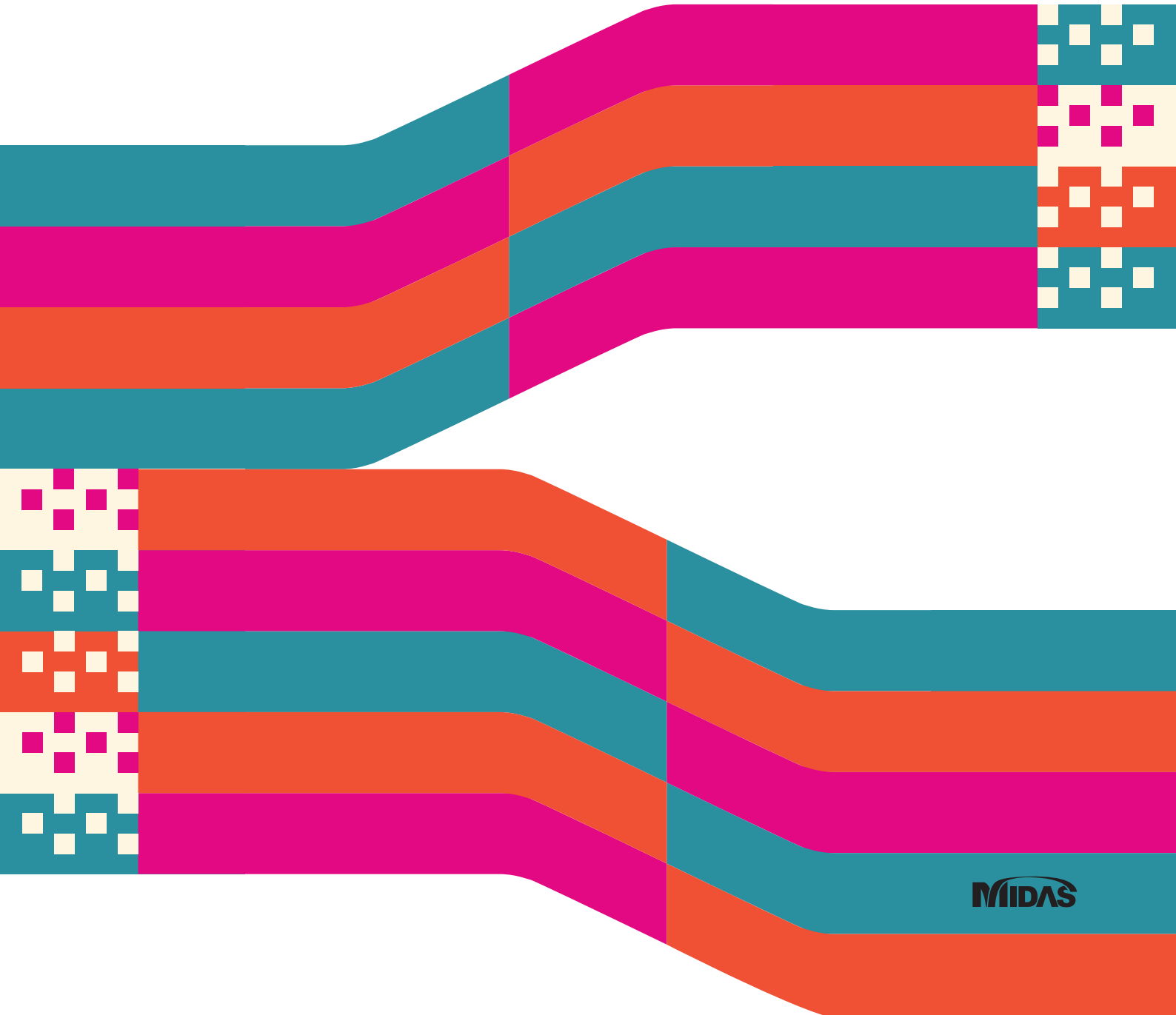
FEA NX

汎用線形、非線形地盤 / 構造解析・詳細解析

ADVANCED ANALYSIS FOR LOCALIZED ZONES IN
BRIDGE AND BUILDING STRUCTURES



CONTENTS

01 FEA NX 特徴

1. フレームから詳細モデル化
2. FEA NX 開発背景
3. CADインタフェース(データ交換性)
4. Google earth から地表面作成例
5. FEA NX 概要 – 最先端Pre・Post機能
6. FEM → CIM活用例
7. 建設分野における提供価値
8. 建設分野におけるすべての解析機能搭載
9. FEA NX 活用例
10. 3D PDF 出力

02 構造＋地盤事例

1. 覆工コンクリートの耐震性能評価
2. コンクリートダムの時刻歴応答解析
3. 地下鉄ボックス解析の時刻歴応答解析
4. 橋台(全応力)の時刻歴 非線形応答解析
5. 建物(全応力)の時刻歴 応答解析

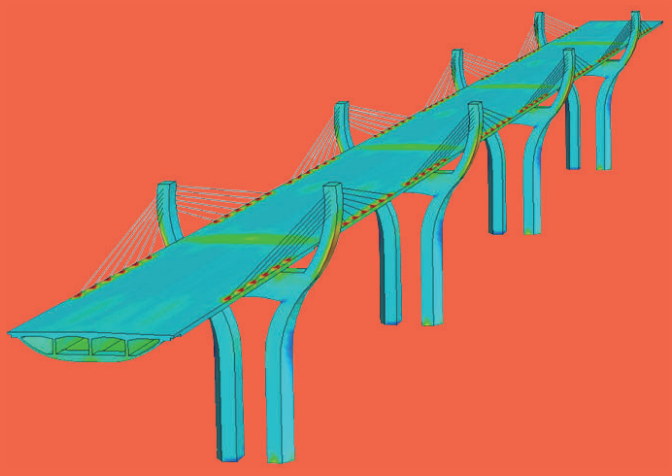
03 構造事例

1. 鋼構造座屈解析事例
2. 幾何非線形性(接触解析)
3. 組積壁(レンガ)の挙動解析
4. 座屈拘束ブレース
5. RC単純梁3次元非線形解析
6. 単純梁3次元非線形解析
7. 組積造の古建築の非線形解析モデル
8. 鋼構造耐火解析事例(鋼構造耐火設計指針)
9. マスコンの温度応力解析
10. 解析事例(上下水道耐震設計)

04 地盤事例

1. 3次元FEM解析(トンネル掘削問題)
2. 地盤の拘束依存性を考慮した群杭の検討
3. 避難連絡坑を考慮したトンネル3次元解析モデル
4. 開削と近接施工工事
5. 盛土の近接施工問題(3次元圧密解析)
6. 堤防の3次元浸透流解析
7. 降雨浸透による斜面安定性評価における2次元解析と3次元解析の比較検討
8. 真空圧密解析
9. 幾何非線形を考慮した圧密解析
10. 地下水位低下による圧密解析

01 FEA NX
製品の特徴



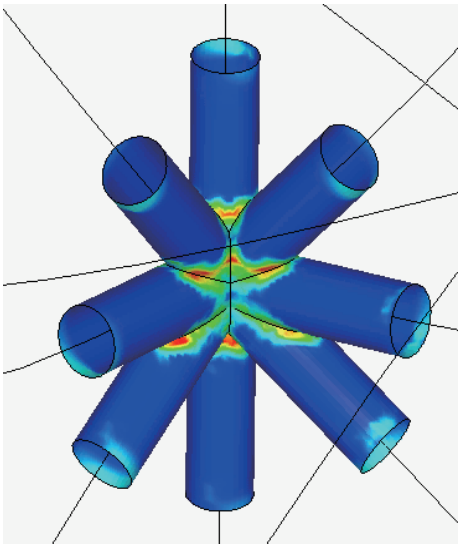
01 FEANX 製品の特徴

1 フレームから詳細モデル化
2 FEA NX 開発背景
3 CADインタフェース(データ交換性)
4 Google earth から地表面作成例
5 FEA NX 概要 – 最先端Pre・Post機能
6 FEM → CIM活用例
7 建設分野における提供価値
8 建設分野におけるすべての解析機能搭載
9 FEA NX 活用例
10 3D PDF 出力

1 フレームから詳細モデル化

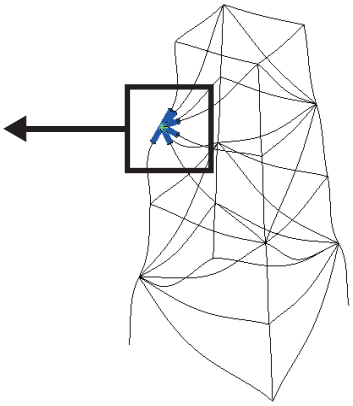
フレーム ➡ シェル・ソリッドウィザード

FEA NX

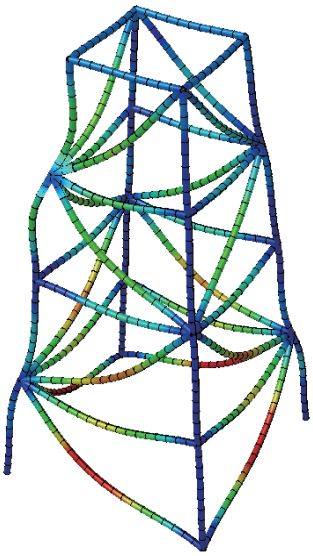


ジャケットの応力分布

midas iGen I midas Civil



MGT,MCT,MXT
テキスト形式

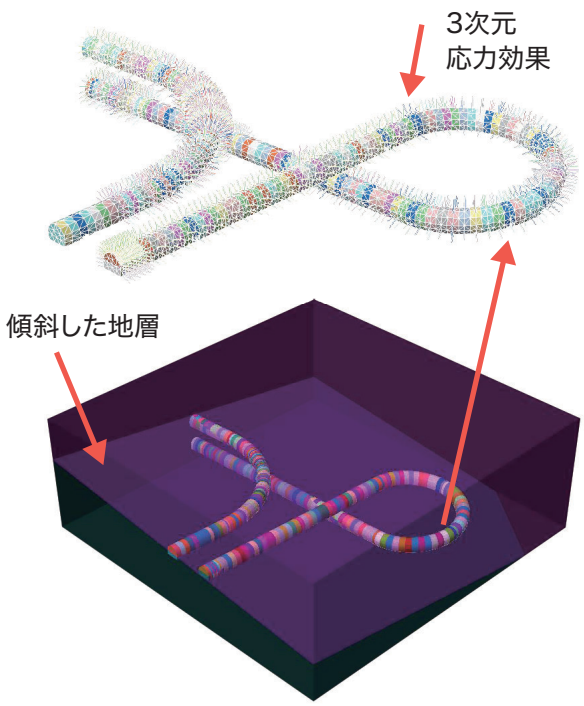


円筒ジャケットから構成される
海上作業台船の鋼製骨組み (板 + フレーム)

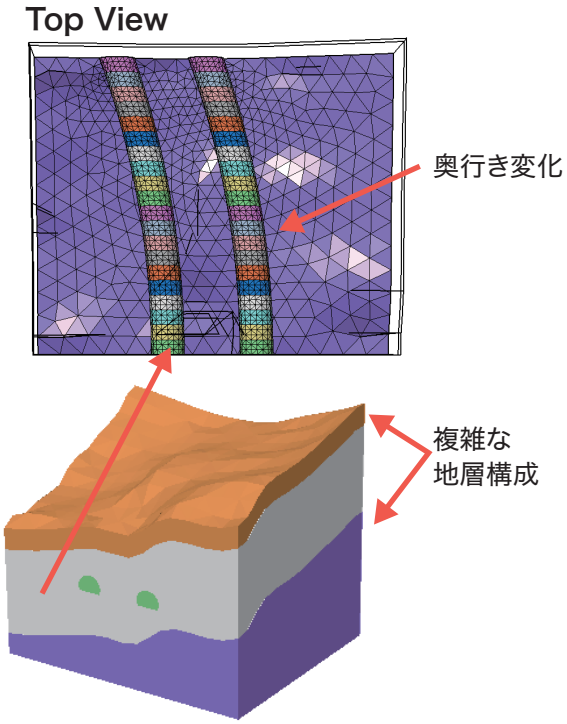
2 FEA NX 開発背景 I

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



2 FEA NX 開発背景 II

過去は、ハードウェア・ソフトウェアのスペックが低い

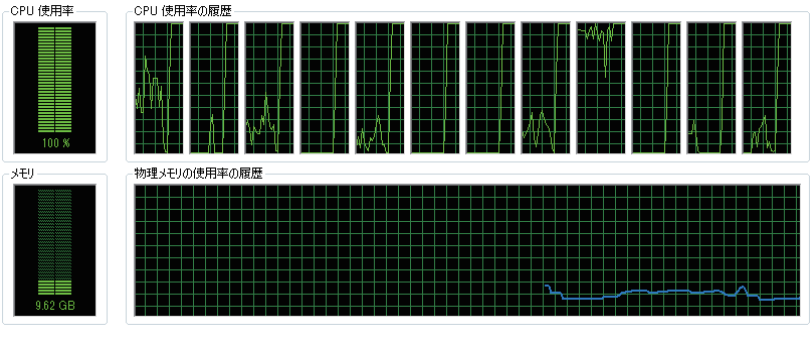
パソコン能力の進化

MultiCore

EM64T

GPU

最新技術の適用



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(無制限)
2. 施工段階数

＋

ソルバー
計算速度向上

3 CADインタフェース(データ交換性)

CIMとの連携

インポート(幾何形状)

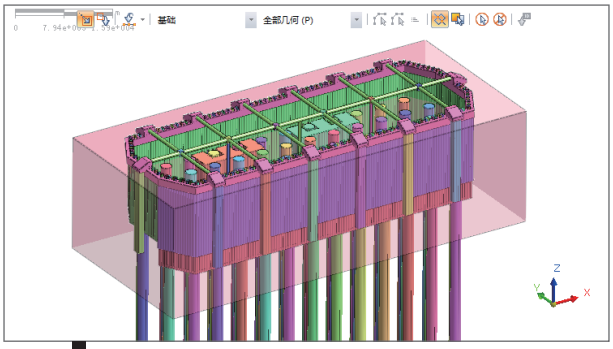
- AutoCAD
- Parasolid / ACIS / STEP
- IGES / Pro-E
- CATIA V4 / V5
- SolidWorks / Unigraphics
- Inventor Part / Inventor Assembly

エクスポート(幾何形状)

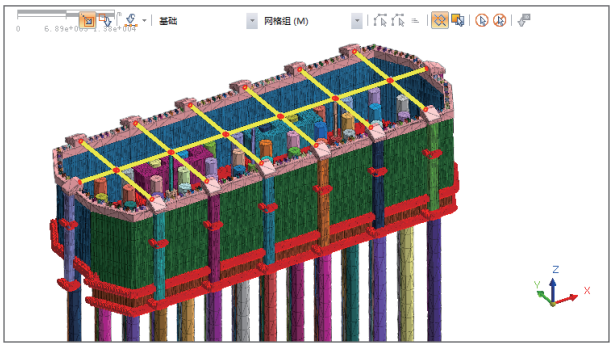
- Parasolid
- STL

CADデータ交換の標準

- STEP
  (STandard for the Exchange of Product Model Data)
- IGES
  (Initial Graphics Exchange Specification)



CAD形状読み込み

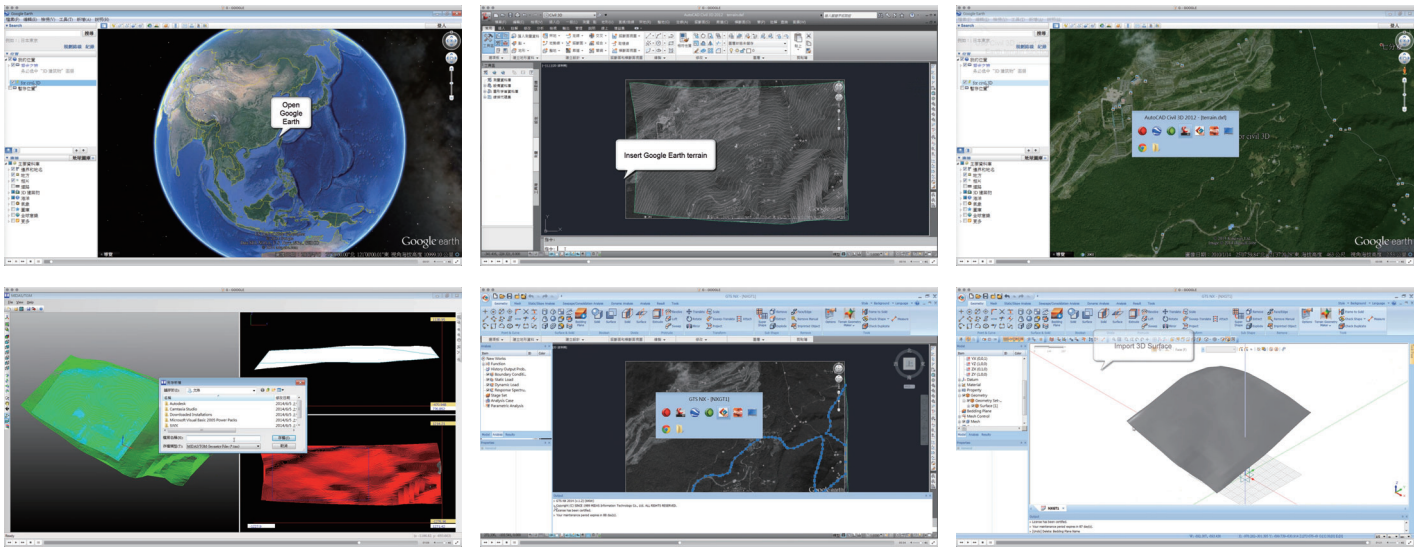


メッシュ生成

4 Google earth から地表面作成例

3D CAD製品とのデータ互換

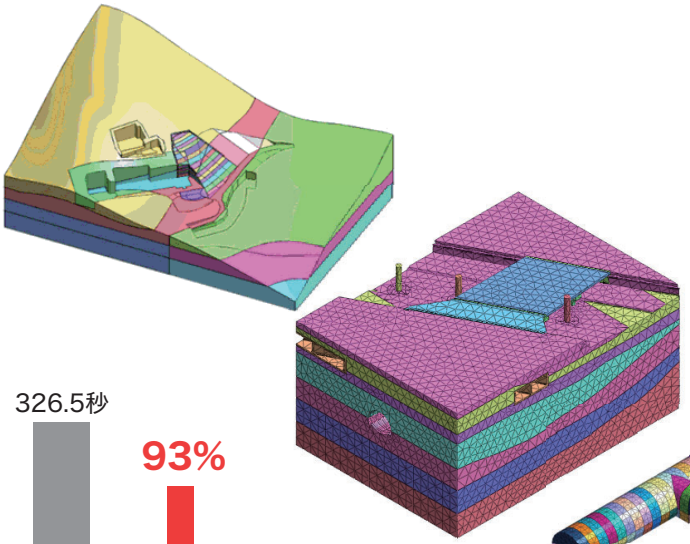
- Parasolidカーネルの採用で、3D形状を直接インポート/作成/編集
- AutoCAD Civil 3Dから地表面形状作成

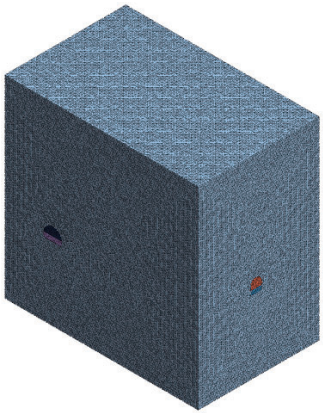


3D CAD製品とのデータ互換

5 FEA NX 概要 – 最先端Pre･Post機能 I

メッシュ生成 – 並列処理 + 64ビット





176秒

73%

39秒

FEA　FEA NX

ソリッド	142個
要素	195万個
節点	34万個

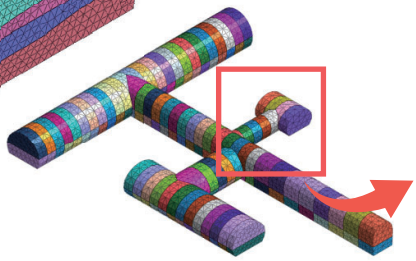
326.5秒

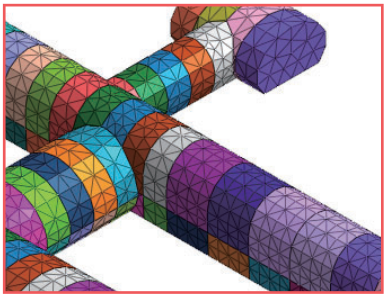
93%

21.7秒

FEA　FEA NX

ソリッド	62個
要素	11万個
節点	16万個

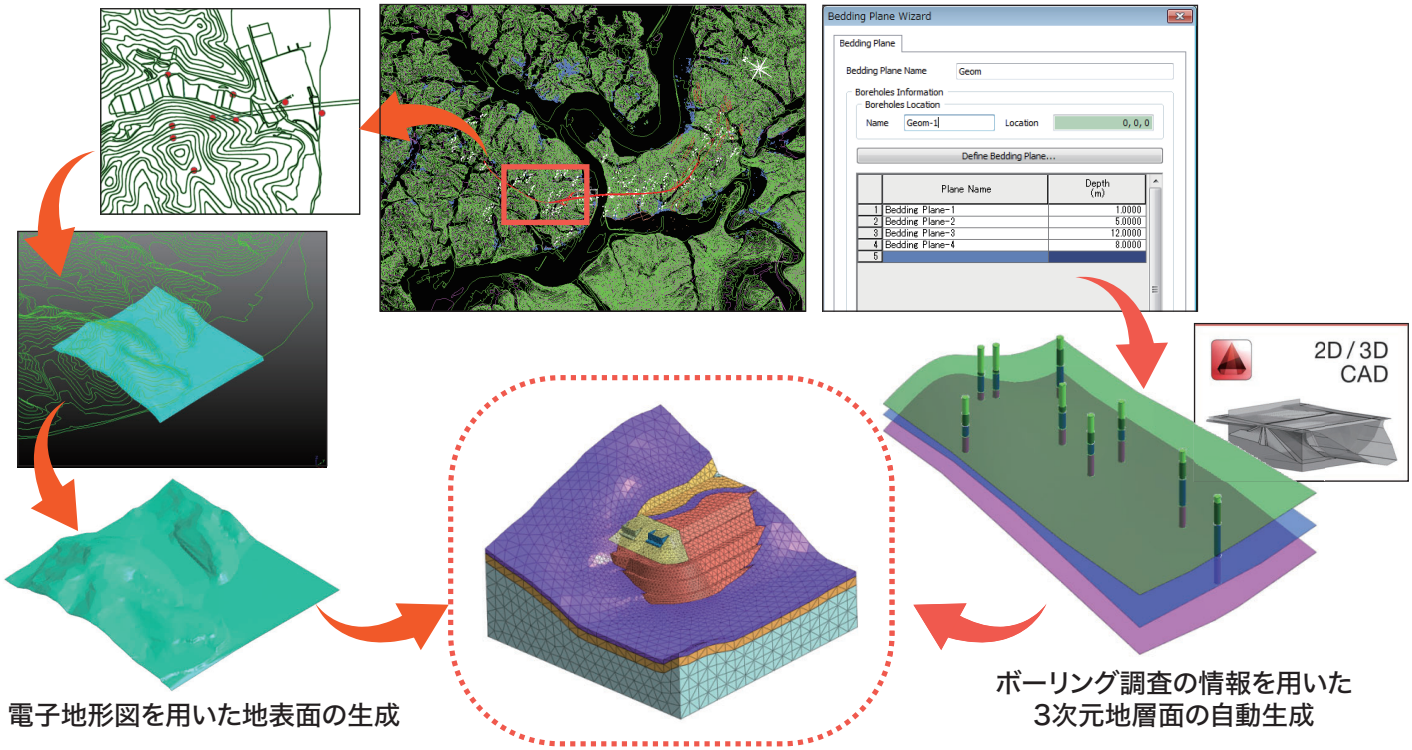




メッシュ生成の並列処理およびDB構造改善で生成時間を大幅に短縮

5 FEA NX 概要 – 最先端Pre・Post機能 II

地表面・地層境界面作成をより簡単に！！

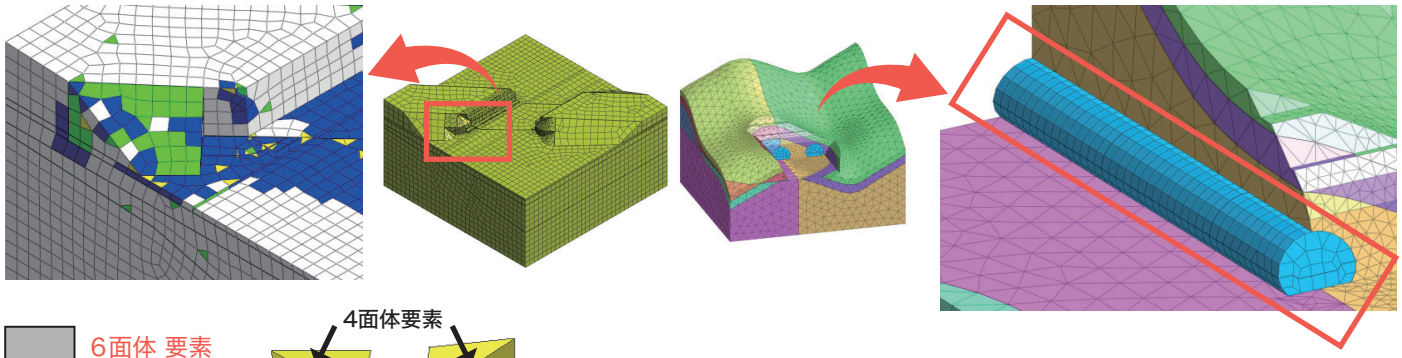


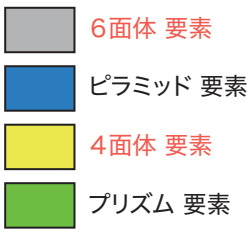
電子地形図を用いた地表面の生成

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

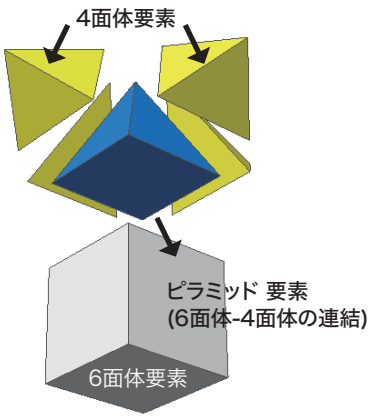
電子地形図を用いた3次元地表面の生成とボーリング調査を用いた地表面のウィザード生成

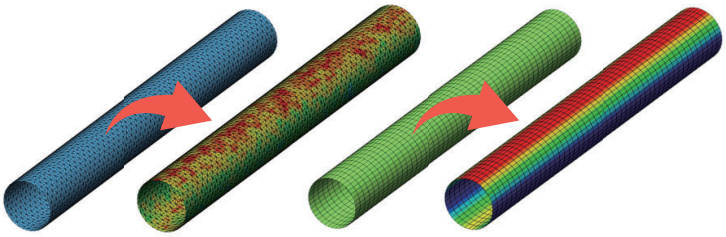
高品質メッシュで高精度な結果を！！





ハイブリッドメッシュの
メッシュ構成/分布





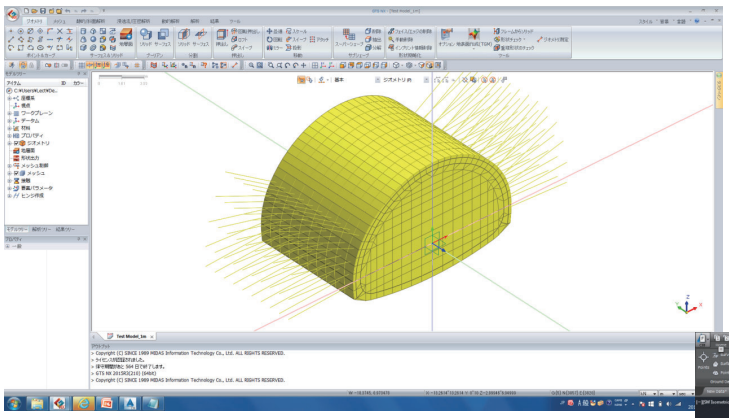
4面体メッシュ(3角形表面)　　ハイブリッドメッシュ(4角形表面)

※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)

