

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)

茨城大学・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

2011年3月11日、日本で観測史上最大となるM9.0の平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震が発生し、日本各地に甚大な被害をもたらした。茨城県では、噴砂や地盤沈下に伴う構造物の傾斜などの被害が生じた。また、戸建住宅では構造的な被害に比べ、傾斜を生じた住宅被害が多く報告され、大きな社会問題となっている¹⁾。一方、茨城県ひたちなか市では、杭基礎を使用した戸建住宅の一部で、液状化による構造物傾斜の被害が確認されなかった。このことから、杭基礎が構造物沈下抑制に効果的であると考えられる。そこで本研究では、杭基礎による液状化時の構造物沈下抑制効果に注目する。

図1に本プロジェクトの流れを示す。まず、液状化の被害が顕著であった茨城県ひたちなか市で現地調査を行い、地盤情報について整理を行う。

次に、その地盤情報から実験条件を決定し、1g場振動台模型実験装置を用いて杭基礎の液状化時沈下抑制効果を実験的に検証する。

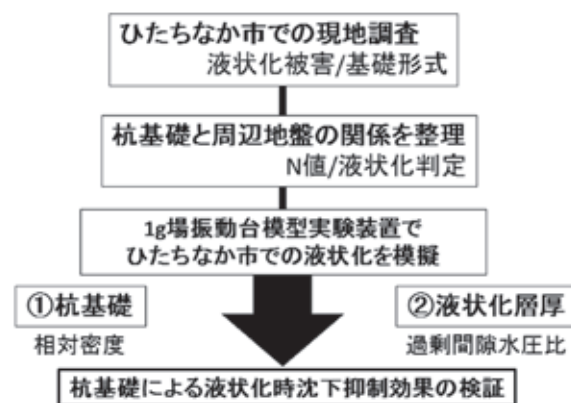


図1 本プロジェクトの流れ

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な打ち合わせを実施する。各連携先の役割は以下の通りである。

- ・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、杭基礎と液状化層厚の関係を明らかにする。
- ・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宅基礎情報等を提供する。
- ・川崎地質：周辺地盤の情報を整理する。液状化強度 F_L 値、液状化指数 P_L 値を算出し液状化ハザードマップを作成する。また、周辺地盤の情

報提供を行う。

- 旭化成建材：対象地域の住宅基礎の整理を行う。また、液状化時沈下抑制対策について情報提供を行う。

③期待される成果

杭基礎による新設住宅の液状化時沈下抑制対策を提案できる。また、この研究が今後起こりうる、巨大地震による液状化時の構造物傾斜被害の対策になると考える。

プロジェクトの実施成果

①活動実績

以下に、活動実績について示す。

1. ひたちなか市での現地調査と地盤情報の整理

図2に示す茨城県ひたちなか市の田中後地区、海門町地区を対象地域とし、住宅の被害状況について調査を行った。その結果、田中後では杭基礎を使用した8棟の住宅全てにおいて液状化による被害が無かった。一方、海門町では杭基礎を用いた全住宅において沈下被害が報告された。そこで、田中後と海門町の地盤についてボーリングデータ²⁾を基に調査した。図3に田中後(B-3)および海門町(B-24)の液状化抵抗率 F_L 値と液状化指数 P_L 値を示す。図3より、田中後の液状化層(砂層)は5.15m、海門町の液状化層は17.80mで両地域の液状化層厚に大きな相違を確認した。これより、液状化層厚が薄い地盤では、液状化時構造物沈下抑制対策として杭基礎が有効であると考えられる。

また、田中後地区の5地点および海門町の10地点において、液状化判定を行ったところ、海門町の1地点(B-16)を除く14地点で液状化危険度が高いという結果を得た。ひたちなか市による液状化被害ヒアリング調査³⁾によると、田中後で噴砂や道路被害、海門町では家屋の半壊や全壊、噴砂などが確認されている。このことから、液状化被害と液状化判定が対応していることを確認した。田中後と海門町の液状化判定 P_L 値と F_L 値



