

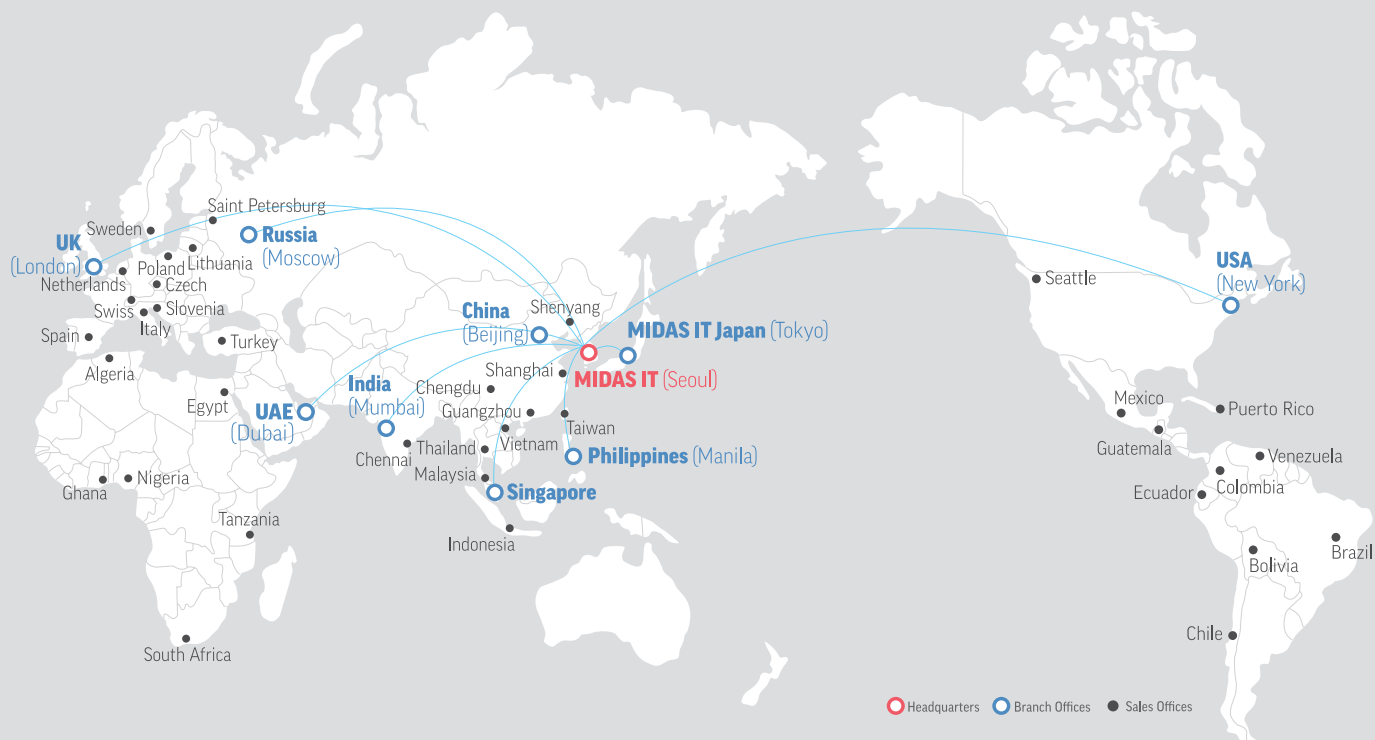
MIDAS
Detailed FEM Analysis
Education Seminar

MIDAS 詳細 FEM 解析 講習会



Global Leader in Providing Engineering Solutions & Services

MIDAS ITは世界の技術者を支援します



世界 構造解析分野市場占有率1位(midas Gen/iGen)

韓国 建築分野/土木分野/地盤分野CAEソフト占有率1位

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

建設業界	No.1	現地法人	9
海外代理店	35	使用国	110

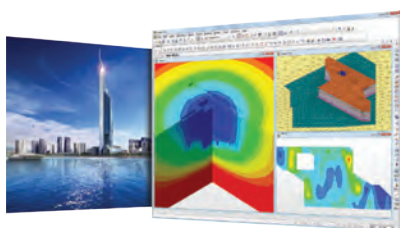
About MIDAS IT

MIDAS ITは、工学技術用ソフトウェア開発および普及、そして構造分野のエンジニアリングサービスとウェブビジネス統合ソリューションを提供する会社です。

2000年9月に設立。現在は約600名のグローバル専門技術者が在籍し、日本、アメリカ、中国、インド、ロシア、イギリス、ドバイ、シンガポール、フィリピンの現地法人や35ヶ国の代理店など、全世界ネットワークを通じ、110ヶ国に工学技術用ソフトウェアを販売する世界的な企業として成長しました。

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

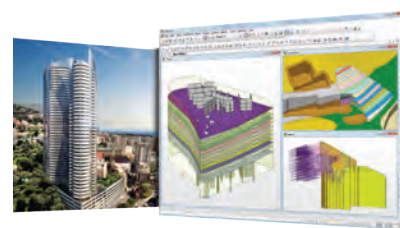
このようなセミナーに是非ともご参加頂けますようお願い申し上げます。



Dubai Tower



Palazzo Versace & D1 Tower



Odeon Tower

MIDAS Detailed FEM Analysis Education Seminar

MIDAS 詳細 FEM 解析 講習会



MIDAS
Detailed FEM Analysis
Education Seminar



Session.2

構造物と地盤の動的相互作用を
考慮した応答解析

AGENDA

- 開発背景・機能紹介
- モデリングの基礎
 - ・ジオメトリの基礎
 - ・ジオメトリからのメッシュ生成
- Coffee Break
- 動的解析について
 - ・1次元解析への適用、
 - ・2・3次元解析への適用
- 構造物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析
 - ・爆発解析、地震応答解析
- 質疑応答

3

地盤FEM解析トータルソリューション



パソコン能力の活用



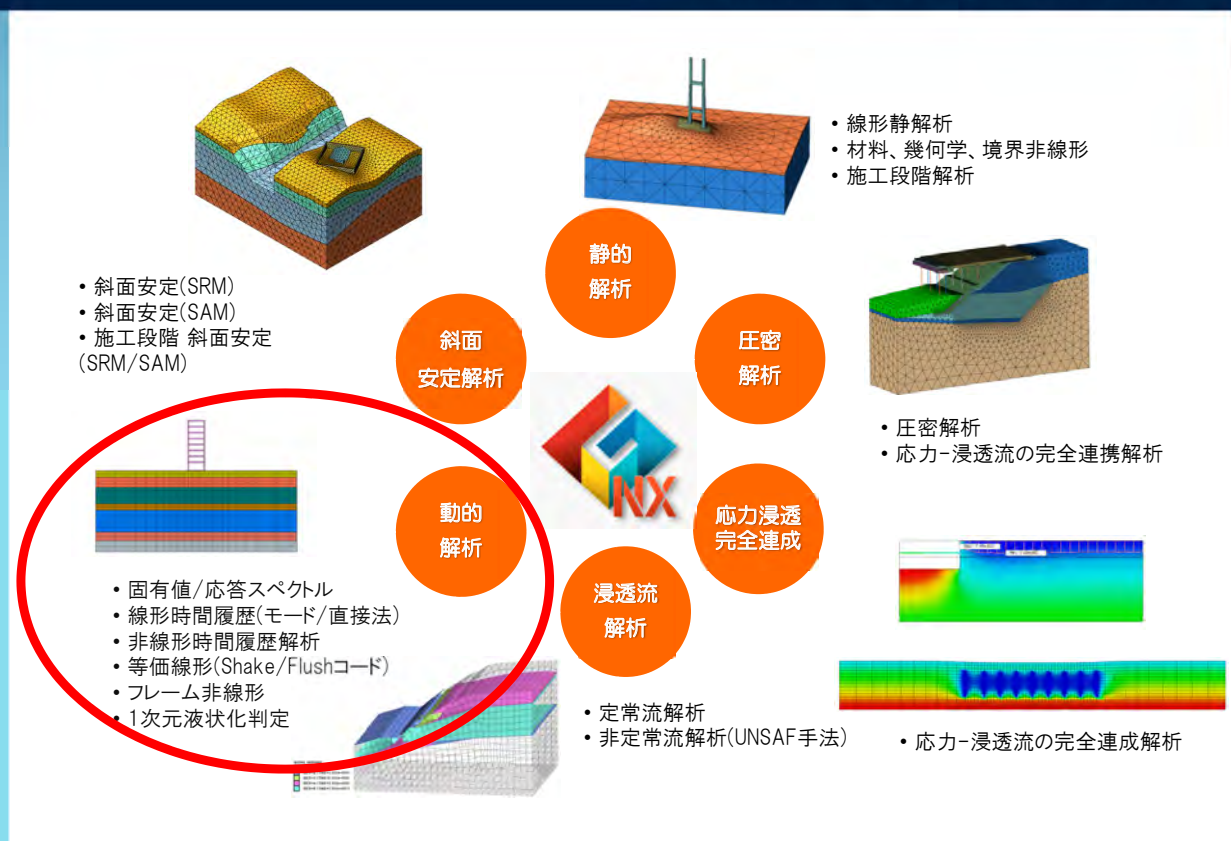
最先端Pre-Post



統合解析システム

- | | | |
|---------------|--------------|----------------|
| ➤ CPU並列処理 | ➤ 3DCADとの互換性 | ➤ 地盤変形解析(施工段階) |
| ➤ 64ビット基盤 | ➤ 優れたジオメトリ処理 | ➤ 土-水完全連成解析 |
| ➤ GPUによる計算高速化 | ➤ 多様な結果表示 | ➤ 構造物・地盤の耐震解析 |

4



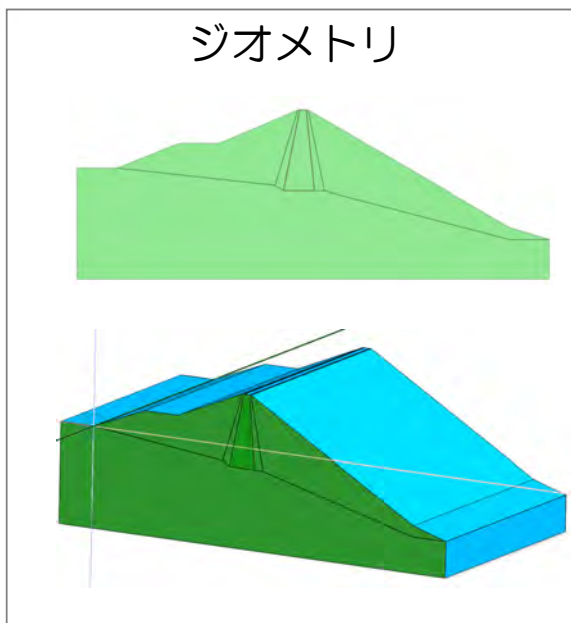
MIDAS Detailed FEM Analysis Education Seminar



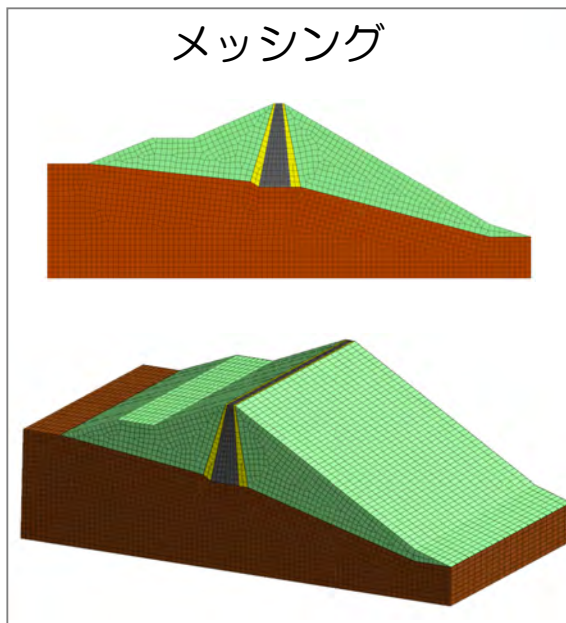
モデリングの基礎

—ジオメトリの基礎及ジオメトリからのメッシュ生成方法

ジオメトリ



メッシング



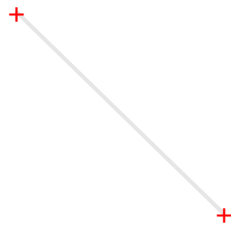
7

ジオメトリの種類

ポイント	2次元平面また3次元空間上の点	
ライン	二つの点を結ぶ直線、曲線、また線の集合	
サーフェイス	閉じた領域の 2次元平面、曲面、また面の集合	
ソリッド	体積を定義した 3次元オブジェクト	
コンパウンド	上のオブジェクトを二つ以上結んだ集合体	

