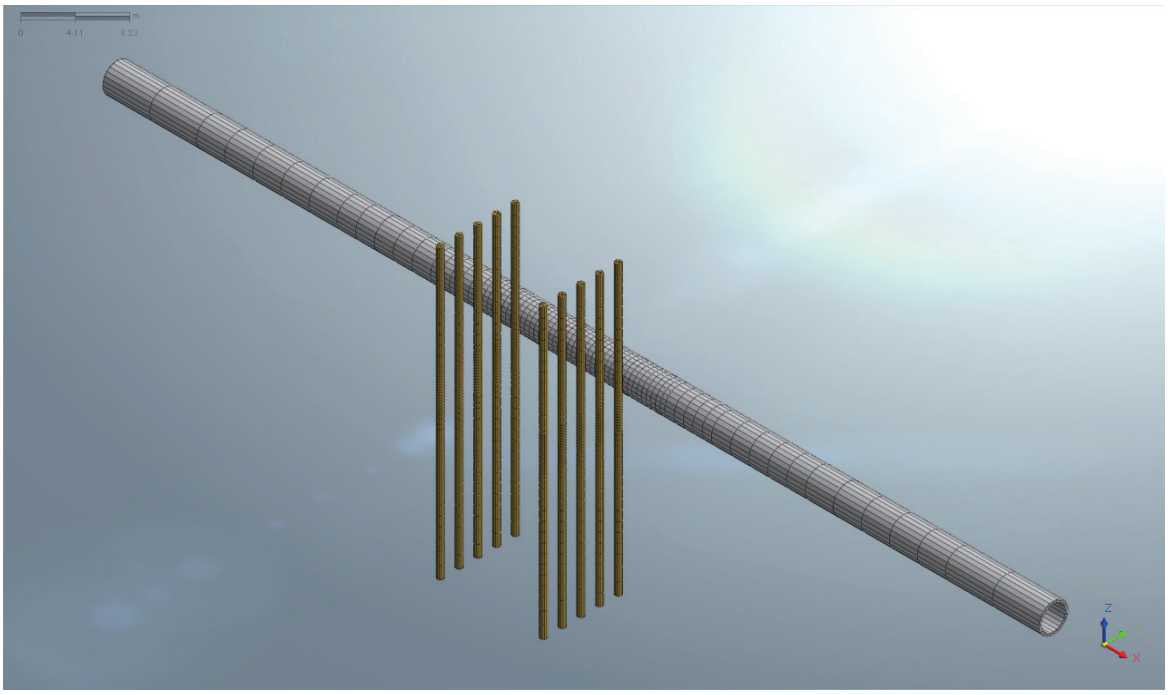
Fujita Corporation



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

■解析モデル図

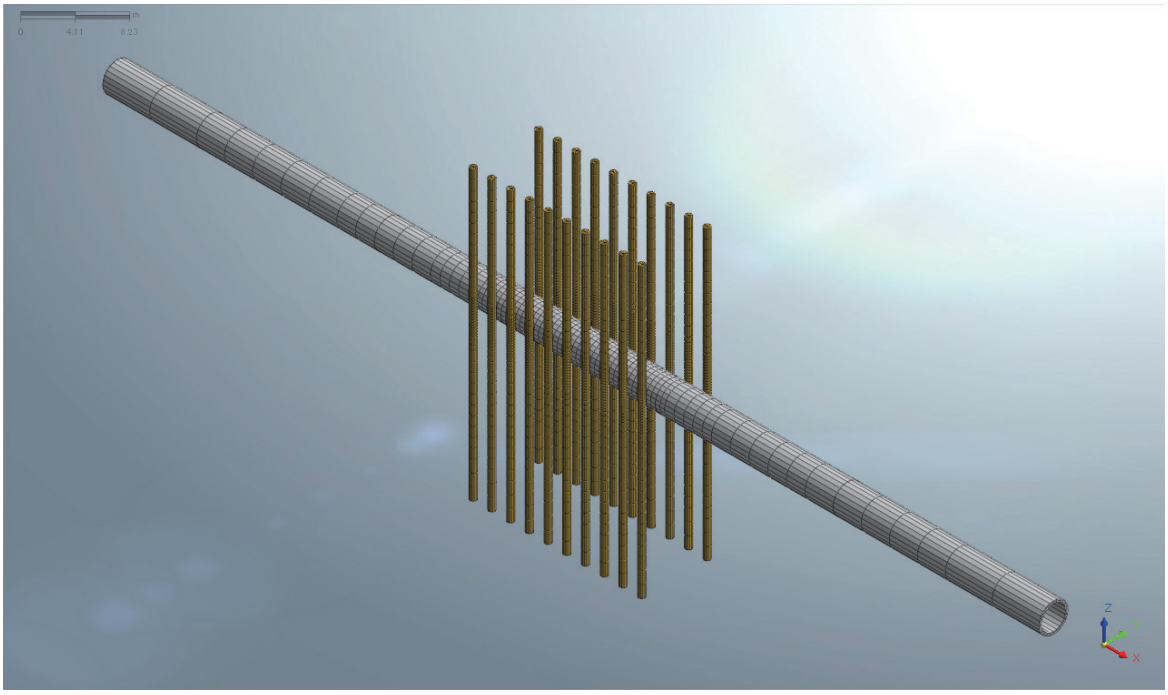
Fujita Corporation



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

■解析モデル図

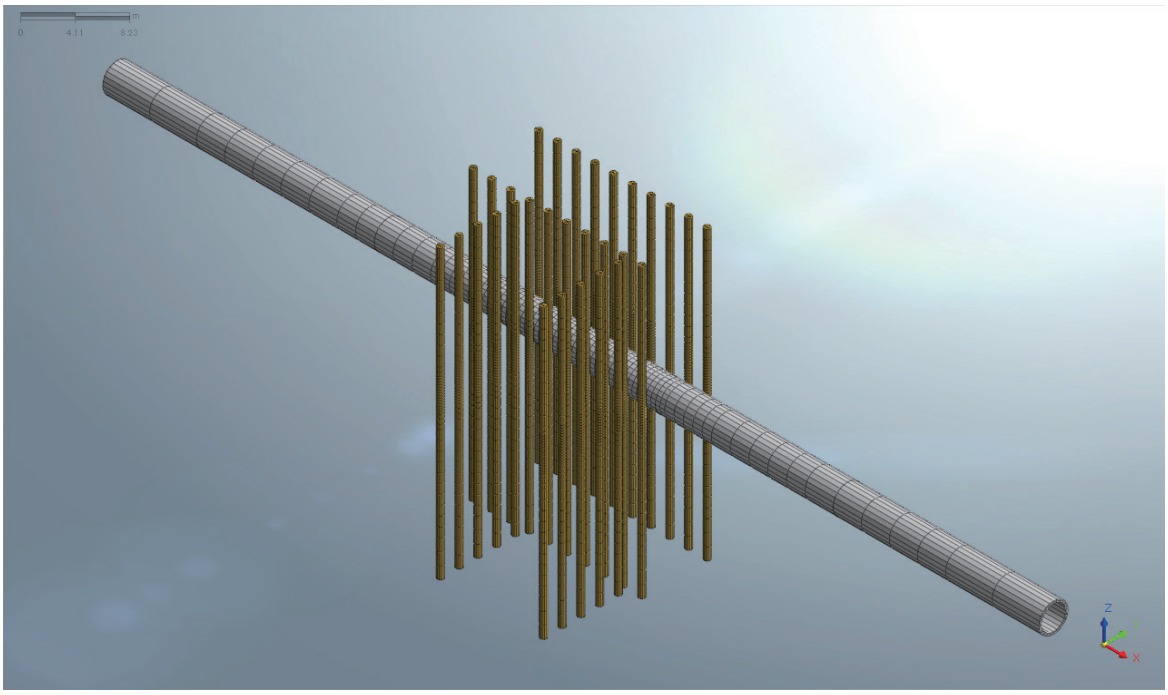
Fujita Corporation



© 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】

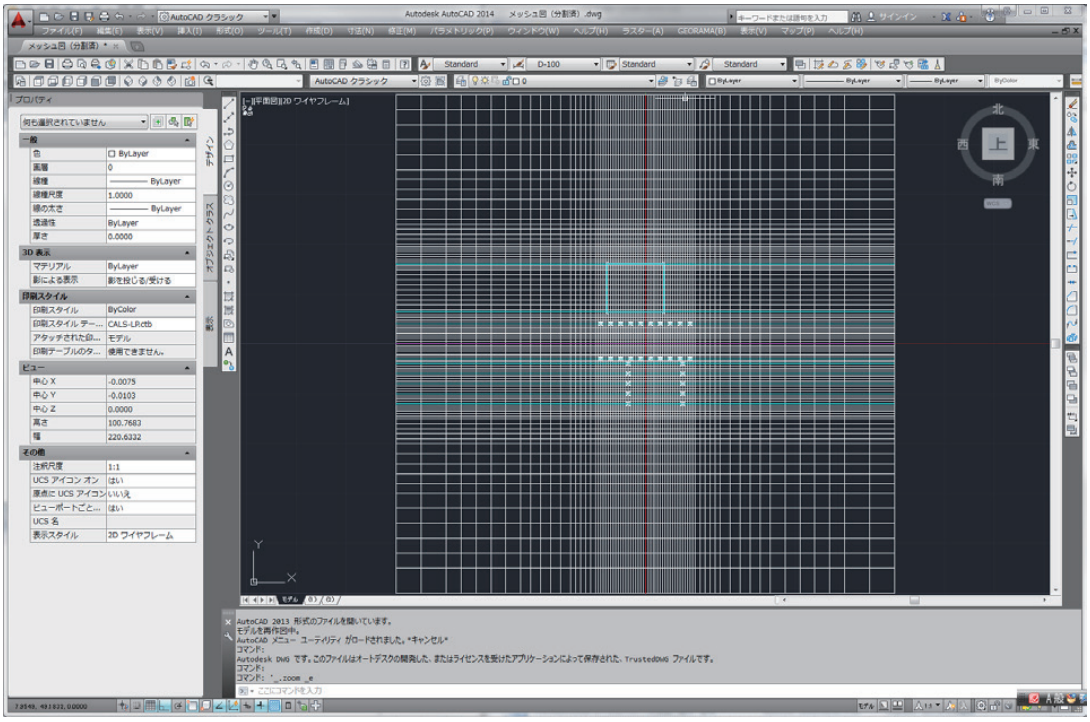
①AutoCADで平面メッシュ作成
②GTS NXでCADファイル読込み
③2D要素作成
④鉛直方向に押出しメッシュ
⑤シールド管周囲要素くりぬき
⑥AutoCADでシールド管周囲のメッシュ作成
⑦GTS NXでCADファイル読込み
⑧シールド管周囲2D要素作成
⑨シールド管周囲水平方向に押出しメッシュ

© 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】

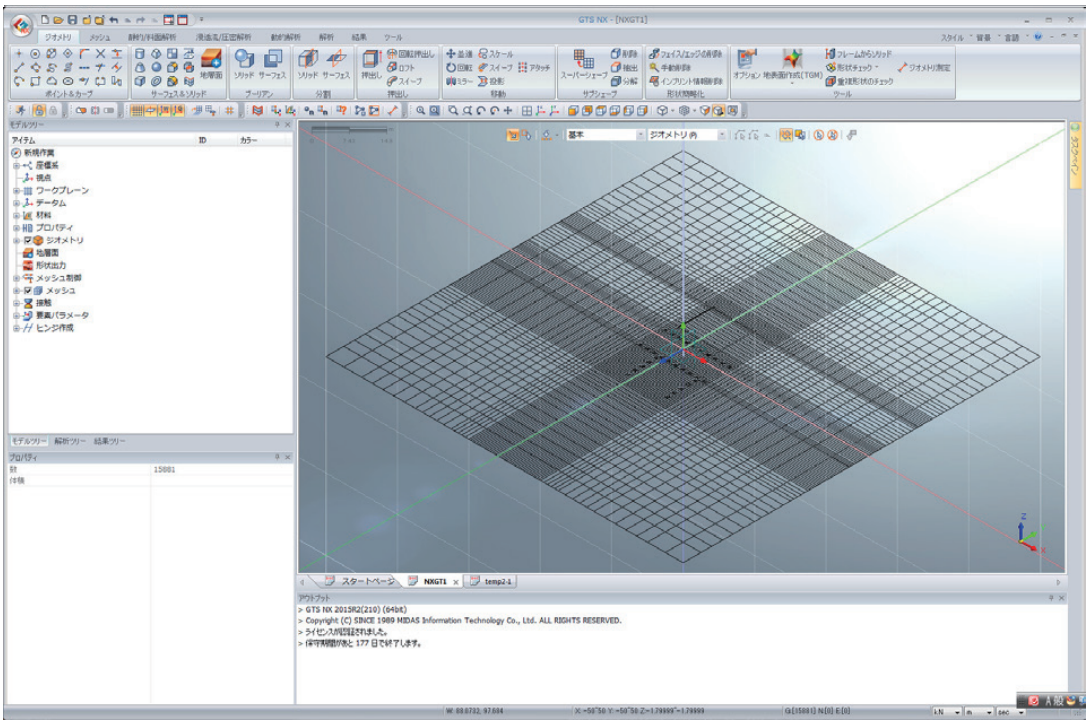


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201327

■モデリング

Fujita Corporation

【②GTS NXでCADファイル読込み】

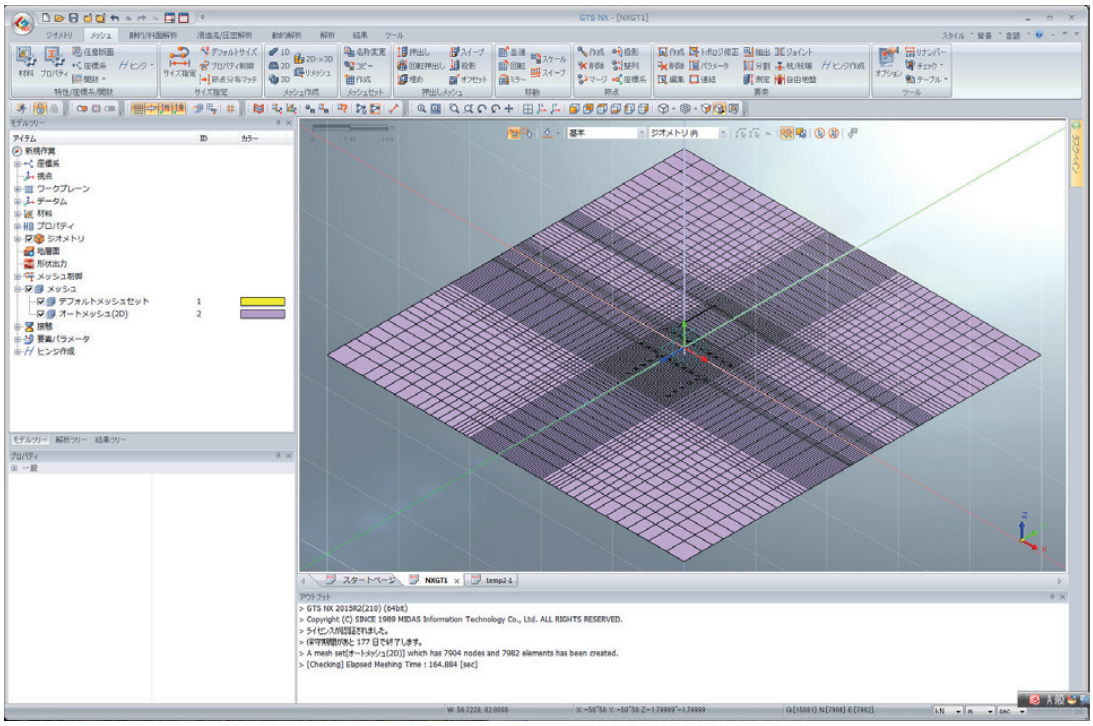


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201328

■モデリング

Fujita Corporation

【③2D要素作成】

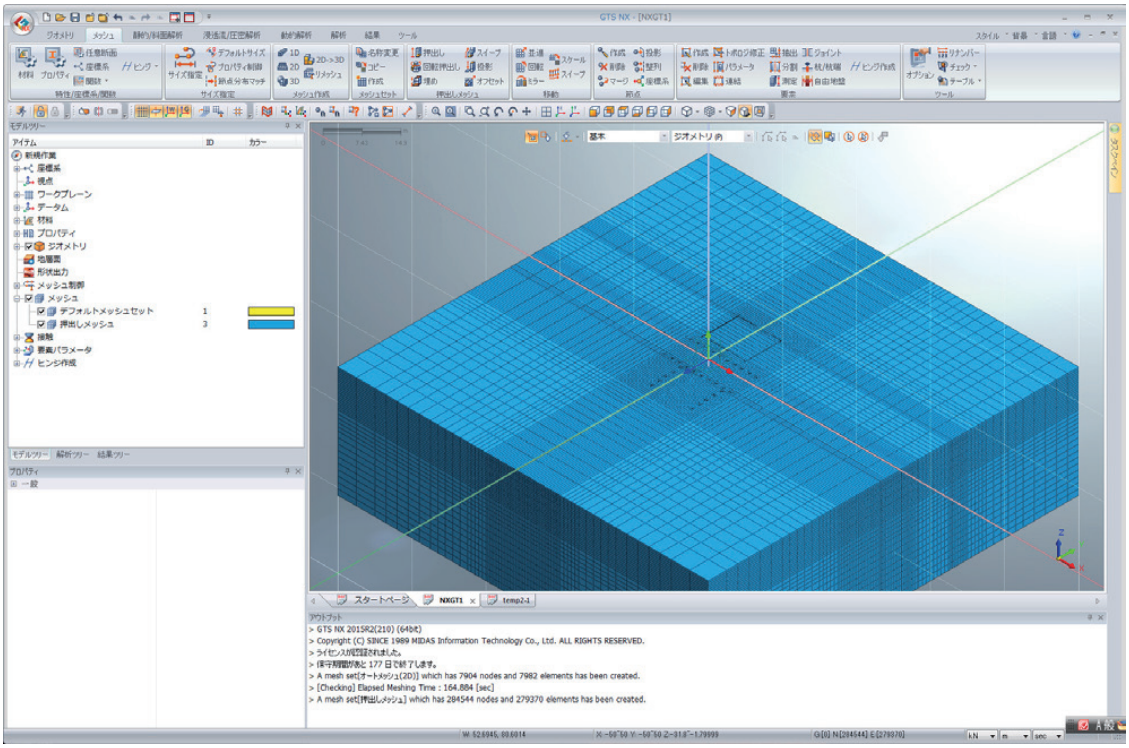


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201329

■モデリング

Fujita Corporation

【④鉛直方向に押出しメッシュ】

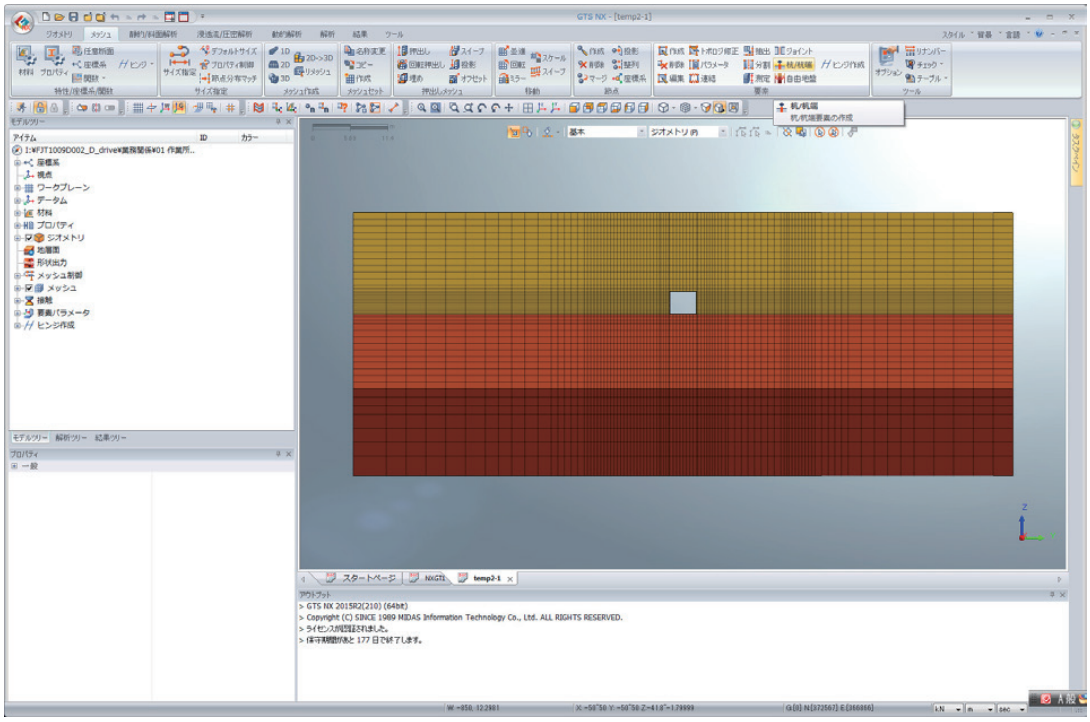


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201330

■モデリング

Fujita Corporation

【⑤シールド管周囲要素くりぬき】

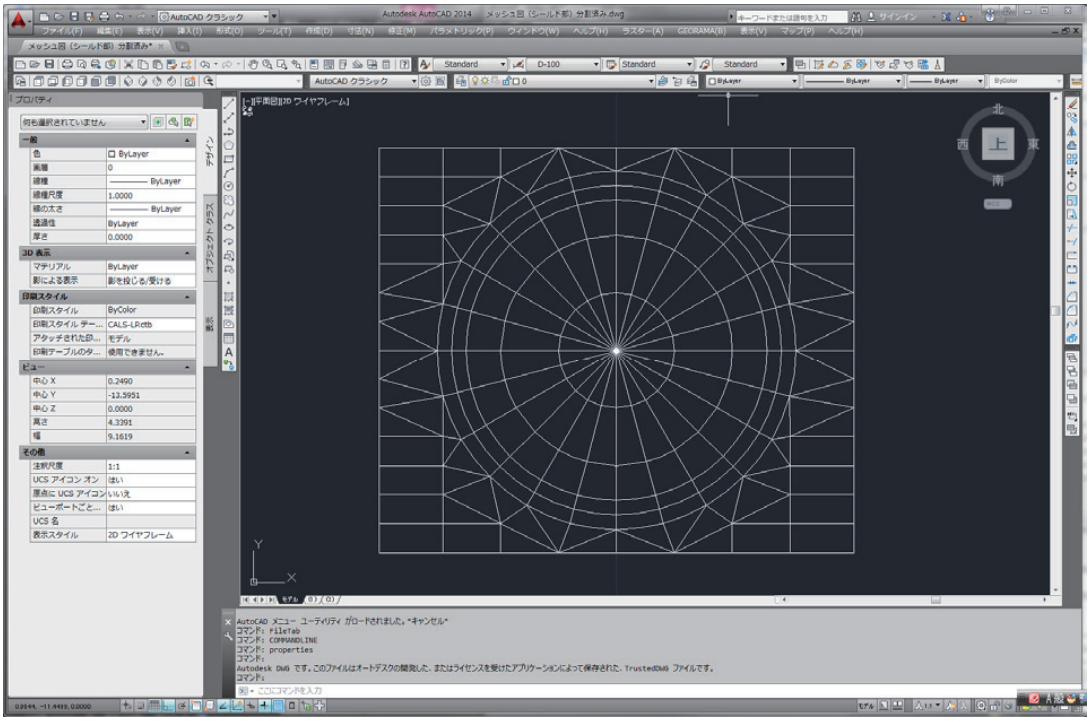


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201331

■モデリング

Fujita Corporation

【⑥AutoCADでシールド管周囲のメッシュ作成】

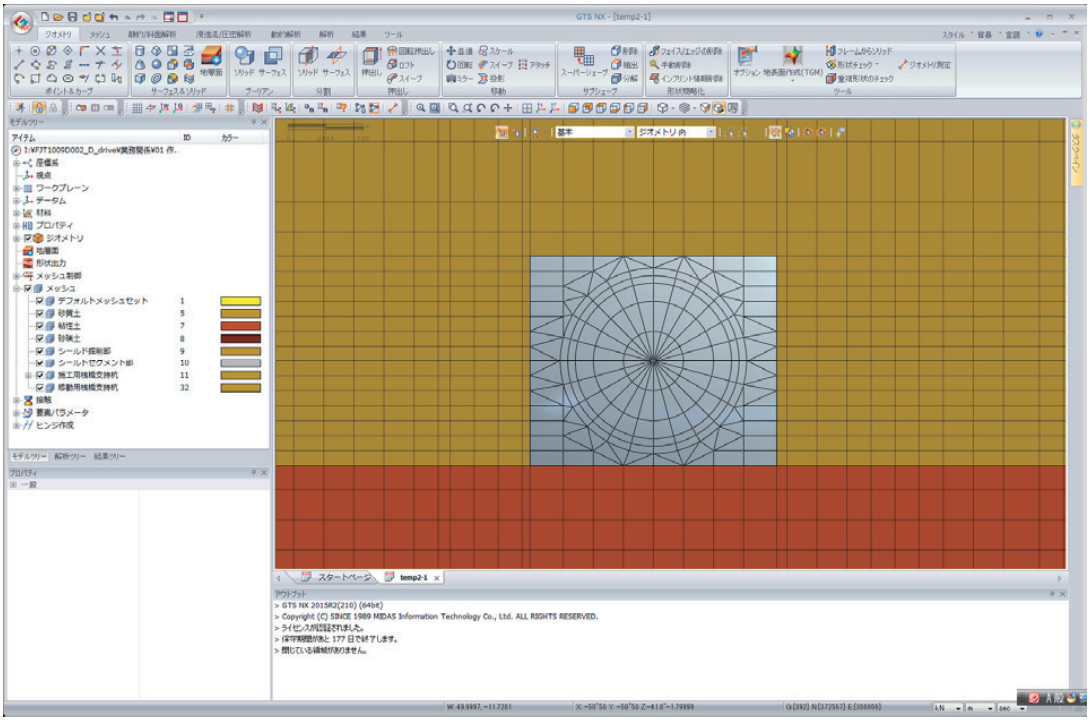


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved.

■モデリング

Fujita Corporation

【⑦GTS　NXでCADファイル読込み】

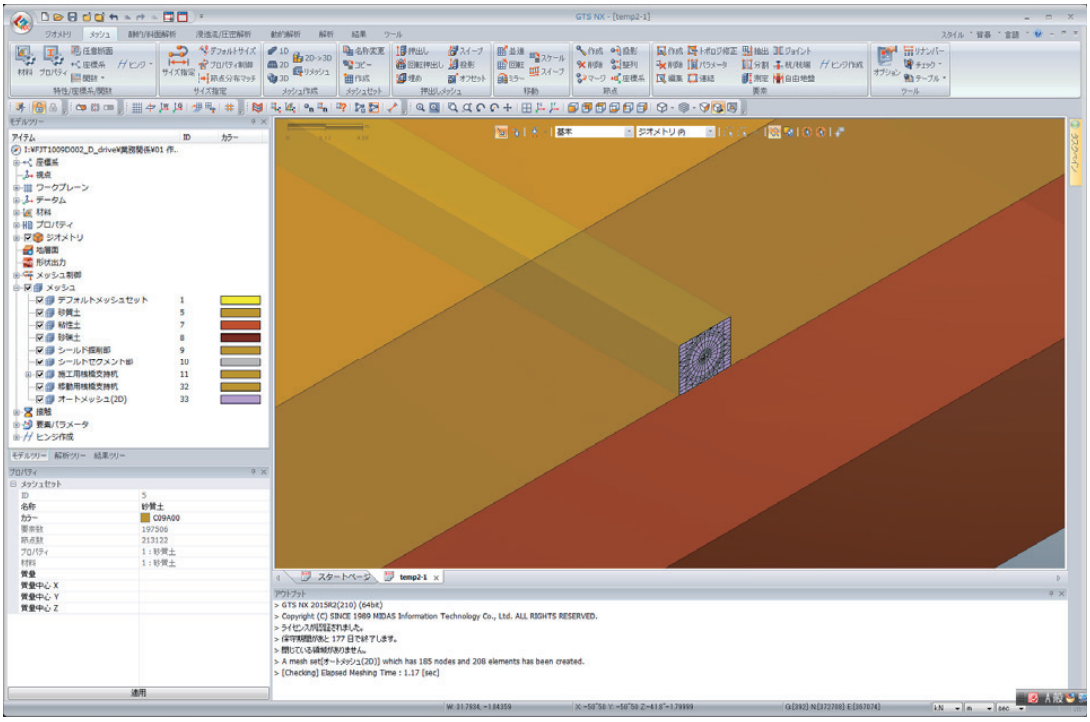


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved.

