

事業の名称

低平地における液状化対策工法の効果の検証

〔事業責任者〕

(自治体側)

ひたちなか市・都市整備部・都市計画課長 堀川 滋

(大学側)

工学部・准教授 村上 哲

事業テーマ：自治体との連携

連携先

茨城大学，ひたちなか市

プロジェクト参加者

村上 哲（茨城大学・准教授 担当：全体統括）

堀川 滋（ひたちなか市・都市計画課長

担当：ひたちなか市の情報提供）

井上 亨（ひたちなか市・都市計画課長補佐

担当：ひたちなか市の情報提供）

渡部拓哉（ひたちなか市・公務係

担当：ひたちなか市の情報提供）

プロジェクトの実施概要

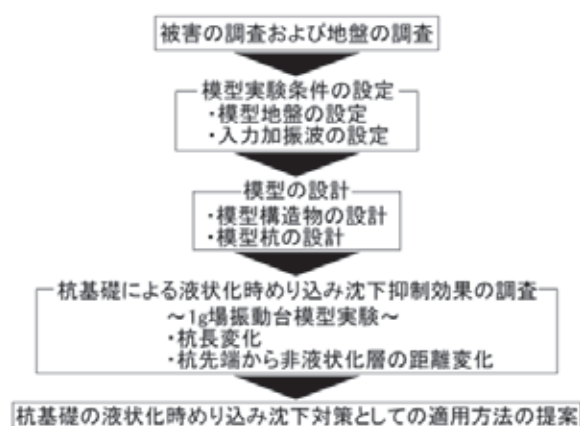
①プロジェクトの目的

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震により，液状化が東北地方および関東地方合わせて 1 都 12 県と広範囲で発生し¹⁾，住宅の沈下・傾斜による被害は平成 23 年 9 月 27 日時点で 26914 件に及んだ²⁾。

茨城県ひたちなか市田中後および海門町においても液状化による住宅の沈下が見られたが，軟弱地盤対策として杭基礎を使用した住宅において，液状化層が薄い田中後では沈下による被害が見られず，液状化層が厚い海門町では沈下による被害が見られた。既往の研究³⁾により，杭が液状化対策として有効であることが示されているが，液状化層厚と杭長の具体的な関係性は明らかにされていない。そこで，本研究では，液状化層厚と杭長の関係に着目し，杭基礎による液状化時のめり込み沈下抑制効果を調査するとともに，めり込み

沈下対策としての杭基礎の適用方法の提案を行うことを目的とする。

図－1 に研究の流れを示す。実験条件の設定および模型構造物の設計を行い，1g 場振動台模型実験装置を用いて，杭基礎による模型構造物の液状化時めり込み沈下抑制効果について調査する。その実験結果を用いて，液状化時めり込み沈下対策としての杭基礎の適用方法の提案を行う。



図－1 研究の流れ

②連携の方法及び具体的な活動計画

連携の方法は，各連携先の役割を分担し定期的に打ち合わせを実施する。

- ・茨城大学：1g 場振動台模型実験装置を用いて模型実験を行い，杭基礎による液状化時のめり込み沈下抑制効果を調査する。さらに，ひたちなか市ハザードマップの情報提供を行う。
- ・ひたちなか市：ひたちなか市での住宅被害のヒアリング調査や液状化対策のガイドライン作成等を行う。また，ひたちなか市の地盤情報や住

3. 杭基礎によるめり込み沈下への影響に関する考察

3.1 実験ケースとめり込み沈下量

本実験では、全 15 ケースの実験を行った。実験ケースの名称を CASE 液状化層厚：杭長と表記しており、例えば、液状化層厚 340 mm、杭長 220 mm を用いた実験ケースは CASE34:22 である。ここで、めり込み沈下量は構造物が地盤内へめり込む量を定量的に示すものである。図-3 に構造物沈下量および地盤沈下量の時刻歴を示す。図-4 に構造物沈下および地盤沈下の発生タイミングの違いを示す。図-3 および図-4 より、構造物沈下が大きく発生するのは、加振中である。地盤沈下が大きく発生するのは、加振終了後である。ここで、地盤沈下は過剰間隙水圧の消散により行われることが分かっている。したがって、杭基礎がめり込み沈下に影響を及ぼすタイミングは、構造物が沈下する加振中であると考える。