8

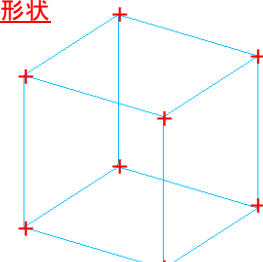
ポイント



ライン

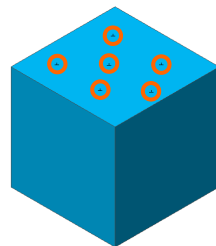


サーフェイス

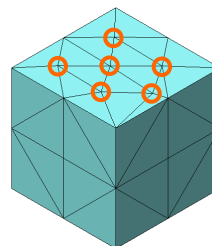


ソリッド

2次元平面また3次元空間上の点で
全ての ジオメトリの基本になる形状



投影されたポイント



ポイント上に生成された節点

モデリング

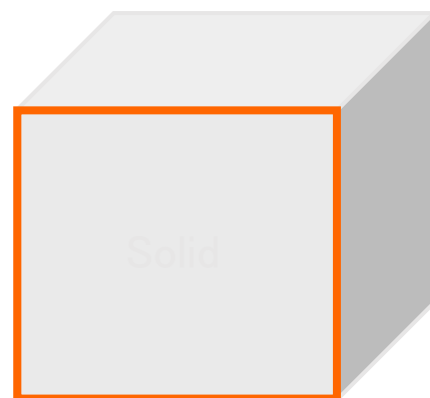
ライン

エッジ: 二つの節点を結ぶ 1つの線また曲線

ワイヤ: 多数の連続的な エッジの集合



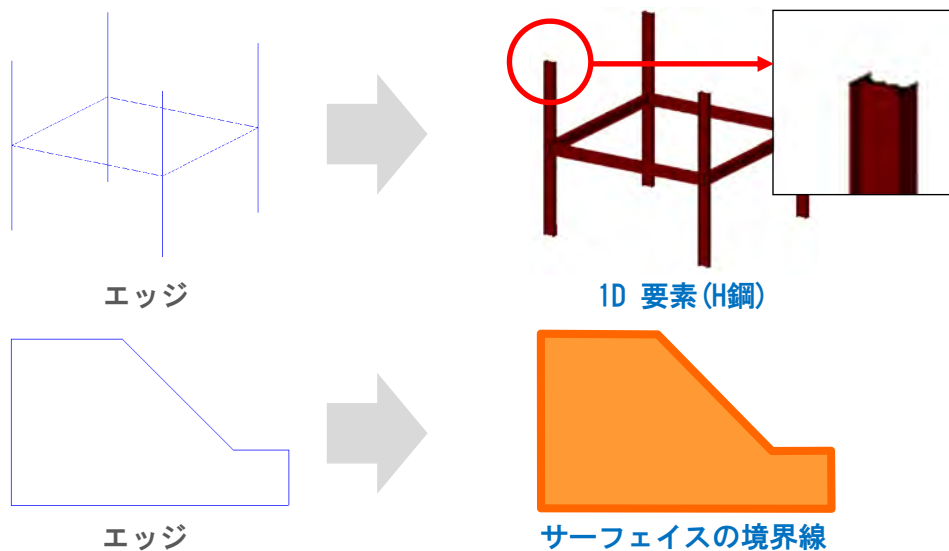
エッジ
(1つの直線また曲線)



ワイヤ
(エッジの集合)

ラインの用途

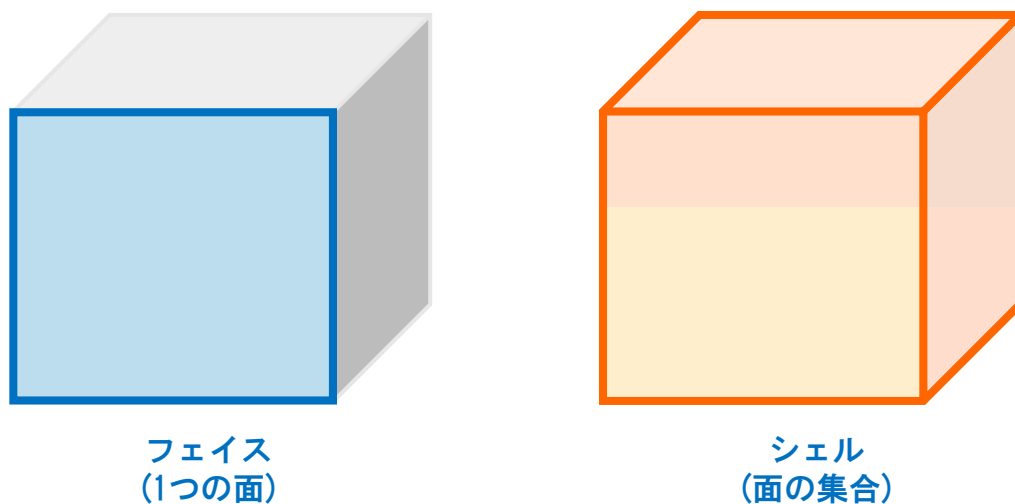
1次元要素を生成するためのベース形状
サーフェイス作成のための境界線



11

サーフェイス

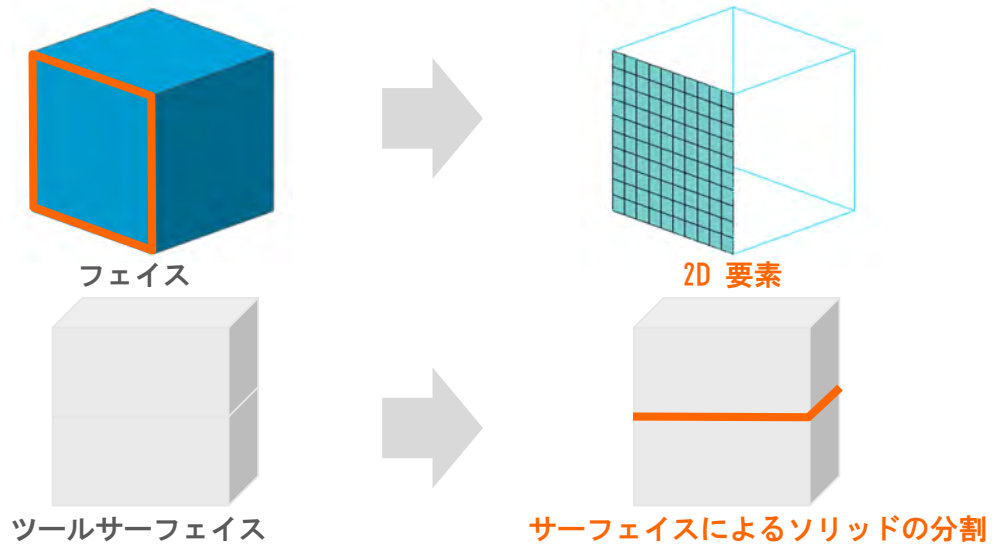
閉じた領域をなす面で フェイスと シェルに区分
フェイス: 1つ面のオプション
シェル: 2つ以上の面の集合



12

サーフェイスの用途

2次元要素(平面ひずみ, 平面応力, プレートなど)を生成するためのベース形状
ジオメトリの分割に用いる形状

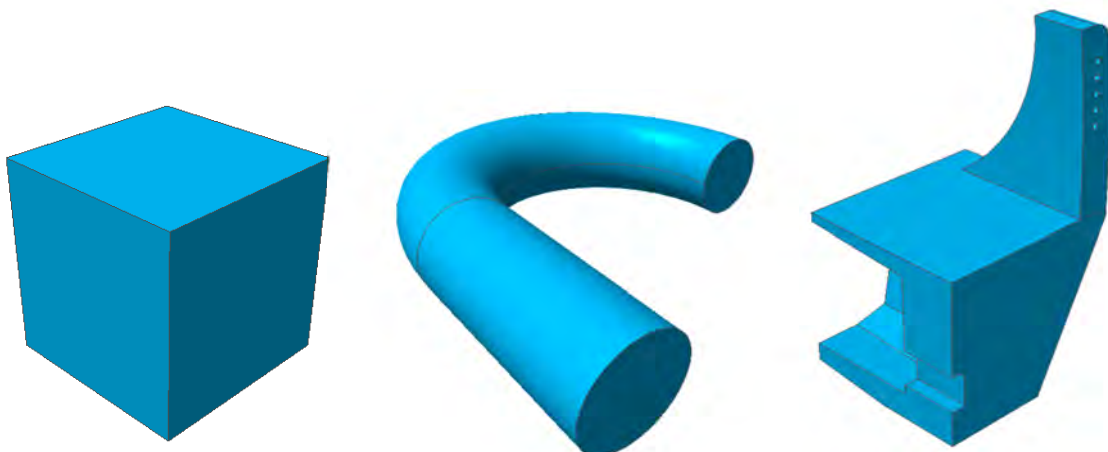


13

モデリング

ソリッド

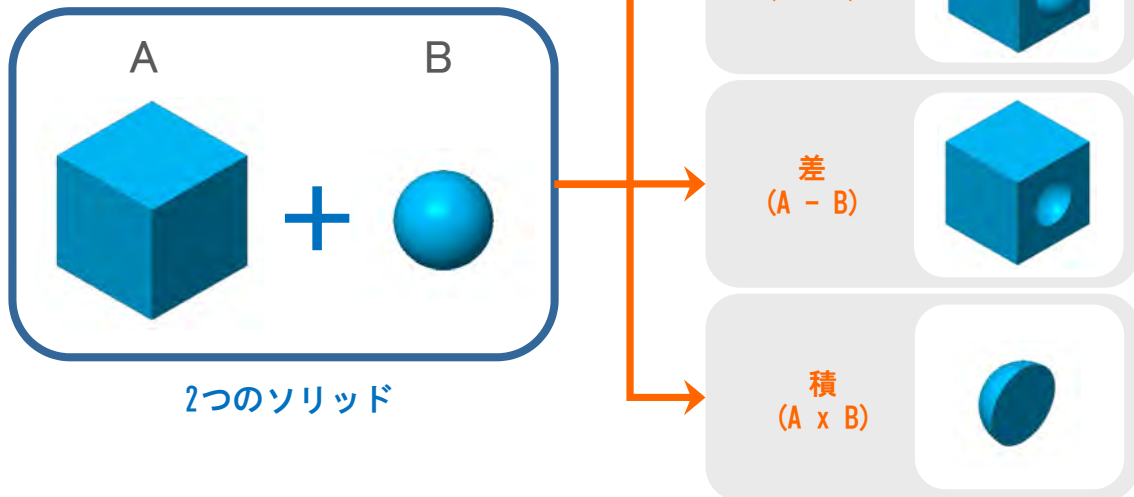
体積を定義した3次元形状



14

ソリッド(ブーリアン演算)

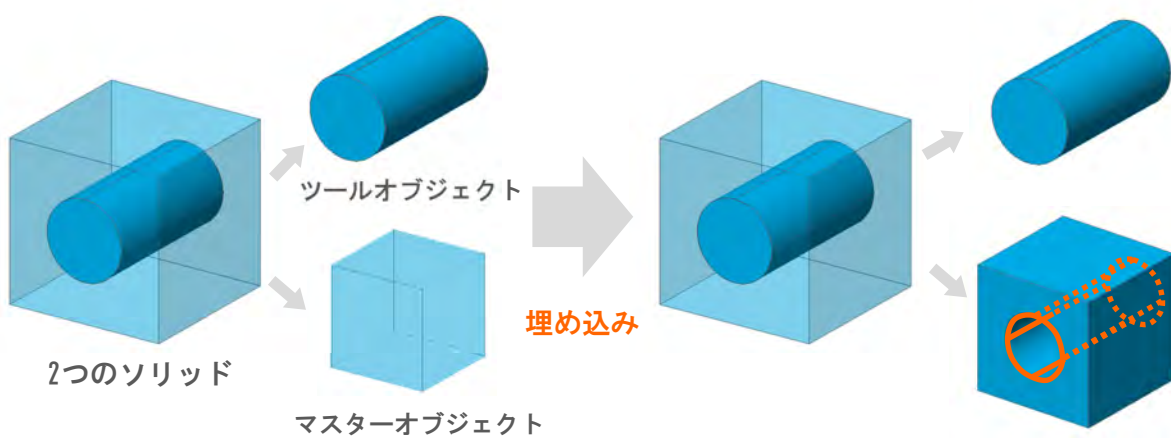
ブーリアン演算



15

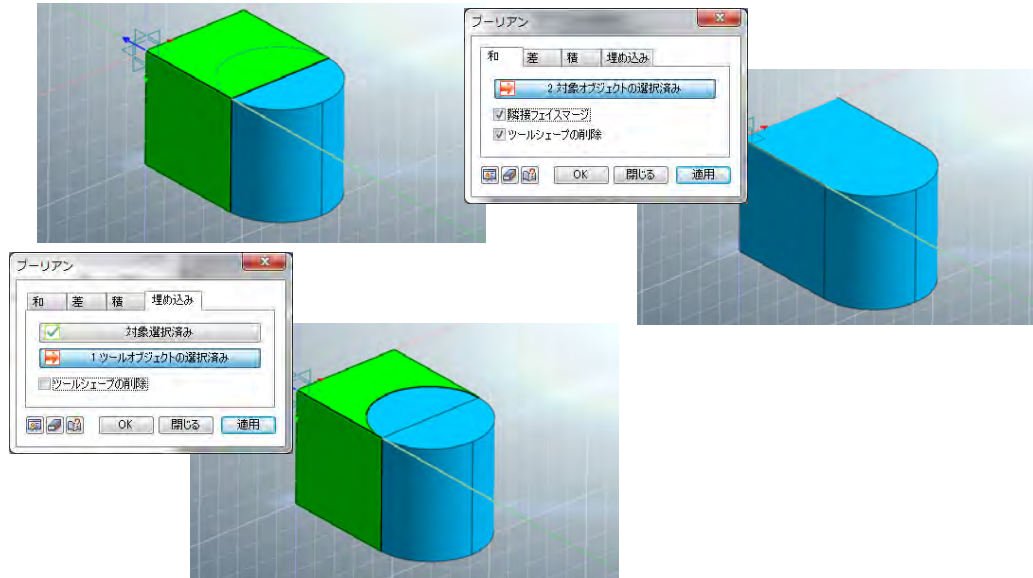
ソリッド(ブーリアン演算)

