

1) - 3 直下の地震による地震動と新しい基礎形式を有する建築 構造物への有効入力動の評価に関する研究【安全・安心】

Study on Ground Motion due to Near-Field Earthquakes and Effective Input Motion to Building with a New Type of Foundation

(研究期間 平成 28~30 年度)

構造研究グループ
Dept. of Structural Engineering

中川 博人
NAKAGAWA Hiroto

新井 洋
ARAI Hiroshi

Ground motion prediction equations for earthquakes along the Sagami Trough based on strong motion records were studied in order to contribute to develop a design input motion for high-rise and seismically isolated buildings. In addition, dynamic response analyses for the 2016 Kumamoto earthquakes and shaking table tests for a building with insulated pile foundation were conducted. It was confirmed from the analyses and the tests that nonlinear soil-structural interaction (e.g., gap caused between pile and soil, foundation uplifting) could have a significant effect on dynamic behavior of buildings during earthquakes.

【研究開発の目的及び経過】

近年、首都直下地震の切迫性が指摘されており¹⁾、その予測地震動²⁾³⁾は一部の地域で告示スペクトル（極稀）を凌駕する。また、最近の地震では、耐震設計において多用されている設計用入力動を周期 1~3 秒以下の帯域において大きく上回るレベルの地震動が観測され、杭基礎が被害を受けた事例が認められている⁴⁾。以上の背景を踏まえ本研究では、(1) 相模トラフ沿いの地震を対象とした地震動予測に関する検討、(2) 2016 年熊本地震を対象とした地震動・地盤震動および建物と地盤の動的相互作用に関する検討を実施するとともに、極稀地震以上の入力レベルに対する杭基礎の耐震対策として最もシンプルと考えられる、杭頭接合部を非接合とする新しい基礎形式（杭頭絶縁基礎）を対象に、(3) 杭頭絶縁基礎を適用した構造物の地震時挙動を解析的・実験的検討に基づいて評価することを目的とする。

【研究開発の内容】

(1) 相模トラフ沿いの地震を対象とした地震動予測⁵⁾
M8 クラスの相模トラフ沿いの地震の 50 年以内の発生確率はほぼ 0~10%⁶⁾であるが、ひとたび発生すれば超高層建築物が多数立地している⁷⁾関東地方で大きな長周期・長時間地震動が生じることが懸念される。また、プレートの沈み込みに伴う M7 クラスの地震の 50 年以内の発生確率は 80%⁸⁾と高い。そこで本研究では、相模トラフ沿いの地震に対する超高層建築物等のための設計用地震動策定に資するため、国内の強震観測記録に基づき、減衰定数 5%の加速度応答スペクトルと群遅延時間の平均値・分散の予測式を作成した。そして、大正関東地震、内閣府⁹⁾が想定しているフィリピン海プレートのスラブ内地震である都心南部直下地震への適用を行い、

大正関東地震の復元波⁷⁾や既往の計算波²⁾³⁾との比較を行った（図 1）。

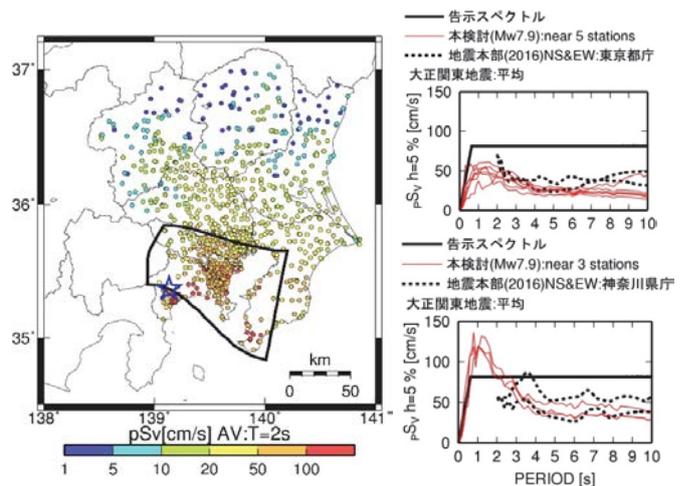


図 1 地震本部³⁾による大正関東地震タイプの震源モデルを用いた擬似速度応答スペクトルの評価⁵⁾

(2) 2016 年熊本地震を対象とした検討⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾

2016 年 4 月に発生した熊本地震では、数多くの木造建築物が甚大な被害を受けた。益城町中心部における木造建物の被害甚大地域は帯状に分布しており⁸⁾、地震動特性が場所により異なっていた可能性が考えられる。本研究では、現地での微動観測および地盤調査結果⁹⁾に基づき、地盤モデルの推定および強震動の試算¹⁰⁾を行い、定性的ではあるが、地盤の非線形増幅特性が被害甚大地域の地震動特性に影響を与えた可能性が示唆された。また、標準的とされる土の非線形特性¹²⁾では、当該地域の強震動を適切に評価できないことを指摘した（図 2）。次に、益城町庁舎の 1 階床上で観測された強震記録に含

まれる動的相互作用効果について検討し、KiK-net 益城と益城町役場の 2 地点においては地表地震動に大きな地震がないこと、益城町役場で観測された強震記録は杭—地盤間に生じる剥離を考慮した地盤—杭—建物の連成解析により概ね説明できることを示した (図 3)¹¹⁾。

