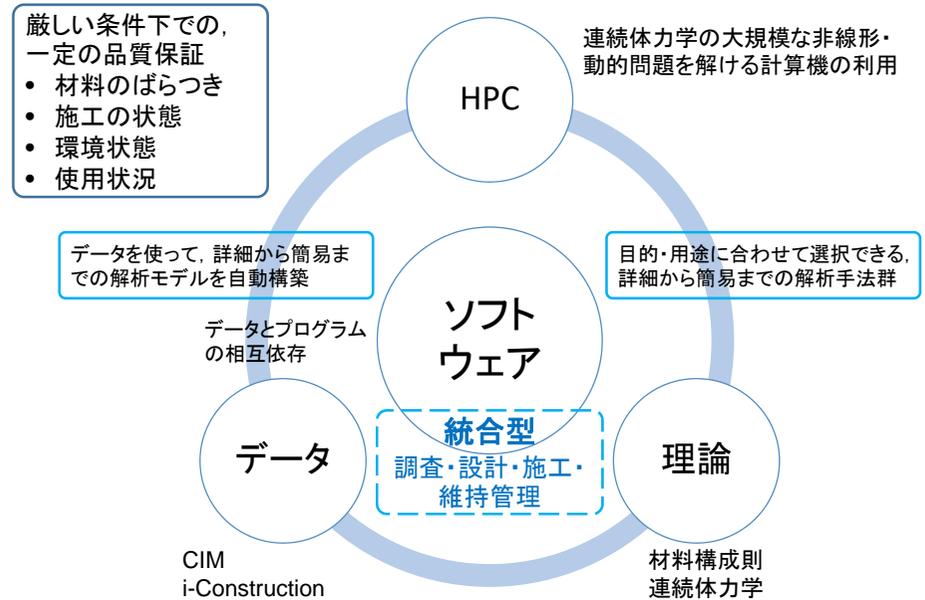


土木工学のソフトウェア開発

数値解析のためのデータ統合

堀宗朗

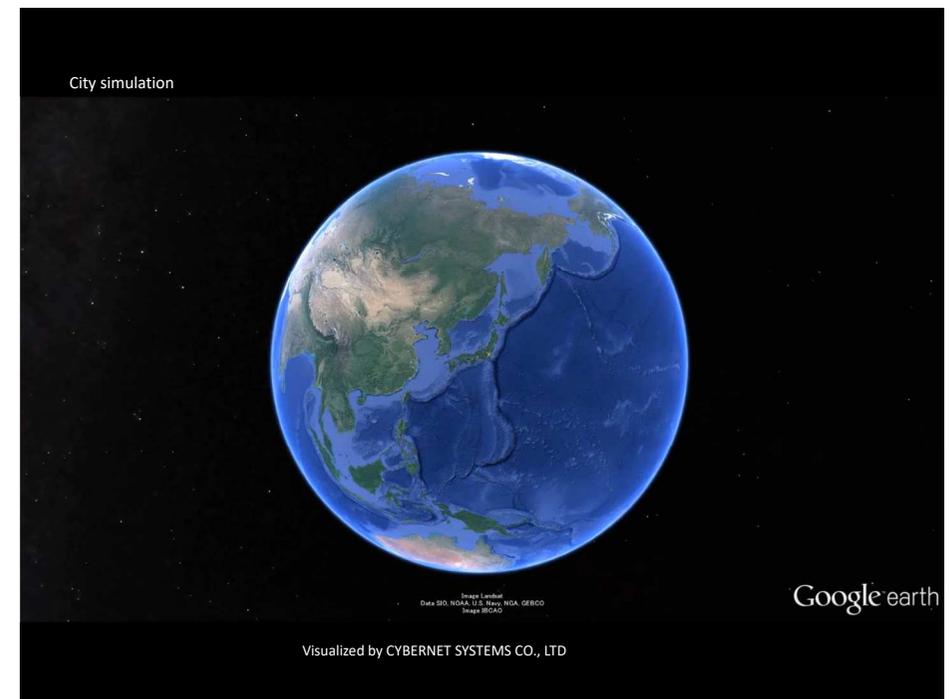
東京大学地震研究所
海洋技術研究開発機構



統合解析の例



- ◆都市の丸ごと地震シミュレーション
IES (Integrated Earthquake Simulation)
 - 地震動・地震応答・被害対応の数値解析の統合
 - 地震動・地震応答・被害対応の都市モデルの自動構築
- ◆プログラムの特徴
 - システム計算
さまざまな数値解析コンポーネントを組み合わせて、データ処理・数値解析等を連成して計算
⇨科学計算: 偏微分方程式等の数値解析
 - オブジェクト指向プログラミング
データと関数から構成されるさまざまなオブジェクトを作成し、オブジェクトの関数を組み合わせることでプログラムを作成
⇨手続き指向プログラミング: 手続きでプログラムを作成

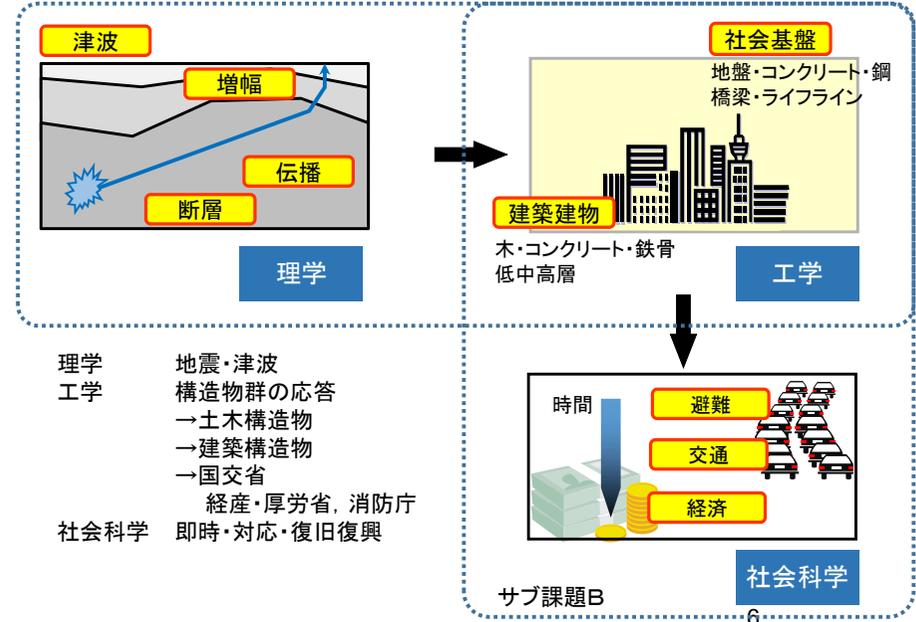


City-to-social simulation



Visualized by Leonel Aguilar (University of Tokyo)

統合地震シミュレーション(IES)



理学 地震・津波
工学 構造物群の応答
→土木構造物
→建築構造物
→国交省
経産・厚労省, 消防庁
社会科学 即時・対応・復旧復興

IESとその例

◆ IESの基幹技術

- 数値解析統合 レイヤ構造要素の疎結合
- モデル自動構築 データの疎結合

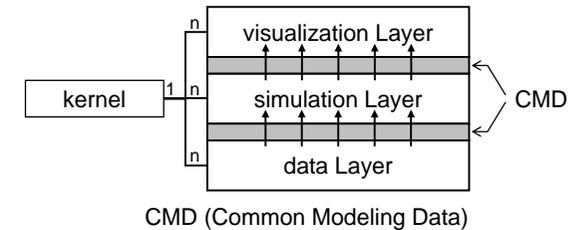
◆ IESの例

- 都市地震応答
GISデータ+行政データ → 建築建物モデル
- 橋梁ネットワーク
CADデータ+DEM → 橋梁モデル(梁・ソリッド要素FEMモデル)
- ライフライン
CADデータ → 埋設管モデル(梁・シェル要素FEMモデル)
- 津波群集避難
道路データ → 道路モデル(グラフ・グリッドモデル)

