

OpenFOAMを用いた大規模3次元津波波力解析

清水建設(株) 技術研究所

OPHAM VAN PHUC

今津 雄吾

内容

■ 背景

- 東日本大震災津波による被害
- 従来の津波計算の課題
 - 平面2次元津波計算

津波遡上3次元CG

津波伝播・遡上計算
浅水波理論(波の高さ・速度)
(Shallow Water)

■ 3D津波シミュレーション

- VOF法による3D津波解析の計算精度の検証
- 東日本大震災津波の再現, 実建物の転倒のメカニズムの解明

津波波力計算
津波の力を直接計算
(VOF法, 粒子法)

背景：東日本大震災津波による被害

山岳などの複雑地形に囲まれ



市街区の被害



建物の転倒被害



液状化・洗掘被害



被害の規模は数km~数十cmまで、
津波の予測精度の高度化(津波荷重の詳細評価)は必要

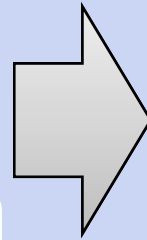
津波被害予測の高度化

従来の津波被害予測システム

①断層モデルの設定



②津波伝播・遡上解析
(平面二次元)



浸水深や浸水域の予測

津波避難シミュレーション

最大津波荷重の推定



③三次元津波解析
(波力, 洗掘, 転倒...)

実現象をリアルに再現,
津波荷重を直接算定.

背景：3次元津波解析への期待

日本経済新聞

6月21日 金曜日

English

中文

Web刊

速報

ビジネスリーダー

マーケット

マネー

テクノロジー

ライフ

スポーツ

朝

トップ : 特集 : コラム : 読者アンケート : 紙面連動 : 社説・春秋 : 映像 : コンフェデ杯 : ウーマン

スパコン「京」、津波の動きを3次元シミュレーション 富士通と東北大

2012/2/21 21:56

(1/2ページ)

小 中 大

保存

印刷

リプリント

理化学研究所と富士通が共同開発中の世界最速スーパーコンピューター「京 (K)」を使った研究プロジェクトが始動する。富士通と東北大学は21日、「京」を使って津波の動きを3次元で再現する世界初のシステムを共同開発すると発表した。医薬分野では中外製薬などが新薬開発に利用する。「世界最速」をビジネスや先端研究に生かす挑戦が始まる。

山本正巳・富士通社長と東北大の今村文彦教授が21日、仙台市で会見。今村教授が開発した津波2次元シミュレーション技術と富士通の3次元流体解析技術を組み合わせ、3次元で津波の動きをシミュレーションするシステムを2012年度中に開発する。

津波が陸地を遡上するまでの精密なシミュレーションには膨大な計算能力が必要で、従来のスパコンでは困難だった。

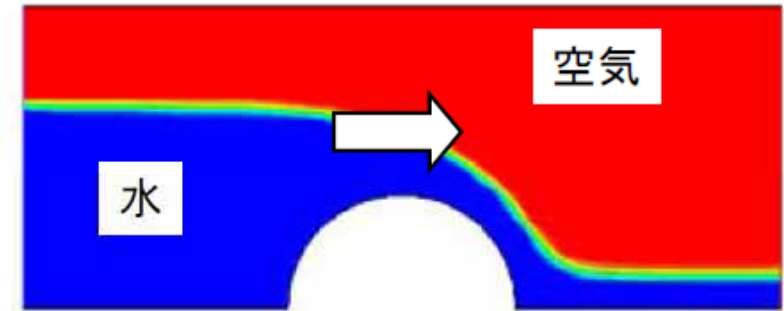


研究開発(東日本大震災津波のあと)

- OpenFOAMの2相流モデルを3次元津波解析に適用
 - 各種実験との比較により計算精度を検証.
 - TSUBAMEスパコンで実施, 広域市街地への実用性を確認
→ リリース(2012.4.18)
「最先端の三次元解析により、津波の挙動や津波荷重を詳細に予測」
- 東日本大震災津波を再現, 実建物の転倒メカニズムを解明



計算手法



■ 基礎方程式

連続方程式:
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \mathbf{u}) = 0 \quad \rho = \alpha \rho_1 + (1 - \alpha) \rho_2$$

運動方程式:
$$\frac{\partial(\rho \mathbf{u})}{\partial t} + \nabla(\rho \mathbf{u} \mathbf{u}) = -\nabla(p) + \mu \nabla(\nabla \mathbf{u}) + \rho \mathbf{g}$$

\mathbf{u} : 流速ベクトル, p : 圧力である. ρ_1 , ρ_2 は水と空気の密度, α は水の体積分率($0 < \alpha < 1$).

■ 界面捕捉法: VOF法

- Compressive Convectionスキームの採用

■ 乱流モデル:

- LES(標準Smagorinsky)

■ 計算ソルバー: InterFoam

VOF法による計算精度・計算性能の検証

1. ダム崩壊問題の再現

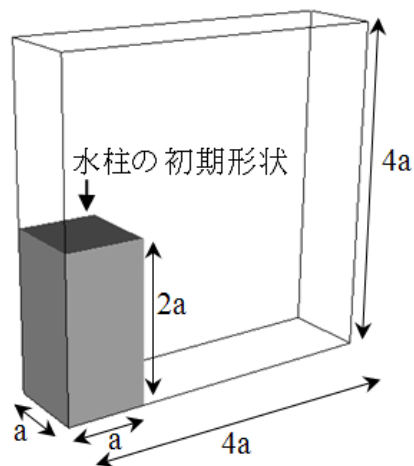
- 津波の壁への衝突・砕波現象の予測

2. 津波水理実験の再現

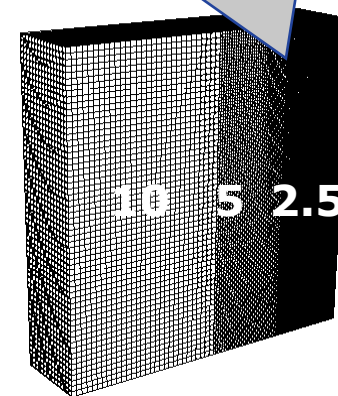
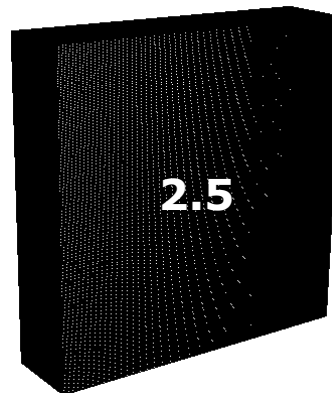
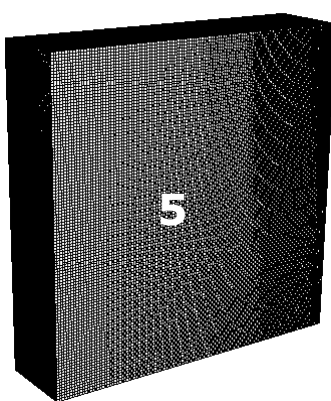
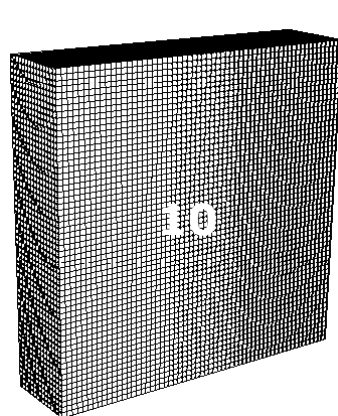
- 津波遡上の予測
- 単純立方体形状への津波荷重の予測
- 津波の激しい衝突・複雑建物形状への津波荷重の予測

