

All about FORUM8 Products.

14TH FORUM8 DESIGN FESTIVAL 2020 3DAYS + EVE

AUTONOMOUS DRIVING
NATIONAL RESILIENCE
CAD / DESIGN / CLOUD
3DVR SIMULATION
BIM / CIM & VR
FEM ANALYSIS





■プレゼンテーション

「FORUM8のFEM解析ソリューション」

“FORUM8 FEM analysis solution”

フォーラムエイト 解析支援Group Group長
柳 正吉

Masakichi Yanagi

Chief Manager of FORUM8 Analysis Support Group



「Engineer's Studio®」

“Engineer's Studio®”

Engineer's Studio®とは

- 有限要素法(FEM)プログラム
(有限要素は、梁要素、平板要素、ケーブル要素、減衰要素)
- 3次元空間にモデルをつくる

特徴1 : 材料非線形＋幾何学的非線形(大变位)
特徴2 : ファイバー要素
特徴3 : 梁要素の断面計算・照査
特徴4 : RC非線形平板要素
(分散ひび割れモデル)

Engineer's Studio®

SteelReversedLohseBridge-LM.es - Engineer's Studio Ver.1.07.00

ホーム モデル 結果 照査 結果レポート 照査レポート プラグイン

新規作成 開く 上書き保存 モデルチェック 固有値解析 FEM解析 編集モードに替る 新規モデルビュー ウィンドウ 照査 チェック 照査 FEM結果 モードに替る ナビゲーションパネル FEM解析メッセージ 断面計算メッセージ 表示/非表示

ナビゲーション

モデル特性 節点と要素 支点 荷重
性能基準 固有値解析と減衰 照査設定

入力 表示設定

モデル特性
解析設定
座標系
材料
アウトライン
>> フレーム要素の断面
>> ばね要素
>> M-φ特性
>> ファイバー要素の断面
>> 平板要素の断面
地層特性
ケーブル材料

節点と要素

支点
支点ケース
支点
分布ばねケース
分布ばね

荷重
>> 質量一覧
>> 荷重の定義
>> 活荷重の定義
>> ランの定義

性能基準
>> ばね要素
>> M-φ要素
>> ファイバー要素

固有値解析と減衰
減衰一覧
減衰定数
減衰モデル
フレーム剛性低減
ばね要素剛性低減

照査設定
フレーム要素着目点
断面照査用詳細入力
断面照査用荷重定義
断面照査
>> 曲率照査
>> ばね要素照査
>> 橋脚残高実位照査
>> 鋼製部材のひずみ照査

フレーム要素の例 (鋼アーチ橋)

全体座標系

全体座標系

モード: 編集 x=17.327m, y=0.000m, z=120.421m *サンプルデータ

ファイバー要素の例（偏芯橋脚）

The screenshot displays the Engineer's Studio interface for a simulation titled "EccentricPier.f3d". The software version is 3.01.02. The main window shows a 3D model of a bridge pier with a horizontal beam, rendered in blue. A red circle highlights a specific section of the pier. To the right, a 2D plot shows the displacement field in the δX vs δZ plane, with a horizontal arrow labeled "加振方向" (Excitation Direction). Below the 3D model, a 2D grid plot shows the fiber element distribution, with a vertical arrow labeled "加振方向" (Excitation Direction). The left sidebar contains various settings, including "ラン結果" (Run Results) and "変形性能基準" (Deformation Performance Criteria). The bottom status bar shows coordinates: $x=-27.000m, y=0.000m, z=-46.000m$.

ラン結果 変形性能基準 節点・要素
グループ モデルスケール 結果スケール

ラン結果

ラン LG
ステップ 218

選択ランのみスケールに考慮

カテゴリ
変形性能基準

3D表示 テーブル表示

形状
 変位図 オリジナルモデル

変形性能基準

パフォーマンス
評価
 現在 累積
ファイバー断面ビュー オプション
 断面全体で評価 セル毎に評価
基準
損傷基準(コンクリート)

平板オプション
パフォーマンス表示タイプ
 全体要素 1レイヤ

レポートリストに追加

破壊 終局II 終局I

$x=-27.000m, y=0.000m, z=-46.000m$

加振方向

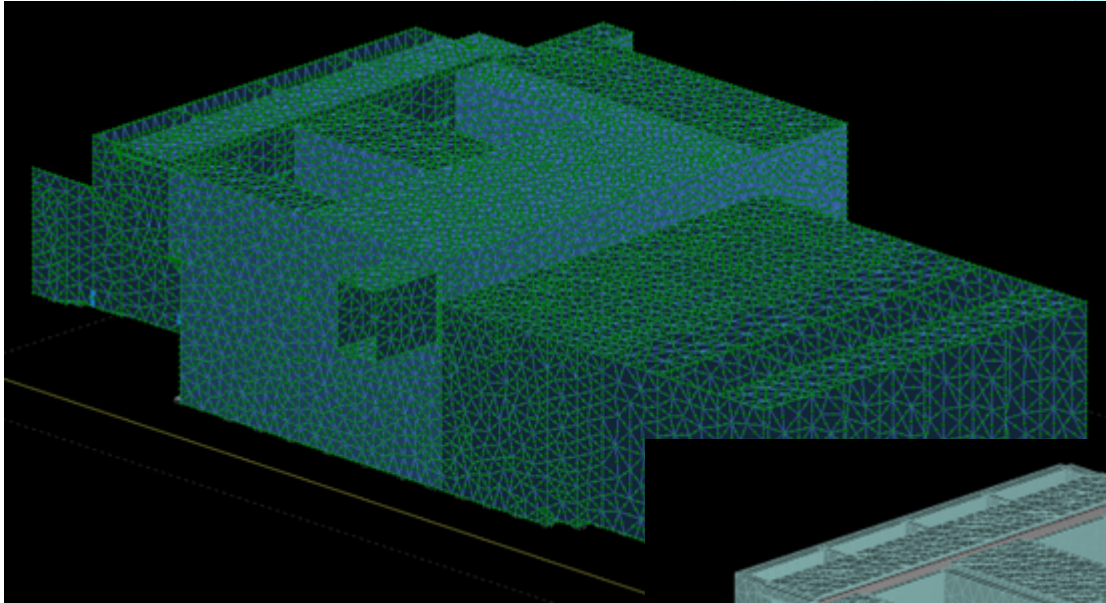
δZ

δX

X 20.8 倍率

加振方向

ひび割れ

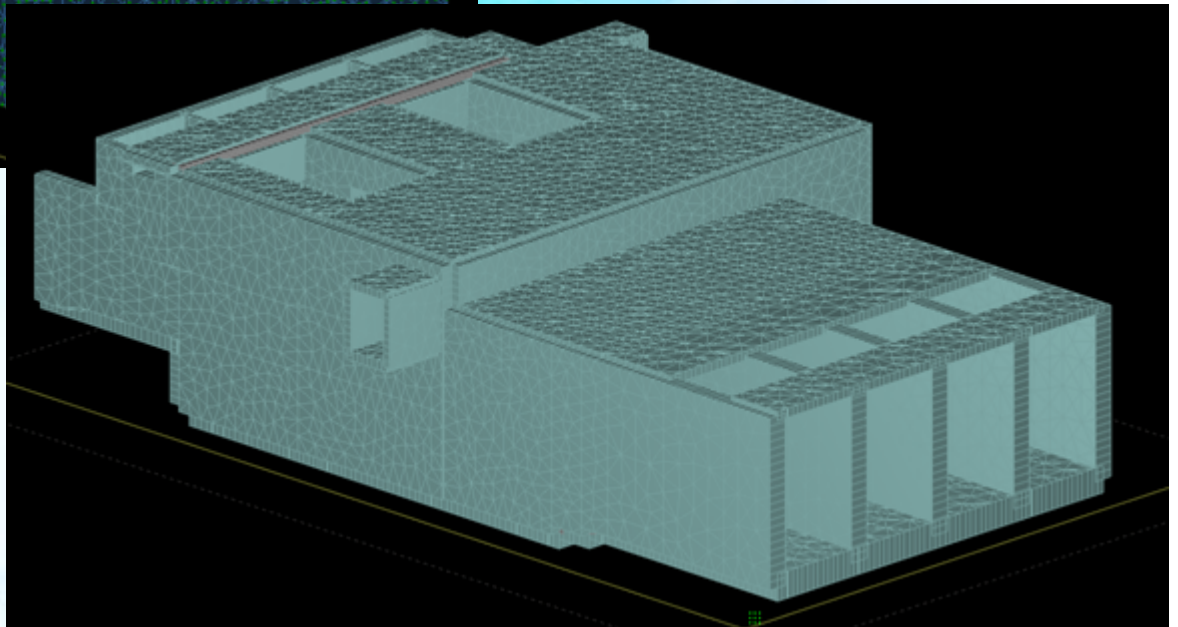


平板要素の例（排水機場）

節点 : 61342

要素(プリミティブ) : 20976

ばね要素 : 13849



デザインフェスティバル2010

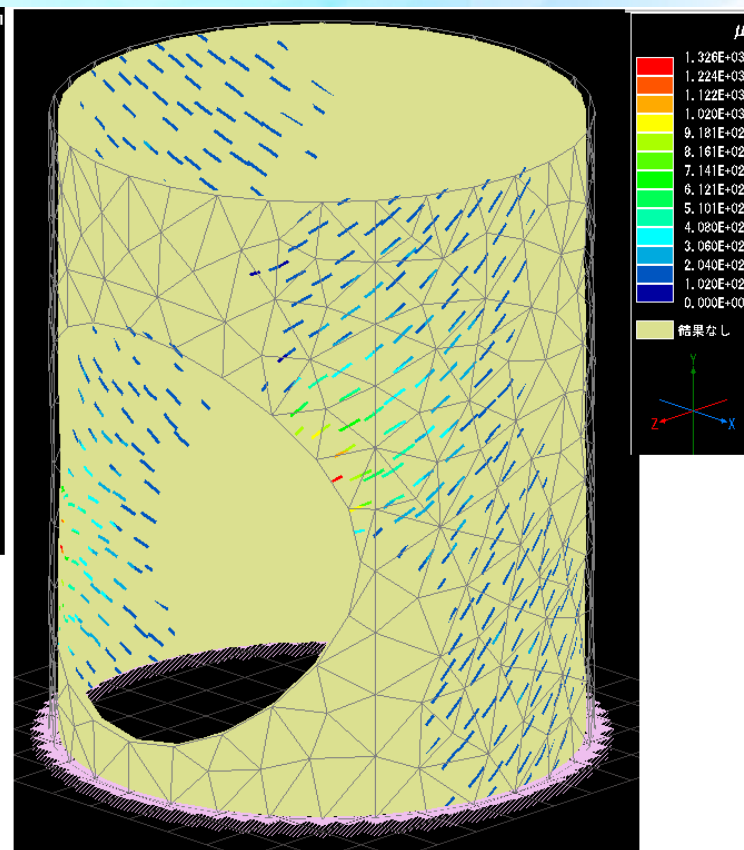
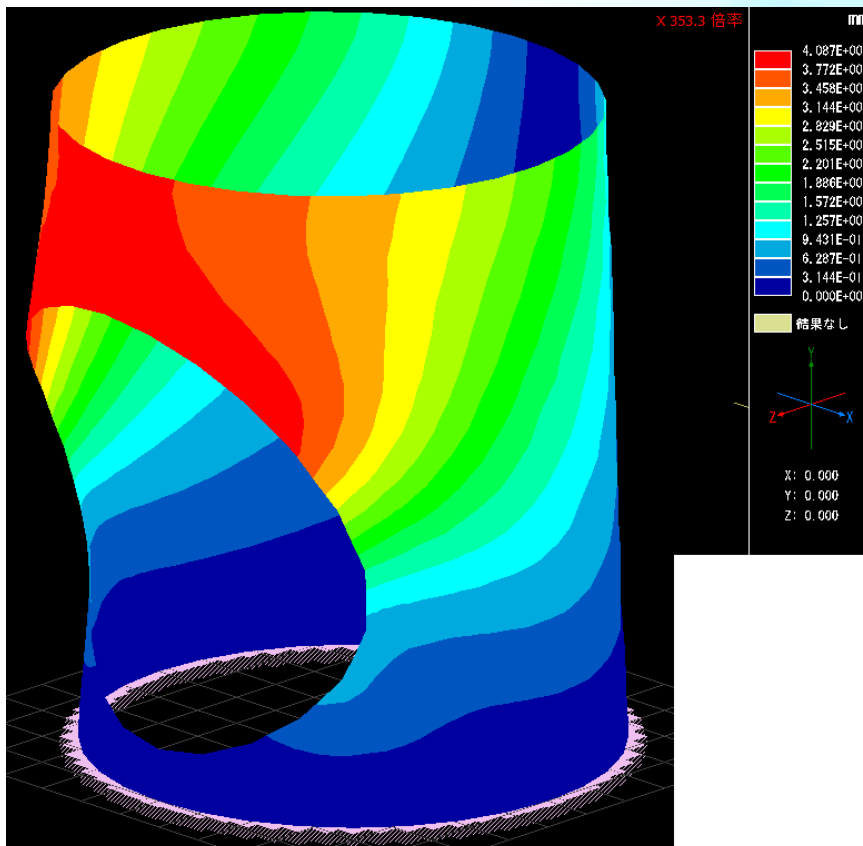
「Engineer's StudioR, UWLCを用いた大規模排水機場の応答変位法による耐震照査法」

(株)三祐コンサルタンツ 総合技術アセットマネジメント部 副参事 堀 治啓 氏
の配付資料より

平板要素の結果例

▼変位のコンタ図

▼ひび割れ図



節点

名称	ステップ	Δx (mm)	Δy (mm)	Δz (mm)
N1	21	0.00282	0.00192	-0.04235
N2	21	0.00000	0.00000	0.00000
N3	21	-0.00322	-0.00001	0.00186
N4	21	-0.00311	0.00132	-0.01476
N5	21	-0.00290	0.00022	-0.00424
N6	21	-0.00093	0.00004	-0.01574
N7	21	0.00305	0.00880	-0.05471

平板要素 ひび割れ一覧

名称	ステップ	配置角度 (°直交ひずみ)	せん断ひずみ (μ)	
E1-4-1-ひび割れ1	51	-35.8	1.77E+002	0.00E+000
E1-4-2-ひび割れ1	51	-35.6	1.08E+002	0.00E+000
E1-4-3-ひび割れ1	51	-35.1	2.03E+002	2.28E+001
E1-9-1-ひび割れ1	51	-30.3	1.28E+002	0.00E+000
E1-9-2-ひび割れ1	51	-34.4	1.45E+002	0.00E+000
E1-9-3-ひび割れ1	51	-34.3	1.63E+002	0.00E+000
E1-11-1-ひび割れ1	51	-33.6	1.73E+002	0.00E+000

鋼逆ロ一ゼ橋の減衰要素の動的解析結果

減衰要素

速度べき乗型粘性ダンパー

$$F = C \cdot V^a$$

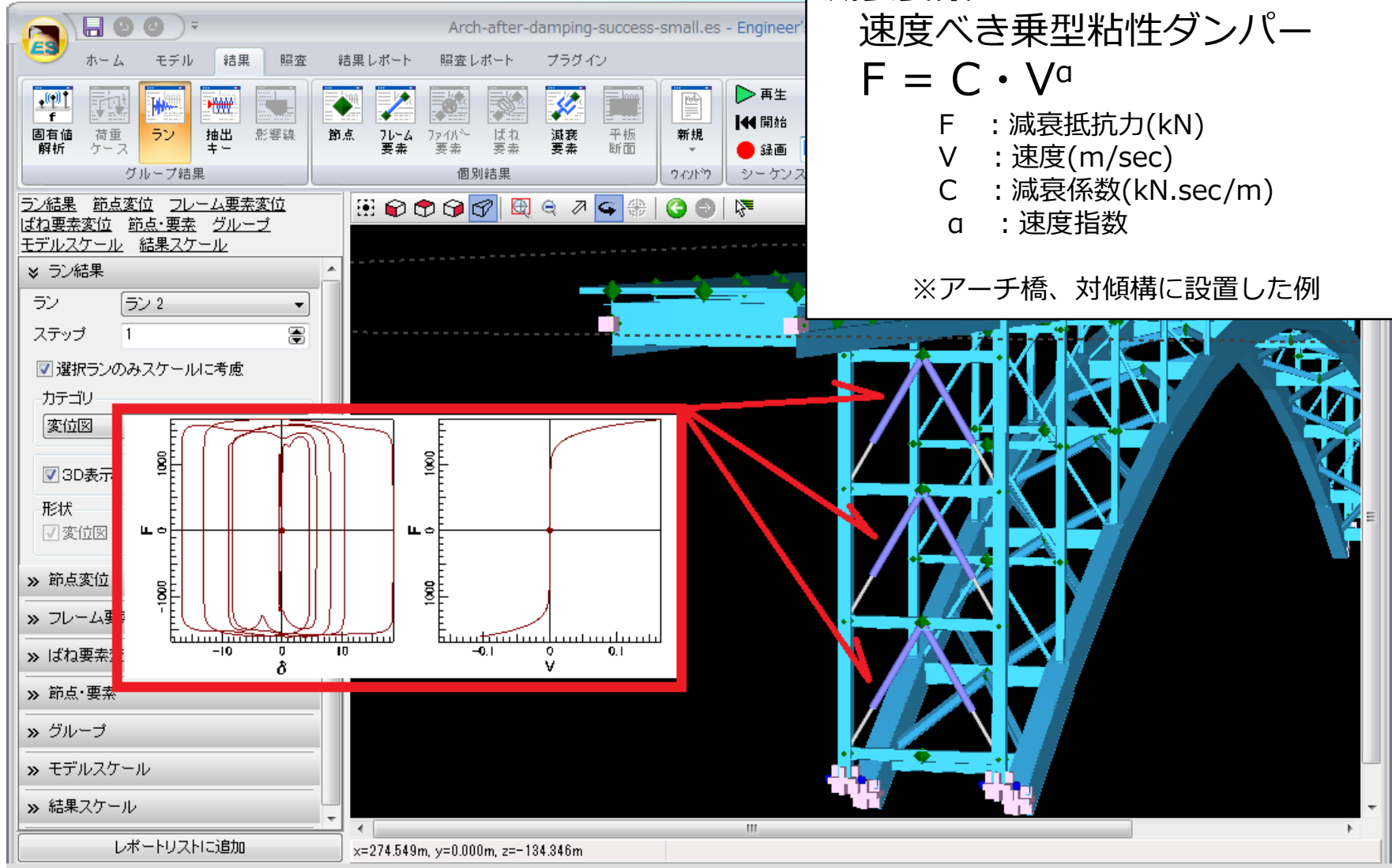
F : 減衰抵抗力(kN)