IESの数値解析統合

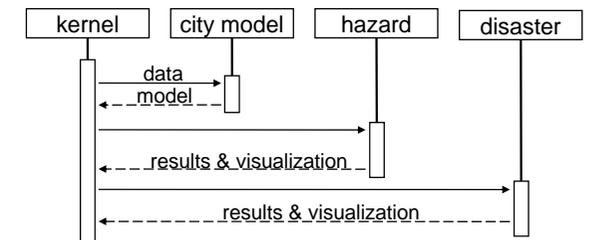
レイヤ構造(データ・解析・可視化層)

- 各層は疎結合
- 疎結合にCMDを利用



ポイント

各層が多数の要素で構成されるため、二重のデータ変換が必要となるものの、疎結合にCMDを使うことでプログラム開発は高い効率



解析レイヤにある要素とカーネルの間のデータの受け取り

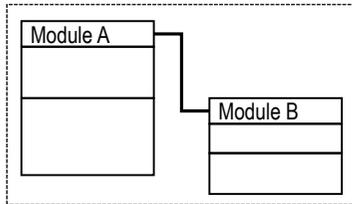
レイヤ構造

- ◆ GISのデータ構造はレイヤ構造
 - 一種類のデータは固有のレイヤに格納
 - レイヤ内の「演算」の他、レイヤ間の「演算」が容易
- ◆ IESのプログラム構造はレイヤ構造
 - データ・解析・可視化レイヤ(層)
 - レイヤ(層)の要素
「入力に対して出力をする」という共通の処理
 - レイヤの要素間の結合
入力と出力を受け渡す「疎結合」という共通の処理

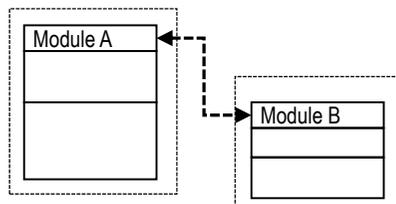
レイヤ要素の疎結合

- ◆ 多数の部品から構成されるソフトウェアでは、部品間結合は重要検討事項
 - 部品間の干渉の程度によって、疎ないし密の結合に区分(有限要素法は密結合)
 - 疎結合のメリットは、互換性・拡張性の高さ、作成分担の容易さ、デメリットは要素間の結合に関する負荷が大
- ◆ 多種多様のレイヤ要素を統合するため、データ統合には「疎結合」の考えを適用
 - 全ての入出力をCMD形式とすることで、干渉ゼロで、要素の結合が可能

密結合と疎結合：ソフトウェア



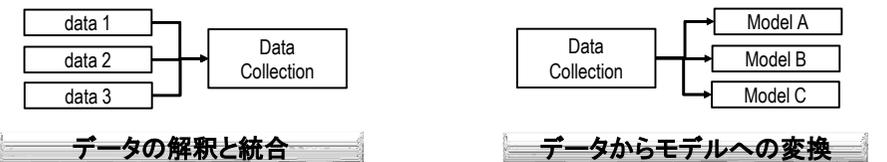
- 密結合の例
- AとBのデータが「同期」
 - AとBの「通信」は高速



- 疎結合の例
- AとBはデータをやり取り
 - AとBの「通信」は低速
- メリット
- 互換性 通信のモジュールは互換
 - 拡張性 多数のモジュールを独立に結合
 - 作成分担 モジュール毎の作成可
- デメリット
- 結合 通信の作成が必要

