



18TH FORUM8

All about FORUM8 & Products.

DESIGN FESTIVAL

2024 3DAYS+EVE

11.13 WED - 15 FRI 11.12 TUE



FORUM8
主 催：株式会社フォーラムエイト



■プレゼンテーション

「災害対策におけるFEM解析・ 災害シミュレーション最新情報」

“The Latest Information on FEM Analysis and
Disaster Simulation for Disaster Countermeasures”

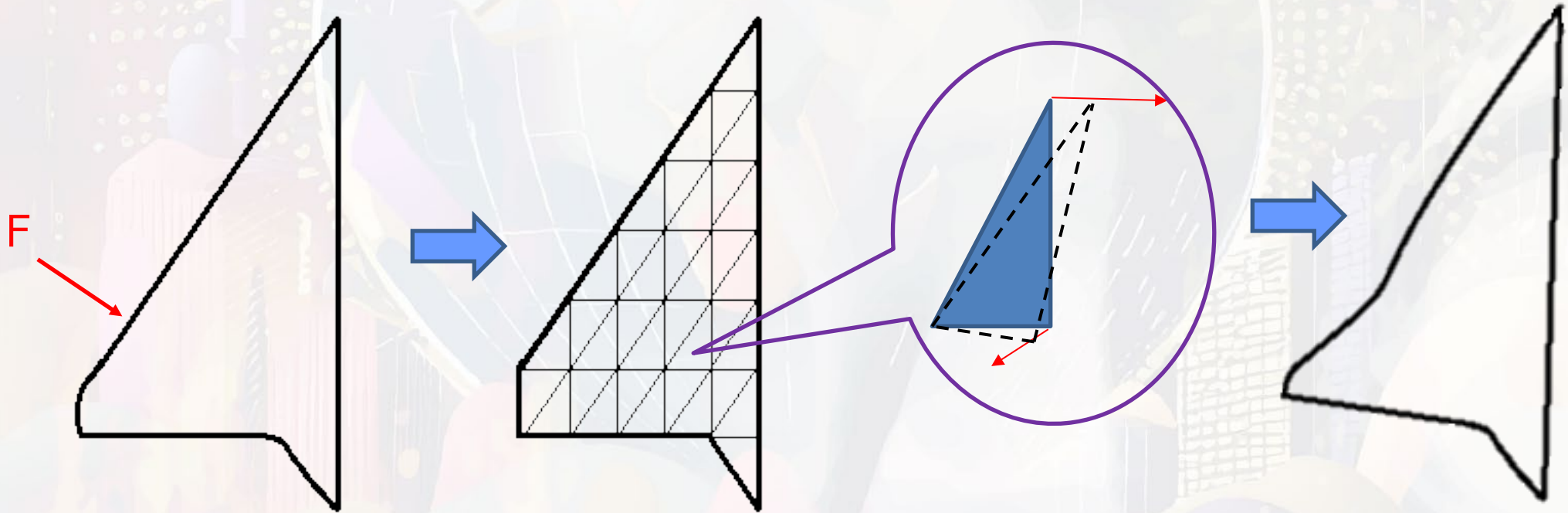
フォーラムエイト 解析支援Group長代理
松山 洋人

Hiroto Matsuyama

Deputy-chief Manager of FORUM8 Analysis Support Group

有限要素法(FEM)

有限要素法(FEM : Finite Element Method)とは、複雑な形状の構造物の挙動を求めるにあたって、構造物を単純で小さな形状（要素）に分割して、その挙動を求め全体の挙動を求める手法。数値解析で求めることが難しい問題の近似解を求めることができる数値解析手法で、個体や流体をはじめ、様々な解析やシミュレーションに活用されています。



2009年2月リリース
3次元積層プレート・ケーブルの動的非線形解析

Engineer's TM Studio

Engineer's Studio®の優れた機能

- ・世界最高水準のコンクリート解析理論、前川モデルをサポート
- ・新しい解析の提供により、既存設計構造物のバックチェックに活用
- ・ミンドリンプレート、大変形解析など広く構造物解析に適用可能
- ・三角形・四角形メッシュ、減衰要素対応、強力な3Dインターフェース

完全な当社独自開発解析ソフトウェア

- ・前川モデルをはじめ様々な解析理論、非線形構成則に対応できる拡張性
- ・計算スピードの大幅な改善や他のAPとの連携など様々な柔軟性
- ・優れたコストパフォーマンスの確保

Engineer's Studio®の使命

社会にとってより良いものになるソフトウェアを目指します
精度良い解析で高品質・安全なインフラ構築に役立ちます
ユーザのビジネスチャンスにつながる新しいソリューションを提供します



64bit版対応

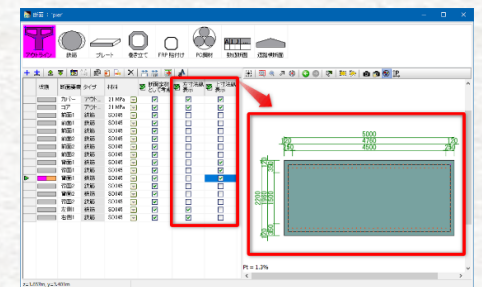
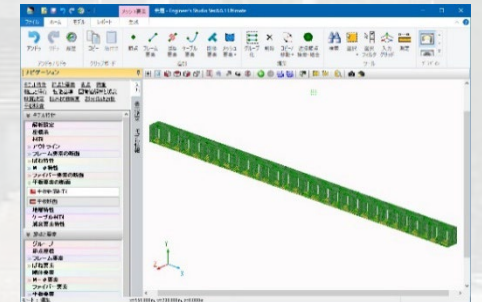
- ・メモリを大量消費する大規模モデルの入力・結果確認が可能に
- ・ページ数の多いレポート(3万ページ等)出力対応

入力操作簡素化

- ・作成するモデルの種類に応じてナビゲーションに表示される項目を増減
- ・必要な入力項目のみが表示され、不要な入力項目は隠されます

鉄筋の配置情報の寸法線表示機能強化

- ・断面サムネイルやレポート出力の断面の図に断面幅や断面高さ、鉄筋の配置情報の寸法線が表示

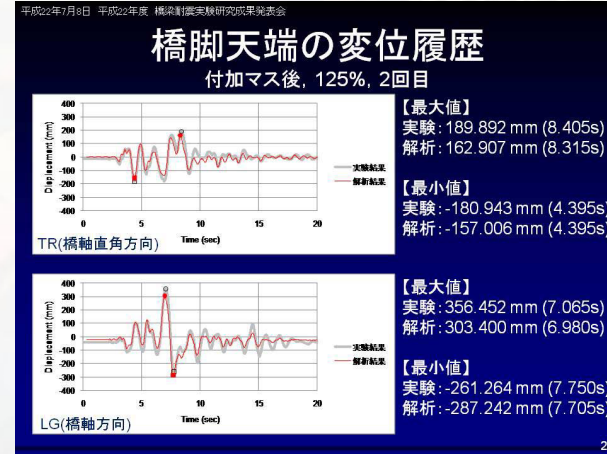


事前解析/ブラインド解析コンテスト

2010年：連続優勝!!ブラインド解析コンテスト

平成22年7月8日、平成22年度橋梁耐震実験研究成果発表会(主催(独)防災科学技術研究所)において実施された「高じん性モルタルを用いた実大橋梁耐震実験の破壊解析 ブラインド解析コンテスト結果発表・表彰」にて、当社社員と東京都市大学 吉川弘道教授の合同チームが優勝者として表彰されました。

解析対象橋脚は柱基部に高じん性モルタル(HPFRCC)を用いたもので、次世代型高耐震RC橋脚として期待されているものです。我々はEngineer's Studio™を用いて解析を行い、高い精度で実験結果を予測することができました。



解析概要

- 使用プログラム: Engineer's Studio ver. 1.03.00 (HPFRCC追加版)
- 株式会社フォーラムエイト
- 対象: C1-6橋脚試験体および端部橋脚を含む全体系モデル

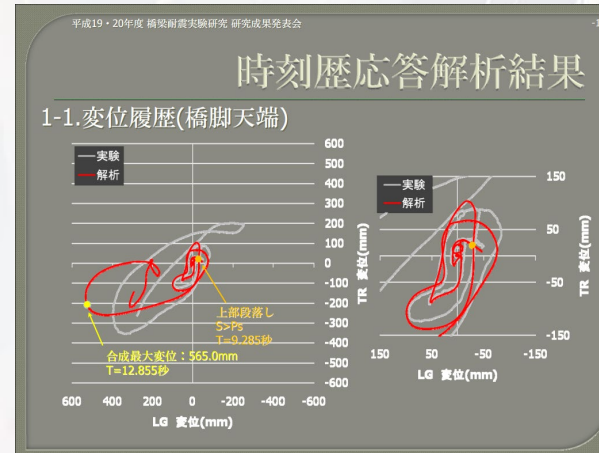
試験体写真※

Engineer's Studioモデル

※兵庫県工学研究センターHP加振実験映像(<http://www.bosai.go.jp/hvogo/movie.html>)の"20100302 n_wmv"より

2009年：事前解析コンテスト・ファイバー部門優勝!

平成21年3月5日、実大三次元震動破壊実験施設 (E-ディフェンス) を用いた橋梁耐震実験研究「橋梁は、地震にどこまで耐えられるか?」平成19・20年度橋梁耐震実験研究・研究成果発表会(主催(独)防災科学技術研究所、世界貿易センタービル3階)において実施された「C1-2実験事前解析コンテスト結果発表・表彰」にて、当社UC-win/F-RAME(3D)解析支援チームメンバーが優勝者として表彰された。



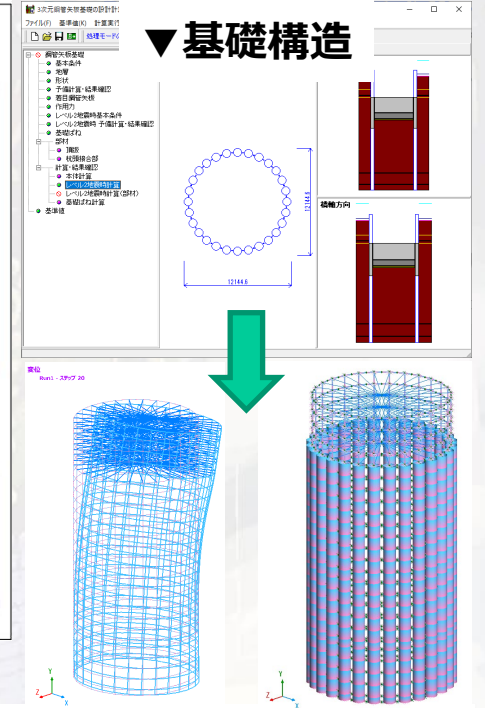
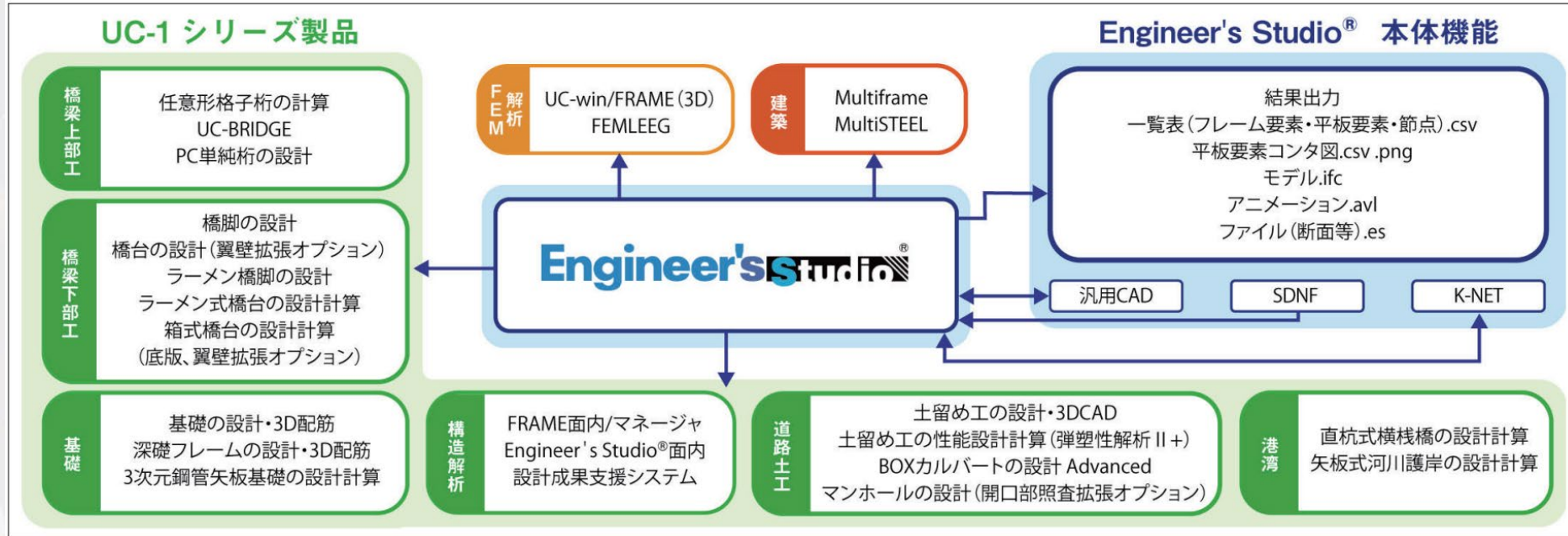
平成19・20年度 橋梁耐震実験研究 研究成果発表会

モデル概要

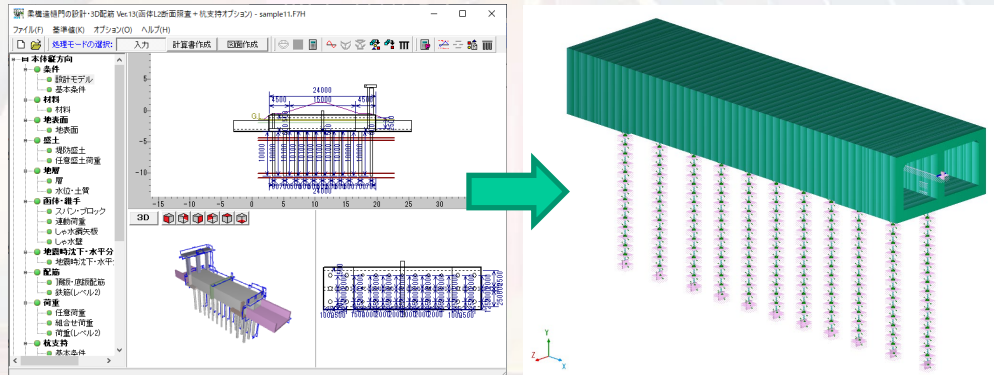
節点数	:585
弾性梁要素	:735
ファイバー要素	:6
パネ要素	:8

解析結果

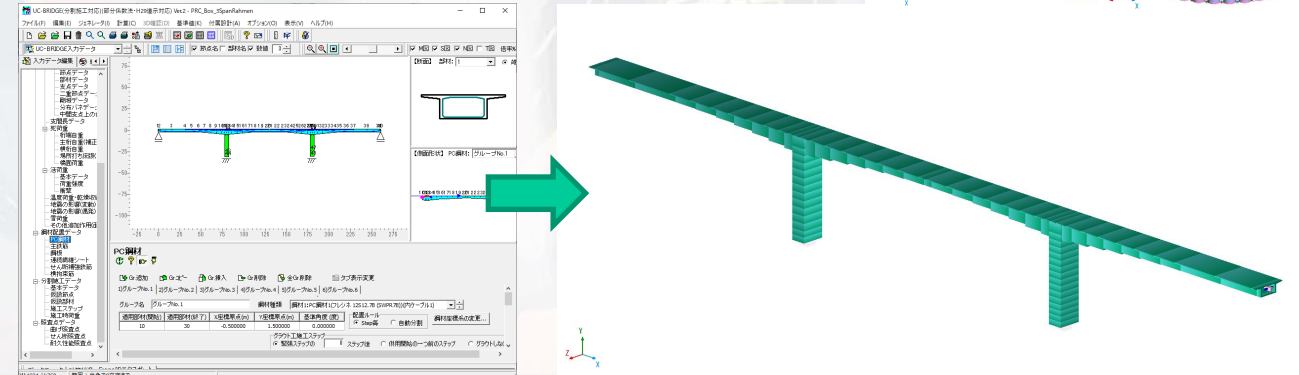
UC-1設計プログラムとのデータ連携



▼河川構造物(柔構造樋門)



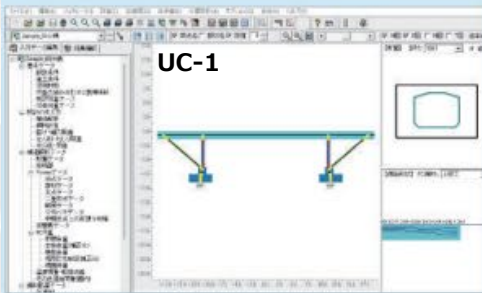
▼橋梁上部構造



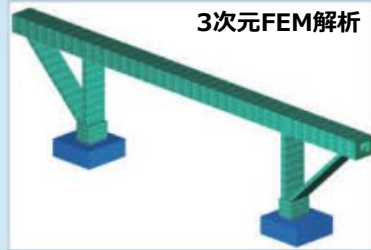
Engineer's Studio®データエクスポート

UC-1設計プログラムよりデータを連携させることで3次元FEM解析までデータ連携が可能で解析にも活用が可能

PC 構造 (ラーメン橋、斜π橋、PC 梁 等)

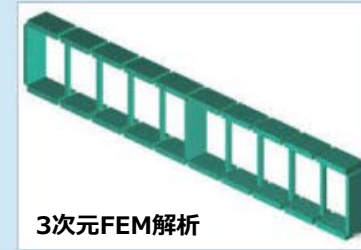


エクスポート
(プレスとレス含む)
→
常時～L2地震時を
一連で検討



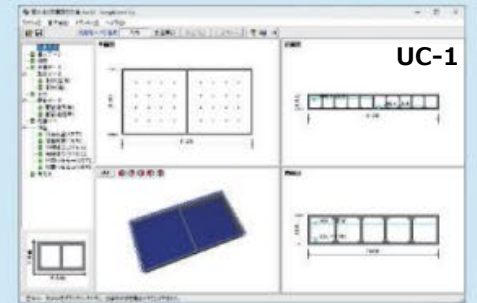
3次元FEM解析

河川構造物・水道構造物 (柔構造樋門、配水池 等)

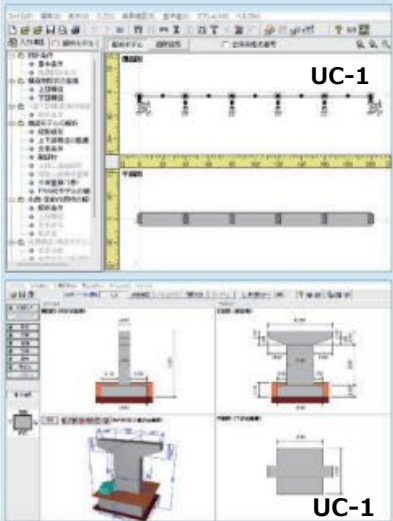


3次元FEM解析

← エクスポート
ピットあり等の適用外
の構造条件の検討



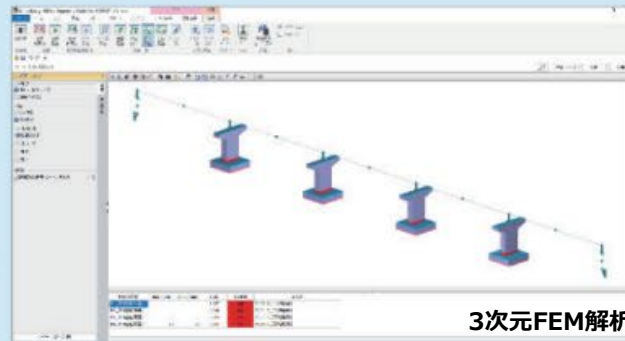
UC-1



UC-1

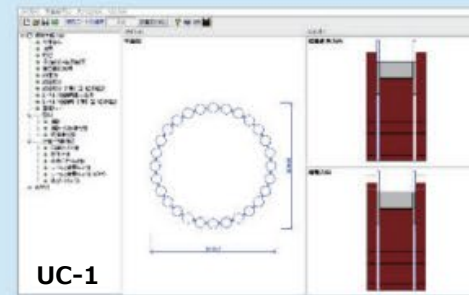
新設・既設・補強 橋梁全体系 (橋脚、橋台、基礎 等)