V : 速度(m/sec)

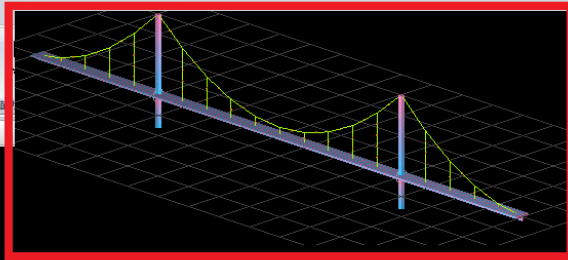
C : 減衰係数(kN.sec/m)

a : 速度指数

※アーチ橋、対傾構に設置した例

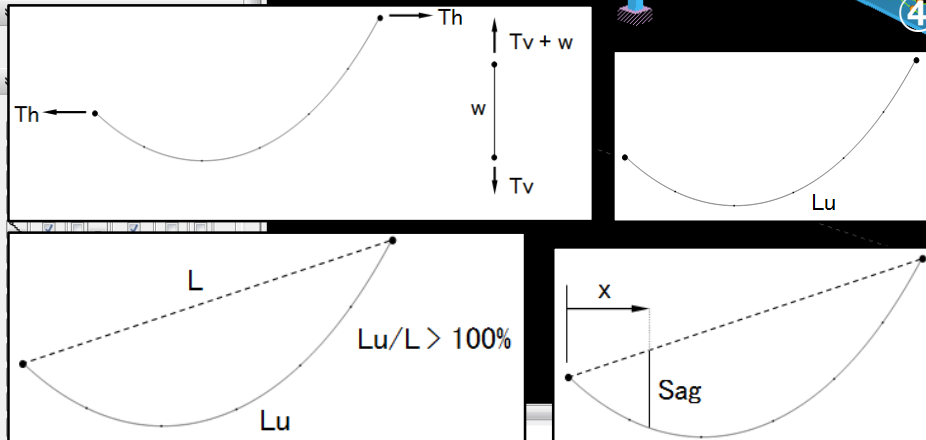


ケーブル要素の例 (吊橋)



ケーブル要素 = カテナリー (懸垂曲線)
 形状決定パラメータ:

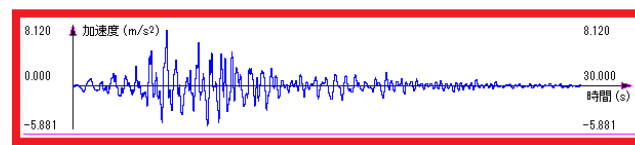
- ① 水平張力 T_h または鉛直張力 T_v
- ② 端から水平方向の位置 x でのサグ
- ③ 自然長 L_u に対する弦長 L
- ④ 自然長 L_u



グループ
 グループ表示
 On/Off 未登録要素表示
 グループ名 表示

名称	ステップ	δX (mm)	δY (mm)	δZ (mm)
1	556	0.00000	0.00000	0.00000
2	556	-0.02679	-0.56217	0.00000
3	556	-0.05312	-1.11412	0.00000
4	556	-0.07898	-1.64567	0.00000
5	556	-0.10436	-2.14674	0.00000
6	556	-0.12927	-2.60744	0.00000
7	556	-0.15368	-3.01880	0.00000

x=-24.000m, y=0.000m, z=-22.000m





鉄骨構造物の簡易計測技術の開発

—ピエゾ極限センサを用いた構造物の利便的な健全性モニタリングシステムの構築—

秋田県立大学 システム科学技術学部

1. 概要

我が国における多くの鉄骨造建築物で使用される構造物の接合方法は、溶接またはボルト等を用いた締結方法が一般的である。溶接接合の場合は、ボルト締結に比べ振動やナットの緩み等による事故は少ない反面、溶接時の熱影響から接合部周辺に硬化と同時に脆性が生じる。溶接接合部の検査方法は、非破壊検査技術や目視検査等が対象となる。しかし、大震災を経験している国々において、建築設計基準では震度6強以上の巨大地震が発生した場合には、建築物を倒壊させずに建物全体を塑性化させて地震エネルギーを吸収させる方法で完全倒壊を防止、人命の尊厳が優先されるように設計が求められている。また、他の先進国においても、接合部だけを集中して長期にわたる健全性を精密な計測技術によるモニタリングを実施している報告は、見当たらないのが現状である。大震災後においても、鉄骨構造物の健全性を見守るために、自律型極限センサを用いた長期的かつ安価で簡便に計測が実施可能なモニタリングシステムの構築が求められている。センサ出力から変位量や荷重の予測を可能にする解析技術について検証を実施した。

2. 柱脚の隅肉溶接部における接合部の破壊試験状況とセンサの詳細

現状技術の問題点

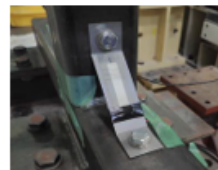
- (1) 構造物の防災や減災を目的とする健全性を定量的に評価する計測技術は、レーザー変位計、または接触式変位計を用いて変位を計測する方法のデータ蓄積とその評価の信頼性;
- (2) 常時微動振動計を用いて固有振動を測定し有限要素法による解析を実施して、破壊の状況及び応力集中等の箇所を特定する方法の信頼性;
- (3) 構造物の残留応力を非破壊かつ定量的に評価する方法として、有限要素法を用いる場合X線解析が一般的に重視されるが多額の時間と多額の費用を要する。

新計測技術の検討

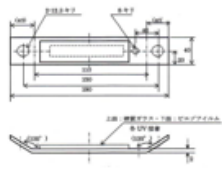
＊インフラ構造物の健全性を定量的に評価するため、従来の計測方法とピエゾ極限センサを用いた結果を比較検討し、FEM解析技術も用いた本センサのモニタリングシステムに関する性能評価を実施する。



試験装置



ピエゾ極限センサ



ピエゾ極限センサの形状

図1 試験装置とピエゾ極限センサ

- (1) 試験体は中低層鉄骨造の露出柱脚を想定した試験体において、 $100 \times 100 \times 6$ mmの角形鋼管柱を板厚9mmのベースプレートに溶接し、台座にM27のアンカーボルトを12個使用して固定されている。この試験体に左右の振幅を約15kNで加力後、完全破壊まで実施しセンサ出力と変位等を計測した。
- (2) センサのベース金属表面には、ピエゾフィルム(東洋センサ製DT-2-028 k/L²を約 10×70 mmで紫外線硬化樹脂(UV)塗布接着固定後、フィルムの薄利や強化防止を目的とした約 $35 \times 85 \times 1$ mm厚さの硬質板ガラスを同様にUVで接着固定して製作されている。

3. ピエゾ極限センサを用いた溶接接合部の計測結果とシミュレーション結果の比較

試験体構造とシミュレーションモデル

＊下記に示す試験体を加力し、角柱両サイドの隅肉溶接の接合状態と強度等を計測後、シミュレーションモデルの結果と比較検証のための評価資料とした。シミュレーションでは、加力による変位が8mmから10mmで完全破壊が認められた。

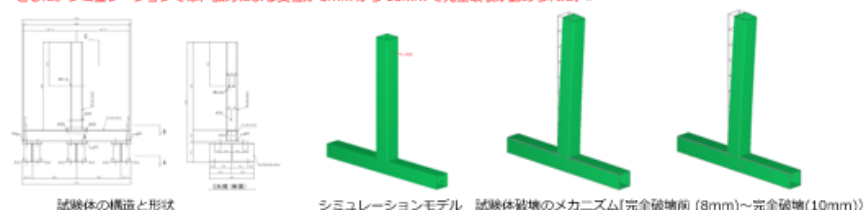


図2 試験体の詳細とシミュレーションモデル

実装試験結果とシミュレーション比較

- (1) 加力約20分間、最大加力15kNを加え、また同様の条件で加力を一側にも加え、その時々に加力とセンサ出力の関係を設定した。いずれの結果もセンサbの出力は、完全破壊領域の手前(変位が8mm)と限界領域近傍(変位が10mm)でセンサ出力が明確に示された。
- (2) 数値解析破壊部と実測による結果実壊部を比較し検証すると、概ね荷重の大きさに比例した変位が求められ、センサの出力も加力と変位の最大値において測定されている。

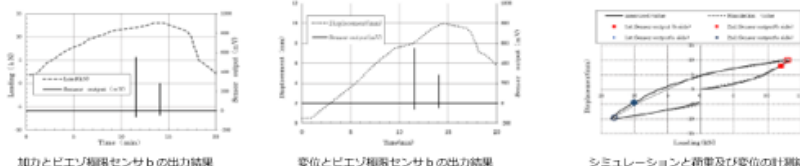


図3 ピエゾ極限センサの計測結果とシミュレーションの比較

4. 考察

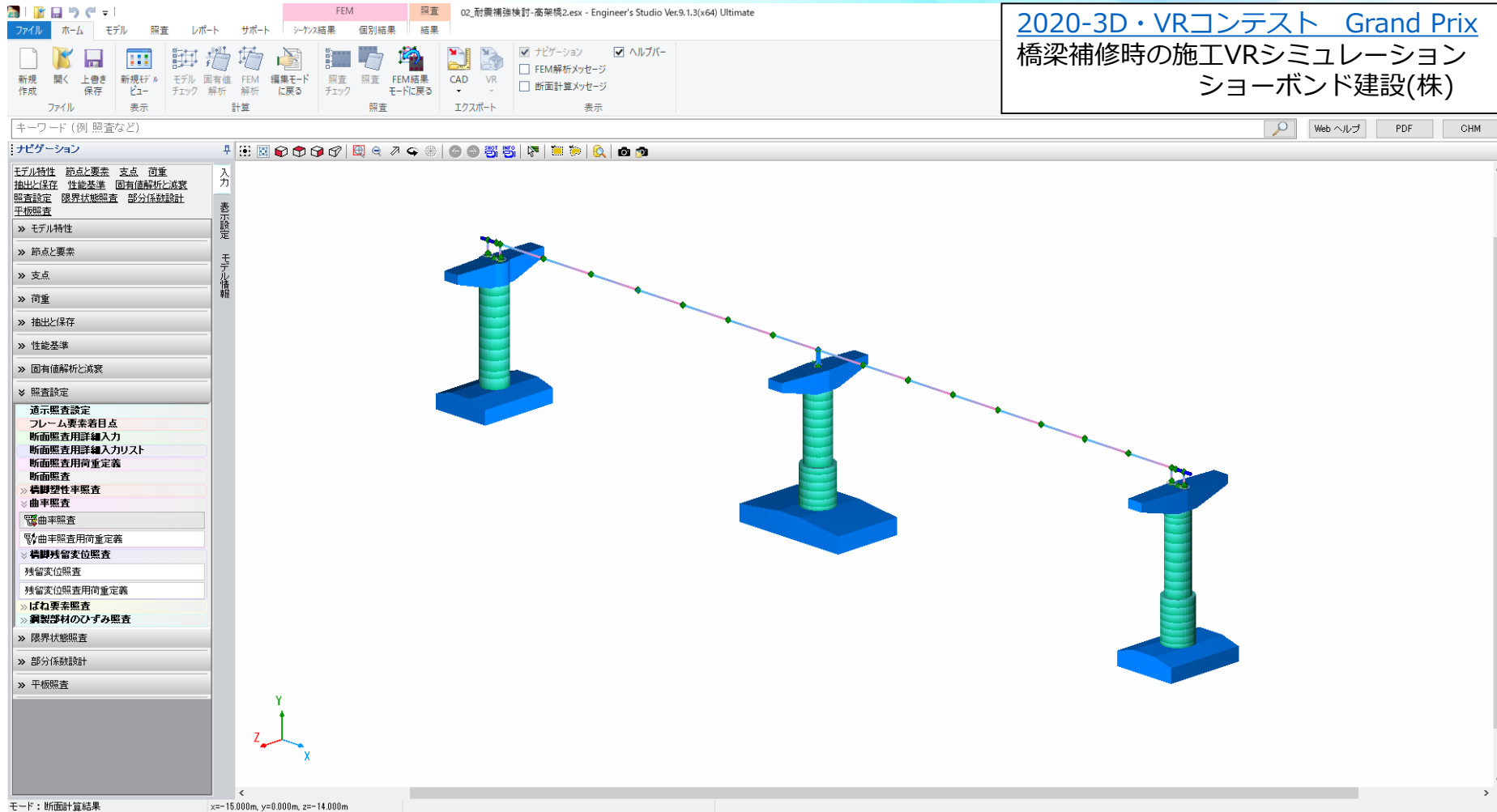
- (1) ピエゾ極限センサの計測は、各条件における出力値から、溶接構造物の健全性を保つ構造上の限界領域の手前で危険値を示す特性を有している。このため、危険予測の計測を実施する可能性があると考えられる。また、従来リアルタイムの健全性モニタリングが困難であった溶接構造物の接合部における判定の可能性が広まり、安心安全の社会構築のために貢献できると思われる。
- (2) 構造物の接合部に関する安全性や健全性を求めるには20年以上の長期にわたるモニタリングが必要であるが、要求されるモニタリング期間を保證する計測装置や危険の予測までの実施を可能にするスマートセンシングの開発が急務とされている。

従来リアルタイムの健全性モニタリングが困難であった溶接構造等の接合部における判定の可能性が広まった。

解析事例サンプル-高架橋耐震補強検討

H14年道示で補強済みの橋梁（RC巻き立て補強）に対して、H24/H29道示基準にて再評価した時にNGとなる。そのため補強として、分散支承や免震支承の支承取り換えを行った例。

2020-3D・VRコンテスト Grand Prix
橋梁補修時の施工VRシミュレーション
ショーボンド建設(株)



