

スパコンを使う地震のシミュレーション ～「京」の中で都市を揺らす～

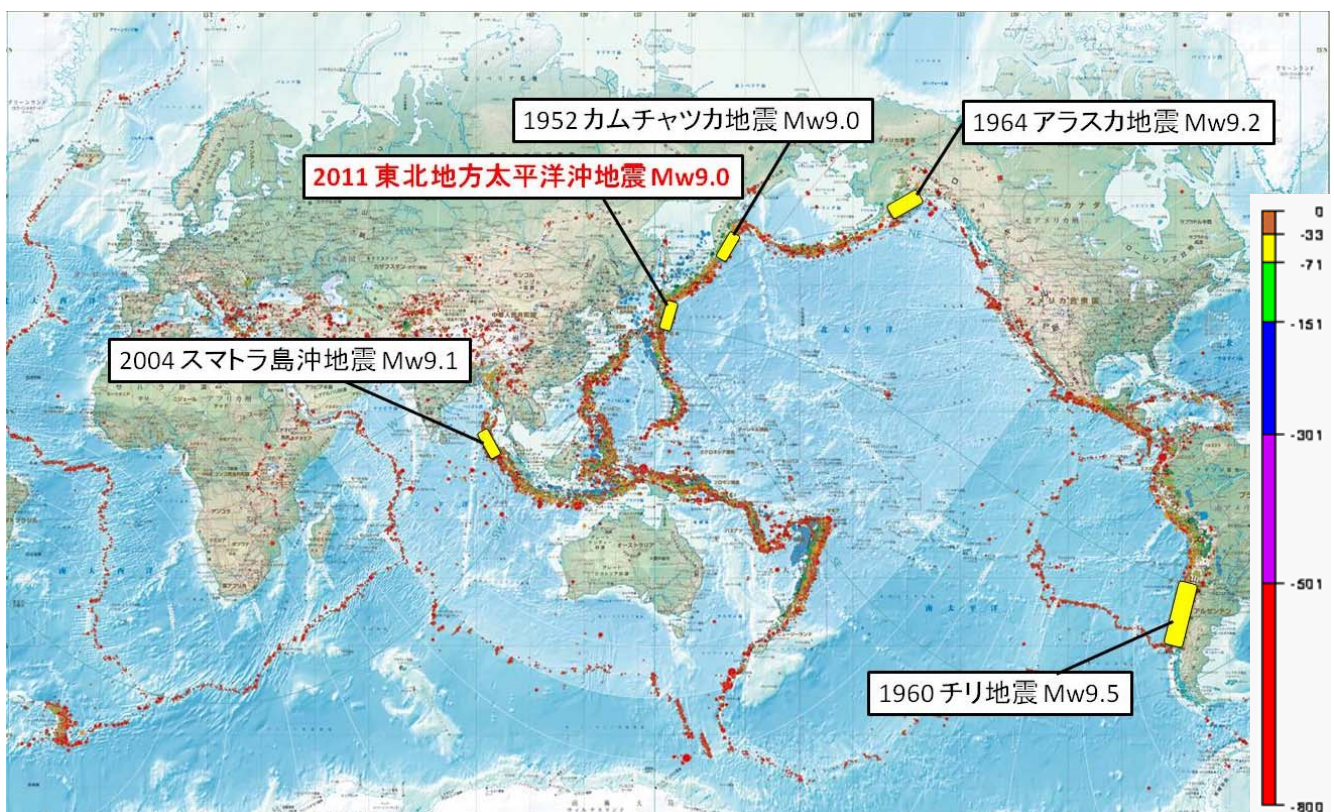
堀宗朗

総合防災・減災研究ユニット (RIKEN AICS)