IESのモデル自動構築

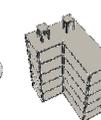
都市モデルの手動構築は不可能



データリソースとデータ

- 3D地図の事物形状データ
- 行政データリソースの事物属性データ

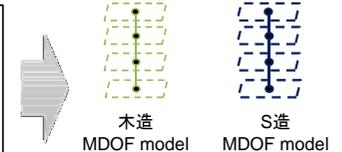
データコレクション



- 幾何形状
- 構造形式
- 築構造年
- 階数
- 床面積
- 住所・地番・位置

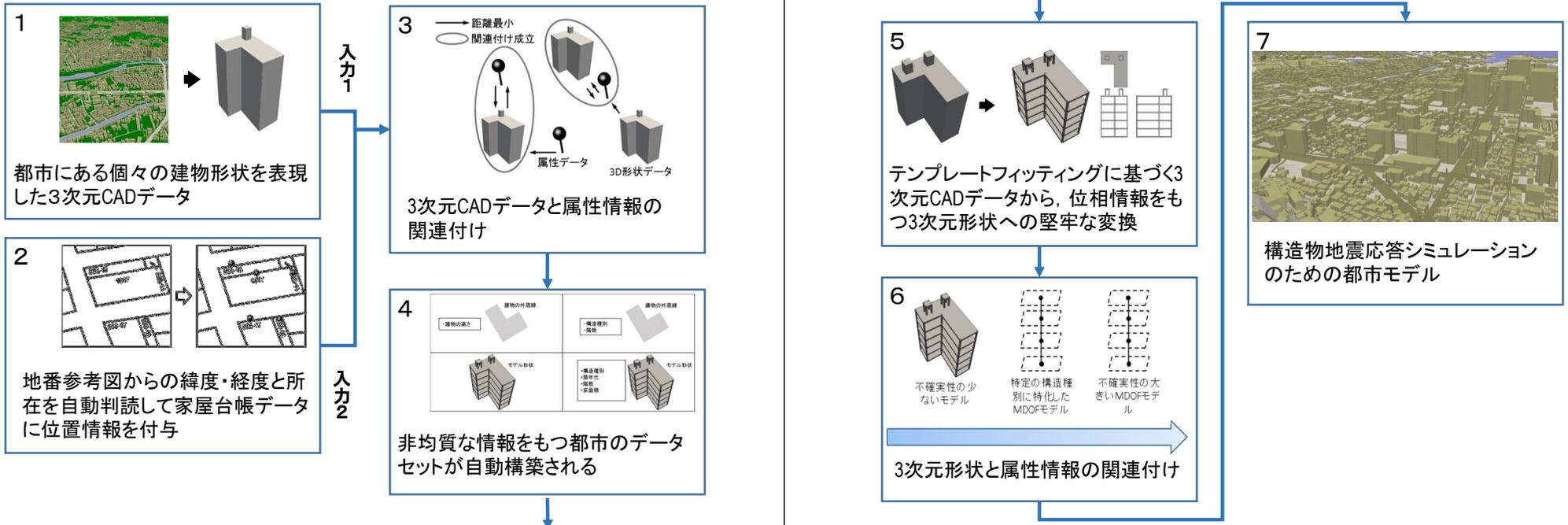
CMD形式

解析モデル

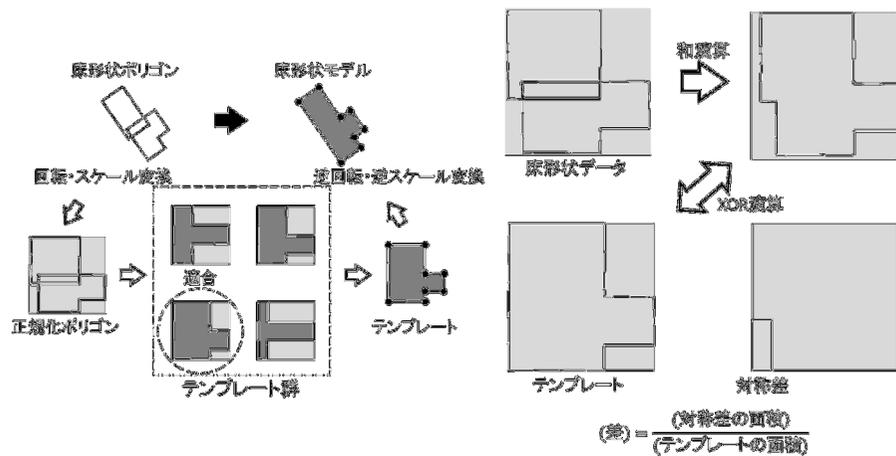


データの解釈と、異なるデータリソースにあるデータの関連付け

ミスのない堅牢性と多様なデータに対応する柔軟性の高い変換



テンプレートフィッティング

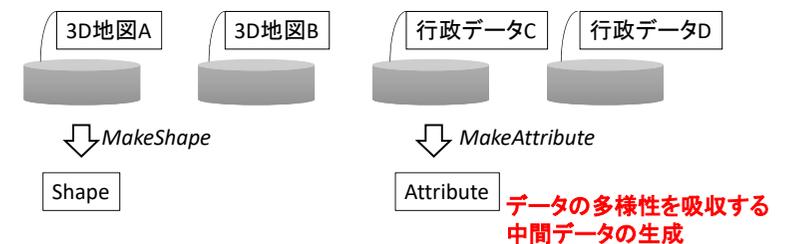


テンプレートフィッティングの流れ

正規化ポリゴンとテンプレートの差の評価方法

モデル構築技術の普遍化

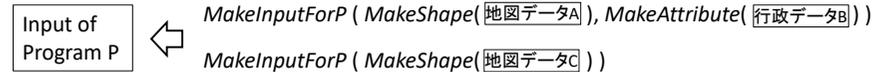
- データのサイロ問題の解決
 - 個別整備される都市情報のデータは多様
 - 都市情報のデータを効率処理し、モデル構築を普遍化



- 中間データの自動生成
中間データの管理が不要となり、データ処理が簡略

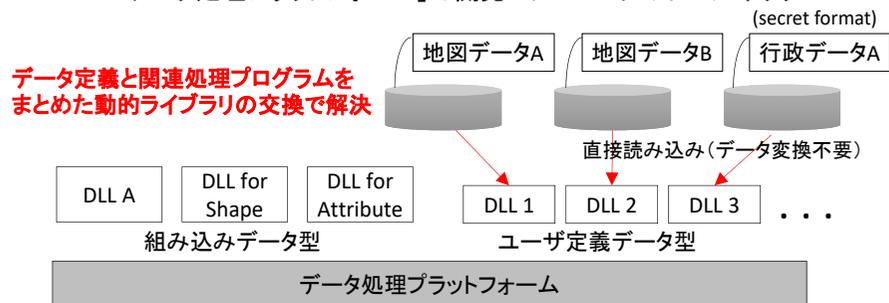
ターゲットデータ

モデル構築処理の記述

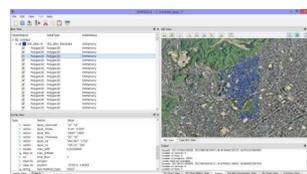


秘匿フォーマット問題の解決

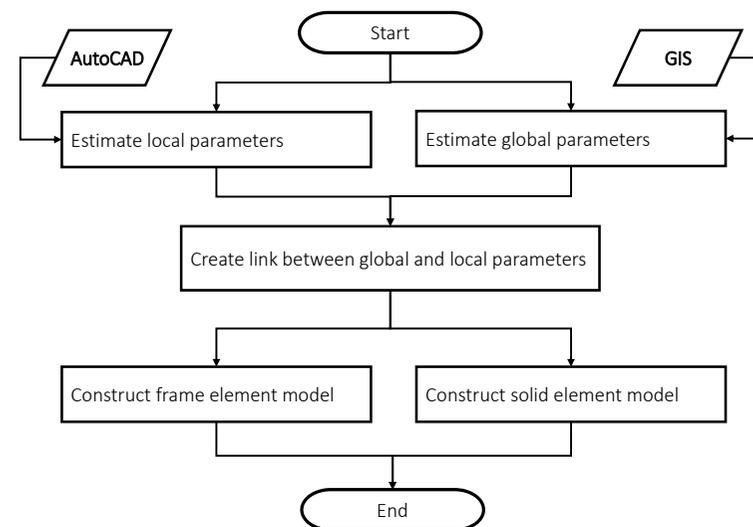
- データやプログラムのソースコードに秘匿性がある場合
 - モデル構築技術の直接の共有は難
 - 「データ処理プラットフォーム」の開発 ← ユーザのツールボックス



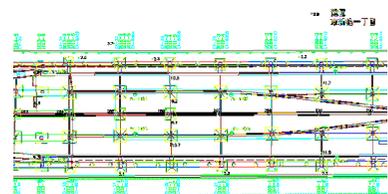
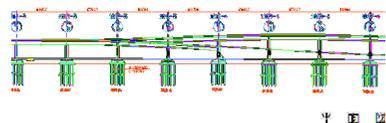
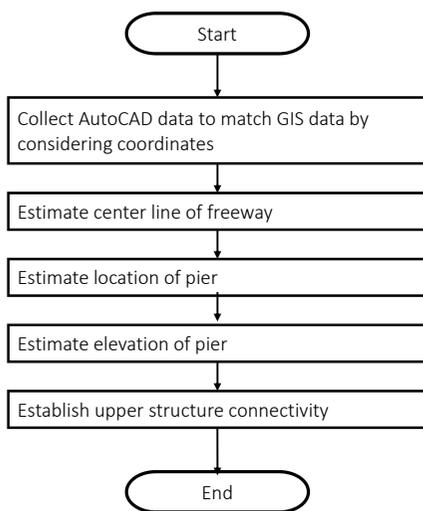
- データ処理プラットフォームのユーザインターフェイス
 - データ処理・可視化GUIソフトウェア
 - データの対話的検証・効率処理



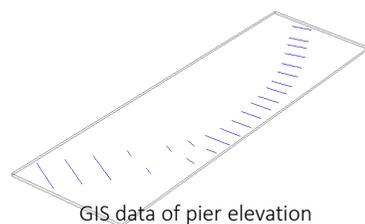
ALGORITHM OF AUTOMATED MODEL CONSTRUCTION



Create link between global and local parameters

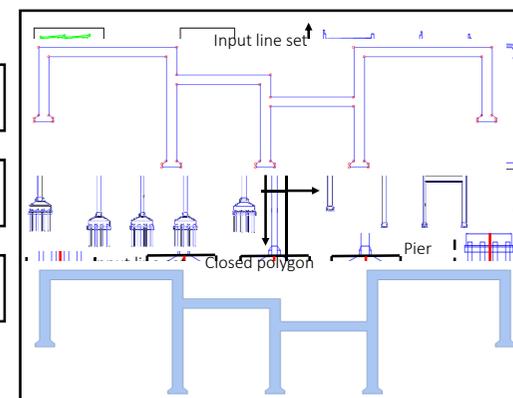
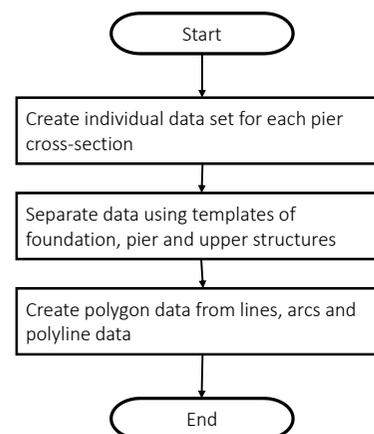