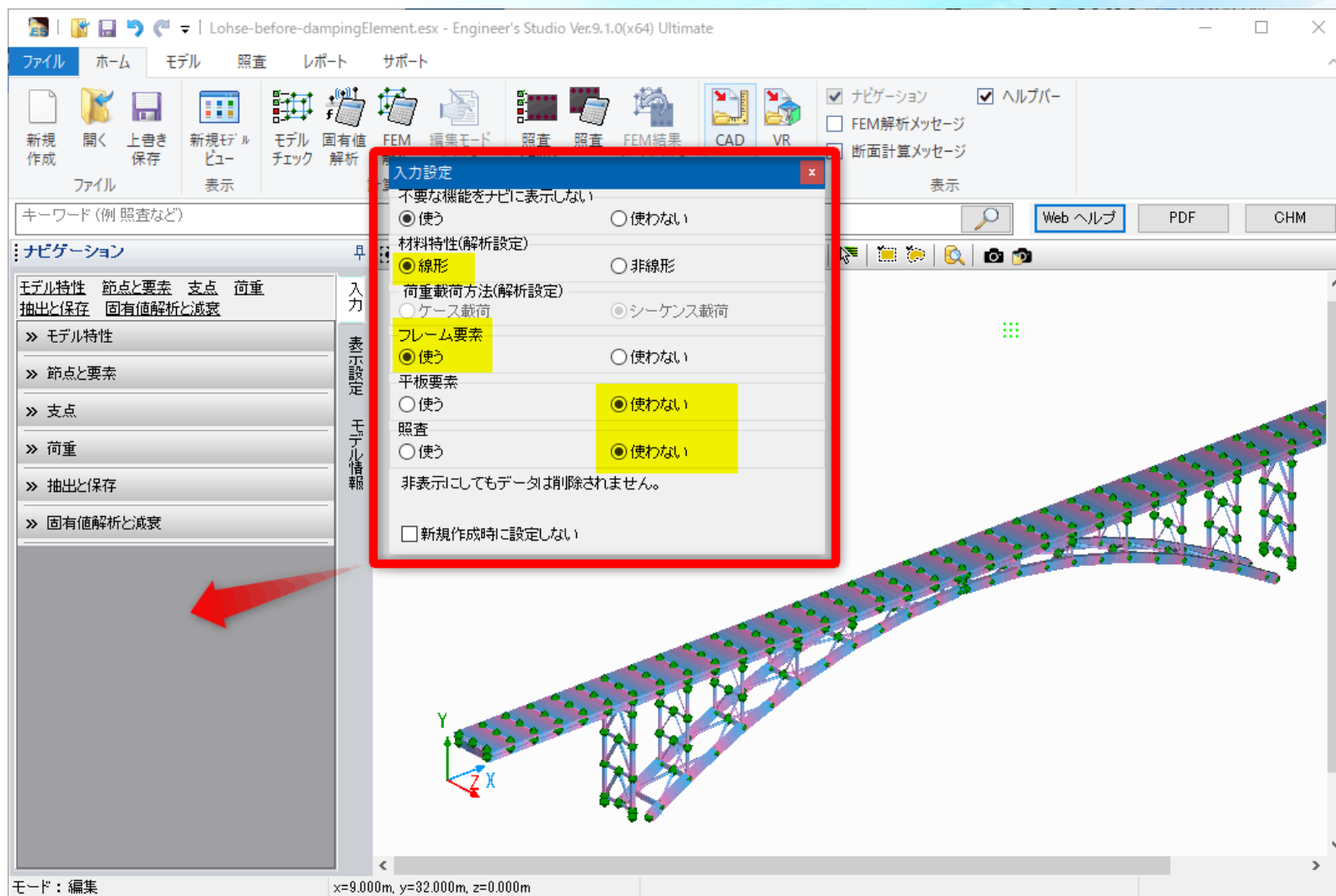
Engineer's Studio® の改訂

2009	Ver 1.0	初版リリース
	Ver 1.1	トラス構造(材端ピン結合)、活荷重、鋼製部材ひずみ照査
	Ver 1.2	Windows7対応
2010	Ver 1.3	平板要素コンタ図、初期断面力(梁,ばね)、固有値解析幾何剛性
	Ver 1.4	64bitソルバー切替、平板要素への面分布荷重
	Ver 1.5	道示断面計算
	Ver 1.6	PARDISO Sparse Matrix Solver、地盤ばね生成(平板)
2011	Ver 1.7	ケーブル要素、自動M- ϕ 、自動M- θ 、残留変位
・	・	・
・	・	・
・	・	・
2019	Ver 8.0	非線形平板要素の損傷指標(土木学会コンクリート標準示方書)
	Ver 9.0	64bit版、オンラインヘルプ、英語ヘルプ
2020	Ver 9.1	入力改善 (入力操作シンプル化、従属表示、非従属削除)

Engineer's Studio® Ver.9.1.0

- 入力操作シンプル化
- 鉄筋の配置情報の寸法線表示機能強化
- 「従属要素の表示」機能
- 未使用データの一括削除機能
- 減衰定数のコピーとチェック機能
- 複数節点を直線状や円弧状に並べる機能

入力操作シンプル化



鉄筋の配置情報の寸法線

断面 : 'pier'

アウトライン 鉄筋 プレート 巻き立て FRP 貼付け PC鋼材 数値断面 道路横断面

状態 断面要素 タイプ 材料 断面定数として考慮 左寸法線表示 上寸法線表示

状態	断面要素	タイプ	材料	断面定数として考慮	左寸法線表示	上寸法線表示
	カバー	アウト...	21 MPa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	コア	アウト...	21 MPa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	前面1	鉄筋	SD345	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	前面1	鉄筋	SD345	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	前面1	鉄筋	SD345	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	前面2	鉄筋	SD345	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	前面2	鉄筋	SD345	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	前面2	鉄筋	SD345	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	背面1	鉄筋	SD345	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	背面1	鉄筋	SD345	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	背面1	鉄筋	SD345	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	背面2	鉄筋	SD345	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	背面2	鉄筋	SD345	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	背面2	鉄筋	SD345	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	左側1	鉄筋	SD345	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	右側1	鉄筋	SD345	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

z=1.657m, y=3.401m

Pt = 1.3%

従属要素の表示機能

The screenshot displays the Engineer's Studio software interface. The main window shows a 3D model of a bridge structure with a coordinate system (X, Y, Z). The left sidebar contains a navigation tree with categories like 'モデル特性' (Model Characteristics), '入力' (Input), and '表示設定' (Display Settings). The '表示設定' section is expanded, showing options for '断面サムネイル' (Section Thumbnail) and '断面要素' (Section Element). The '断面サムネイル' section is active, displaying a grid of section thumbnails for 'SuperStructure', 'A1,A2', and 'pier'. A red box highlights the '断面サムネイル' icon in the toolbar, and a red arrow points from it to the '断面サムネイル' window. The '断面サムネイル' window shows a list of dependent elements (従属要素) on the right, including 'M-phi (M-φ特性)' and a list of frame elements (フレーム要素) numbered 101 to 305. The status bar at the bottom indicates the mode is '編集' (Edit) and the coordinates are x=141.000m, y=-28.000m, z=0.000m.

BlueBookBridge_Mphi_Typell_Dosi2017_Isolation.esx - Engineer's Studio Ver.9.1.0(x64) Ultimate

ファイル ホーム モデル 照査 レポート サポート

新規作成 開く 上書き保存 新規モデルビュー モデルチェック 固有値解析 FEM解析 編集モードに戻る 照査チェック 照査 FEM結果モードに戻る CAD VR エクスポート ナビゲーション ヘルプバー FEM解析メッセージ 断面計算メッセージ

キーワード (例 照査など) Web ヘルプ PDF CHM

ナビゲーション

モデル特性 節点と要素 支点 荷重 抽出と保存 性能基準 固有値解析と減衰 照査設定 限界状態照査 部分係数設計 平板照査

入力 表示設定 モデル情報

モデル特性

- 解析設定
- 入力設定
- 座標系
- 材料
- アウトライン
- フレーム要素の断面
 - 断面サムネイル
 - 数値断面
 - 断面特性オプション
 - 断面要素
- ばね特性
- M-φ特性
- ファイバー要素の断面
- 平板要素の断面
- 地層特性
- ケーブル材料
- 減衰要素特性

節点と要素

支点

断面サムネイル

SuperStructure A1,A2 pier

従属要素

- M-phi (M-φ特性)
- 101 (フレーム要素)
- 102 (フレーム要素)
- 103 (フレーム要素)
- 104 (フレーム要素)
- 105 (フレーム要素)
- 201 (フレーム要素)
- 202 (フレーム要素)
- 203 (フレーム要素)
- 204 (フレーム要素)
- 205 (フレーム要素)
- 301 (フレーム要素)
- 302 (フレーム要素)
- 303 (フレーム要素)
- 304 (フレーム要素)
- 305 (フレーム要素)

モード: 編集 x=141.000m, y=-28.000m, z=0.000m *サンプルデータ

未使用データの一括削除

The screenshot displays the Engineer's Studio software interface. The ribbon at the top contains various tool icons, with the '整理' (Organize) icon highlighted by a red box and a red arrow. Below the ribbon, a dialog box titled '未使用項目を削除' (Delete Unused Items) is open, showing a list of items to be deleted. The dialog box has a title bar with the text '未使用項目を削除' and a close button. The main content area is titled '選択' (Selection) and contains the text '9 個の未使用項目が見つかりました。削除する項目を選択してください。' (9 unused items were found. Please select the items to be deleted.). Below this text are four buttons: '全てオン' (All On), '全てオフ' (All Off), 'すべて展開' (Expand All), and '折りたたむ' (Collapse All). The list of items to be deleted is as follows:

- ファイバー要素断面
 - Section Mesh1
 - Section Mesh2
 - Section Mesh3
 - Section Mesh4
 - Section Mesh5
 - Section Mesh6
- ばね要素特性
 - Pier
- 横構束材料
 - Confinement
- 断面
 - SuperStructure1

At the bottom of the dialog box are two buttons: '削除' (Delete) and 'キャンセル' (Cancel). The background of the software interface shows a 3D model of a bridge structure with various components labeled, including 'hari_sita', 'Footing', and 'SuperStructure 1'. The status bar at the bottom indicates the current mode is '編集' (Edit) and provides coordinates: 'x=154.000m, y=39.000m, z=0.000m'.

減衰定数のコピー

The screenshot displays the '減衰定数' (Damping Constants) dialog box in Engineer's Studio. The dialog is titled '減衰定数' and shows the following data:

状態	名称	h	タイプ	α	β
	A1-1	0.05000	デフォルト	0.00000	0.00000
	A1-2	0.05000	デフォルト	0.00000	0.00000
	5	0.05000	デフォルト	0.00000	0.00000
	6	0.05000	デフォルト	0.00000	0.00000

The '定数コピー' (Copy Constants) button is highlighted with a red box. A red arrow points from this button to the '減衰定数を他のランにコピー' (Copy Damping Constants to Other Runs) dialog box. This dialog box shows a list of runs to copy to, with Run 1 selected. The 'コピー先ラン' (Copy to Run) list is empty, and the '全てオン' (All On) button is visible.

減衰定数のチェック

The main dialog box '減衰定数' has the following fields:

名称	計算SW	シーケンス荷重	支点ケース	分布ばねケース
ラン: Run 2	<input checked="" type="checkbox"/>	X-I-No2	Support Case 1	<<なし>>

Buttons: 定数コピー, 定数チェック

Tab: フレーム要素

Buttons: 戻る, 進む, 実行

The secondary dialog box '減衰定数を他のランにコピー' contains the following text:

チェックボタンを押すと減衰定数の設定をチェックします。ランや要素の数が多いと時間がかかる場合があります。

Run 1 と Run 2 をチェック中...
フレーム要素の設定 は設定が異なります。

Run 1 と Run 3 をチェック中...
同じ設定です。

Run 1 と Run 4 をチェック中...
同じ設定です。

Run 1 と Run 5 をチェック中...
同じ設定です。

Run 1 と Run 6 をチェック中...
同じ設定です。

Run 1 と Run 7 をチェック中...
同じ設定です。

Run 1 と Run 8 をチェック中...
同じ設定です。

Run 1 と Run 9 をチェック中...
同じ設定です。

Run 1 と Run 10 をチェック中...
同じ設定です。

Button: チェック

状態	名称	減衰定数
<input type="checkbox"/>	A1-1	0.0500
<input type="checkbox"/>	A1-2	0.0500
<input checked="" type="checkbox"/>	5	0.0000
<input type="checkbox"/>	6	0.0500
<input type="checkbox"/>	101	0.0500
<input type="checkbox"/>	102	0.0200
<input type="checkbox"/>	103	0.0200
<input type="checkbox"/>	104	0.0200
<input type="checkbox"/>	105	0.0200
<input type="checkbox"/>	13	0.0500
<input type="checkbox"/>	15	0.0500
<input type="checkbox"/>	16	0.0500
<input type="checkbox"/>	201	0.0500
<input type="checkbox"/>	202	0.0200
<input type="checkbox"/>	203	0.0200

複数節点の並べ替え

The screenshot displays the 'Engineer's Studio Ver.9.1.0(x64) Ultimate' interface. The 'Nodes' (節点) menu is active, and the 'Node Regular Placement' (節点の規則配置) dialog box is open. The dialog is divided into several sections:

- Configuration Shape Settings (配置形状の設定):**
 - Configuration Shape (配置形状): Circle
 - Angle α ($^\circ$): 0.0
 - Radius R (m): 5
 - Node Placement (節点の配置): 1 (selected), 2
 - Baseline Definition (基準線の定義): Start (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000) and End (X: 20.000, Y: 0.000, Z: 0.000) coordinates.
 - Diagram: A circle with radius R and an angle α is shown.
- Placement Method Settings (配置方法の設定):**
 - Equal Interval Placement (等間隔配置) (selected)
 - Projection Placement (投影配置)
 - Projection Point (投影基点):
 - As is (そのまま投影) (selected)
 - Project after equal interval placement (等間隔配置後に投影)
- Normal Vector Specification (法線ベクトルの指定):**
 - Global X-axis direction (全体X軸方向) (selected)
 - Global Y-axis direction (全体Y軸方向)
 - Global Z-axis direction (全体Z軸方向)
 - Vector (ベクトル): X: 1.000, Y: 0.000, Z: 0.000
 - Spherical coordinates (球座標):
 - Angle α : 0.0 Deg
 - Angle β : 0.0 Deg

Buttons at the bottom of the dialog include '適用' (Apply) and '閉じる' (Close). The background shows a 3D coordinate system with X, Y, and Z axes.

【開発中】

Engineer's Studio® Ver.10

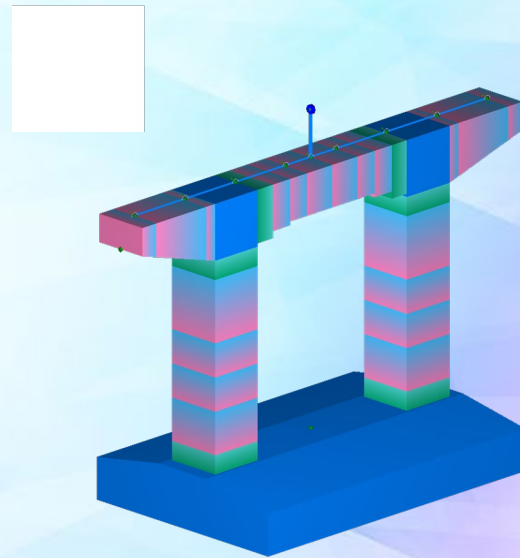
- 軸力変動を考慮した下記項目
- $M - \phi$ 要素
- $M - \theta$ モデル (ばね要素)
- 曲率照査
- 塑性率照査 (H24道示)
- 残留変位照査 (H14/H24/H29道示)
- 変位照査 (H29道示)

適用例

ラーメン橋



ラーメン橋脚

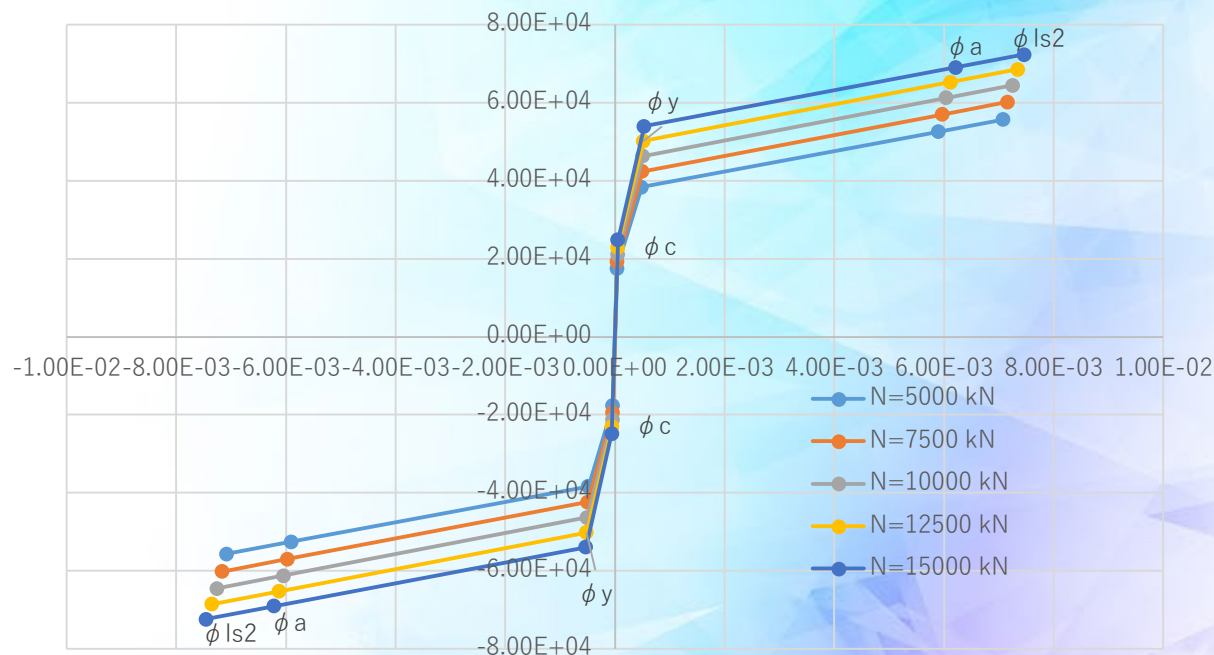


※ 一軸曲げに適用（二軸曲げはファイバー要素を使用）

・ 軸力変動M- ϕ 要素 - 概要

- ・ 要素の各曲げ軸 (z_p, y_p) に対して、複数のM- ϕ 特性が定義されます。
- ・ 複数セットされたM- ϕ 特性は、それぞれ単一の軸力Nに対するものです。
- ・ Engineer's Studio® Ver.10では、前処理でこのデータを自動的に準備する機能を提供します。