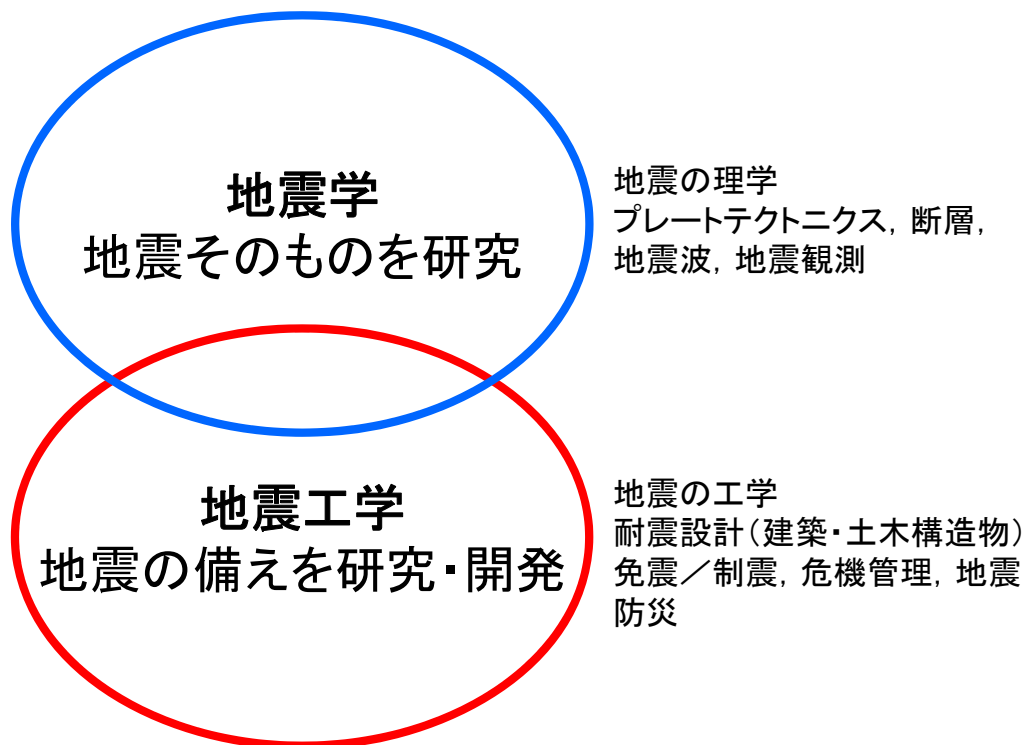
東京大学地震研究所

世界の地震

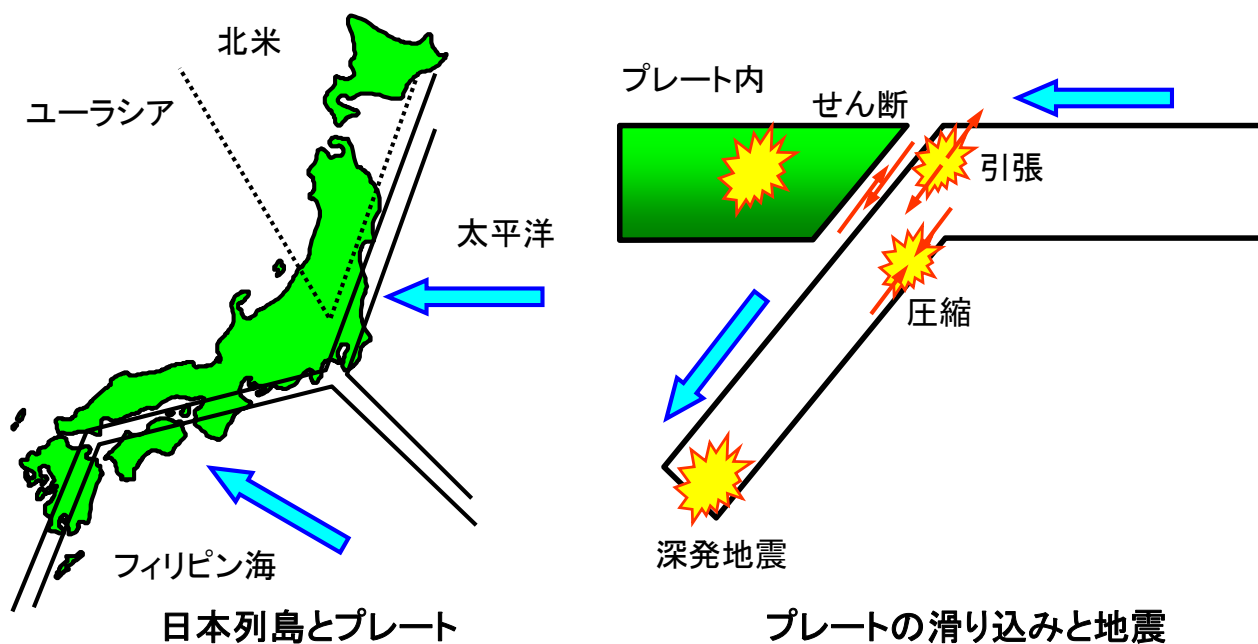
深さ(km)