AutoCAD data of structure configuration

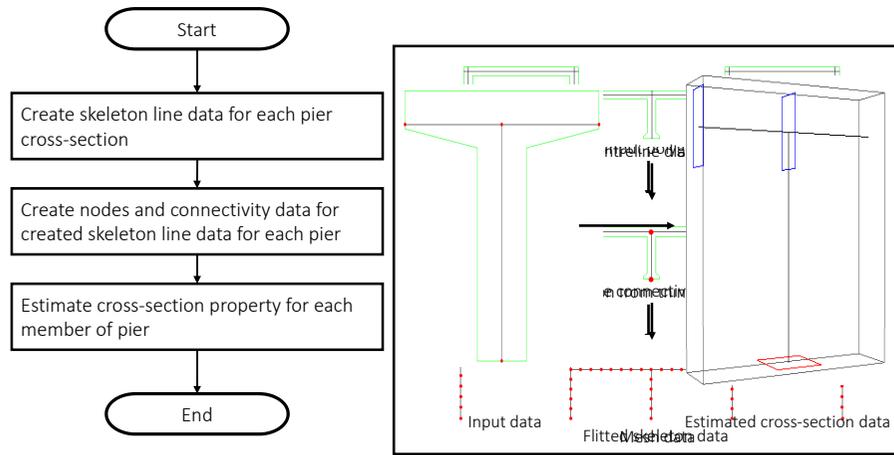


GIS data of pier elevation

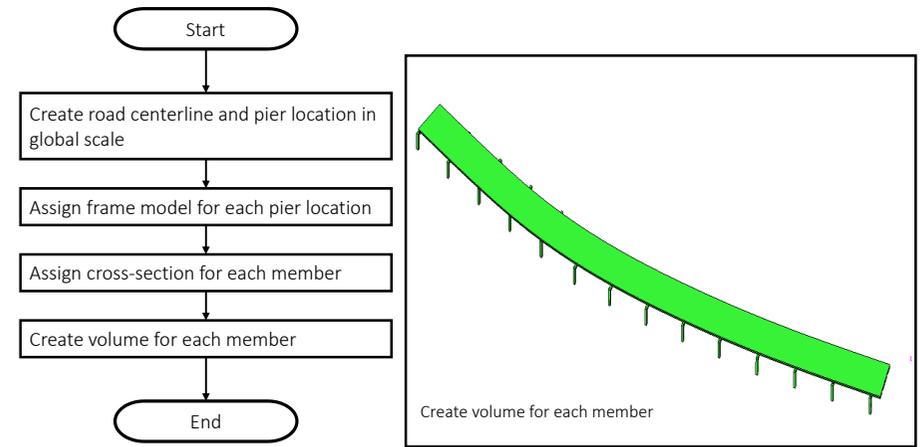
Create link between global and local parameters