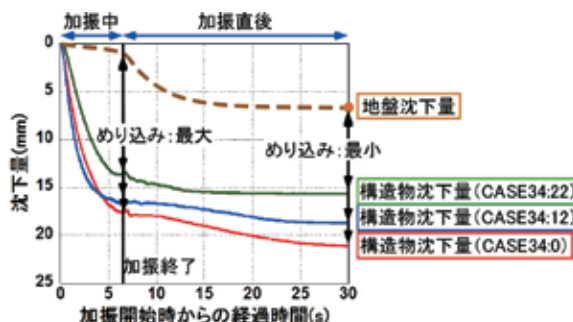


図-3 構造物沈下量と地盤沈下量の時刻歴

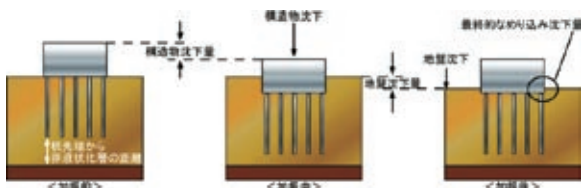


図-4 加振前中後における沈下発生タイミングの違い

3.2 杭基礎によるめり込み沈下抑制効果

図-5 にめり込み沈下量と液状化層厚の関係を示す。図-6 にめり込み沈下量と杭先端から非液状化層までの距離の関係を示す。図-5 より、液状

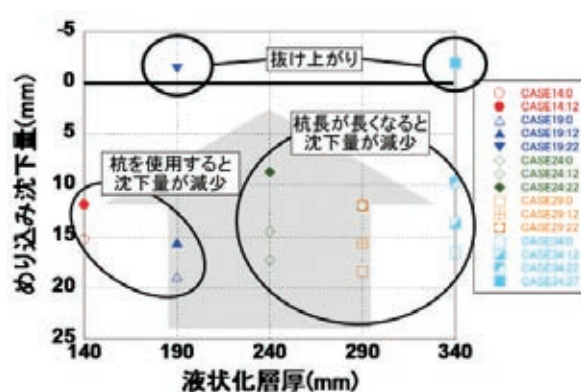


図-5 めり込み沈下量と液状化層厚の関係

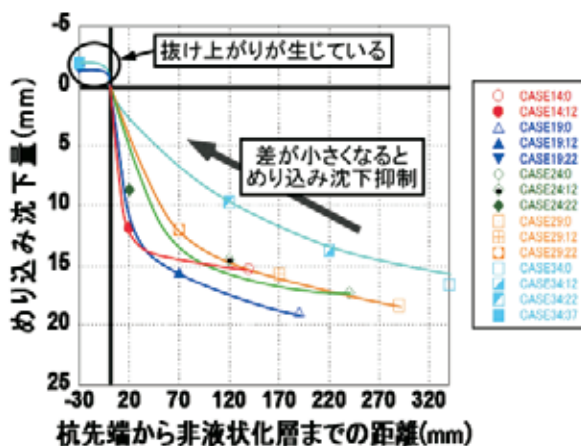


図-6 めり込み沈下量と杭先端～非液状化層までの距離の関係

化層厚ごとに杭基礎によるめり込み沈下抑制効果が見られ、杭を長くすることによって、めり込み沈下量および構造物直下地盤の圧縮量が減少することが分かる。図-6 より、杭先端から非液状化層までの距離が短くなることで、めり込み沈下量が減少傾向にあることが分かる。また、杭先端から非液状化層までの距離が等しい場合、液状化層が厚い程、めり込み沈下量が小さくなることが分かる。したがって、杭を長くするだけでなく、杭が非液状化層に近いとめり込み沈下量を抑制する効果が得られると考える。