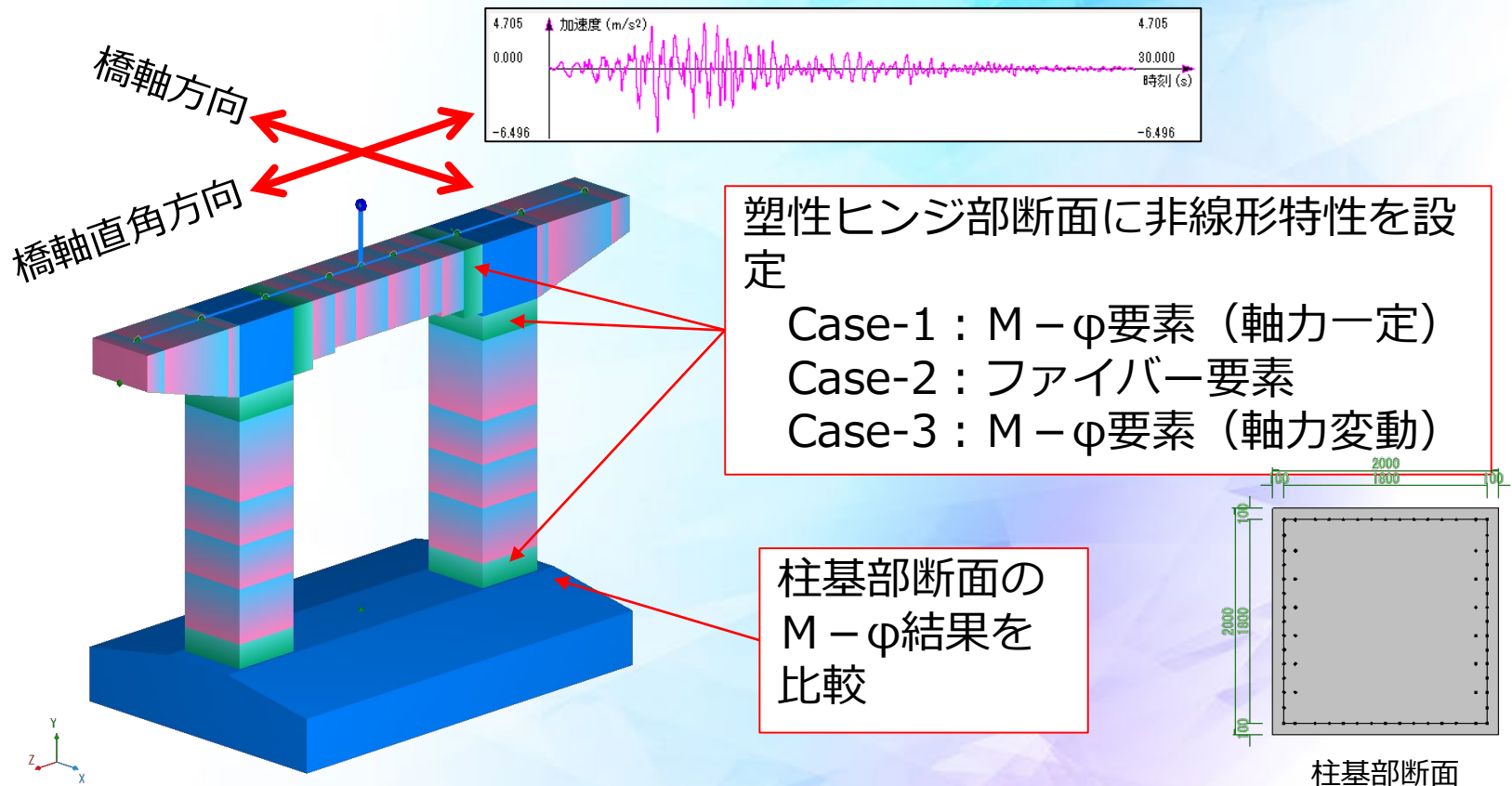
複数の軸力に対するM- ϕ 特性



- ・ 収束計算中の各ステップで、応答値である曲率 ϕ および軸力Nが変位から取得されます。
- ・ ϕ はすべての履歴曲線を更新するために使用され、各曲線の曲げモーメントMを返します。
- ・ 軸力Nは、応答曲げモーメントMを見つけるための補間計算に使用されます。

解析事例

- 2柱式RCラーメン橋脚に対し、橋軸方向および橋軸直角方向へ加速度波形を載荷する。
- 非線形特性には以下の3ケースを設定し、柱基部のM-φ結果を比較する。

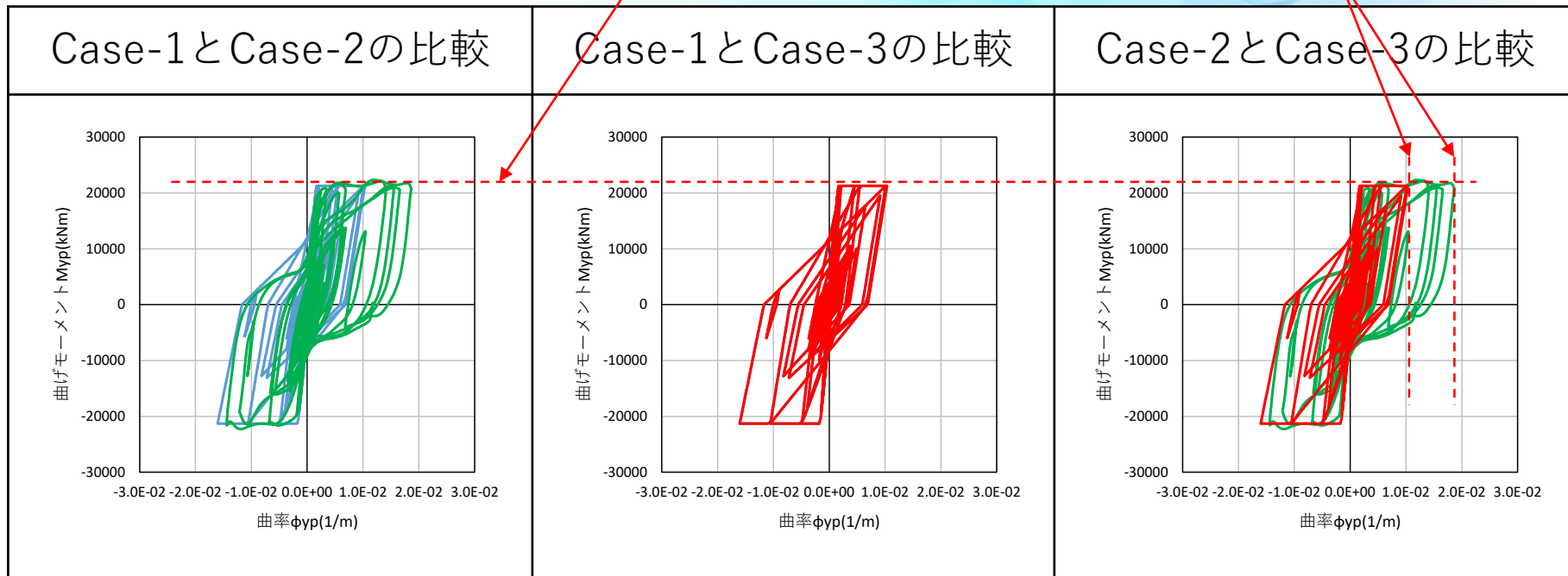


柱基部断面のM-φ結果

【橋軸方向加震時】

全てのケースでほぼ一致

ファイバーは軸剛性により
応答曲率が大きくなる



- 橋軸方向加震時は軸力変動が発生しないため、Case-1とCase-3の結果が同じになることを確認した。
- Case-2（ファイバー要素）は塑性化することによる軸剛性の低減が考慮されるため、M-φの結果より応答曲率が大きくなることを確認した。

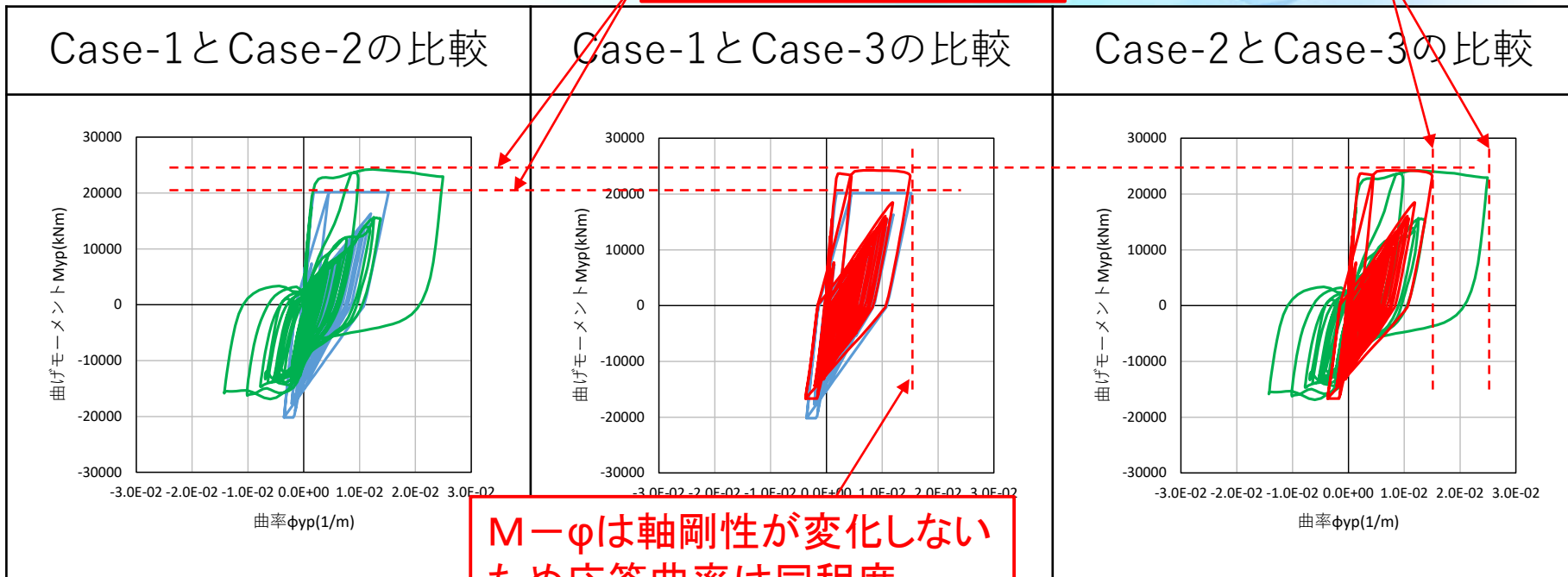
Case-1: M-φ要素(軸力一定)
Case-2: ファイバー要素
Case-3: M-φ要素(軸力変動)

柱基部断面のM-φ結果

【橋軸直角方向加震時】

Case-1とCase-2&3で
相違を確認

ファイバーは軸剛性により
応答曲率が大きくなる



M-φは軸剛性が変化しない
ため応答曲率は同程度

- 橋軸直角方向加震時は軸力変動が発生するが、Case-1は軸力変動の影響を考慮できないため、最大/最小曲げモーメントの値がCase-2, Case-3と異なる。
- Case-2とCase-3は最大/最小曲げモーメントの値が近似することを確認した。ただしCase-2は軸剛性の低減が考慮されるため、応答曲率は他より大きくなる。

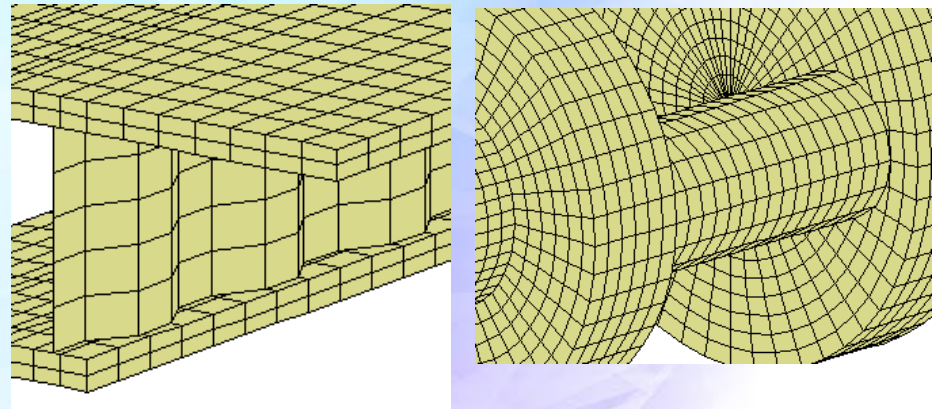
Case-1: M-φ要素(軸力一定)
Case-2: ファイバー要素
Case-3: M-φ要素(軸力変動)

「FEMLEEG」

“FEMLEEG”

製品概要

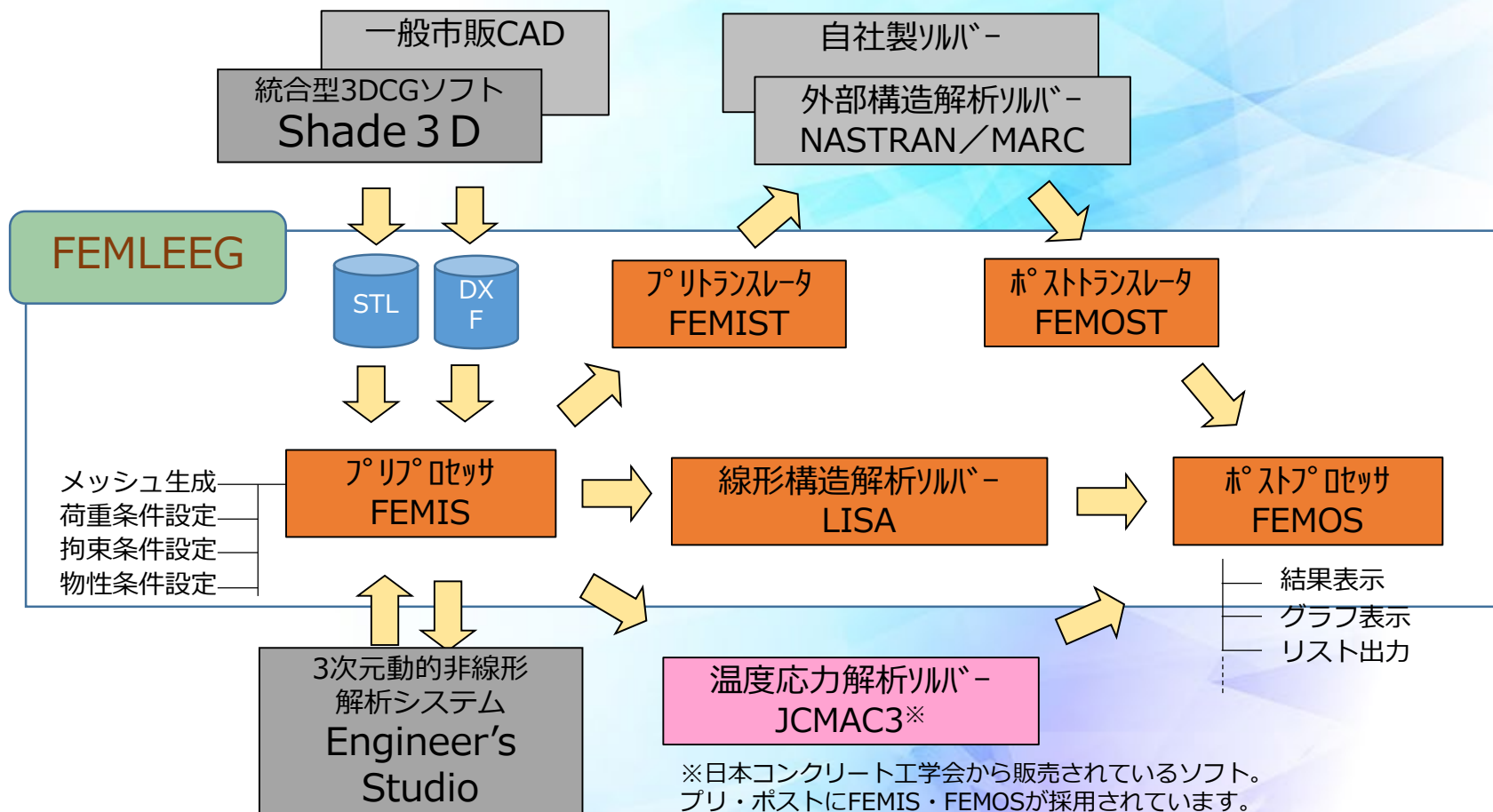
- 設計者が手軽に現場でも解析が行えるというコンセプトで開発された3次元有限要素法解析システム
- 解析機能
 - 静的弾性解析
 - 固有振動解析（フリーボディ解析機能）
 - 応答スペクトル解析（最大応答解析）
 - 時刻歴応答解析
 - 座屈解析
 - 定常熱伝導解析
 - 非定常熱伝導解析
 - 伝熱・熱応力連動解析
 - No Tension解析
 - CAP（Cut and Paste）解析