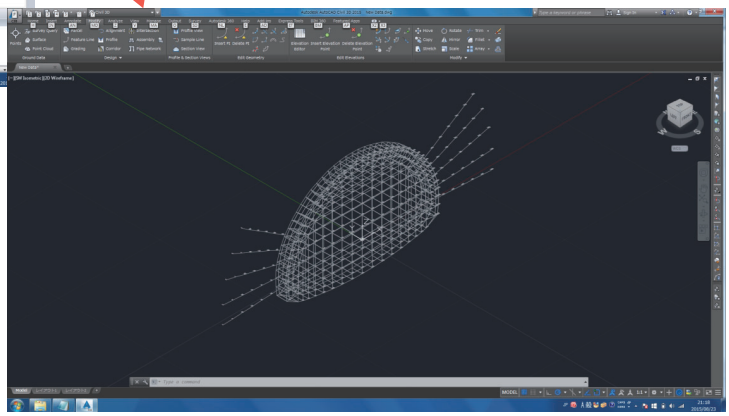
6 FEM → CIM活用例

ユーザー活用例 – FEA NXファイルとAutodesk Civil 3Dとのデータ連携



FEA NXの解析データ – トンネル形状

Civil 3Dの
コマンドバッチ機能を利用して
1m単位の形状を自動作成



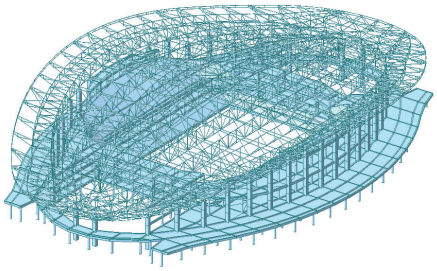
Autodesk Civil 3Dへ変換

引用:株式会社フジタ　池内 正明 より提供

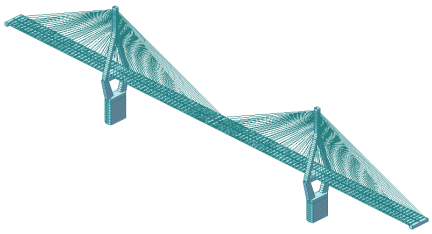
7 建設分野における提供価値

MIDASファミリープログラムとの互換:建築/橋梁構造と基礎/地盤の連携

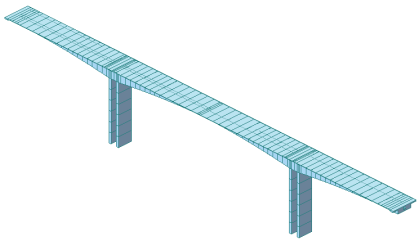
iGen ➡ FEA NX



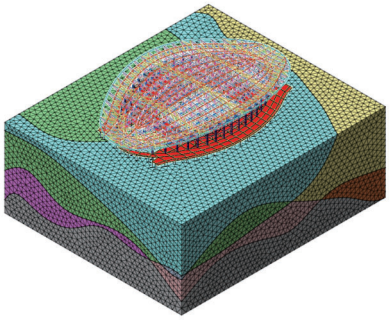
Civil ➡ FEA NX

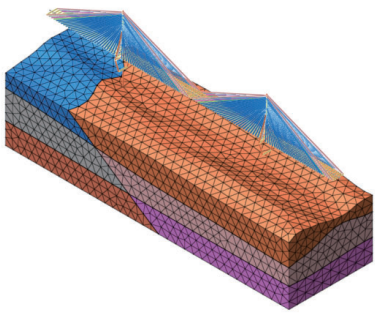


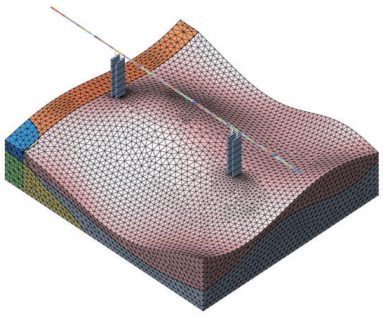
FEA NX ➡ Civil



地盤との連成解析実現







8 建設分野におけるすべての解析機能搭載

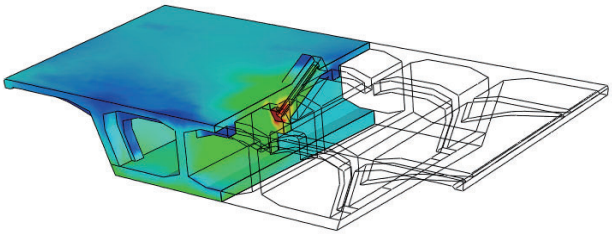
静的解析
施工段階解析(近接施工の影響検討)
補強解析

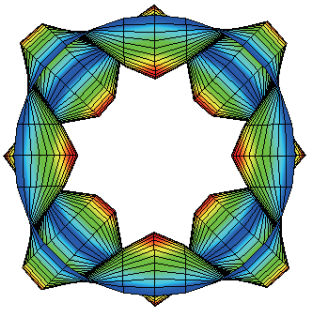
座屈解析
固有値解析
応答スペクトル解析
時間履歴解析(線形/非線形)

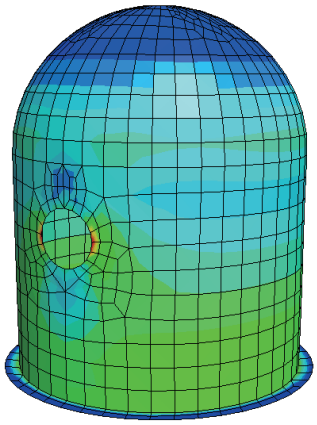
接触解析
インターフェイスの非線形解析
非線形解析(材料/幾何)
コンクリートひび割れ解析

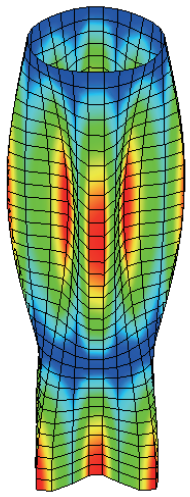
水和熱解析(マスコンの温度応力解析)
熱伝達解析

斜面安定性解析
浸透解析
圧密解析
土ー水連成解析(完全/準)
構造+地盤連成非線形動解析



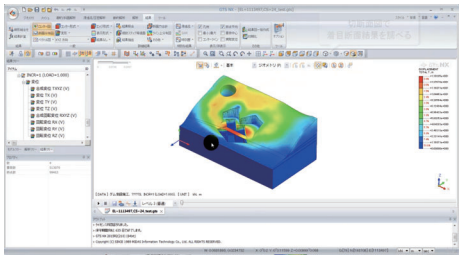


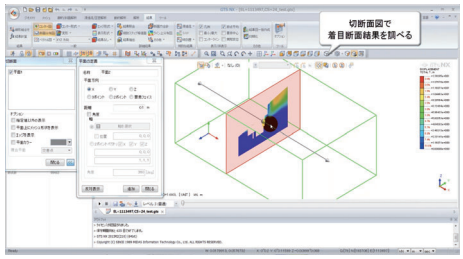


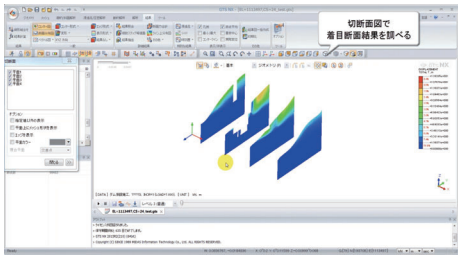


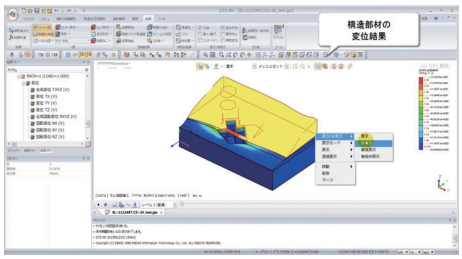
9 FEA NX 活用例 I

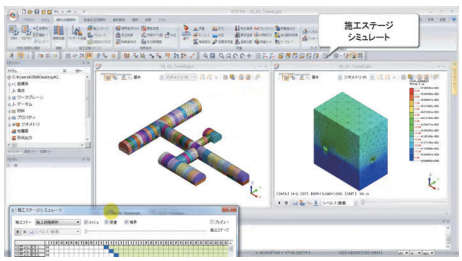
圧倒的な表現力で結果をわかりやすく!

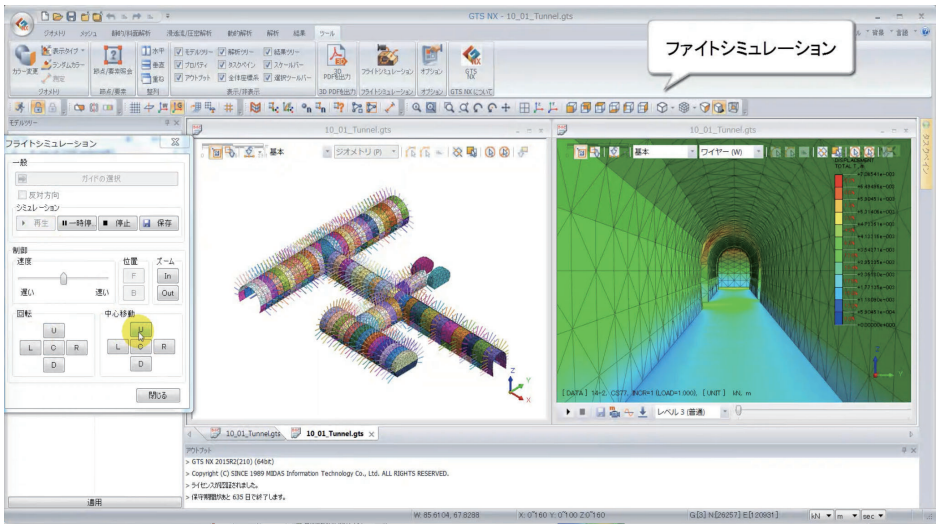






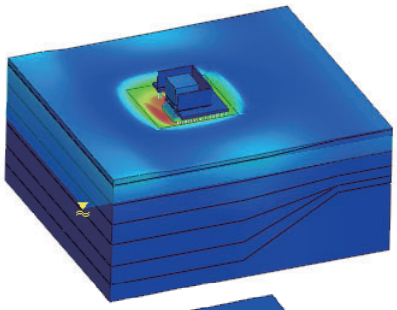
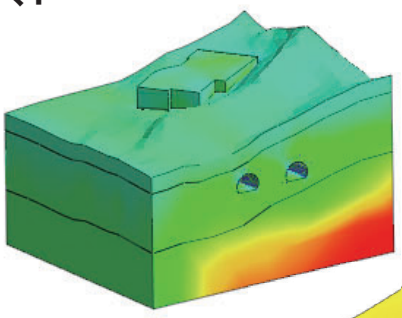
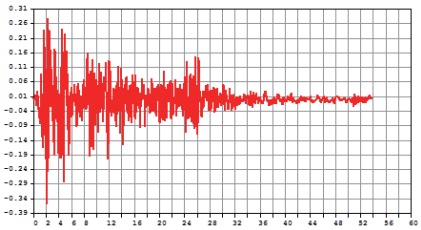
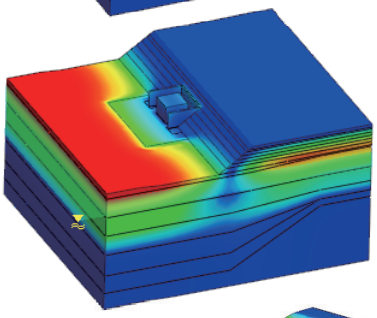
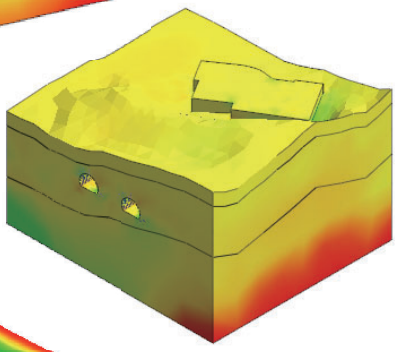
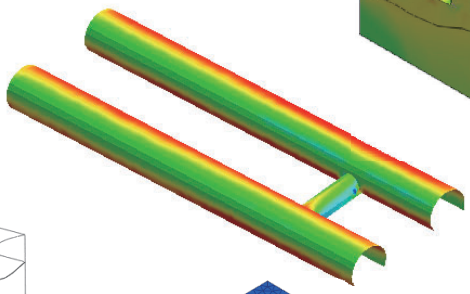
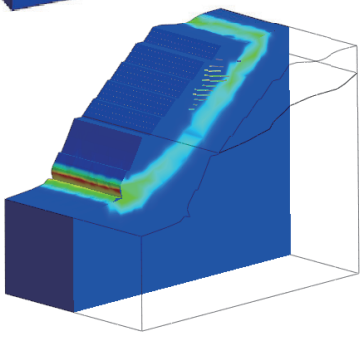
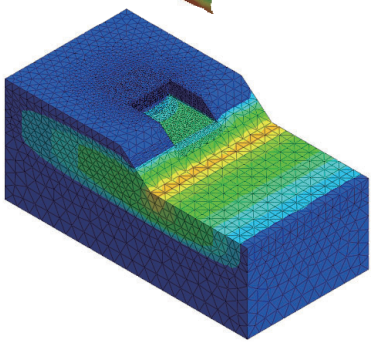
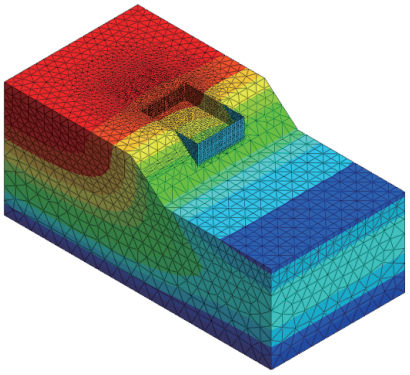
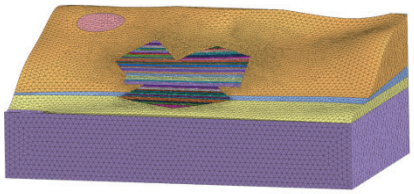
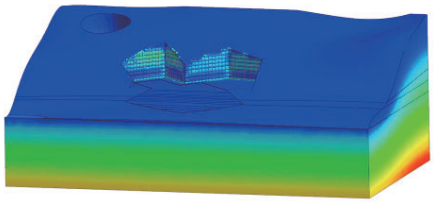
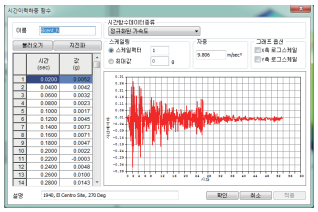
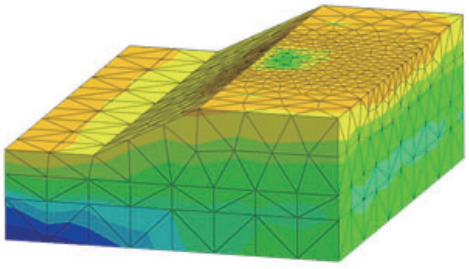
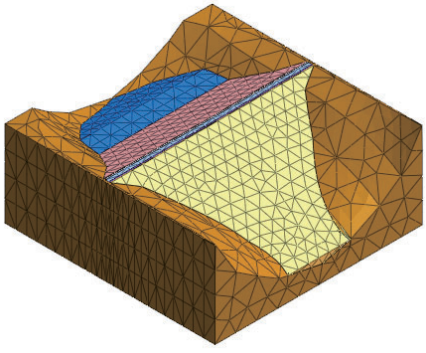
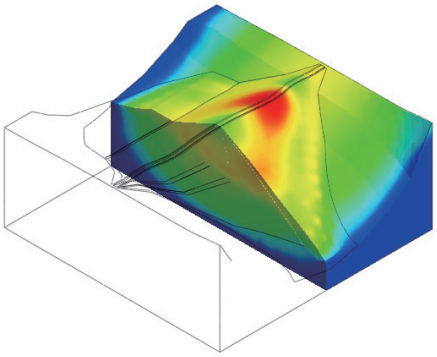
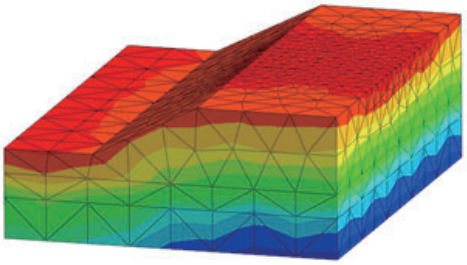






9 FEA NX 活用例 II

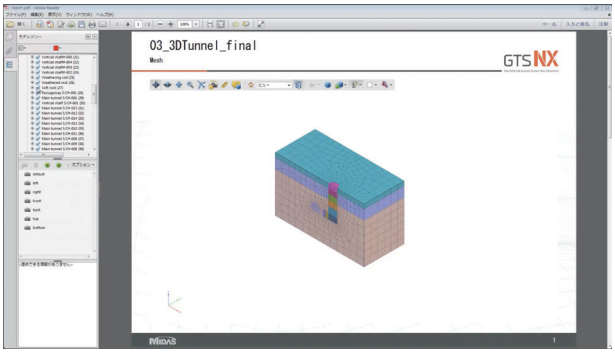
圧倒的な表現力で結果をわかりやすく！

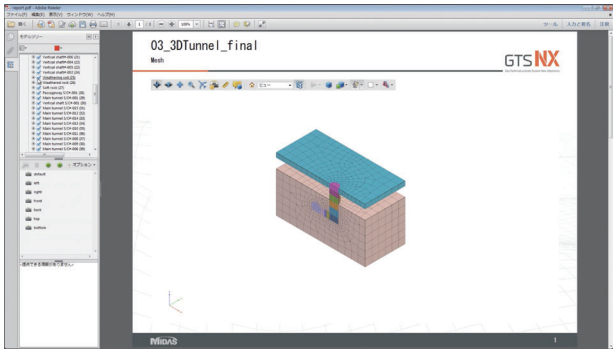

















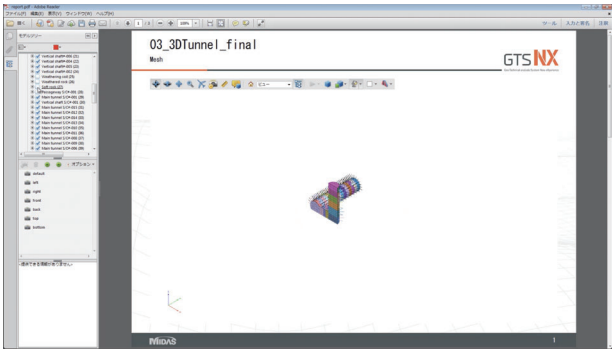
3次元空間での結果を多彩な機能で可視化！！

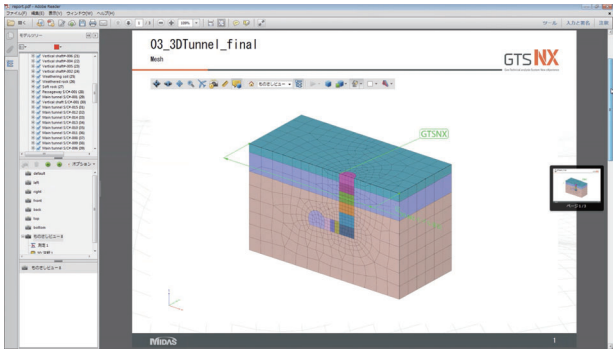
10 3D PDF 出力

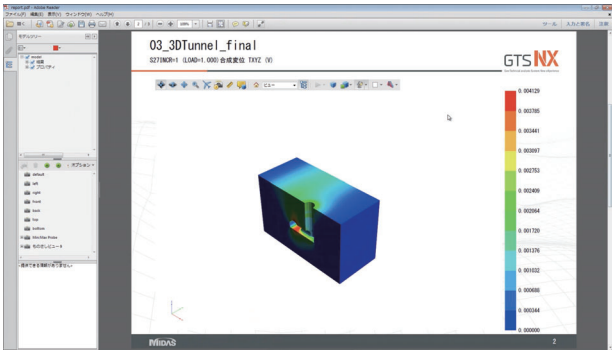
3D PDFで3次元モデル・結果を共有！！

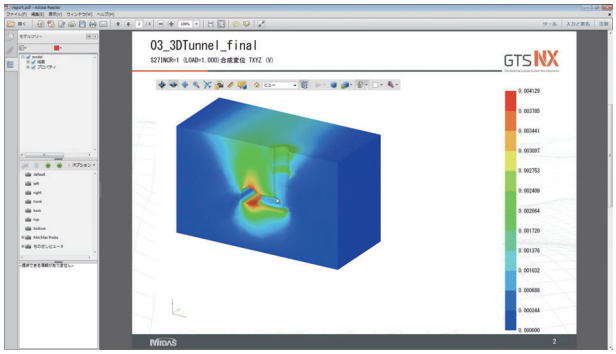


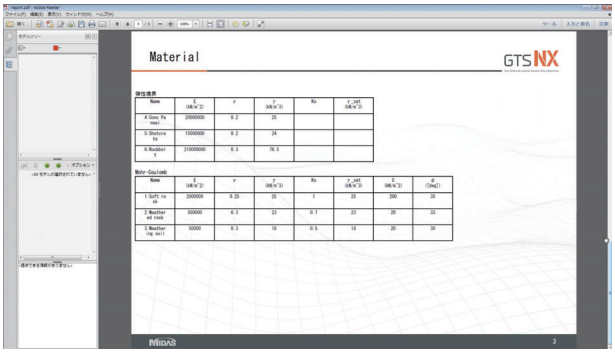


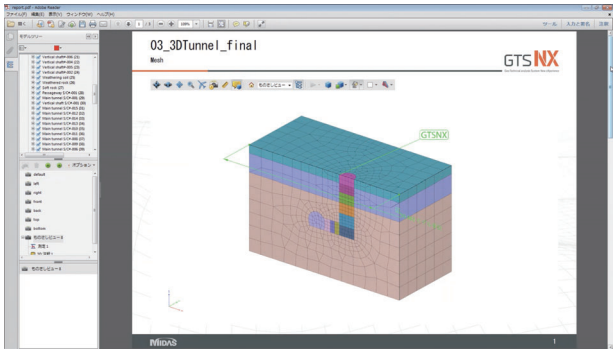


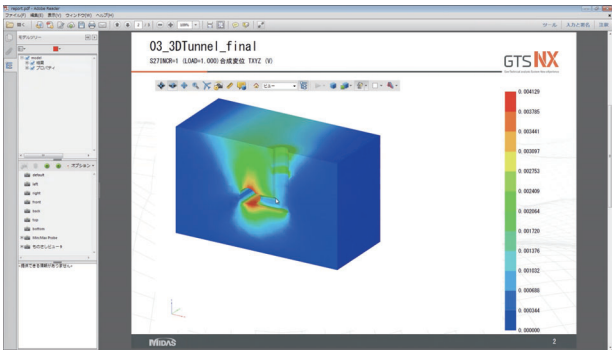


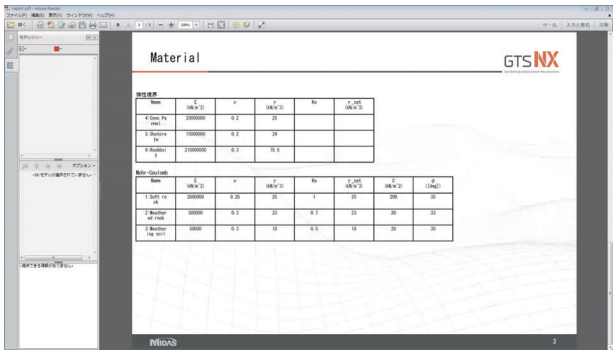






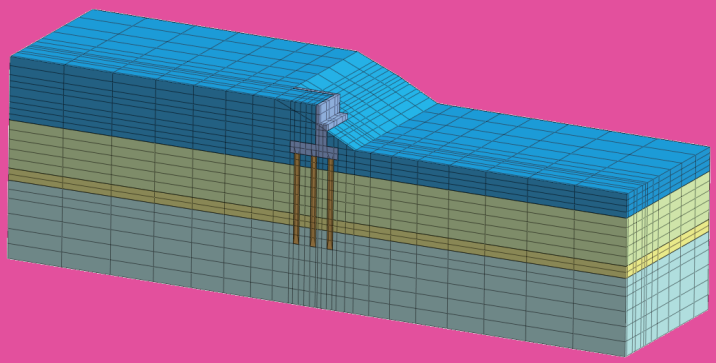






02

FEANX
構造＋地盤事例

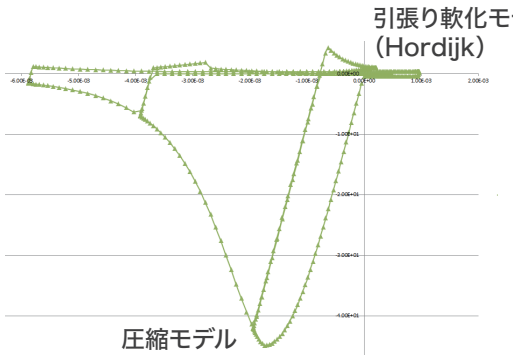


02 FEANX 構造＋地盤事例

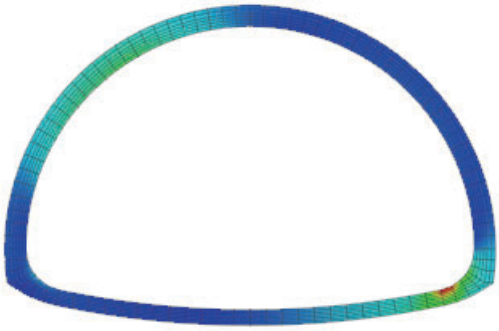
1 覆工コンクリートの耐震性能評価
2 コンクリートダムの時刻歴応答解析
3 地下鉄ボックス解析の時刻歴応答解析
4 橋台(全応力)の時刻歴非線形応答解析
5 建物(全応力)の時刻歴応答解析