3.3 杭基礎によるめり込み沈下への影響

杭によりめり込み沈下が抑制された要因には、過剰間隙水圧比の大きさおよび消散開始時間が関係していると考えられる (図-7 参照)。消散開

始時間を比較すると、CASE34:0では約17～18秒、CASE34:22では約14～15秒と違うことから、杭を構造物直下地盤に挿入した際に地盤の相対密度が増加したことが要因と考えられる。そして、周辺地盤の相対密度と違いが生じたために、杭と地盤が一体化したことが考えられる。

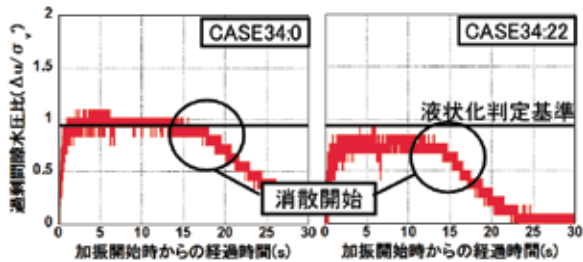


図-7 W4における過剰間隙水圧比の違い

杭先端から非液状化層までの距離が短くなるに連れて、めり込み沈下抑制効果が現れた要因は、図-8の構造物直下地盤の圧縮量と杭先端から非液状化層の距離の関係から分かる。距離が短くなるに連れて、圧縮量が減少する傾向が見られることから、圧縮領域の減少によりめり込み沈下量も減少することが考えられる。

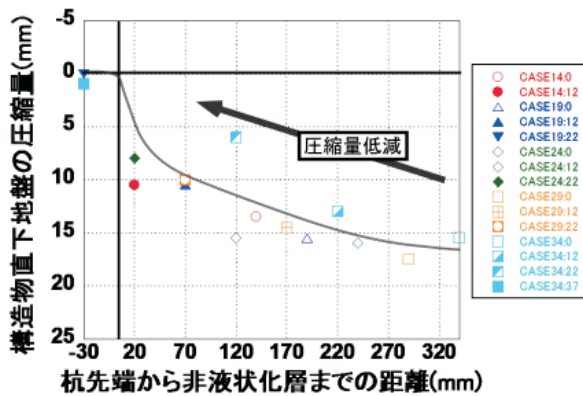


図-8 構造物直下地盤の圧縮量と杭先端非液状化層の距離

液状化層が厚くなるに連れてめり込み沈下抑制効果が現れた要因として、上載圧による側方の拘束が大きいため、構造物直下地盤の側方へはらみ出す砂の量が少なくなることが挙げられる。はらみ出す分の砂が構造物直下にとどまることで、圧

