

近未来の複合災害の減災に資する デジタルトランスフォーメーション

理化学研究所計算科学研究センター

大石哲

ここでお伝えしたいこと

- 複合災害：×同時に発生すること×
○先行災害によって安全度が小さくなる中で、後続災害が起きる○
- 大規模災害時：×普段できていること以上の作業×
△普段できている作業△
- 普段からDXを使ったシミュレーションベースの施設管理→減災



火事場のなんとやら、
に頼らない

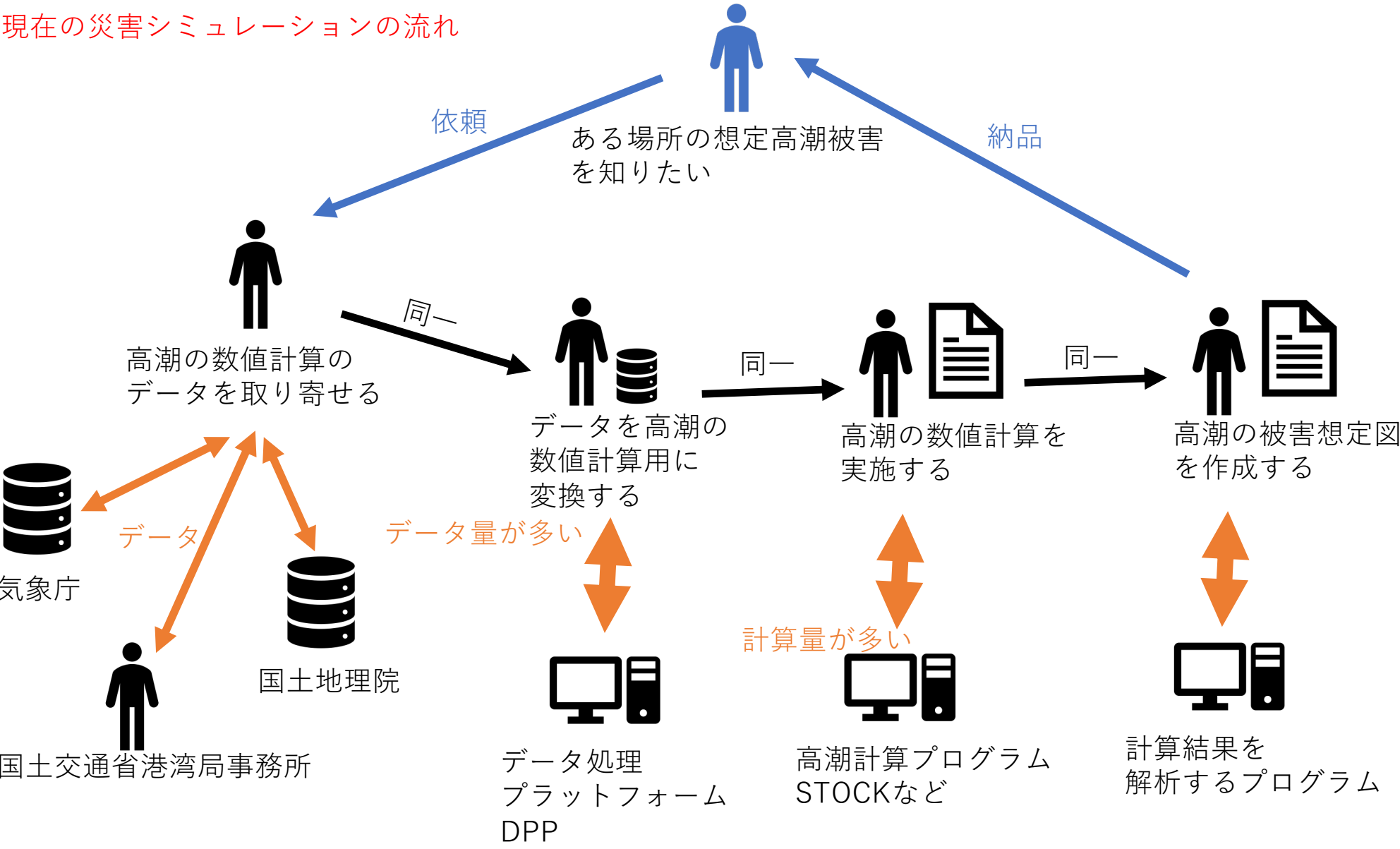


先行地震で機能しなくなった河川堤防や樋門

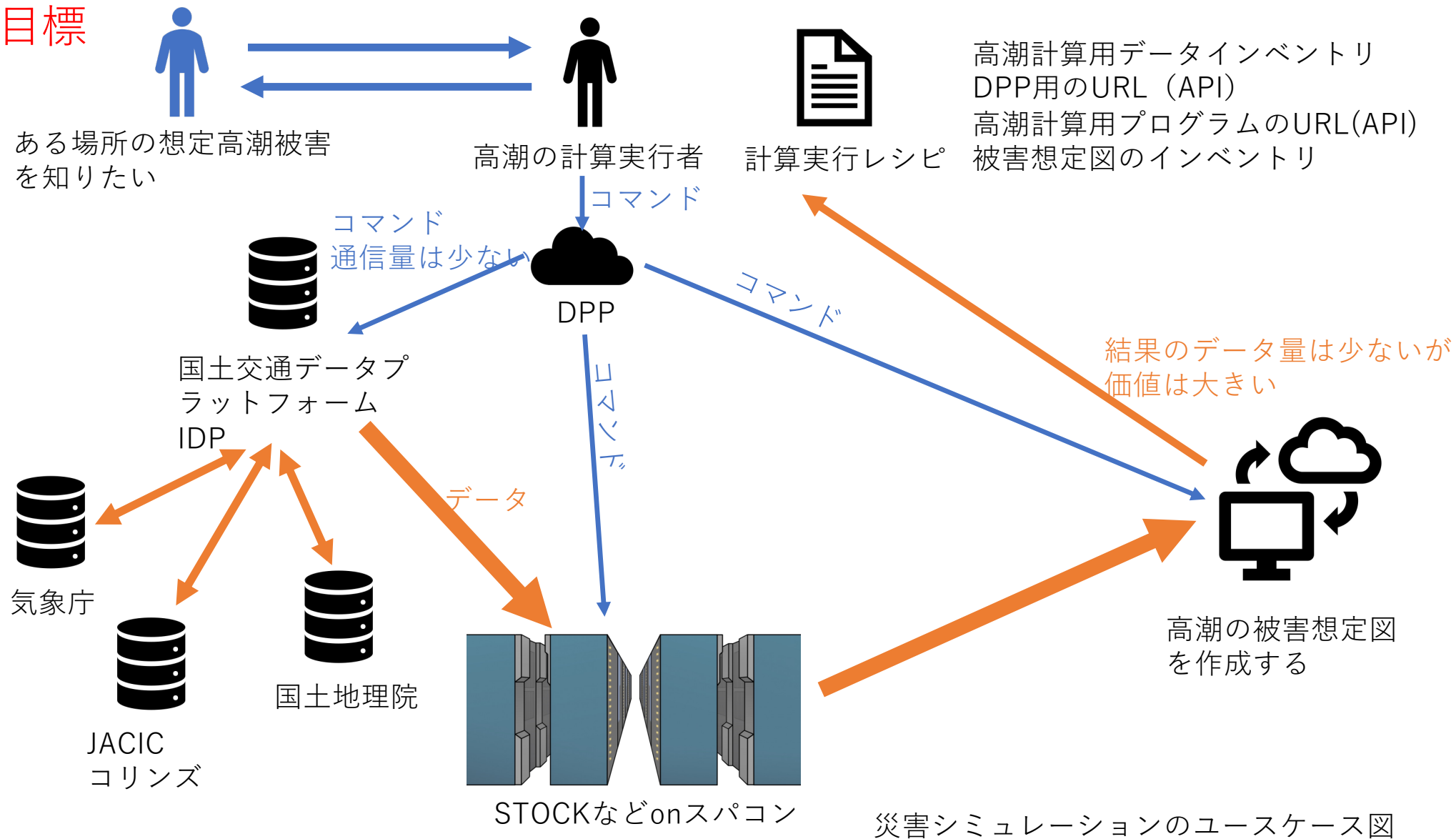
先行地震のあと復旧前に発生した高潮

先行地震でダメージを受けたため機能しなくなった海岸堤防

現在の災害シミュレーションの流れ



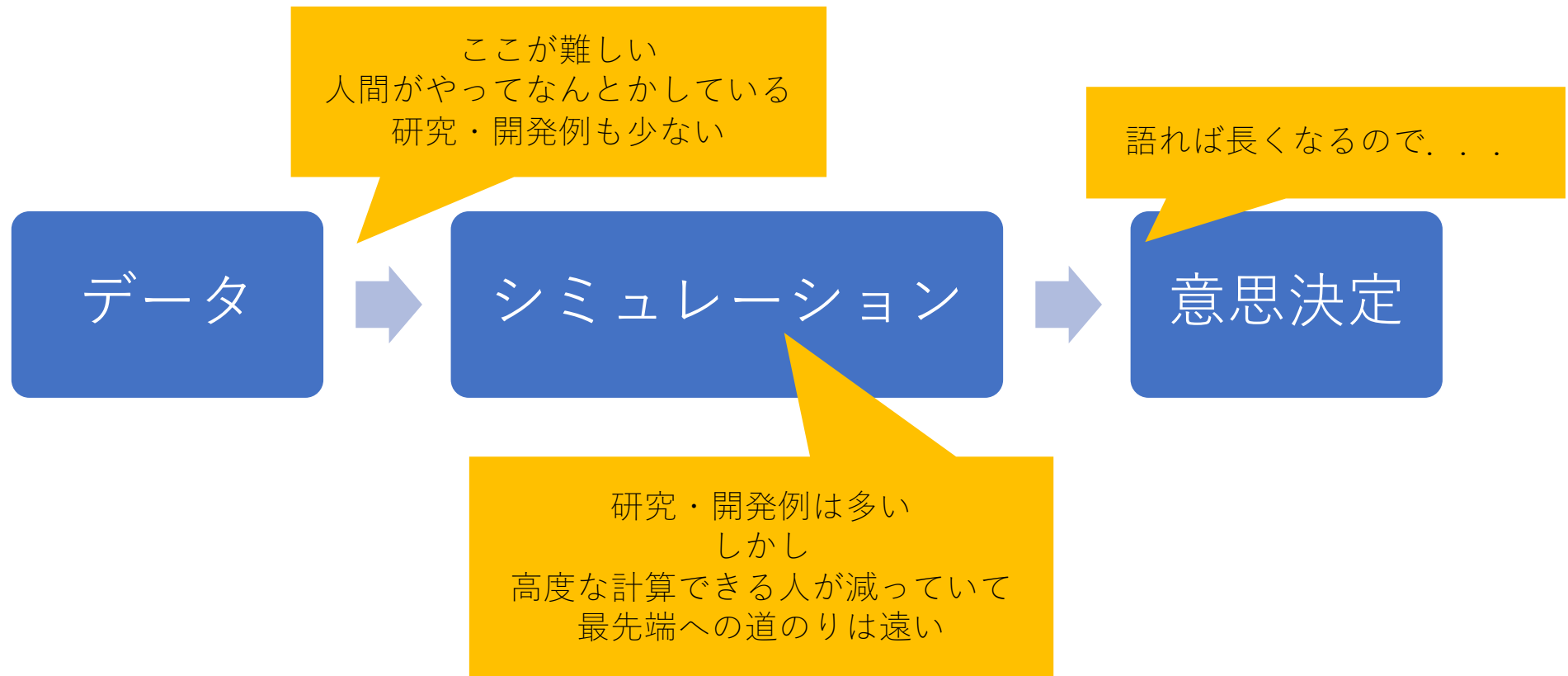
目標



今日説明するメインの技術 データ処理プラットフォーム (DPP)

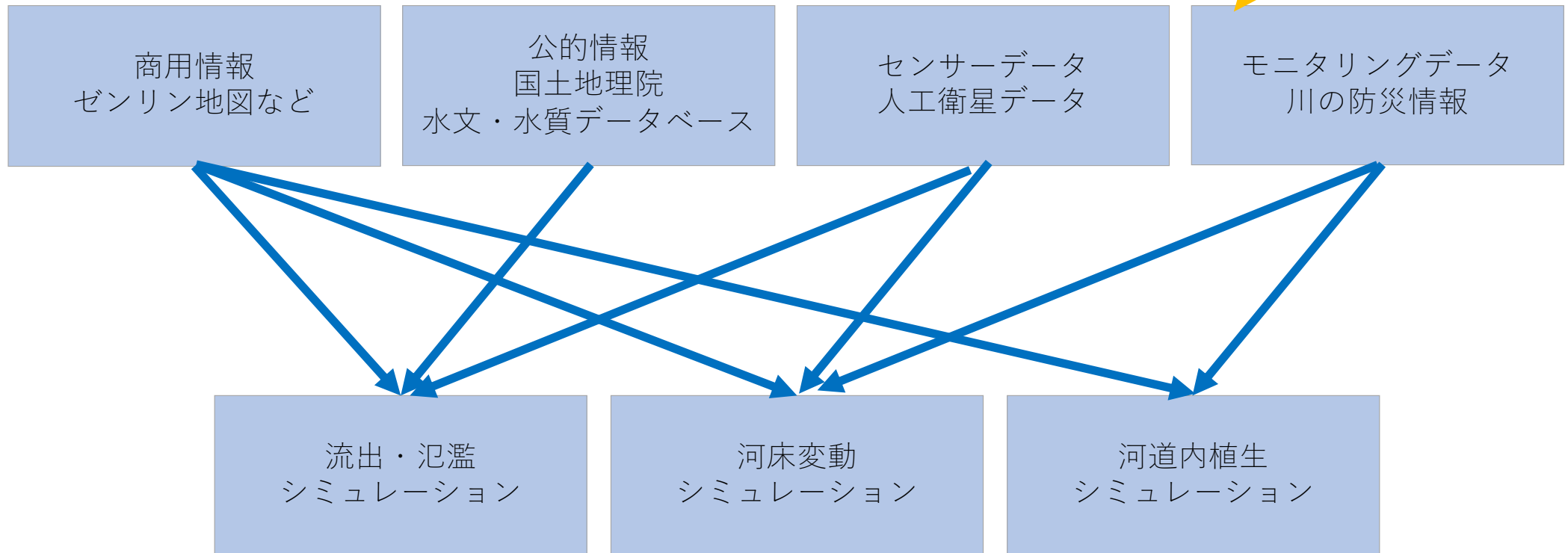
- 発明の名称：データ解釈装置、方法及びプログラム、データ統合装置、方法及びプログラム、並びにデジタル都市構築システム
- 出願番号：特願2021-535335
- 登録番号：特許第7042545号
- 出願人：理化学研究所
- 発明者：大谷 英之

