

15th

AUTONOMOUS DRIVING

NATIONAL RESILIENCE

CAD / DESIGN / CLOUD

3DVR SIMULATION

BIM / CIM & VR

FEM ANALYSIS

FORUM8 DESIGN FESTIVAL 2021

3DAYS+ EVE

All about FORUM8 & Products.



■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

FORUM8 Solution

先進の技術、最高水準のソリューションを集めた統合的なシステムを
4つの側面から提案
FEMソリューションは様々な製品を用いたサービスを提供します

VRデータサービス

Shade3D
オールインワンの3DCGソフトウェア

3DVRエンジニアリングサービス

システムインテグレーター

ES/F3D/地盤

CG / VR
Simulation

UC-win/Road

3Dリアルタイム・バーチャルリアリティ

Suite
CHIDORI
Engine

クロスプラットフォームゲームエンジン

カスタマイズ開発

**Engineer's
Studio**

動的非線形解析
先進の3次元デザインソリューション!

FEM
Analysis

解析支援サービス

建設コンサルタント

組込開発サービス

UC-1 Since 1981
実績が裏付ける高い信頼性と
確かな技術最高水準の
設計・CADシステム!

DESIGN
BIM・CIM・CAD

スイートシリーズ

スイートデータ消去 / スイート会計

UC-1 Engineer's Suite

クラウド対応、CIM機能強化したUC-1シリーズ スイート版

ウルトラマイクロデータセンター®

VR-CLOUD

3D・VRのクラウドソリューション
スパコン活用のサービスも展開!

スパコンクラウド®

WEB
Cloud

UC-1 Cloud

F8VPS
FORUM8 バーチャル
プラットフォームシステム

FORUM8 Solution

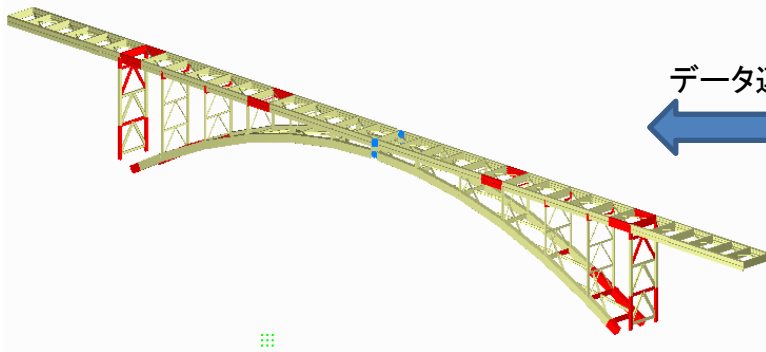
●各製品が密接に関わりあってサービスを展開



FORUM8 FEM解析シリーズ

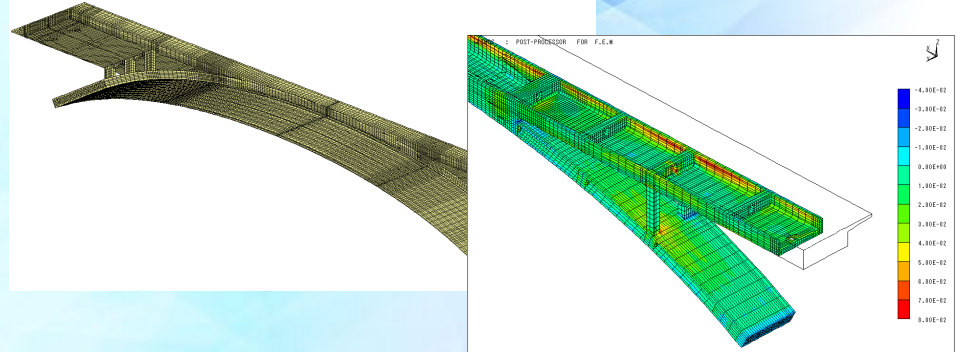
Engineer's Studio®

3次元積層プレート・ケーブル・動的非線形解析



FEMLEEG

総合有限要素法解析システム

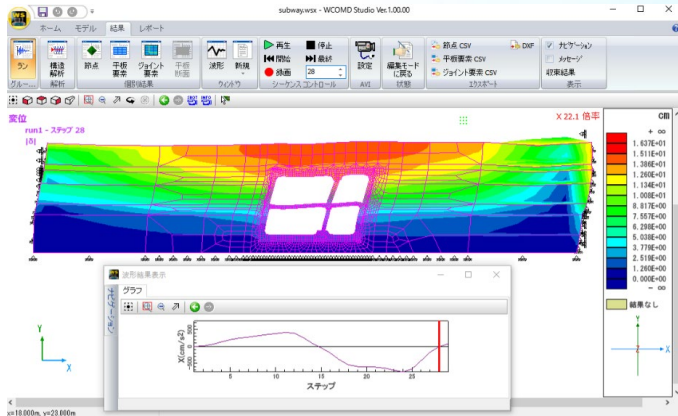


データ連携



WCOMD Studio

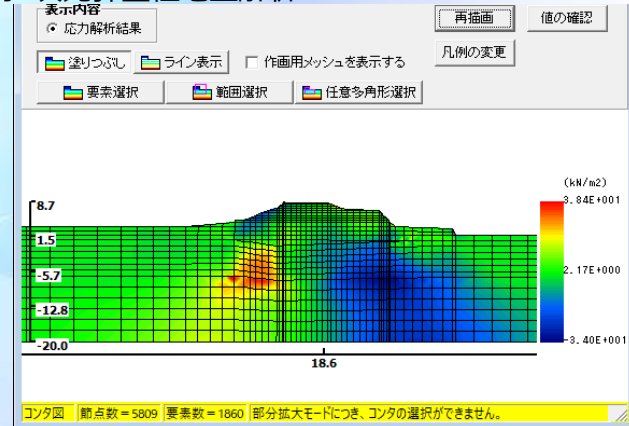
RC構造2次元動的非線形解析



地盤FEM

Geo Engineer's Studio

静的2次元弾塑性地盤解析



「解析事例①」
橋梁

橋梁

・コンクリート橋

フレーム解析



3DFEM解析

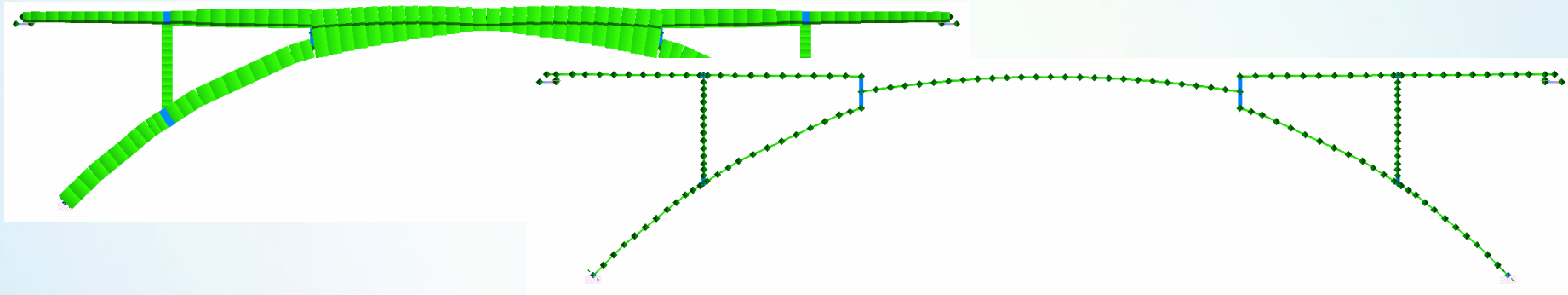
Engineer's Studio®

非線形梁要素

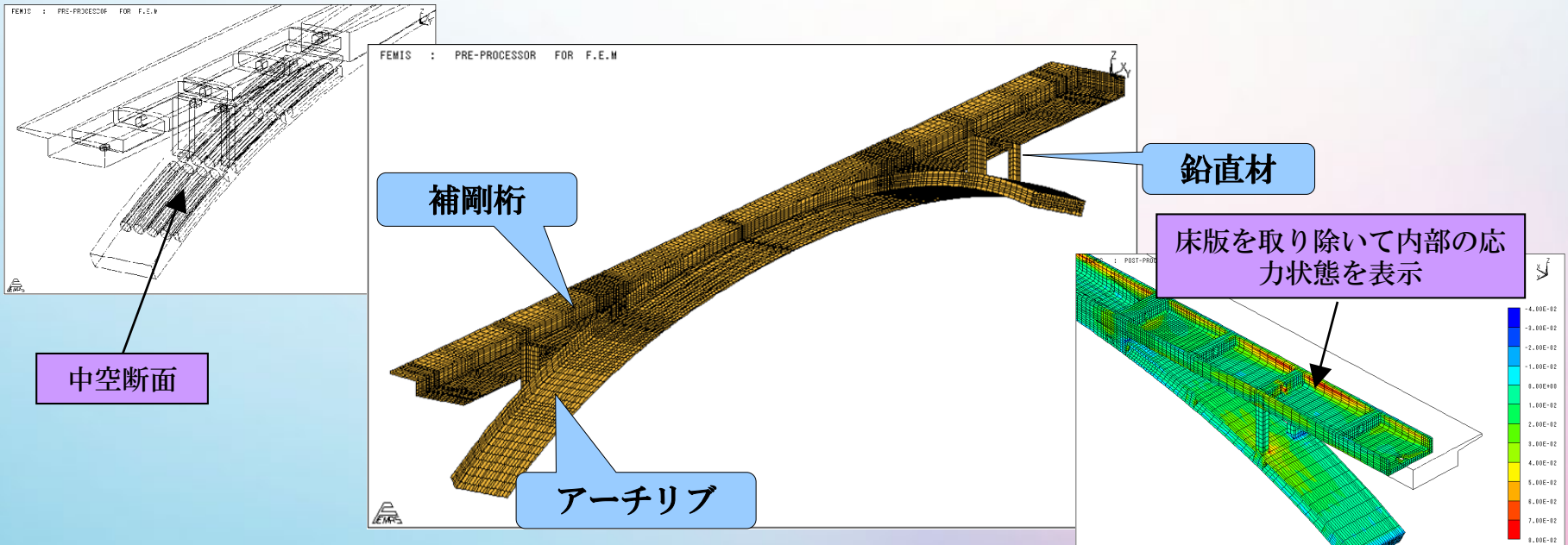
FEMLEEG

3Dソリッド要素

Engineer's Studio® 非線形梁要素によるフレーム解析を実施 (立体骨組み)



FEMLEEG 3次元ソリッド要素を使用した解析を実施



**「解析事例②」
橋梁-上部工**

- ・ **非合成鈹桁橋**

格子解析結果とFEM解析結果の比較
主桁応力度の低減

格子解析

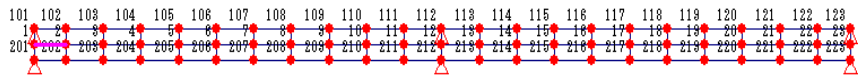
UC-1
任意形格子桁の計算



3DFEM解析

FEMLEEG
プレートシェル要素
3Dソリッド要素

UC-1 任意形格子桁の計算



格子解析での計算例 主桁応力度、断面力、変位

影響線図(主桁) | 影響線図(横断面) | 数値確認

≪曲げモーメント 着目部材 7 - 6≫

格点番号	影響値	格点番号	影響値	格点番号	影響値
1	0.00000	2	1.56853	3	3.47254
4	5.45432	5	7.54868	6	9.79026
7	12.21741	8	9.16920	9	6.37941
10	3.88488	11	1.74289	12	0.00000
13	-1.33016	14	-2.26111	15	-2.83928
16	-3.12196	17	-3.14587	18	-2.94670
19	-2.56147	20	-2.02844	21	-1.38217
22	-0.65729	23	0.00000	101	0.00000
102	1.56853	103	3.47254	104	5.45432
105	7.54868	106	9.79026	107	12.21741
108	9.16920	109	6.37941	110	3.88488
111	1.74289	112	0.00000	113	-1.33016
114	-2.26111	115	-2.83928	116	-3.12196
117	-3.14587	118	-2.94670	119	-2.56147
120	-2.02844	121	-1.38217	122	-0.65729
123	0.00000	124	0.00000	125	0.00000
203	3.47254	204	5.45432	205	7.54868
206	9.79026	207	12.21741	208	9.16920
209	6.37941	210	3.88488	211	1.74289
212	0.00000	213	-1.33016	214	-2.26111
215	-2.83928	216	-3.12196	217	-2.94670
218	-2.94670	219	-2.56147	220	-2.02844
221	-1.38217	222	-0.65729	223	0.00000

結果確認 集計表

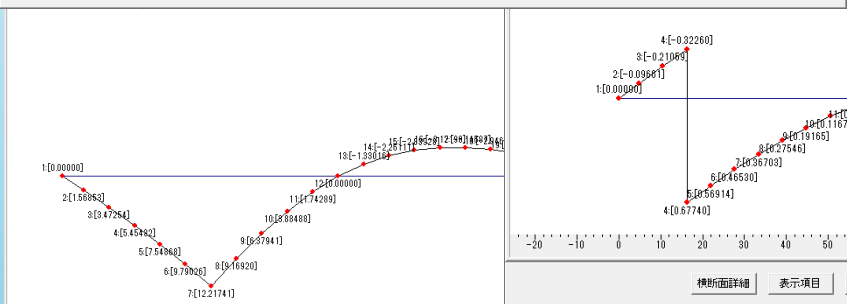
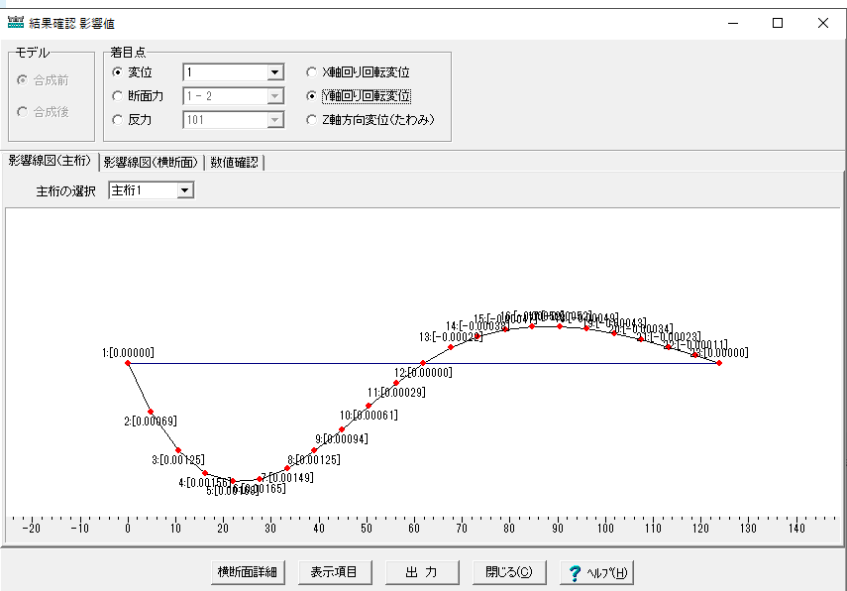
モデル: 合成前 合成後 | 着目点: 実位 断面力 反力 | M 曲げ S せん断 T ねじ | 主桁1 | 図形描画

≪集計表 曲げモーメント(kN.m) 主桁1≫

部材番号	1-2	2-1	2-3	3-2	3-4	4-3
死荷重合計	0.000	15440.285	15440.285	28218.165	28218.801	37983.860
雪荷重	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B活荷重 (L荷重) -最大	0.000	7785.307	7785.307	15012.735	15013.061	20047.434
(L荷重) -最小	0.000	-1052.524	-1052.524	-2306.052	-2306.103	-3559.658
合計 (L荷重時) -最大	0.000	23225.591	23225.591	44290.900	44291.862	58391.294
(L荷重時) -最小	0.000	14072.003	14072.003	26220.297	26220.868	33356.304
追加距離(m)	0.000	4.786	4.786	10.486	10.486	16.186

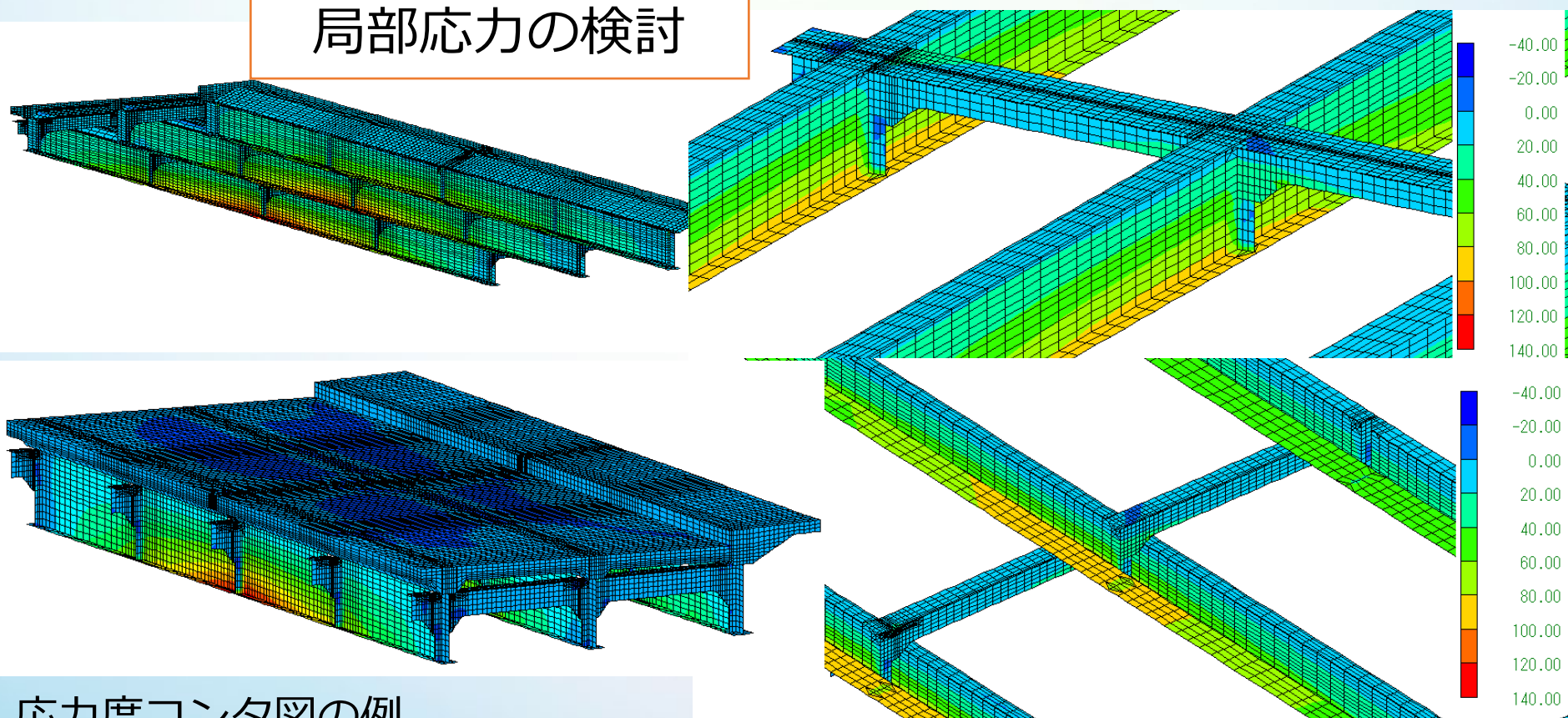
部材番号	4-5	5-4	5-6	6-5	6-7	7-6
死荷重合計	37984.856	41796.892	41796.892	40475.674	40475.674	34201.202
雪荷重	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B活荷重 (L荷重) -最大	20047.960	22933.949	22933.949	23731.403	23731.403	22511.401
(L荷重) -最小	-3559.752	-4813.340	-4813.340	-6066.929	-6066.929	-7320.517
合計 (L荷重時) -最大	58032.816	64670.841	64670.841	64207.077	64207.077	56718.630
(L荷重時) -最小	33357.179	35479.550	35479.550	32588.666	32588.666	24684.603
追加距離(m)	16.186	21.886	21.886	27.586	27.586	33.286

表示項目 出力 閉じる(⊗) ヘルプ(?)