1.ダム崩壊問題の再現

$a=146\text{mm}$



等間隔の計算格子



$\Delta=10\text{mm}$

$\Delta=5\text{mm}$

$\Delta=2.5\text{mm}$

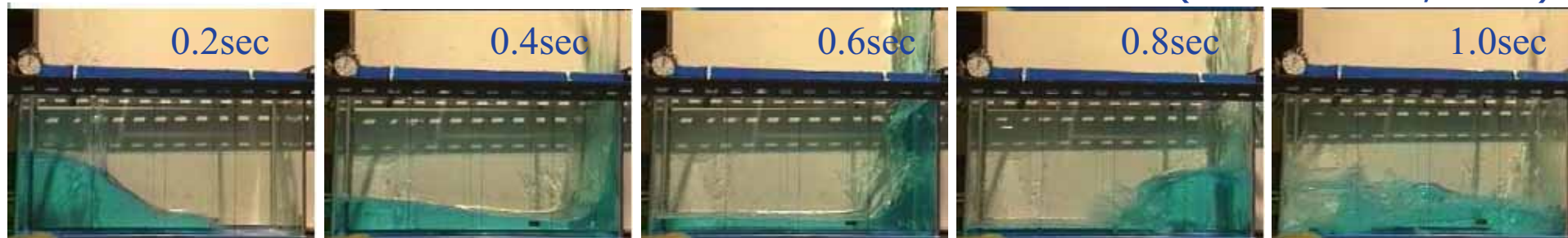
$\Delta=10\sim 2.5\text{mm}$

ダム崩壊問題

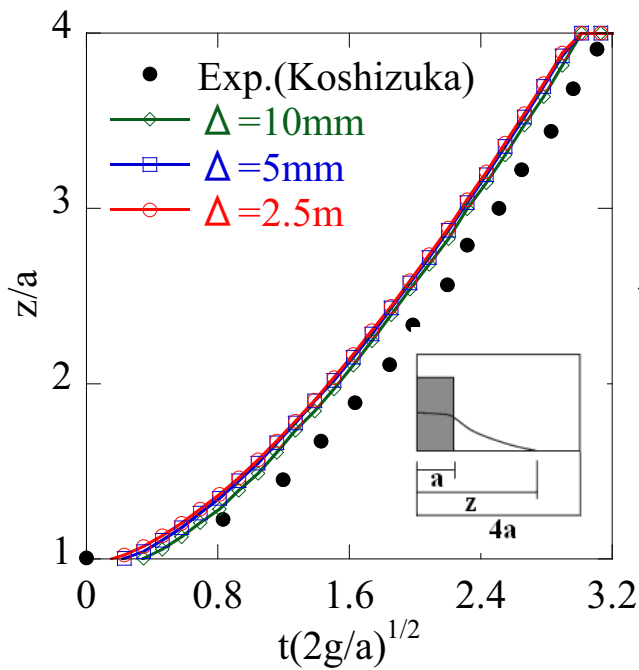
津波の遡上

建物・構造物などの衝突時の打ち上がり(砕波)

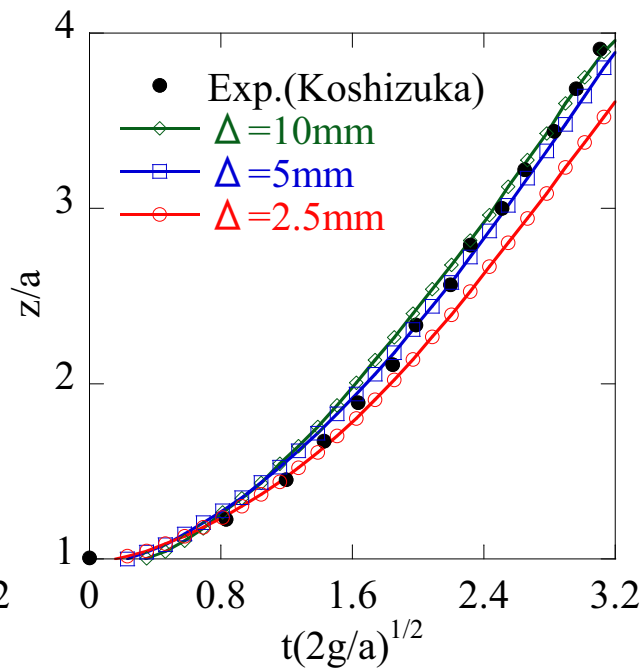
(Koshizukaら, 1995)



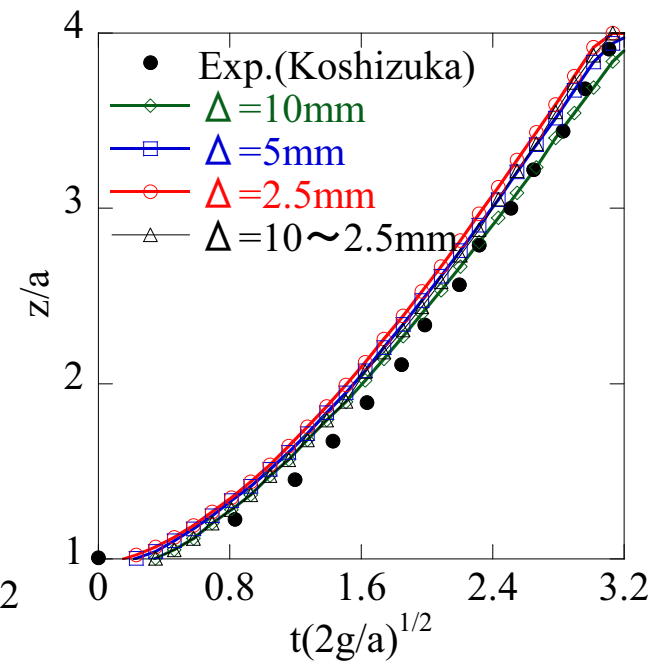
遡上先端時刻歴と乱流モデルの依存性



DNSモデル

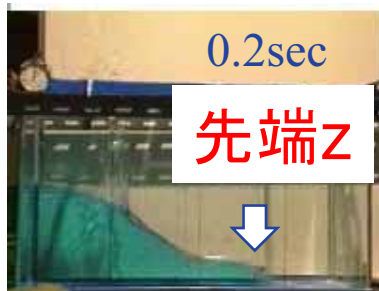


RANS乱流モデル



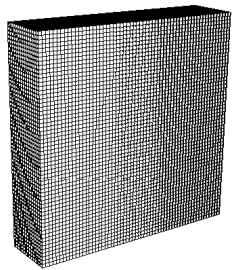
LES乱流モデル

津波の遡上



DNSモデル : 過大評価(格子解像度の不足)
 RANS乱流モデル: 格子解像度により結果は変化
 LES乱流モデル : 実験結果と一致,
 格子解像度の依存性は少ない

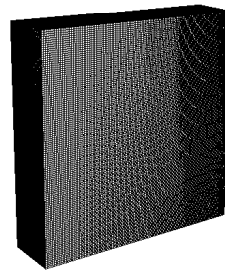
波の衝突時と計算格子解像度の依存性



$\Delta=10\text{mm}$



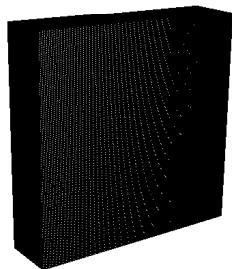
0.6s



$\Delta=5\text{mm}$



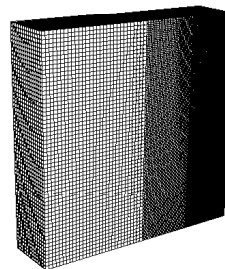
0.6s



$\Delta=2.5\text{mm}$

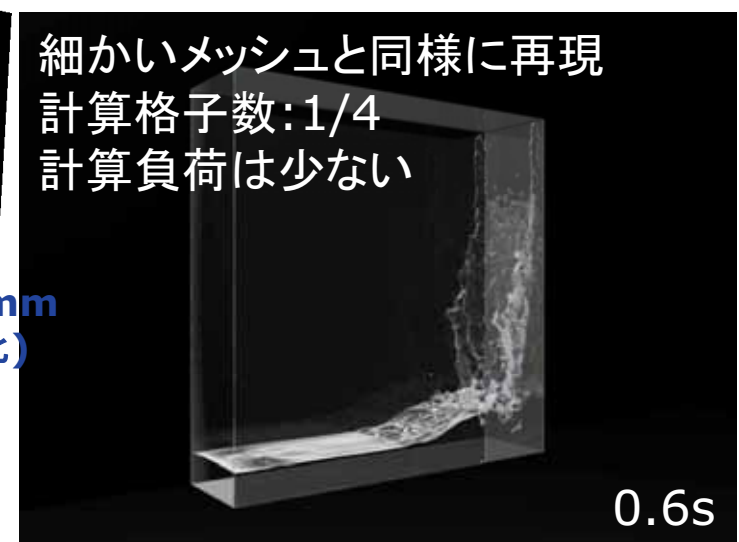


0.6s



$\Delta=10\sim 2.5\text{mm}$
(右壁の細分化)

