midas FEA

上下水道施設の応力解析と コンクリート水和熱解析

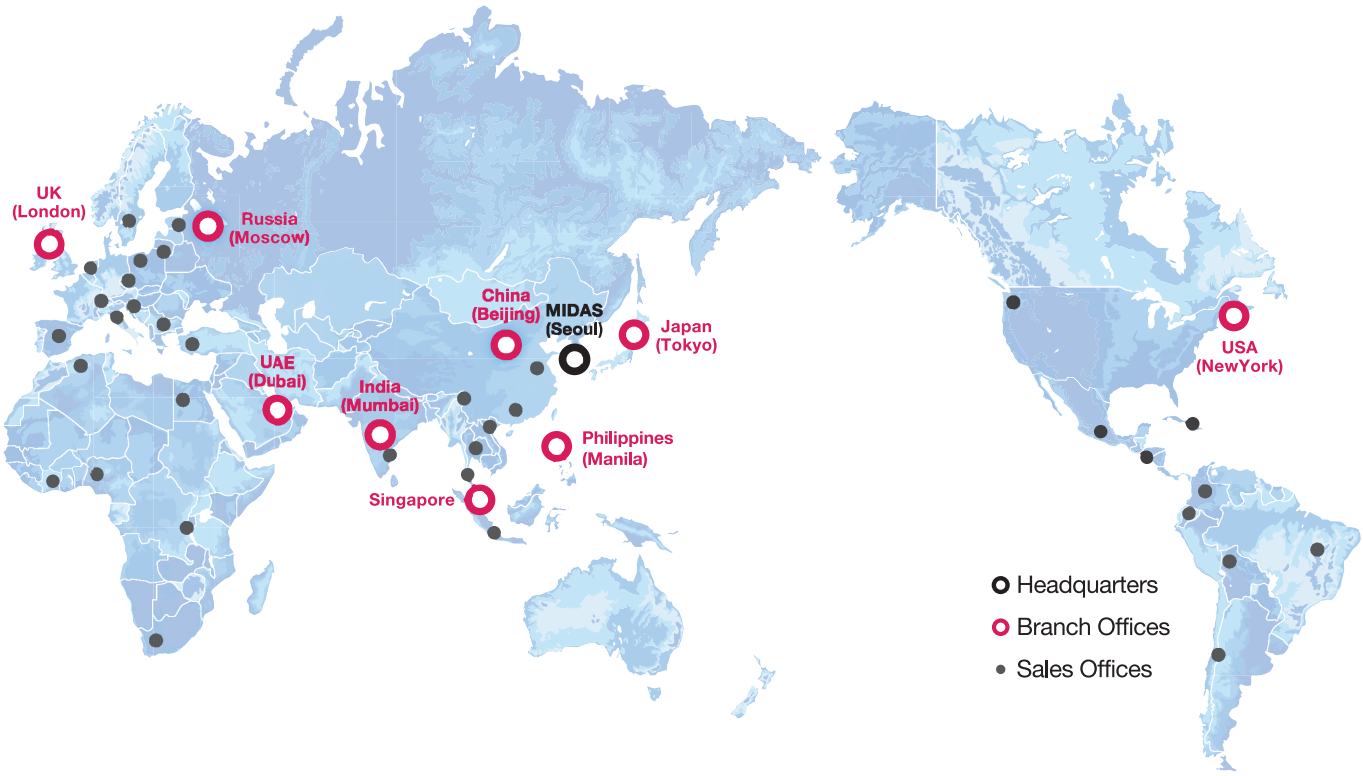
MIDAS
CONSTRUCTION
TECHNICAL
EDUCATION
SEMINAR

MIDAS

WE WILL CHANGE THE WORLD

The World's Best
Total Engineering Solution
Provider & Service Partner

建設業界	No.1
現地法人	9
海外代理店	35
輸出国	110



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。
1989年から活動を開始し、2000年9月にマイダスアイティを設立、現在は約600名の世界的な専門技術者を保有し日本、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、フィリピンの現地法人や35ヶ国の代理店などの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企業として成長しました。

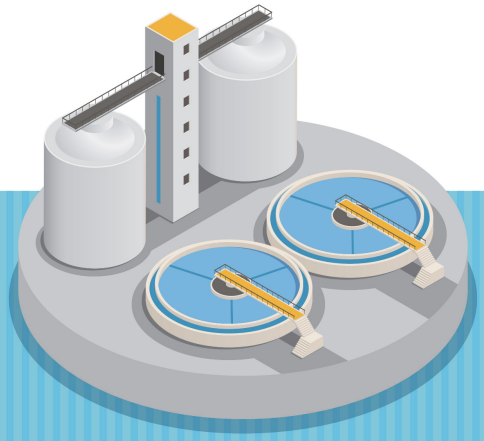
MIDAS IT JAPAN

マイダスアイティジャパンは、マイダスアイティの日本法人です。
2008年に建築工学技術用ソフトウェアの普及からスタートし、現在は土木/地盤/機械の分野まで事業を拡張しています。
日本国内では1,300社6,500ライセンスが使用されており、建築分野から土木/地盤分野（橋梁、トンネル、地下構造物、土構造物等）、機械分野(自動車、精密機器、医療等)にかけて、多分野で活用されるまでに成長しました。

PRODUCT HISTORY

2002	2004	2006	2008	2010	2012	2013	2014	2017	2019
Gen	Civil	FEA	日本法人設立	GTS (旧、GTS NX), NFX	iGen, Soilworks	Soilworks for FILP, Soilworks for LIQCA	eGen-RC, Drawing, GTS NX, Geo XD	eGen-S, CAD ロボ, SOLIFLUK PE	CIM FEA NX

midas FEA
上下水道施設の応力解析とコンクリート水和熱解析



MIDAS

上下水道施設の応力解析とコンクリート水和熱解析
2019 MIDAS CONSTRUCTION TECHNICAL EDUCATION SEMINAR

AGENDA

Session.1	midas FEA製品紹介
Session.2	数値解析データの作成方法と結果確認について
Session.3	上下水道構造物とコンクリート水和熱解析の実習
Session.4	解析例紹介

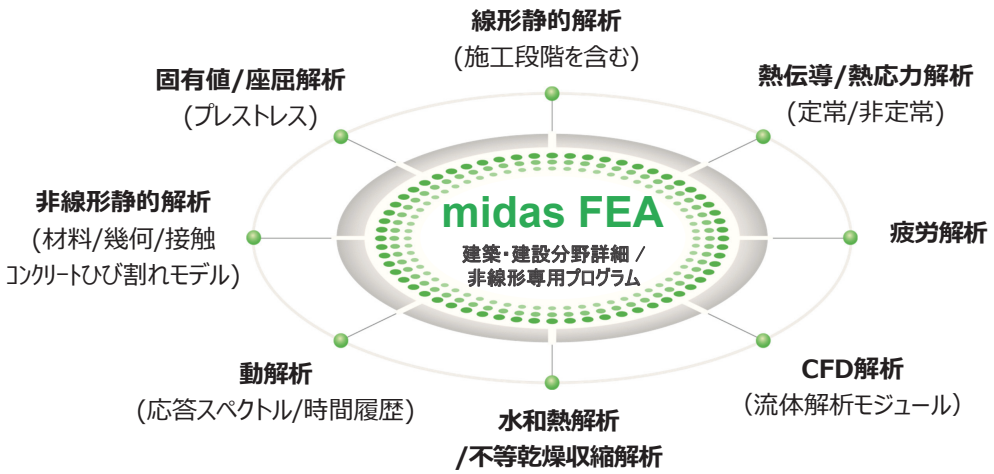
上下水道施設の応力解析とコンクリート水和熱解析

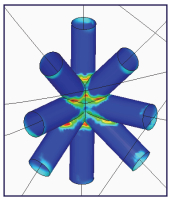
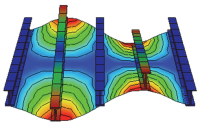
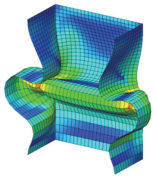
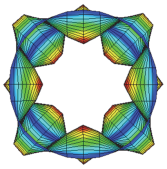
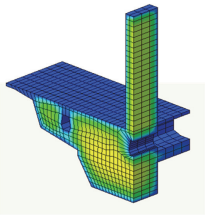
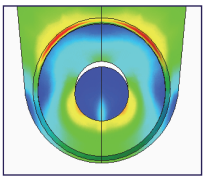
2019 MIDAS CONSTRUCTION TECHNICAL EDUCATION SEMINAR

Session.1

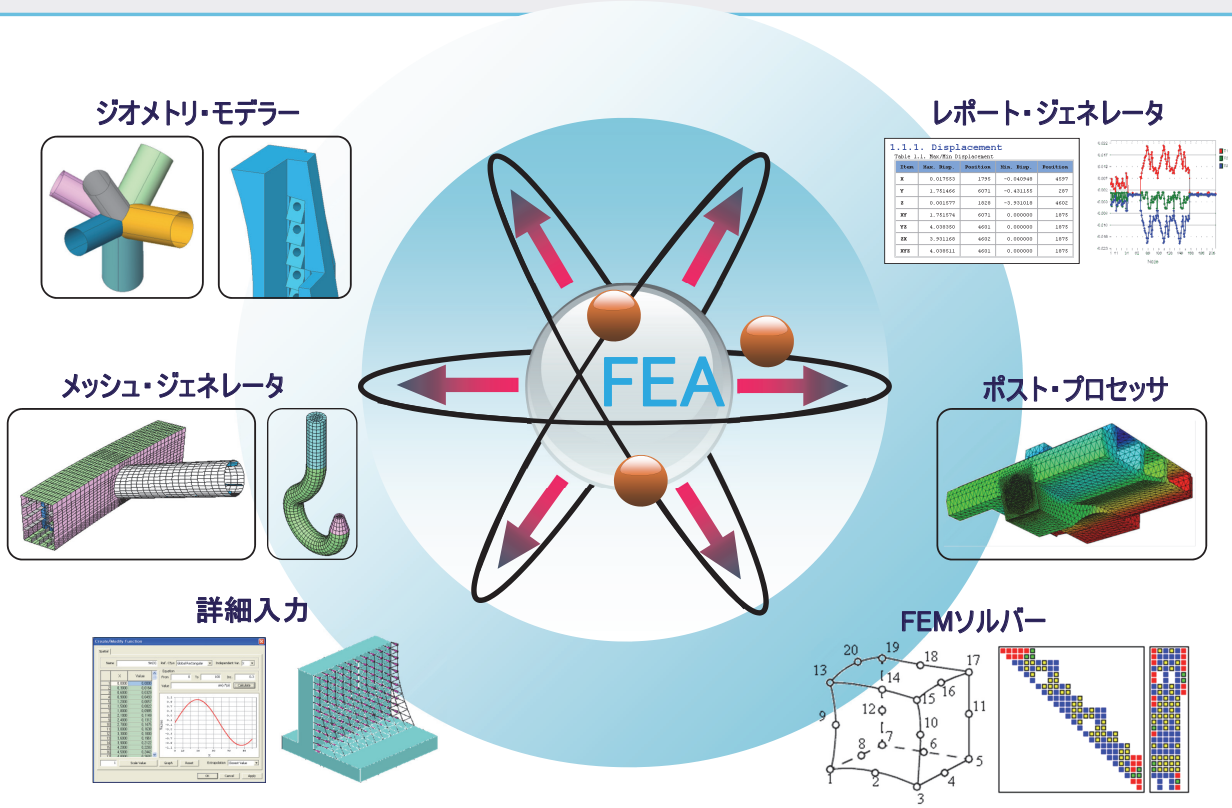
midas FEA 製品紹介

01　midas FEAは、

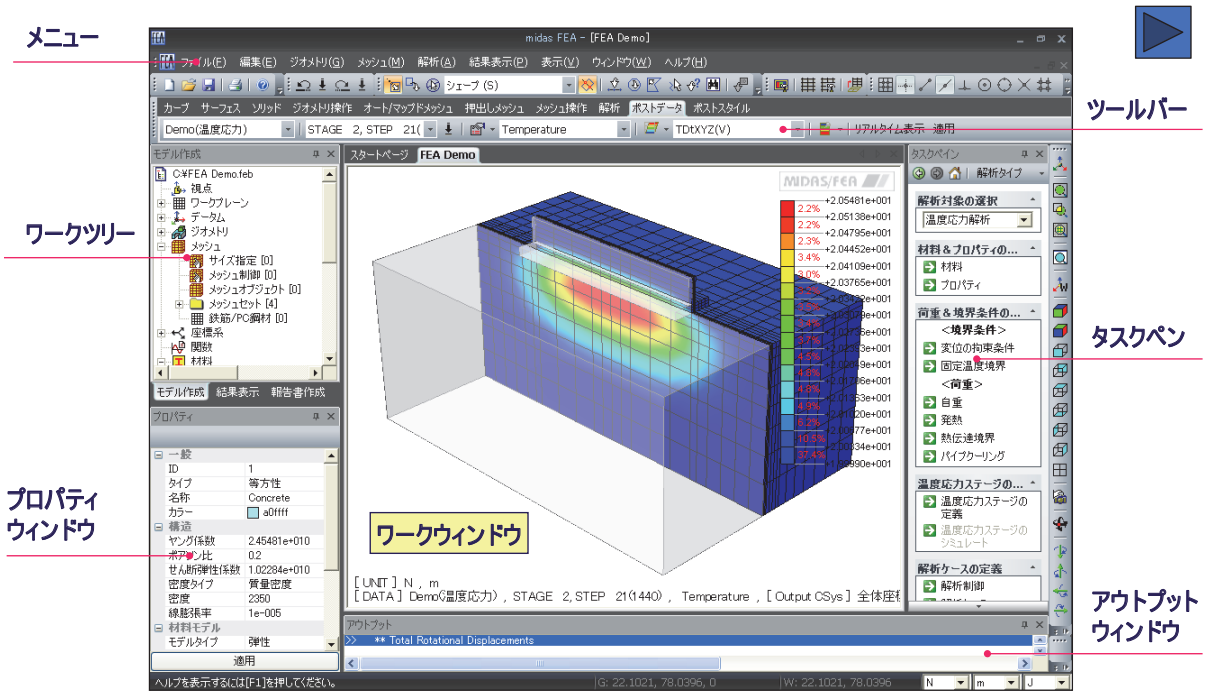


02　プログラムの構成



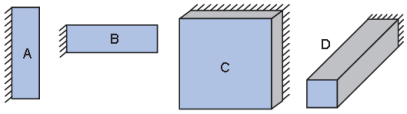
03　作業ウィンドウ(Windows環境)



04 静的線形解析

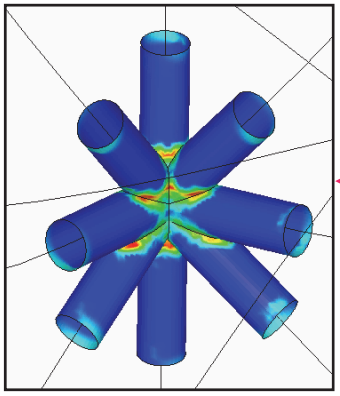
■ 静的線形解析
- 複合荷重ケース
- 結果の足し合わせと座標変換

■ 方程式解法
- 直接法
  - Multi-frontal Sparse Gaussianソルバー（デフォルト）
  - スカイラインソルバー
- 反復法
  - 前処理付き共役勾配法（PCG法）
  - Generalized Minimal Residual（GMRS）



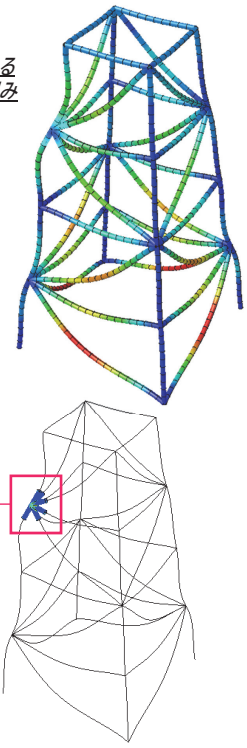
		Model A	Model B	Model C	Model D
Element Type		Plate	Plate	Solid	Solid
No. of Elements		30,000	30,000	125,000	40,000
No. of DOF's		180,600	181,800	390,150	132,300
Solution Time [sec]	Multi-frontal	35	41	3,244	262
	PCG	179	188	817	139

