

7) - 4 極大地震時における建築物への入力機構の解明に関する研究 【安全・安心】

A Study on Seismic Input Mechanisms on Buildings Under Extreme Ground Motions.

(研究開発期間 令和元～3年度)

国際地震工学センター 中川博人
International Institute of Seismology and Earthquake Engineering Nakagawa Hiroto

In this study, we updated our ground motion prediction equations (GMPEs) based on the shallow and deep layers combined model. We then evaluated the ground motions due to earthquakes along the Sagami Trough using the GMPEs. In addition, a dynamic three-dimensional finite element (FE) code considering elasto-plasticity of soils was developed in order to investigate the effects of local nonlinearities around foundations on the seismic behavior of buildings. Furthermore, 1g shaking table test and its simulation analysis by the FE code was performed. It was confirmed that the local nonlinearities could have a significant effect on the dynamic behavior of buildings during earthquakes.

【研究開発の目的及び経過】

近年我が国で発生した地震において、建築物の耐震設計に用いられている設計用入力動を上回るスペクトルレベルの地震動が観測されている¹⁾。しかしながら、このような大きなスペクトルレベルの地震記録が得られた観測地点近傍では建物被害は軽微で「大加速度・小被害」となることも多い。大地震時には、建物基礎近傍の局所的な非線形性（近傍地盤の塑性化・剥離、基礎の滑り・浮き上がりなど）が建物挙動に及ぼす影響が指摘されており（例えば、2)³⁾、これら建物基礎近傍の局所的な非線形性による入力・応答特性の変化は、近年の被害地震の特徴である「大加速度・小被害」のひとつの要因となっている可能性がある。以上の背景より本研究では、建物基礎近傍の局所的な非線形性が大地震時の建物挙動に及ぼす影響の把握に資することを目的とする。

【研究開発の内容】

上述の背景及び目的を踏まえ、本研究では（１）地震観測記録および予測地震動に関する知見の収集・整理、（２）建物基礎近傍の局所的な非線形性が建物挙動に及ぼす影響の評価、を実施した。

（１）地震観測記録および予測地震動に関する知見の収集・整理

建築物への入力地震動という観点から、地震動のスペクトルレベルについて検討するため、本検討では多くの建築物が建つ関東地方で大きな地震動の生じることが懸念される相模トラフ沿いの巨大地震⁴⁾を対象に検討を行った。既往の地震動予測式⁵⁾に基づき、相模トラフ沿いの地震による地震動の評価結果を取り纏めるとともに、

内閣府⁷⁾より提供された防災科研の地盤モデル⁸⁾に基づき、既往の地震動予測式の係数を更新し、相模トラフ沿いの地震による地震動を再評価した（図1）。

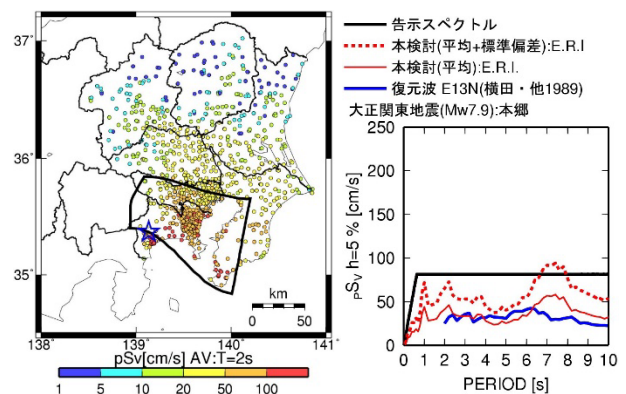


図1 大正関東地震タイプの震源モデル⁴⁾を用いた擬似速度応答スペクトルの再評価

（２）建物基礎近傍の局所的な非線形性が建物挙動に及ぼす影響の評価

前述のとおり、大きな振幅を持つ地震動が建築物へ入力される際には、基礎近傍の局所的な非線形性が建物の挙動に影響を及ぼす場合のあることが知られている（例えば、2)³⁾。本研究では建物基礎近傍の局所的な非線形性が建物挙動に及ぼす影響を検討するために、地盤－建物の連成系を対象とした非線形動的問題を扱うことのできる3次元時刻歴有限要素（FE）解析プログラムを開発した。開発したFE解析プログラムの検証のため、既往の試験や実

験に対するシミュレーション解析を行い、既往の試験や実験結果とおおむね対応する結果が得られることを確認した⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾ (図2)。

さらに直接基礎建物を対象として模型粘土地盤を作製し、地盤—建物連成系を対象とした重力場での振動台実験を実施するとともに、実験に対するシミュレーション解析を行い、地盤の構成則（応力—ひずみ関係）のモデル化の違いが、地震時の建物挙動に大きく影響を及ぼす場合のあることを確認した¹²⁾ (図3)。