埋め込み: ソリッド内部に別のソリッドを挿入する機能



16

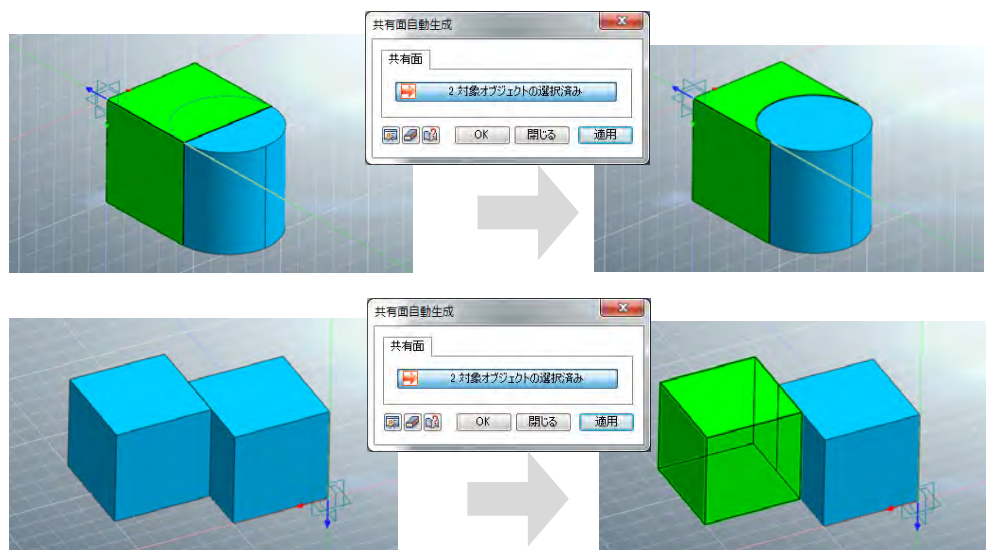
ソリッド(ブーリアン演算)



17

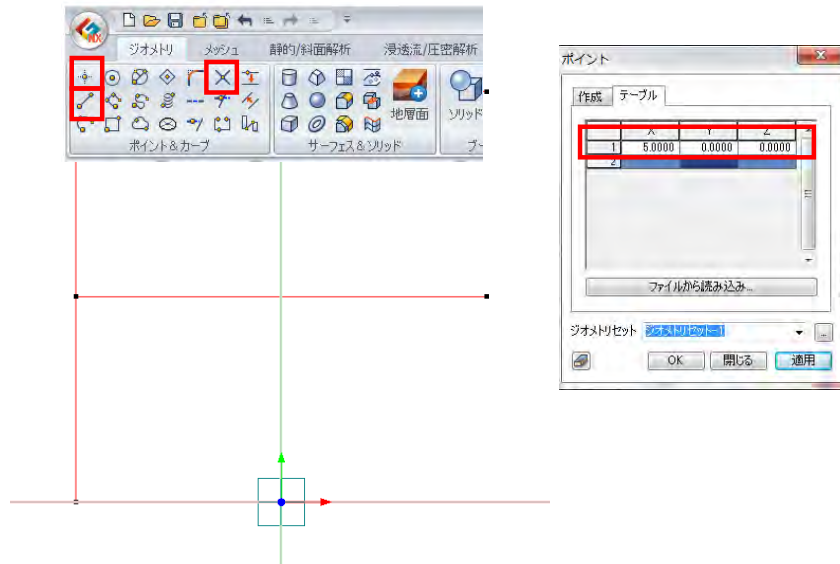
共有面自動生成

ジオメトリ > サーフェイス&ソリッド > 共有面自動作成



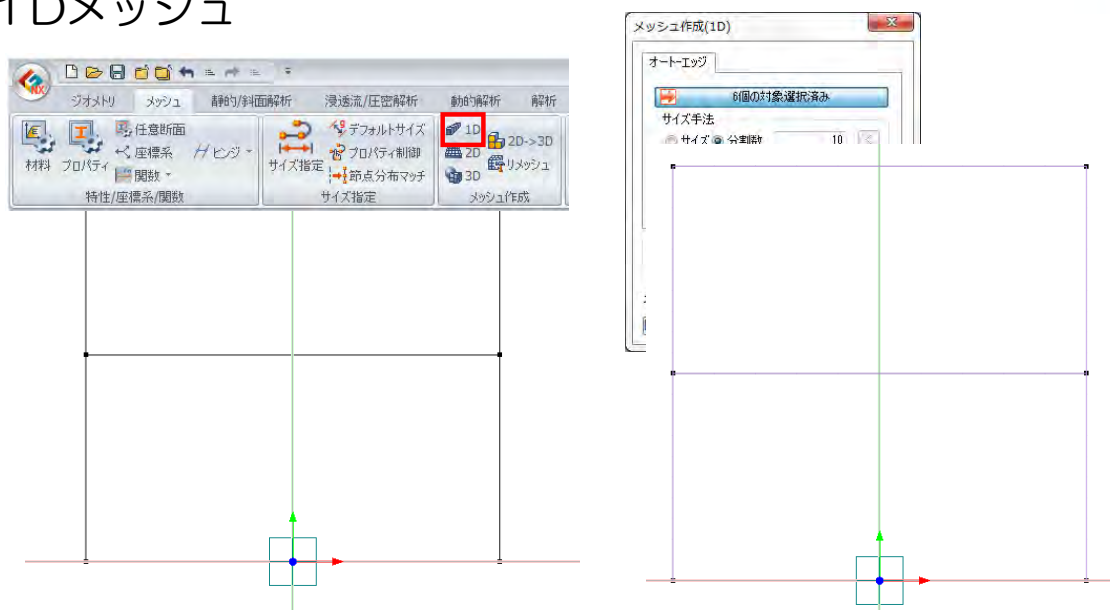
18

1Dメッシュ



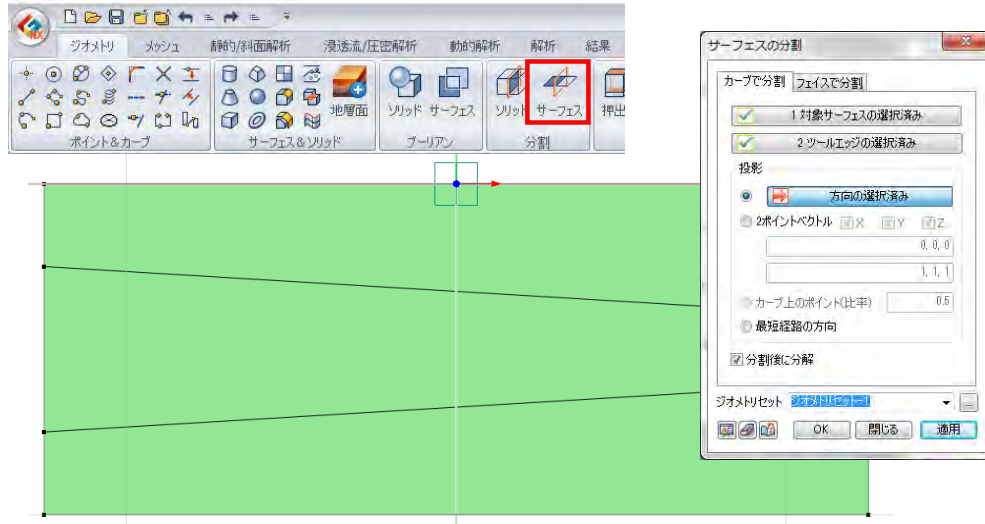
19

1Dメッシュ



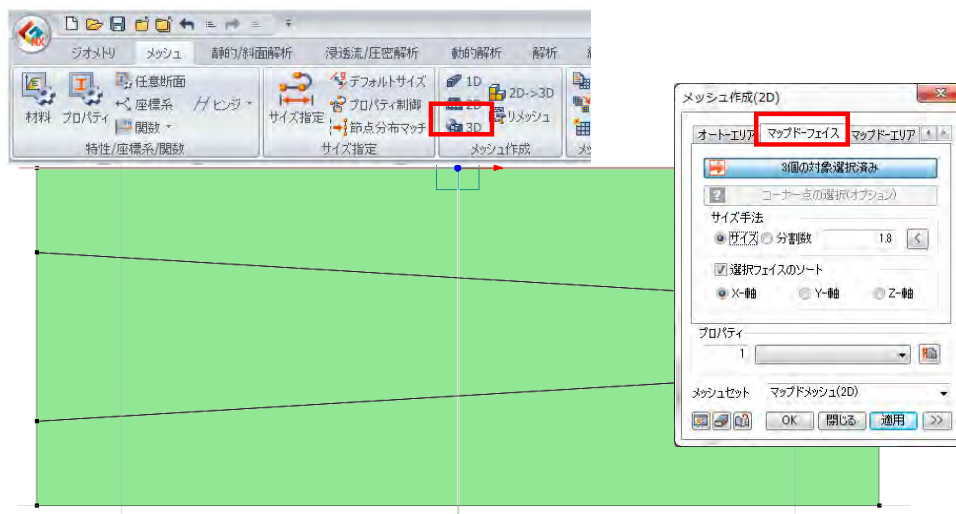
20

2Dメッシュ



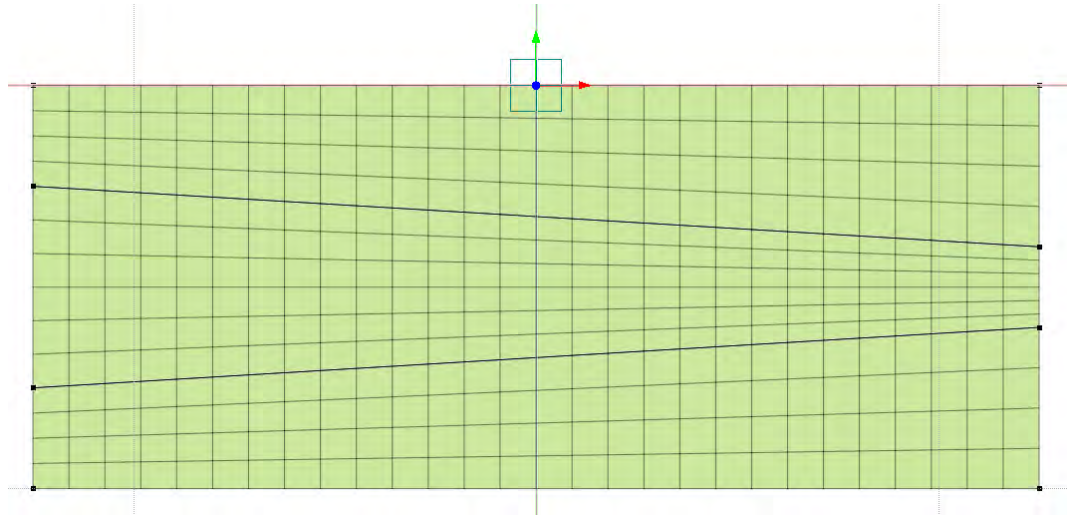
21

2Dメッシュ



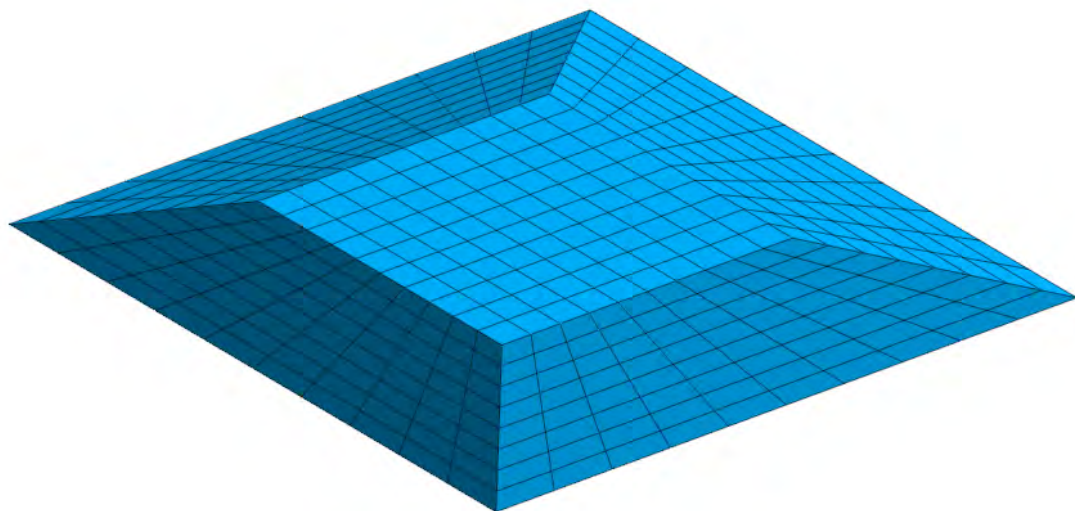
22

2Dメッシュ



23

3Dメッシュ



24

動的解析について

- 1次元解析への適用、2・3次元解析への適用方法

1次元解析

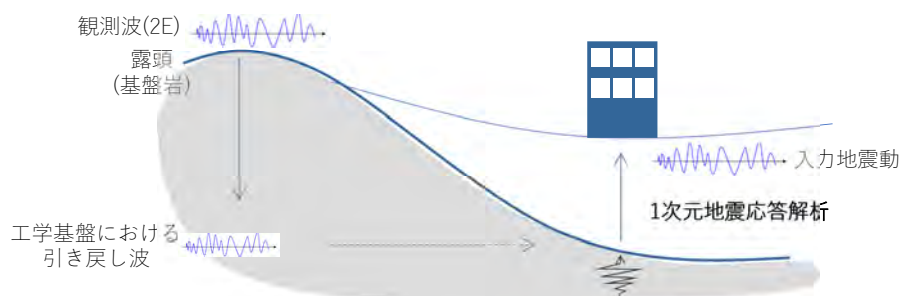
MIDAS Detailed FEM Analysis Education Seminar

■ 概要

- 水平成層地盤の地震応答解析プログラム(1次元)
- 地盤の非線形特性を考慮(等価線形解析、時刻歴の非線形解析、有効応力解析)
(SHAKEコード、YUSAYUSA, DYNAQなど)
- 1次元波動理論(重複反射理論)により、多層地盤の地震応答を算出

