

■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 開発担当取締役
フレミング・ブレント

Brent Fleming, Director in charge of development, FORUM8

フォーラムエイト システム開発Group FEMLEEG/地盤チームリーダー
佐野 裕昭

Hiroaki Sano, Leader of FEMLEEG / Geotechnical Team, System
Development Group, FORUM8

「Engineer's Studio®の最新機能と開発予定」

“Engineer's Studio® latest features and development plans“

フォーラムエイト 開発担当取締役
フレミング・ブレント

Brent Fleming, Director in charge of development, FORUM8

リリース時期

Engineer's Studio 8.0.0	12月上旬
Engineer's Studio Section 1.1.0	12月中旬
Engineer's Studio面内 3.3.0	1月上旬
Engineer's Studio面内 3.3.1	2月上旬
Engineer's Studio 8.0.1	2月上旬
Engineer's Studio 9.0.0	4月中旬

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
2012	Ver 2.0	減衰要素、H24道示対応、平板メッシュ分割
2013	Ver 2.1	限界状態、NEXCO二集M-θ
	Ver 3.0	2012コン示、荷重質量、平板コンタ切断MSN図

2014	Ver 3.1	道示の塑性率照査、道示バイリニア
	Ver 4.0	多点入力、結果保存選択機能、Rayleigh減衰拡張
2015	Ver 5.0	平板要素時刻歴、コンタ図・コンタ切断強化、 $M-\phi$ ・ $M-\theta$ 改善
2016	Ver 6.0	平板1次要素、平板高次低次変換、新リボンUI
2017	Ver 7.0	H29道示対応(国交省通達)
2018	Ver 7.1	H29道示対応(同解説)
	Ver 7.2	簡易照査機能、3dsエクスポート
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

Engineer's Studio[®]とは

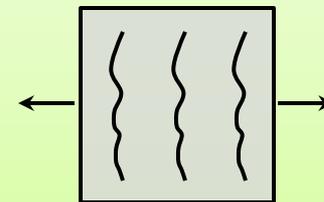
- 有限要素法(FEM)プログラム
(有限要素は、梁要素、平板要素、ケーブル要素、減衰要素)
- 3次元空間にモデルをつくる

特徴1 : 材料非線形 + 幾何学的非線形 (大変位)

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)



The screenshot displays the Engineer's Studio software interface for a steel arch bridge model. The main window shows a 3D perspective view of the bridge structure, which is a steel arch bridge with a frame element highlighted in blue. The interface includes a top menu bar with options like 'ホーム', 'モデル', '結果', '照査', '結果レポート', '照査レポート', and 'プラグイン'. Below the menu is a toolbar with various icons for file operations, calculation, and viewing. On the left side, there is a 'ナビゲーション' (Navigation) panel with a tree view of the model's properties, including 'モデル特性' (Model Properties), '節点と要素' (Nodes and Elements), '支点' (Supports), '荷重' (Loads), '性能基準' (Performance Criteria), '固有値解析と減衰' (Eigenvalue Analysis and Damping), and '照査設定' (Check Settings). The main window title is 'SteelReversedLohseBridge-LM.es - Engineer's Studio Ver1.07.00'. The status bar at the bottom shows 'モード: 編集' (Mode: Edit), coordinates 'x=17.327m, y=0.000m, z=120.421m', and 'サンプルデータ' (Sample Data).

フレーム要素の例(鋼アーチ橋)

ファイバー要素の例(偏心橋脚)

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 blue structure, which is an eccentric pier. The model is divided into sections labeled "終局II" (Final Stage II) and "終局I" (Final Stage I). A red circle highlights a specific area on the pier, which is magnified in two inset windows.

The left sidebar contains various settings and results panels:

- ラン結果 (Run Results):** Shows the simulation is running (LG) at step 218. It includes checkboxes for "選択ランのみスケールに考慮" (Consider only selected runs for scaling), "3D表示" (3D display), and "変位図" (Displacement diagram).
- 変形性能基準 (Deformation Performance Criteria):** Includes options for "パフォーマンス評価" (Performance evaluation) and "基準" (Criteria), with "損傷基準(コンクリート)" (Damage criteria (Concrete)) selected.
- 平板オプション (Plate Options):** Includes "パフォーマンス表示タイプ" (Performance display type) and "全体要素" (All elements) selected.

The top toolbar contains icons for "固有値解析" (Eigenvalue analysis), "荷重ケース" (Load cases), "ラン" (Run), "抽出キー" (Extract key), "影響線" (Influence line), "節点" (Nodes), "フレーム要素" (Frame elements), "ファイバー要素" (Fiber elements), "ばね要素" (Spring elements), "減衰要素" (Damping elements), "平板断面" (Plate section), "再生" (Play), "停止" (Stop), "開始" (Start), "最終" (End), "録画" (Record), "新規" (New), "ウインドウ" (Window), "シーケンスコントロール" (Sequence control), "固有ベクトル" (Eigen vectors), and "表示" (Display).

The two inset windows show:

- Top Inset:** A graph showing the displacement δX versus δZ . The x-axis ranges from -50 to 50, and the y-axis ranges from -20 to 20. A horizontal arrow labeled "加振方向" (Vibration direction) points to the right. The graph shows a complex, multi-lobed displacement pattern.
- Bottom Inset:** A grid showing the displacement distribution. A vertical arrow labeled "加振方向" (Vibration direction) points downwards. The grid shows a green shaded area indicating the displacement distribution, with a magnification of "x 20.8 倍率" (x 20.8 magnification).

At the bottom of the window, the coordinates are given as $x=-27.000m, y=0.000m, z=-46.000m$.

BTS50893V13-CylinderAfterCrack.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 ファイル

モデルチェック FEM解析 照査モードに戻る

新規モデルビュー 照査 FEM結果モードに戻る

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

平板要素の例(穴空き円筒)

入力 表示設定

節点・要素 グループ 荷重 活荷重
モデルスケール 平板要素接続 平板連結

表示 名称 断面 色 LA PA

グループ表示
On/Off 未登録要素表示

グループ名	表示
top	<input checked="" type="checkbox"/>
whole except top	<input checked="" type="checkbox"/>

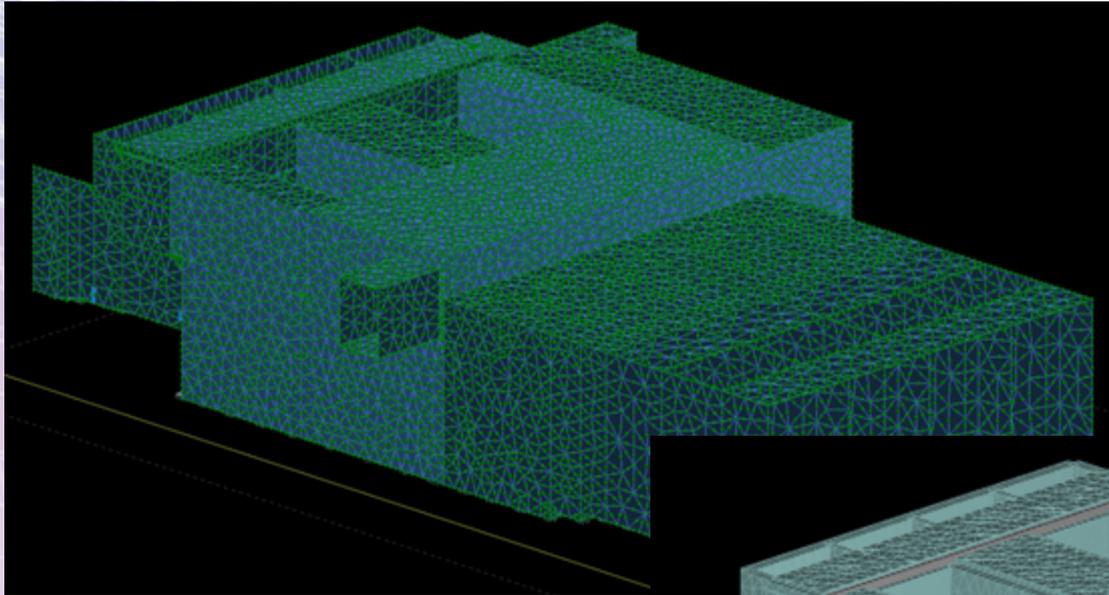
荷重表示
 荷重の表示
 数値表示

ターゲット

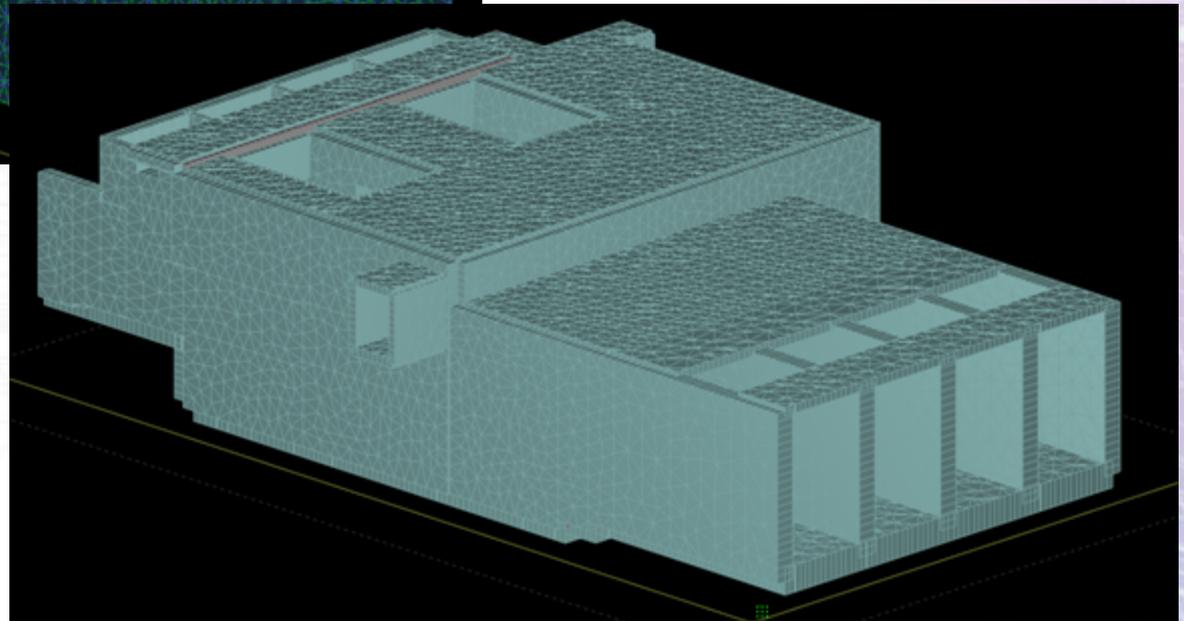
荷重	割増
基本荷重ケース	
User Case 1	
User Case 2	
組合せ荷重ケース	
ラン	

活荷重
 活荷重表示

モード: 編集 x=-33.495m, y=0.000m, z=-24.767m



平板要素の例(排水機場)

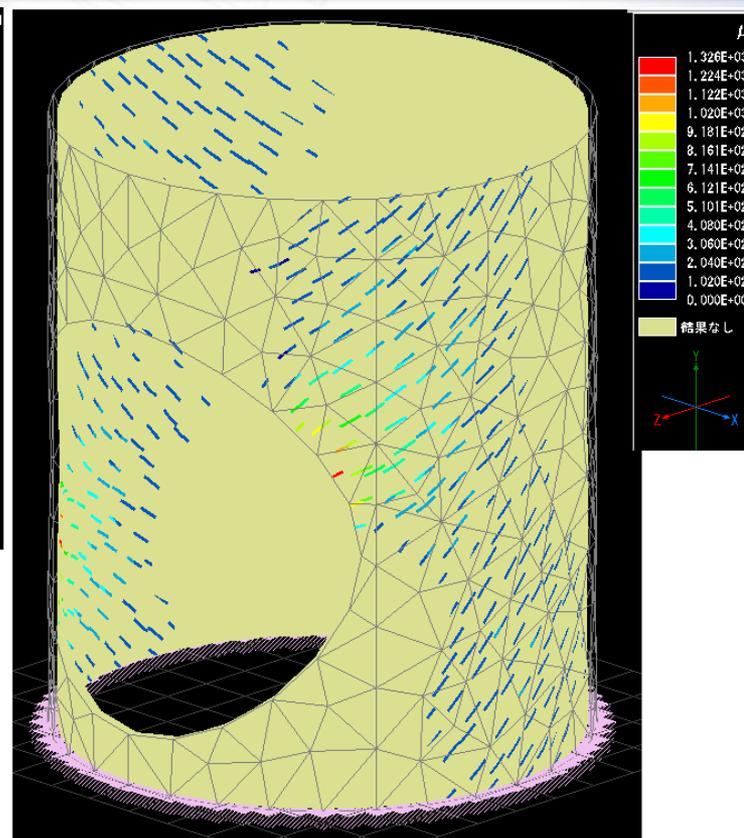
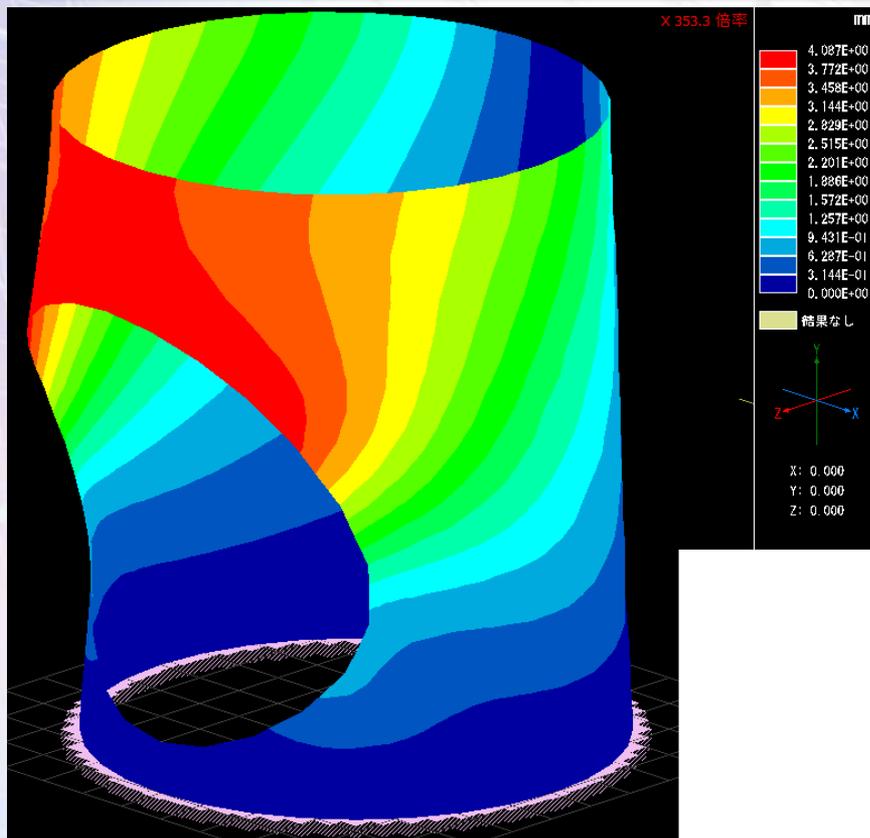