■モデリング

Fujita Corporation

【⑧シールド管周囲2D要素作成】

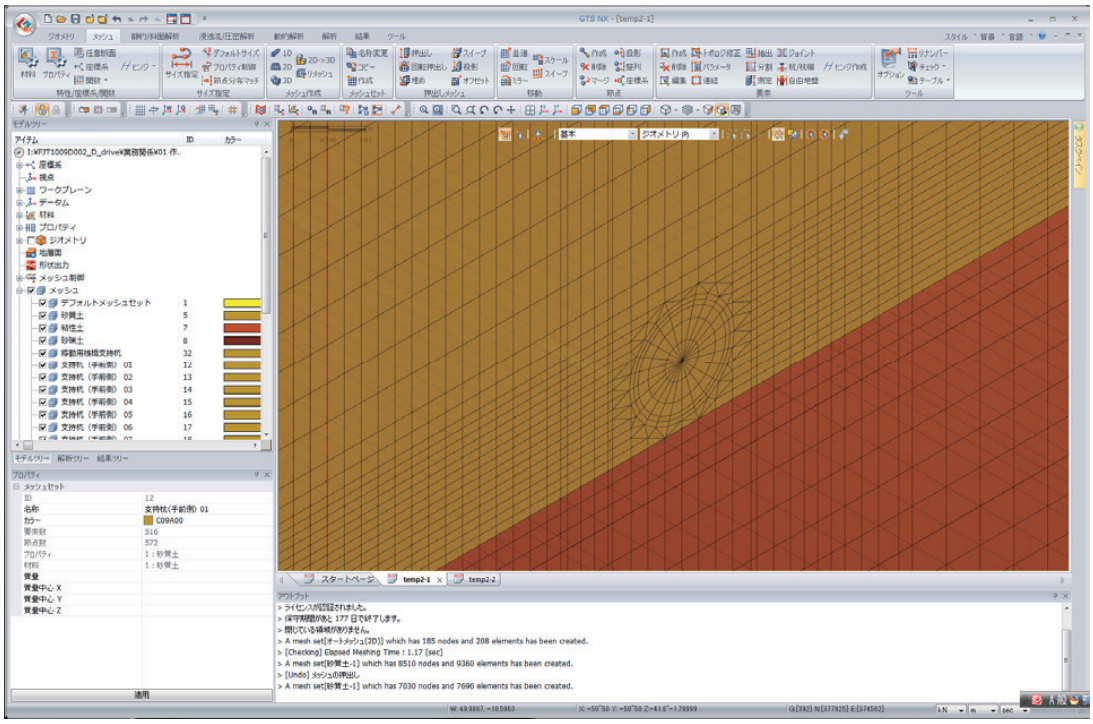


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201334

■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】

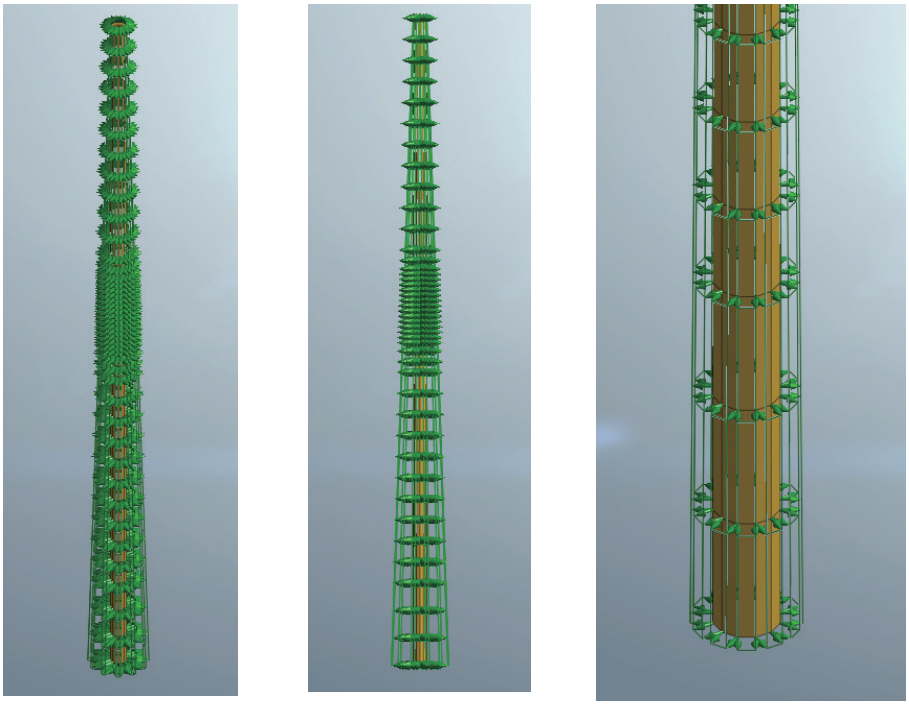


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201335

■モデリング

Fujita Corporation

【圧力荷重の入力】

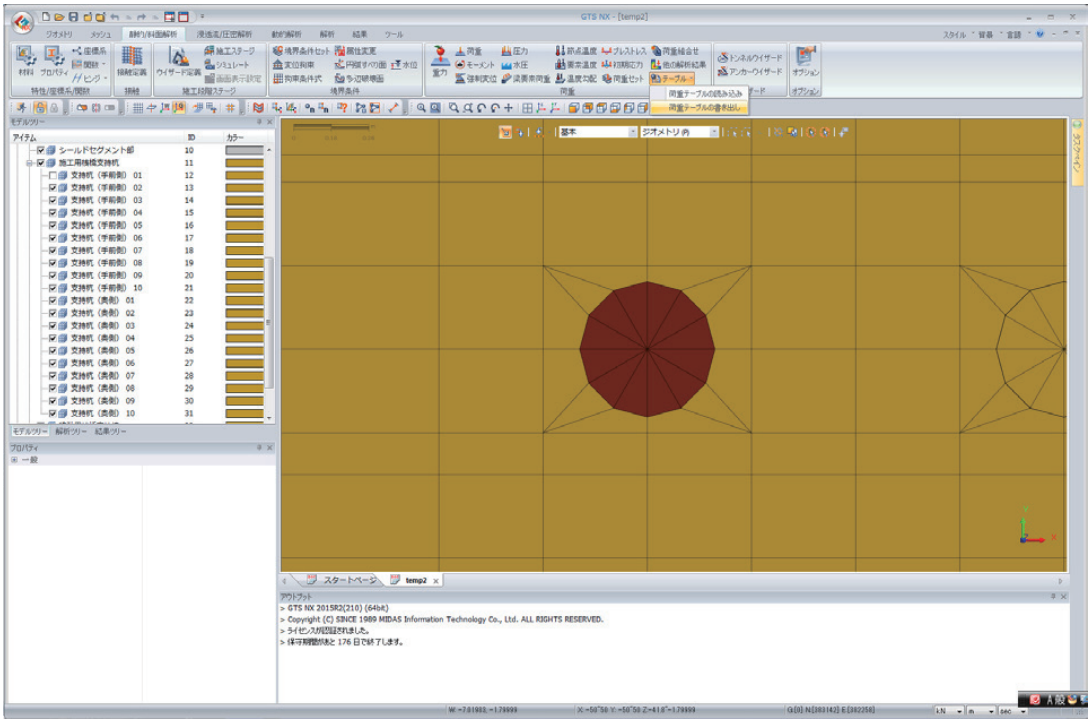


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201336

■モデリング

Fujita Corporation

【圧力荷重の入力】

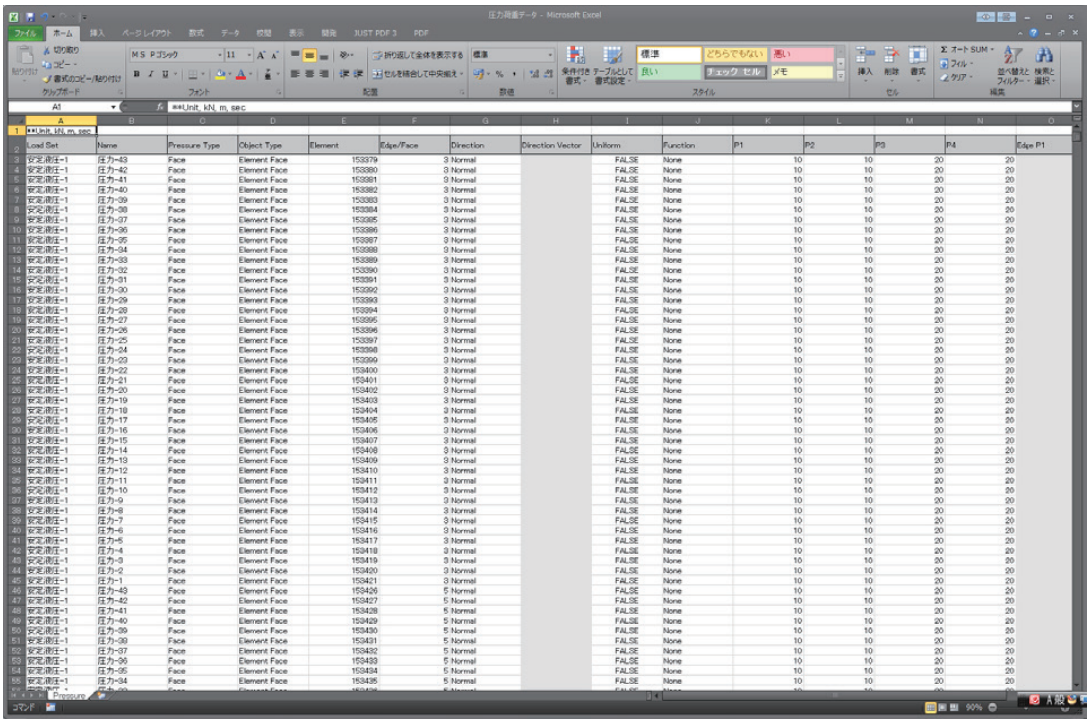


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201337

■モデリング

Fujita Corporation

【圧力荷重の入力】

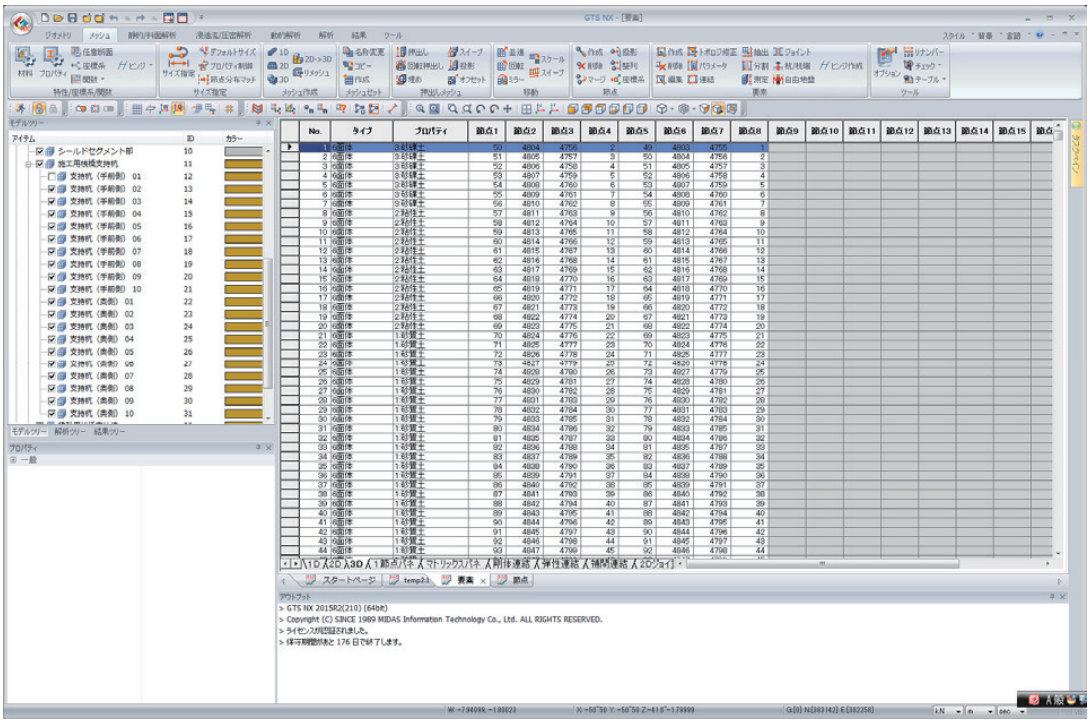


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201338

■モデリング

Fujita Corporation

【圧力荷重の入力】

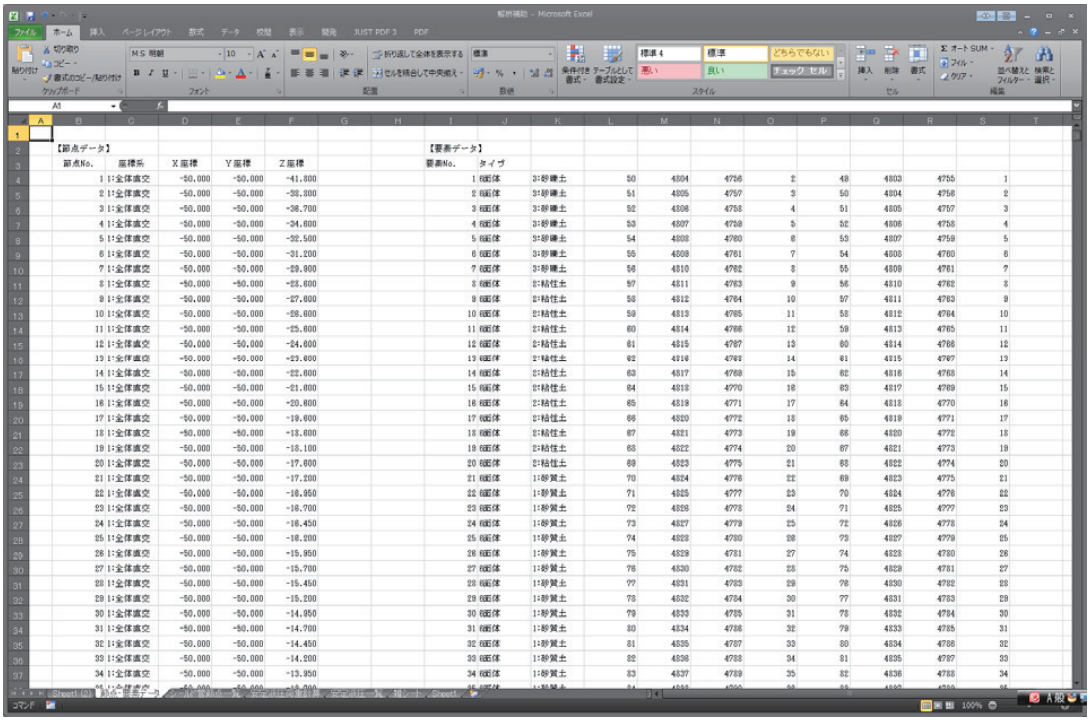


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201339

■モデリング

Fujita Corporation

【圧力荷重の入力】



【節点データ】

節点No.	座標系	X座標	Y座標	Z座標
1	1:全体直交	-50.000	-50.000	-41.800
2	1:全体直交	-50.000	-50.000	-39.300
3	1:全体直交	-50.000	-50.000	-36.700
4	1:全体直交	-50.000	-50.000	-34.000
5	1:全体直交	-50.000	-50.000	-32.500
6	1:全体直交	-50.000	-50.000	-31.200
7	1:全体直交	-50.000	-50.000	-29.800
8	1:全体直交	-50.000	-50.000	-28.600
9	1:全体直交	-50.000	-50.000	-27.600
10	1:全体直交	-50.000	-50.000	-26.600
11	1:全体直交	-50.000	-50.000	-25.600
12	1:全体直交	-50.000	-50.000	-24.600
13	1:全体直交	-50.000	-50.000	-23.600
14	1:全体直交	-50.000	-50.000	-22.600
15	1:全体直交	-50.000	-50.000	-21.800
16	1:全体直交	-50.000	-50.000	-20.800
17	1:全体直交	-50.000	-50.000	-19.900
18	1:全体直交	-50.000	-50.000	-18.900
19	1:全体直交	-50.000	-50.000	-18.100
20	1:全体直交	-50.000	-50.000	-17.600
21	1:全体直交	-50.000	-50.000	-17.200
22	1:全体直交	-50.000	-50.000	-16.950
23	1:全体直交	-50.000	-50.000	-16.700
24	1:全体直交	-50.000	-50.000	-16.450
25	1:全体直交	-50.000	-50.000	-16.200
26	1:全体直交	-50.000	-50.000	-15.950
27	1:全体直交	-50.000	-50.000	-15.700
28	1:全体直交	-50.000	-50.000	-15.450
29	1:全体直交	-50.000	-50.000	-15.200
30	1:全体直交	-50.000	-50.000	-14.950
31	1:全体直交	-50.000	-50.000	-14.700
32	1:全体直交	-50.000	-50.000	-14.450
33	1:全体直交	-50.000	-50.000	-14.200
34	1:全体直交	-50.000	-50.000	-13.950

【要素データ】

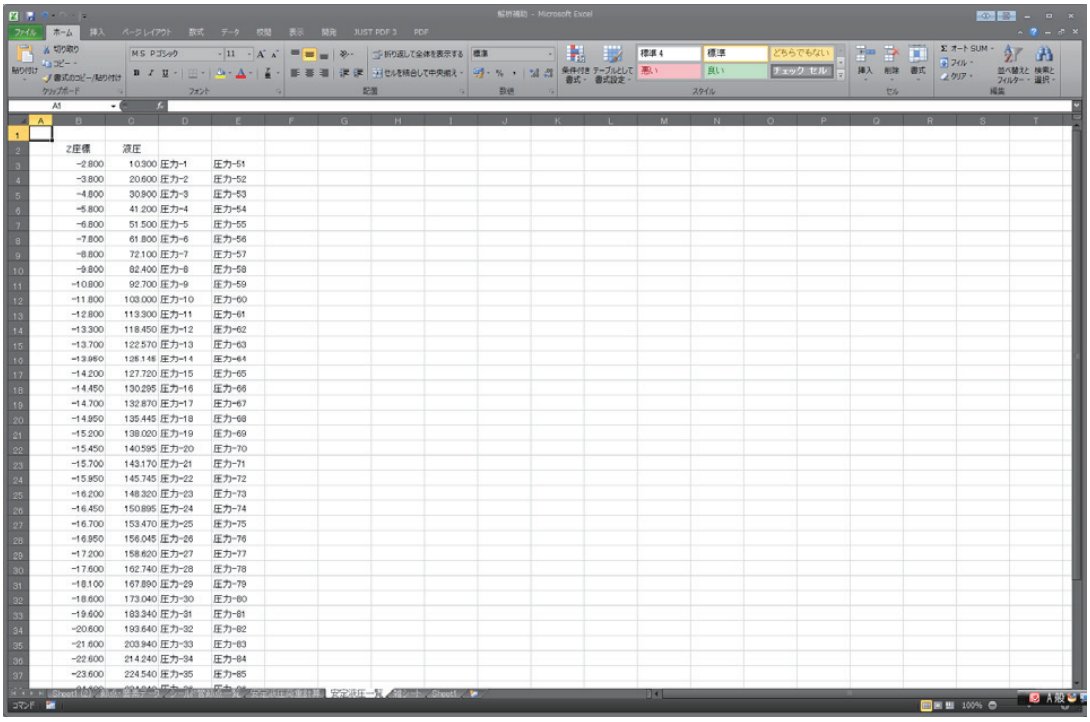
要素No.	タイプ													
1	6面体	3:砂礫土	50	4804	4756	2	49	4803	4755	1
2	6面体	3:砂礫土	51	4805	4757	3	50	4804	4756	2
3	6面体	3:砂礫土	52	4806	4758	4	51	4805	4757	3
4	6面体	3:砂礫土	53	4807	4759	5	52	4806	4758	4
5	6面体	3:砂礫土	54	4808	4760	6	53	4807	4759	5
6	6面体	3:砂礫土	55	4809	4761	7	54	4808	4760	6
7	6面体	3:砂礫土	56	4810	4762	8	55	4809	4761	7
8	6面体	3:砂礫土	57	4811	4763	9	56	4810	4762	8
9	6面体	3:砂礫土	58	4812	4764	10	57	4811	4763	9
10	6面体	3:砂礫土	59	4813	4765	11	58	4812	4764	10
11	6面体	3:砂礫土	60	4814	4766	12	59	4813	4765	11
12	6面体	3:砂礫土	61	4815	4767	13	60	4814	4766	12
13	6面体	3:砂礫土	62	4816	4768	14	61	4815	4767	13
14	6面体	3:砂礫土	63	4817	4769	15	62	4816	4768	14
15	6面体	3:砂礫土	64	4818	4770	16	63	4817	4769	15
16	6面体	3:砂礫土	65	4819	4771	17	64	4818	4770	16
17	6面体	3:砂礫土	66	4820	4772	18	65	4819	4771	17
18	6面体	3:砂礫土	67	4821	4773	19	66	4820	4772	18
19	6面体	3:砂礫土	68	4822	4774	20	67	4821	4773	19
20	6面体	3:砂礫土	69	4823	4775	21	68	4822	4774	20
21	6面体	1:砂質土	70	4824	4776	22	69	4823	4775	21
22	6面体	1:砂質土	71	4825	4777	23	70	4824	4776	22
23	6面体	1:砂質土	72	4826	4778	24	71	4825	4777	23
24	6面体	1:砂質土	73	4827	4779	25	72	4826	4778	24
25	6面体	1:砂質土	74	4828	4780	26	73	4827	4779	25
26	6面体	1:砂質土	75	4829	4781	27	74	4828	4780	26
27	6面体	1:砂質土	76	4830	4782	28	75	4829	4781	27
28	6面体	1:砂質土	77	4831	4783	29	76	4830	4782	28
29	6面体	1:砂質土	78	4832	4784	30	77	4831	4783	29
30	6面体	1:砂質土	79	4833	4785	31	78	4832	4784	30
31	6面体	1:砂質土	80	4834	4786	32	79	4833	4785	31
32	6面体	1:砂質土	81	4835	4787	33	80	4834	4786	32
33	6面体	1:砂質土	82	4836	4788	34	81	4835	4787	33
34	6面体	1:砂質土	83	4837	4789	35	82	4836	4788	34

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

■モデリング

Fujita Corporation

【圧力荷重の入力】



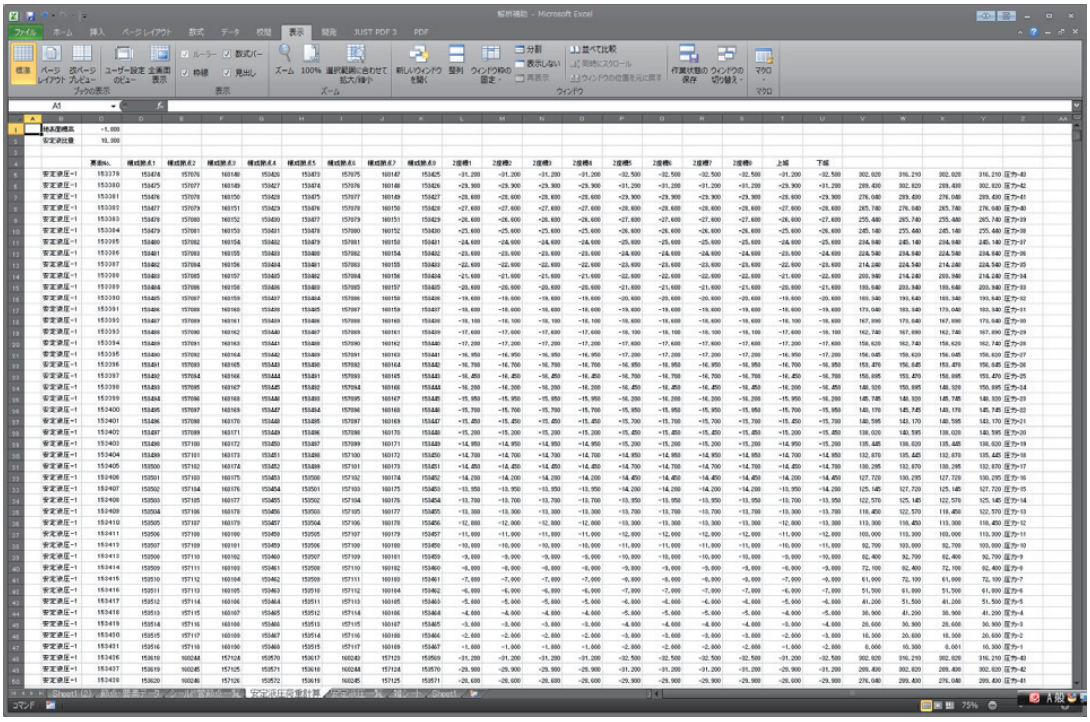
Z座標	液圧		
-2.800	10.300	圧力-1	圧力-51
-3.800	20.600	圧力-2	圧力-52
-4.800	30.900	圧力-3	圧力-53
-5.800	41.200	圧力-4	圧力-54
-6.800	51.500	圧力-5	圧力-55
-7.800	61.800	圧力-6	圧力-56
-8.800	72.100	圧力-7	圧力-57
-9.800	82.400	圧力-8	圧力-58
-10.800	92.700	圧力-9	圧力-59
-11.800	103.000	圧力-10	圧力-60
-12.800	113.300	圧力-11	圧力-61
-13.300	118.450	圧力-12	圧力-62
-13.700	122.570	圧力-13	圧力-63
-13.950	125.145	圧力-14	圧力-64
-14.200	127.720	圧力-15	圧力-65
-14.450	130.295	圧力-16	圧力-66
-14.700	132.870	圧力-17	圧力-67
-14.950	135.445	圧力-18	圧力-68
-15.200	138.020	圧力-19	圧力-69
-15.450	140.595	圧力-20	圧力-70
-15.700	143.170	圧力-21	圧力-71
-15.950	145.745	圧力-22	圧力-72
-16.200	148.320	圧力-23	圧力-73
-16.450	150.895	圧力-24	圧力-74
-16.700	153.470	圧力-25	圧力-75
-16.950	156.045	圧力-26	圧力-76
-17.200	158.620	圧力-27	圧力-77
-17.600	162.740	圧力-28	圧力-78
-18.100	167.890	圧力-29	圧力-79
-18.600	173.040	圧力-30	圧力-80
-19.600	183.340	圧力-31	圧力-81
-20.600	193.640	圧力-32	圧力-82
-21.600	203.940	圧力-33	圧力-83
-22.600	214.240	圧力-34	圧力-84
-23.600	224.540	圧力-35	圧力-85

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

■モデリング

Fujita Corporation

【圧力荷重の入力】

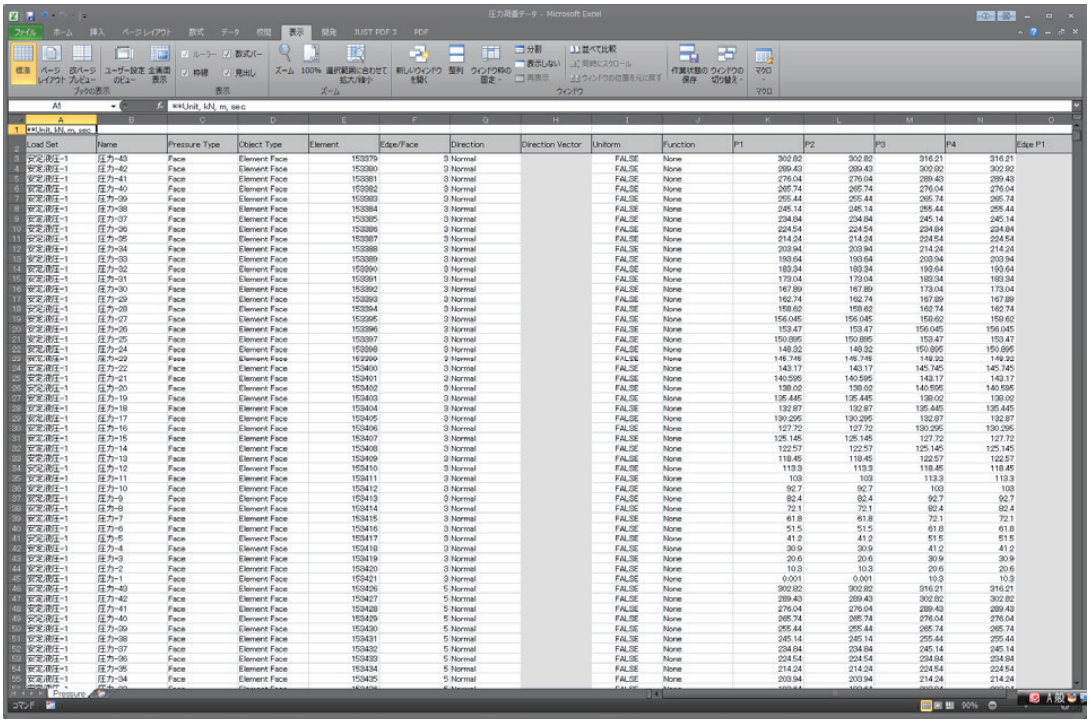


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201342

■モデリング

Fujita Corporation

【圧力荷重の入力】

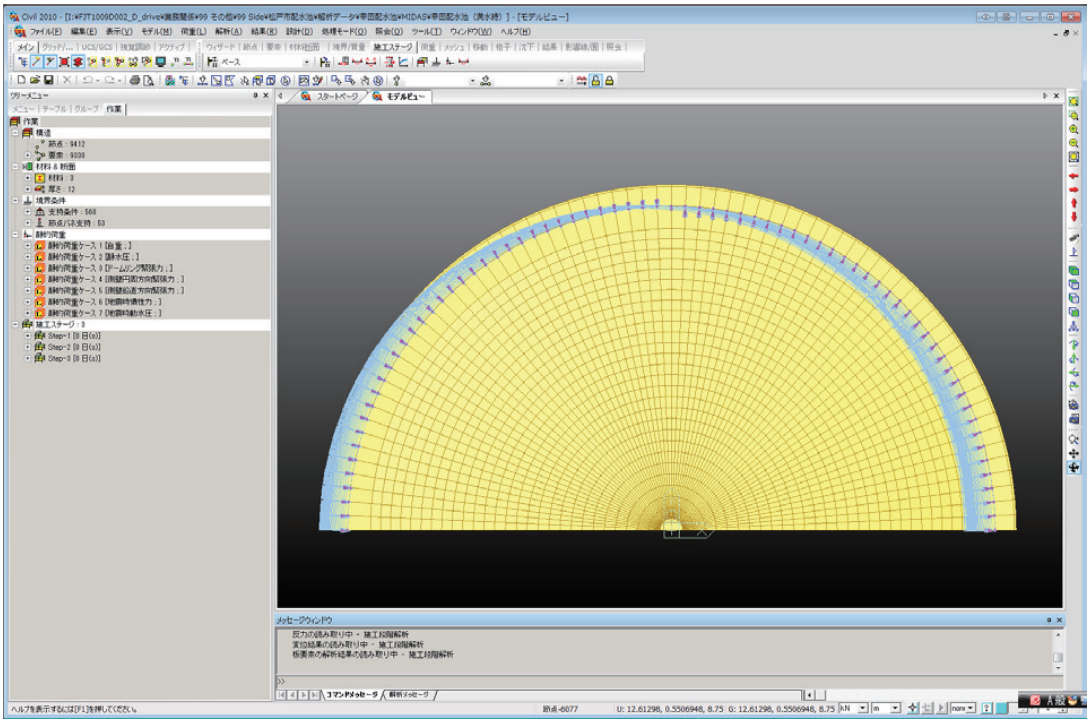


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201343

■モデリング

Fujita Corporation

【圧力荷重の入力】

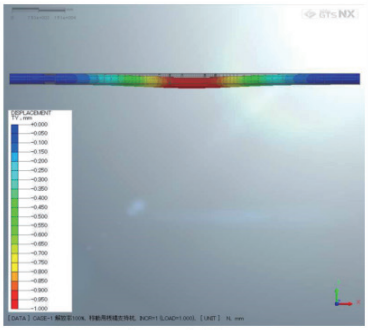
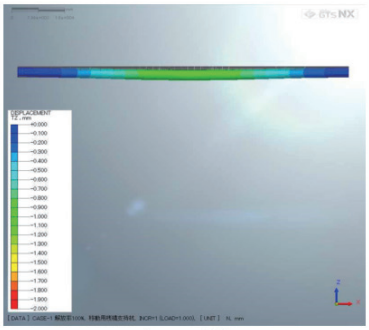
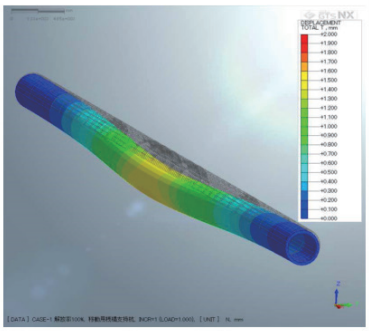
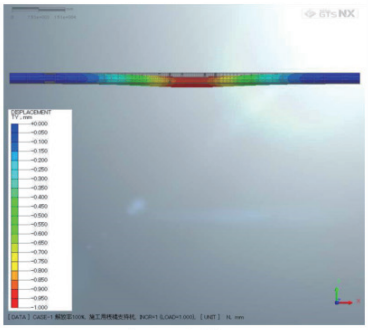
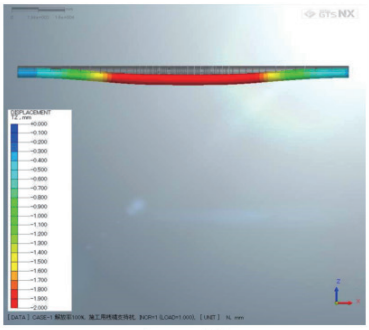
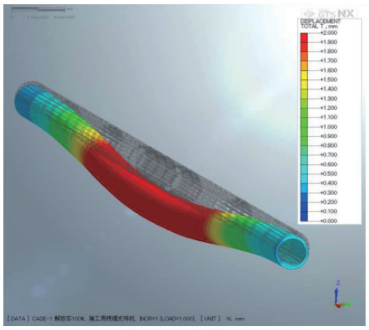


© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201344

■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%）

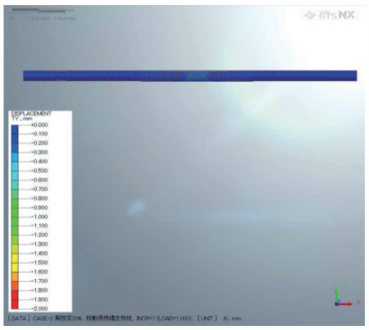
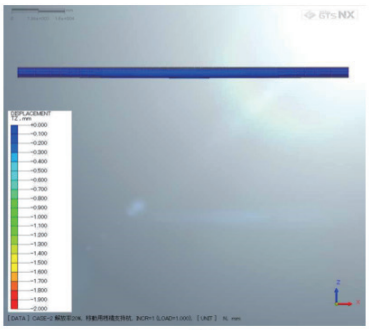
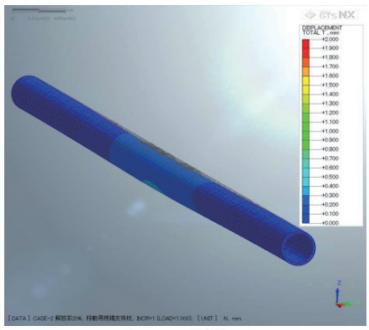
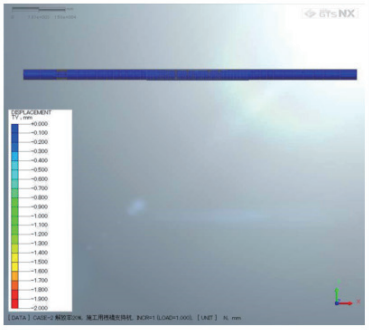
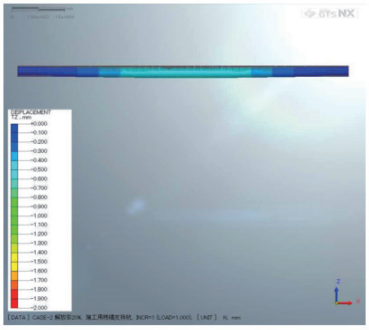
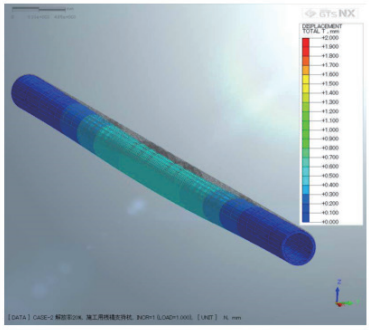
	水平変位（δy）	鉛直変位（δz）	トータル変位（δxyz）
移動用桟橋支持杭施工時	 δymax＝-1.196mm	 δzmax＝-1.108	 δxyzmax＝1.599mm
施工用張り出し桟橋支持杭施工時	 δymax＝-1.190mm	 δzmax＝-2.681	 δxyzmax＝2.909mm

© 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%）

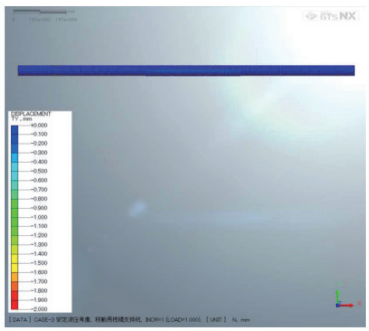
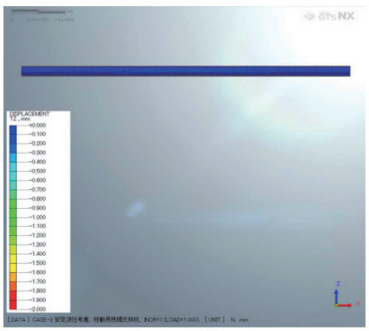
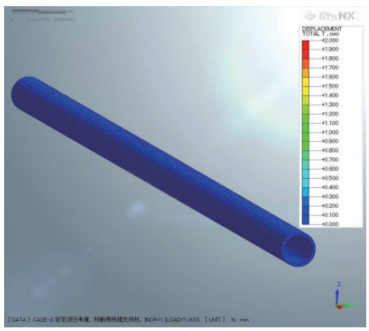
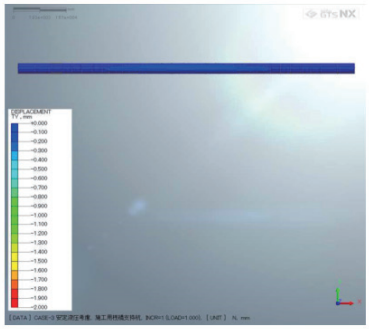
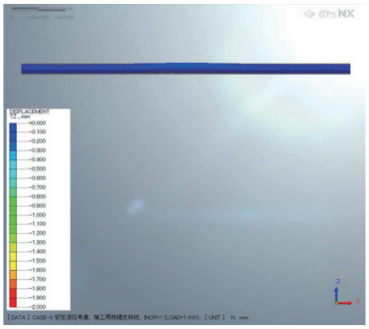
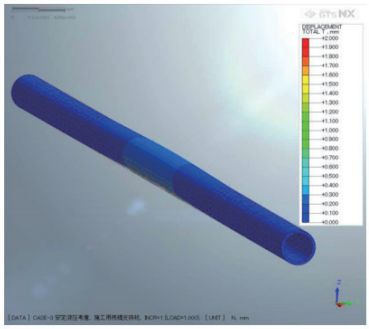
	水平変位（δy）	鉛直変位（δz）	トータル変位（δxyz）
移動用桟橋支持杭施工時	 δymax＝-0.239mm	 δzmax＝-0.222mm	 δxyzmax＝0.320mm
施工用張り出し桟橋支持杭施工時	 δymax＝-0.238mm	 δzmax＝-0.538mm	 δxyzmax＝0.584mm

© 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）

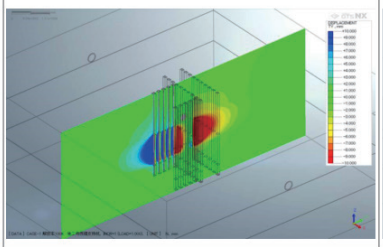
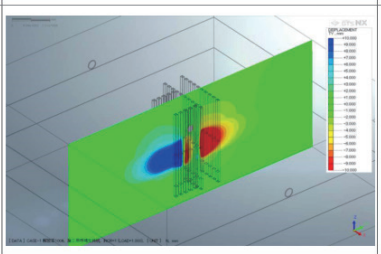
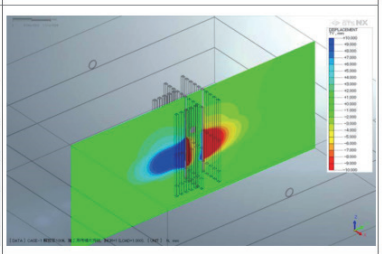
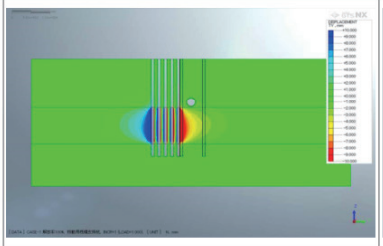
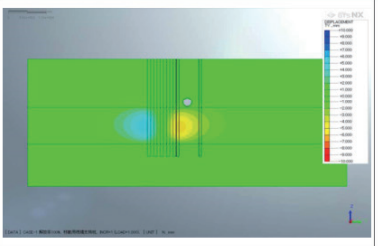
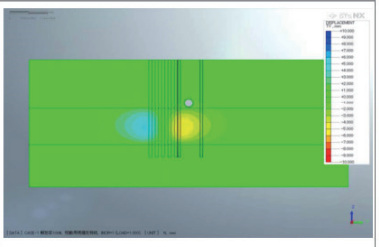
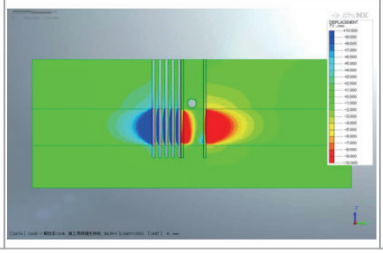
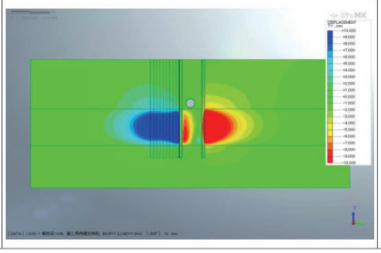
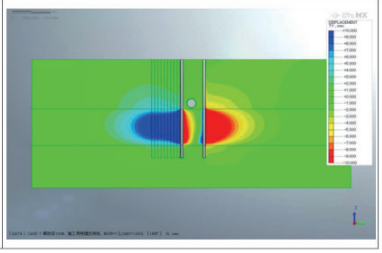
	水平変位（δy）	鉛直変位（δz）	トータル変位（δxyz）
移動用桟橋支持杭施工時	 δymax＝-0.054mm	 δzmax＝0.047mm	 δxyzmax＝0.066mm
施工用張り出し桟橋支持杭施工時	 δymax＝-0.054mm	 δzmax＝0.271mm	 δxyzmax＝0.272mm

© 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%）

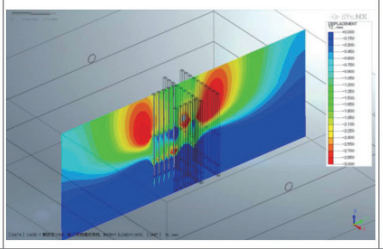
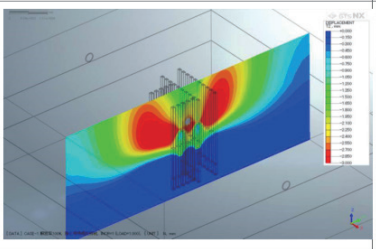
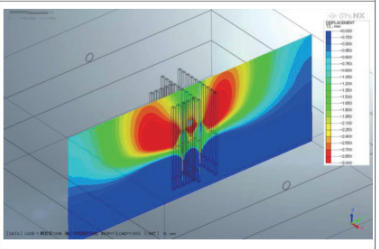
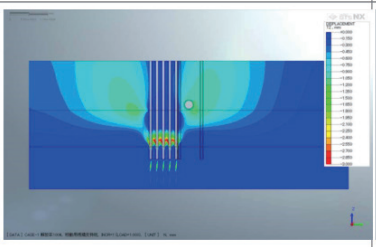
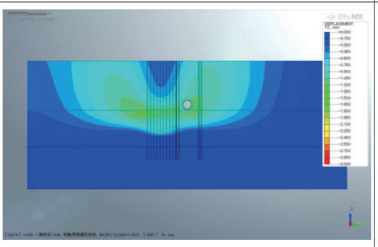
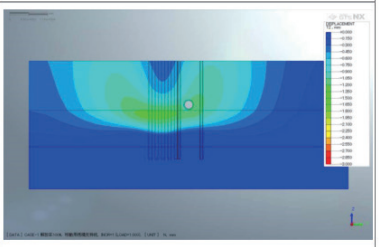
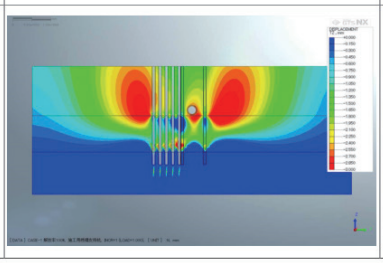
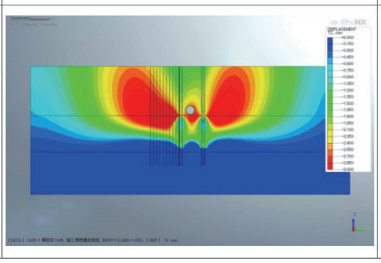
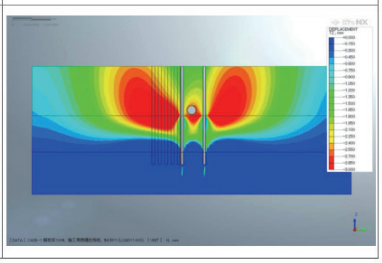
	X=-3.500m（移動用桟橋支持杭位置）	X=0.000m（モデル中心位置）	X=1.000m（施工用張り出し移動用桟橋支持杭位置）
最終ステップ鳥瞰図			
移動用桟橋支持杭施工時			
施工用張り出し桟橋支持杭施工時			

© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201348

■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%）

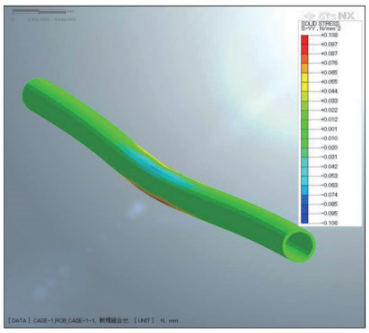
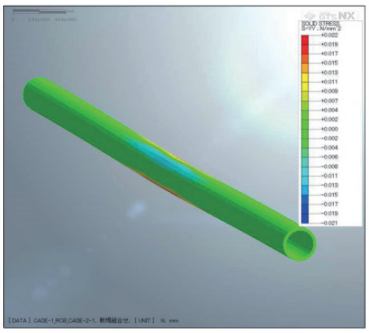
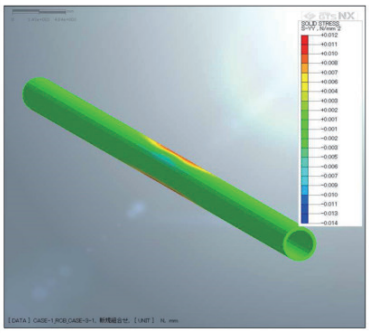
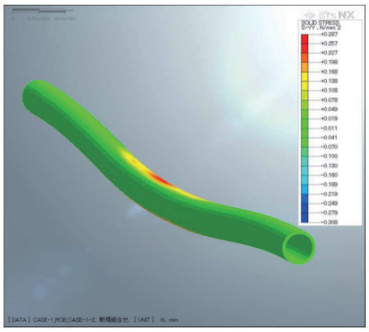
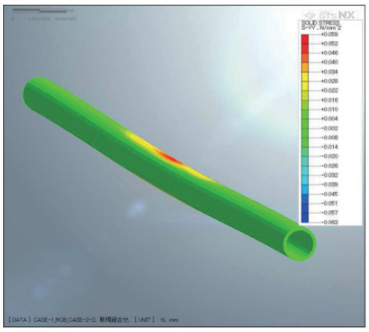
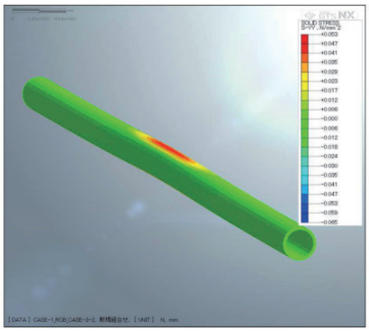
	X=-3.500m（移動用桟橋支持杭位置）	X=0.000m（モデル中心位置）	X=1.000m（施工用張り出し移動用桟橋支持杭位置）
最終ステップ鳥瞰図			
移動用桟橋支持杭施工時			
施工用張り出し桟橋支持杭施工時			

© 2013 Daiwa House Group All rights reserved. Jan. 00th, 201349

■解析結果

Fujita Corporation

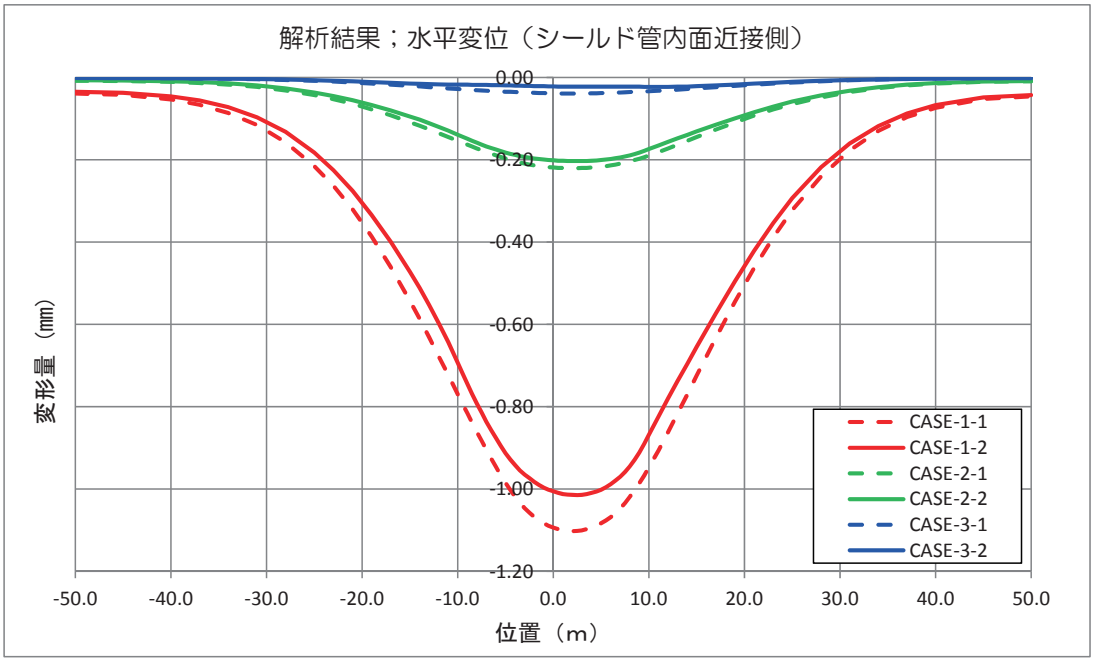
■シールド管（セグメント）部　増分応力度（σy；横断・水平方向）

	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

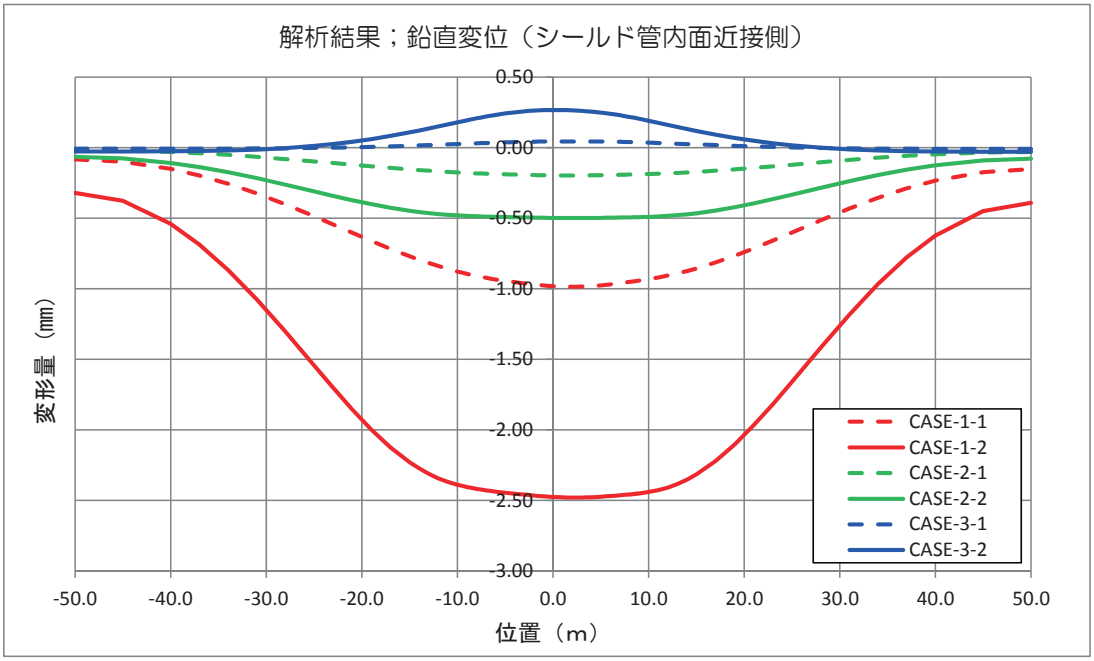
Fujita Corporation



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved.

■解析結果

Fujita Corporation



© 2013 Daiwa House Group All rights reserved.

FUJITA
Daiwa House Group®

ご清聴ありがとうございました

www.fujita.co.jp

05 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

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

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

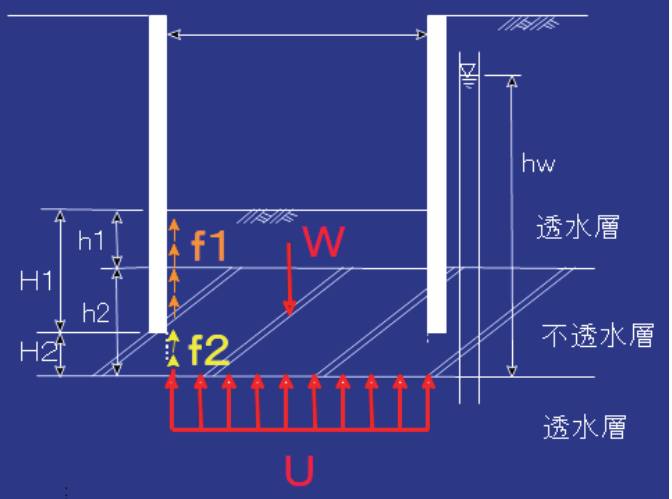
3/42

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

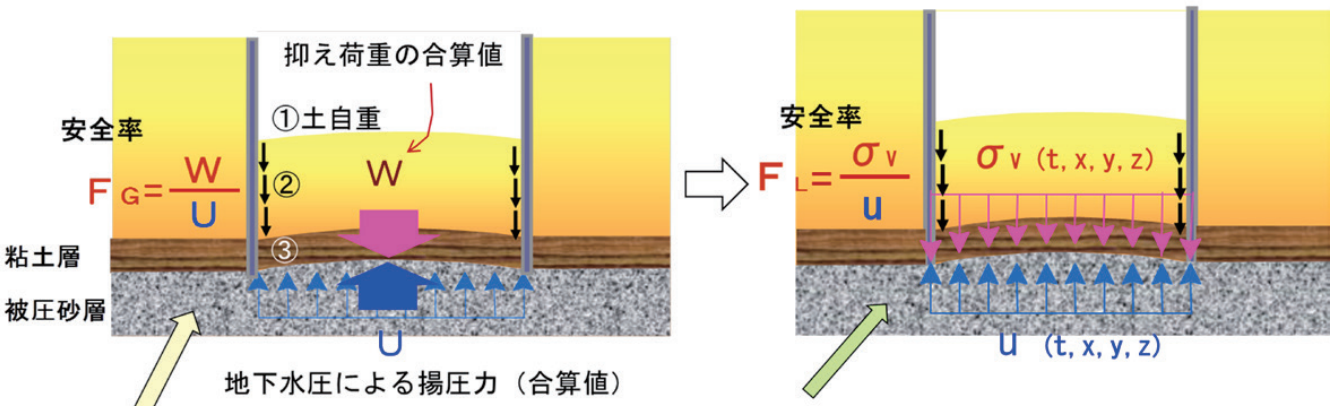
盤ぶくれ　慣用検討式 v. s. ＦＥＭでの安全率の定義

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

$$F_G=\frac{W_{①+②+③}}{U}$$

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）

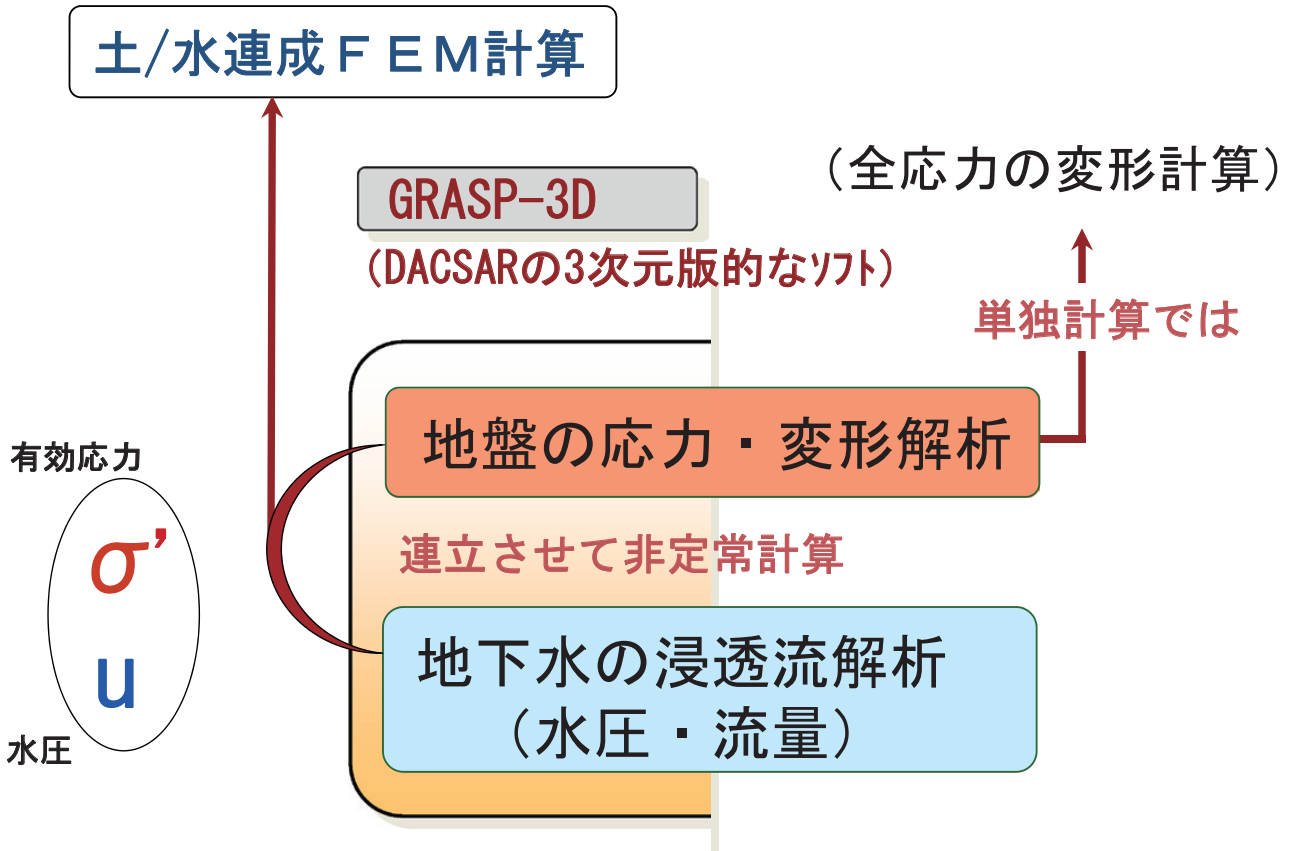
鉛直有効応力　間隙水圧

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

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



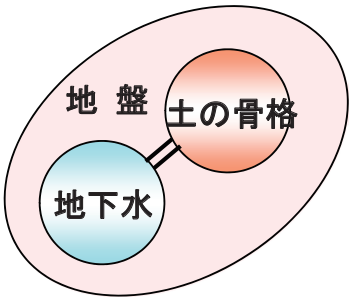
土/水連成　ＦＥＭ　計算の支配方程式　　Biotの多次元圧密理論

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

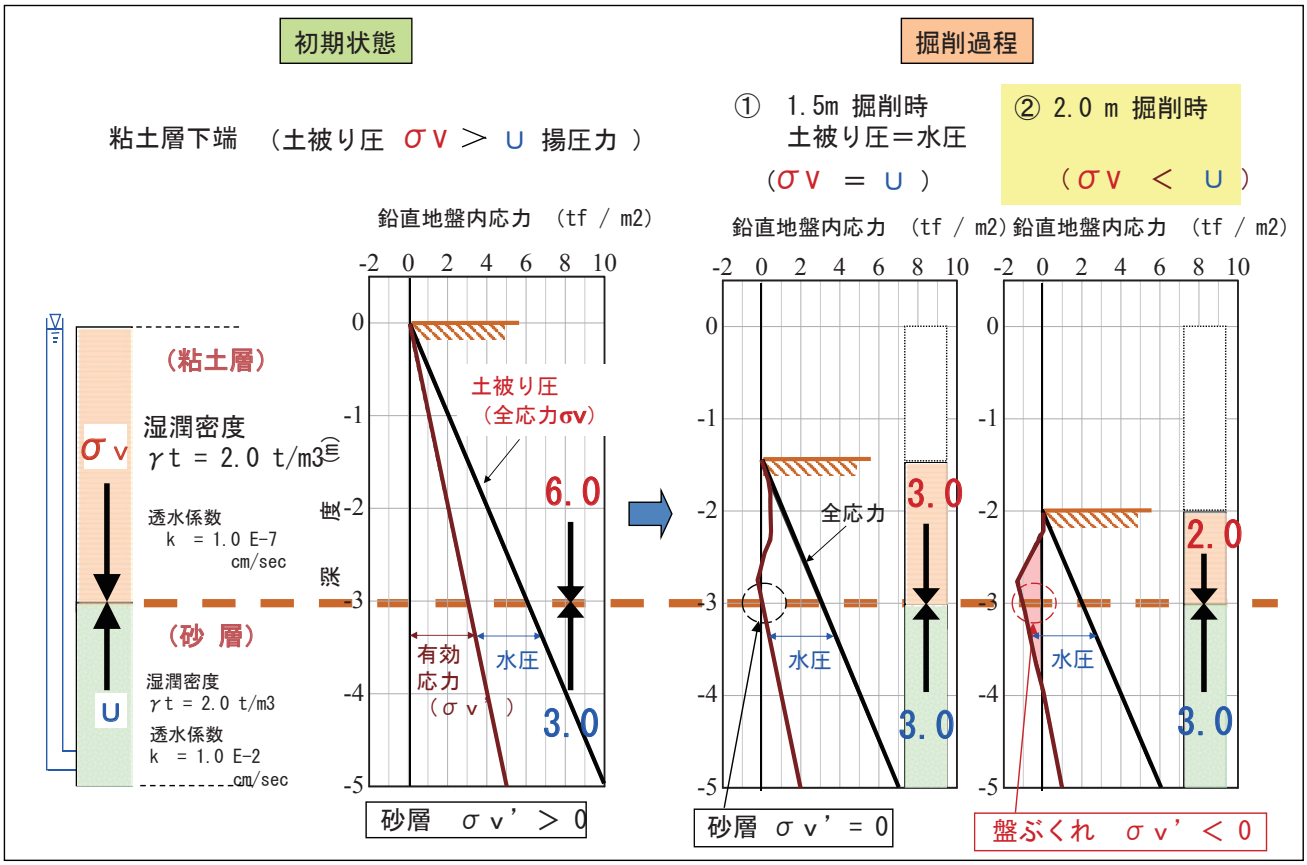
粘性土層
- 関口・太田 モデル 1977
- 大野・飯塚 太田 2006 修正型 コントラクタンシーに非線形性

(弾塑性・弾粘塑性)



