

令和元年6月6日現在

機関番号：33910

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K18192

研究課題名(和文)戸建て住宅を対象とした低コスト地盤調査を用いた液状化被害予測に関する研究

研究課題名(英文)Liquefaction damage prediction using low-cost ground survey for detached house

研究代表者

余川 弘至(YOKAWA, Hiroshi)

中部大学・工学部・講師

研究者番号：20736087

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：大地震が発生するたびに、地盤が液状化し戸建て住宅に傾斜や沈下などの被害が報告されている。これらの被害を軽減するために、本研究では、低コストで実施可能な地盤調査結果を用いた建築物の沈下を予測できる粒子法による解析プログラムを作製した。さらに模型振動台実験や現地調査を行い、被害状況やそのメカニズムを把握した。それらの結果の比較から、本提案手法によって、液状化による構造物の沈下や傾斜を概ね予測することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題における解析プログラムの開発および簡易地盤調査によって、戸建て住宅が抱える特有の問題を解決した液状化による構造物の沈下や傾斜を推定する手法を提案することができた。戸建て住宅における液状化被害が予測でき、設計者による施主に対する高精度な情報提供の実現性も見えている。現在、排水ドレーン工法や浮き基礎工法などの液状化対策工法の開発にも本手法が取り入れられており、今後の液状化対策の普及に大きく貢献するものと推察される。

研究成果の概要(英文)：Large earthquakes cause the liquefaction of the ground and further damage the detached houses such as settlements. In order to reduce these damages, in this study, we developed a numerical scheme by particle method called smoothed particle hydrodynamic method that can predict the settlement of buildings using low-cost and feasible ground survey results. Furthermore, model shaking table tests and field surveys were conducted to grasp the damage situation and its mechanism. From the comparison of those results, it was possible to roughly predict the settlement and inclination of the structure due to liquefaction by this proposed method.

研究分野：地盤工学

キーワード：液状化 戸建て住宅 数値解析(粒子法) 簡易地盤調査

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災では、浦安市などの埋立地において、地盤の液状化が発生し、戸建て住宅に傾斜や沈下などの甚大な被害が生じた。これまでの現地調査では、小学校や中学校などの公共施設、マンションなどの大型の建築物で杭の抜け上がり等の被害は生じていたものの、沈下や傾斜などの被害は確認できなかった。液状化による被害が戸建て住宅に集中した原因は以下の3つがあげられる。

(1) 法的な原因

戸建て住宅では、建築主事による構造計算の確認が省略されるため、液状化の危険性を判断するために必要な地盤調査が行われる必要が無く、液状化の危険性を十分に把握できない状態であった。

(2) 社会経済的な原因

バブル経済崩壊後の不景気などの社会経済的背景から、大地震時においても建物の倒壊を防ぐという観点から、上部構造が優先的に耐震されることとなり、地盤調査や液状化判定およびその対策などの地盤については、十分な耐震対策が取られることがなかった。その結果、人命は守れたものの、住宅という財産に大きな被害を受けた。

(3) 技術的な原因

建築基準法には液状化する地盤に対する明確な設計法が示されておらず、各種指針類を参考に液状化判定や液状化時の沈下量を把握する程度であり、建築物の沈下や傾斜を直接評価することができない。

法を含めた基準類等では、住宅性能表示制度などにより基礎を含めた液状化地盤の性能を評価するよう検討されつつあり、原因の解決が図られてきている。一方、社会経済的、技術的な原因に対しては、まだまだ多くの課題が残されてきている。

2. 研究の目的

大地震が発生するたびに、地盤が液状化し、戸建て住宅(4号建築物)に傾斜や沈下などの被害が生じる。この原因の1つとして、戸建て住宅では、建築主事による構造計算の確認が省略されるため、地盤設計に十分な配慮がなされていなかったことがあげられる。東日本大震災の被害を受け、基礎を含めた液状化地盤の性能を評価するよう検討が進められているが、液状化による建築物の沈下や傾斜を直接評価できる有効な方法は提案されていない。そこで本研究では、戸建て住宅の地盤調査で一般的に実施されるスウェーデン式サウンディング試験およびそれに付随した低コストで実施可能な地盤調査を用いた建築物の沈下・傾斜を予測できる粒子法による解析プログラムを作製し、液状化による構造物の沈下や傾斜を精度よく推定することを目的とした。