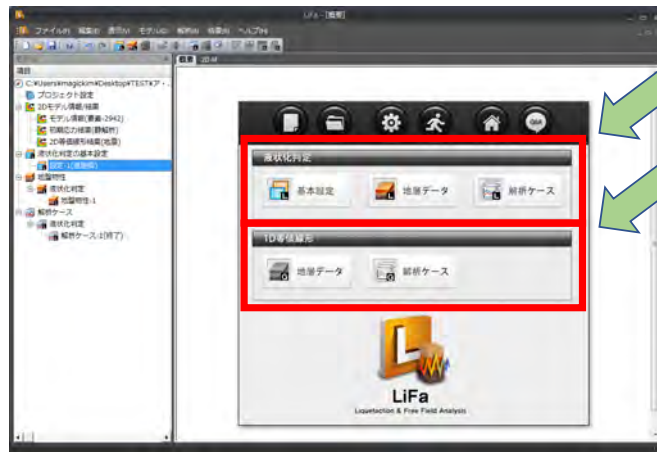
■ SHAKEコードが実務に多く用いられる理由

- 入力地震動作成：観測波から基盤位置まで地震波形を引き戻し、表層部の地震動を求める
- 簡易液状化判定のための、地盤各層の地震時のせん断応力を算出



■ 1次元専用のアプリケーションで簡単に解析！

- 液状化判定と等価線形解析を **ひとつのアプリケーション** で実行
 - データ共有で作業を効率化
 - 等価線形解析の結果を用いた液状化判定も容易
 - MS Excelと **データ互換**

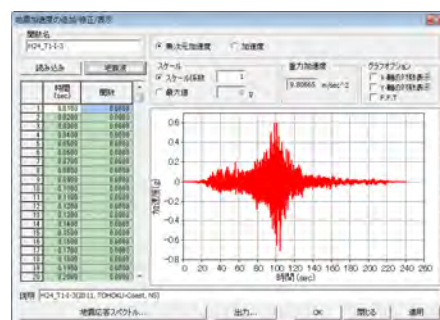
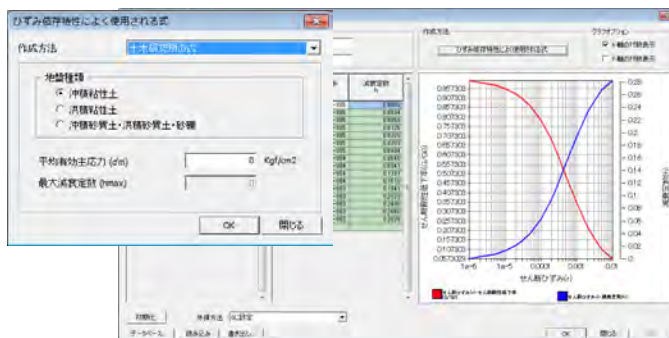


液状化判定

等価線形解析

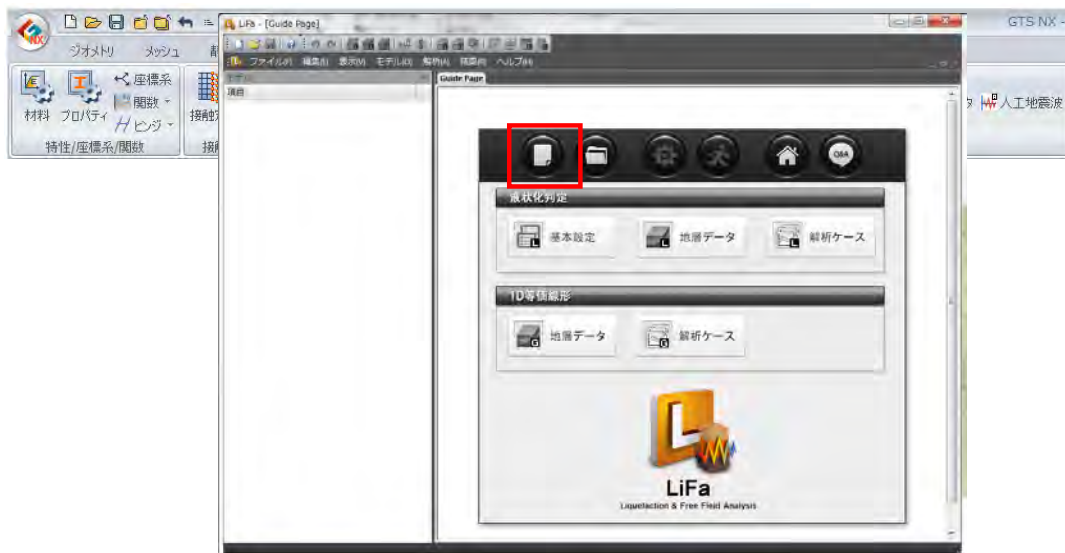
■ 等価線形解析

- パラメータの自動計算
 - G0、VS自動計算
- ひずみ依存特性関数の自動生成
 - 上載圧を自動算出
 - 土木研究所の式 他多数
- 代表的な地震波形のデータベース
 - 道路橋示方書の地震加速度波形



1次元等価線形解析の例

LIFA



29

1次元等価線形解析の例

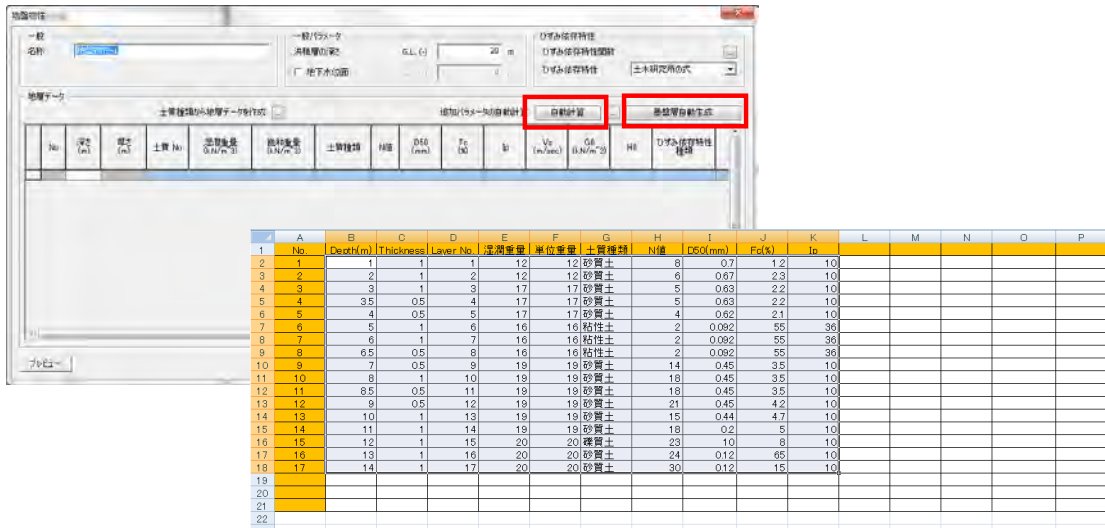
LIFA



30

1次元等価線形解析の例

LiFA



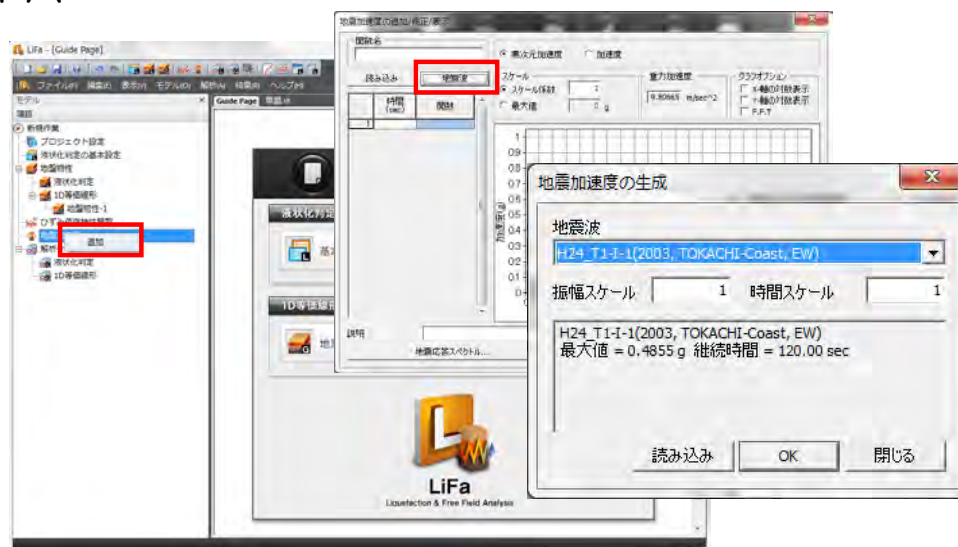
The screenshot shows the 'Soil Properties' dialog box in the LiFA software. The 'Soil Properties' tab is active, and the 'Soil Properties' table is displayed. The table has columns for No., Depth (m), Thickness (m), Layer No., Depth (m), Unit Weight (kN/m³), Soil Type, N-value, CPT (mm), P_u (kN/m²), and Soil Properties. The table contains 17 rows of data for different soil layers.

No.	Depth (m)	Thickness (m)	Layer No.	Depth (m)	Unit Weight (kN/m³)	Soil Type	N-value	CPT (mm)	P _u (kN/m²)	Soil Properties
1	1	1	1	12	12	砂質土	8	0.7	1.2	10
2	2	1	2	12	12	砂質土	6	0.67	2.2	10
3	3	1	3	17	17	砂質土	5	0.63	2.2	10
4	3.5	0.5	4	17	17	砂質土	5	0.63	2.2	10
5	4	0.5	5	17	17	砂質土	4	0.62	2.1	10
6	5	1	6	16	16	粘性土	2	0.092	55	36
7	6	1	7	16	16	粘性土	2	0.092	55	36
8	6.5	0.5	8	16	16	粘性土	2	0.092	55	36
9	7	0.5	9	19	19	砂質土	14	0.45	3.5	10
10	8	1	10	19	19	砂質土	18	0.45	3.5	10
11	8.5	0.5	11	19	19	砂質土	18	0.45	3.5	10
12	9	0.5	12	19	19	砂質土	21	0.45	4.2	10
13	10	1	13	19	19	砂質土	15	0.44	4.7	10
14	11	1	14	19	19	砂質土	18	0.2	5	10
15	12	1	15	20	20	硬質土	23	10	8	10
16	13	1	16	20	20	砂質土	24	0.12	65	10
17	14	1	17	20	20	砂質土	30	0.12	15	10