解析時間 (Pentium IV 3GHz, 1GB RAM)



ジャケットの応力分布

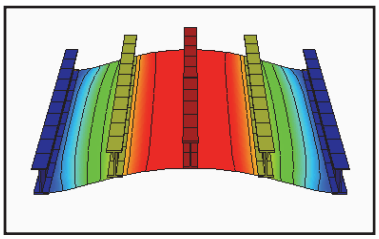
円筒ジャケットから構成される
海上作業台船の鋼製骨組み
（板 + フレーム）



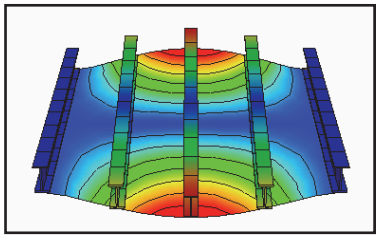
05 固有値解析

■ モード解析
- ランチョス法
- サブスペース法
- Ritz Vector

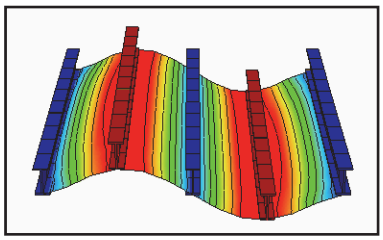
■ 線形座屈解析
- 限界座屈モード
- 座屈モード
- 荷重足し合わせ



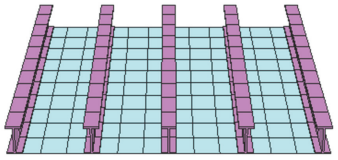
1次モード (64.58 Hz)



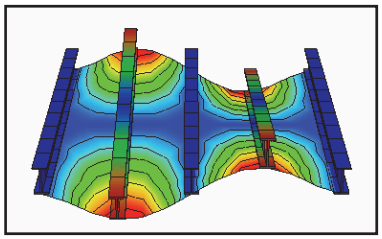
2次モード (106.05 Hz)



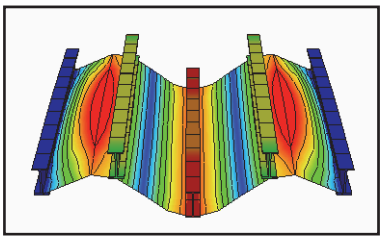
3次モード (208.96 Hz)



単純支持された防撓板
（板 + 梁）



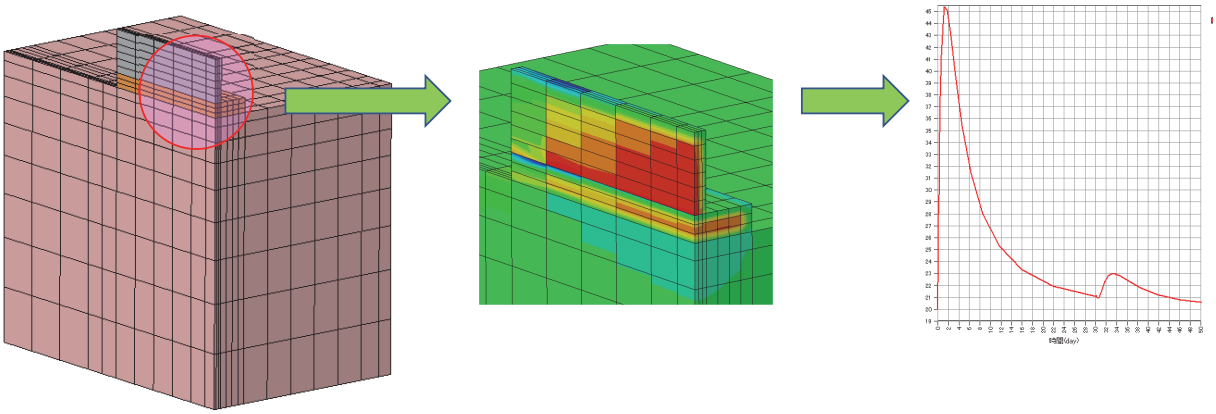
4次モード (270.00 Hz)



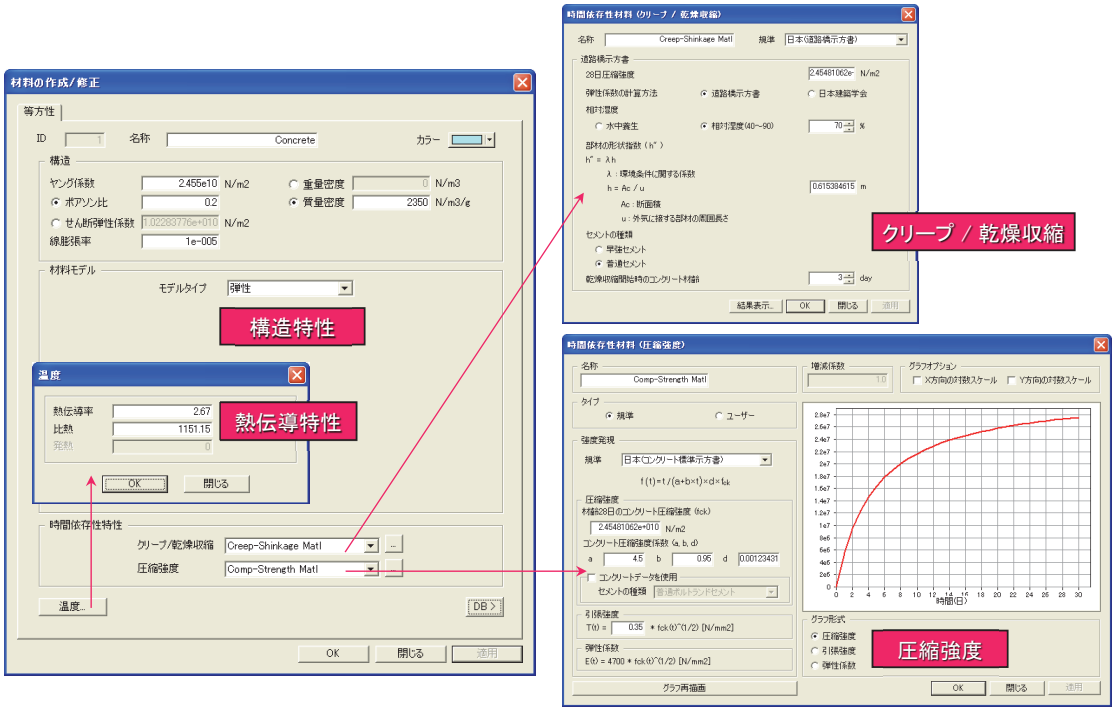
5次モード (440.58 Hz)

06　水和熱解析

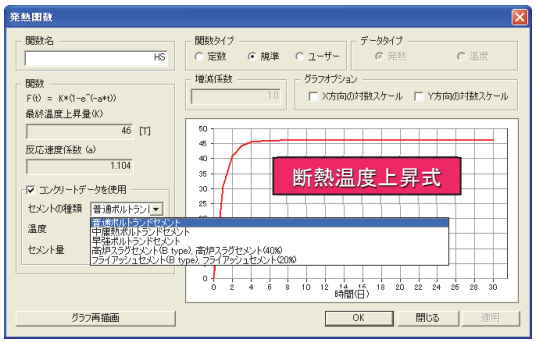
- **水和熱応力解析**
  マスコンクリートの水和過程の発熱による膨張と収縮での応力変化を解析
- **荷重 & 境界条件**
  ①構造の拘束条件　②熱応力解析データ（発熱、熱伝達、外気・固定温度）
  ③熱応力ステージ
- **結果照会**
  - 温度・応力・ひび割れ指数



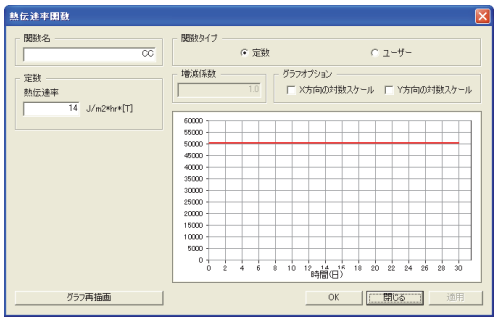
07　時間依存性材料



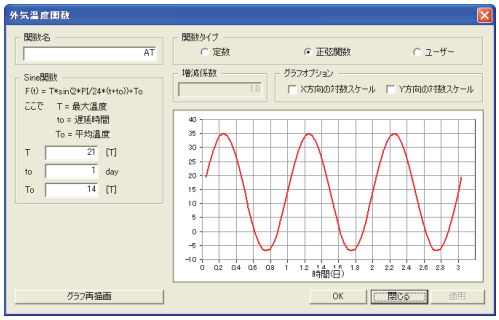
08 熱伝導



発熱関数



熱伝達率関数



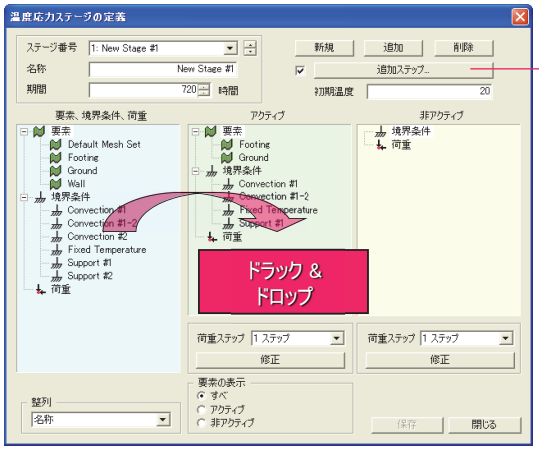
外気温度関数

- 発熱関数:
  - コンクリート標準示方書準拠
    - 最終温度上昇量
    - 反応速度係数
  - テーブル入力

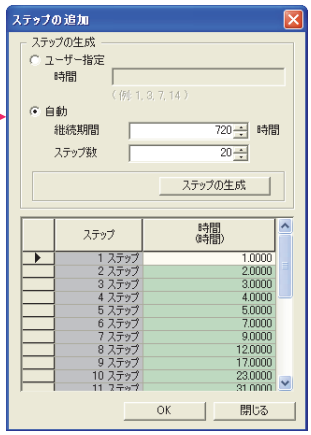
- 熱伝達率関数:
  - テーブル入力

- 外気温度関数:
  - 正弦関数
  - テーブル入力

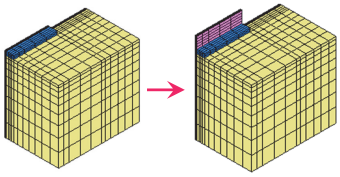
09 熱応力施工ステージの設定

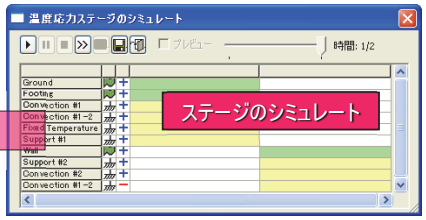


ステージの定義



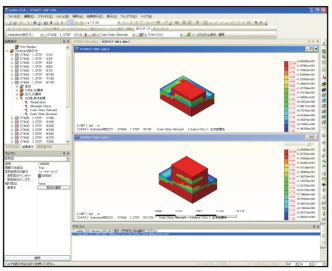
自動ステップ生成機能



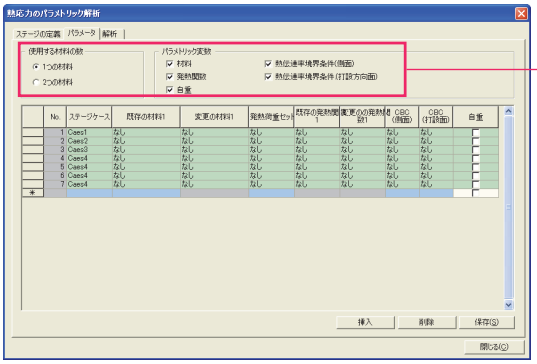


10　パラメトリック解析機能

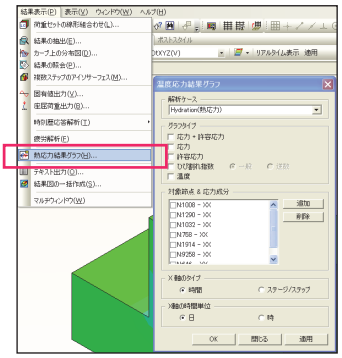
- 材料特性、コンクリート打設条件、外気境界条件をパラメータ化して反復解析を実行
  ⇒　条件別に検討した後で最適条件を設定可能
  - 段階施工ステージ設定
  - パラメータ設定
  - 解析ケース設定