FEMLEEG

局部応力の検討

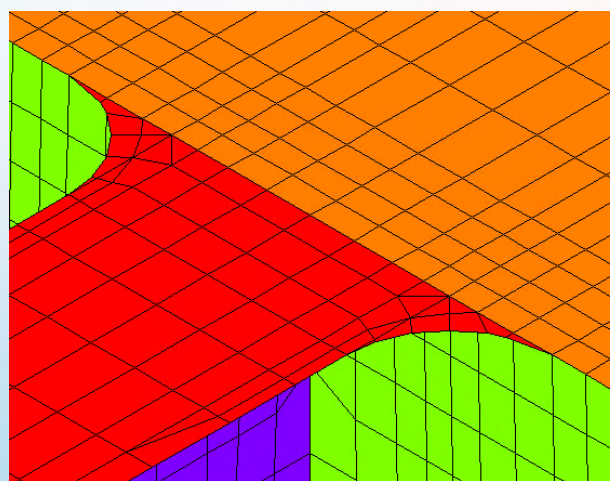
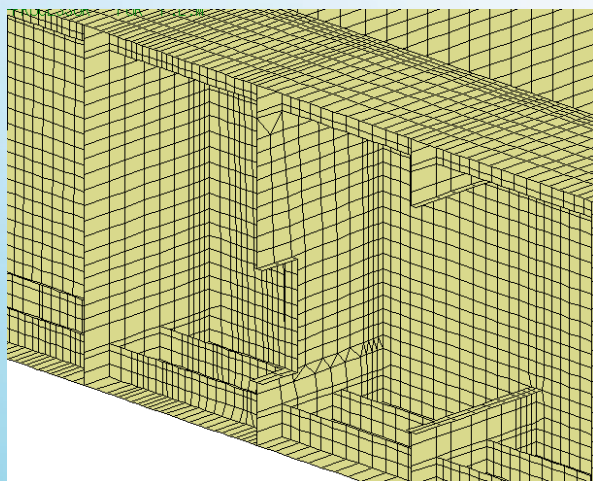
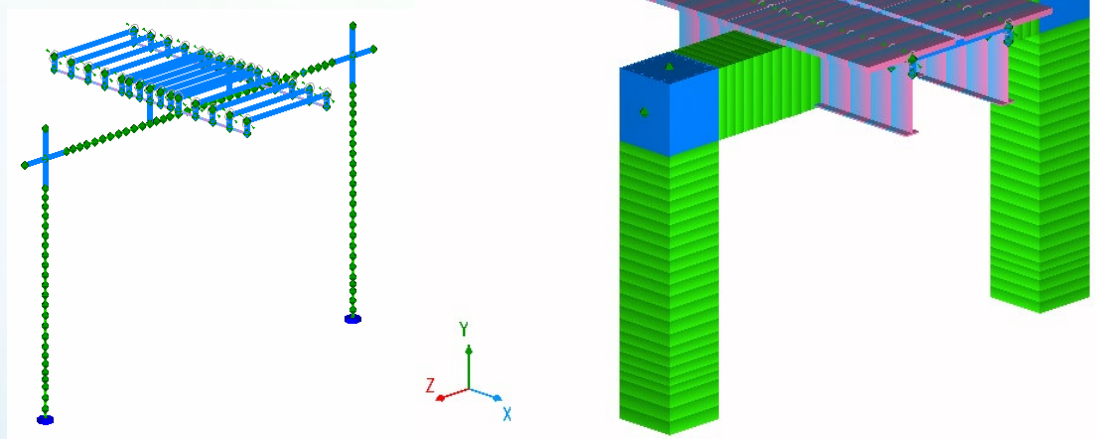


応力度コンタ図の例

FEMLEEG

FEMでは詳細な部材のモデル化が可能
補剛材、添接部、仕口部、合成効果をバネ値で調整など

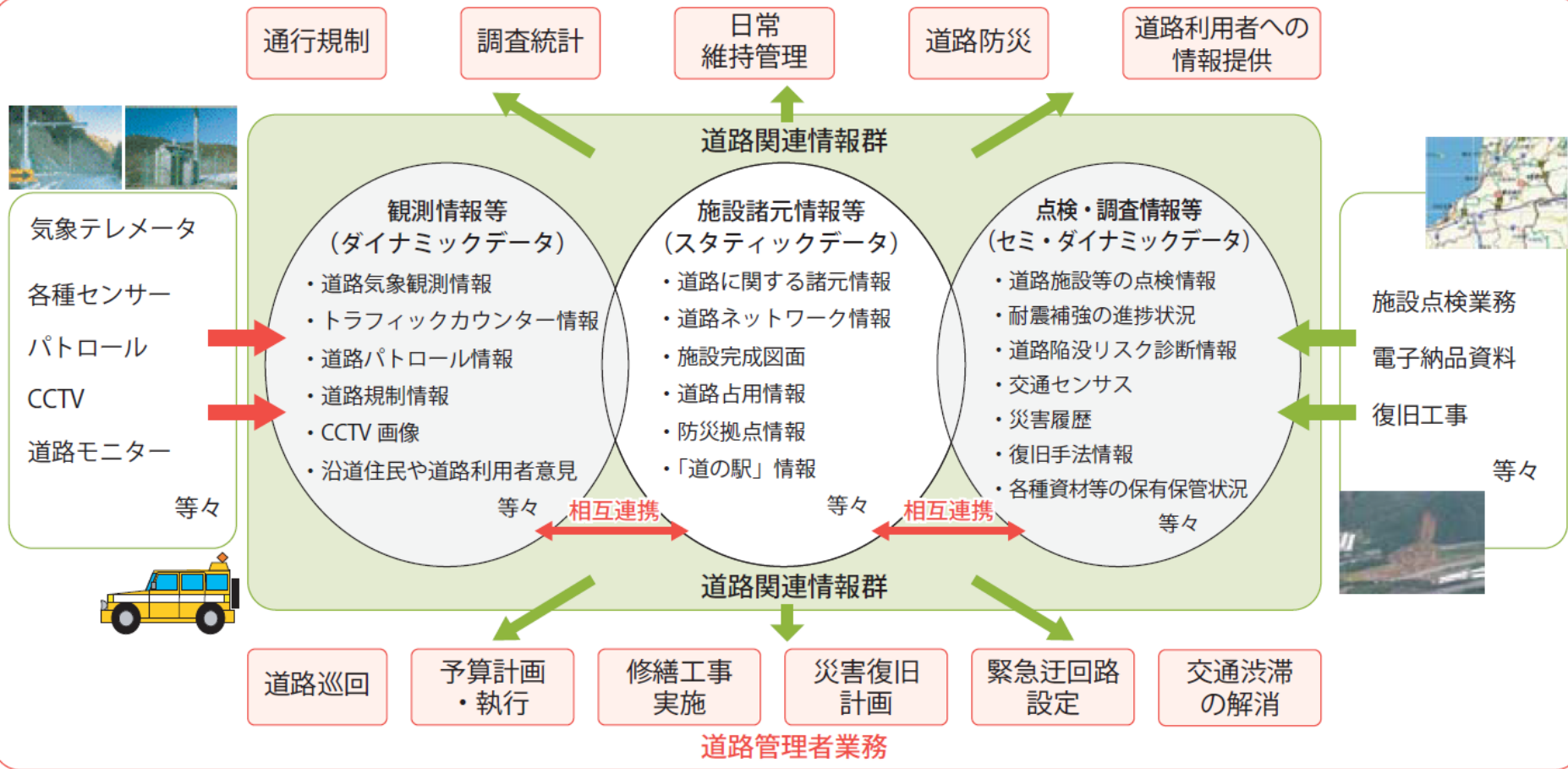
フレーム要素断面の例(鋼製橋脚-梁断面)



FEM解析の例(鋼製橋脚)

**「解析事例③」
劣化を考慮した解析例**

インフラデジタルデータベースシステム



基本DB

標識管理

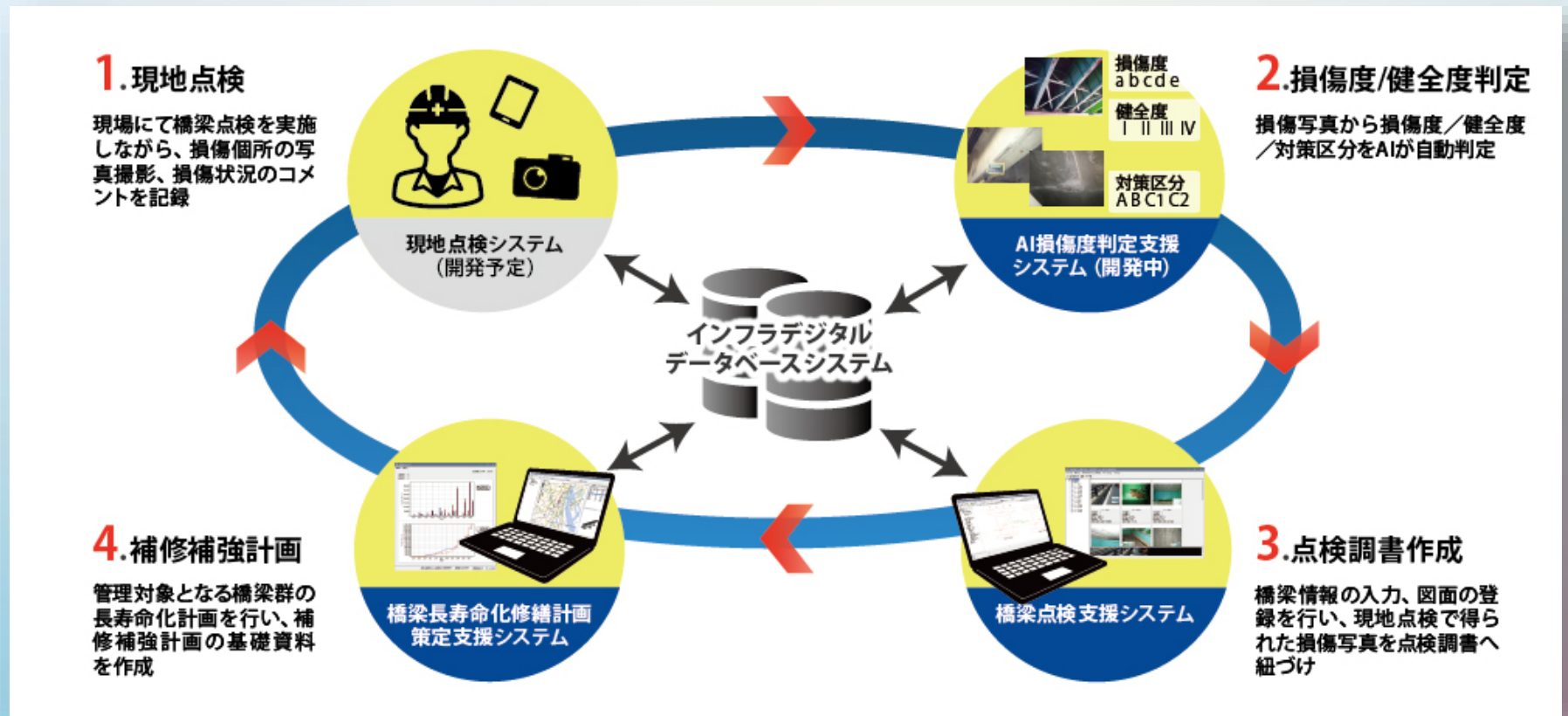
災害情報管理

迂回路検索

3DVR可視化

インフラデジタルデータベースを活用した維持管理システム（橋梁編）

既存のシステムに加え、名誉教授ドットコム株式会社の協力により、インフラデジタルDBを用いた維持管理システム（橋梁編）を開発しています。AIによる劣化判定プログラムや、多くのデータの基本情報抽出・ラベリングなど、様々な技術を連携しています。



解析事例：経年劣化を考慮した解析

第5回 NaRDA グランプリ作品

Engineer's Studio®



劣化度判定結果を活用した残存耐力評価手法の実架橋への適用

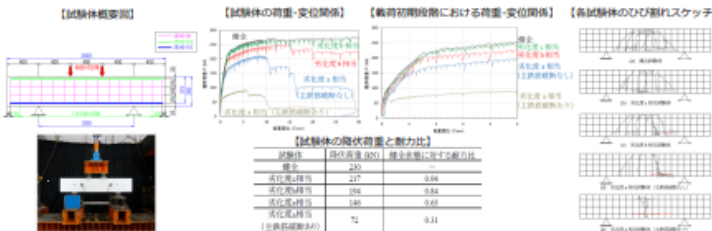
— 載荷実験および一般定期点検診断結果を用いた新しい耐力評価手法の提案 — 五洋建設株式会社 技術研究所

概要

橋樑は港湾構造物の中でも特に塩害に対して厳しい環境に置かれており、より適切な維持管理を行っていかねばならないが、劣化した橋樑の残存耐力や耐震性能に関する研究は少ない。また橋樑の残存耐力を評価するには通常は詳細定期点検診断が必要であり多大なコストや時間を要するため、特に民間事業者においては比較的簡易な耐力評価法が求められている。そこで本研究では、各劣化度に応じた試験体の載荷実験を行うことで各劣化度と部材の残存耐力の関係を明らかにし、その結果を汎用の構造解析ソフトに導入する簡易な残存耐力評価手法を提案する。

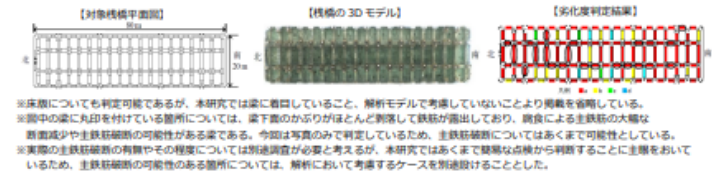
RC 梁部材の載荷実験

試験体は実架橋を参考におよそ 1/3 の縮尺となるように配筋等を実施した。各劣化度に応じた試験体の作製については、電食により強制的に最下段鉄筋に腐食を導入した。各試験体における平均腐食率については、劣化度 a 相当試験体（主鉄筋切断あり）では約 39%、劣化度 a 相当試験体（主鉄筋切断なし）では約 26%、劣化度 b 相当試験体では約 17%、劣化度 c 相当試験体では約 11% であった。健全試験体と比較した残存耐力の割合は劣化度 c 相当では約 9割、劣化度 b 相当では約 8割、主鉄筋切断なしの劣化度判定 a 相当では約 6割程度となった。これは既往の研究結果とも比較的整合している結果となっている。



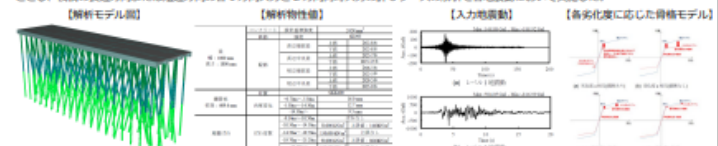
実架橋の劣化度調査

建設から約 50 年経過している橋樑に対して劣化度調査を実施した。撮影された写真から SFM/MVS (Structure from Motion/Multi View Stereo) 解析で 3D モデルを作成している。劣化度判定は「港湾の施設の維持管理技術マニュアル」に基づき、a~d の 4 段階で評価した。

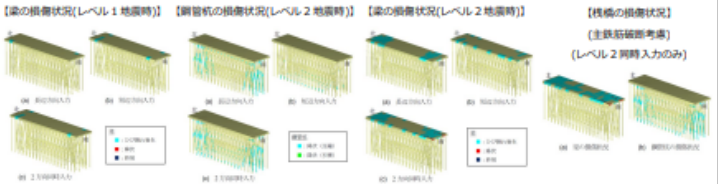


劣化度判定結果を活用した残存耐力評価手法

梁は M-φ 要素でモデル化し、実験結果を踏まえ、各劣化度に応じた以下の骨格減損モデルを提案する。鋼管机は、湾曲率に基づき内厚の減少を考慮したファイバー要素でモデル化し、床版は剛性を無視して重量のみ考慮した。想定外力としてレベル 1 およびレベル 2 地震動相当の地震が作用する場合に、劣化した橋樑がどのような挙動を示すのかについて検討を行うこととし、橋樑の長辺方向または短辺方向の各 1 方向入力と 2 方向同時入力の計 3 ケースの解析を各地震動において実施した。



解析結果については、部材の地震時損傷に焦点を当てているので、梁部材、桁部材の損傷程度や範囲について報告する。レベル 1 地震動では鋼管機の損傷はほとんどなく、梁については橋樑端部において曲げひび割れ損傷が見られた。降伏には至っていないものの降伏モーメント（約 2000 kN・m）の約 8割程度の耐力が発生している箇所もあり、ただちに供用停止というわけではないが、ひび割れ補修等が必要である可能性がある。レベル 2 地震動では多くの箇所において降伏耐力を越えていることが確認できた。例えば梁においては最大発生モーメントが降伏の約 1.1 倍であった。主鉄筋切断の可能性のある箇所について、主鉄筋切断の骨格モデルを新たに適用し、レベル 2 地震動を 2 方向与えた結果では、降伏箇所の違いはあまりないものの曲げひび割れ損傷箇所が拡大していることが分かる。これは橋樑全体において、耐力力の再分配により、損傷箇所が拡大したものと考えられる。なお、梁の劣化度 a 判定が広範囲であることに加え、梁の地震時損傷（降伏箇所）が限定される理由としては、対象橋樑が斜橋構造であることから地震時の機械変位量が小さいためであると考えられる。

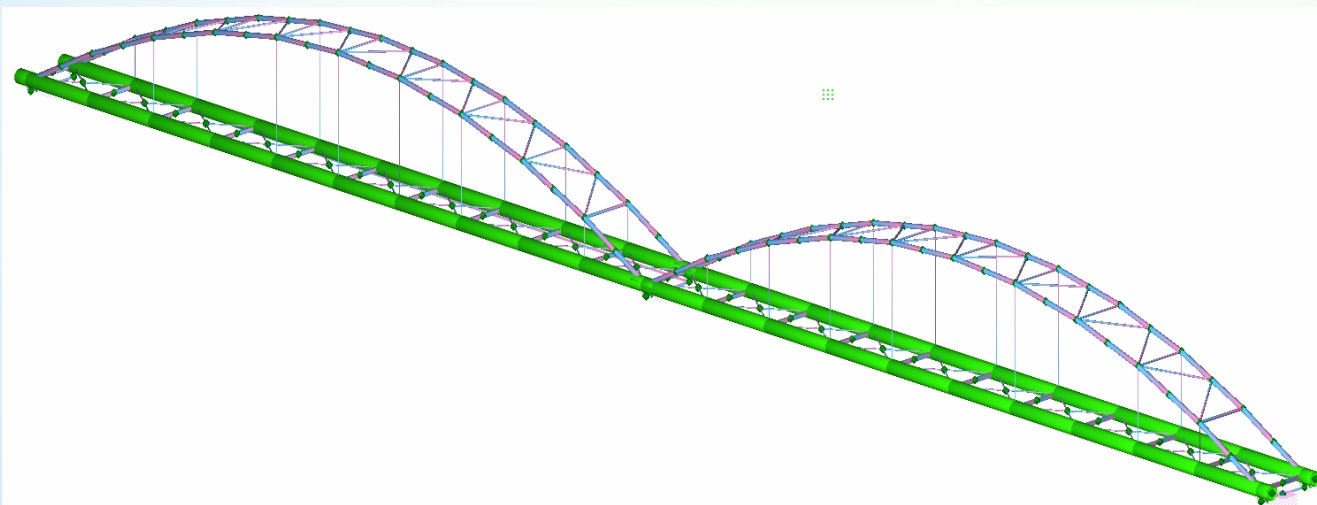


考察

本研究では、劣化度判定結果から比較的簡易に残存耐力評価を行う手法について提案し、実架橋への適用を通して検討を行った。その結果、地震動により損傷が生じる範囲やその程度を比較的容易にかつ定量的に示すことができた。これまでは橋樑の残存耐力を評価するために多大な時間とコストを要していたが、本提案手法を用いることで、より簡易に損傷箇所やその損傷度のある程度把握できる可能性がある。

今後は地震時変位量が大きくなる可能性がある舊式橋樑での検討、スターラップの劣化によるせん断耐力の低下の影響とその他の考慮、コンクリート下面のかぶり剥落の耐力への影響についても検討を行いたいと考えている。

Engineer's Studio[®] 水管橋の例（多連アーチローゼ補剛形式）



状態	アウトライン要素名	タイプ	動作
■	円形R0.514m	円形	追加
■	円形R0.5m	円形	控除

アウトライン要素 円形 エディタ: '円形R0.5m'

