都27-2-9-1 観測に基づく 都市の地震被害評価技術の開発

- ◆地震動・地震応答の大規模数値解析法の開発
 - 首都圏地震観測網(MeSO-net)で観測したデータの利用 (数値解析の入力データ)
 - 社会基盤構造物の地震被害評価技術の拡張の継続
 サブプロジェクト②と連携(地震被害評価の幅)
- 大規模数値解析結果の先端可視化技術
 都市地震被害の先端可視化技術の実用性の検討
 可視化技術のサブプロジェクト③への展開の検討を継続

観測データ(MeSO-net)

MeSO-netデータの利用

目的

高空間分解能の観測網の活用と先端的な数 理解析手法の適用により,地表面の任意の 地点における地震動の推定

成果

- データ駆動型モデリング手法の開発
- Group lasso

⇒低周波域(-0.2 Hz程度)で有効

課題

- 波動方程式・地下構造などの物理情報の 導入
- 点推定から面的な推定へ不連続な地震動
 イメージングの解消
- 推定に使用する観測点の選択





Mizusako et al. 2014

マルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC)

◆ MCMC: 確率分布からサンプリングを行う手法の総称
 ● レプリカ交換モンテカルロ法(REMC)を使用

- 多峰性のある確率分布から比較的
- 効率よくサンプリング可能
- ◆MCMCを用いて、MeSO-netの観測波形を説明する地下構 造を推定し、波動方程式に従うイメージングを行う



レプリカ交換モンテカルロ法

<u>レプリカ交換モンテカルロ法</u>

未知の確率分布を $p_i(x_i)$ とし、分布族 { $p_i(x_i|T_i)$ }を考える($p_i(x_i|T_i) \propto p_i(x_i)^{1/T_i}$).

- 1. 各々の分布 $p_i(x_i|T_i)$ に対してメトロポリス法 でサンプリング
- 2. 適当な間隔で、ランダムにiを決めr = $\frac{p_i(x_{i+1}|T_i) p_{i+1}(x_i|T_{i+1})}{p_i(x_i|T_i) p_{i+1}(x_{i+1}|T_{i+1})}$ を計算し、確率 min(l,r)で状態 $x_i \ge x_{i+1}$ を交換

分布族 p(x)からのサンプリング T=1 f_{0} f_{0}

<u>メトロポリス法</u>

- 1. ある初期状態xを適当に定める
- 2. 提案分布q(x'|x)に従って候補x'を 決める
- r = p(x')/p(x)を計算し、確率 min(l,r)で状態x'を採用する
- 4. 2-3を繰り返し、サンプリングする



解析解を用いた検証:半無限構造

半無限構造を仮定、地震波速度を未知パラメータとする



推定されたパラメータの事後確率分布



地震動イメージング結果



地震動イメージング結果



地震動イメージングの高度化に向けて

- ◆震源に依存しないイメージング手法の開発
 ◆推定に使用する観測点の選定
 ●非凸最適化法を用いた,ある地点の地震動推定に真に 有効な観測点選択手法の開発(石川・他 2016)
 - 即時的な推定に向けた,計算時間とメモリの削減
 - ●推定誤差評価つきの地震動スペクトルの推定へ



社会基盤施設のモデル自動構築



Yellow – Google Earth

Red – Filtered data for high way

Selected highway part

- 橋脚・橋桁・基礎構造物から構成
- CAD (Computer Aided Desing)とGIS (Geographic Information System)のデータ

AUTOMATED FRAME ELEMENT MODEL



without Cross-Section Data

Analysis model of low fidelity but small computational cost

AUTOMATED SOLID ELEMENT MODEL



MODEL COMPARISSON

Solid Element Model

- Element type linear tetrahedron
- No. of Nodes 21,663,728
- No. of elements 118,663,328

Frame Element Model

- Element type Timoshenko beam
- No. of Nodes 16,710
- No. of elements 16,698



1st modal shape in longitudinal direction

MODEL COMPARISSON 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

MODES OF SOLID ELEMENT MODEL





An automated solid element model presents intuitively reasonable estimation for first few modes (natural frequency and mode shape). Comparison with measured data is required, to validate the model quality.