図2 現地調査地点(ひたちなか市)

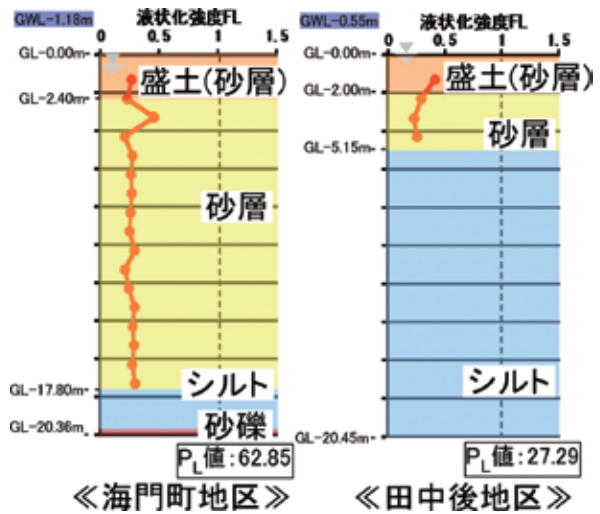


図3 田中後地区および海門町の液状化判定

については、「道路橋示方書・同解説V耐震設計H24.3(社)日本道路協会」⁴⁾に準じて算出した。

2. 1g場振動台模型実験

2.1 実験概要

本研究では、1g場振動台模型実験装置(図4参照)を用いて、液状化による戸建住宅周辺地盤の挙動を把握した。地盤材料は豊浦砂(土粒子の密度 $\rho_s=2.650\text{g/cm}^3$)を用いて、地盤を作製した。この時、液状化層は目標相対密度 $Dr=30\%$ 、非液状化層は目標相対密度 $Dr=70\%$ に設定した。

模型作製時には支配方程式を用いて、基本的な実地盤と模型の相似則を考え、実物と模型の長さの比を $\lambda(=l_p/l_m)$ とした。液状化判定を行う際、地表面から20m以内にある飽和土層を対象とし

ているので液状化判定深度は 20m、模型土槽の高さ l_m は 390mm であるから $\lambda=51$ となる。相似則 (1/51) を考慮して、模型構造物、模型杭および杭の間隔を決定した。模型構造物 (幅×高さ×奥行き: 190mm×15mm×170mm) は重さ 0.7kg のアクリル製であり、一般的な住宅を模擬している。模型杭の寸法は杭径 9.8mm、長さ 78mm のアクリル製であり、25 本を模型構造物直下に 1 本あたり 12.92mm^2 ごとに設置した。また、測定器として変位計 5 個、間隙水圧計 6 個、加速度計 3 個を図 4 のように設置した。

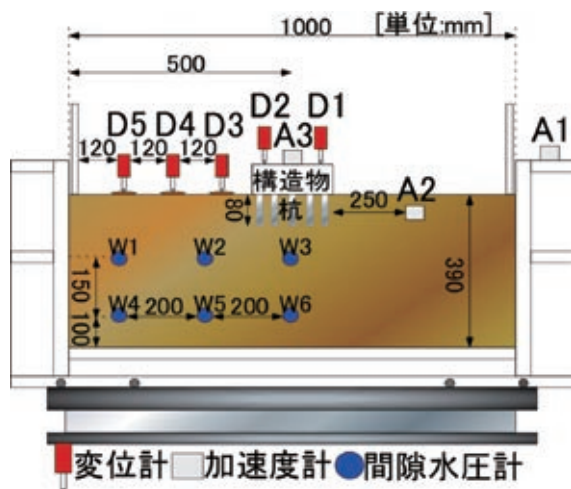


図 4 1g 場振動台模型実験装置概略図

2.2 実験手順

以下に本研究における実験手順を示す。

- (1) 炉乾燥させた豊浦砂を用意し、バイブレーションを用いて、非液状化層を作製した。その後、空中落下法を用いて、液状化層を地盤高さ 390mm まで作製した。ここで、液状化層厚の相違に着目した実験を行うため、液状化層厚は実験条件ごとに变化させた。
- (2) 注水装置により、土層底部から水を注水し、地下水位を地表面まで上昇させた。
- (3) 地下水位上昇後、測定器、模型構造物および模型杭を設置し、土層を 5Hz の正弦波、入力加速度 200gal で 6 秒間加振し、構造物と地盤の変位、応答加速度、間隙水圧を測定した。