寸法データ 接続点 変換

寸法形状

寸法データ	入力値
半径 (m)	0.500

劣化（腐食）を考慮した断面剛性

**「解析事例④」
観測値/計測値の活用**

強震記録の活用

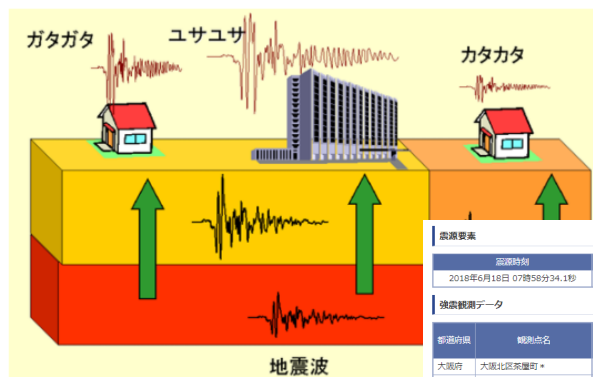


ホーム > 各種データ・資料 > 地震の活動状況 > 強震観測 > 強震観測とは

強震観測について

強震観測とは

地面で観測される地震波は、図のように地盤によってその地震波の振幅や周期が変化します。また、同じ地震波であっても、建物によってその揺れ方は異なります。強震観測とは強い地震動でも振り切れない地震計を用い、構造物や地盤の震動に対する応答特性と被害との関係の調査を行った、地震の詳細な震源過程の調査などを行うための観測です。強震観測には、おもに地面の加速度を測る加速度計が用いられています。



- 強震観測について
- 地震波のスペクトル
- 計測震度の算出法
- 速度波形・変位波形の求め方
- 震度と加速度

震源時刻	震源地名	緯度	経度	深さ	M
2018年6月18日 07時58分34.1秒	大阪府北部	北緯34度50.6分	東経135度37.3分	13km	6.1

都道府県	観測点名	震度	計測震度	最大加速度 (gal=cm/s ²)			震源地距離 (m)	波形プロット	データ取得
				3成分合成	南北	東西			
大阪府	大浜北広瀬橋町*	6弱	5.6	693.9	283.0	618.2	423.3	18.7	波形ダウンロード
大阪府	枚方市大塚内*	6弱	5.6	900.4	690.2	573.2	419.4	4.2	波形ダウンロード
大阪府	茨木市東中条町*	6弱	5.6	480.4	444.7	406.5	435.7	5.8	波形ダウンロード
大阪府	箕面市東空外院*	6弱	5.5	476.8	473.4	250.1	206.4	10.8	波形ダウンロード
京都府	京都中京区河原町御池*	5強	5.0	861.1	540.4	710.5	326.8	23.0	波形ダウンロード
京都府	京都伏見区奥島*	5強	5.0	377.0	282.1	369.4	202.8	16.3	波形ダウンロード
京都府	京都伏見区久我*	5強	5.0	287.6	280.1	265.1	143.8	14.1	波形ダウンロード
京都府	京都西京区大枝*	5強	5.2	463.2	462.0	356.8	118.1	14.7	波形ダウンロード
京都府	長岡京市岡田*	5強	5.0	457.9	272.5	426.4	200.3	11.4	波形ダウンロード
京都府	八幡市八幡*	5強	5.3	391.1	276.4	385.3	338.3	8.5	波形ダウンロード
京都府	大山崎町門待寺*	5強	5.3	500.9	403.1	449.8	256.3	8.9	波形ダウンロード
京都府	久御山町井田*	5強	5.3	356.3	353.4	322.1	330.2	10.9	波形ダウンロード
大阪府	大阪都島区都島本通*	5強	5.0	368.9	252.0	333.7	263.4	17.7	波形ダウンロード
大阪府	大阪東淀川区杉江口*	5強	5.3	353.5	335.8	342.5	289.3	11.9	波形ダウンロード
大阪府	大阪旭区大宮*	5強	5.1	316.5	226.9	304.7	250.0	15.4	波形ダウンロード
大阪府	大阪淀川区山手川東*	5強	5.2	241.4	156.8	221.0	179.9	17.6	波形ダウンロード
大阪府	豊中市役所*	5強	5.3	378.7	343.0	200.7	161.6	15.5	波形ダウンロード
大阪府	吹田市内本町*	5強	5.1	369.3	280.4	315.2	171.4	13.3	波形ダウンロード
大阪府	高槻市梅園町*	5強	5.4	490.2	441.0	346.7	335.8	0.5	波形ダウンロード
大阪府	高槻市清池本町*	5強	5.2	463.3	443.9	289.5	436.2	0.7	波形ダウンロード
大阪府	寝屋川市役所*	5強	5.1	413.9	270.2	266.7	412.5	8.7	波形ダウンロード

ホーム > 各種データ・資料 > 地震の活動状況 > 強震観測 > 震度と加速度

震度と加速度

地震動の強さを表すものの1つに震度があります。以前は震度震度と呼ばれます。計測震度は加速度波形から計算されます。間が考慮されますので、最大加速度が大きい場所が震度も大きくなって異なります。

図1は2003年5月26日宮城県沖の地震の大船渡市の加速度波形です。宮城県沖の地震で大船渡の震度は6弱（計測震度は6）でしたが、最大加速度は大船渡が1105.5gal、浦河が348.9galが大きくなるとは限りません。これは計測震度の計算に加速度の

図3は均一な揺れが数秒間続くと仮定した時、地震波の周期、期の波が含まれているので、震度7が加速度で何g a lに相当すると、震度7の下限に相当する計測震度6.5以上になるためには、1秒の波になると2700gal以上になります。

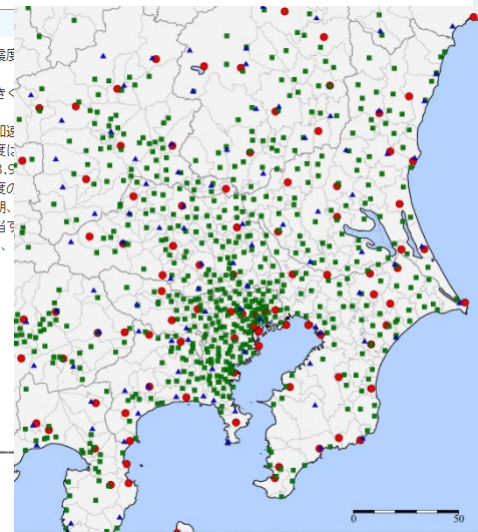
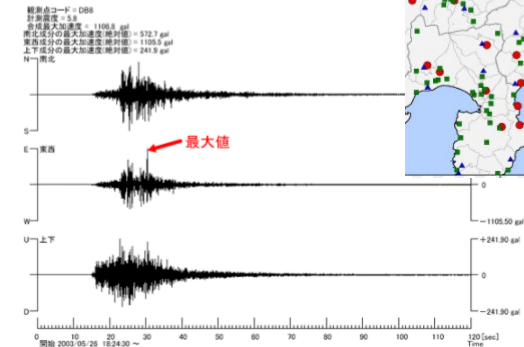


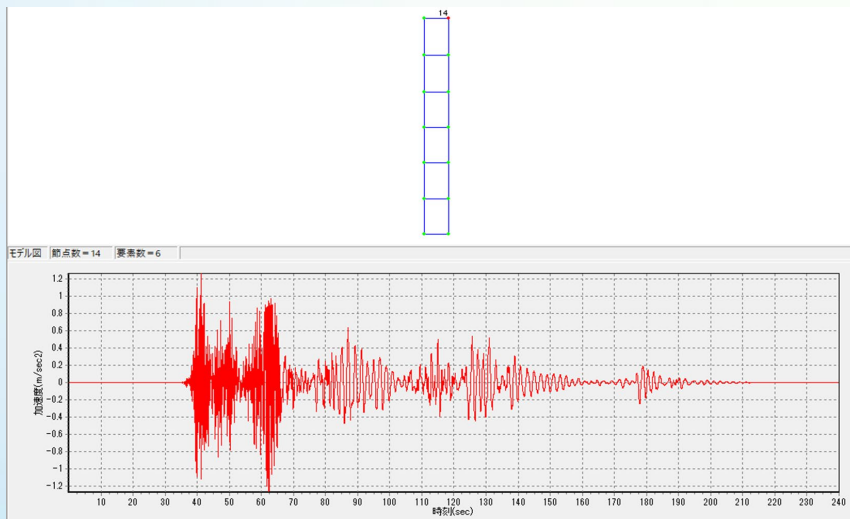
図1：2003年5月26日 宮城県沖の地震（大船渡市）



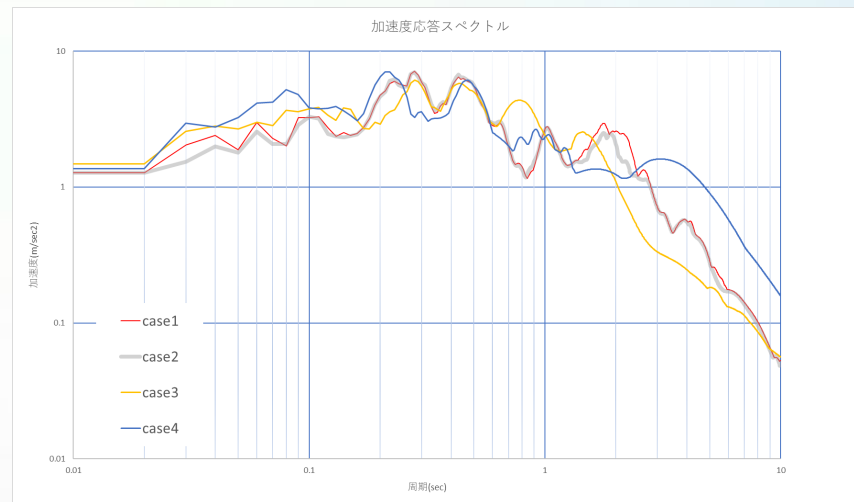
気象庁のHPから各種地震の強震記録がDL可能

解析事例：地震応答解析による応答スペクトルの検討

UWLC 地盤動的有効応力解析



▲地震応答解析結果図



▲応答スペクトル図

- ・ 本解析対象は、一次元モデルで地盤をモデル化し、ケース1からケース4までの4つの地震波について地震応答解析を行い、応答スペクトルを検討した。
- ・ 地盤は液状化する地盤であり、液状化の影響を考慮した地震応答解析を行った。液状化が発生する地盤では、変形は大きくなるが応答加速度としてはむしろ基盤波よりも減衰する場合がある。
- ・ 解析の結果、液状化しない近隣の応答値に比較し約1/2程度の応答結果となり、固有周期も長周期側の応答となった。

Engineer's Studio®

動的解析モデルへ反映

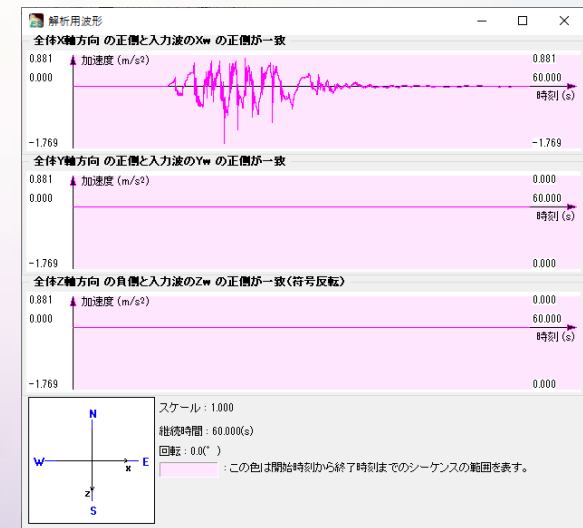
1次元応答解析によって引き戻した地震波形や、DLした強震観測データ（CSV）を動的解析用の入力加速度として利用することが出来ます。

モード：編集 x=-44.000m, y=0.000m, z=-33.000m

7	1-111-1	1893	ISUGARU BRG.	TH.	BUOU	U-01	Y/UZUB	1	-439.372
0.000	0.01	0.0	-433.372	-0.000	-0.000	-0.001	-0.001	-0.002	-0.002
0.0	-0.000	-0.000	-0.005	-0.006	-0.007	-0.008	-0.010	-0.011	-0.011
-0.003	-0.004	-0.005	-0.006	-0.007	-0.008	-0.009	-0.010	-0.011	-0.011
-0.012	-0.014	-0.016	-0.018	-0.020	-0.021	-0.023	-0.025	-0.025	-0.025
-0.027	-0.029	-0.031	-0.033	-0.034	-0.035	-0.037	-0.039	-0.039	-0.039
-0.041	-0.043	-0.044	-0.045	-0.046	-0.047	-0.048	-0.049	-0.049	-0.049
-0.051	-0.051	-0.051	-0.051	-0.050	-0.050	-0.049	-0.048	-0.048	-0.048
-0.046	-0.044	-0.042	-0.040	-0.037	-0.034	-0.031	-0.028	-0.028	-0.028
-0.025	-0.023	-0.019	-0.014	-0.008	-0.004	0.000	0.004	0.004	0.004
0.008	0.013	0.018	0.025	0.031	0.036	0.040	0.044	0.044	0.044
0.048	0.052	0.058	0.064	0.072	0.079	0.087	0.095	0.095	0.095
0.102	0.110	0.119	0.129	0.140	0.150	0.159	0.167	0.167	0.167
0.173	0.179	0.186	0.195	0.204	0.212	0.218	0.222	0.222	0.222
0.225	0.228	0.232	0.238	0.245	0.252	0.260	0.269	0.269	0.269
0.279	0.289	0.301	0.313	0.326	0.341	0.358	0.375	0.375	0.375
0.393	0.411	0.427	0.441	0.453	0.463	0.473	0.485	0.485	0.485
0.499	0.517	0.535	0.551	0.563	0.569	0.578	0.578	0.578	0.578
0.590	0.608	0.631	0.654	0.675	0.693	0.711	0.733	0.733	0.733
0.764	0.802	0.843	0.880	0.910	0.932	0.952	0.978	0.978	0.978
1.019	1.077	1.146	1.218	1.276	1.319	1.347	1.369	1.369	1.369
1.398	1.442	1.499	1.560	1.615	1.656	1.685	1.712	1.712	1.712
1.751	1.807	1.880	1.959	2.031	2.087	2.131	2.174	2.174	2.174
2.231	2.310	2.409	2.515	2.609	2.679	2.725	2.759	2.759	2.759
2.799	2.894	2.992	3.091	3.099	3.149	3.197	3.193	3.193	3.193
3.155	3.163	3.194	3.240	3.285	3.313	3.319	3.312	3.312	3.312
3.309	3.324	3.364	3.421	3.476	3.509	3.511	3.488	3.488	3.488
3.457	3.455	3.456	3.456	3.456	3.456	3.452	3.457	3.457	3.457
3.372	3.304	3.248	3.211	3.198	3.164	3.125	3.080	3.080	3.080
2.987	2.851	2.724	2.597	2.460	2.378	2.295	2.230	2.230	2.230

加速度データ (CSV)

入力波として読み込み



加振方向等を設定

解析事例：計測技術の予測解析

第6回 NaRDA グランプリ作品

Engineer's Studio®



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ことで完全倒壊を防ぎ、人命の尊重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、接合部だけに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守るために、自律型履歴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く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。

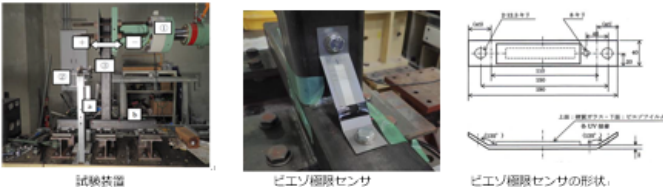


図1 試験装置とピエゾ極限センサ

- (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、 $100 \times 100 \times 6 \text{ mm}$ の角形鋼管柱を厚さ9mmのベースプレートと溶接し、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(東京センサ製DT-2-028 k/L)を約 $10 \times 70 \text{ mm}$ で紫外硬化樹脂(UV)塗布し接着固定後、フィルムの薄利や劣化防止を目的とした約 $35 \times 85 \times 1 \text{ mm}$ 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。

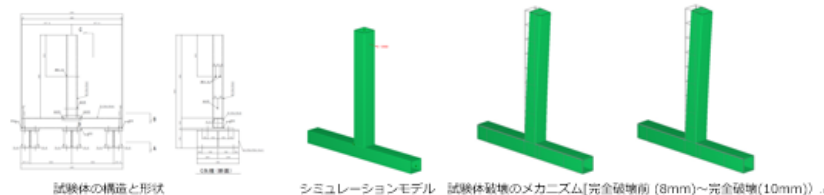


図2 試験体の詳細とシミュレーションモデル

実装試験結果とシミュレーション比較

- (1) +約20分間、最大加力15kNを加え、また同様の条件で加力を-側にも加え、その時々に加力とセンサ出力の関係を測定した。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線部と比較し検証すると、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。

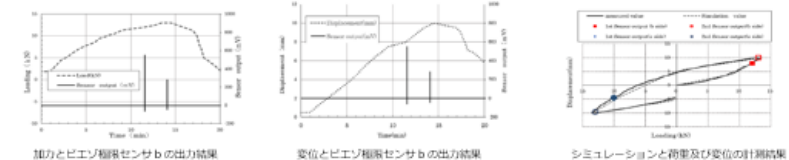


図3 ピエゾ極限センサの計測結果とシミュレーションの比較

4. 考察

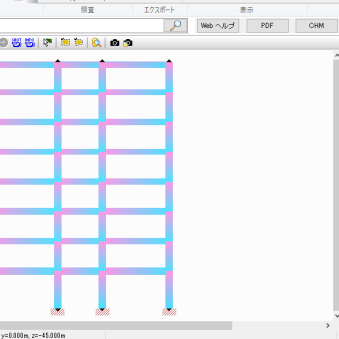
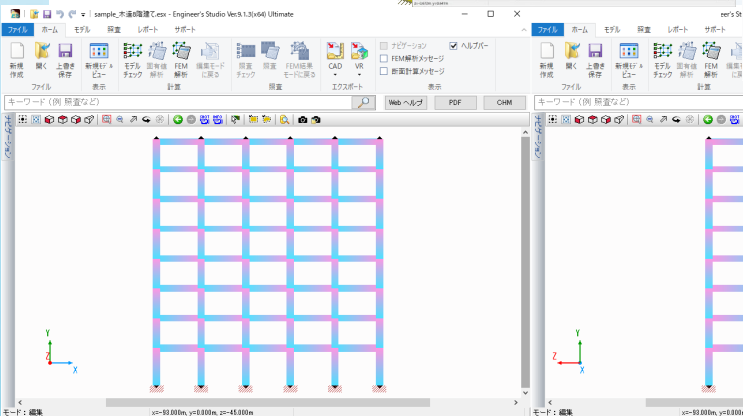
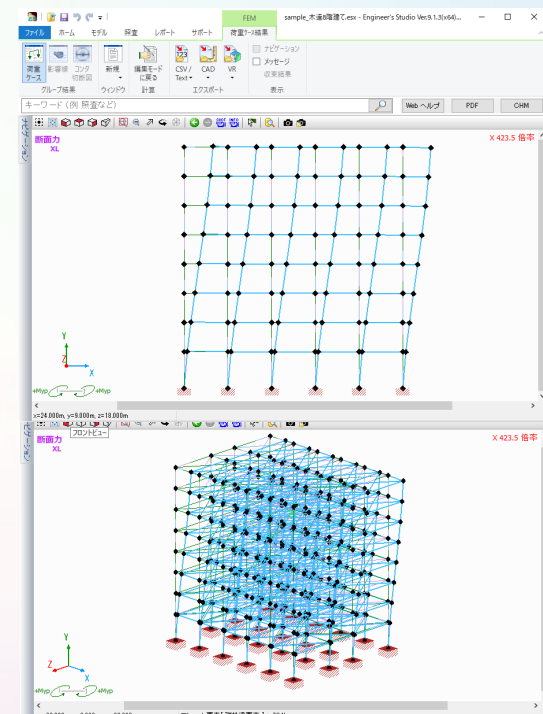
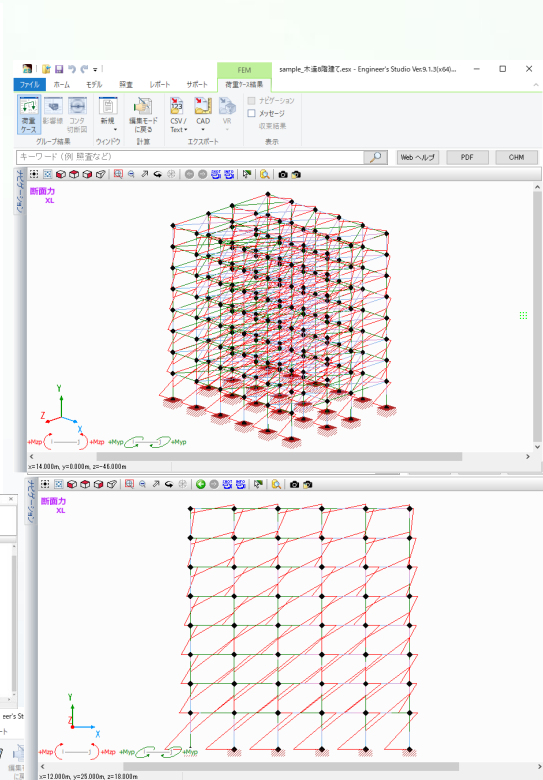
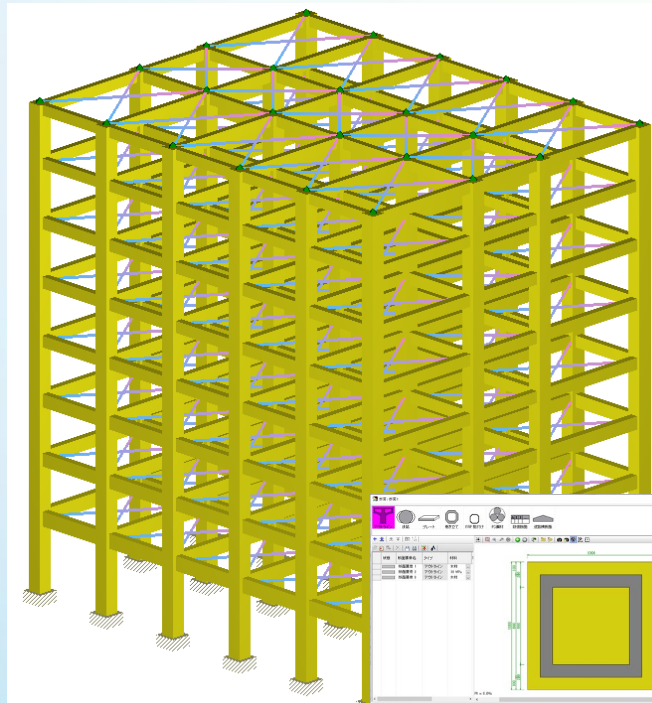
- (1) ピエゾ極限センサの計測は、各条件における出力値から、溶接構造物の健全性を保つ構造上の限界領域の手前で危険値を示す特性を有している。このため、危険予測の計測を実施する可能性があると考えられる。また、従来リアルタイムの健全性モニタリングが困難であった溶接構造物の接合部における測定の可能性が広まり、安心安全の社会構築のために貢献できると思われる。
- (2) 構造物の接合部に関する安全性や健全性を求めるには20年以上の長期にわたるモニタリングが必要であるが、要求されるモニタリング期間を保証する計測装置や危険の予測までの実施を可能にするスマートセンシングの開発が急務とされている。