土/水連成FEM の性能検証　（１次元掘削問題で試算）

7/42



本日の内容

8/42

1．開削工事の盤ぶくれ

・既往検討式と土/水連成ＦＥＭ

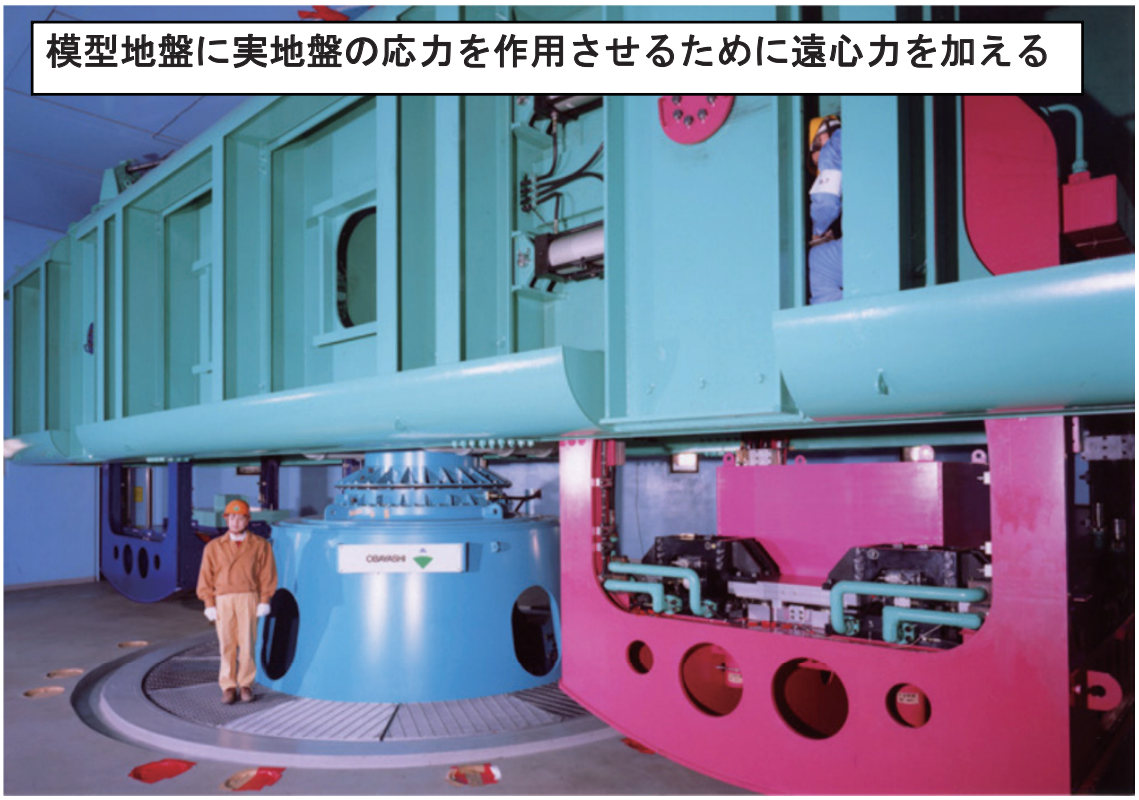
2．盤ぶくれの遠心模型実験（伊藤政人他、2002）

・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

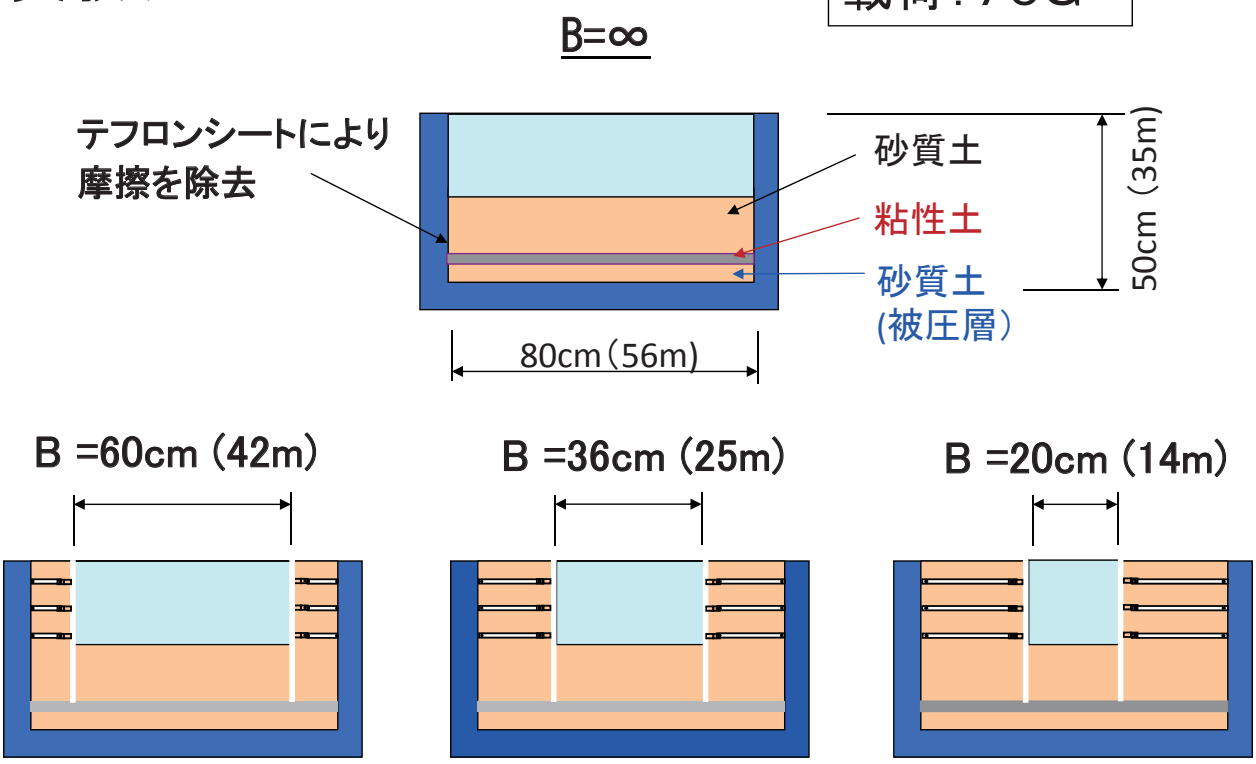
遠心実験装置全景



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

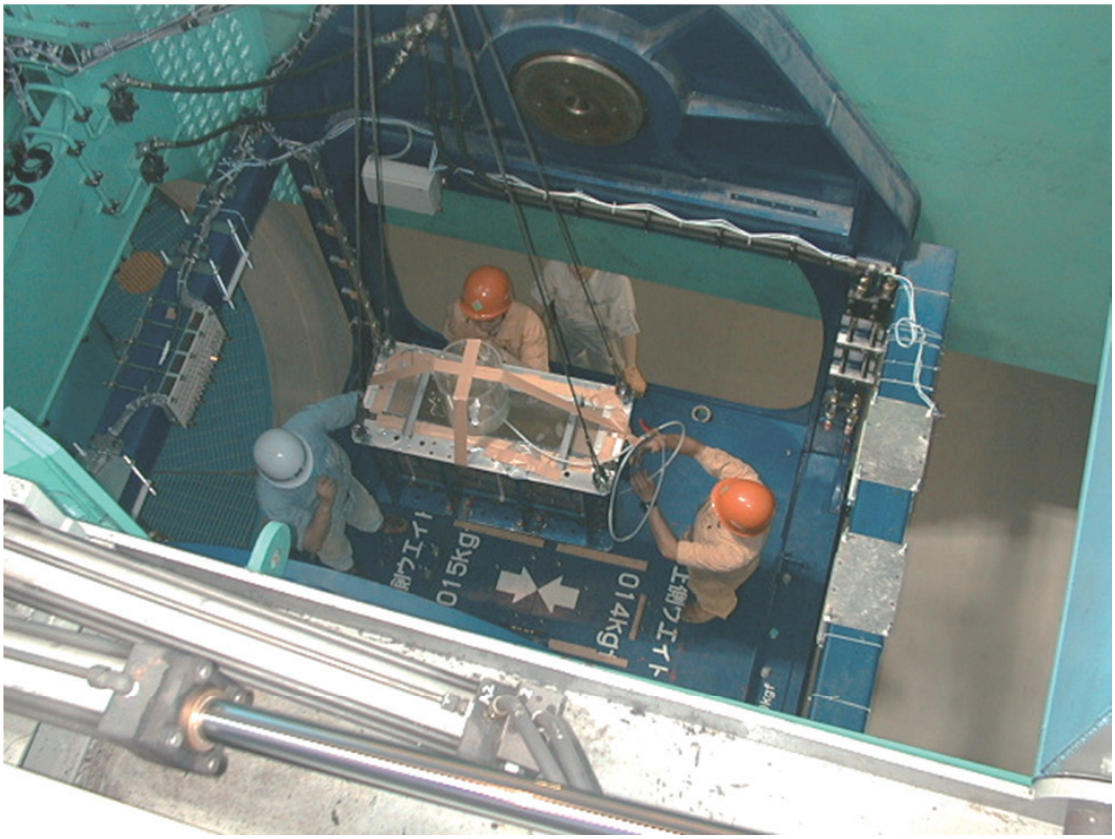


盤ぶくれ抵抗に及ぼす壁面摩擦の寄与度を把握

実験準備状況

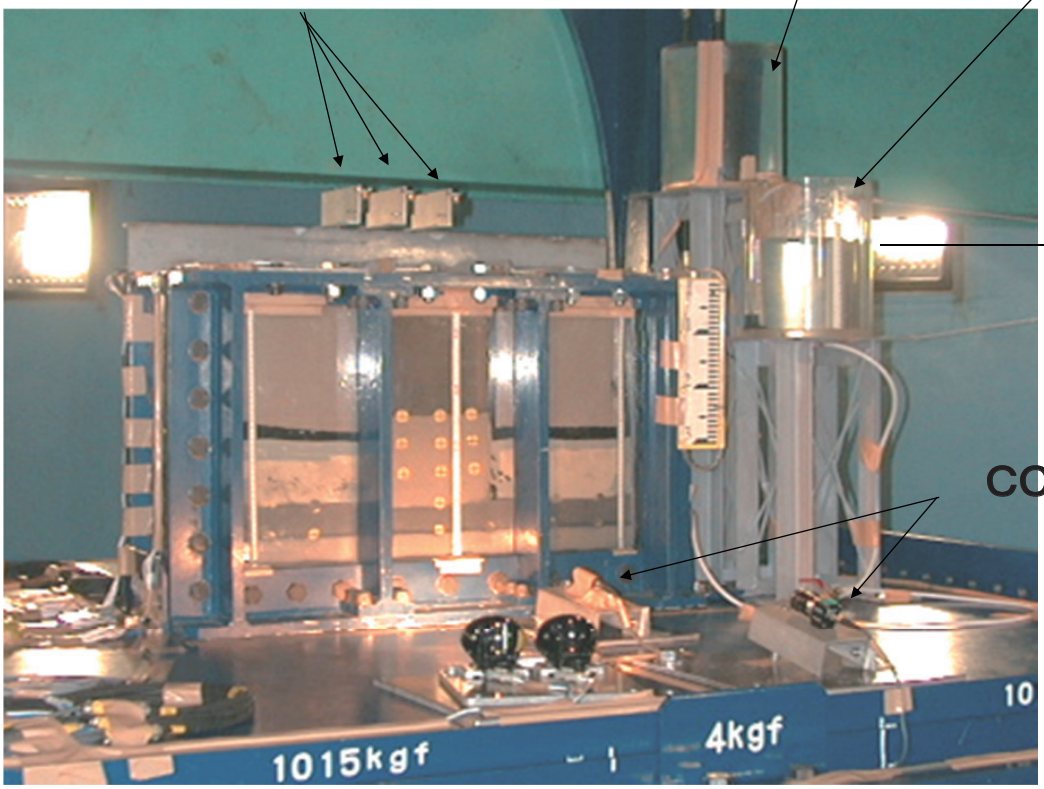
11/42

バケット搭載



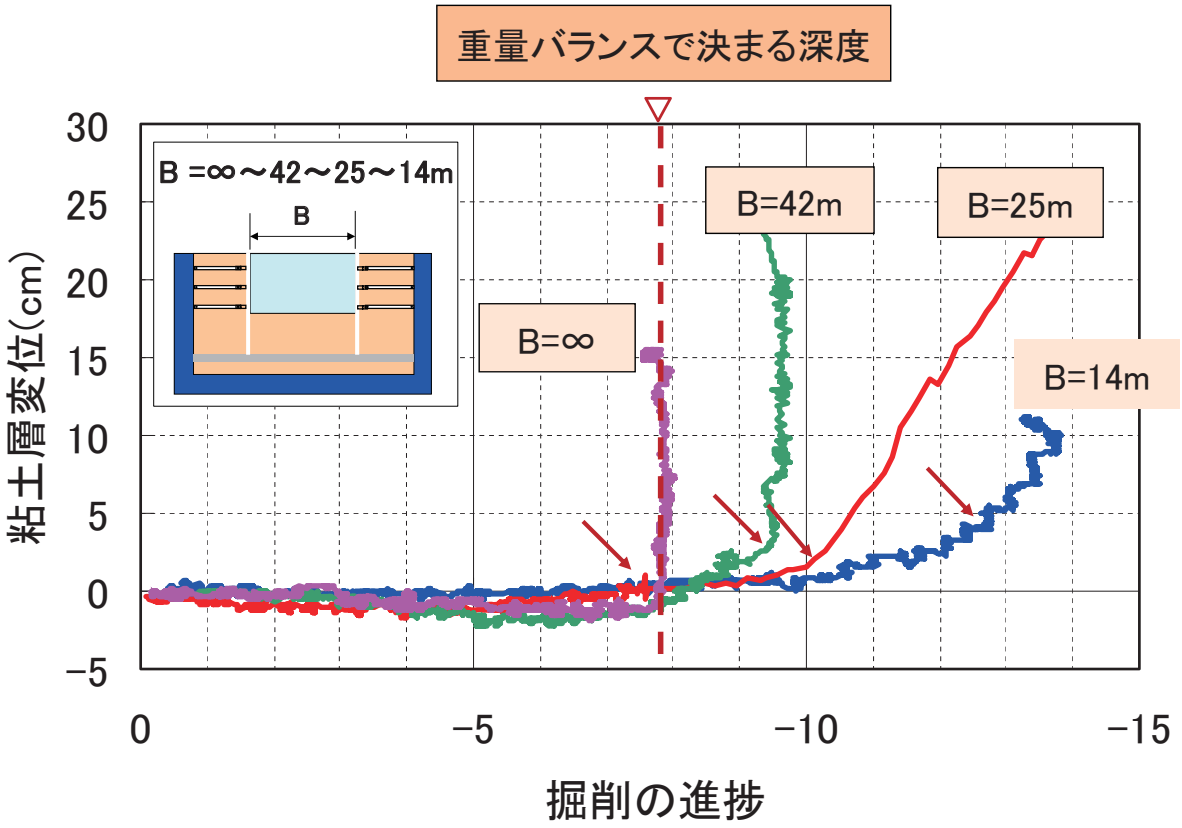
実験準備状況

12/42



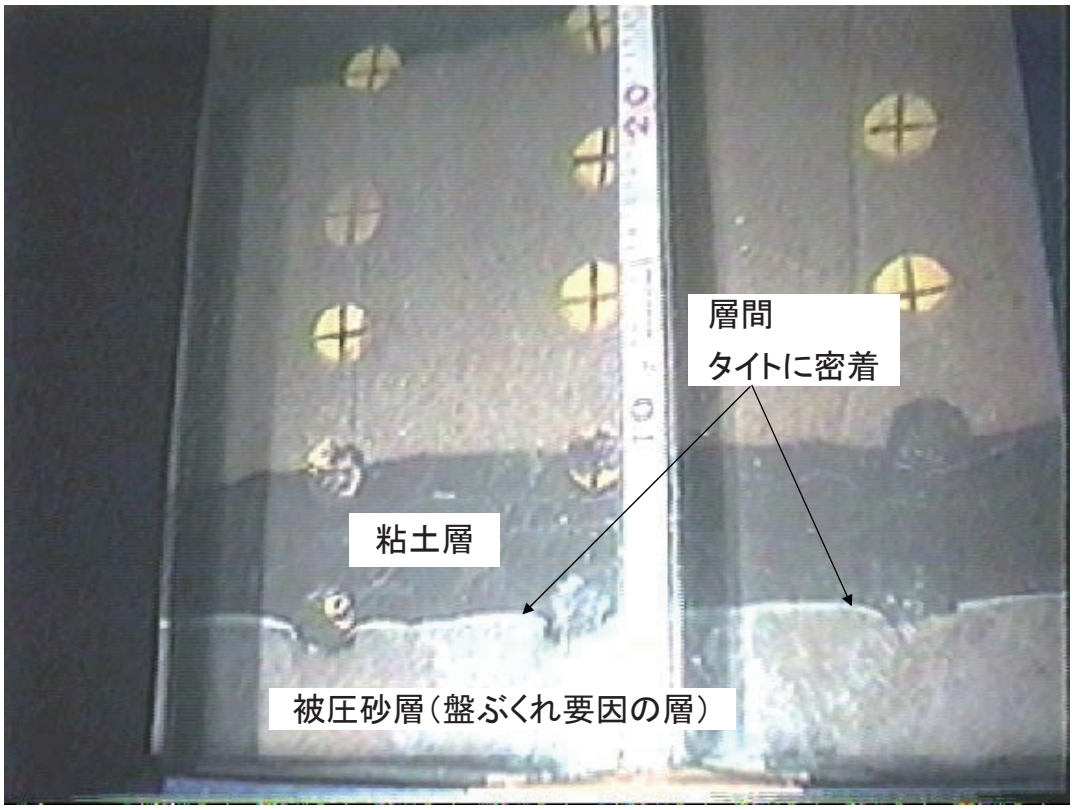
実験結果（掘削の進捗と粘土層の変位）

13/42



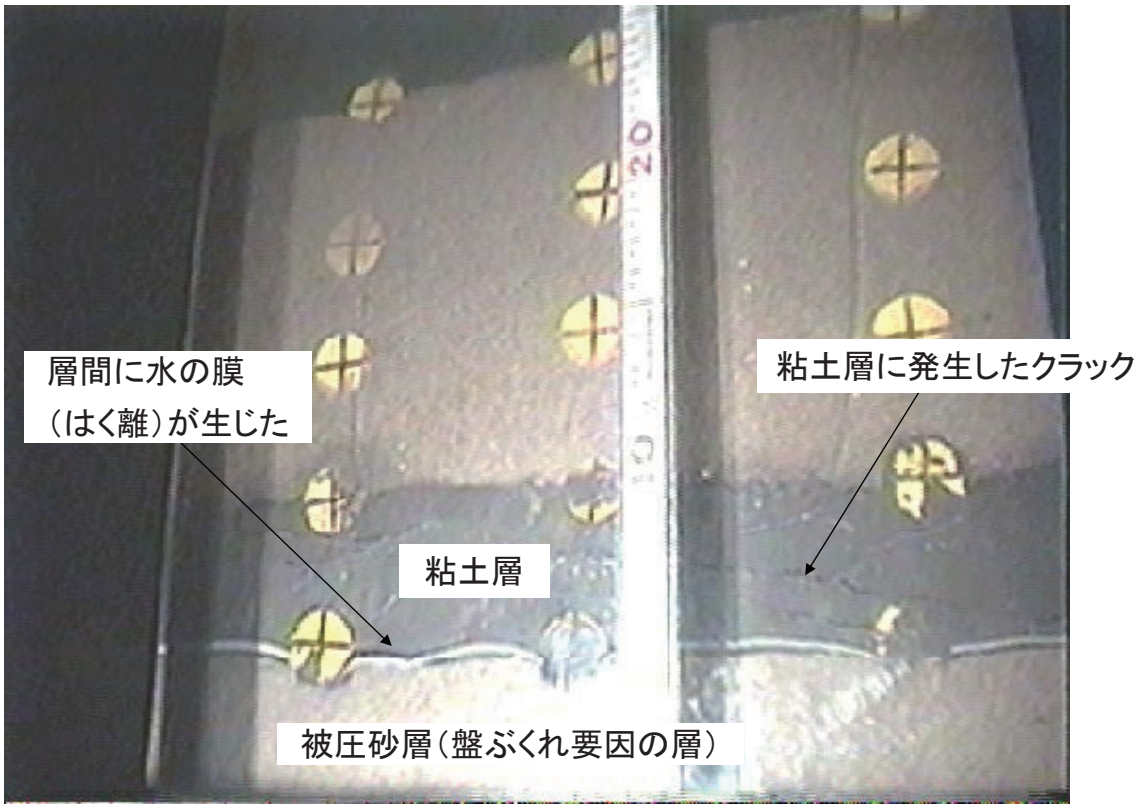
14/42

盤ぶくれ前の掘削底部地盤の状況



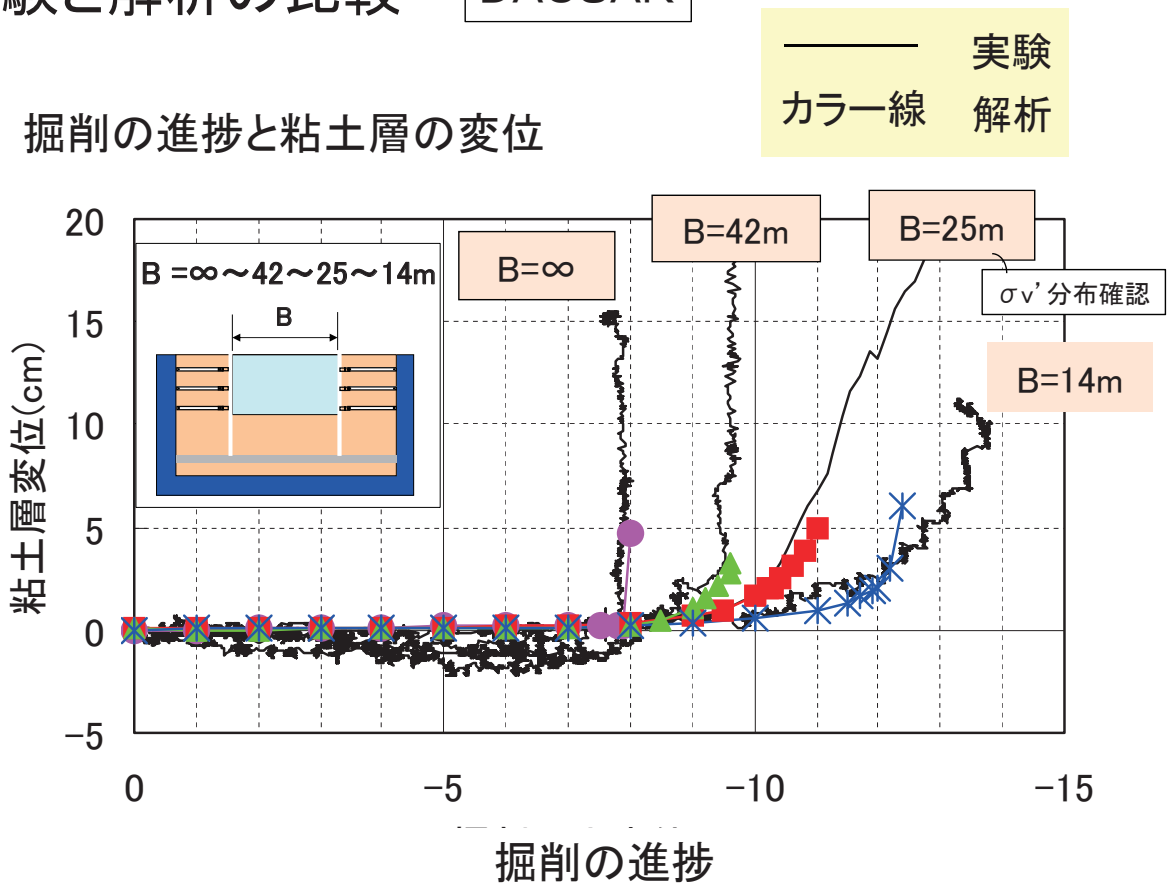
15/42

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



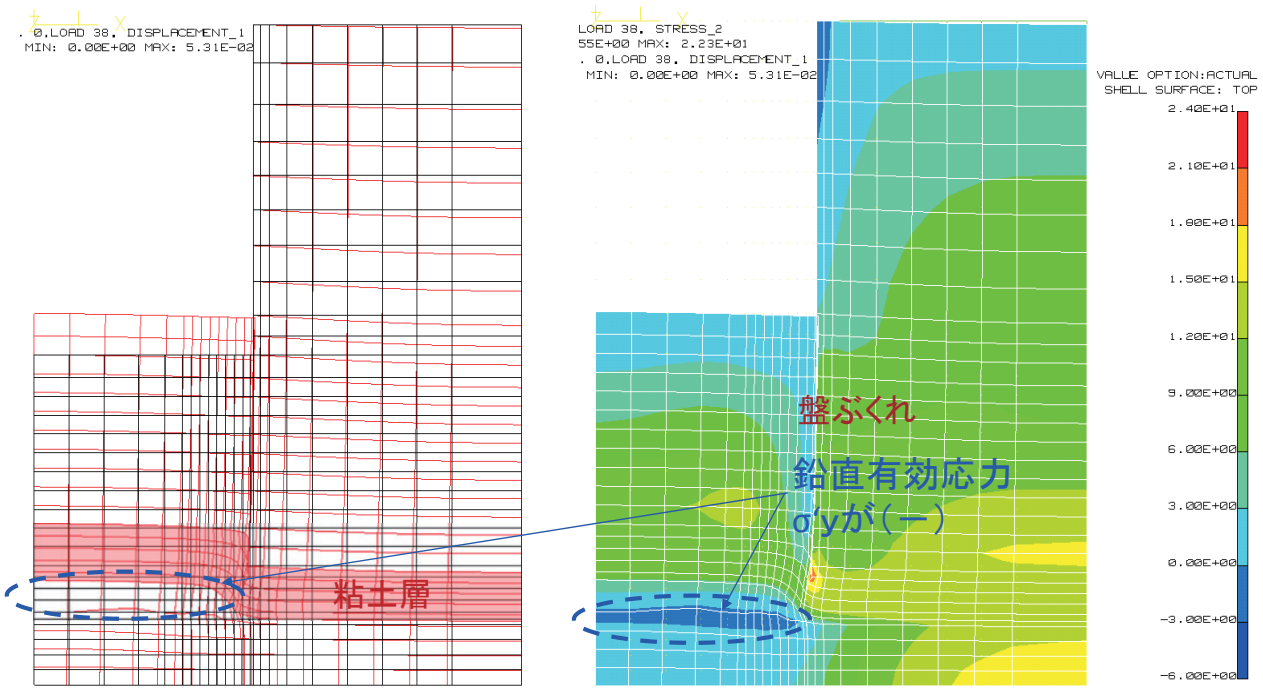
解析結果

B=25m　38STEP　ΔH=11.0m

DACSAR

変形図

鉛直有効応力コンター　:σ'v



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

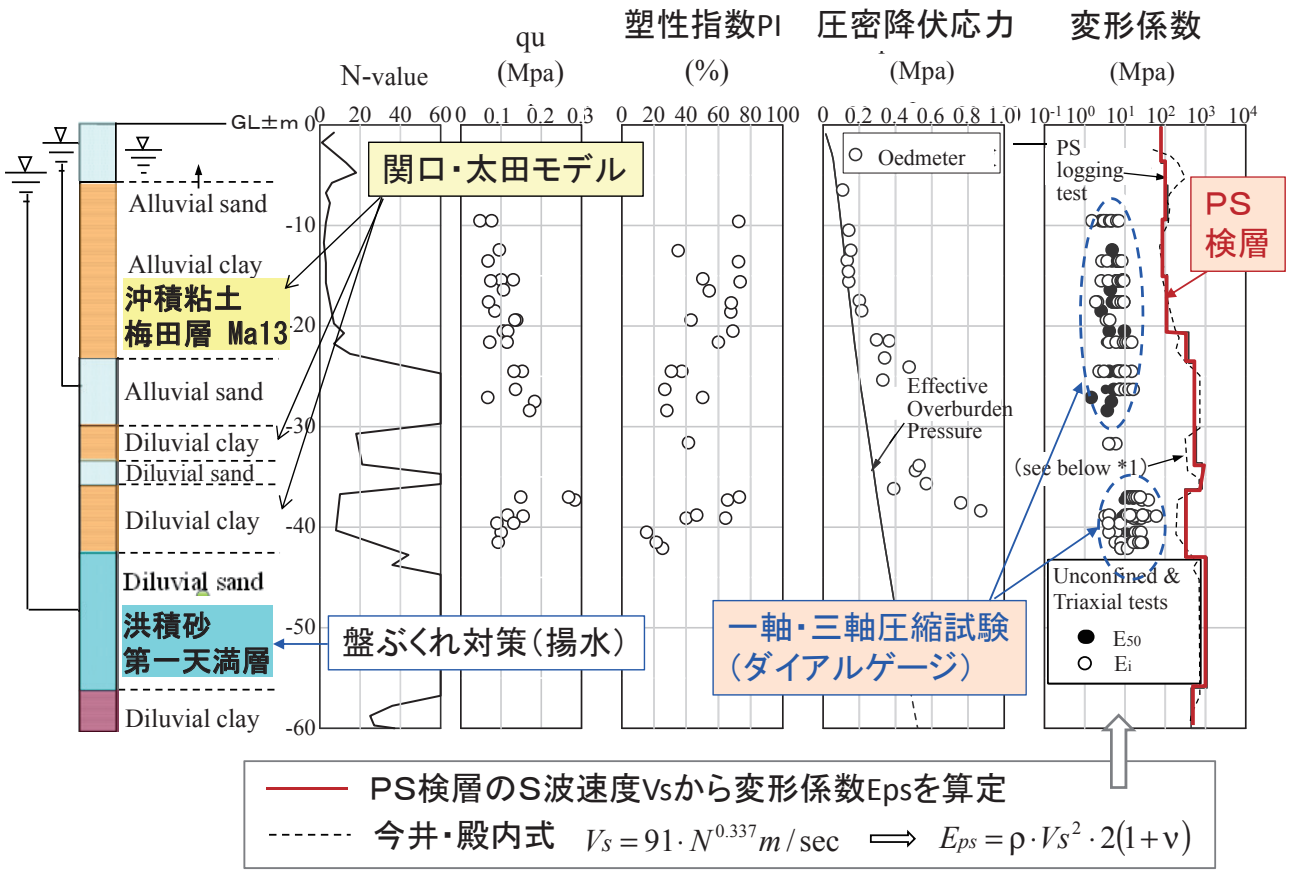
土/水連成FEM

■ 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

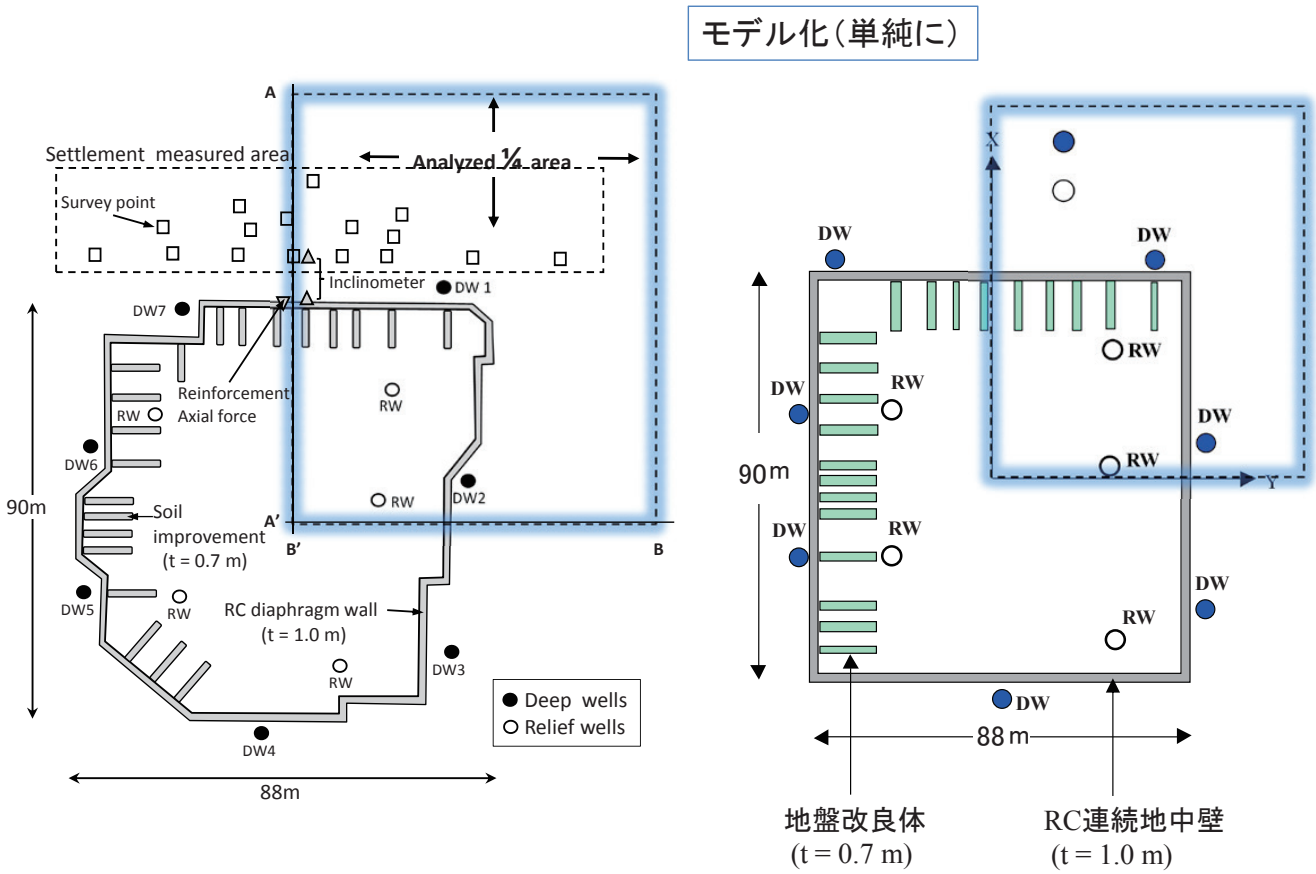
サイト地盤の概要

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）

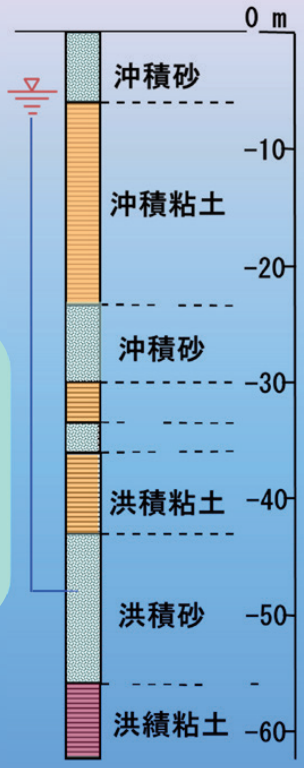
砂　層

線形弾性（今回）
E=0.2～0.5×Eps

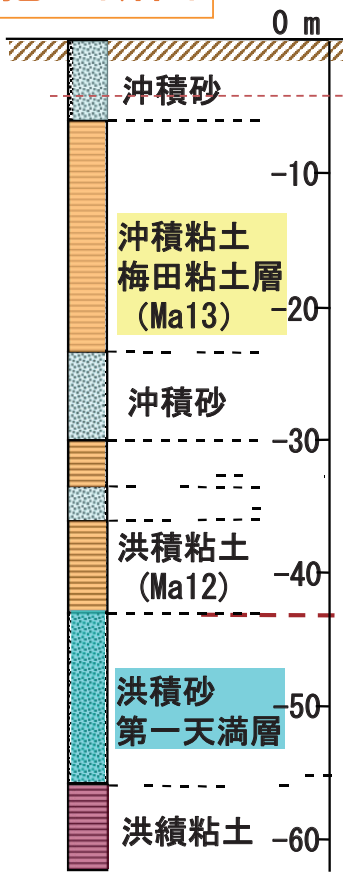
変形係数 Eps
Vs：PS検層
Vs：相関式
今井・殿内
Vs=91×N^0.337 m/sec