31

1次元等価線形解析の例

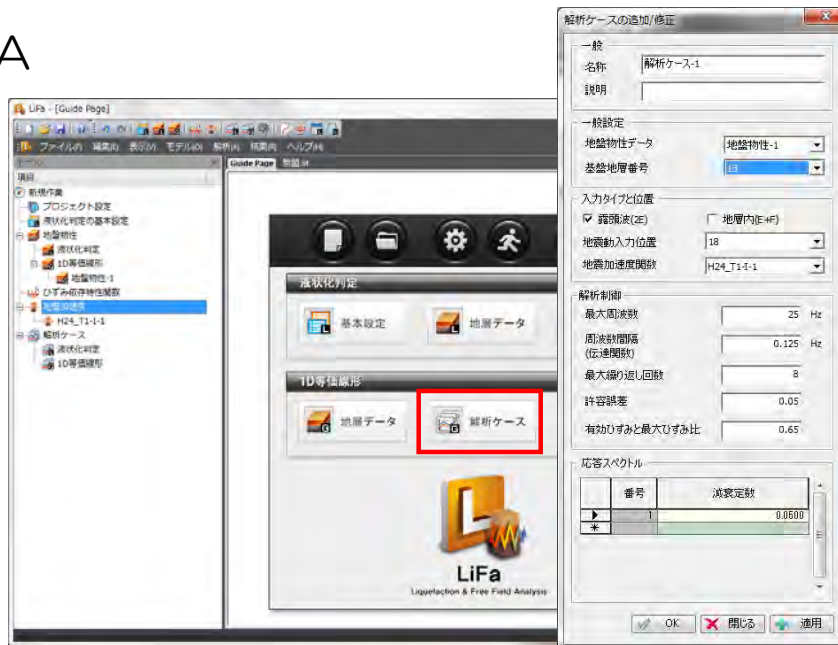
LiFA



32

1次元等価線形解析の例

LiFa



33

1次元等価線形解析の例

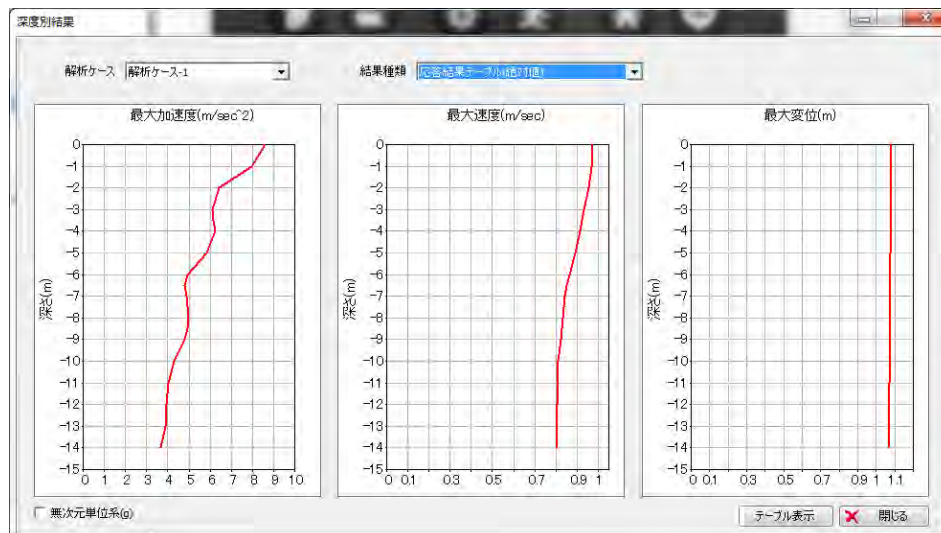
LiFa



34

1次元等価線形解析の例

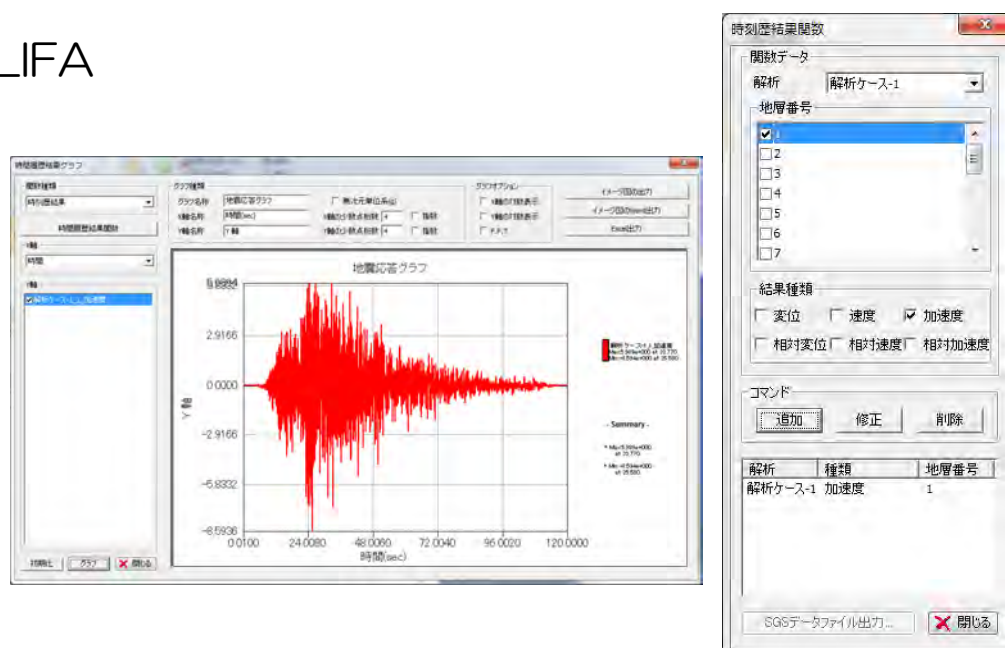
LIFA



35

1次元等価線形解析の例

LIFA



36

動的解析について

－ 1次元解析への適用、2・3次元解析への適用方法

解析手法

MIDAS Detailed FEM Analysis Education Seminar

区分	静的解析		動的解析	
地盤のモデル	地盤バネモデル	有限要素モデル		
解析手法	応答変位法	応答震度法	周波数領域の 複素数応答解析法	時間領域の 順次積分法
地盤の非線形性	非線形モデル (等価線形化して評価する場合もあり)		等価線形化法 による評価	非線形履歴モデル 考慮可能
構造物の非線形性	一般的に線形		等価剛性による 評価も可能	非線形履歴モデル 考慮可能
地震荷重	地震時の地盤変位 周面せん断力 慣性力	地盤-構造物系の慣性 力など	地震波(時刻歴の加速度)	

動的解析	地層条件	何ができるか？
1次元	水平成層地盤	建物への入力地震動作成
2次元	地層条件に制約無し	地盤と地中構造物との相互作用 上部構造に対する慣性相互作用
3次元	地層条件に制約無し	地盤と地中構造物との相互作用 上部構造に対する慣性相互作用

■ 2・3次元解析の利点

- 地盤内の構造物が存在する場合、地盤-構造物間の動的相互作用を考慮可能
- 上部構造物の慣性力が作用する場合、地表面の応答特性の実現象を表現可能

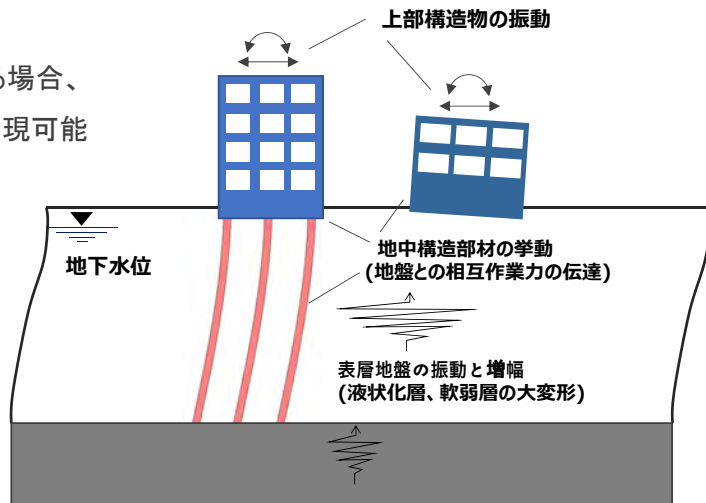
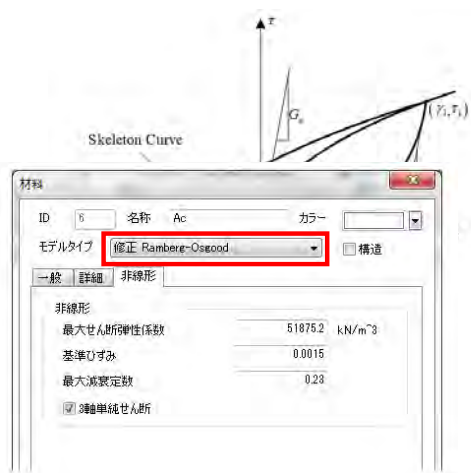


図. 地盤-基礎構造-上部構造系の地震動挙動

地盤の非線形履歴モデル

修正Ramberg-Osgoodモデル



履歴ルール

▶初期載荷時、次の骨格曲線に沿って移動する。

$$G_s \gamma = \tau + \alpha |\tau|^\beta \tau \quad (6.9.1)$$

$$\beta = \frac{2\pi h_{max}}{2 - \pi h_{max}}, \alpha = \left(\frac{2}{\gamma_s G_s} \right)^\beta$$

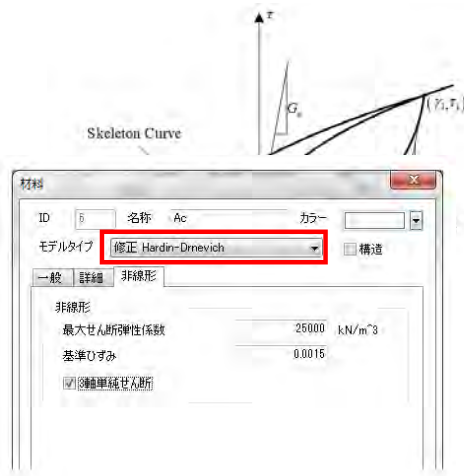
G_s : 最大せん断弾性係数
 γ_s : 基準せん断ひずみ
 h_{max} : 最大減衰定数

▶履歴曲線は、次のとおりである。

$$G_s \left(\frac{\gamma \pm \gamma_1}{2} \right) = \left(\frac{\tau \pm \tau_1}{2} \right) \left(1 + \alpha \left(\frac{\tau \pm \tau_1}{2} \right)^\beta \right) \quad (6.9.2)$$

地盤の非線形履歴モデル

修正Hardin-Drnevichモデル



履歴ルール

▶初期載荷時、次の骨格曲線に沿って移動する。

$$\tau = \frac{G_0 \gamma}{1 + \frac{\gamma}{\gamma_r}} \quad (6.10.1)$$

G_0 : 最大せん断弾性係数

γ_r : 基準せん断ひずみ

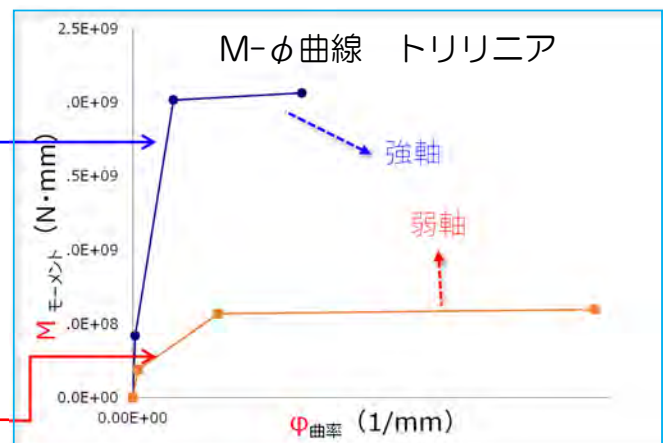
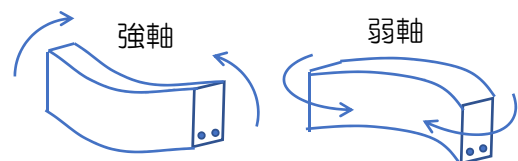
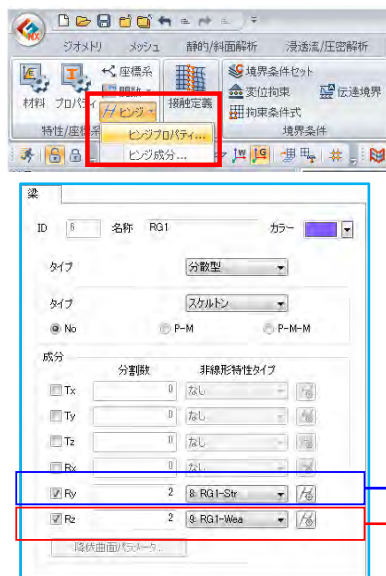
▶履歴曲線は、次のようになる。

$$\tau - \tau_1 = \frac{G_0 (\gamma - \gamma_1)}{1 + \frac{\gamma - \gamma_1}{2\gamma_r}} \quad (6.10.2)$$

41

構造物の非線形履歴モデル

Multilinearモデル(例)



42

動的解析の境界条件

動的荷重(入力地震動の設定)