3. 研究の方法

解析プログラムに大変形の考慮できる構成式を導入し、重力場模型振動台実験の再現解析を行い、精度検証を行った。また、東日本大震災で被災をした地区でかつ既存のボーリングデータを有する地盤調査地区を選定し、同地区でスウェーデン式サウンディング試験、サンプリングおよび地下水位調査を実施した。その際得られたサンプリング試料を用いた土質実験を行い、材料定数を決定し、解析プログラムの材料パラメータとして利用した。予測解析の結果と既存ボーリングデータを利用した従来の液状化判定結果および被災状況を比較した。

4. 研究成果

(1) 解析プログラムの精度検証解析

作成した解析プログラムの精度検証を実施するために、模型振動台実験の再現解析を実施した。さらに、既存の高精度数値解析でも同様に再現解析を実施した。

図1に、模型振動台実験、LIQCA2D14を用いた有効応力解析(FEM)およびSPH法による2次元静的液状化解析の地震動終了後の変形状況を示す。数値解析結果に見られるグラデーションは、せん断ひずみを示している。各検討における住宅の沈下量は、実物スケールで表現すると、模型実験で1.00m、有効応力解析で1.35m、SPH法で1.37mとなり、有効応力解析およびSPH法ともにやや沈下量を大きく見積もる結果となった。SPH法の沈下量が模型実験や有効応力解析に比べて過大に評価された原因として、既往の研究(23)でも指摘されているとおり、液状化安全率FLが実際よりも危険側に(小さく)評価されたことが要因の1つとして考えられる。一方、住宅周辺の地盤変形に着目すると、SPH法では住宅近傍地盤のみが大きく変形し、住宅がめり込み沈下している様子が分かる。両解析とも地表面で盛り上がりの変形がみられるが、これは住宅の沈下に伴い、住宅直下地盤が圧力の小

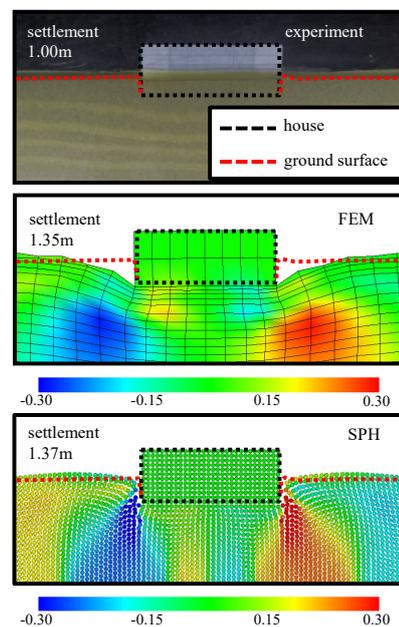


図1 再現解析結果

さい方向に移動しようとするためであり、側方さらには地表面に向かって移動したためである。空間離散化の方法の違いにより、SPH 法では住宅近傍で大きく地表面が盛り上がり、有効応力解析では、住宅近傍から側方の境界に向けて緩やかに地表面が盛り上がる結果となった。SPH 法では、沈下量を実際よりもやや大きく算定する可能性があるが、液状化後の構造物の沈下によって生じる地表面の変形挙動(めり込み沈下)を表現できることが確認できた。

(2) 低コストで実施可能な地盤調査および数値解析

東日本大震災時に液状化による被害を受けた茨城県神栖市内の木造 1 階建ての戸建て住宅を対象に、①PENNY、②サンプリング、③地下水位調査および④スウェーデン式サウンディング試験の 4 種の地盤調査を実施した。各地盤調査の調査状況および装置等を写真 1~3 に示す。写真 2 および写真 3 に示す通り、スウェーデン式サウンディング試験後にできた掘削孔を利用して、土質試料のサンプリングは可能であり、さらには地下水位も計測できることが分かった。