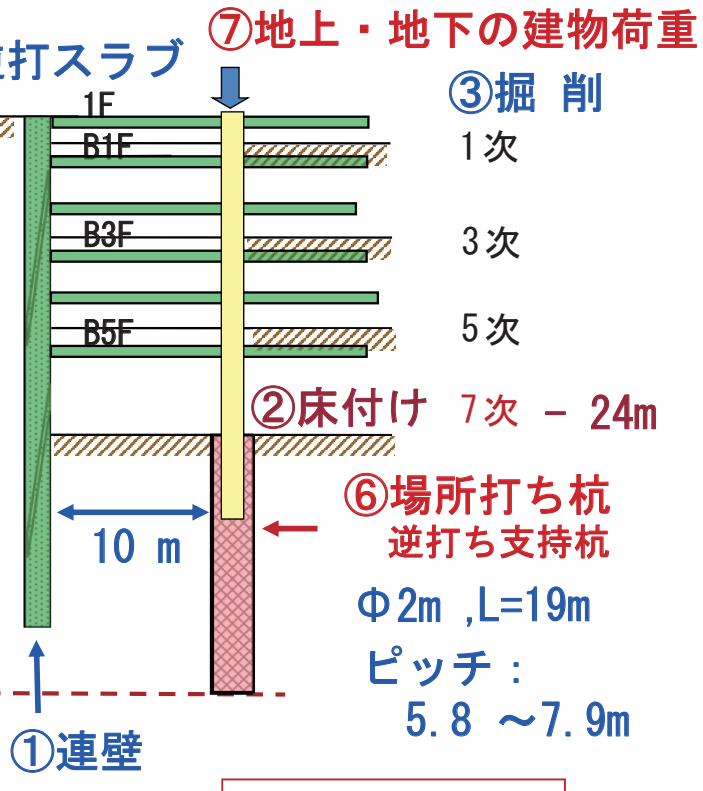
非線形
・Hardin-Drnevich
・Drucker-Prager (C', φ')