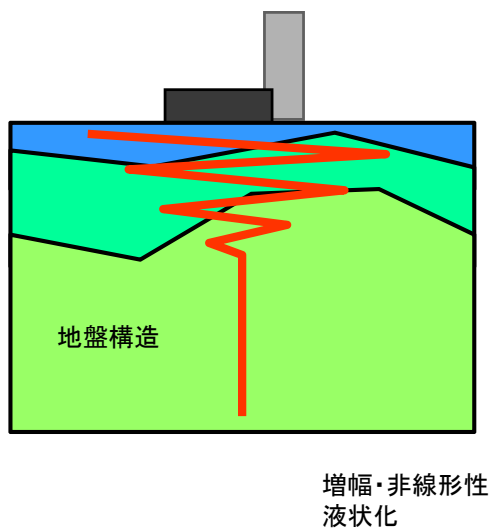
地震に関する学問



エッセンス:地震学的視点

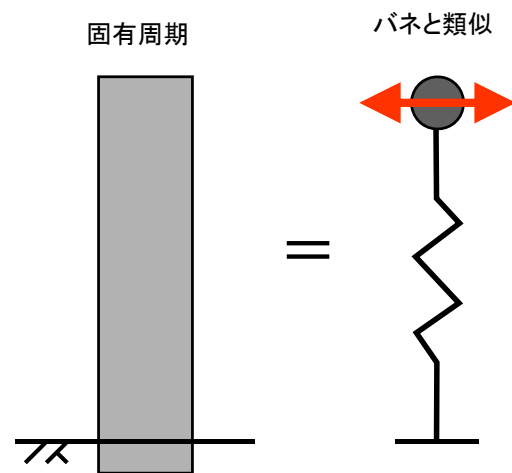


エッセンス:地震工学的視点



強震動

軟らかい地盤は大きく揺れる



建物の揺れ

一定の間隔の揺れが卓越する

地震と津波の計算

◆有限要素法 (Finite Element Method, FEM) の開発

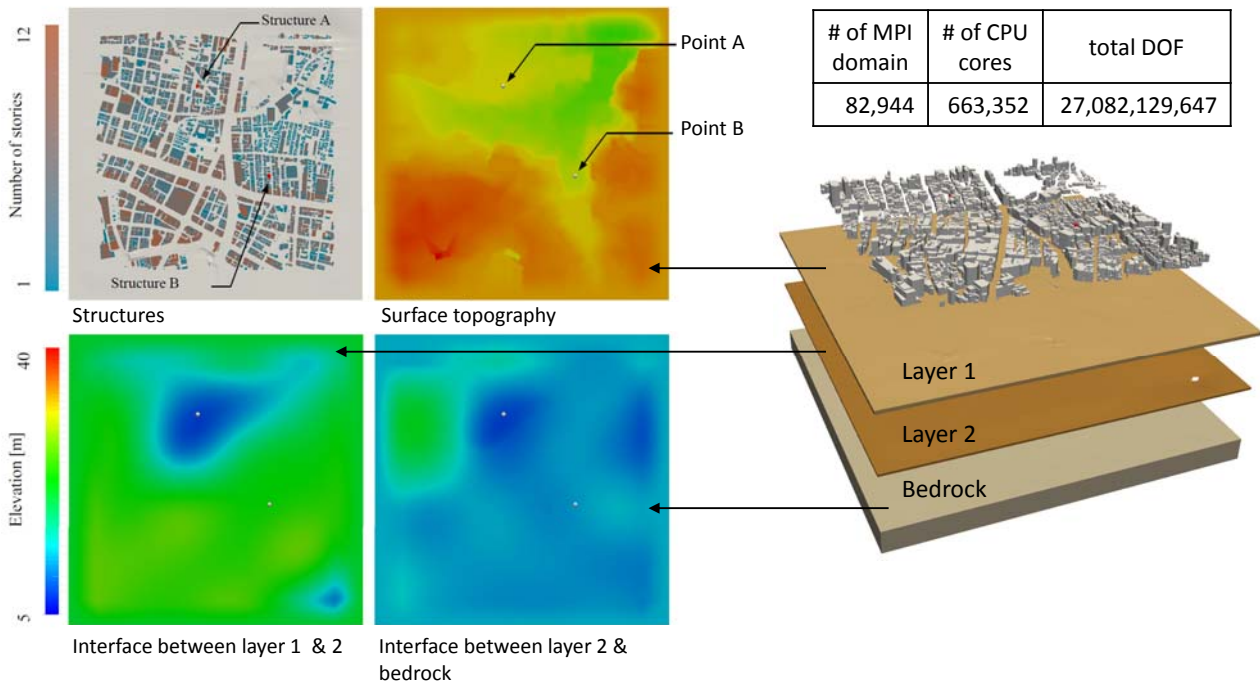
- 非線形波動方程式の汎用数値解析手法
1G自由度, 100K step
- 適用 地殻・地盤の地震波動伝播
重要構造物の地震応答