縮する力に対して反力が生じると考える（図-9参照）。

上記3つの要因は液状化発生中に影響するものである。以上より、杭基礎を使用したときのめり込み沈下抑制のメカニズムは図-10のようになると考えられる。

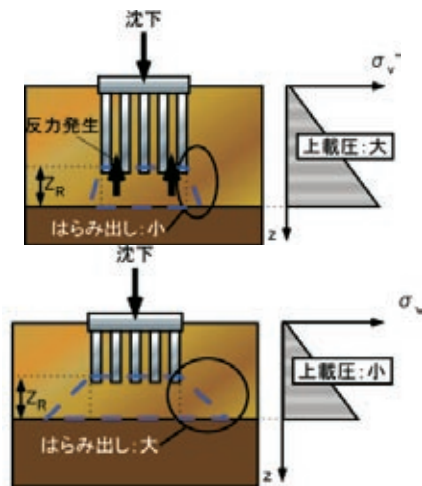


図-9 上載圧によるはらみ出し量の違い

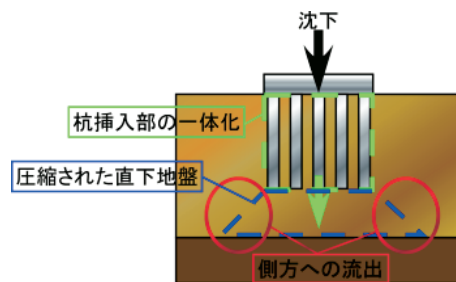


図-10 めり込み沈下抑制のメカニズム

4. 杭基礎のめり込み沈下対策としての適用方法の提案

4.1 実験結果を用いた実地盤の沈下量算出

実験結果から、杭基礎には非液状化層に貫入せずともめり込み沈下を抑制する効果をもたらすことが分かった。図-11にめり込み沈下比と杭長と液状化層厚の比の関係を示す。図-11は、杭使用時のめり込み沈下量が無対策時と比較し、液状化層厚と杭長の比に対してどれだけ低減するかを示すものである。例えば、めり込み沈下量を無対策時の半分に低減したい場合、液状化層に対して0.9倍の杭長を用いる必要がある。実地盤での

無対策時のめり込み沈下量が分かれば、任意の杭長における沈下量の抑制効果を図-12のように評価することができる。

以上より、CASE34:22の实地盤における杭使用時のめり込み沈下量 S_m を算出した。表-1の算出に用いた値より、杭使用時のめり込み沈下量 $S_m=0.087$ mであった。これは、戸建て住宅のめり込み沈下の許容値 150 mm^4 の約6割に相当することから、实地盤においてもめり込み沈下抑制効果が得られると期待できる。

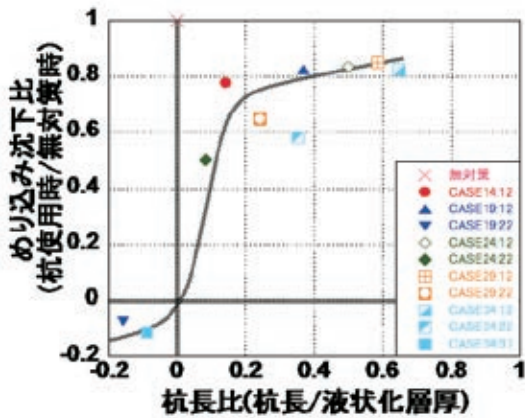


図-11 めり込み沈下比と杭長比の関係

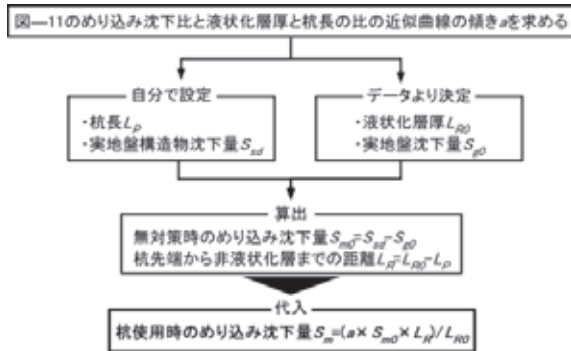


図-12 杭使用時めり込み沈下量算出手順

表-1 本実験結果を实地盤に換算したときの各算出値

変化の割合 a	1.649	实地盤沈下量 S_{g0}	0.66 m
杭長 L_p	12.1m	杭先端から非液化化層の距離 L_R	6.6 m
液化化層厚 L_{R0}	18.7m	無対策時のめり込み沈下量 S_{m0}	0.15 m
構造物沈下量 S_{sd}	0.81m	杭使用時のめり込み沈下量 S_m	0.087 m

4.2 めり込み沈下対策としての適用方法提案

杭基礎を液化化時めり込み沈下対策として適用する場合、戸建て住宅のめり込み沈下をどの程度許容するかが重要な点である。めり込み沈下の許容値が決定されれば、図-12により杭長を決定することが可能となる。めり込み沈下を許容しない場合、非液化化層まで杭を貫入する。以上のように、液化化時のめり込み沈下対策として杭基礎の適用方法を提案する。しかし、図-3に示すように、加振中は杭使用時においても構造物沈下量と地盤沈下量の差が大きいため、ライフラインの寸断が考えられる。したがって、構造物とライフラインの接続部を可動式にするなど配慮が必要である。