◆CADとGISの二つのデータを使った、地震応答解 析の解析モデルの自動構築手法を開発

- ◆自動構築された解析モデルの検証
 ●フレームモデルとの比較
 ●モードの検証
- ◆橋梁構造物の解析モデルの自動構築は完成
 ●実測値との比較によるモデルの妥当性確認
 ●モデル自動構築手法の他の社会基盤施設への適用

建物モデルの信頼性サブプロ②との連携

個別建物シミュレーション

- ◆課題:自動構築された解析モデルの精度
 - ●合理的なモデル設定
 - ●建物情報の反映 ←建物種別, 築年代等のデータ 同種の建物種別であり、かつ、同じような築年代・形状でも建物特性には差
 - ●応答特性の精度 ←実観測データが必要
- ◆課題:解析結果の信頼性の向上
 - ●確率的な損傷評価法の導入
 - モンテカルロシミュレーションの代用となる点推
 - モデルの適用限界の検討
 自動構築されたモデルの妥当性

① 点推定とその推定精度 — 評価点数の影響(変数1次元の場合) —

■IESを利用した応答推定精度の確認

<解析条件>



- ・対象地区 :新宿区四ツ谷
- ・建物総数 : 7348棟(換算層数1~37層)
- ・入力地震動: El Centro波,地表面-50m入力 (地表面max. 337~710cm/s²)
- 計算方法 :時刻歴応答解析(平均加速度法)



図:建物モデル・層剛性モデル

- ・建物モデル:多質点せん断モデル
 (建物形状から設定)
- ・ 剛性モデル:完全バイリニア
- 粘性減衰:Rayleigh減衰
 (1,2次モード減衰定数:2~3%)

①点推定とその推定精度 — 評価点数の影響(変数1次元の場合) —

■IESを利用した応答推定精度の確認

<損傷推定のための適用PDF>



・Gram-Charlier展開 ⇒正規分布や対数正規分布に対してより高次の形状を表現可

$$p(y) = \left[1 + \frac{c_3}{6\sigma^3} h_3(\frac{y-\mu}{\sigma}) + \frac{c_4}{24\sigma^4} h_4(\frac{y-\mu}{\sigma}) + \dots\right] \phi(\frac{y-\mu}{\sigma})$$

$$h_k(y) = e^{\frac{y^2}{2}} \left(-\frac{d}{dy}\right)^k e^{-\frac{y^2}{2}} : I \mu = -h$$
 正規分布

$$c_i : + I \Delta = 2 + (I - + 2 + 2) + m_i$$
の関数)

①点推定とその推定精度 — 評価点数の影響(変数1次元の場合) —

■IESを利用した応答推定精度の確認

<評価点数と超過確率の推定精度>



① 点推定とその推定精度 — 評価点数の影響(変数1次元の場合) —

結論

- 3点推定の場合、1次(平均)の推定精度は良好であるが、2次(分散)の精度は必ずしも良くない
- パラメータの変動係数が推定精度を低下させる効果の定量的評価
- 評価点の増加が推定精度を向上させる効果の定量的評価



(点推定の推定値)≦(モンテカルロ法の推定値±10%)となる建物割合

②簡易モデルの適用性検討 — 剛性モデルの比較例 —

■モデル設定について(SRC建物)

<一般的な設定>

- ・モデル種別 Tri-linear型, Bi-linear型
- ・降伏耐力 $P_y \Rightarrow \mathbf{C} \cdot \operatorname{Ai} \cdot \mathbf{W}$
- ・弾性固有周期 $T \doteq (0.015 \sim 0.02) \times 建物高$
- Tri-linear 2次剛性 $k_{t2} \approx 0.2 \sim 0.3 k_{t1}$
- Tri-linearひび割れ耐力 $P_c = 1/3P_v$



スケルトンカーブの比較 地震時応答レベルの比較

<設計値に基づく剛性モデルの例※>



②簡易モデルの適用性検討 — 剛性モデルの比較例 —



②簡易モデルの適用性検討 — 剛性モデルの比較例 —



②簡易モデルの適用性検討 — 応答レベル・損傷評価結果 —



②簡易モデルの適用性検討 — 応答レベル・損傷評価結果 —





◆点推定の精度確認

●点推定の評価点数と推定精度について確認

◆簡易モデルの適用性検討

自動構築された解析モデルを使う「不確定性を考慮した応答解析」が、設計値に基づくモデルの損傷評価の近似となる可能性

◆今後の予定

個別建物損傷評価推定法の精度検証(続)
 個別建物損傷評価推定法の多次元問題への拡張

バイナリセンサ

廉価なセンサを用いて、構造物の損傷の有無を判 定(多数利用すると、部材の損傷の有無の判定)