写真 1 PENNY



写真 2 サンプリング



写真 3 地下水位調査

次にこれらの地盤調査結果から得られた物性値を入力パラメータとして、被災状況の再現解析を実施した。図 2 に解析終了後の変形図を示す。図 2 中のグラデーションはせん断ひずみの分布を示す。図 2 に示す通り、住宅の左側(西側)の沈下量は 0.45m、右側(東側)の沈下量は 0.30m となり、その差は 0.15m となった。実際の被災状況は、左側(西側)と右側(東側)の沈下量の差は、0.30m であったことから、本研究で行った数値解析では、実際の沈下量を再現することはできなかった。これには、以下に挙げた要因が考えられる。

- ①地震および液状化の影響により、被災前後で地盤の状態が変化している可能性があること。
- ②震災時の地下水位を適切に表現していない可能性があること。
- ③実際は、3 次元(奥行)方向に地盤が変形し、住宅も傾斜した。しかし本研究手法は 2 次元解析であったため、奥行方向の変形は考慮できず、奥行方向に生じるべき地盤変形および住宅傾斜を再現できなかったこと。
- ④実被害で確認された噴砂現象を再現できていないこと。

一方、地盤調査を東西方向に 2 点計測し、さらに周辺の地形条件を考慮したことにより、住宅の西側が東側に比べて大きく沈下する傾向は再現することができた。

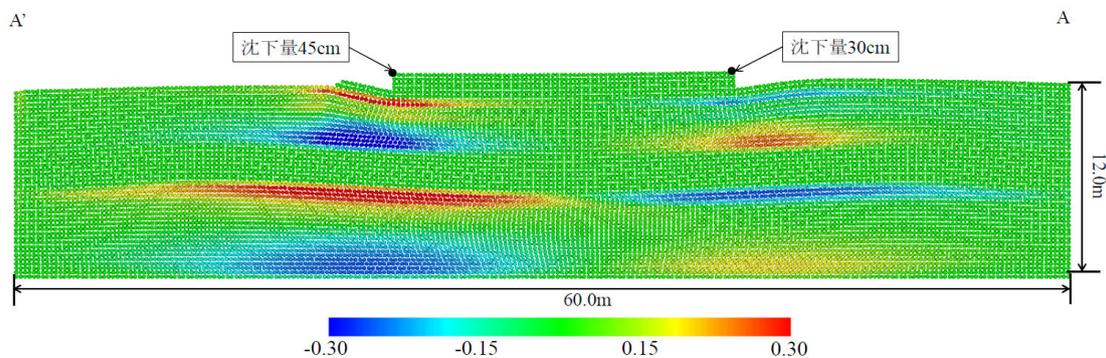


図 2 被災状況の再現解析結果

本研究課題では、液状化のような大変形を伴う変形を再現することのできる解析プログラムを作成しその精度検証を行った。また、戸建て住宅を対象に簡易地盤調査および簡易数値解析を用いて、液状化による被害の程度を把握することを試みた。

それぞれの検討結果から、以下の結論が得られた。

(1) 解析プログラムの精度検証解析

- ①本解析プログラムは、住宅の沈下量を実際よりもやや大きく算定する可能性がある。
- ②構造物の沈下によって生じる地表面の変形挙動(めり込み沈下)を表現できる。

(2) 低コストで実施可能な地盤調査および数値解析

- ①簡易地盤調査の結果を使った簡易数値解析による再現解析では、住宅の不同沈下の沈下傾向を再現することはできたが、実際の沈下量を再現することはできなかった。
- ②地盤調査ケツケに基づき地層の傾斜を数値解析に正しく入力できれば、住宅の傾斜方向は再現できる。
- ③数値解析のパラメータの感度分析を含めて、さらなる検討が必要である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