参考文献

- [1] 「リミット型変位検出装置及び構造物等の健全性モニタリングシステム」特開2018-4533 (2018.1.11).
- [2] N. Shimoi, T. Nishida, A. Obata, K. Nakasho and C. Cuadra: Comparison of Displacement Measurements in Exposed Type Column. Base Using Piezoelectric Dynamic Sensors and Static Sensors, American Journal of Remote Sensing, Vol.4, Issue6, pp23-32 (2016.9).

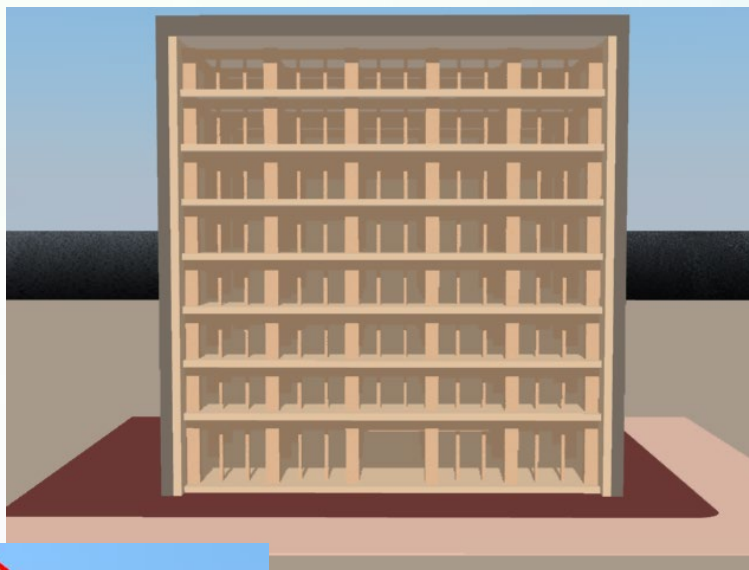
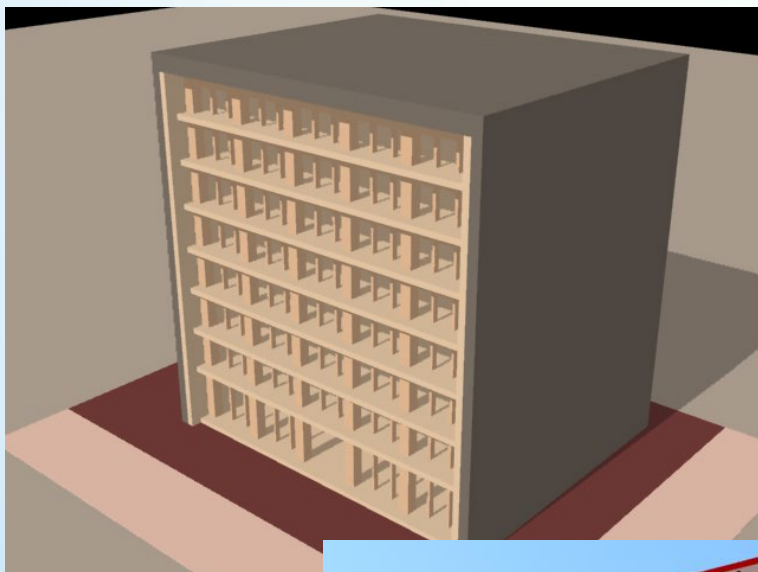
**「解析事例⑤」
木造建築**

Engineer's Studio[®] 解析事例：建築構造物（木造中層ビル）



建築資材の自給自足、森林資源と地域経済の持続可能な好循環の実現などを目的に、木造の高層ビルの建築が進んでいます。構造解析をEngineer's Studio[®]で実施

Shade3D



Shade3Dで3Dモデルを作成
(DWG/DXF連携)
VRデータ、BIMデータとして利用可能と
なります。

**「解析事例⑥」
円形RCタンク構造物**

水道施設
・RCタンク

非線形平板要素

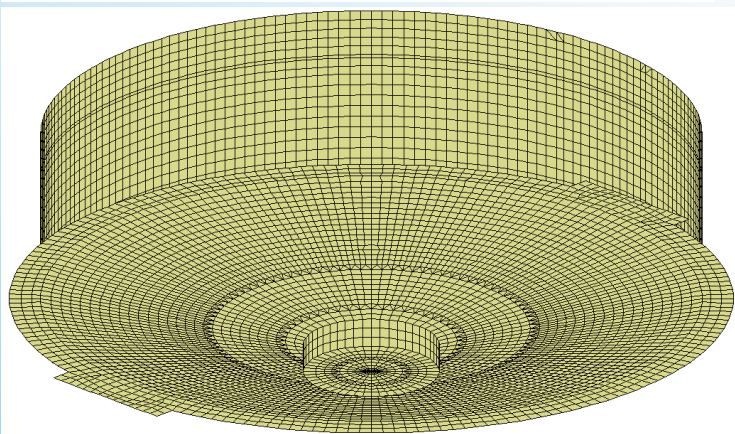
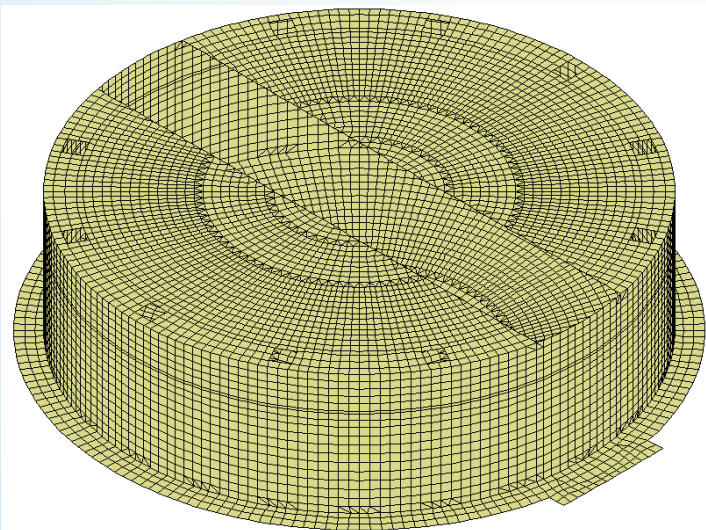
Engineer's Studio®
非線形平板要素



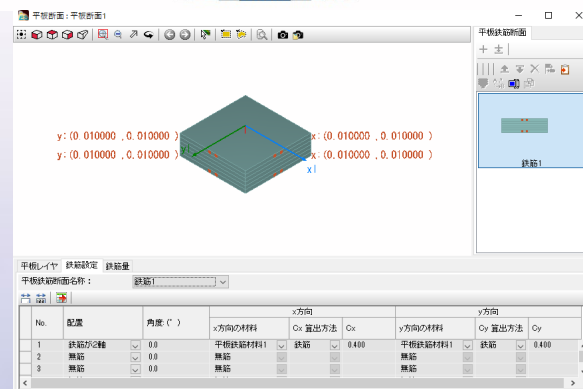
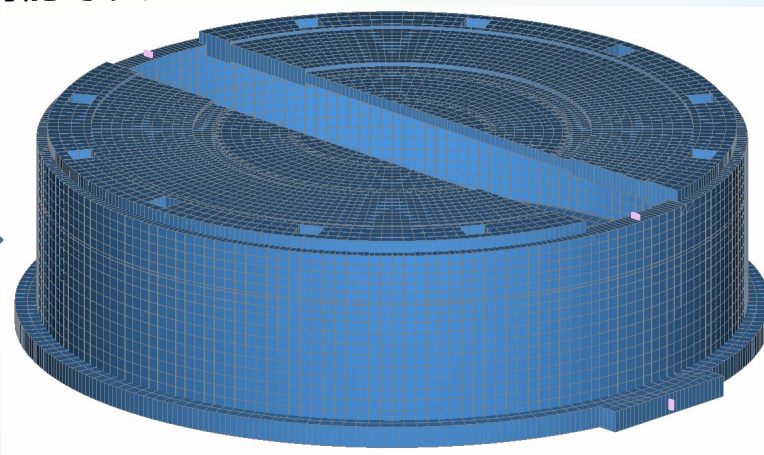
線形FEM解析

FEMLEEG
プレート/シェル要素

FEMLEEG Engineer's Studio®



FEMLEEGでモデルを作成
Engineer's Studioへエクスポート
平板非線形データとして利用可能となります。
Engineer's StudioからFEMLEEGへのイン
ポートも可能です。



**「解析事例⑦」
定常/非定常熱連動解析**

FEMLEEG

FEMLEEGで定常熱伝導解析が可能
半導体のヒートシンクなどの熱応力解析

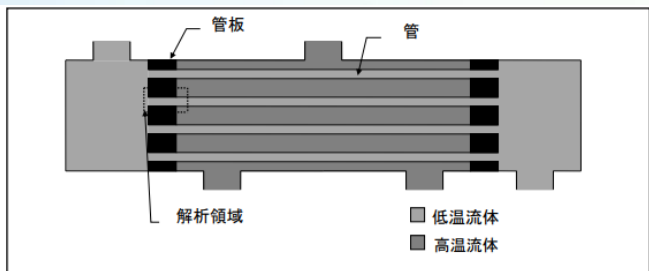


図1-1 固定管板式熱交換器

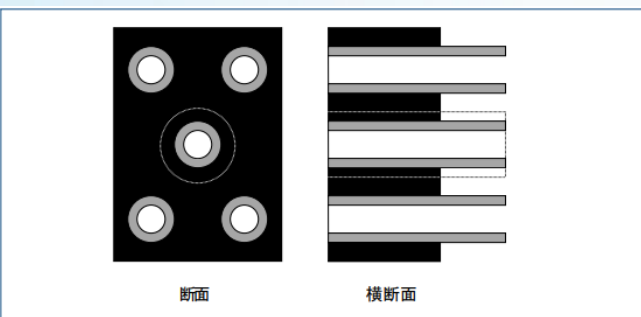


図1-2 解析領域とその周辺

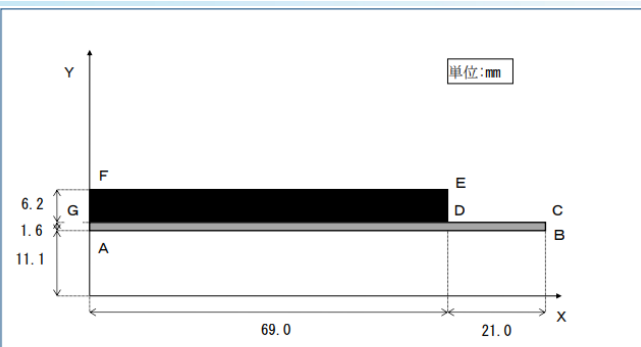
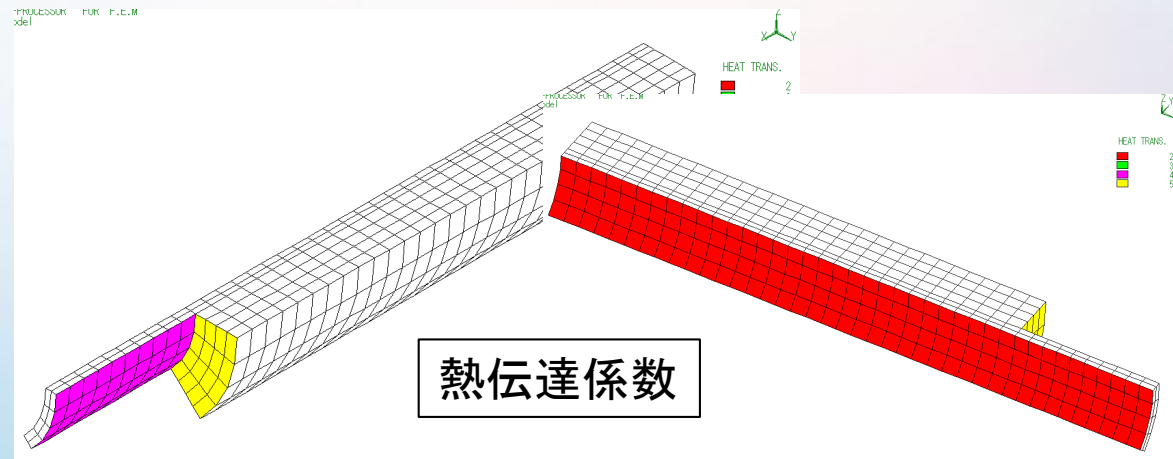
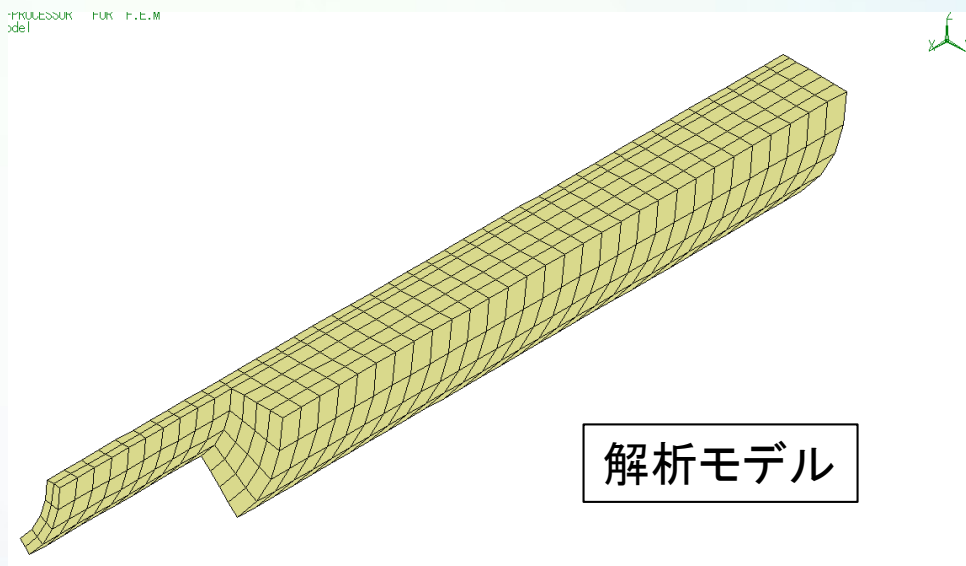


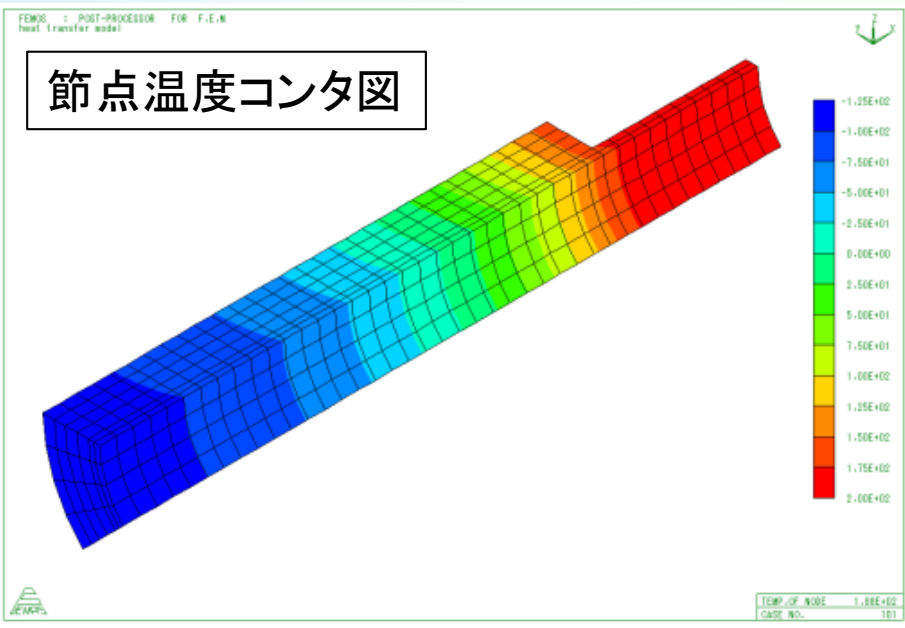
図1-3 管及び管板の横断面寸法



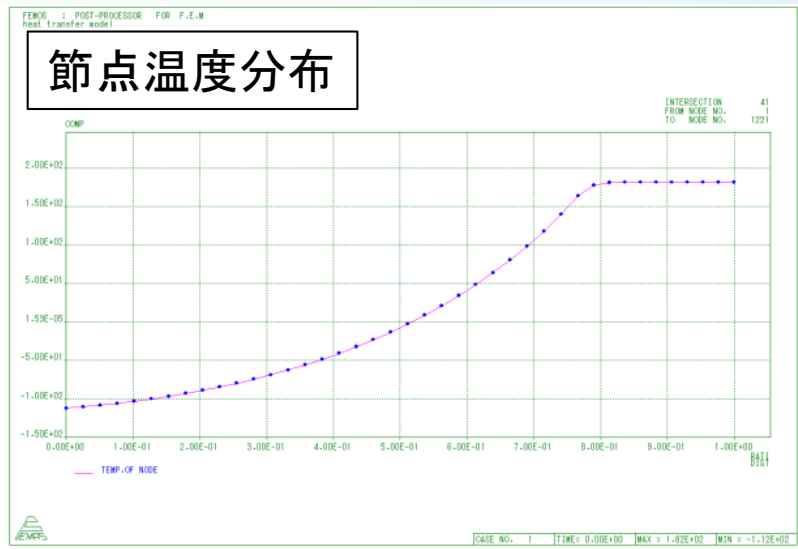
熱伝達係数

FEMLEEG

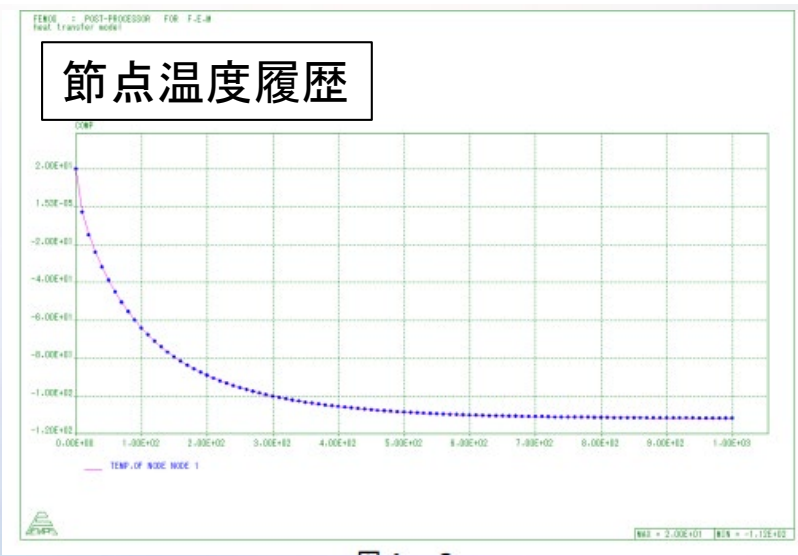
節点温度コンタ図



節点温度分布



節点温度履歴



「FEM解析プログラム」 新機能、開発予定、解析事例

「Engineer's Studio®」

“Engineer's Studio®”