データ連携
← エクスポート
配筋・補強等の
トライアル検討
→



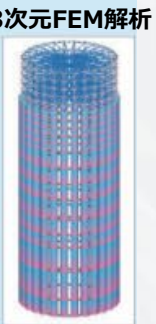
3次元FEM解析

各種基礎工法 (杭基礎、鋼管矢板基礎 等)



UC-1

→ エクスポート
施工不良等の
特殊条件下の検討



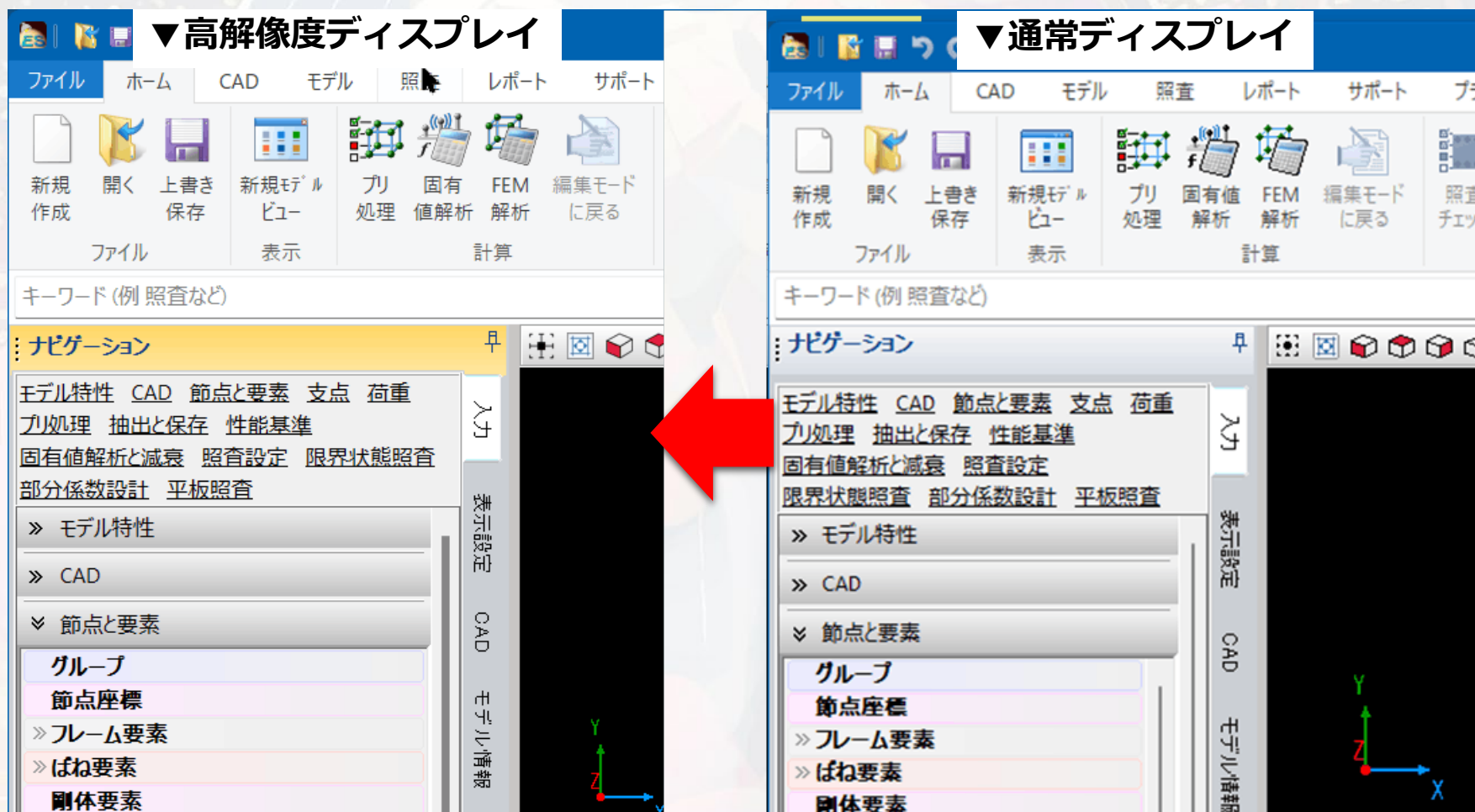
3次元FEM解析

Ver11.1.0~11.1.2(2024年11月リリース)

- 高解像度ディスプレイ対応
- 平板要素の面内モデル
- 平板要素に円筒座標系
- フレーム要素材端条件可視化
- 初期断面力に支点反力考慮
- プリ処理機能の改善
- 連続実行ツール(Calculationツール)の計算順序を制御

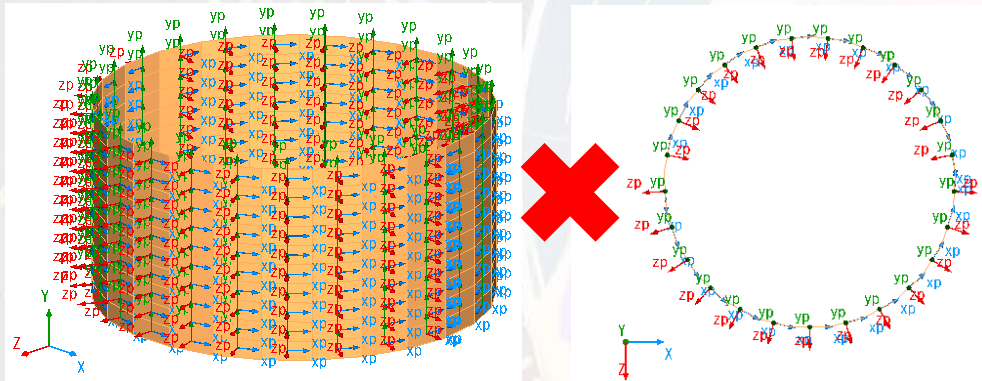
高解像度ディスプレイ対応

- 高解像度のモデル図等を広告・広報などで利用可能

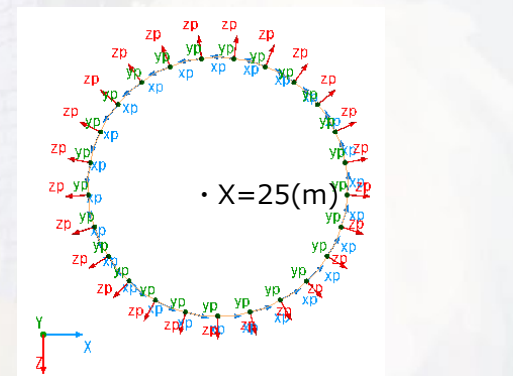
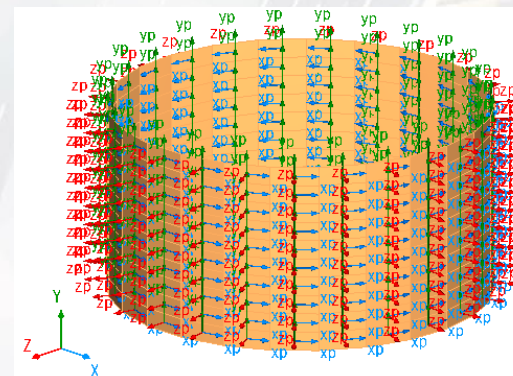
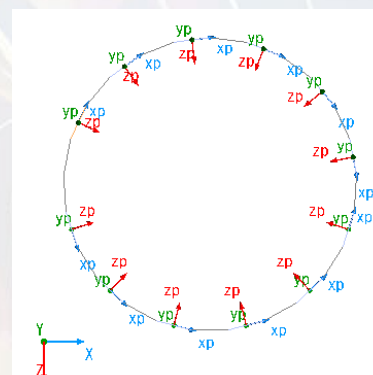
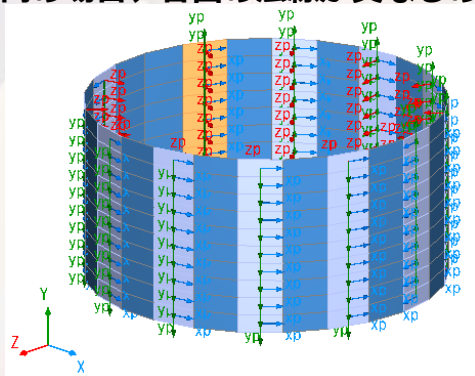
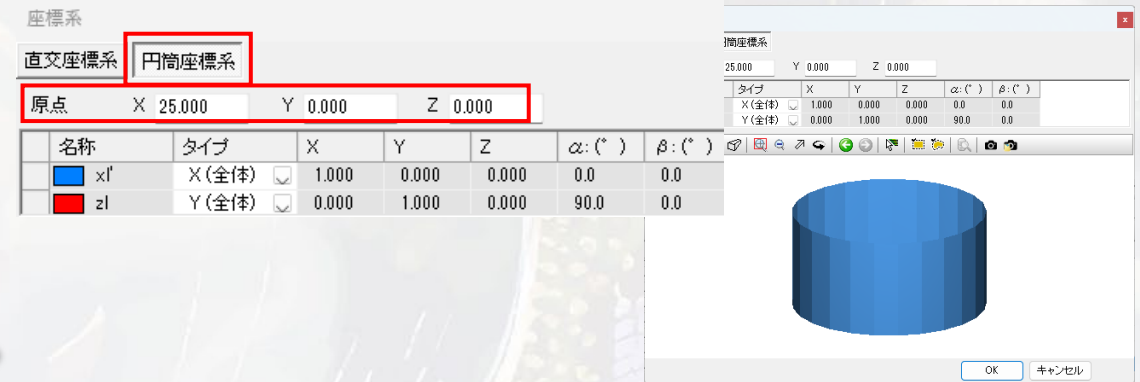


平板要素に円筒座標系

- 従来は円の側面ごとに平板要素を作成し、中心方向に座標系を設定
- 円筒座標系の追加により円筒の水槽や接続管のモデル化がより容易に



・円筒の場合、各面の法線が異なるので全体座標系では指定できない

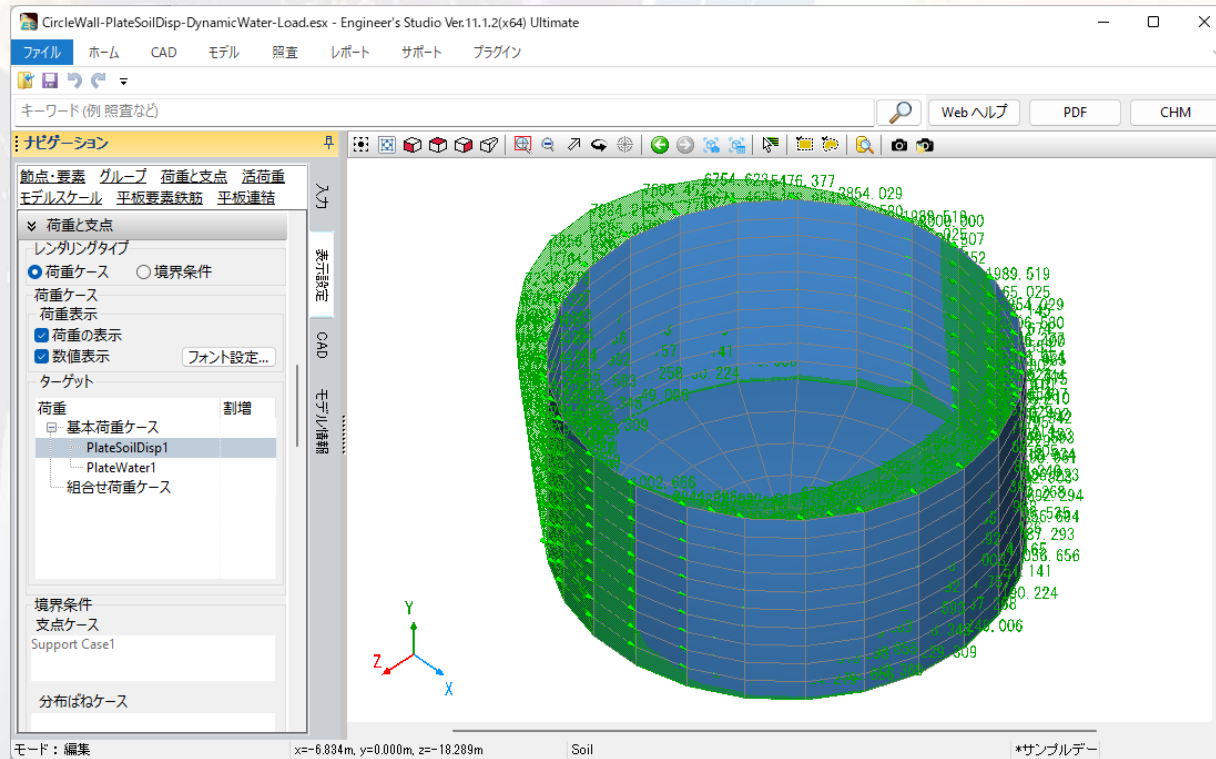


・法線方向ごとに平板要素を作成し、各中心座標系を計算して設定

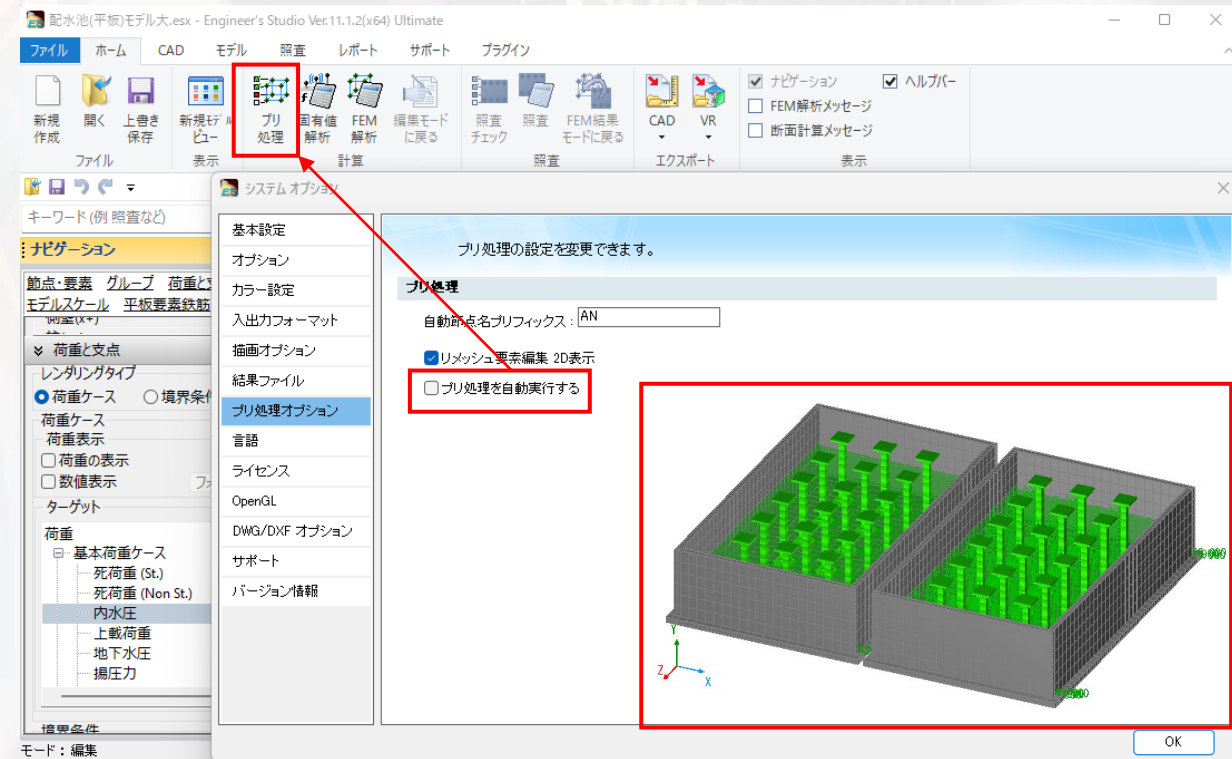
・円筒座標系を利用し、原点を指定するだけで一括で座標系を設定可能

プリ処理機能の改善

- M-φ特性や平板面荷重の表示にプリ処理の実行が必要であったが、自動処理を追加
- 大規模モデルでは再生成に時間がかかる場合もあり、自動と手動処理を選択可能



▲自動処理による平板面荷重表示



▲自動処理のオフ(手動による平板面荷重表示)

Ver11.1.0~11.1.2(2024年11月リリース)

- 高解像度ディスプレイ対応
- 平板要素の面内モデル
- 平板要素に円筒座標系
- フレーム要素材端条件可視化
- 初期断面力に支点反力考慮
- プリ処理機能の改善
- 連続実行ツール(Calculationツール)の計算順序を制御

Ver12開発予定

- プッシュオーバー解析

地震+津波の複合災害事例

- 地震後に津波が襲来することを想定
- L2地震動により変形(損傷)した状態で津波が襲来した場合の耐震性能照査を検証


● 第2回NaRDAグランプリ作品

「レベル2地震動および津波荷重を
考慮した耐震性能照査」

— 防潮水門に対する地震動と
津波の一連解析 —
(株)RATECH

MOVIE

Engineer's Studio®



レベル2地震動および津波荷重を考慮した耐震性能照査

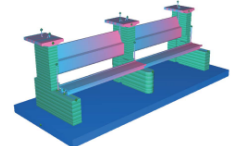
— 防潮水門に対する地震動と津波の一連解析 —

株式会社 RATECH

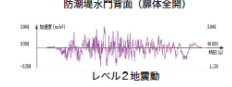
概要

既設防潮水門に対して、レベル2地震動および津波荷重を考慮した耐震性能照査をEngineer's Studio®により実施した。L2地震動により変形(損傷)した状態で津波が襲来した場合の耐震性能照査を検証することを目的とする。ここでは、耐震補強方案に示されたL2-1波形と想定津波高から作成した津波の波形データを外力として、動的解析を実施した。また、現状と耐震補強後の検討結果を比較し、対策効果を検証した。


解析モデル



防潮水門背面 (防体全開)



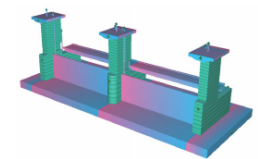
レベル2地震動



津波荷重

【モデル概要】

- ・ 縦壁柱2基、中央壁柱1基
- ・ 縦壁床板、扉体、管階層：弾性梁要素
- ・ 縦壁柱、中央壁柱：非線形要素 (M-φ要素)
- ・ 解析用モデルは扉体全閉状態



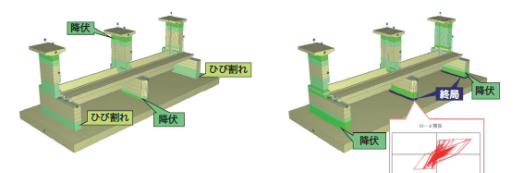
防潮水門背面 (防体全開)