マルチウィンドウを利用した解析結果の比較

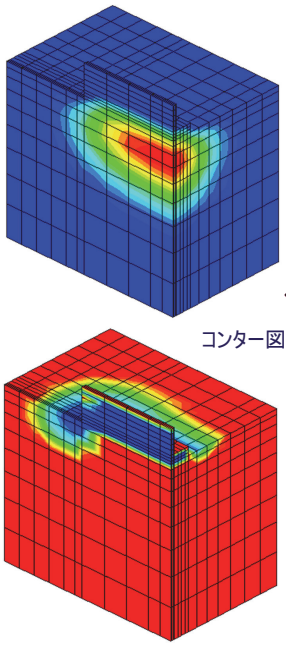


パラメータ定義

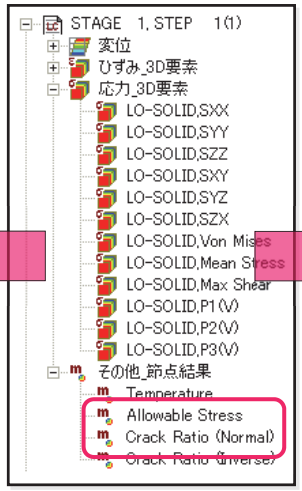


熱応力結果グラフを利用した解析結果の比較

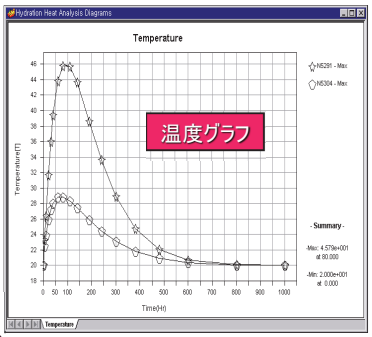
11　結果表示

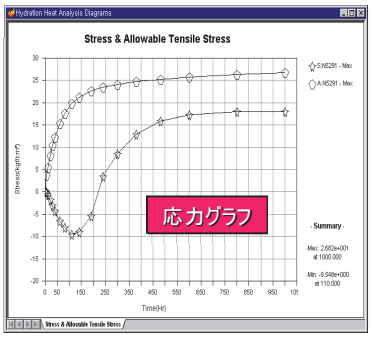


コンター図



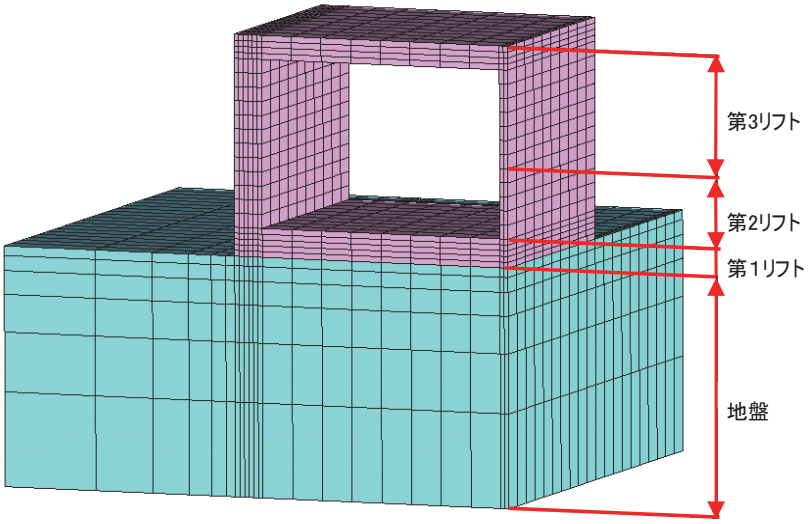
ポストデータ





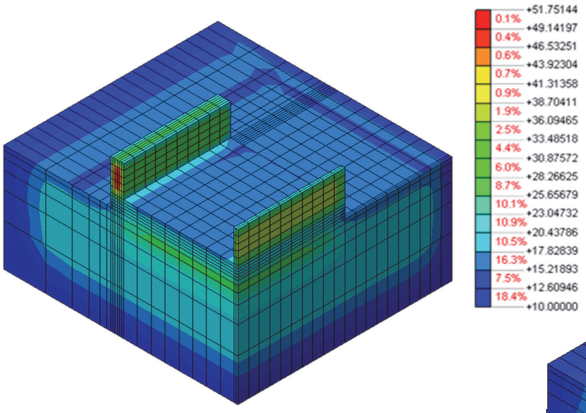
12　解析例

BOXカルバートの熱応力解析

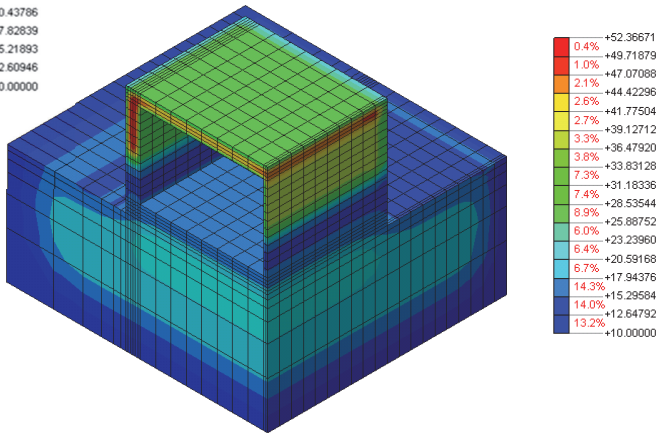


解析モデル及び打設リフト図

13　解析例



側壁打設2日後の温度コンター図



頂板打設2日後の温度コンター図

上下水道施設の応力解析とコンクリート水和熱解析

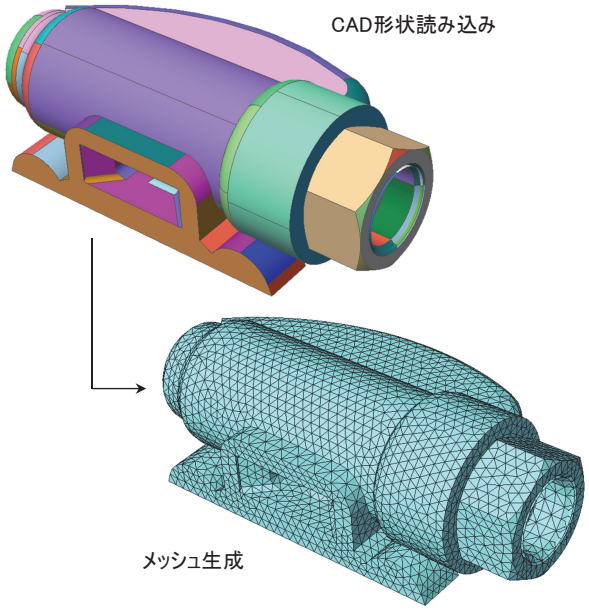
2019 MIDAS CONSTRUCTION TECHNICAL EDUCATION SEMINAR

Session.2

数値解析データの作成方法と結果確認について

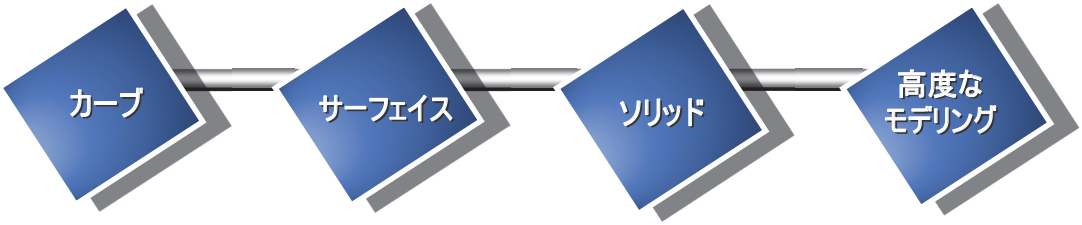
01　ジオメトリモデリング

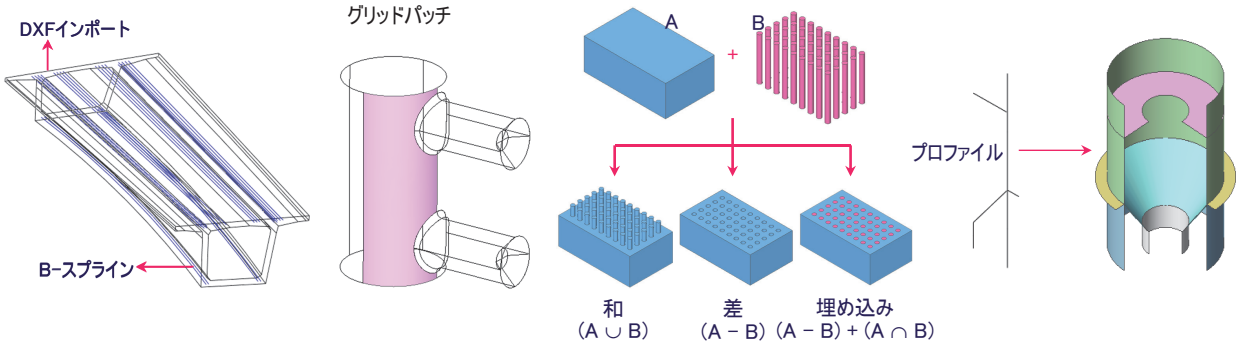
- **インポート**
  - 形状
    - ✓ DXF 2D/3D, STEP, IGES, Brep
    - ✓ AutoCAD DWG/DXF*
    - ✓ ACIS*, Parasolid*　➢ '*' オプション
  - モデルデータ
    - ✓ DIANA(FX4D), MSC NASTRAN
    - ✓ midas MGT, midas MCT
    - ✓ 中立ファイル (Text)
  - 解析結果
    - ✓ 結果ファイル(Text / Binary)
- **エクスポート**
  - 形状
    - ✓ STEP, IGES, Brep
  - モデルデータ
    - ✓ MSC NASTRAN
    - ✓ midas Civil, midas Gen
    - ✓ 中立ファイル (Text)



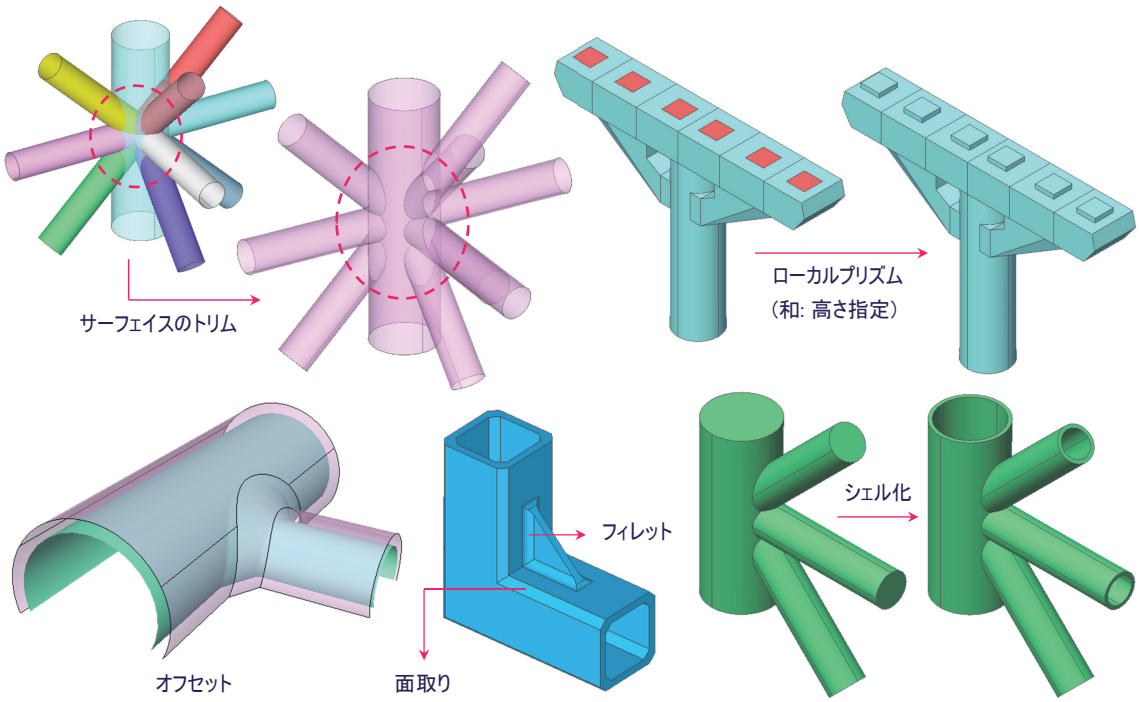
CADデータ交換の標準
- STEP (**ST**andard for the **E**xchange of **P**roduct Model Data)
- IGES (**I**nitial **G**raphics **E**xchange **S**pecification)

02　ジオメトリモデリング

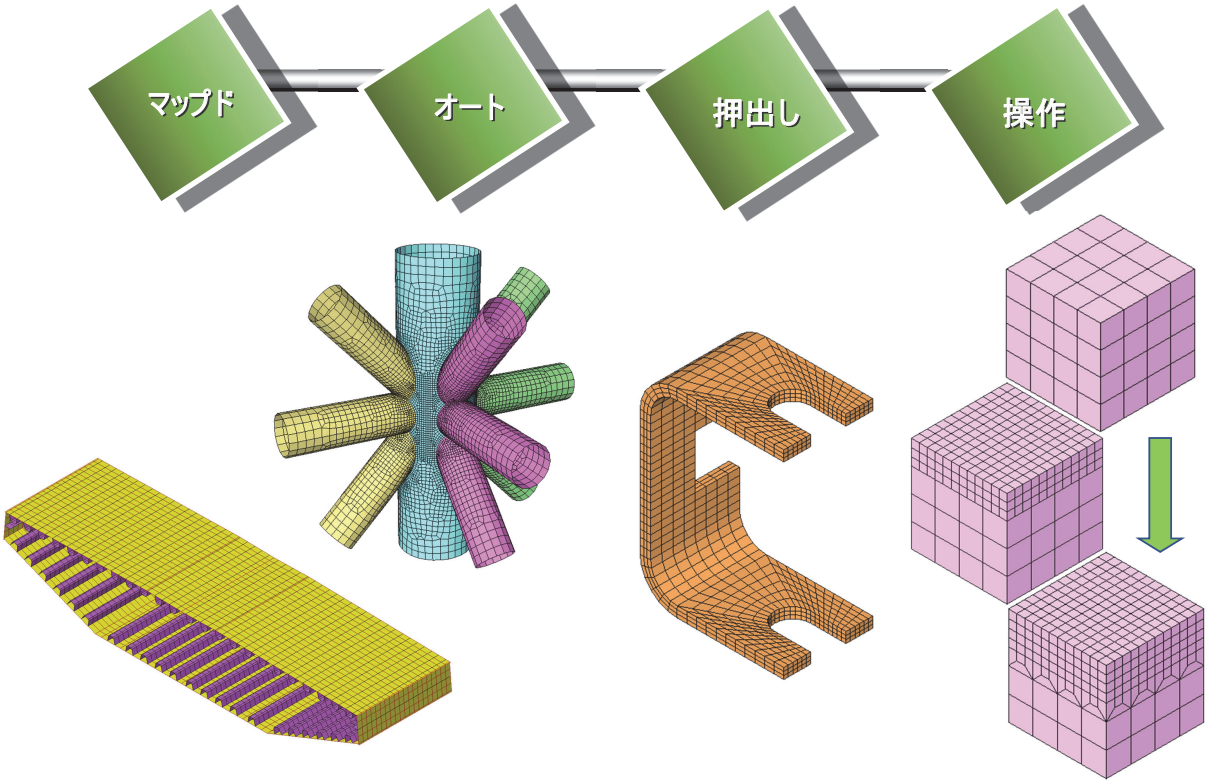




03　高度のジオメトリ編集機能



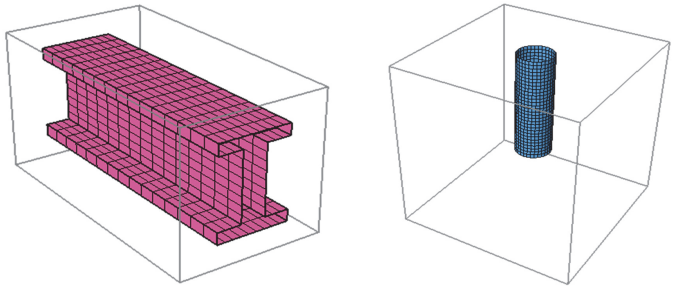
04　高度のジオメトリ編集機能

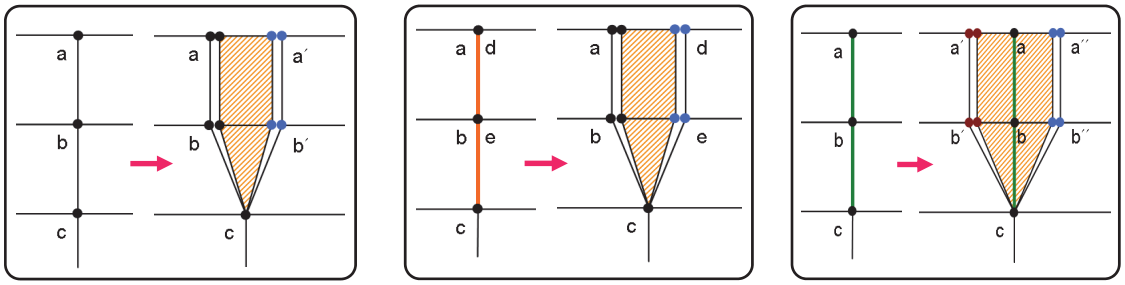


05　境界面の表現

■ **生成方法**

- 節点選択
- 節点ID入力
- 要素境界から抽出
- フリーフェイスから抽出
- 梁 / 板の両側に挿入
- 要素を囲んで





節点選択
節点ID入力

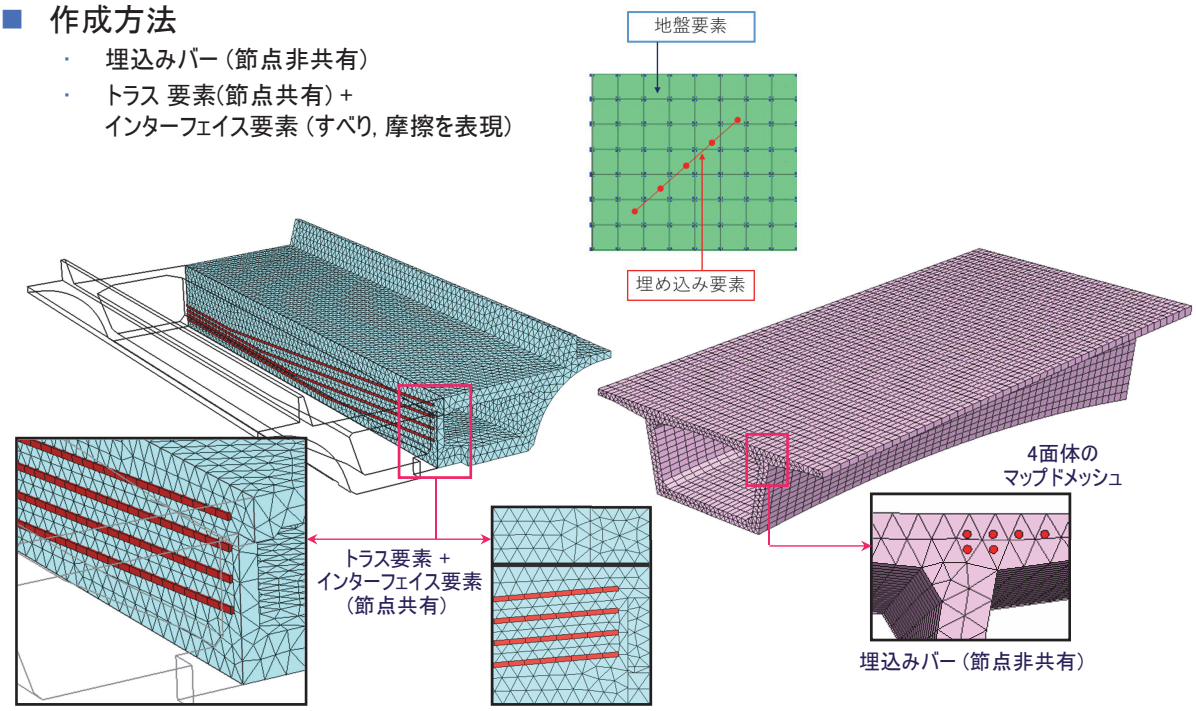
要素境界から抽出
フリーフェイスから抽出

梁/板の両側に挿入

06　鉄筋/PC鋼材

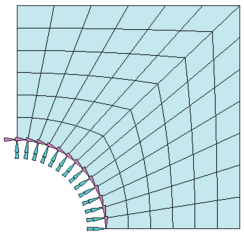
■ 作成方法

- 埋込みバー（節点非共有）
- トラス 要素(節点共有) +
  インターフェイス要素（すべり, 摩擦を表現）



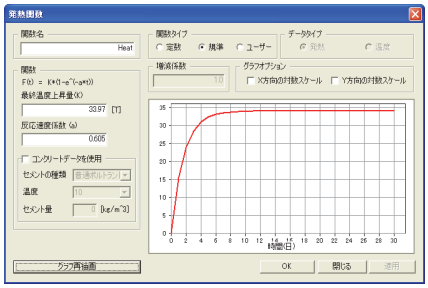
07　荷重・拘束条件

- 荷重
  - 自重
  - 力 / モーメント
  - 節点質量
  - 強制変位
  - 圧力
  - 梁荷重
  - プレストレス
  - 温度荷重
  - 速度 / 加速度
  - 発熱
  - 時間荷重機能
  - 地震動
  - 応答スペクトル関数