1 覆工コンクリートの耐震性能評価

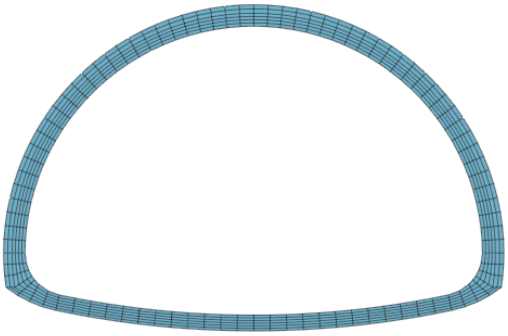
分散ひび割れモデルでひび割れ発生有無の評価ができる



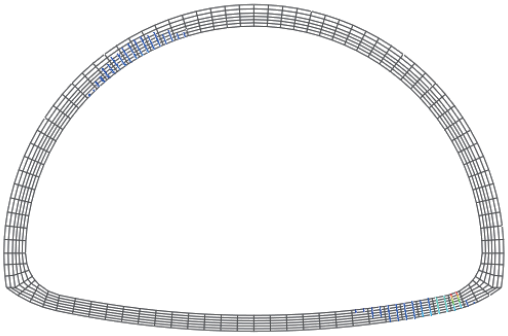
コンクリート材料モデル



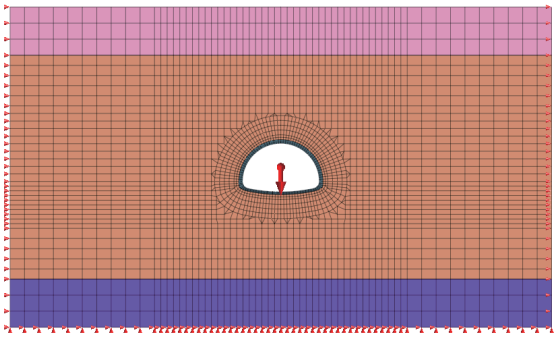
引張ひずみコンター図



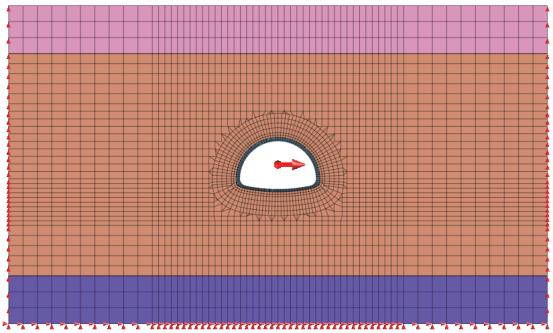
覆工コンクリートモデル図



ひび割れ発生状況

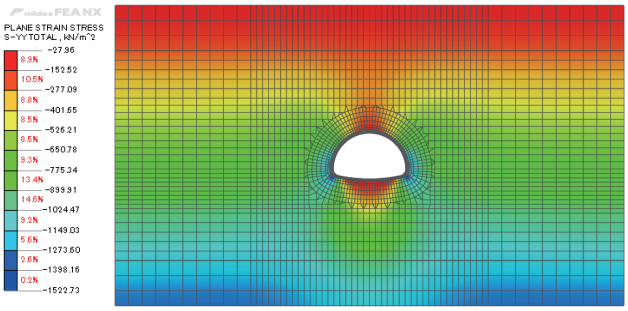


常時

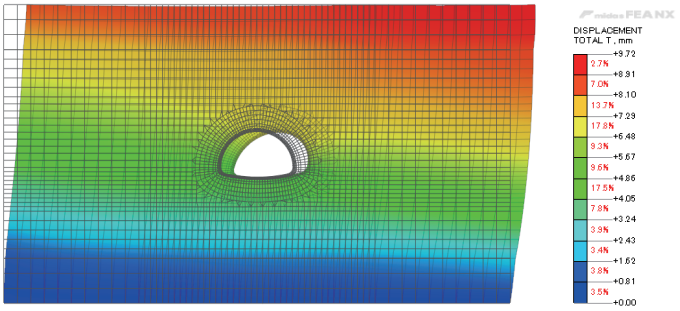


地震時

対応方法
1.応答変位法
2.応答震度法
3.地震応答解析



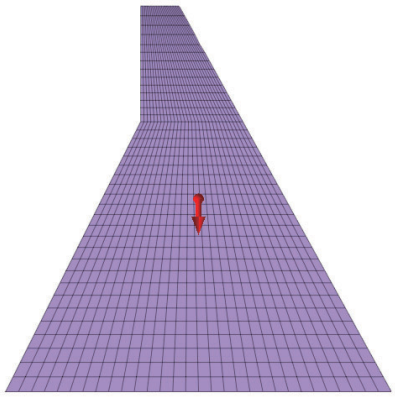
常時



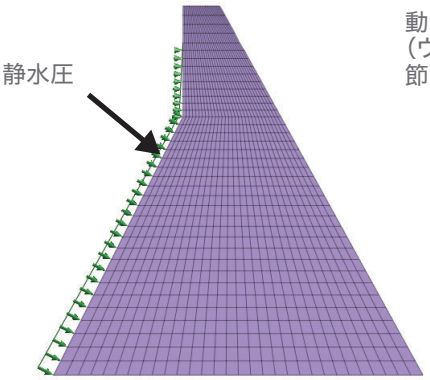
地震時

2 コンクリートダムの時刻歴応答解析

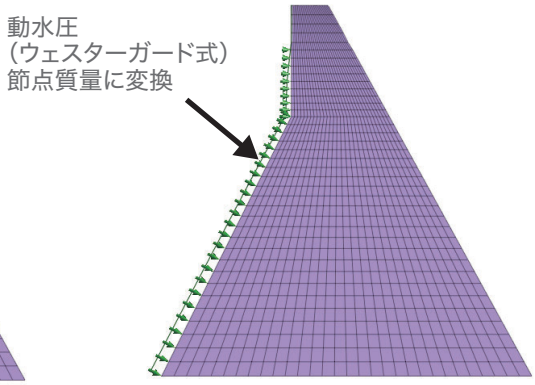
コンクリートダムの時刻歴応答解析



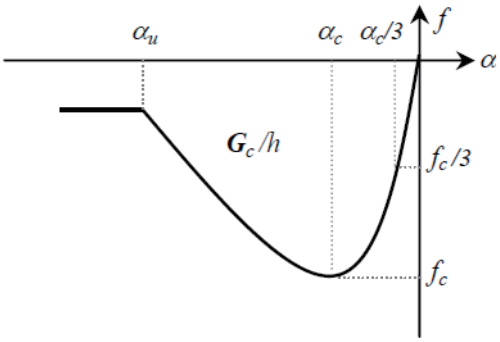
①自重



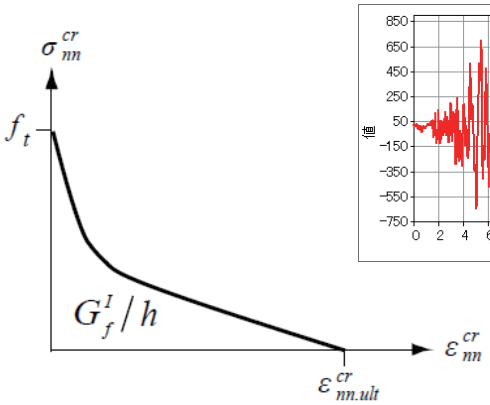
②静水圧



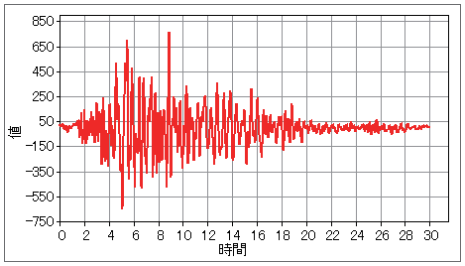
③地震時



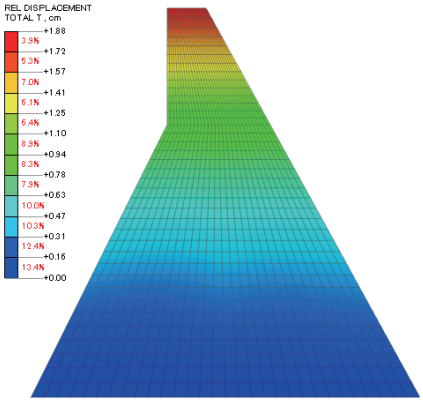
圧縮モデル（放物線）



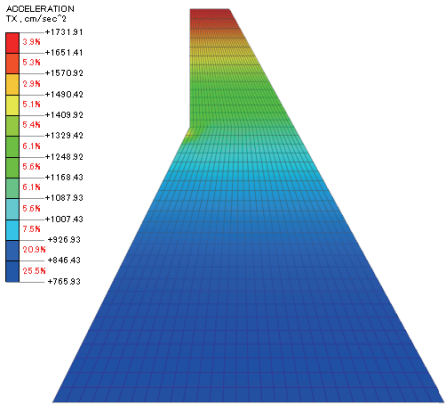
引張り軟化モデル（Hordijk）



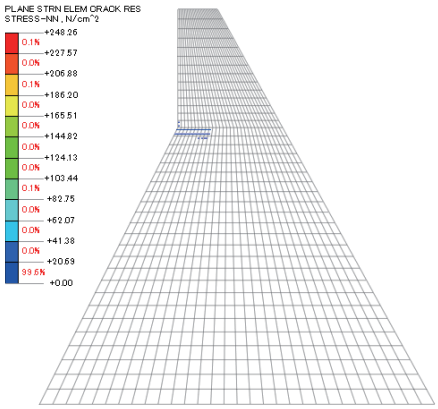
入力加速度



変位コンター図

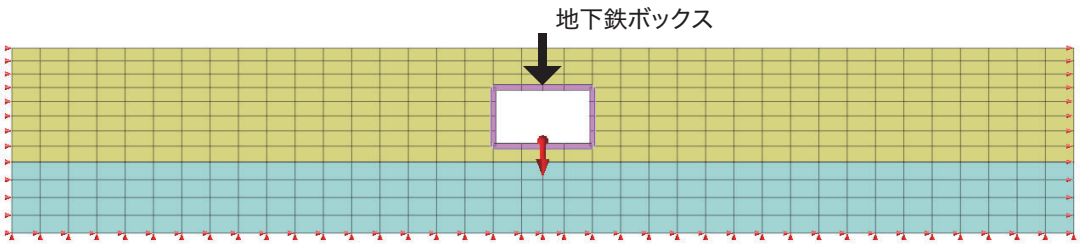


加速度コンター図



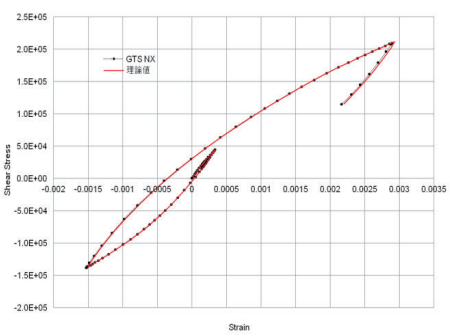
ひび割れ図

3 地下鉄ボックス解析の時刻歴応答解析



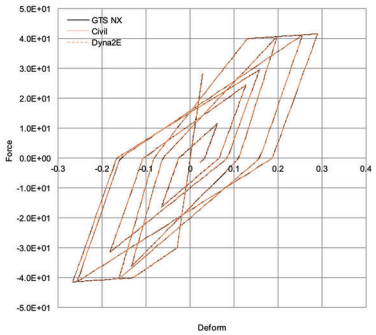
解析モデル図

修正Ramberg-Osgood（Masing rule）

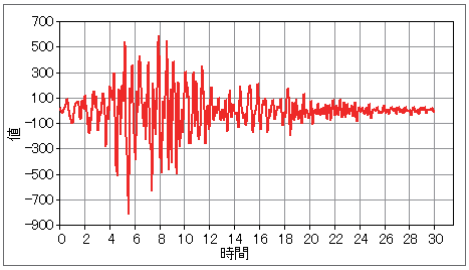


せん断応力ーせん断ひずみ関係

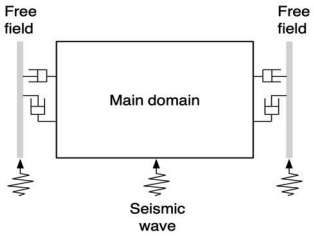
修正武田モデル



Mーφ関係



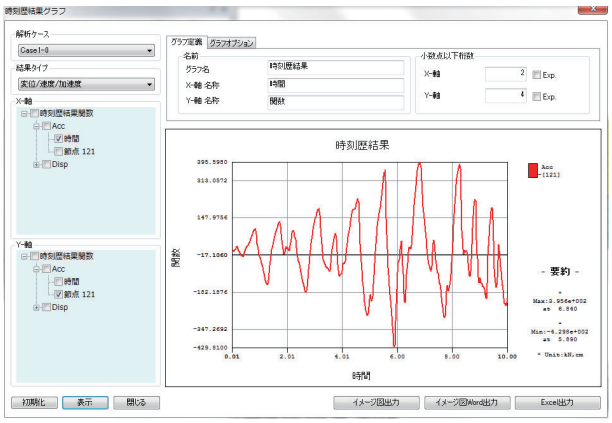
入力加速度



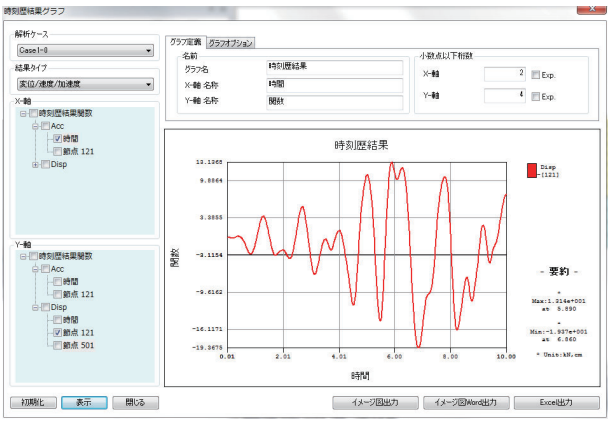
$$t_n = -\rho C_p \left(v_n^m - v_n^{ff} \right)$$

$$t_s = -\rho C_s \left(v_s^m - v_s^{ff} \right)$$

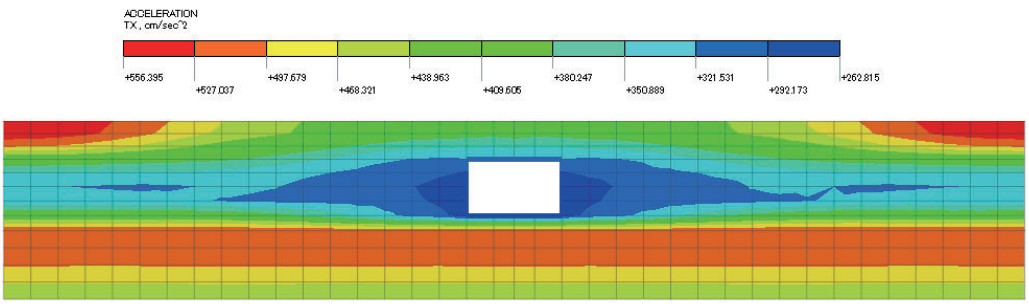
粘性境界要素



時刻歴加速度結果

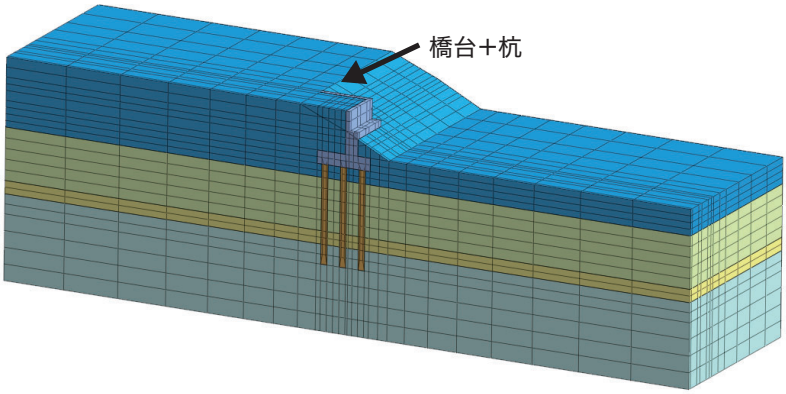


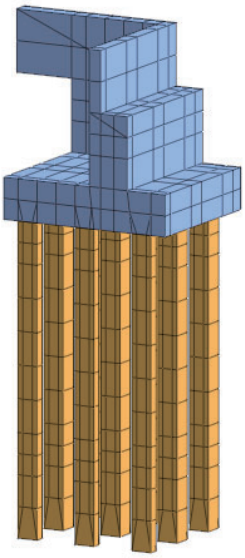
時刻歴変位結果



応答加速度結果コンター図

4 橋台(全応力)の時刻歴 非線形応答解析 I

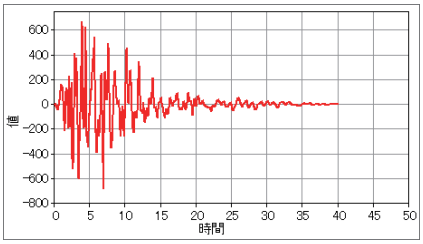




構造物拡大図

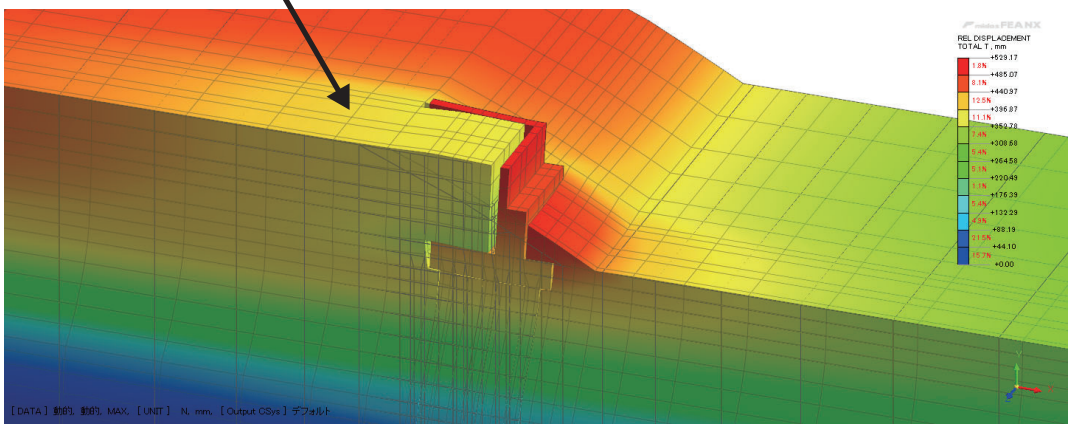
要素数 : 9699
節点数 : 9161
地震波 : 40sec, 4000step

解析時間 -
Joint あり : 36969.3sec(10時間)
Joint なし : 18059.3sec(5 時間)

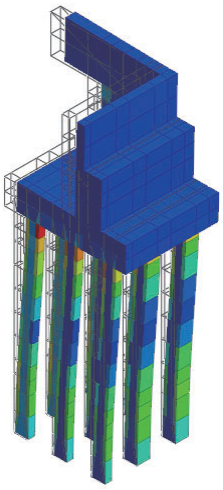


入力加速度

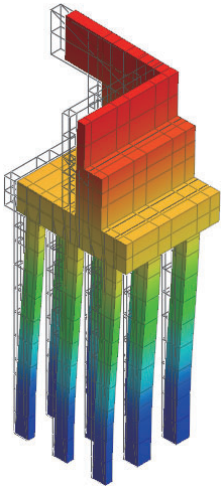
橋台と地盤の間にジョイント要素
構造物と地盤の離間を表現



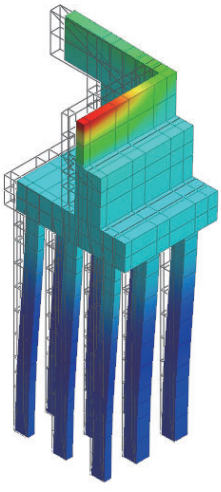
変位コンター図



引張応力コンター図

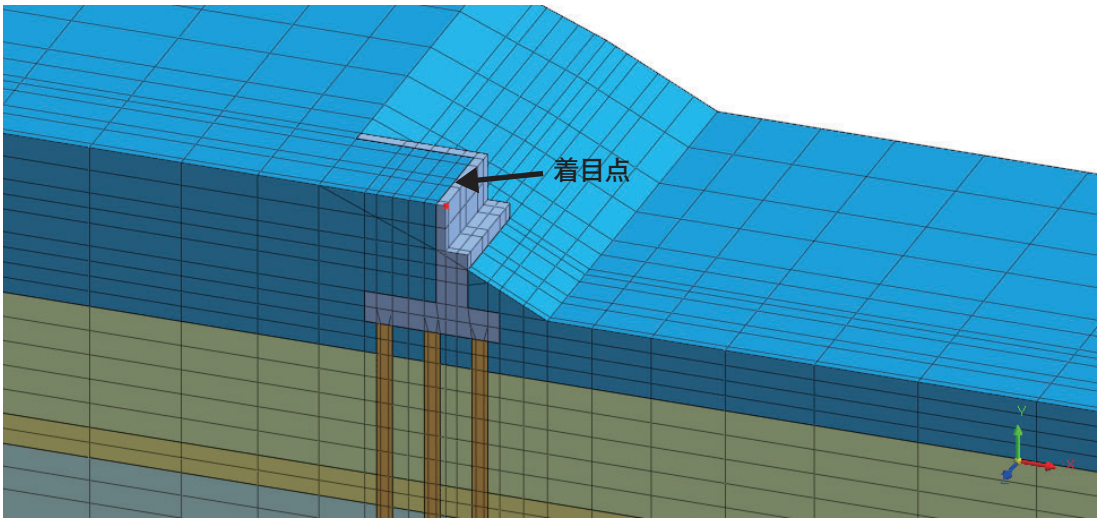


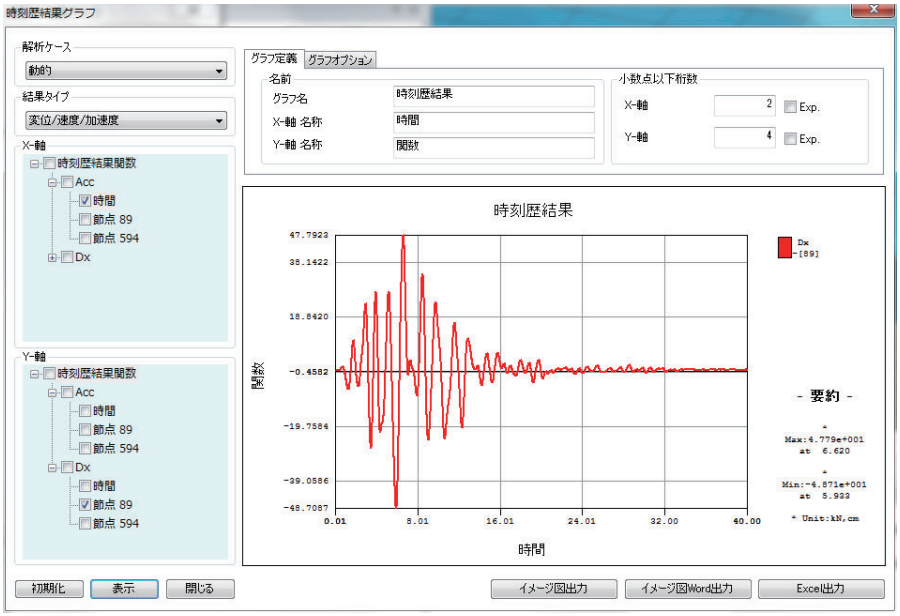
変位コンター図



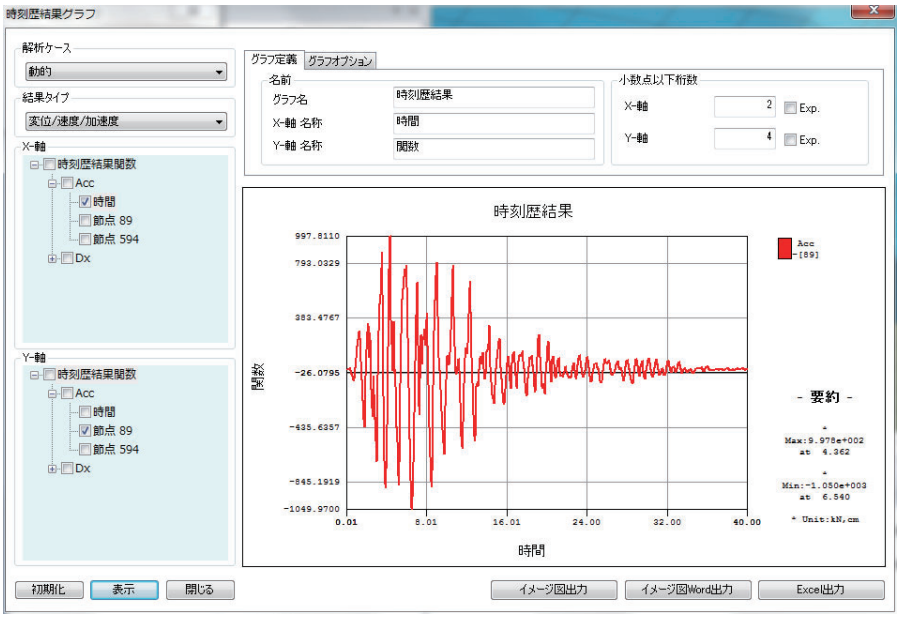
加速度コンター図

4 橋台(全応力)の時刻歴 非線形応答解析 II



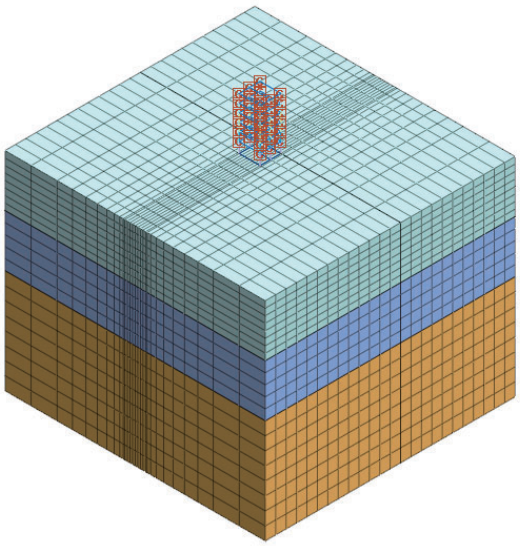


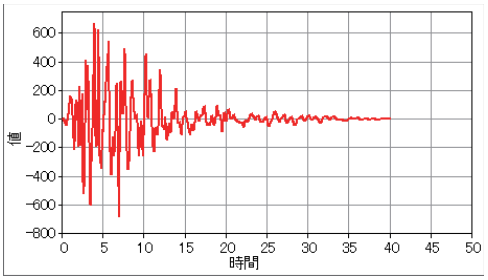
時刻歴加速度結果



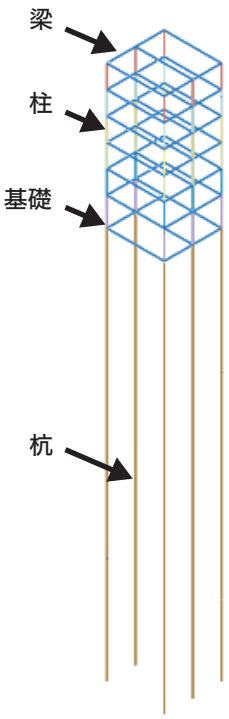
時刻歴変位結果

5 建物(全応力)の時刻歴応答解析





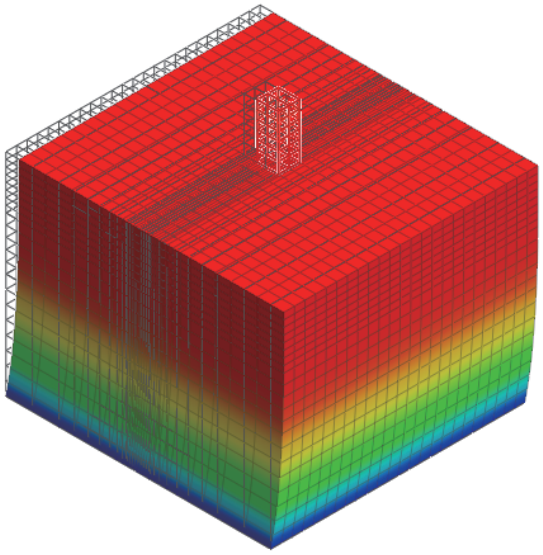
入力加速度



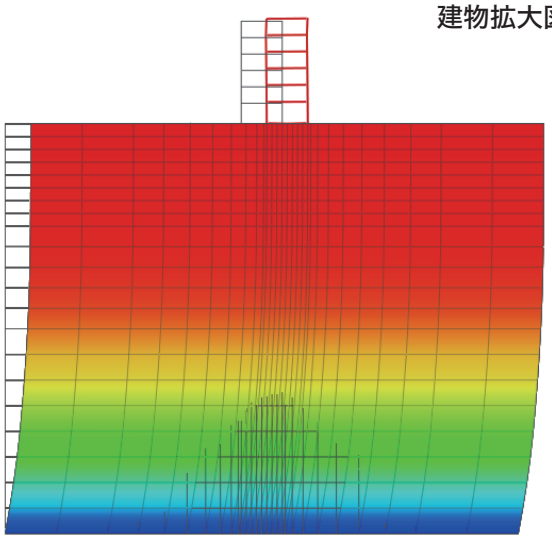
建物拡大図

要素数:14938
節点数:15986
地震波　40sec　4000step

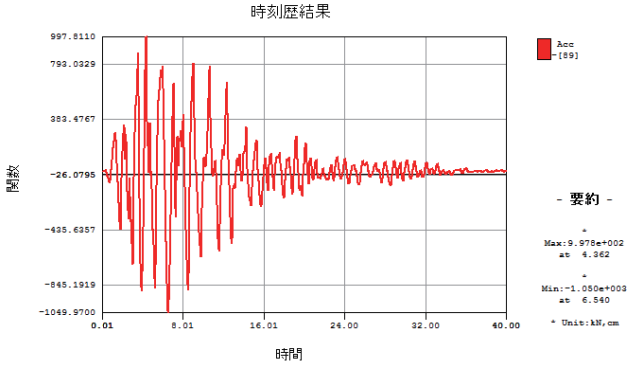
解析時間：45928.2 sec（13時間）



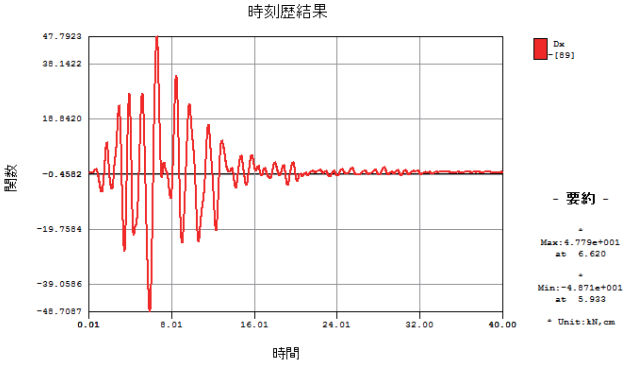
変位コンター図（アイソメ表示）



変位コンター図（正面表示）

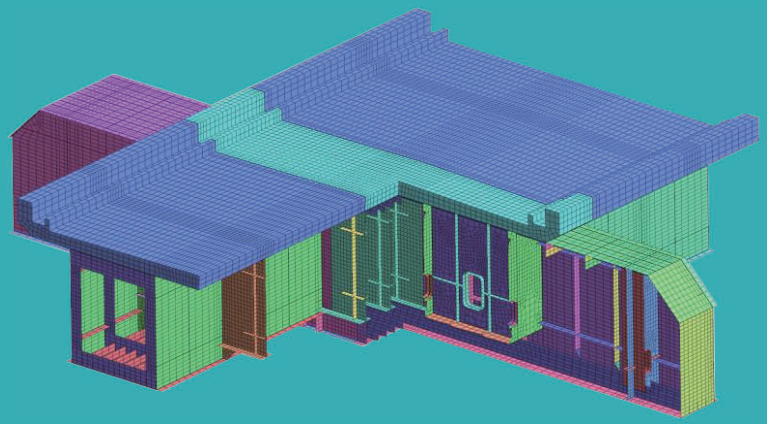


時刻歴加速度結果



時刻歴変位結果

03 FEANX 構造事例

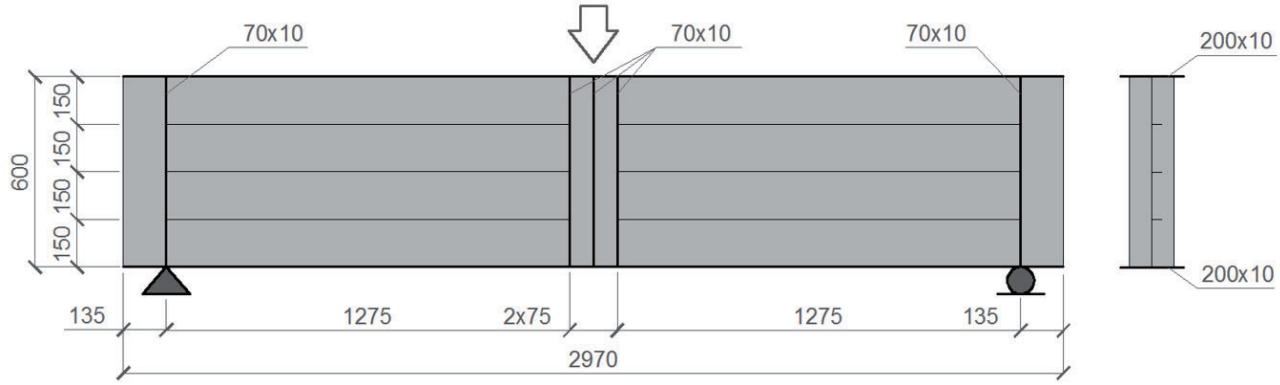


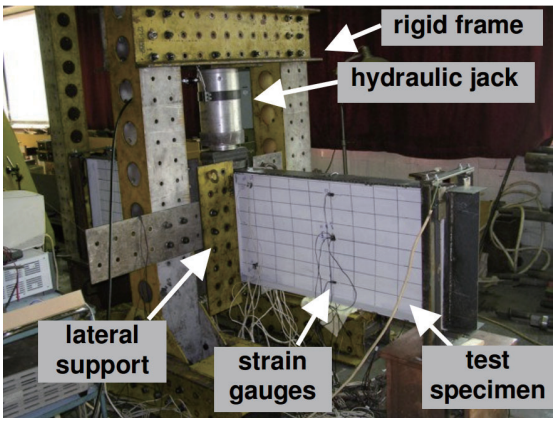
03 FEA NX 構造事例

1 鋼構造座屈解析事例
2 幾何非線形性（接触解析）
3 組積壁(レンガ)の挙動解析
4 座屈拘束ブレース
5 RC単純梁３次元非線形解析
6 単純梁３次元非線形解析
7 組積造の古建築の非線形解析モデル
8 鋼構造耐火解析事例（鋼構造耐火設計指針）
9 マスコンの温度応力解析
10 解析事例（上下水道耐震設計）