現代の工学的課題

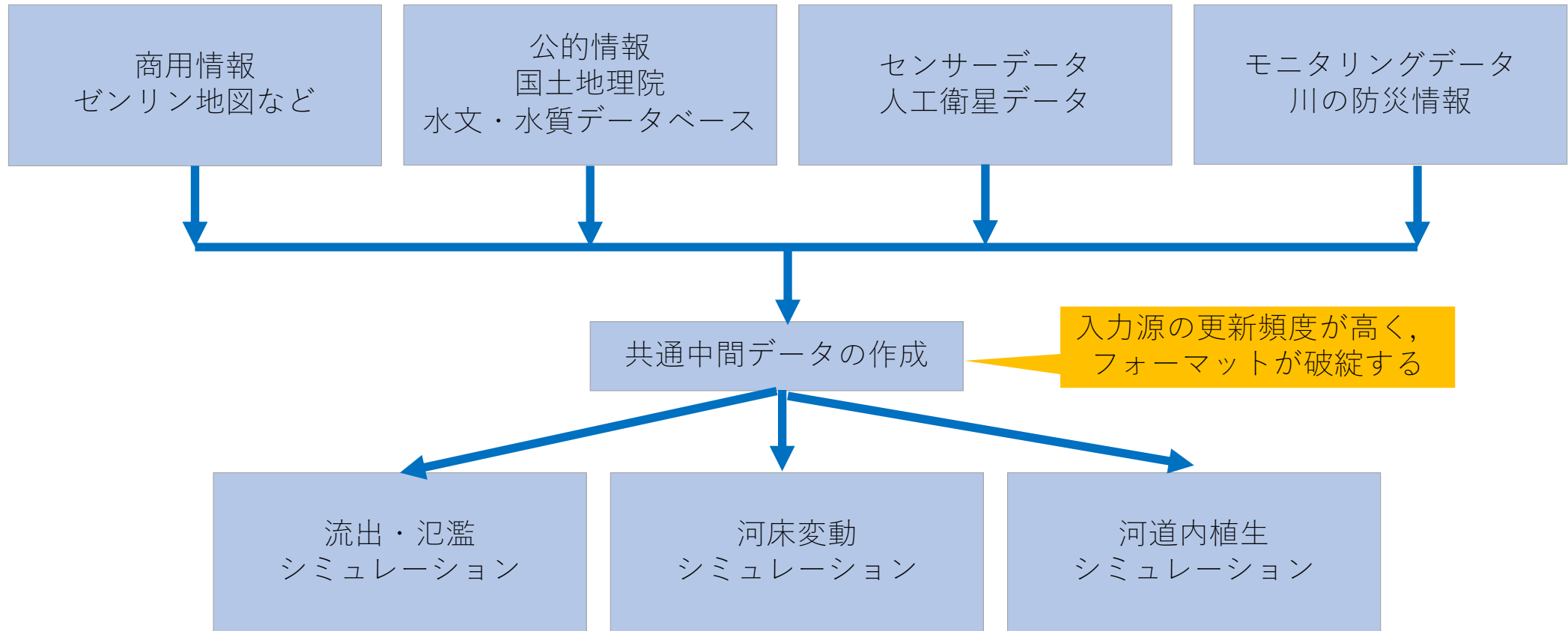


データからシミュレーションへ 一般的な方法

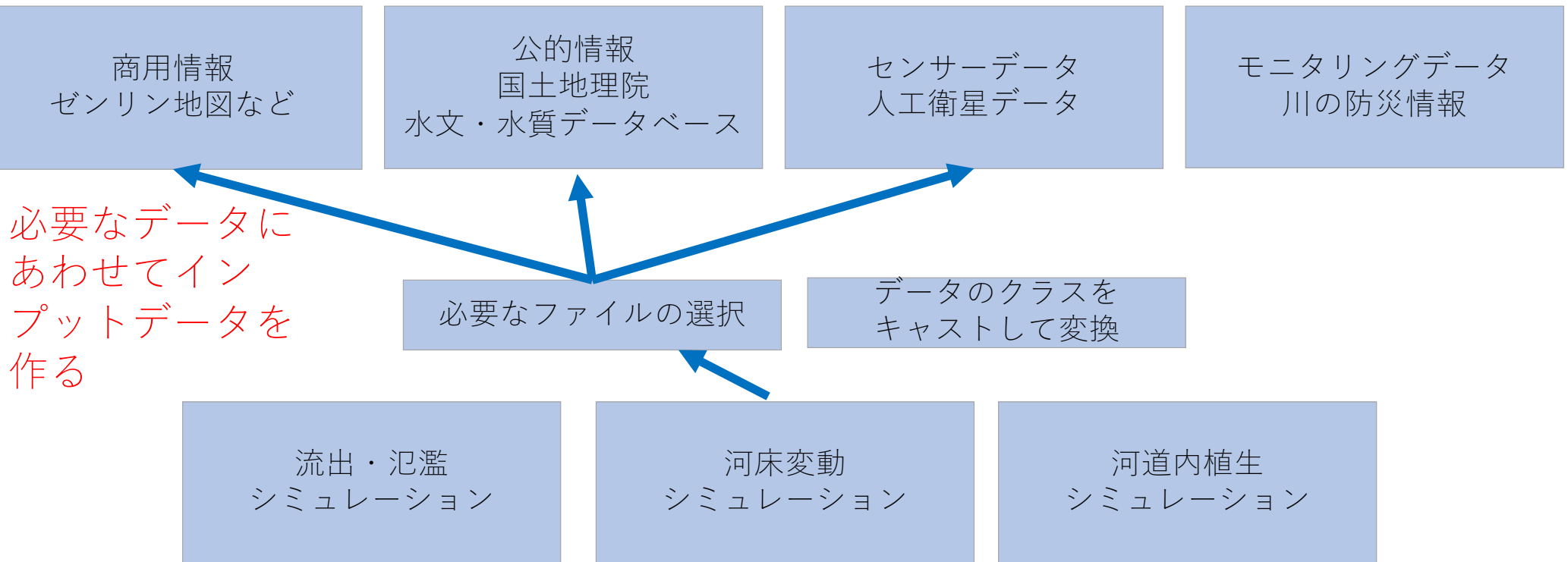
入力源×出力先だけ
プログラムを作る必要



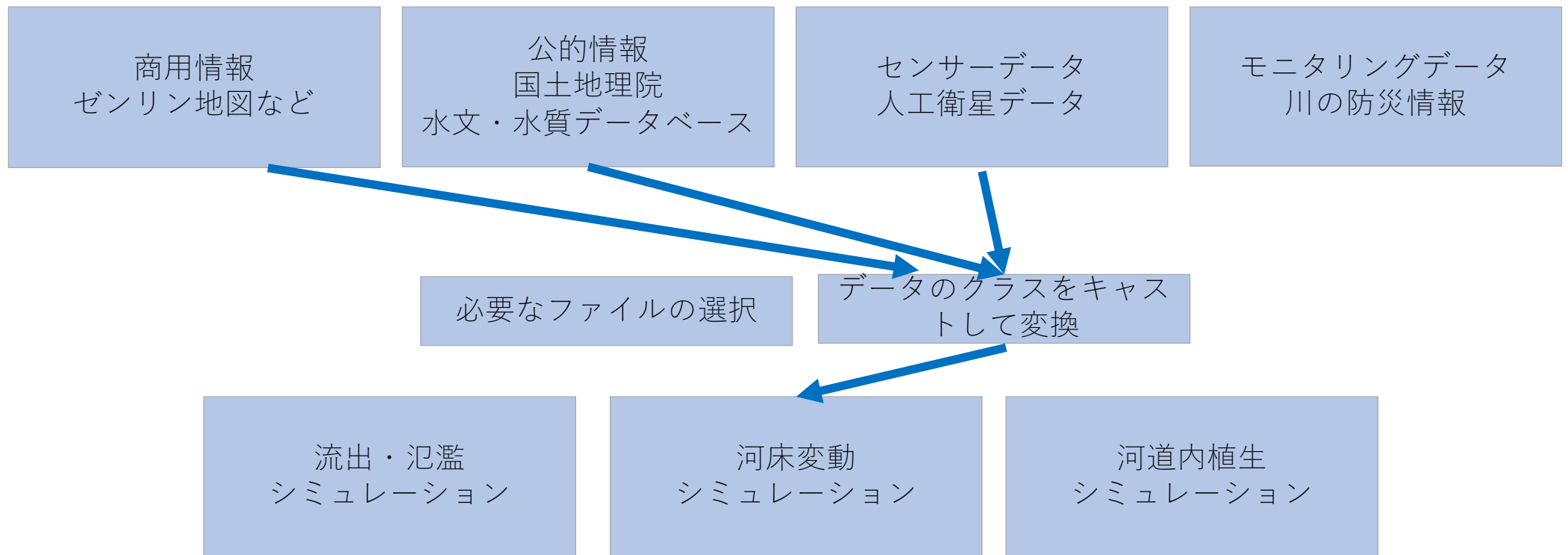
データからシミュレーションへ 中間共通データ



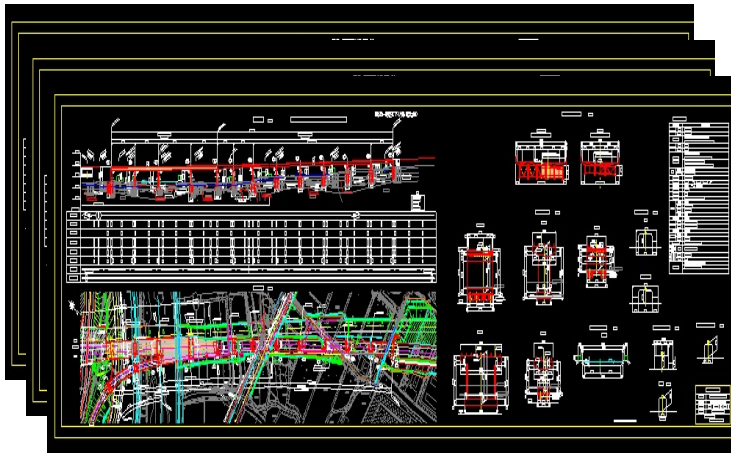
データからシミュレーションへ 提案する方法 1



データからシミュレーションへ 提案する方法 2



CAD→DPP→3次元化モデル



CADデータの入手

スクリプトの記述

```
Library( "DXF");
Library( "KnowledgeLibrary1");

file1 = DXF("input/source1.dxf");
file2 = DXF("input/source2.dxf");
file3 = DXF("input/source3.dxf");
// 読み込みと同時に自動的に情報抽出・3次元モデル自動作成

data = search(名前:"P1"-"の橋脚");
// 自動作成された3次元モデルを検索・取得

println( data:.高さ );
// 3次元モデルの高さをコンソール画面に表示

Def:data:.基礎:.幅:は:Q("200cm"):である;
// 3次元モデルの修正

OutputVTK( data, output_path="tmp2.vtk");
// 3次元モデルの出力
```



3次元可視化表示

- DPPスクリプトを使って、 CADデータの3次元可視化ができる。

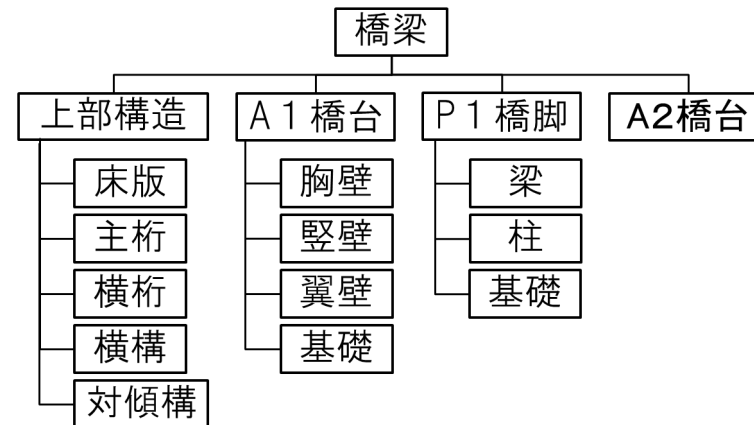
DPPスクリプトの例

```
Library( "DXF");  
Library( "KnowledgeLibrary1");  
  
file1 = File("input/006_P2橋脚構造一般図.dxf" );  
file2 = File("input/source2.dxf" );  
file3 = File("input/source3.dxf" );  
// 読み込みと同時に自動的に情報抽出  
// 連続的な読み込みによる自動的な情報統合・3次元モデル自動作成  
  
data = 名前が:"P1":の橋脚;  
// 自動作成された3次元モデルを検索・取得  
  
println( data:の高さ );  
// 3次元モデルの高さをコンソール画面に表示  
  
Def:data:の基礎の幅は:Q("200cm"):である;  
// 3次元モデルの修正  
  
OutputVTK( data, output_path="tmp2.vtk" );  
// 3次元モデルの出力
```

9行！

DPPの中身についての説明 難解です

- 単純な多角形の集まりとして表現すると、後に多目的に使えない。
→ 部材の各部を明確にコンピュータ上で認識させることが重要



- 部材の各部を固定的な構造で定義すると、今後の修正・拡張が難しくなり、プロジェクトの趣旨に沿わない。
→ 部材の各部を抽象的に表現できる
データ処理プラットフォーム（DPP）を利用