照査結果

1 現状照査結果
【レベル2地震動後】
・ 門柱および縦壁の一部が降伏する。

→

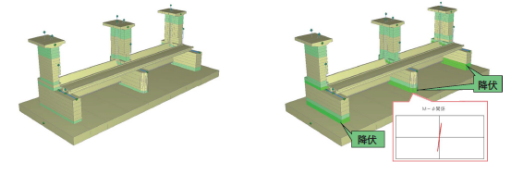
【津波荷重載荷後】
・ 縦壁基部が破壊状態(終局)に達する。



2 耐震補強対策照査結果
【レベル2地震動後】
・ 全ての部分が弾性状態に収まる。

→

【津波荷重載荷後】
・ 門柱および縦壁基部が降伏する。



解析条件

【荷重条件】

- ・ レベル2地震動：遠震タイプ1 (II種地盤)
- ・ 津波荷重：想定津波高9m ・ 載荷位置：扉体、縦壁前面

【解析ステップ】


①レベル2地震動 (継続時間40秒) ⇒ ②津波荷重 (第1波、第2波、第3波)

【耐震補強】


- ・ P.C.M工法により軸方向鉄筋補強 ・ 後打ち鉄筋挿入によりせん断耐力補強

考察

- ・ L2地震動により塑性変形した防潮水門に対し、津波荷重を考慮した一連の解析を実施した。
- ・ L2地震動により変形(損傷)した状態では、津波荷重による耐震性能を満足しないことを解析により示せた。
- ・ また、耐震補強対策を実施した場合、津波来襲時耐震性能を満足することを解析により示せた。
- ・ 高潮や津波による波力は動的荷重として範囲させて照査するのが一般的であるが、波力を動的な荷重として解析することで、損傷状態を考慮した解析が可能となることが証明できた。



FORUM8 Design Festival 2015

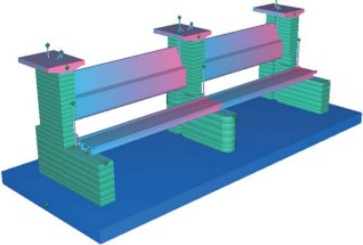


The 2nd National Resilience Design Award

地震+津波の複合災害事例

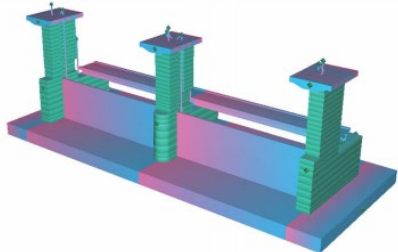
- 津波を動的な外力として载荷することで、損傷履歴を考慮
- 耐震補強対策を実施することで津波襲来時も耐震性能を満足できる

解析モデル

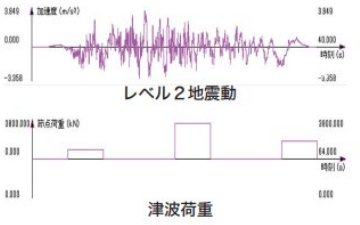


【モデル概要】

- ・ 端堰柱2基、中央堰柱1基
- ・ 堰柱床板、扉体、管理橋：弾性梁要素
- ・ 端堰柱、中央堰柱：非線形要素 (M-φ要素)
- ・ 解析用モデルは扉体全閉状態



防潮堤水門背面 (扉体全開)



レベル2地震動

津波荷重

防潮堤水門背面 (扉体全閉)

解析条件

【荷重条件】

- ・ レベル2地震動：道示タイプ1 (II種地盤)
- ・ 津波荷重：想定津波高9m ・ 载荷位置：扉体、堰柱前面

【解析ステップ】

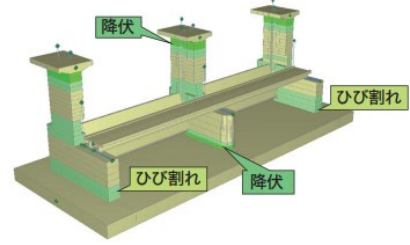
①レベル2地震動 (継続時間40秒) ⇒ ②津波荷重 (第1波、第2波、第3波)

【耐震補強】

- ・ PCM工法により軸方向鉄筋補強
- ・ 後打ち鉄筋挿入によりせん断耐力補強

照査結果

1. 現況照査結果
【レベル2地震後】
・ 門柱および堰柱の一部が降伏する。



降伏

ひび割れ

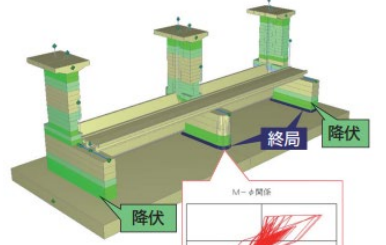
降伏

ひび割れ

降伏

→

【津波荷重载荷後】
・ 堰柱基部が破壊状態 (終局) に達する。



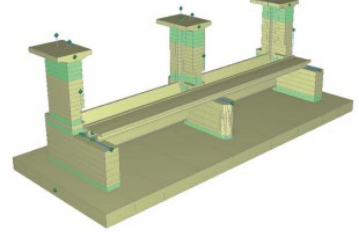
降伏

終局

降伏

M-φ関係

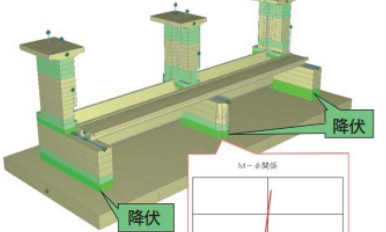
2. 耐震補強対策照査結果
【レベル2地震後】
・ 全ての部材が弾性状態に収まる。



降伏

→

【津波荷重载荷後】
・ 門柱および堰柱基部が降伏する。



降伏

降伏

M-φ関係

劣化+地震の複合災害事例

- 実橋の劣化度調査結果を解析へ反映
- 劣化した状態に対し地震動応答解析を行い橋の残存耐力法を提案
- 第5回NaRDAグランプリ作品

「劣化度判定結果を活用した
残存耐力評価手法の実橋への適用」
- 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) 技術研究所

MOVIE

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

橋は非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、劣化した橋の残存耐力や耐震性能に関する研究は少ない。また橋の残存耐力を評価するには通常詳細な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便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便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、塩害により強制的に脆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(主鉄筋腐蝕あり)では約39%、劣化度b相当試験体(主鉄筋腐蝕なし)では約26%、劣化度c相当試験体では約17%、劣化度d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%、劣化度b相当では約8%、主鉄筋腐蝕なしの劣化度判定a相当では約6割程度となった。これらは既往の研究結果とも比較的に一致している結果となっている。

試験体	最大耐力 (kN)	最大変位 (mm)	耐力比 (%)
健全試験体	200	10	100
劣化度a	130	12	65
劣化度b	160	11	80
劣化度c	180	10	90
劣化度d	120	11	60

実橋の劣化度調査

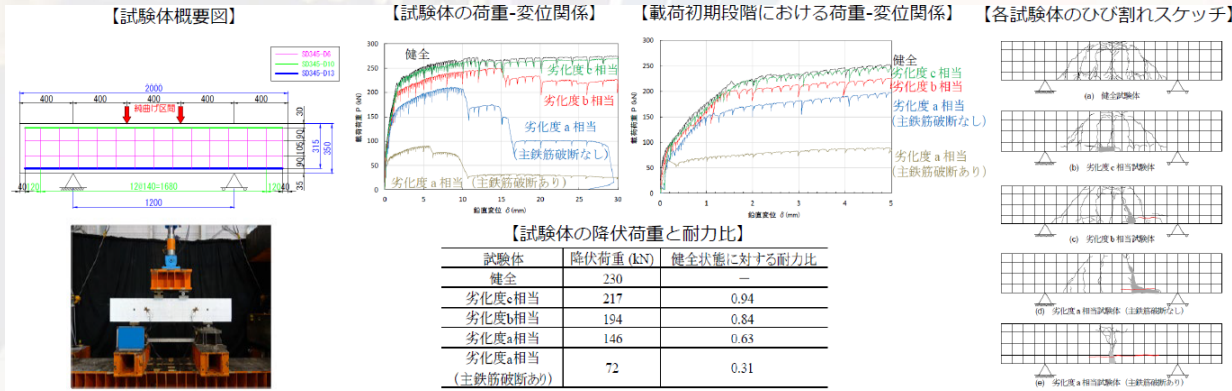
建設から約50年経過している橋に対して劣化度調査を実施した。撮影された写真からSIM/MVS (Structure from Motion/Multi View Stereo) 解析で3Dモデルを作成している。劣化度判定は「橋梁の施設の維持管理技術マニュアル」に基づき、a-dの4段階で評価した。

考察

本研究では、劣化度判定結果から比較的簡便に残存耐力評価を行う手法について提案し、実橋への適用を通して検討を行った。その結果、地震動により発生する応力やその程度を比較的容易かつ定量的に示すことができた。これまでは橋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、より簡便に橋梁部やその損傷度のある程度把握できる可能性がある。今後は地震動時変位量が大きくなる可能性がある直立式橋の検討、スカーップの劣化によるせん断耐力の低下の影響とその考慮、コンクリート下面の腐食による耐力への影響についても検討を行いたいと考えている。

劣化+地震の複合災害事例

- 劣化度による剛性低下は実験で検証し、劣化度調査・判定に3D技術を活用
- 栈橋の残存耐力を評価するために多大なコストを要していたが、より簡易に損傷箇所や損傷度を把握できる



実栈橋の劣化度調査

建設から約 50 年経過している栈橋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。

【対象栈橋平面図】

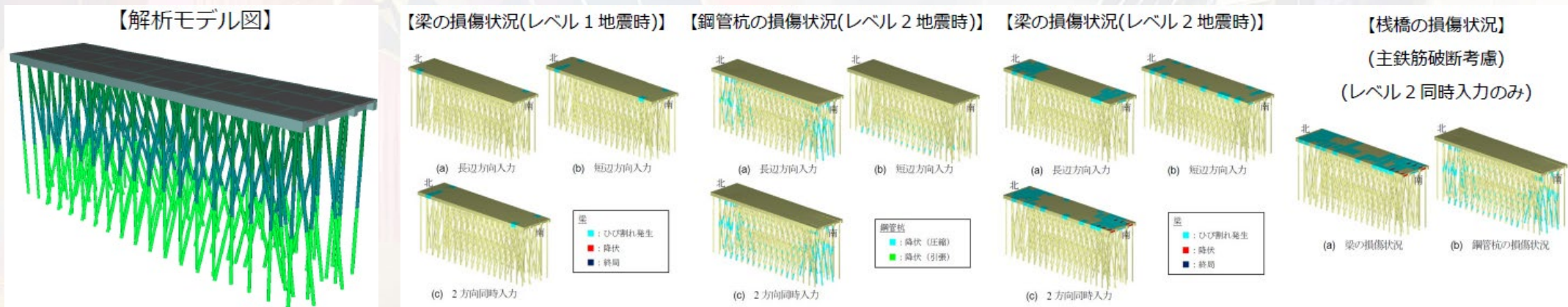
【栈橋の 3D モデル】

【劣化度判定結果】

※床版についても判定可能であるが、本研究では梁に着目していること、解析モデルで考慮していないことより掲載を省略している。

※図中の梁に丸印を付けている箇所については、梁下面のかぶりかほとんど剥落して鉄筋が露出しており、腐食による主鉄筋の大幅な断面減少や主鉄筋破断の可能性がある梁である。今回は写真のみで判定しているため、主鉄筋破断についてはあくまで可能性としている。

※実際の主鉄筋破断の有無やその程度については別途調査が必要と考えるが、本研究ではあくまで簡易な点検から判断することに主眼をおいているため、主鉄筋破断の可能性のある箇所については、解析において考慮するケースを別途設けることとした。



製品概要

- **有限要素法(FEM)を用いた汎用3次元構造解析システム**

- モデル作成から解析、結果評価を一貫して行えます。
- 一次元から三次元の要素が用意されているので、フレーム構造からソリッド構造まで対応できます。

※同じFEM解析ソフトのEngineer's Studioは一次元・二次元要素

- **解析範囲：線形解析**

※同じFEM解析ソフトのEngineer's Studioは線形・非線形解析

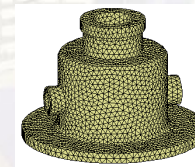
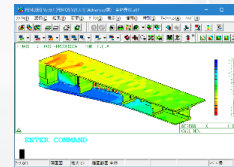
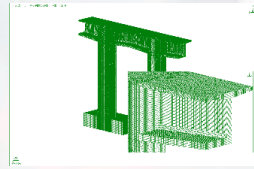
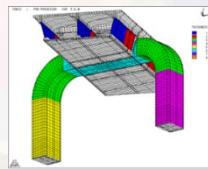
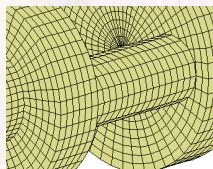
- 設計者が手軽に現場でも解析が行えるというコンセプトで開発されており、通常的设计範囲では十分な機能となっています。

- 構造解析

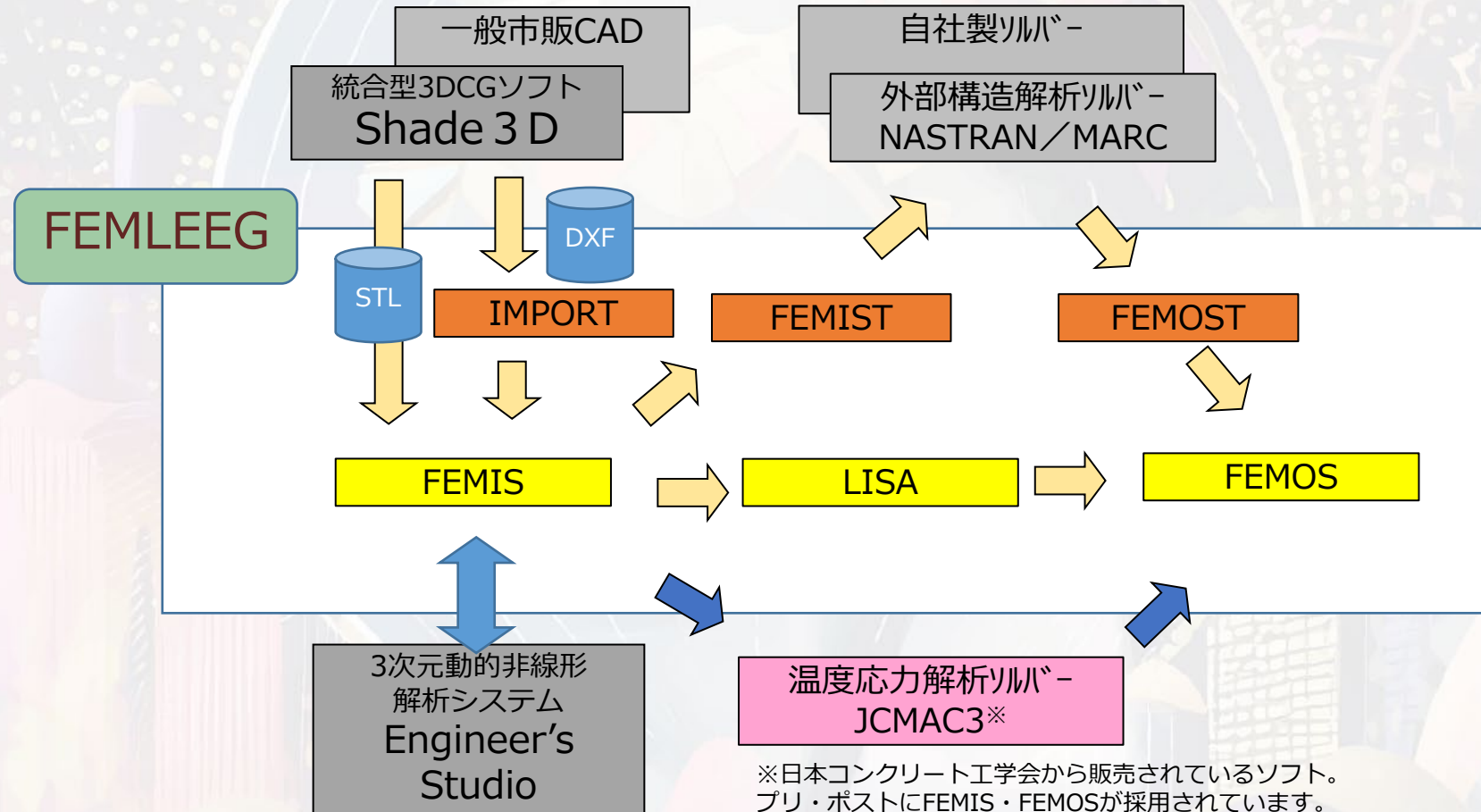
- 静弾性解析、固有振動解析、時刻歴応答解析、座屈解析 など
- NO TENSION解析、CAP(Cut and Paste)解析

- 伝熱解析

- 定常熱伝導解析、非定常熱伝導解析、伝熱・熱応力連動解析



他ソフトとの連携

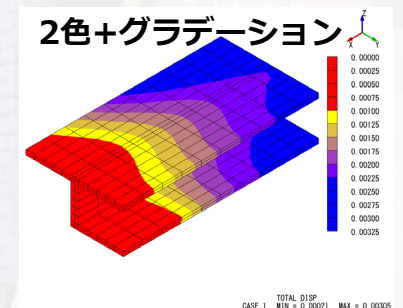
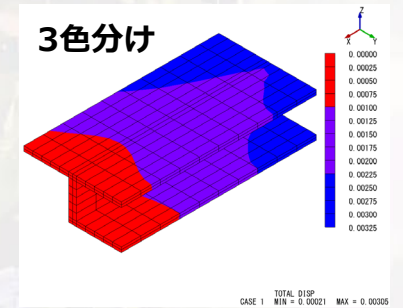
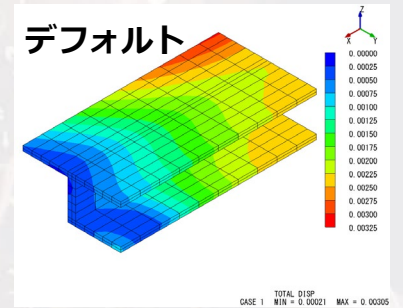


Ver14改訂内容(2024年9月リリース)

- 共通
 - OpenGL版機能追加
 - 梁オフセット描画改善
 - 選択描画機能追加・改善
- FEMIS(プリプロセッサ)
 - 埋め込み鉄筋要素(ETRUSS要素)再構築機能追加
 - 拘束位置指定に節点選択で座標を指定する機能を追加
- FEMOS(ポストプロセッサ)
 - 凡例レベル色のユーザー指定機能追加

Ver15開発予定

- 国産の統合型3DCG制作ソフトのShade3D連携



▲凡例レベル色のユーザー指定機能追加

静的/動的な地盤の応力-変形解析、浸透流解析、3次元地すべり安定計算、落石・土石流シミュレーションまで様々な地盤解析をサポート

Geo Engineer's Studio

弾塑性地盤解析(GeoFEAS)®2D

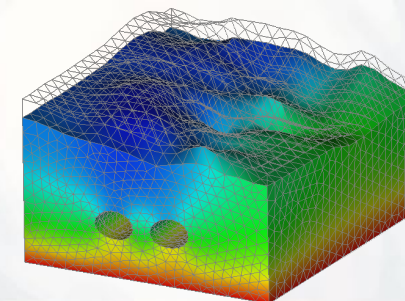
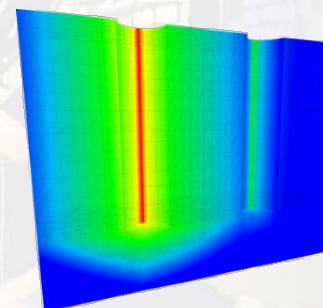
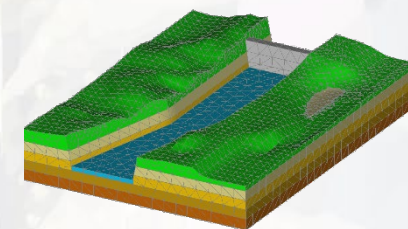
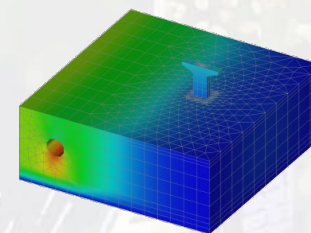
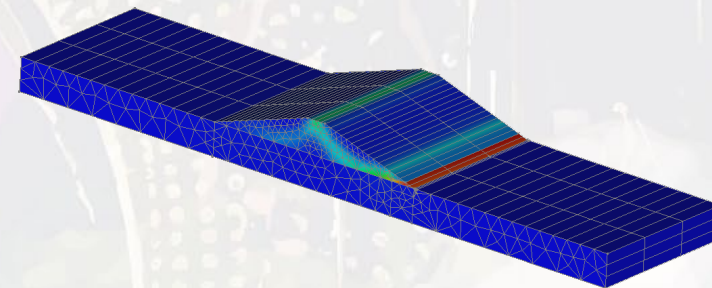
GeoFEAS® VGFlow®