1 鋼構造座屈解析事例 I

幾何非線形で局部座屈表現



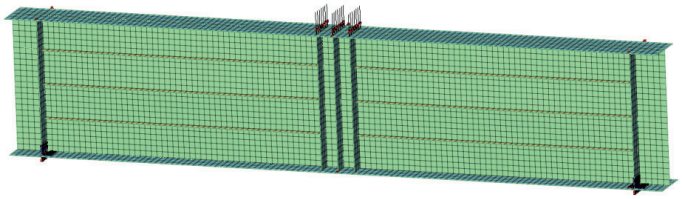


ウェブの破壊実験

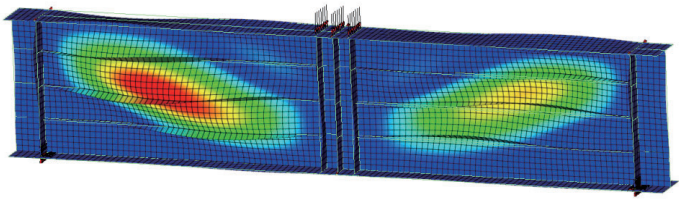
参考論文:

László Gergely VIGH, László DUNAI. Advanced stability analysis of regular stiffened plates and complex plated elements. Proc. of SDSS' Rio 2010 International Colloquium on Stability and Ductility of Steel Structures. Rio de Janeiro, 2010. pp. 81-100.

デフォルト荷重

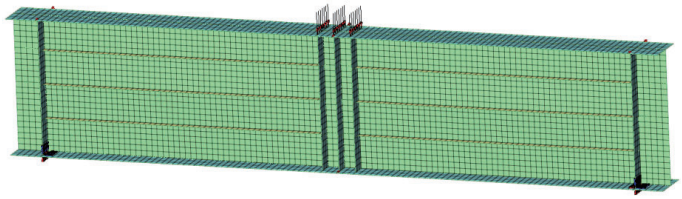


線形座屈モード出力

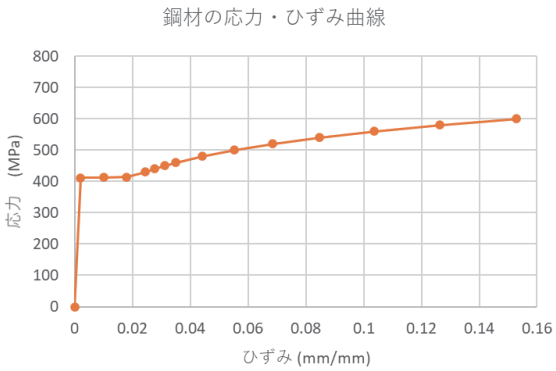


ステップ 1. 線形座屈解析

線形座屈モードによる荷重+初期不整形状

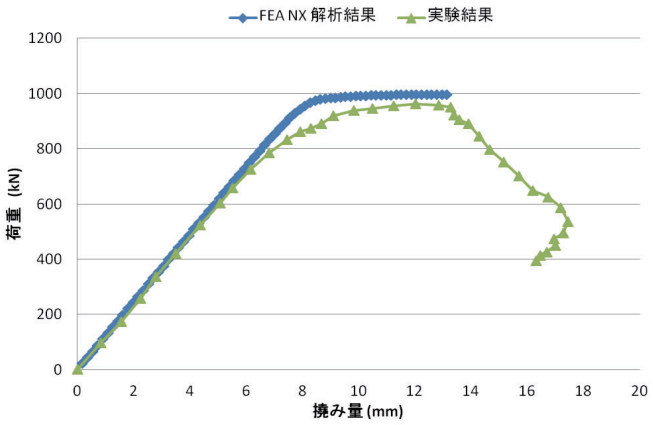


実験の応力･ひずみを適用

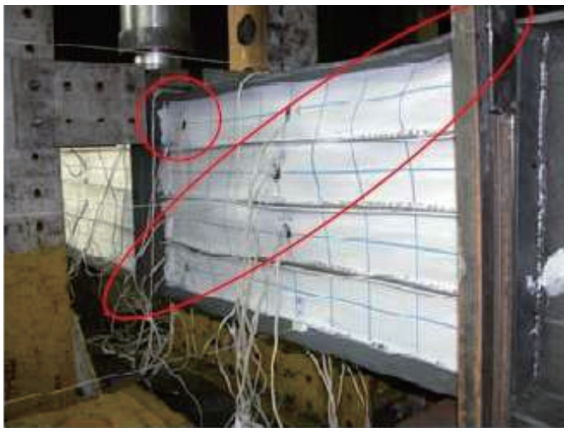


ステップ 2. 非線形座屈解析(幾何非線形)

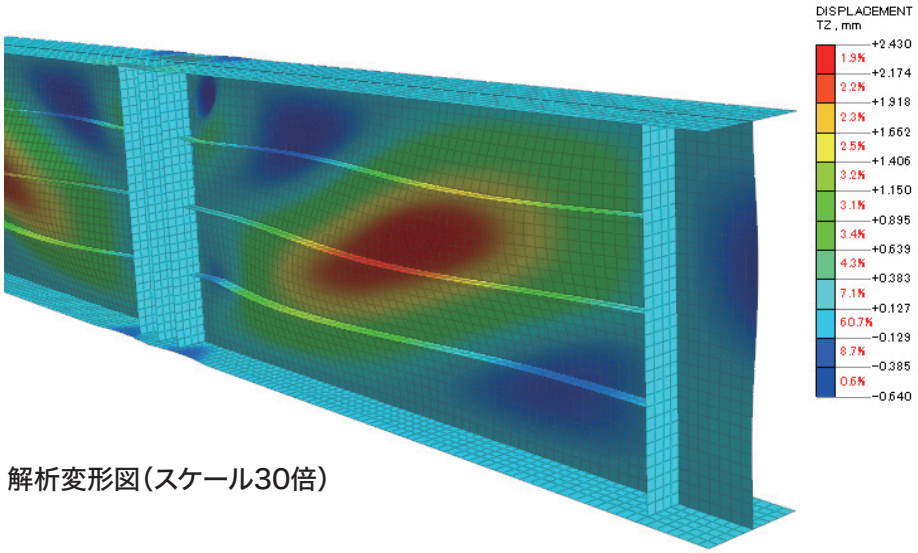
1 鋼構造座屈解析事例 II



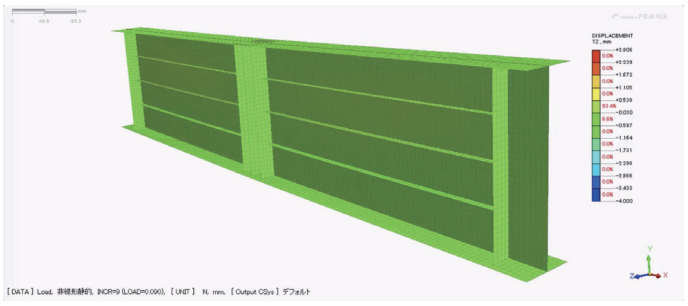
局所座屈の実験と解析結果

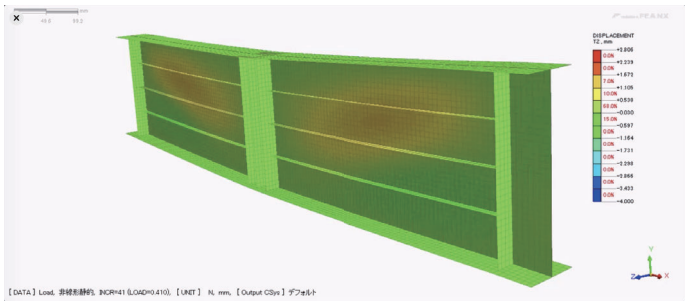


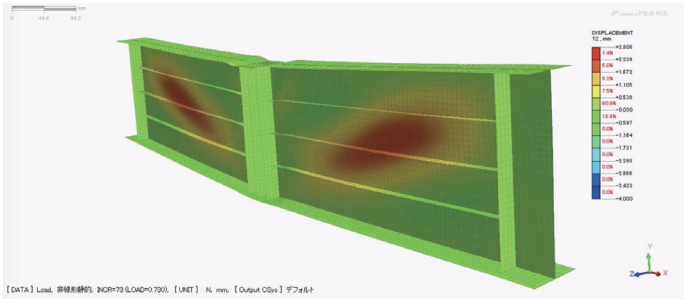
破壊写真

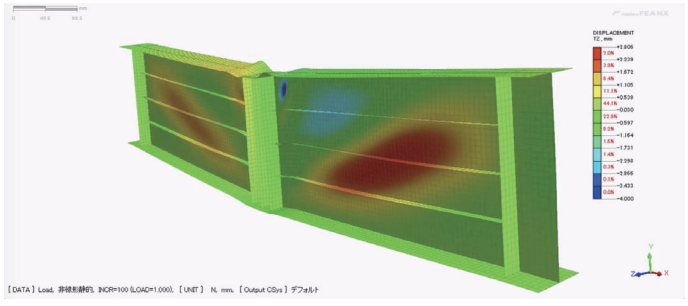


解析変形図(スケール30倍)

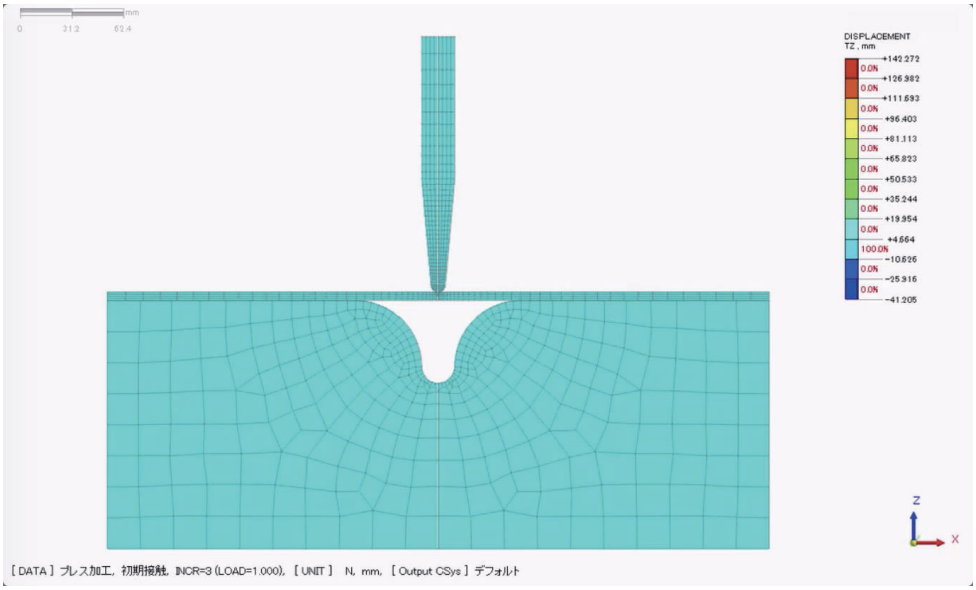




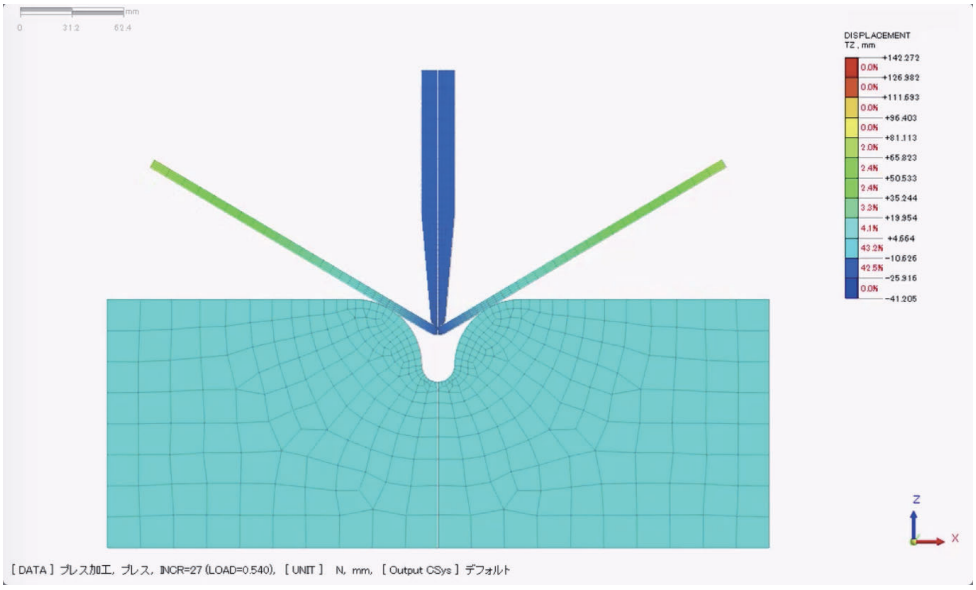




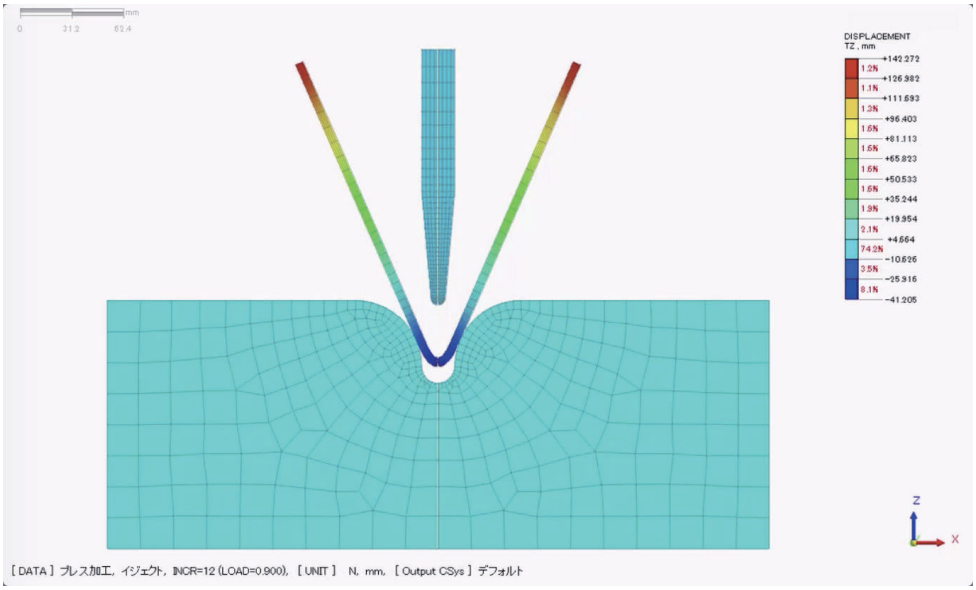
2 幾何非線形性(接触解析)



[DATA] プレス加工, 初期接触, INCR=3 (LOAD=1.000), [UNIT] N, mm, [Output CSys] デフォルト



[DATA] プレス加工, プレス, INCR=27 (LOAD=0.540), [UNIT] N, mm, [Output CSys] デフォルト



[DATA] プレス加工, イジェクト, INCR=12 (LOAD=0.900), [UNIT] N, mm, [Output CSys] デフォルト

3 組積壁(レンガ)の挙動解析

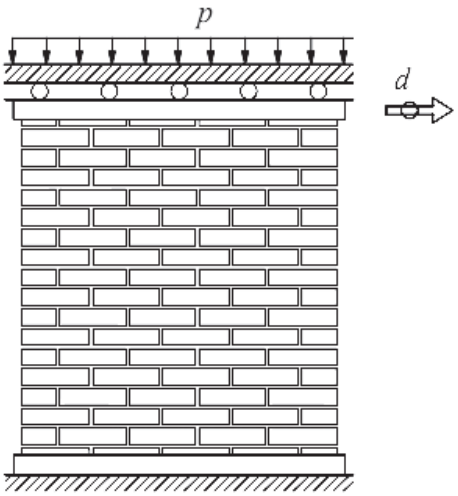
面タイプジョイント要素の非線形性考慮

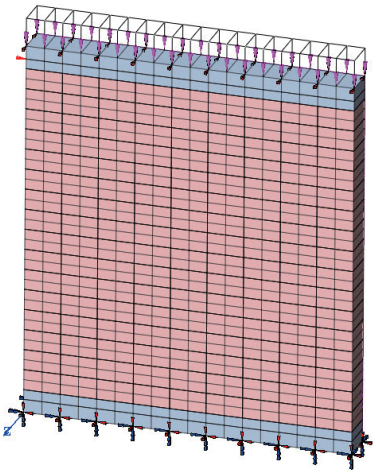
解析及びモデリング概要

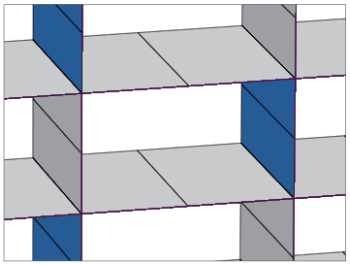
- 組積レンガとモルタル間の異質材料の接触面の摩擦スリップと変形形状の非線形挙動を把握
- 組積レンガは弾性挙動、モルタルは界面要素(Combined cracking-shearing crashing model)でモデリング

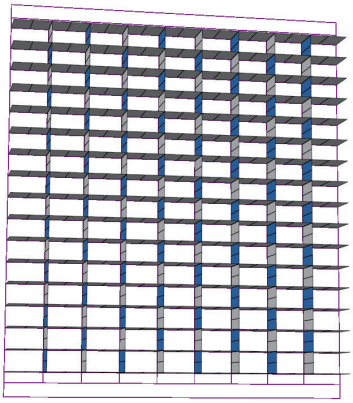
荷重概要

- 床は支点拘束、上部は鉛直方向で拘束
- 垂直圧縮荷重の載荷、以降、一方向で変位制御で水平荷重の載荷



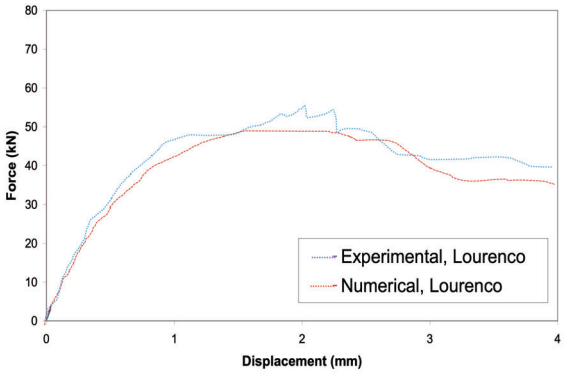


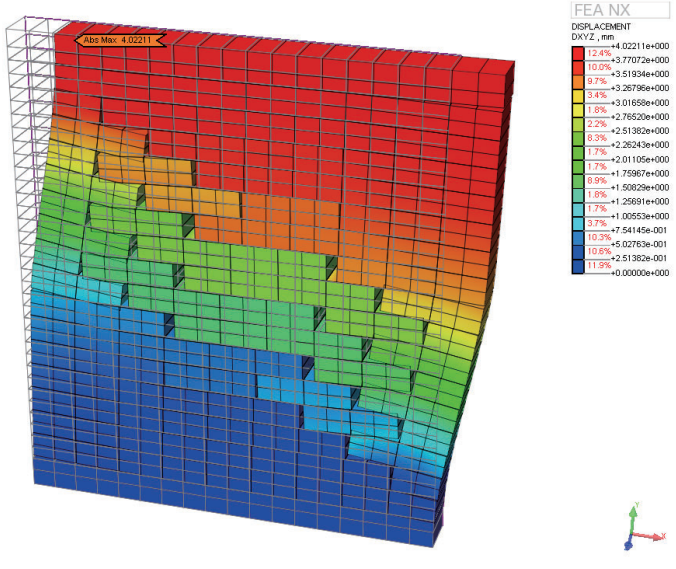


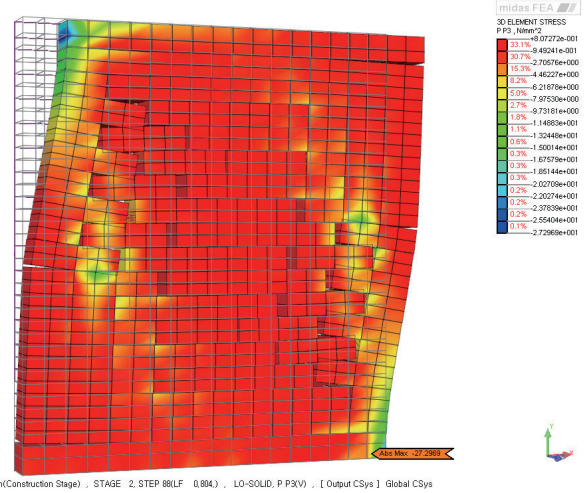


解析結果及び結論

- 引張ひび割れの壁の中心から端部に進行
- 荷重と変位の非線形挙動が実験と同様に進行





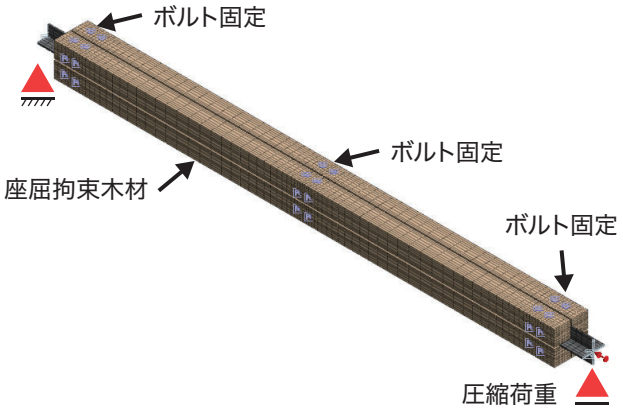


4 座屈拘束ブレース

複合材料非線形性＋接触

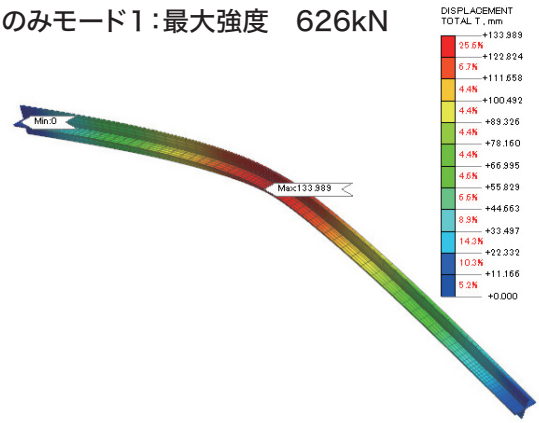
鉄骨のみモデル

鉄骨＋座屈拘束モデル



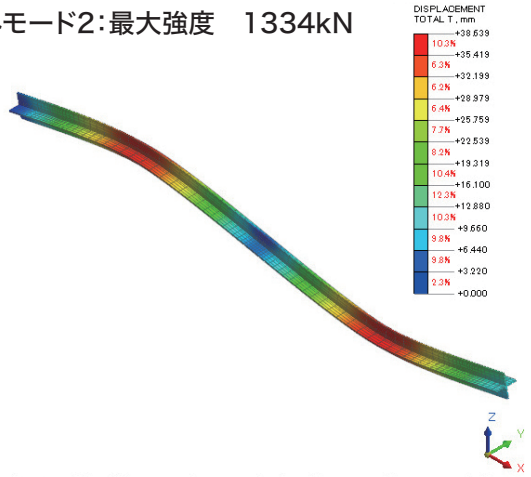
高次モードのほうが強度が高い

鉄骨のみモード1：最大強度　626kN



［DATA］a-Steel，非線形静的，INCR=20 (LOAD=1.000)，［UNIT］ kN，mm，［Output CSys］デフォルト

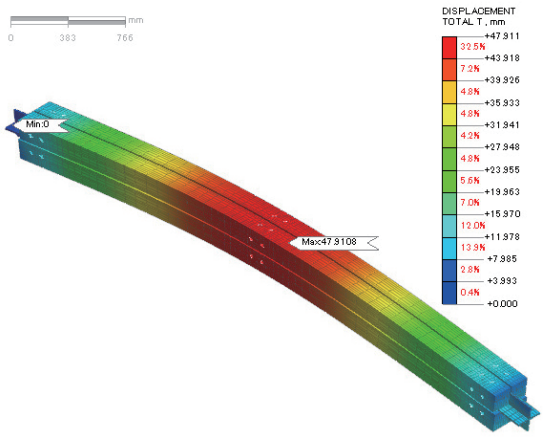
鉄骨のみモード2：最大強度　1334kN



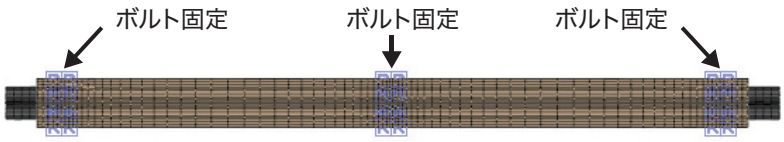
［DATA］a-Steel，非線形静的，INCR=21 (LOAD=1.000)，［UNIT］ kN，mm，［Output CSys］デフォルト