◆層間変形角を計測する方法
 ●ジャイロセンサによる角速度を時間積分
 ●加速度計のバイアスの変化

◆地震応答解析による損傷指標の開発 ●MSSモデルを用いた弾塑性応答解析 ●「計測できる値」と「部材の塑性化」の関連付け





(43mm×27mm, 板厚 1.6mm)

試作2号機

- •加速度3成分,角速度3成分計測可能
- 16bit ADC で 100Hzサンプリング

廉価センサではノイズ(バ イアス)の除去が重要



角速度バイアスの時間変化



1軸振動実験の様子

角速度を計測し, バイアスを引い て時間積分し, 傾斜角を推定



加速度応答を用いた塑性の指標化の検討



近似直線の傾きと最大層間変形角の関係



◆小型6軸地震センサを改良

- 最大層間変形角および残留層間変形角を0.1deg 程度の精度で計測可能
- ◆MSSモデルを用いた弾塑性応答解析を行い,塑 性化の指標を検討
 - ●フーリエスペクトルの傾きを利用した,最大残留変形角の推定

◆Auto-Regressiveモデルを用いた塑性化判定

都27-2-9-2

大規模数値解析結果の先端可視化技術の開発

研究目的

地震被害評価は大規模数値解析の計算結果に基づく が、これには膨大な量の計算結果を効果的に可視化す ることが必須となる、3次元視とマルチスケールが可能 な可視化を開発するとともに、応急評価に使えるよう高 速処理も併せて実現する.

- H24 都市モデルの構築
- H25 都市地震被害の可視化
- H26 構造物モデルの高度化
- H27 都市地震被害の可視化の高度化
- H28 都市地震被害の可視化の有効性の検証

平成27年度都市地震被害の可視化の高度化

大規模数値解析法によって様々な都市地震被害データを 準備し、それらを前年度までに開発された先端可視化技術 を用いて表示することによって、地震被害の可視化の実用 性の確認を行う。

⇒<u>地震被害の可視化</u>

また, 地震被害の可視化のみならず、サブプロジェクト③に おいて得られた火災被害の解析結果の可視化を行い、開 発した可視化技術を高機能化して応用展開を図る。

⇒<u>火災被害の可視化</u>

平成27年度都市地震被害の可視化の高度化

地震被害/火災被害の可視化のイメージ



平成27年度 都市地震被害の可視化の高度化 地震被害の可視化:構造物損傷データ変換 異なる解析条件 <建物ID1> <損傷度1> <損傷度2> <損傷度3> <損傷度N> <建物ID2> <損傷度1> <損傷度2> <損傷度3><損傷度N> 1.0 0.80.6 0.4 0.2 0.0 (1層建物) (1~2層建物) (2~3層建物) 開発済みの先端可視化システム用データへ変換. 都市モデルデータの読込み 都市モデル上に表示.

平成27年度都市地震被害の可視化の高度化 地震被害の可視化:例



新宿区内の一街区の損傷度表示例.

平成27年度都市地震被害の可視化の高度化 地震被害の可視化:例



新宿区全体の損傷度表示例.黒いほど損傷度が大.

平成27年度 都市地震被害の可視化の高度化 火災被害の可視化:火災延焼データ変換

出火ID,建物ID1,火元建物ID,出火建物ID,着火時間,焼失時間 出火ID,建物ID1,火元建物ID,出火建物ID,着火時間,焼失時間

開発済みの先端可視化システム用データへ変換.



都市モデル上に,時刻ごとに表示. ・焼失前 :白 動画表示可. ・着火時間以降 :赤 ・焼失時間以降 :黒

平成27年度都市地震被害の可視化の高度化 火災被害の可視化:例



新宿区内の延焼状況の可視化例.

平成27年度都市地震被害の可視化の高度化 火災被害の可視化:例



新宿区内の延焼状況をブロック単位で可視化.