DPPによる新しいオブジェクト指向プログラミング

サブクラス

Table

工 事 名	工 事		
図 面 名	橋脚構造一般図		
縮 尺	図 示	図面番号	
設 計 年 月	平成	年	月
〇〇地方整備局		〇〇〇〇事務所	

スーパークラス

CellSet

アップキャスト



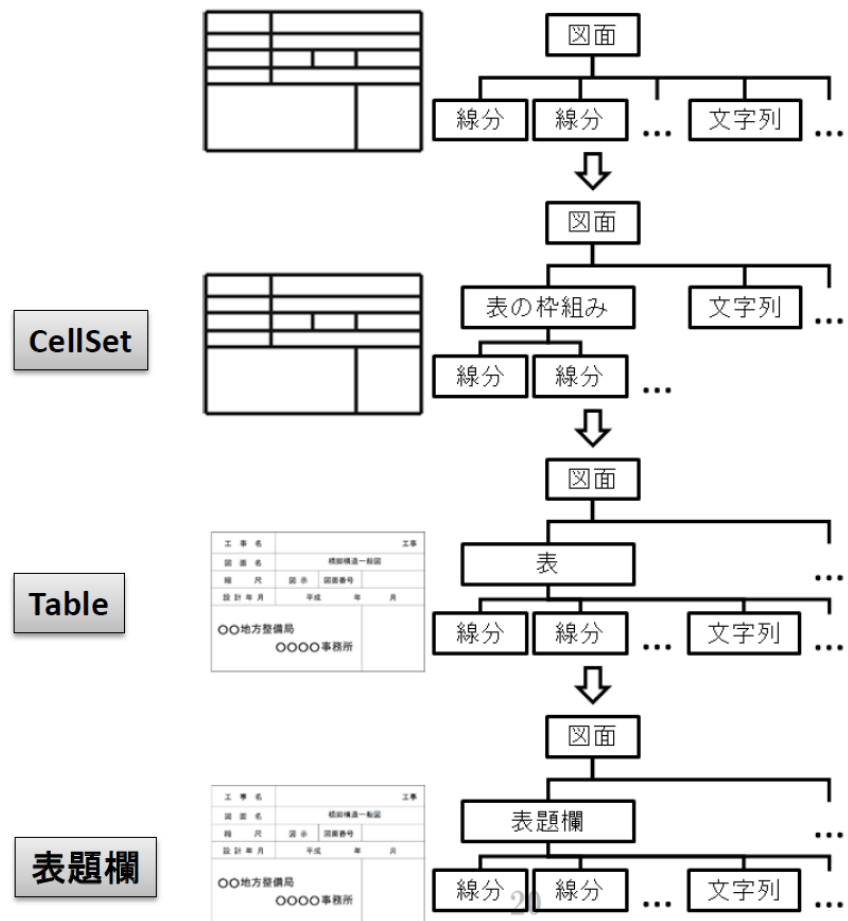
ダウンキャスト



従来：内部データを共有しなければならない
DPP：論理的な包含関係（外延・内包関係に基づく）

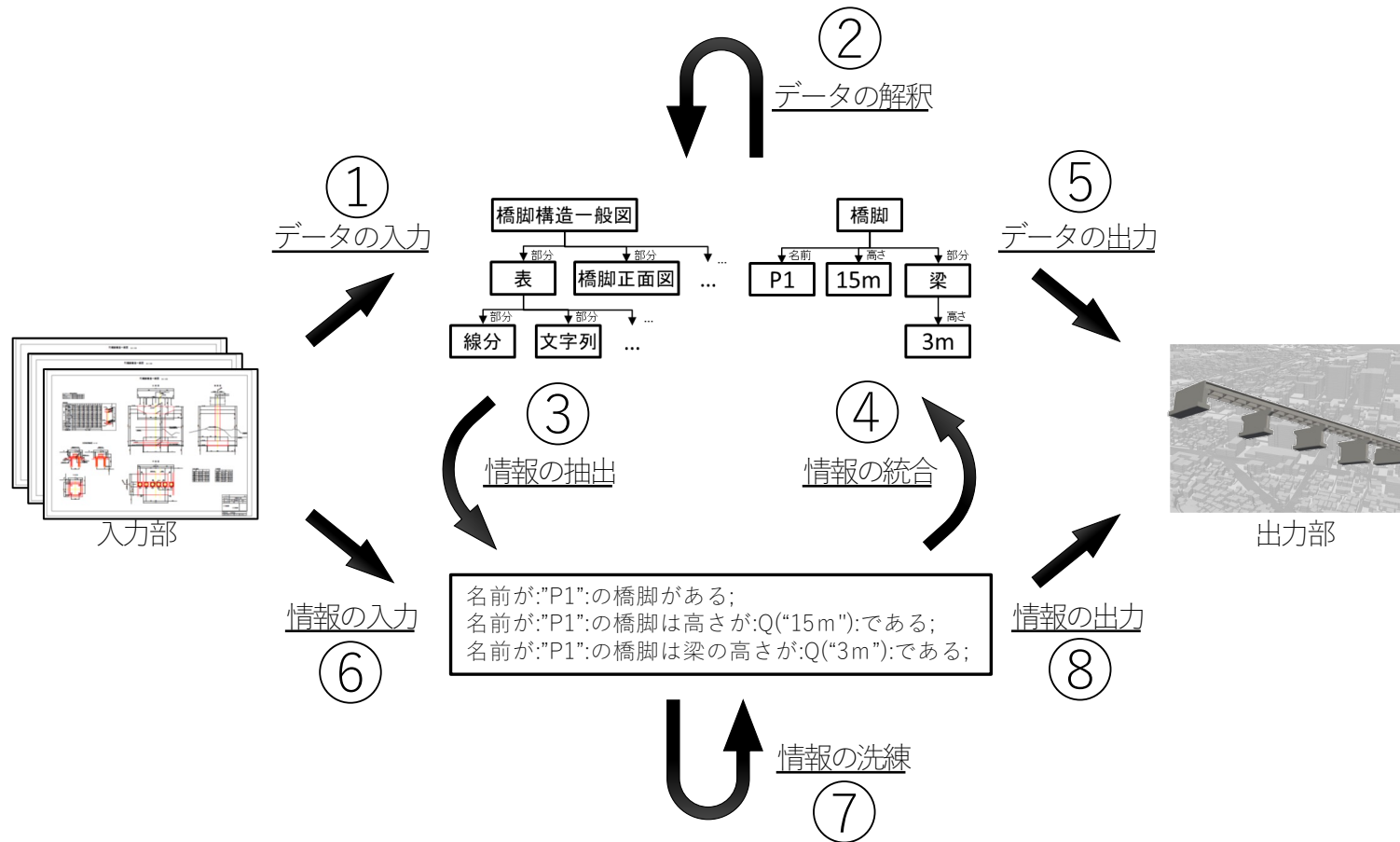
追加情報に基づくダウンキャストが解釈に当たる

図面の解釈技術



木構造の成長が”解釈”と対応

3次元モデルの自動構築方法



適用事例 橋梁

- 上部工座標図がある事例では25/26の成功率
 - 中空床版橋
 - バルブT桁橋
 - T桁橋
 - ホロー桁橋

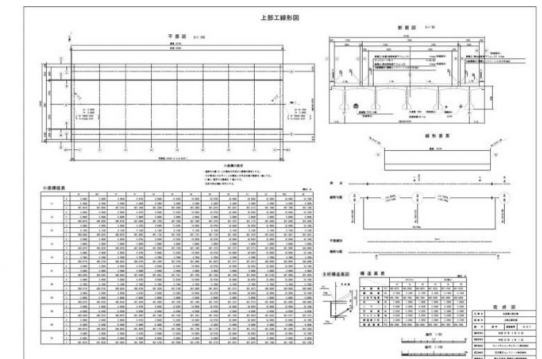
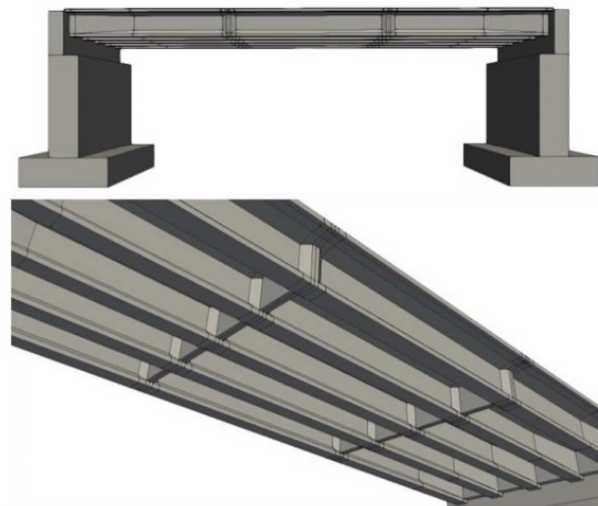
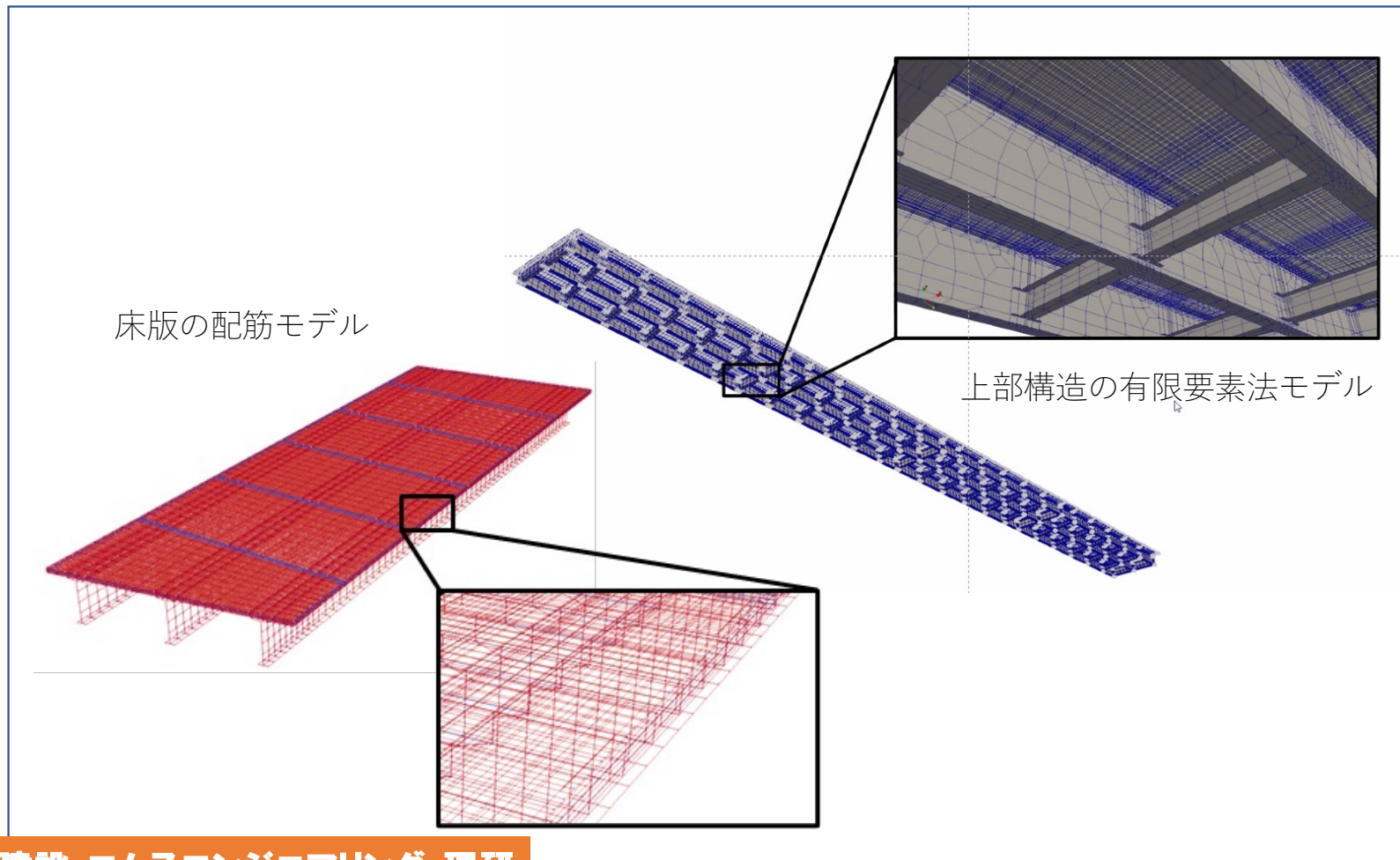


図 2: 線形図

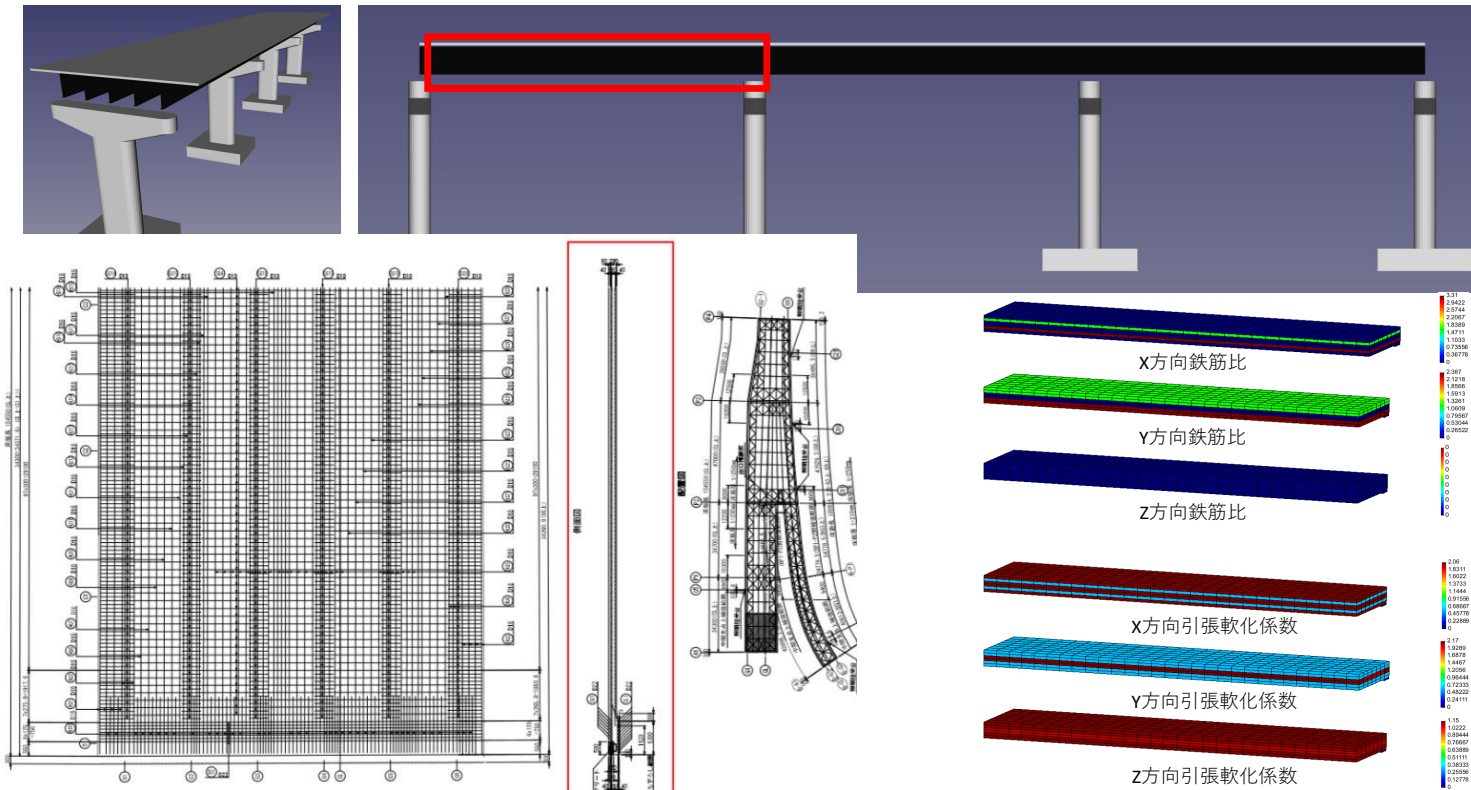
図 3: 設計図面から自動構築された橋梁の 3 次元モデル

大谷 英之, 土木構造物設計図面からの3次元モデル自動構築におけるナレッジグラフの利用,
人工知能学会第二種研究会資料 セマンティックウェブとオントロジー研究会 SIG-SWO-057-08
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsaisigtwo/2022/SWO-057/2022_08/_pdf/-char/ja