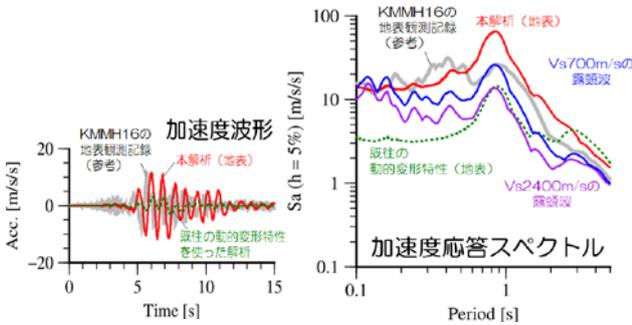


図 2 2016 年熊本地震の本震を対象とした被害甚大地域における強震動 (東西方向) の試算¹⁰⁾

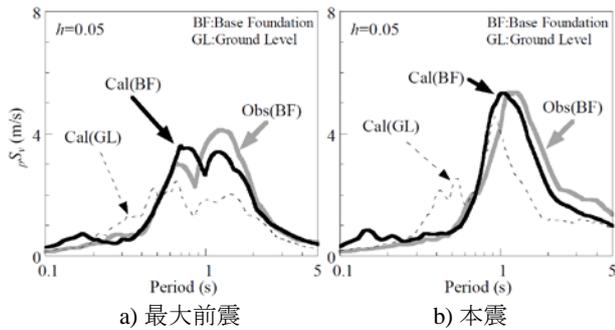
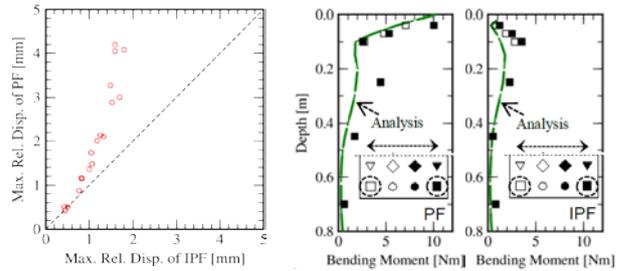


図 3 益城町役場を対象とした 2016 年熊本地震のシミュレーション解析¹¹⁾

(3) 杭頭絶縁基礎構造物の地震時挙動の評価¹³⁾

地震時に上部構造の慣性力に起因すると考えられる杭頭の損傷被害が報告されている⁴⁾。杭頭部の損傷被害に対する工夫として、最近では、杭頭とフーチングの間を非接合とする「杭頭絶縁基礎^{例 14)}」がある。ただし杭頭を非接合とすることで構造物の地震時挙動が、一般的な剛接された杭基礎に比べて複雑になり、上部構造の応答や杭に生じる応力状態が変化することが想定される。本研究では、杭頭絶縁基礎の地震時挙動把握のための一検討として、1G 場における振動台実験およびそのシミュレーション解析を実施した。実験およびシミュレーション解析の結果から、杭頭絶縁基礎構造物では杭基礎構造物に比べて上部構造の応答および杭頭の曲げモーメントが低減することを確認した (図 4)¹³⁾。しかしながら、3 次元有限要素法による等価線形解析では、上部構造の応答を十分に再現できなかった。その後実施した実験により、杭頭絶縁基礎構造物の場合には、地震時に鉛直地

盤反力がゼロになることがあり、上部構造の応答に浮き上がりを伴っていることが確認され、実験を精緻にシミュレーションするためには、上部構造の浮き上がり挙動を考慮できる手法を導入しなければならない可能性が示唆された。この点については、今後の検討課題のひとつとしたい。



a) 上部構造の最大層間変位 b) 杭の最大曲げモーメント

図 4 杭頭絶縁基礎を対象とした検討¹³⁾

(図中の PF は杭基礎、IPF は杭頭絶縁基礎を表す)

【研究開発の結果】

首都圏に大きな影響を及ぼす可能性のある相模トラフ沿いの地震を対象に地震動予測式に関する検討を行い、関東地方における比較的簡便な地震動予測を可能とした。

また、2016 年熊本地震に関する検討および杭頭絶縁基礎構造物等を対象とした振動台実験から、建物基礎近傍の局所的な非線形性 (杭—地盤間の剥離や基礎の浮き上がり) が大地震時の建物挙動に影響を及ぼすことを確認した。

【参考文献】

- 1) 地震本部(2018). https://www.jishin.go.jp/evaluation/long_term_evaluation/chousa_18feb_kakuritsu_index/ (参照 2019.3.25)
- 2) 内閣府(2013). <http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/shutochokkajishinmodel/> (参照 2019.3.25)
- 3) 地震本部(2016). https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/lpshm/16_choshuki/
- 4) 柏・中川(2018). AIJ 大会, 振動 PD 資料, 59-67.
- 5) 佐藤・他(2019). AIJ 構造系論文集, **84**(758), 501-511.
- 6) 中川(2017). 第 12 回日中建築構造技術交流会論文集, 10pp.
- 7) 横田・他(1989). AIJ 構造系論文集報告集, 401, 35-45.
- 8) 国総研・建研 (2016). <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutn/tmn0929.htm> (参照 2019.3.25)
- 9) Arai and Kashiwa (2018). Proc. 16ECEE, Paper No. 11255, 9pp.
- 10) 中川・他(2017). JAEE 大会, P4-7, 8pp.
- 11) 柏・他(2019). AIJ 構造系論文集, **84**(756), 183-193.
- 12) 古山田・他(2003). JGS 大会, 2077-2078.
- 13) Nakagawa et al. (2018). Proc. 16ECEE, Paper No. 10251, 10pp.
- 14) 山本・他(2016). JAEE 論文集, **15**(7), 343-353.