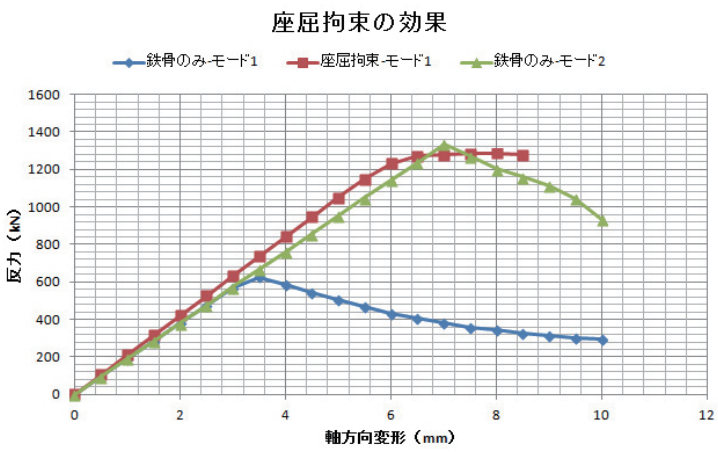
危険モードを避けるようにボルトを配置

座屈拘束モード1：最大強度　1290kN



［DATA］a，載荷，INCR=19 (LOAD=0.850)，［UNIT］ kN，mm，［Output CSys］デフォルト

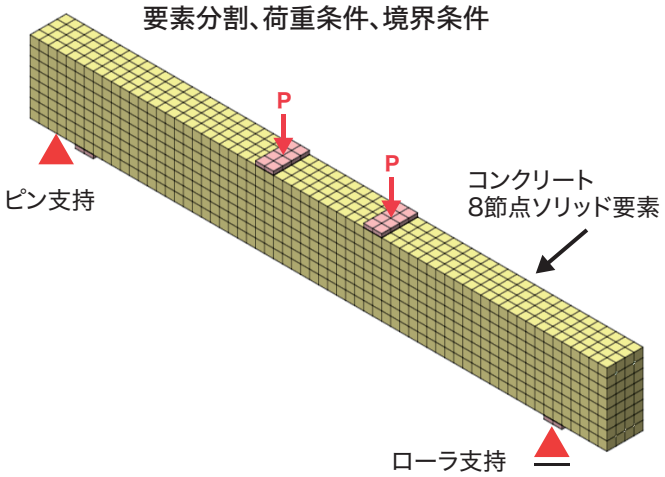




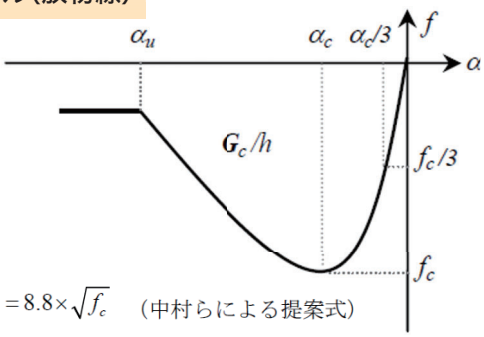
5 RC単純梁3次元非線形解析

充実した材料非線形モデル

全体メッシュ分割



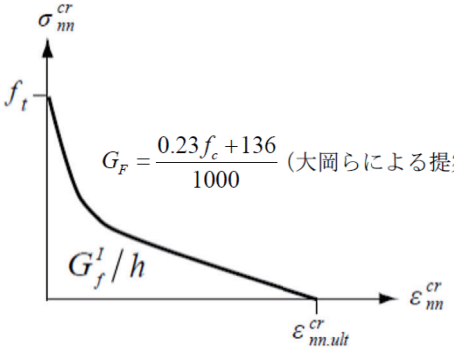
圧縮モデル（放物線）



$$G_{FC} = 8.8 \times \sqrt{f_c}$$ （中村らによる提案式）

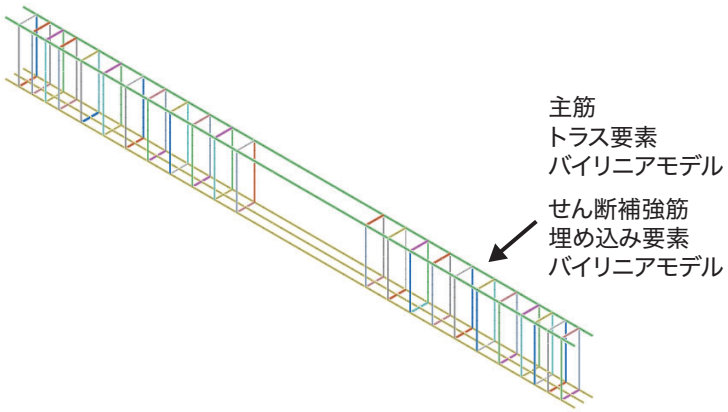
$$L_c = 2 \times \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}}$$

引張り軟化モデル（Hordijk）

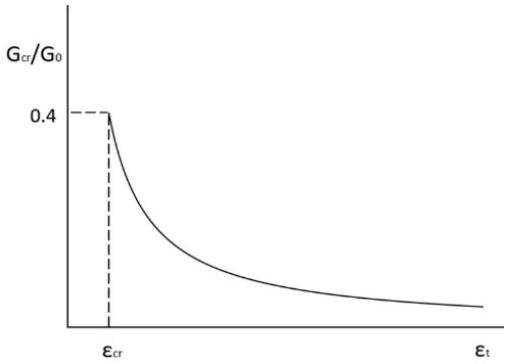


$$G_F = \frac{0.23 f_c + 136}{1000}$$ （大岡らによる提案式）

鉄筋モデル

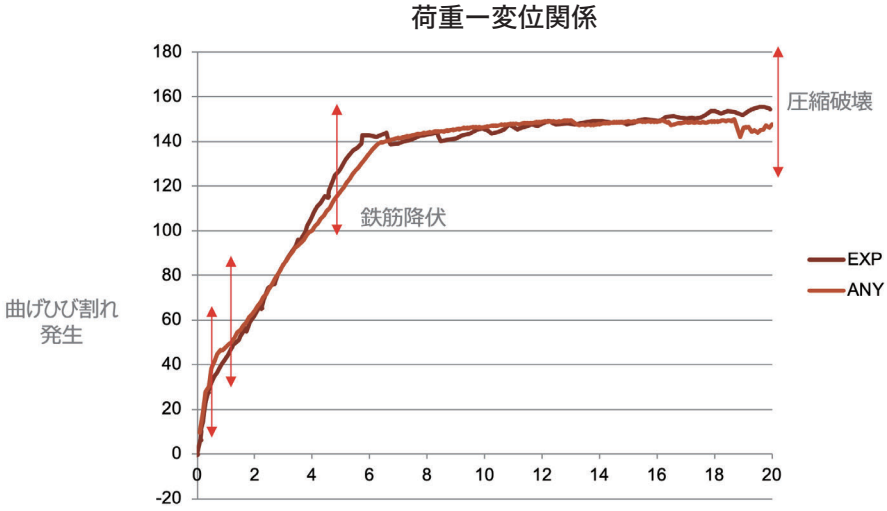


せん断剛性のAl-Mahaidiモデル



実験結果を再現

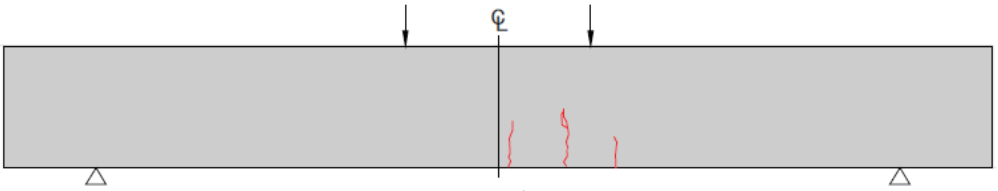
荷重ー変位関係



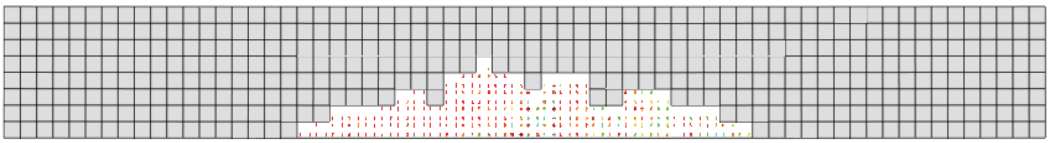
6 単純梁3次元非線形解析 I

実験結果を再現

荷重40kN時

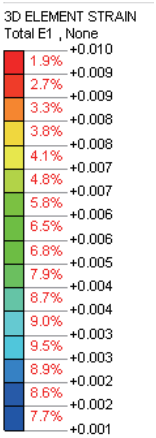


実験ひび割れ図

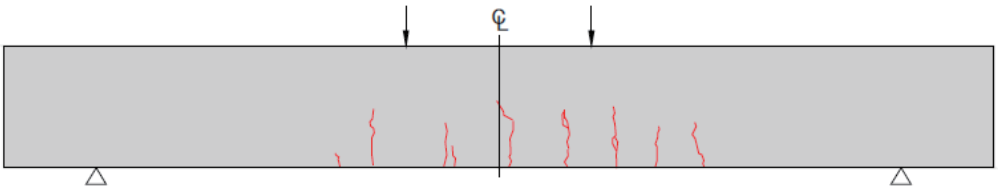


ひび割れ図

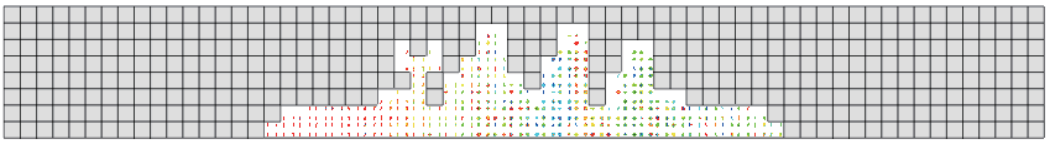
最大主ひずみコンター図



荷重60kN時

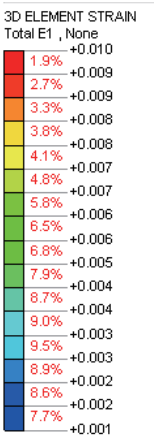


実験ひび割れ図



ひび割れ図

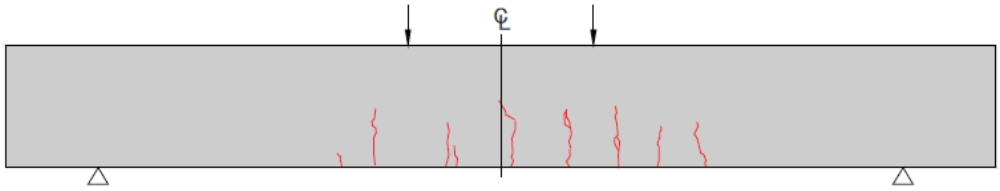
最大主ひずみコンター図



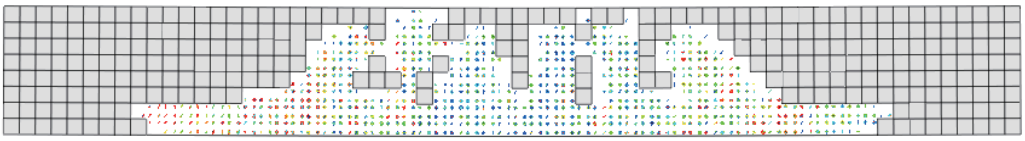
6 単純梁3次元非線形解析 II

実験結果を再現

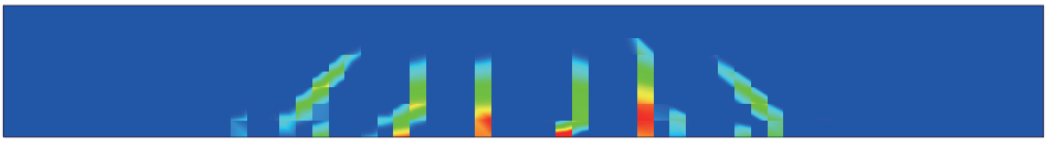
荷重120kN時



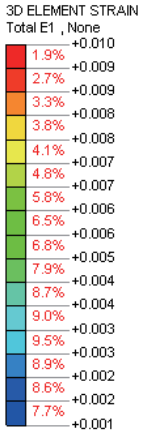
実験ひび割れ図



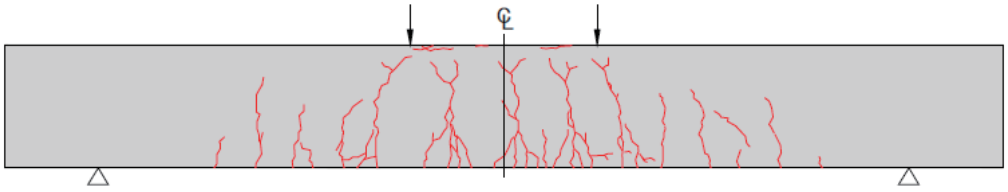
ひび割れ図



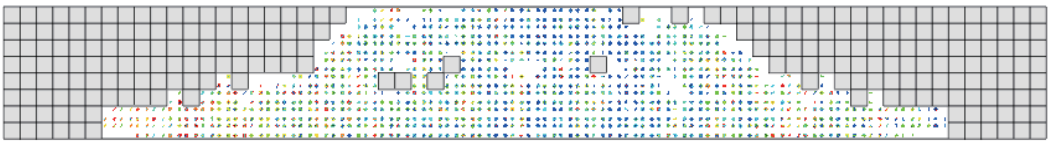
最大主ひずみコンター図



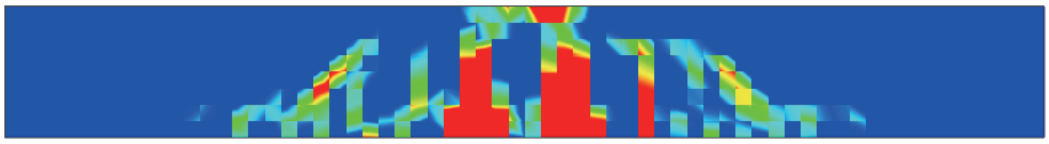
荷重170kN時



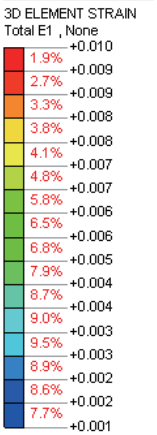
実験ひび割れ図



ひび割れ図



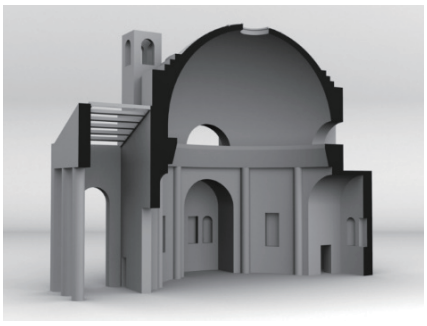
最大主ひずみコンター図

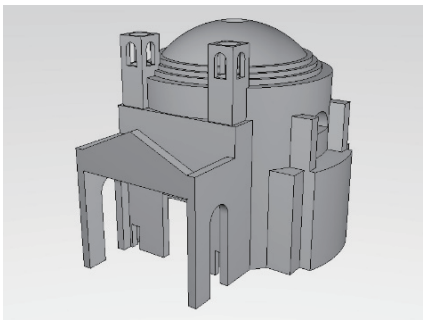


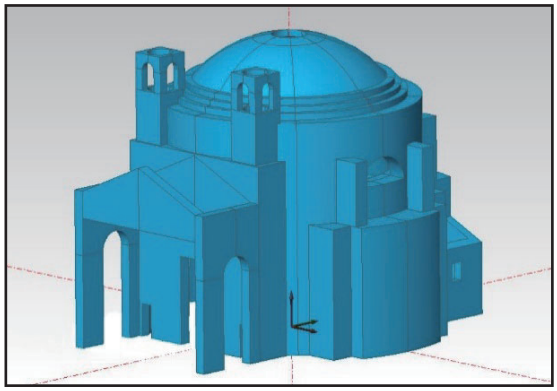
7 組積造の古建築の非線形解析モデル I

- アンドレア・パラディオのヴィラバルバーロ(Villa Barbaro)寺院(イタリアでの事例)
- 構造物の自重、固定荷重及び支点沈下荷重を考慮し、線形解析及び非線形解析(ひび割れ解析)を遂行

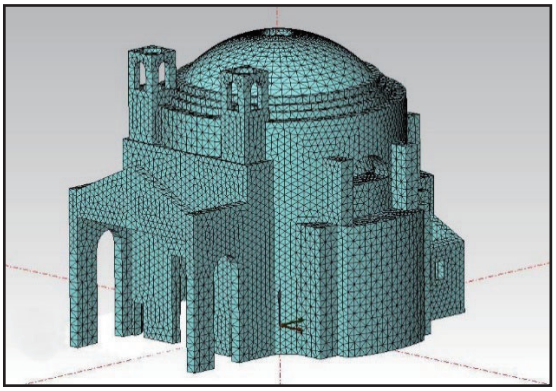
モデリング概要







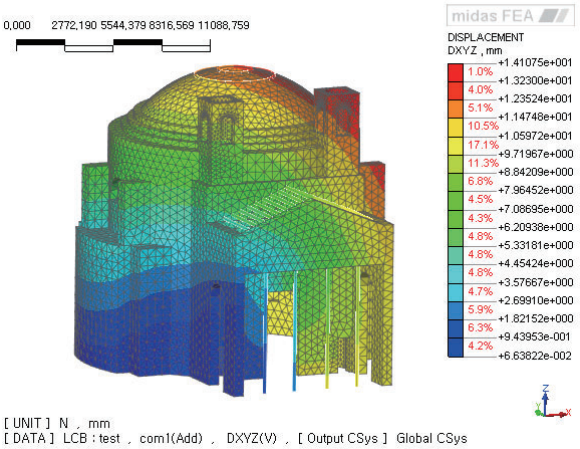
モデル形状図



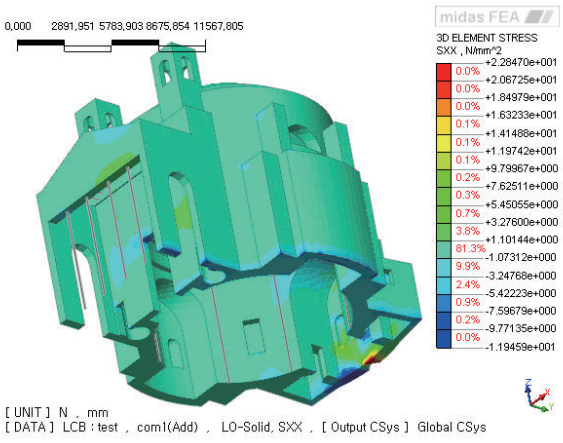
メッシュ図

線形解析

変位

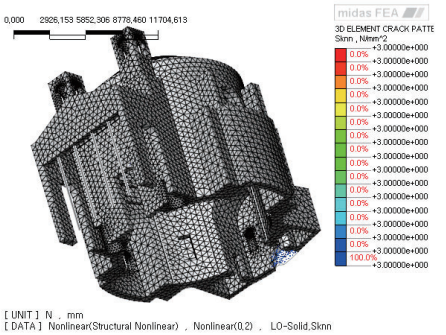


応力

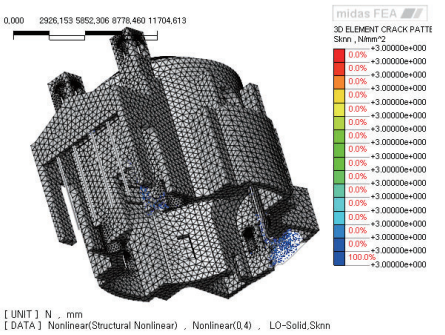


- 支点沈下による変位発生
- 線形解析の応力集中部を参考に、ひび割れが発生する位置が予測できる

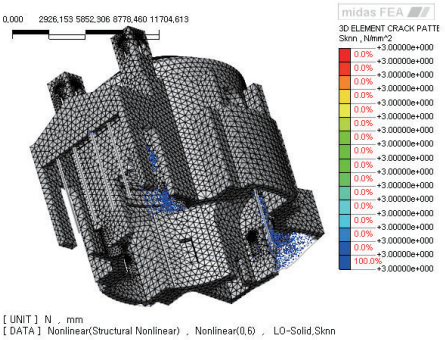
7 組積造の古建築の非線形解析モデル II



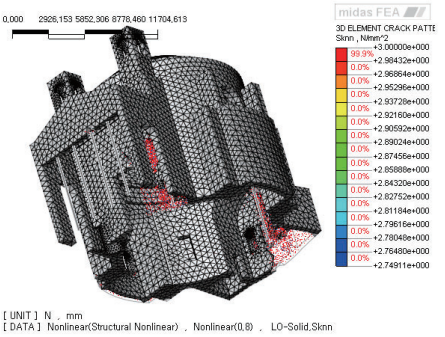
STEP.1



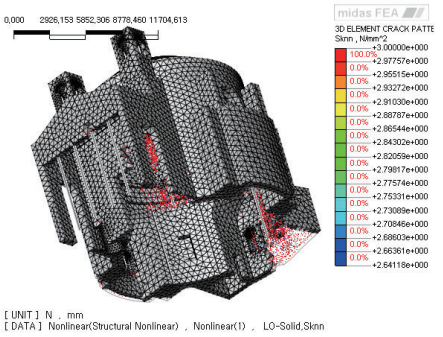
STEP.2



STEP.3

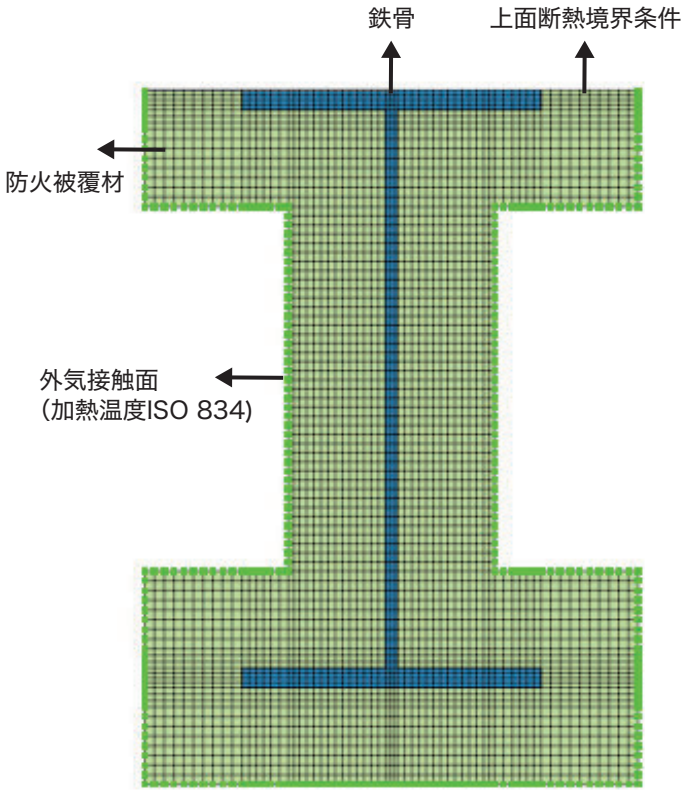


STEP.4

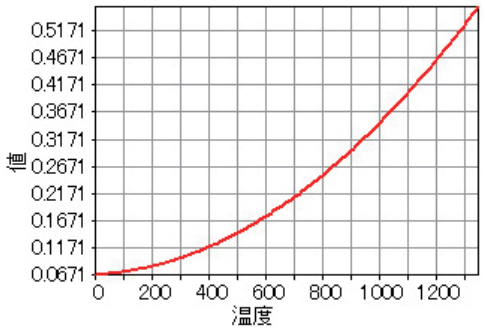


STEP.5

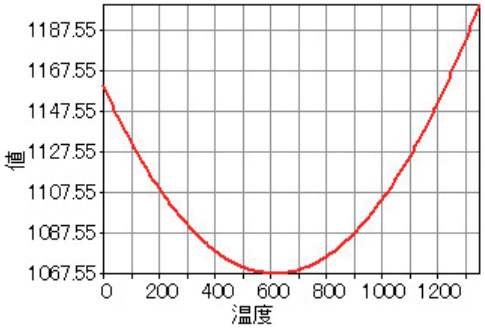
8 鋼構造耐火解析事例(鋼構造耐火設計指針) I



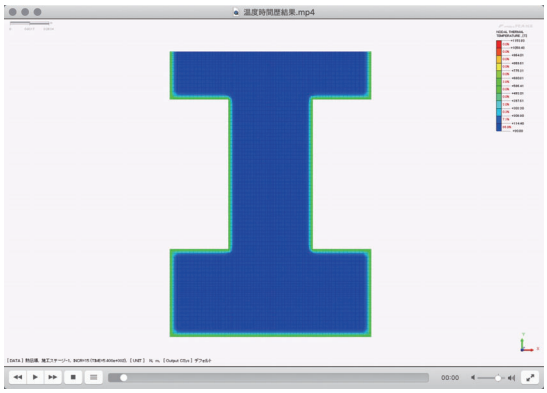
耐火被覆材の温度依存熱伝達率

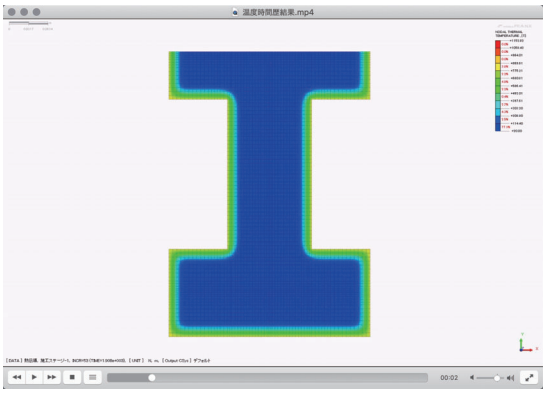


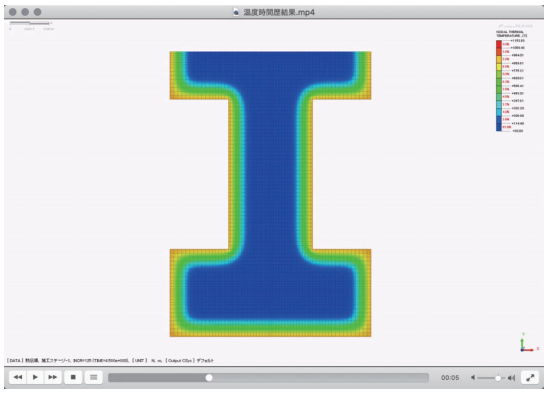
耐火被覆材の温度依存比熱

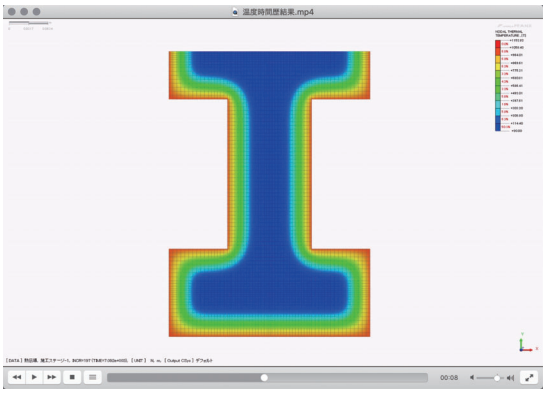


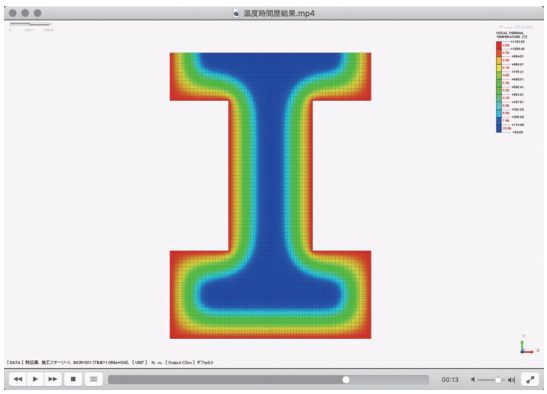
8 鋼構造耐火解析事例(鋼構造耐火設計指針) II

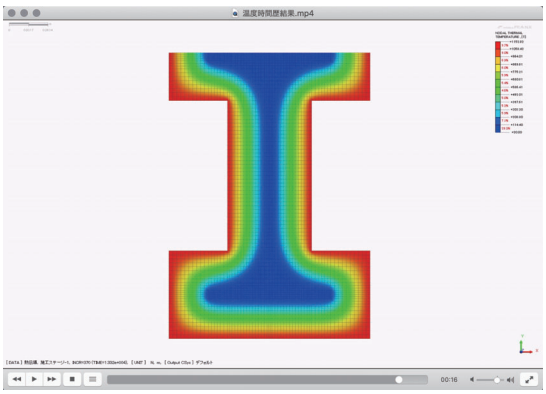




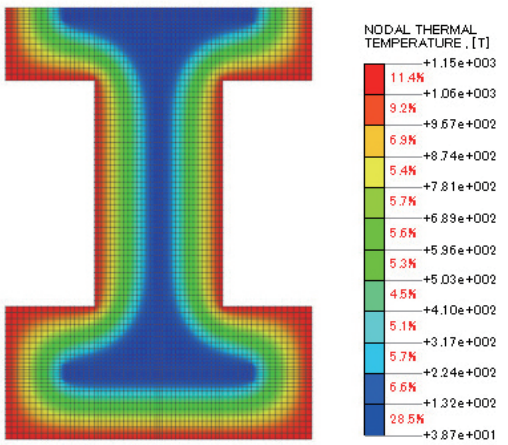




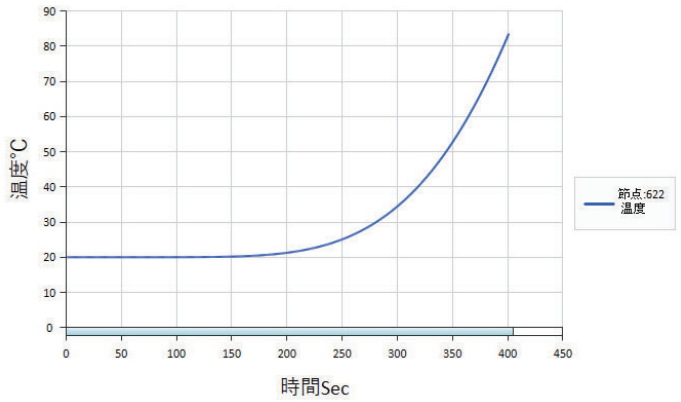




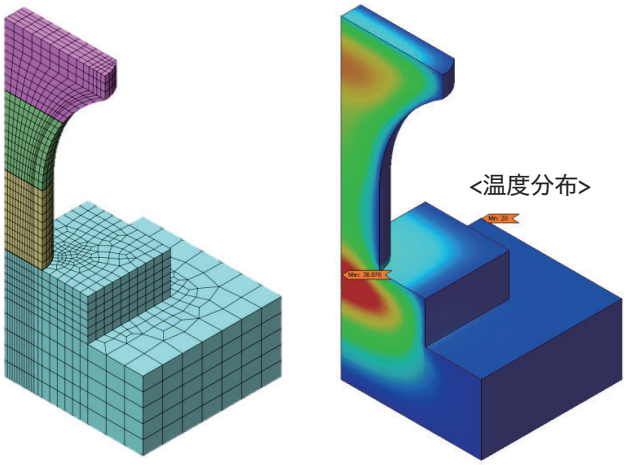
最終温度分布(4時間後)



