地盤・建屋解析モデリング＆シミュレーションの成果と今後の展望

堀 宗朗（東京大学）
市村 強（東京大学）
河合 伸一（防災科学技術研究所）

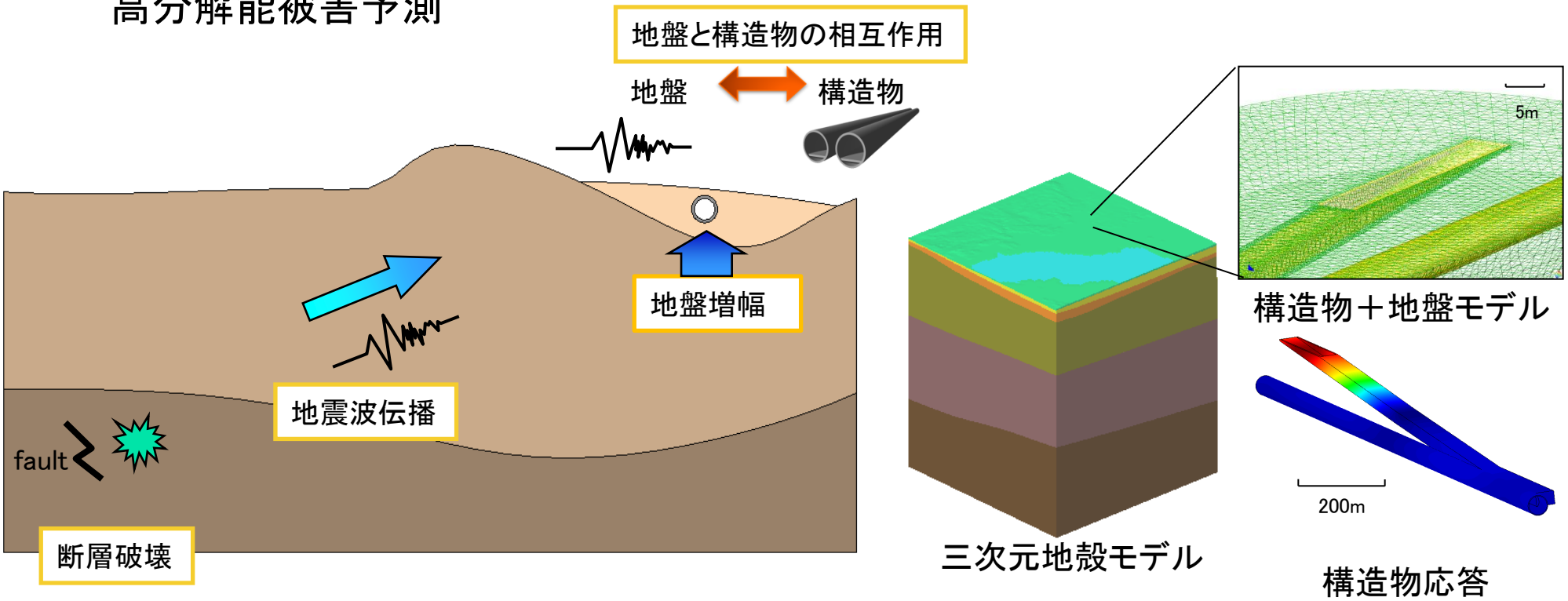
目次

- はじめに
- 断層-建屋解析を行うための階層型解析
  - 手法概要説明
  - 適用例
- 2007年中越沖地震を例とした断層-建屋解析
  - 中越地殻構造モデル及び建屋モデルを用いた解析
- 地殻構造モデルの高度化手法
  - 手法概要説明
  - 適用例
- まとめ