地盤の動的有効応力解析(UWLC®)

二次元浸透流解析(VGFlow®2D)

3次元地すべり斜面安定解析・3DCAD(LEM)

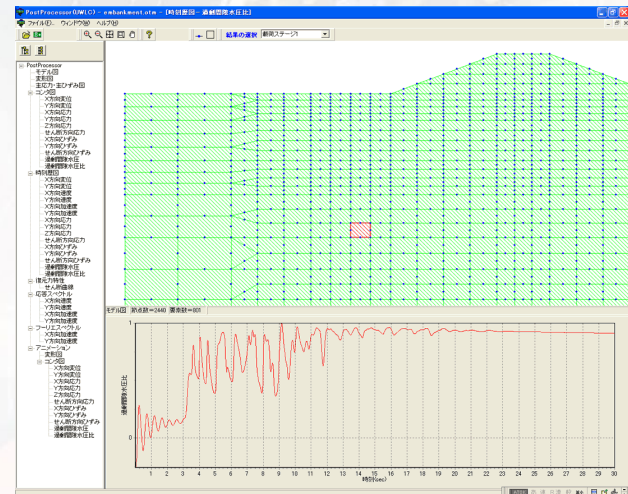
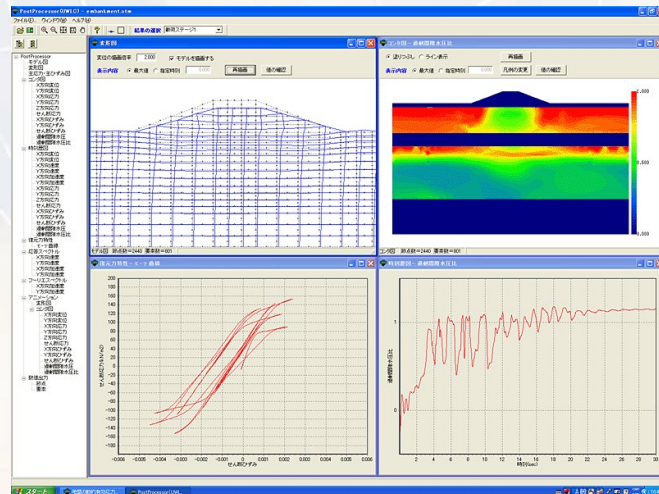
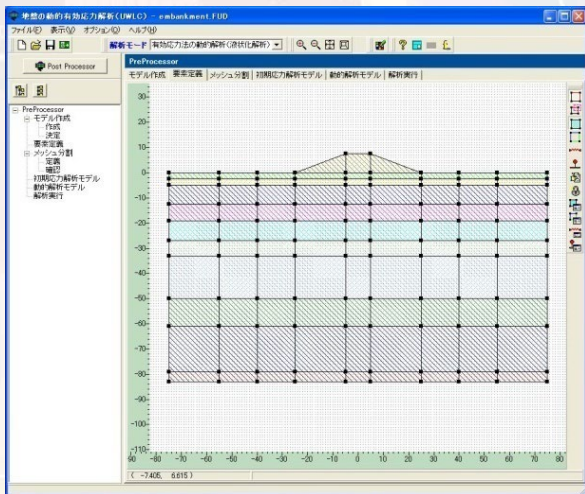
落石シミュレーション/土石流シミュレーション



地盤の動的有効応力解析(UWLC®)

製品概要

- 有限要素法(FEM)を用いた地盤の2次元動的変形解析プログラム。
- 有効応力に基づく弾塑性理論による方法、地震時の過剰間隙水圧の発生、剛性の低下を考慮し、地盤の変形を時刻歴で計算可能。
- 解析対象は、土構造物（堤防・盛土）の地震時安定性の検討、地中構造物の浮上りの検討、地盤と構造物の動的相互作用の検討等に適用可能。
- 液状化パラメータ決定機能プログラムおよび最適化手法による同定解析プログラムを付属。FEMモデルの作成はCAD的な入力方法で、簡単に作成可能です。CADファイルからの読み込みにも対応。



地盤の動的有効応力解析(UWLC®)

適用範囲

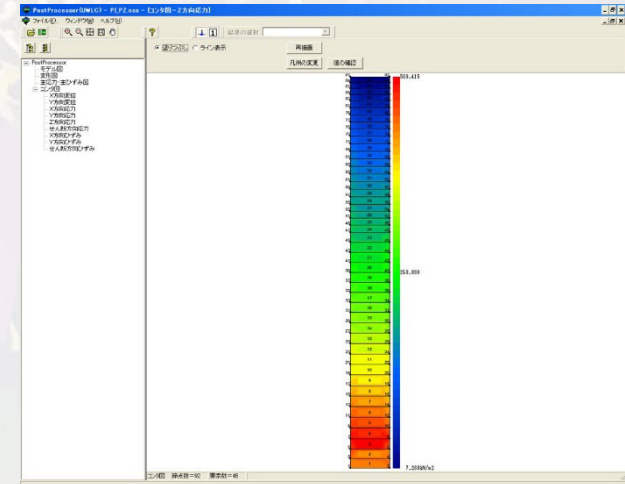
- 土構造物（堤防・盛土）の地震時安定性の検討、液状化時の検討。
- 地盤と構造物の動的相互作用の検討。
- 液状化地盤内の構造物浮上がりの検討。
- 液状化対策工の検討。

（構造物による工法／固結工法／

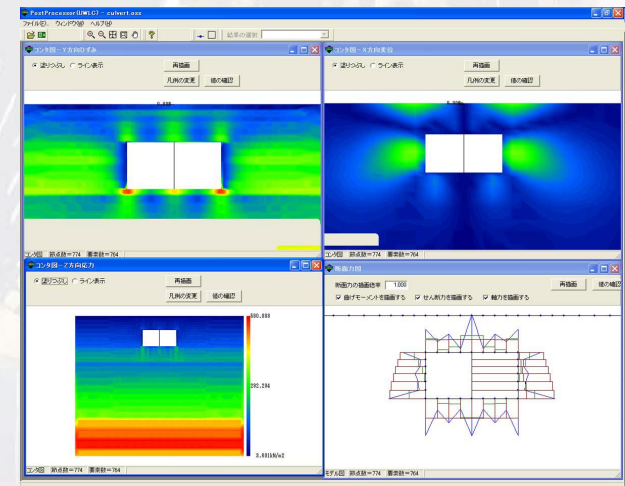
サンドコンパクションパイル工法

／過剰間隙水圧消散工法等の検討にモデル化にて対応）

- 振動実験に対する実験のシミュレーション。
- 1次元地震応答解析による詳細液状化判定。



▲ 1次元解析モデル

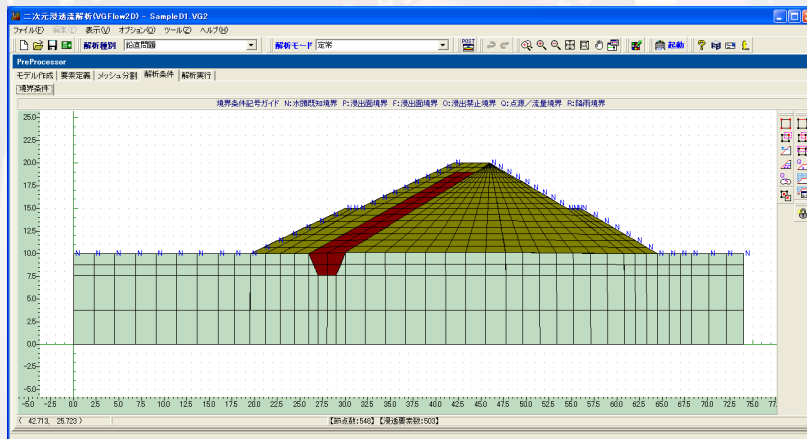


▲ 構造物の連成モデル(BOXカルバート)

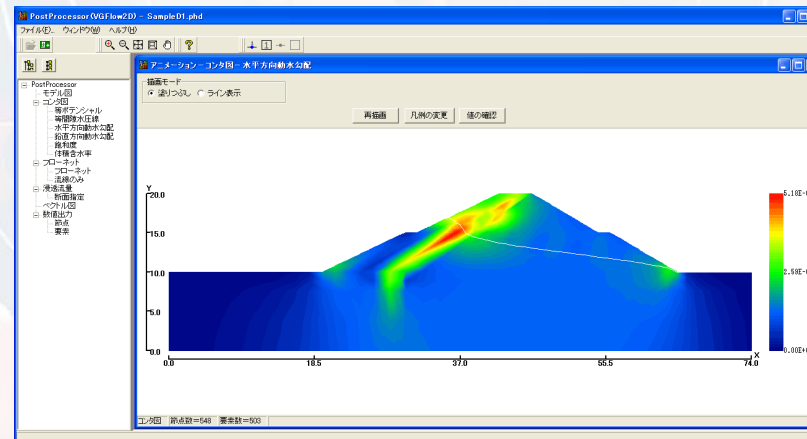
2次元浸透流解析(VGFlow®2D)

製品概要

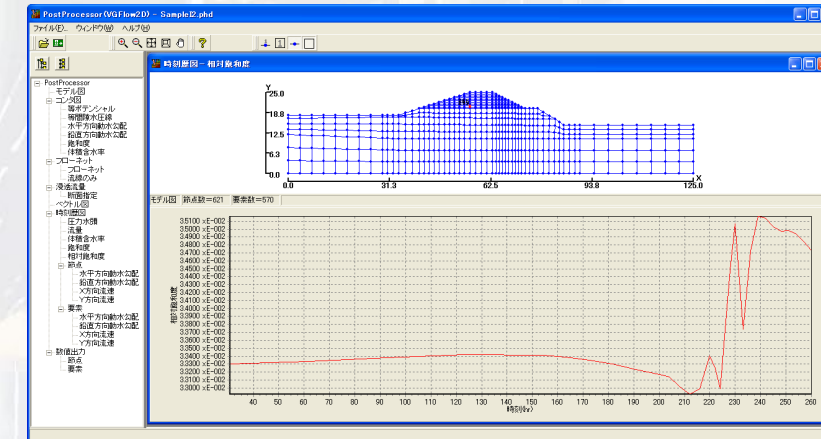
- 有限要素法 (FEM) による飽和 - 不飽和浸透流解析プログラム。
- 二次元平面ひずみ問題 (鉛直方向)、二次元平面問題 (平面方向)、軸対称問題に対応
- 定常解析、非定常解析に対応し、透水係数の異方性や地層の傾斜が考慮可能
- 不飽和浸透特性としては、代表的な経験式であるvan-Genuchtenモデルによる計算あるいは水分特性曲線等試験値の表入力による計算が可能



▲境界条件



▲水平方向動水勾配コンタ図



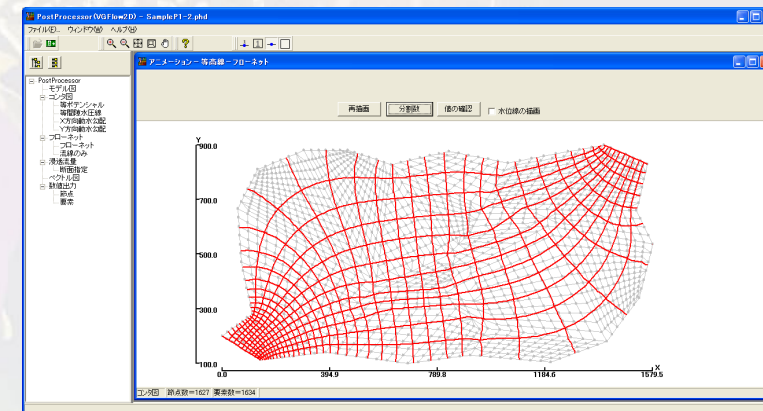
▲相対飽和度時刻歴図

2次元浸透流解析(VGFlow®2D)

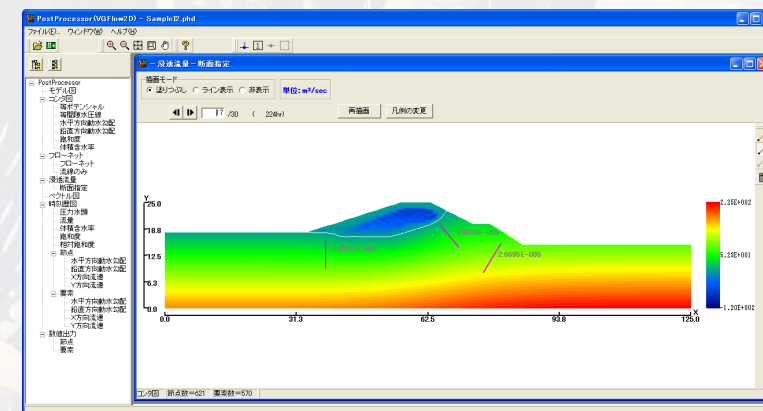
適用範囲

- 改訂土工指針での道路盛土に対する降雨の作用の照査
- 河川堤防、ダムおよび貯水池における堤体内の浸潤面や水圧分布の把握
- 土留め掘削時のパイピング・ボイリングの検討
- 地中構造物の施工に伴う被圧地下水の影響解析
- 地すべり地帯の水圧分布状況の解析、
ならびに集水井の検討
- 広域流域における降雨や湧水などの影響解析

※各種河川構造物の設計基準類で挙げられる浸透流FEM解析に適用可能。
「建設省 河川砂防技術基準(案) 設計編 [I]」(山海堂)
「高規格堤防盛土設計・施工マニュアル」(リバーフロントセンター)
「河川堤防の構造検討の手引き」(国土技術研究センター)



▲フローネット(流線網)



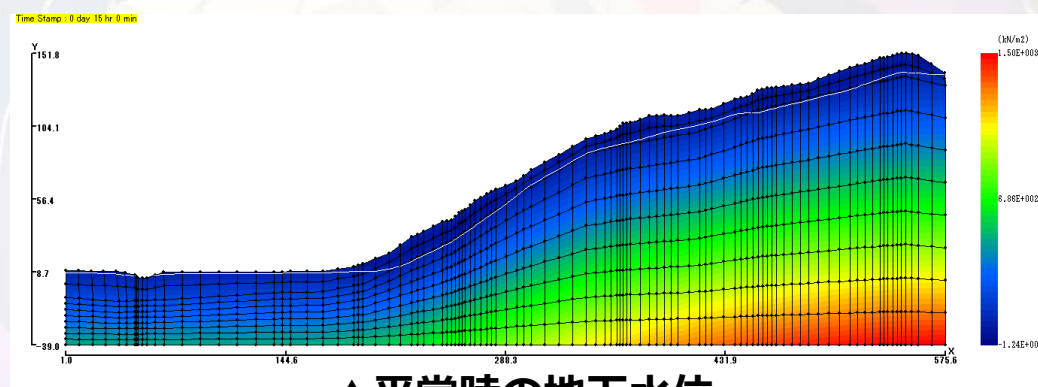
▲指定断面流量

地震+豪雨の複合災害事例

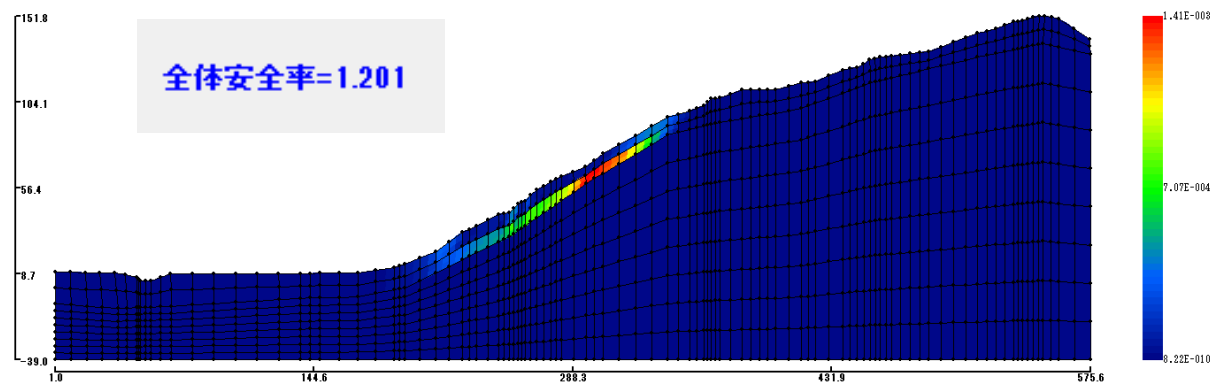
- 2024年に発生した能登半島地震に加え、9月に発生した豪雨により土砂災害が発生
- この要因として、能登半島地震で発生した地盤の亀裂や緩みが考えられる
- 平常時、地震後+豪雨の各状態における地盤の緩みや地下水位の状態を計算し、その状態を斜面の安定計算へ反映し各安全率の比較を実施

地震+豪雨の複合災害事例(平常時)

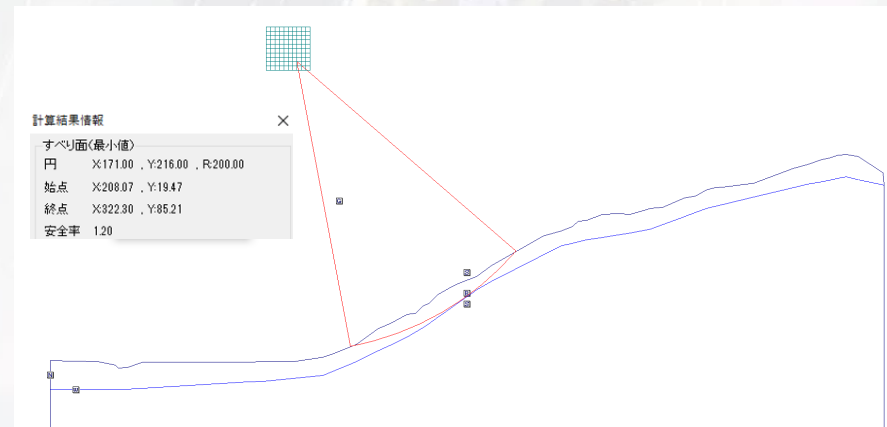
- 浸透流解析により平常時の地下水位を算出
- FEM解析(せん断強度低減法)、円弧すべりによる斜面の安定計算を実施