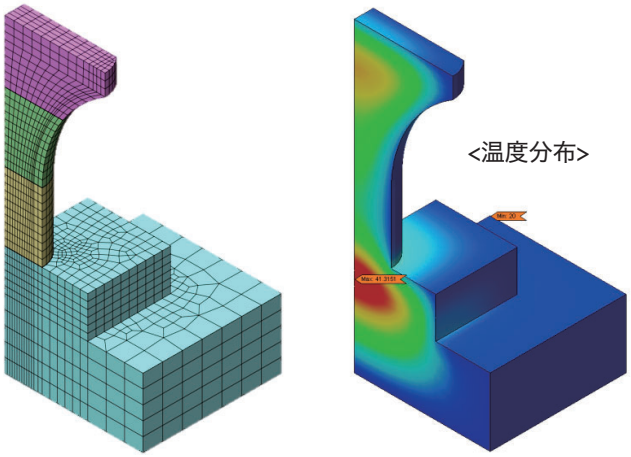
鉄骨の温度履歴結果(FEA NXグラフ機能)



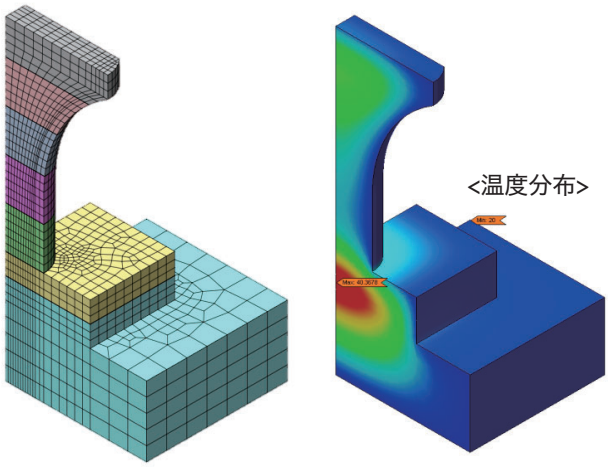
9 マスコンの温度応力解析



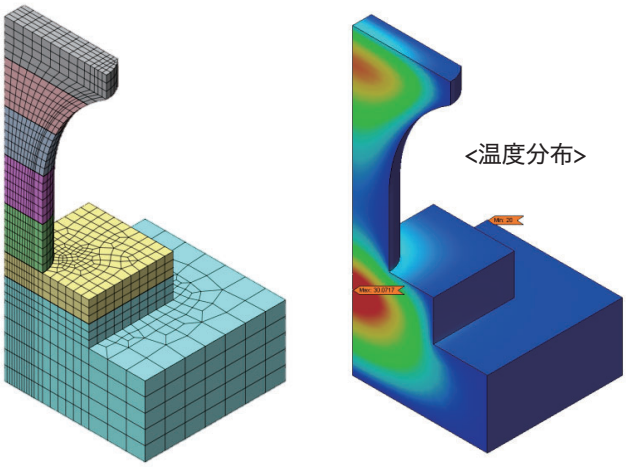
Case 1
打設高さ5m、普通ポルトランドセメント、鋼材型枠



Case 2
打設高さ5m、低発熱セメント、鋼材型枠

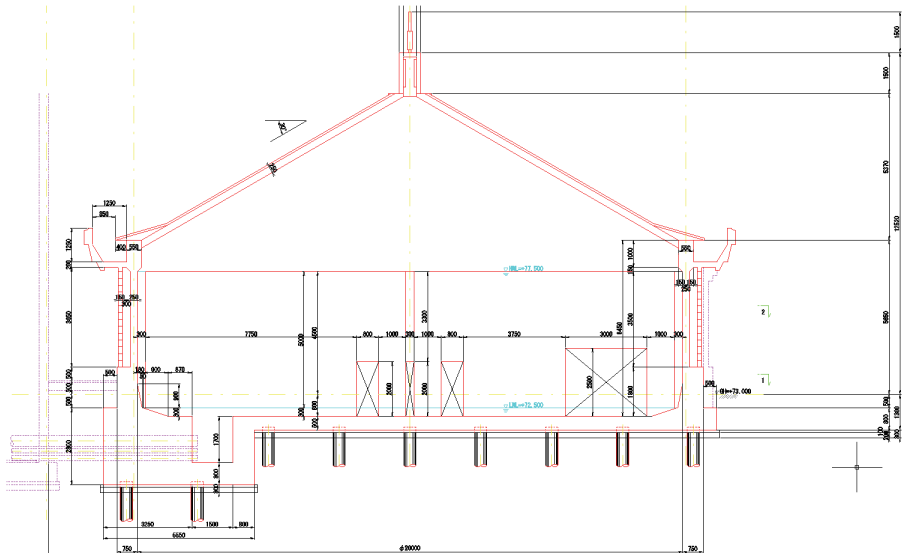


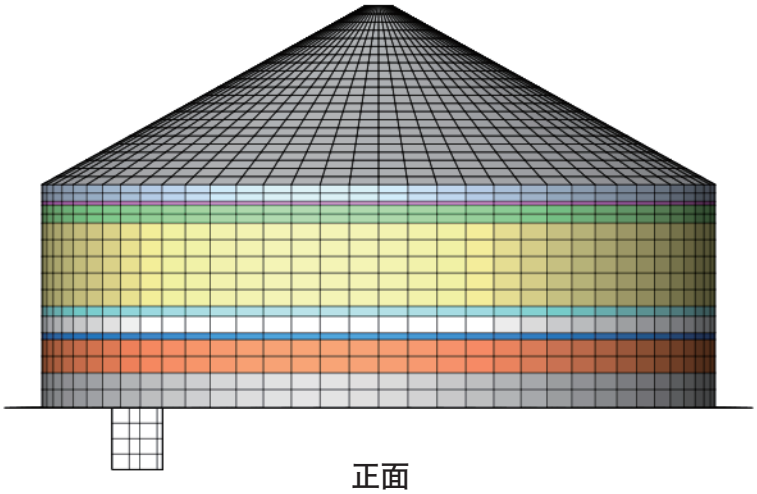
Case 4
打設高さ3m、低発熱セメント、合板型枠



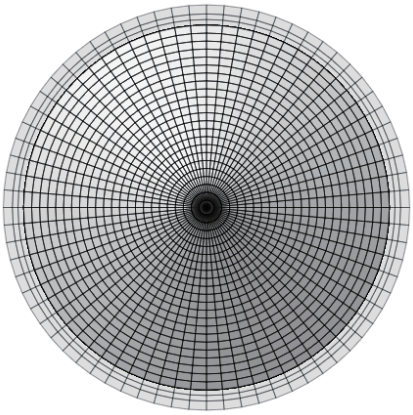
Case 3
打設高さ3m、普通ポルトランドセメント、鋼材型枠

10 解析事例(上下水道耐震設計) I



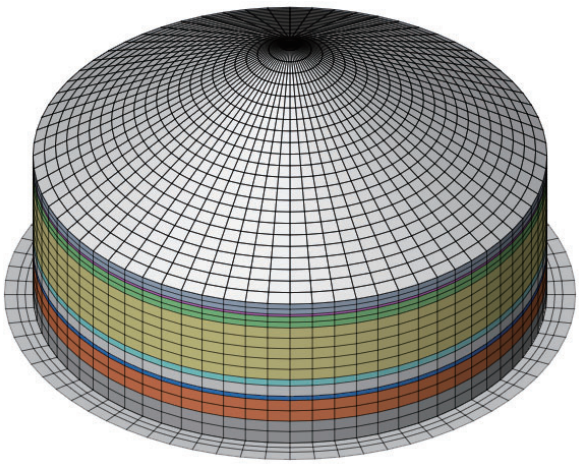


正面



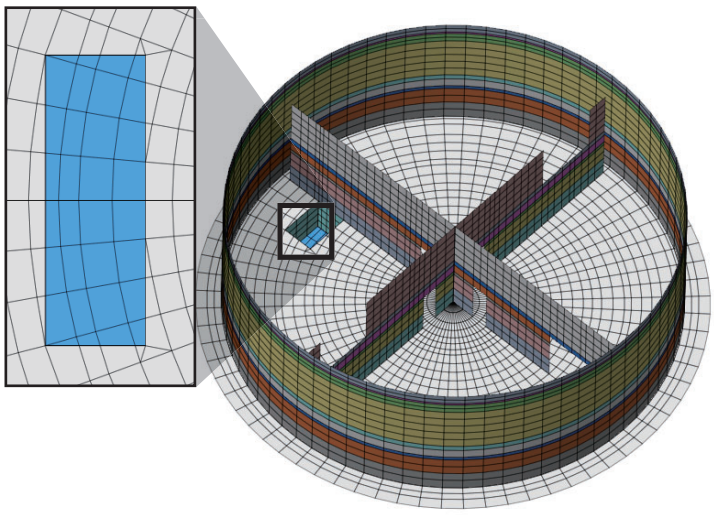
上部

メッシュ形状



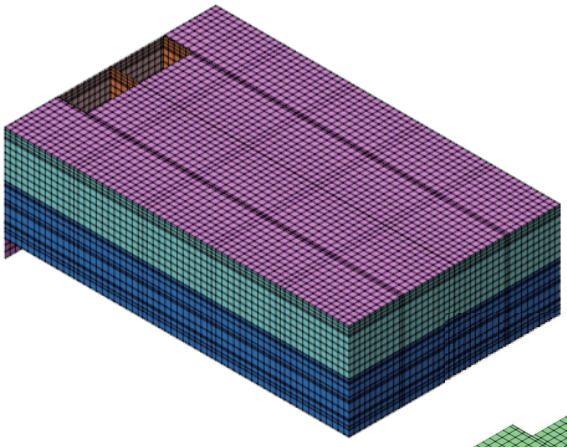
アイソメ表示-外観

拡大図

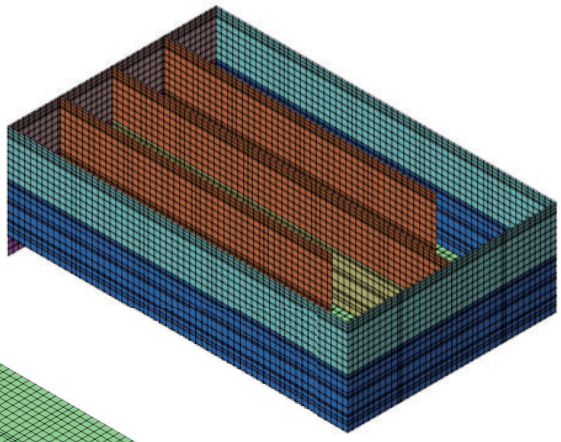


アイソメ表示-内観

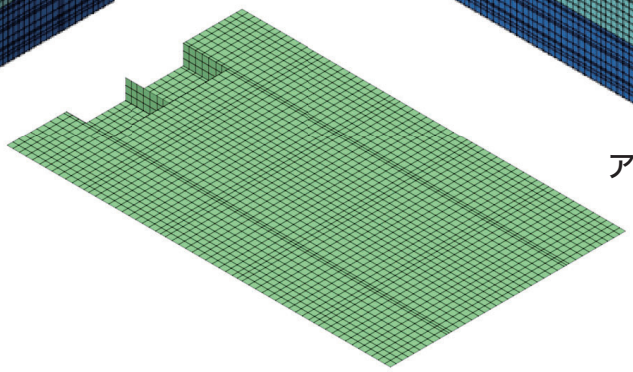
10 解析事例(上下水道耐震設計) II



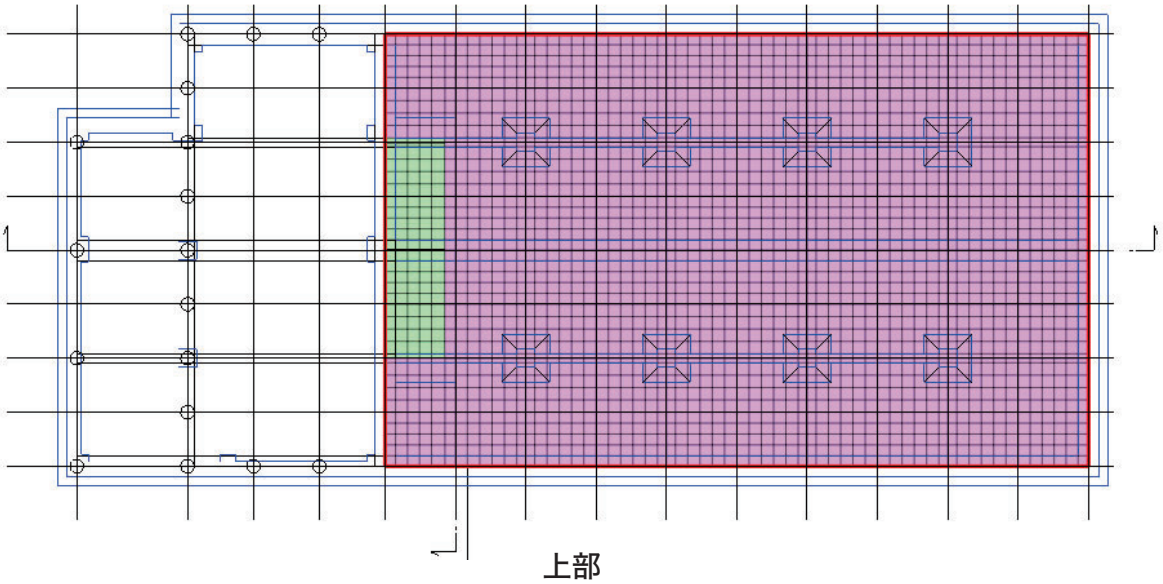
アイソメ表示-外観



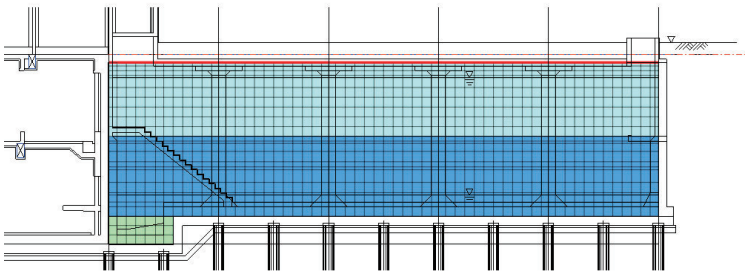
アイソメ表示-内観



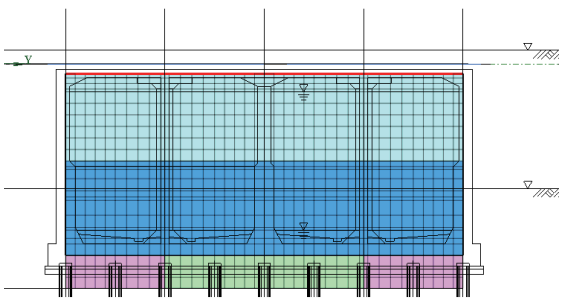
底版



上部

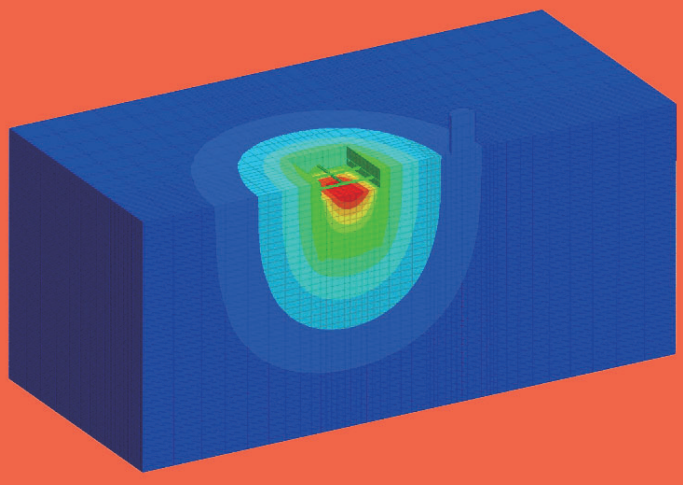


上部



側面

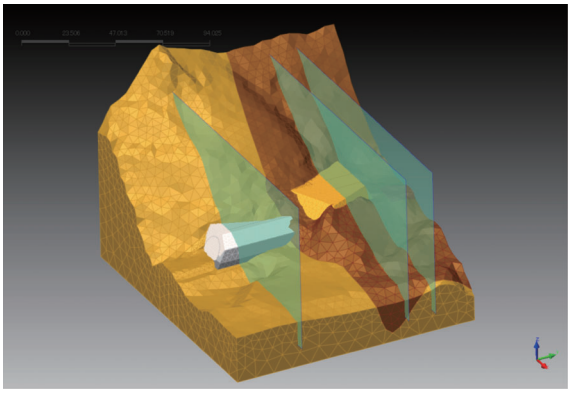
04 FEANX 地盤事例

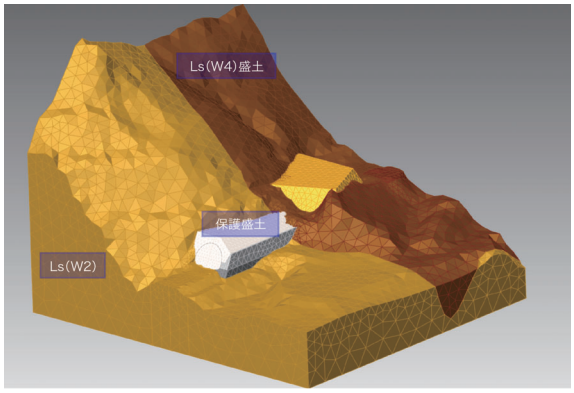


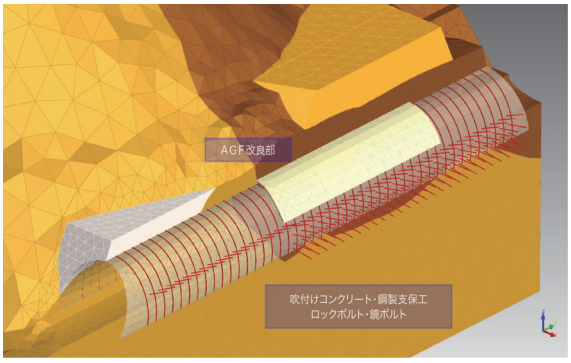
04 FEANX 地盤事例

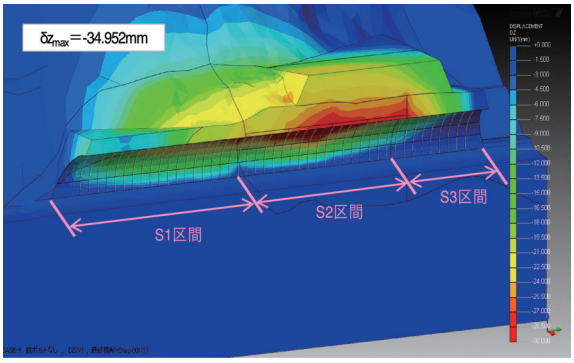
1 ３次元FEM解析（トンネル掘削問題）
2 地盤の拘束依存性を考慮した群杭の検討
3 避難連絡坑を考慮したトンネル3次元解析モデル
4 開削と近接施工工事
5 盛土の近接施工問題（3次元圧密解析）
6 堤防の3次元浸透流解析
7 降雨浸透による斜面安定性評価における
2次元解析と3次元解析の比較検討
8 真空圧密解析
9 幾何非線形を考慮した圧密解析
10 地下水位低下による圧密解析

1 3次元FEM解析(トンネル掘削問題)





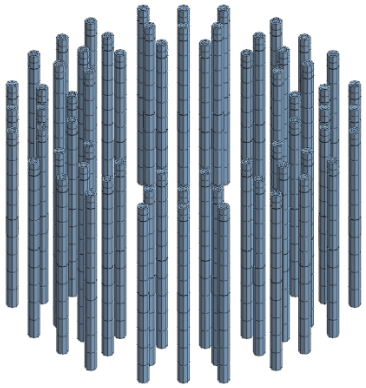




引用:株式会社フジタ 池内 正明より提供

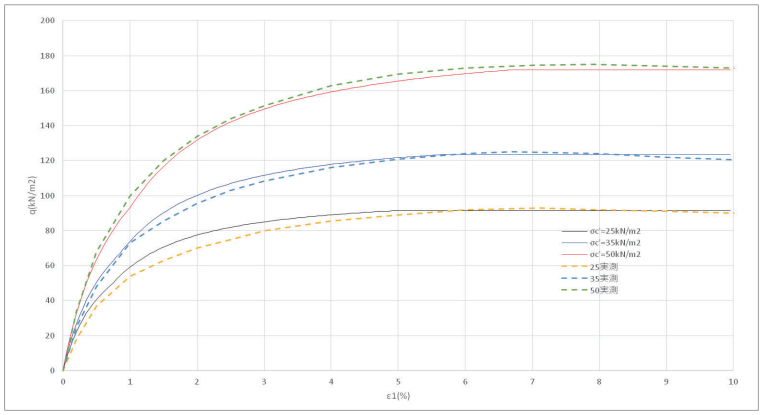
2 地盤の拘束依存性を考慮した群杭の検討

物性値		単位	説明
(E50)ref	20000	kN/㎡	3軸試験時接線剛性係数
(Eoed)ref	20000	kN/㎡	圧密載荷試験の接線剛性
(Eur)ref	60000	kN/㎡	除荷時の弾性係数(E50の3倍)
Rf	0.9	-	破壊比
Pref	100	kN/㎡	基準圧
Power Law	0.5	-	Power Law指数
K0nc	0.382964		
ϕ	38.1	deg	せん断摩擦角
ψ	33.1	deg	最大ダイレイダンシー角
c	2.6	kN/㎡	粘着力
ν	0.3	-	ポアソン比
γt	4.1	kN/㎡	単位体積重量(水中)



群杭効果の検討

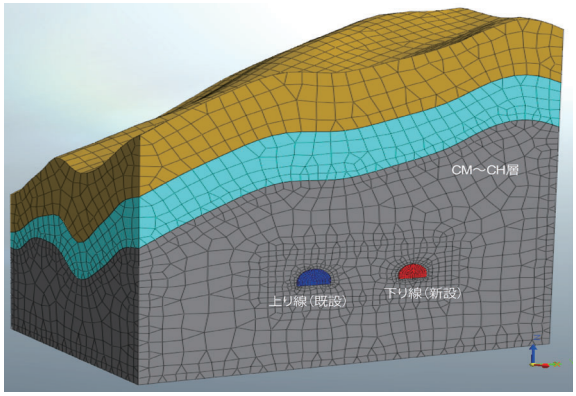
Hardening Soil モデル



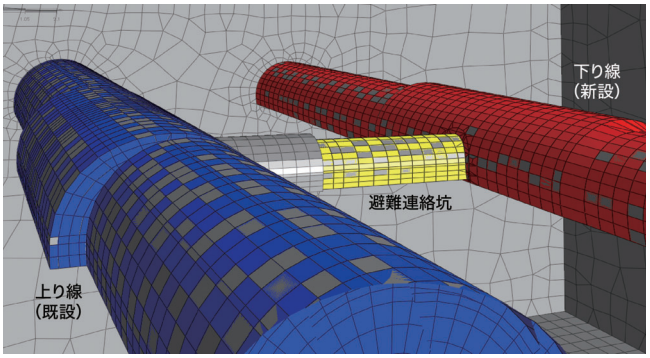
要素シミュレーション結果(実線) VS 三軸試験結果(破線)