はじめに

断層モデル，三次元地殻・地盤構造，構造物を含む断層−構造物統合三次元モデルを構築し，大規模波動場解析によりシミュレーション．

シナリオ地震断層から構造物までを考慮した
高分解能被害予測

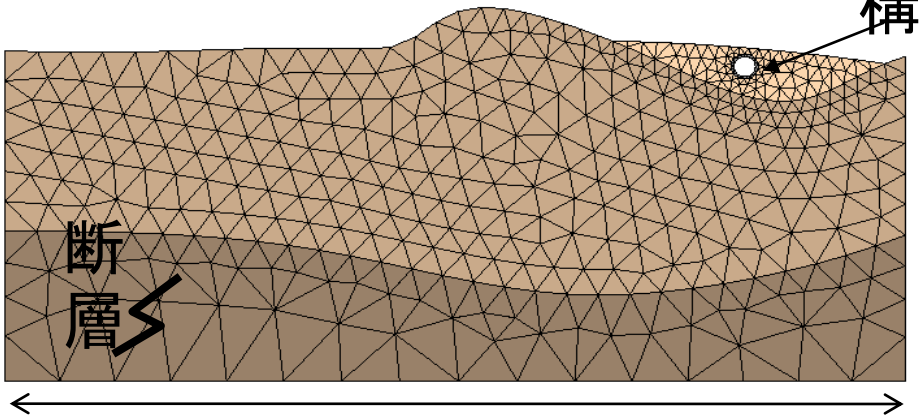


断層～構造系の数値解析での課題

断層～構造系の三次元数値解析モデル

対象周波数 10 Hz まで

構造設計変更のたびにこの計算を行う？



自由度のオーダー:

$10^{14} \sim 10^{15}$

対象領域: 10 ~ 100 km

分解能: 0.1~ 10 m

さらに. . .

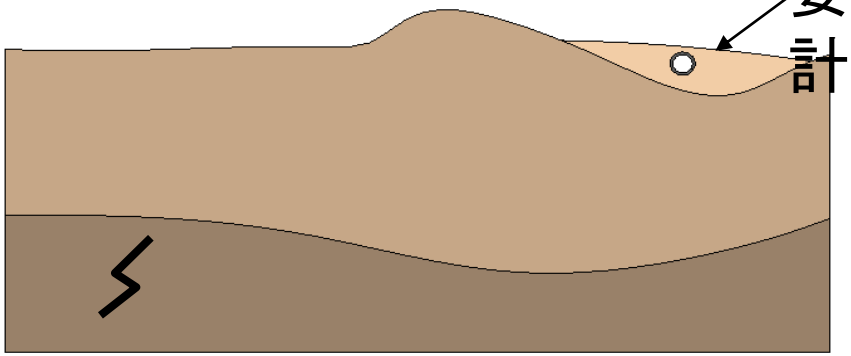
非線形性や破壊過程などで計算量増加

計算量が膨大となる

計算の大規模化とともに数理・物理的検討を加え，解決を図る

階層型解析によるアプローチ

要素サイズ小：
計算量増加の元凶

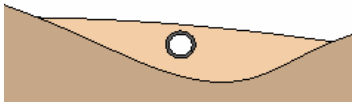


$$(c_{ijkl}u_{k,\,l})_{,i} - \rho\ddot{u}_j = 0.$$

直接解析

低分解能な解　高分解能な解

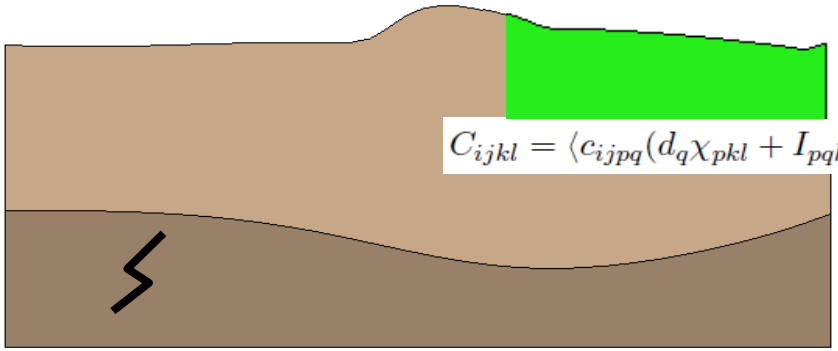
$$u_k \fallingdotseq u_k^{(0)} + \epsilon\ u_k^{(1)}$$