▲ 平常時の地下水位



▲ FEM解析による安定計算結果 安全率Fs=1.20

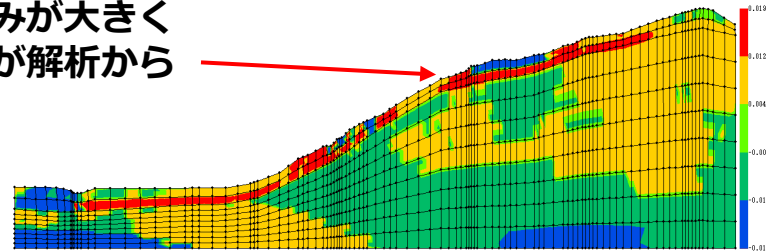


▲ UC-1斜面の安定計算による安定計算結果 安全率Fs=1.20

地震+豪雨の複合災害事例(地震後)

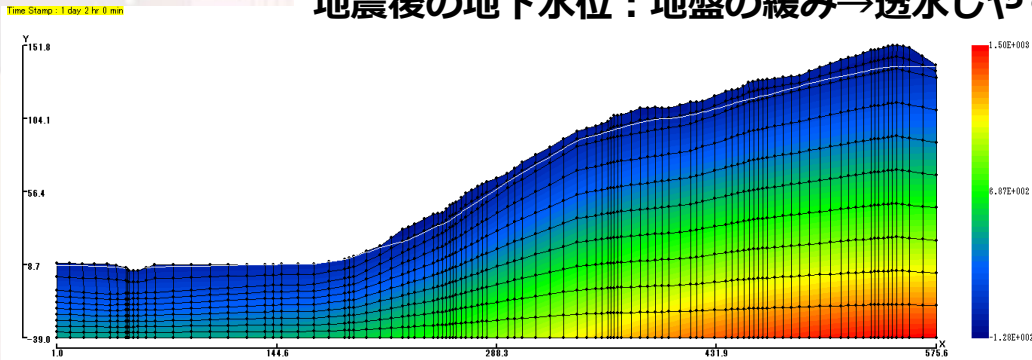
- 地震応答解析(UWLC®)により地震時の地盤の緩みを計算
- 地盤の緩みを反映した浸透流解析により地震時の地下水位を算出を実施

せん断ひずみ分布→表層でひずみが大きく発生し緩みを誘発していることが解析からも確認できる

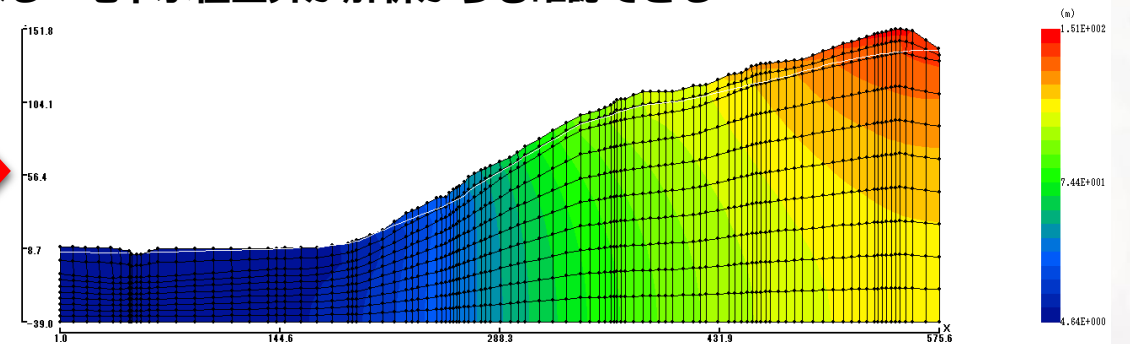


▲地震応答解析のせん断ひずみの結果

地震後の地下水位：地盤の緩み→透水しやすくなる→地下水位上昇が解析からも確認できる



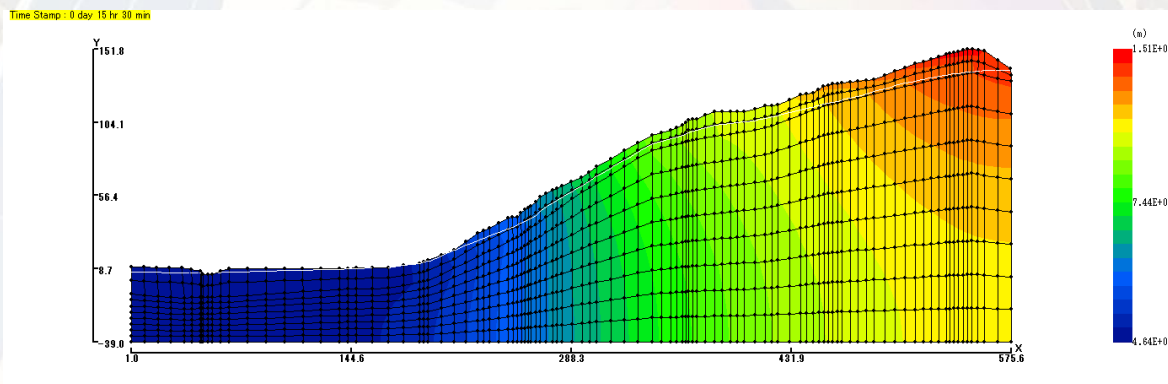
▲平常時の地下水位



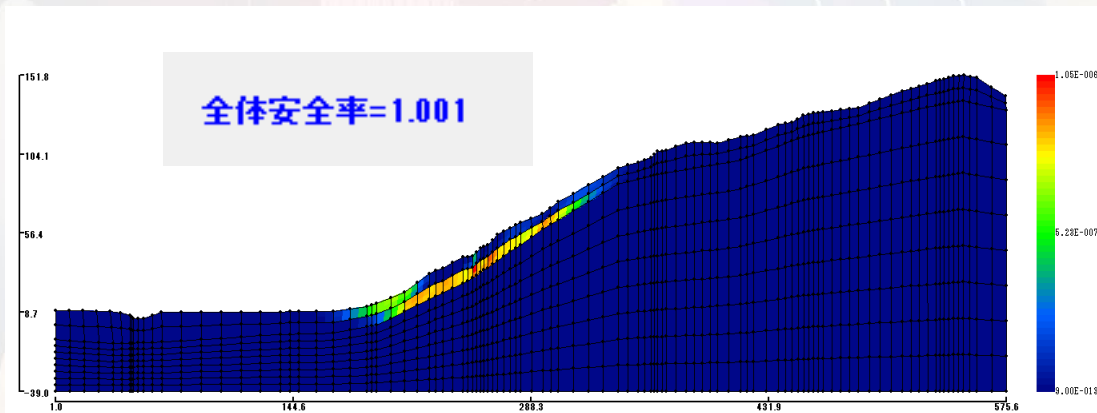
▲地震後の地下水位

地震+豪雨の複合災害事例(地震後)

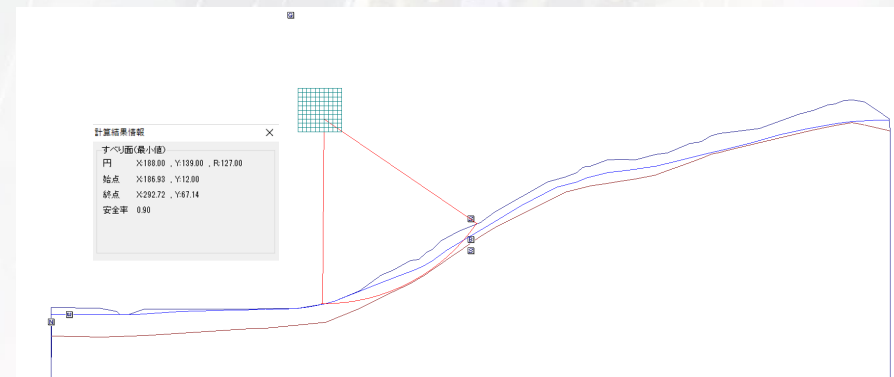
- 地震後のFEM解析(せん断強度低減法)、円弧すべりによる斜面の安定計算を実施



▲地震後の地下水位



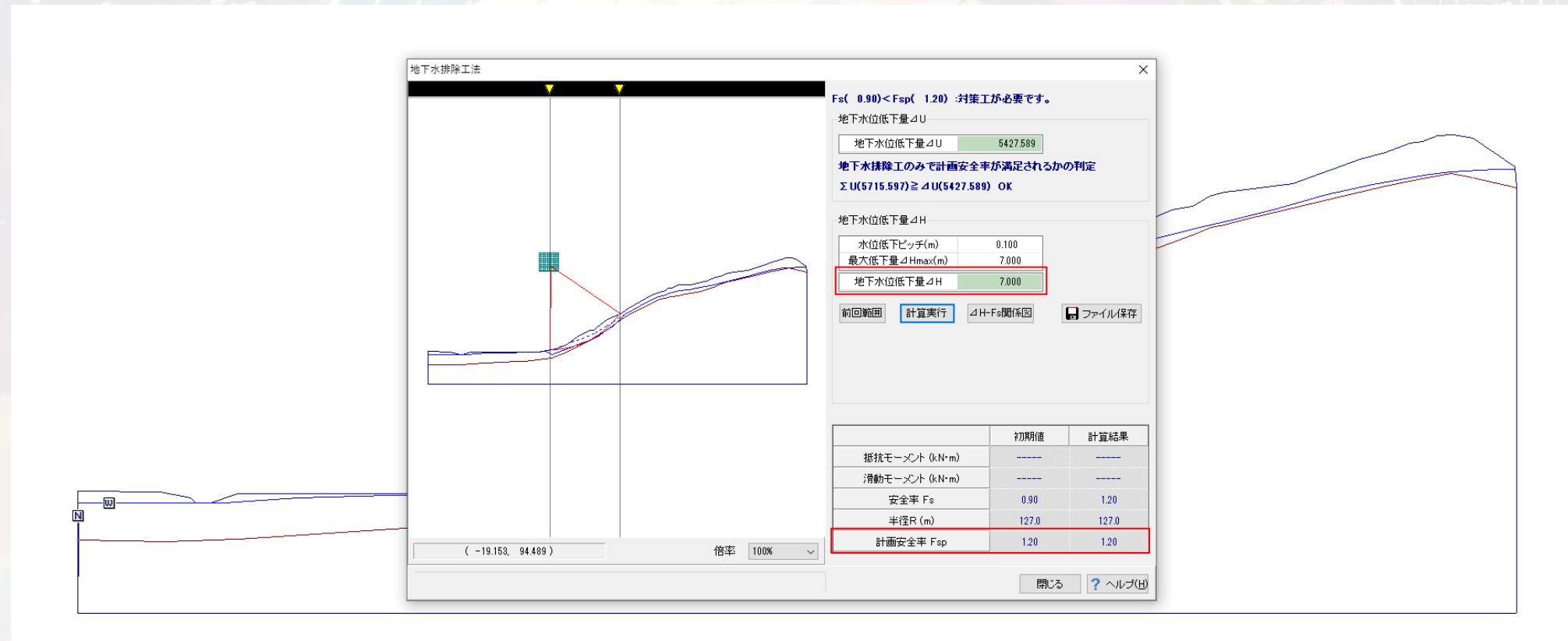
▲FEM解析による安定計算結果 安全率 $F_s=1.00$



▲UC-1斜面の安定計算による安定計算結果 安全率 $F_s=0.90$

地震+豪雨の複合災害事例(対策工検討)

- 対策工として、アンカー工、抑止杭工、のり砕工、擁壁工、補強土工、地下水排除工を検討
- 最終的にのり砕工はコストが高いことや自然斜面の安全性向上から地下水排除工を採用



▲ UC-1斜面の安定計算による地下水排除工による水位低下7.0(m)後の安定計算結果 安全率 $F_s=1.20$

大規模盛土等の安定性の検討

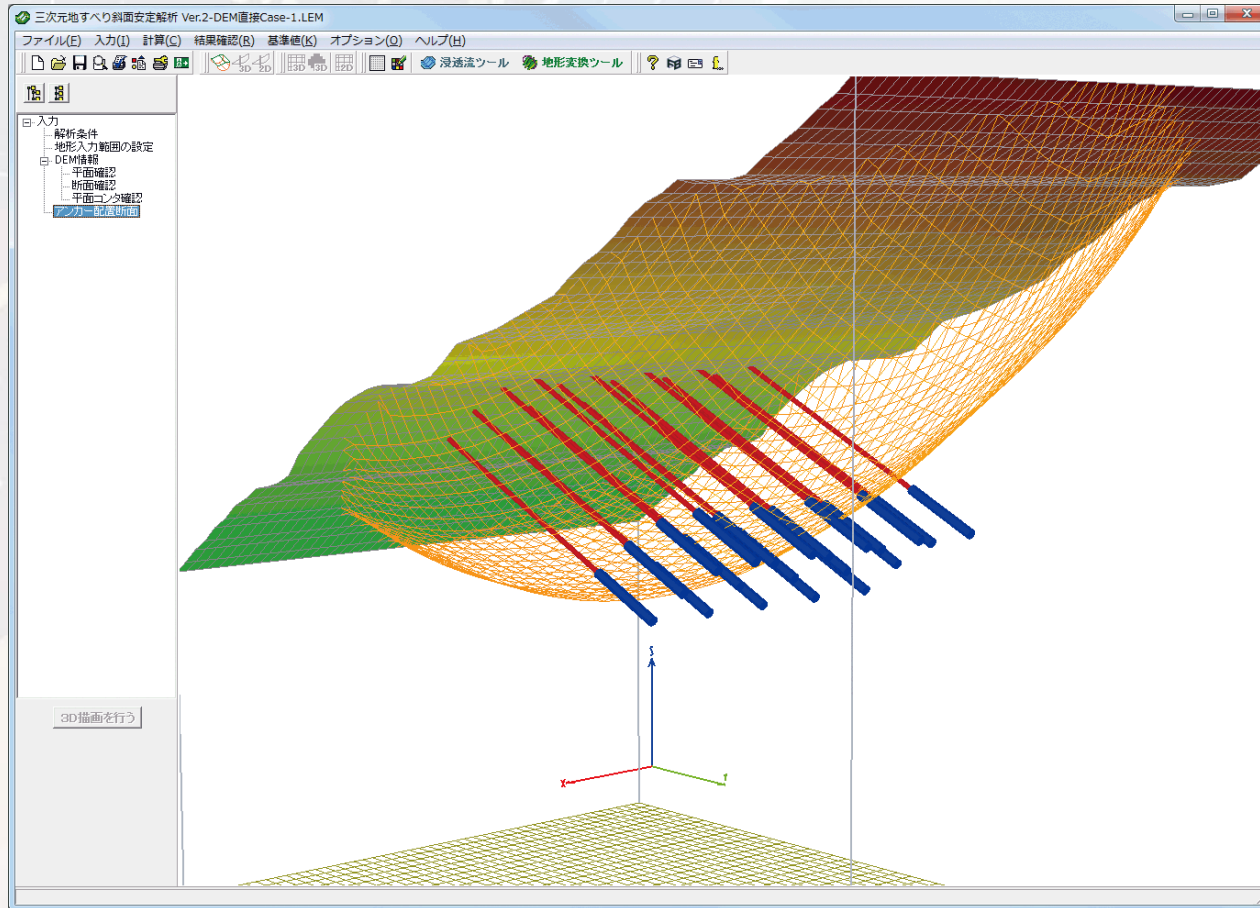
盛土高さ、盛土量が大きいものは2次元・3次元の地盤FEM解析ソフトが有効

盛土等防災マニュアルの主な改正概要と考え方

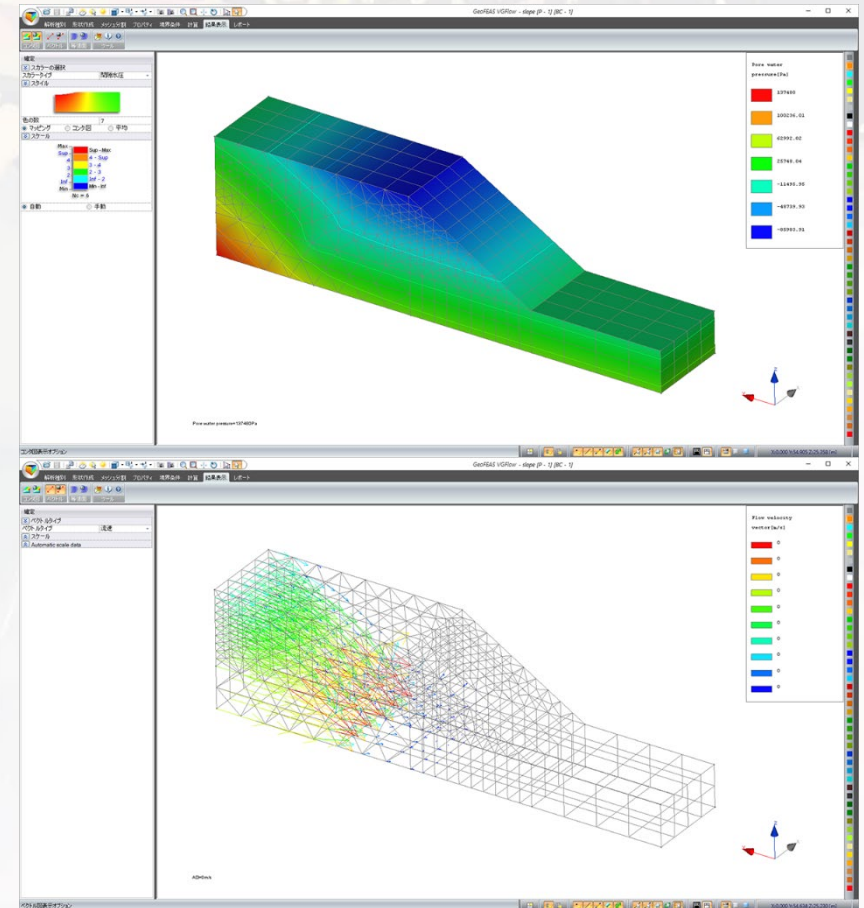
V 盛土		盛土等防災マニュアル（案） 3～7ページ	F8 対応製品	
		表溪流等における盛土に講ずる追加措置	降雨時、地震時の斜面安定	
措置の対象	措置の内容		対応ソフト	特徴
盛土等の安定性の検討方法	盛土高さ15メートル以下	盛土高さ15メートル以下「V・3・2 盛土のり面の安定性の検討」に示す安定計算方法に準じて盛土の安定性を検討する。	UC-1 斜面の安定計算	円弧すべり解析 間隙水圧考慮 強度低減考慮 震度法 Newmark法
		また、大規模盛土造成地に該当する場合は「V・4 盛土全体の安定性の検討」に示す安定計算方法に準じて安定性を検討する。		
	盛土高さ15メートル超で盛土量5万立方メートル以下	・盛土高さ15メートル以下の盛土と同様の方法で安定性を検討するが、間げき水圧を考慮した安定計算を実施することを標準とする。		
		・地震時の間げき水圧の上昇及び繰り返し载荷による盛土の強度低下の有無を判定し、強度低下が生じると判定された場合は、盛土の強度低下を考慮した安定計算を行う。		
盛土高さ15メートル超で盛土量5万立方メートル超	・盛土基礎地盤及び周辺斜面を対象とした一般的な調査（地質調査、盛土材料調査、土質試験等）に加え、盛土の上下流域を含めた詳細な地質調査・盛土材料調査等の実施が望ましい。			
	・上記に示した安定性の検討を基本とするが、盛土規模が大きく数多くのリスク要因（地盤・地下水・地震動等）が盛土の安定性に大きな影響を与えることになるため、三次元解析（変形解析や浸透流解析等）により二次元の安定計算モデルや計算結果（滑り面の発生位置等）の妥当性について検証する。	UC-1 斜面の安定計算 LEM3D	上記に加え3次元のホフランド法	
	・三次元解析のための詳細な地質調査及び水文調査を追加で実施する。 ・三次元解析結果について、許可権者は専門家に諮ることが望ましい。	GeoFEAS VGflow	3次元浸透流解析 3次元弾塑性解析	
	※二次元解析（変形解析や浸透流解析等）での評価が適当な場合には、二次元解析を適用する	GeoES VGflow2D	2次元弾塑性解析 2次元浸透流解析	