3 避難連絡坑を考慮したトンネル3次元解析モデル

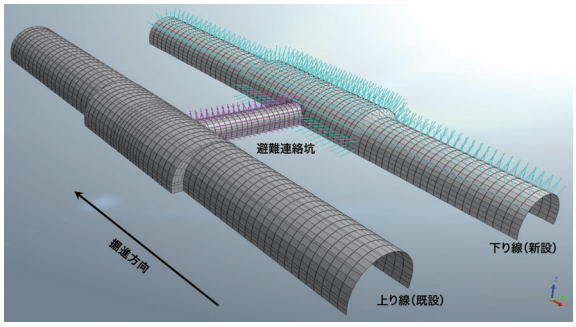
モデル全体図



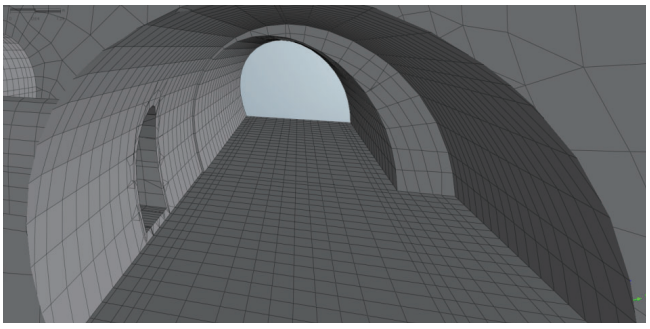
トンネルモデル（地層内部ビュー）



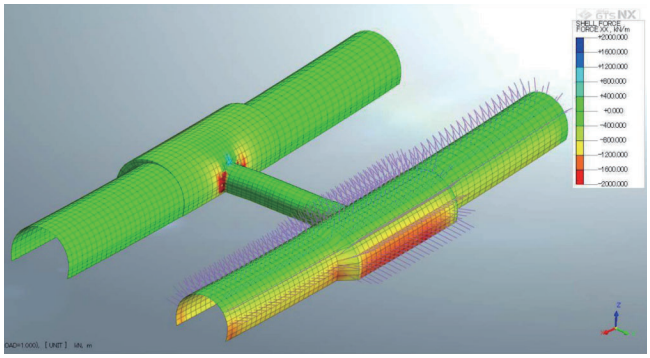
トンネル鳥瞰図



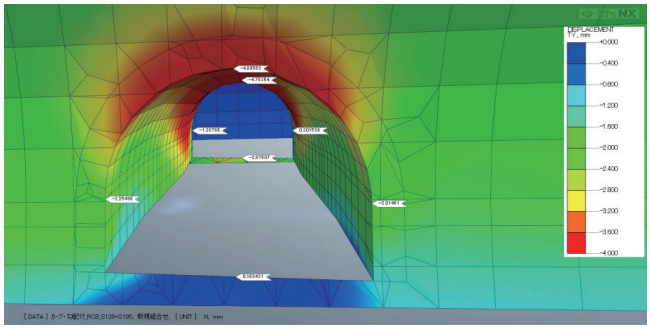
トンネル内部モデル



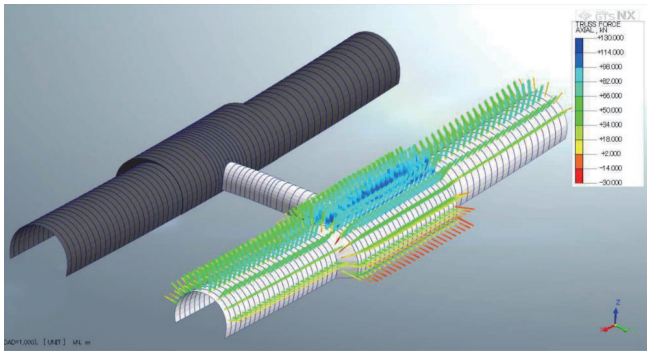
覆工コンクリート　軸力



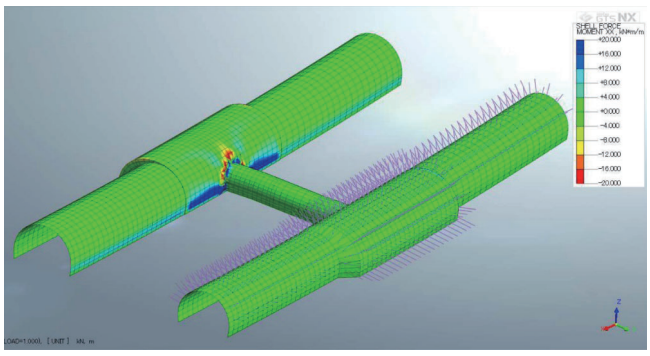
避難連絡坑接続部の解析結果



ロックボルト　軸力

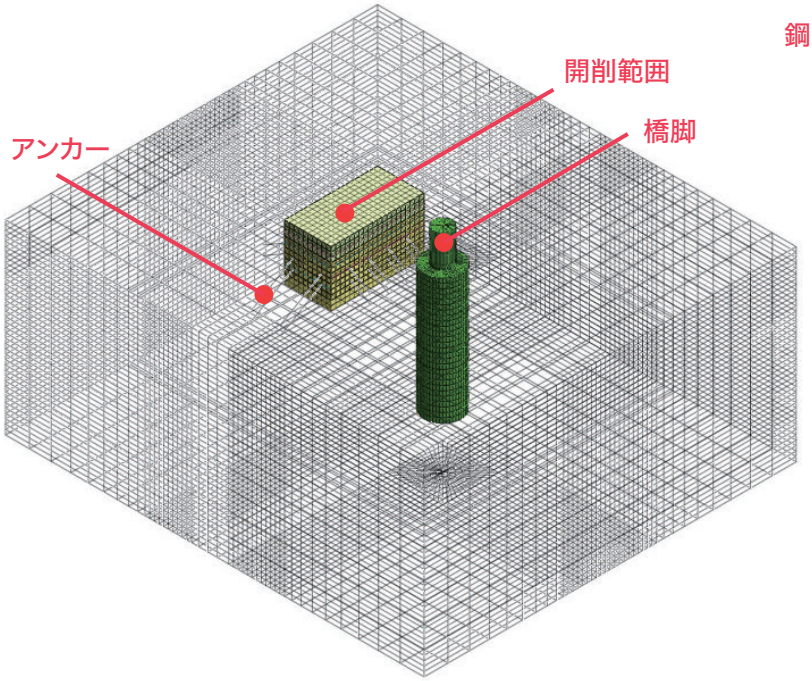


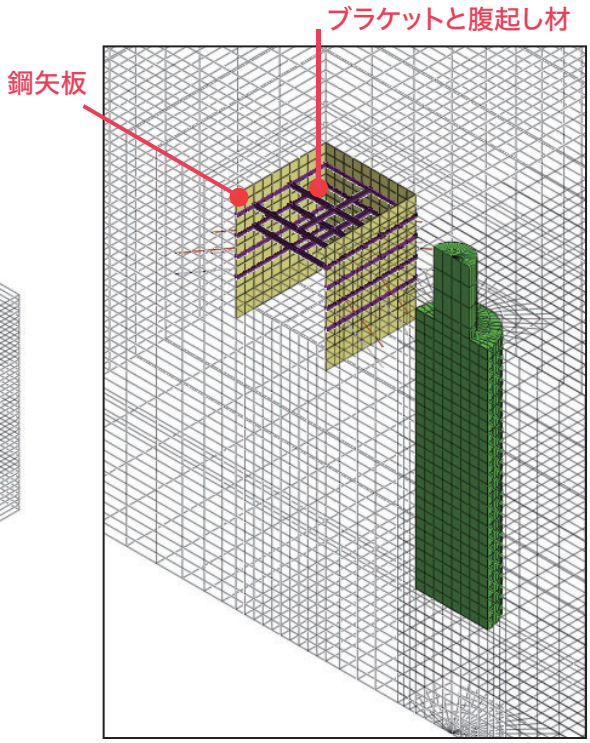
覆工コンクリート 曲げモーメント



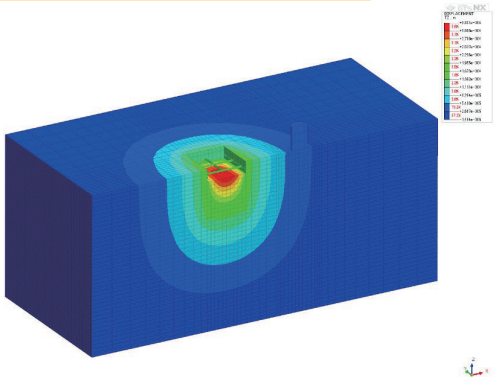
引用：株式会社フジタ 徳永 高志より提供

4 開削と近接施工工事

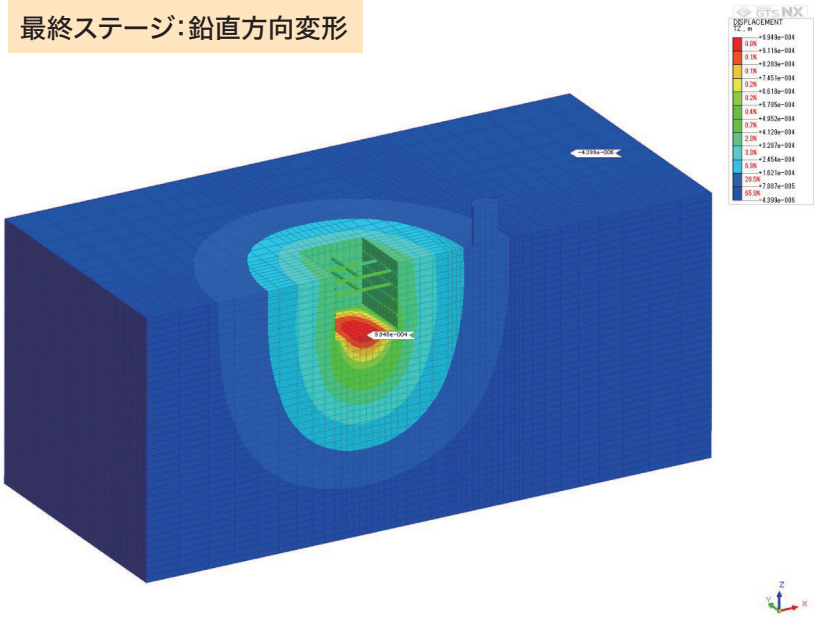




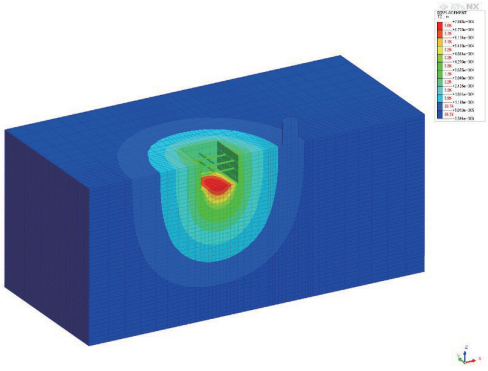
開削ステージ1：鉛直方向変形



最終ステージ：鉛直方向変形

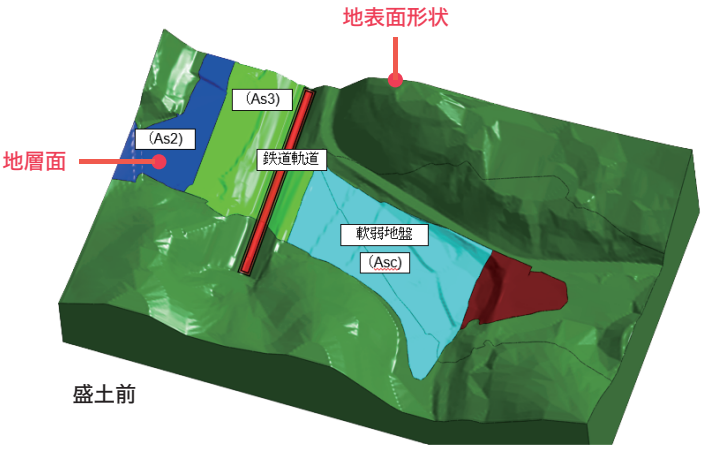


開削ステージ3：鉛直方向変形

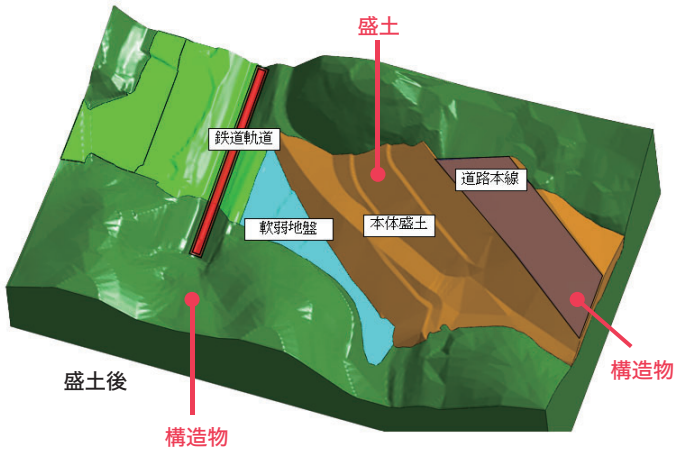


5 盛土の近接施工問題(3次元圧密解析)

(株)ワールド測量設計発表資料より提供



三次元解析ソリッドモデル



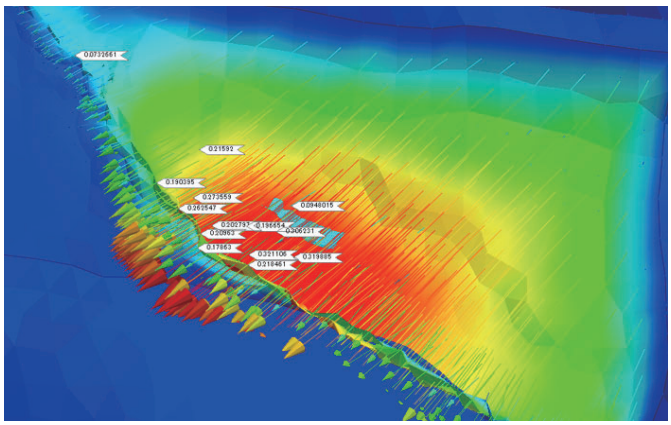
三次元解析ソリッドモデル

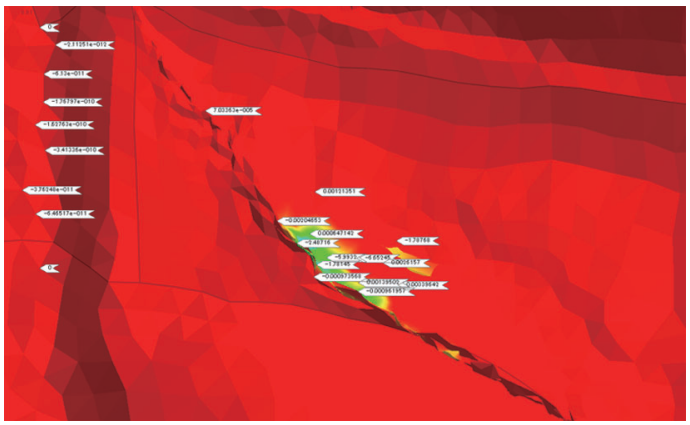
二次元では最適断面を決められない。
➡ 三次元FEMによる変形解析を実施

三次元FEM 解析結果

解析結果
- 鉄道軌道合成変位：最大0.00089m ➡約0.9mm ･･･ OK
- 盛土基礎地盤合成変位：最大約0.32m

過剰間隙水圧:放置期間stenp6
最大値= -1.79kN/㎡



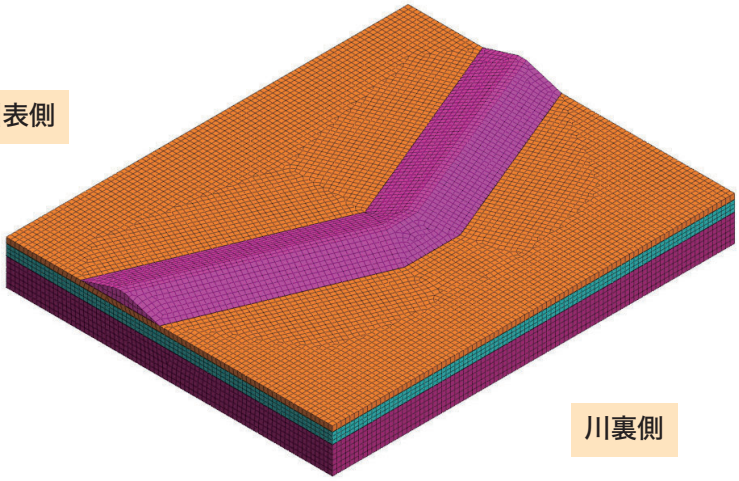


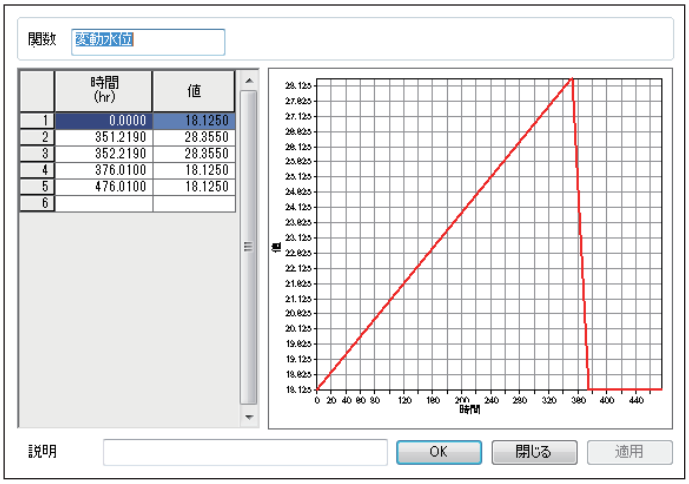
- 近接施工問題で、二次元断面での評価が難しい地形・計画形状において、三次元FEMにより、近接施工の影響を定量的に評価することができた。
- 圧密変形解析により、基礎地盤の過剰間隙水圧の発生と消散過程を定量的に評価することができた。

6 堤防の3次元浸透流解析

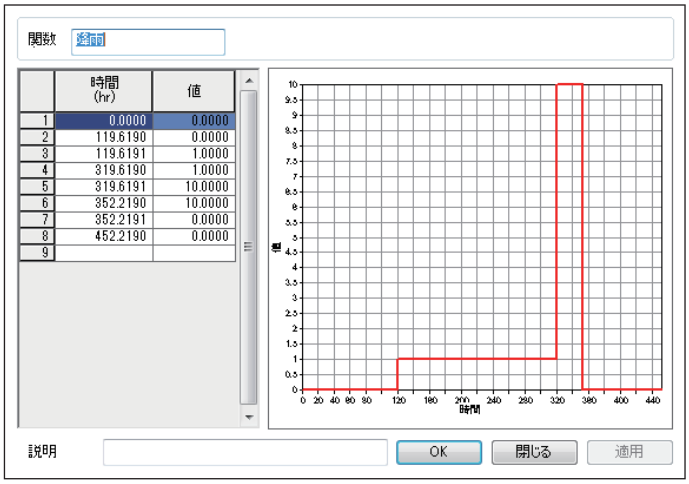
対策工反映可能

- 遮水シート
- ドレーン
- 遮水矢板

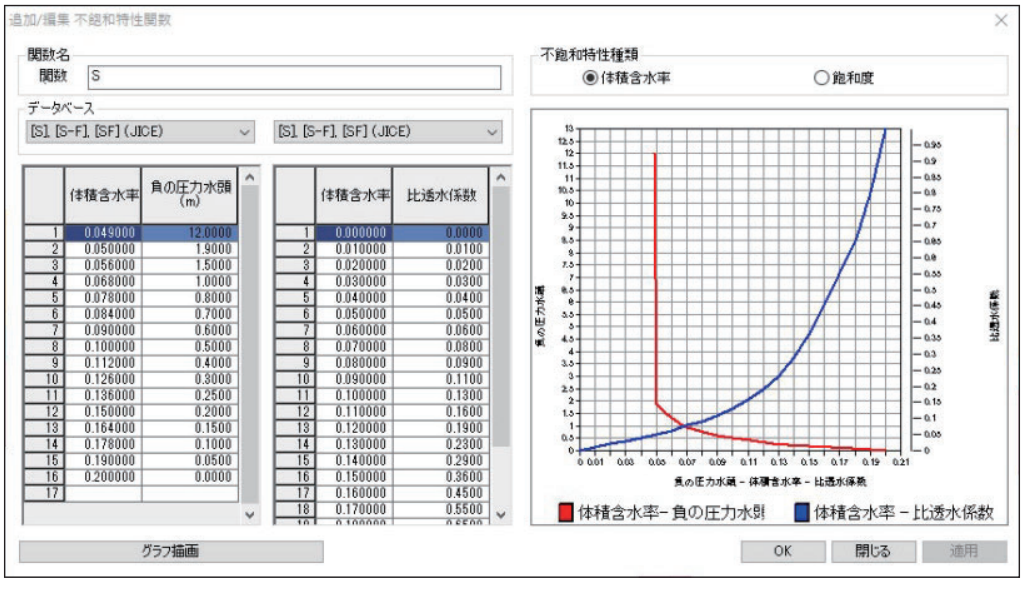




計画水位



降雨

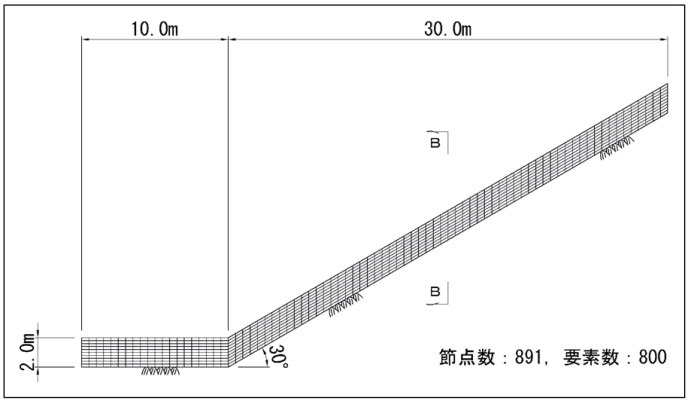


不飽和特性

7 降雨浸透による斜面安定性評価における2次元解析と3次元解析の比較検討

2016 MIDAS 建設分野 技術講座 - 岡山大学 教授 西垣 誠 発表資料より提供

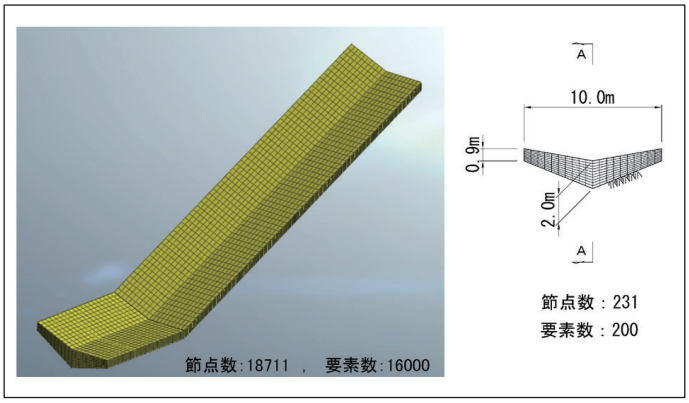
2次元浸透流解析モデルでは？



A - A 断面

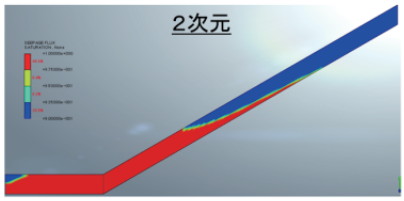
3次元浸透流解析モデル

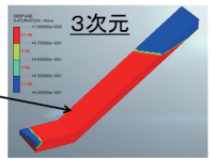
前頁の2次元モデルとB-B断面を組み合わせた谷地形モデル



B - B 断面

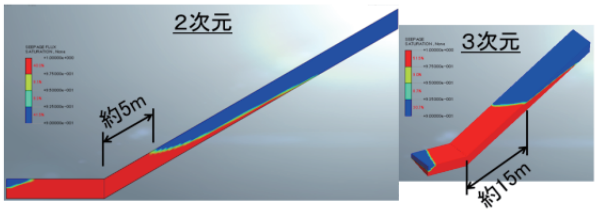
解析結果【浸透流解析(飽和度分布)，降雨開始10hr後】



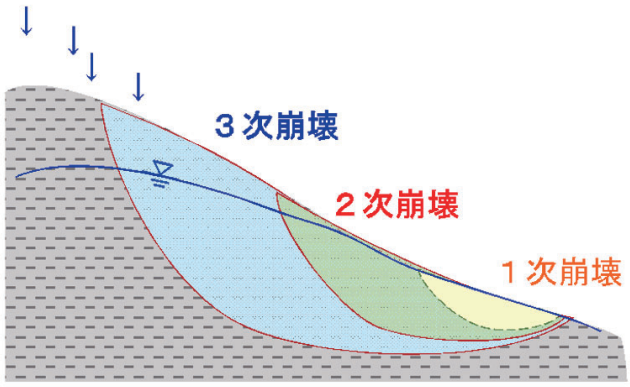


100mm(10mm/hr×10hr)
の降雨量で斜面全体が
ほぼ完全飽和状態

② この時，地表面まで飽和した領域は，2次元では法尻から上流域へ5m程度である。
一方，3次元では約15m(3倍)に達している。
2次元では，斜面内完全飽和を仮定しては？



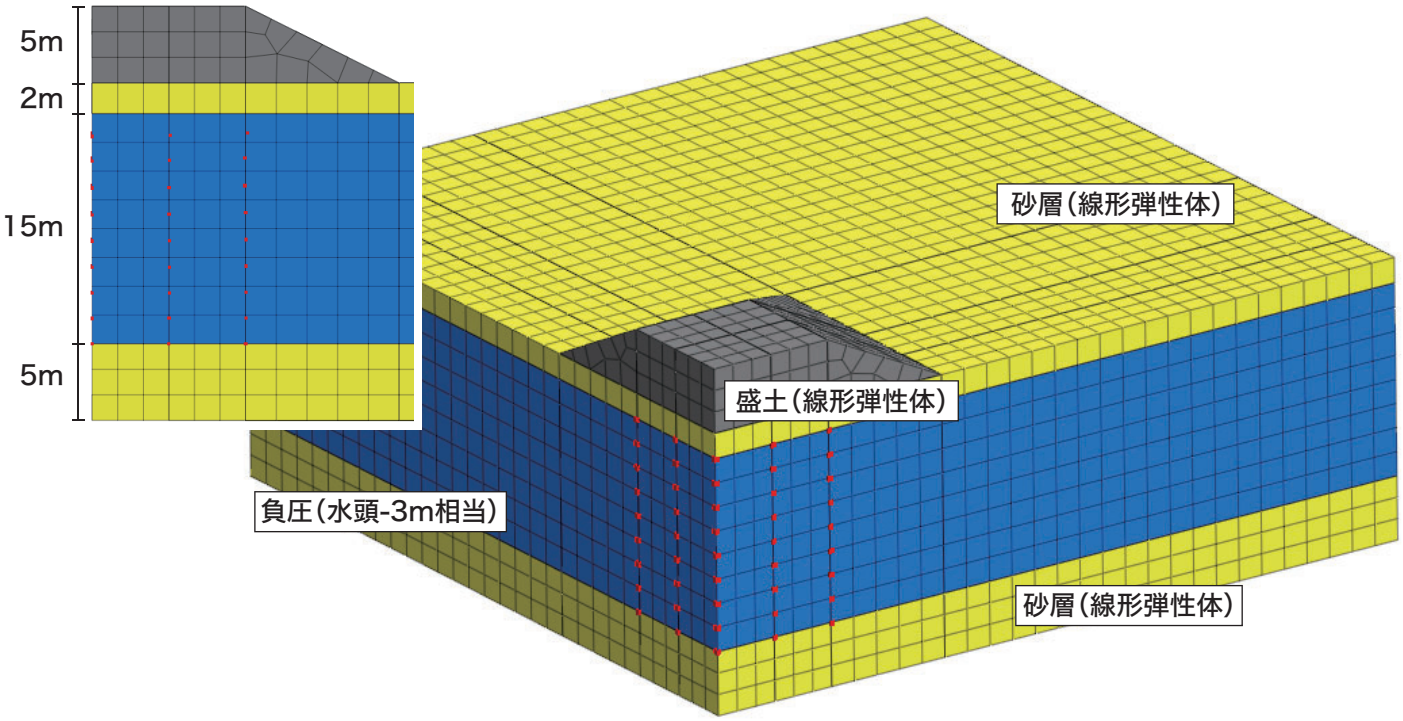
解析結果：法尻から上流域に向けて飽和が進展(進行性の斜面崩壊を示唆)



1次崩壊の主因は浸透水圧によるパイピング

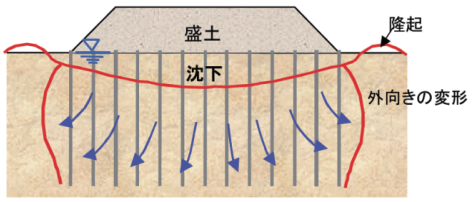
浸透問題はゲリラ豪雨等を踏まえ、保守的な3次元的評価を採用

8 真空圧密解析Ⅰ

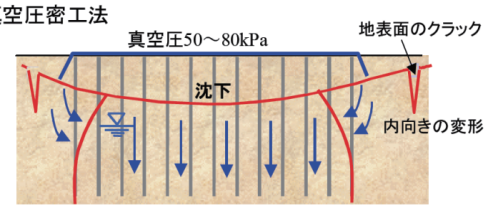


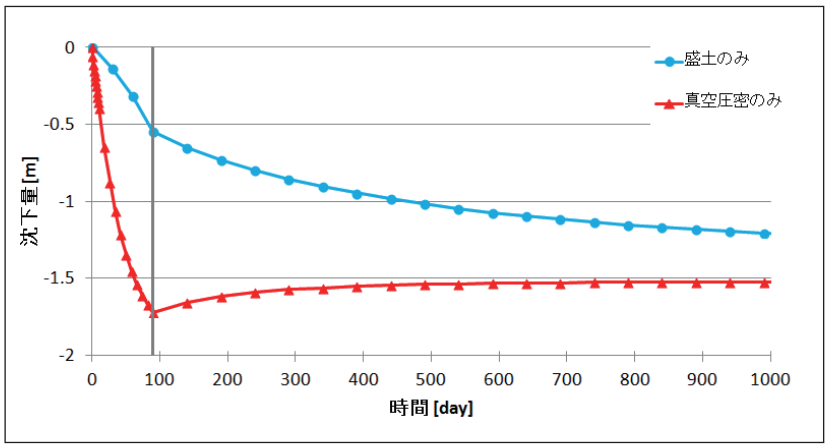
解析モデル(60m×60m) [要素数:17250、節点数:13157]