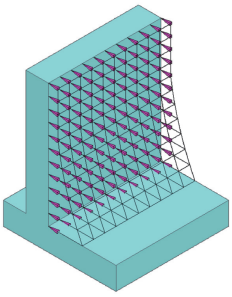


座標系に基づく拘束

- 境界条件
  - 拘束
  - 拘束条件式
  - 熱伝達
    熱伝達係数 / 外気温度
  - 固定温度

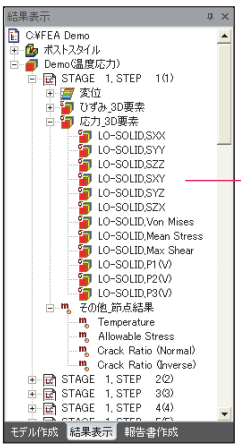


発熱関数

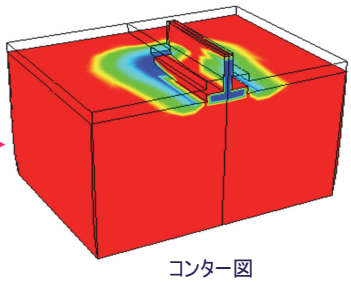


空間的に変化する分布力

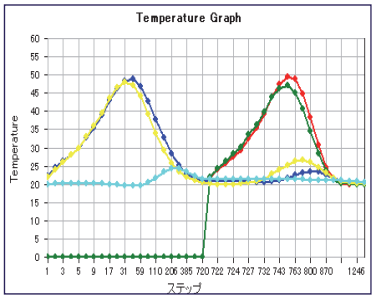
08　ポスト処理



ワークツリー



コンター図



グラフ

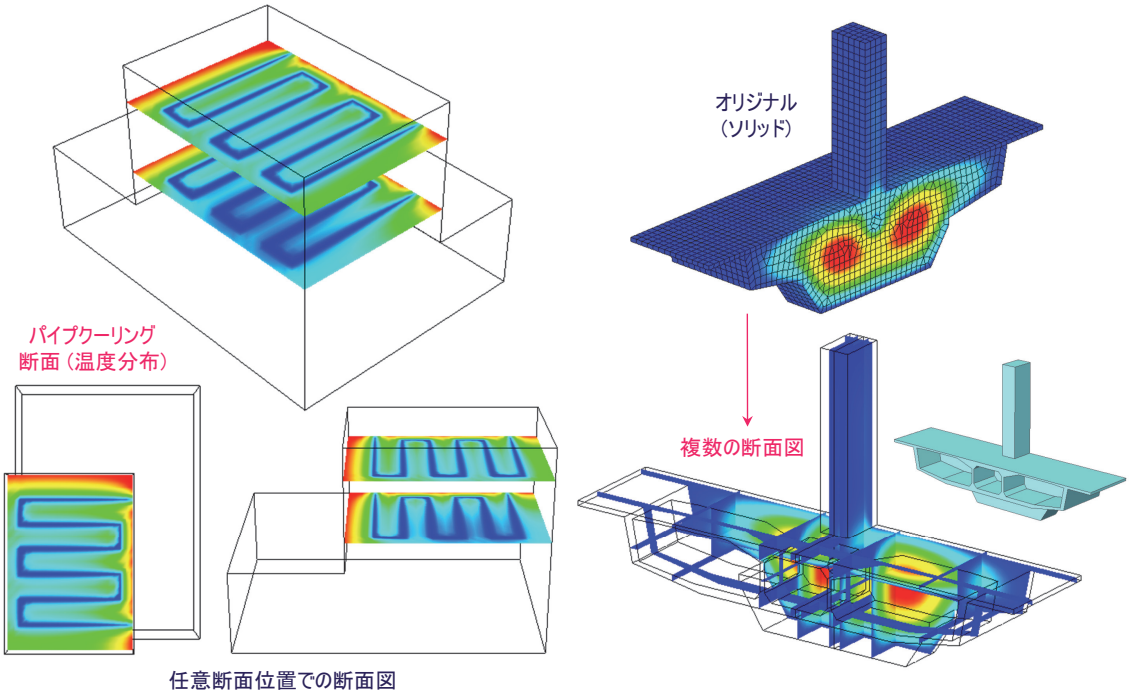
No	ステップ	ステップ	節点:3	節点:4
1	STAGE 1, STEP	1	0.00	0.00
2	STAGE 1, STEP	2	0.00	0.00
3	STAGE 1, STEP	3	0.00	0.00
4	STAGE 1, STEP	4	0.00	0.00
5	STAGE 1, STEP	5	0.00	0.00
6	STAGE 1, STEP	7	0.00	0.00
7	STAGE 1, STEP	9	0.00	0.00
8	STAGE 1, STEP	12	0.00	0.00
9	STAGE 1, STEP	17	0.00	0.00
10	STAGE 1, STEP	23	0.00	0.00
11	STAGE 1, STEP	31	0.00	0.00
12	STAGE 1, STEP	43	0.00	0.00
13	STAGE 1, STEP	59	0.00	0.00
14	STAGE 1, STEP	80	0.00	0.00
15	STAGE 1, STEP	110	0.00	0.00
16	STAGE 1, STEP	150	0.00	0.00
17	STAGE 1, STEP	206	0.00	0.00
18	STAGE 1, STEP	281	0.00	0.00
19	STAGE 1, STEP	385	0.00	0.00
20	STAGE 1, STEP	526	0.00	0.00

数値テーブル

	A	B	C	D
1	1	0,004394	0,000727	-0,004332
2	2	0,004824	-0,002044	-0,004367
3	3	0,006663	-0,00499	-0,004402
4	4	0,003325	0,000601	-0,003268
5	5	0,003477	-0,001071	-0,003307
6	6	0,004475	-0,00295	-0,003352
7	7	0,002358	0,000509	-0,002299

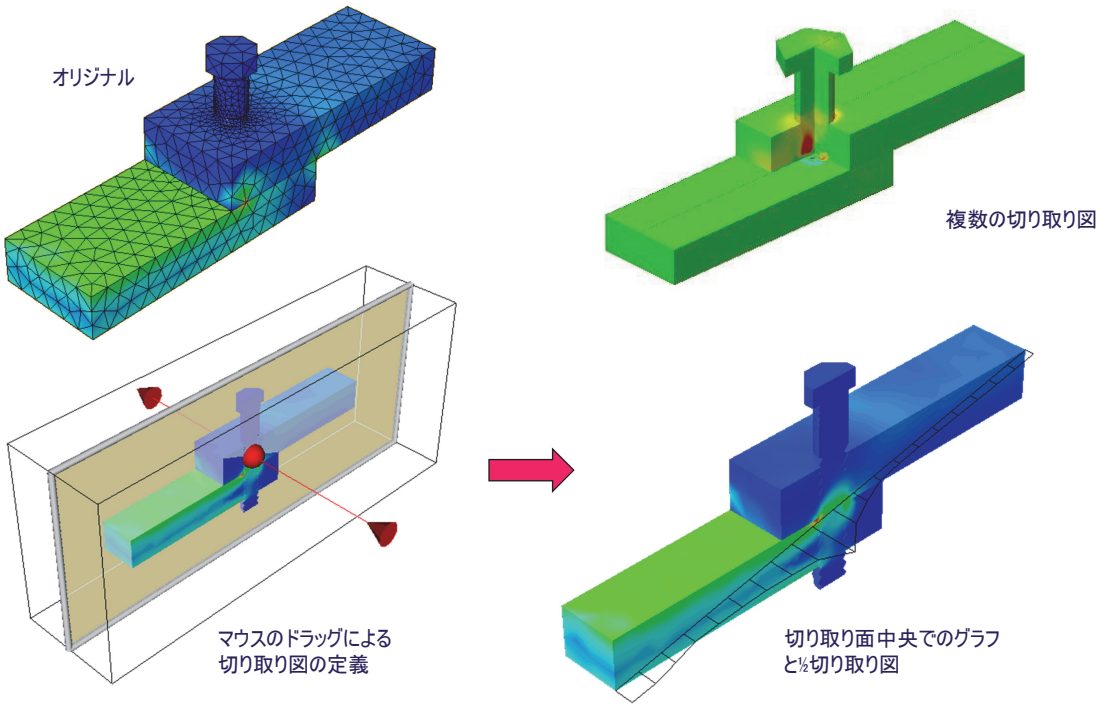
MS-Excel

09　切断面図

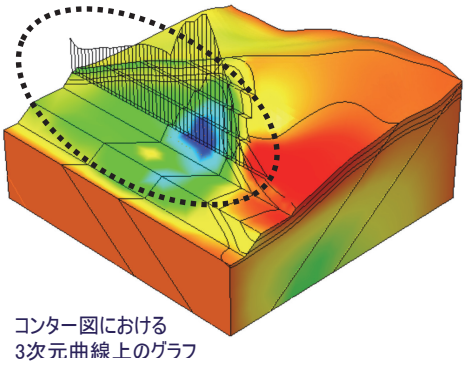


任意断面位置での断面図

10　切り取り図



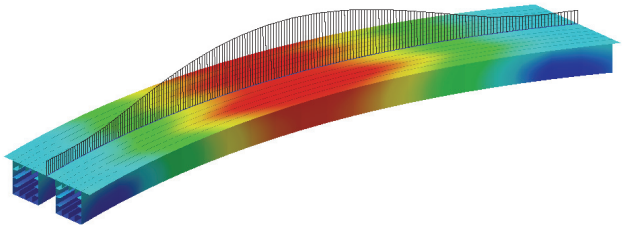
11　任意カーブ上の分布図



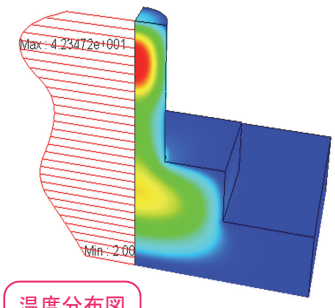
コンター図における
3次元曲線上のグラフ

ID	X (m)	Y (m)	Z (m)	Value
1	102,13	34,75	182,00	0,0001
2	100,09	34,75	182,00	0,0001
3	98,05	34,75	182,00	0,0001
4	96,01	34,75	182,00	0,0000
5	93,96	34,75	182,00	-0,0001
6	91,92	34,75	182,00	-0,0003
7	89,88	34,75	182,00	-0,0005
8	87,84	34,75	182,00	-0,0008
9	85,79	34,75	182,00	-0,0011
10	83,75	34,75	182,00	-0,0014
11	81,71	34,75	182,00	-0,0017
12	79,66	34,75	182,00	-0,0019
13	77,62	34,75	182,00	-0,0021
14	75,58	34,75	182,00	-0,0022
15	73,54	34,75	182,00	-0,0024
16	71,49	34,75	182,00	-0,0024

カーブ上（分割位置）での結果

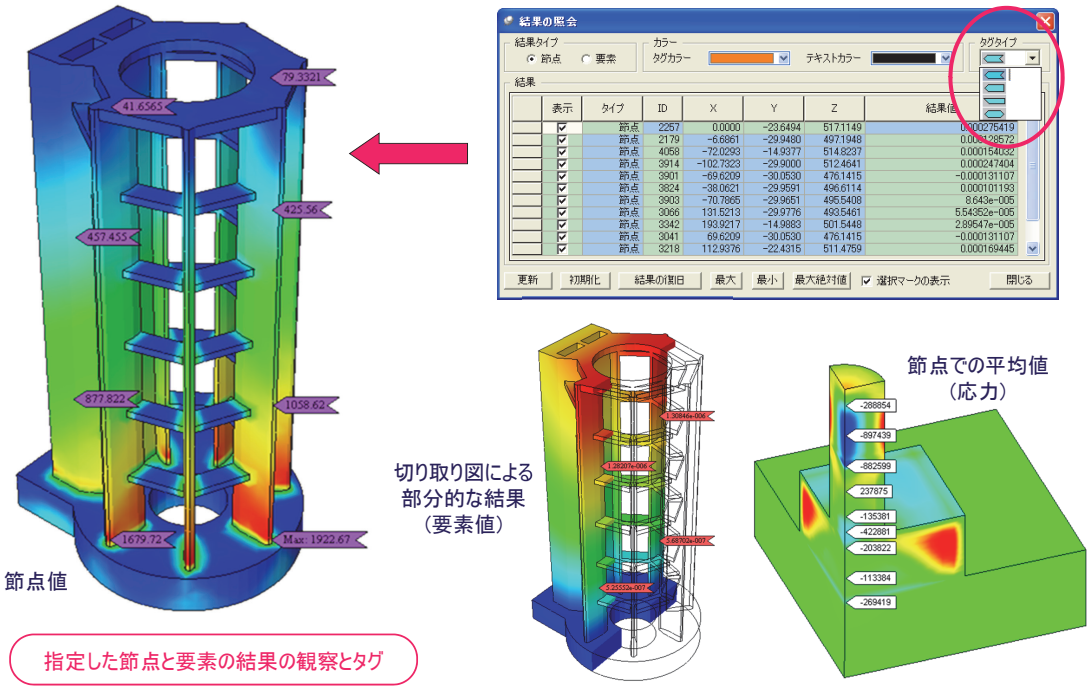


曲線上の変位分布図



温度分布図

12　結果タグ表示



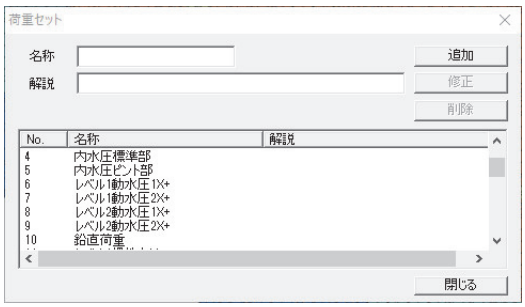
上下水道施設の応力解析とコンクリート水和熱解析

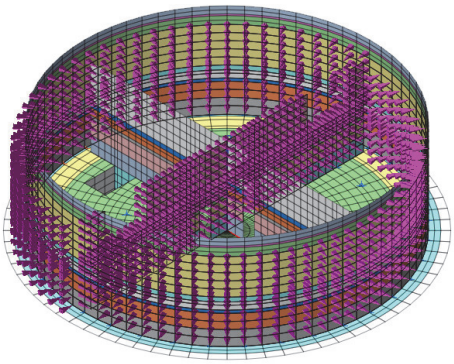
2019 MIDAS CONSTRUCTION TECHNICAL EDUCATION SEMINAR