大規模盛土等の安定性の検討

盛土高さ、盛土量が大きいものは2次元・3次元の地盤FEM解析ソフトが有効



▲3次元地すべり(LEM3D)

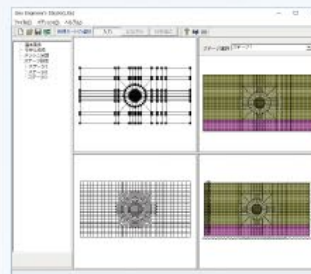


3次元浸透流解析(GeoFEAS® VGFlow®)

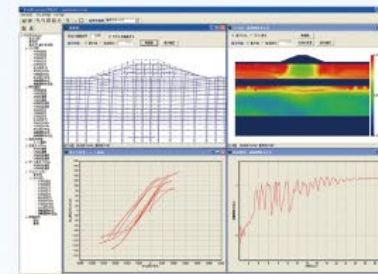
地震シミュレーション



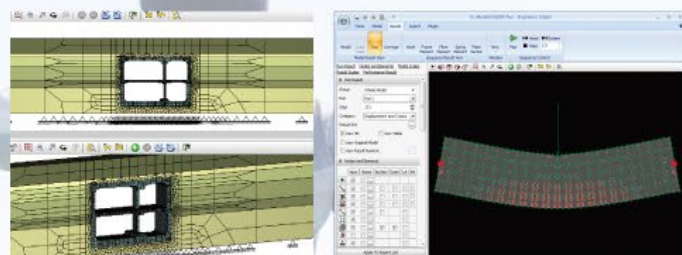
地盤解析



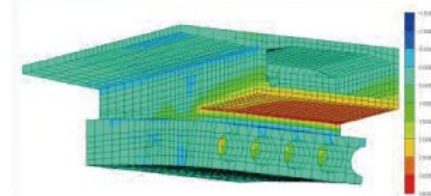
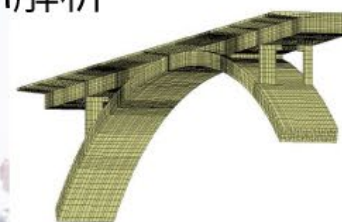
液状化対策



構造解析 耐震診断



FEM解析



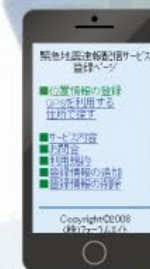
避難解析



津波解析

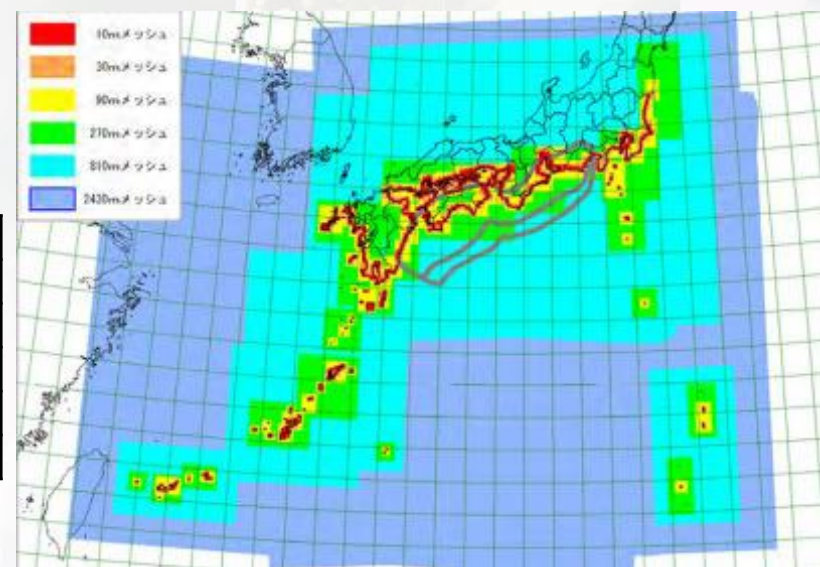
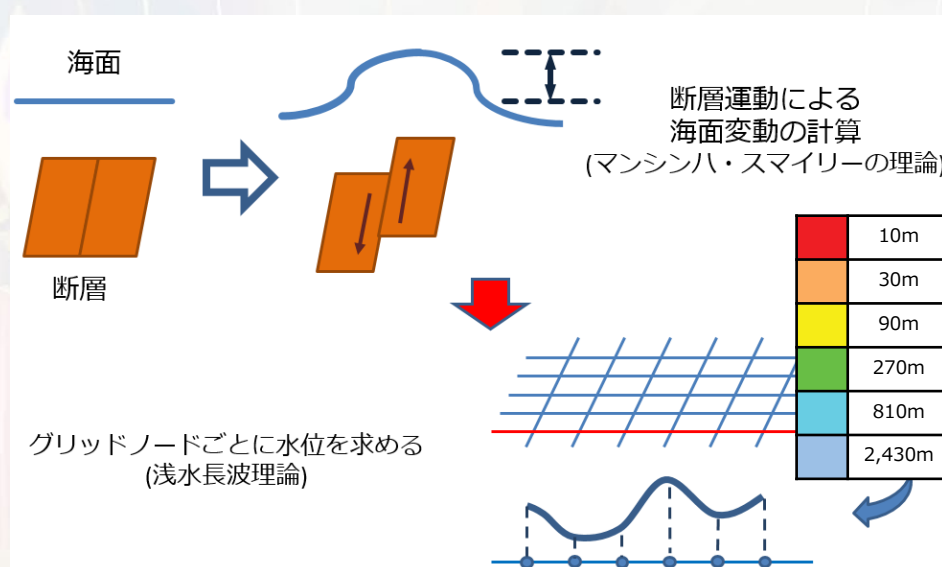
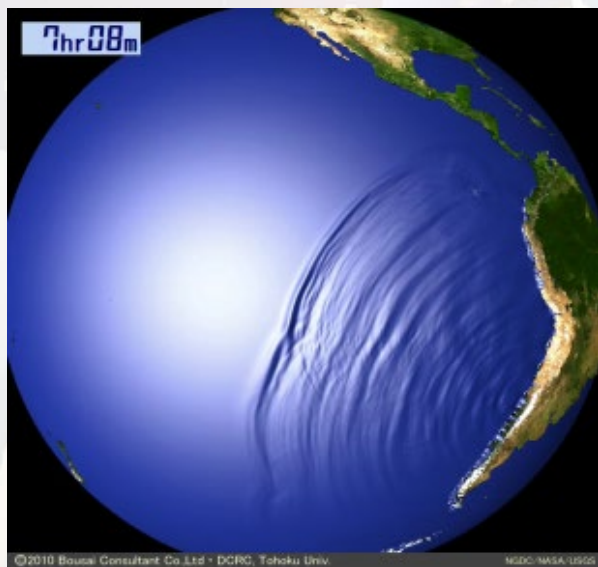


緊急 地震速報



海洋津波解析サービス

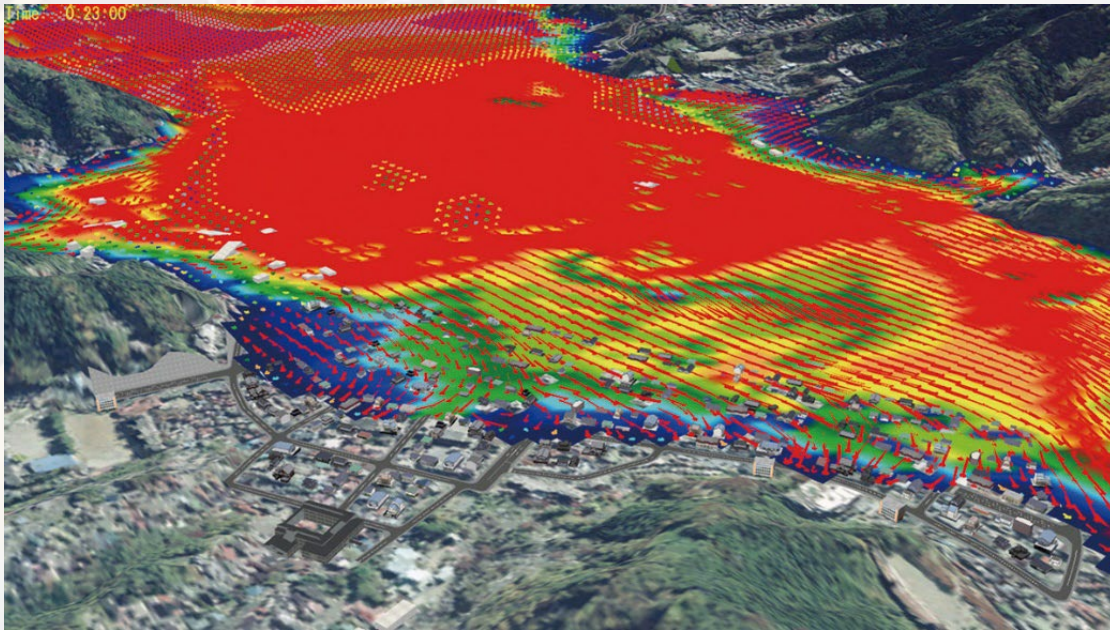
- 南海トラフなど巨大地震を原因とする津波について津波が伝わる様子をシミュレーション可能
- 東北大学の今村文彦教授の津波数値解析コードをスパコンへ移植
- 地震源での断層運動から海面変動量を算出し、この値を津波の初期高として、津波の伝播をシミュレーション → 津波現象を断層運動から伝播まで一括でシミュレーション
- スパコンによる大規模解析、高速化を実現(100km以上におよぶ津波の伝播を再現可能)



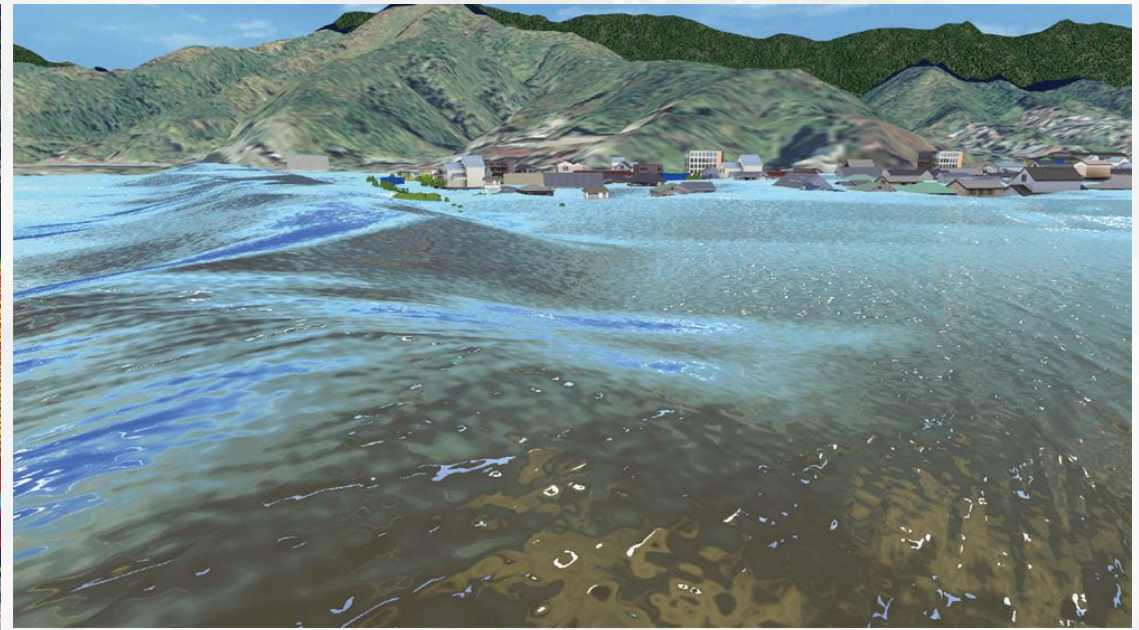
▲解析可能範囲

海3DVRによる可視化

- 本フォーマットのデータを作成することで、大学や研究機関で開発された津波解析コードや津波解析を行う市販のソフトウェア等の様々な津波解析コードの結果を可視化
- クラウド上にデータをアップしスマホやタブレットで閲覧可能
- 津波災害の状況を仮想体験することで、津波リスクの認知や防災意識の向上が期待できる



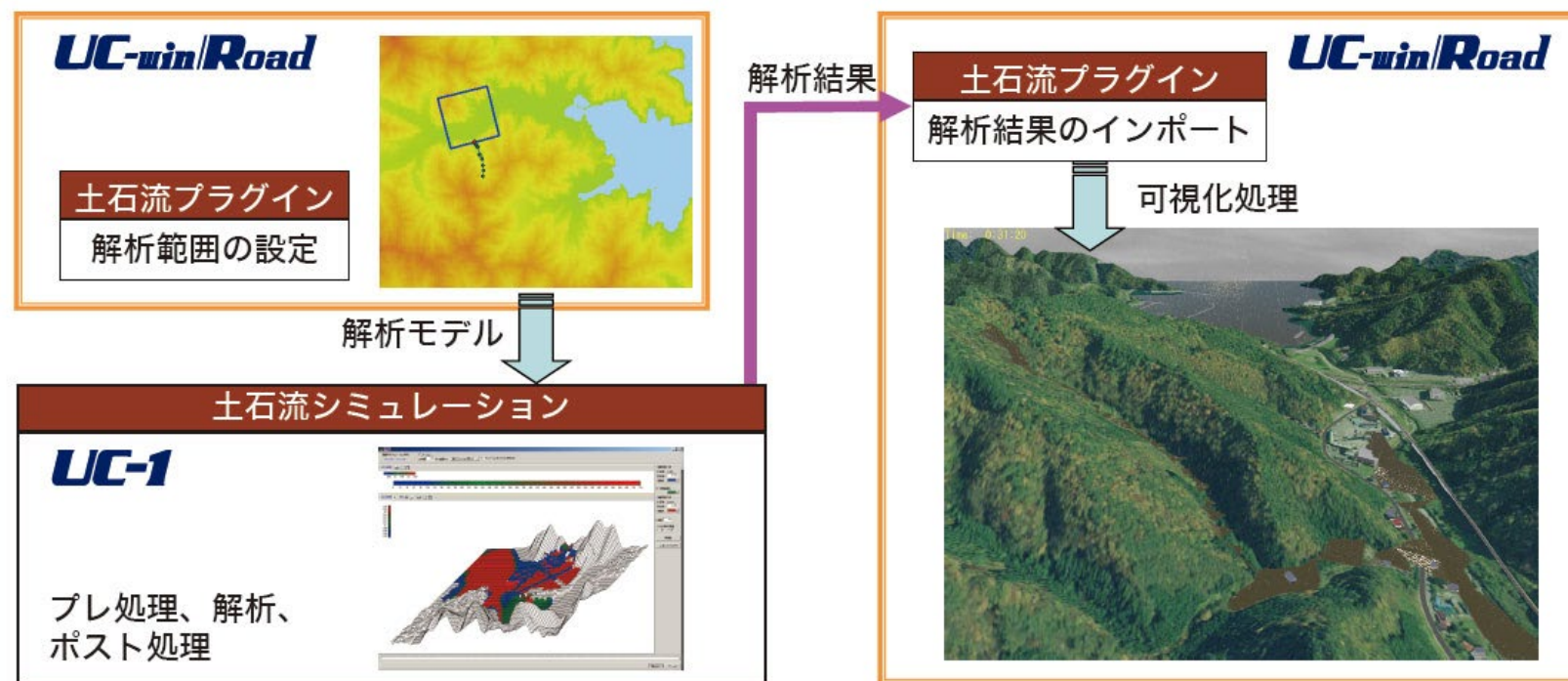
▲津波の浸水深+ベクトル表示



▲津波水面の反射や屈折

土石流シミュレーション

- 一連の処理で土石流解析を行うことができる「UC-1 土石流シミュレーション」と、解析用インプットデータの作成および解析結果を可視化するための「UC-win/Road 土石流プラグイン」を統合したシステム
- 京都大学大学院農学研究科で開発された「土石流シミュレータ(Kanako)」をソルバーとして利用



浸水氾濫解析の計算方法

手法	計算手法			特徴 ○特長 ●留意点
	流出	河道	氾濫	
洪水浸水想定区域図作成マニュアル	貯留関数法、Kinematic wave 合成合理式 等 分布型モデルも可	一次元不定流モデル	平面二次元モデル	○想定洪水規模に応じた浸水深・範囲の評価、時系列の浸水状況の把握が可能 ○破堤・越水や堤内地の盛土、カルバート、排水施設等詳細な条件を反映可能 ○河道計画との整合が図れる ●作成労力大 ●既存河道断面測量データの利用が前提
中小河川洪水浸水想定区域図作成の手引き	貯留関数法、Kinematic wave 合成合理式 等	流下型・貯留型：一次元不定流モデル等	流下型：一次元不等流モデル(河道-氾濫原一体型) 貯留型：池モデル氾濫原のH-V関係より浸水深算定	○氾濫形態に応じて使い分けすることでマニュアルと比べて少ない労力で評価可能 ○破堤を反映可能 ●既存河道断面測量データの利用が前提 (LP データ可)
小規模河川の洪水浸水想定区域図作成の手引き (4~6章参照)	貯留関数法、Kinematic wave 合成合理式 等	流下型・貯留型・拡散型：一次元不等流モデル	流下型：一次元不等流モデル(河道-氾濫原一体型) 貯留型：池モデルいずれも破堤なし、越水・溢水を対象 拡散型：一次元不等流モデル(河道-氾濫原一体型)。平面二次元不定流モデルの適用が合理的となる場合あり。	○一次元計算のみを使用、破堤なし(破堤条件に応じた複数ケースの計算不要)等により少ない労力で作成可 ●LP データ等から河道断面設定 ●簡略計算であるため、浸水深・範囲の精度が低い場合あり
降雨-流出-氾濫一体化モデル (土木研究所 RRI モデルを活用)	平面二次元不定流 diffusion wave (メッシュに降雨を与える)	一次元不定流モデル	平面二次元モデル (破堤なし、越水・溢水を対象)	○降雨-流出-氾濫を一体化することにより広域の氾濫現象を表現可能 ○河道断面測量データが無くても国土数値情報やLP データによりモデル構築が可能 ○河道は矩形もしくは取得断面でも可能 ●簡略計算であるため、浸水深・範囲の精度が低い場合あり
降雨-流出-氾濫一体化モデル (平面二次元モデル)	平面二次元不定流 dynamic wave (メッシュに降雨を与える)	平面二次元モデル		○降雨-流出-氾濫を一体化することにより広域の氾濫現象を表現可能 ○河道断面測量データが無くてもLP データによりモデル構築が可能 ●簡略計算であるため、浸水深・範囲の精度が低い場合あり
河道・氾濫一体化モデル (iRIC2DFlood を活用)	貯留関数法、Kinematic wave 合成合理式 等	平面二次元モデル (破堤なし、越水・溢水を対象)		○汎用性のあるソフトウェアを用いて地形データや氾濫計算が容易に行える ○河道断面測量データが無くても国土数値情報によりモデル構築が可能 ○堤防等は障害物として取り扱うことで表現可能 ●簡略計算であるため、浸水深・範囲の精度が低い場合あり