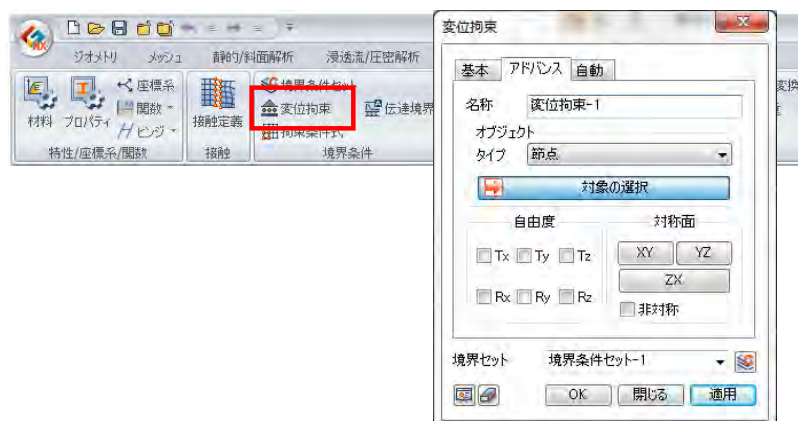


43

動的解析の境界条件

側方境界

・ 固定境界

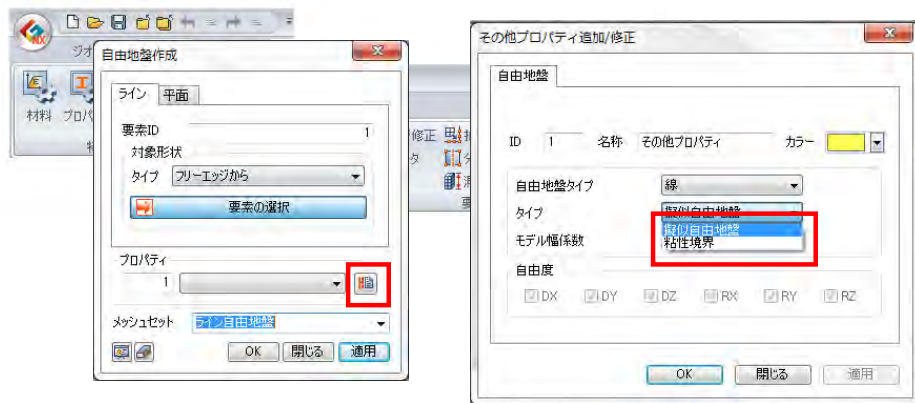


44

動的解析の境界条件

側方境界

- ・ 疑似自由地盤境界
- ・ 側方粘性境界（自由地盤）

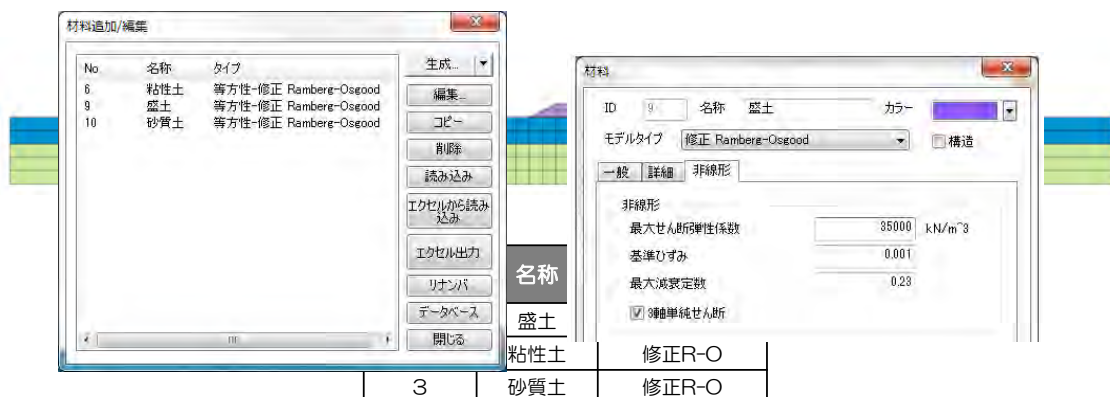


45

2次元解析

2次元非線形解析の例

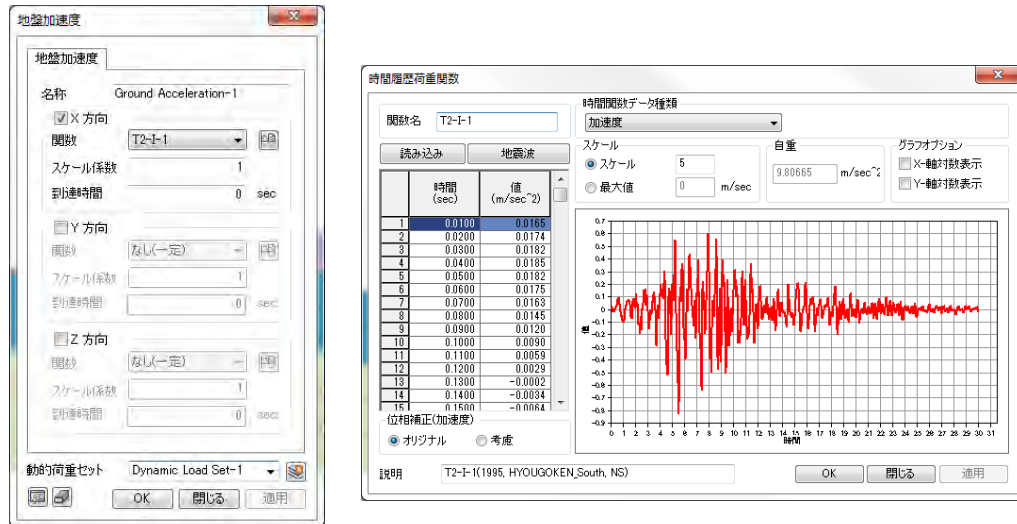
盛土モデル



46

2次元非線形解析の例

盛土モデル（入力加速度）

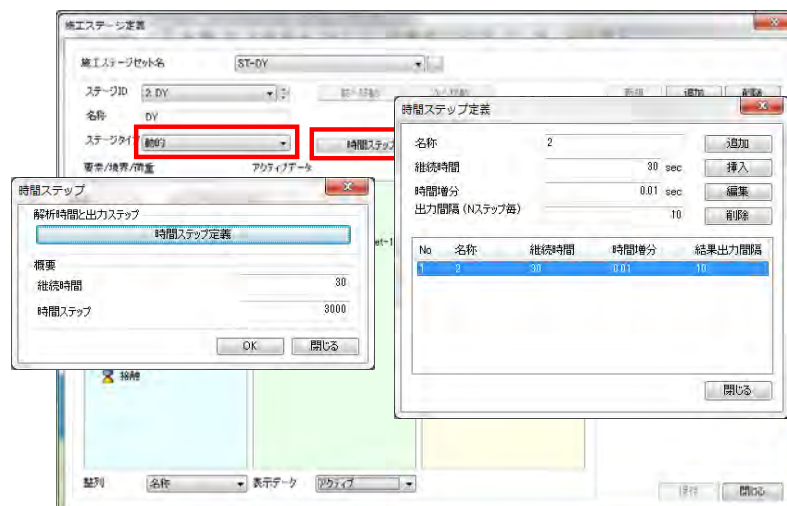


47

2次元非線形解析の例

盛土モデル（解析手順）

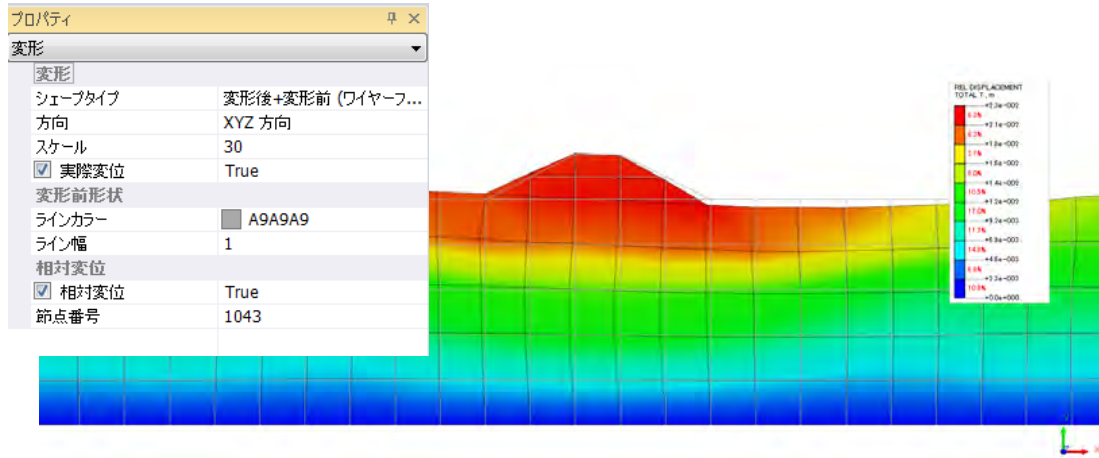
- ・ 築堤解析（自重解析 ⇒ 動的解析）



48

2次元非線形解析の例

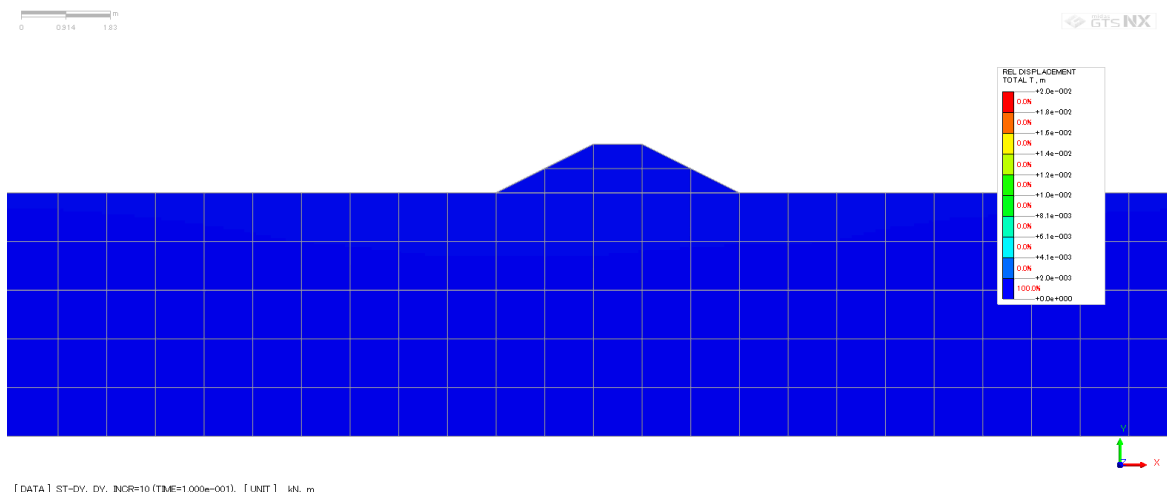
盛土モデル（解析結果）



49

2次元非線形解析の例

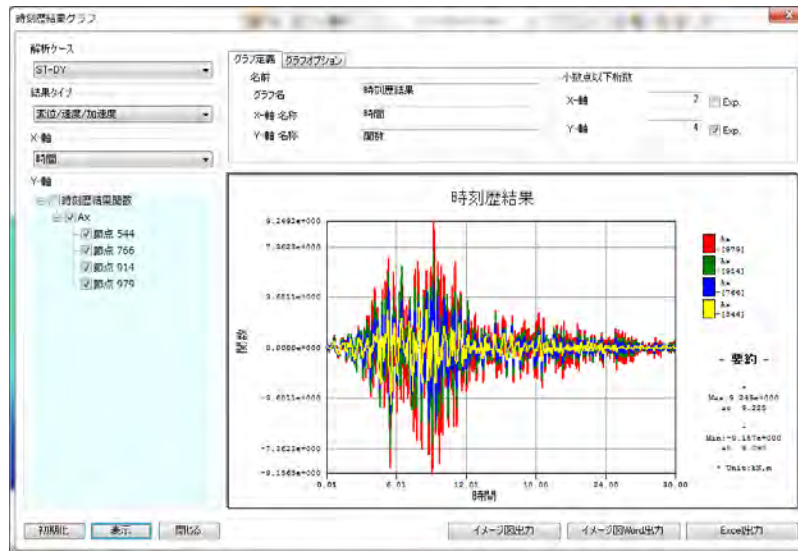
盛土モデル（解析結果）



50

2次元非線形解析の例

盛土モデル（解析結果）



51

構造物と地盤の動的相互作用を 考慮した応答解析

－ 爆発解析、地震応答解析

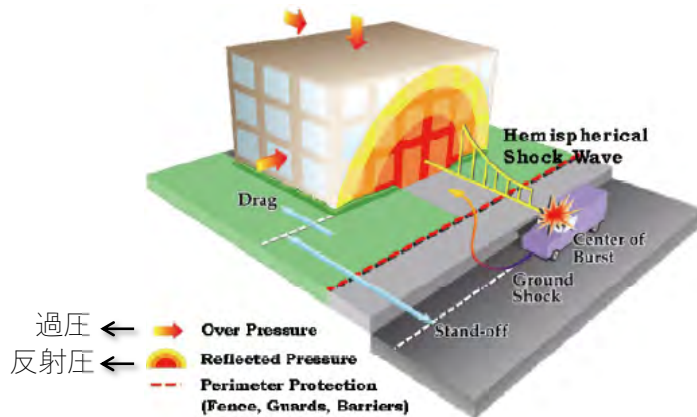
爆発解析事例

日揮株式会社様と共同に行ったプロジェクトの耐爆分析方法

爆発荷重： ASCE 7（アメリカ建築基準） - 時間依存の圧力荷重

構造物： ACI-318（アメリカRC造基準） - 非線形特性+3Dモデル

更に： 地盤を考慮 - 線形3Dソリッド



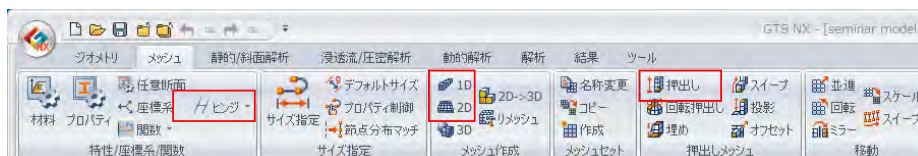
プラントのRC建屋



53

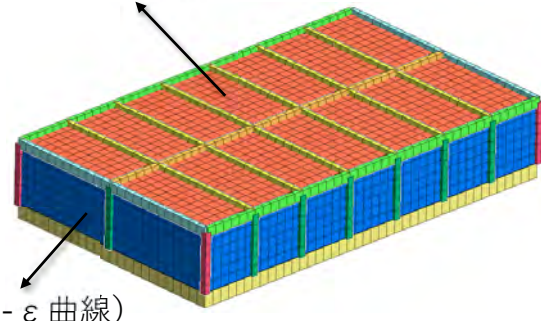
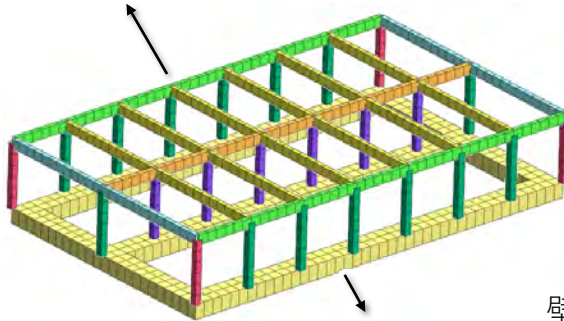
爆発解析事例

RC建屋のモデル



梁・柱 (M- ϕ 関係、P-M 相関関係)

スラブ (σ - ϵ 曲線)



ベタ基礎

壁 (σ - ϵ 曲線)

FRAME要素

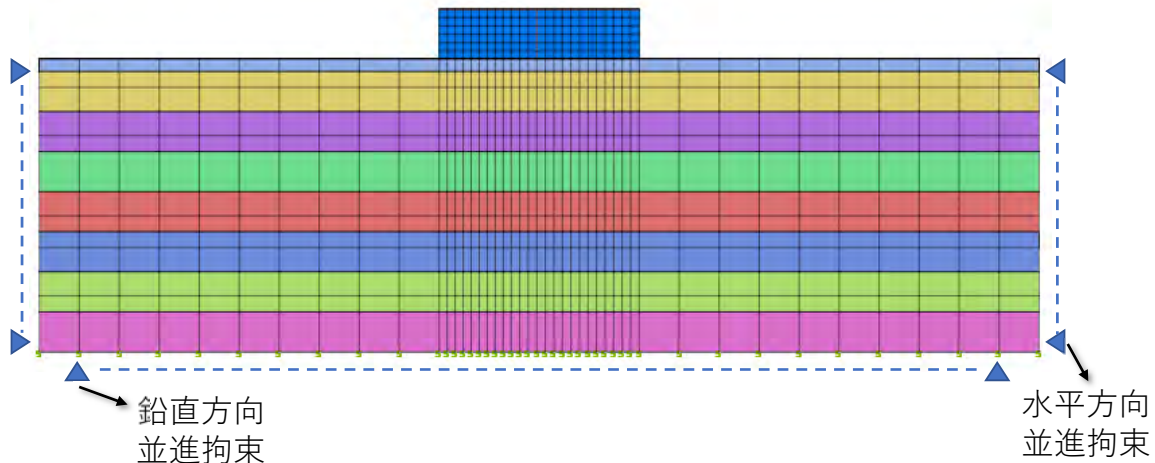
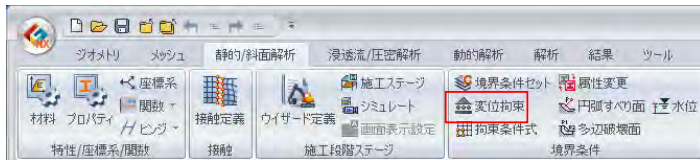
+