Session.3

上下水道構造物と
コンクリート水和熱解析の実習

01　荷重について





①躯体自重

例、鉄筋コンクリートの単位体積重量：γc＝24.5(kN/m3)

②内容水による静水圧

Pw＝ γw×h　γw＝10.0 (kN/m3)

③上載土砂荷重

例、上載土砂の単位体積重量：γs＝19.0(kN/m3)

④地震時主動土圧

水道施設指針に示される式により算出

例、P(Z)＝8.59Z＋3.86　Z：頂版からの深度(m)

⑤内容水による地震時動水圧

例、ウエスターガードの式より算出

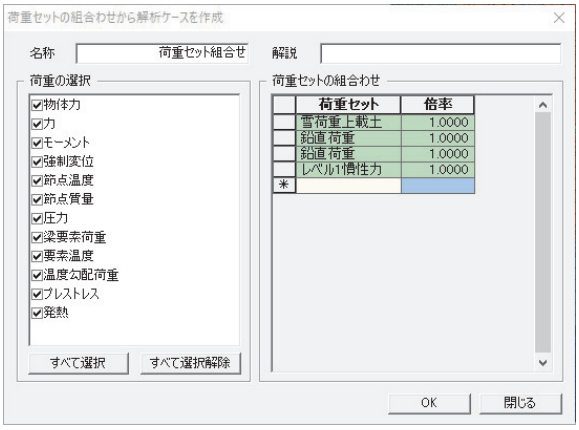
P(Z)＝2.60√z　z：水深(m)

⑥躯体自重による慣性力

Ph＝kh×W　Ph：地震時慣性力(kN)　kh：設計水平震度

W：躯体自重あるいは上載土砂重量(kN)

02　荷重組み合わせ



◆ 常時

自重	1.00
内容水静水圧	1.00
上載土砂荷重	1.00

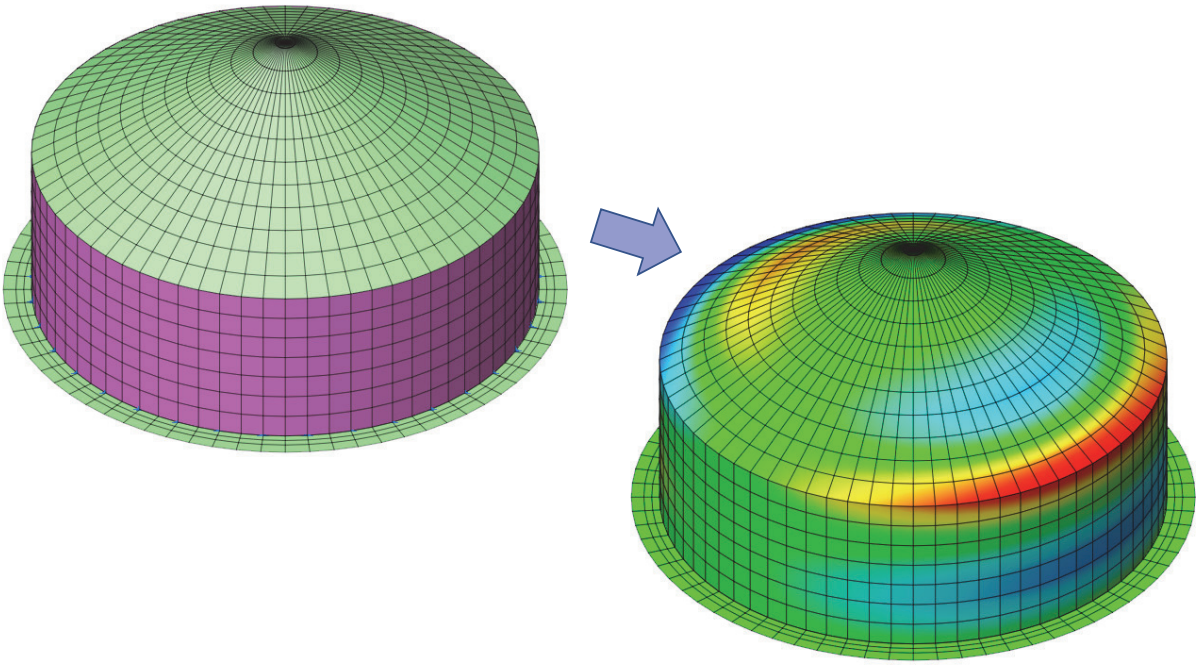
◆ 地震時

地震時土圧	1.00
地震時動水圧	1.00
地震時慣性力	1.00

◆ 常時＋地震時

常時	1.00
地震時	1.00

03　モデリング練習①



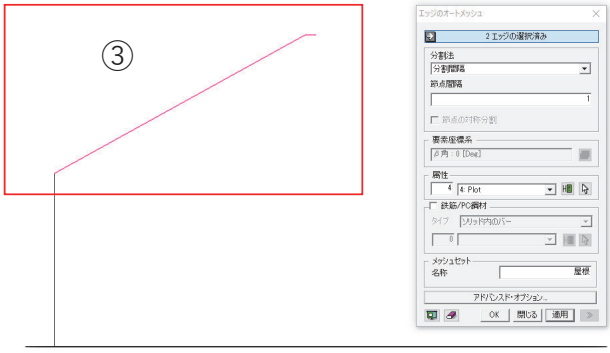
04　補助要素の作成

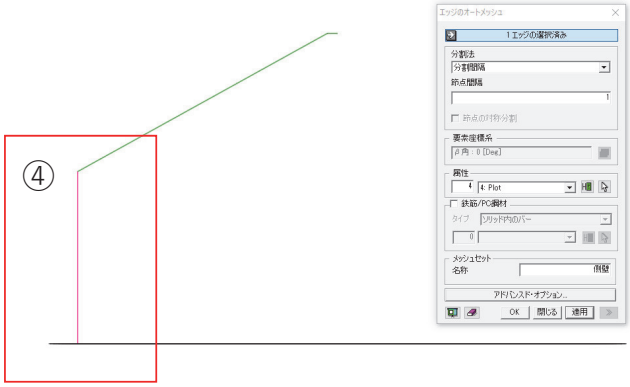
① 練習① (Start).feb ファイルを開く

② メッシュ→オートメッシュ→エッジを選択

③ 分割間隔：1m
属性：Plot
名称：屋根
適用をクリック

④ 分割間隔：1m
属性：Plot
名称：側壁
OKをクリック



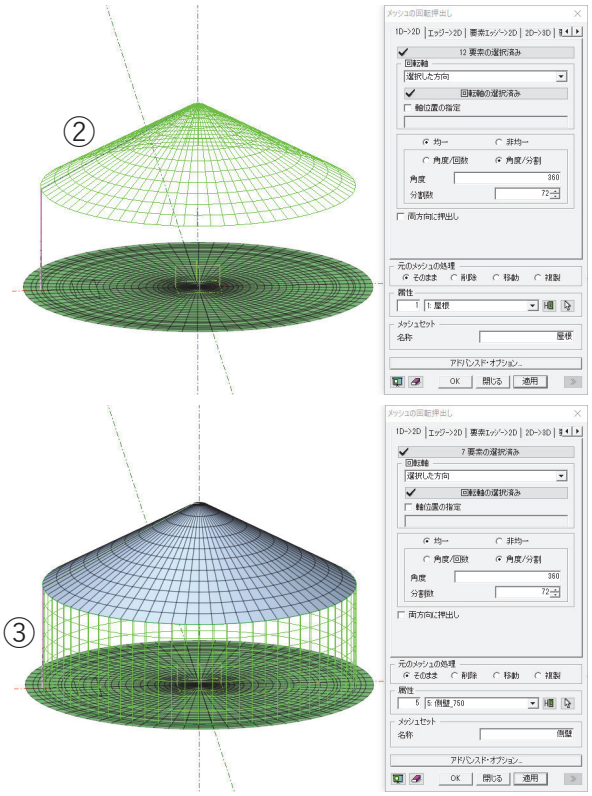


05　2D要素作成

① メッシュ→押出しメッシュ→回転押出し

② 1D要素：屋根メッシュセット
角度：360
分割数：72
属性：屋根
名称：屋根
適用をクリック

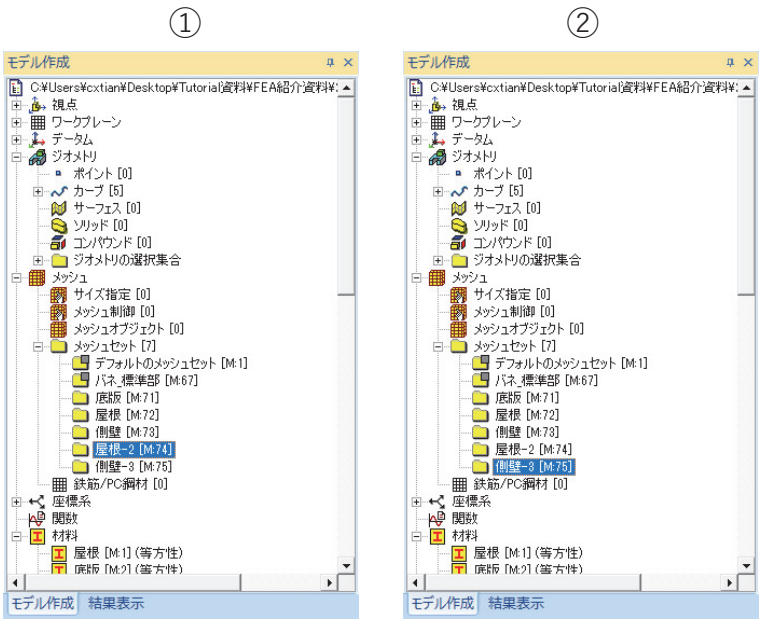
③ 1D要素：側壁メッシュセット
角度：360
分割数：72
属性：側壁
名称：側壁
OKをクリック



06　メッシュセット整理

① 選択要素：屋根－2
屋根へDrag&Drop

② 選択要素：側壁－2
側壁へDrag&Drop

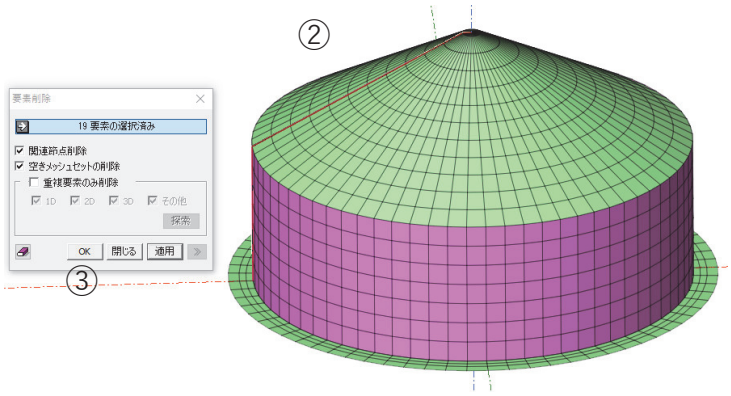


07　補助要素の削除

① メッシュ→要素→削除

② 選択フィルター：1D要素

③ 要素選択しOKをクリック



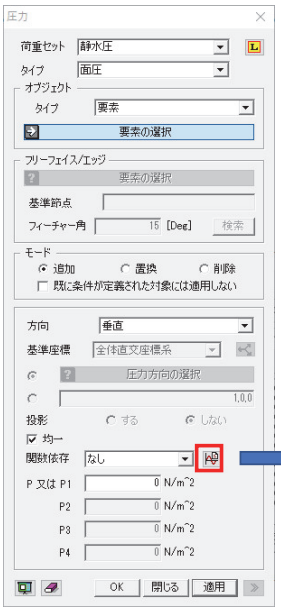
08　静水圧関数の作成

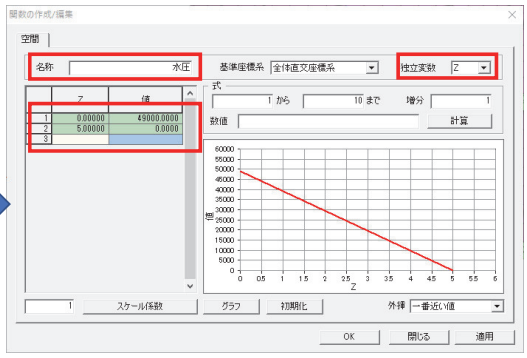
① 解析→荷重→圧力

② 関数依存：クリック

③ 名称：水圧
　独立関数：Z
“0,49000”　“5,0”を入力

④ OKをクリック





09　静水圧の定義

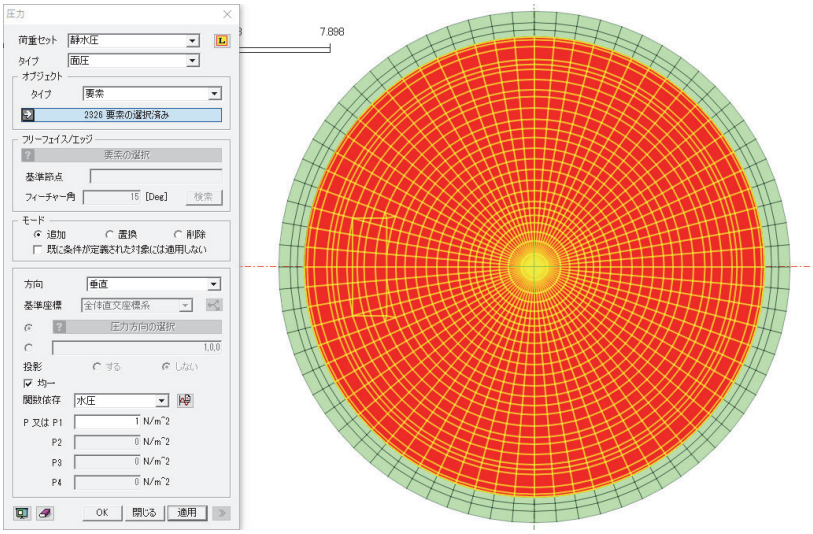
① 選択方法：○選択

② 要素：中心からDrag&Dropで選択する

③ 関数依存：水圧

④ P又はP1：1

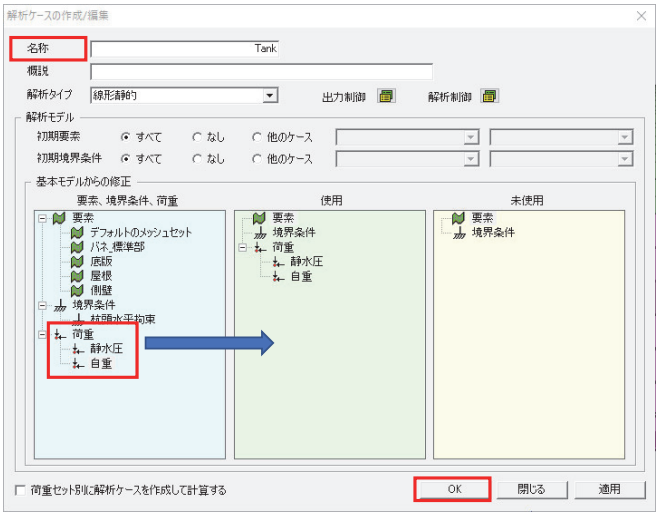
⑤ OKをクリック



10　荷重と解析ケース

① 解析→荷重→自重
② 荷重セット：自重
③ 倍率：Z＝-1
④ OKをクリック

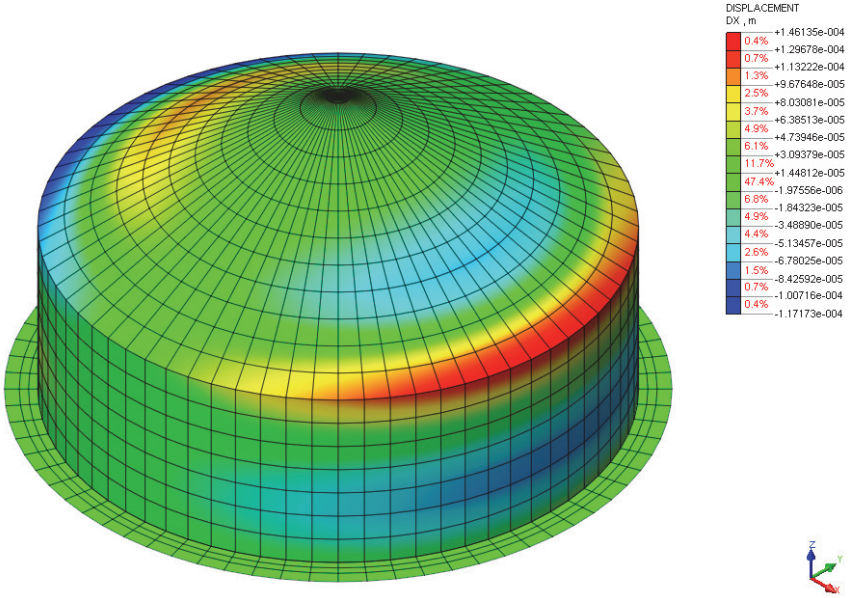
⑤ 解析→解析ケース
⑥ 作成をクリック
⑦ 名称：Tank
⑧ 荷重：静水圧＆自重
⑨ OKをクリック