ザインフェスティバル2010
「Engineer's StudioR, UWLCを用いた大規模排水機場の応答変位法による耐震照査法」
(株)三祐コンサルタンツ 総合技術アセットマネジメント部 副参事 堀 治啓 氏
の配付資料より

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 (μ)	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

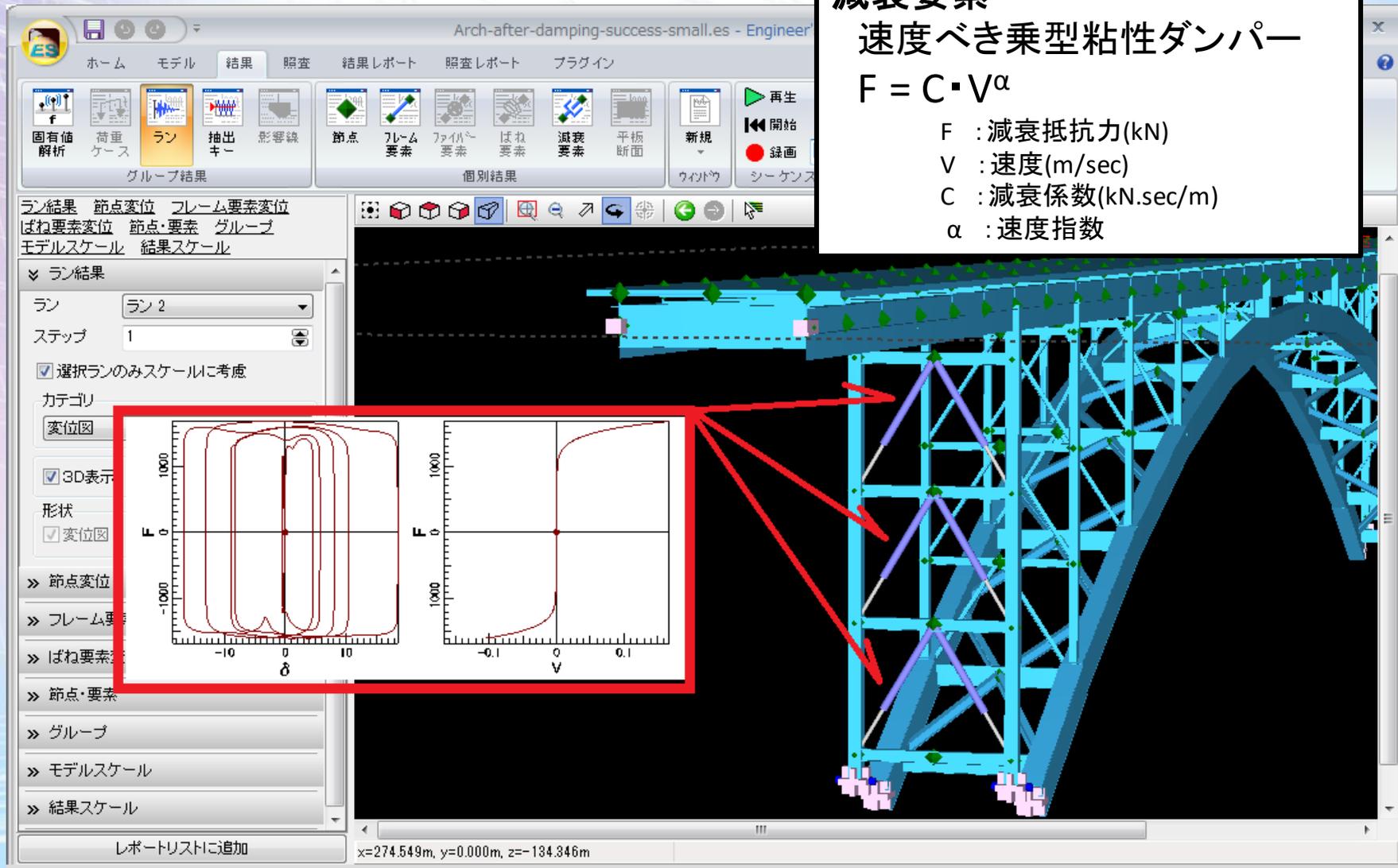
鋼逆ローゼ橋の減衰要素の動的解析結果

減衰要素

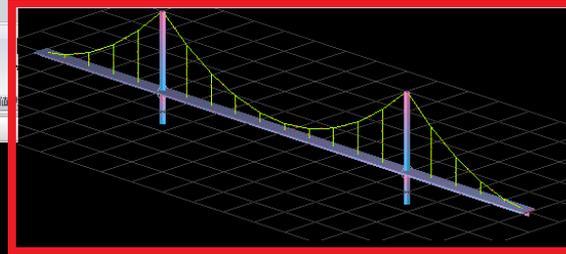
速度べき乗型粘性ダンパー

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

- F : 減衰抵抗力(kN)
- V : 速度(m/sec)
- C : 減衰係数(kN.sec/m)
- α : 速度指数

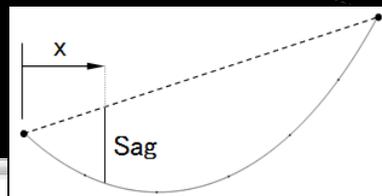
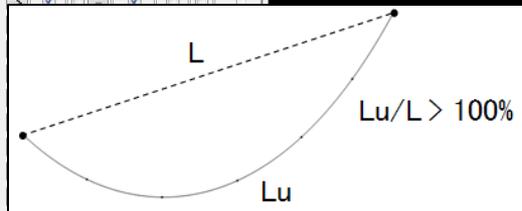
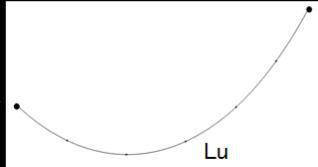
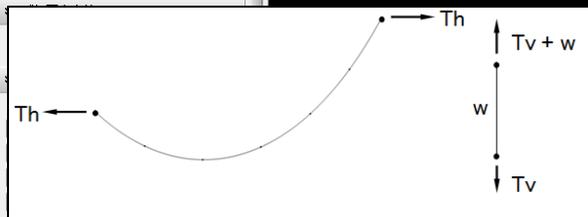


ケーブル要素の例(吊橋)



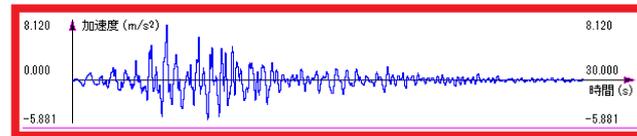
ケーブル要素 = カテナリー (懸垂曲線)
 形状決定パラメータ:

- 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



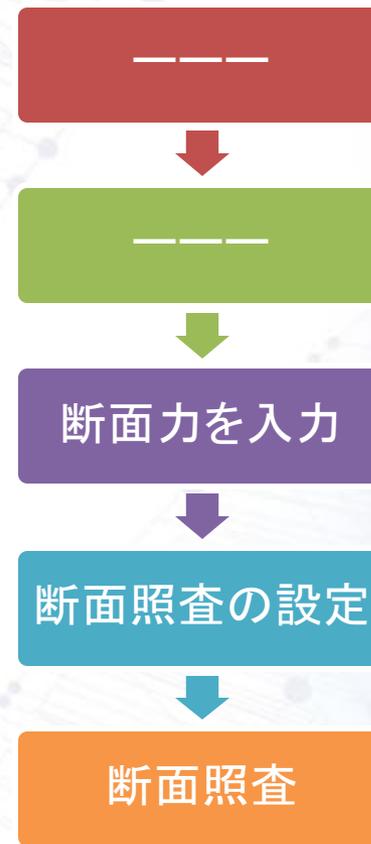
Engineer's Studio[®] 8.0.0

- 単体製品「Engineer's Studio Section」を同梱
- 非線形平板要素の損傷指標
- 各種照査でNG部材の赤表示
- 抽出キーMax/Min/Absの個別指定
- アウトライン要素一覧表
- 活荷重の結果にばね要素と節点変位を表示
- 近接節点の検索とマージ

Engineer's Studio



Engineer's Studio Section



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(2012, 2017)」準拠

偏差ひずみ第2不変量

$$\sqrt{J'_2} = \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2}\right)^2 + \left(\frac{\gamma_{xy}}{2}\right)^2}$$

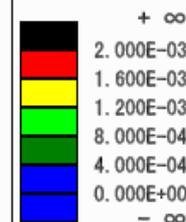
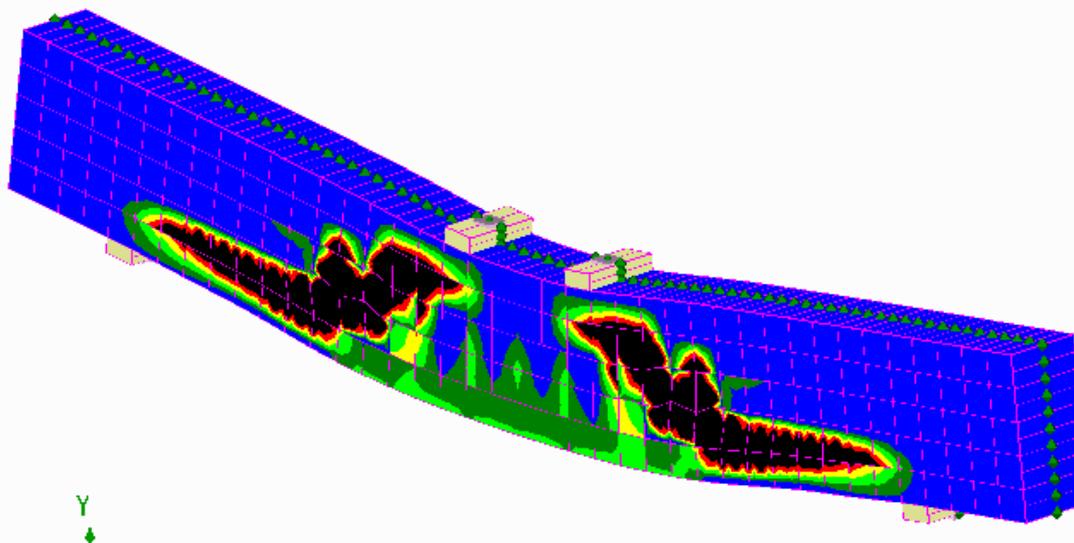
正規化累加ひずみエネルギーを算出

$$W_n = W_{n-1} + \frac{1}{2f} \left(\sigma_{ij}^{(n-1)} + \sigma_{ij}^{(n)} \right) \cdot \left(\varepsilon_{ij}^{(n)} - \varepsilon_{ij}^{(n-1)} \right)$$