▲ 氾濫解析における各手法の一覧

浸水氾濫解析の計算方法

	①浸水シミュレーション	②浸水シミュレーション(1D)	簡易手法		⑤浸水実績を活用	手法の組合せ
	降雨+流出+管きよ+氾濫※1	降雨+流出+管きよ※1	③浸水シミュレーション(簡易行*)※2 降雨+氾濫※1	④地形情報を活用※3		
概要	降雨損失、表面流出、管内水理、氾濫解析の一連の解析を実施 ※1Dと2Dの連動	降雨損失、表面流出と管内水理解析のみ実施(氾濫水は移動しない) ※一次元解析モデル(1D)	降雨損失と氾濫解析のみ実施(管きよ等の排水能力以上の雨水を対象に氾濫解析) ※二次元不定流モデル(2D)	下水道施設等の現況排水能力以上は全て溢れて氾濫するものとし、溢れた雨水は対象区域の低平地等に全量浸水するとして内水浸水想定区域を設定	浸水シミュレーションは実施しない(浸水実績区域図を補正して用いる)	例えば、重要な地区(浸水常襲地区、都市機能集積地区等)は浸水シミュレーション手法で、それ以外(明らかに内水浸水が問題にならないような地区)はその他の手法で浸水想定する
適用条件の例	<ul style="list-style-type: none"> 必要となる現況施設情報が電子または紙資料で把握できる地域。 現地や地形の確認だけでは浸水要因が特定できず、下水道施設の排水能力不足の影響が大きいと考えられる地域。 対策施設の検討やその効果の把握を今後進める地域。 	<ul style="list-style-type: none"> 必要となる現況施設情報が電子または紙資料で把握できる地域。 地形的に氾濫水の移動がない地域(現況施設の排水能力不足箇所と浸水区域が一致)。 	<ul style="list-style-type: none"> 現況施設情報が十分に把握できない、または測量調査に多大な費用や時間を要する地域。 地形的な要因による再現性への影響が懸念されない地域。 当面は対策実施の予定がなく、ソフト対策として下水道施設の排水能力を上回る降雨における注意喚起を目的とする地域。 	<ul style="list-style-type: none"> 現況施設情報が十分に把握できない、または測量調査に多大な費用や時間を要する地域。 地形的な要因による再現性への影響が懸念されない地域。 当面は対策実施の予定がなく、ソフト対策として下水道施設の排水能力を上回る降雨における注意喚起を目的とする地域。 流出解析ソフトを使用できない場合。 過去に内水浸水被害がほとんど生じていない地域。 	<ul style="list-style-type: none"> 現況施設情報が十分に把握できない、または測量調査に多大な費用や時間を要する地域。 当面は対策実施の予定がなく、ソフト対策として下水道施設の排水能力を上回る降雨における注意喚起を目的とする地域。 浸水実績のデータが十分にあり、または浸水実績で想定される浸水が概ね網羅できる地域。 内水による浸水実績の大部分が洪水浸水想定区域に含まれる地域。 	地区によって排水施設の整備状況、地域特性、浸水対策の優先順位等が異なる場合
留意点	<ul style="list-style-type: none"> シミュレーション対象施設の細かさ(幹線のみ/枝線まで等)により浸水区域が異なるため、事前に浸水実績や、低平地の分布等の地形条件を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> マンホール部だけで浸水が発生し、地表面での浸水の移動や広がりを表現できない。 	<ul style="list-style-type: none"> 施設の排水能力の評価方法により解析精度が左右される。 浸水面積が過大に表現される可能性がある。 下水道施設による氾濫水の取り込みを計算しない。 	<ul style="list-style-type: none"> 施設の排水能力の評価方法により解析精度が左右される。 浸水深が過大に表現される可能性がある。 下水道施設による氾濫水の取り込みを計算しない。 	<ul style="list-style-type: none"> 罹災報告等、浸水実績資料が限られる場合、的確な浸水区域を表示できない可能性がある。 	地区毎の手法の違いについての説明が必要。

※1 降雨：降雨損失モデル、流出：表面流出モデル、管きよ：管内水理モデル、氾濫：氾濫解析モデル

※2, 3 「複数の手法による内水浸水想定と比較」におけるケース2(※2)及びケース3(※3)

▲内水浸水想定手法の主な種類と概要

浸水氾濫解析シミュレーション事例

- 小規模河川では水害リスクが把握されていない=空白→安全に誤解を与える
- 小規模河川に対し、現況と改修計画後の浸水氾濫シミュレーションを実施
- 第10回NaRDA審査員特別賞作品

「小規模河川の浸水氾濫解析」

— 浸水氾濫シミュレーションを用いた
水害リスク評価 —
(株)溝田設計事務所

MOVIE

使用製品：xpswmm

NaRDA 小規模河川の浸水氾濫解析

— 浸水氾濫シミュレーションを用いた水害リスク評価 — 株式会社 溝田設計事務所

概要

近年の豪雨により大きな河川に限らず小規模河川においても氾濫被害が多数発生しており、小規模河川に対しては水害リスクが十分に把握されておらず情報が空白のため、ハザードマップとして誤解を与える恐れがあることが課題となっている。これに対し、膨大な数の小規模河川を対象に、氾濫形態が特定の形態の場合においては比較的簡易な手法により水害リスクを評価する手法も提示されているが、氾濫形態が対象から外れる場合は他の氾濫解析手法を適用する必要がある。本検討では小規模河川に対し、現況と改修計画後の河川断面に対し、浸水氾濫シミュレーションを用いて水害リスクについて評価を実施した。

モデル図および解析条件

- 解析モデル
河川は1次元(1D)の流れとし、河川が氾濫した後の氾濫範囲は2次元(2D)の流れとして扱い、それらを逐次連携させた1D/2D 統合氾濫解析モデルにより浸水シミュレーションを実施した。
- 地形
国土院5mメッシュ標高データを利用した。
- ノード・リンク
主に河川断面の变化点にノードを設定し、リンクには現況と改修計画後の河川断面を設定した。
- 粗度係数
土地利用は主に農地が占め、メッシュスケールも小さいことより、農地の粗度係数の0.02を適用し、河川については、現況は自然河川、自然水路として0.03、改修計画後は改修河川として0.02を適用した。
- 降雨条件
実降雨より求める各地点のハイドログラフをノードへの流入量として与えた。(時刻は0時~11時)
- 境界条件
下流で別の河川に接続され水が流出するため、下流の端部に境界条件を設けた。
- 参考文献
洪水氾濫想定区域作成マニュアル(第4版)(H27)
河川防犯技術標準(調査編)(H26)、水理公式集(H17)

シミュレーション結果および考察

時間	3時間後	6時間後	9時間後
現況			
改修			

改修後は3時間後にも浸水は発生していない

最大水深

現況	改修

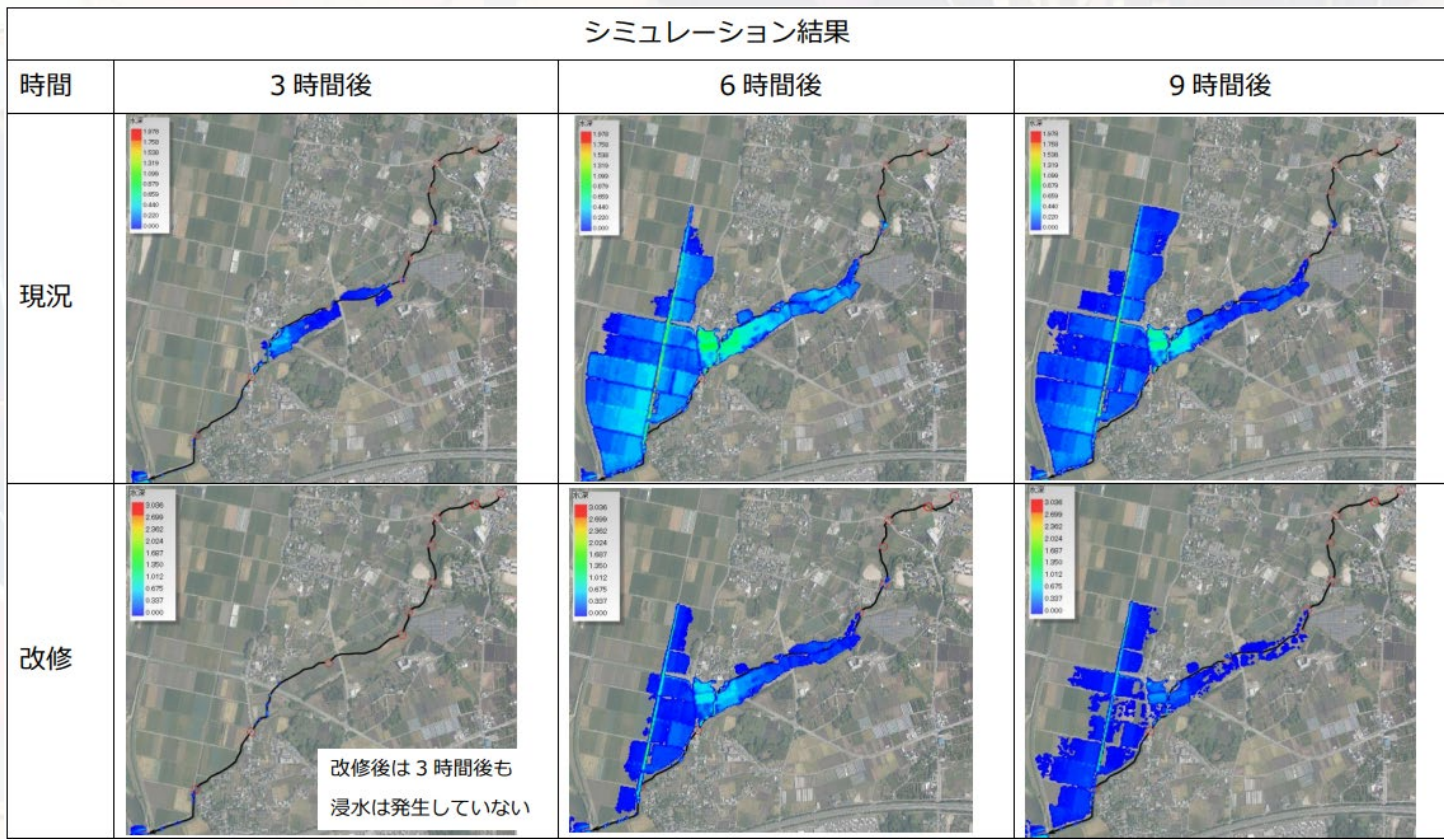
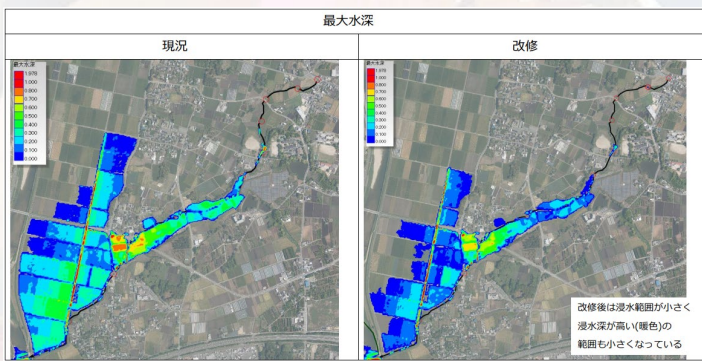
改修後は浸水範囲が小さく、浸水深が高い箇所での観測値も小さくなっている

浸水氾濫シミュレーションの結果、現況と改修計画後で最大水深および浸水範囲が縮減され、時刻別のシミュレーション結果より浸水発生時刻も遅らせる効果も確認でき、改修計画によって水害リスクを低減できることが確認できた。最大水深だけでなく、時刻別の浸水深さを評価することは、改修計画に限らず、避難対策(避難場所、避難ルート、避難時間など)を検討する上でも重要であり、改修計画の優先度を決める要素としても活用できるものとする。

各地点のハイドログラフ

浸水氾濫解析シミュレーション事例

- 時刻歴のシミュレーションにより、浸水発生の遅れ、最大浸水深/範囲の低減を確認でき、改修計画の有効性・効果を確認
- 時刻歴の結果を改修計画に限らず、避難対策にも活用できる



浸水氾濫解析シミュレーション事例

- 3D都市モデル(PLATEAU)をベースに氾濫シミュレーションを実施
- 3DVRと連携し動くハザードマップとして災害リスクを可視化
- 第10回NaRDAグランプリ作品

「3D都市モデルを活用した 氾濫シミュレーション」 -動くハザードマップを利用した 災害リスクの可視化- 熊本県 玉名市

MOVIE

使用製品：UC-win/Road,xpswmm

NARDA 3D都市モデルを活用した氾濫シミュレーション -動くハザードマップを利用した災害リスクの可視化-

熊本県 玉名市

概要

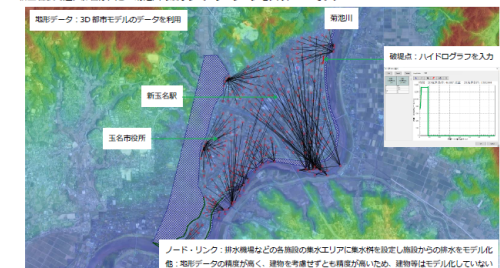
近年、自然災害が顕著化・頻発化・広域化する中で、災害リスクを把握し、事前に社会全体で災害に備える必要性が高まっている。プロジェクト PLATEAUにおいて日本全国の3D都市モデルの整備・活用が進められている中、災害に関するさまざまな情報を3D都市モデルに重ね合わせ、災害リスクを三次元かつ時系列で可視化すること等により、災害リスクをわかりやすく直感的に理解でき、住民等の防災意識の向上や避難計画の立案に繋げることができる。そこで3次元VR空間上に3D都市モデル(CityGML)を取り込み玉名市のデジタルツインを構築した上で、3D都市モデルをベースとした氾濫シミュレーションを行い、その結果を3DVR空間上でリアルタイムに再現することにより、災害リスクをわかりやすく可視化し、防災計画や避難誘導設定への活用を図る。

解析条件

・地形データ:	3D都市モデルの地形データをインポート(5mメッシュの地形データ)
・解析メッシュ:	地形データに基づき同じサイズの5mの解析メッシュを適用
・計算係数:	計算係数を変更した結果を比較し、結果に対し影響が小さいことを確認した上で、地形および解析メッシュサイズが細かいことから平均的な0.025を採用
・破堤点:	想定最大規模降雨に対し、新玉名駅および河川防災ステーション整備に影響が大きい河川川の破堤点
・流量:	想定最大規模降雨に対する、破堤箇所を算出し、破堤点からのハイドログラフとして入力(72時間)
・適用標準:	洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版)

解析モデル

新玉名駅周辺に影響が大きい河川川の洪水シミュレーションモデルについて示す。



・地形データ: 3D都市モデルのデータを利用

・破堤点: ハイドログラフを入力

・新玉名駅

・玉名市役所


・ノード・リンク: 雨水溝などの各施設の水収容エリアに集水係を設定し施設からの排水をモデル化

・他: 地形データの精度が高く、建物を考慮せずとも精度が高いため、建物等はモデル化していない

検討結果

氾濫シミュレーション結果の検証として国土交通省が提供している浸水ナビと結果の比較を行った。

▼最大水深		▼1時間後水深	
・解析結果	・浸水ナビ	・解析結果	・浸水ナビ



最大水深分厚はほぼ一致

浸水部の影響で回り込むように浸水

国土交通省 浸水ナビ(https://suboumap.gsi.go.jp/)

ここでは最終モデルでの最大水深と1時間後の水深分厚のみを示すが、各時刻別の浸水結果を比較しても全体を通し一致しており、加えて、より精度の高い3D都市モデルの地形データを利用することにより、浸水部が確認できることができた。本結果を最終的に採用し、主なランドマークや避難場所など避難に必要な情報も含めて統合的に3DVR空間上にリアルタイムに再現を行った。通常のハザードマップに対し、VRデータでは3DVR空間上の時々刻々と変化する被災状況を確認できる。リアルタイムに状況が変化する中、浸水状況と自分の位置によっては避難避難が有効な場合もあり、状況に応じた最適な避難場所を直感的に確認することで、動くハザードマップとして災害リスクを可視化することができた。

▲3DVR空間上に浸水範囲や水位の変化をリアルタイムに表現することにより災害リスクを可視化

まとめ

3D都市モデルをベースとした氾濫シミュレーションを行い、その結果を3DVR空間上でリアルタイムに再現することにより、動くハザードマップとして災害リスクの可視化を行った。東証として市橋、庁関係者、当該一部市民の方に実際に体験してもらいアンケートを実施した結果、従来に比べ直感的に分かりやすかったという評価を得ることができた。作成したデータを含む事業の成果は引き続き、市民の防災意識の醸成やマイタイムラインの作成の支援ツールとして、今後も防災訓練等で利用していく。今後の展開として、今回は防災のユースケースを対象としているが、今後は人流データとVRを組み合わせることにより施設や構造物の配置計画などの計画管理、まちづくり、観光振興などの活性化にも活用を図る。

浸水氾濫解析シミュレーション事例

- 既往の結果との比較を実施し、精度の高い地形データを利用することにより、現実に近い氾濫シミュレーション結果を実現
- 3DVR空間上で時々刻々変化する被災状況を実感
- 人流データとVRの組合せにより公園管理・まちづくり・観光振興などの活性化にも活用