SHELL要素

54

爆発解析事例

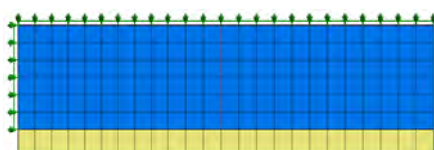
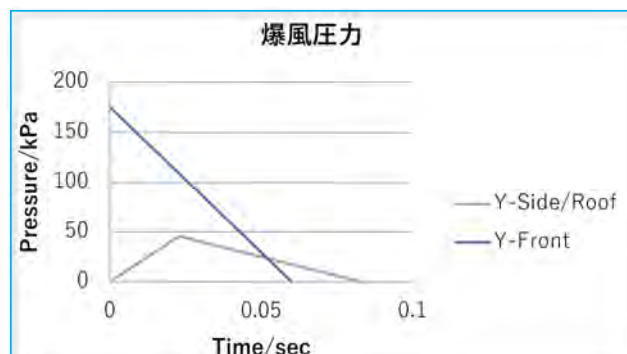
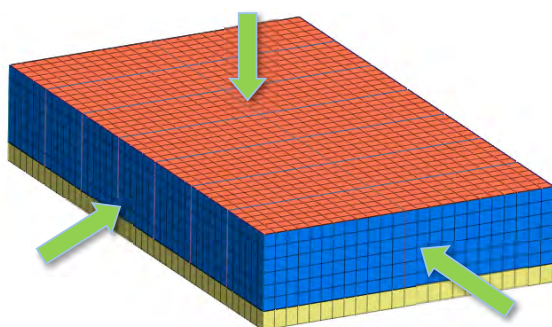
境界条件の設定 - 地盤と建物を一体としたモデル



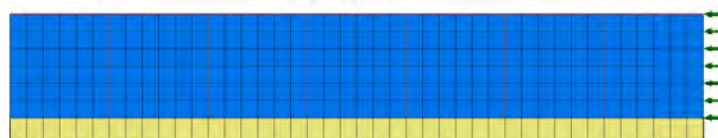
55

爆発解析事例

爆発荷重の定義 (ASCE 7)



PA : 側面と屋上の圧力



PR : 正面の圧力

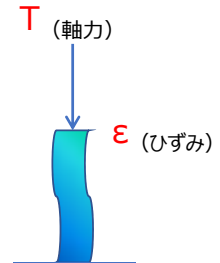
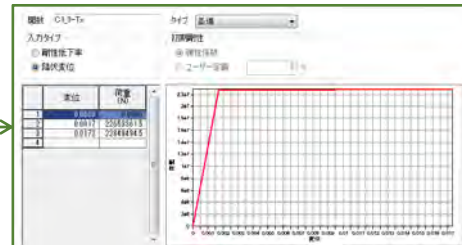
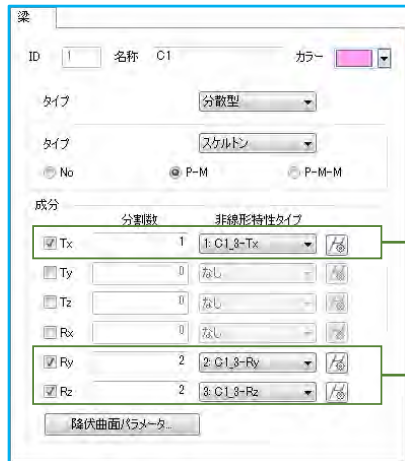
56

3次元一体モデル

爆発解析事例 柱の非線形特性 (ACI-318)

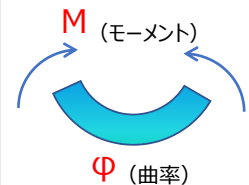
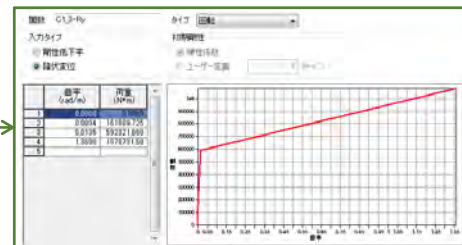
軸力-ひずみ曲線 バイリニア

1、コンクリートと鉄筋降伏；2、 ∞



M-φ曲線 トリリニア

1、ひび割れ；2、引張鉄筋降伏；3、極限強度

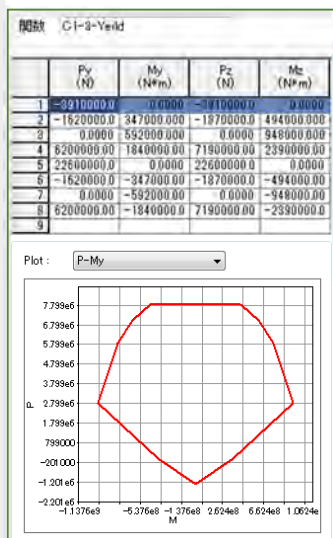


57

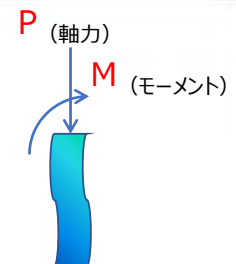
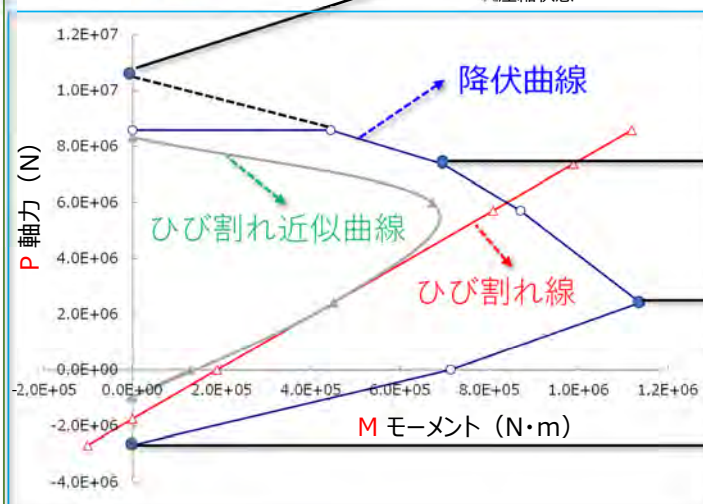
3次元一体モデル

爆発解析事例 柱の非線形特性 (ACI-318/midas Civil used)

曲げモーメントと軸力が同時に作用する柱の曲げ強度は軸力より変わる



P-M相関曲線



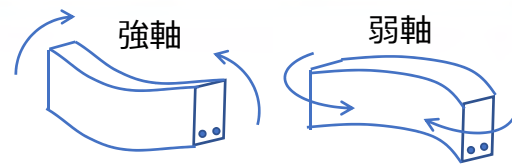
58

3次元一体モデル

MIDAS Detailed FEM Analysis Education Seminar

爆発解析事例 梁の非線形特性 (ACI-318)

梁は曲げ成分だけ非線形特性を割り当てる



M-φ 曲線 トリリニア

梁

ID: 8 名称: RG1 カラー: [Color]

タイプ: 分散型

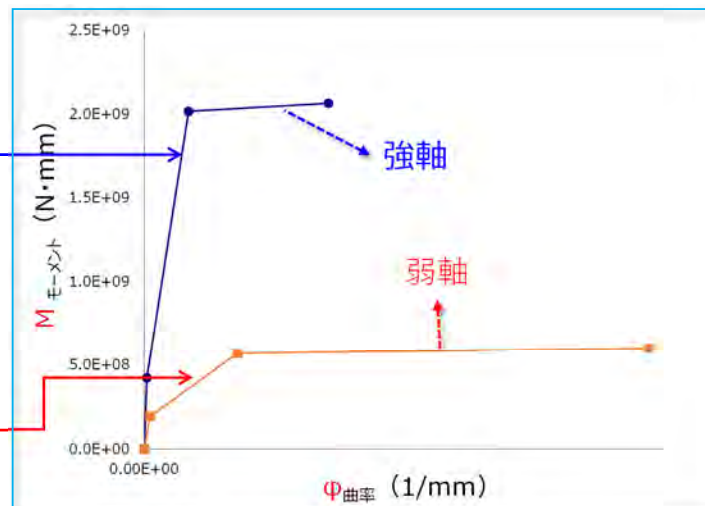
タイプ: スカルトン

☒ No ☐ P-M ☐ P-M-M

成分

成分	分割数	非線形特性タイプ
Tx	0	なし
Ty	0	なし
Tz	0	なし
Rx	0	なし
Ry	2	8: RG1-Str
Rz	2	9: RG1-Wea

降伏曲面/パラメータ...



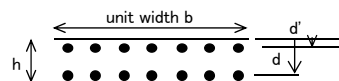
59

3次元一体モデル

MIDAS Detailed FEM Analysis Education Seminar

爆発解析事例 スラブと壁の非線形特性 (ACI-318)

単位長さ幅の梁としてM-φを計算し
等価降伏応力・ひずみを計算する



$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{6M}{bh^2}$$

$$\varepsilon = \frac{\phi h}{2}$$

σ - ε 曲線

モデルタイプ: von Mises ☒ 構造

一般 非線形 時間依存性

☐ 完全塑性

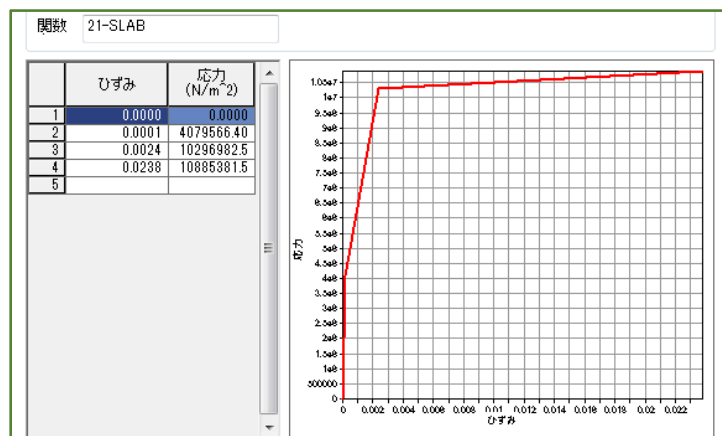
降伏応力: 1.96133e+011 N/m²

☐ 硬化関数: なし

☒ 応力-ひずみ関係: 21-SLAB

硬化則: 運動力学

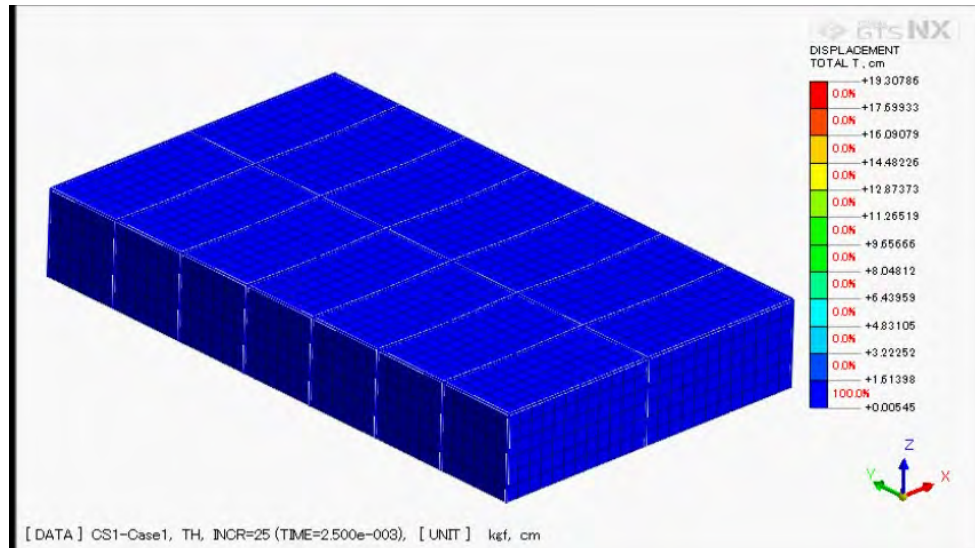
硬化関数組合せ (0~1): 0



60

爆発解析事例

結果アニメーション 変形スケール10倍



61

MIDAS
Detailed FEM Analysis
Education Seminar



構造物と地盤の動的相互作用を 考慮した応答解析

－ 爆発解析、地震応答解析

3次元一体モデル

MIDAS Detailed FEM Analysis Education Seminar

地震応答解析

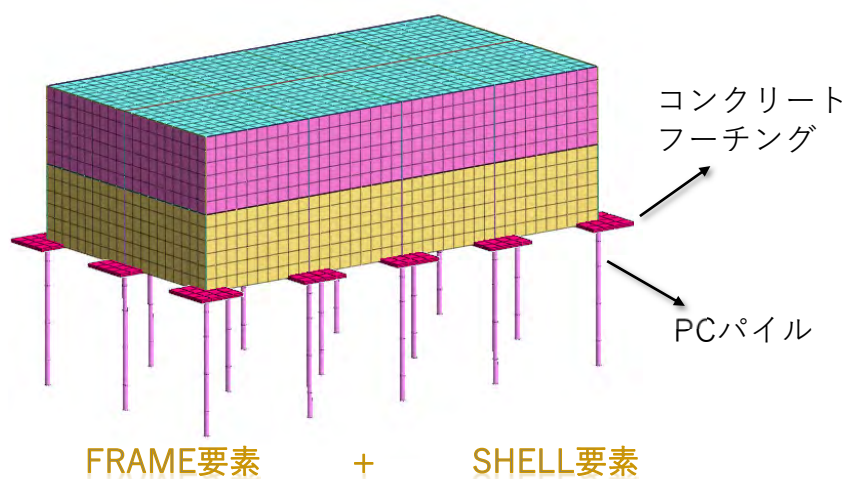
2階建のビルディングをモデル化

地震荷重： 一次元非線形解析で計算した入力地震動

構造物： M- Φ 非線形特性+3Dモデル

地盤： 線形3Dソリッド

モデル



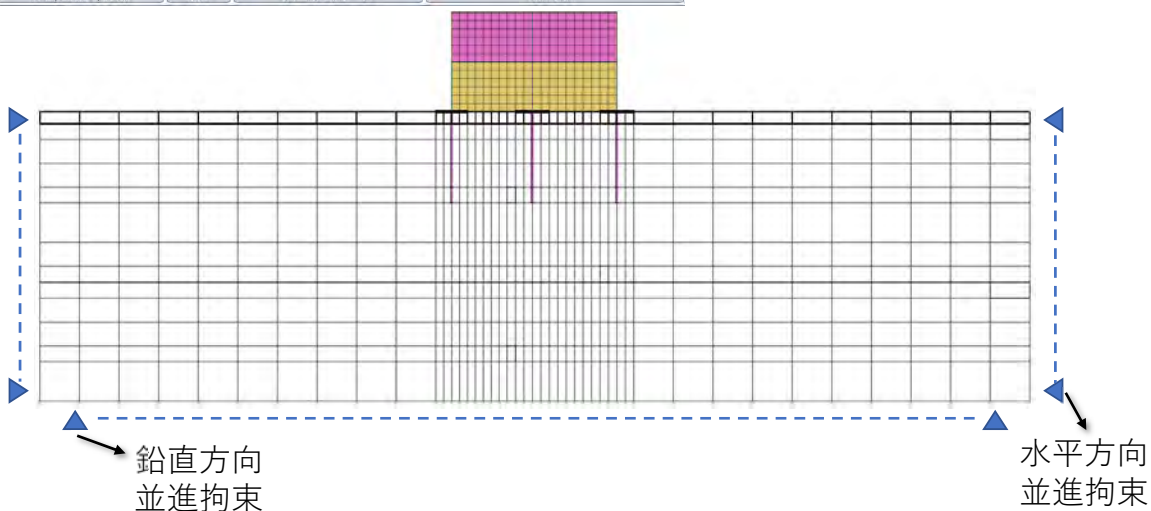
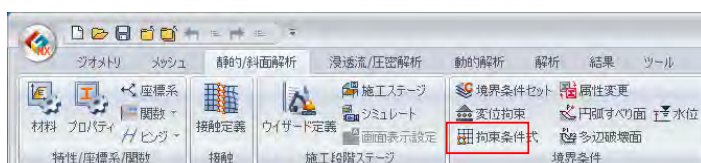
63