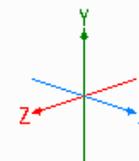
損傷指標

zero - ステップ 80
Ave $\sqrt{J'_2}$ - 現ステップ

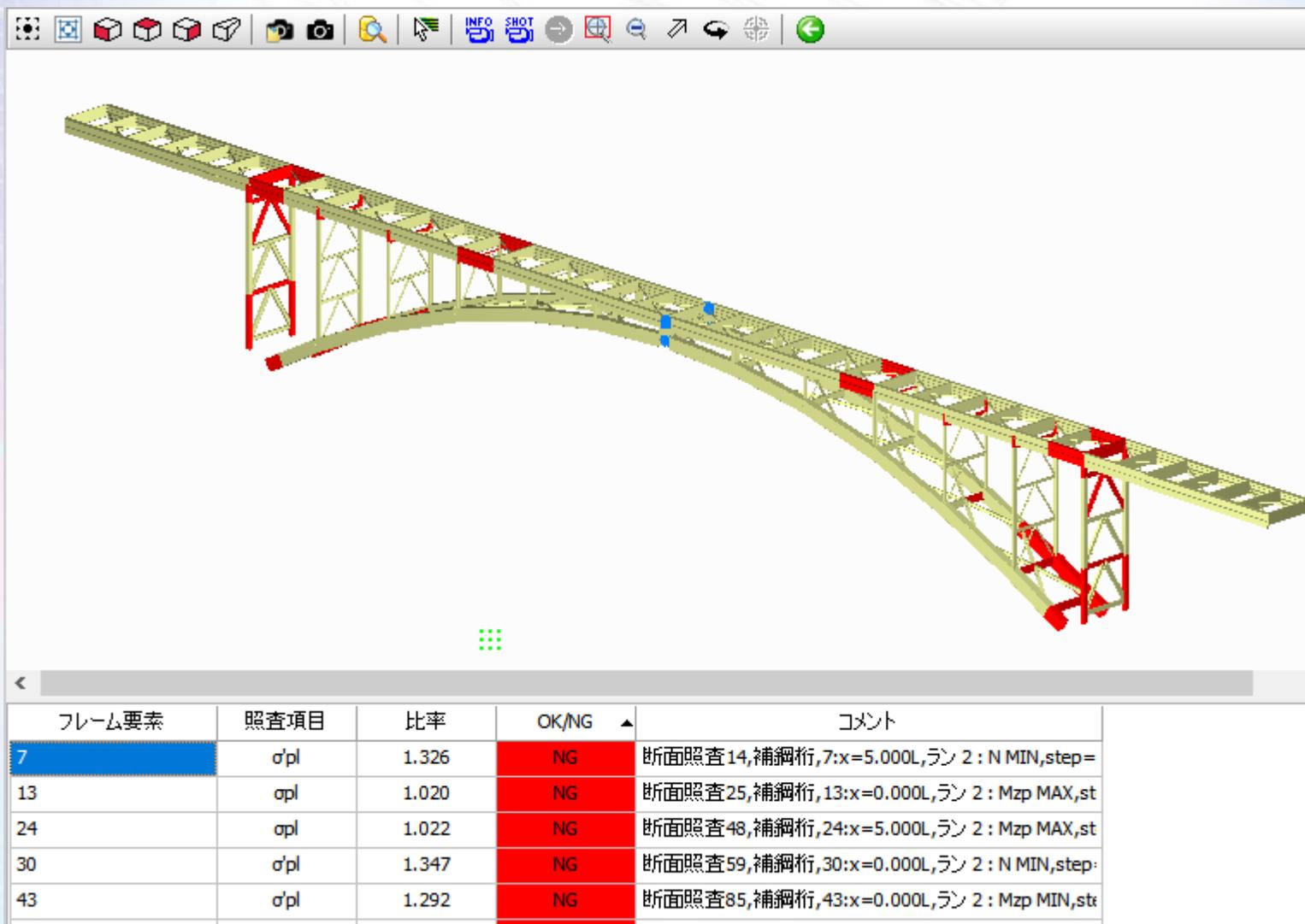
X25.3 倍率



結果なし



各種照査でNG部材の赤表示



その他

抽出キーMax/Min/Absの個別指定

断面照査用荷重定義

照査用荷重定義: LC1

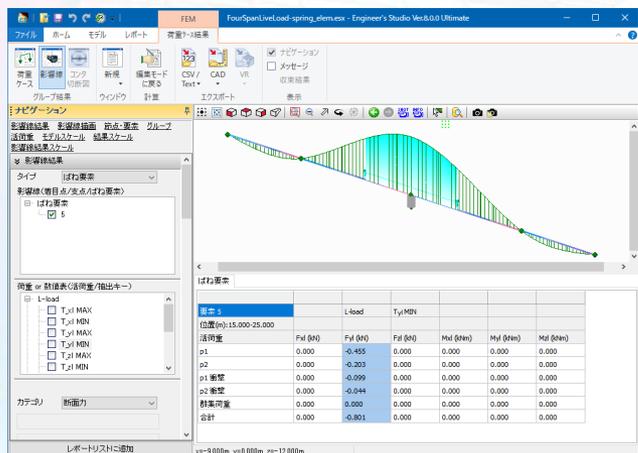
名称	荷重ケース	タイプ	照査	レベル2の種類	抽出キー	最小鉄筋用軸力	σsaの状態
X-I-No1	シーケンス荷重	タイプ I	✓	タイプ I	Max/Min/Abs	Na	一般荷重
X-I-No2	シーケンス荷重	タイプ I	✓	タイプ I	Max/Min/Abs	Na	一般荷重
X-I-No3	シーケンス荷重	タイプ I	✓	タイプ I	Max/Min/Abs	Na	一般荷重
X-II-No1	シーケンス荷重	タイプ II	✓	タイプ II	Max / Min	Na	一般荷重
X-II-No2	シーケンス荷重	タイプ II	✓	タイプ II	Max / Min	Na	一般荷重
X-II-No3	シーケンス荷重	タイプ II	✓	タイプ II	Max / Min	Na	一般荷重
Z-I-No1	シーケンス荷重	タイプ I	✓	タイプ I	Absのみ	Na	一般荷重
Z-I-No2	シーケンス荷重	タイプ I	✓	タイプ I	Absのみ	Na	一般荷重
Z-I-No3	シーケンス荷重	タイプ I	✓	タイプ I	Absのみ	Na	一般荷重
Z-II-No1	シーケンス荷重	タイプ II	✓	タイプ II	Minのみ	Na	一般荷重
Z-II-No2	シーケンス荷重	タイプ II	✓	タイプ II	Minのみ	Na	一般荷重
Z-II-No3	シーケンス荷重	タイプ II	✓	タイプ II	Minのみ	Na	一般荷重
AveX-I	平均荷重ケース	タイプ I	✓	タイプ I	Maxのみ	Na	一般荷重
AveX-II	平均荷重ケース	タイプ II	✓	タイプ II	Maxのみ	Na	一般荷重
AveZ-I	平均荷重ケース	タイプ I	✓	タイプ I	Maxのみ	Na	一般荷重
AveZ-II	平均荷重ケース	タイプ II	✓	タイプ II	Maxのみ	Na	一般荷重

アウトライン要素一覧表

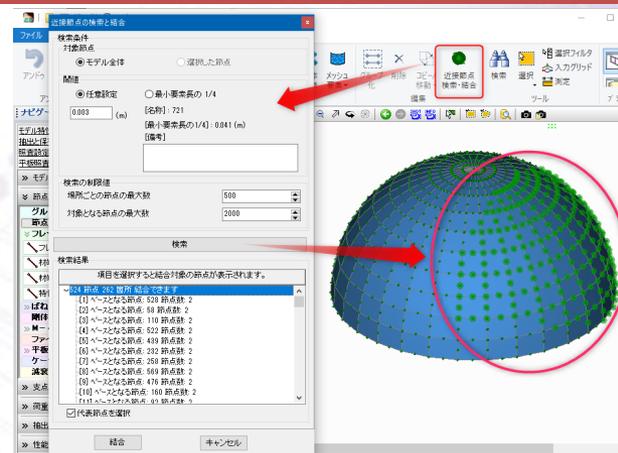
アウトライン要素一覧表

アウトライン名称	形状	幅 (m)	高さ (m)
アウトライン1	矩形	0.016	1.600
アウトライン2	矩形	0.550	0.020
アウトライン3	矩形	0.550	0.020
アウトライン4	矩形	0.400	0.019
アウトライン5	矩形	0.400	0.019
アウトライン6	エッジ	0.400	0.025
アウトライン7	矩形	0.400	0.025
アウトライン8	矩形	0.400	0.025
アウトライン9	矩形	0.140	0.016

活荷重の結果にばね要素と節点変位



近接節点の検索とマージ



Engineer's Studio[®] 9.0.0

- 64bit版
- 断面照査に関する入力の簡素化
- オンラインヘルプ
- 英語ヘルプ

64bit版



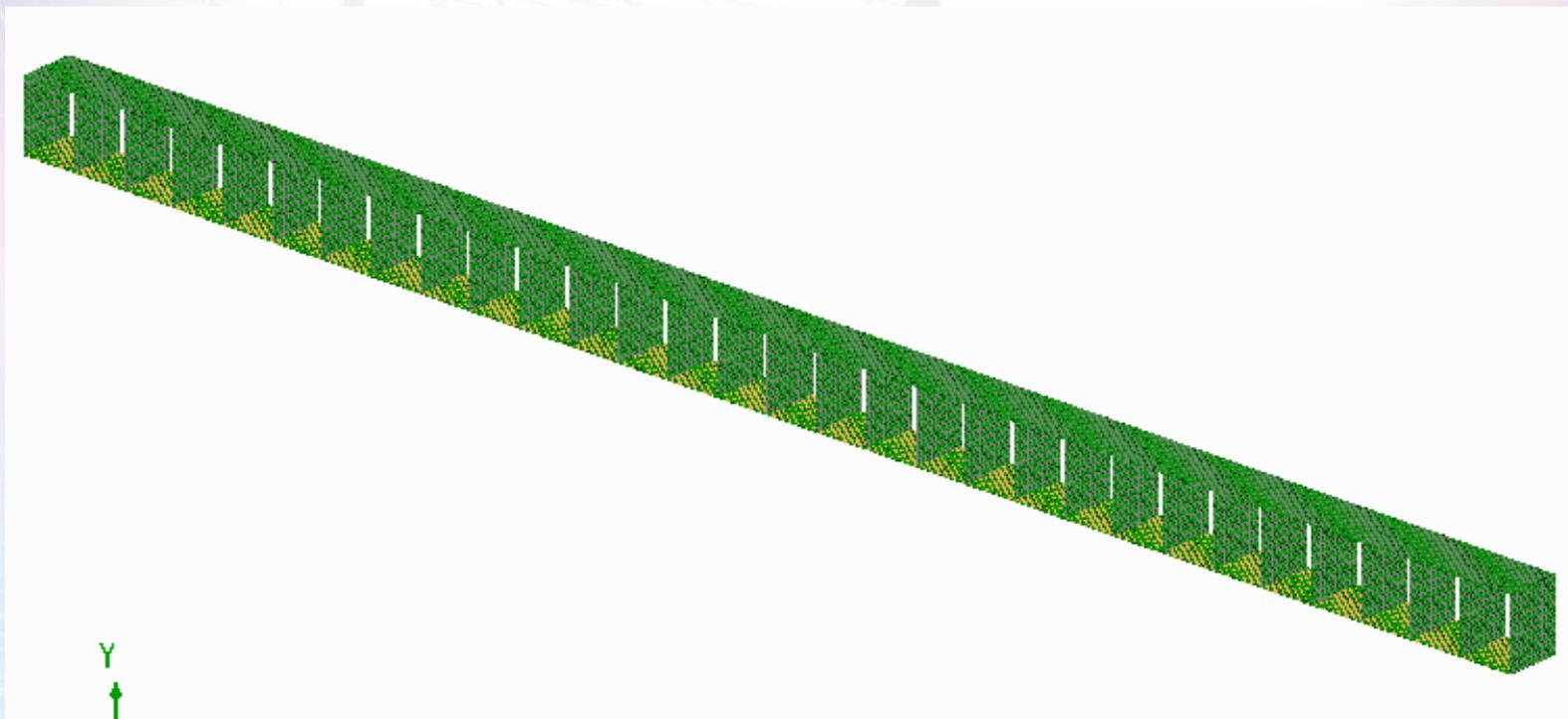
32bit版(従来どおり)



メモリを大量に消費する大規模モデルの入力や結果確認が可能になりました。

たとえば、**13万節点**の平板要素モデルは従来の32bit版では解析はできても結果確認の途中でメモリ不足が発生していましたが、64bit版では正常に動作します(この場合の最大メモリ消費量は**約9GB弱**)。

また、ページ数の多いレポート出力(たとえば、3万ページ)が可能になりました。



断面照査に関する入力の簡素化

BlueBookBridge_Mphi_Typell_Dosi2012.esx - Engineer's Studio Ver.9.0.0(x64) Ultimate

ファイル ホーム モデル 照査 レポート サポート

断面照査 限界状態照査 PFD照査 照査用詳細入力生成

照査用詳細入力生成

断面選択

生成する条項リスト

- 道示-Ⅲ H8 [2.2.4]
- 道示-Ⅲ H14 [4.2.4]
- 道示-V H14 [Mu, Ma]
- 道示-Ⅲ H8 [2.3.1(2)]
- 道示-Ⅲ H14 [4.3.4]
- 道示-Ⅲ H24 [4.3.4]
- 道示-Ⅳ H14 [5.2.3]
- 道示-Ⅳ H24 [5.2.3]
- 道示-V H14 [10.5]
- 道示-V H24 [10.5]

照査用詳細入力生成

名称	断面	示方書条項	備考
Configuration5	pier	道示-V H24 [10.5]	終局強度法 - せん断
照査用詳細入力1	pier	道示-Ⅲ H8 [2.2.4]	終局強度法 - 曲げ
照査用詳細入力2	pier	道示-Ⅲ H14 [4.2.4]	終局強度法 - 曲げ
照査用詳細入力3	pier	道示-V H14 [Mu, Ma]	終局強度法 - 曲げ
照査用詳細入力4	pier	道示-Ⅲ H8 [2.3.1(2)]	終局強度法 - せん断
照査用詳細入力5	pier	道示-Ⅲ H14 [4.3.4]	終局強度法 - せん断
照査用詳細入力6	pier	道示-Ⅲ H24 [4.3.4]	終局強度法 - せん断
照査用詳細入力7	pier	道示-Ⅳ H14 [5.2.3]	終局強度法 - せん断
照査用詳細入力8	pier	道示-Ⅳ H24 [5.2.3]	終局強度法 - せん断
照査用詳細入力9	pier	道示-V H14 [10.5]	終局強度法 - せん断
照査用詳細入力10	pier	道示-V H24 [10.5]	終局強度法 - せん断

M-φ特性生成

名称	断面	zp				
		断面から生成	照査用詳細入力	カテゴリ	詳細	断面から生成
M-φ特性6	pier	<input checked="" type="checkbox"/>	照査用詳細入力1	トリリニア (非対称)	Takeda	<input checked="" type="checkbox"/>
M-φ特性7	pier	<input checked="" type="checkbox"/>	照査用詳細入力1	トリリニア (非対称)	Takeda	<input checked="" type="checkbox"/>
M-φ特性8	pier	<input checked="" type="checkbox"/>	照査用詳細入力1	トリリニア (非対称)	Takeda	<input checked="" type="checkbox"/>
M-φ特性9	pier	<input checked="" type="checkbox"/>	照査用詳細入力1	トリリニア (非対称)	Takeda	<input checked="" type="checkbox"/>
M-φ特性10	pier	<input checked="" type="checkbox"/>	照査用詳細入力1	トリリニア (非対称)	Takeda	<input checked="" type="checkbox"/>

オンライン・ヘルプ

The screenshot shows the Engineer's Studio software interface. The top menu bar includes 'ファイル', 'ホーム', 'モデル', '照査', 'レポート', and 'サポート'. The 'ヘルプ' (Help) menu is open, with 'ヘルプバー' (Help Bar) checked. Below the menu, there are buttons for 'Web ヘルプ', 'CHM', and 'PDF'. A red box highlights the 'ヘルプバー' option and the search buttons.

The search results page for 'ファイバー要素' (Fiber Element) is displayed. The search results show 97 items. The first result is 'ファイバー要素、M-φ要素の長さ' (Fiber Element, Length of M-φ Element). The text below the title describes the element and provides a link to the manual: JP/Share/Theory/MphiFibreLength.htm.

The second result is 'ファイバー要素を使用するには' (How to Use Fiber Element). The text describes the element and provides a link to the manual: JP/Share/HowTo/FiberElementFlow.htm.

The third result is 'ファイバー要素' (Fiber Element). The text describes the element and provides a link to the manual: JP/Share/11/Navigation/Analysis/Element/FiberElements.htm.

On the right side, the 'EngineersStudioManual.pdf - Adobe Acrobat' window is open, showing the '機能概要' (Function Overview) section. The text describes the software's capabilities and provides a link to the manual: JP/Share/11/Navigation/Analysis/Element/FiberElements.htm.

英語ヘルプ

Example of a single-column steel bridge piers (With Filling)

FORUM8™ Engineer's Studio® Manual version:9.0.0.0

Search

Example of a single-column steel bridge piers (With Filling)

Introduction

We will explain examples of seismic performance checking using the **steel** member strain checking function of this program.

"Guidelines for earthquake resistant and damping design of **steel** bridge" (Edited by Tsutomu Usami · Edited by Japan Steel Structure Association, September 2006, Gihodo) p.277

"Standard Specification for **Steels** and Synthetic Structures, Seismic Design" (Civil Engineering Society, Established in 2008, February 2008) p.112

We are modelling single-column **steel** bridge piers (Concrete filling) posted on the pier.

Sample model

SteelPier-ConcFilled-StrainCheck-JSSC.es
(It is in C:\0Program Files\Forum 8\Engineers studio\Samples by default)

Structural dimension

EngineersStudioManual.pdf - Adobe Acrobat

Functional overview

Functional overview

Introduction

Engineer's Studio is a 3-D finite element analysis (FEM) analysis program. It is a tool that can analyze non-linear behaviors of structures by modeling the parts of civil engineering / building structure with beam elements that are regarded as single bars and flat plate elements that are planarly continuous.

Characteristic

There are two kinds of material non-linear characteristics of beam elements: M - ψ element limited to uni-axial bending and fiber element corresponding to bi-axial bending. The non-linear characteristics of the fiber element are sequentially updated according to the axial force fluctuation.

It also has a plate element based on the Reissner-Mindlin theory, a cable element assuming catenary, and a speedy damping element.

Static / Dynamic analysis is possible considering geometric non-linearity corresponding to the larger displacement.

Image diagram of fiber element(Mathematical model on the right)

A flat plate element can have a laminated structure having a plurality of layers in the thickness direction, and each layer can define different material types and linear / non-linear settings individually. We adopt the highly evaluated reinforced concrete non-linear composition rule (Dispersed crack model) developed at the University of Tokyo concrete laboratory for the concrete constitutive law applied to flat plate elements. It can also be said that the flat plate element of this product has expanded the RC element of UC-win / WCOAMD in multiple layers in the thickness direction, making it possible to analyze not only in-plane deformation but also non-linear behavior of out-of-plane deformation.