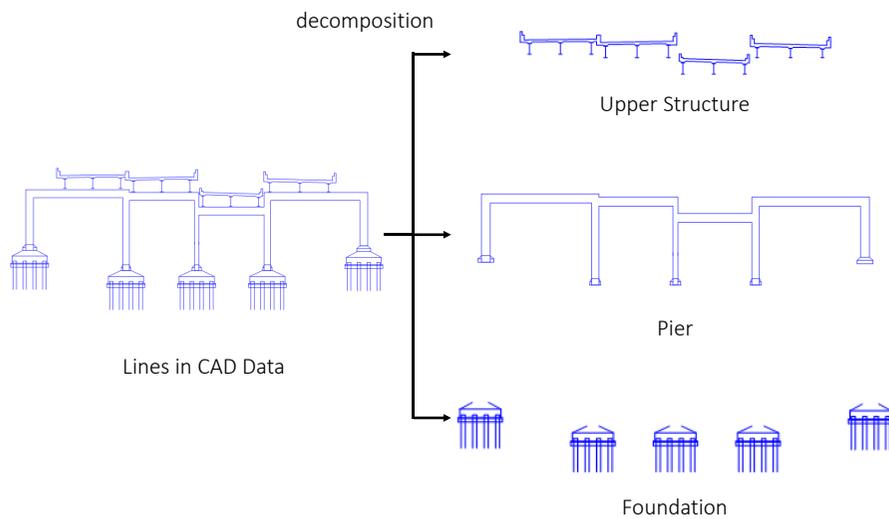
Construct frame element model



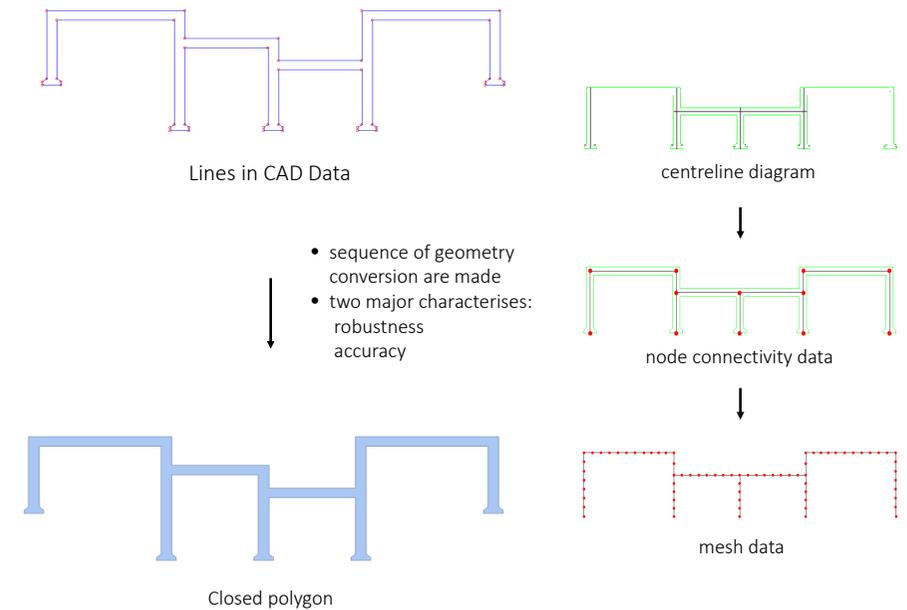
Construct solid element model



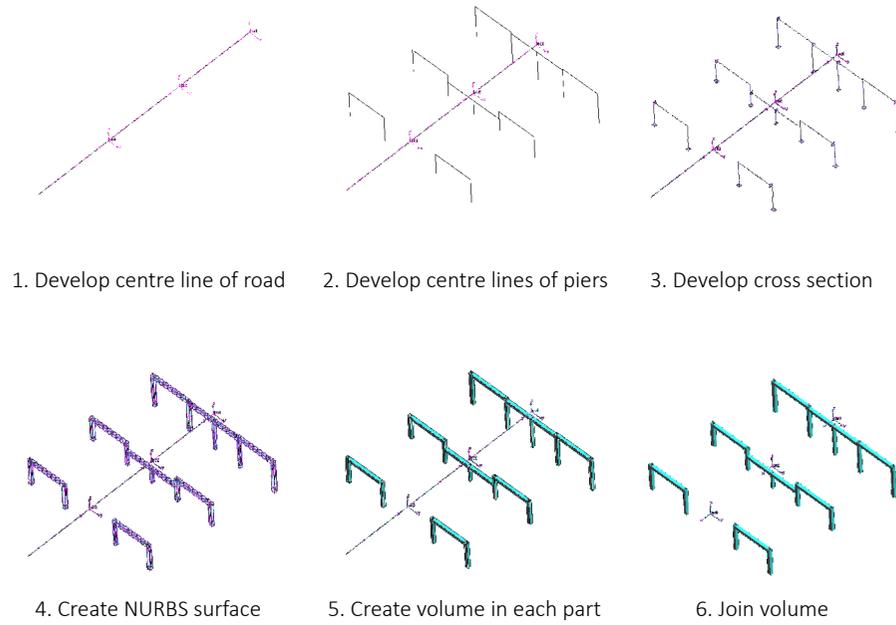
CAD DATA INTERPRETATION: DECOMPOSITION



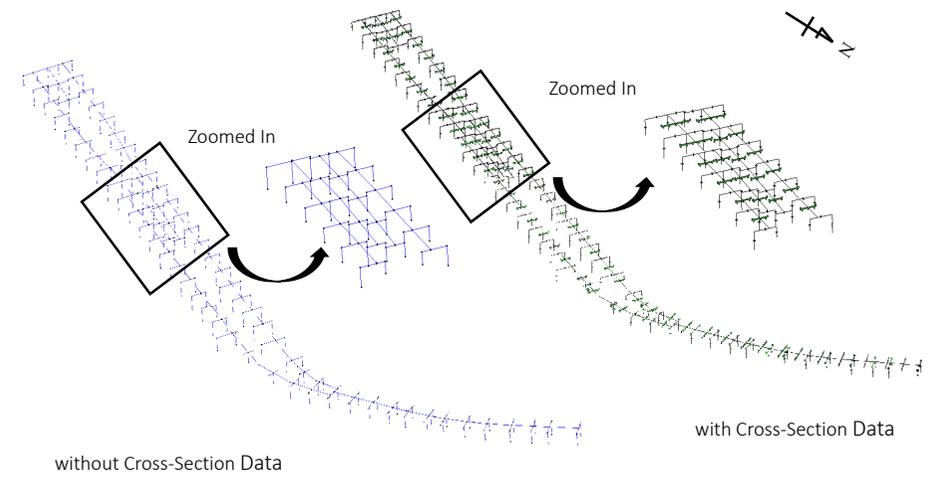
CAD DATA INTERPRETATION: THINNING



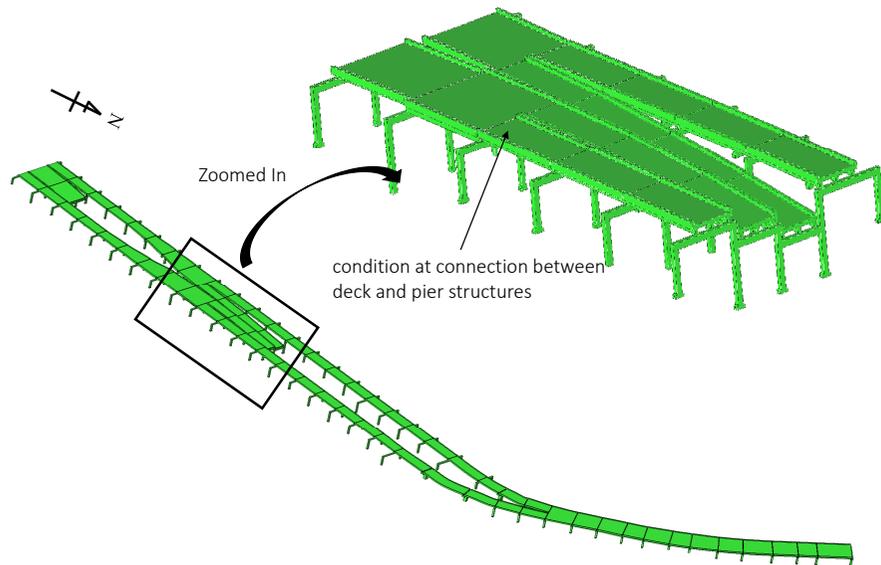
CAD DATA INTERPRETATION: FRAME MODEL



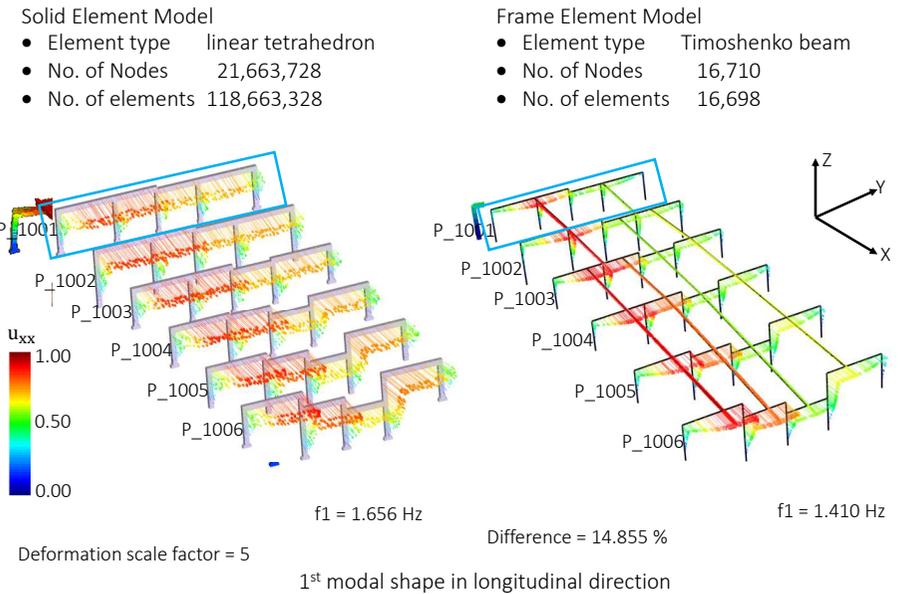
AUTOMATED FRAME ELEMENT MODEL



AUTOMATED SOLID ELEMENT MODEL

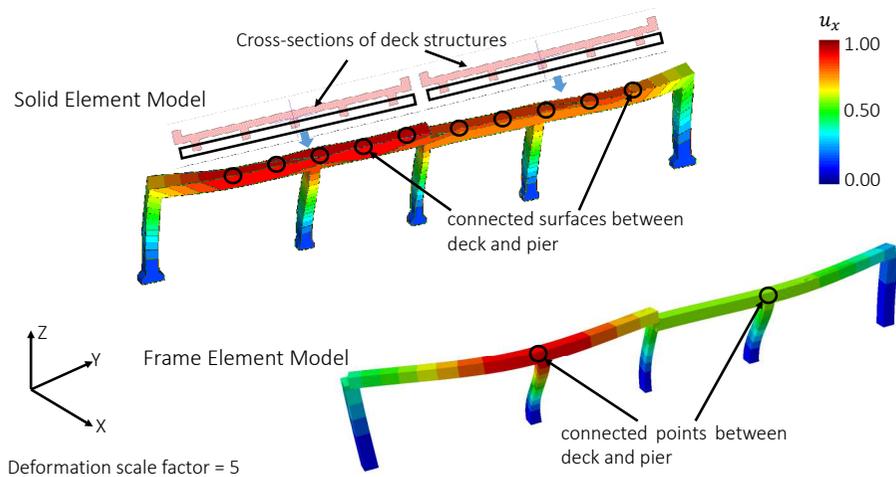


MODEL COMPARISSON



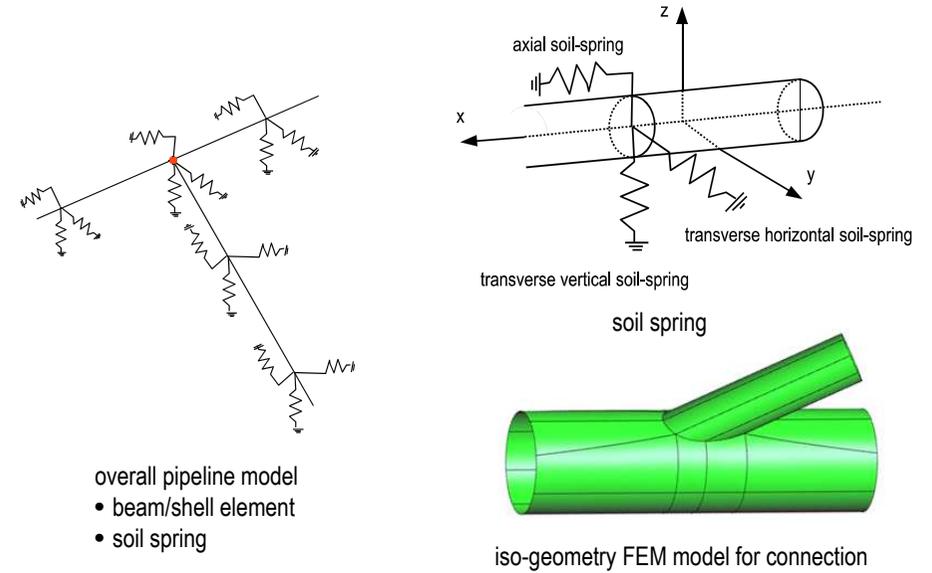
MODEL COMPARISON

CROSS SECTION OF PIER OF P_1001



Due to distributed connection condition, stiffness of solid element model is larger than that of frame element model

MODELING OF PIPELINE NETWORK

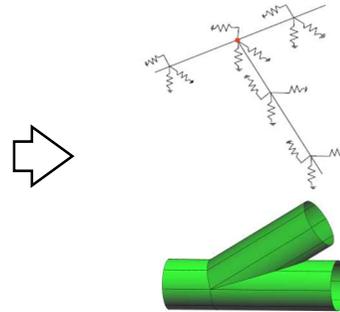
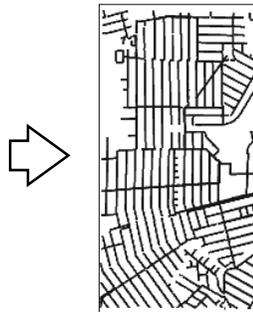


AUTOMATED CONSTRUCTION

GIS Data Conversion

Model Data Conversion

Control Data	Company ID
	Assessment ID
	...
Attribute	Radius
	Thickness
	Construction Date
Coordinate sets	...
	(x_1, y_1, z_1)
	(x_2, y_2, z_2)
	(x_n, y_n, z_n)



GIS

converted GIS

structure model

GIS DATA CONVERSION