◆都市シミュレーション手法の開発

- 都市での災害・被害・被害対応の連成解析手法
- 適用 地震・津波の災害・被害過程
住民等の避難過程

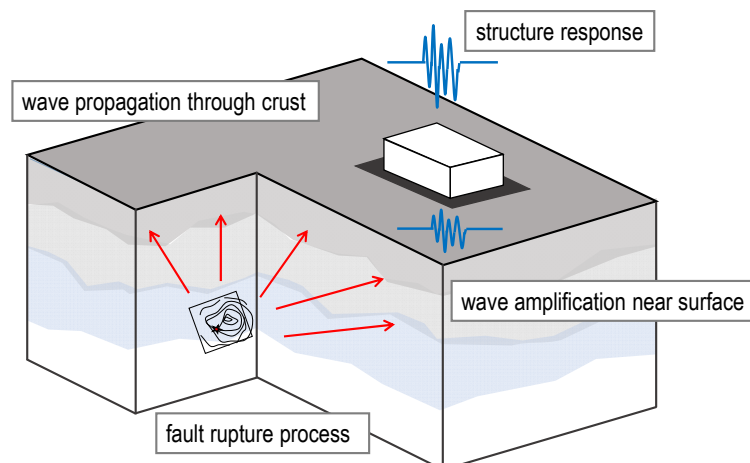
有限要素法

- ニュートンの運動方程式を解く
- 巨大な連立方程式に変換して計算する



地殻・地盤・建屋の解析

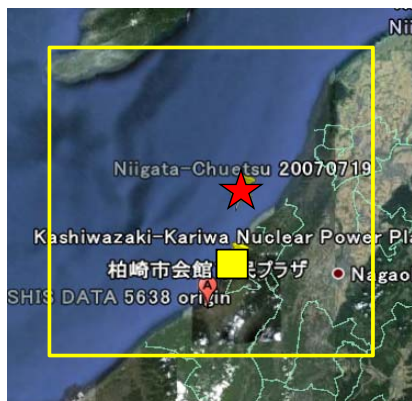
- 地殻構造
- 地盤構造
- 構造物



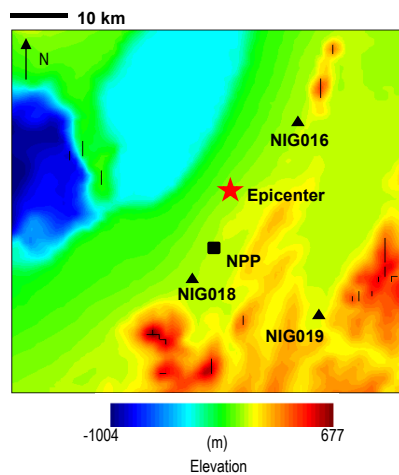
中越沖地震

断層すべり: *を使用

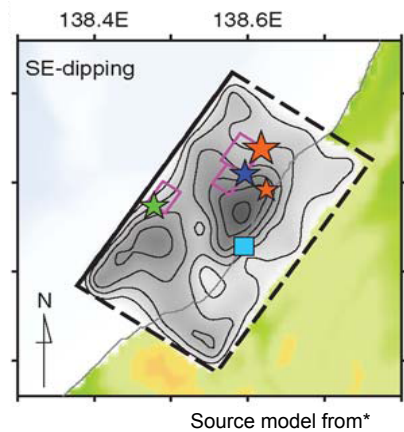
Target domain



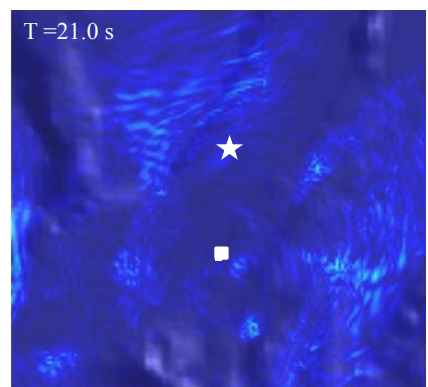
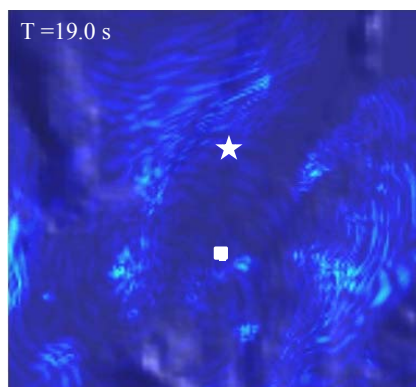
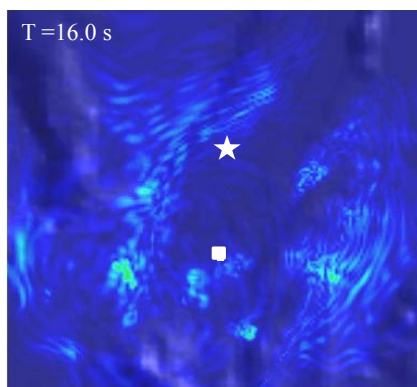
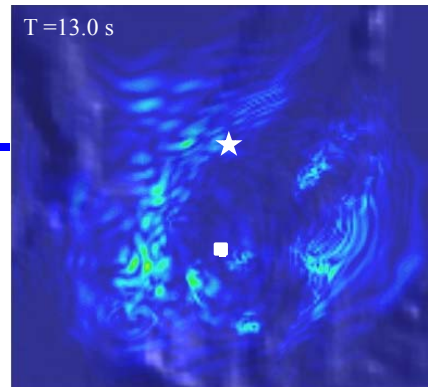
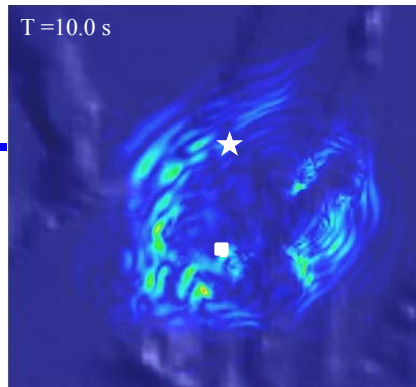
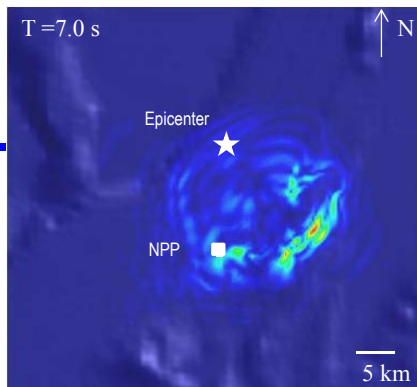
Locations



Fault-slip data



* H. Miyake, K. Koketsu, K. Hikima, M. Shinohara, T. Kanazawa, "Source fault of the 2007 Chuetsu-oki, Japan, Earthquake," Bull. Seismol. Soc. Am., 100, [1], 384-391 (2010).