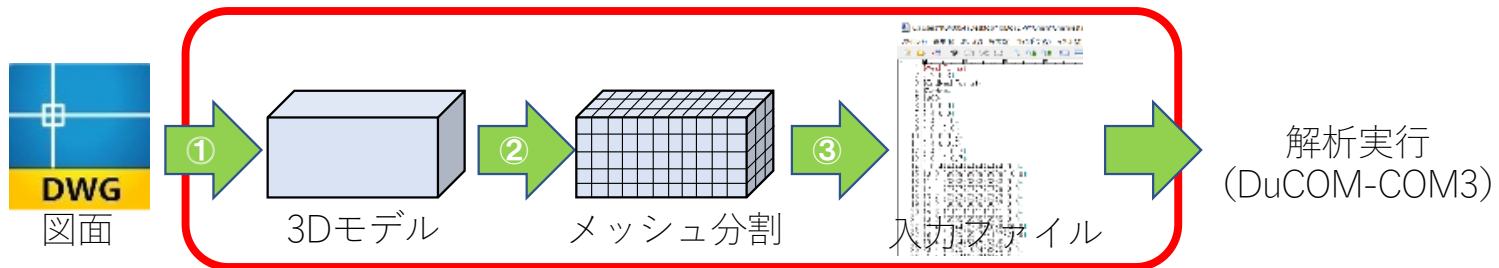
配筋等の内部構造のモデル化→疲労解析



形だけでなく内部もモデル化してシミュレーションに使う



疲労寿命予測のための橋梁モデル自動構築 DPPを利用した自動化



読み込み・3Dモデル構築・メッシュ分割・入力ファイル作成の一連の作業に対して、DPPを利用した自動処理プログラムを開発



橋梁全体モデルの高精度の疲労寿命予測シミュレーションが低コストで実施



構造物毎の、丁寧かつ高度な維持管理計画の立案と点検や補修の最適化による維持管理コストの削減

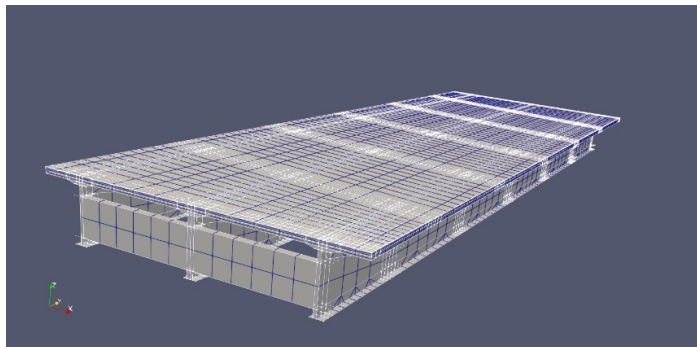
橋梁上部工のFEMモデル：DPP自動作成と手作業

床版：ソリッド（コンクリート）

桁：シェル

鉄筋：ライン

節点数	32,381
要素数	63,535
SOLID	11,088
PLATE	29,458
Line	22,989

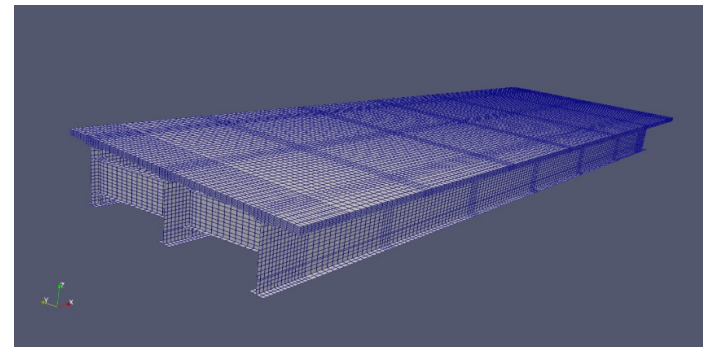


DPP自動作成

床版：ソリッド（RC要素）

桁：シェル

節点数	100,978
要素数	74,722
SOLID	58,764
PLATE	15,958



手作業

FEMモデル自動構築の効果と課題

数値解析

	手作業(%)	DPP利用(%)
プレ処理	62.50	7.05
解析実行	37.50	18.75
合計日数	100.00	25.80

手作業の合計日数を基準

数値解析のプレ処理 10%以下に削減

	手作業(%)	DPP利用(%)
図面読み込み・解析計画	12.50	0.80
モデル作成	31.25	6.25
荷重作成	6.25	
予備解析・妥当性確認	18.75	0

余寿命診断への展開

2 DCAD ⇒ DPP ⇒ Mesh作成 ⇒ FEM ⇒ 設定ファイル ⇒ シミュレーション

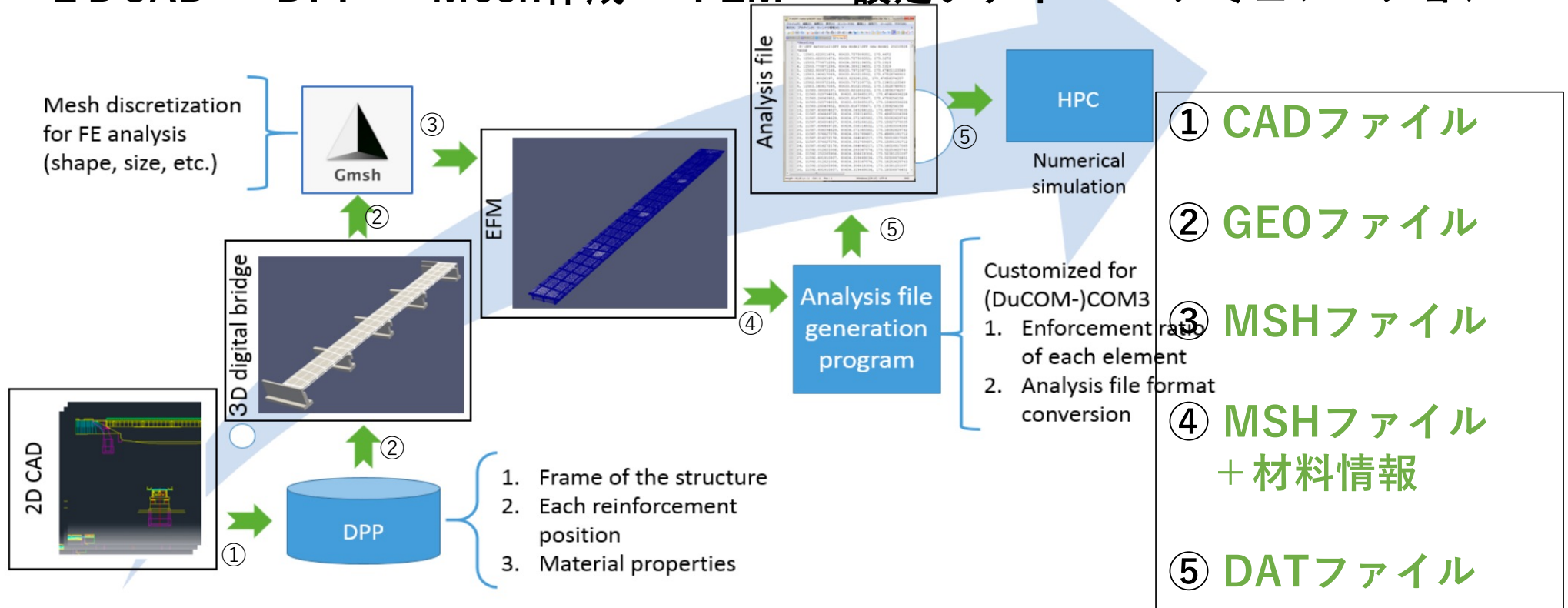
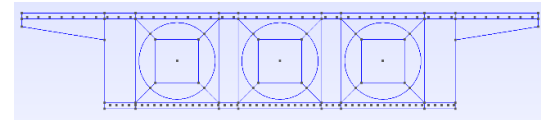
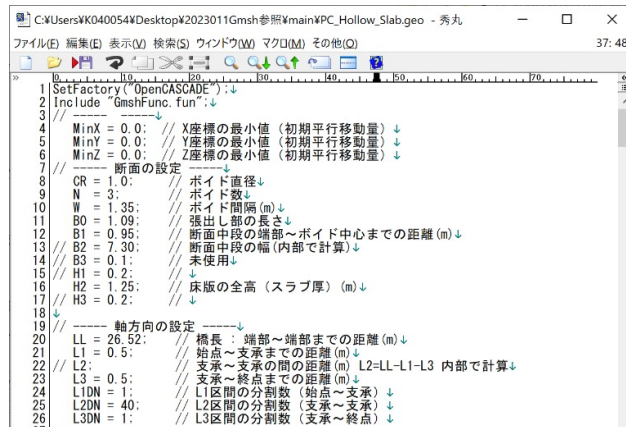


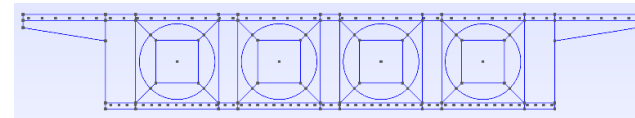
Figure 3 3D large-scale bridge model and FE analysis file generation process

Yoneda et al. (2021),
Development of a 3D Finite-Element Modelling Generation System Based on Data Processing Platform and Fatigue Analysis of Full-Scale Reinforced-Concrete Bridge, IABSE Congress Ghent 2021 - Structural Engineering for Future Societal Needs

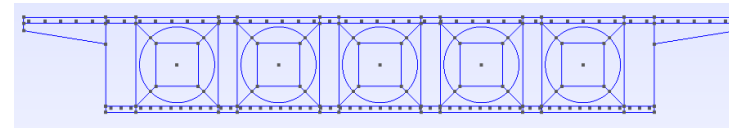
パラメータの変更のみで、
土木構造物のFEM解析用に**整合性が取れた6面体メッシュ**が**自動生成**



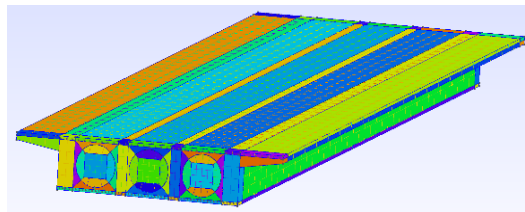
N=3



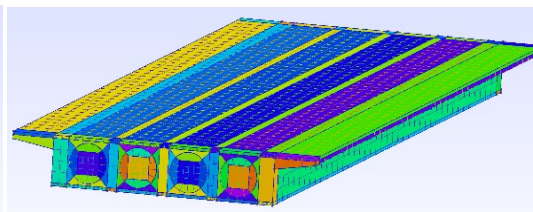
N=4



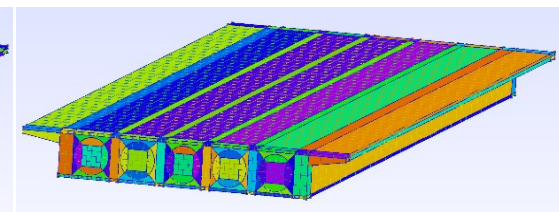
N=5



N=3



N=4

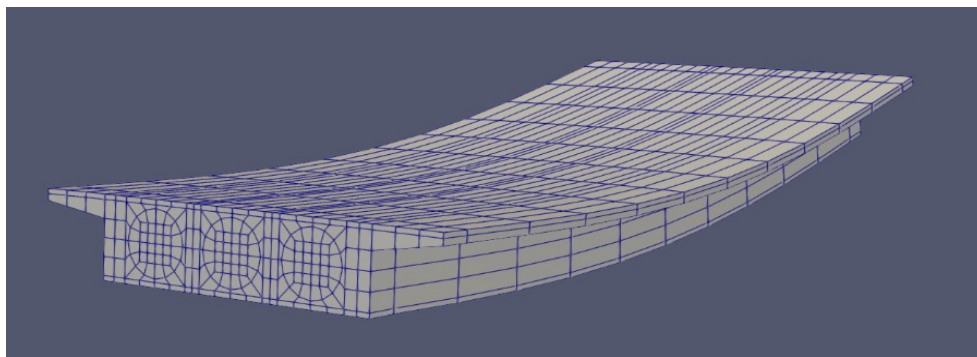


N=5

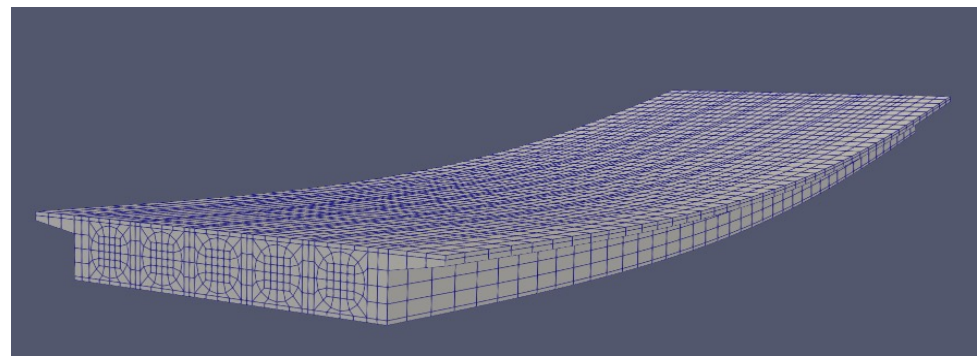
パラメータ (ボイド数,N) を変更した例 :

大石代表 国総研共同研究2022

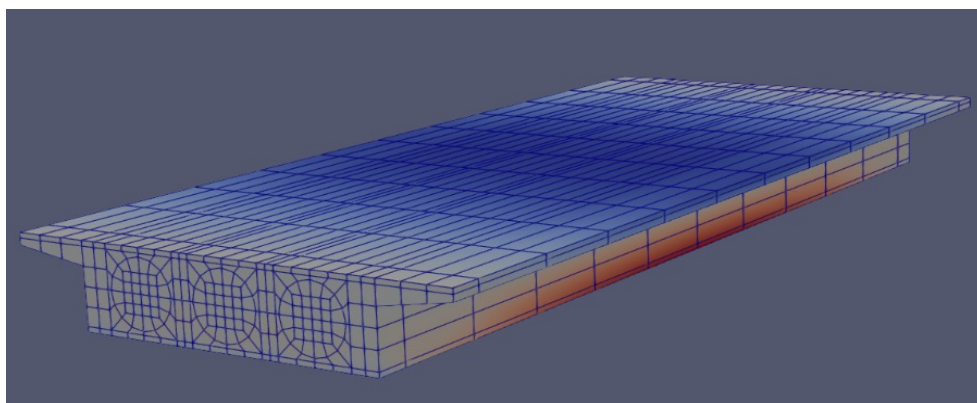
【作業時間】 従来: 数週間(手作業) → 本手法: 約1分(自動)