$$d_i(c_{ijkl}(d_l u_k^{(1)} + D_l u_k^{(0)}) - \rho\ddot{u}_j^{(0)} = 0,$$

ミクロ解析

＋



$$D_i(C_{ijkl}D_l u_k^{(0)}) - R\ddot{u}_j^{(0)} = 0,$$

マクロ解析

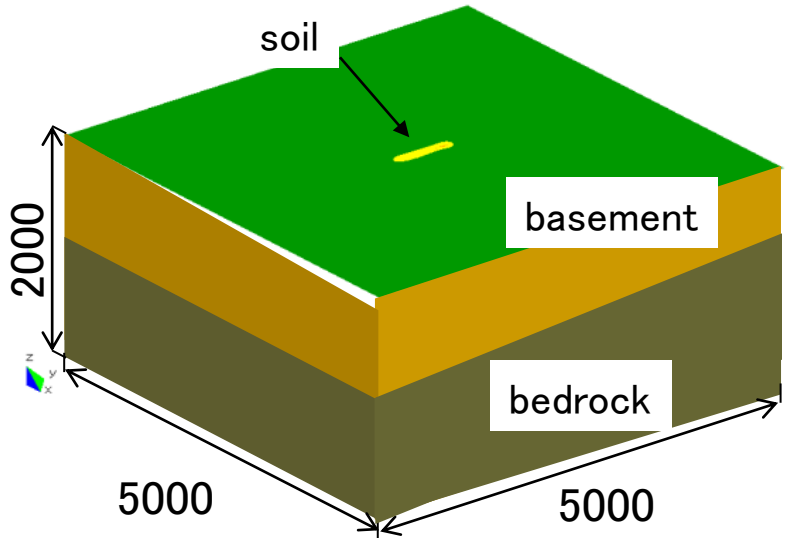
階層型解析

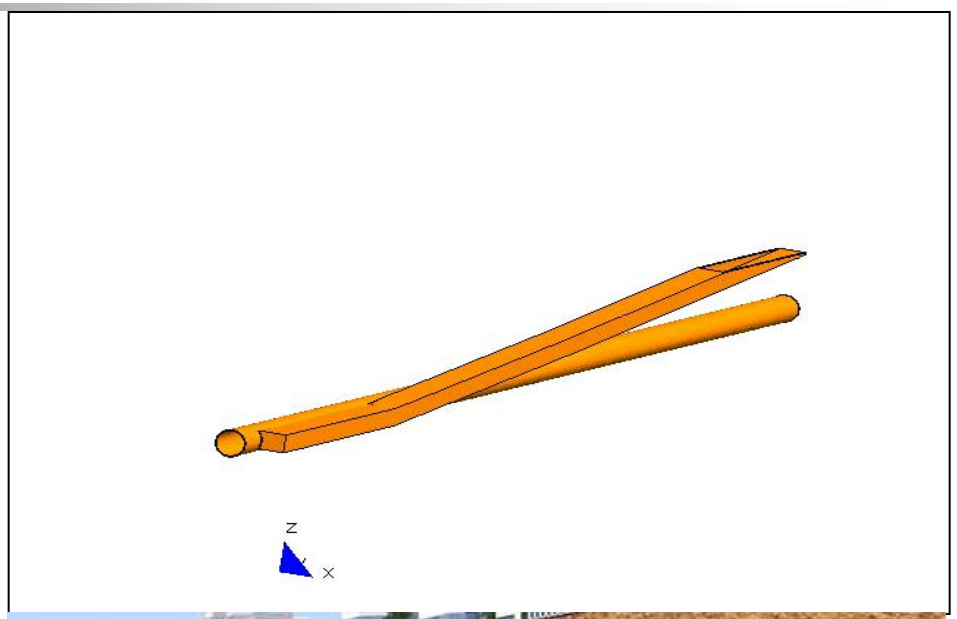
c_{ijkl} : elastic tensor
u_j : displacement function
ρ : mass density
$\dot{()}$: temporal differentiation
$()_{,\,j}$: partial differentiation
$X_i = \epsilon x_i$