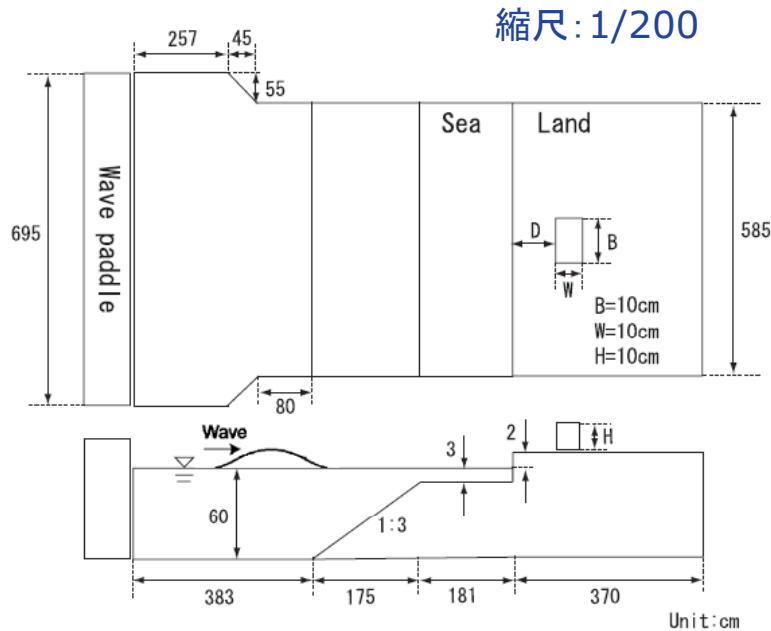
細かいメッシュと同様に再現
計算格子数: 1/4
計算負荷は少ない



0.6s

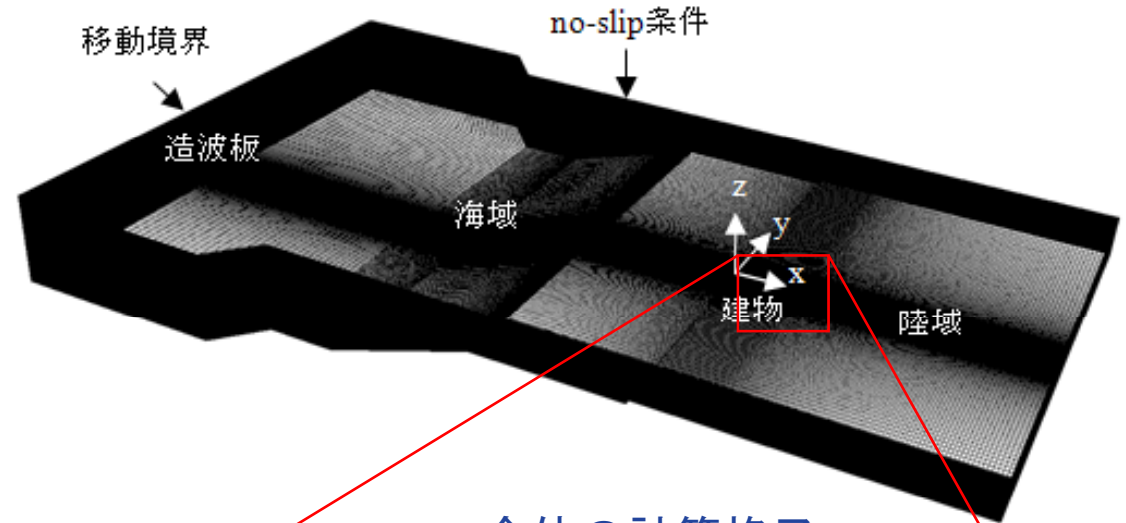
- ・津波が壁面などに衝突し打ち上げる現象についてはその依存性は大きい
- ・構造物周辺では計算格子を小さくする必要がある

2.津波水理実験の再現

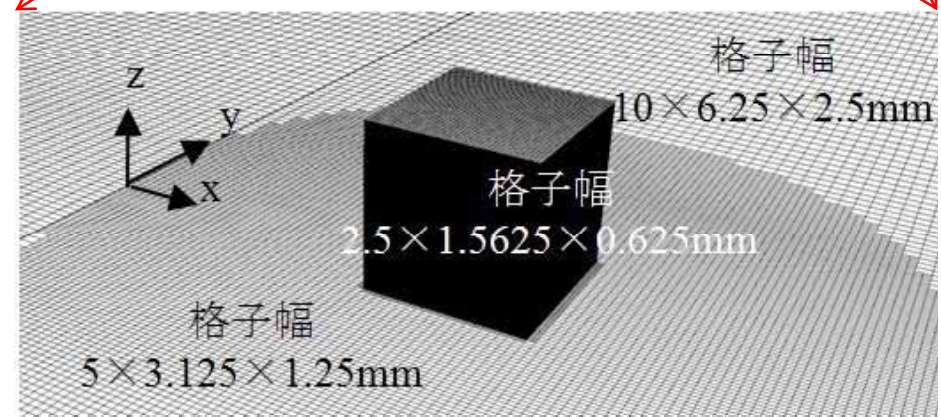


対象とした水理実験(シマモラ,2005)

- 格子数:1700万
- 評価時間:20s
 - 使用CPU数:48CPUs
 - 計算時間 :4日間

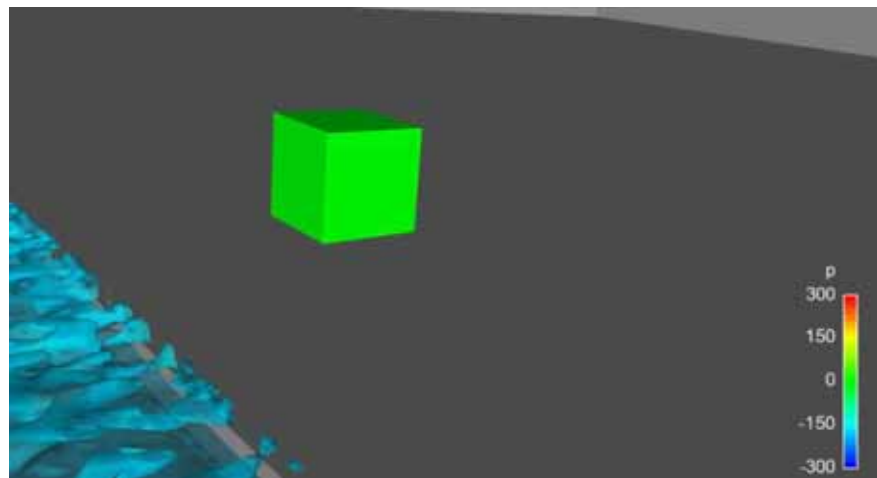
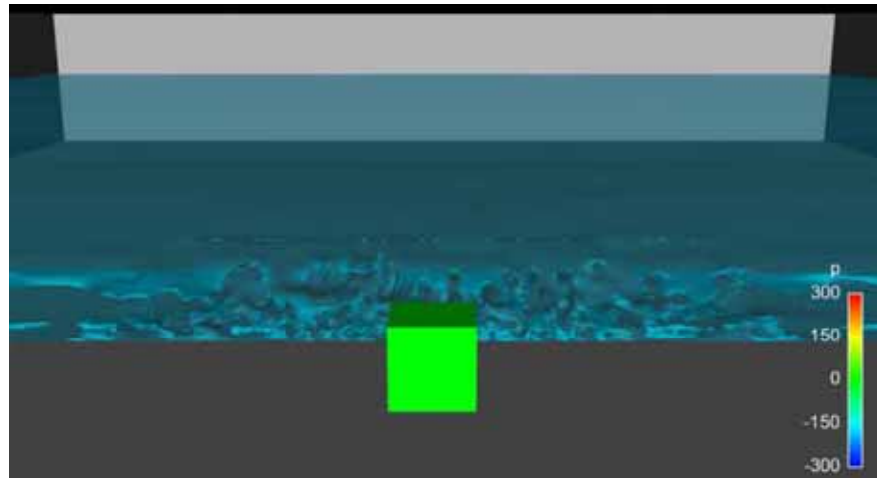