Image Diagram of laminated flat plate elements (Mathematical model on the right)

Manual Version - 9.0.0.0, Release Date - 4/12/2019

14

FORUM8

「Engineer's Studio®の最新機能と開発予定」

“Engineer's Studio® latest features and development plans“

フォーラムエイト 開発担当取締役
フレミング・ブレント

Brent Fleming, Director in charge of development, FORUM8

材料非線形フレームモデル-開発の背景

- 下表は、Engineer's Studio®でサポートされている材料非線形フレームモデルの理論の比較です。各断面力成分に対する材料モデルの性質を比較しています。

断面力成分	M-φ要素	Fibre要素
軸力 (x軸方向) N	線形	非線形
曲げモーメント (z軸回り) Mz	非線形	非線形
曲げモーメント (y軸回り) My	非線形	非線形
せん断力 (z軸方向) Vz	線形	線形
せん断力 (y軸方向) Vy	線形	線形
ねじりモーメント (x軸回り) T	線形	線形

- 最初のバージョンから、N, MzおよびMyが連動した軸力変動に対応しています
- Ver.10で導入される、主軸ごとの軸力変動 (N, Mz) (N, My)

- H14道路橋示方書から軸力変動の影響を考慮する必要がありました。
- Engineer's Studio®およびUC-win/FRAME (3D) は、最初のバージョンから軸力変動に対応したファイバー要素をサポートしています。これは、道路橋示方書で規定された軸力変動の基本要件を満たしますが、道路橋示方書の照査の考え方はM-φ理論に基づいています。
- M-φ理論を使用して、N, MzおよびMyを完全に連動することはできません。そのような理論を作成するいくつかの試みが行われましたが、良い結果は達成されていません。
- ファイバー要素が開発されたことで、軸力変動に対応したM-φ理論のさらなる開発は不要になりました。
- Engineer's Studio® Ver.10では、主軸ごとの軸力変動 (N, Mz) および (N, My) を導入して、道路橋示方書の照査要件を満たします。

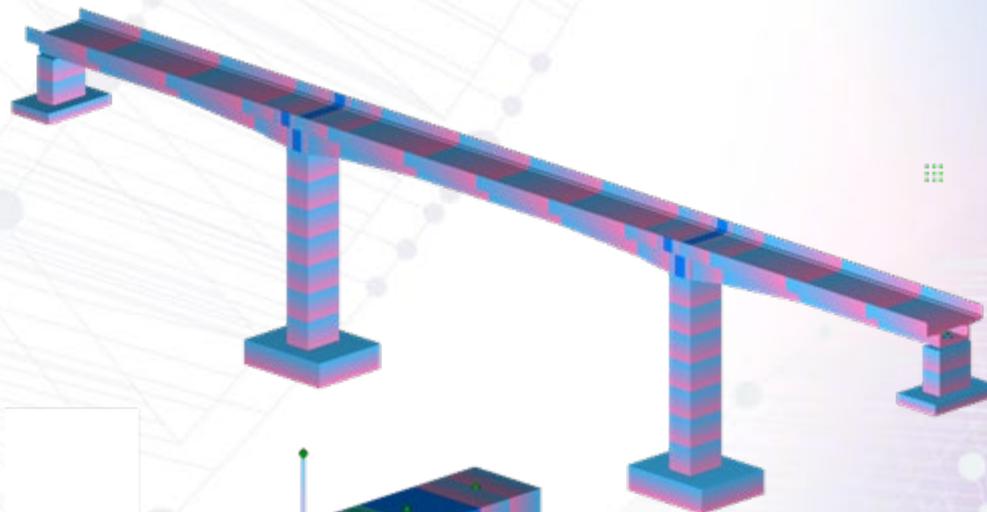
Ver.10 の主な開発内容

軸力変動を考慮した下記項目

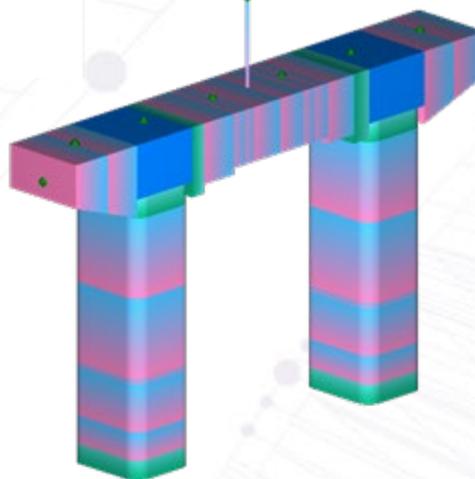
- M - ϕ 要素
- M - θ モデル (ばね要素)
- 曲率照査
- 塑性率照査 (H24道示)
- 残留変位照査 (H14/H24/H29道示)
- 変位照査 (H29道示)

適用例

ラーメン橋



ラーメン橋脚

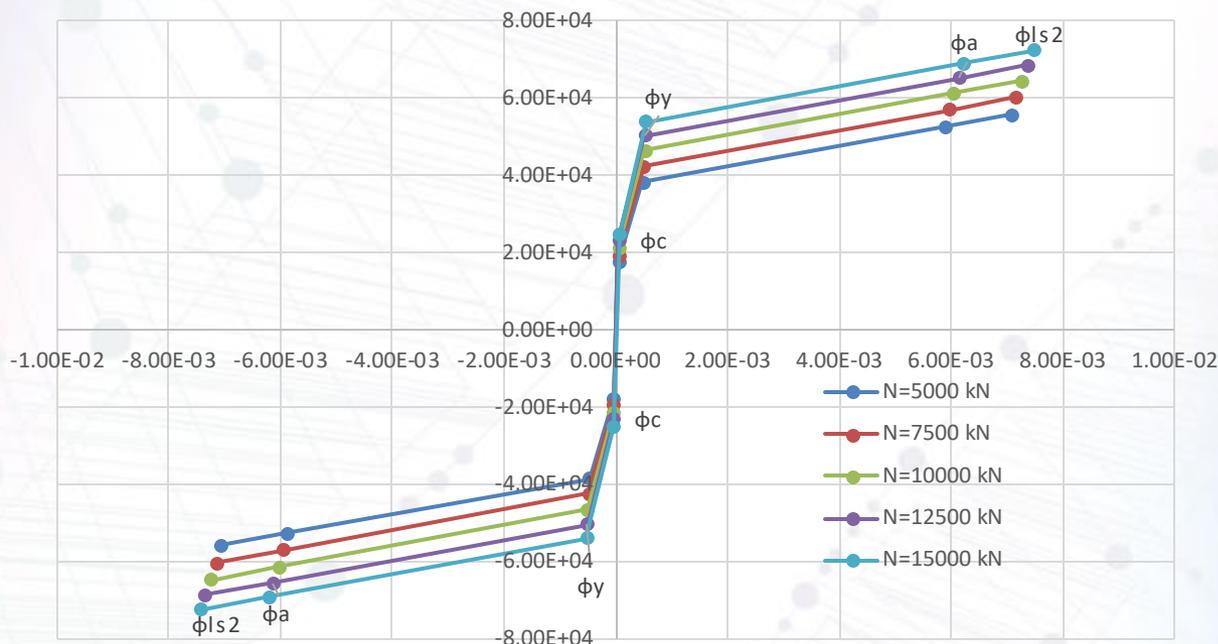


※ 一軸曲げに適用（二軸曲げはファイバー要素を使用）

軸力変動M- ϕ 要素 - 概要

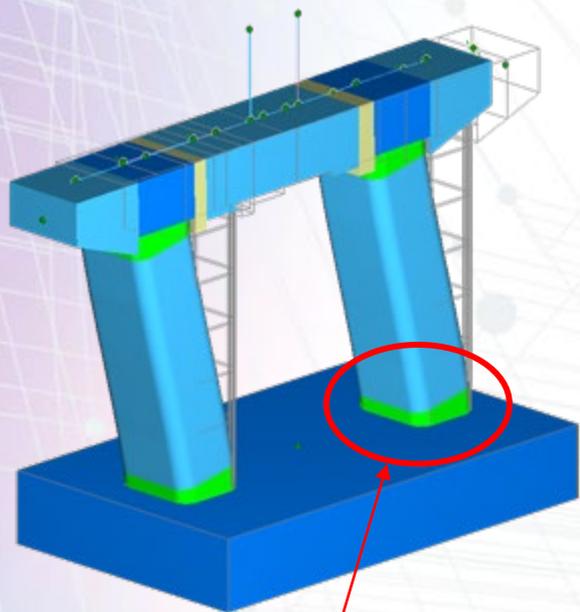
- 要素の各曲げ軸 (z_p , y_p) に対して、複数のM- ϕ 特性が定義されます。
- 複数セットされたM- ϕ 特性は、それぞれ単一の軸力Nに対するものです。
- Engineer's Studio® Ver.10では、前処理でこのデータを自動的に準備する機能を提供します。

複数の軸力に対するM- ϕ 特性

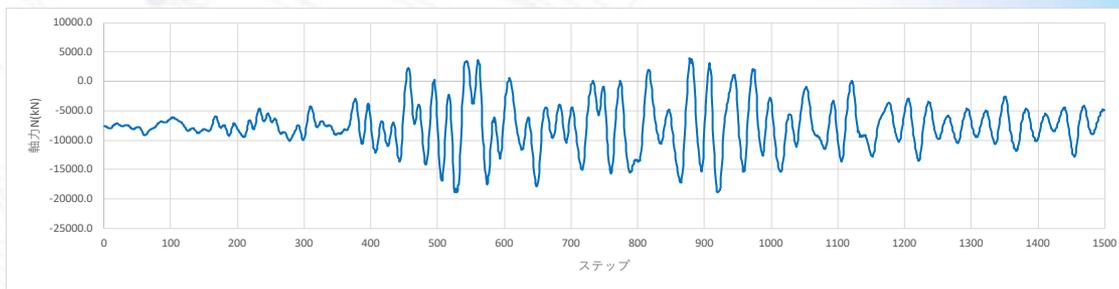


- 収束計算中の各ステップで、応答値である曲率 ϕ および軸力Nが変位から取得されます。
- ϕ はすべての履歴曲線を更新するために使用され、各曲線の曲げモーメントMを返します。
- 軸力Nは、応答曲げモーメントMを見つけるための補間計算に使用されます。

軸力変動を考慮した曲率照査

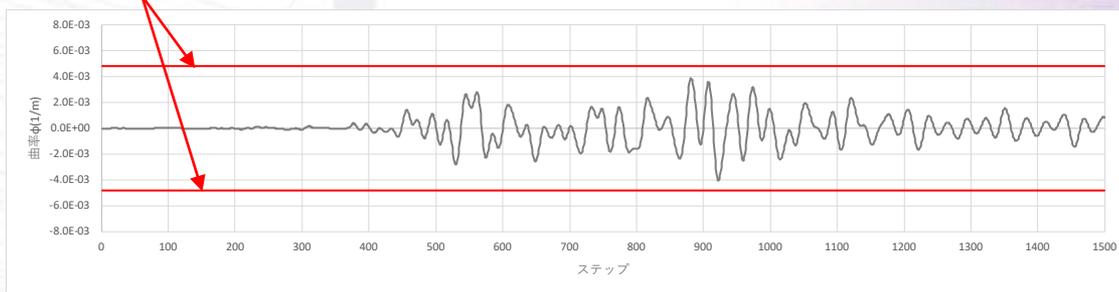


柱基部の結果

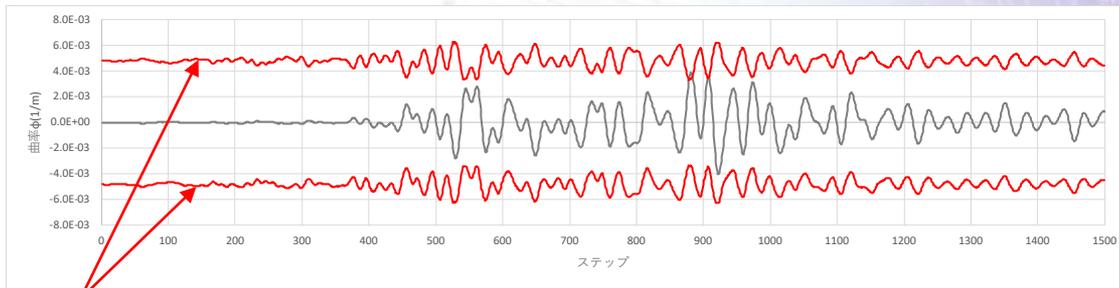


軸力の時刻歴結果

許容曲率 ϕ_a が一定



軸力変動を無視した曲率照査



許容曲率 ϕ_a が変動

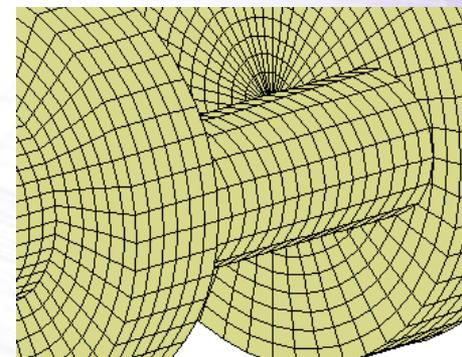
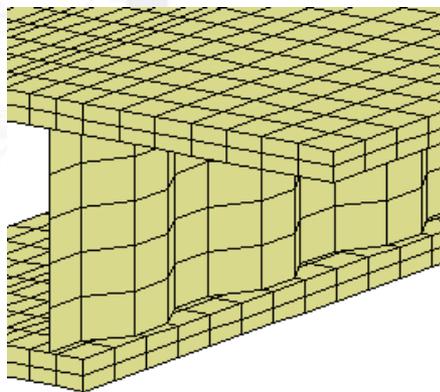
軸力変動を考慮した曲率照査