R is an apparent density described by ρ
$D_i = \partial/\partial X_i, d_i = \partial/\partial x_i$

$\langle(.)\rangle$ stands for the volume average of $(.)$

数値検証–構造物応答



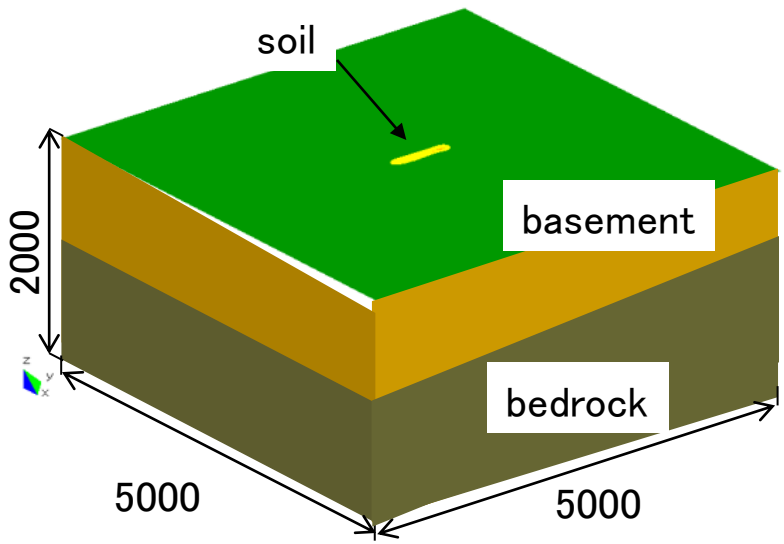


2Hzまで精度保証
リッカー波を下面より平面波入射

階層型解析の適用

計算量膨大