Large velocity amplitudes near the NPP
T = 7 to 21 seconds

0.0 1.85
Velocity norm (m/s)

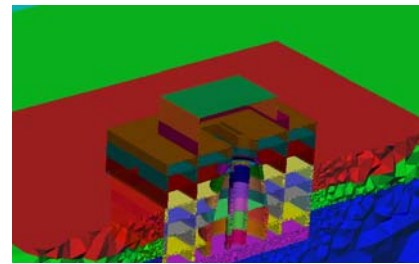
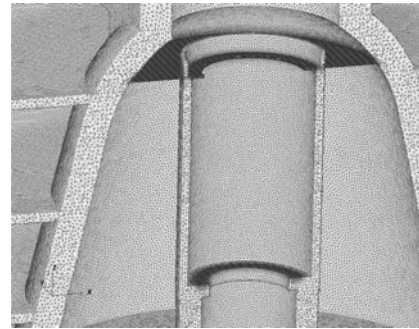
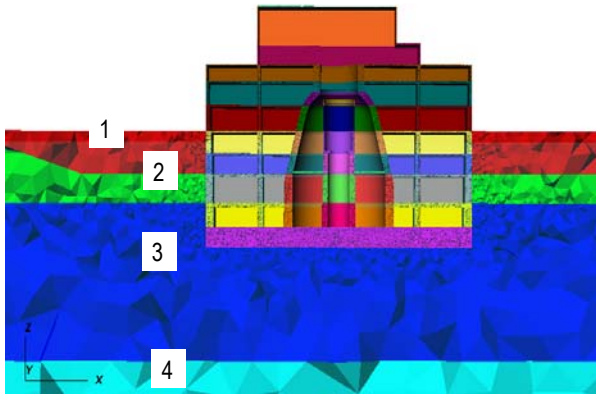
* Distance between epicenter and NPP is 14 km.

原子力発電所建屋

# of nodes	33,613,809
# of elements	22,443,096

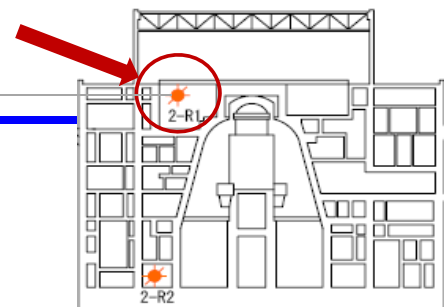


MatlID	Vp (m/s)	Vs (m/s)	ρ (kg/m ³)	h (%)
1	1529.7	300	1825	5
2	1529.7	300	2000	5
3	1580.7	310	1780	5
4	1625.1	490	1700	3
5	1710.8	560	1750	3