全体の計算格子



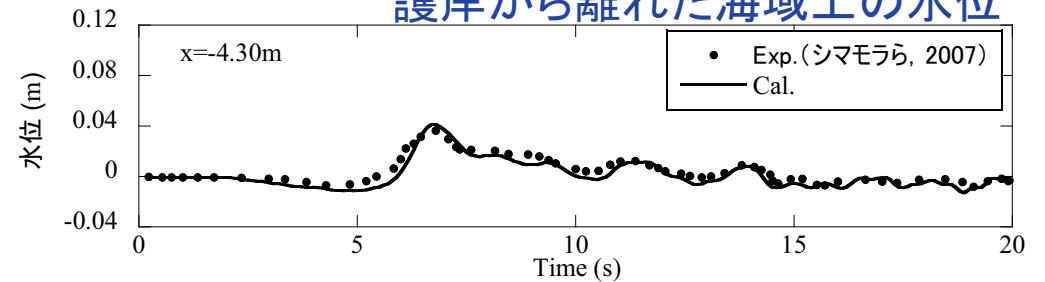
構造物周辺の拡大図

実験と解析の水位・浸水深の比較

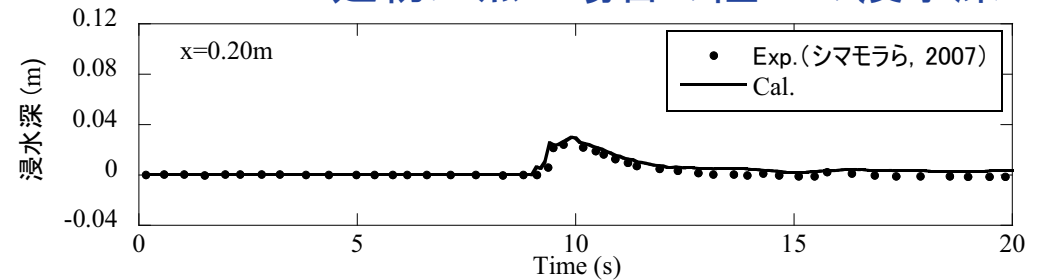


実験結果との良好な一致を確認

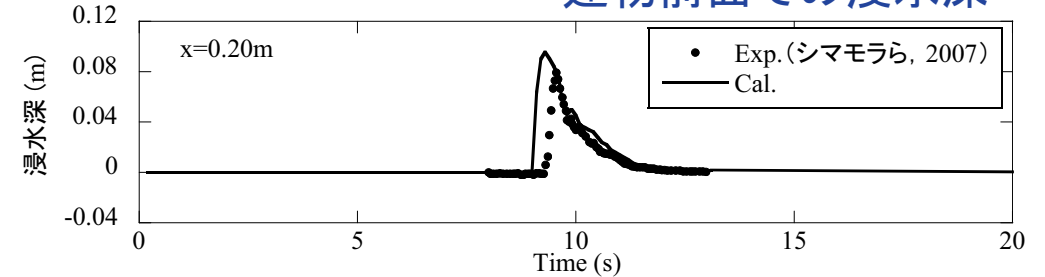
護岸から離れた海域上の水位



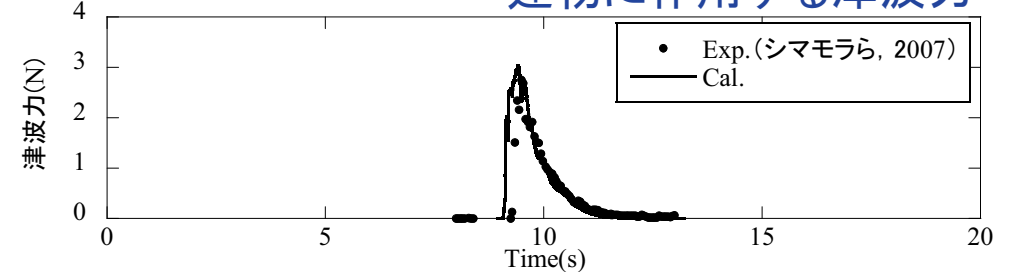
建物が無い場合の陸上の浸水深



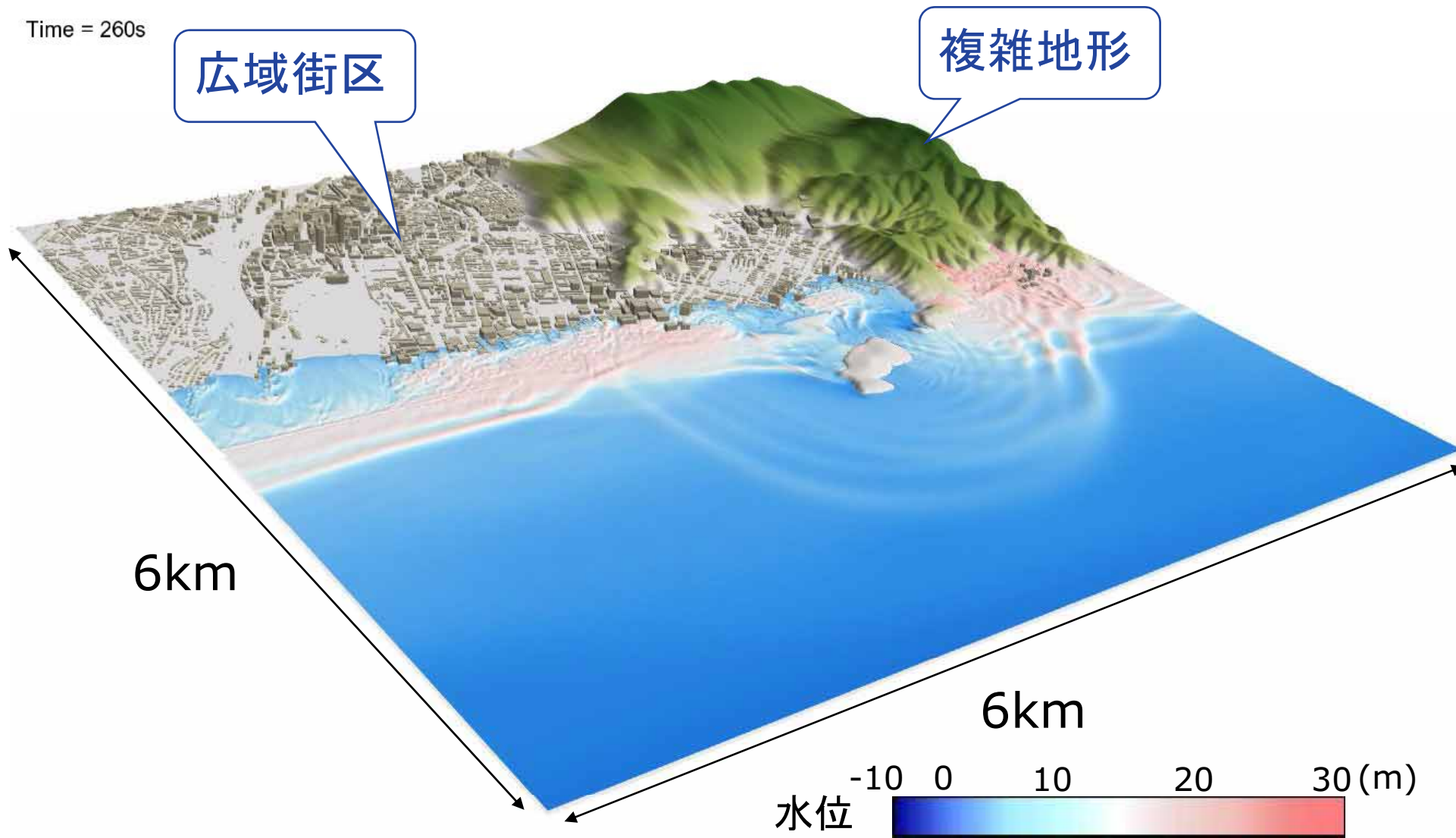
建物前面での浸水深



建物に作用する津波力



3. 広域市街地への適用性・計算の可能性