【研究開発の結果】

内閣府より提供された防災科研の地盤モデルに基づき、既往の地震動予測式を更新し、相模トラフ沿いの地震による地震動を再評価した (図1)。また、建物基礎近傍の

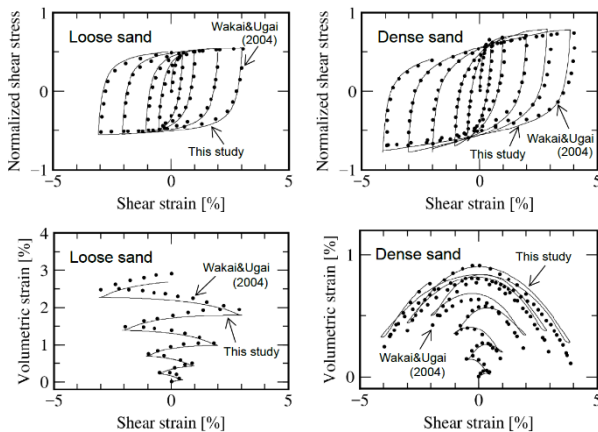
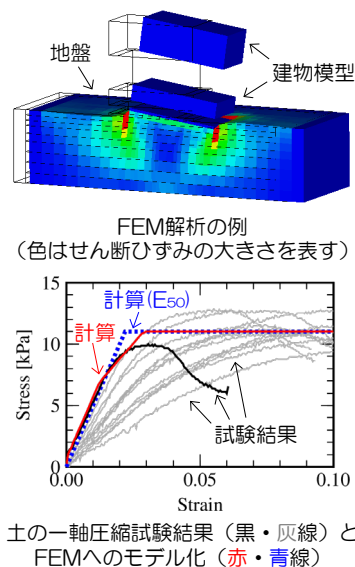
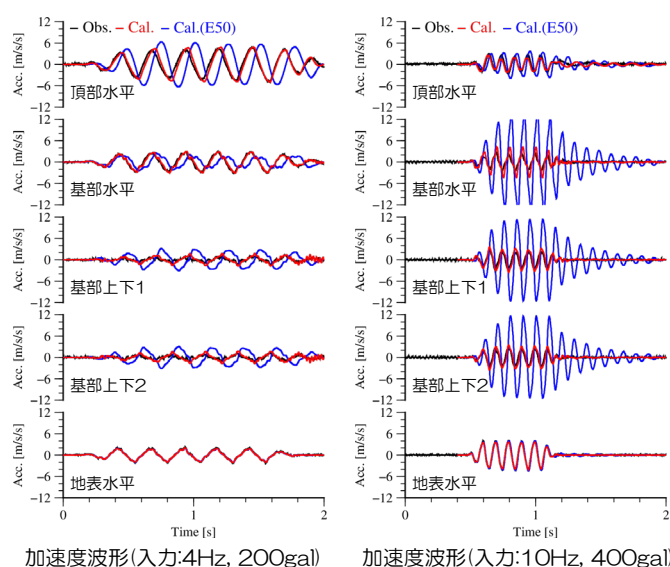


図2 砂の繰返しねじりせん断試験を対象としたシミュレーション解析結果¹⁰⁾



土の一軸圧縮試験結果(黒・灰線)とFEMへのモデル化(赤・青線)



加速度波形(入力:4Hz, 200gal)

加速度波形(入力:10Hz, 400gal)

図3 重力場における模型振動台実験の結果と3次元FEMによるシミュレーション解析結果の比較
局所的非線形性が建物挙動に及ぼす影響を検討するために、地盤—建物連成系を対象に非線形動的問題を扱うこ

とのできる3次元時刻歴有限要素(FE)解析プログラムを開発した(図2)。さらに地盤—建物連成系を対象とした重力場での振動台実験を実施するとともに、実験に対するシミュレーション解析を行って、地盤の構成則の違いが、地震時の建物挙動に大きく影響を及ぼす場合のあることを確認した(図3)。

【参考文献】

- 1) 国総研・建研(2016):平成28年(2016年)熊本地震建築物被害調査報告(速報), <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn0929.htm> (参照2022.3.31)
- 2) 宮本(2006):第8回構造物と地盤の動的相互作用シンポジウム, AIJ, 3-12.
- 3) 柏・他(2019):AIJ構造系論文集, **84**(756), 183-193.
- 4) 地震本部(2016):長周期地震動評価2016年試作版, https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/lpshm/16_choshuki/ (参照2022.3.31)
- 5) 佐藤・他(2019):AIJ構造系論文集, **84**(758), 501-511.
- 6) Satoh et al. (2021): Proc. ESG6, 10pp.
- 7) 内閣府:相模トラフ沿いの巨大地震等による長周期地震動検討会, <https://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/shutochokkatyoushuuki/index.html> (参照2022.3.31)
- 8) 地震本部(2021):関東地方の浅部・深部統合地盤構造モデル, https://www.jishin.go.jp/evaluation/strong_motion/underground_model/integration_model_kanto_2021/ (参照2022.3.31)
- 9) 中川(2020):AIJ大会学術講演梗概集, 137-138.
- 10) Nakagawa et al. (2020) Proc. 17WCEE, No. 4c-0050, 10pp.
- 11) 中川(2020):第48回地盤地震動シンポジウム, AIJ, 66-69.
- 12) Nakagawa et al. (2022): 3ECEES, 10pp. (投稿中)