CAP解析モデル例

※不整合メッシュの多自由度拘束機能による接合

システム構成

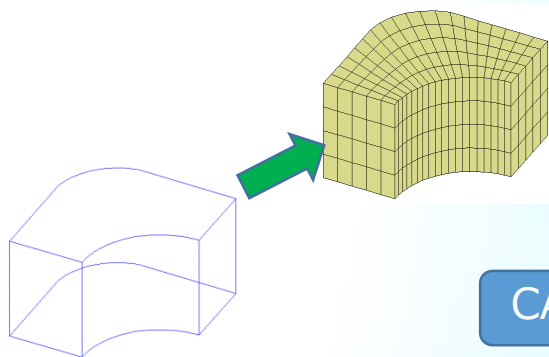


要素ライブラリ

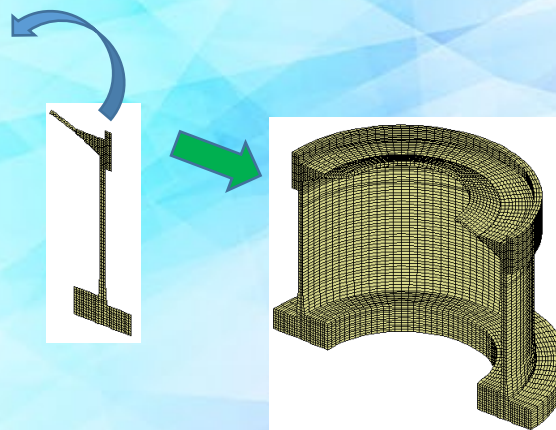
次元	要素タイプ	自由度	材料定数	断面/板厚	出力成分
1	トラス	u, v, w	弾性係数、ポアソン比 (質量密度)	断面定数 (断面積)	部材力 (軸力、軸応力、歪)
	埋込鉄筋	u, v, w	"	"	"
	ビーム	$u, v, w, \theta_x, \theta_y, \theta_z$	"	断面定数	部材力 (軸力、モーメント、せん断力)
	スプリング	u, v, w	-	バネ定数	バネ力
	リンク	u, v, w	-	バネ定数	リンク反力
2	平面応力	v, w	弾性係数、ポアソン比 (質量密度)	板厚	応力($\sigma_y, \sigma_z, \tau_{yz}$)、歪
	平面歪	v, w	"	-	応力($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{yz}$)、歪
	軸対称	v, w	"	-	"
	プレート/シェル	$u, v, w, \theta_x, \theta_y$	"	板厚	応力、断面力、歪
	積層板	$u, v, w, \theta_x, \theta_y$	"	"	断面力、歪
3	ソリッド	u, v, w	"	-	応力、歪

メッシュ生成機能

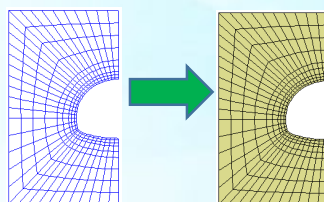
写像法



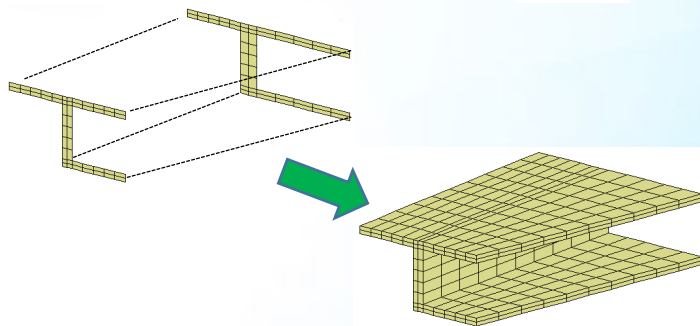
移動法



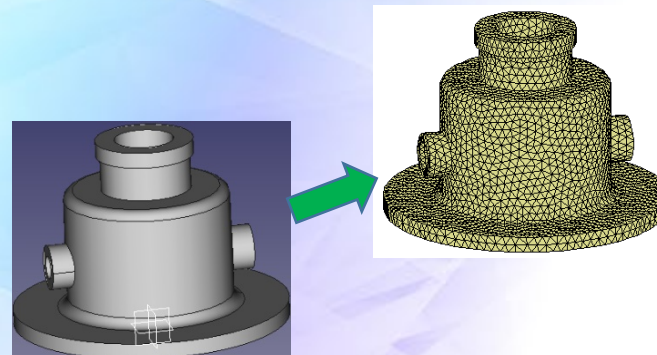
CADスケッチ



結合法

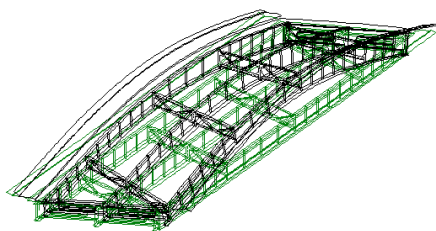


自動分割

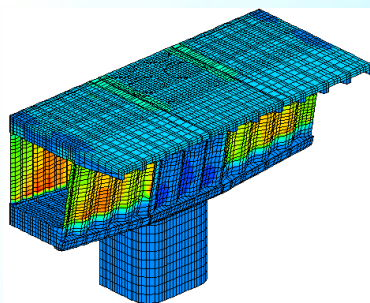


結果出力機能

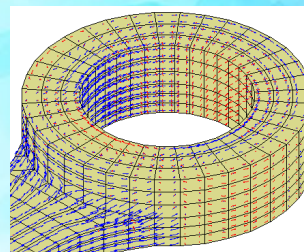
モード図



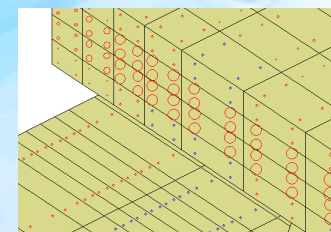
コンター図



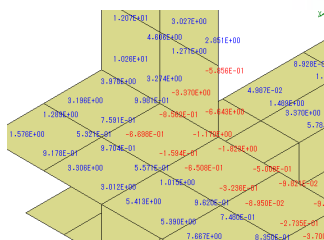
ベクトル図



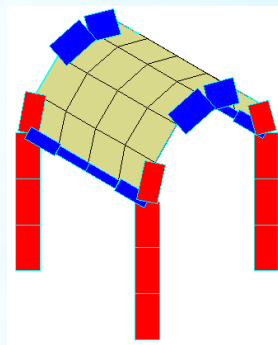
サークル図



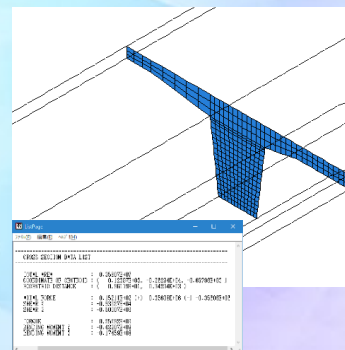
数値図



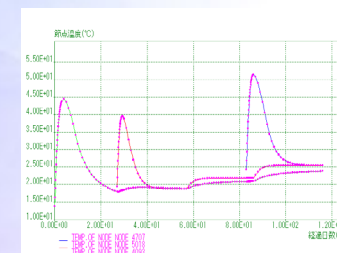
部材力図



切断面断面力

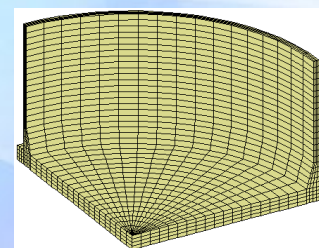
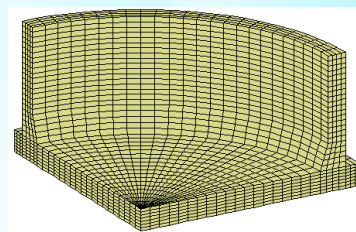
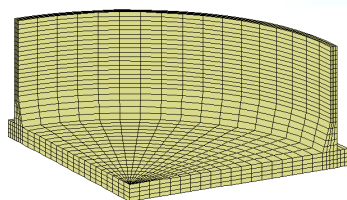
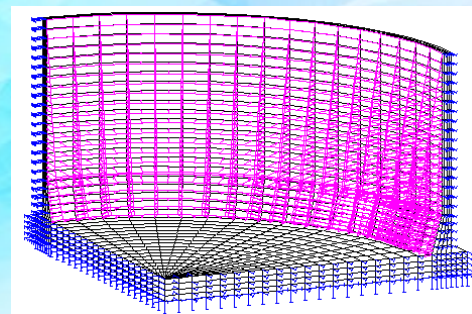
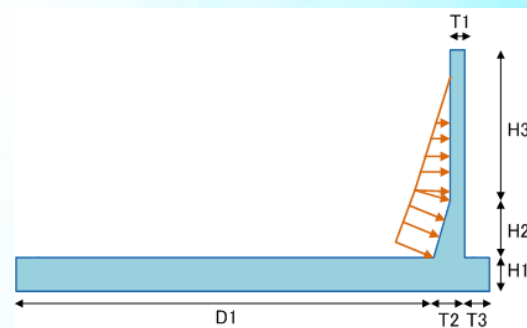
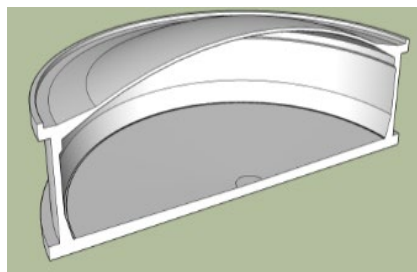


グラフ図

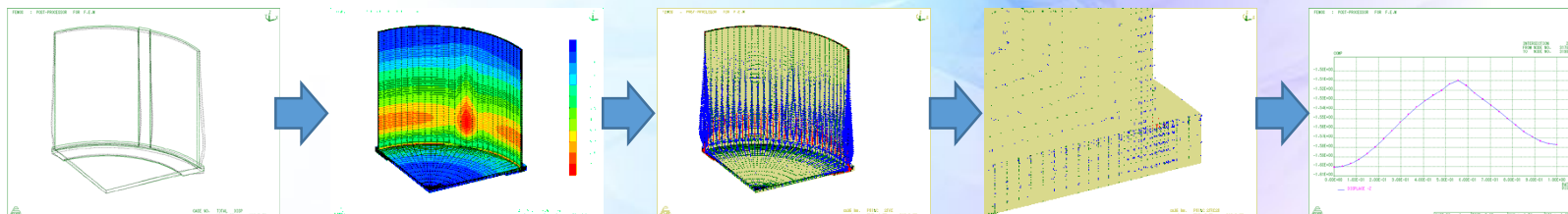


マクロプロシージャ機能

- パラメトリックな解析モデル生成



- バッチ実行による自動出図

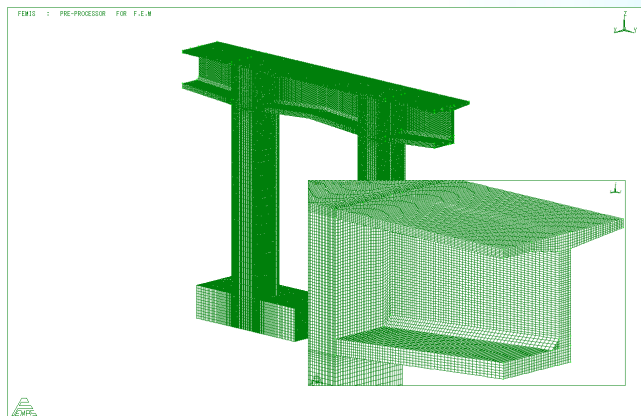


FEMLEEG Ver.10 新機能

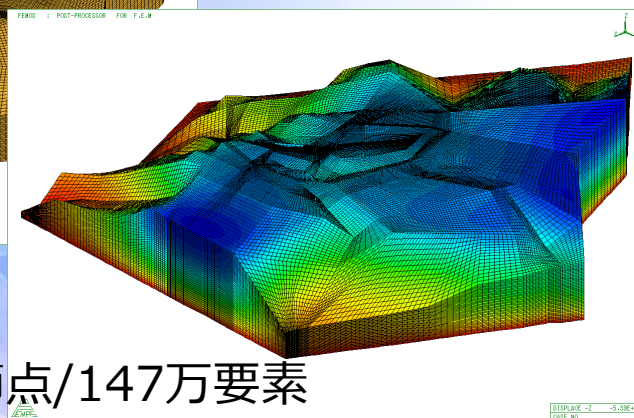
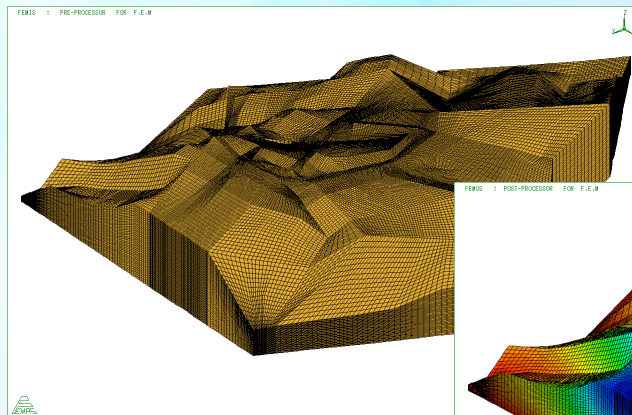
- 全体
 - 64bit ネイティブ対応
 - 従来の32bitでは物理メモリによらず、メモリ2GBの制限があったが、64bit対応により大規模モデルの作成が可能となった
- FEMIS
 - 3Dオートメッシュ簡易HEXA生成機能の追加
- FEMOS
 - 凡例レベル共通化機能の追加
 - グラフ別ウィンドウ出力機能の追加
 - 数値図の回転描画・センタリング機能の追加
- 共通
 - 節点番号/要素番号の回転描画機能の追加
- LApack
 - LoadHelper : 任意四角形面載荷の追加

64bit対応

- 前バージョンまでは解析ソルバーLISAの計算部のみが64Bit化されていましたが、全てのプログラムで64Bit対応となりました。
- メモリを大量に必要とする大規模モデルへの対応が可能となりました。



98万節点/90万要素

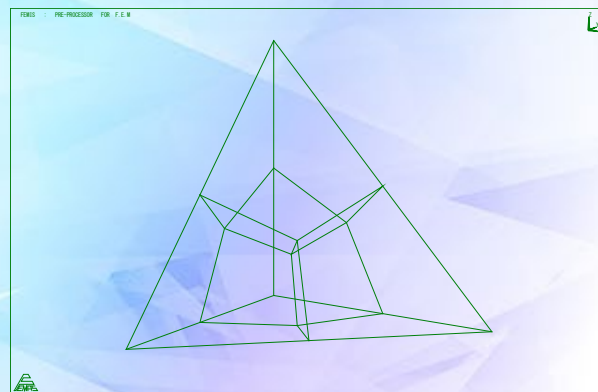
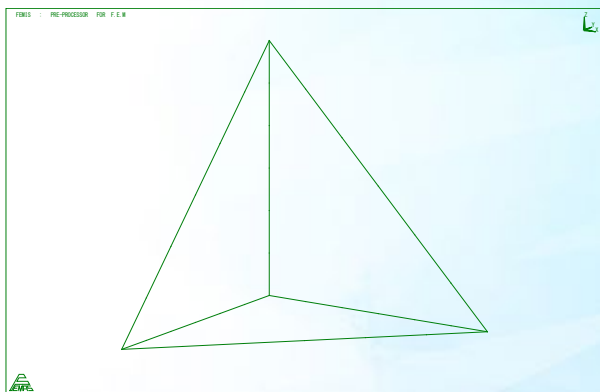


152万節点/147万要素

3Dオートメッシュ簡易HEXA生成機能

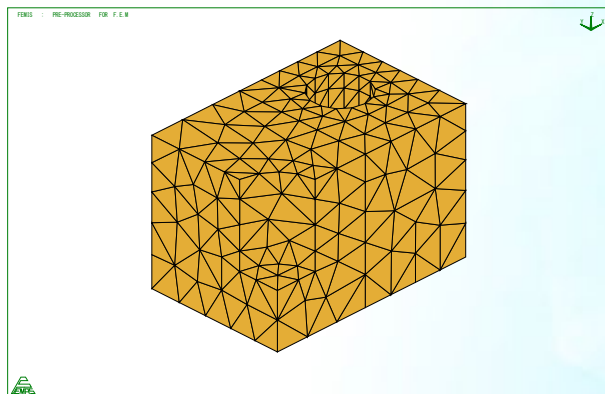
- 3Dオートメッシュの基本は4面体要素（TETRA要素）であるが、低次要素では解析精度が悪く、高次要素では低次要素との混在ができないため、梁要素／プレート要素と組み合わせて使用することができない。
- それを回避するため、生成した4面体要素を6面体要素（HEXA要素）に分割する機能が追加されました。