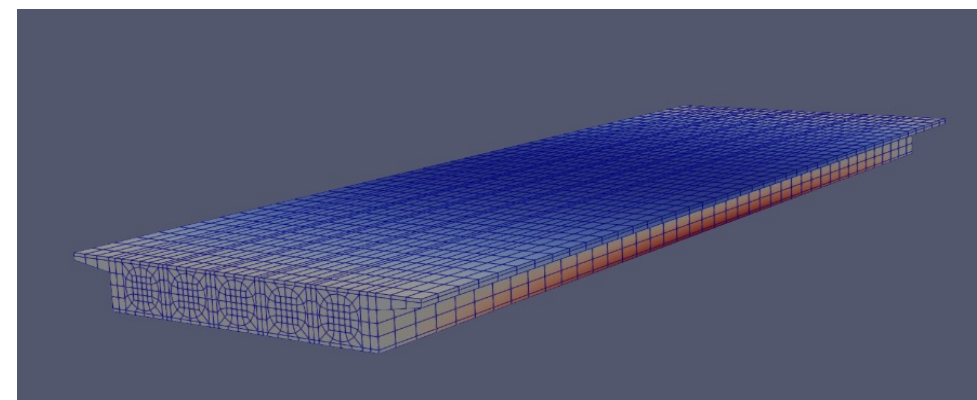
変形図 (ボイド数 3)



変形図 (ボイド数 5)

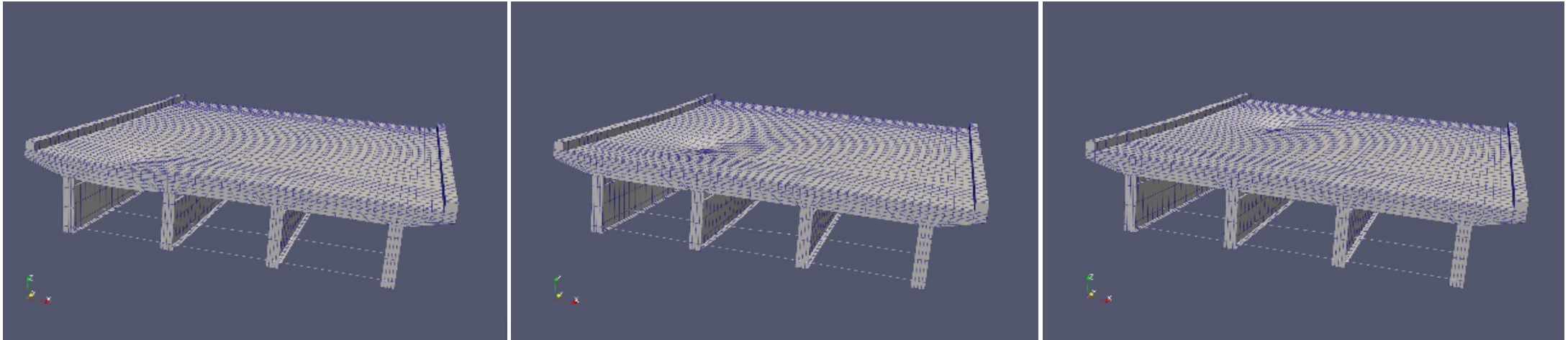


ひずみコンター図 (ボイド数 3)



ひずみコンター図 (ボイド数 5)

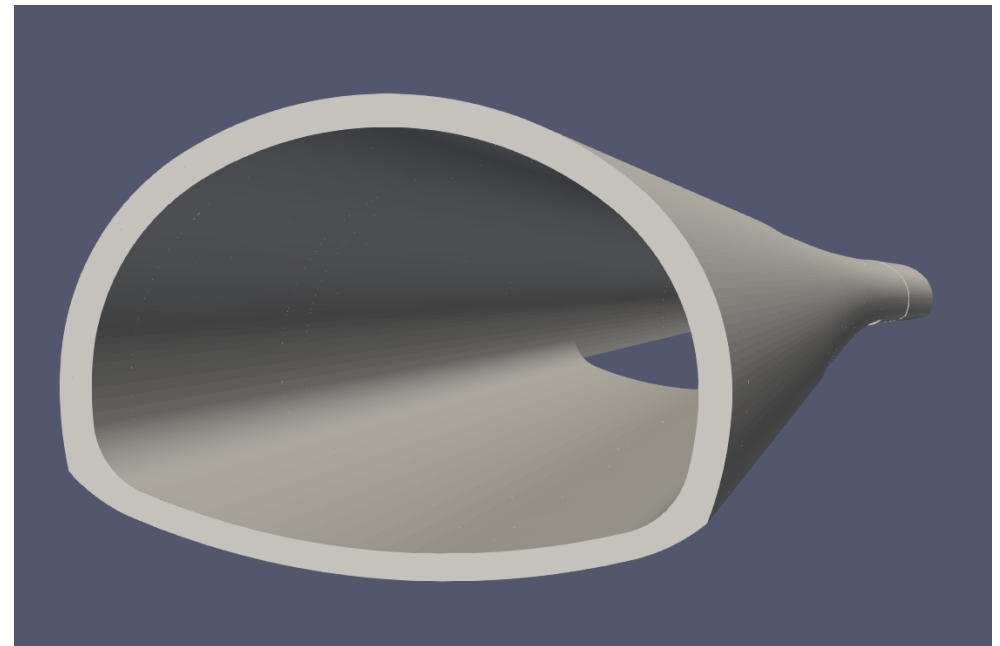
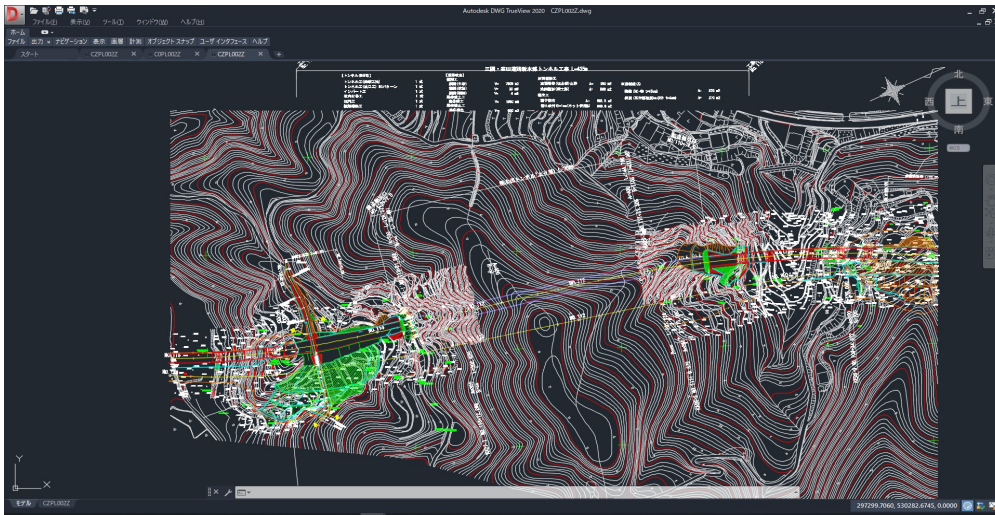
輪荷重解析



適用事例 NATMトンネル

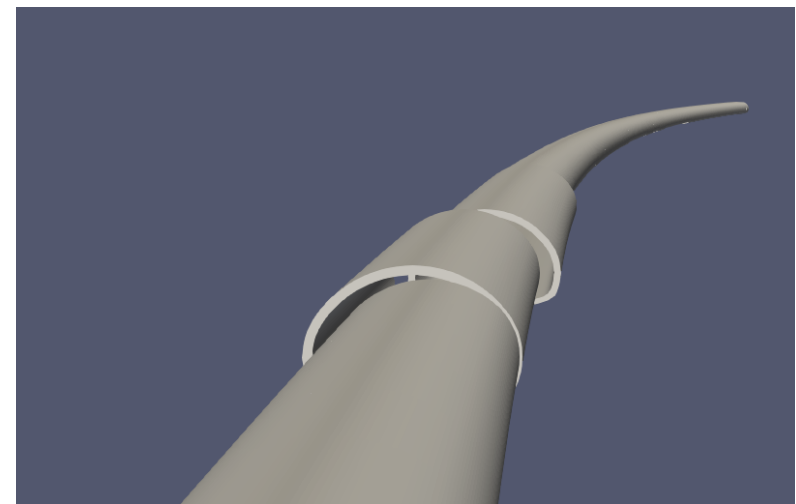
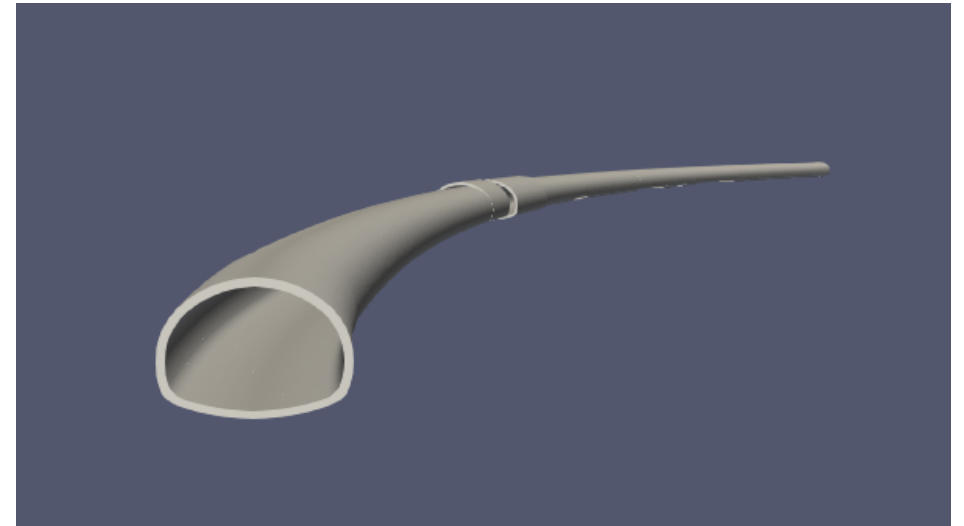
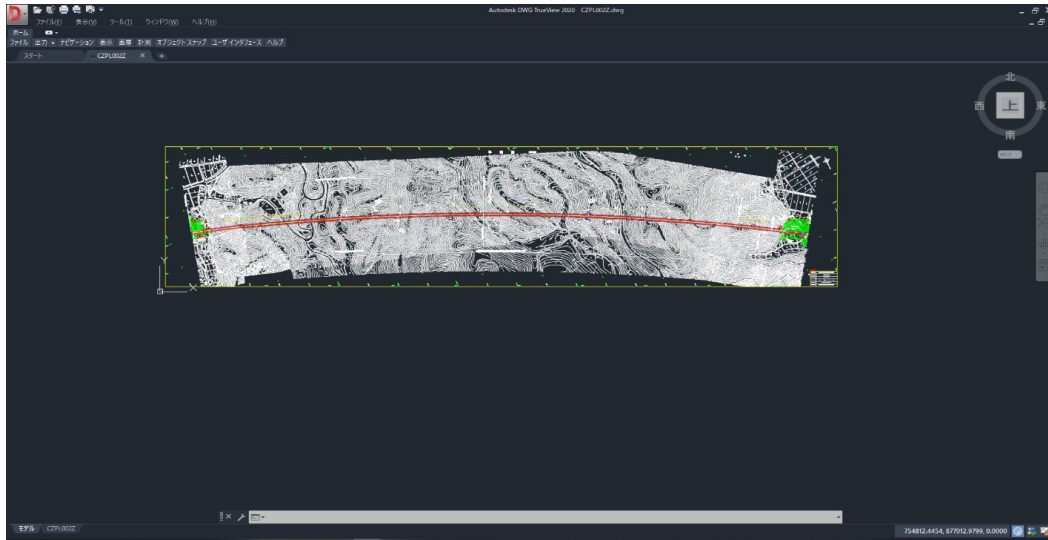
- 77%(7/9)の成功率

01_三隅・益田道路新木部トンネル工事



大石代表 国総研共同研究2021

07_鳥取西道路気高青谷トンネル第1工事



大石代表 国総研共同研究2022

適用事例 地盤

神戸大学 竹山先生の成果

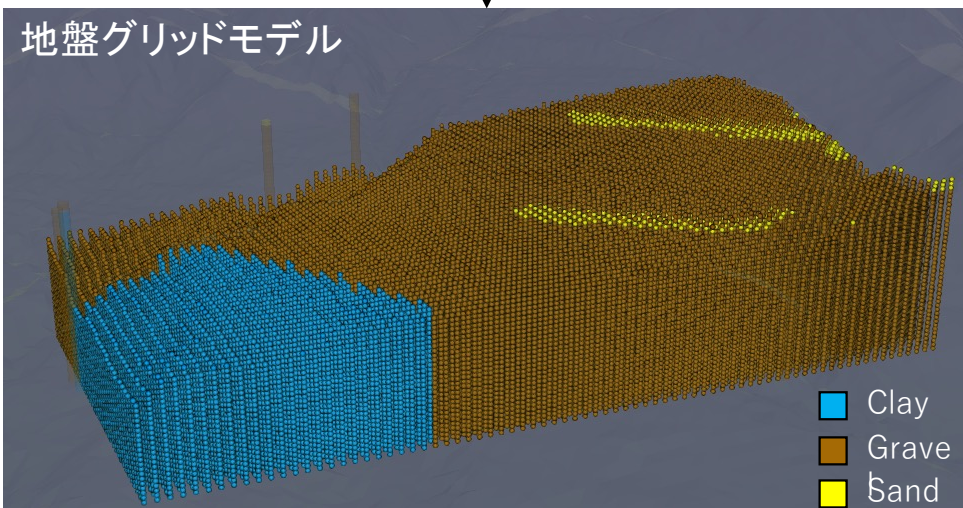
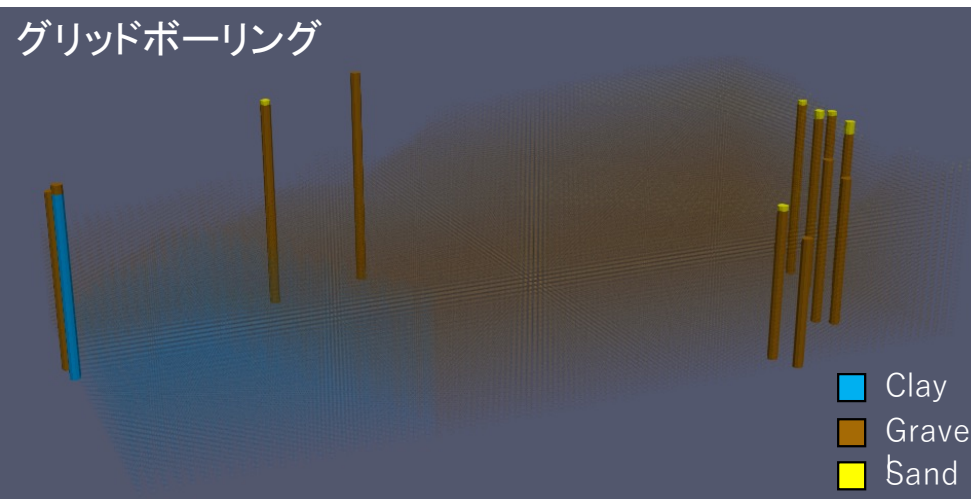
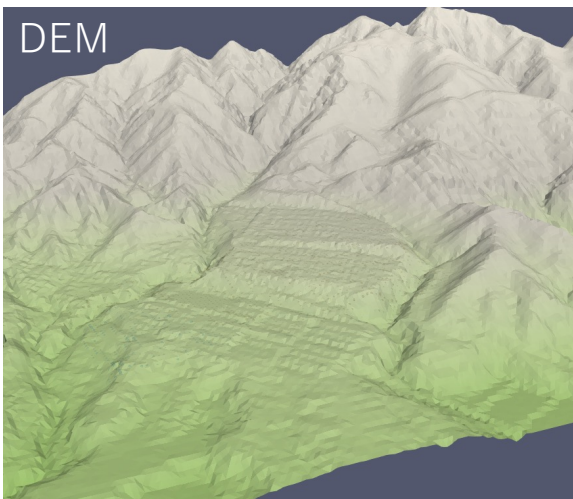
主たる論文は