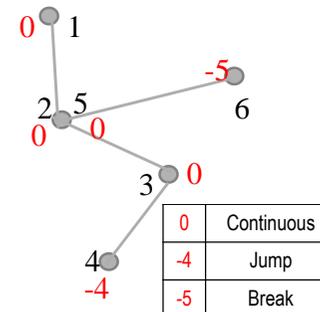
GIS data provides:

- Coordinates for each point
- Flag indicating connectivity of next point

CMD:

- Providing connectivity information
- Much faster to find neighbors
- Similar data structure in CMD and FEM
- Analysis model by assembling CMD data

Disadvantage: Topology (finding neighboring pipes requires processing entire data set)

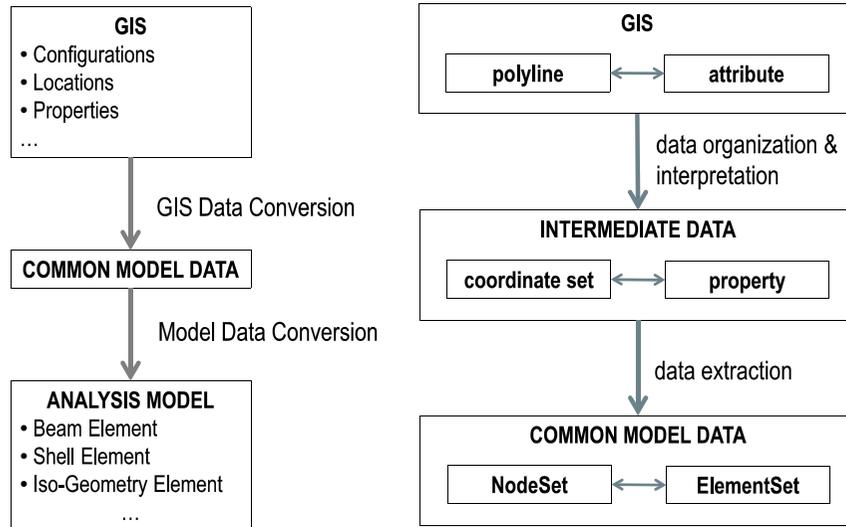


Data structure of node and link type

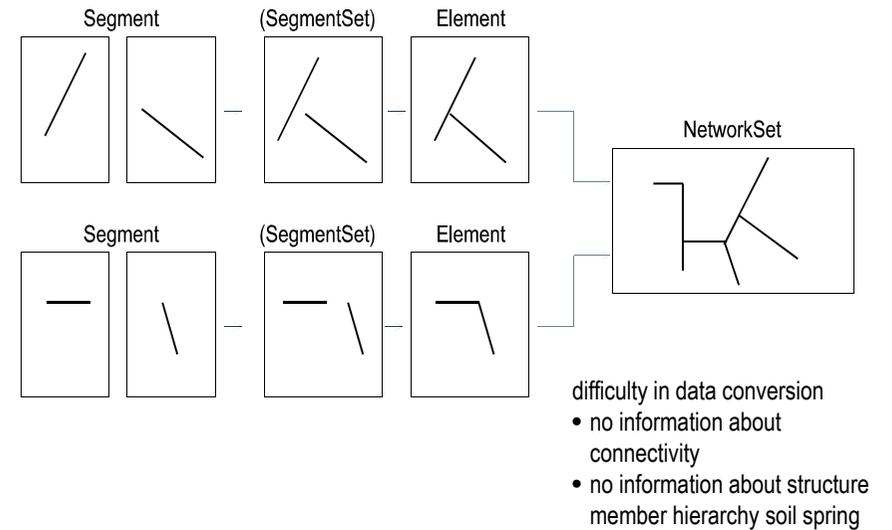
NODE		ELEMENT	
ID	Coordinates	ID	NODE
1	(x_1, y_1, z_1)	1	1, 2
2/5	(x_2, y_2, z_2)	2	2, 3
3	(x_3, y_3, z_3)	3	3, 4
4	(x_4, y_4, z_4)	4	2, 6
6	(x_6, y_6, z_6)		

COMMON MODELING DATA

GIS DATA CONVERSION



MODELING PROCEDURES



PROBLEM SETTING



soil property

shear wave velocity (m/s)	190
density (tf/m ³)	1.9
shear modulus (tf/m ²)	7000
Poisson's ratio	0.47

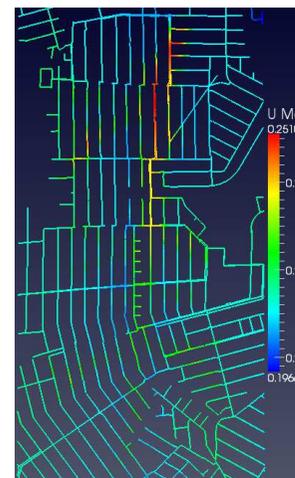
pipe property

outer diameter (cm)	21.63
thickness (cm)	0.58
Young's modulus (kgf/cm ²)	2.1×10^6

Model Characteristics

- beam element model
- 31573 nodes and 31617 elements
- default mesh length 2 m

DISPLACEMENT



distribution of induced displacement (longitudinal)