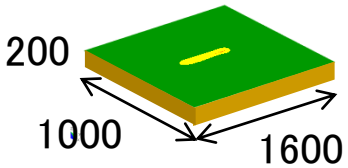
直接解析



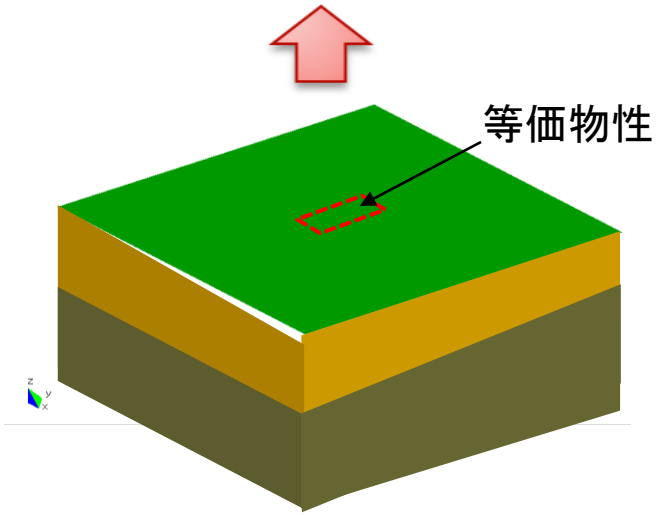
≒

計算量軽減

階層型解析

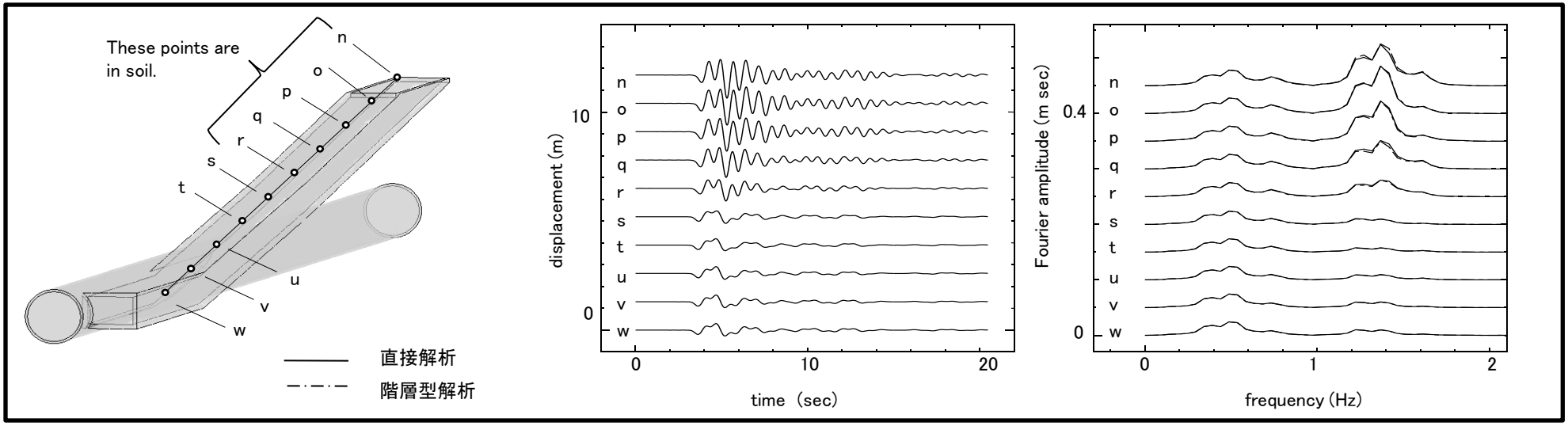


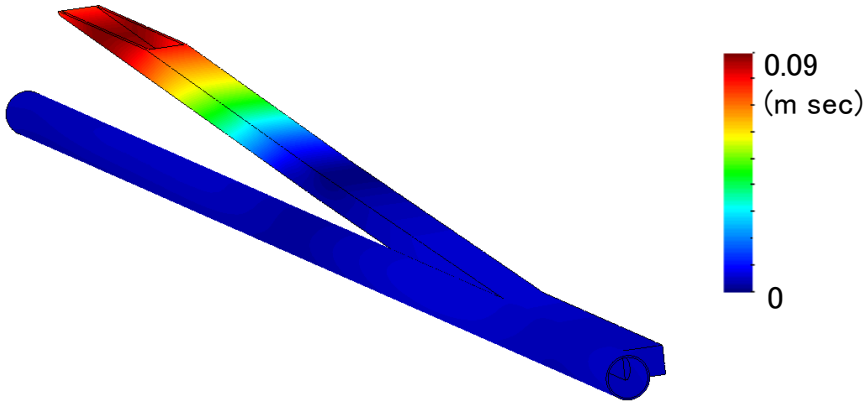
ミクロ解析



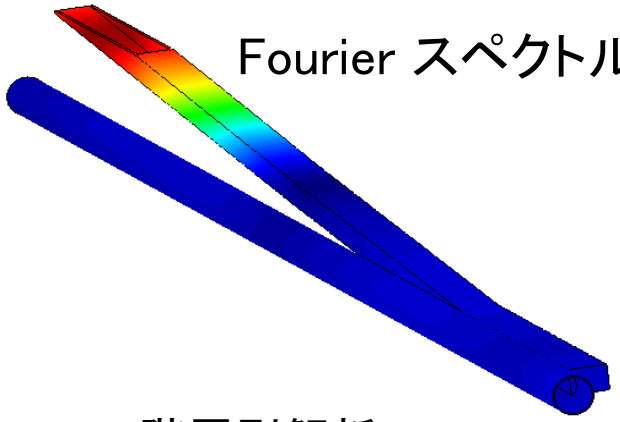
マクロ解析

数値検証





直接解析