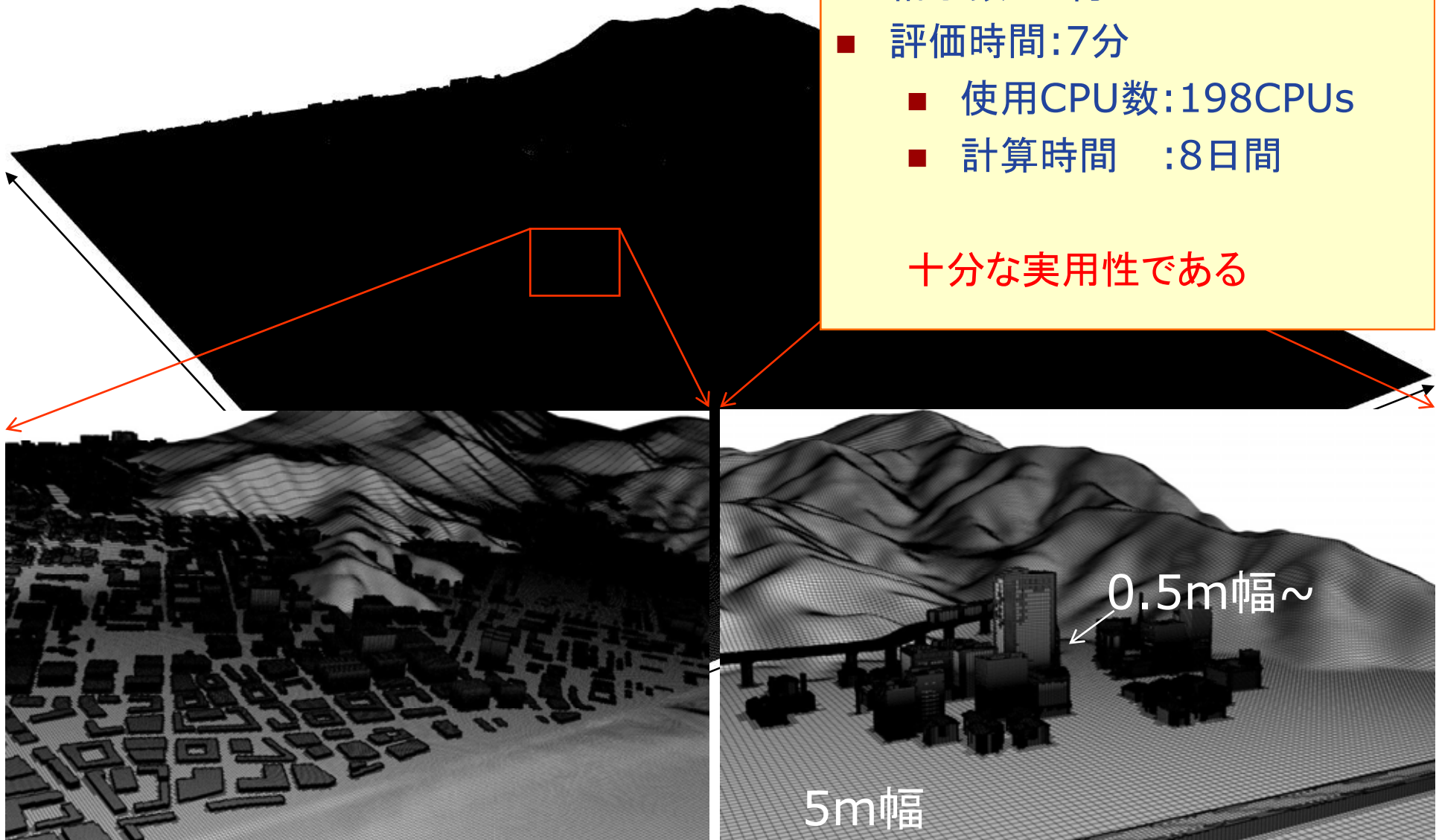


VOF法による3次元津波解析の実用性, 複雑な地形や建物群の津波遡上への影響を検討

3.広域市街地への適用性・計算の可能性

- 格子幅 : 0.5~5m
- 格子数 : 約5000万
- 評価時間:7分
 - 使用CPU数:198CPUs
 - 計算時間 :8日間

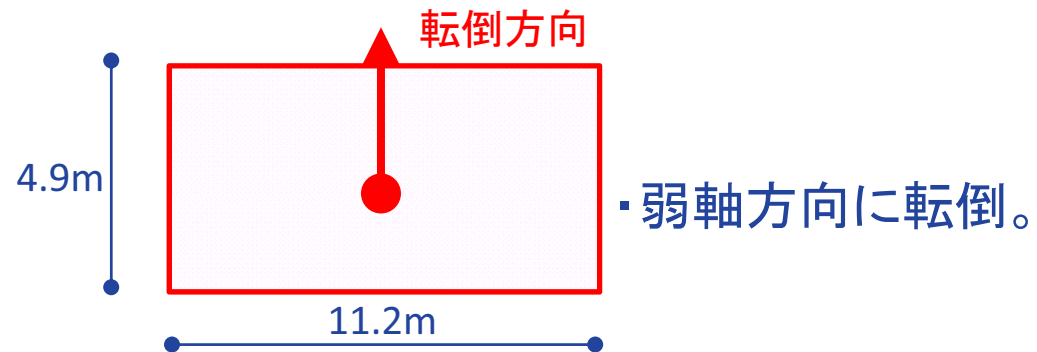
十分な実用性である



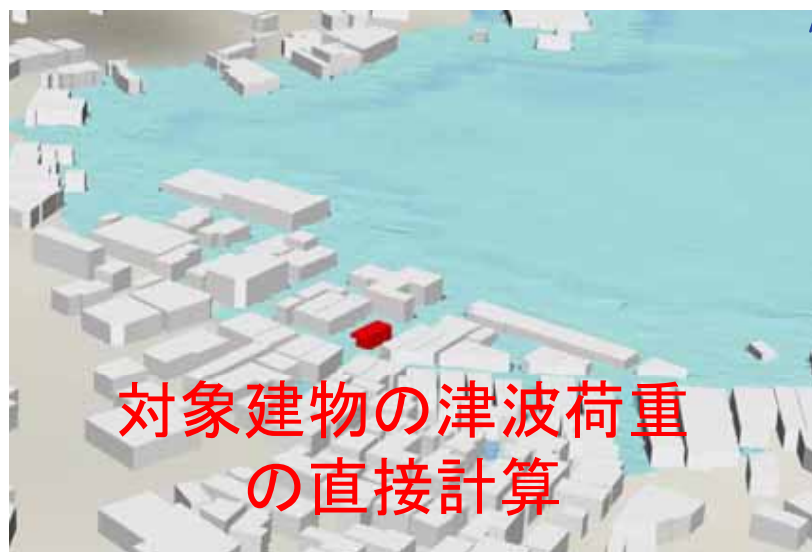
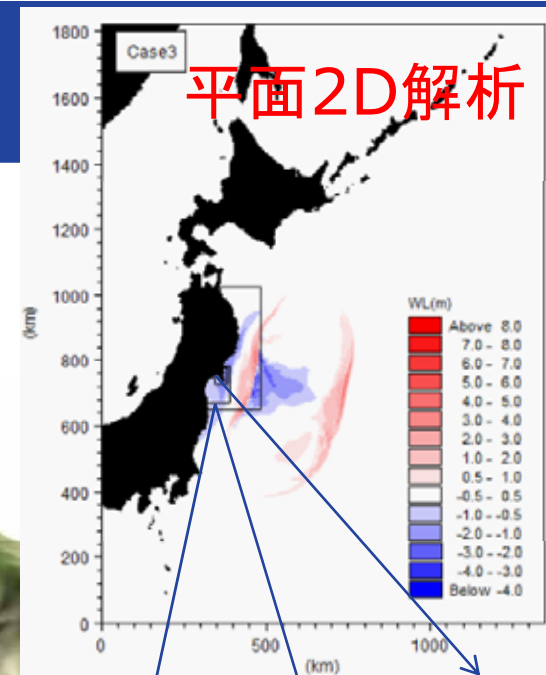
例：東日本大震災大津波の再現 女川町の建物の転倒メカニズムの解明



図 3-18-7-1 配置図 (航空写真)