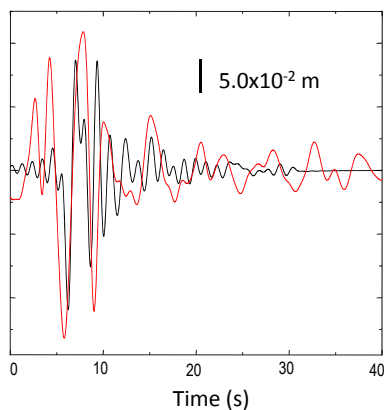


解析結果

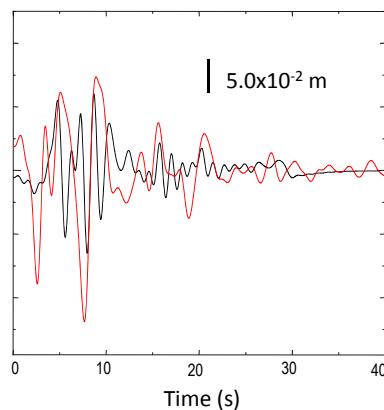
Elev. 15.5m



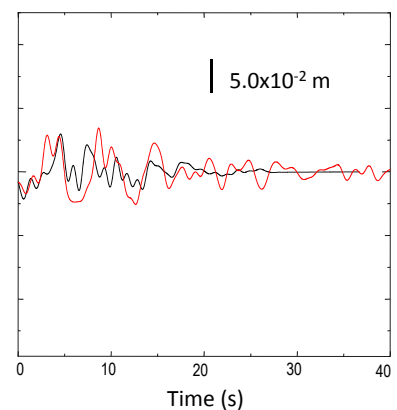
EW component



NS component



UD component

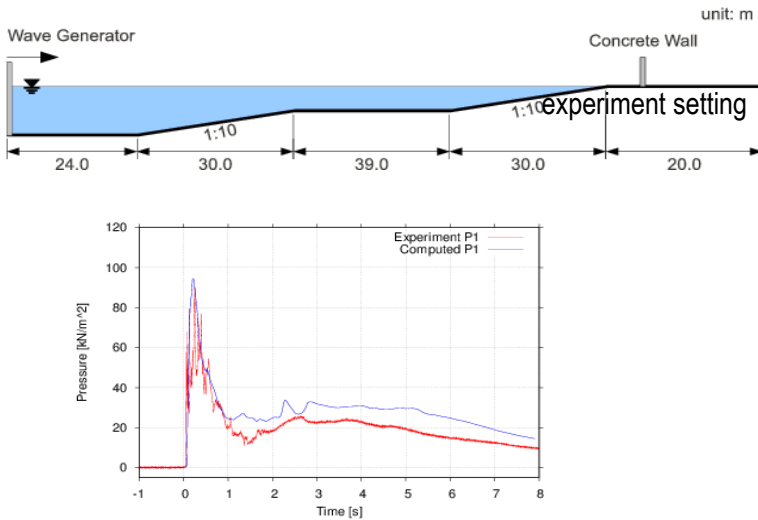


— Observed

— Computed

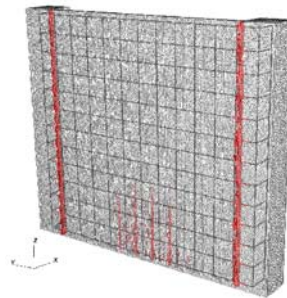
津波解析

港湾技術研究所での津波によるコンクリート壁の破壊実験の再現: 固体-流体連成

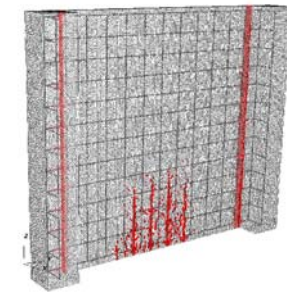


計測された水圧と解析された水圧の比較

前面



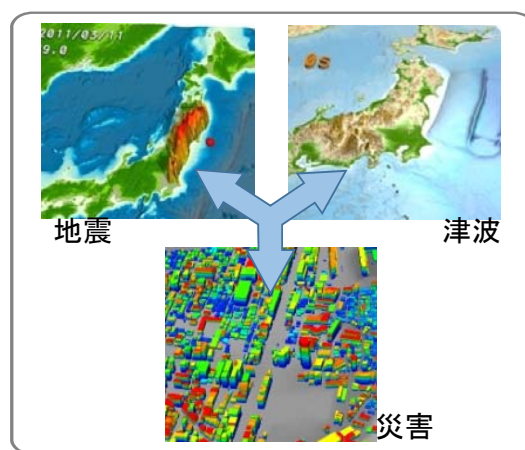
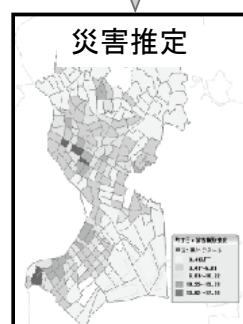
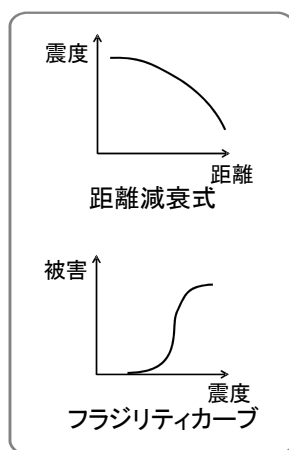
背面