3. 液状化層の相違に着目した杭基礎の液状化時沈下抑制効果の検証

表 1 に実験条件および構造物の沈下量を示す。本研究では、液状化層厚を変化させ、4 ケースの実験を行った。また、CASE1 は海門町地区、CASE3 は田中後地区の液状化層厚を基に実験条件を決定した。

表 1 実験条件および沈下量

液状化層厚	杭挿入前		杭挿入後	
		沈下量 (mm)		沈下量 (mm)
340mm	CASE1-1	17.3	CASE1-2	18.3
190mm	CASE2-1	14.9	CASE2-2	13.0
90mm	CASE3-1	12.3	CASE3-2	8.5
40mm	CASE4-1	0.9	CASE4-2	0.2

3.1 液状化層の相違が加振後の構造物鉛直変位に及ぼす影響

図 5 に構造物沈下量と液状化層厚の関係を示す。図 5 より、液状化層が厚くなると沈下量も増加していくことが確認できる。これは、液状化が発生すると地盤の支持力が低下し、構造物の自重により地盤が破壊し沈下が発生するためと考えられる。また、液状化層が薄くなると、地盤破壊範囲が狭くなるため沈下量が減少したと考えられる。

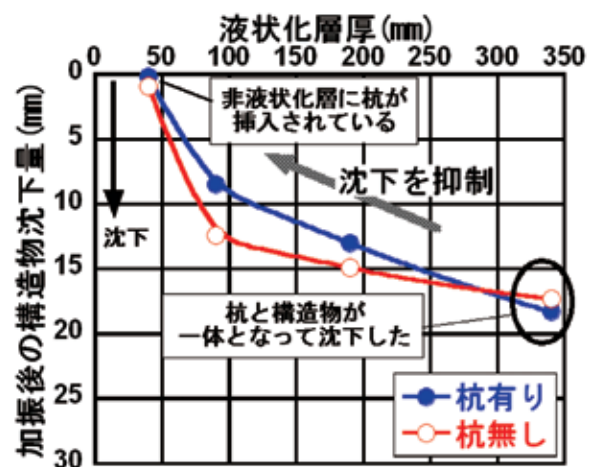


図 5 構造物沈下量と液状化層厚の関係

3.2 杭基礎の有無が加振時の構造物鉛直変位に及ぼす影響

構造物直下地盤の幅 170mm × 高さ 80mm × 奥行き 190mm の範囲から相対密度を調べたところ、杭挿入前の相対密度は 30%、杭挿入後の相対密度は 56% で杭挿入後に相対密度が高くなっていることがわかった。また、構造物の沈下量も低減していることが確認できた。この要因として、砂は相対密度が増加するにつれて液状化強度も増加するため⁵⁾、杭の挿入後による相対密度の増加が構造物直下地盤の液状化を抑制し、沈下を低減させたと考えられる。図 6 に杭基礎を挿入した場合における加振時の構造物および地盤状態のメカニズムを示す。杭を挿入すると、相対密度が増大し、砂粒子同士の結びつきが強くなることで液状化の発生を抑制する。それと同時に構造物の沈下も減少することができると考えられる。