平面2Dと3D津波の連携



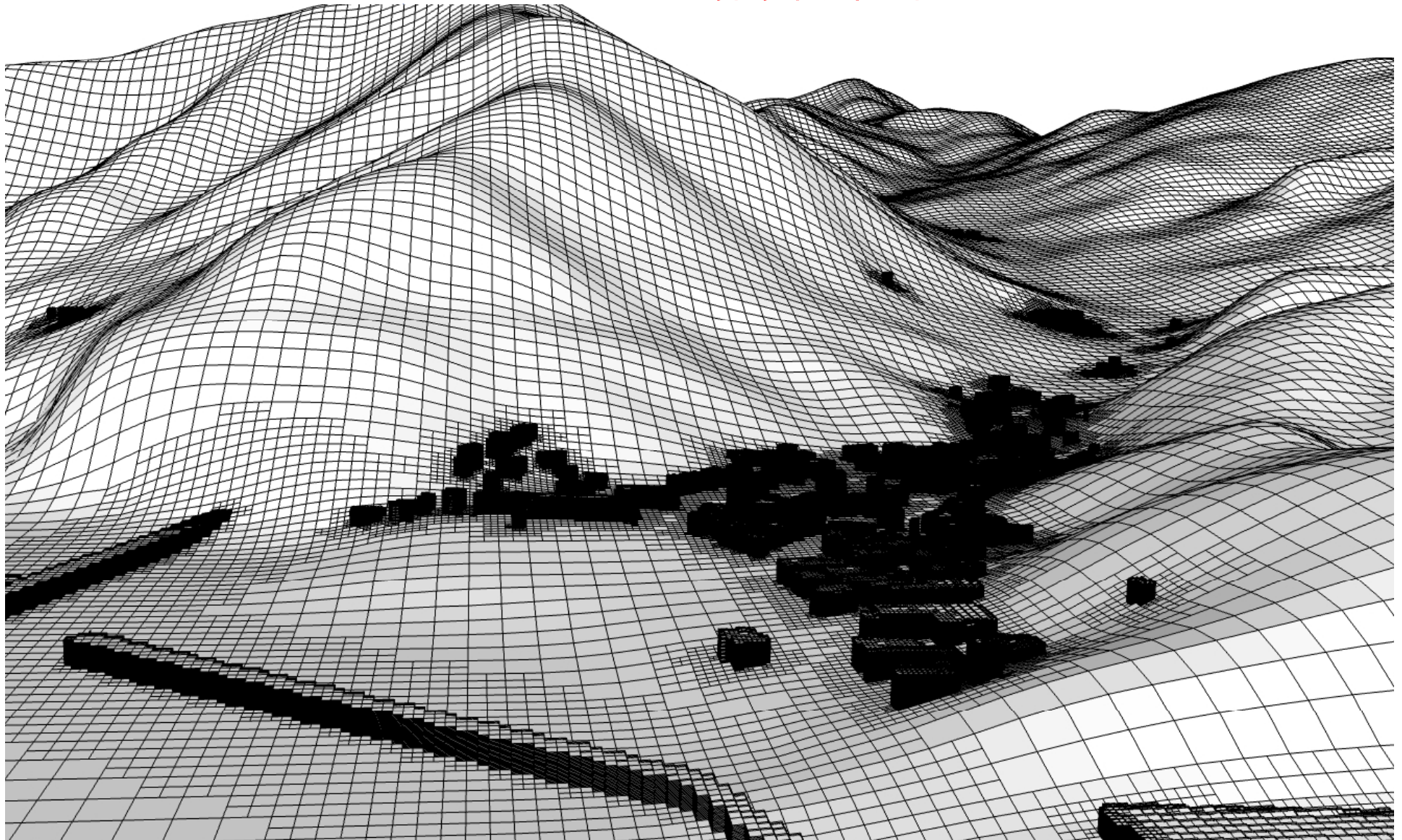
3D解析



転倒メカニズムの解明

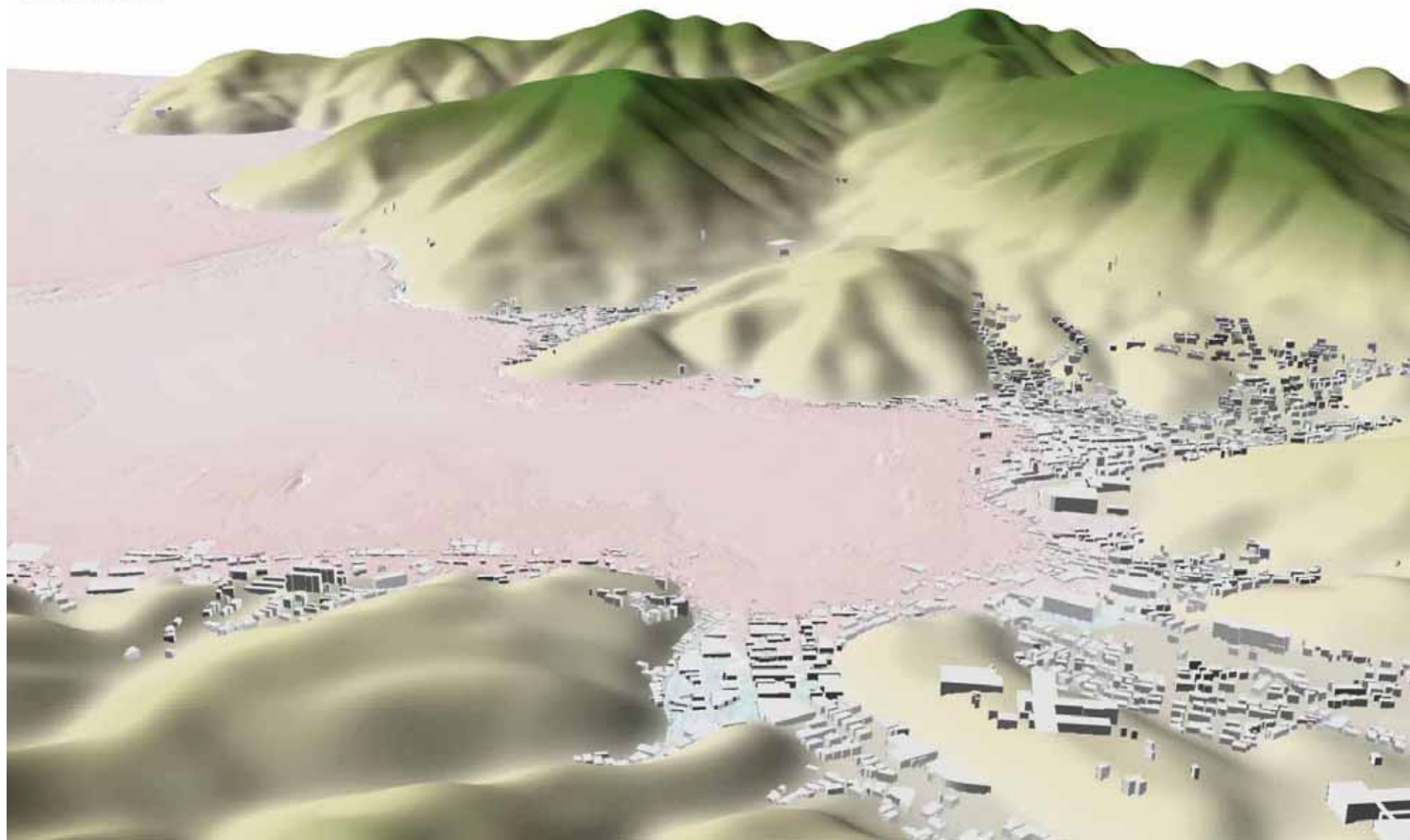
3次元津波計算モデル

震災前の女川地区の全建物・堤防の再現
計算規模: 約1億メッシュ

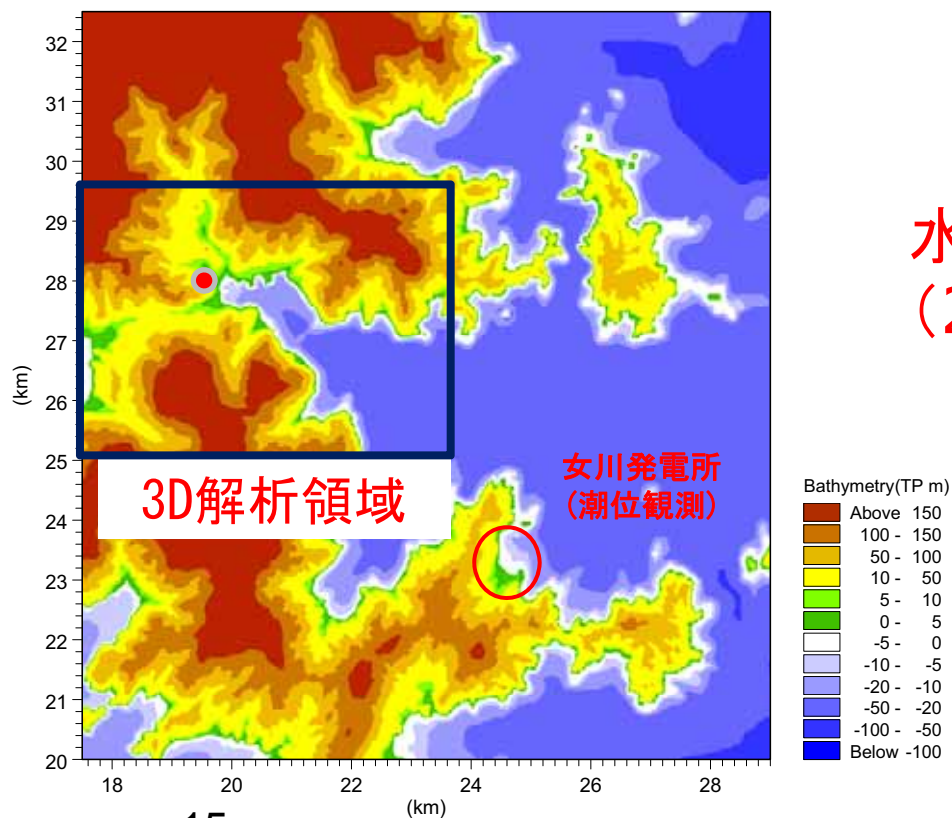