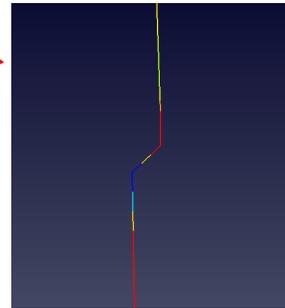


- distribution of induced displacement along pipeline network is similar to that of input ground motion
- displacement in NS direction is dominant

STRAIN



distribution o induced strain (normal)

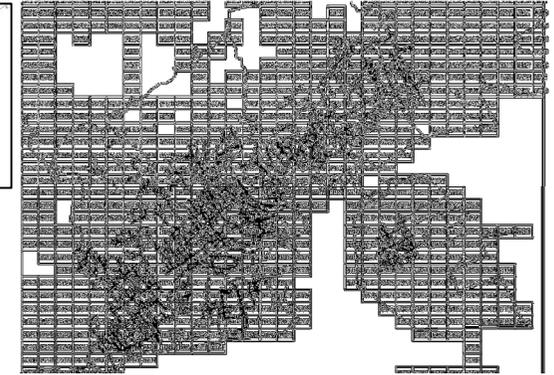
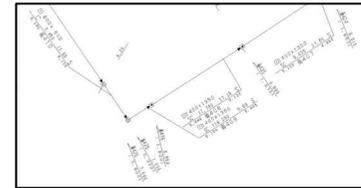


example of local strain concentration

- large strain is highly localized, especially at junctions
- damage occurs at 4 places

critical strain 0.001
maximum strain 0.0016

SEWER LIFELINE



Difficulties of data conversion

- CAD based
- non-digital data for symbols
- different files for configuration and attribute
- possible error in identifying lifeline segment

MT Data Conversion Format

SEWER PIPELINE



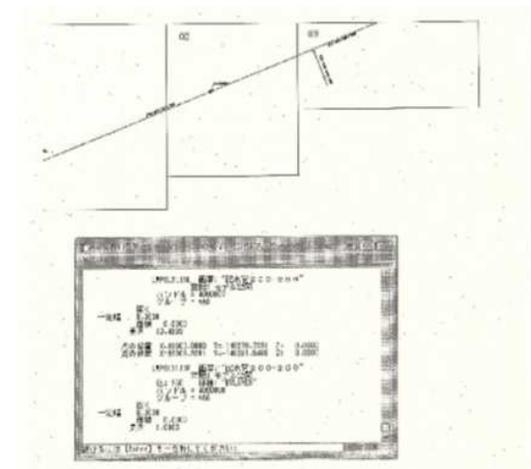
WATER PIPELINE

```

1 $$$$
2 20130509101514+
3 0+
4 SECTION+
5 2+
6 HEADER+
7 3+
8 $CADVER+
9 1+
10 $C1014+
11 3+
12 $L1MMN+
13 10+
14 80000.000000+
15 20+
16 -146700.000000+
17 3+
18 $L1MXX+
19 10+
20 80400.000000+
21 20+
22 -146400.000000+
23 3+
24 $HANDSEED+
25 3+
26 4000014+
27 3+
28 $USER14+
29 70+
30 1+
31 0+
32 $ENDSEC+
33 0+
34 SECTION+
35 2+
36 $CLASSES+
37 1+
    
```

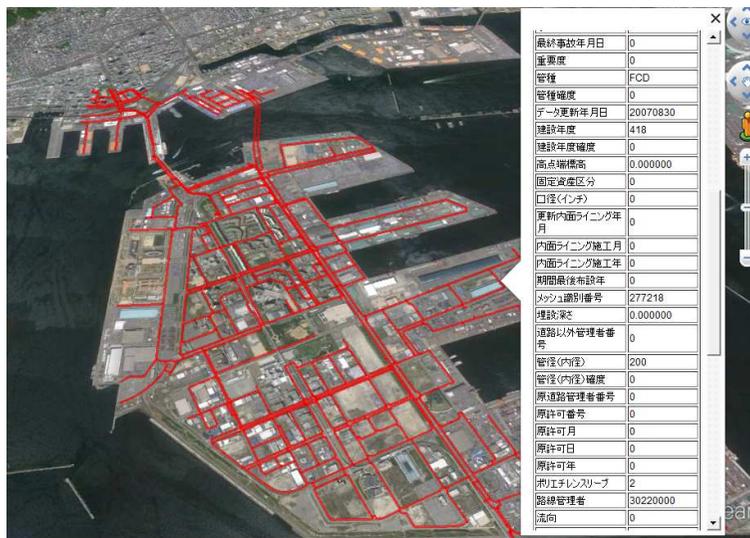
Difficulties of data conversion

- different files for configuration and attribute
- possible error in identifying lifeline segment