既設水槽構造の2次元および3次元モデルによる耐震検討結果比較

－モデル化の違いによる解析・照査方法の妥当性を確認－

株式会社日本水工コンサルタント

概要

水槽構造物の設計においては、実際の形状に対し、任意位置で輪切りにした2次元断面モデルとして検討を行う場合が多いが、その形状が複雑な場合や躯体寸法条件等から、そのモデル化が妥当なのか疑問視される場合がある。本検討においても当初は従来通りの2次元断面モデルで検討を行ったが、その後、提案型として実物通りに板要素を用いた3次元モデルを作成し、解析・照査することで照査結果にどのような傾向があるか比較を行い、モデル化の妥当性について確認した。

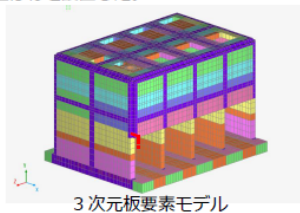
対象施設の概要

■**対象施設概要**：施設構造は底板平面幅 26.40 x 20.50mの上に、側壁高 17.30mの壁を組み合わせて構築された吸込水槽である。基礎は直接基礎、背面側の側壁は頂版上面まで現地盤が位置する地中構造物である。

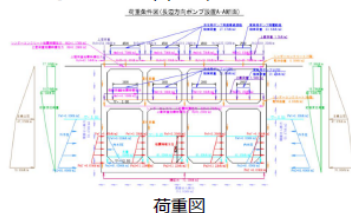
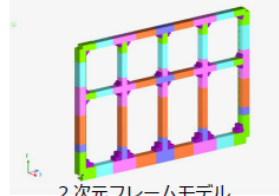
■**3次元板要素モデル**：弾性板要素を採用しメッシュ分割は板厚程度としてモデル作成した。交差部を剛域に、開口部も忠実に再現し、周囲には地盤ばねを設置した。

[設計条件]

- ・ 準拠基準：土地改良事業設計基準、H14 道示他
- ・ 重要度区分：B種（健全性を損なわない）
- ・ 耐震設計手法：応答変位法
- ・ 地盤種別：II種地盤
- ・ 設計水平震度：kh=0.17

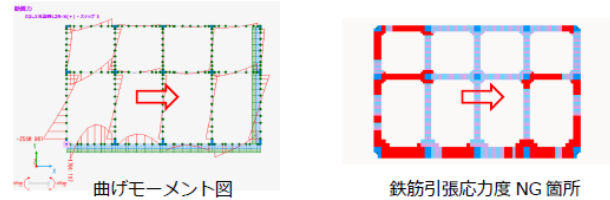


■**2次元断面梁要素モデル**：直角方向（長辺）の壁間中央位置での2次元断面モデルを弾性梁要素で作成した。検討荷重ケースはL1地震時とし、考慮した荷重図を下記に示す。

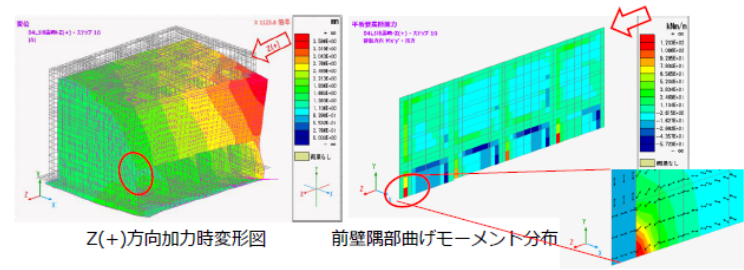


耐震性能照査

■**2次元断面モデルでの解析・曲げ応力度照査結果**：断面左から右方向へ加力した際の曲げモーメント図を下図左に示し、鉄筋応力度照査結果でのNG箇所を下図右の赤着色部に示す。



■**3次元板要素モデルでの解析・曲げ応力度照査結果**：2次元断面モデルで想定した位置での照査結果を確認すると、支間中央付近を中心にNG箇所が減少していることを確認した。また、加力方向に対して直交する方向の照査も行うため、壁隅付近で水平方向照査にNGが見られるなど、2次元断面モデルでは再現できない傾向も確認した。



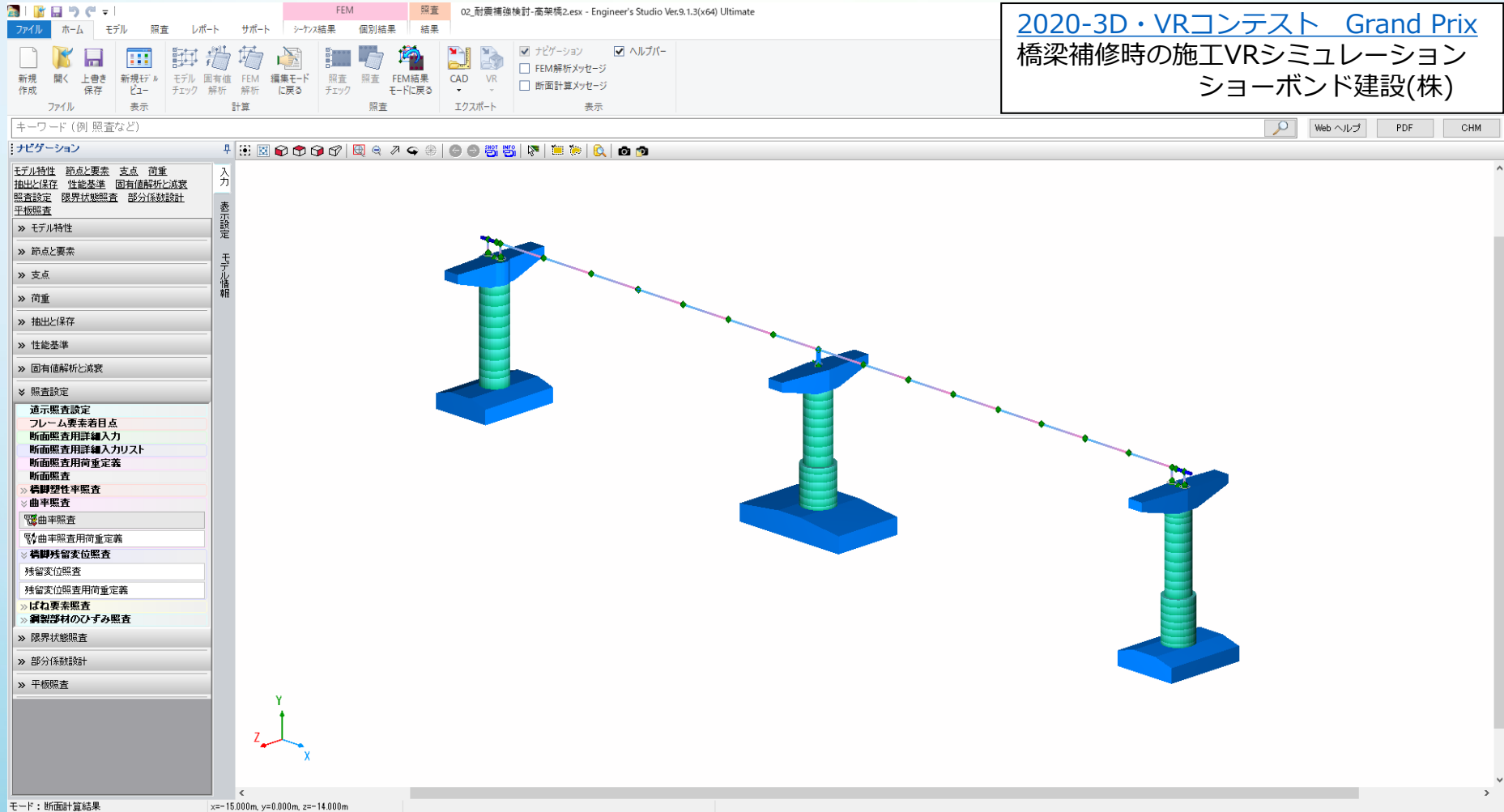
まとめ

- ・ 同じ構造に対し、2次元断面梁要素モデルと3次元板要素モデルでの耐震検討を行い、曲げ照査結果に着目して両者の結果比較を行った。その結果、2次元断面モデルでNGだった範囲が3次元板要素モデルでは殆どがOKとなる傾向が見られた。
- ・ 2次元断面モデルは、奥行き方向に接続される部材からの影響を無視した（できる場合の）解析モ

3次元平板要素モデルを用いることで奥行き方向の壁の剛性が考慮され、実構造に沿った応答の再現や効果的な対策工の検討が可能となった。

解析事例-2：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)

キーワード (例 照査など)

モード：断面計算結果 x=-15.000m, y=0.000m, z=-14.000m

Engineer's Studio® Ver.10.0.0

- 軸力変動を考慮したM-φ要素
- 軸力変動を考慮したM-θモデル

軸力変動オプション

- 軸力変動を考慮したM- ϕ 要素
- 軸力変動を考慮したM- θ モデル(ばね要素)

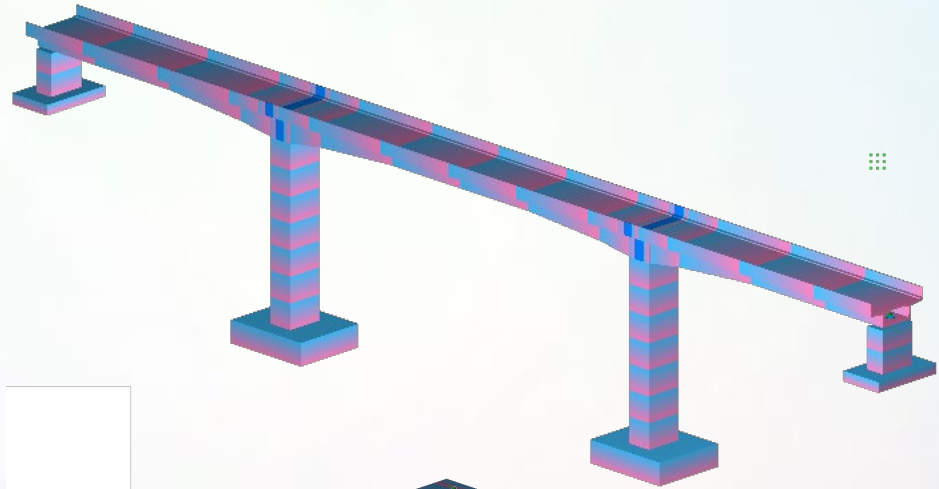
※適用範囲は、一軸曲げ問題

※二軸曲げ問題には適用不可。

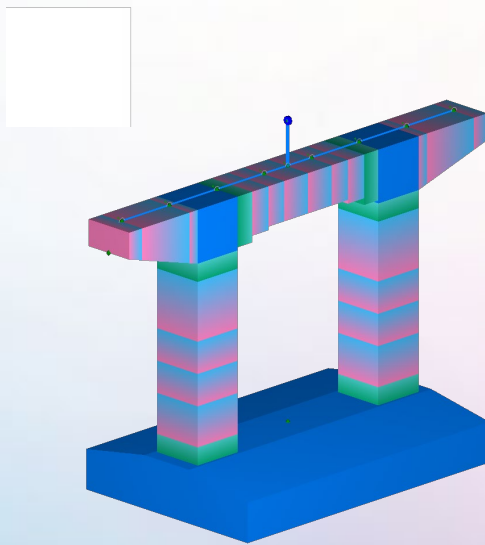
(二軸曲げ問題にはファイバー要素)

軸力変動する構造

ラーメン橋



ラーメン橋脚

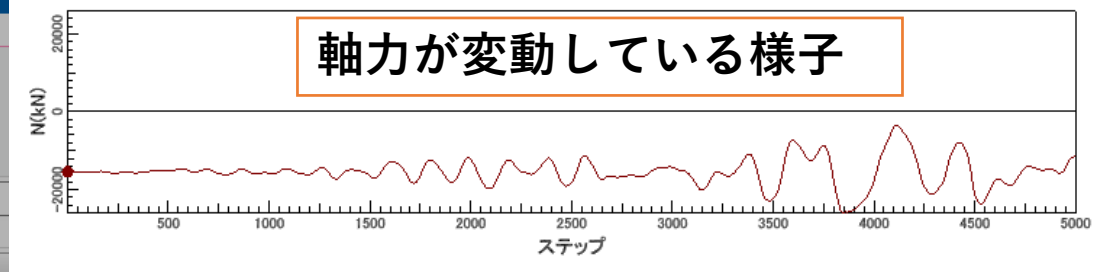


結果の例：M-φ要素の応答

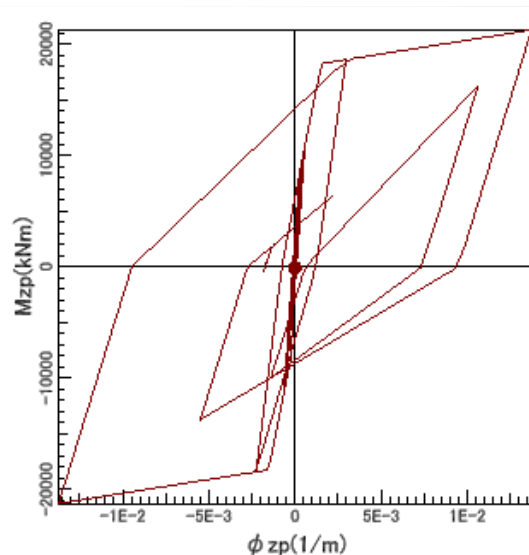
The screenshot shows the software interface with the following components:

- Navigation Panel (ナビゲーション):**
 - フレーム時刻歴結果 (Frame Time History Results)
 - フレーム (Frame): ガウス番号 1 (Gauss No. 1)
 - ラン (Run): Run1
 - カテゴリ (Category): **モーメント-曲率** (Moment-Rotation)
 - グラフ形式 (Graph Style): 初期値設定 (Initial Value Setting)
- Main Graph:** A plot of Moment M_{zp} (kNm) versus Rotation ϕ_{zp} (1/m). The y-axis ranges from -15000 to 15000, and the x-axis ranges from -1E-2 to 1E-2. The plot shows a complex, multi-loop hysteresis curve.
- Table (計算結果):**

現ステップ	計算結果	ϕ_{zp} (1/m)	M_{zp} (kNm)
Run1			
最大値		1.4147E-2	18636.975
ステップ		3945	3906
最小値		-1.4583E-2	-9927.651
ステップ		4177	4184

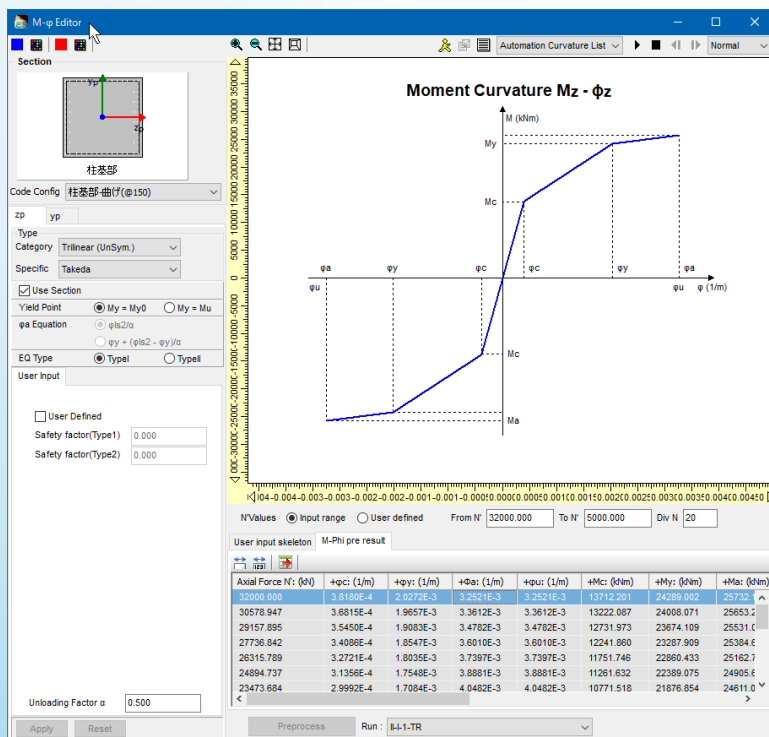


(軸力変動なしの場合)

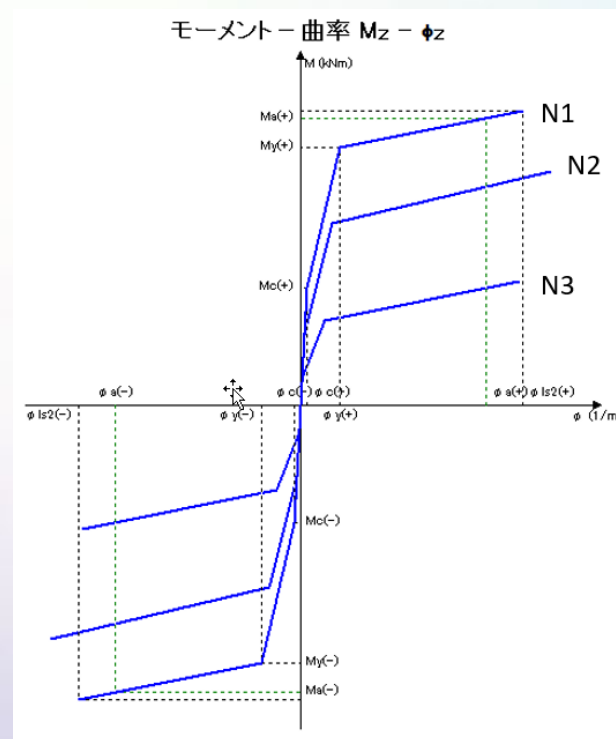


軸力変動の処理内容

- M-φ特性において変動する軸力の最大最小の値と個数を入力
- 軸力の個数分のM-φ特性が算出される
- 解析を実行すると、各軸力のM-φ特性が同時に考慮される