透水性 ⟷ 現場透水試験



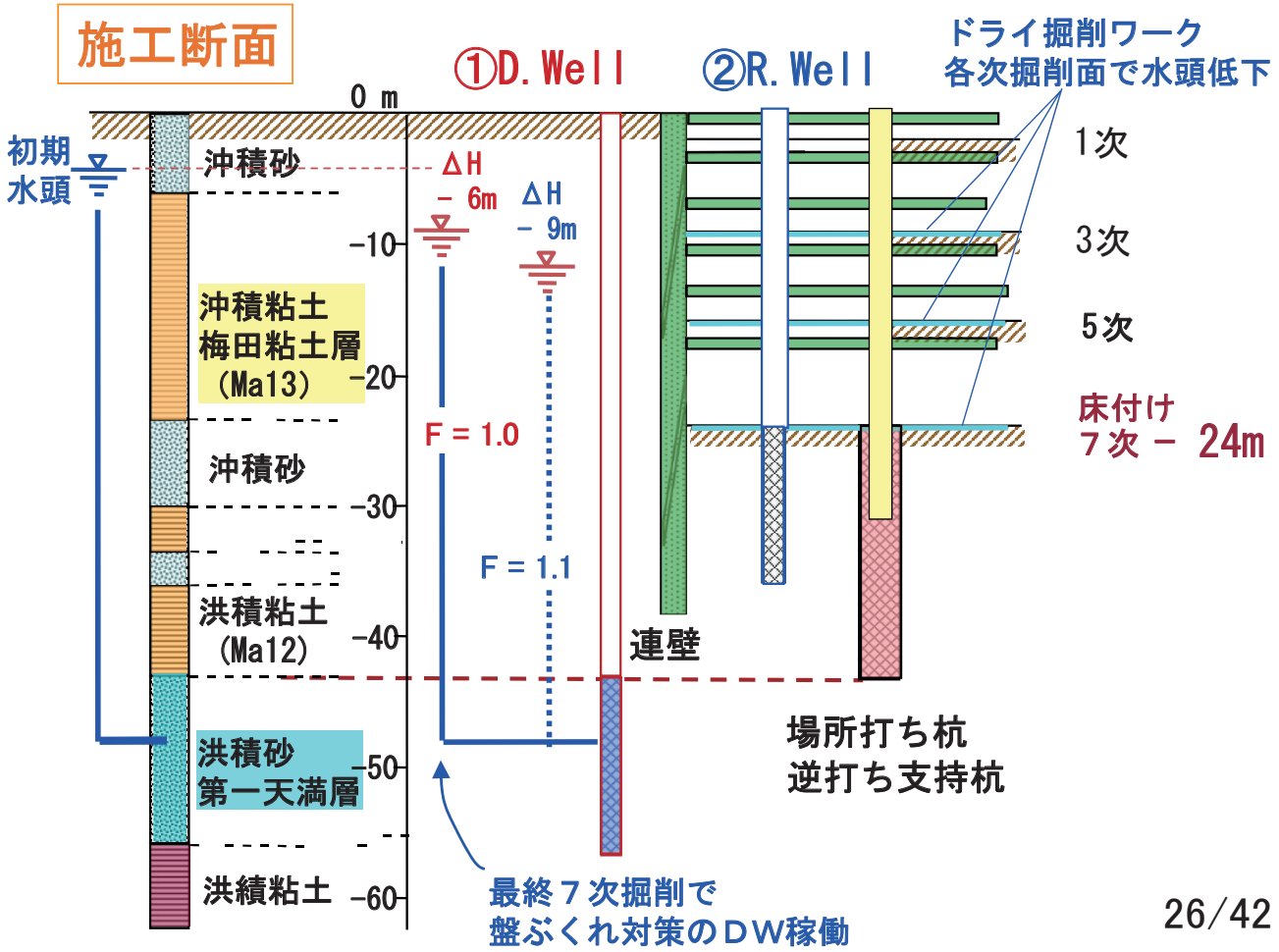
施工断面



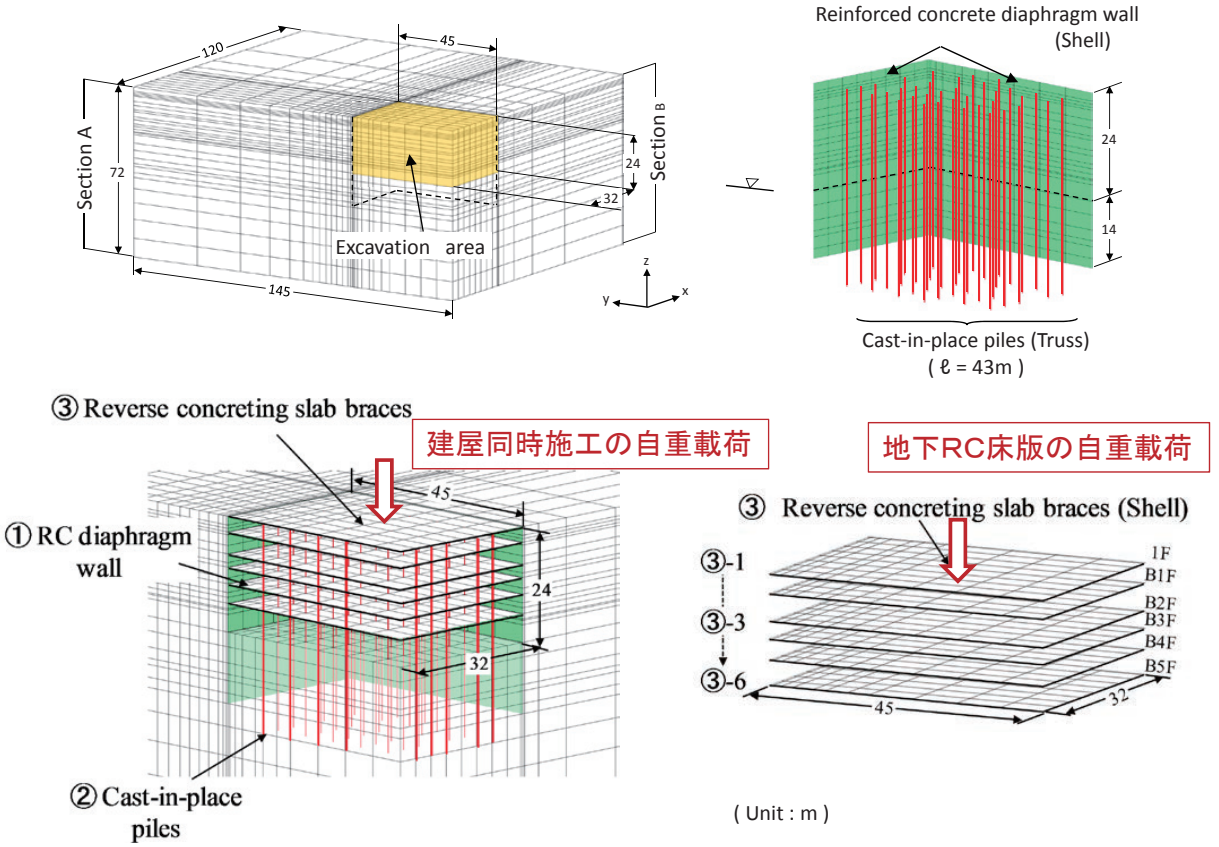


⑤掘削施工期間
1次～最終7次
520日

25/42



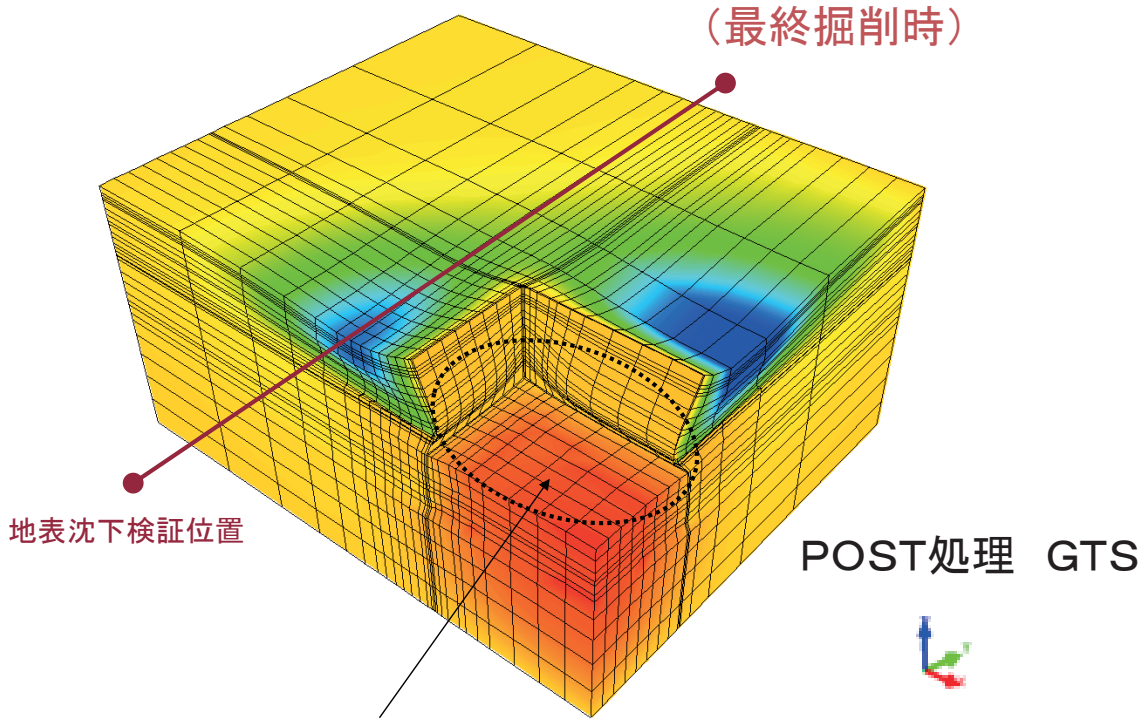
ＲＣ床版逆打ち・掘削施工のモデリング



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）

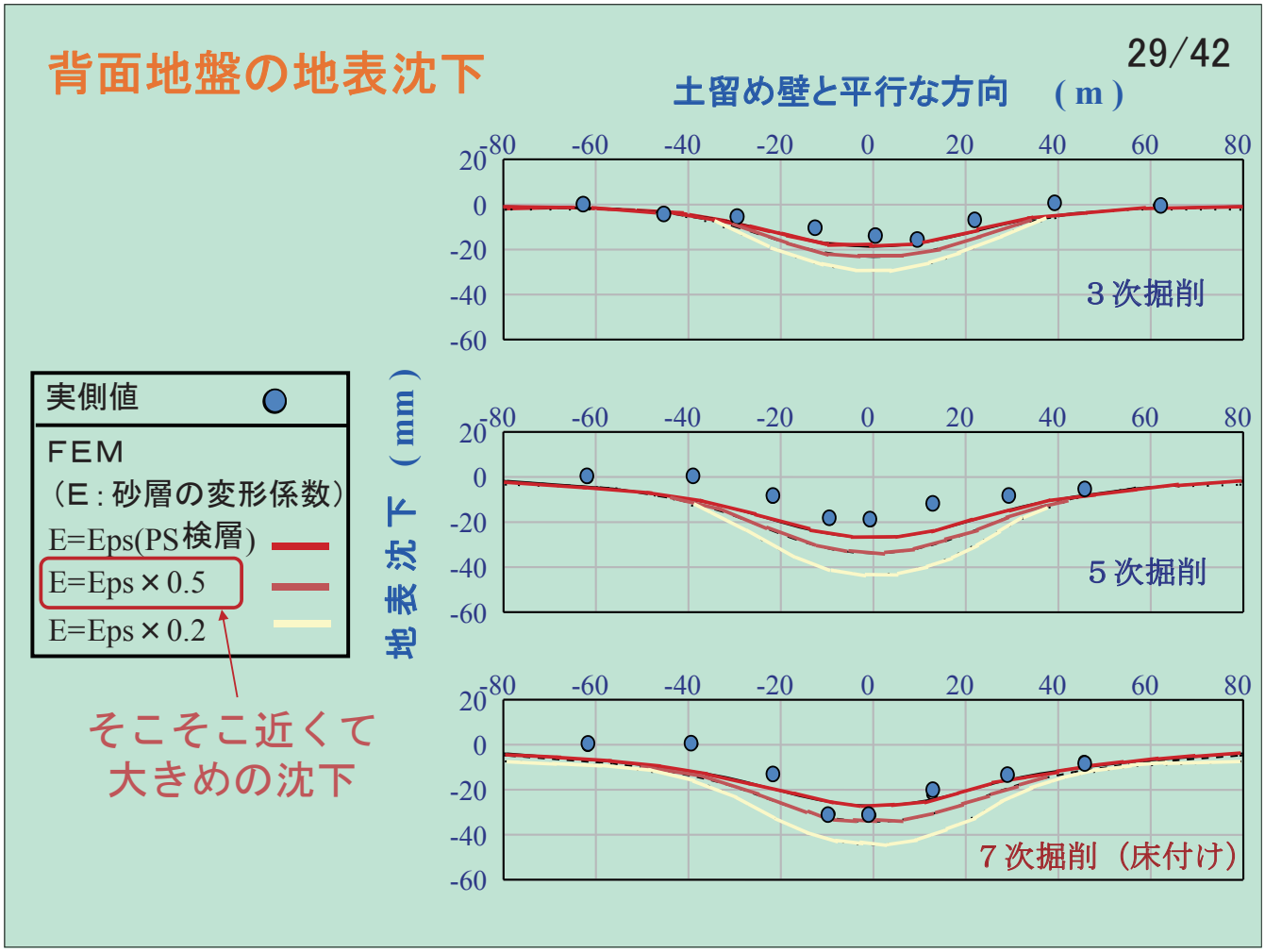


ＲＣ連壁・逆打ＲＣ床版はSHELL要素でモデル化

場所打ち杭（逆打支持杭）はTRUSS要素でモデル化

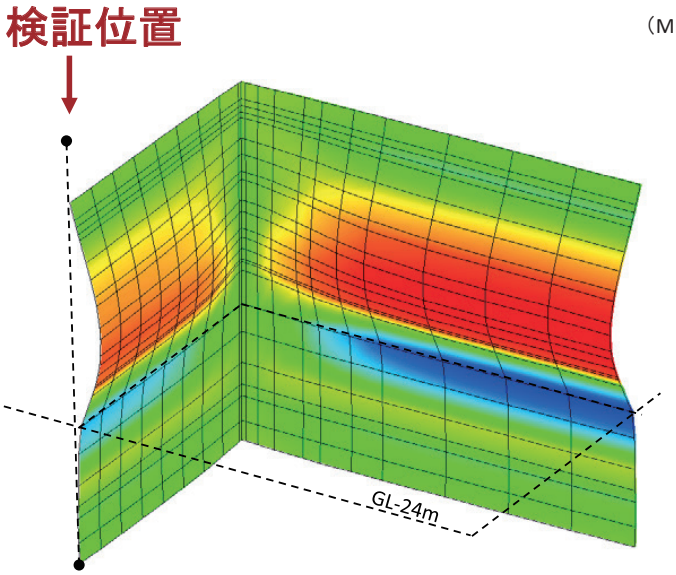
背面地盤の地表沈下

29/42

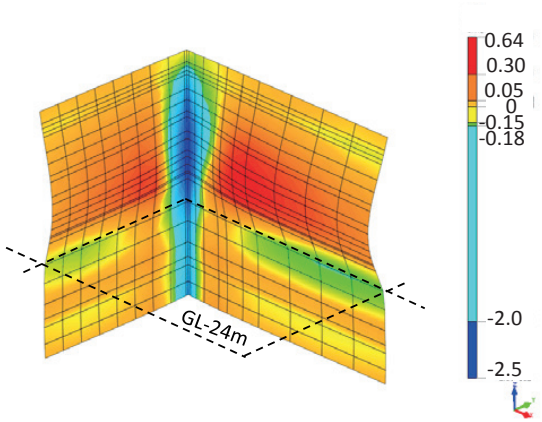


土留め壁の変形と曲げモーメントコンター

30/42



鉛直方向曲げモーメント



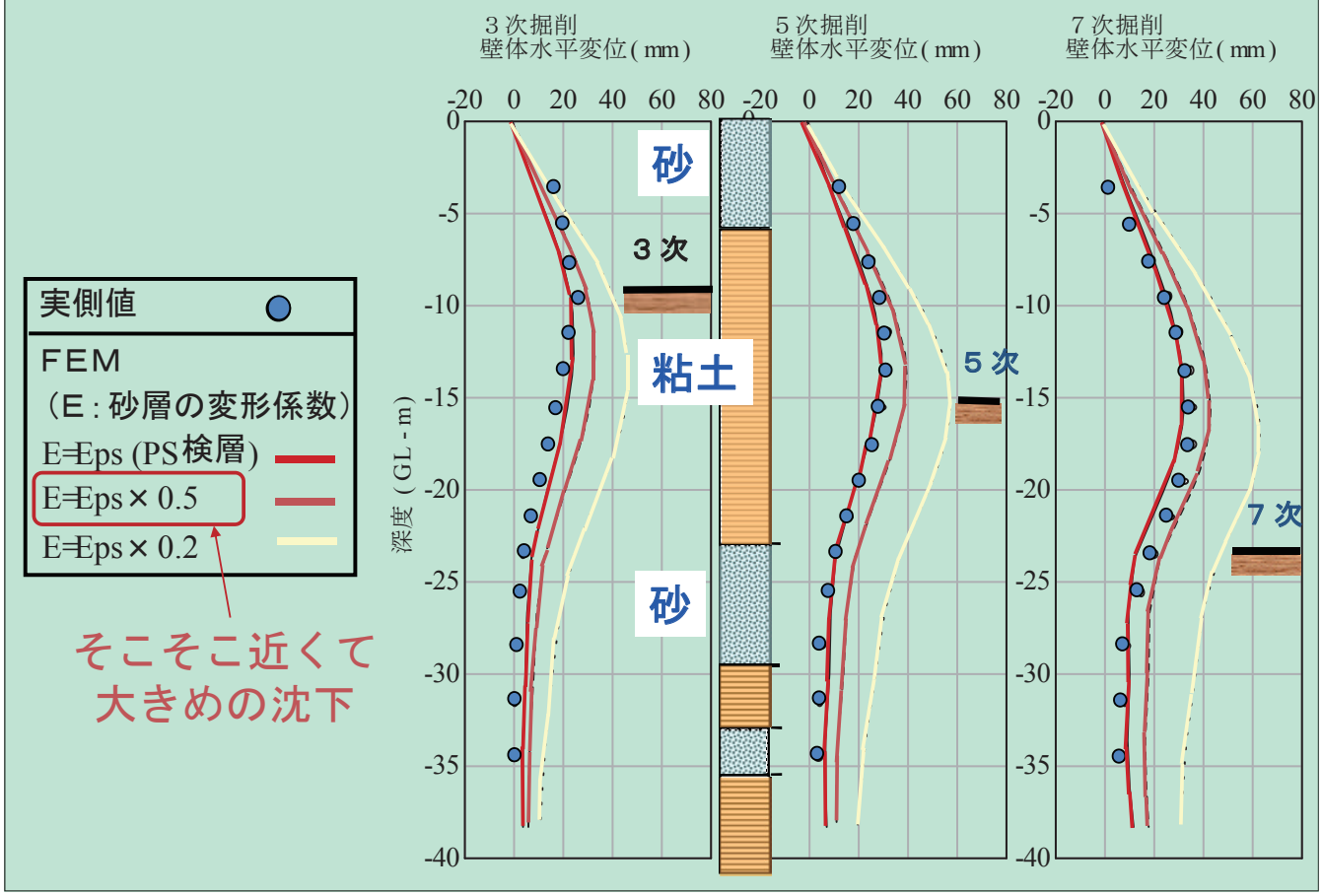
水平方向曲げモーメント

発生レベル　小

POST処理　GTS

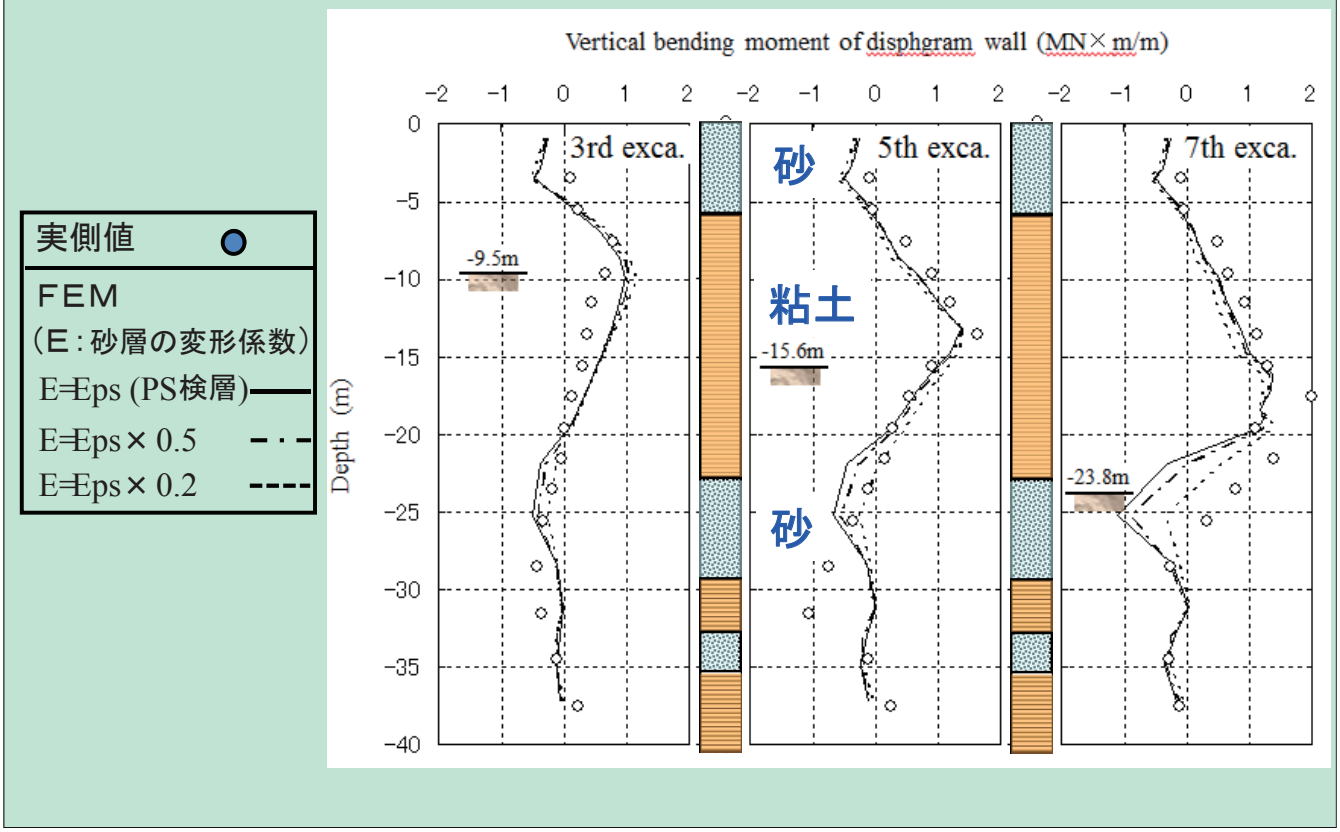
土留め壁の水平変位

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

- 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）

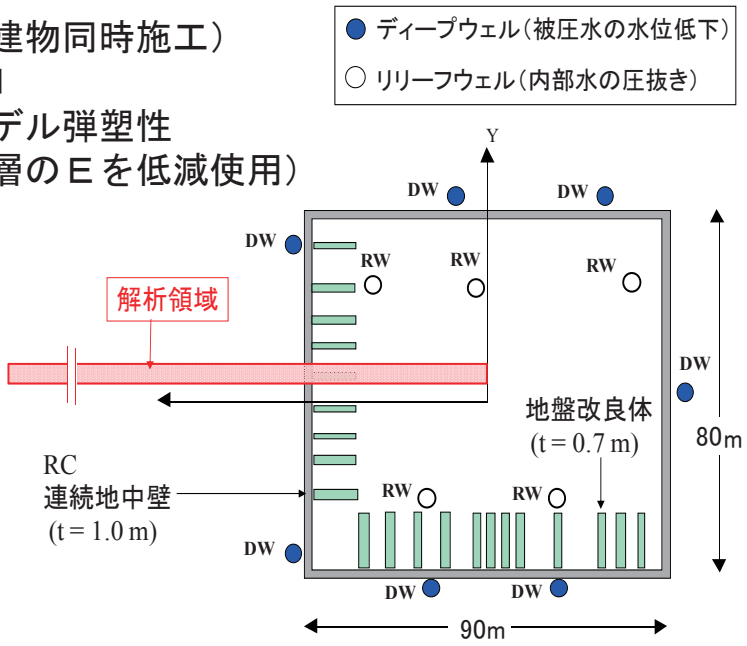
地盤との摩擦抵抗

同時施工の地上階構築部の自重支持

盤ぶくれの検討解析

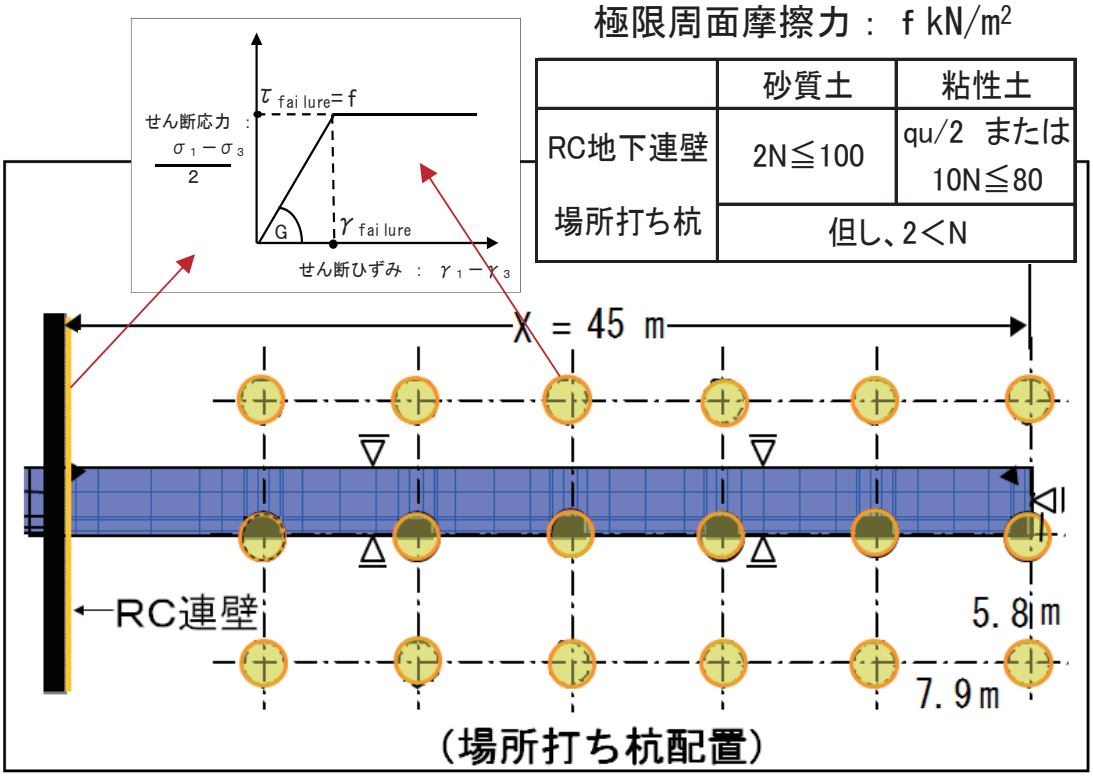
ここでの解析も先述の３次元解析（4分の1モデル）と同様の方法で実施

・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

・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

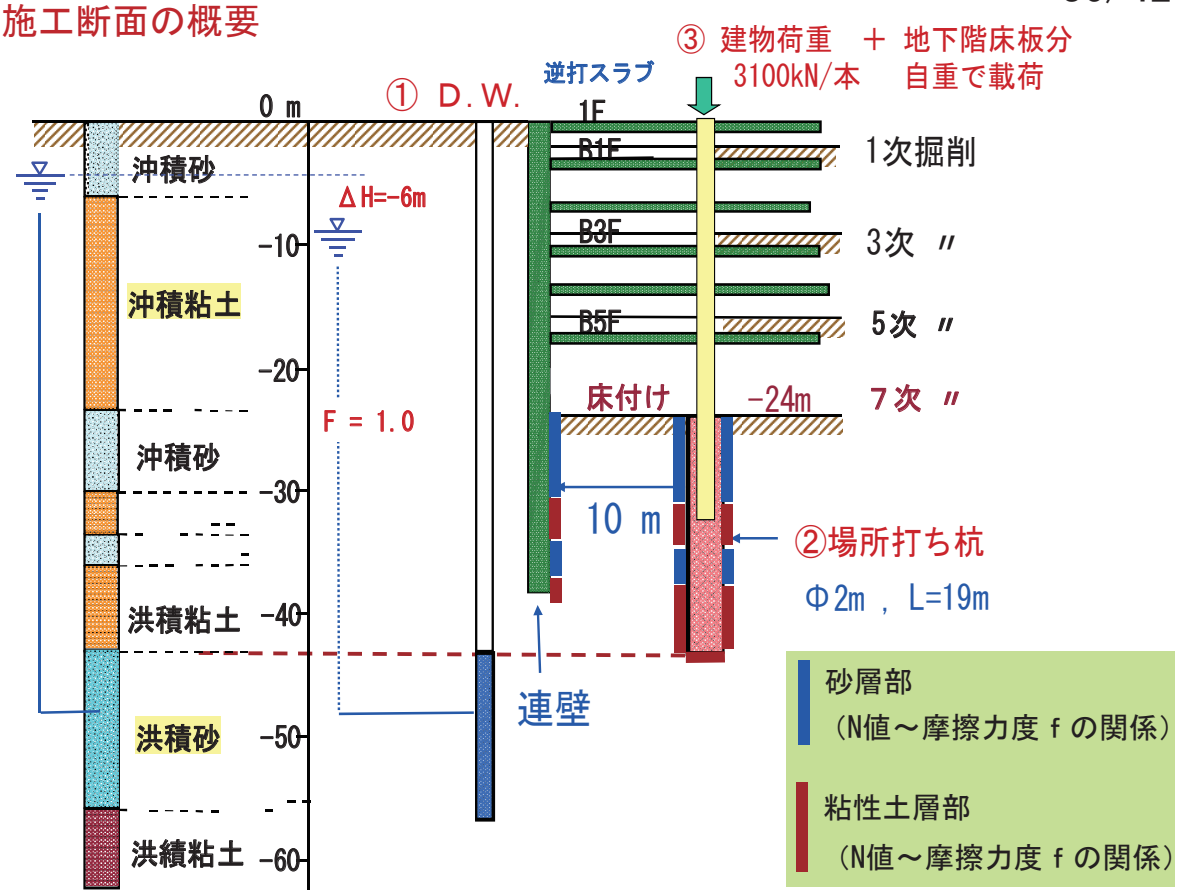


極限周面摩擦力： f kN/m²

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

36/42

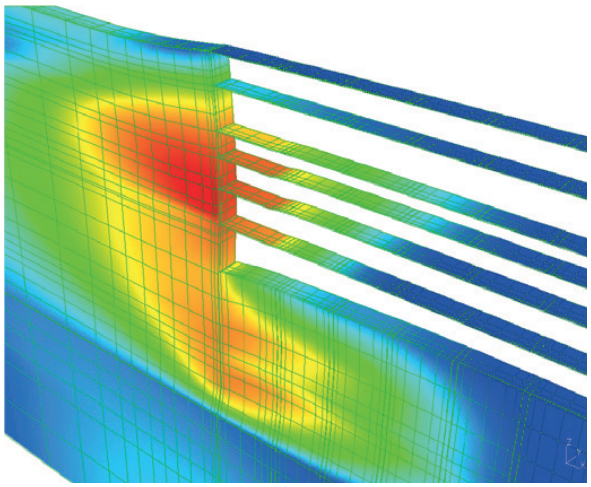
■ 施工断面の概要



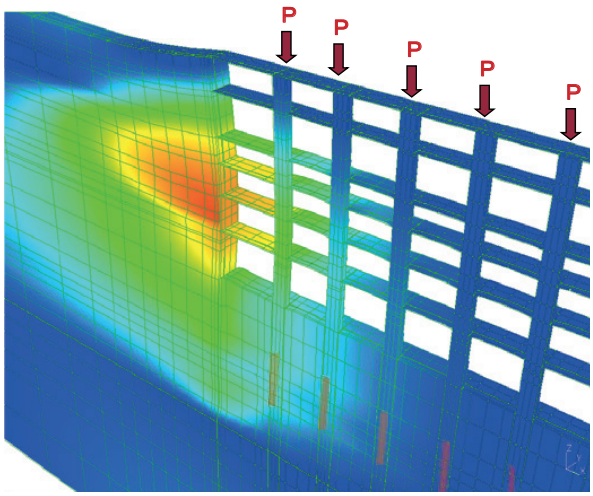
37/42

土留めと地盤の水平変位コンター

杭を未考慮



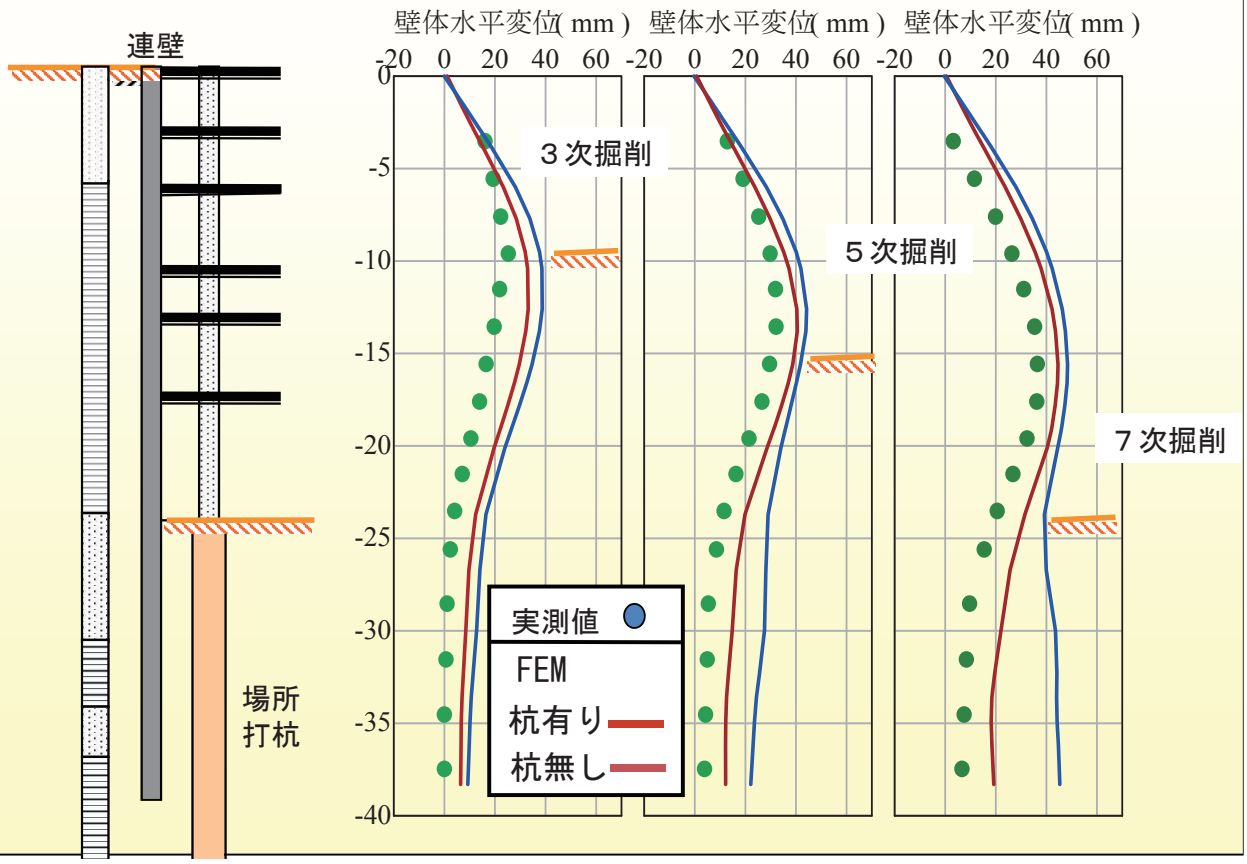
逆打鋼真柱と根入れの
場所打ち杭（φ200cm）考慮



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

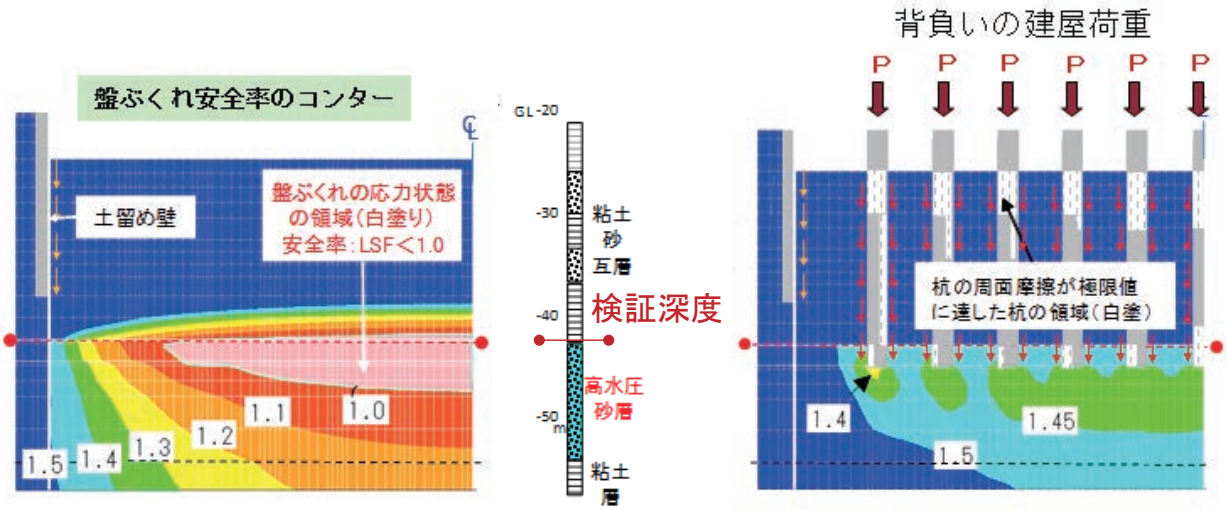


39/42

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）

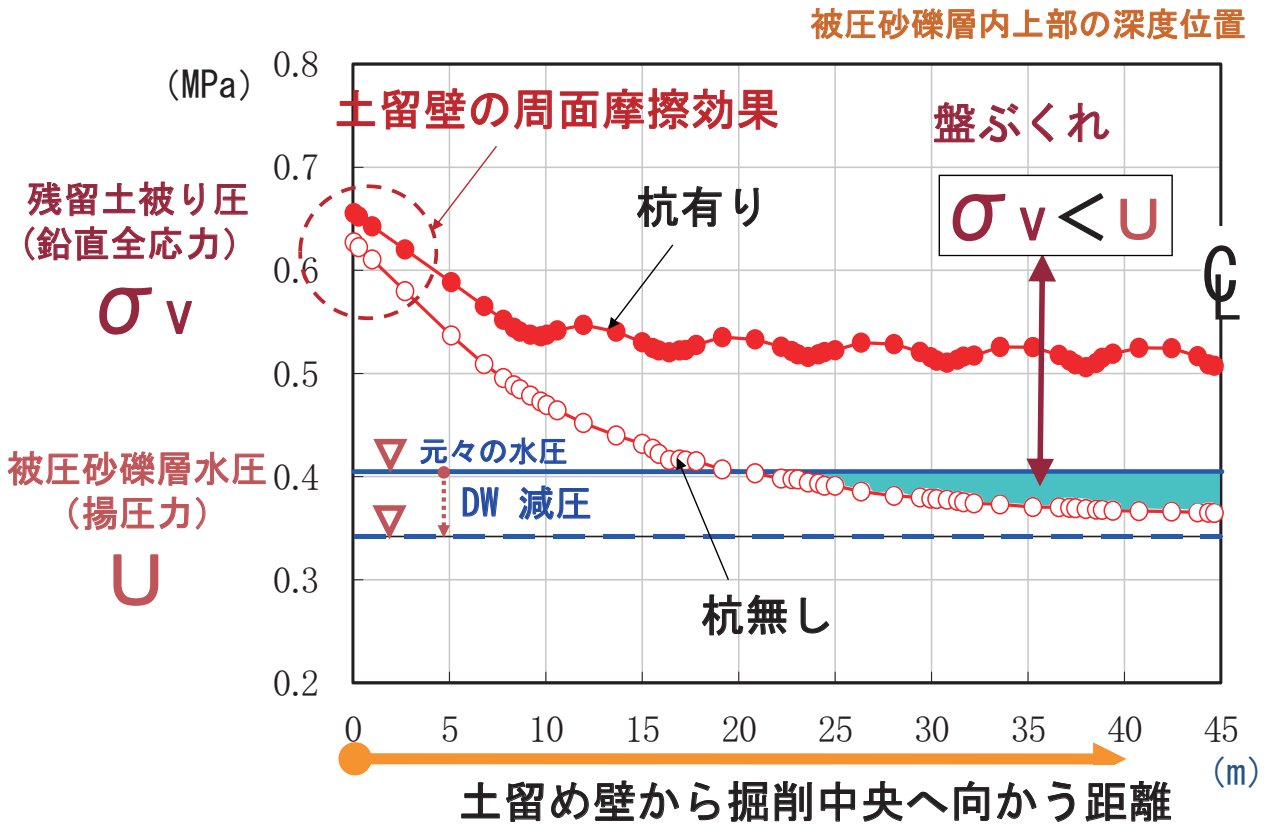
地下水低下対策が無しで杭の効果を比較



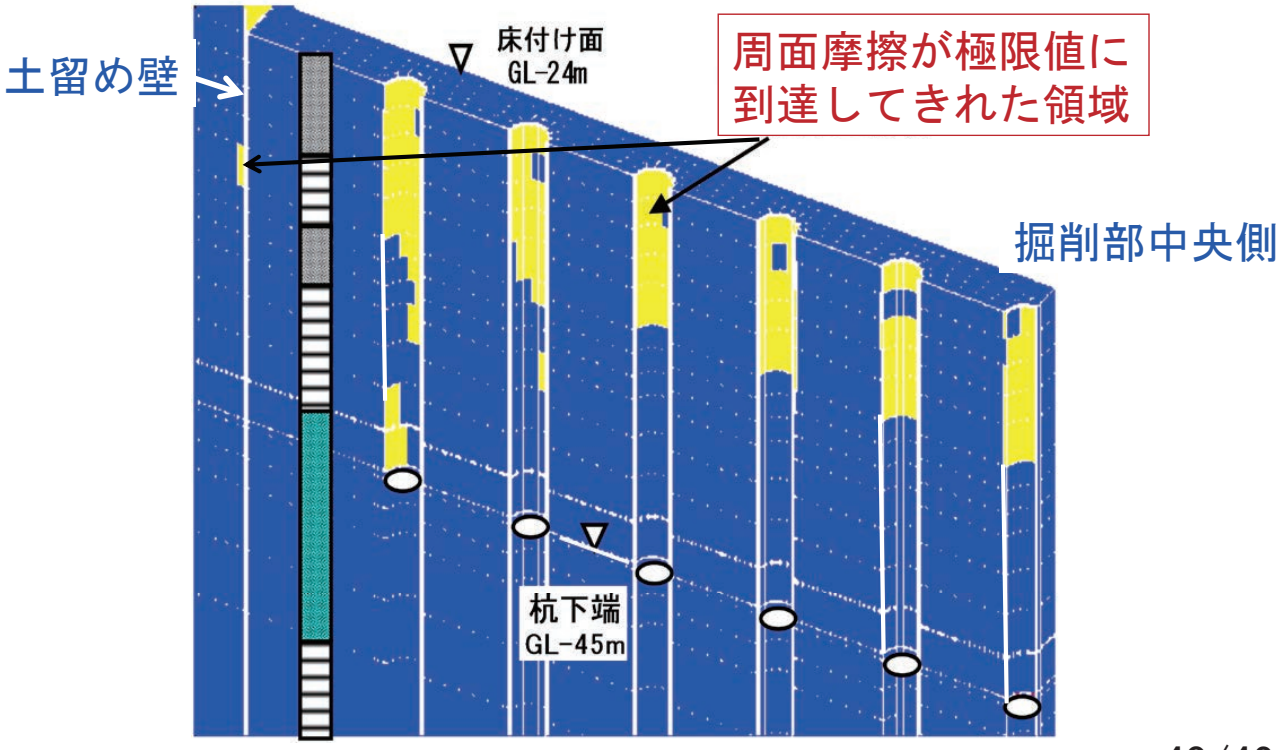
杭を未考慮

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

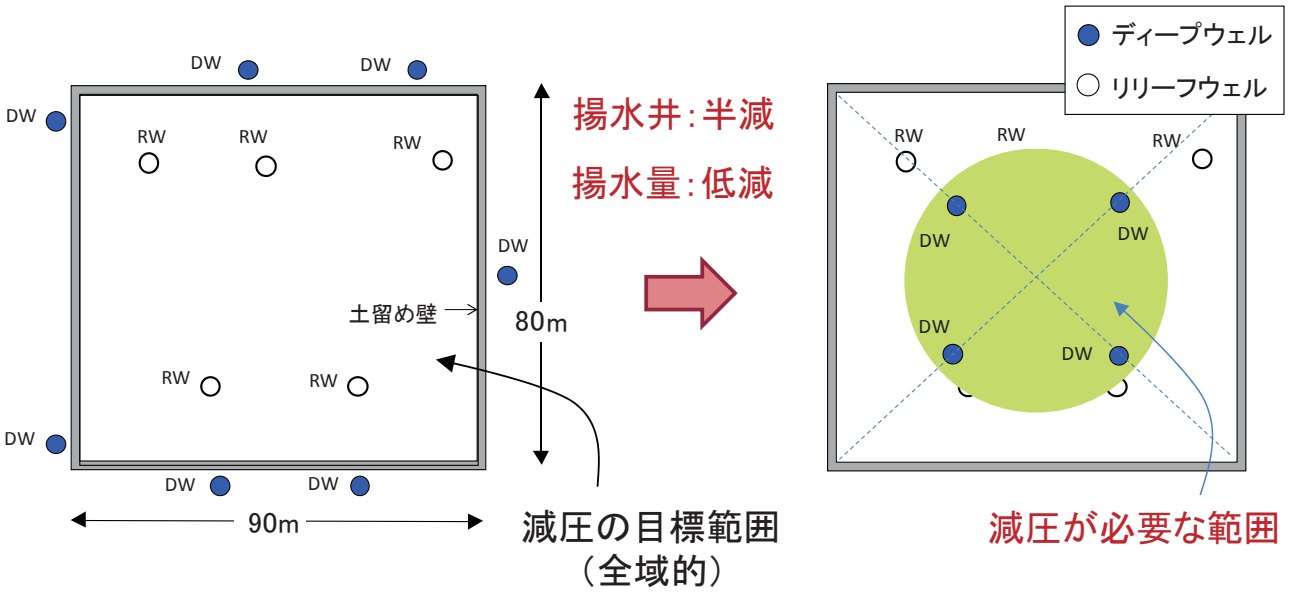
慣用の検討式（どこもかしこも減圧）

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）

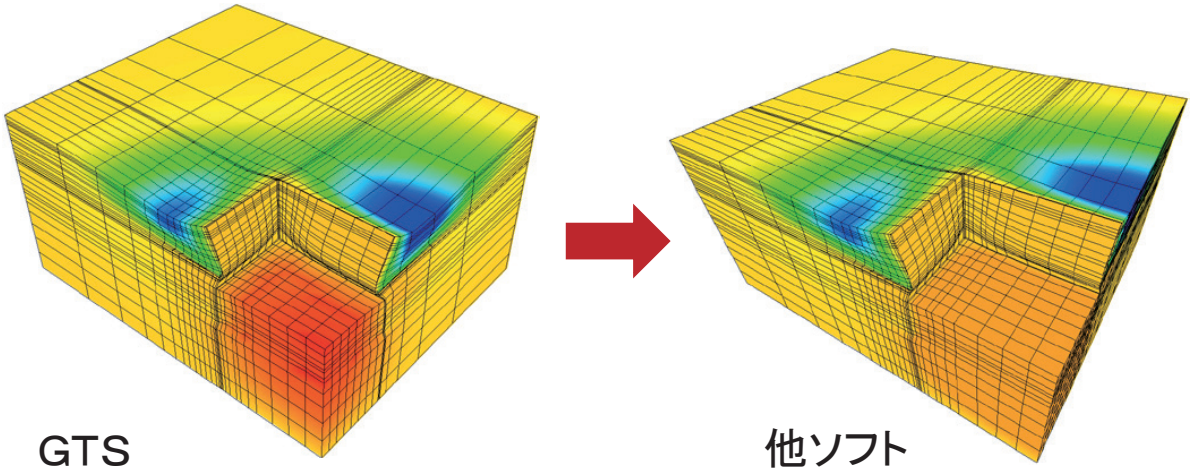
適用条件

□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。

06 GTS NX 差別化機能の紹介「トンネル編」

株式会社マイダスアイティジャパン

GTS NX 機能概要

GTS NX 2D

新感覚の2次元地盤FEM解析

◎ 平面内でのモデリング(2D - classical)

◎ 3次元形状から２次元 解析(2.5D)

◎ 3次元解析へ直結(同じプログラム/GUI)

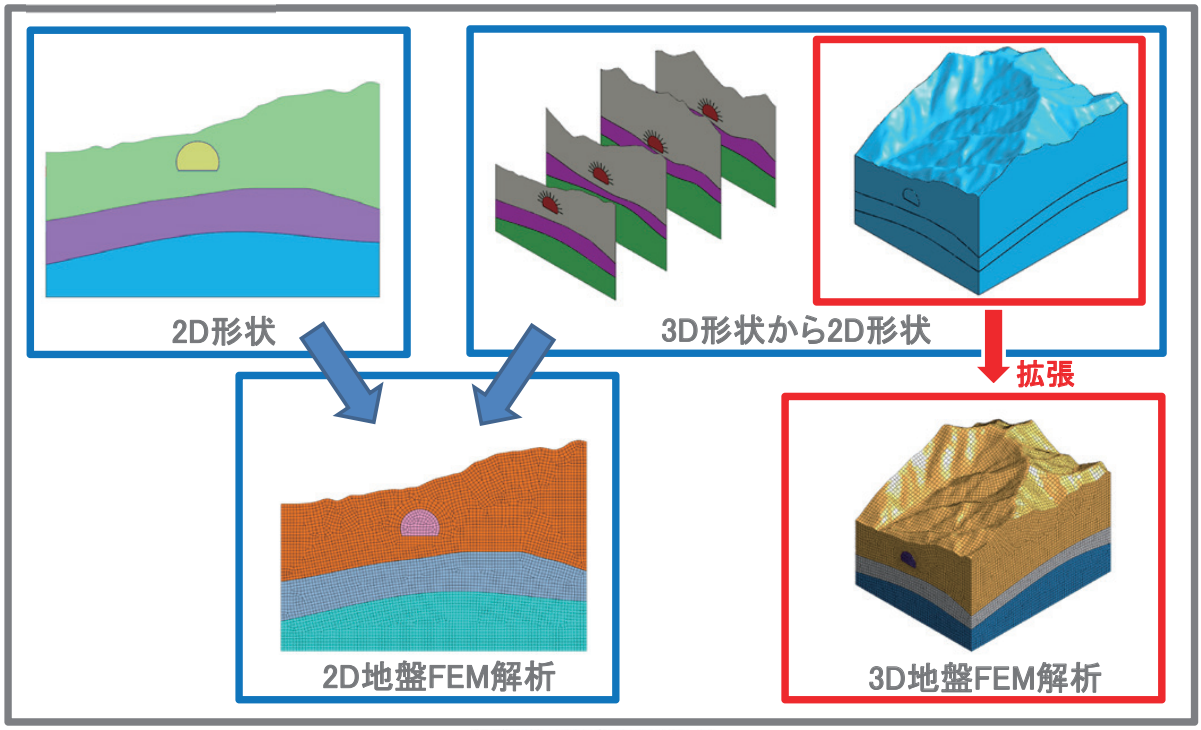
Experience the Change, Change the Experience!

GTS NX

GTS NX 機能概要

GTS NX 2D

節点要素の制限なし



MIDAS Information Technology Co., Ltd.

Experience the Change, Change the Experience!

GTS NX

1－5

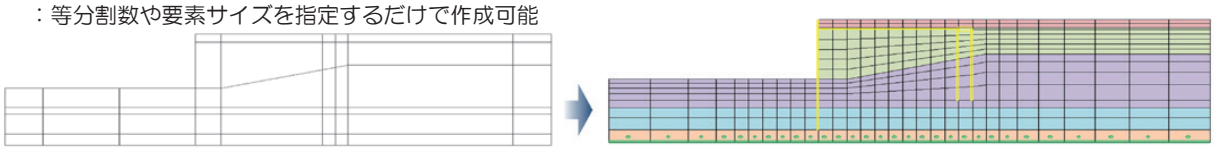
GTS NX 機能概要

GTS NX 2D

モデル化時間短縮

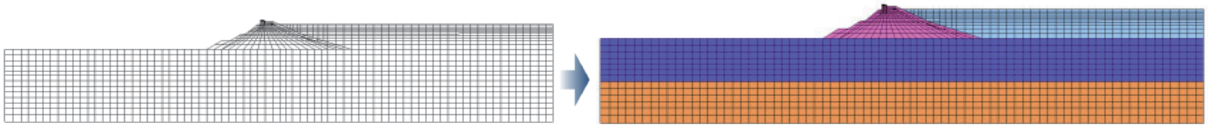
➢ マップドメッシュ

：等分割数や要素サイズを指定するだけで作成可能

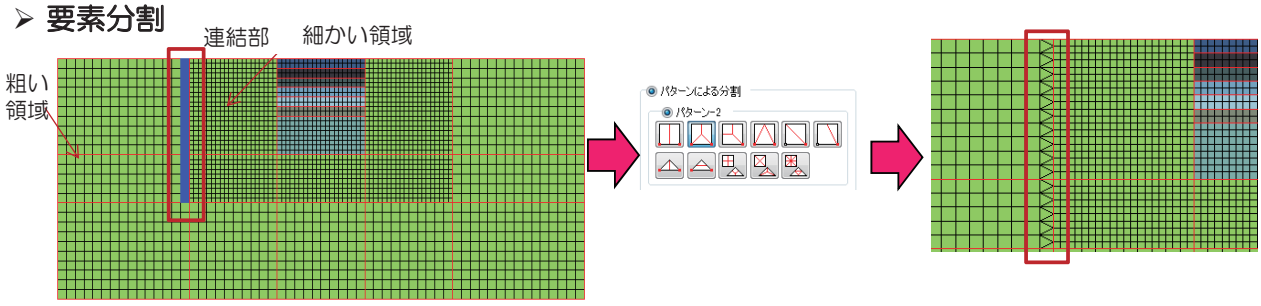


➢ オートメッシュ

：AutoCADで作成した複雑な2次元モデル対して「ワンクリック」でメッシュ生成



➢ 要素分割



応力の集中する部分だけを細かくする

パターンタイプを指定し、分割する要素を選択すると、粗い領域と細かい領域を自動連結

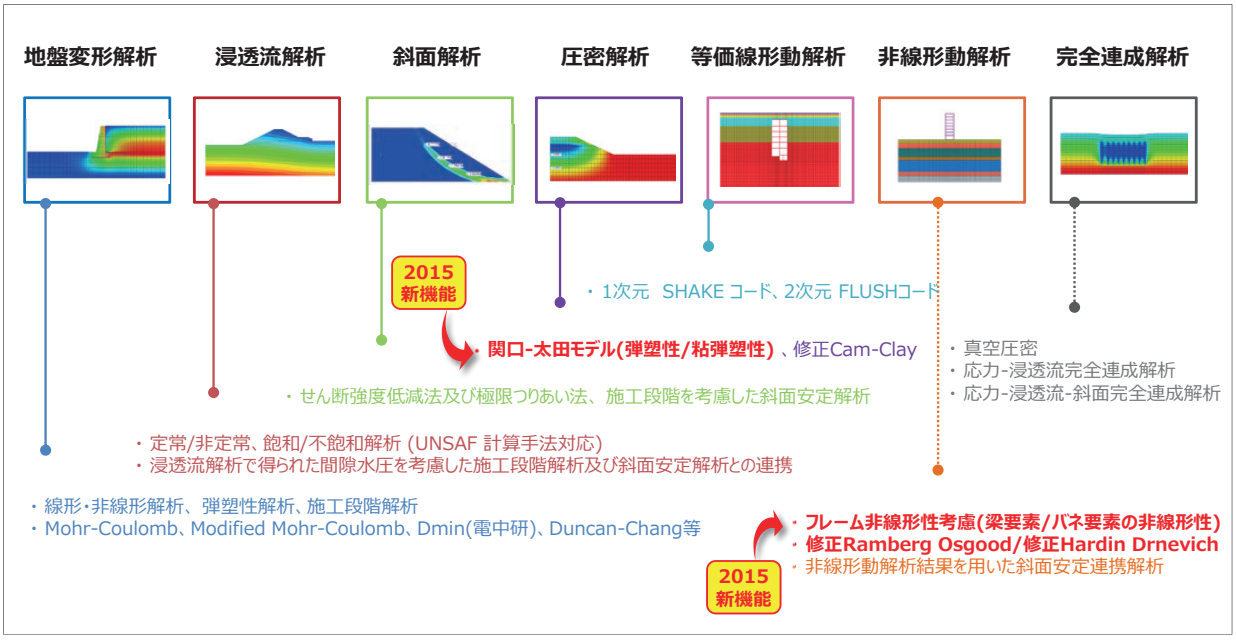
Experience the Change, Change the Experience!

GTS NX

GTS NX 機能概要

GTS NX 2D

主な解析機能



MIDAS Information Technology Co., Ltd.

Experience the Change, Change the Experience!