3次元有限要素法解析システム
FEMLEEG

- ▶ 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総合有限要素法システム

▶ 解析機能

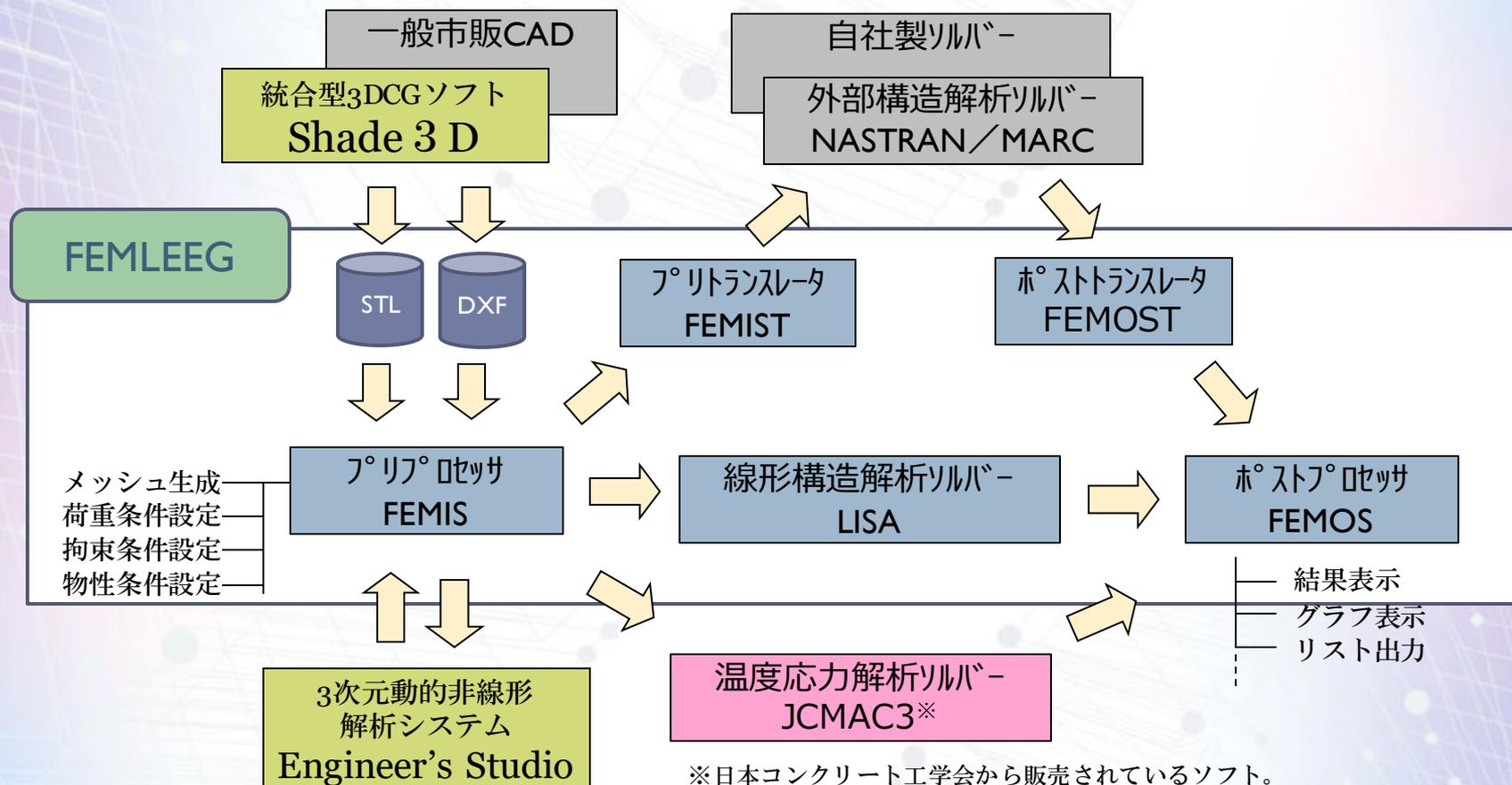
- ▶ 静的弾性解析
- ▶ 固有振動解析(フリーボディ解析機能)
- ▶ 応答スペクトル解析(最大応答解析)
- ▶ 時刻歴応答解析
- ▶ 座屈解析
- ▶ 定常熱伝導解析
- ▶ 非定常熱伝導解析
- ▶ 伝熱・熱応力連動解析
- ▶ No Tension解析
- ▶ CAP(Cut and Paste)解析



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



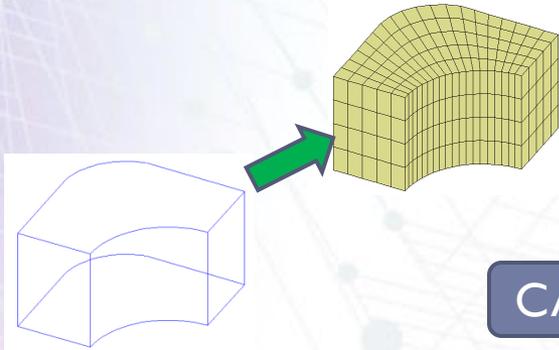
※日本コンクリート工学会から販売されているソフト。
プリ・ポストにFEMIS・FEMOSが採用されています。

要素ライブラリ

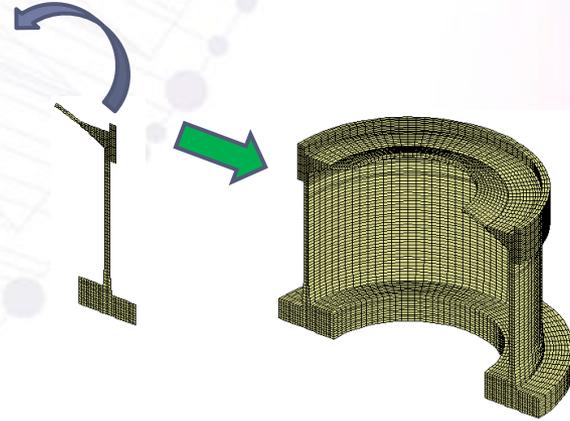
次元	要素タイプ	自由度	材料定数	断面/板厚	出力成分
1	トラス	u, v, w	弾性係数、 ρ アソ比 (質量密度)	断面定数 (断面積)	部材力 (軸力、軸応力、歪)
	埋込鉄筋	u, v, w	"	"	"
	ビーム	$u, v, w, \theta_x, \theta_y, \theta_z$	"	断面定数	部材力 (軸力、モーメント、せん断力)
	スプリング	u, v, w	-	バネ定数	バネ力
	リンク	u, v, w	-	バネ定数	リンク反力
2	平面応力	v, w	弾性係数、 ρ アソ比 (質量密度)	板厚	応力 ($\sigma_y, \sigma_z, \tau_{yz}$)、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

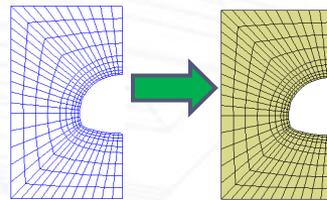
写像法



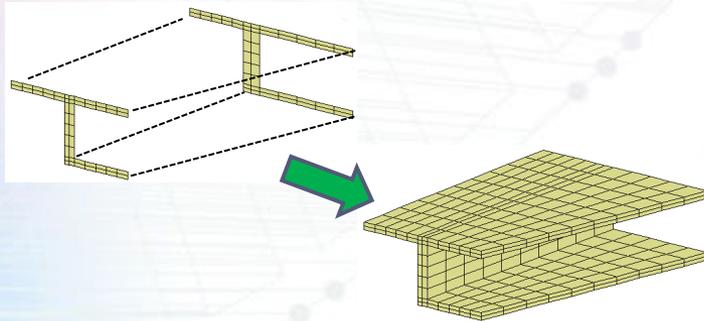
移動法



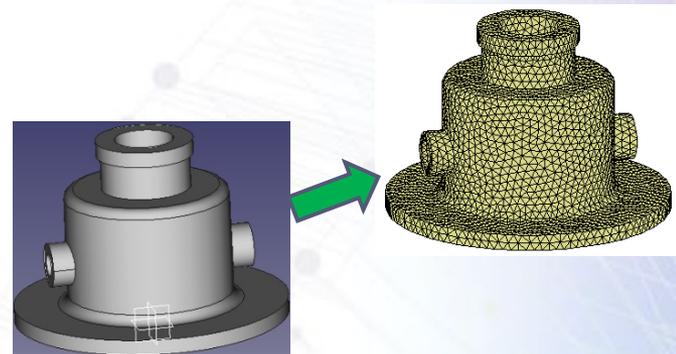
CADスケッチ



結合法

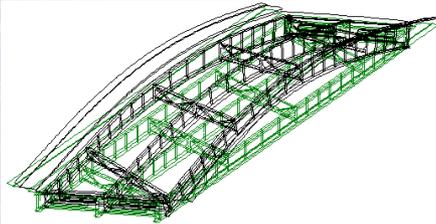


自動分割

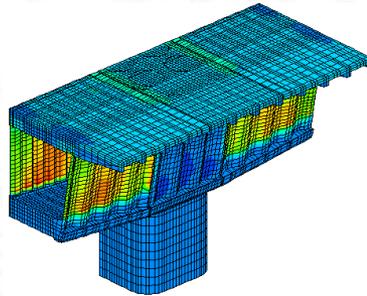


結果出力機能

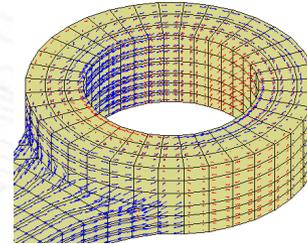
モード図



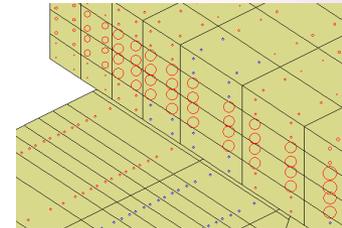
コンター図



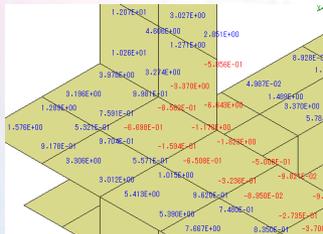
ベクトル図



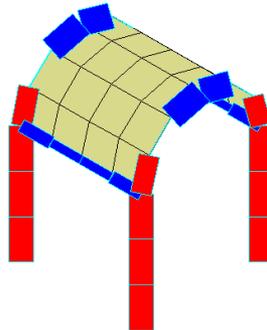
サークル図



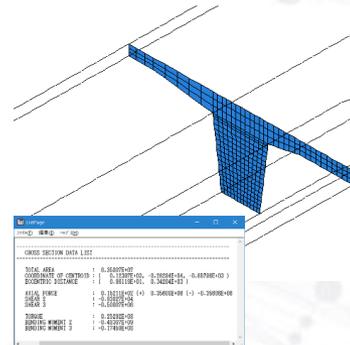
数値図



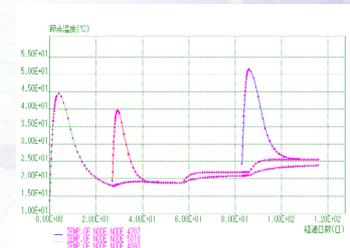
部材力図



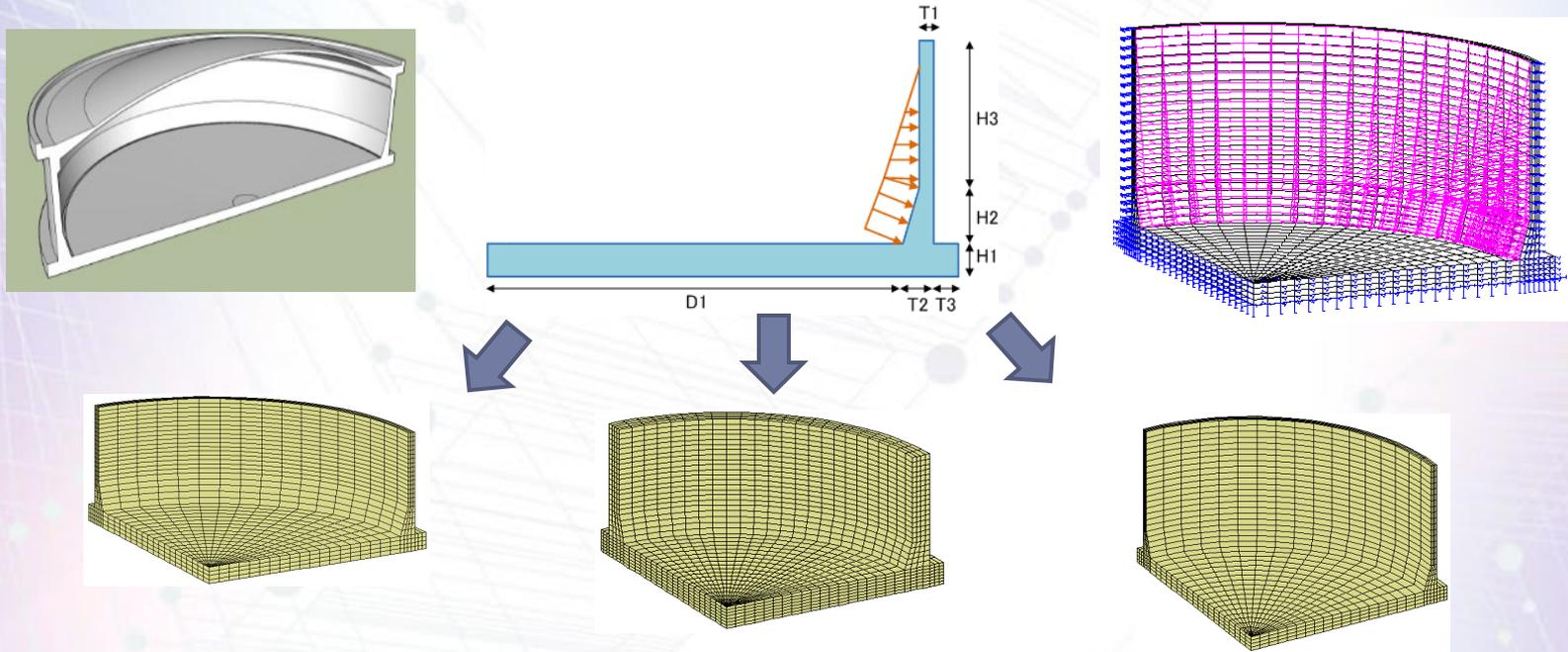
切断面断面力



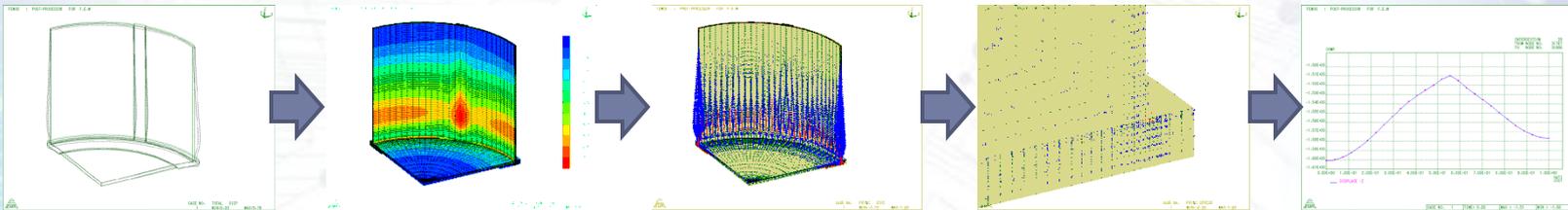
グラフ図



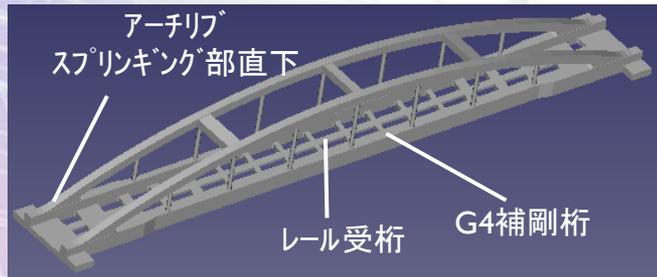
▶ パラメトリックな解析モデル生成



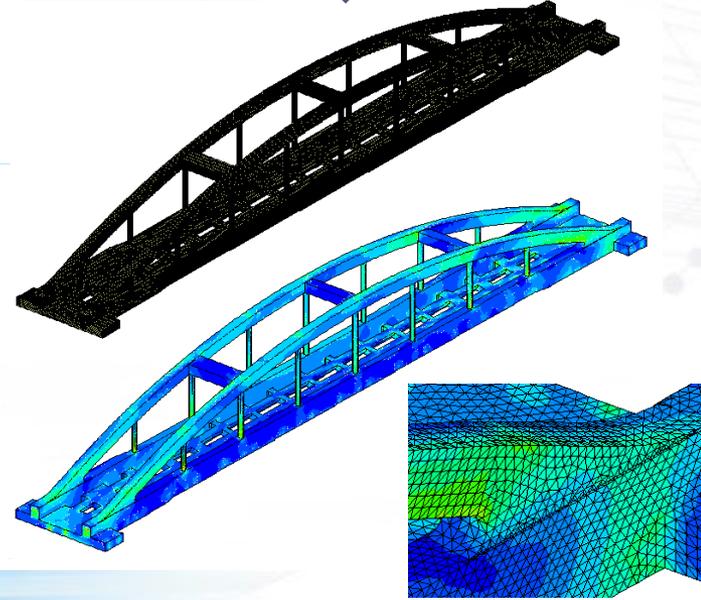
▶ バッチ実行による自動出図



東日本旅客鉄道様のJRE-BIM推進の取り組み



STLからの
オートメッシュ



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 反力	3次元 骨組解析	FEM解析
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	下縁
鉛直変位	-7.5	-7.5