Takeyama, T., O-tani, H., Oishi, S., Hori, M., Iizuka, A., Automatic construction of three-dimensional ground model by data processing, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics (TMECH), 2021



地盤グリッドモデルの作成

34



X, Y方向の間隔を指定し, 地盤グリッドモデルを作成

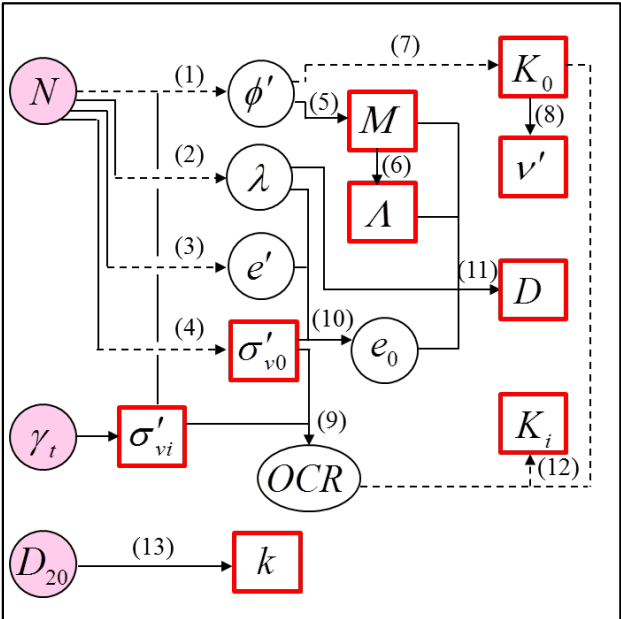
地表面の形状には, DEMを適用

各格子点は, カテゴリの情報をもち, 水平面上で最も近いグリッドボーリングデータのカテゴリが適用される

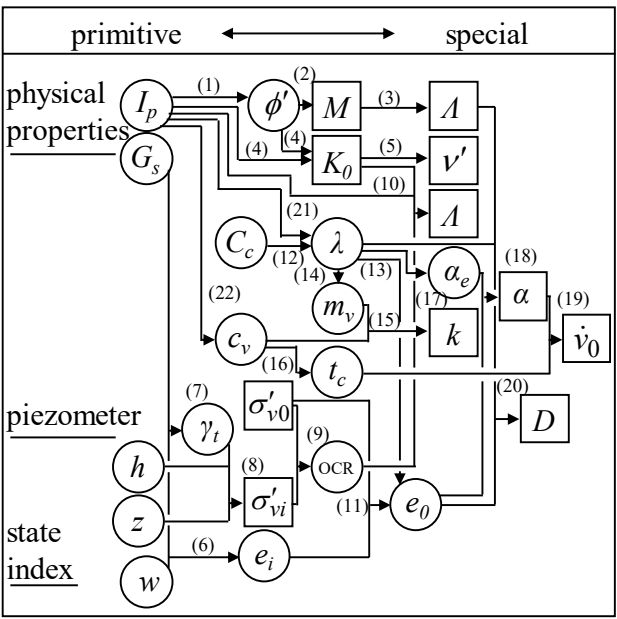
解析パラメータの推定法

ボーリングデータから作成したN値、土質区分の3次元モデルから弾塑性計算をするためのパラメータを決定する。

砂質土のパラメータ決定フロー
(N値から決定)



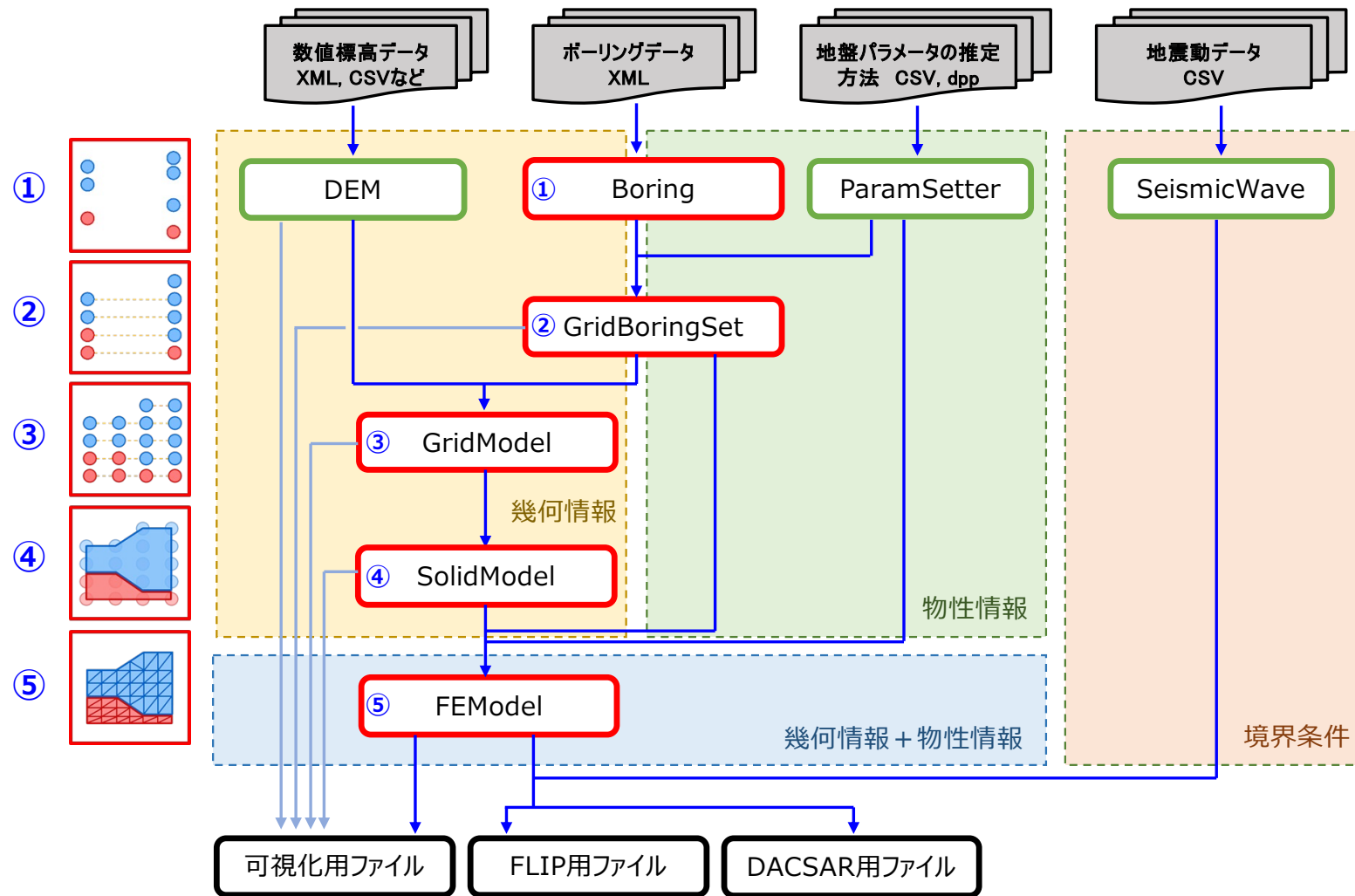
粘土などのパラメータ決定フロー
(塑性指数から決定)



パラメータ決定フローに必要なN値以外の物性値については、土質区分ごとに東京都の液状化予測報告書（東京都）を参考に指定する。

DPPを利用した数値解析モデルの作成の流れ

36

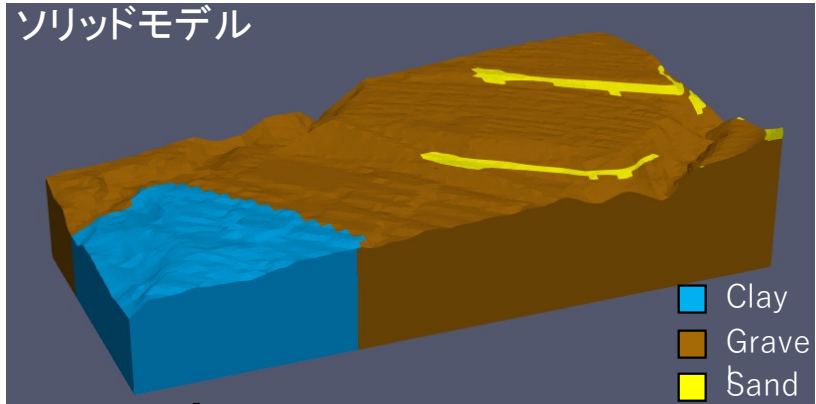




地盤ソリッドモデルから地盤FEモデルを生成

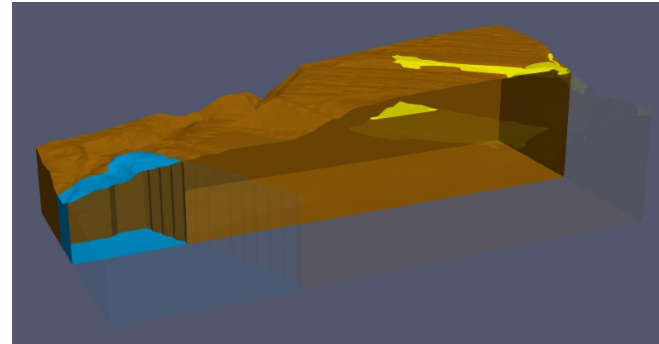
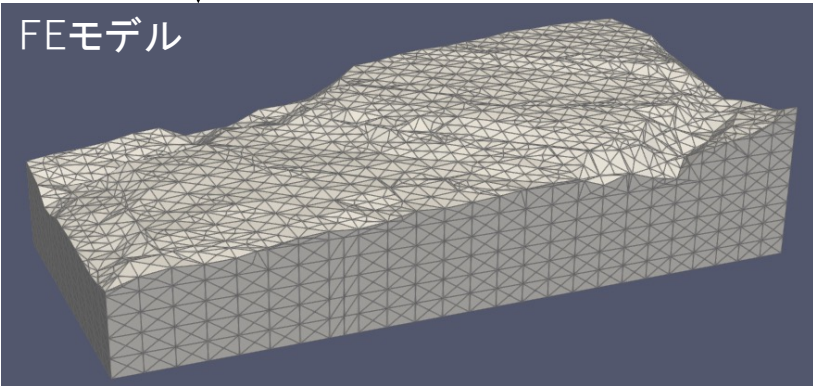
37

ソリッドモデル

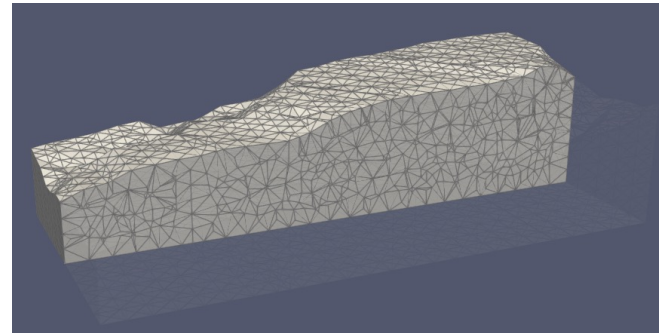


↓
gmshを用いて、メッシュを作成
(10節点4面体要素)

FEモデル



ソリッドモデルは層境界と地表面,
対象領域の境界のみが作られている

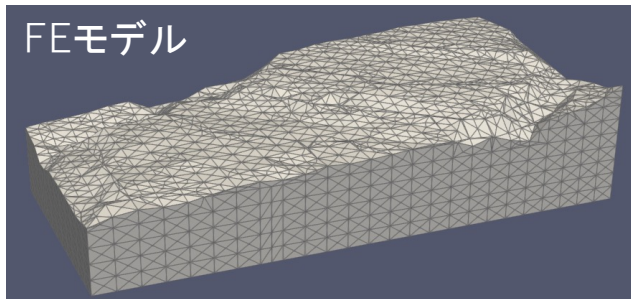




地盤ソリッドモデルから地盤FEモデルを生成

38

FEモデル

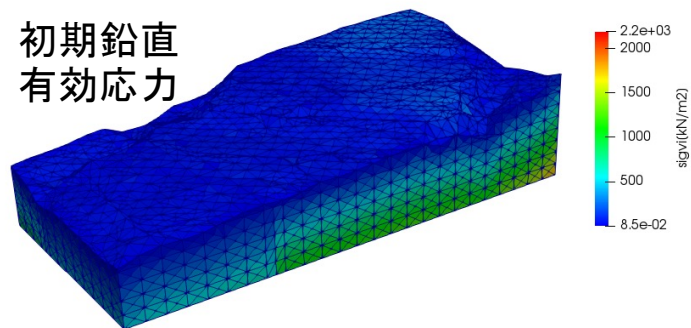


ParamSetter

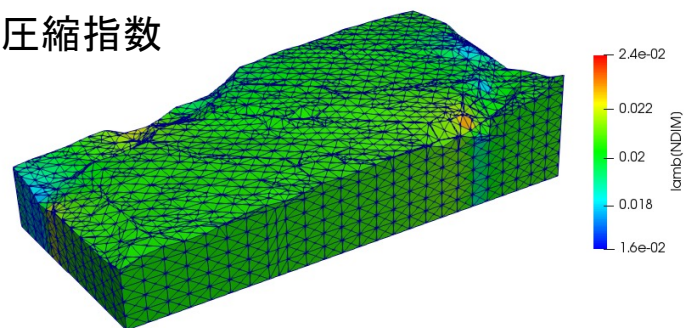
```
//FEモデル用のパラメータセッター
ParamFunc pf_EC;
pf_EC.addCondition( 14, "[Category] == Sand" );
pf_EC.addCondition( 15, "[Category] == Clay" );
pf_EC.addCondition( 16, "[Category] == Gravel" );
pf_EC.addFunction( "[gamma, kH/m3] = 18.0", id=14 );
pf_EC.addFunction( "[gamma, kH/m3] = 16.0", id=15 );
pf_EC.addFunction( "[gamma, kH/m3] = 20.0", id=16 );
pf_EC.addFunction( "[D20, mm] = 0.4", id=14 );
pf_EC.addFunction( "[D20, mm] = 0.005", id=15 );
pf_EC.addFunction( "[D20, mm] = 2.0", id=16 );
pf_EC.addFunction( "[lambda] = -0.015*log([Wvalue]) + 0.08" );
pf_EC.addFunction( "[e_prime] = -0.25*log([Wvalue]) + 1.0" );
pf_EC.addFunction( "[sigv0, kH/m2] = 25.5*[Wvalue]" );
pf_EC.addFunction( "[phi, deg] = 1.85*( pow([Wvalue]/([sigv0, kH/m2]/98.0)+0.7), 0.6) + 26.0" );
pf_EC.addFunction( "[e0] = [e_prime] - [lambda]*log( [sigv0, kH/m2]/98.0 )" );
pf_EC.addFunction( "[K0] = 1.0 - sin([phi, rad])" );
pf_EC.addFunction( "[Pois] = [K0]/(1.0+[K0])" );
pf_EC.addFunction( "[OCR] = [sigv0, kH/m2]/[sigv, kH/m2]" );
pf_EC.addFunction( "[K1] = [K0]*pow([OCR], sin([phi, rad]))" );
pf_EC.addFunction( "[kw, m/s] = 0.0034*pow([D20, mm], 2.2554)" );
pf_EC.addFunction( "[MU] = 6.0*sin([phi, rad])/(3.0-sin([phi, rad]))" );
pf_EC.addFunction( "[LAMB] = [MU]/1.75" );
pf_EC.addFunction( "[D] = [lambda]*[LAMB]/([MU]*(1.0*[e0]))" );
```