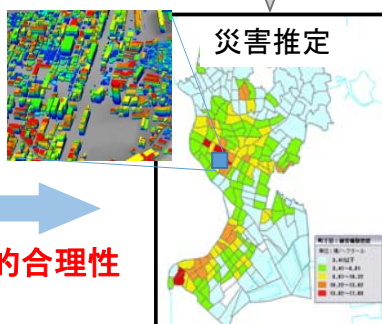
模擬津波によるコンクリート壁の亀裂

巨大地震・津波による災害予測の現状と将来

現状
経験ベース

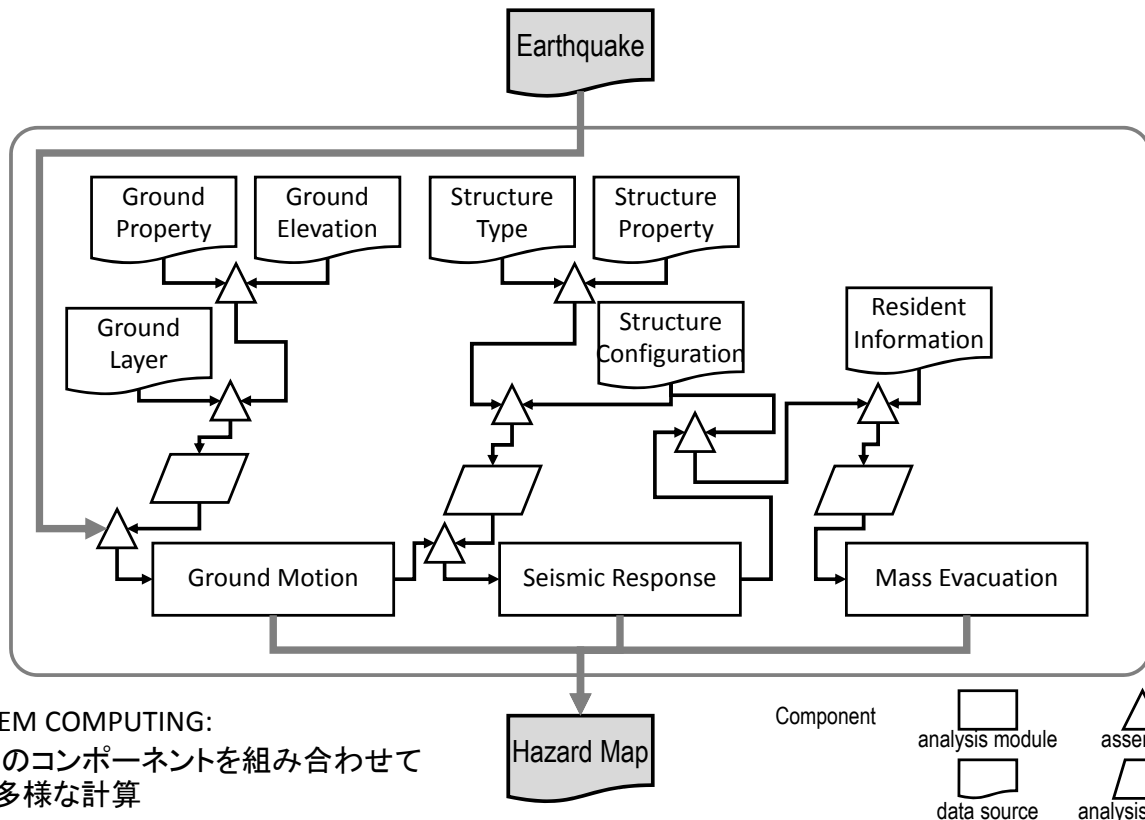


将来
計算ベース



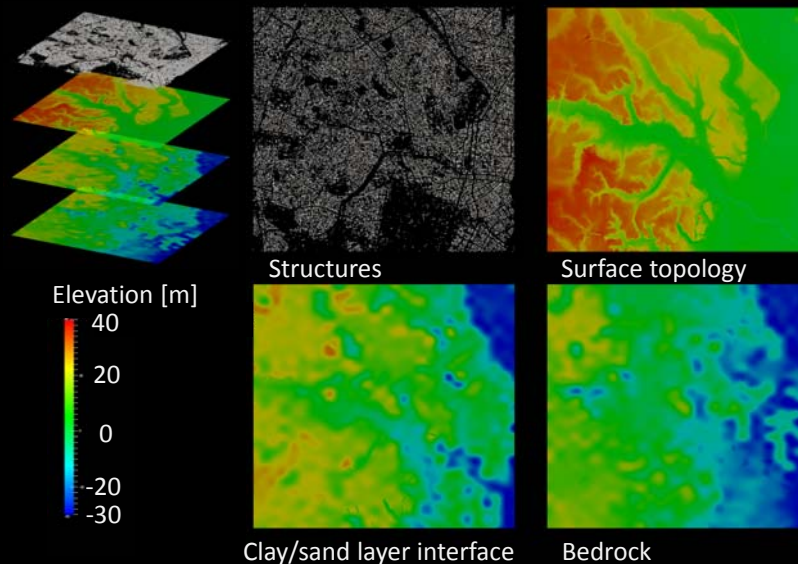
科学的合理性

SYSTEM COMPUTING



適用例

- KiK-net にて観測された1,000波を工学的基盤層に入力し、地盤・構造物の応答を計算
- 地盤工学会の全国電子地盤図をもとに作成した3層地盤モデルを使用
 - 物性値: $V_s = 115\text{m/s}$ (clay), $V_s = 260\text{m/s}$ (sand), $V_s = 500\text{m/s}$ (bedrock)
- 京コンピュータ160,000プロセス(20,000ノード)を使って計算(計算時間3,446s)

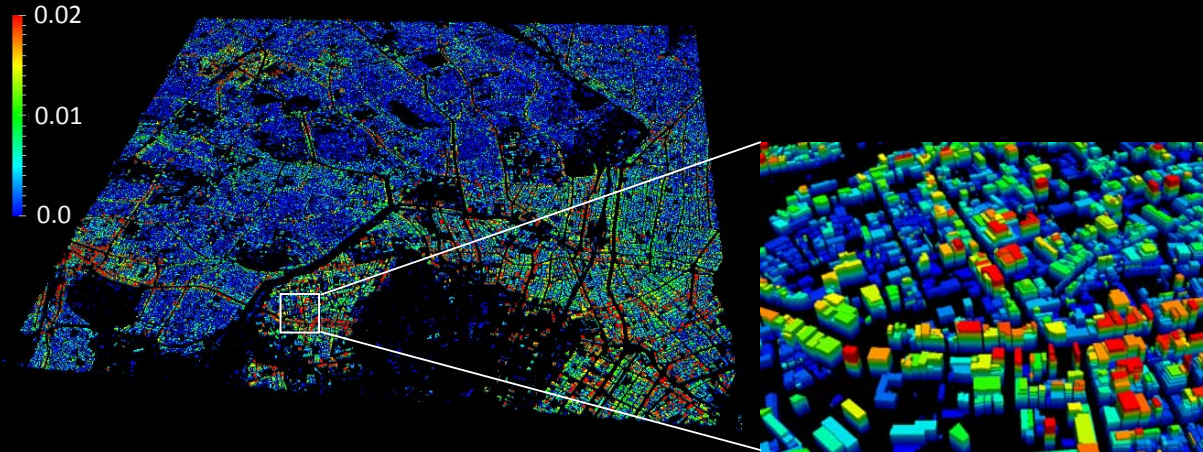


解析領域: 大きさ8.0 x 7.5km, 253,405棟

適用例

- 1,000ケースの構造物の応答を計算
 - 各ケースの最大値, 平均値, 分散などの統計量を求めることができる
 - 多くの地震に対して揺れる構造物, 特定の地震に対して揺れる構造物などの把握
 - 防災対策の優先度を決めることで, 効率的な対策につながる可能性