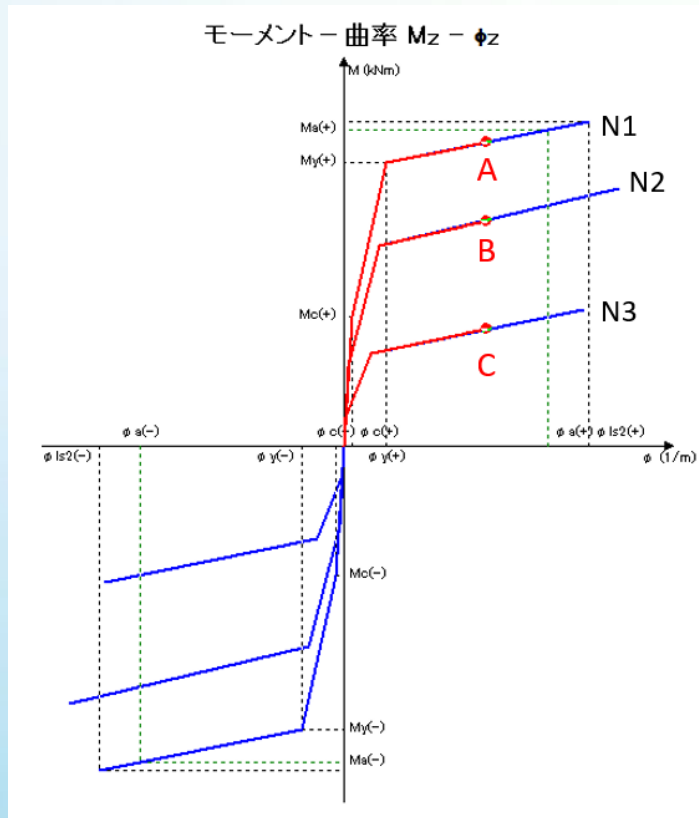


▲ 軸力変動を考慮したM-φ特性の入力

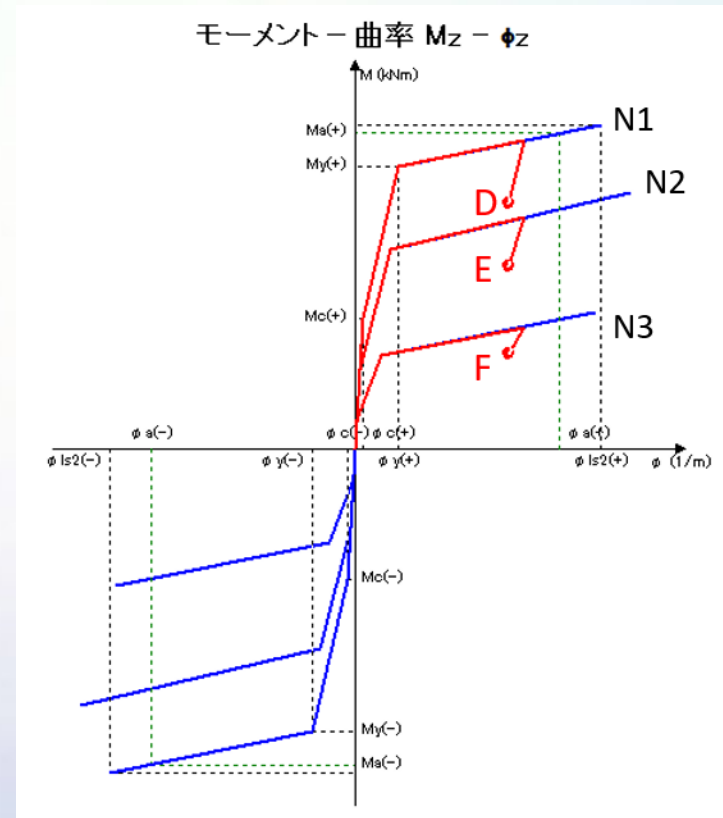


▲ 軸力に応じた複数のM-φ特性の例(3種類)

- 荷重載荷もしくは除荷されると複数のM- ϕ 特性がすべて同時に更新
- 新しい軸力が中間にある場合は、線形補間して曲げモーメントと剛性が作成される



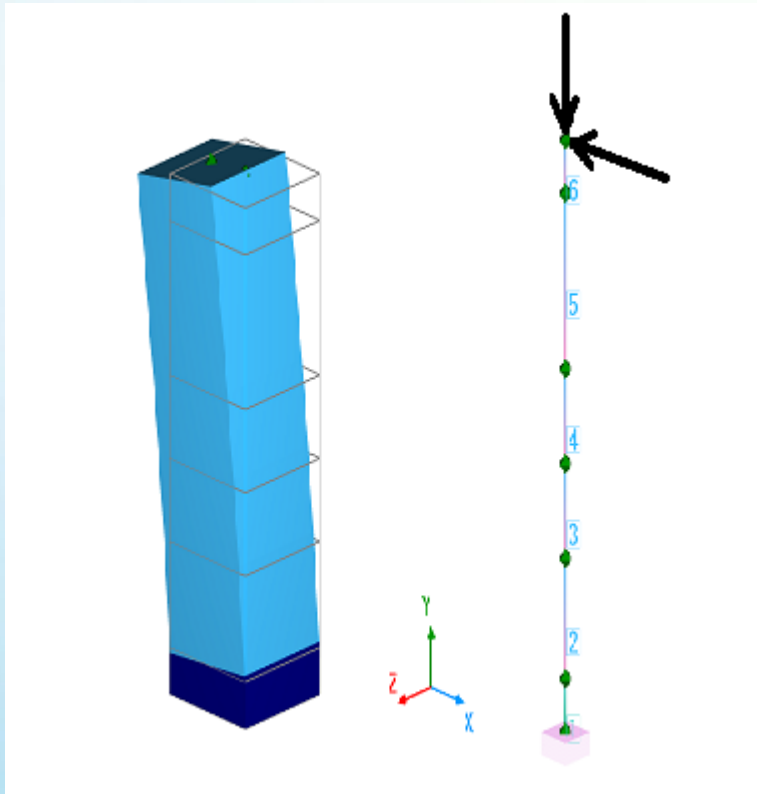
▲ 載荷時の複数M- ϕ 特性の応答



▲ 除荷時の複数M- ϕ 特性の応答

静的解析の例

モデルの条件



- 水平方向の荷重
- 鉛直下方の荷重

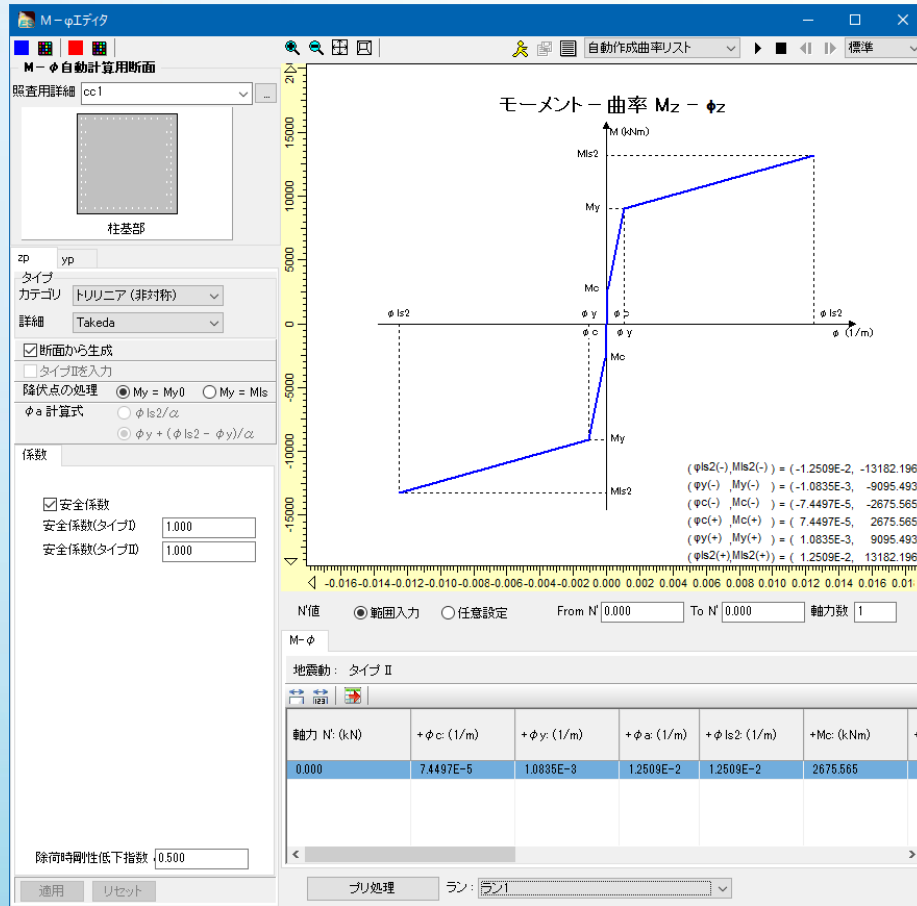


同時に漸増載荷

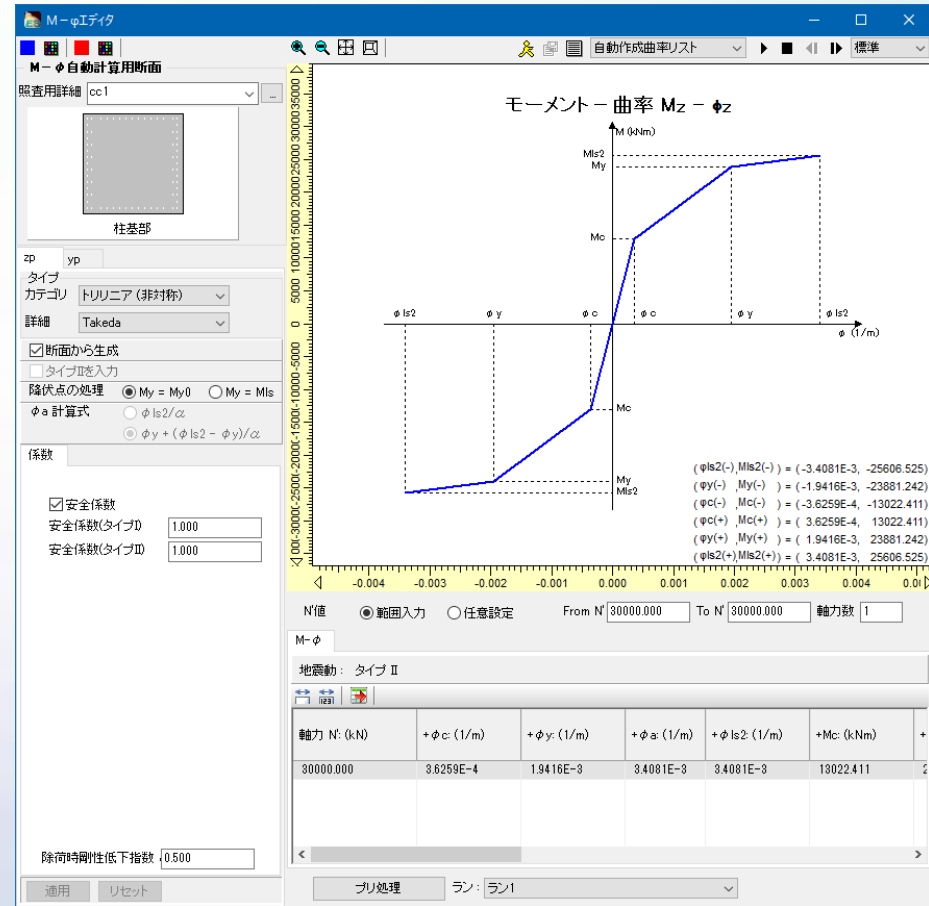
4つのモデル

- モデル「Nmin」:
最小軸力(0.0kN)で一定のM- ϕ 特性。
- モデル「Nmax」:
最大軸力(30000kN)で一定のM- ϕ 特性。
- モデル「Fibre」:
ファイバー要素モデル。
- モデル「N vary」:
軸力0kNから30000kNまでの範囲に5個のM- ϕ 特性を考慮

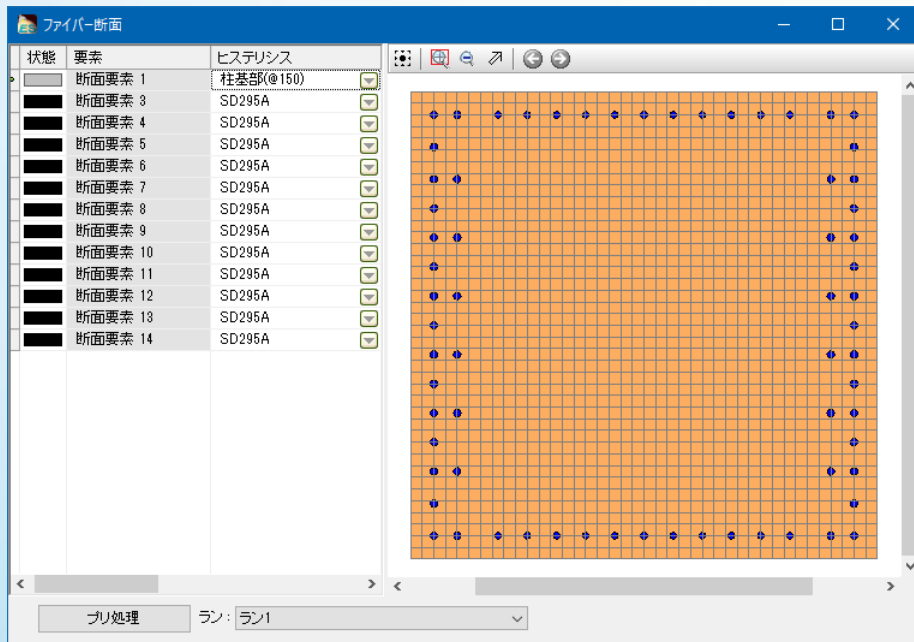
モデル「N min」 1個のM-φ特性



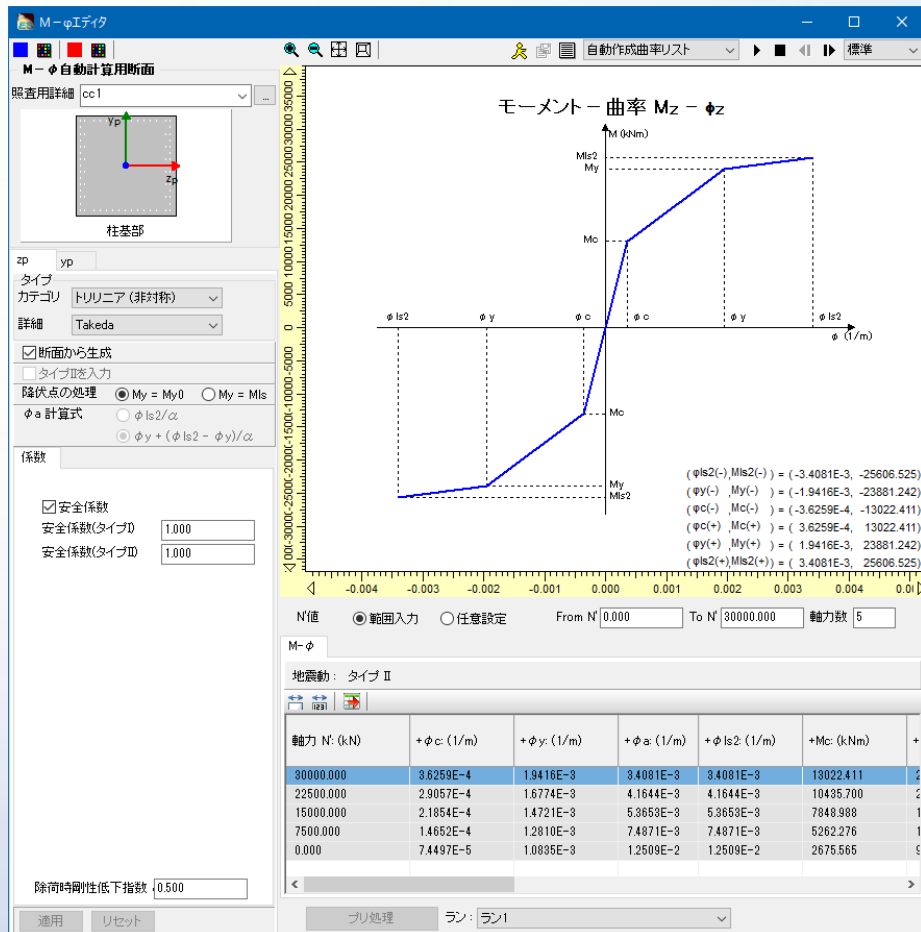
モデル「N max」 1個のM-φ特性



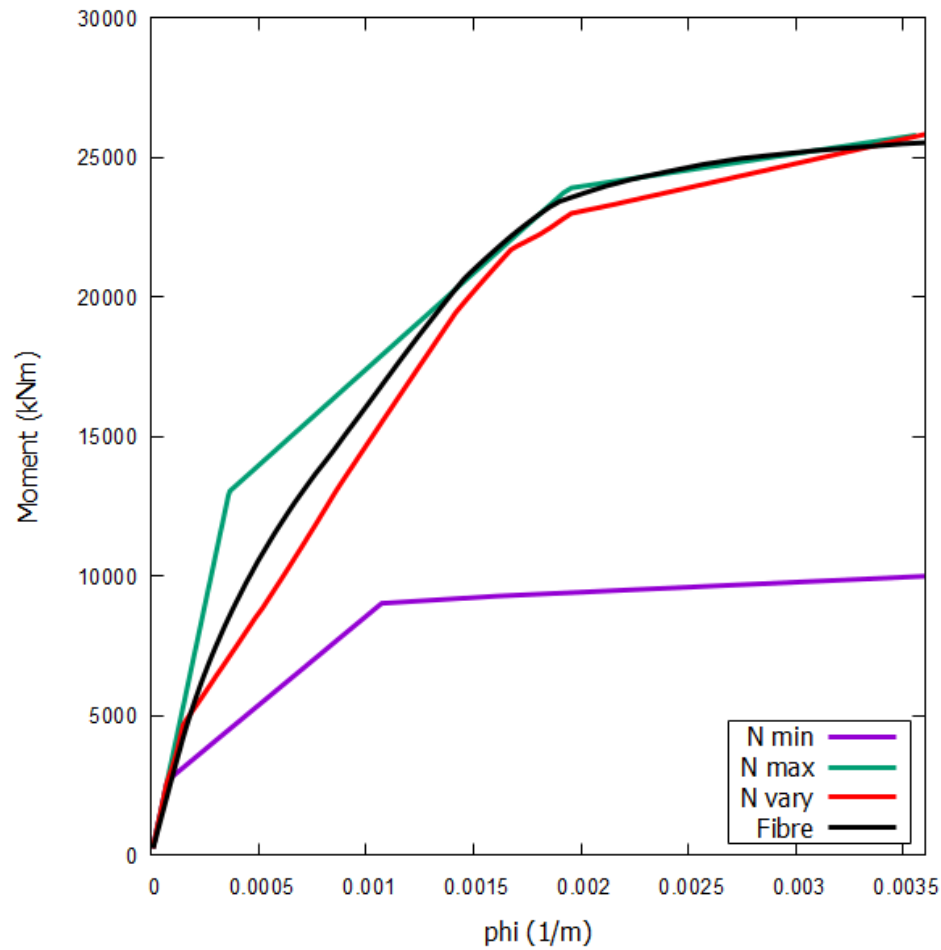
モデル「Fibre」 ファイバー要素



モデル「N vary」 5個のM-φ特性



比較結果

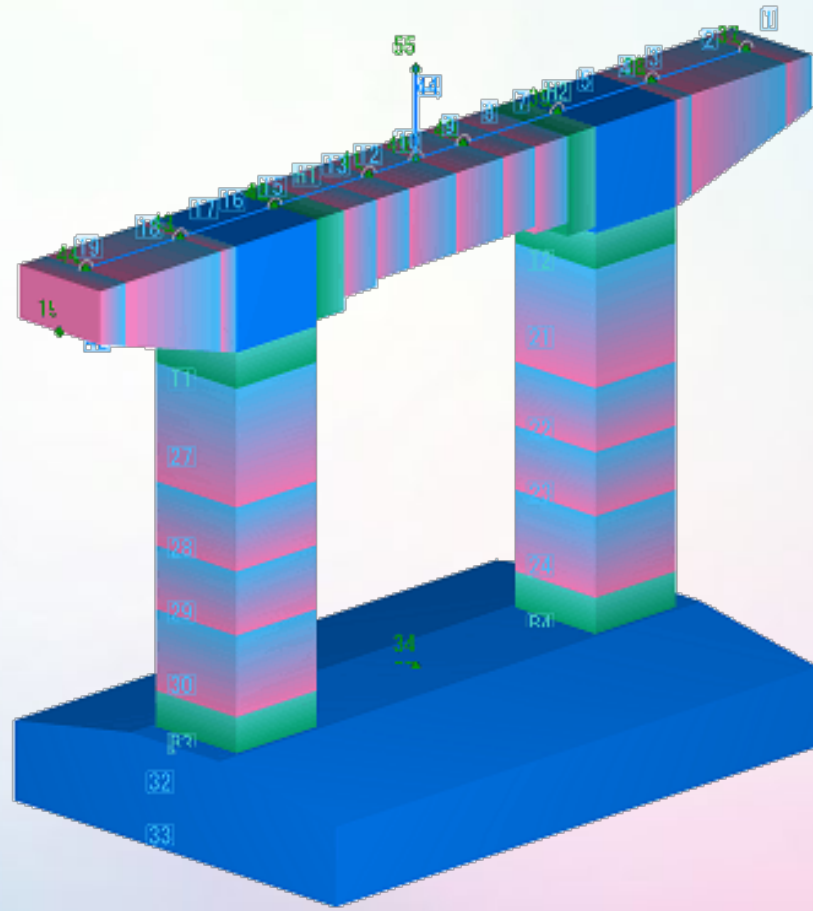


- 「Fibre」と「N vary」は、NminとNmaxの間で応答している。どちらも最小軸力から最大軸力へ軸力が増加することを考慮しているため。
- 4つのモデルの原点付近は、重なっている。軸力変動の影響が小さい領域では4つのモデルともほぼ同じ応答になる。
- ファイバー要素「Fibre」と軸力変動考慮のM-φ要素「N vary」の応答はほぼ一致している。