載荷盛土工法

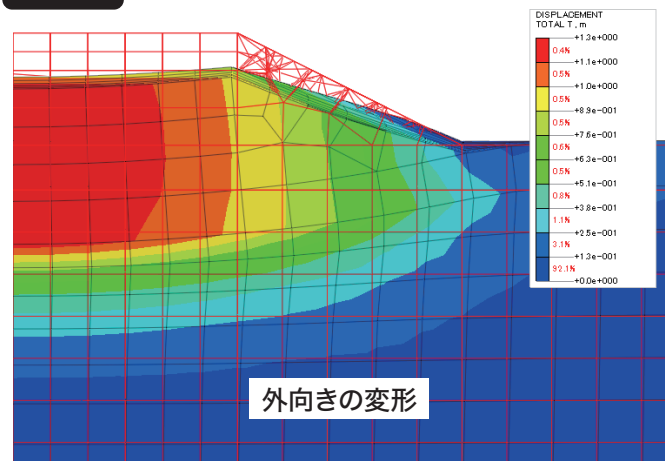


真空圧密工法

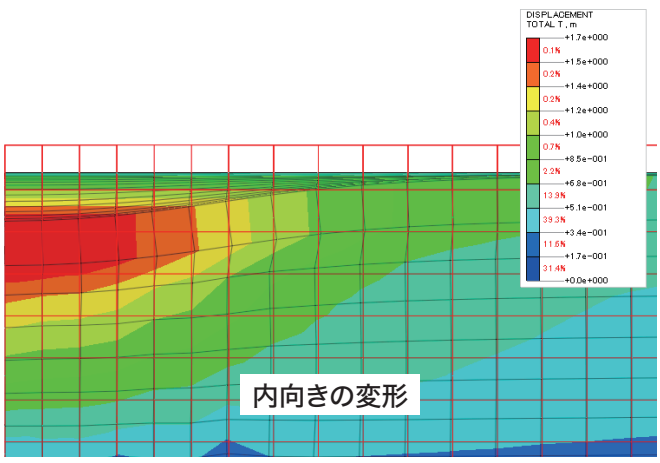




変形図

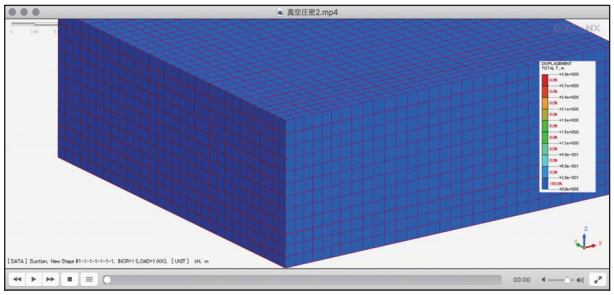


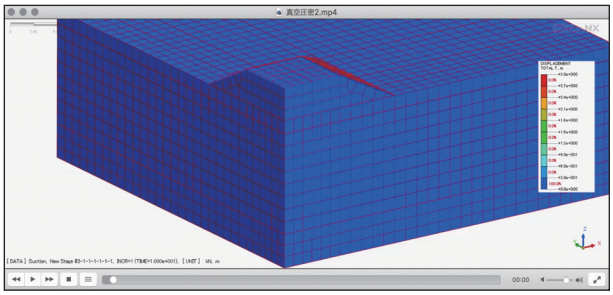
盛土のみ

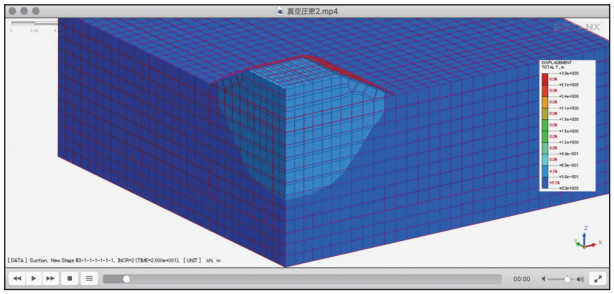


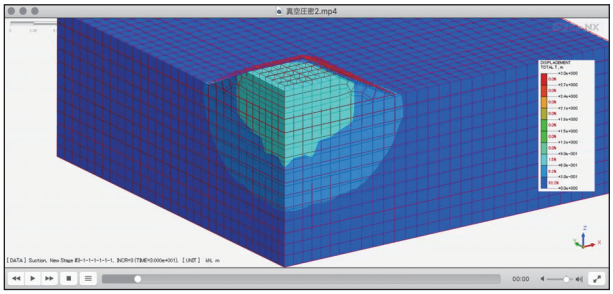
真空圧のみ

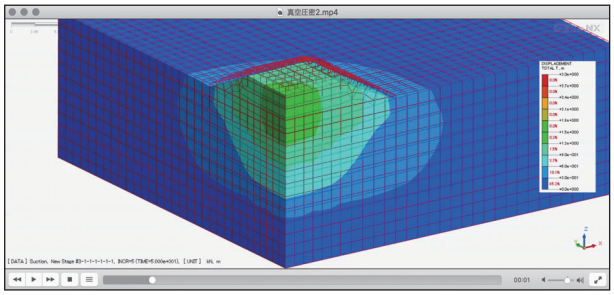
8 真空圧密解析 II

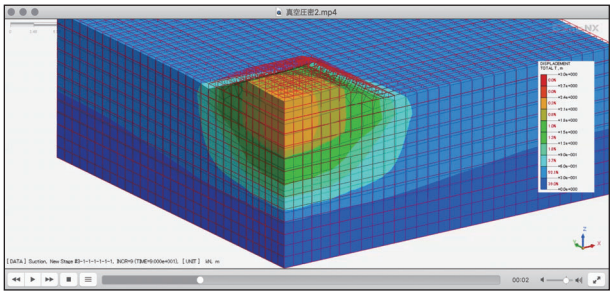


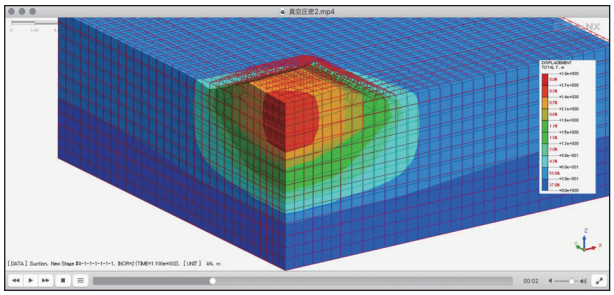


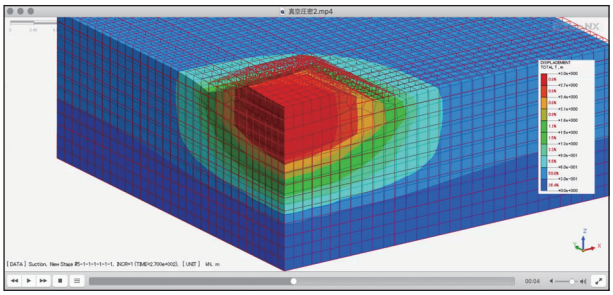


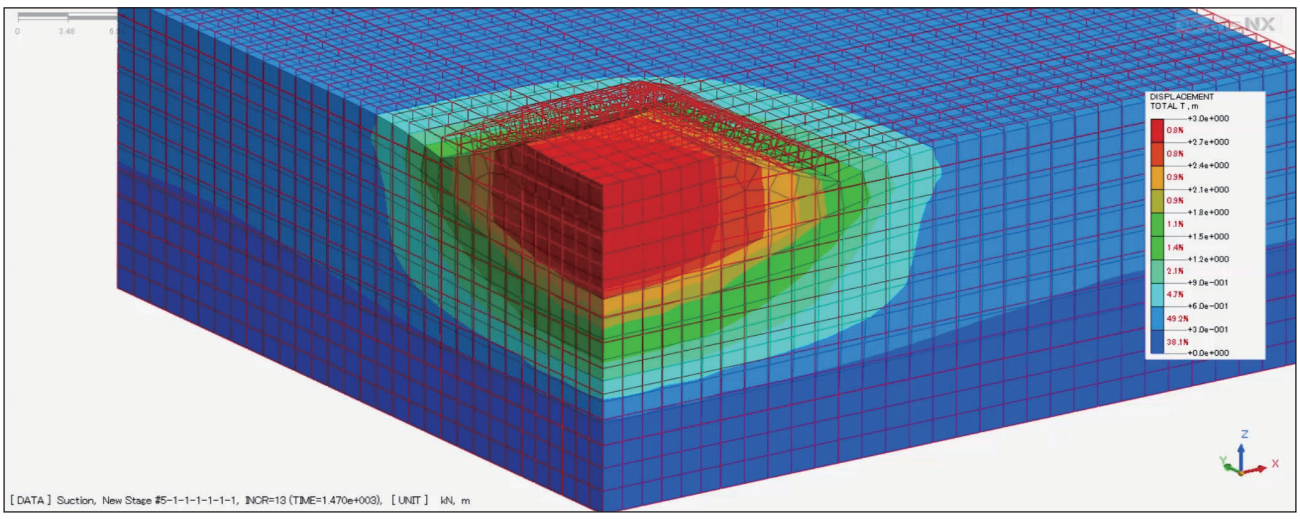










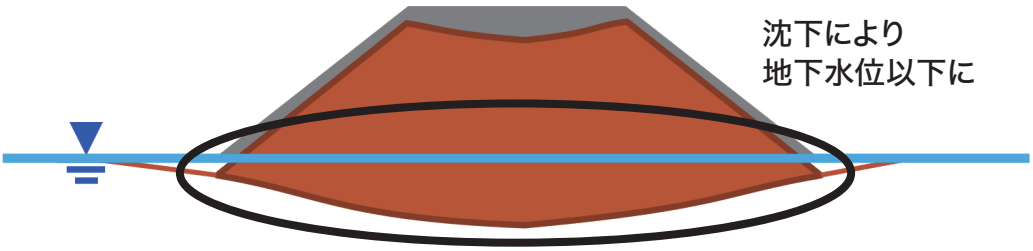


変位コンター＋変形図アニメーション

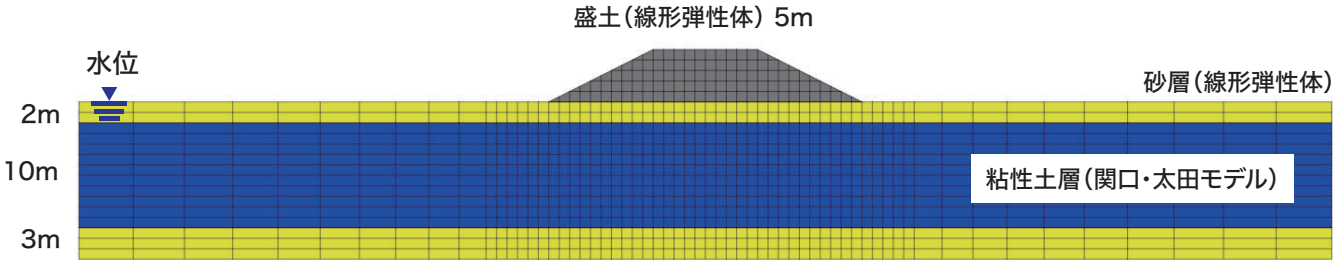
9 幾何非線形を考慮した圧密解析

解析のポイント

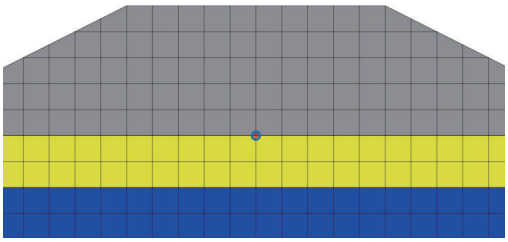
- 幾何非線形の考慮
- 部分飽和度の考慮
- 不飽和浸透特性の考慮



沈下後

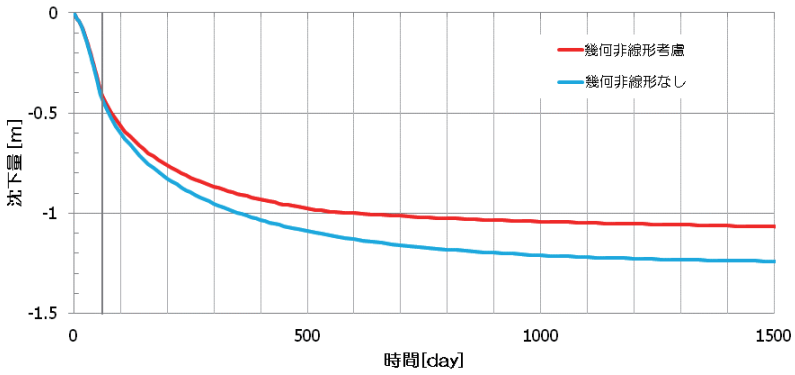


解析モデル(平面ひずみ要素)

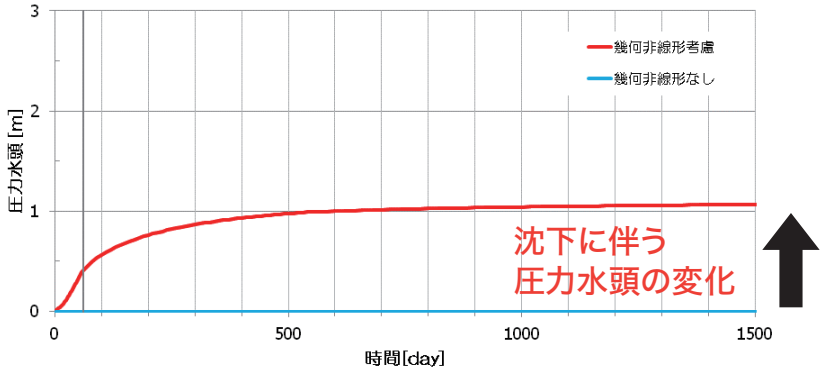


着目点

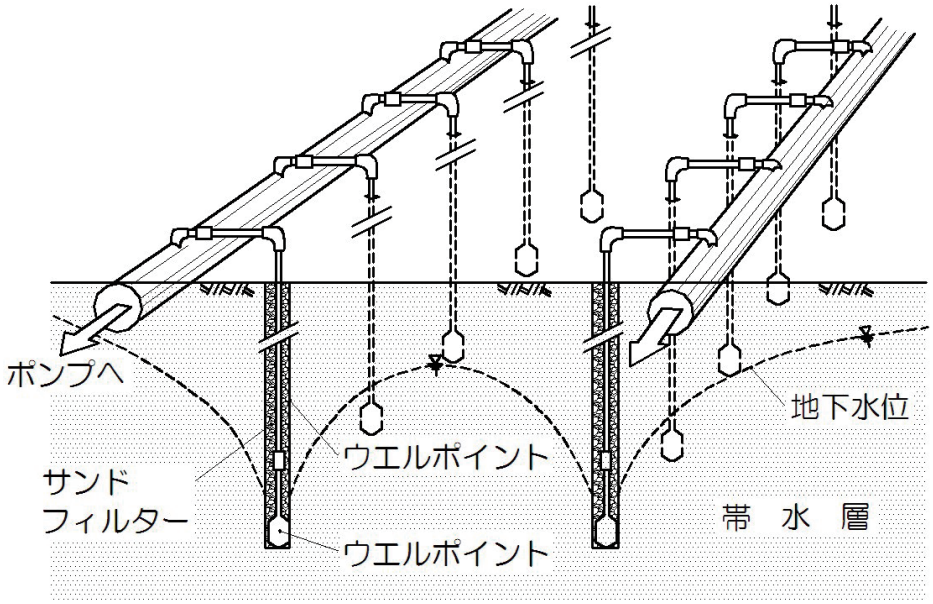
沈下量の変化

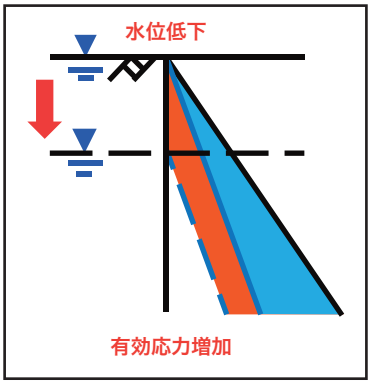


圧力水頭の変化



10 地下水位低下による圧密解析 I

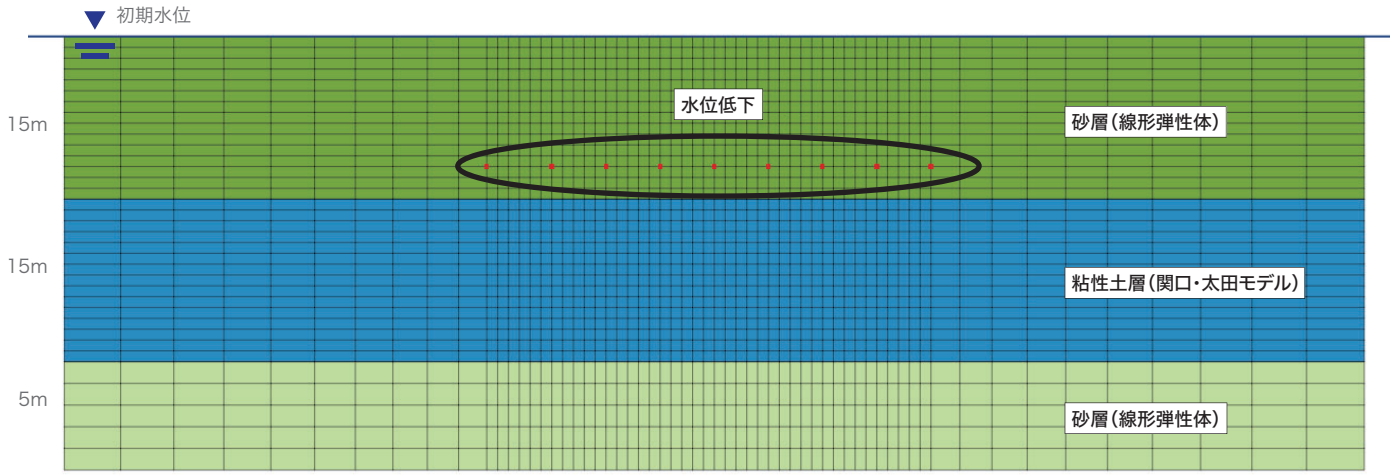




解析のポイント

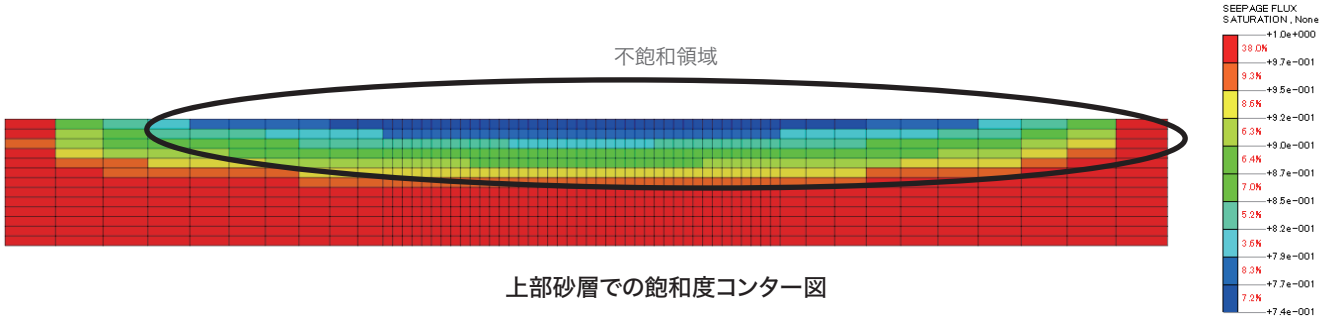
帯水層での水位低下をモデル化
- 通常の圧密解析では帯水層の水位低下まで解けない。

土-水完全連成解析(FEA NX)

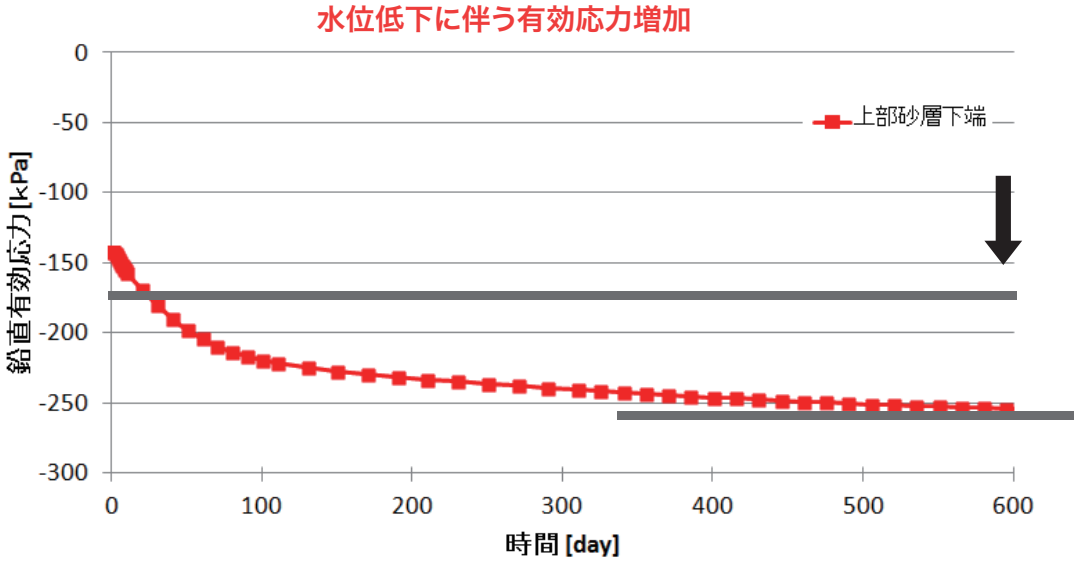


解析モデル(平面ひずみ要素) [要素数:2135、節点数:2232]

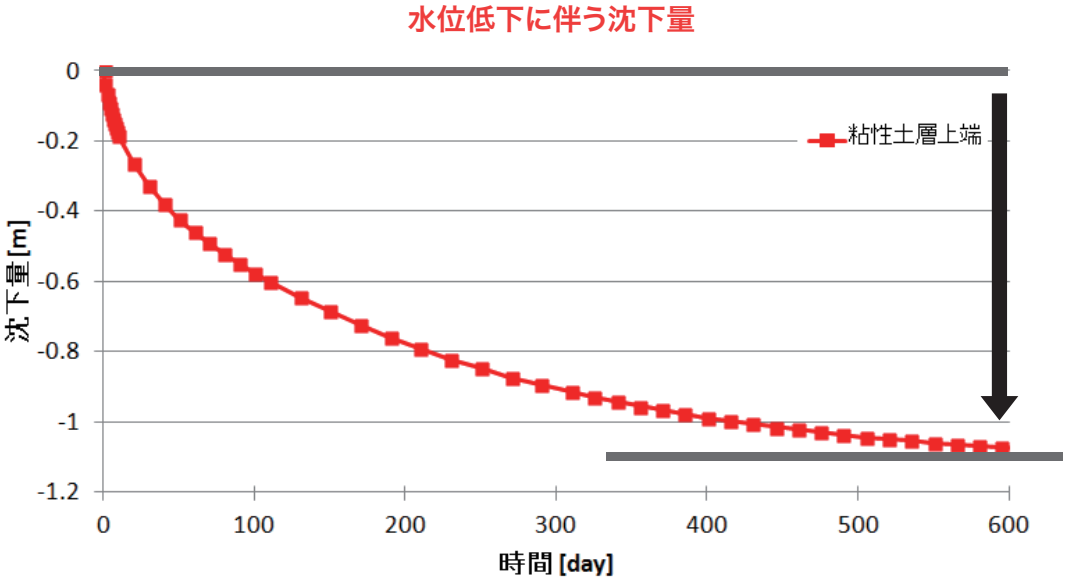
10 地下水位低下による圧密解析 II



上部砂層での飽和度コンター図

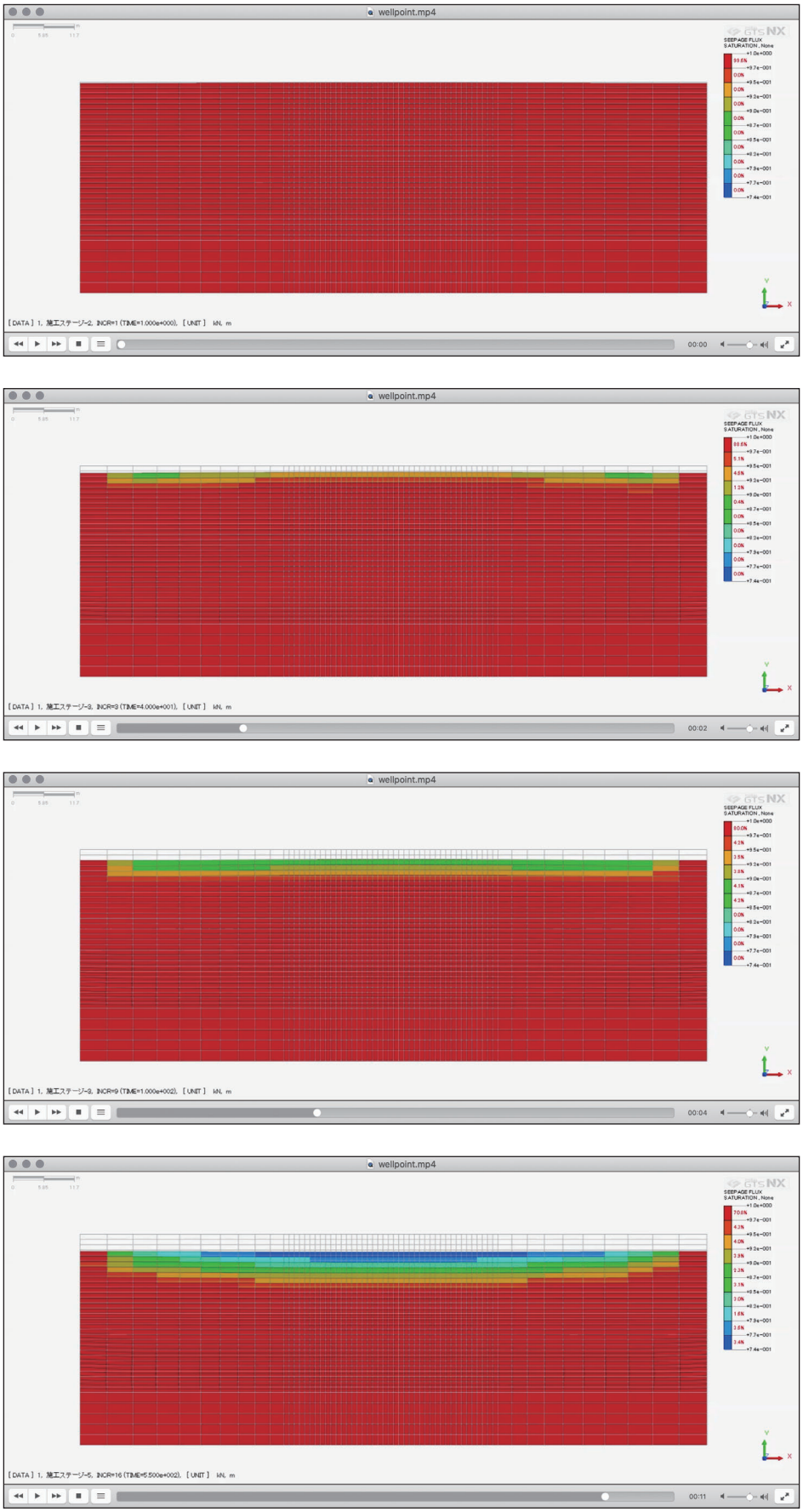


鉛直有効応力の変化



沈下量の変化

10 地下水位低下による圧密解析 III



飽和度コンター＋変形図アニメーション

FEA NX

汎用線形・非線形及び詳細解析システム

2・3次元版 PRICE

主な解析機能			販売定価	年間技術サービス(保守)費用
FEA NX 基本モジュール (Pre/Post, 構造&地盤線形)			1,800,000 円	360,000 円
構造解析オプション	非線形解析	1. 鋼材材料	300,000 円	60,000 円
		2. コンクリート材料(1必須, 1+2)	900,000 円	180,000 円
	フレーム非線形解析		300,000 円	60,000 円
	接触解析		600,000 円	120,000 円
	熱応力解析	1. 熱伝達	300,000 円	60,000 円
		2. 熱応力(1必須, 1+2)	300,000 円	60,000 円
	疲労解析		600,000 円	120,000 円
地盤解析オプション	非線形解析(地盤材料)		300,000 円	60,000 円
	圧密解析		300,000 円	60,000 円
	浸透流解析		300,000 円	60,000 円
	完全連成解析(浸透流解析,圧密解析必要)		500,000 円	100,000 円
	斜面安定解析		300,000 円	60,000 円
	2D/1D等価線形解析 (1D液状化 判定)		300,000 円	60,000 円
動的解析オプション	1. 線形		500,000 円	100,000 円
	2. 非線形 (1必須、1+2)		700,000 円	140,000 円
	3. おわんモデル(1,2 必須、1+2+3)		240,000 円	48,000 円
	4. 液体要素(1必須、1+4)		240,000 円	48,000 円
報告書作成オプション	報告書作成機能		120,000 円	24,000 円
CADインタフェースオプション	ACIS、STEP、IGES どれか一つ		100,000 円	20,000 円
	CATIA V4、CATIA V5 どれか一つ		300,000 円	60,000 円
	Pro/E、Inventor、Solid Works、Unigraphics どれか一つ		150,000 円	30,000 円
GPUオプション	グラフックカード演算機能対応		500,000 円	100,000 円
Webライセンス	Webライセンス認証版		30%	30%

※上記の金額はすべて税抜表示となります (消費税法第63条により表記)

※ FEA NXのWeb認証版は全て上記製品購入定価及びMODS金額から30%割増になります。
※ 初年度のMODS保守は必須です。
※ MODS保守には未加入期間を設けられません。未加入期間があっても次回のお申込では未加入期間も遡ります。
※ 記載された販売価格や内容は予告なしに変更する場合があります。
※ アカデミック版は、上記の販売定価と技術サービス(保守)費用が50%割引になります。

FEA NX

株式会社マイダスアイティジャパン 東京 建設事業部
〒101-0021 東京都千代田区外神田5-3-1秋葉原OSビル 6-7階
TEL 03-5817-0787 | **FAX** 03-5817-0784 | **E-mail** g.support@midasit.com

株式会社マイダスアイティジャパン 大阪 建設事業部
〒541-0059 大阪府大阪市中央区博労町3-3-7ビル博丈7階
TEL 06-6252-0789 | **FAX** 06-6252-0780 | **E-mail** b.sales_osaka@midasit.co.jp

www.midasUser.com