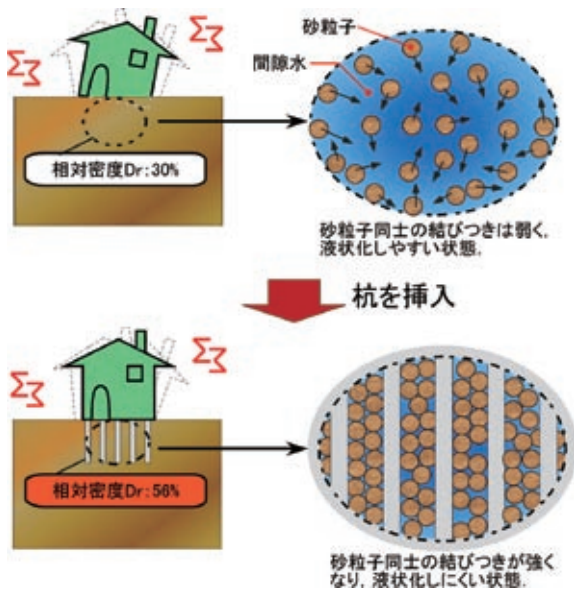


図 6 杭基礎を挿入した場合における加振時の構造物および地盤状態

3.3 杭基礎使用時の構造物沈下予測手法の提案

図 7 に杭基礎を用いた場合の構造物沈下量と無対策の場合の構造物沈下量を比で表した構造物沈下比と液状化層厚の関係を示す。構造物沈下比は次の式を用いることにより算出する。

$$\text{構造物沈下比 } R_s = \frac{\delta_l}{\delta_o} \quad (1)$$

ここに、 δ_o は無対策の構造物の沈下量、 δ_l は杭基礎を使用した構造物の沈下量である。図 7 より、CASE2、CASE3 および CASE4 では沈下比が 1.0 を下回っていることから、杭基礎による沈下抑制効果が発揮されたと考えられる。また、液状化層が薄くなるにつれて抑制効果は大きくなっている。CASE1 については、液状化層が厚く、地盤の支持力回復に多くの時間を要したために杭と構造物が一体となって沈下し、沈下量が大きくなり沈下抑制効果が認められなかった。すなわち図 7 より、本実験条件では液状化層厚が 200mm 以下の時に、杭による沈下抑制効果が発揮されることがわかった。

現在、液状化時の地表面沈下算定法として石原・吉嶺の手法が広く使われている⁶⁾。本研究では、この手法で得られた沈下量から対象とする地盤の液状化層厚の構造物沈下比を用いて、杭基礎を使用した場合における構造物直下地盤の沈下量の算出方法を提案する。図 8 に杭基礎を用いた構造物沈下量予測フローを示す。一般に、液状化による沈下量が大きくなれば、構造物被害も大きくなるとされている。そのため、杭基礎を使用した場合における構造物の沈下量を算出し、沈下量から構造物への被害を予測することで、杭基礎が対象地盤で有効か判断する指標になると考える。

表 2 に提案した手法で得られた田中後地区 (B-3) および海門町地区 (B-24) の沈下量予測例を示す。表 2 から、田中後は沈下量が 0.06m 低減していることを確認した。海門町では構造物沈下比が 1.0 を超えているので沈下量の変化は無いこととした。また、沈下量が低減している田中後では、杭基礎を用いた住宅において液状化被害が確認されなかった。沈下量に変化していない海門町では、杭基礎を用いた住宅においても液状化被害が顕著であった。これより、液状化層厚の薄い地盤では杭基礎を用いると地盤沈下を低減し、同時に構造物への被害も抑えることが考えられる。