1つの4面体要素を4つの6面体要素に分割

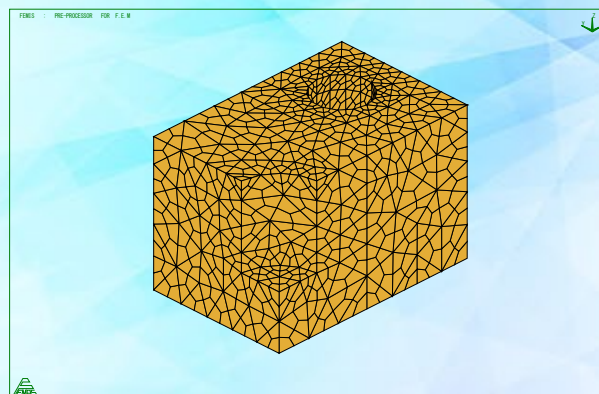


3Dオートメッシュ簡易HEXA生成機能

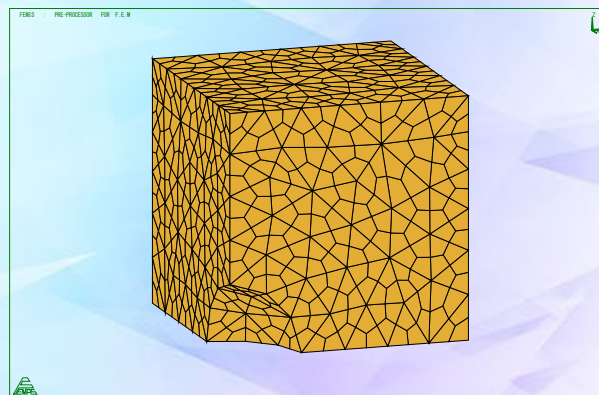
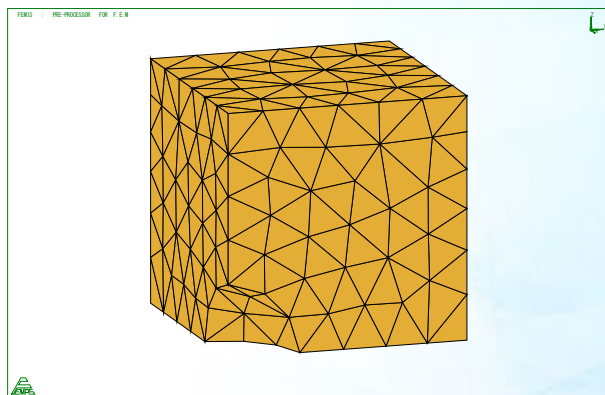
左：TETRA要素、



右：HEXA要素



円柱穴あきモデル



球切りかけモデル

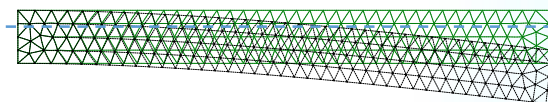
3Dオートメッシュ簡易HEXA生成機能

片持ち梁モデルによる結果検証

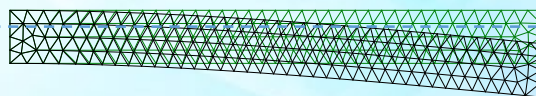


弾性係数	2.4E+07
断面幅	0.5
断面高	1
長さ	10
荷重	100

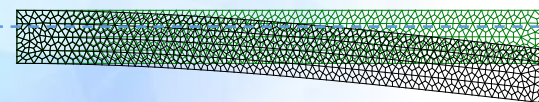
理論解

たわみ $\delta=3.33E-02$ 

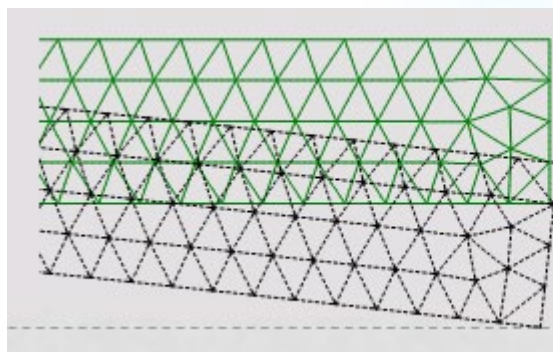
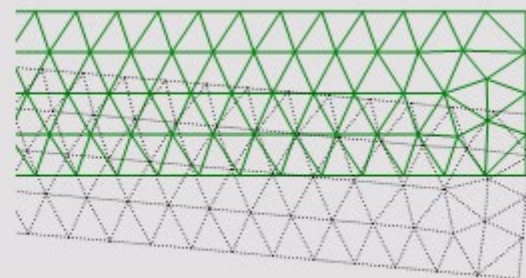
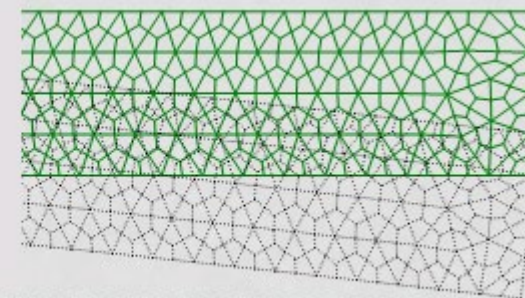
高次TETRA



低次TETRA



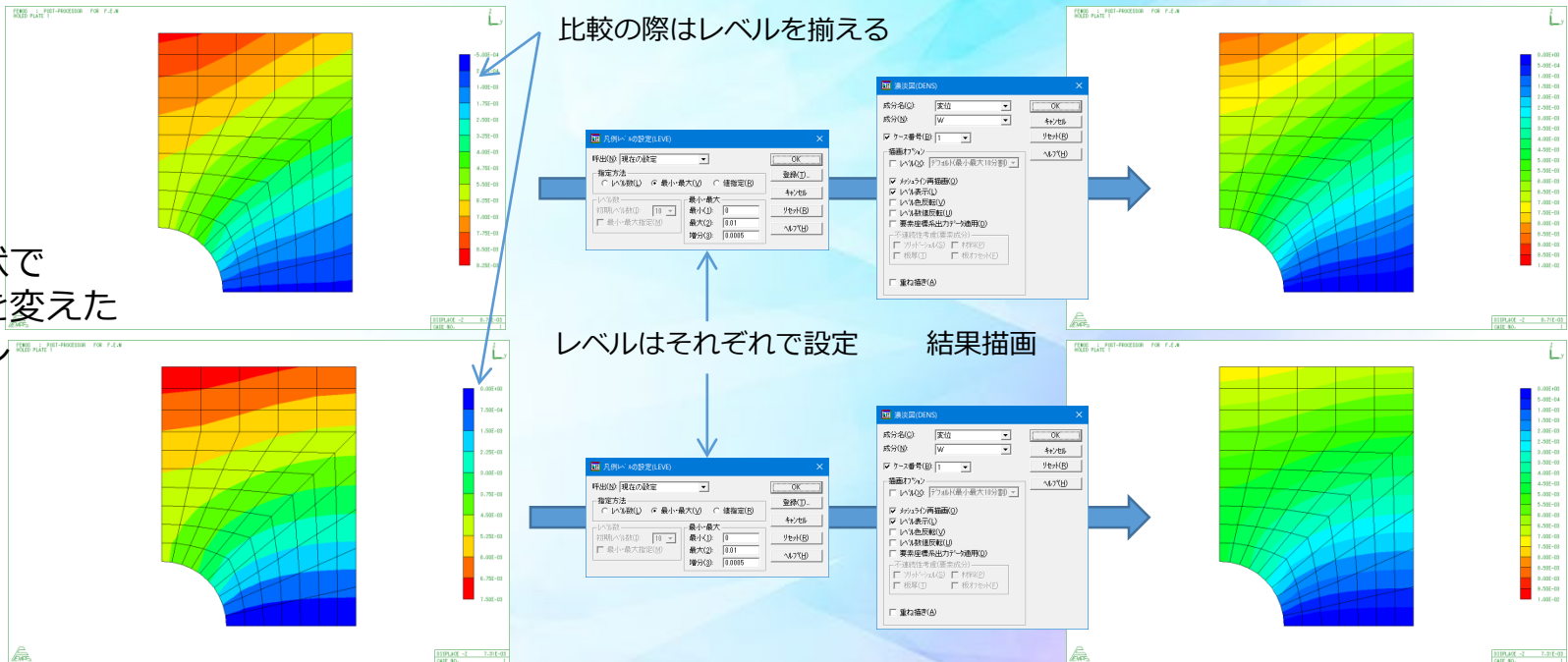
低次HEXA

 $\delta=3.36E-02$  $\delta=2.81E-02$  $\delta=3.34E-02$

凡例レベル共通化機能の追加

- 濃淡図等の凡例レベルをモデル個別ではなく、共通設定として参照できる機能が追加されました。

同形状で
条件を変えた
モデル



凡例レベル共通化機能の追加

事前にレベル設定を登録しておく

凡例レベルの設定(LEVE)

使用設定
 現在の設定(N) 共通(C) モデル毎(D)

名前(A): 実位比較用レベル

指定方法
 レベル数(L) 最小・最大(V) 値指定(B)

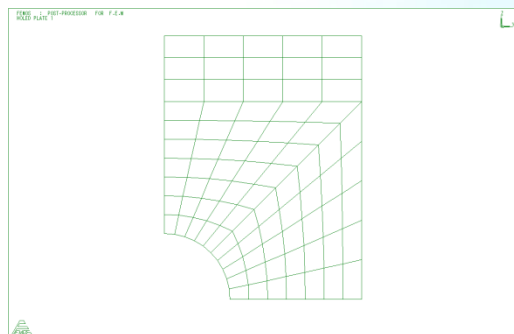
レベル数
 初期レベル数(I): 10
 最小・最大指定(M)

最小・最大
 最小(L): 0
 最大(Q): 0.01
 増分(Q): 0.0005

登録(T) キャンセル リセット(R) ヘルプ(H)

登録データはfemos.cnfファイルに保存される

結果描画時に登録済のレベルを参照

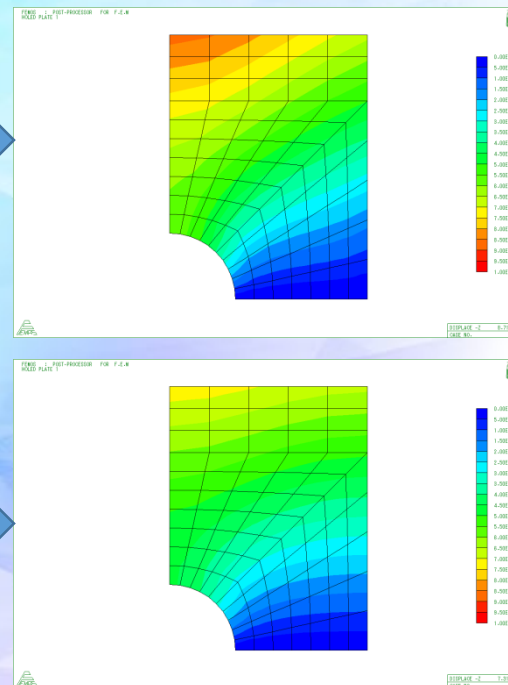


表示設定(DIAG)

成分名(C): 実位比較用レベル

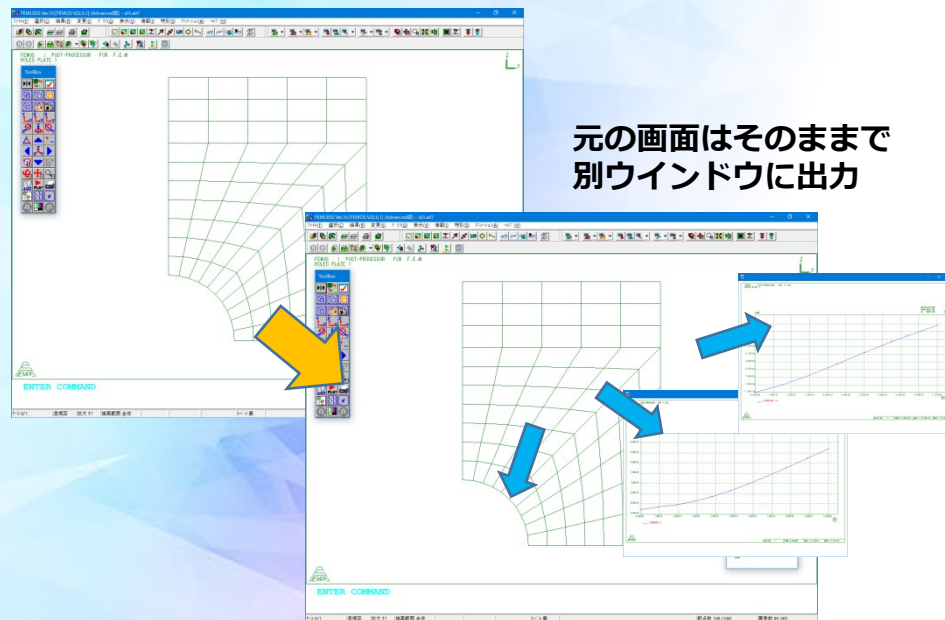
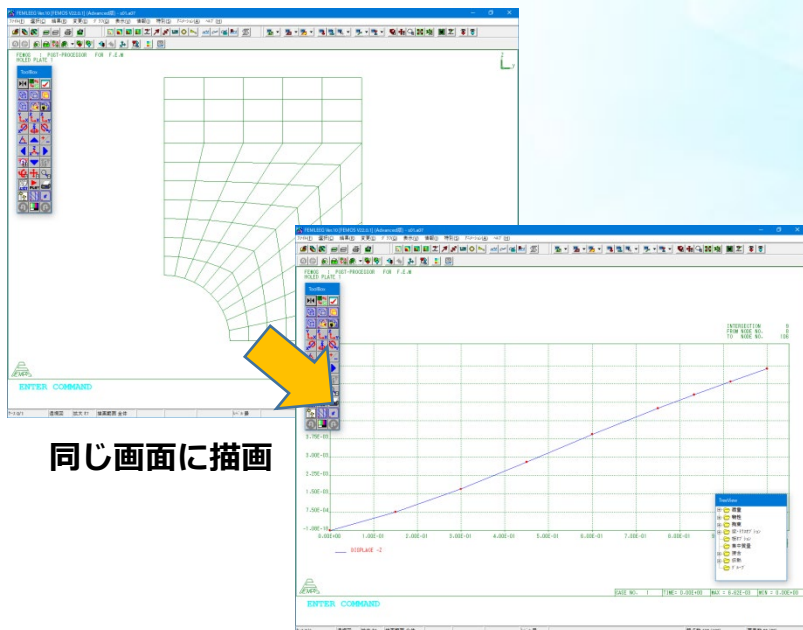
成分(Q): W

描画方法
 自動最小最大付与
 登録済レベル
 実位比較用レベル



グラフ別ウィンドウ出力機能の追加

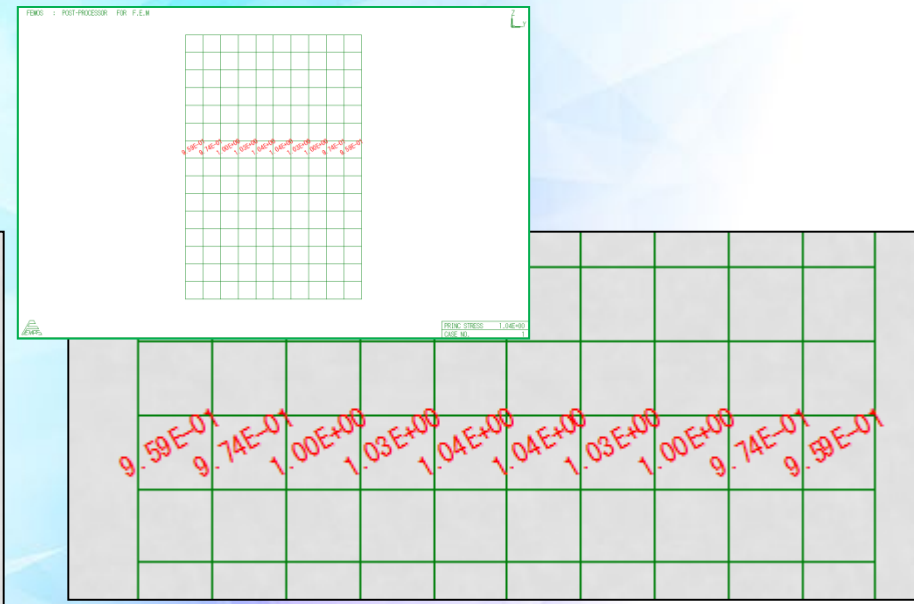
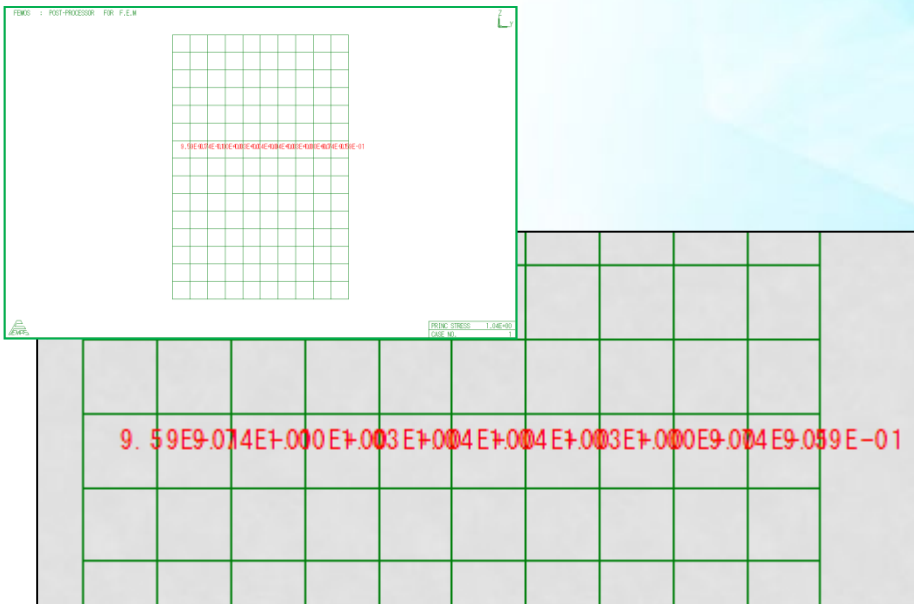
- 従来は、グラフを同一画面（メインウィンドウ）に描画していました。そのため、
 - グラフでの比較が面倒（FEMOSを複数起動して同じ手順を実行）
 - 他の結果描画をする場合、形状の再描画等が必要等、使い勝手があまりよくありませんでした。
- グラフを別ウィンドウに出力することで上記が改善され、使い勝手が向上しました。