DXF Format

WATER PIPELINE



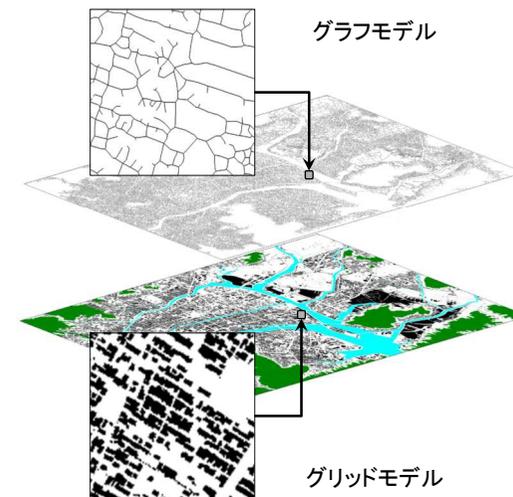
群集避難用都市モデルの概要

二つのモデルの併用

- グラフモデル
エージェントの経路選択・経路記憶に利用
- グリッドモデル
エージェントの減速/加速, 追越/停止に利用

グラフモデル
構造物損傷がない経路

グリッドモデル
経路の詳細形状をモデル化



都市データ

◆ 道路ネットワークGIS

- 道路の外周形状
- 車道・歩道の情報はなし

◆ 建物居住者GIS

- 子供・大人・高齢者
- 男性・女性

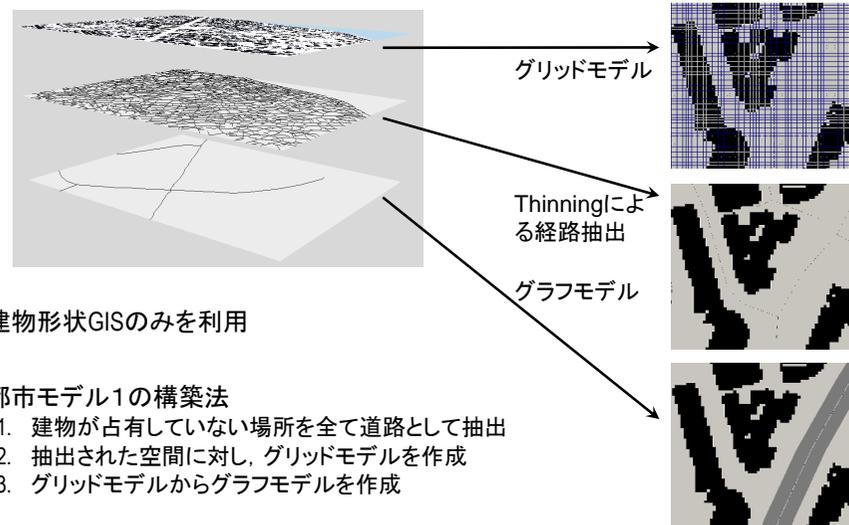
◆ 建物形状GIS

- 建物の外周形状
- 建物種別・階数の情報はなし



道路ネットワーク&建物居住者

都市モデル 1

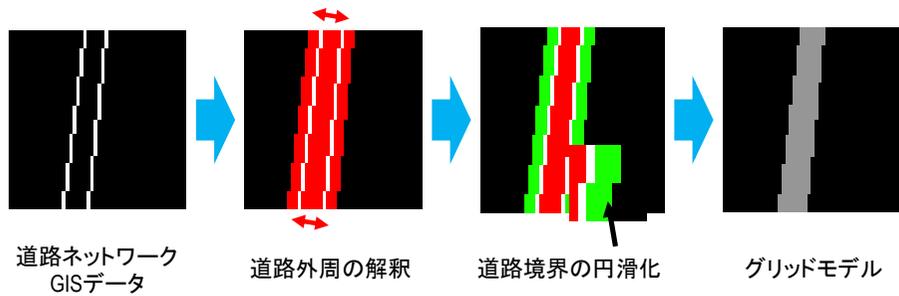


建物形状GISのみを利用

都市モデル1の構築法

1. 建物が占有していない場所を全て道路として抽出
2. 抽出された空間に対し、グリッドモデルを作成
3. グリッドモデルからグラフモデルを作成

都市モデル2

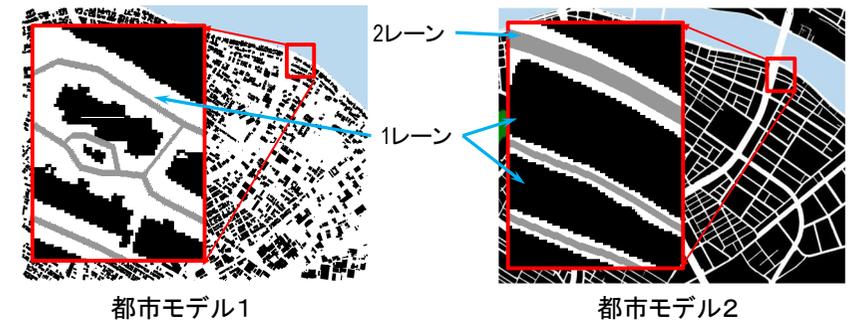


道路ネットワークGISの利用
→道路のみを抽出

都市モデル2の構築法

1. 外周形状のデータから、グリッドモデルを構築
2. 都市モデル1と同様に、グリッドモデルからグラフモデルを構築

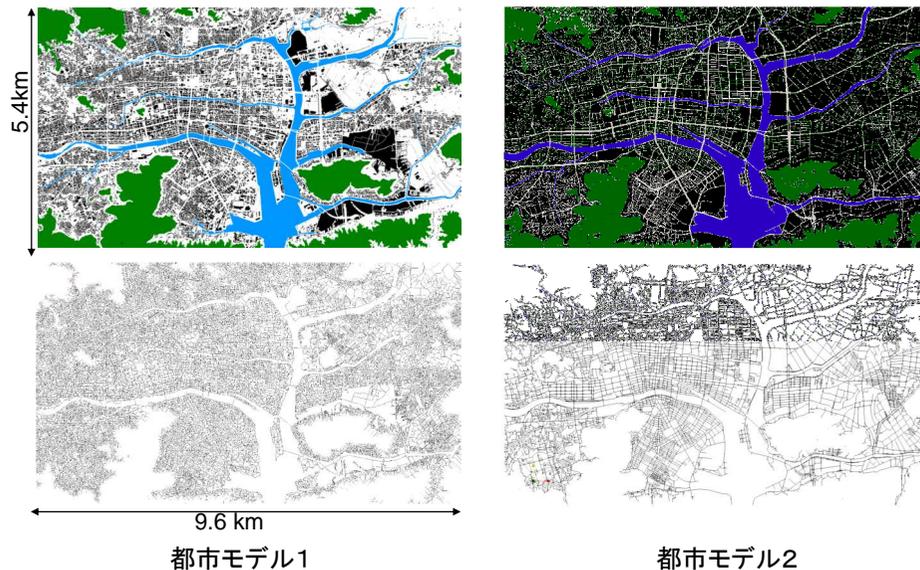
都市モデルの比較



都市モデル1は建物形状GISを使用
過度の道路ネットワークを作成

都市モデル2は道路ネットワークGISを使用
正確なモデル化: 道路の幅員, レーン数

都市モデルの比較



先端シミュレーション

◆神戸市：高度な都市モデルを構築するデータ

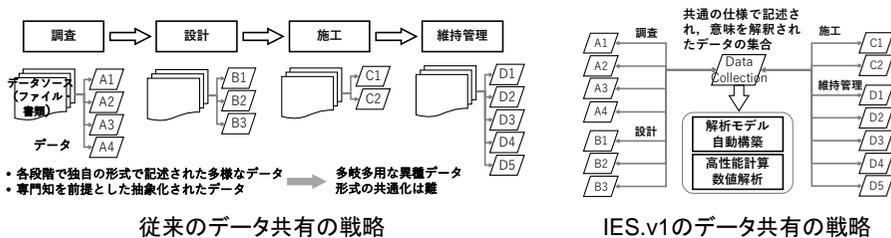
- 建物地震応答:
地盤モデル, 建物モデル, 埋設管モデル
想定南海トラフ地震
- 液状化
地盤モデル+地下水位
想定南海トラフ地震
- 防潮堤の津波
港湾外モデル, 港湾内モデル
想定南海トラフ地震の津波

◆社会科学シミュレーション

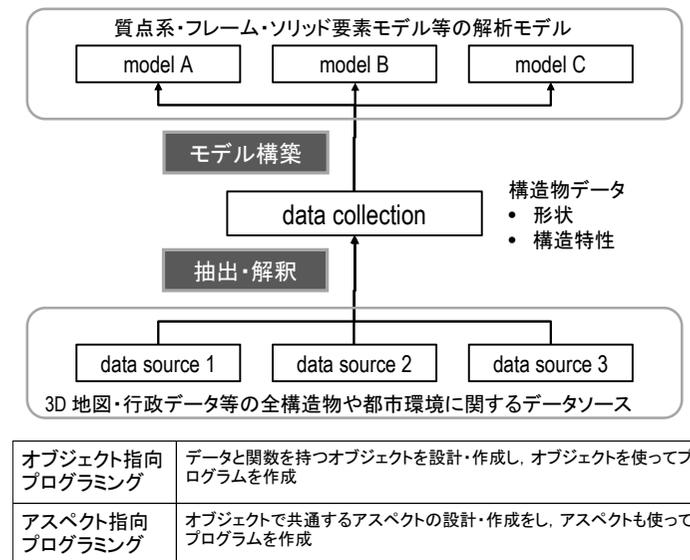
- 交通シミュレーション
- 都市ビッグデータ利用

IES.v0とIES.v1

- IES.v0 (Integrated Earthquake Simulation)
 - 地震動・地震応答・被害対応の連成シミュレーション
- IES.v1 (Integrated Engineering System)
 - 多様異種データの変換によってデータ共有を図るシステム
 - データのフォーマットの統一が無用
 - データを使う数値解析に有効: 解析モデル自動構築・高性能計算



多様異種データ変換



おわりに

- ◆ (広い意味の) 数値解析を支える要素
 - HPC 計算科学・計算機科学
 - データ 都市基盤情報, 設計図面
 - 理論 数値解析手法・モデル構築
- ◆ (広い意味の) 数値解析のためのデータ統合
 - プログラム要素の疎結合とデータの疎結合
- ◆ 数値解析・情報処理のためのデータ統合
 - 目的 顕在・潜在利用者のデータ利用(数値解析等)
 - 効率化 データ利用の速度・規模
 - システム化 規模・工数の算定, 継続(4次元データ)