Fourier スペクトル分布 at 1.4Hz

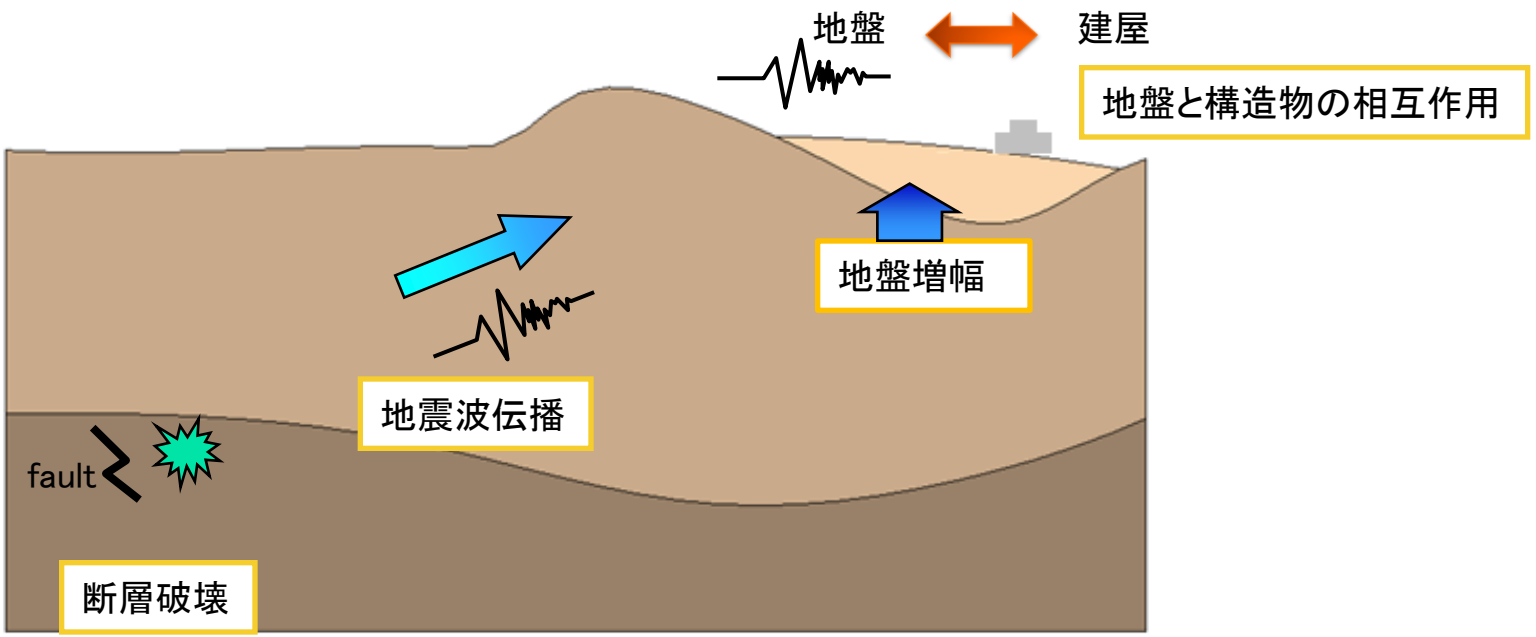
階層型解析

断層–建屋解析のモデリング＆シミュレーション

階層型解析を用いた断層–建屋解析

・中越地殻構造モデル及び建屋モデルを用いた解析

⇒地殻構造モデル高度化の必要性



成果と今後の展望

- 成果
  - 中越地殻構造及び建屋モデルを用いた解析実施
  - 地殻構造モデル高度化手法の基礎検討

- 今後の展望
  - より高周波数成分への拡張
  - 妥当性検討
  - 断層・地殻・地盤構造モデル高度化