Mean displacement [m]



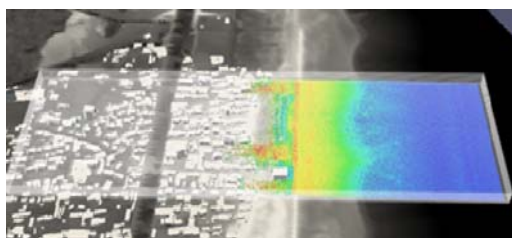
1,000ケースの時系列最大変位の平均値

地震津波複合災害

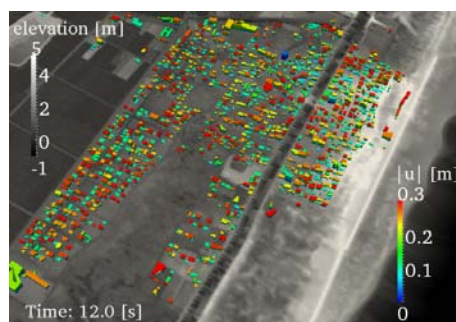
地震動・地震応答の解析モジュール
と津波の解析モジュールの利用



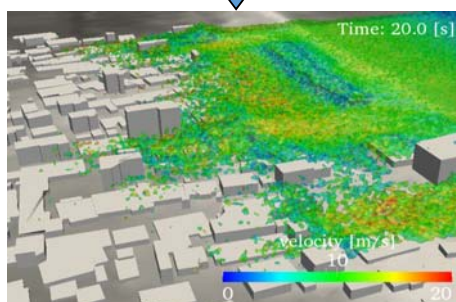
地盤・構造物の都市モデル



津波侵入の都市モデル



構造物一棟一棟
の被害の有無を
都市モデルを使っ
て推定



構造物被害を生
じた都市モデル
への津波の侵入

津波解析:都市



3D-SPH



都市モデルを使った効果的可視化



予定: 構造連成



予定: 群集避難連成の可視化

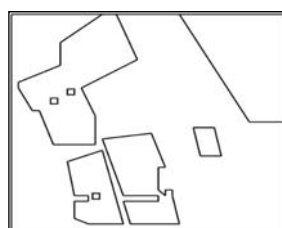
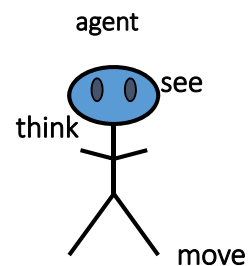
群衆避難MAS

エージェント

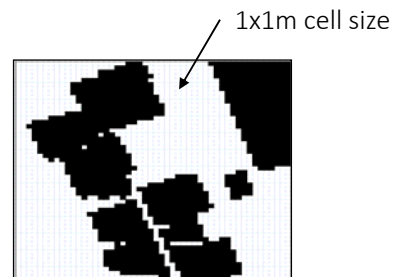
- 「見て」, 「考えて」, 「動く」機能
- 自律的
- エージェントの属性(能力・仕事・情報)は多様

エンバイロメント

- 「グリッド」と「グラフ」の混合モデル
- GISデータから自動構築



GIS data

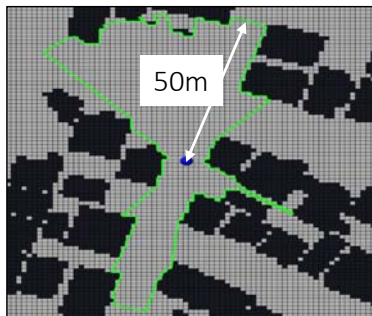


raster model for MAS

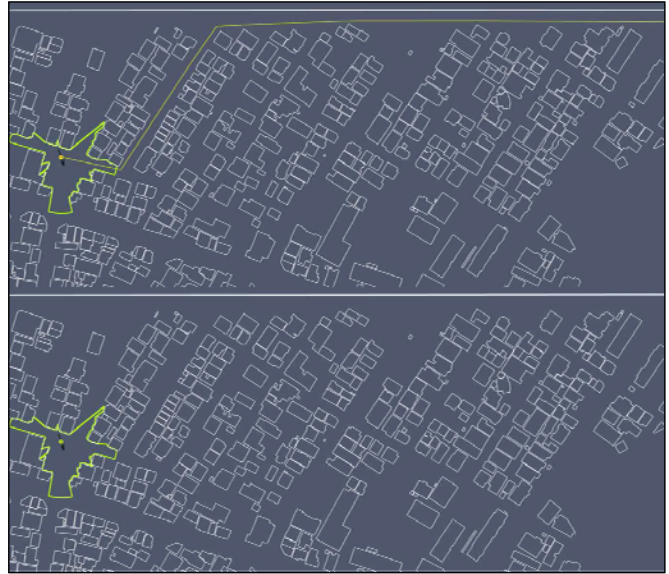
ナビゲーション

レーダー型スキャンにより、視野の範囲を同定し、地物の情報を抽出

- エージェントは自動的にナビゲーションを行う
- 住民エージェントは地図データを持ち、最適経路を判定
- 旅行者エージェントは高所を捜し、グループに追随



resident agent (pre-defined path)



visitor agent (no pre-defined path)