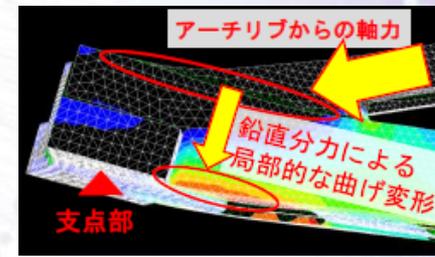
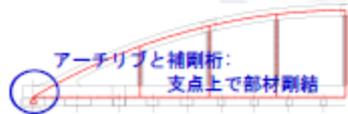
(単位: mm)

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	4.4
計	-1.1	-3.4	-4.4	-0.1

符号(+):引張 (単位:N/mm²)

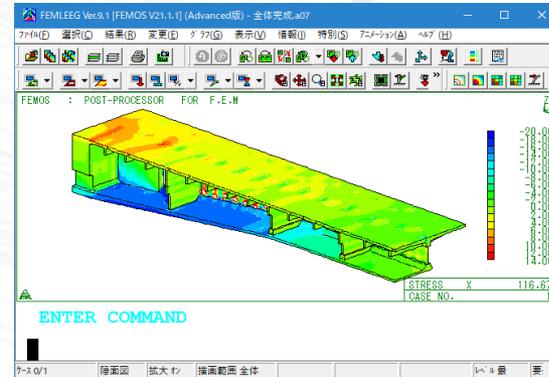
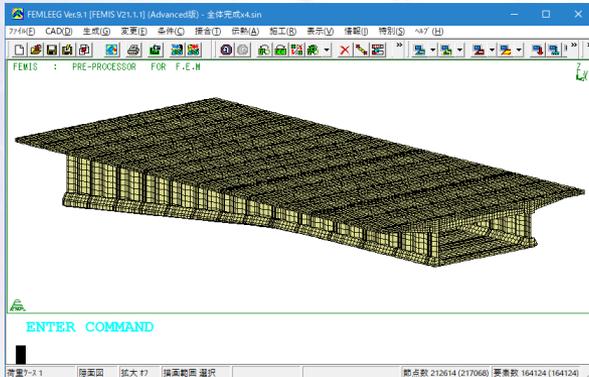
アーチリブスプリング部直下の
縁応力度に差が生じる原因



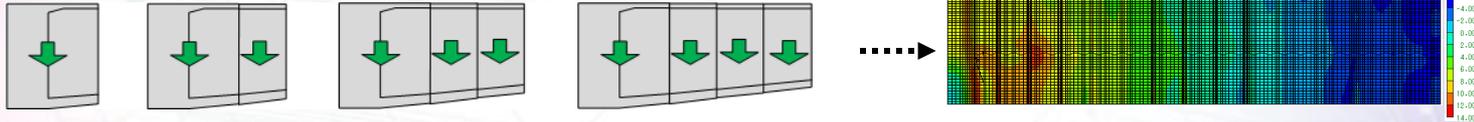
高島いぶき、山本達也、竹谷勉: BIMモデルから自動生成したFEM解析モデルによるPRCランガー桁の解析的検討、2019年度 土木学会全国大会投稿論文より

事例 架設ステップを考慮した施工解析

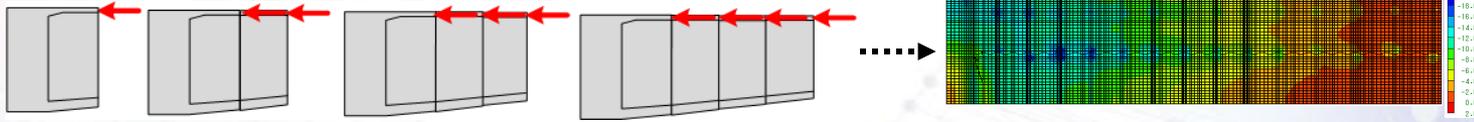
- ▶ 張出床版先端部および中間床版支間中央部へのシアラグに対する補強PC鋼材の追加検討



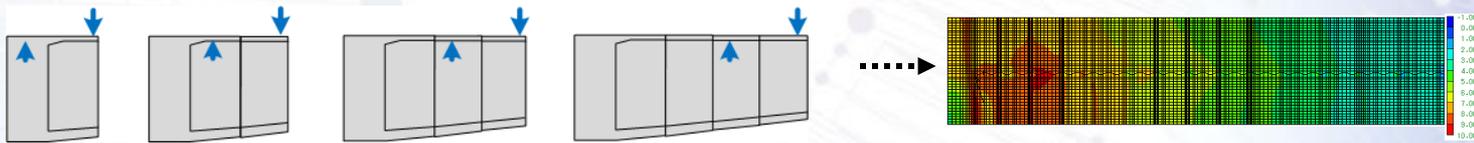
自重



プレストレス



ワーゲン荷重



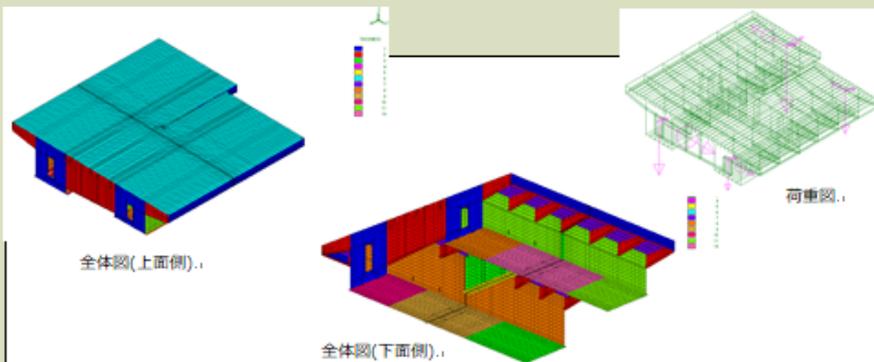
鋼床版箱桁橋分岐部における局部応力解析

—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。



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

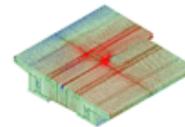
- ・下部工支点上の前後、平均中間横桁及び中間ダイヤフラム位置までを作成範囲とした。
- ・荷重は主桁断面圆心位置に仮想節点を設け、フレーム解析結果の断面力を与えた。
- ・メッシュ分割は分岐部及びデッキプレートの横桁腹板面上を密にし、徐々に粗くして粗密を付けた。

検討結果

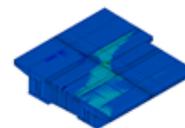
最大主応力コンタ図-全体



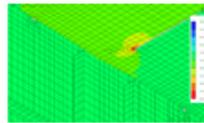
最大主応力ベクトル図



面外せん断応力コンタ図



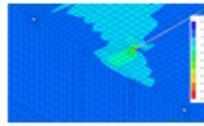
最大主応力コンタ図-分岐部



最大主応力ベクトル図-分岐部



面外せん断応力コンタ図-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

考察

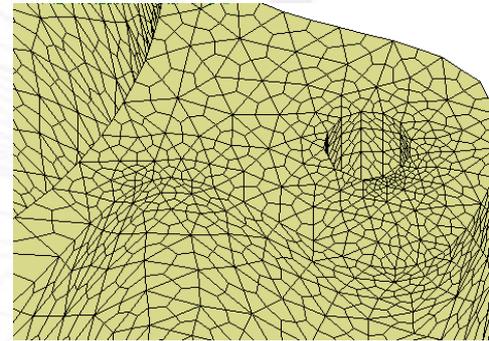
【①常時】：発生応力度<許容応力度

【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。

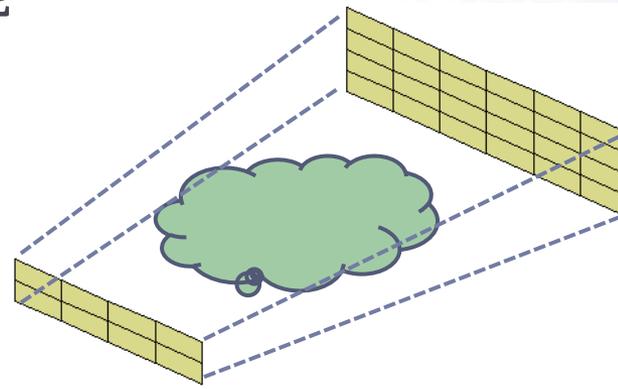
【まとめ】

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組合せたモデル化なども検討の余地がある。

- ▶ Version 10
 - ▶ プリ・ポストシステムの64ビット化
 - ▶ 簡易6面体オートメッシュ機能



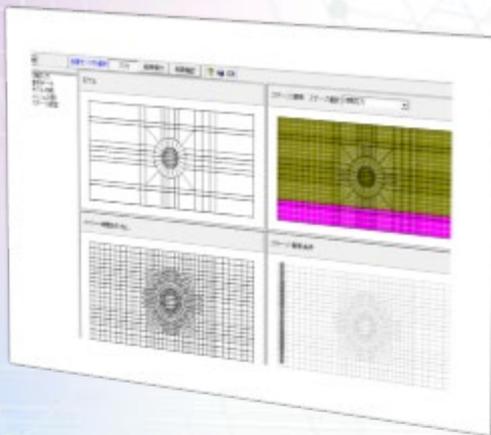
- ▶ Version 11
 - ▶ トランジッションメッシュ機能



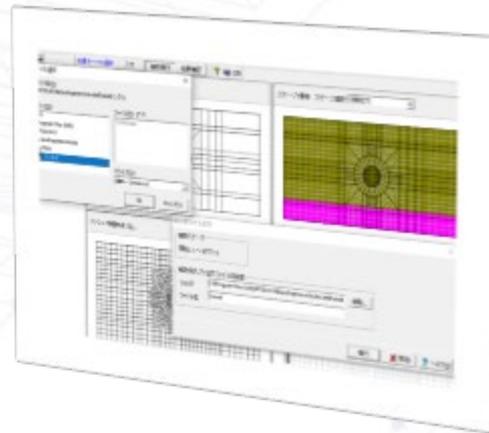
2次元弾塑性地盤解析システム Geo Engineer's Studio

製品概要

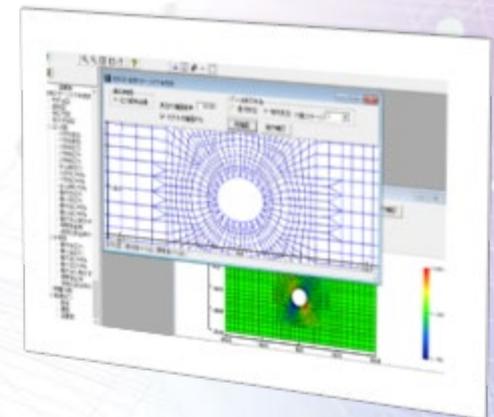
- ▶ 土留め、トンネル、液状化等の地盤に連動した土木構造物において弾塑性地盤解析が可能な汎用FEM解析プログラム
- ▶ 平面ひずみ問題、軸対称問題および液状化解析など、設計指針ならびに耐震照査指針等に準拠して実務で必要とされる変形解析が可能
- ▶ 静的な条件下での地盤の応力～変形解析を行うことが可能
- ▶ モデル作成や解析ステージの設定を行うプリプロセッサ、解析処理を行うプロセッサ、図や数値の可視化の結果処理を行うポストプロセッサの3部構成、それぞれ単独起動も可能



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

- ▶ 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

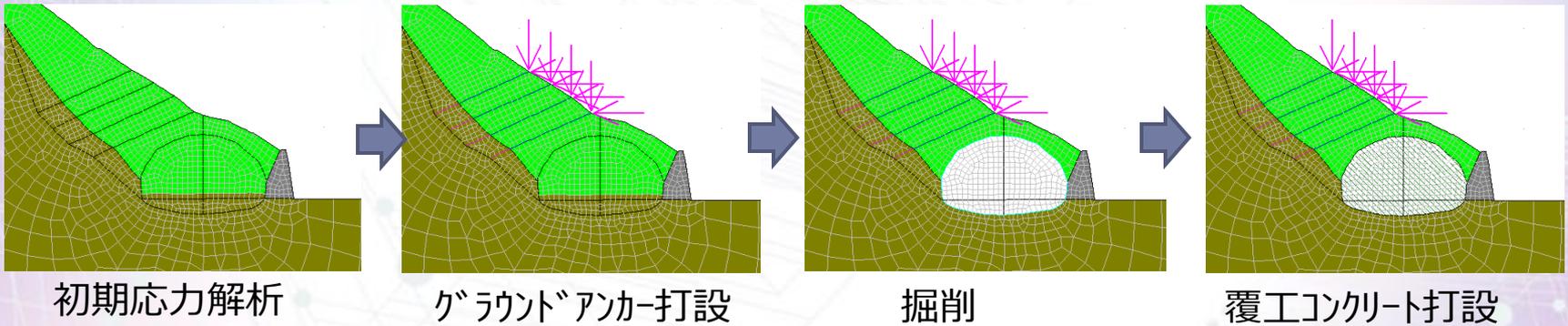
- ▶ 節点自由度拘束(水平ローラ、鉛直ローラ、固定、ピン、強制変位)
- ▶ バネ支点