動的解析の例

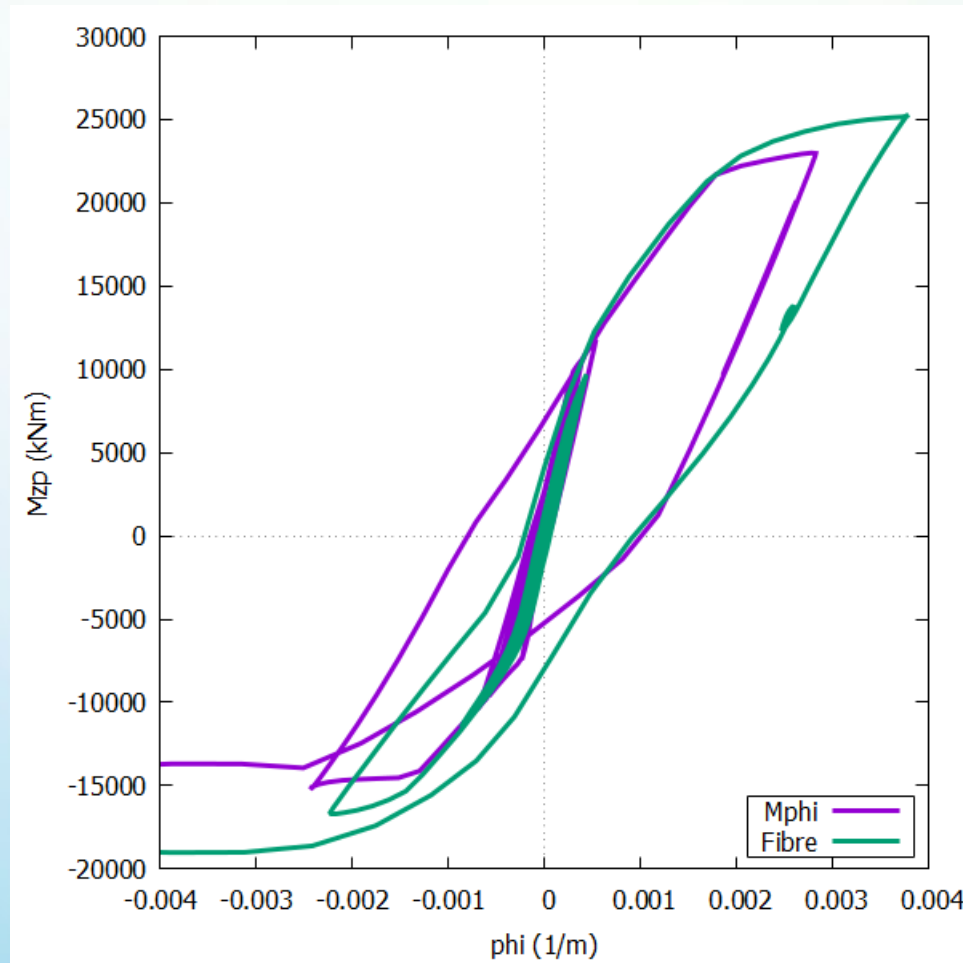
モデルの条件

- ラーメン橋脚
- 面内方向
- 動的解析



比較結果

「軸力変動M-φ要素」と「ファイバー要素」



【開発中】

Engineer's Studio[®] Ver.10.1.0

- ラン毎に必要なだった固有値解析を共通化

Name	Modal Analysis	Primary	Selection Method	Parameters			Stiffness Method	CAMS	Support Case	Spring Case
				Frequency: (Hz)	α	β				
Damping Model 1	Modal Analysis 1	Rayleigh	Max Participation Factor X	< NOT CALCULATE >	< NOT CALCULATE >		Initial Stiffness		Support1	< NONE >
Damping Model 2	Modal Analysis 1	Rayleigh	Max Participation Factor X	0.25645	0.00945		Initial Stiffness		Support1	< NONE >
Damping Model 3	Modal Analysis 2	Rayleigh	Max Participation Factor X	0.25645	0.00945		Initial Stiffness		Support1	< NONE >

Index	Run Name	Calc.	Sequence	Damping Model	Support Case	Distributed Spring Case	Color
1	Run1	<input checked="" type="checkbox"/>	Typell-II-1	Damping Model 1	Support1	<<NONE>>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Run2	<input checked="" type="checkbox"/>	Typell-II-2	Damping Model 1	Support1	<<NONE>>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Run3	<input checked="" type="checkbox"/>	Typell-II-3	Damping Model 2	Support1	<<NONE>>	<input checked="" type="checkbox"/>

Can create new object.
ex. <New Support Case>
<New Distributed Spring Case>

Show Object Editor(ex, Sequence Editor, Danning Model Editor)

This column not displayed for Eigen selection mode

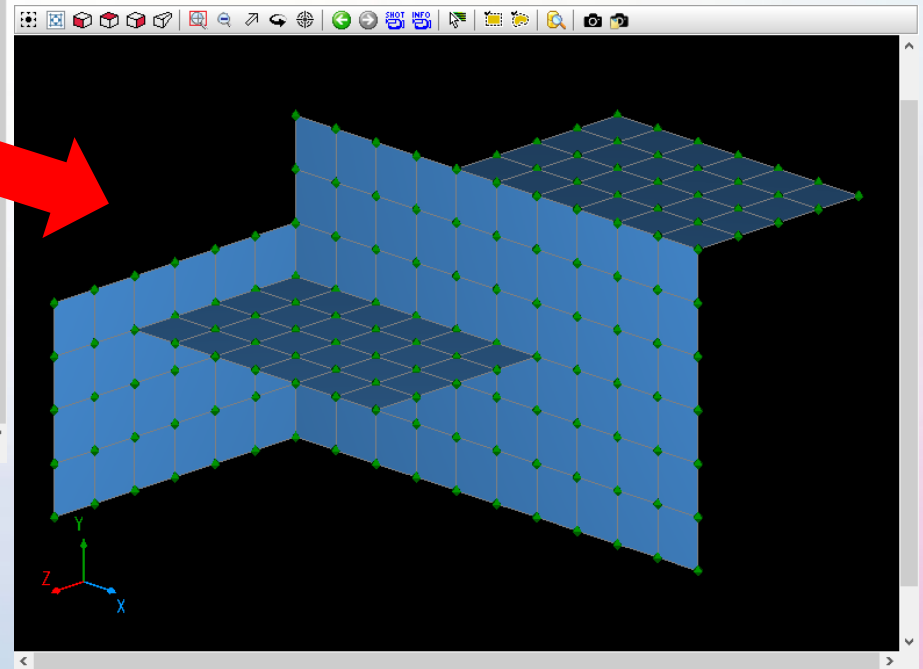
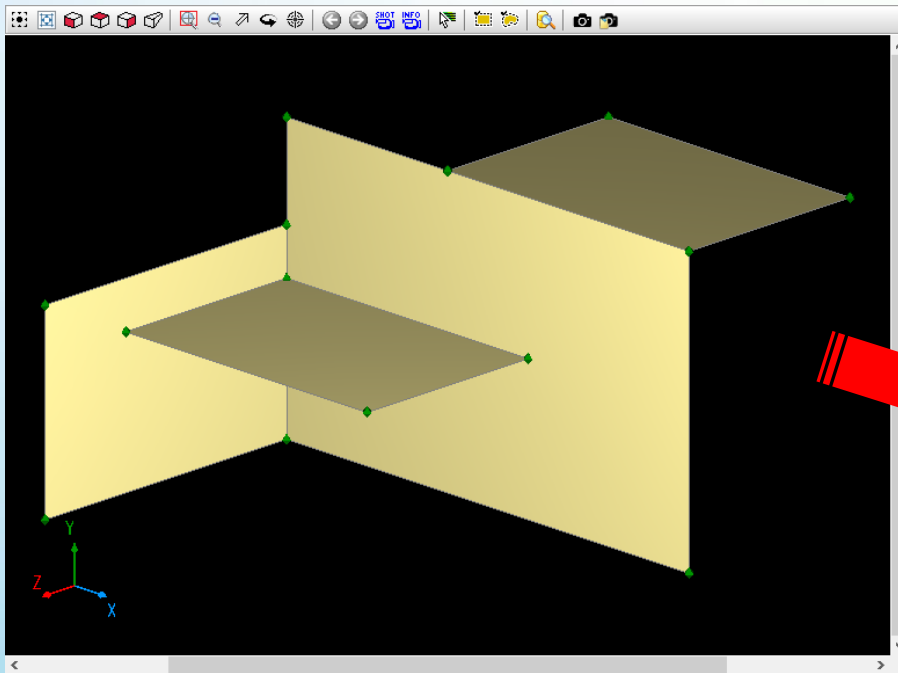
Damping Ratio

0.04619

【開発中】

Engineer's Studio® Ver.11.0.0

- 平板要素のリメッシュ



「FEMLEEG」

“FEMLEEG”

Ver.11新機能

2021年9月リリース

- 全体
 - 要素荷重に任意方向の辺荷重を追加 (FEMIS・FEMOS・LISA)
- FEMIS
 - エッジグループ機能の追加
 - ¼円パターンメッシュの追加
 - 節点列、バーテックス列のボックス選択
- FEMOS
 - 結果描画コマンドケース選択のスモーキング対応
 - 要素中心値表示の改善
- その他
 - 描画線幅指定機能の追加
 - リンク要素描画改善

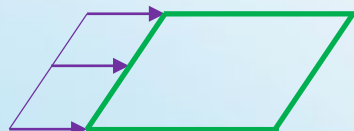
任意方向辺荷重の追加

FEMIS・FEMOS・LISA

- 従来、辺荷重は2次元要素の面内方向しかありませんでした。ソリッド要素や任意方向の辺荷重はユーザーが節点荷重に置き換えて与えなければなりませんでした。
- 今回、直接ソリッド要素や任意方向の辺荷重を与える機能を追加しました。

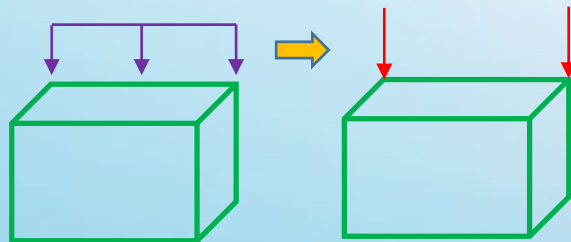
辺荷重設定	2次元要素	3次元要素
Ver.10以前	△	×
Ver.11	○	○

従来の辺荷重設定

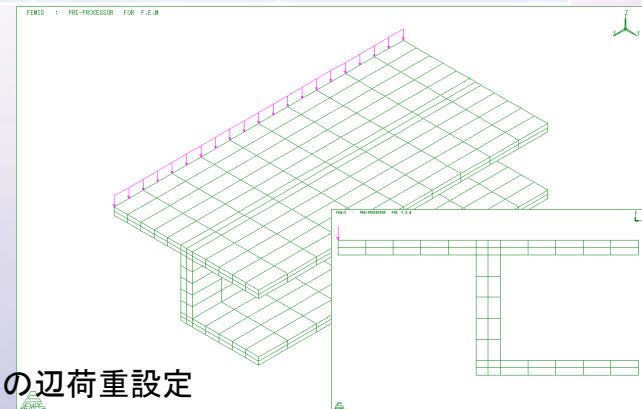


辺荷重は2次元要素
面内方向のみ

ソリッド要素への辺荷重は
節点荷重に置き換えて設定



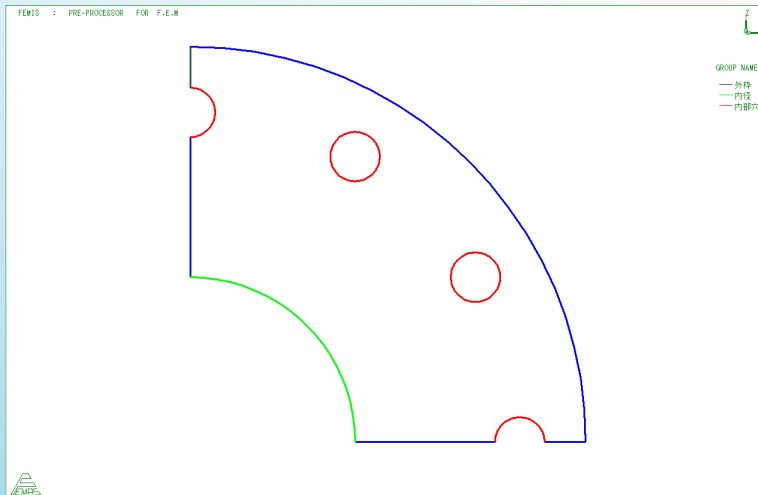
ソリッド要素への辺荷重設定



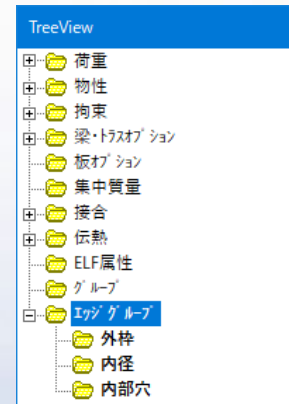
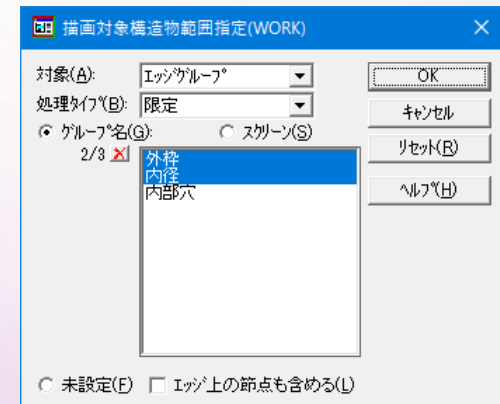
エッジのグループ設定機能の追加

FEMIS

- 要素グループと同様の、エッジにもグループを設定できる機能を追加しました。エッジ生成時、または生成後どちらでもグループ名を設定することができ、グループ名による描画範囲選択などで作業単位の切り替えがし易くなり効率がアップします。



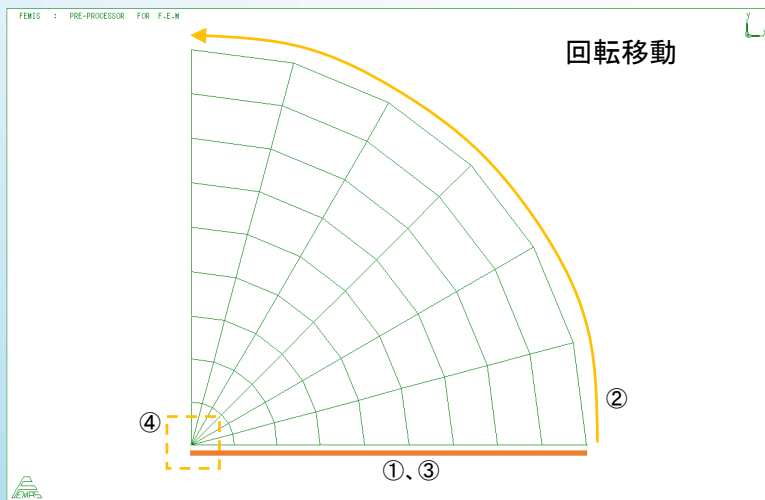
エッジグループ毎色分け描画

TreeView
エッジグループ
一覧表示描画範囲選択
エッジグループ選択画面

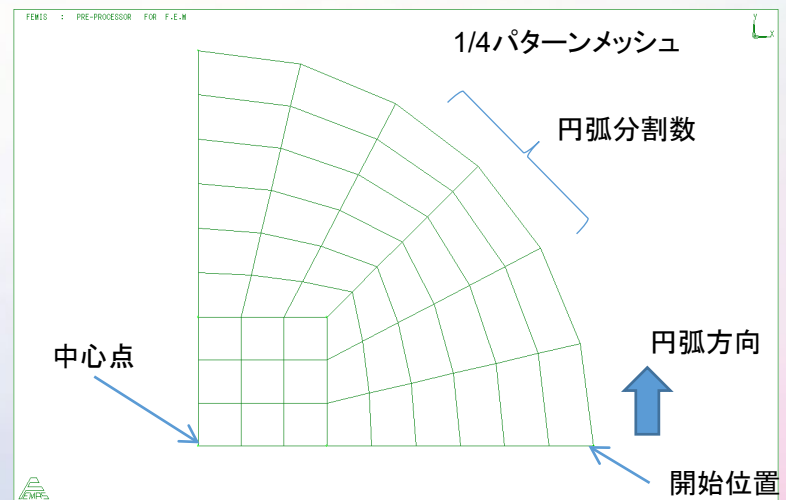
1/4円パターンメッシュ機能の追加

FEMIS

- 円形メッシュ生成には回転移動を使用する方法がありますが、直感的な反面、手数がかかるのと、中心部が3角形要素になるため精度が落ちてしまいます。
- 今回、簡単な指定で中心部を4角形要素で分割する1/4円パターンメッシュ生成を追加しました。