結果の動画

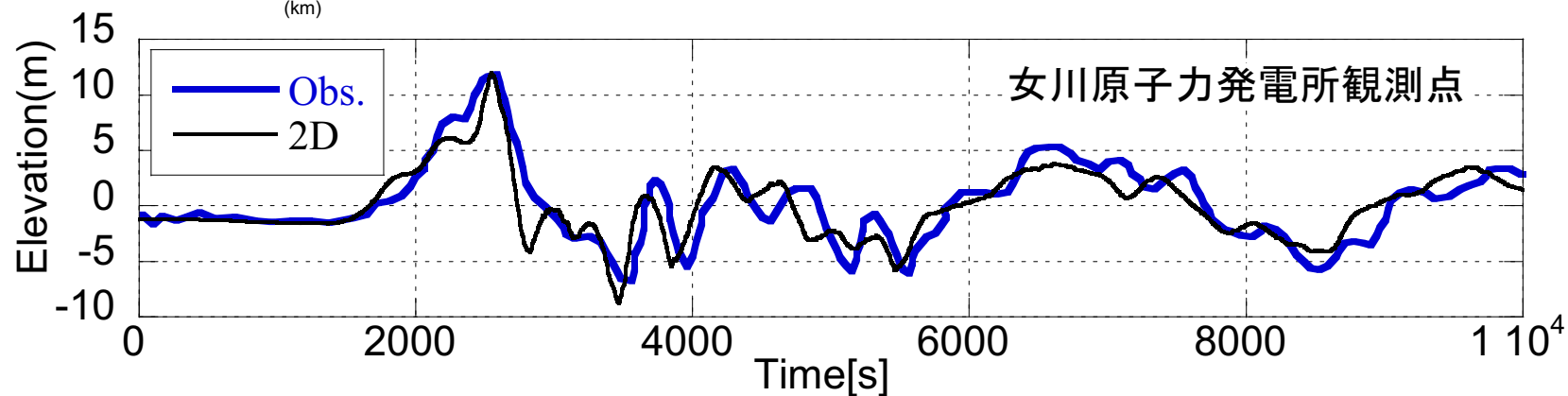
Time:1000s



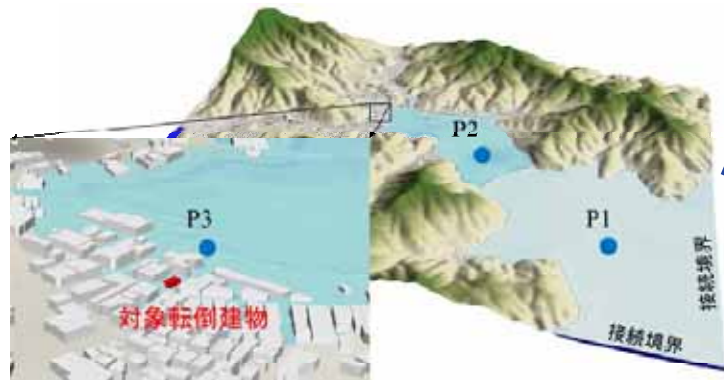
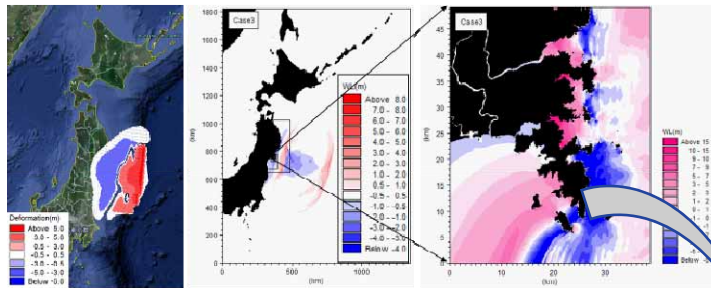
平面2D津波の計算結果と観測値との比較