- ▶ 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

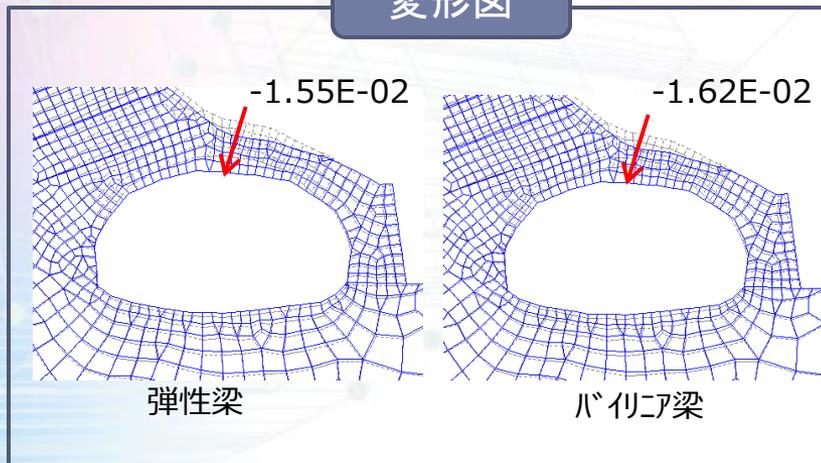
- ▶ 弾塑性解析への対応
 - ▶ バイリニア棒要素およびバイリニア梁要素の追加
 - ▶ モール・クーロン構成則の追加
- ▶ 液状化解析（H19/H28河川構造物耐震性能照査指針）への対応

弾塑性解析への対応

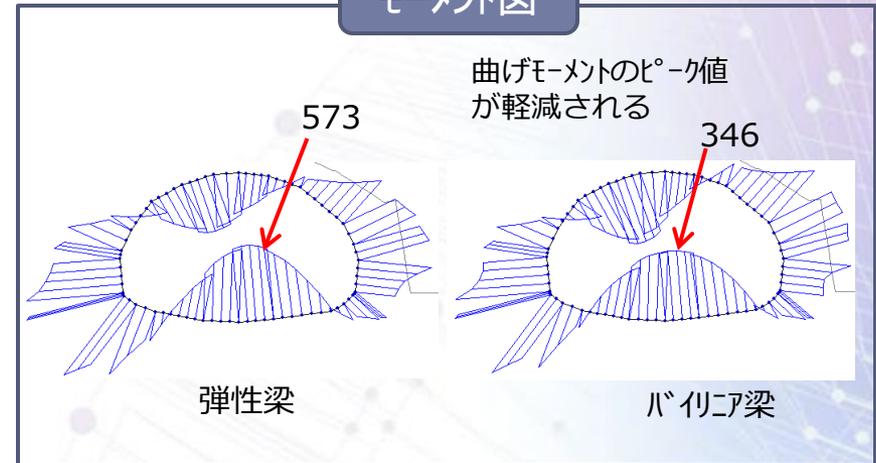
- ▶ トンネル坑口におけるグラウンドアンカー工
 - ▶ 覆工コンクリートをバイリニア梁でモデル化



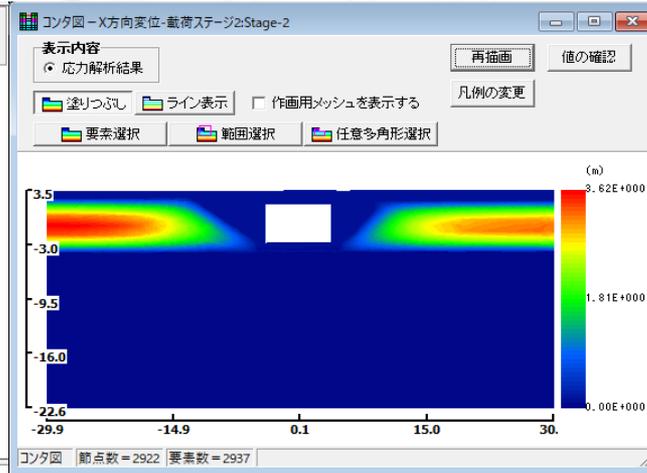
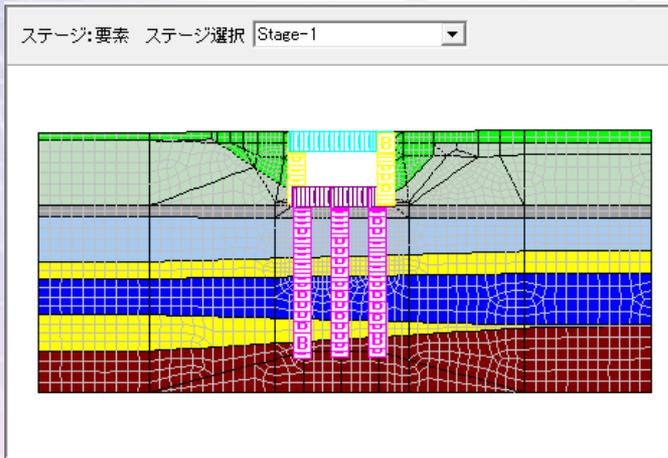
変形図



モーメント図



▶ 応答震度法による地中構造物の解析

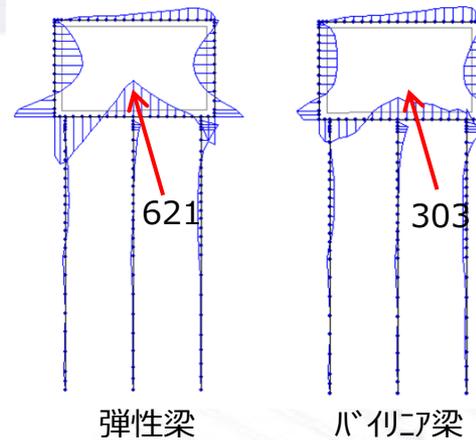


要素の数値出力-載荷ステージ2:Stage-2

表示方法
 応力解析結果
 範囲選択 任意多角形選択

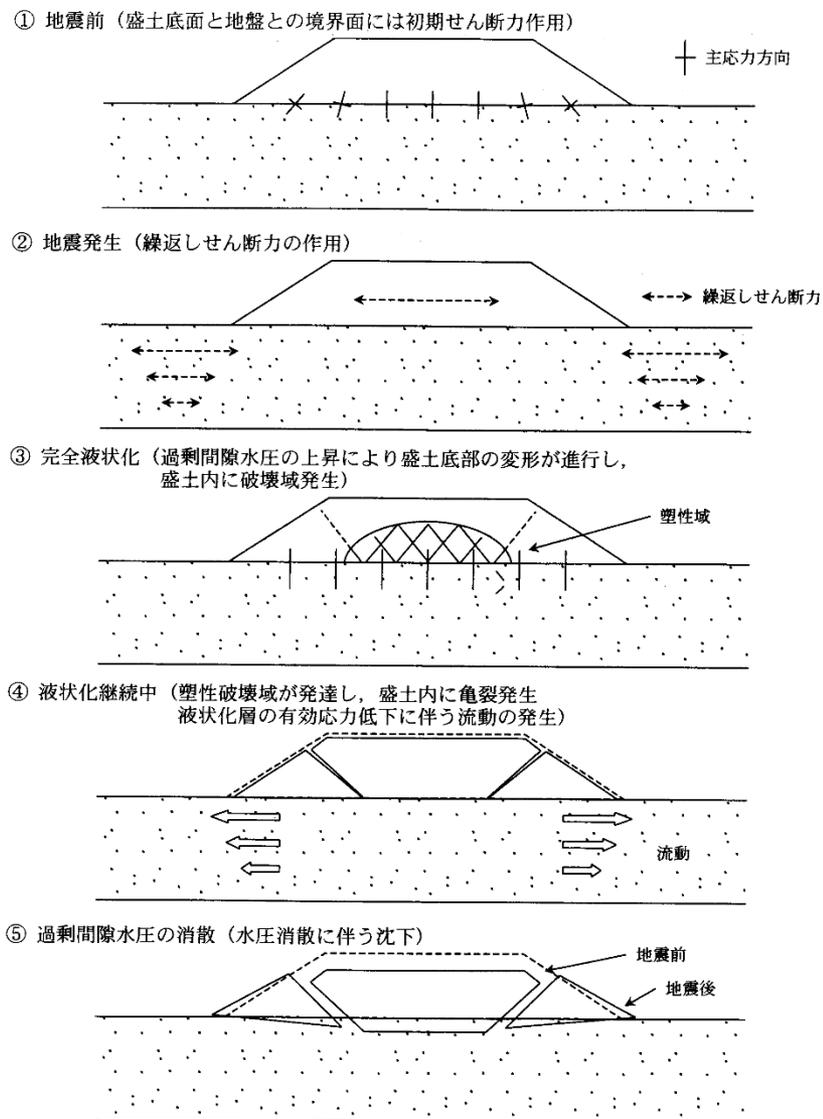
データ表示方法
 絶対ひずみ 相対ひずみ 対象ステージ | 1 |
 表示形式
 テキスト HTML クリア 保存

要素番号	ガウス点番号	要素の種類	X座標(m)	Y座標(m)	主応力の1	主応力の2	主ひずみε1	主ひずみε2	応力のx	応力のy
889	2	4節点四角形要素	-5.82859	-0.00219	1.0356E+03	-2.2474E+00	3.1383E-02	-5.1981E-02	8.4544E+02	2.2
889	3	4節点四角形要素	-5.77378	-1.10790	1.1536E+03	6.8327E+01	3.2322E-02	-2.1083E-02	8.2234E+02	2.2
889	4	4節点四角形要素	-5.59883	-1.20553	1.1795E+03	1.1876E+02	3.2046E-02	-2.0094E-02	8.1999E+02	3.2
889	4	4節点四角形要素	-5.47807	-1.08888	1.0795E+03	4.8865E+01	3.1388E-02	-3.0189E-02	8.8781E+02	2.2
870	2	4節点四角形要素	-5.25251	-1.23151	1.0856E+03	1.0417E+02	2.9892E-02	-1.8192E-02	8.2239E+02	3.2
870	3	4節点四角形要素	-5.40900	-1.14600	1.0649E+03	6.2705E+01	3.0977E-02	-1.8435E-02	8.2041E+02	3.2
870	3	4節点四角形要素	-5.47780	-1.38808	1.1544E+03	1.1988E+02	3.2232E-02	-1.8489E-02	8.0657E+02	3.2
870	4	4節点四角形要素	-5.32285	-1.40900	1.1756E+03	1.6575E+02	3.1939E-02	-1.8489E-02	8.3990E+02	4.2
903	1	4節点四角形要素	-5.15587	-1.34872	1.0380E+03	8.7987E+01	2.8981E-02	-1.8122E-02	7.4118E+02	3.2
903	2	4節点四角形要素	-5.19353	-1.82772	1.1535E+03	1.0991E+02	3.1552E-02	-1.8289E-02	7.5244E+02	4.2
903	3	4節点四角形要素	-5.01881	-1.82760	1.2124E+03	2.1886E+02	3.1870E-02	-1.7858E-02	8.6882E+02	5.2
903	4	4節点四角形要素	-5.00511	-1.38676	1.1575E+03	2.2911E+02	3.0201E-02	-1.8385E-02	8.4354E+02	5.2
904	1	4節点四角形要素	-4.78942	-1.39812	2.4395E+03	-4.9414E+02	1.0599E-04	-6.9523E-05	3.9725E+02	1.2
904	2	4節点四角形要素	-4.80871	-1.37632	3.1488E+03	-6.6396E+01	1.2159E-04	-9.2779E-05	5.0822E+02	2.2
904	3	4節点四角形要素	-4.30068	-1.85500	2.8515E+03	6.3915E+02	1.0144E-04	-8.0127E-06	1.0303E+03	2.2
904	4	4節点四角形要素	-4.78833	-1.89933	2.2948E+03	4.6216E+02	1.3875E-05	-4.2811E-06	8.7884E+02	1.2
908	1	4節点四角形要素	-5.19371	-1.87448	3.8575E+02	2.9058E+01	2.7970E-02	-1.7325E-02	7.2801E+02	3.2
908	2	4節点四角形要素	-5.08860	-1.17630	1.1855E+03	2.6457E+02	2.8895E-02	-1.4784E-02	8.5880E+02	5.2
908	3	4節点四角形要素	-5.02984	-0.32286	1.1575E+03	3.4208E+02	2.7897E-02	-1.2889E-02	8.0991E+02	5.2
908	4	4節点四角形要素	-5.24737	-1.00311	1.0814E+03	2.3989E+02	2.7245E-02	-1.4501E-02	8.3070E+02	4.2
909	1	4節点四角形要素	-4.78857	-1.18244	3.1998E+03	7.8924E+02	1.1184E-04	-4.5217E-07	8.0754E+02	3.2
909	2	4節点四角形要素	-4.78937	-0.80173	3.8542E+03	-2.1045E+02	1.2584E-04	-8.6304E-05	2.8592E+02	2.2
909	3	4節点四角形要素	-4.86882	-0.89868	4.7098E+03	2.8998E+02	1.7893E-04	-3.8197E-05	6.3751E+02	4.2
909	4	4節点四角形要素	-4.89974	-1.17251	4.4422E+03	1.1088E+03	1.5344E-04	-1.9199E-06	1.0252E+03	4.2
879	1	4節点四角形要素	-4.70157	-1.38868	2.7554E+03	-3.1855E+02	1.1479E-04	-8.1573E-05	5.0880E+02	1.2
879	2	4節点四角形要素	-4.70148	-1.67948	2.4209E+03	1.6386E+02	1.4619E-05	-2.8543E-05	8.4020E+02	1.2
879	3	4節点四角形要素	-4.89254	-1.82872	2.8995E+03	-5.7978E+02	6.8292E-05	-4.2264E-05	8.7719E+02	6.2
879	4	4節点四角形要素	-4.58256	-1.40890	2.4182E+03	-1.3279E+03	1.0564E-04	-7.4192E-05	3.4871E+02	7.2
881	1	4節点四角形要素	-4.37744	-1.42861	1.2701E+03	-1.5176E+03	6.9039E-05	-7.0409E-05	7.2098E+00	2.2
881	2	4節点四角形要素	-4.45571	-1.41897	1.0898E+03	-1.1890E+03	3.1918E-05	-6.1183E-05	1.1855E+02	3.2
881	3	4節点四角形要素	-4.45569	-1.70281	1.0356E+03	-8.0044E+02	4.7510E-05	-4.0917E-05	3.2244E+01	2.2
881	4	4節点四角形要素	-4.37734	-1.17120	6.8895E+02	-1.1247E+03	3.7814E-05	-4.8992E-05	1.5843E+02	2.2
885	1	4節点四角形要素	-4.70171	-1.18868	2.4209E+03	7.2137E+02	6.6320E-05	-4.8893E-06	8.0008E+02	3.2
885	2	4節点四角形要素	-4.82380	-1.32000	1.3000E+03	1.0300E+03	5.6300E-05	-2.4520E-05	8.1105E+02	1.2
885	3	4節点四角形要素	-4.58288	-0.91572	2.2888E+03	-1.1429E+03	9.8789E-05	-6.5840E-05	1.7841E+02	3.2
885	4	4節点四角形要素	-4.70201	-0.80770	3.8920E+03	-4.5597E+02	1.2322E-04	-8.7574E-05	4.0375E+02	2.2
885	1	4節点四角形要素	-4.37758	-1.21765	2.2880E+02	-1.1726E+03	1.8844E-05	-4.7178E-05	1.8004E+02	1.2