各要素のN値を周辺のボーリングデータから補完し、パラメータの推定方法に従って、各要素のパラメータを計算

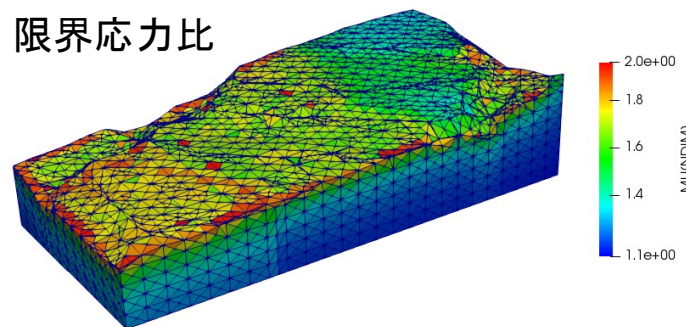
初期鉛直有効応力



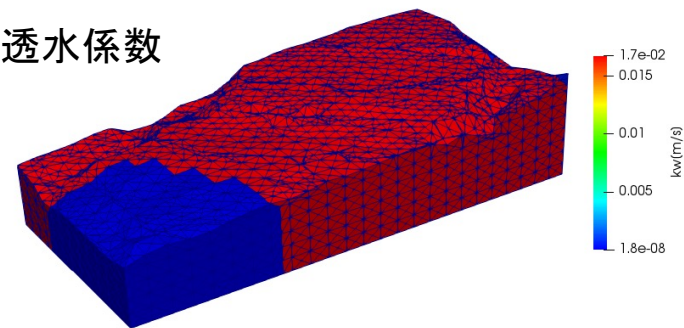
圧縮指数



限界応力比

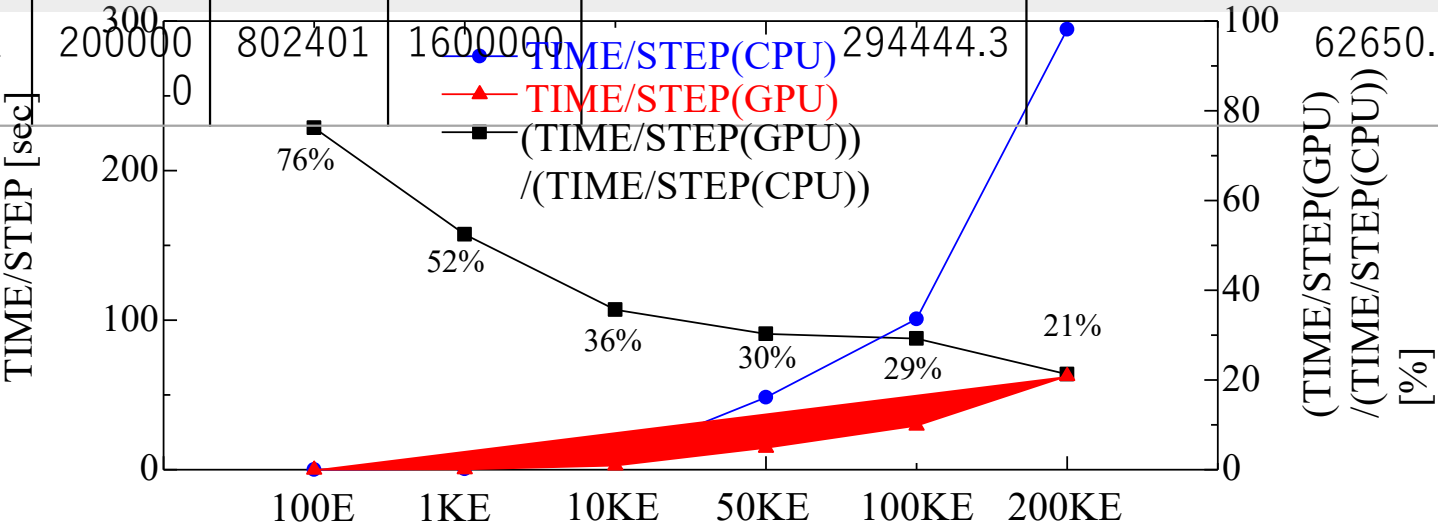


透水係数

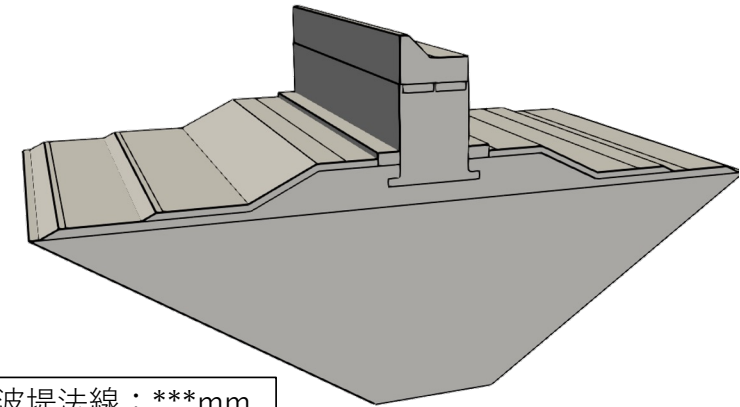
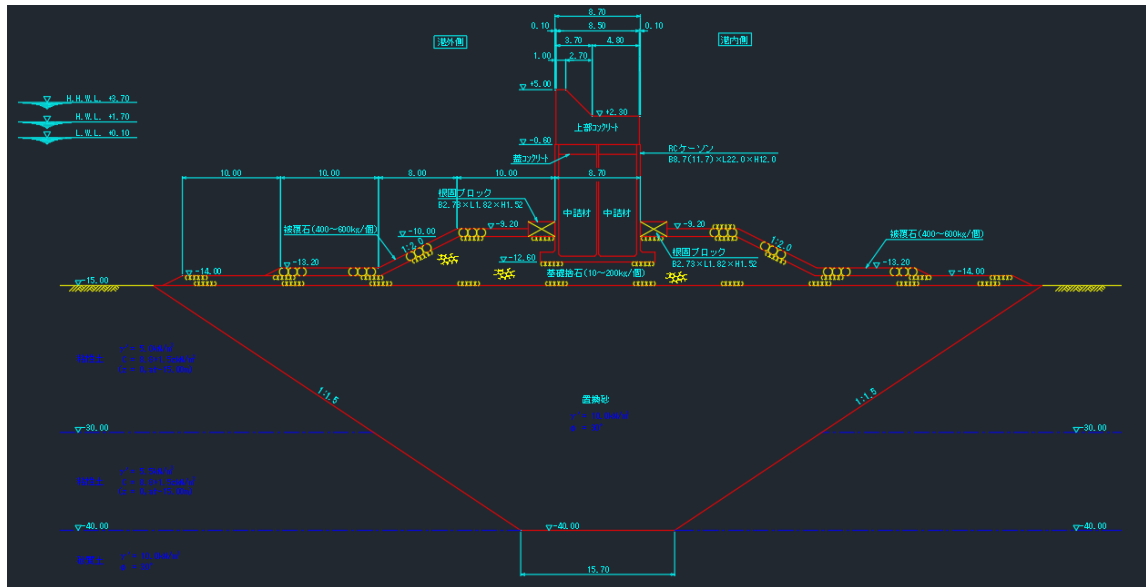


テストケースの計算時間比較

CASE	ELEMENTS	NODES	DOF	TIME / STEP (CPU) [ms]	TIME / STEP (GPU) [ms]
100E	100	441	800	47.9	36.5
1KE	1000	4221	8000	521.1	273.3
10KE	10000	40401	80000	7821.1	2789.1
50KE	50000	201201	400000	48345.5	14635.6
100KE	100000	402201	800000	100770.2	29459.5
200KE	200000	802401	1600000	294444.3	62650.8



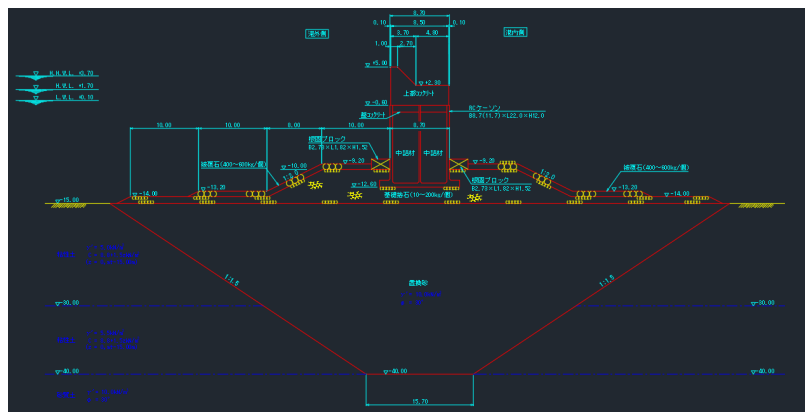
適用事例 港湾構造物



防波堤法線：***mm
 海底地盤高：***mm
 置換砂 γ ：
 ***kN/m²
 . . .

属性情報
 (x,y,z,t,工区、施工者、部材情報、
 c、 ϕ . . .)

港湾構造物図面の3D化

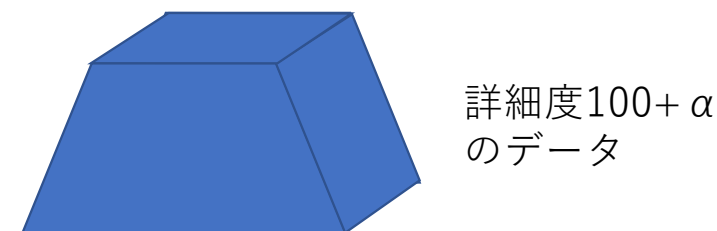
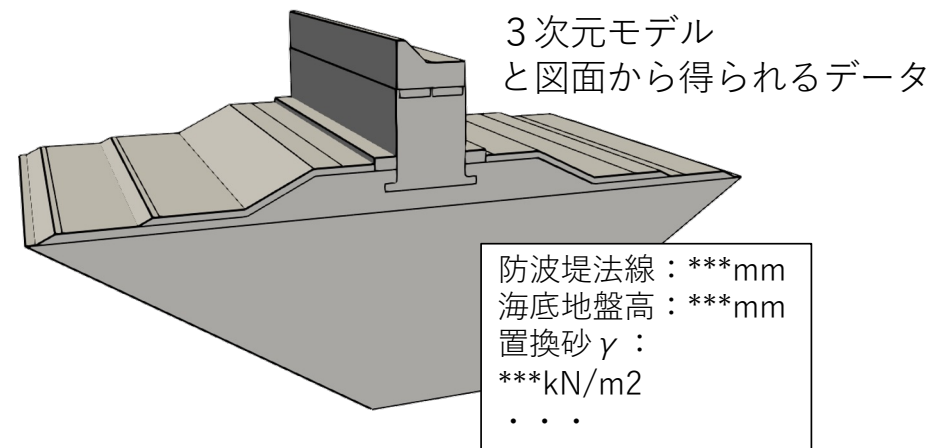


2 DCAD図面

効率的に詳細度100以上のBIM/CIM
データを作成

都市丸ごとのシミュレーション技術研究組合 港湾タスクチーム

今年度の目標：2次元図面から詳細度100程度の3次元モデル
と付随するデータを取得する（協調領域）。



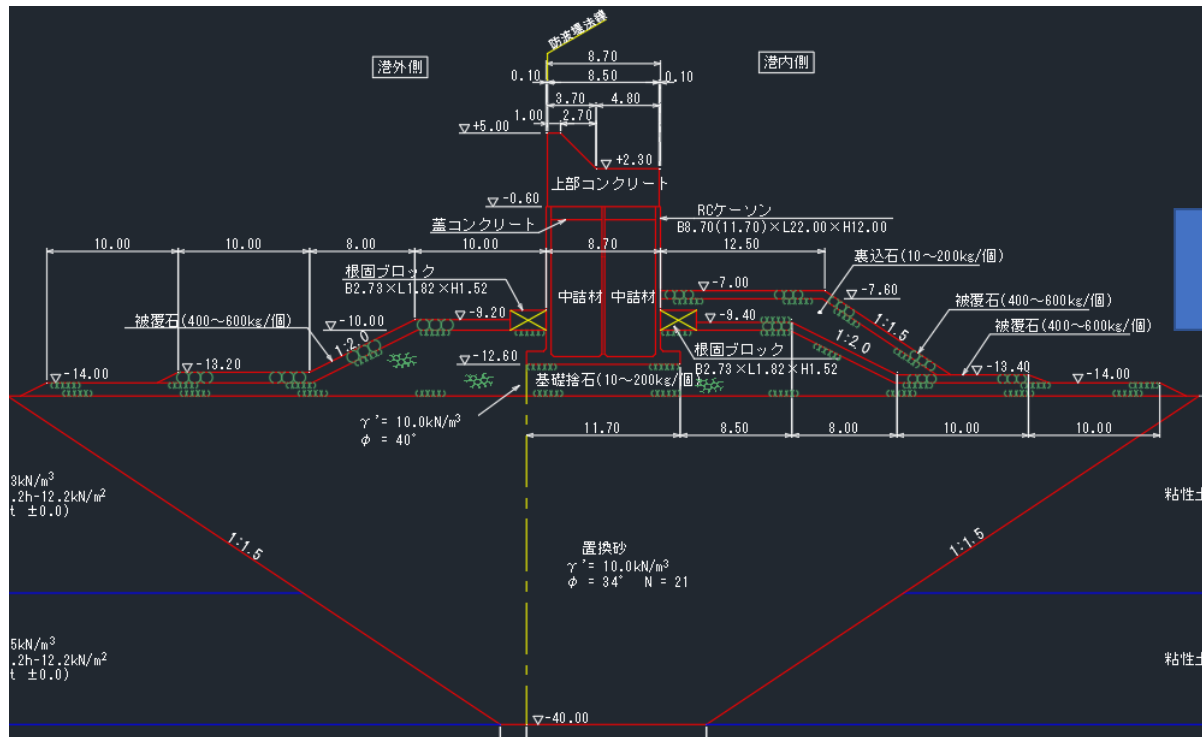
詳細度100+ α
のデータ

属性情報
(x,y,z,t,工区、施工者、部材情報、
c、 ϕ ・・・)