- ① 作業用1次元メッシュを生成
- ② 回転移動で2次元メッシュを生成
- ③ 1次元メッシュを削除
- ④ マージ処理を実行して中心の節点重複を解消

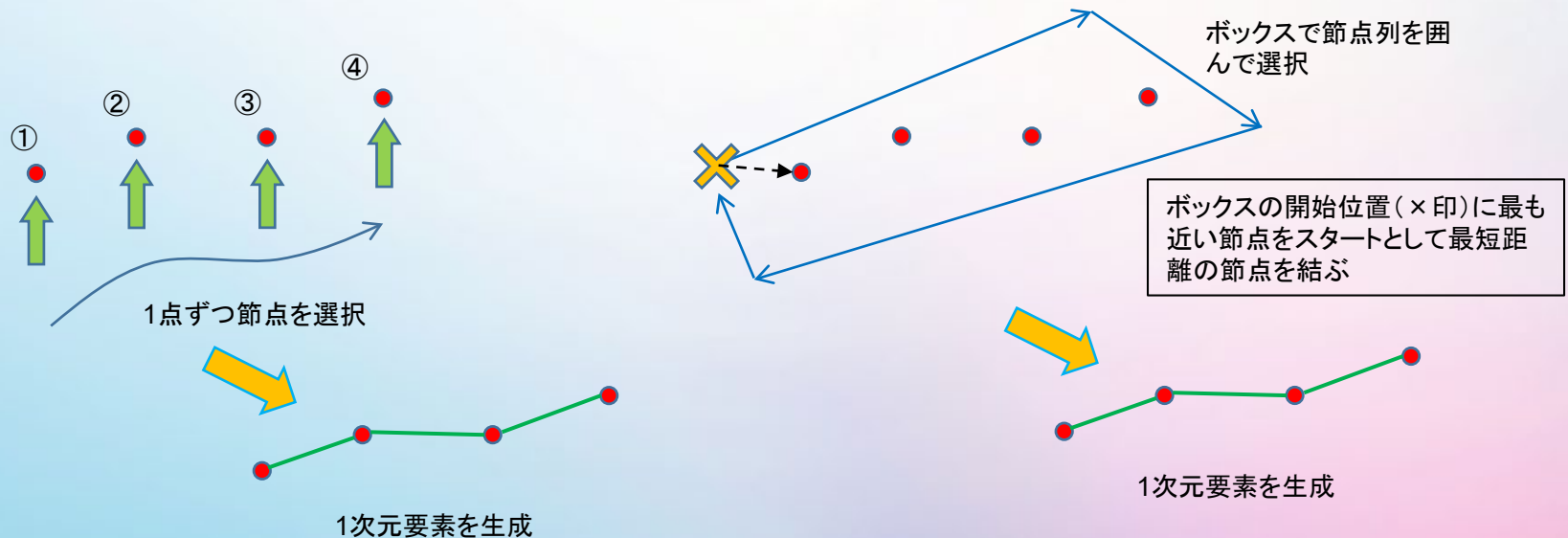


- ① 中心点、開始位置・円弧方向、円弧分割数を指定

節点列、バーテックス列のボックス選択

FEMIS

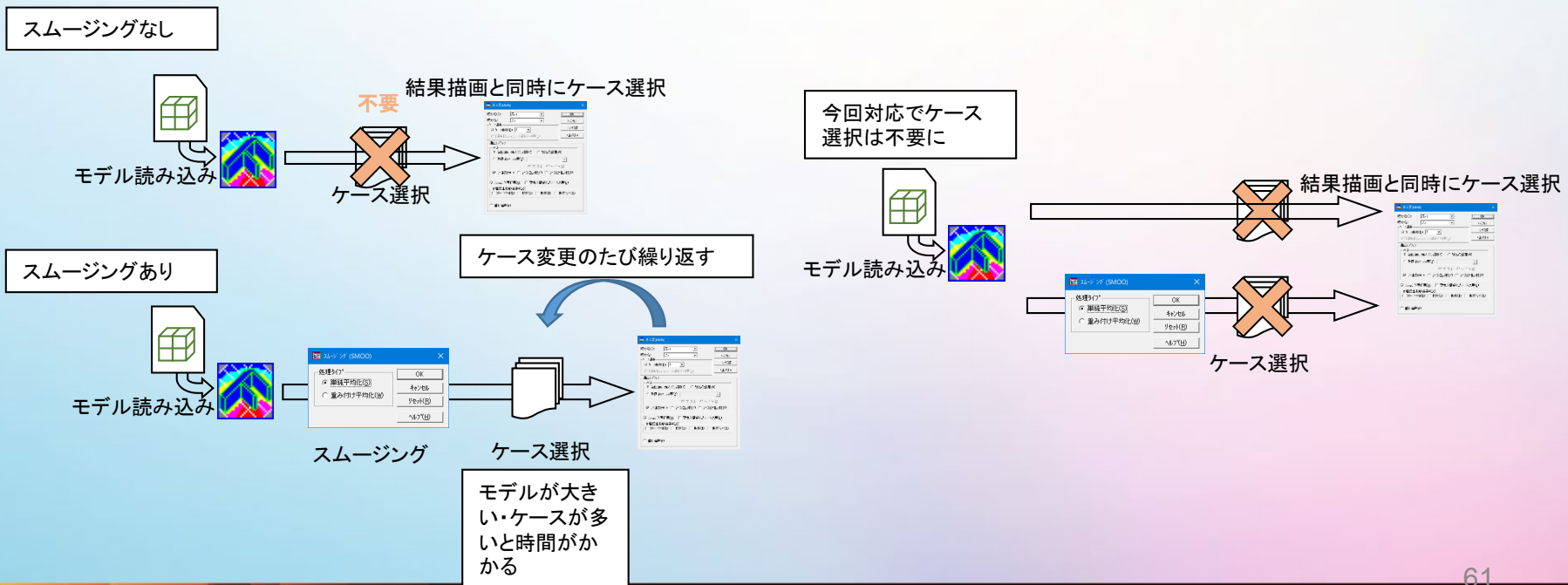
- 節点列を選択して1次元要素を生成する/バーテックス列を選択してエッジを生成する場合、これまでは1点ずつ選択しなければなりませんでした。
- 今回、節点列/バーテックス列をボックスで選択して1次元要素/エッジを生成できるようにしました。



結果描画コマンドケース選択の スムージング対応

FEMOS

- Ver.9.1で結果描画コマンドにケース選択の機能が追加され、解析ケース選択→結果描画と別々の操作を行う必要がなくなりました。しかし要素単位の結果を節点に（平均化）出力するスムージングには対応していませんでした。
- そのためスムージングする/しないで操作が異なり、また結果への高速アクセスの恩恵が受けられませんでした。
- 今回、スムージングに対応したことで、同じ操作、結果へのアクセスが高速化されました。

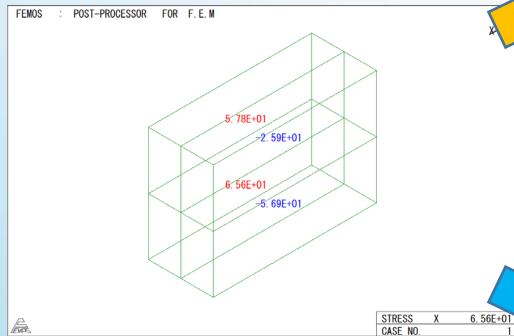


要素中心値の表示改善

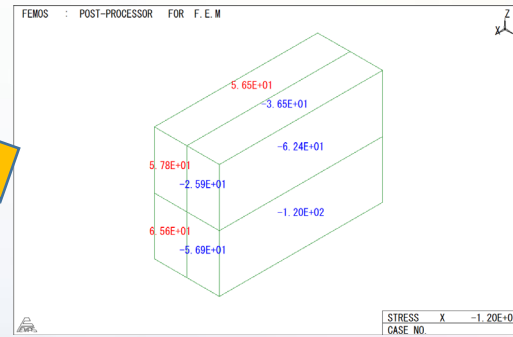
FEMOS

- 3次元モデルで要素中心の値を隠線図で表示した場合、要素面中心に補間された値が表示されます。
- これとは別に、ユーザーから補間されない要素中心の値を表示させたいという要望があり、要素毎色分け図を機能拡張して対応しました。

要素中心の値(透視図)

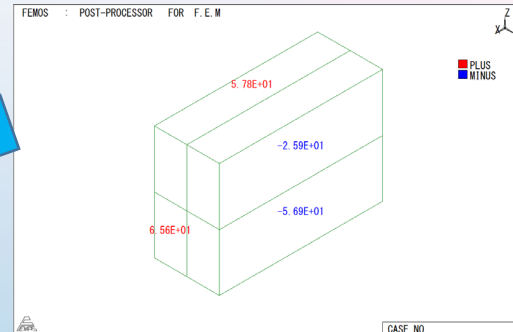


数値図による表示



隠線図で表示した場合、同じ要素でも面毎に異なる値になってしまう。

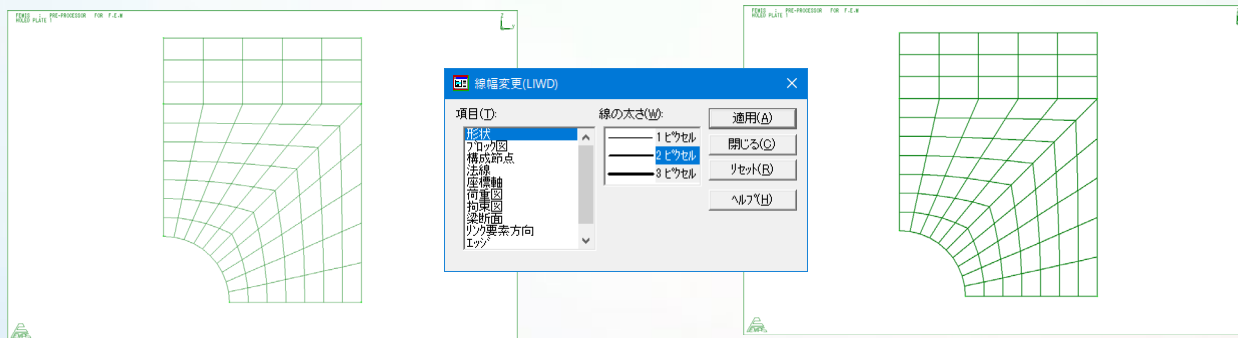
要素色分け図による表示



今回追加した機能では、そのまま要素中心の値を表示する。

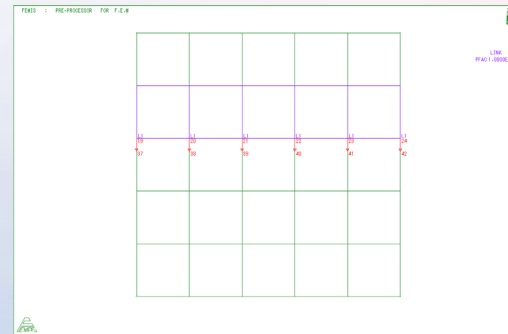
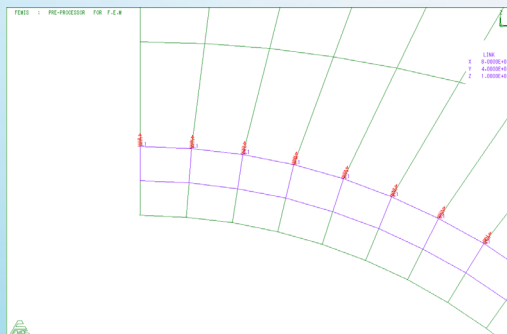
その他

- 描画線幅指定機能



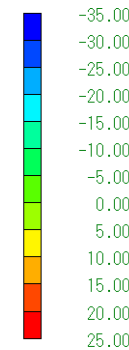
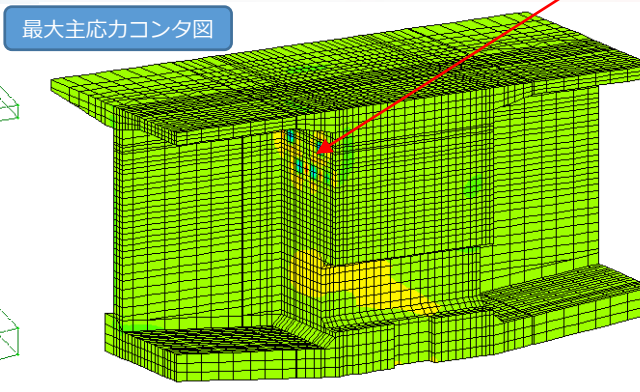
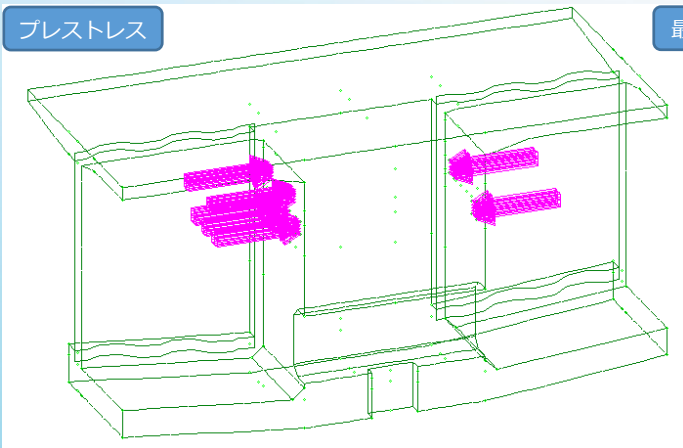
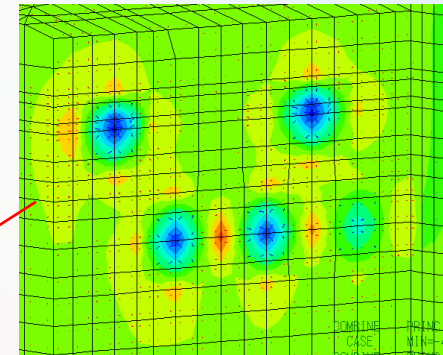
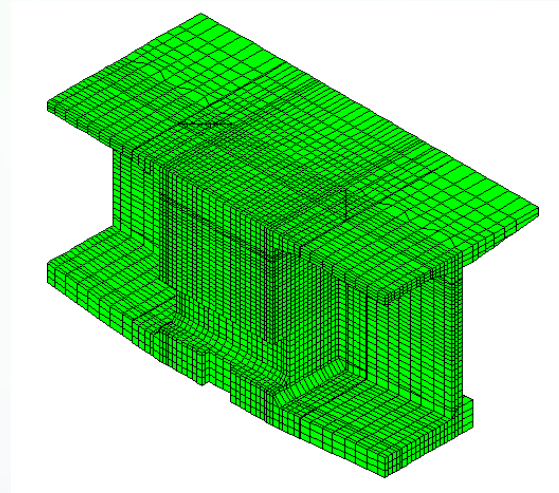
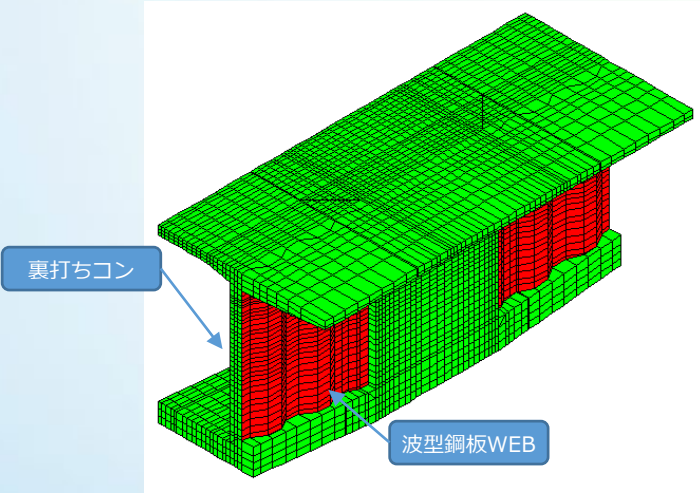
- リンク要素描画改善

- リンク要素のバネ方向/NO-TENSION剥離方向、I端J端の節点番号表示を追加。



事例 波型鋼板WEB中空床版橋の解析

- PC波型鋼板WEB中空床版橋の応力解析





鋼床版箱桁橋分岐部における局部応力解析

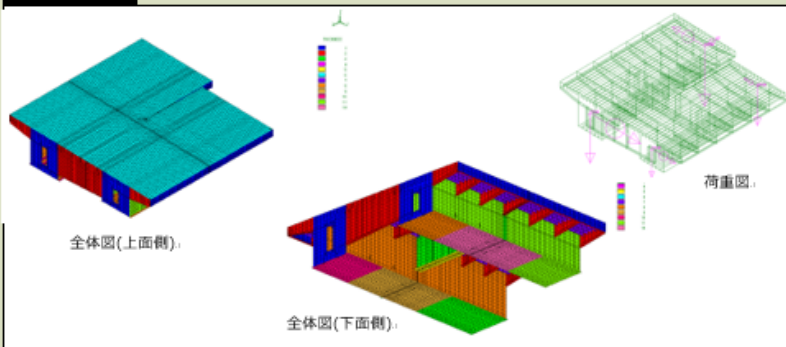
—プレート/シェル要素を用いた FEM モデルによる立体解析—

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

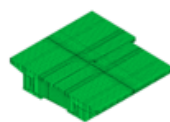
- 【①常時】
- 【②地震時：L2 地震時】

モデル概要

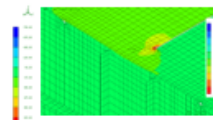
- ・下部工支点上の前後、平均中間横桁及び中間ダイヤフラム位置までを作成範囲とした。
- ・荷重は主桁断面図心位置に仮想節点を設け、フレーム解析結果の断面力を与えた。
- ・メッシュ分割は分岐部及びデッキプレートの横桁腹板直上を密にし、徐々に粗くして粗密を付けた。

検討結果

最大主応力コンタ図-全体



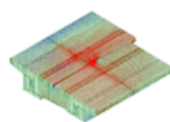
最大主応力コンタ図-分岐部



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

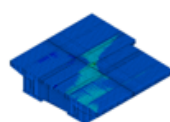
最大主応力ベクトル図



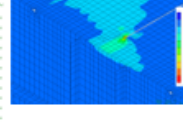
最大主応力ベクトル図-分岐部



面外せん断応力コンタ図



面外せん断応力図-分岐部



主桁断面反力と変位、横桁断面反力と変位

断面	反力	変位	断面	反力	変位
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。

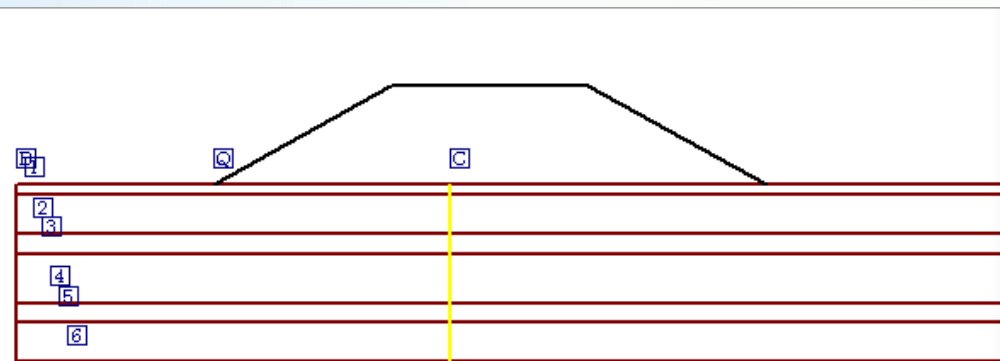
「Geo Engineer's Studio」

“Geo Engineer's Studio “

Ver.3.0

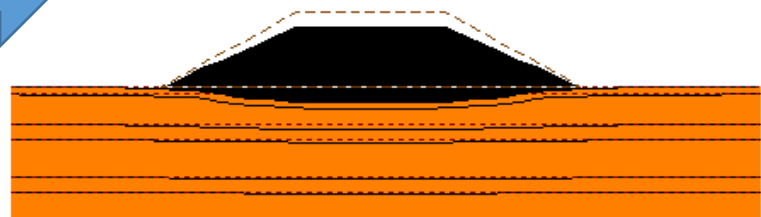
- 圧密連成解析への対応
 - カムクレイモデル、修正カムクレイモデルへの対応
 - 関口太田モデル構成則の追加

Ver.3.0 圧密連成解析への対応



最大値 (最大値の発生位置)
 Δe 法: 2.074 m (27.525 m)

全沈下量 (着目点位置)
 Δe 法: 2.066 m (24.000 m)

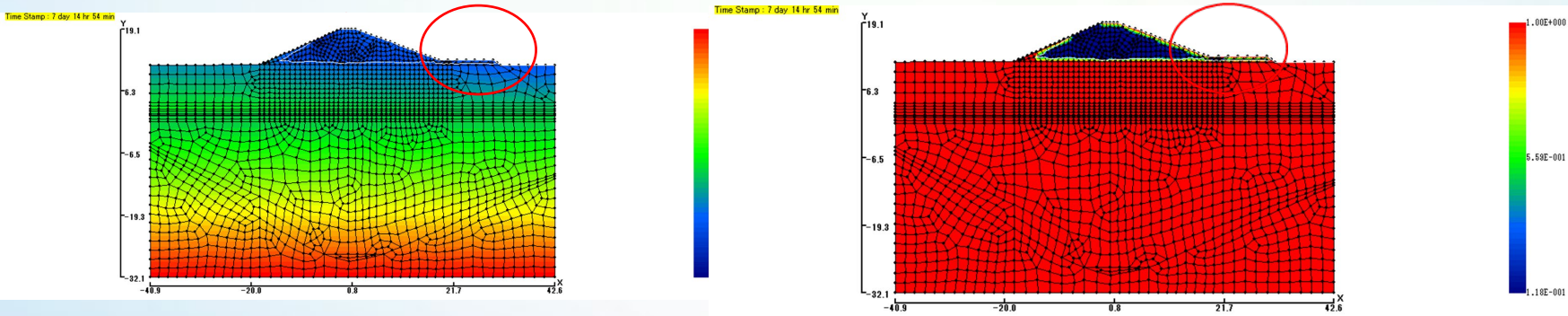


圧密前

圧密沈下後

解析事例：浸透流解析による堤防浸透破壊に対する検討

側帯 高さ2.0m



▲ 間隙水圧分布図

▲ 飽和度コンタ図

- ・ 本解析対象は、堤体に対して計画洪水位の際に浸透破壊するか検討した。法尻（図の堤体右側が下流側）においてパイピングおよび浸透破壊の検討をした結果・幅：約90m×深さ：約40mをモデル化、現状の断面ではNGとなった。
- ・ 側帯高さ2.0mを下流側の法尻に設けることで、パイピングおよび浸透流は解に対してOKとなった。

ご清聴ありがとうございました

15th FORUM8 DESIGN FESTIVAL 2021 3DAYS+EVE

AUTONOMOUS DRIVING NATIONAL RESILIENCE

CAD / DESIGN / CLOUD 3DVR SIMULATION

BIM / CIM & VR FEM ANALYSIS

All about
FORUM8®
Products.



主催：株式会社フォーラムエイト