液状化解析への対応

液状化による地盤の地震時挙動の概念図



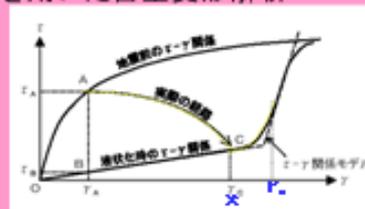
静的全応力解析による手法

(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、下に凸なパイリニアモデルを用いた自重変形解析

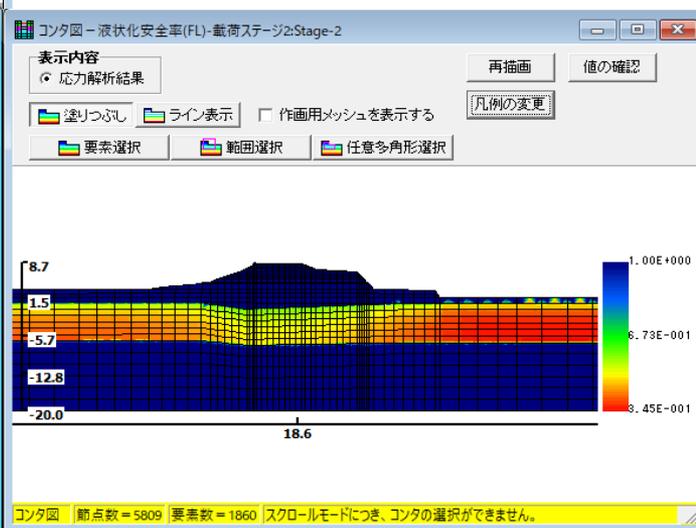
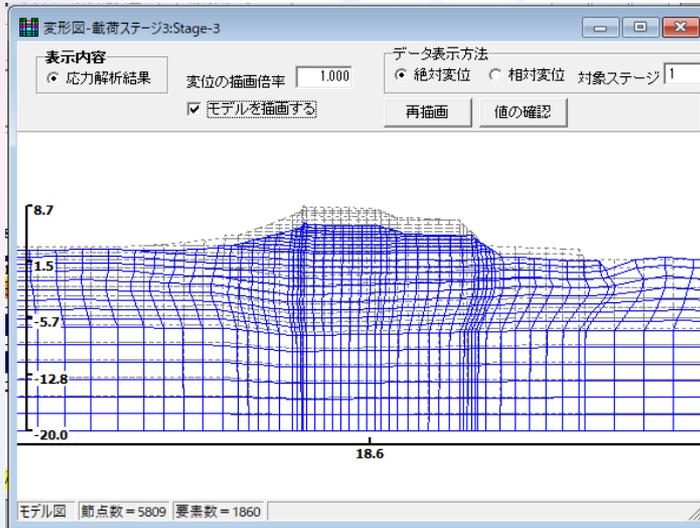
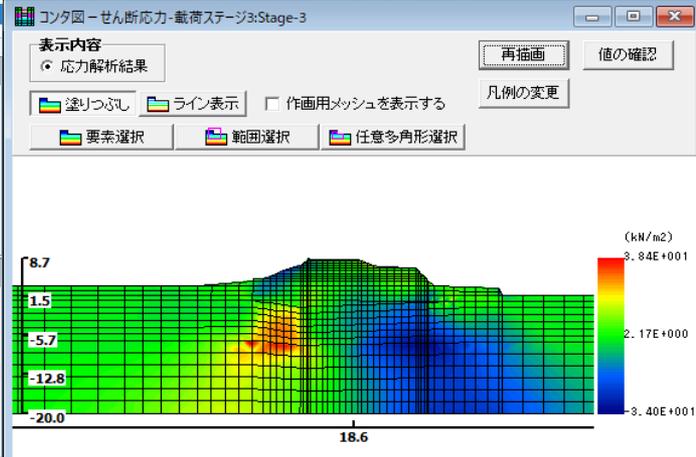
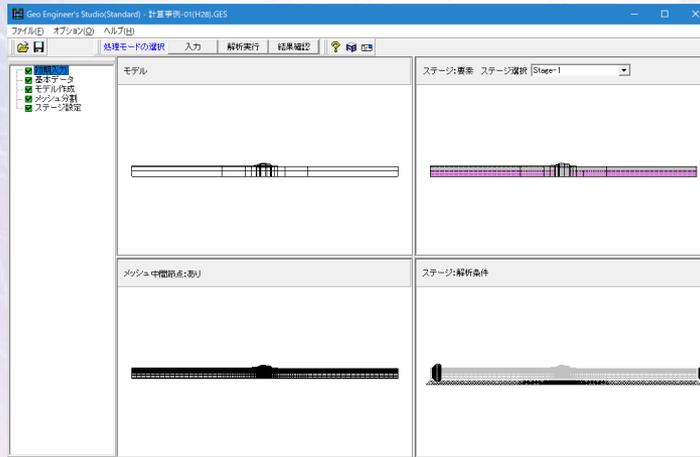


(3) 液状化層の体積圧縮変位量の解析

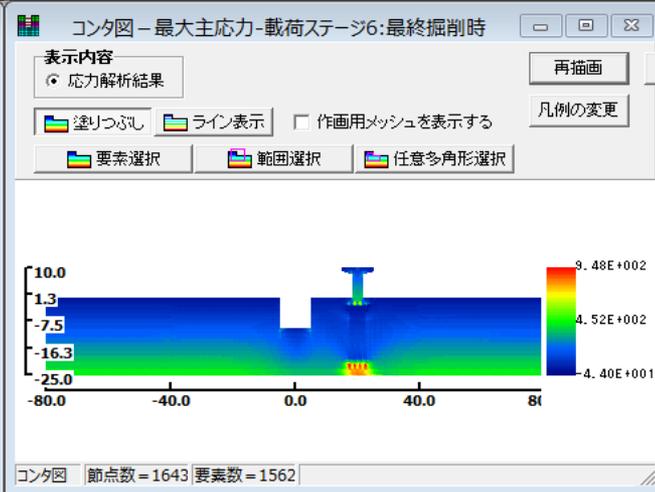
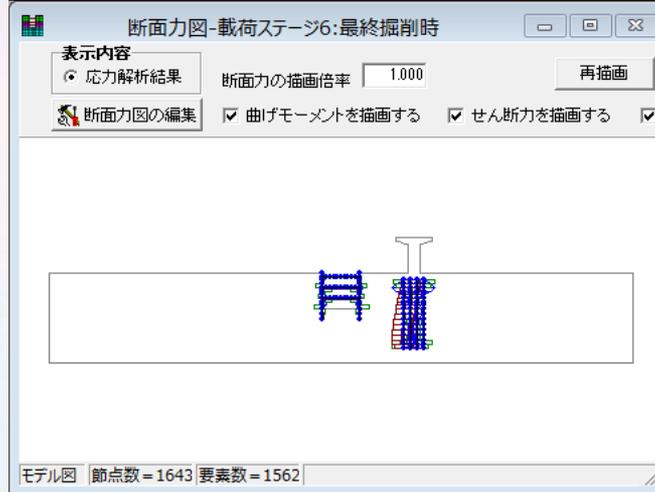
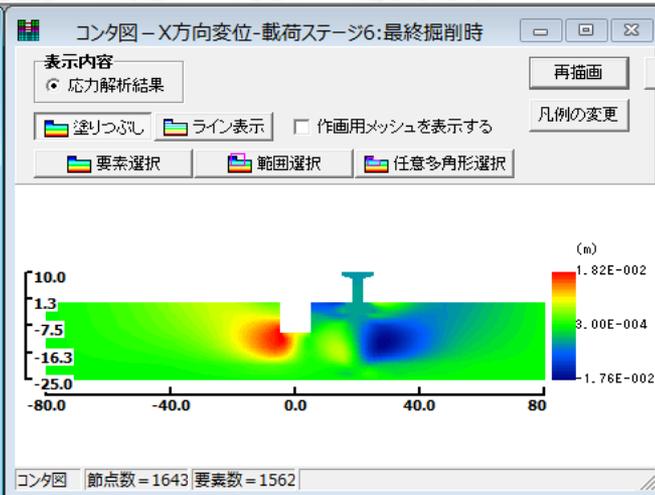
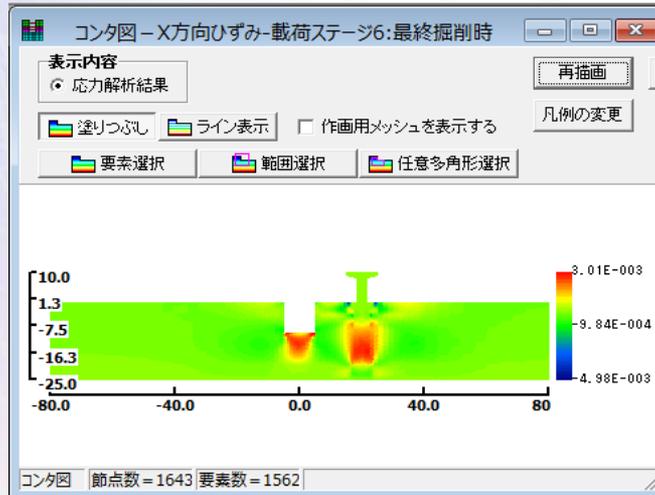
- ・換算N値とFLより求めた圧縮体積ひずみを算出。これに相当する等価節点荷重を与え、体積圧縮に伴う沈下量を計算。

$$(2)-(1)+(3)=\text{合計変位量}$$

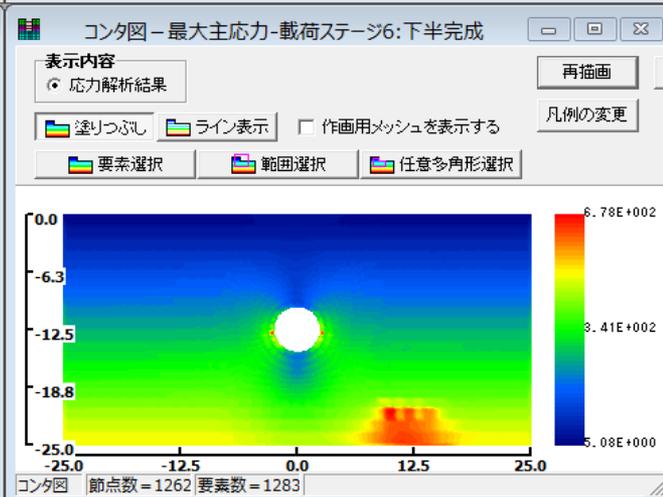
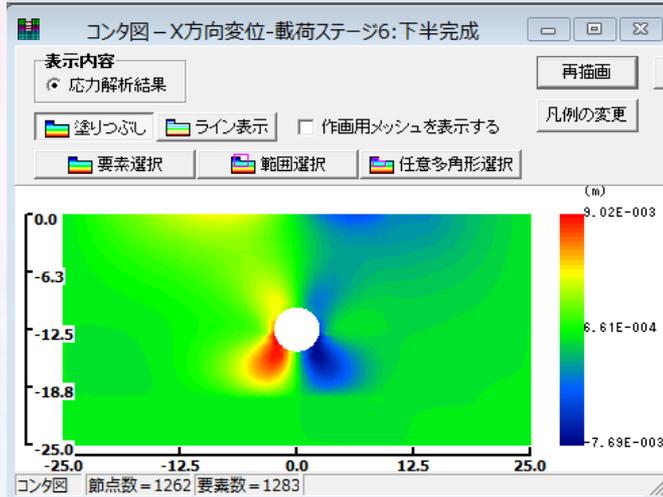
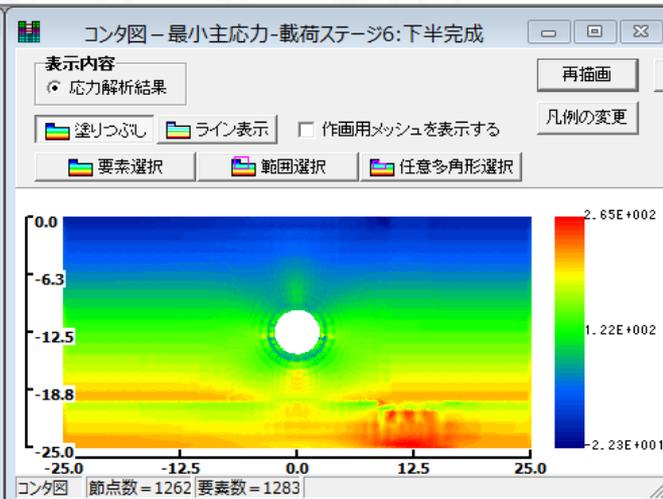
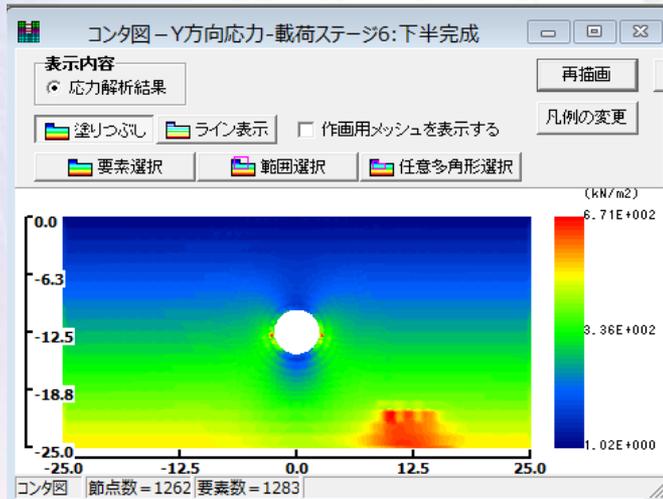
液状化解析への対応



事例 土留め掘削解析



事例 トンネル掘削解析



今後の予定

- ▶ Version2. 1
 - ▶ Ramberg-Osgoodモデルの導入
- ▶ Version3. 0
 - ▶ 圧密連成解析への対応

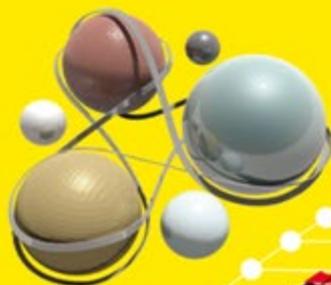
ご清聴ありがとうございました。

13th

FORUM8 DESIGN FESTIVAL 2019

3DAYS+ EVE

All about FORUM8 & Products.



AUTONOMOUS DRIVING

NATIONAL RESILIENCE

CAD / DESIGN / CLOUD

3DVR SIMULATION

BIM / CIM & VR

FEM ANALYSIS