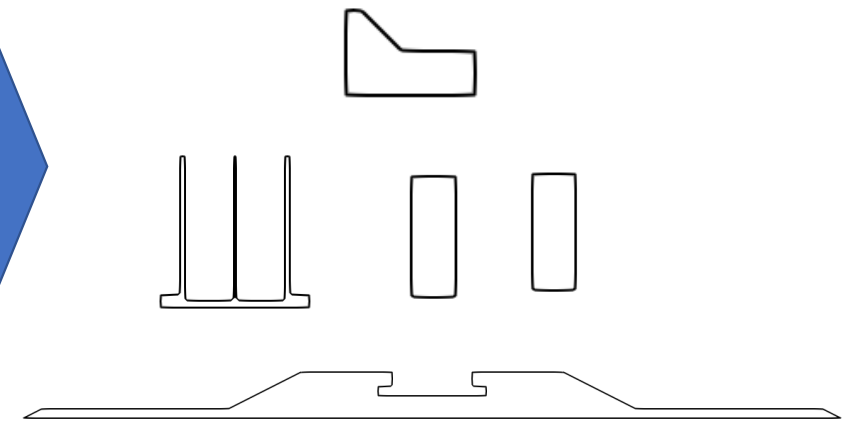
→ 効率的に設計施工データを作成する

都市丸ごとのシミュレーション技術研究組合8月 月例会議資料 東洋建設鳴尾研究所 伊藤様

港湾構造物図面の3D化



出所：ニュージェック



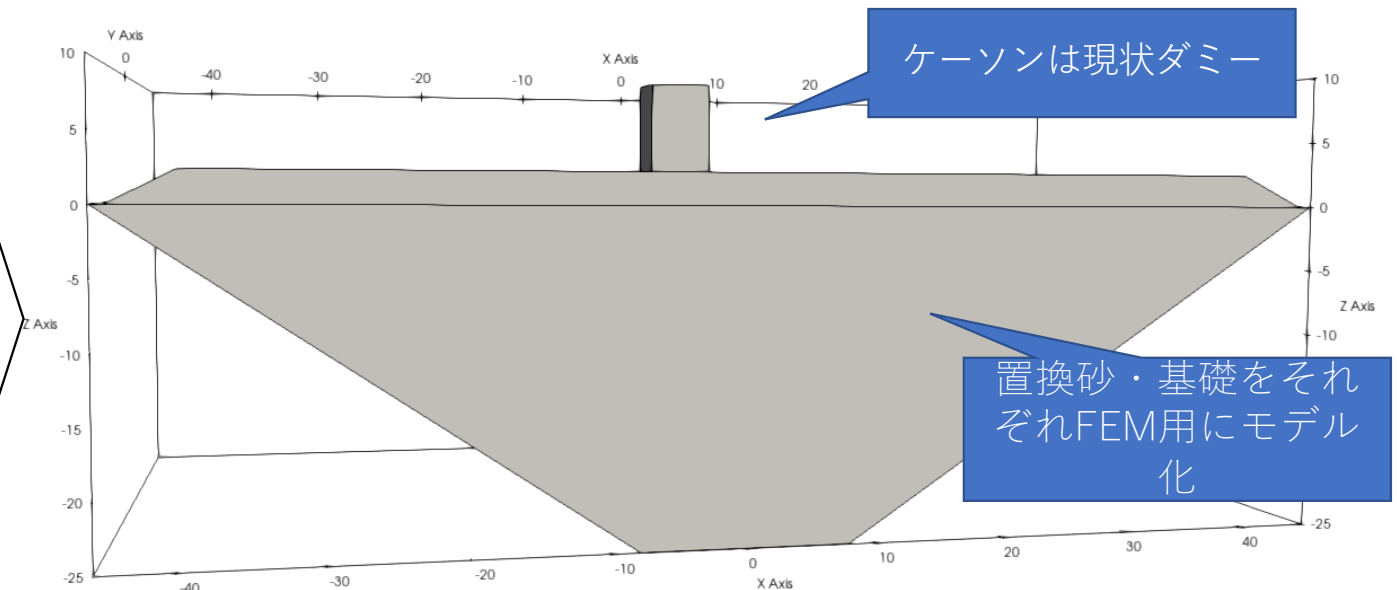
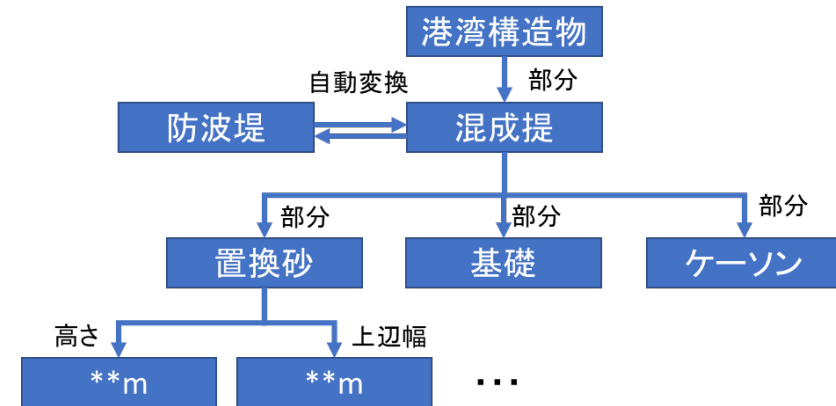
それぞれのポリゴンが抽出できる状態。
ここから、土木知を活かして分類し、データの抽出を行っていく。

港湾構造物図面の3D化 進捗 構造物の判別・情報の抽出・出力

橋脚の例と同じく解釈の木構造を生成し、それぞれのオブジェクトにGeometryにCASTする処理を記述しておく。

```
スクリプト.dpp
data = Common1::DXF(path)

list = List(防波堤);
for( bw in list ){
    OutputVTK(bw, output_path)
}
```



適用事例 地震シミュレーション用建物モデル



適用事例 地震シミュレーション用建物モデル

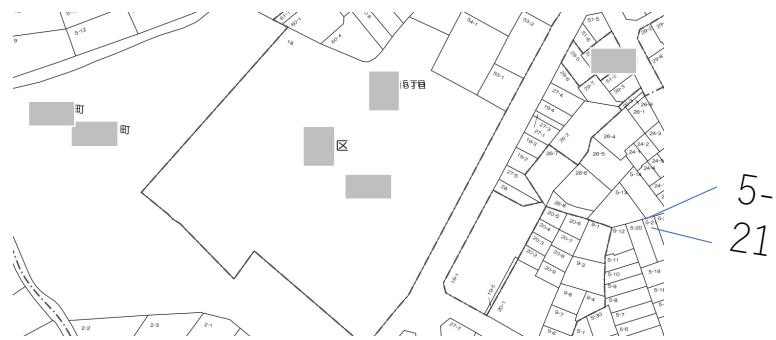


区、町通、丁目 (名称)	所在地	所在地	種類	種類1 (名称)	種類	種類2	1 階床面積	合計床面積	建築日付	主体 1	主体 1 (名称)
〇〇区 × 町△△	1322	3	01	居宅	00		28.92	57.84	3430210	01	木造
〇〇区 × 町△△	1388		01	居宅	00		9.31	9.31	3380000	01	木造
〇〇区 × 町△△	1390	1	01	居宅	00		29.7	54.49	3420815	01	木造
〇〇区 × 町△△	1401	5	04	共同住宅	00		30.6	61.2	3540324	01	木造
〇〇区 × 町△△	1401	7	04	共同住宅	00		30.6	61.2	3540324	01	木造

住所・世界座標の関係

地番と建物の関係

小座標と地番の関係



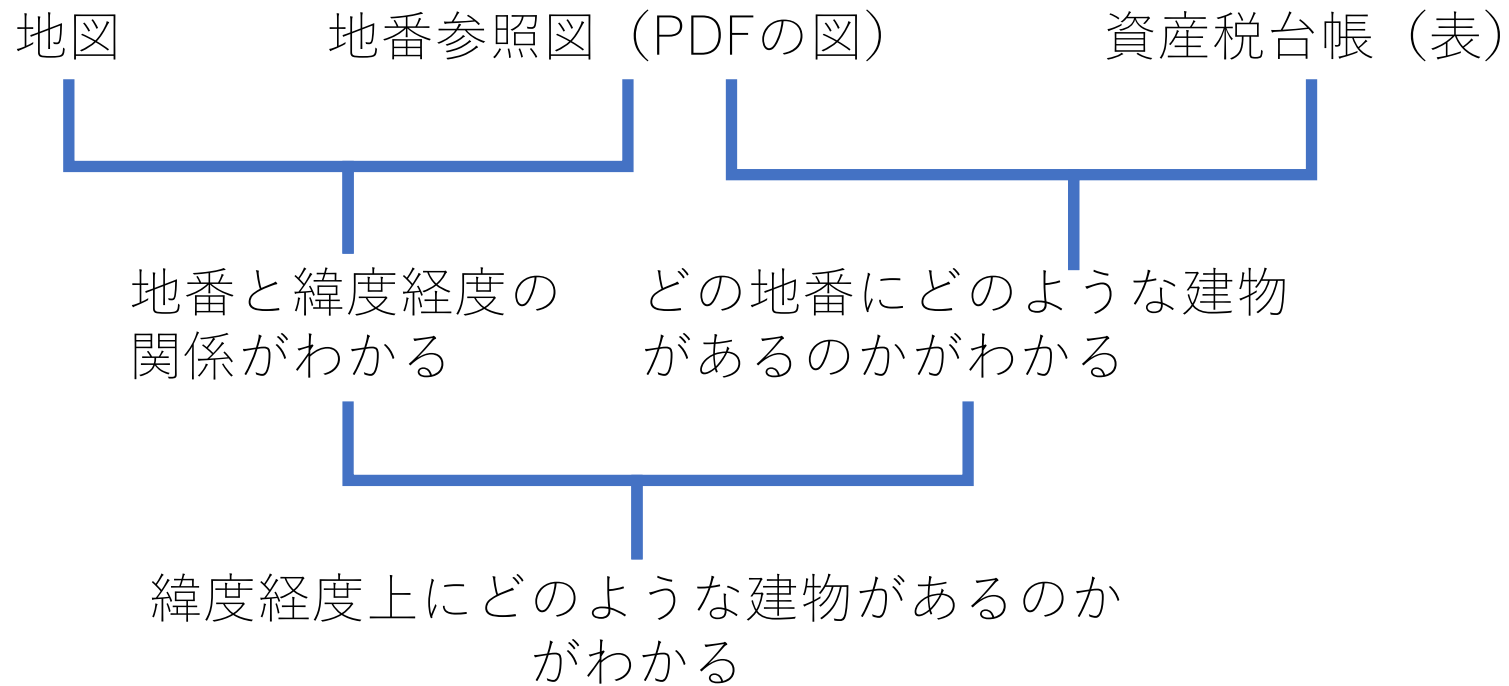
地図

地番参照図 (PDFの図)

資産税台帳 (表)

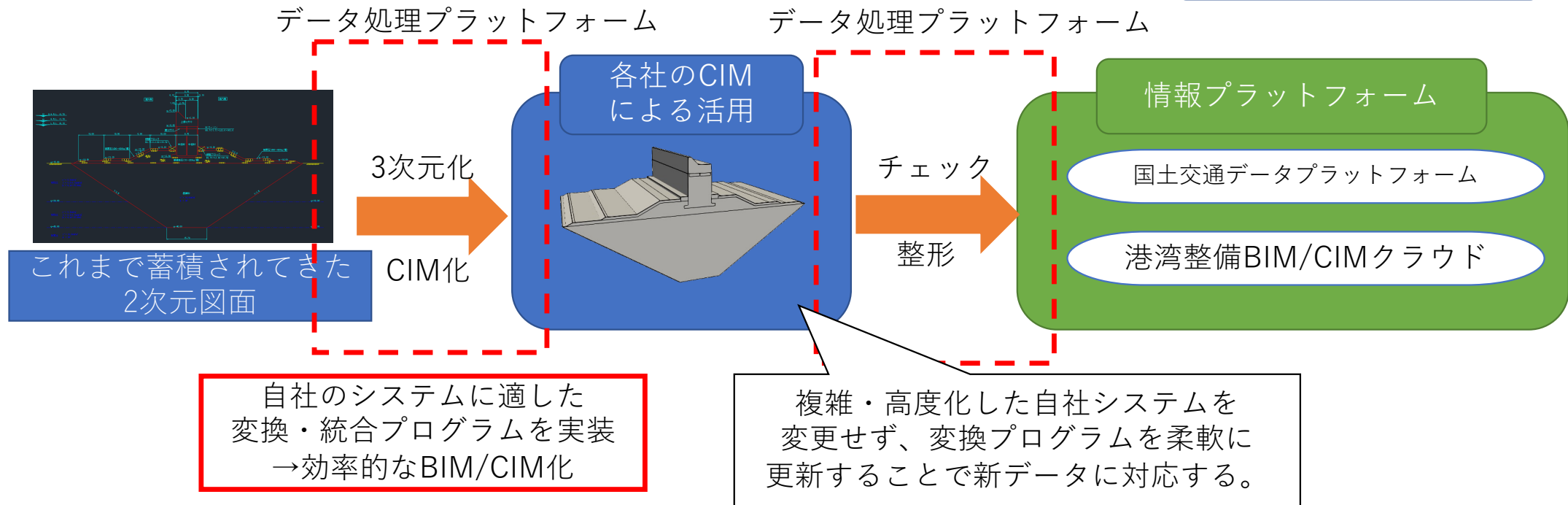
世界座標と小座標
の関係の式

適用事例 地震シミュレーション用建物モデル



データ変換・統合技術と情報プラットフォームの関わり ～非BIM/CIMデータのBIM/CIM化

若手からの提言



- ・ 防波堤の延伸や岸壁の補強・液状化対策など、2次元CAD図面が存在する構造物をBIM/CIM化して施工したい。
- ・ ベテランが記述した2次元CAD図面を3次元モデル化することで技術の継承を促進したい。
 - 3次元化プログラムを開発することで効率的にBIM/CIMを用いた施工を導入する。