GTS NX

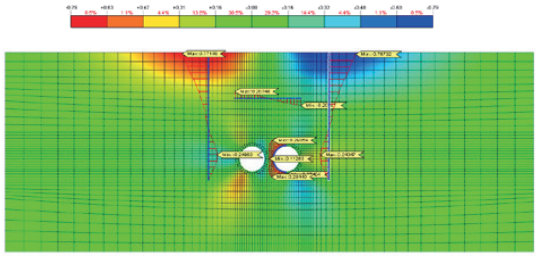
GTS NX 機能概要

GTS NX 2D

結果まとめ時間短縮

➢ 多彩な結果表示

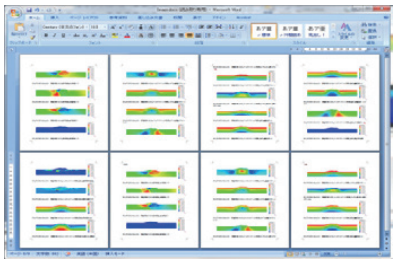
- コンター図の多彩な表示オプション
- 地盤物性、モデル、結果図のＰＤＦへ書き出し
- 特定位置の結果取り出し：結果の照会、結果の抽出
- 結果図の演算 → 結果成分同士の線形組み合わせ
- アニメーション表示 → 動画(AVI)ファイルに保存



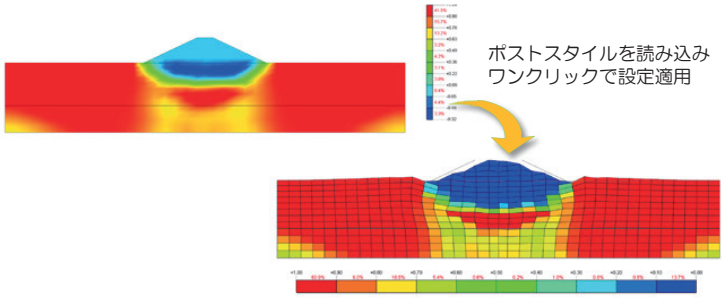
[ライン上分布図、凡例水平表示]

➢ 効率的な結果整理

- 結果図のWordファイル出力、グラフ結果のExcel出力 → 報告書作成時間を短縮
- ポストスタイルの読込み/書出し → 一度設定した表示スタイルを他のファイルで利用可能



[Wordファイルに一括出力した結果図]



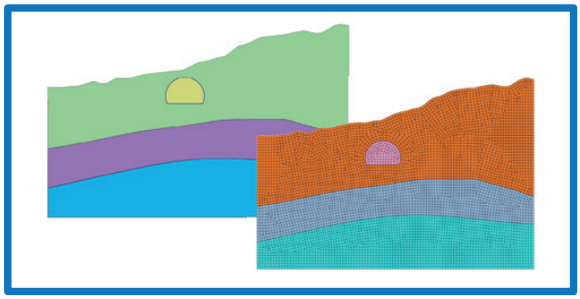
MIDAS Information Technology Co., Ltd.

Experience the Change, Change the Experience!

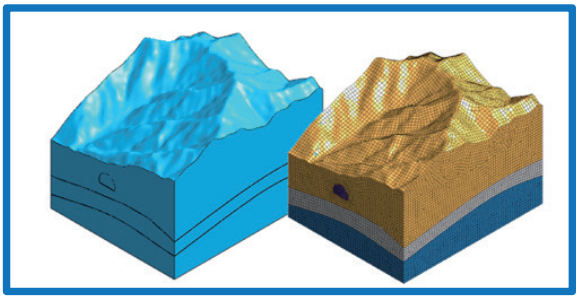
GTS NX 機能概要

GTS NX 2D

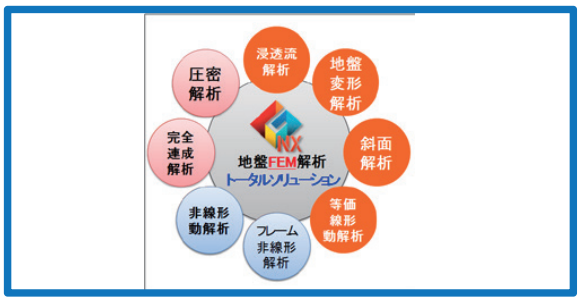
優れたモデリング機能で作業効率化



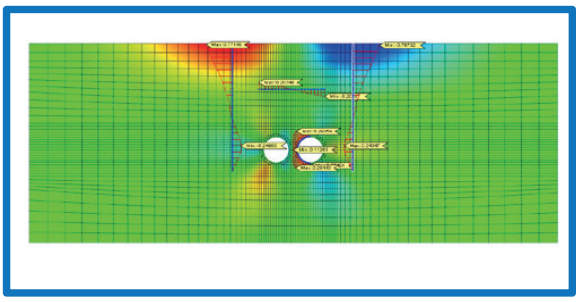
3次元への拡張性



多様な解析機能



多彩で効率的な結果表示機能

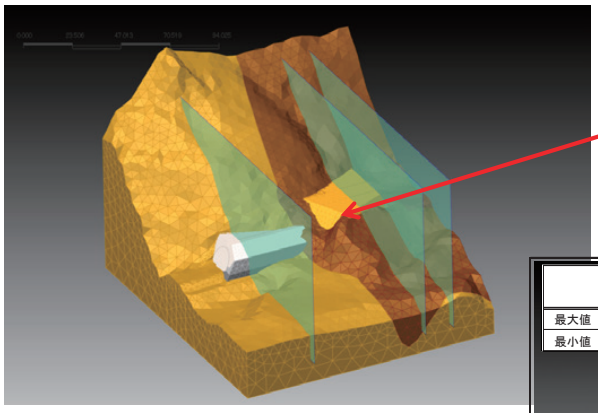


MIDAS Information Technology Co., Ltd.

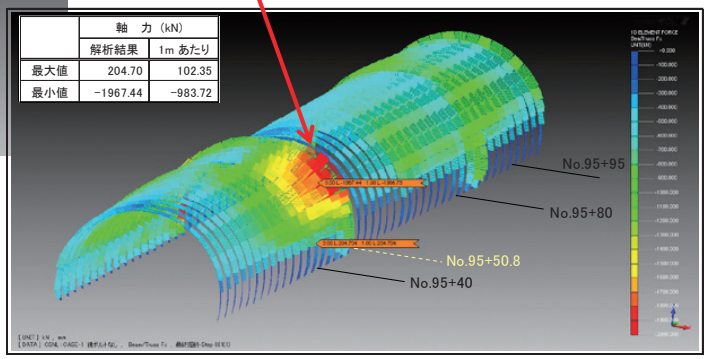
Experience the Change, Change the Experience!

3次元解析の必要性

2次元解析の問題点



設計断面以外の部分が最も
厳しい事が判明



	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

引用：株式会社フジタ　池内　正明より提供

MIDAS Information Technology Co., Ltd.

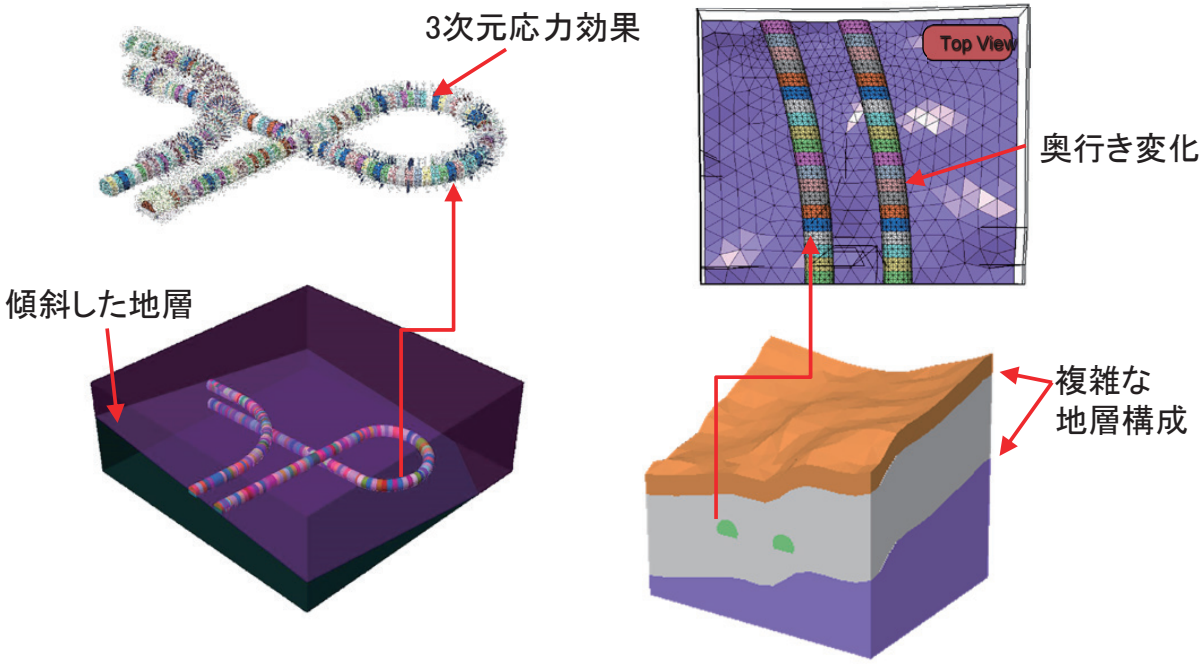
Experience the Change, Change the Experience!

GTS NX

3次元解析の必要性

実世界 ⟶ 3次元

実挙動の予測 ⟶ 3次元解析



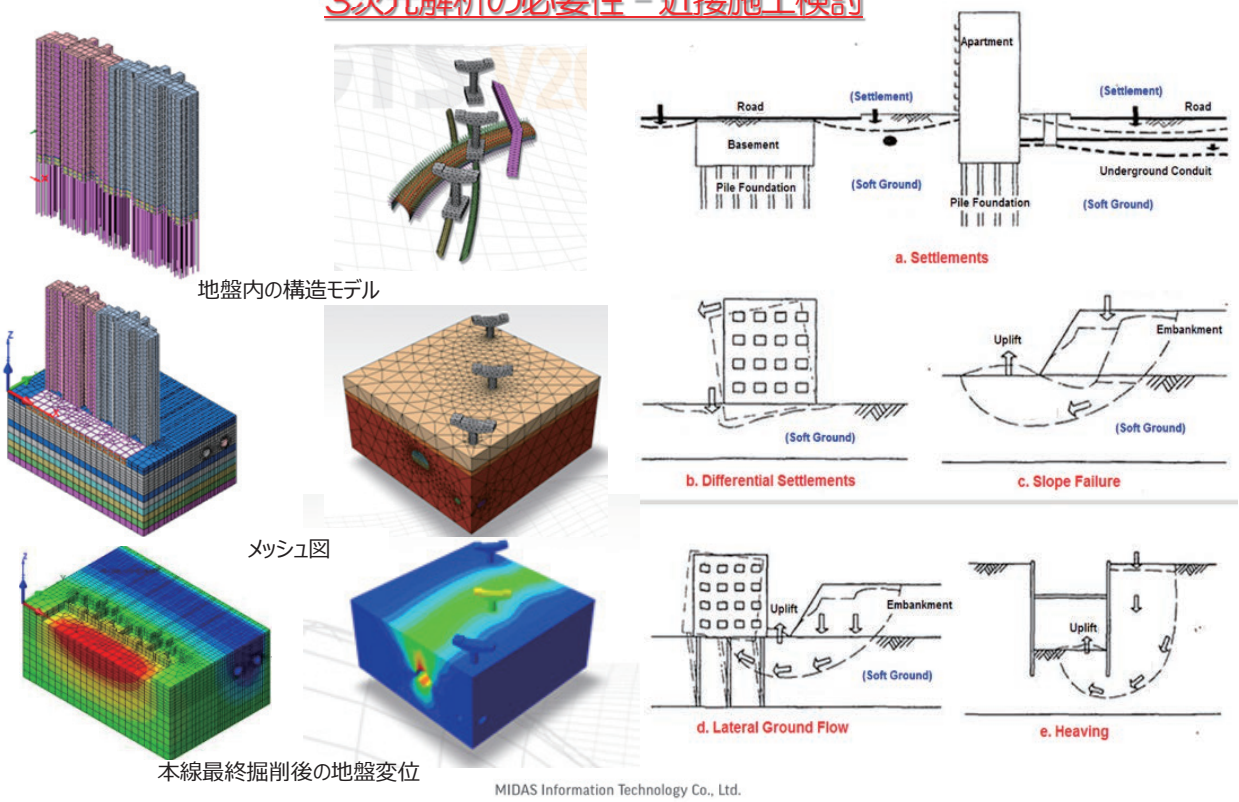
MIDAS Information Technology Co., Ltd.

Experience the Change, Change the Experience!

GTS NX

3次元解析の必要性

3次元解析の必要性 – 近接施工検討



MIDAS Information Technology Co., Ltd.

Experience the Change, Change the Experience!

GTS NX

3次元解析実現のために

過去は、ハードウェア・ソフトウェアがプア

パソコン能力の進化

プログラムの進化

並列処理
1、メッシュ作成
2．計算時間短縮

＋

大規模対応可能
1．節点数、要素数
2．施工段階数

＋

ソルバー
計算速度向上

MIDAS Information Technology Co., Ltd.

Experience the Change, Change the Experience!

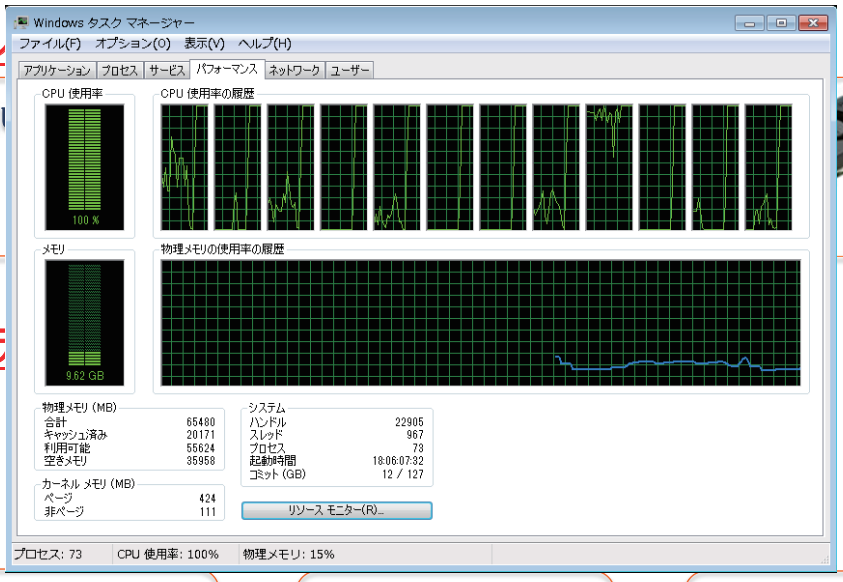
GTS NX

3次元解析実現のために

過去は、ハードウェア・ソフトウェアがプア

パソコン

プログラ



並列処理
1、メッシュ作成
2．計算時間短縮

＋

大規模対応可能
1．節点数、要素数
2．施工段階数

＋

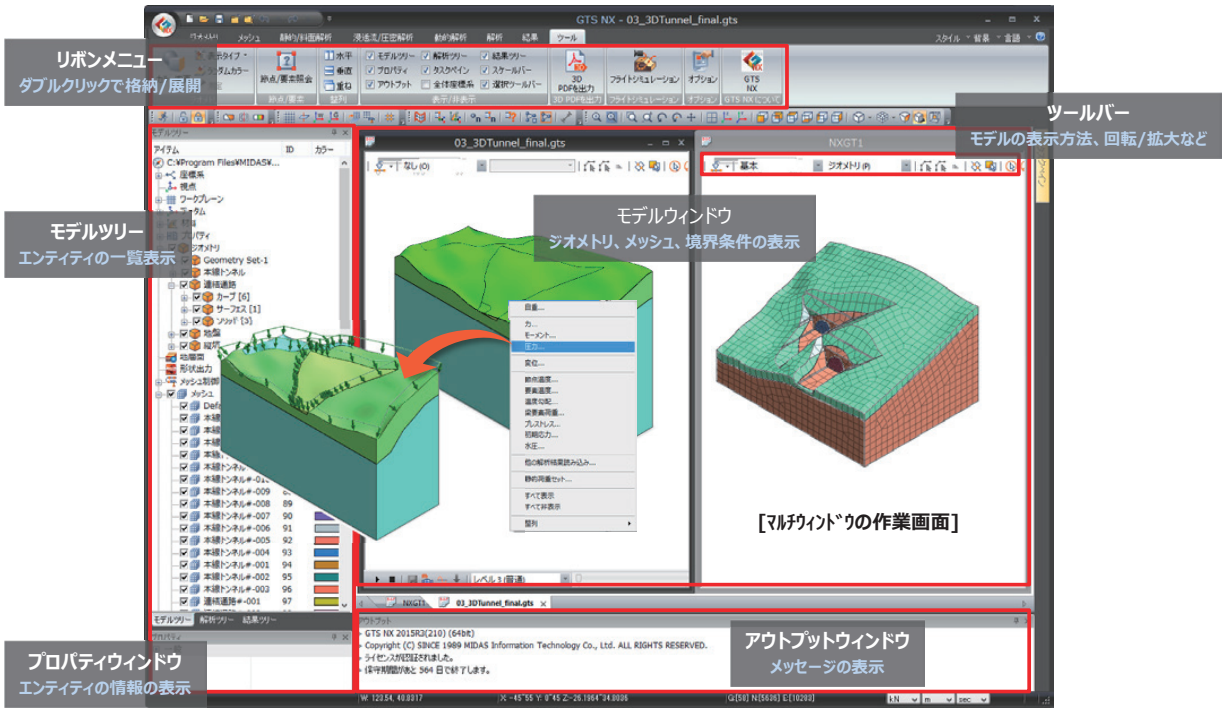
ソルバー
計算速度向上

MIDAS Information Technology Co., Ltd.

Experience the Change, Change the Experience!

GTS NX 基本操作方法

６４ビット対応の最新GUI・作業環境

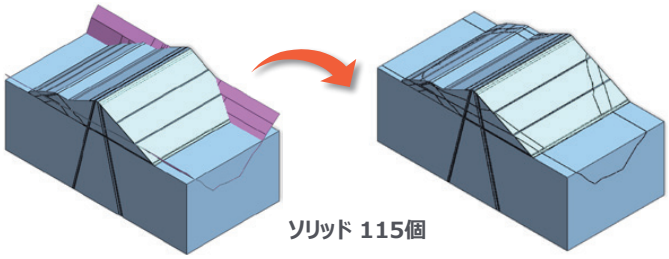


MIDAS Information Technology Co., Ltd.

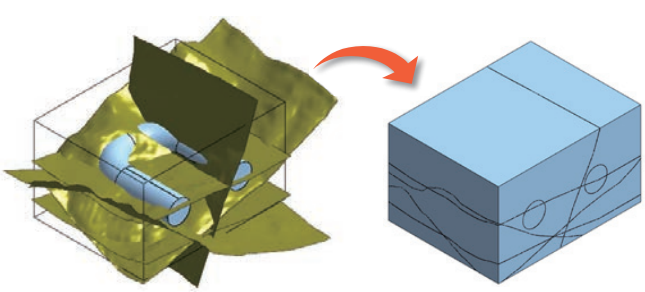
Experience the Change, Change the Experience!

3次元解析実現のために

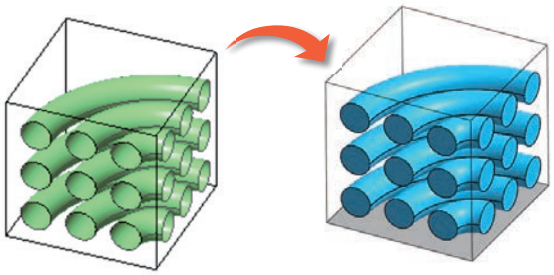
新モデリングカーネルで複雑なソリッドモデリングが可能に！！



プログラム	形状分割速度
GTS	20秒(38個、失敗)
GTS NX	**5秒(100%成功)**



プログラム	形状分割速度
GTS	39秒(5個、失敗)
GTS NX	**22秒(100%成功)**



プログラム	形状分割速度
GTS	89秒(成功)
GTS NX	**1秒未満 (100%成功)**

90%

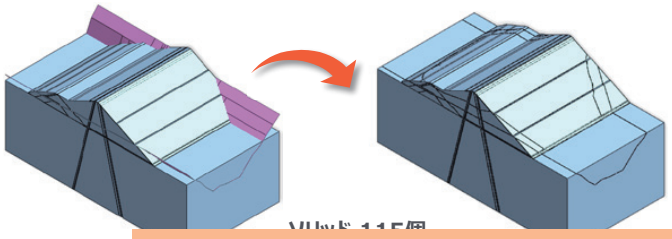
MIDAS Information Technology Co., Ltd.

Experience the Change, Change the Experience!

GTS NX

3次元解析実現のために

新モデリングカーネルで複雑なソリッドモデリングが可能に！！



プログラム	形状分割速度
GTS	20秒(38個、失敗)
GTS NX	**5秒(100%成功)**

新規CADカーネル：Parasolid

Parasolidは、製造業で使われるCADおよび解析プログラムでも使われる高性能なCADカーネル

プログラム	形状分割速度
GTS	39秒(5個、失敗)
GTS NX	**22秒(100%成功)**

プログラム	形状分割速度
GTS	89秒(成功)
GTS NX	**1秒未満 (100%成功)**

90%

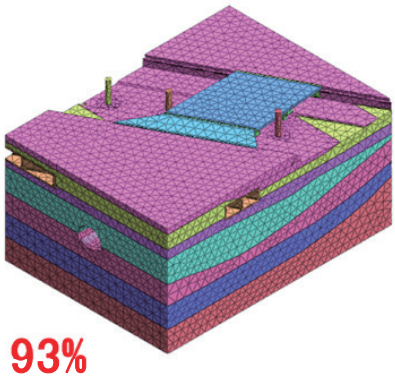
MIDAS Information Technology Co., Ltd.

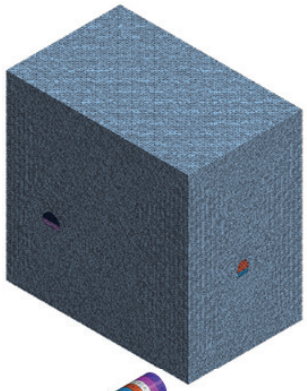
Experience the Change, Change the Experience!

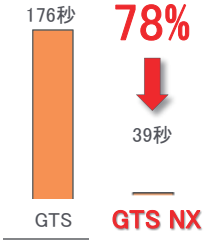
GTS NX

3次元解析実現のために

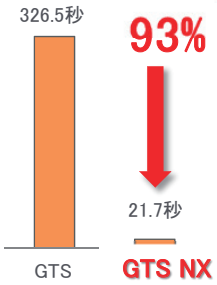
新メッシュエンジン－並列処理



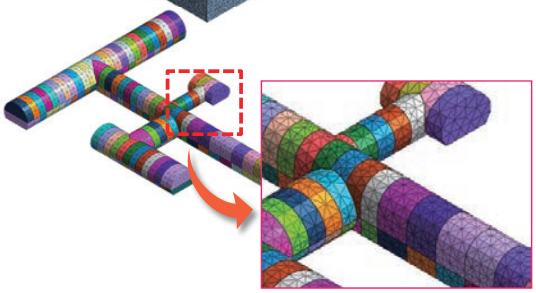




ソリッド	142個
要素	195万個
節点	34万個



ソリッド	62個
要素	11万個
節点	16万個



並列 メッシュエンジンの搭載およびDB構造改善で生成時間を大幅に短縮

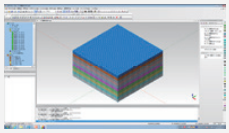
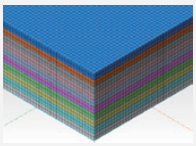
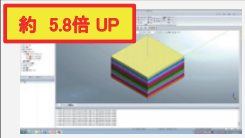
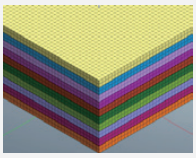
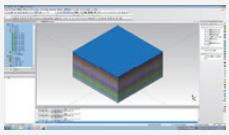
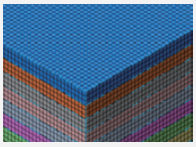
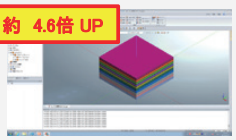
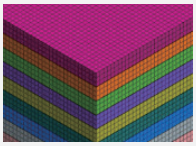
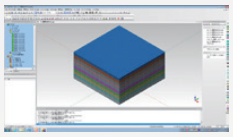
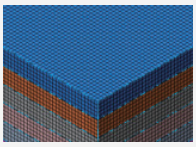
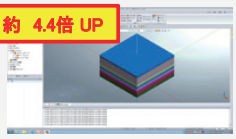
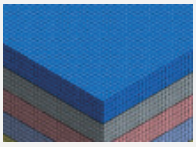
MIDAS Information Technology Co., Ltd.

Experience the Change, Change the Experience!

GTS NX

3次元解析実現のために

① マップドメッシュ 生成時間比較

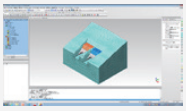
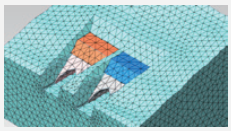
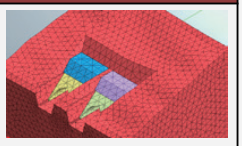
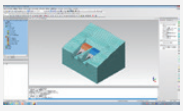
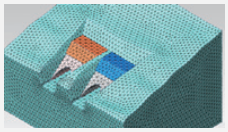
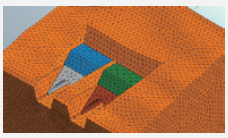
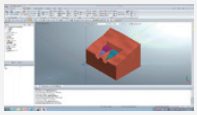
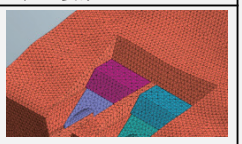
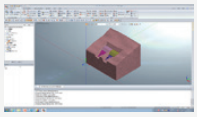
区分	従来プログラム	GTS NX
要素サイズ（5m）	  ・所要時間：5.87 SEC ・モデリング：35,301 節点、32,000 要素	約 5.8倍 UP   ・所要時間：1 SEC 未満 ・モデリング：35,301 節点、32,000 要素
要素サイズ（3m）	  ・所要時間：14.32 SEC ・モデリング：143,344 節点、134,670 要素	約 4.6倍 UP   ・所要時間：3 SEC 未満 ・モデリング：143,344 節点、134,670 要素
要素サイズ（2m）	  ・所要時間：71.132 SEC ・モデリング：520,251 節点、500,000 要素	約 4.4倍 UP   ・所要時間：16.25 SEC ・モデリング：520,251 節点、500,000 要素

Experience the Change, Change the Experience!

GTS NX

3次元解析実現のために

② オートメッシュ 生成時間比較

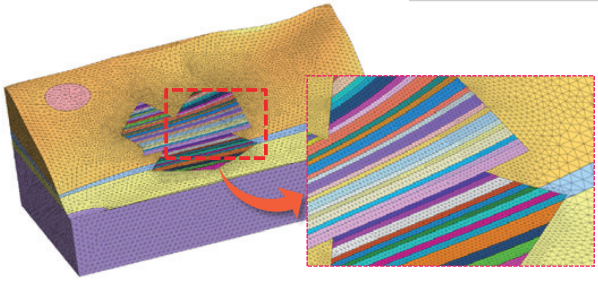
区分	従来プログラム	GTS NX
要素サイズ（5m）	  ・所要時間：31.81 SEC ・モデリング：8,551 節点、42,737 要素	約 5.2倍 UP  ・所要時間：6.68 SEC ・モデリング：8,551 節点、42,737 要素
要素サイズ（3m）	  ・所要時間：360.29 SEC ・モデリング：33,774 節点、180,414 要素	約 30倍 UP  ・所要時間：12.21 SEC ・モデリング：33,774 節点、180,414 要素
要素サイズ（2m）	生成不可 （2時間以上経過してもPGが動かない）	  ・所要時間：26.24 SEC ・モデリング：107,586 節点、595,589 要素
要素サイズ（1m）	生成不可 （2時間以上経過してもPGが動かない）	 ・所要時間：285.79 SEC ・モデリング：817,693 節点、4,700,046 要素

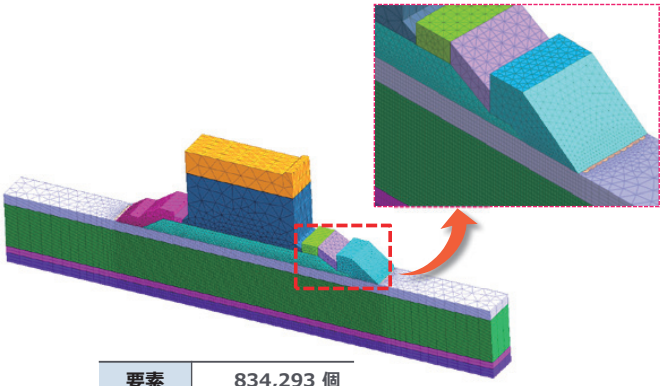
Experience the Change, Change the Experience!

GTS NX

3次元解析実現のために

高速処理ソルバー（並列/GPU処理）





要素	1,113,497 個
節点	197,692 個

要素	834,293 個
節点	394,802 個
自由度	1,184,406 個

12倍

プログラム	線形静的	非線形 施工段階（12段階）
GTS	29分20秒	-
GTS NX	5分10秒	5時間 10分
GTS NX (GPU)	2分30秒	2時間 3分

プログラム	解析時間
GTS	30分10秒
GTS NX	6分45秒
GTS NX (GPU)	3分5秒

10倍

※ 線形静的解析（1ステップ解析時間）→ 施工段階解析，非線形解析では施工段階数と荷重増分数に比例して解析時間増加

Multi-frontal Solverの並列処理とGPUによる演算で処理速度大幅UP！

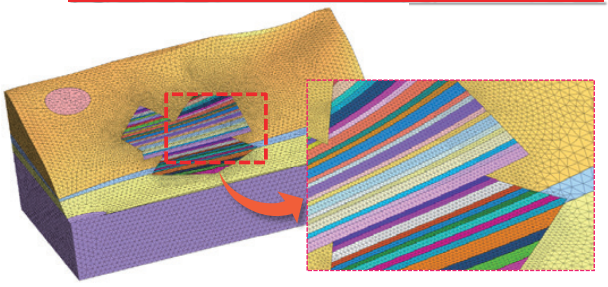
MIDAS Information Technology Co., Ltd.

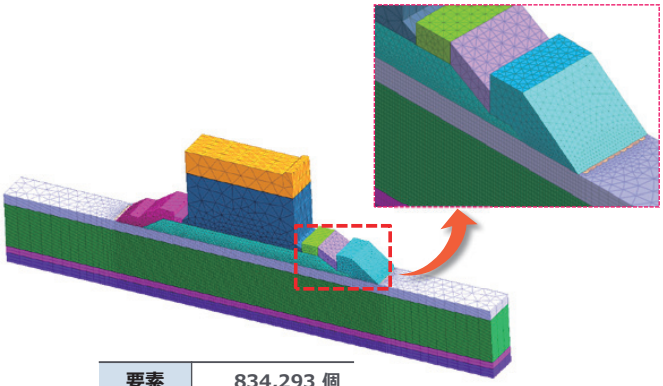
Experience the Change, Change the Experience!

GTS NX

3次元解析実現のために

高速処理ソルバー（並列/GPU処理）





要素	1,113,497 個
節点	197,692 個

要素	834,293 個
節点	394,802 個

12倍

プログラム	線形静的	非線形 施工段階（
GTS	29分20秒	-
GTS NX	5分10秒	5時間 10分
GTS NX (GPU)	2分30秒	2時間 3分

使用したPCのスペック

CPU: Intel Xeon X5647 2.93 GHz×2
Memory: 48GB
GPU: Nvidia Tesla C2025
OS: Windows7 64bit

※ 線形静的解析（1ステップ解析時間）→ 施工段階解析，非線形解析では施工段階数と荷重増分数に比例して解析時間増加

Multi-frontal Solverの並列処理とGPUによる演算で処理速度大幅UP！

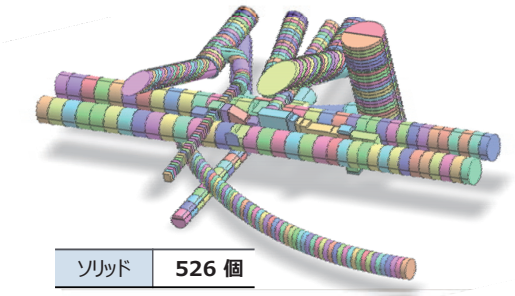
MIDAS Information Technology Co., Ltd.