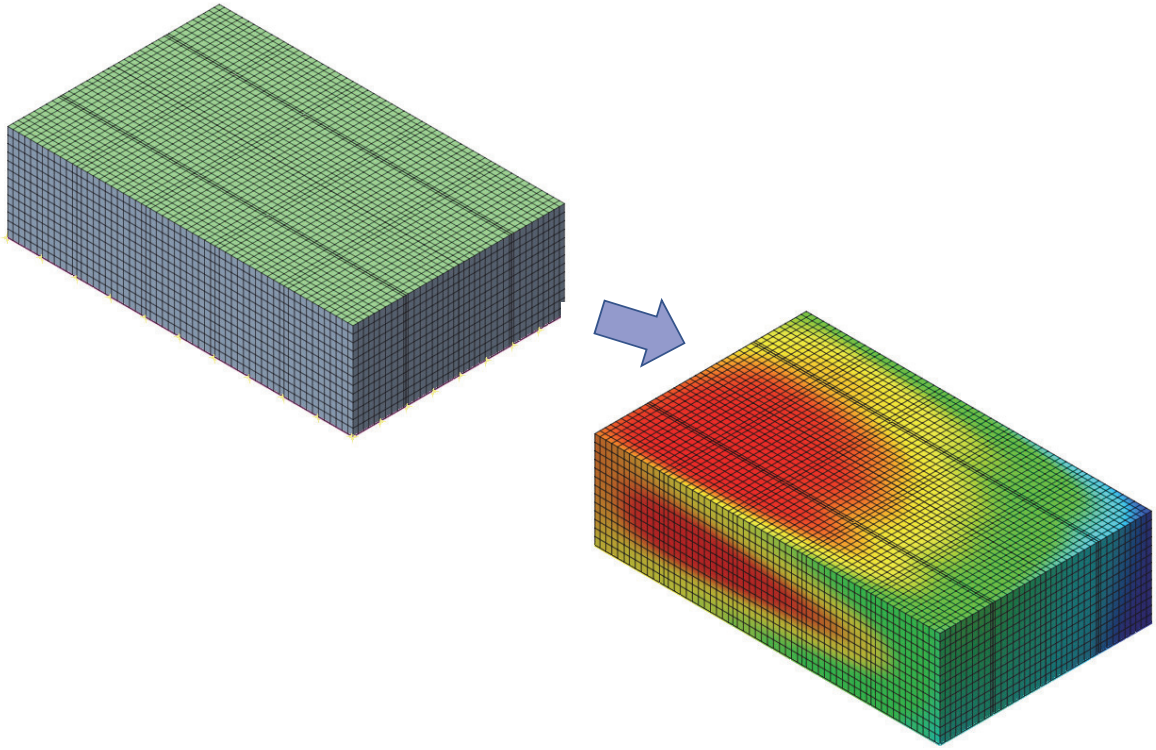
11　結果確認

① 解析→実行：OKをクリック

② 結果確認



01　モデリング練習②

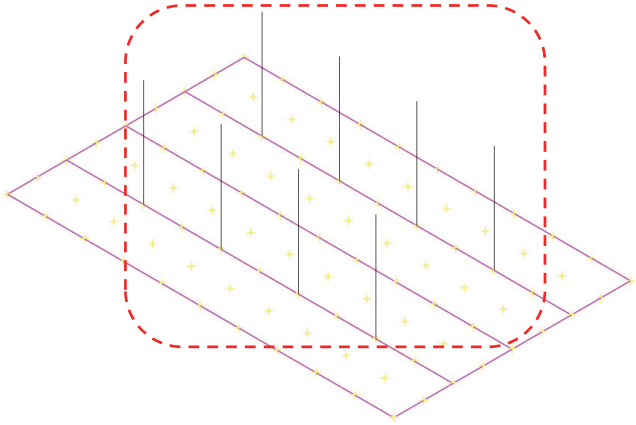


02　1D要素（柱）作成

① 練習①.feb ファイルを開く

② メッシュ→オートメッシュ→エッジを選択

③ 分割数：13
属性：壁柱
名称：柱
OKをクリック

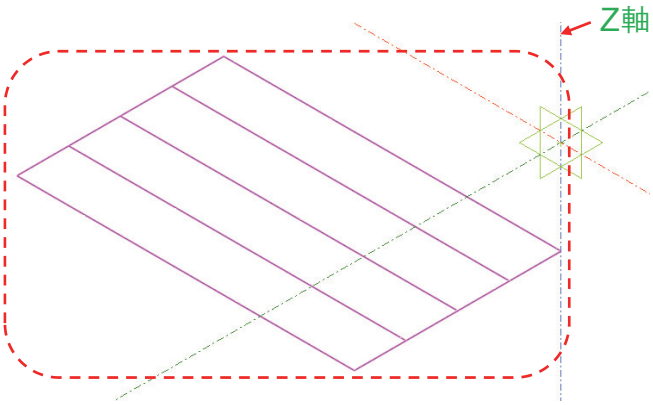


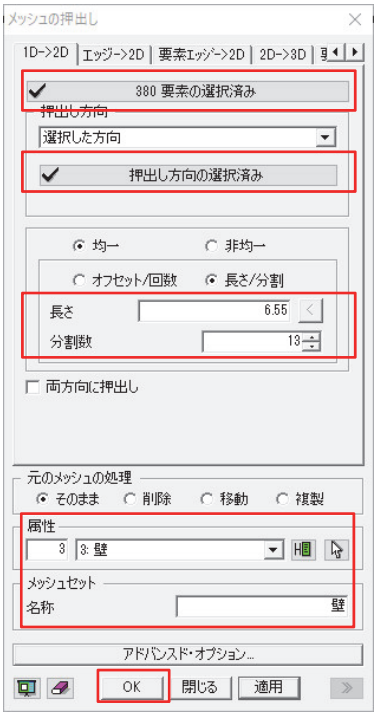
03　2D要素（壁）作成

① メッシュセット壁押出用を単独表示

② メッシュ→押出しメッシュ→押出しを選択

③ 手法：1D->2D
方向：Z方向
長さ：6.55m、分割数：13
属性：壁、名称：壁
OKをクリック



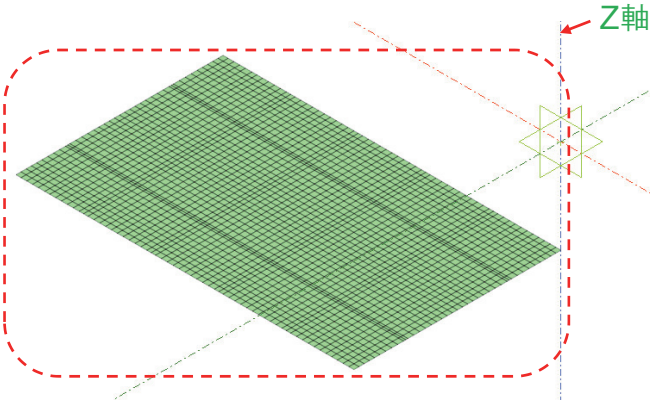


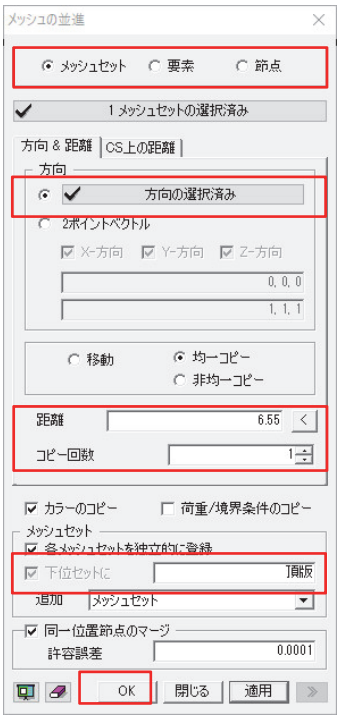
04　2D要素（頂版）コピー

① メッシュセット底版を単独表示

② メッシュ→トランスフォーム→並進を選択

③ 方向：Z方向
均一コピー
長さ：6.55m、コピー回数：1
名称：頂版
OKをクリック



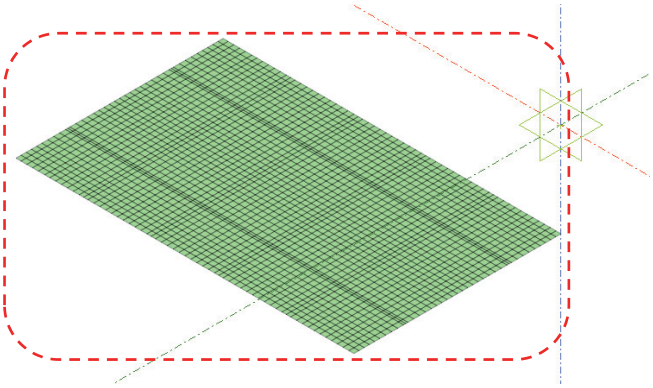


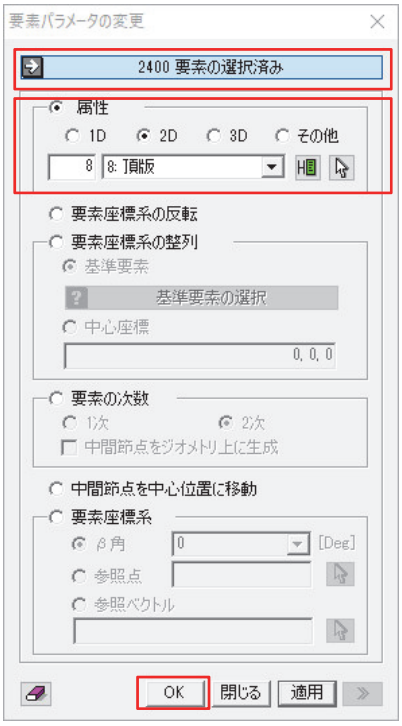
05　2D要素（頂版）属性変更

① メッシュセット頂版を単独表示

② メッシュ→要素→パラメータ変更を選択

③ 属性：2D，頂版
OKをクリック



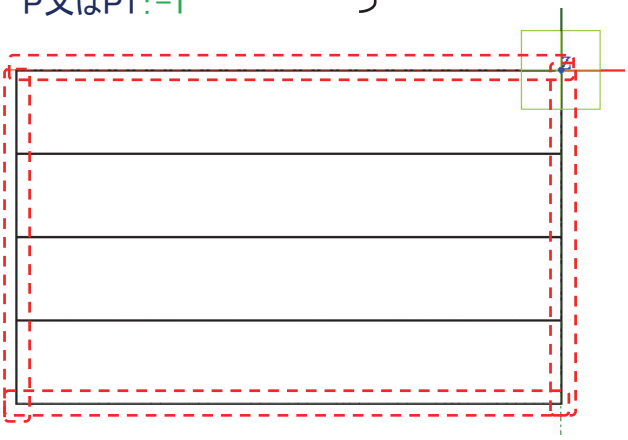


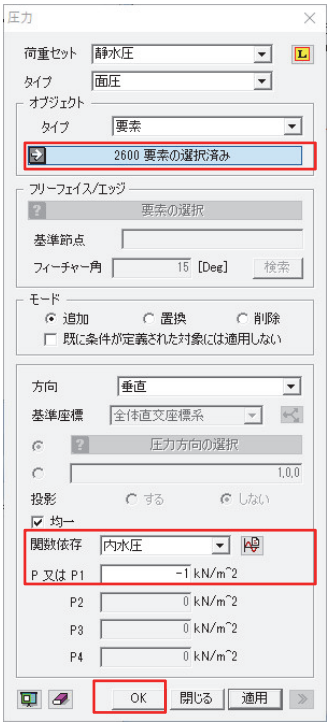
06　静水圧荷重作成

① メッシュセット壁を単独表示

② 解析→荷重→圧力を選択

③ タイプ：面圧
オブジェクト：要素