数値図の回転描画・センタリング機能の追加

節点番号/要素番号の回転描画機能の追加

- 数値図の値を回転、センタリングして描画できる機能が追加されました。
- 同様に節点番号/要素番号を回転して描画できる機能が追加されました。

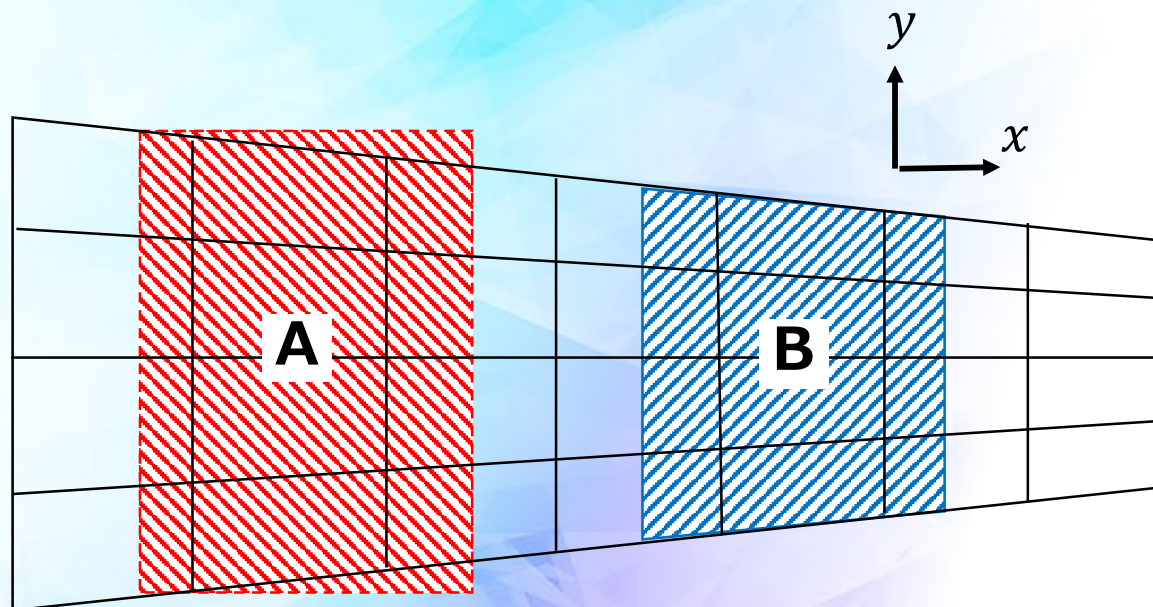
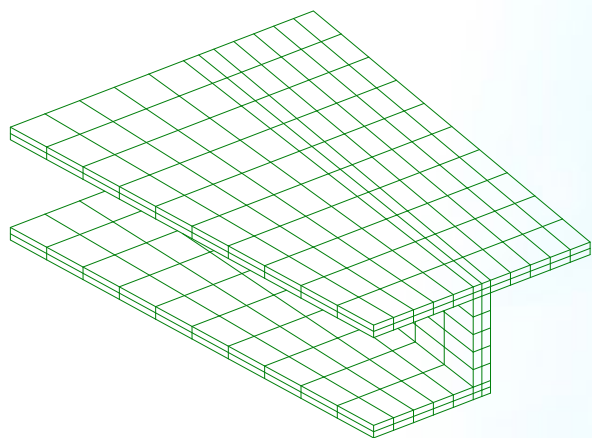


板形状の中央付近の数値図を描画

左図は数値が重なってしまっている。右図はセンタリング+回転させることにより重なりを回避。

Load Helper 任意四角形面への载荷機能の追加

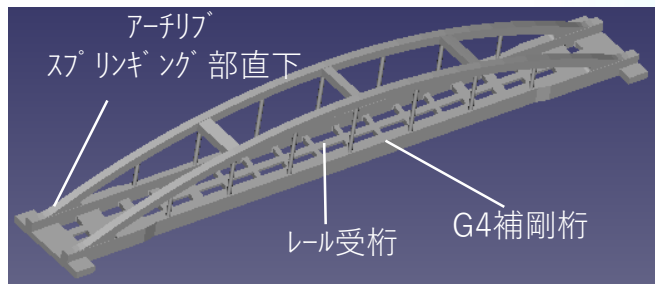
- 従来の矩形指定（長方形）では载荷指定ができない斜め（平行四辺形）の領域、幅が変わる（台形）領域などの载荷面に対応。



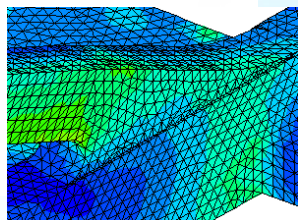
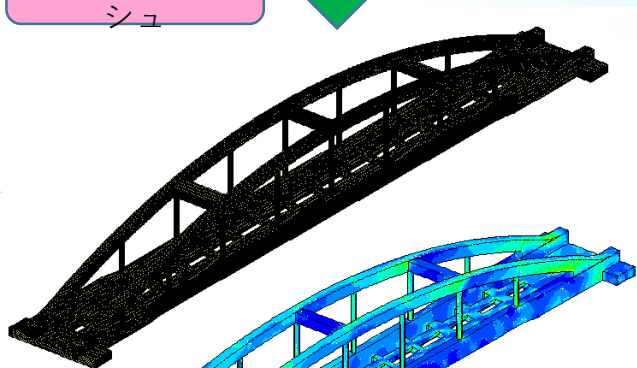
幅が変わる形状への対応例
従来の矩形指定（A）では载荷不能だったが、今回追加された任意四角形指定（B）で载荷が可能

事例 BIMモデルからのPRCランガー桁の解析

- 東日本旅客鉄道様のJRE-BIM推進の取り組み



STLからの
オートメッ
シユ



アーチリブ スプリング部直下以外は概ね骨組み解析の結果と一致

支点反力

起点方	3次元 骨組解析	FEM解析
反力		
右側	3,651	3,637
左側	3,724	3,769
計	14,750	14,813

(単位:kN/mm²)

G4補剛桁 軸方向縁応力度

	3次元骨組解析		FEM解析	
	上縁	下縁	上縁	下縁
プレストレス	-5.4	-7.1	-5.6	-7.7
死荷重	0.3	5.2	0.7	5.1
計	-5.1	-1.9	-4.9	-2.6

符号(+):引張 (単位:N/mm²)

レール受け桁 鉛直変位

	3次元 骨組解析	FEM解析
	下縁	
鉛直変位	-7.5	-7.5

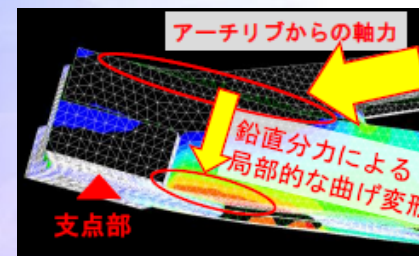
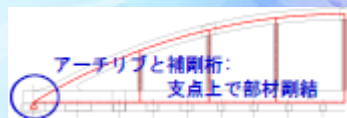
(単位:mm)

アーチリブスプリング部直下 縁応力度

	3次元骨組解析		FEM解析	
	上縁	下縁	上縁	下縁
プレストレス	-4.7	-4.5	-2.2	-4.7
死荷重	3.5	1.0	-2.3	4.6
計	-1.1	-3.4	-4.4	-0.1

符号(+):引張 (単位:N/mm²)

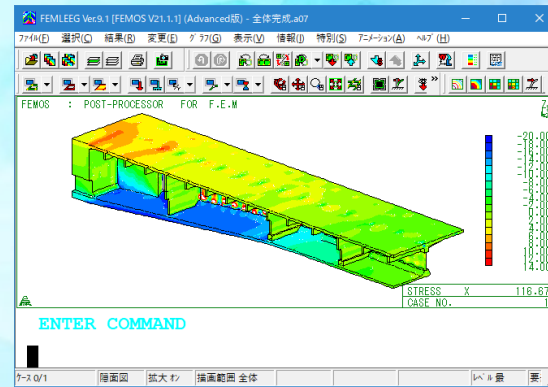
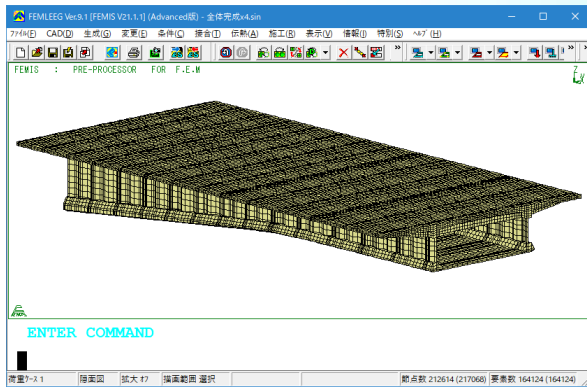
アーチリブ スプリング部直下の
縁応力度に差が生じる原因



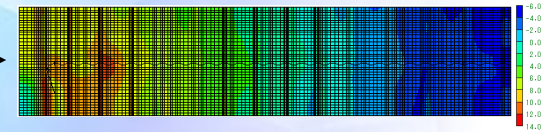
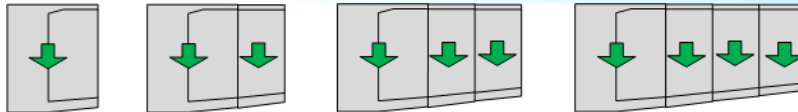
高島いぶき、山本達也、竹谷勉: BIMモデルから自動生成したFEM解析モデルによるPRCランガー桁の解析的検討、2019年度 土木学会全国大会投稿論文より

事例 架設ステップを考慮した施工解析

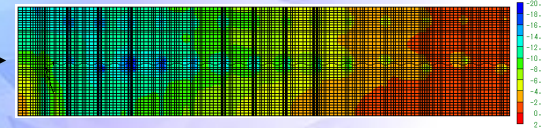
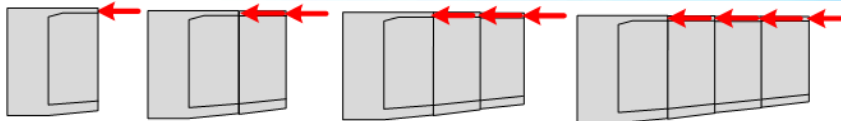
- 張出床版先端部および中間床版支間中央部へのシアラグに対する補強PC鋼材の追加検討



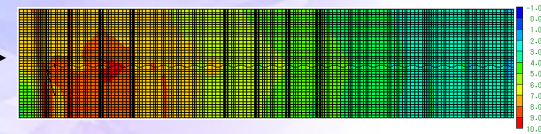
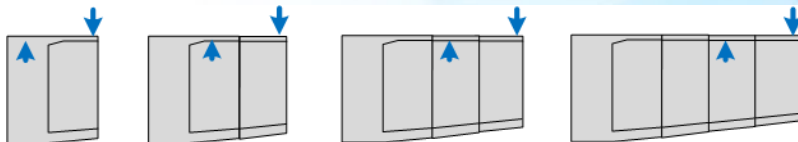
自重



プレストレス



ワーゲン荷重





鋼床版箱桁橋分岐部における局部応力解析

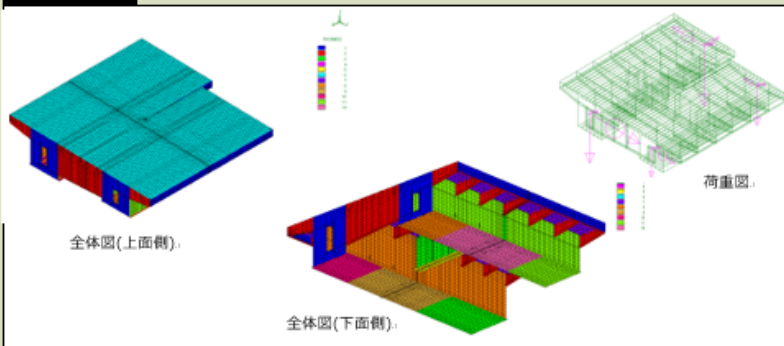
—プレート/シェル要素を用いた FEM モデルによる立体解析—

株式会社 片平新日本技研

概要

解析対象の橋梁は先に、フレームによる動的解析を実施している。しかし、中間支点上で分岐する特殊な構造のため、分岐部には応力の集中が予想された。ここに多大な損傷を受けた場合、復旧に相当時間を要し緊急車両の通行へも影響を与える。そのため、プレート/シェル要素を用いた立体解析モデルを作成し、より詳細な解析を実施する事とした。

モデル図



解析条件

検討ケース

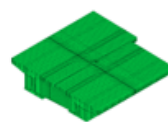
- 【①常時】
- 【②地震時：L2 地震時】

モデル概要

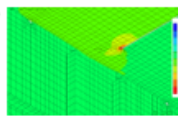
- ・ 下部工支点上の前後、平均中間横桁及び中間ダイヤフラム位置までを作成範囲とした。
- ・ 荷重は主桁断面図心位置に仮想節点を設け、フレーム解析結果の断面力を与えた。
- ・ メッシュ分割は分岐部及びデッキプレートの横桁腹板直上を密にし、徐々に粗くして粗密を付けた。

検討結果

最大主応力コンタ図-全体



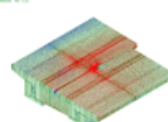
最大主応力コンタ図-分岐部



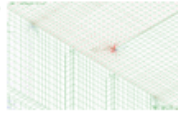
FEM 解析における支点反力の検証結果

反力	反力	反力	反力	反力	反力
1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66
67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102
103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114
115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126
127	128	129	130	131	132
133	134	135	136	137	138
139	140	141	142	143	144
145	146	147	148	149	150
151	152	153	154	155	156
157	158	159	160	161	162
163	164	165	166	167	168
169	170	171	172	173	174
175	176	177	178	179	180
181	182	183	184	185	186
187	188	189	190	191	192
193	194	195	196	197	198
199	200	201	202	203	204
205	206	207	208	209	210
211	212	213	214	215	216
217	218	219	220	221	222
223	224	225	226	227	228
229	230	231	232	233	234
235	236	237	238	239	240
241	242	243	244	245	246
247	248	249	250	251	252
253	254	255	256	257	258
259	260	261	262	263	264
265	266	267	268	269	270
271	272	273	274	275	276
277	278	279	280	281	282
283	284	285	286	287	288
289	290	291	292	293	294
295	296	297	298	299	300

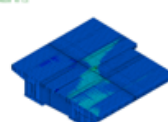
最大主応力ベクトル図



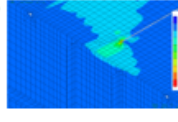
最大主応力ベクトル図-分岐部



面外せん断応力コンタ図



面外せん断応力図-分岐部



考察

- 【①常時】：発生応力度 < 許容応力度。
- 【②地震時：L2 地震時】：耐震性能 2 が確保されていることを確認。

【まとめ】

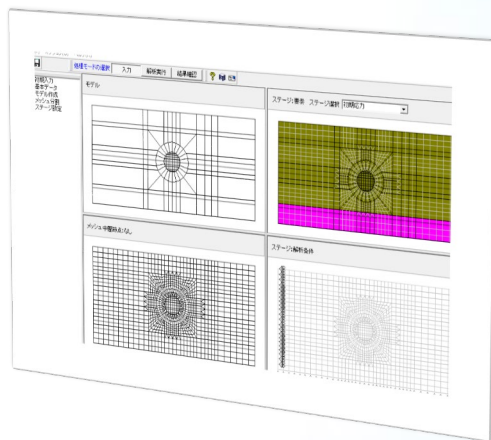
本解析は立体解析モデルの一例であり、今後はフレーム要素と結合させたモデル化なども検討の余地がある。

「Geo Engineer's Studio」

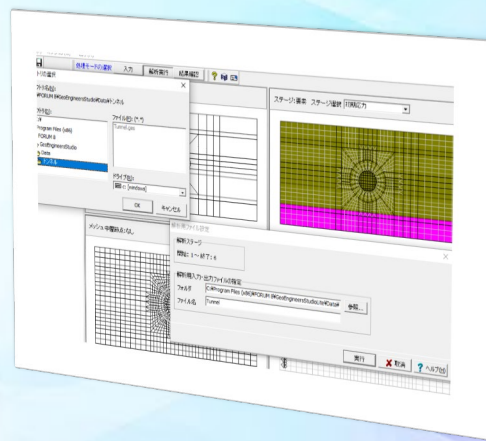
“Geo Engineer's Studio”