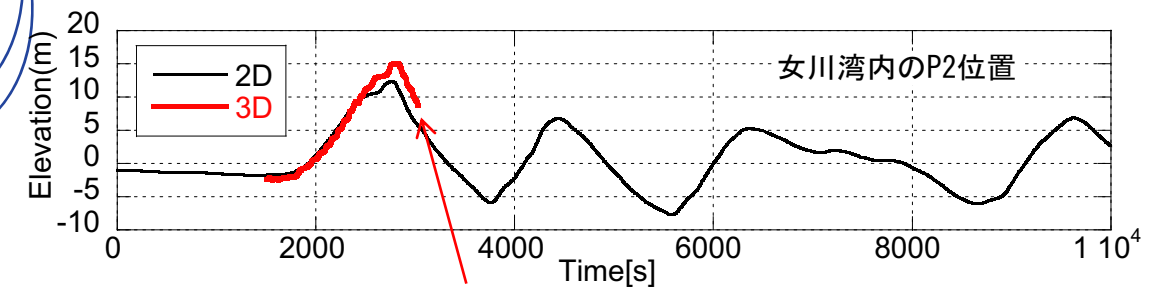
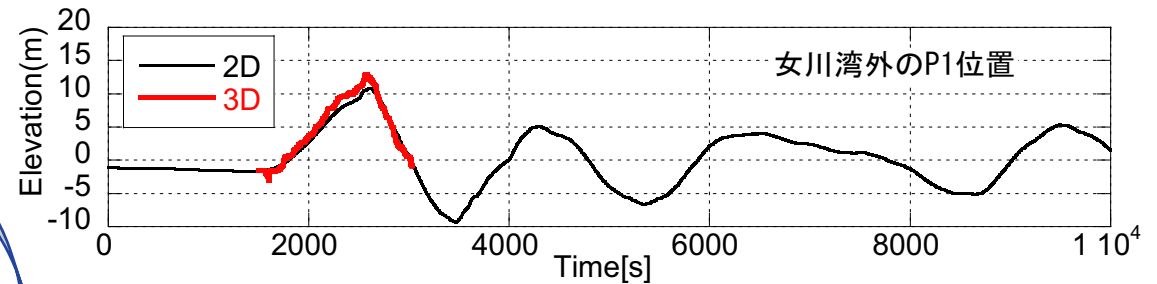
水位変動の観測記録と計算結果
(2D解析)は良好に一致



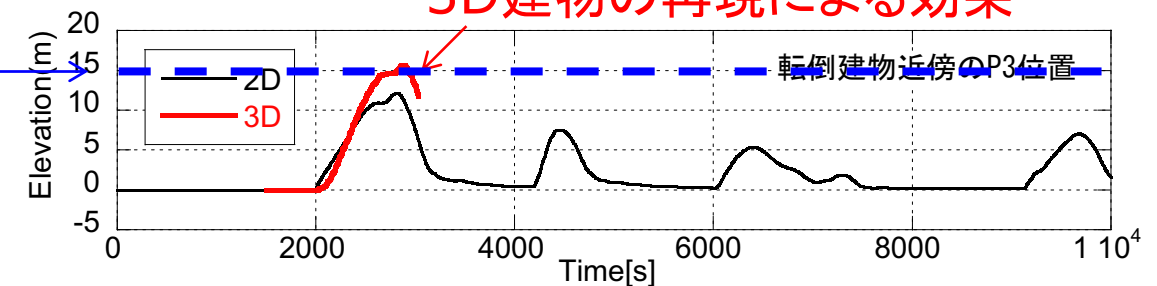
2D伝播・遡上計算と3D連携計算との比較



気象庁の調査による
女川漁港の浸水高: 14.8

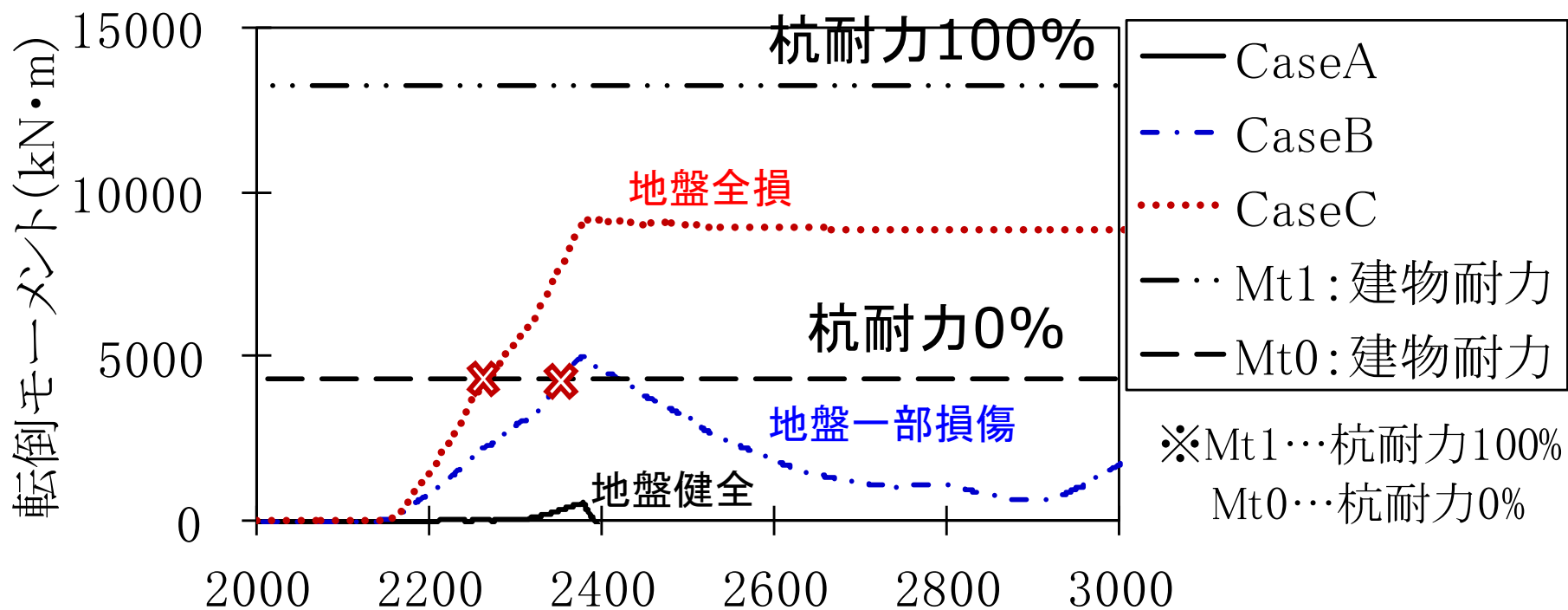


3D建物の再現による効果

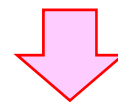


3D連携解析の妥当性を確認

実建物の転倒被害の評価を成功



地盤の一部損傷＋
杭の一部損傷による杭耐力の低下



複合被害による建物の転倒

謝辞

- 本検討は、東京工業大学の共同利用 および先端研究施設共用促進事業『みんなのスパコン』TSUBAMEによるペタスケールへの飛翔 トライアルユースによりTSUBAMEスパコンを利用した。ここに、記して謝意を表する。