3次元一体モデル

MIDAS Detailed FEM Analysis Education Seminar

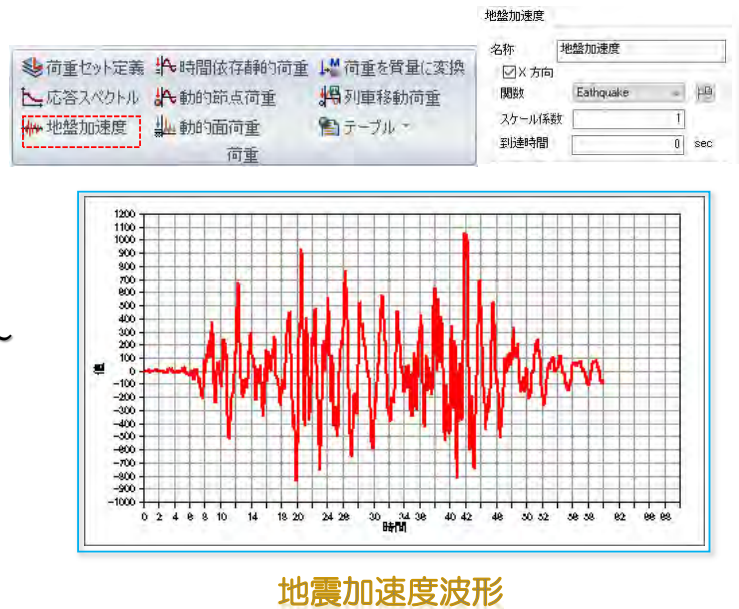
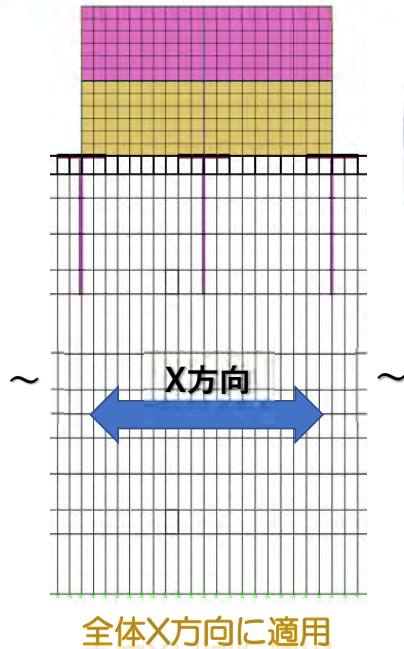
地震応答解析

境界条件の設定 - 地盤と建物を一体としたモデル



64

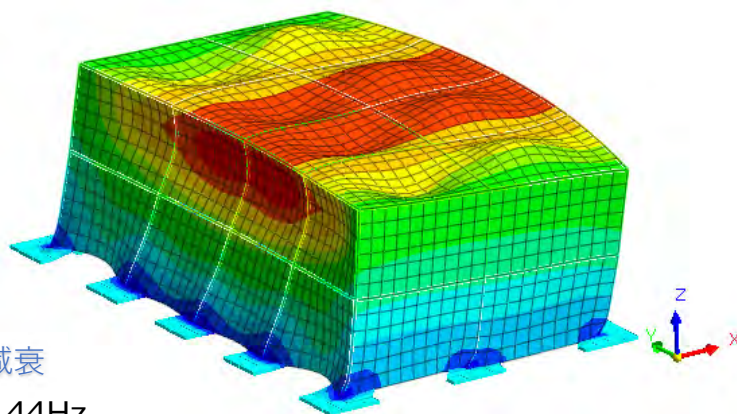
地震応答解析 入力地震動の定義



65

地震応答解析 減衰の設定

固有周期の減衰定数（剛性比例型）を設定する。
固有周期は構造物の固有値解析で求める。



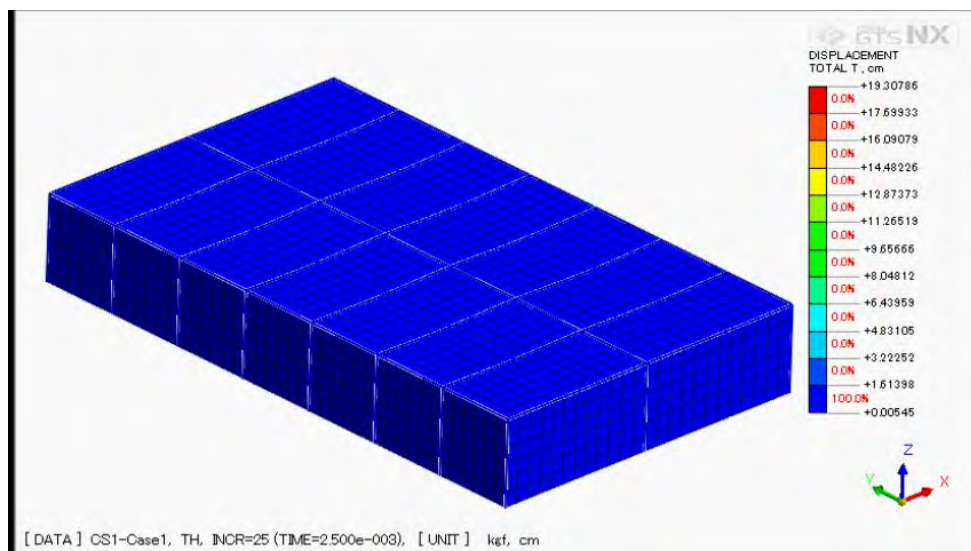
材料別のレーリー減衰

- 固有周波数 : 8.44Hz
- 構造物 : 減衰定数0.03
- 地盤 : 減衰定数0.05

66

地震応答解析

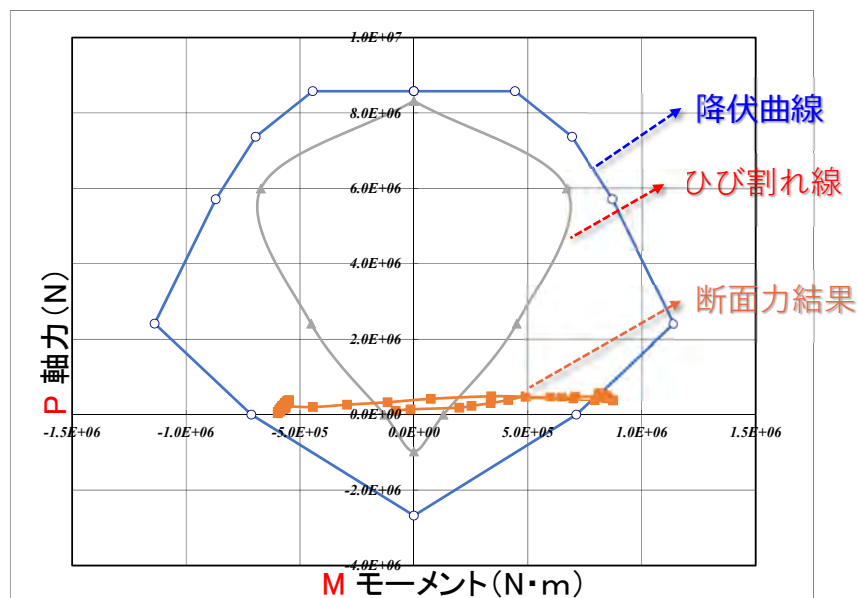
結果アニメーション 変形スケール10倍



67

地震応答解析

結果 柱の時刻歴断面力

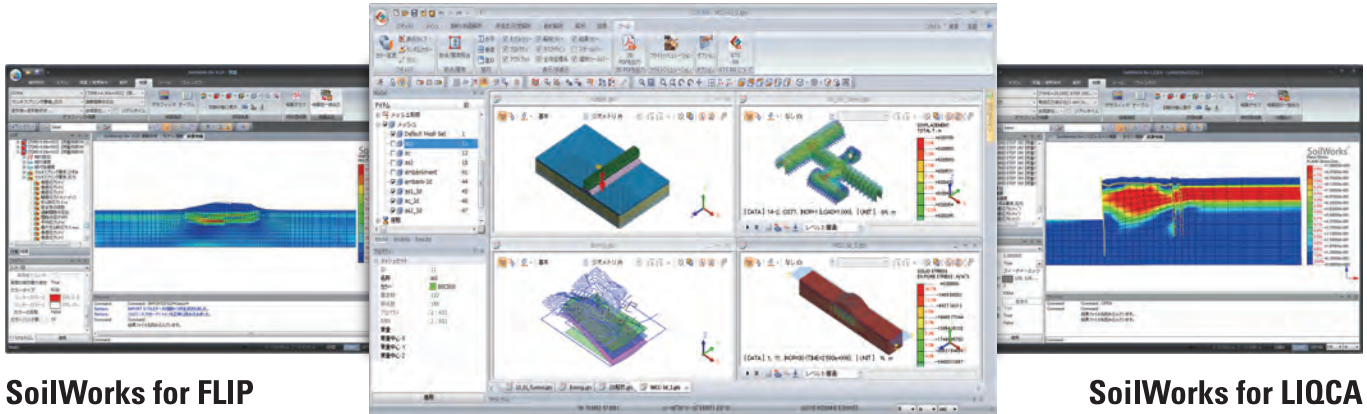


68





MIDAS Total Solution



SoilWorks for FLIP

FLIP専用のプリ・ポスト

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

GTS NX

GTS NX - 地盤分野汎用解析システム

GTS NXは最先端プリ・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を搭載しており、初心者も使いやすいように直観的なリボンメニュー形式を用意しております。また、様々な解析機能、圧倒的に速い解析速度、優れているグラフィック表現および結果整理機能などを提供します。

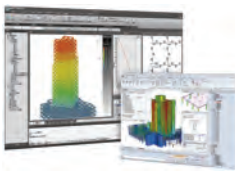
SoilWorks for LIQCA

LIQCA専用のプリ・ポスト

SoilWorks for LIQCAはLIQCA専用のプリ・ポストです。SoilWorksの操作性をそのまま継承しており、AutoCAD感覚でデータを作成することができます。データ作成後は、LIQCAを起動させ計算を実行することもでき、LIQCA解析のための統合された作業環境を提供します。
※ LIQCAは1987年京都大学の岡 二三生教授をはじめとするLIQCA開発グループにより開発された有効応力に基づく液状化解析プログラムです。

建築

Building Engineering



midas iGen

任意形状構造物の
汎用構造解析
及び許容応力度計算

midas eGen

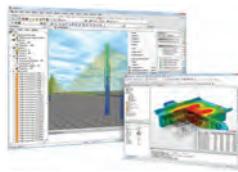
任意形状建物の
一貫構造計算
CAD基盤モデリング

midas Drawing

建築構造図面の
自動生成プログラム

土木

Bridge Engineering



midas Civil

土木分野の
汎用構造解析および
最適設計システム

midas FEA

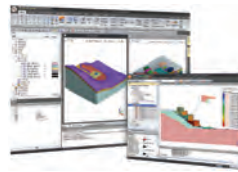
建設分野の非線形解析
および詳細解析システム

midas CIM ※開発中

3D情報モデルを活用した
土木構造物のモデリング/
図面生成/施工管理
ソリューション

地盤

Geotechnical Engineering



GTS NX

2/3次元地盤汎用解析
プログラム

SoilWorks

2次元専用地盤汎用解析
プログラム

SoilWorks for FLIP

液状化解析プログラム
FLIP用のプリ・ポスト

SoilWorks for LIQCA

液状化解析プログラム
LIQCA用のプリ・ポスト

midas GeoXD

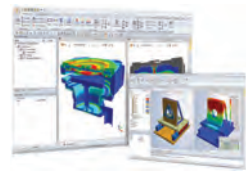
土留め設計図面生成
プログラム

SOLIFLUK PE

河川堤防の液状化
対策設計ソリューション

機械

Mechanical Engineering



midas NFX

機械分野の
汎用構造解析システム

midas NFX CFD

流動解析システム

MIDAS 詳細FEM解析

Change is Chance



株式会社マイダスイテュジャパン

〒101-0021 東京都千代田区外神田5-3-1 秋葉原OSビル7F

TEL 03-5817-0787 | FAX 03-5817-0784 | e-mail g.support@midasit.com

Copyright© Since 1989 MIDAS Information Technology Co., Ltd. All rights reserved.

<http://jp.midasuser.com/geotech>