表2 沈下量予測例

	R_s	δ (m)	δ_I (m)
田中後	0.68	0.19	0.13
海門町	1.00	0.65	0.65

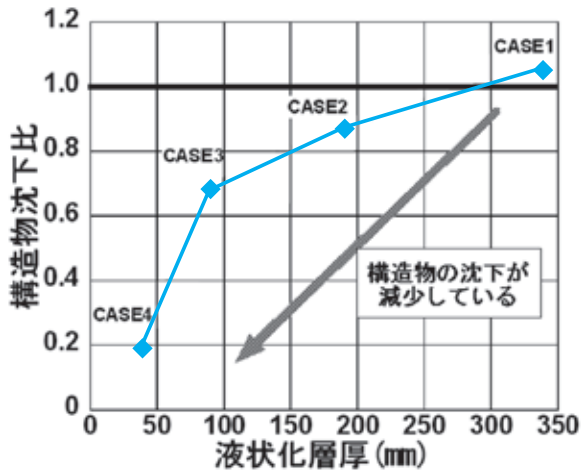


図7 構造物沈下比と液状化層厚の関係

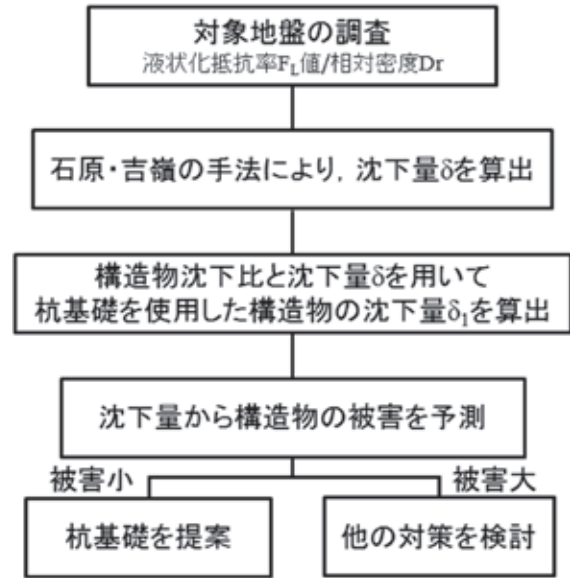


図8 構造物沈下量予測フロー

4. 結論

本研究では、得られた知見を以下に示す。

- (1) 1g 場振動台模型実験より、液状化層厚が 250mm 以下の CASE2, 3, 4 でそれぞれ沈下比が 0.87, 0.68, 0.19 となり、杭基礎の液状化時沈下抑制効果が発揮されることを明らかにした。
- (2) 杭基礎を挿入することで、構造物直下地盤の相対密度が 30% から 56% に増加する。相対密度が増加したことによって、液状化の発生を抑制し、構造物の沈下も低減することを確認した。
- (3) 構造物沈下比と石原・吉嶺の手法を用いると杭基礎を用いた構造物の沈下量を算出できることを明らかにした。これより、田中後地区と海門町地区の構造物沈下量を算出したところ、液状化被害の無かった田中後の沈下量は 0.06m 低減、液状化による被害が顕著であった海門町では沈下量に変化は無いことが確認された。そのため、液状化層厚に応じた杭基礎を用いると地盤沈下を低減し、同時に構造物への被害も抑えることができる

と考えられる。

〈参考・引用文献〉

- 1) 中井正一：東京湾岸における液状化被害の分析と対策，日本地震工学会誌，pp.39-42, 2013.
- 2) ひたちなか市役所：第2回ひたちなか市液状化対策検討委員会，2013.
- 3) ひたちなか市役所：第1回ひたちなか市液状化対策検討委員会，液状化対策に係る基本方針（案）—別添付資料—，2013.
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2012.
- 5) 兵藤正幸，内田一徳：粘性土の動的性質 2. 粘性土の動的問題の分類，土と基礎，46-6 (485)，pp.53-58, 1998.
- 6) 国土交通省 都市局 国土技術政策総合研究所：液状化被災市街地における地下水位低下工法の検討・調査について（ガイダンス（案）），2013.

② プロジェクトの達成状況

杭基礎と液状化層厚の関係性を 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、地域住民へ配布する防

災マップの戸別対策方法の紹介に掲載されることになり、地域連携はもとより、地域貢献に大きく寄与することができた。

また、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出来き、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

今後の計画

- ・杭基礎の長さや液状化層厚の関係を詳細に検討するための実験条件を変えて1g場振動台モデル実験を行う。
- ・被災状況と建物基礎構造との関係のヒアリング調査結果を詳細に分析し、モデル実験結果と実際の被災事例との比較を行い、実験の妥当性を検

証する。

- ・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より強固な体制を維持、拡大していく。

課題

- ・構造物傾斜抑制効果についても明らかにする。
- ・深い液状化層を有する海門町についての液状化時沈下抑制対策工法を提案する。

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。