- ①余川弘至, 野々山栄人, 八嶋厚, Misko Cubrinovski, 吉原孝保, 杉井俊夫: 既設宅地を対象とした間隙水圧消散工法の2次元簡易液状化解析, 地盤工学ジャーナル, Vol. 13, pp393-401, 2018. (査読有)
- ②余川弘至, 久世直哉, 野々山栄人, 中村拓造, 中村充孝, 八嶋厚: 浮き基礎工法の液状化対策としての可能性, 中部大学工学部紀要, Vol. 53, pp15-21, 2018. (査読有)
- ③余川弘至, 野々山栄人, 八嶋厚, 吉原孝保: 液状化による戸建て住宅沈下を定量的に予測するための簡易解析, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 82, pp423-432, 2017. (査読有)

[学会発表] (計10件)

- ①余川弘至, 野々山栄人, 八嶋厚, 吉原孝保: 間隙水圧を考慮した簡易液状化解析による住宅の沈下予測, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2018.
- ②余川弘至, 八嶋厚, 村田芳信, 苅谷敬三, 吉原孝保, Misko Cubrinovski: 受動型直線微動アレイ計測および2次元表面波探査を用いた地盤調査～クライストチャーチ市内の宅地における調査事例～, 第53回地盤工学研究発表会, 2018.
- ③渡辺将成, 須田楓可, 村田芳信, 八嶋厚, 吉原孝保, 余川弘至, 津田裕也, 吉川達也: 地盤中に排水材を打設するための低振動低騒音型小型回転圧入装置の開発, 第52回地盤工学研究発表会, 2017.
- ④津田裕也, 余川弘至, 山田公夫, 八嶋厚, 吉原孝保, 渡辺将成: 人工ドレーン材を用いた液状化対策効果に関する研究, 第52回地盤工学研究発表会, 2017.
- ⑤杉井俊夫, 余川弘至, 浅野憲雄, 鈴木光, 武藤悠平: SH型貫入試験の波形データと粒度との関係, 土木学会第72回年次学術講演会, 2017.
- ⑥余川弘至, 杉井俊夫, 山牟田侑也, 津田裕也, 八嶋厚: 人工ドレーン材を用いた液状化対策工法の効果を確認するための模型振動台実験, 平成28年度土木学会中部支部講演概要集, 2017.
- ⑦Hiroshi Yokawa, Hideto Nonoyama, Atsushi Yashima, Yoshinobu Murata, Keizo Kariya, Takayasu Yoshihara and Toshio Sugii: Liquefaction analysis of house foundation based on simple ground survey, proceedings of 25th International Conference of the International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics, 2017.
- ⑧余川弘至, 野々山栄人, 八嶋厚, 吉原孝保, 津田裕也: 粒子法を用いた液状化時の戸建て住宅の被害予測解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), 2016.
- ⑨余川弘至, 野々山栄人, 八嶋厚, 村田芳信, 吉原孝保: 簡易地盤調査を利用した戸建て住宅の液状化被害の再現解析, 第60回地盤工学シンポジウム, 2016.
- ⑩Hiroshi Yokawa, Atsushi Kondo, Toshio Sugii, Hideto Nonoyama, Atsushi Yashima, Takayasu Yoshihara: Settlement Prediction of Detached House After Liquefaction Using Smoothed Particle Hydrodynamics Method, WCCM XII & APCOM VI, 2016.

6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 野々山 栄人

ローマ字氏名: (NONOYAMA, hideto)

研究協力者氏名: 八嶋 厚

ローマ字氏名: (YASHIMA, atsushi)

研究協力者氏名：CUBRINOVSKI Misko
ローマ字氏名：(CUBRINOVSKI, misko)

研究協力者氏名：村田 芳信
ローマ字氏名：(MURATA, yoshinobu)

研究協力者氏名：高田 徹
ローマ字氏名：(TAKATA, toru)

研究協力者氏名：徳山 義孝
ローマ字氏名：(TOKUYAMA, yoshitaka)

研究協力者氏名：津田 裕也
ローマ字氏名：(TSUDA, yuya)

研究協力者氏名：樋口 翔太郎
ローマ字氏名：(HIGUCHI, syotaro)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。