▼最大水深		▼1 時間後水深	
・解析結果	・浸水ナビ	・解析結果	・浸水ナビ
最大水深分布図はほぼ一致		盛土部の影響で回り込むように浸水	

エネルギー解析 : Design Builder

建物のエネルギーシミュレーションソフト Design Builder

EnergyPlusの革新的UI

- EnergyPlus
米エネルギー省開発の
エネルギーシミュレーション
プログラム
- OpenGLを使ったモデリング

包括的な検討ができる強力なツール

- どの段階でも性能データと
レンダリング画像を表示
- エネルギー性能を
検討しながら設計



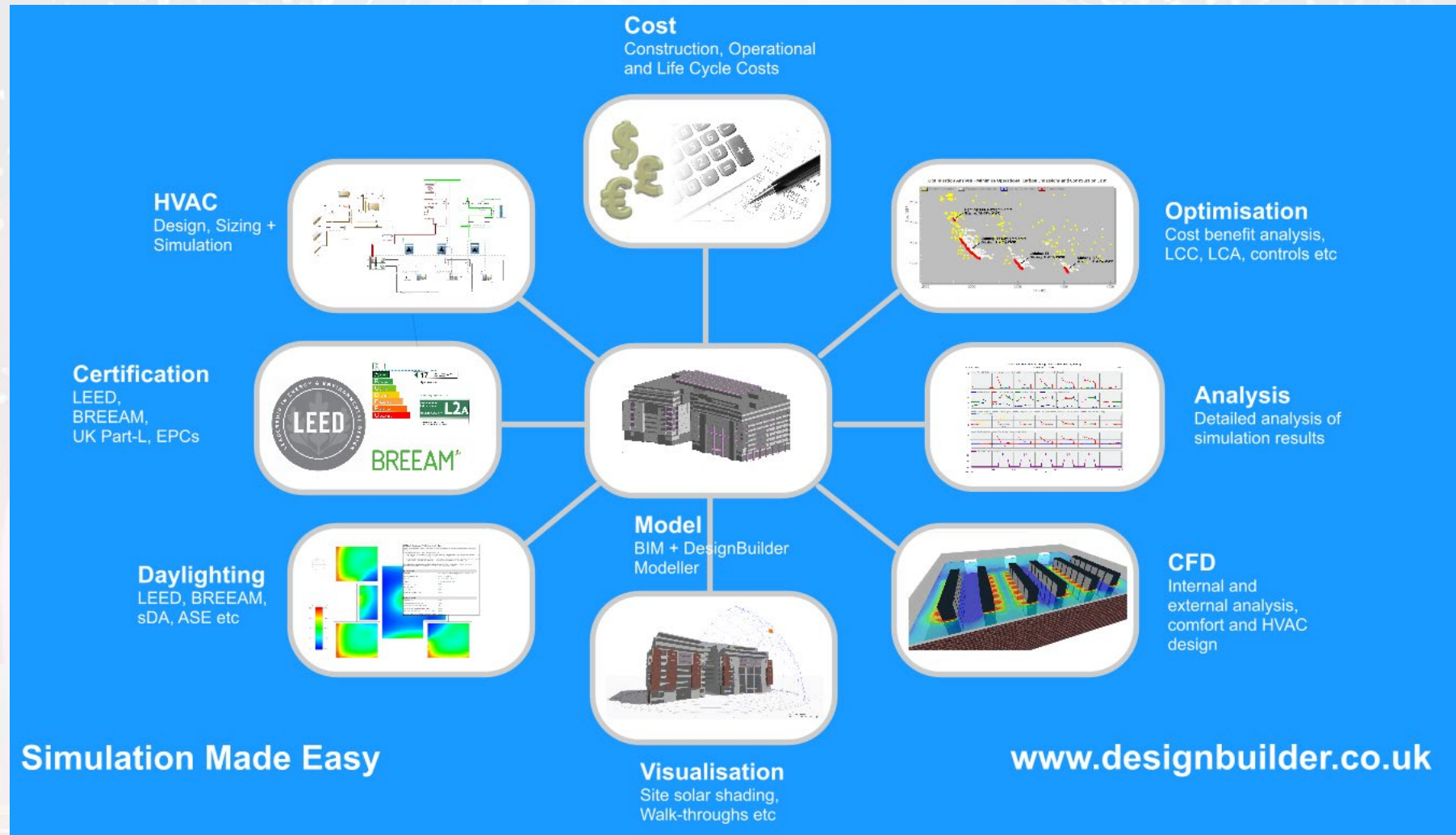
高い価格競争力

- お求め安い価格
- 個別のプログラムでの
シミュレーションに比べ
工程が大幅に短縮

教育的効果

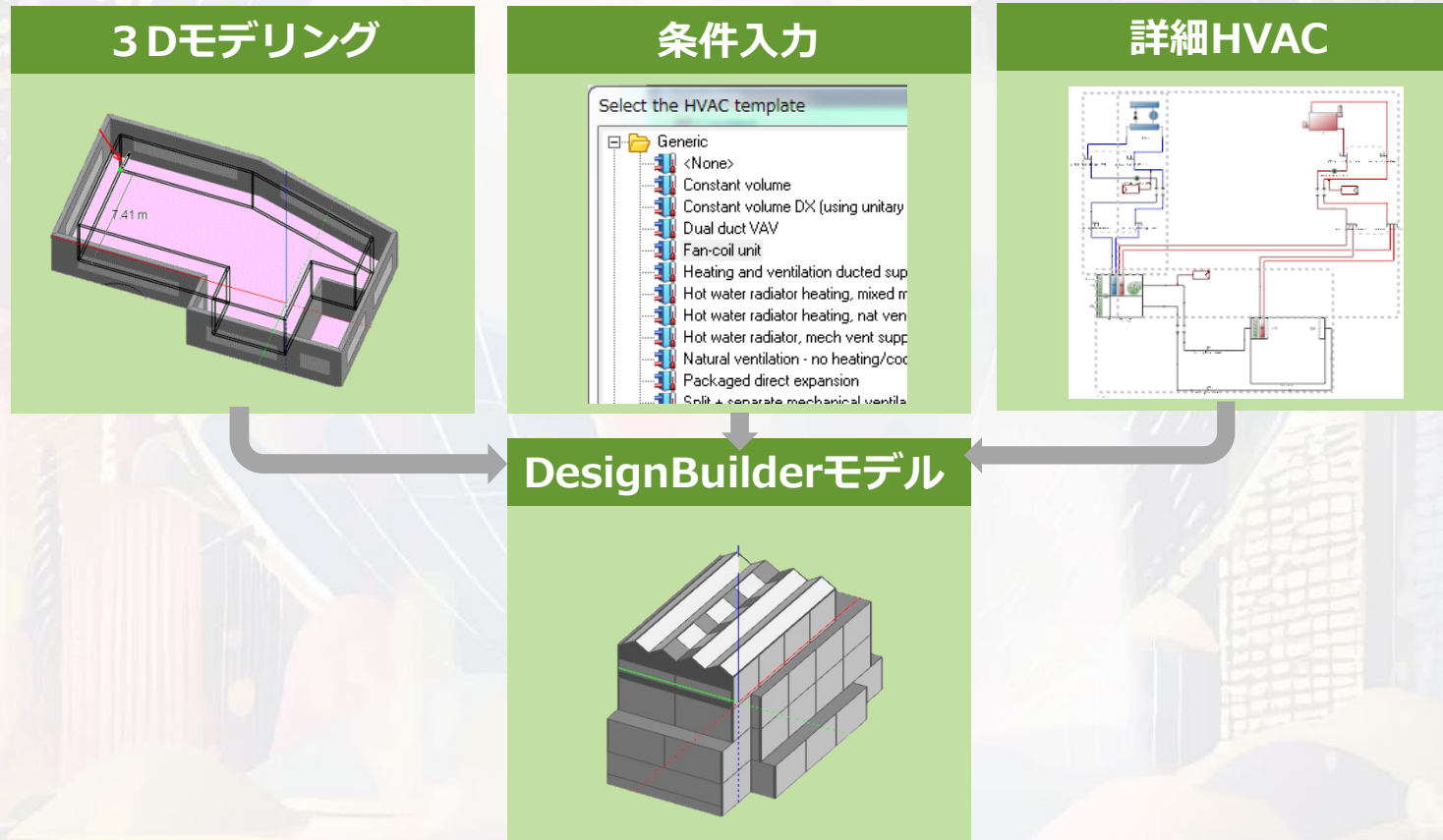
- 大学などでの学生の学習
- 学習することでより高度な
シミュレーションが可能に

1つの3Dモデルから様々なシミュレーションが可能



設計フロー

- OpenGLを使用したモデリング
- 環境条件の入力を支援するテンプレートおよび空調のシステムをモデリングできる詳細HVAC



条件入力

- 各部仕様やゾーン内条件を入力
- ASHRAE 90.1の空調設備等を含むテンプレートを利用可能
- 在室人員や窓の開閉のスケジュール等の設定が可能
- 機械換気、自然換気の切替の設定が可能



Activity | 人の活動



Construction | 壁等の各部仕様



Openings | 開口部



Lighting | 照明



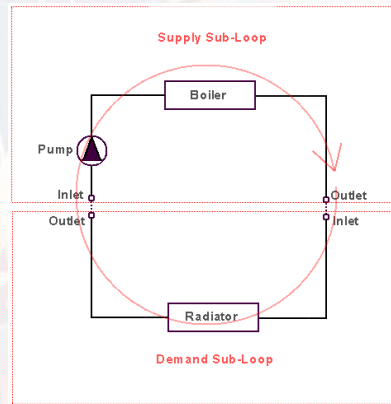
HVAC | 空調システム

The screenshot displays the configuration for an Activity Template named "Office_OpenOff" in a "Primary school" sector. The "Occupancy" section is expanded, showing a density of 1.3200 people/m² and a schedule from 8:00 to 18:00 on 5 days per week. The "Metabolic" section is also expanded, showing the activity "Typing" with a factor of 0.90. Other sections like "Clothing" and "Holidays" are visible but not expanded.

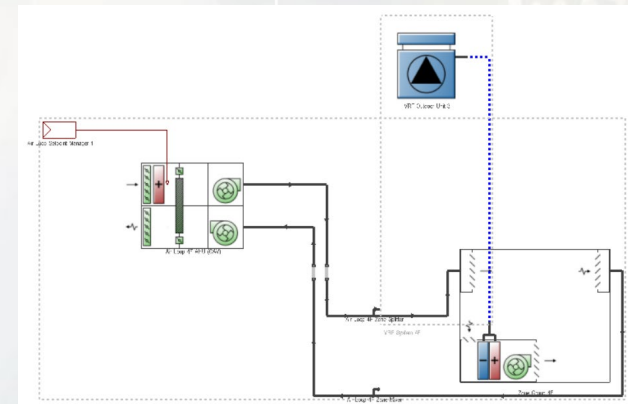
Property	Value
Activity Template	Office_OpenOff
Template	Office_OpenOff
Sector	Primary school
Occupancy	Density (people/m ²): 1.3200
Occupancy	On at: 8:00
Occupancy	Off at: 18:00
Occupancy	Days / week: 5.0
Metabolic	Activity: Typing
Metabolic	Factor (Men=1.00, Women=0.85, Children=0.75): 0.90
Clothing	
Holidays	<input checked="" type="checkbox"/> Additional holidays

詳細HVAC(Heating,Ventilation,Air Conditioning)

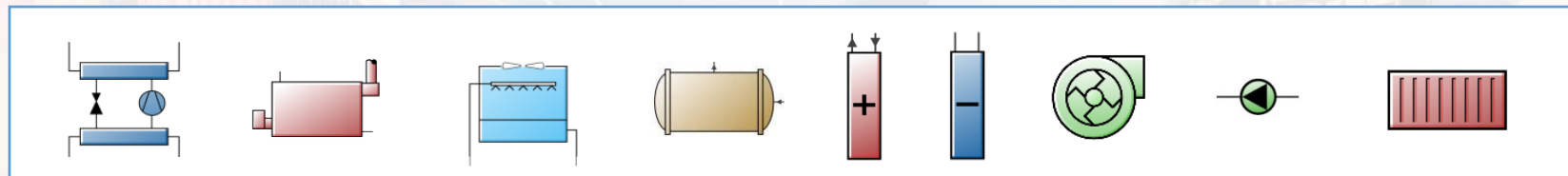
- 詳細な空調システムをモデル化
- EnergyPlusのHVAC Loopsをビジュアル的にモデル化。
- 代表的な空調システムのテンプレートを利用可能。
- 様々なコンポーネントを組み合わせて使用可能。



▲EnergyPlusのHVACループ



▲HVACシステム エアループ



▲詳細HVACのコンポーネント例

エネルギーシミュレーション事例

- 脱炭素の実現に不可欠なエネルギーシミュレーションを実施
- HPチラー、地中熱などの複数の熱源の運転モードやスケジュールなど様々な制御にEMSを利用
- 第10回NaRDA審査員特別賞作品

「3階建建造物 (S+RC 造) エネルギーシミュレーション」 - 省エネルギー化を目的とした システム制御の検証 - (株)竹中工務店

MOVIE

使用製品: DesignBuilder

3階建建造物 (S+RC 造) エネルギーシミュレーション - 省エネルギー化を目的としたシステム制御の検証 -

株式会社竹中工務店

概要
2015年に国連サミットでSDGs (Sustainable Development Goals) が採択された。SDGsを達成するために貢献できるポイントがいくつもあり、その一つにエネルギー効率の向上が挙げられる。エネルギー効率を上げた建物は、脱炭素を実現し環境に配慮した建物ということになるため、建物のエネルギーシミュレーションの重要性が増している。建物のエネルギーの最適化を図るためには、自然環境、建築条件、機械設計など様々な項目を考慮した複雑な設定が必要になり、ここでは建物エネルギーシミュレーションソフト「DesignBuilder」を使用したエネルギー消費削減に関するシミュレーションを実行した。

解析対象
対象施設は太陽熱や地中熱の自然エネルギーを利用した設備システムを有する総床面積 5,000㎡程度の建物を対象にエネルギー消費に関する年間シミュレーションを実施する。

3Dイメージ図

EMS(Energy Management System)によるシミュレーション制御
EMS(Energy Management System)は DesignBuilder の計算プログラム Energyplus に搭載されたエネルギー管理システム。さまざまな「センサ」データにアクセスし、そのデータを使用して各機器の稼働・停止の命令から設定温度の変更等さまざまなタイプの制御アクションを詳細に指示することができる。制御を行った一例を記載する。

- 運転モード切替
HP (ヒートポンプ) チラー、地中熱、太陽集熱 (貯熱タンク) の運転状態を持つ制御システムを対象とし、熱源はスケジュールや出口温度によって運転モードを切り替え、稼働する熱源の ON/OFF および配管経路の切換えを行う。
- 太陽集熱タンクの集熱・放熱
太陽集熱は 4F に集熱/貯熱を配置して熱交換器として活用する。その際、効果的に活用するため 6 台の集熱タンクを用いて各タンクの上下層、中央の温度を制御し、タンクの太陽集熱・放熱を制御する。
- スケジュール制御
熱源の切替えは前述した環境状況や送水温度等により自動的に設定を変更する自動制御モードに加え、任意のタイミングで切替えを行うスケジュール制御モードを設けた。
- 自然換気
外壁開口およびソーラードーム開口の設定を行い、開口部の開閉は室内外の温度、エンタルピー等より自然換気有効の判断をして制御する。
- 外気冷房
自然換気と同様に、室内外の温度、エンタルピー等より判定を行い制御する。中間期(春・秋時期)に低温外気を冷房に利用することで熱源の稼働を抑え、省エネルギーを図る。

結果
運転モード切替えにより自然エネルギーを活用した制御を行った場合と制御を行わない場合のエネルギー消費量をシミュレーションした結果、約 12% のエネルギー消費削減効果を得られる結果となった。太陽集熱タンクからの供給を停止した影響が大きく暖房の消費エネルギー量が大幅に減少した。

項目	自然エネルギー活用あり	自然エネルギー活用なし
総エネルギー消費量	1048,375	1188,185
削減エネルギー消費量	139,810	139,810
削減率	12.9%	12.9%

まとめ
上記結果 1) 省エネ対策なしのケースはスケジュール制御より運転モードの切替制御を任意指定して自然エネルギーからの供給を停止した結果であり、任意の状態をケーススタディとしてシミュレーションで確認できた。これらシミュレーションの結果を実際の稼働結果と比較や AI 学習による最適な稼働運用の分析に役立てていきたい。

エネルギーシミュレーション事例

- 自然エネルギーを活用した制御を組み込むことで約12%のエネルギー消費削減効果を実現
- 実際の稼働結果との比較、AI学習による最適な稼働運用に今後活用

■ 運転モード切替条件/太陽集熱タンクの集熱・放熱条件

【系統図】

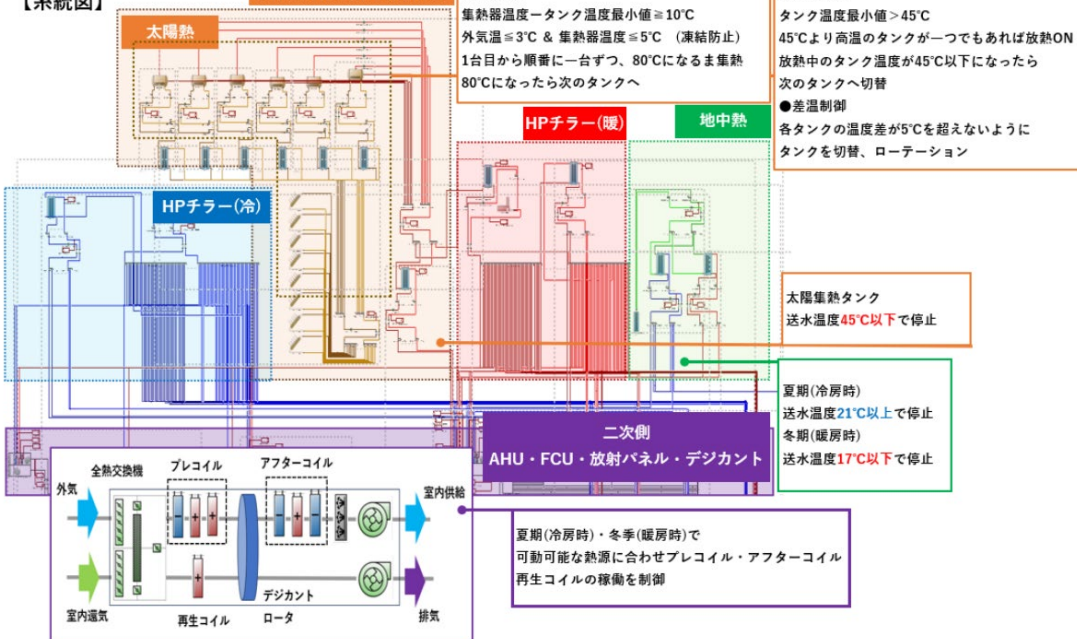
集熱タンク集熱・放熱条件

○集熱条件

集熱器温度-タンク温度最小値 $\geq 10^{\circ}\text{C}$
 外気温 $\leq 3^{\circ}\text{C}$ & 集熱器温度 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ (凍結防止)
 1台目から順番に一台ずつ、 80°C になるまで集熱
 80°C になったら次のタンクへ

○放熱条件

タンク温度最小値 $> 45^{\circ}\text{C}$
 45°C より高温のタンクが一つでもあれば放熱ON
 放熱中のタンク温度が 45°C 以下になったら
 次のタンクへ切替
 ●差温制御
 各タンクの温度差が 5°C を超えないように
 タンクを切替、ローテーション



太陽集熱タンク
送水温度 45°C 以下で停止

夏期(冷房時)
送水温度 21°C 以上で停止
 冬期(暖房時)
送水温度 17°C 以下で停止

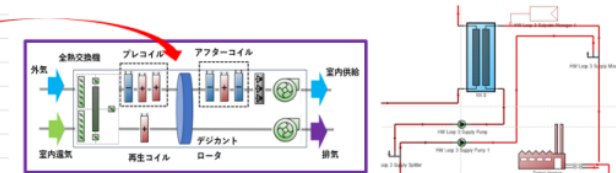
夏期(冷房時)・冬季(暖房時)で
 可動可能な熱源に合わせてプレコイル・アフターコイル
 再生コイルの稼働を制御

■ スケジュール制御の設定

▽手動設定する項目をcsv形式で指定

datetime	operation	HEX_1_2n	HEX_1_2n	Chiller_CV	Chiller_HWsp
2023/1/1 0:00	12	1.8	45	10	44
2023/1/1 0:30	12	1.8	45	9	44
2023/1/1 1:00	12	1.8	45	8	43
2023/1/1 1:30	12	1.8	45	10	42
2023/1/1 2:00	12	1.8	45	10	45
2023/1/1 2:30	12	1.8	45	10	45
2023/1/1 3:00	12	1.8	45	9	44
2023/1/1 3:30	12	1.8	45	8	43

自動計算されていた機器の稼働・停止判定や
 チラーの出口温度を流量などをcsvで指定した値に制御



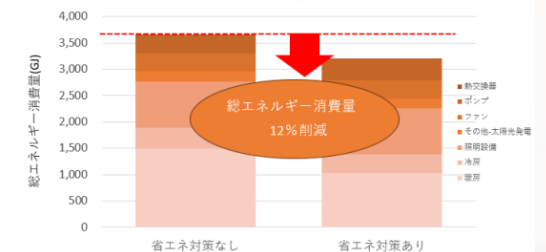
1) 省エネ対策なし

	総エネルギー [GJ]	建物総面積あたりのエネルギー [MJ/m ²]	空調有効面積あたりのエネルギー [MJ/m ²]
総一次エネルギー消費量	5544.375	1158.181	1903.556
自然エネルギー分控除	3649.066	762.264	1252.838

2) 省エネ対策あり

	総エネルギー [GJ]	建物総面積あたりのエネルギー [MJ/m ²]	空調有効面積あたりのエネルギー [MJ/m ²]
総一次エネルギー消費量	5094.728	1064.253	1749.179
自然エネルギー分控除	3199.419	668.336	1098.460

年間計算比較



ご清聴ありがとうございました

■プレゼンテーション

「災害対策におけるFEM解析・ 災害シミュレーション最新情報」

“The Latest Information on FEM Analysis and
Disaster Simulation for Disaster Countermeasures”

フォーラムエイト 解析支援Group長代理
松山 洋人

Hiroto Matsuyama

Deputy-chief Manager of FORUM8 Analysis Support Group



18TH FORUM8

All about FORUM8 & Products.

DESIGN FESTIVAL

2024 3DAYS+EVE

11.13 WED - 15 FRI 11.12 TUE



 **FORUM8**
主 催：株式会社フォーラムエイト