Experience the Change, Change the Experience!

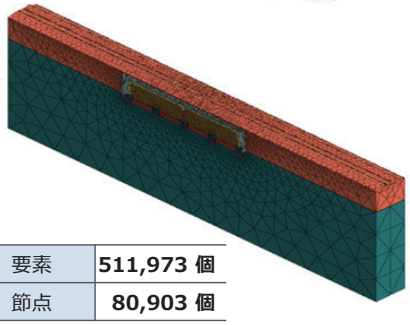
GTS NX

3次元解析実現のために

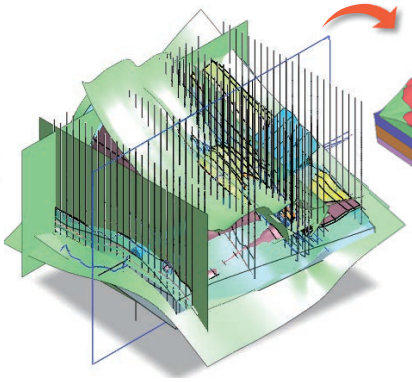
大規模モデルでも快適な操作が可能に！！

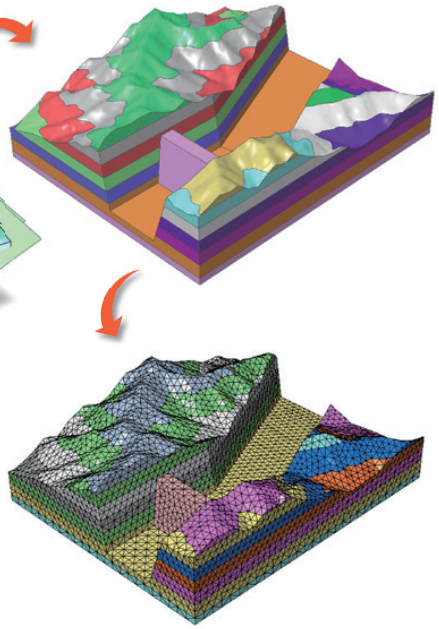


ソリッド	526 個



要素	511,973 個
節点	80,903 個





ソリッド	3,250 個
要素	394,100 個
節点	75,112 個
メッシュセット	1,004 個
施工段階ステップ	700ステップ

数千万要素をサポートする新しい64ビットフレームワークと高性能のグラフィック・エンジン搭載で性能を強化

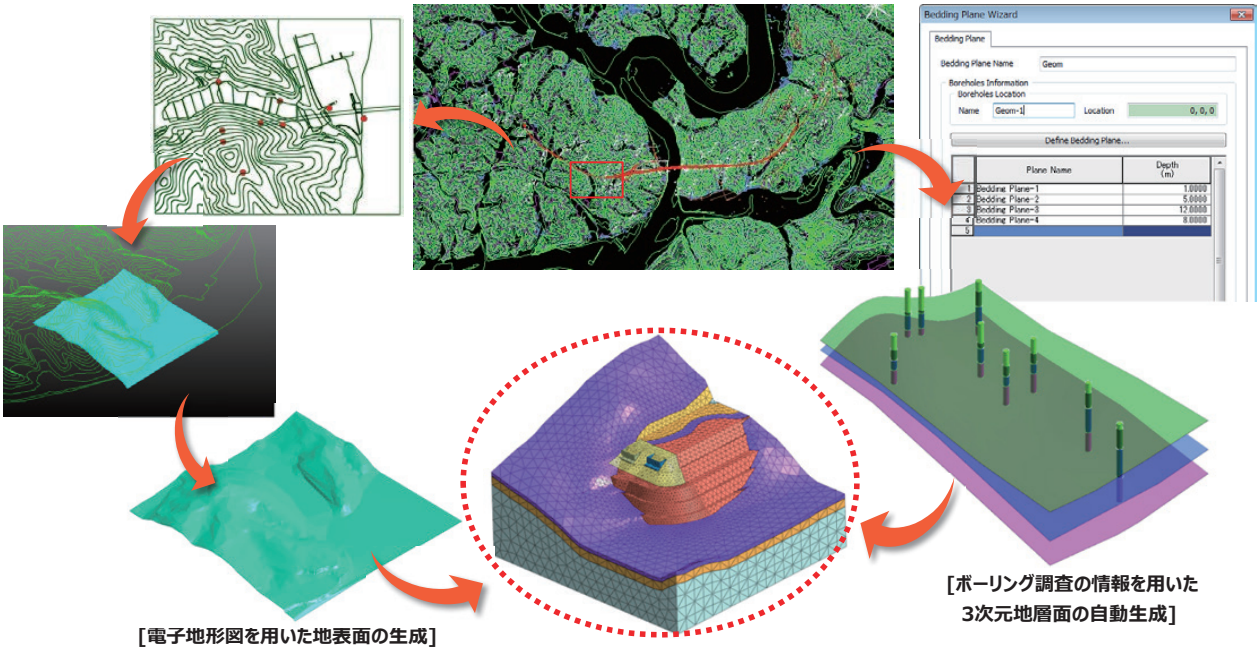
MIDAS Information Technology Co., Ltd.

Experience the Change, Change the Experience!

GTS NX

3次元解析実現のために

3次元的に変化する実地盤の再現！！



[電子地形図を用いた地表面の生成]

[ボーリング調査の情報を用いた
3次元地層面の自動生成]

電子地形図を用いた3次元地表面の生成とボーリング調査を用いた地表面のウィザード生成

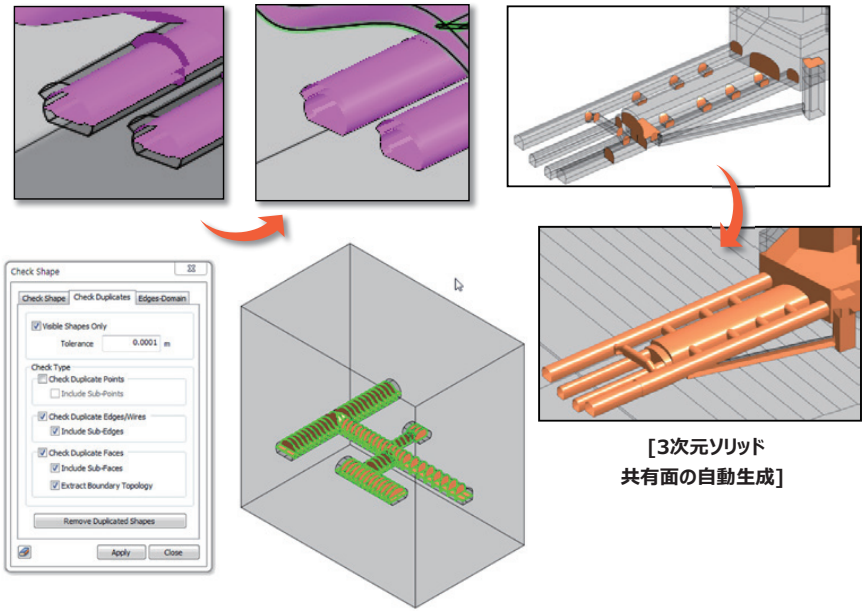
MIDAS Information Technology Co., Ltd.

Experience the Change, Change the Experience!

GTS NX

3次元解析実現のために

健全なメッシュ生成の効率化！！



[3次元ソリッド
共有面の自動生成]

3次元ソリッドの共有面の自動生成 → モデリングの時間短縮とミス防止

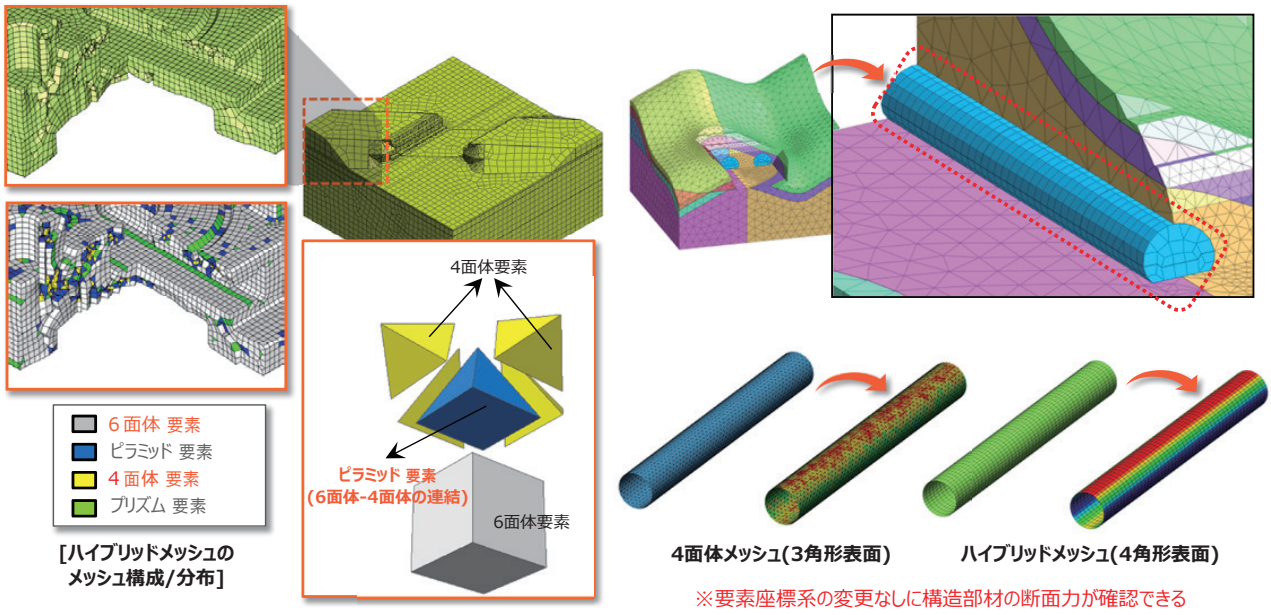
MIDAS Information Technology Co., Ltd.

Experience the Change, Change the Experience!

GTS NX

3次元解析実現のために

高品質メッシュで高精度な結果を！！



[ハイブリッドメッシュの
メッシュ構成/分布]

4面体メッシュ(3角形表面)　ハイブリッドメッシュ(4角形表面)

※要素座標系の変更なしに構造部材の断面力が確認できる

高精度の結果を提供する高品質のハイブリッドメッシュ（全ての解析で使用可能）

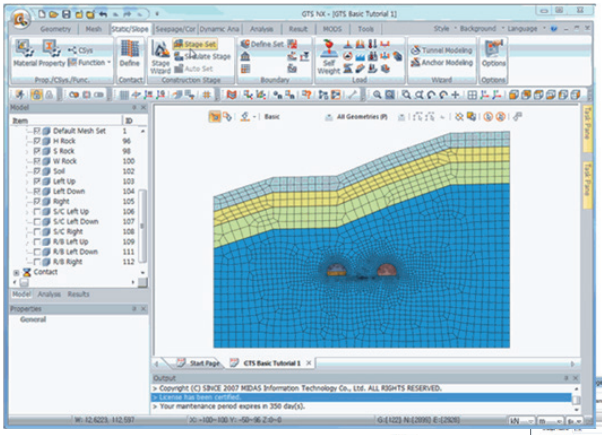
MIDAS Information Technology Co., Ltd.

Experience the Change, Change the Experience!

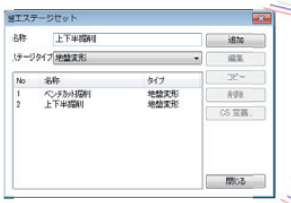
GTS NX

3次元解析実現のために

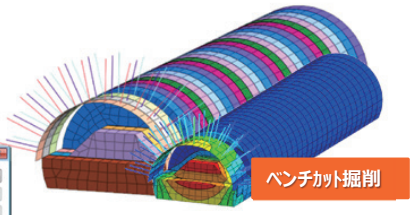
実施工での施工段階を効率よく再現！！



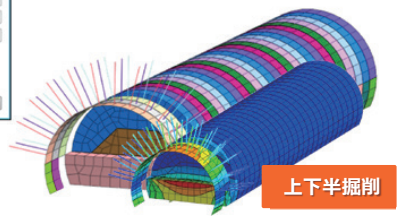
[施工段階の自動生成]



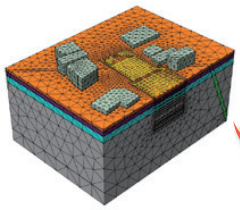
[複数の施工段階ステージ設定]

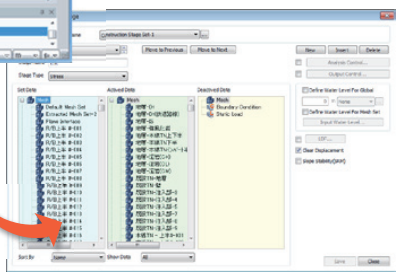


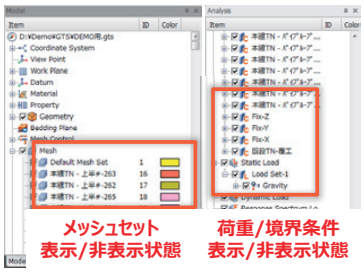
ベンチカット掘削



上下半掘削







メッシュセット
表示/非表示状態

荷重/境界条件
表示/非表示状態

単一モデルで複数の施工段階ステージを設定、作業画面上の表示/非表示を利用した施工段階自動生成

MIDAS Information Technology Co., Ltd.

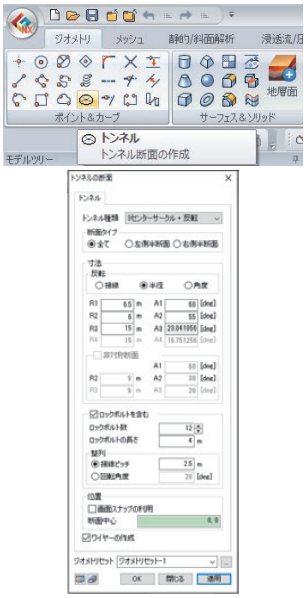
Experience the Change, Change the Experience!

GTS NX

3次元解析実現のために

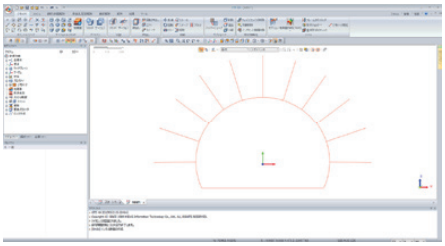
トンネル断面の作成機能！！

[トンネル断面の作成メニュー]

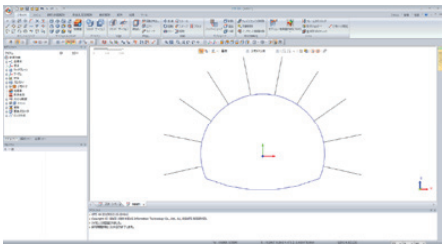


[トンネル断面種類＆寸法入力]

[トンネル断面作成のプレビュー機能]



[トンネル断面作成の完了画面]



MIDAS Information Technology Co., Ltd.

Experience the Change, Change the Experience!

GTS NX

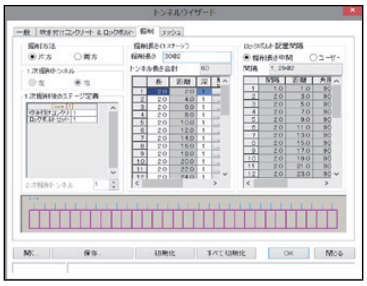
3次元解析実現のために

トンネル専用ウィザードの機能！！

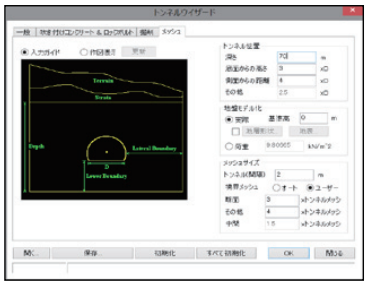
[タイプ/形状/曲率/支保工設定]

[吹き付けコンクリート/ロックボルト設定]

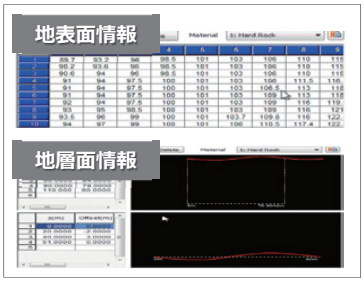
[掘削間隔/長さ/方法/ロックボルト配置設定]



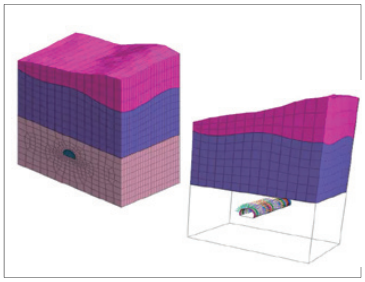
[地表面/地層面設定]



[情報入力]



[トンネル解析モデル完成]



トンネルウィザードを用いてトンネル・支保工法・補強工法・地盤・掘削などを自動モデリング生成

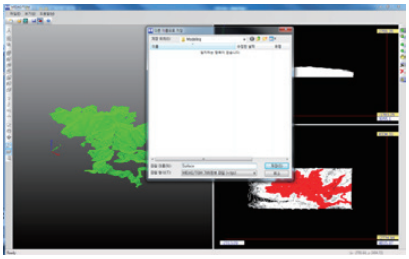
MIDAS Information Technology Co., Ltd.

Experience the Change, Change the Experience!

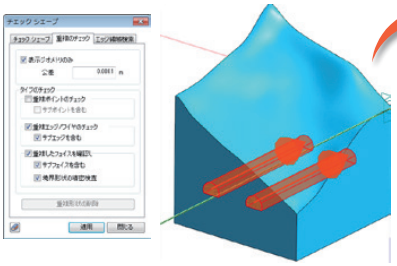
GTS NX

3次元解析実現のために

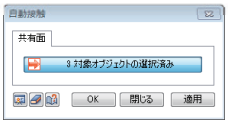
実務解析での難しい/不可能を、より簡単/可能にするmidasの機能群！！



TGMから地表面生成

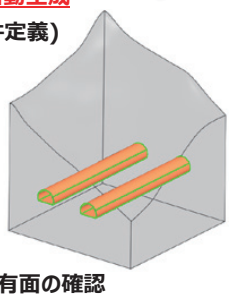


解析断面のモデリング



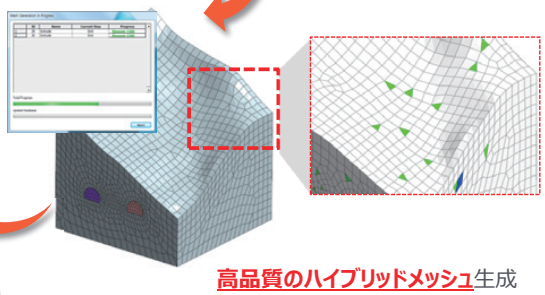
共有面の自動生成

(接触条件定義)

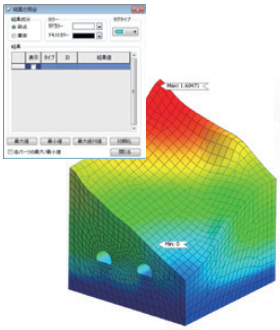


共有面の確認

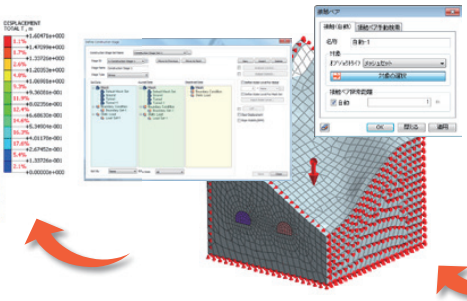
自動 メッシュ 生成



高品質のハイブリッドメッシュ生成



結果検討



解析条件の定義、高性能解析

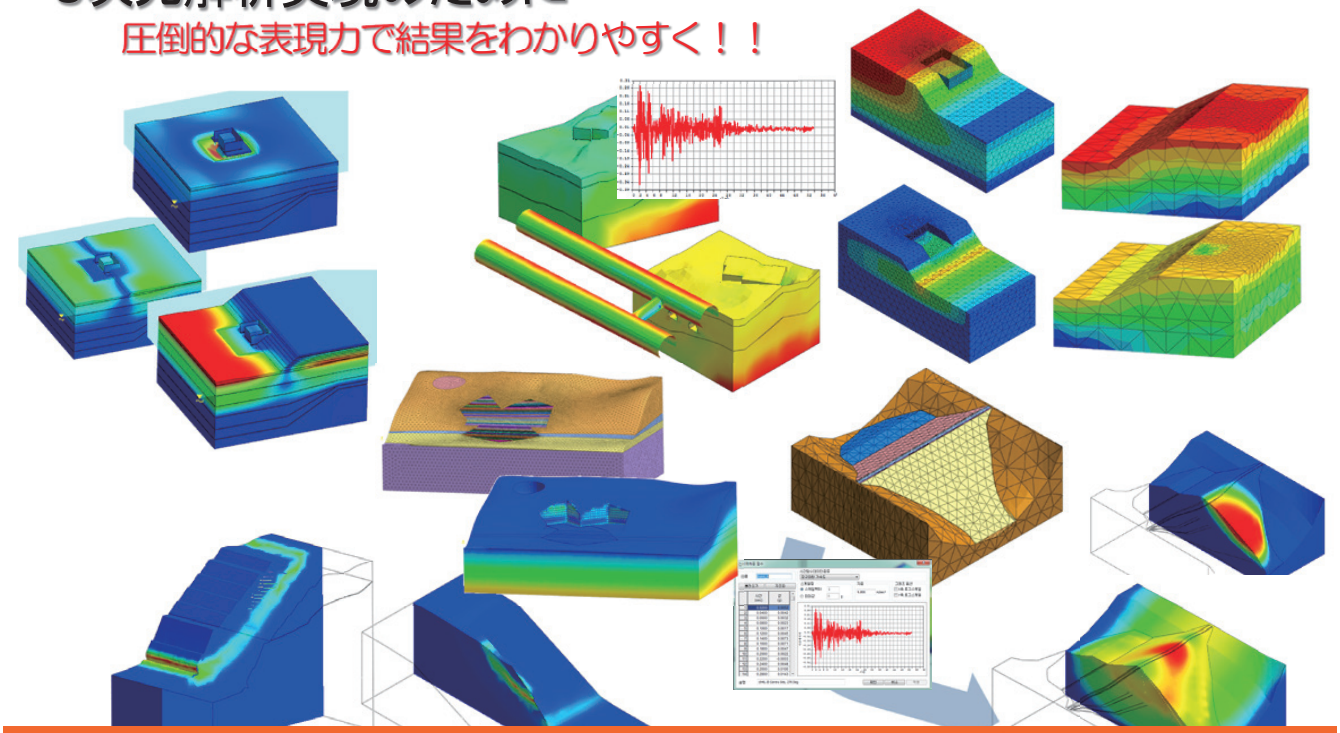
MIDAS Information Technology Co., Ltd.

Experience the Change, Change the Experience!

GTS NX

3次元解析実現のために

圧倒的な表現力で結果をわかりやすく！！



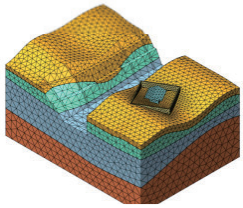
3次元空間での結果を多彩な機能で可視化！！

MIDAS Information Technology Co., Ltd.

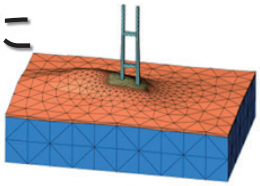
Experience the Change, Change the Experience!

GTS NX

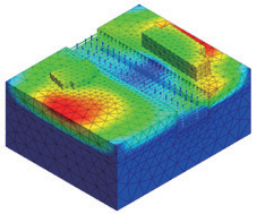
3次元解析実現のために



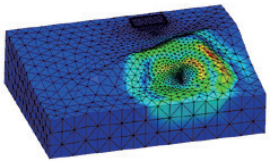
- 斜面安定(SRM)
- 斜面安定(SAM)
- 施工段階 斜面安定(SRM/SAM)



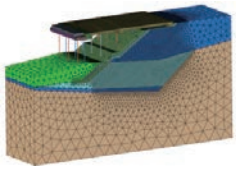
- 線形 静解析
- 非線形 静解析



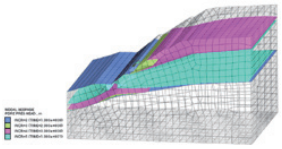
- 応力(排水/非排水)解析
- **応力-浸透流-斜面安定連携**
- 段階別 圧密解析
- **応力-浸透流完全連成**



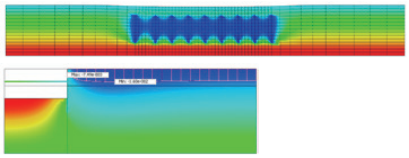
- 固有値/応答スペクトル
- 線形時間履歴(モード/直接法)
- 非線形時間履歴解析
- 等価線形(Shake/Flushコード)
- 非線形時刻歴+SRM連携



- 圧密解析(関口・大田モデル)
- **応力-浸透流の完全連成解析**



- 定常流解析
- 非定常流解析(UNSAF手法)



MIDAS Information Technology Co., Ltd.

Experience the Change, Change the Experience!

19種類の多様な実務材料モデル提供

Elastic	線形 弾性モデル	地盤, 構造, インターフェース, 杭要素
Mohr-Coulomb	弾完全塑性モデル	大部分の地盤
修正Mohr-Coulomb	非線形弾性/塑性モデル	シルト/砂地盤に特化したモデル
Drucker-Prager	弾完全塑性モデル	Extended von Mises
von Mises	完全塑性モデル	地盤, 構造 両方考慮可能
Tresca	完全塑性モデル	非排水挙動に主に適用
Nonlinear Elastic	非線形弾性モデル	トラス/埋込 トラス, 弾性リンク
Transversely Isotropic	横等方性モデル	Joint岩盤をモデル化
双曲線 (Duncan-Chang)	非線形弾性モデル	双曲線モデル
Hoek-Brown	弾性 完全-塑性モデル	岩盤挙動模擬(一軸圧縮強度定義可能)
Jointed Rock	横等方性 完全塑性モデル	脆性破壊面模擬
修正 Cam-Clay	弾性塑性 硬化モデル	粘土をモデル化
Strain Softening	ひずみ軟化化モデル	３つのひずみ区間で定義可能
Jardine	完全塑性モデル	主に粘土をモデル化
D-min (電中研モデル)	線形弾性モデル	主に岩盤をモデル化
User Supplied Material	ユーザー定義モデル(Fortran)	
Rankine / Inverse Rankine		引張専用挙動 (ｼﾞｵｸﾞﾘｯﾄﾞ要素)
Coulomb Friction		インターフェース要素挙動
Janssen	非線形弾性モデル	シェールインターフェース

Experience the Change, Change the Experience!

御清聴ありがとうございました！

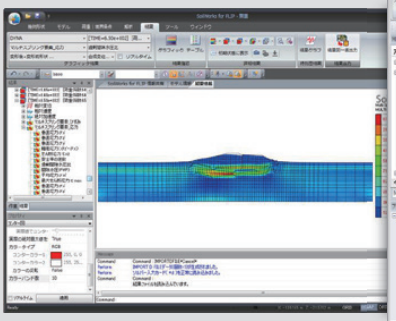
MIDAS Information Technology Co., Ltd.

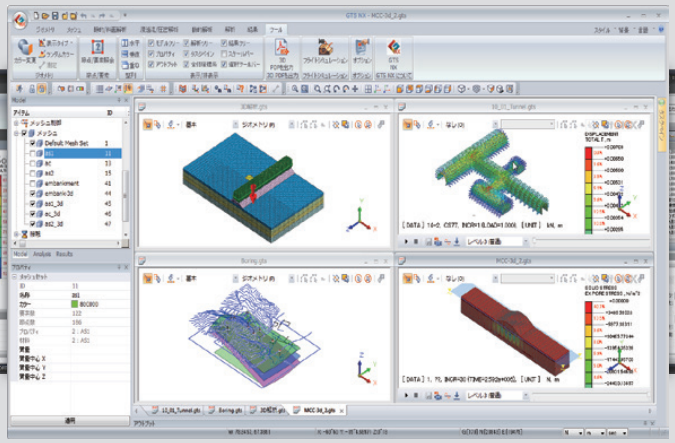
MIDAS

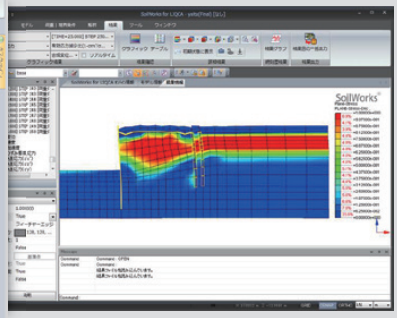
株式会社マイダスアイティジャパン

MIDAS Total Solution

建設分野プログラム







SoilWorks for FLIP

FLIP専用のプリ・ポスト

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

GTS NX

GTS NX - 地盤分野汎用解析システム

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

SoilWorks for LIQCA

LIQCA専用のプリ・ポスト

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

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

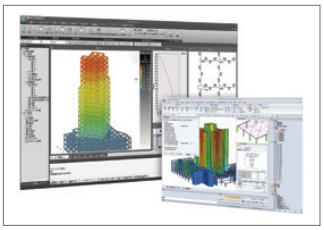
MIDAS Family Programs

MIDAS 製品紹介

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

建築

Building Engineering



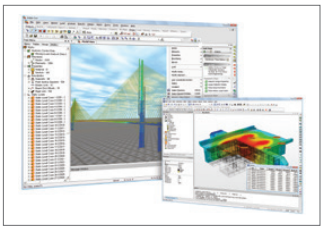
midas iGen
建築分野の
汎用構造解析および
許容応力度計算

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

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

土木

Bridge Engineering

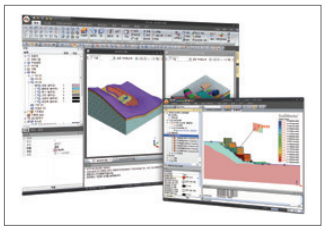


midas Civil
土木分野の
汎用構造解析および
最適設計システム

midas FEA
建設分野の
非線形解析および
詳細解析システム

地盤

Geotechnical Engineering



SoilWorks
2次元地盤汎用解析/設計
プログラム

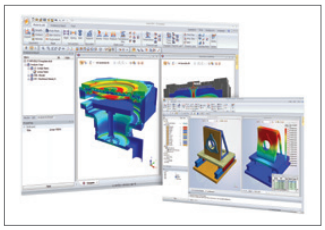
SoilWorks for FLIP
液状化解析プログラム
FLIP用のプリ・ポスト

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

GTS NX
２次・3次元地盤汎用解析
プログラム

機械

Mechanical Engineering



midas NFX
機械分野の
汎用構造解析システム

midas FX+
有限要素解析汎用の
プリ・ポスト処理プログラム

MIDAS
トンネル
開削分野

Change is Chance

株式会社マイダスアイティジャパン
〒101-0021 東京都千代田区外神田5-3-1 秋葉原OSビル7F
TEL 03-5817-0787 | FAX 03-5817-0784 | e-mail g.support@midasit.com
Copyright© Since 1989 MIDAS Information Technology Co., Ltd. All rights reserved.

http://jp.midasuser.com/geotech