関数依存：内水圧
P又はP1：-1
} OKをクリック

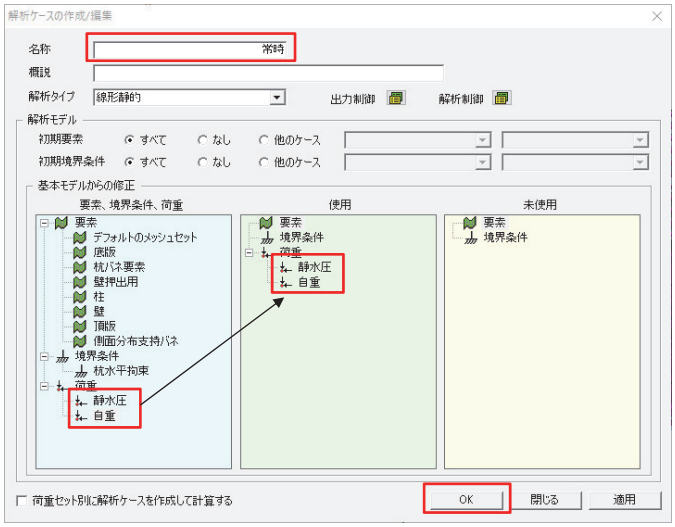




07　解析ケース作成

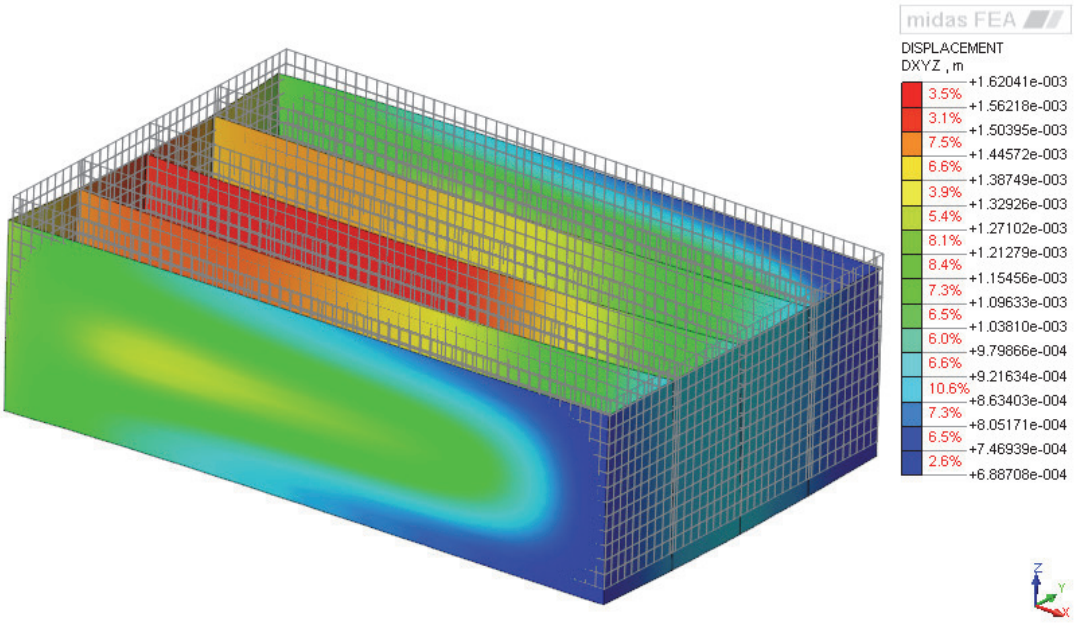
① 解析→解析ケースを選択

② 名称：常時
荷重：静水圧、自重
} OKをクリック



08　結果確認

① 結果表示→常時→変位→DXYZをダブルクリック



上下水道施設の応力解析とコンクリート水和熱解析

2019 MIDAS CONSTRUCTION TECHNICAL EDUCATION SEMINAR

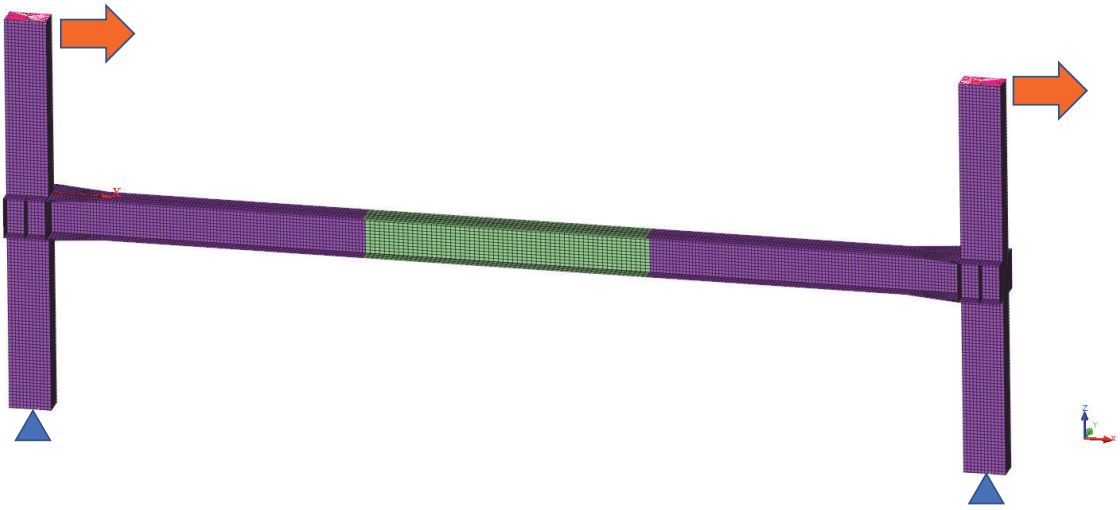
Session.4

解析例紹介

01　材料非線形詳細解析

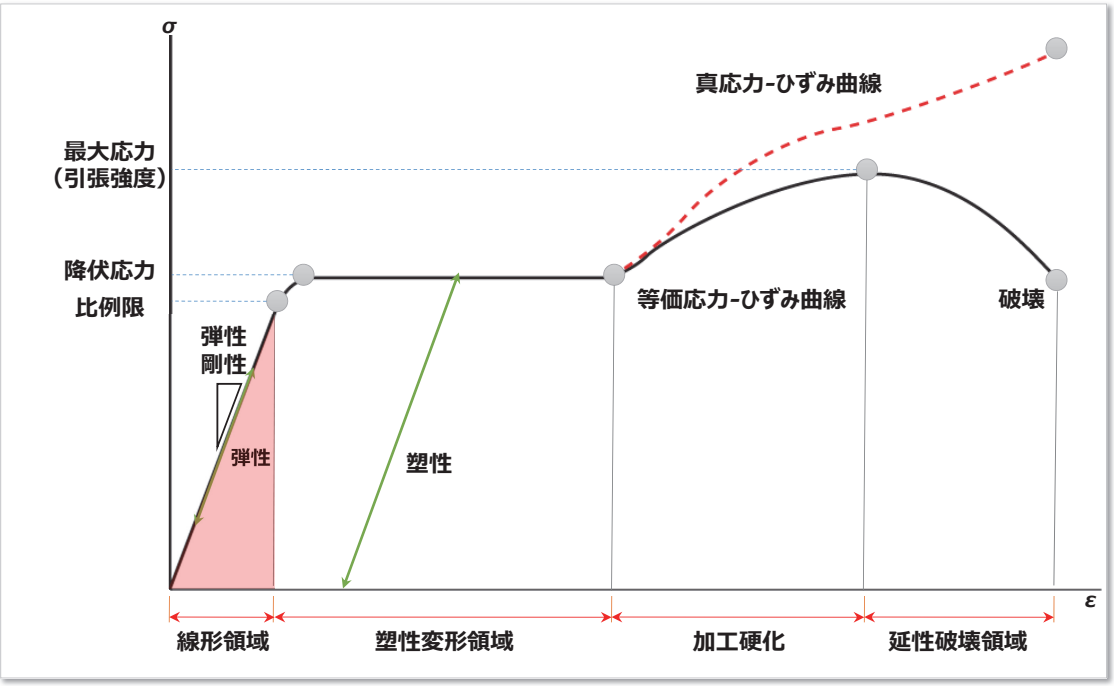
解析概要

- 鋼材非線形の挙動を通した応力集中部の安定性の検討
- 接合部の詳細解析を通した鋼材の追加・補強の必要性の検討
- 鋼材非線形の特性(Von-misesモデル)による応力許容値の検討
- 増分荷重を段階載荷して実験の再現解析(修正ニュートン-ラプソン方法)



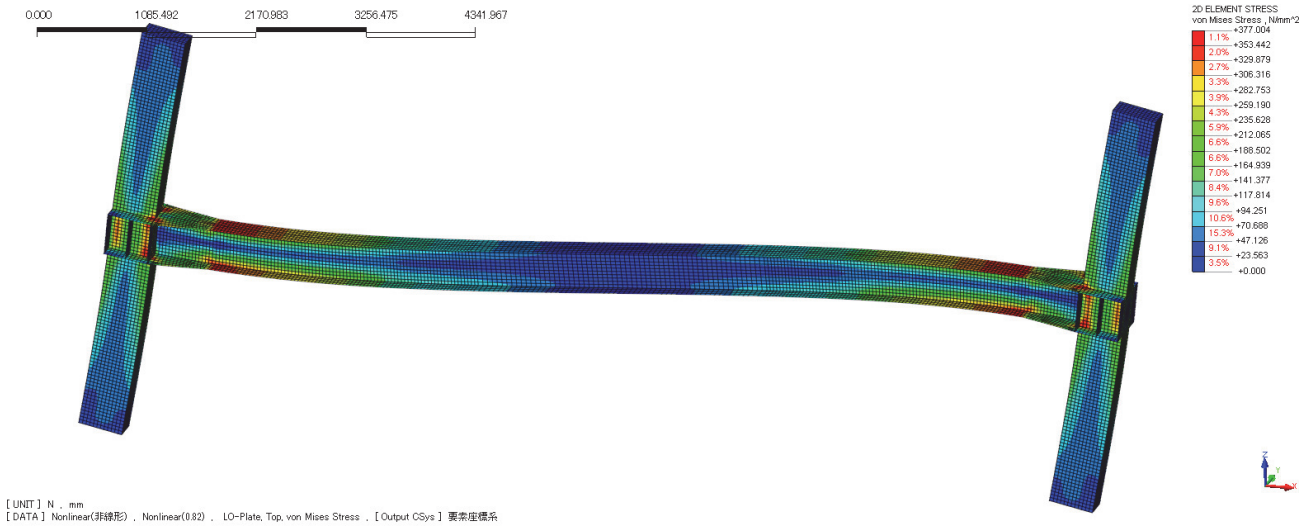
02　鋼材の材料非線形解析（増分解析）

- 材料の応力-ひずみ関係



03　材料非線形詳細解析

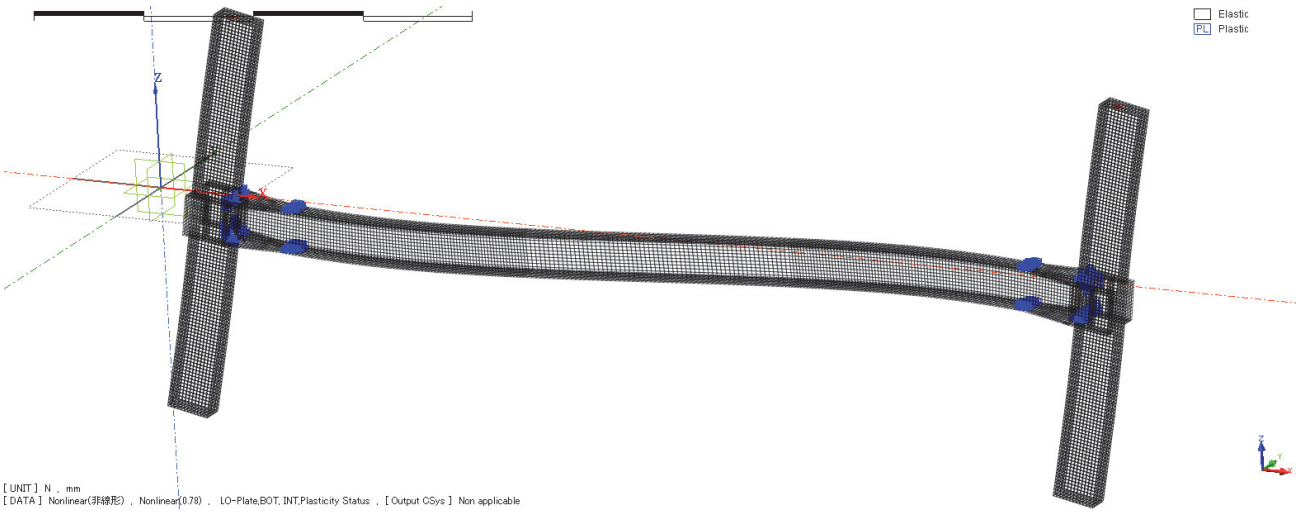
荷重増分を通した非線形挙動による応力検討



水平強制変位100mmの塑性領域結果
応力分布の確認と大変形の確認

04　材料非線形詳細解析

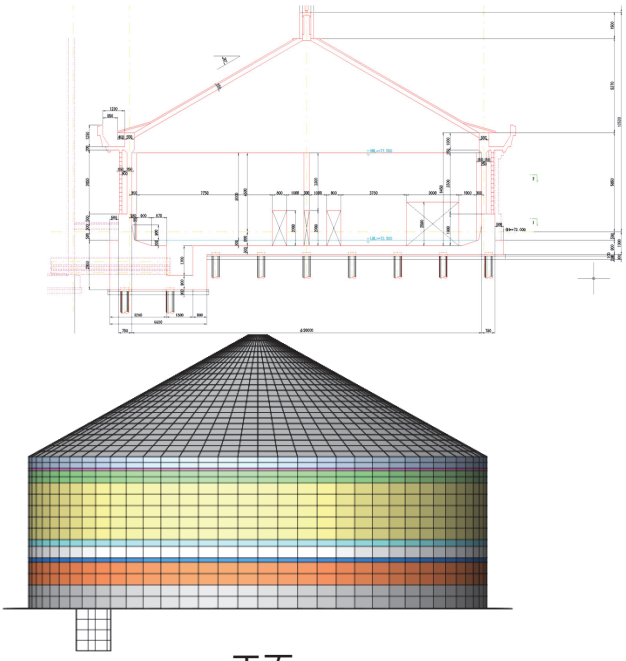
荷重増分を通した非線形挙動による応力検討



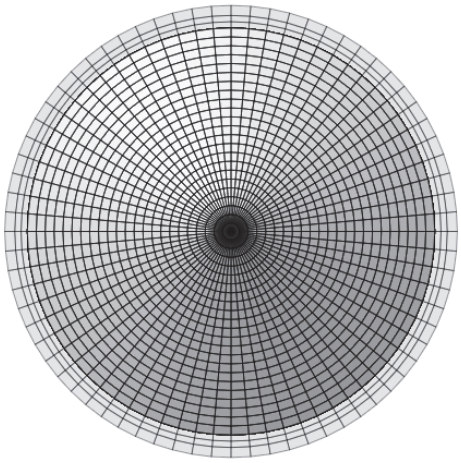
水平強制変位100mmの塑性領域結果
鋼材の非線形挙動を把握するための荷重増分解析を通して、先行降伏する領域を把握