製品概要

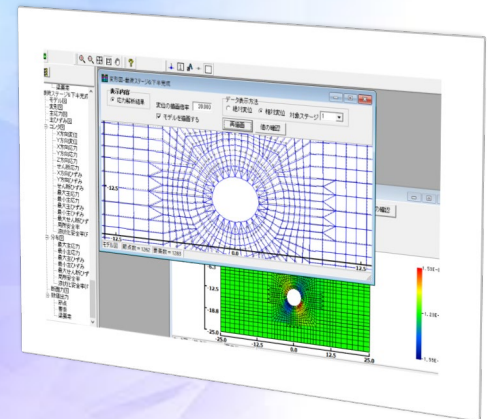
- 土留め、トンネル、液状化等の地盤に連動した土木構造物において弾塑性地盤解析が可能な汎用FEM解析プログラム
- 平面ひずみ問題、軸対称問題および液状化解析など、設計指針ならびに耐震照査指針等に準拠して実務で必要とされる変形解析が可能
- 静的な条件下での地盤の応力～変形解析を行うことが可能
- モデル作成や解析ステージの設定を行うプリプロセッサ、解析処理を行うプロセッサ、図や数値の可視化の結果処理を行うポストプロセッサの3部構成、それぞれ単独起動も可能



プリプロセッサ



プロセッサ



ポストプロセッサ

構成モデル

次元	モデル種類	構成モデル	備考
1次元	梁要素	線形弾性	
		バイリニア	
	棒要素	線形弾性	
		バイリニア	
	ばね要素	線形弾性	
	2次元	弾性モデル	線形弾性
せん断剛性低減材料 1			H19
せん断剛性低減材料 2			H28
弾・完全塑性モデル		モール・クーロン	
バイリニア弾性		液状化材料 1	H19
		液状化材料 2	H28

荷重条件・境界条件

- 荷重条件

- 集中荷重 : 節点集中荷重(2次元・軸対称)
- 等分布荷重、分布荷重 : 線形分布荷重(2次元・軸対称)
- 体積荷重 (自重) : 鉛直加速度 (2次元・軸対称)
- 地震荷重
 - 水平応答加速度(2次元)
 - 鉛直応答加速度(2次元)
- 節点水圧(2次元・軸対称)
 - 全応力解析 (地盤の透水現象を考慮しない解析) を行うプログラムだが水圧を節点荷重として考慮することにより、水圧の変化が地盤に及ぼす影響を検討可能。

- 境界条件

- 節点自由度拘束 (水平ローラ、鉛直ローラ、固定、ピン、強制変位)
- バネ支点

適用範囲

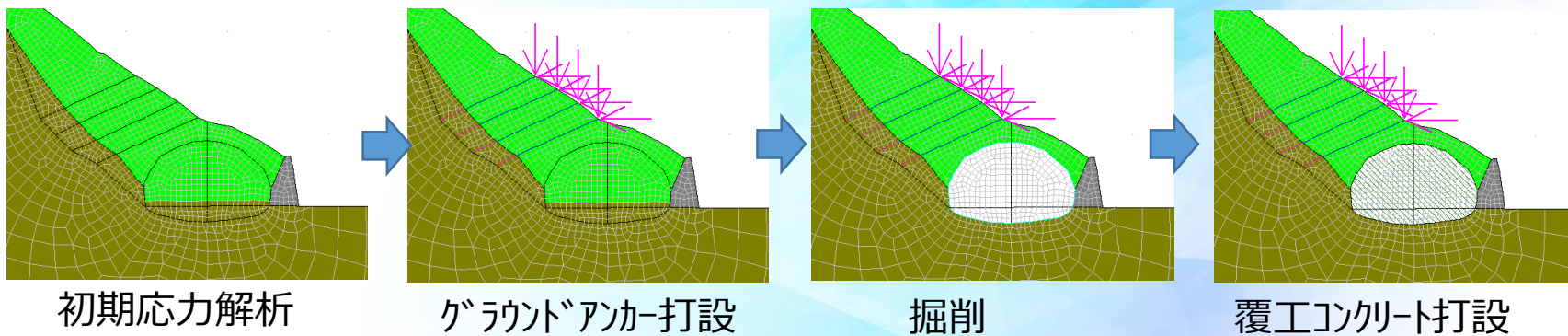
- 地盤の応力・変形解析
- 土留め掘削解析
- トンネル掘削時の周辺地盤影響解析
- NATM工法におけるトンネル施工検討解析
- 水圧の変動が地盤に及ぼす影響の検討
- 河川耐震性能照査(液状化検討)
- 地盤と構造物の相互作用の検討
- 応答震度法

Ver.2.0

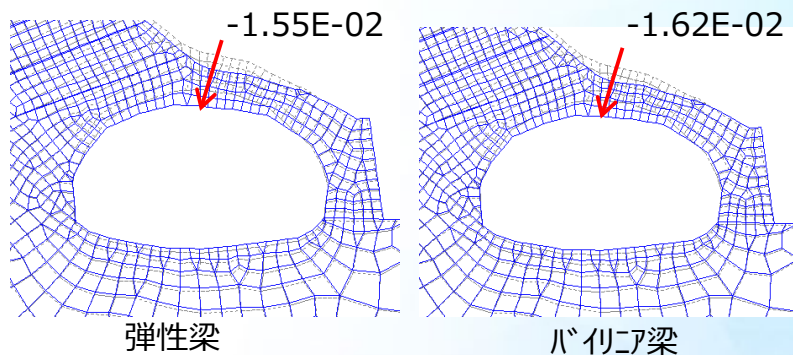
- 弾塑性解析への対応
 - バイリニア棒要素およびバイリニア梁要素の追加
 - モール・クーロン構成則の追加
- 液状化解析（H19/H28河川構造物耐震性能照査指針）への対応

Ver.2.0 弾塑性への対応

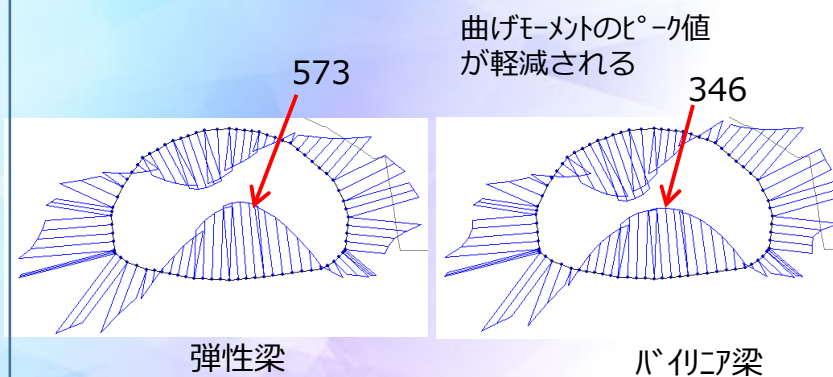
- トンネル坑口におけるグラウンドアンカー工
 - 覆工コンクリートをバイリニア梁でモデル化



変形図

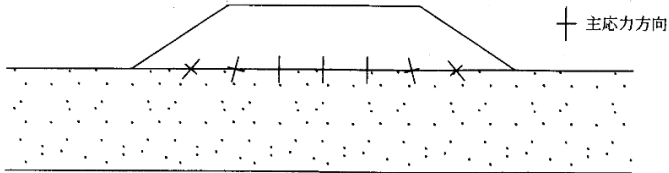


モーメント図

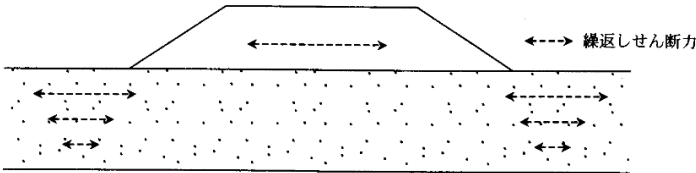


Ver.2.0 液状化解析への対応

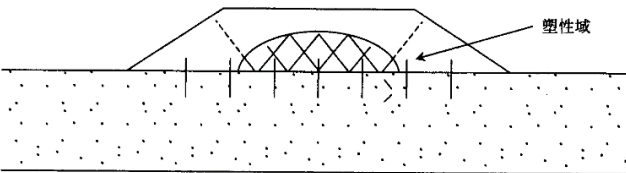
① 地震前（盛土底面と地盤との境界面には初期せん断力作用）



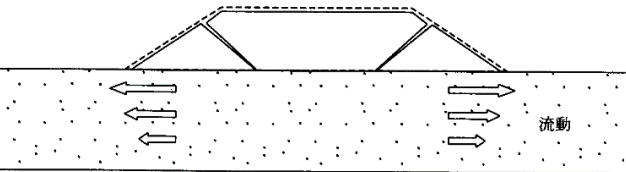
② 地震発生（繰返しせん断力の作用）



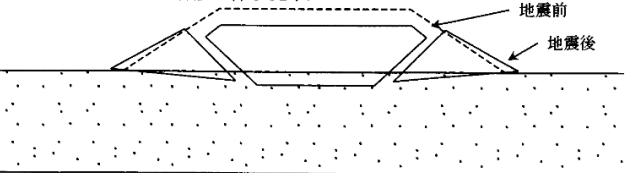
③ 完全液状化（過剰間隙水圧の上昇により盛土底部の変形が進行し、盛土内に破壊域発生）



④ 液状化継続中（塑性破壊域が発達し、盛土内に亀裂発生
液状化層の有効応力低下に伴う流動の発生）



⑤ 過剰間隙水圧の消散（水圧消散に伴う沈下）



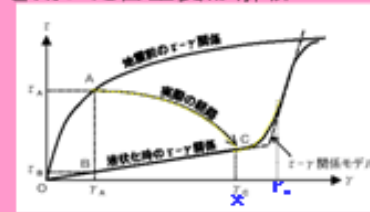
静的全応力解析による手法

(1) 液状化前の変形解析

- ・液状化層については地震前のせん断剛性を用いる
- ・荷重は自重のみの初期応力解析

(2) 液状化後の変形解析

- ・耐震性能照査指針にもとづいてFLを計算
- ・液状化層についてはせん断ひずみが大きくなるとせん断剛性が急激に回復するという、下に凸なバイリンニアモデルを用いた自重変形解析

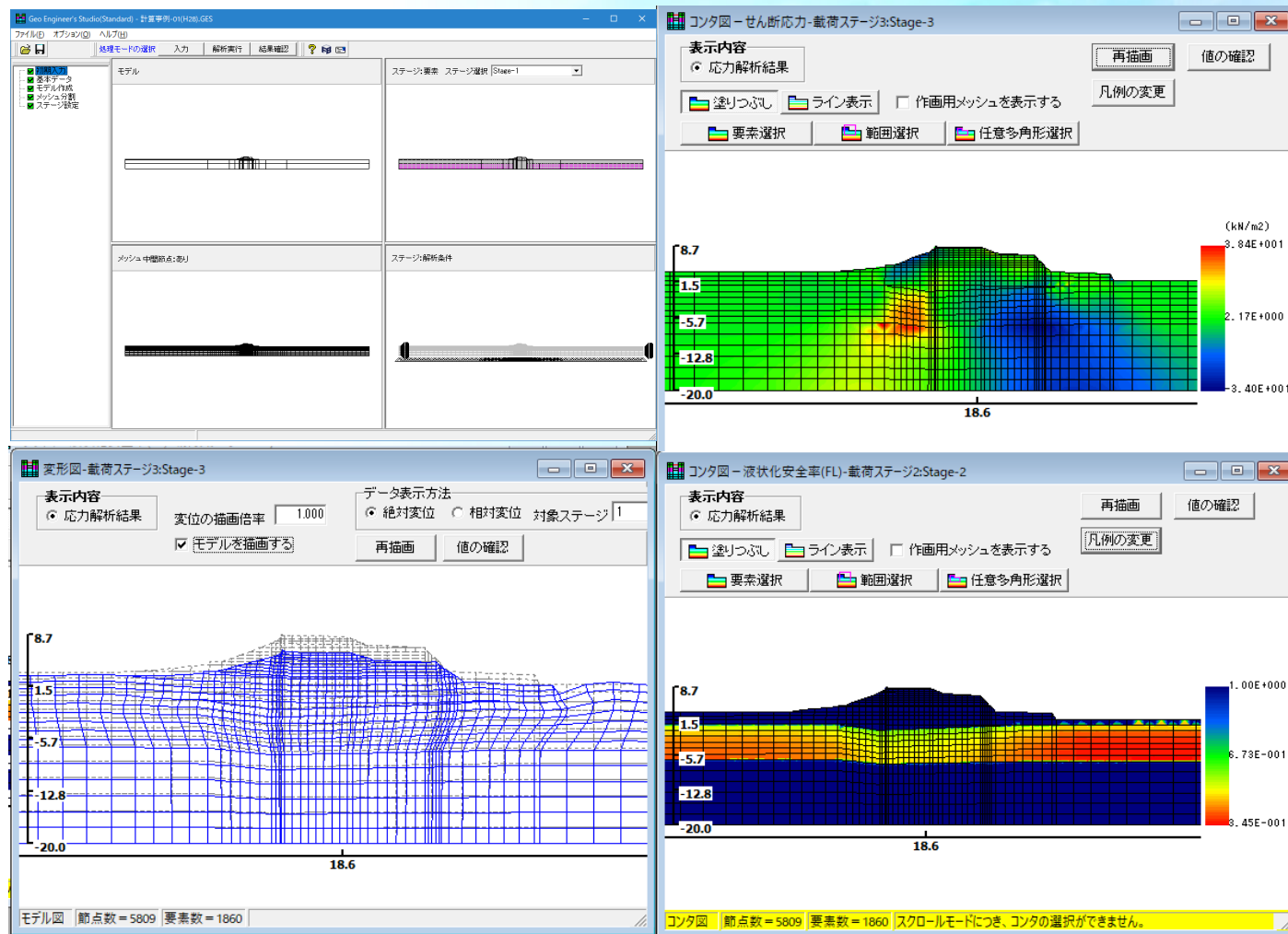


(3) 液状化層の体積圧縮変位量の解析

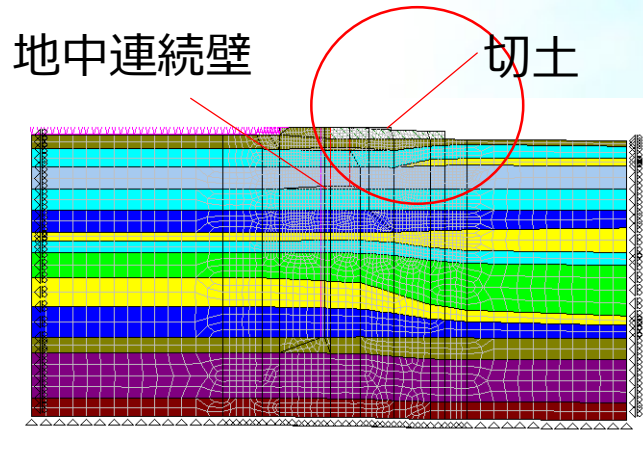
- ・換算N値とFLより求めた圧縮体積ひずみを算出。これに相当する等価節点荷重を与え、体積圧縮に伴う沈下量を計算。

(2)-(1)+(3)=合計変位量

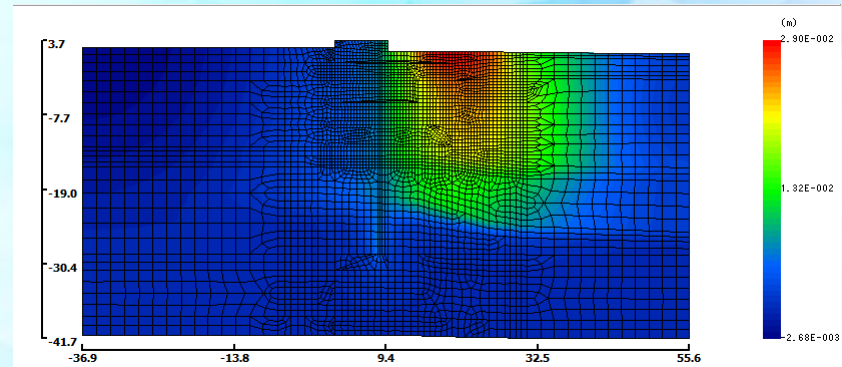
Ver.2.0 液状化解析への対応



解析事例：JR近接施工影響解析（近接の盛土）-NaRDA-



▲モデル全体図



▲最大せん断ひずみ増分コンタ図

- ・ 本解析対象は、切土によってJRの軌道面への影響を検討するために実施した。無対策の場合は軌道面に影響が出るため、変形を抑制するための工法を数種類を検討した。結果として地中連続壁によって基準内で安全と判定された。
 - ・ 幅：約90m×深さ：約40mをモデル化
 - ・ 軌道面の許容変位量 5 mm以内→無対策では 6 mmでNG→変形抑制工の検討
- その結果、地中連続壁を深さ約 30 mの固い地盤まで根入れすると、変形量は 3 mmで抑えられたので安全と判定された。

【開発中】

Geo Engineer's Studio[®] Ver.3.0

- 圧密連成解析機能

ご清聴ありがとうございました

All about FORUM8 Products.

14TH FORUM8 DESIGN FESTIVAL 2020 3DAYS + EVE

AUTONOMOUS DRIVING
NATIONAL RESILIENCE
CAD / DESIGN / CLOUD
3DVR SIMULATION
BIM / CIM & VR
FEM ANALYSIS