5. 結論

- 1) 杭を長くすることでめり込み沈下量が減少する。これは杭を構造物直下地盤に挿入したことで、相対密度増加による地盤の一体化により、液化化の程度が小さくなったことが考えられる。
- 2) 杭先端から非液化化層までの距離が短いとめり込み沈下量が減少する。これは構造物直下地盤の圧縮する領域が小さいことが要因として考えられる。液化化層が厚い程、構造物直下地盤の側方へのはらみ出しが小さいことも要因の1つであると考えられる。
- 3) CASE34:22におけるめり込み沈下量を、实地盤に置き換えると、許容値にめり込み沈下量が収まっていた。このことから、杭基礎を用いることで、非液化化層に貫入せずとも、めり込み沈下抑制効果を得られた。
- 4) 沈下を許容する場合、目標とするめり込み沈下量を設定し、図-11および図-12により杭長を決定する。沈下を許容しない場合、杭を非液化化層に貫入する。ただし、構造物の接続部を可動式にするなど配慮が必要である。

6. アウトリーチ活動

本研究の成果を地域社会へ還元するためのアウトリーチ活動

トリーチ活動は以下のとおりである。

- ・ひたちなか市で作成している液状化ハザードマップ解説書（仮名）において、戸建て住宅の液状化被害防止および低減技術について、本研究の成果を紹介するとともに、地域住民が対策の必要性や効果の理解を促進する地域社会還元を行なっている。このひたちなか市の液状化ハザードマップ解説書（仮名）は、平成 27 年度公開予定である。
- ・平成 25 年度から本プロジェクトで取り組んでいる活動について、NHK の TV 番組「あさイチ」（2015 年 3 月 11 日放映）に地域自治体と大学が共同で取り組んでいる活動のひとつとして紹介された。番組の反響は大きく、より一層の研究成果が社会還元される期待の大きさを再認識した。

②プロジェクトの達成状況

杭長、液状化層厚、めり込み沈下量の関係性について 1g 場振動台模型実験装置を用いて明らかにした。

また、得られた結果は地域住民に配布する防災マップの個別対策方法の紹介に掲載され、地域貢献に大きく寄与することができた。

さらに、地盤調査会社および住宅基礎メーカーとの協力を得ることができ、産官学連携と地域貢献へのより強固な体制を作ることができた。

③今後の計画と課題

- ・数値解析を実施し、解析的に杭基礎の効果を調査する。
- ・地下水位や地盤の相対密度の変化と杭基礎の液

状化時沈下抑制効果の関係性を明らかにするため 1g 場振動台模型実験を行う。

- ・液状化層が厚い海門町のような地区を対象とした液状化時沈下抑制対策工法としてジオシンセティックスに着目し、その効果について 1g 場振動台模型実験装置を用いて調査する。
- ・地域住民に対するアウトリーチ活動を行い、地域貢献に寄与する。
- ・引き続き産官学連携と地域貢献への強固な体制を維持、拡大していく。
- ・構造物傾斜効果についても明らかにする

謝辞

本研究を進めるにあたり、室山拓生（川崎地質・課長代理）、塚田義明（旭化成建材・マネージャー）の協力を頂いた。付記して謝辞を表します。

参考文献

- 1) 若松加寿江：2011 年東北地方太平洋沖地震による地盤の再液状化，日本地震工学論文集，pp69-88, 2012.
- 2) 安田 進：造成宅地の地震被害と課題，地震工学会誌，第 61 巻，第 4 号，pp1-5, 2013.
- 3) 野口武彦・村上 哲・小峯秀雄：杭基礎を用いた戸建て住宅の液状化時沈下抑制効果の実験的検証，第 49 回地盤工学発表会，pp1-2, 2014.
- 4) 造成宅地の耐震対策に関する研究委員会：造成宅地の耐震対策に関する研究委員会報告書－液状化から戸建て住宅を守るための手引－，地盤工学会関東支部，2013.