解析事例（上下水道耐震設計）

- 上下水道耐震設計



正面

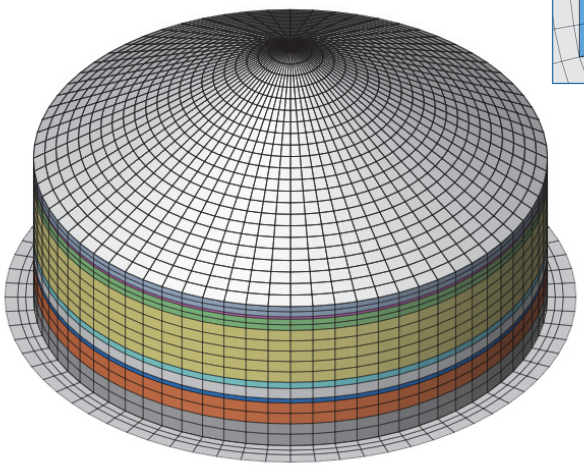


上部

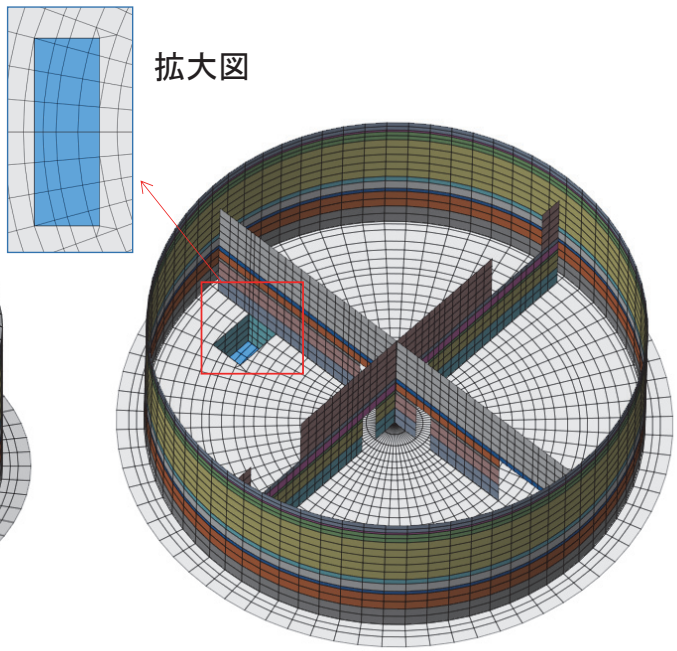
解析事例（上下水道耐震設計）

- 上下水道耐震設計

メッシュ形状



アイソメ表示–外観

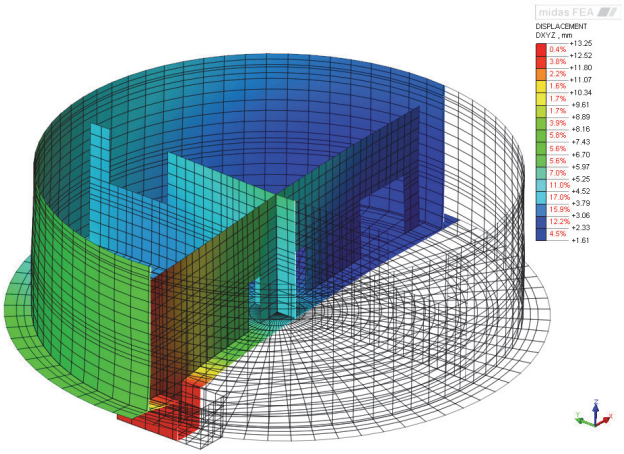


アイソメ表示–内観

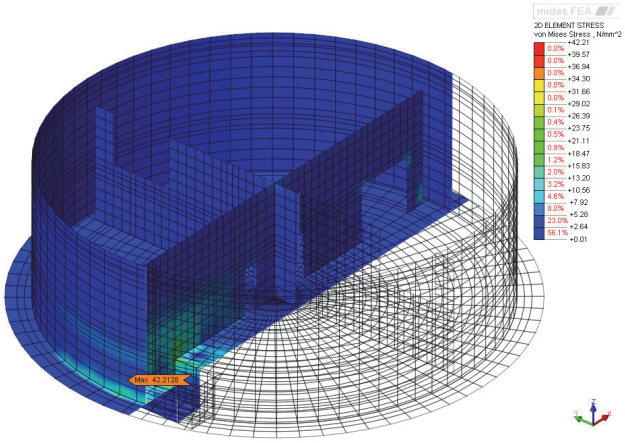
解析事例（上下水道耐震設計）

- 上下水道耐震設計

解析結果　常時



合成変位　mm

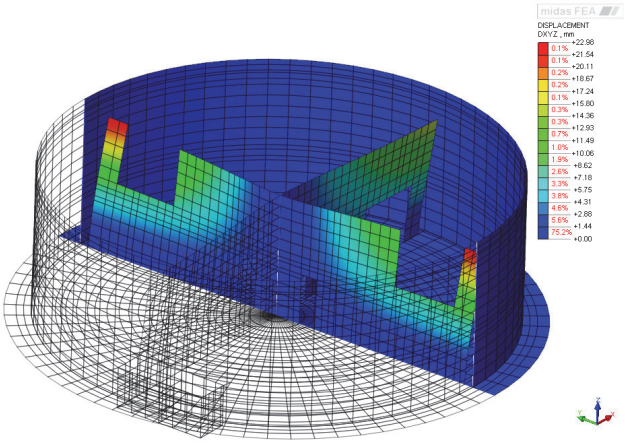


Von Mises応力　N/mm2

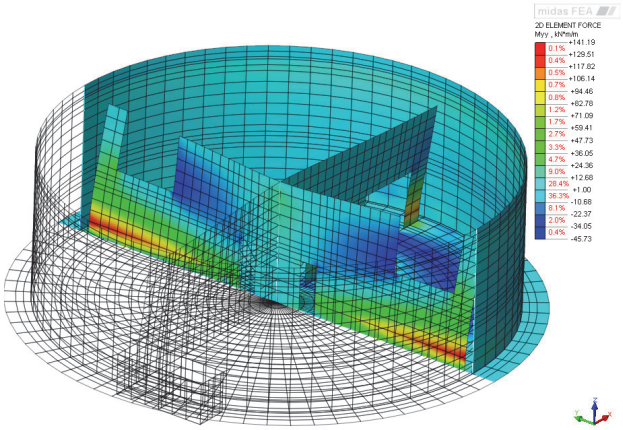
解析事例（上下水道耐震設計）

- 上下水道耐震設計

解析結果　レベル2



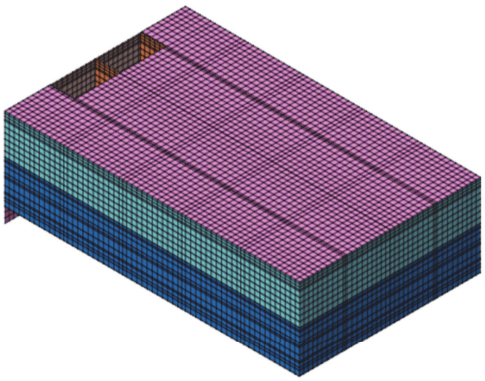
合成変位　mm



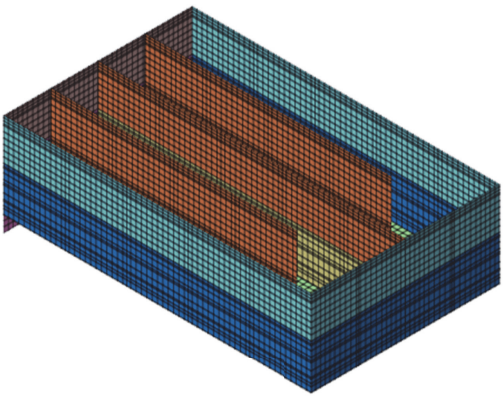
シェル断面力 曲げモーメントMyy kN/m/m

解析事例（上下水道耐震設計）

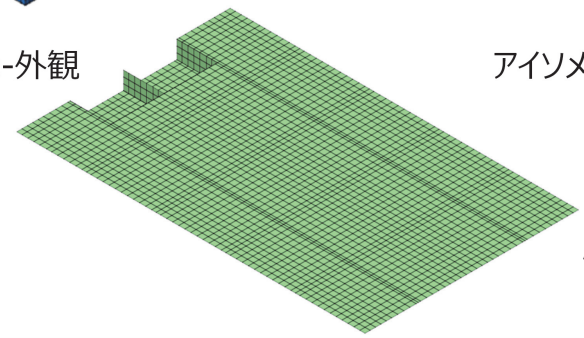
- 上下水道耐震設計



アイソメ表示-外観



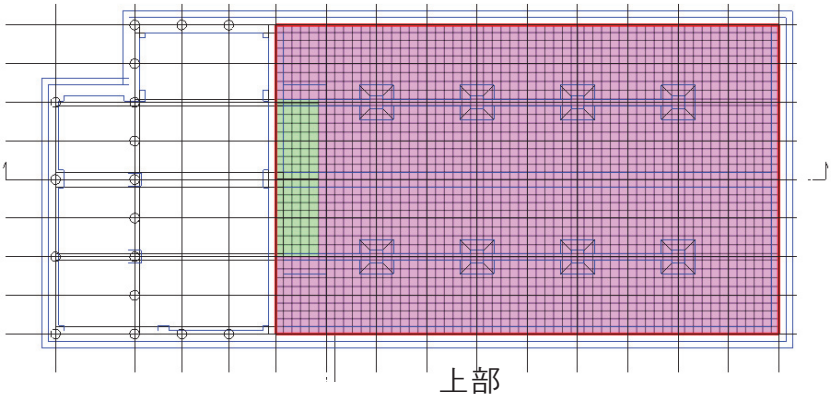
アイソメ表示-内観



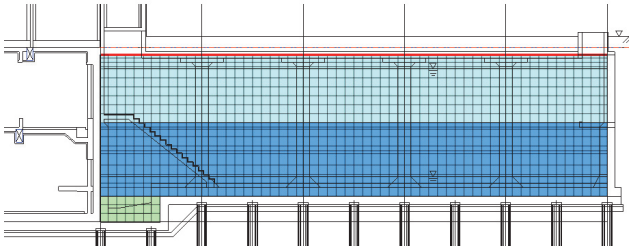
底版

解析事例（上下水道耐震設計）

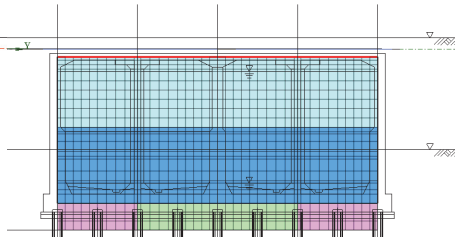
- 上下水道耐震設計



上部



正面

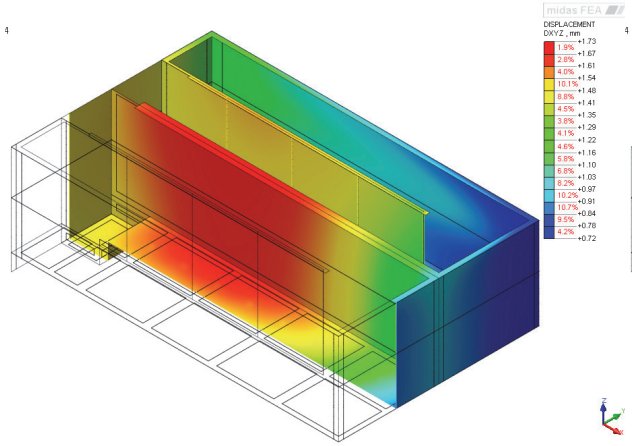


側面

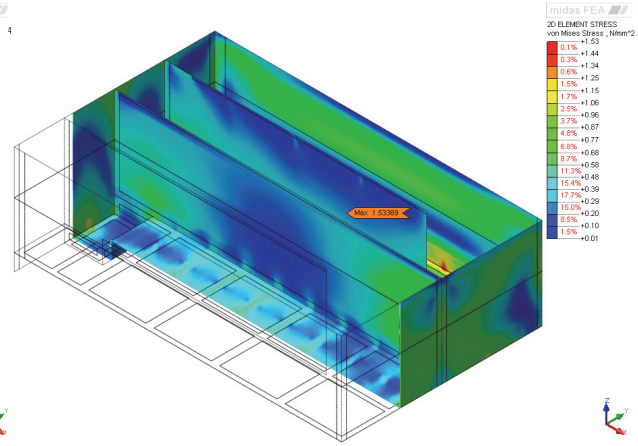
解析事例（上下水道耐震設計）

- 上下水道耐震設計

解析結果　常時



合成変位　mm

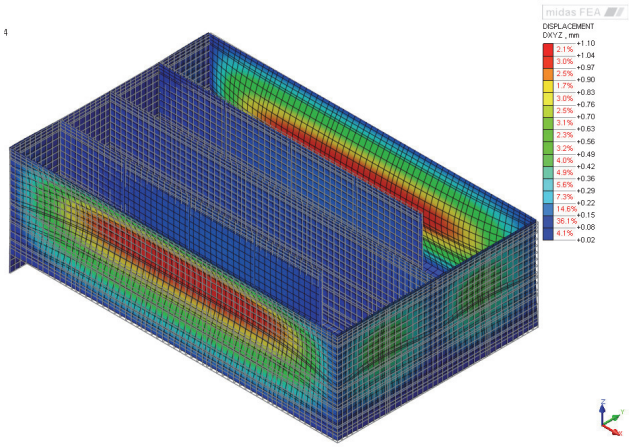


Von Mises応力　N/mm2

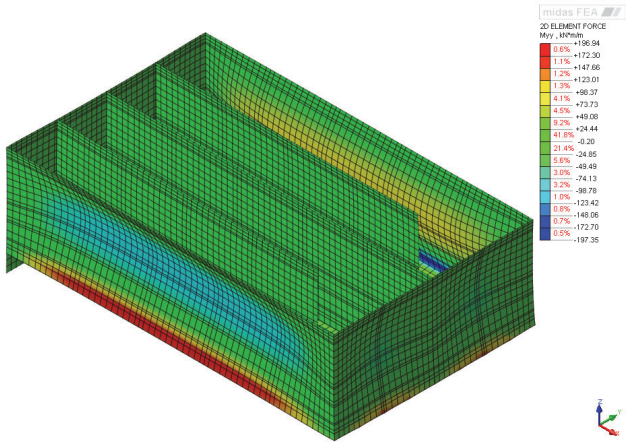
解析事例（上下水道耐震設計）

- 上下水道耐震設計

解析結果　レベル2



合成変位　mm

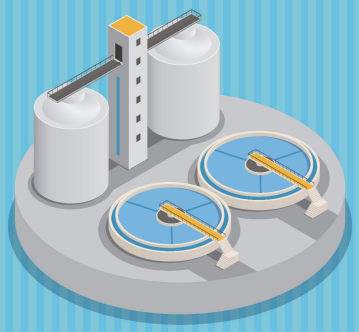


シェル断面力 曲げモーメントMyy kN/m/m

2019 MIDAS CONSTRUCTION TECHNICAL EDUCATION SEMINAR

ご清聴、ありがとうございました。

本日は、お越しいただき
ありがとうございました。

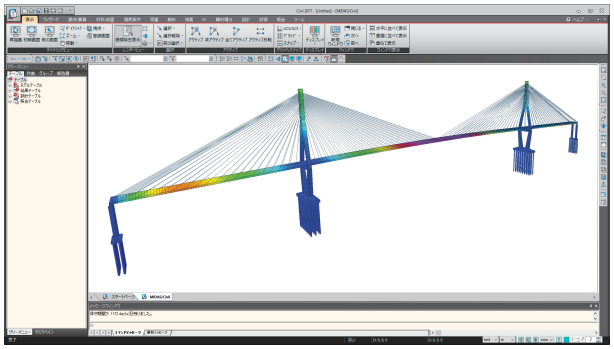


MIDAS

MIDAS CONSTRUCTION PROGRAMS

a total of over 30,000 licenses used worldwide in over 110 countries

The Largest CAE Software Developer
in Civil Engineering

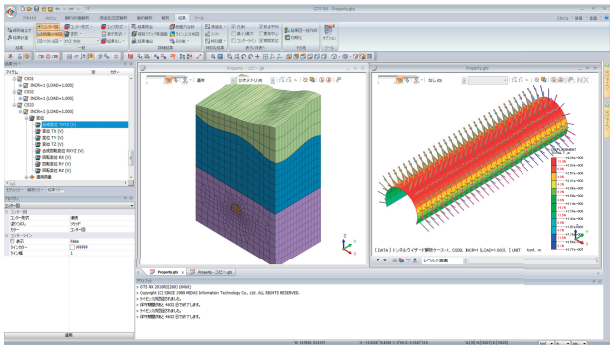


midas Civil

任意形状構造物の3次元汎用構造解析プログラム

midas Civilは、直観的なユーザーインターフェイス環境とコンピューターグラフィックス技術が適用された土木分野の汎用構造解析及び最適設計システムです。

PC橋、斜張橋、吊橋はもちろん、非定型構造物や最新施工法を適用した構造物のモデリングが自由にできますし、土木分野に必要な静的・動的解析、材料・幾何非線形解析、段階施工解析機能を提供しています。

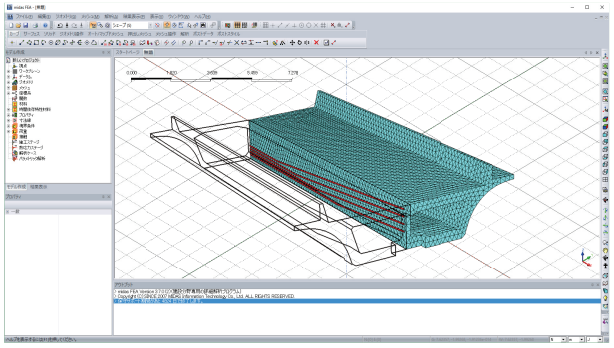


GTS NX

地盤分野汎用解析システム

GTS NXは最先端プリ・ポスト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ーを搭載しており、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。

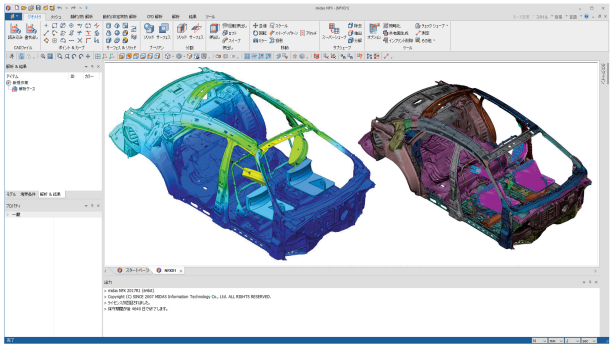


FEA NX

非線形詳細FEM解析プログラム

FEA NXは、建築・建設分野における高度な解析を行うことを目的とした解析ツールです。

補修・補強のための詳細解析はもちろん、マスコンの熱応力解析、コンクリートのひび割れ解析を行うことができます。



midas NFX

機械分野における汎用構造解析プログラム

midas NFXは、windows上で動作するプリ・ポスト・ソルバー一体型の構造解析解析ツールです。

設計者の方でも解析専任者の方でも快適にお使いいただける作業環境を提供します。
線形解析から高度な接触問題を含む非線形解析、CFD解析まで行うことができます。

株式会社マイダスアイティジャパン
東京都千代田区外神田5-3-1秋葉原OSビル7F
TEL : 03-5817-0787 I Fax : 03-5817-0784 I e-mail : g.support@midasit.com

http://jp.midasuser.com/civil/