1g 場振動台模型実験装置を用いた杭基礎による戸建住宅の液状化時沈下抑制効果

茨城大学　学生会員　○野口武彦
茨城大学　正会員　村上哲
早稲田大学　正会員　小峯秀雄

1．はじめに

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沈下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着目し，1g 場振動台模型実験装置を用いて杭基礎による液状化時沈下抑制効果について実験的に検証する．

2．ひたちなか市での現地調査と地盤情報の整理

図 1 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全住宅において液状化による構造物沈下被害が確認されなかった．一方，海門町では杭基礎を用いた全住宅において液状化による被害が報告された．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]を基に調査を行ったところ，田中後(B-3)では海門町(B-24)と比較して液状化層(砂層)が約 10m 薄く，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，杭基礎が液状化時沈下抑制対策として有効であると考えられる．

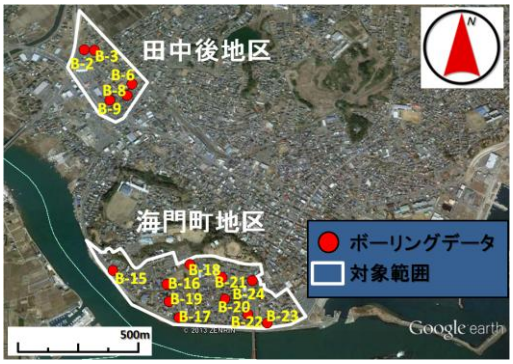

図 1 ひたちなか市調査地点(Google earth より)

3．1g 場振動台模型実験

本研究では，1g 場振動台模型実験装置(図 2 参照)を用いて，杭基礎を使用した戸建住宅周辺地盤の液状化時の挙動を把握した．地盤材料は豊浦砂(土粒子の密度 ρ_s=2.650g/cm^3)を用いて，地盤を作製した．また，液状化層を目標相対密度 D_r=30%，非液状化層を目標相対密度 D_r=70%に設定した．

一般的な住宅を模擬して作製した模型構造物(幅×高さ×奥行き：190mm×15mm×170mm)は重さ 0.7kg のアクリル製である．模型杭(杭径×杭長：9.8mm×78mm)はアクリル製の 25 本を使用し，構造物直下に等間隔で設置した．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 2 のように設置した．

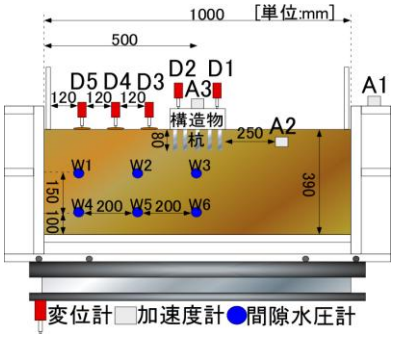

図 2 1g 場振動台模型実験装置概略図

4．実験結果と考察

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，液状化層厚を変えて 4 ケースの実験を行った．また，CASE1 は海門町，CASE3 は田中後の液状化層厚を基に実験条件を決定した．

表 1 実験条件および模型構造物の沈下量

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

図 3 に構造物沈下量と液状化層厚の関係を示す．図 3 より，液状化層が 200mm 以下の時は，杭の沈下低減効果が発揮されていることを確認できる．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．

キーワード　平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震，液状化，住宅，杭基礎
連絡先　〒316-8511　茨城県日立市中成沢町 4-12-1　茨城大学工学部都市システム工学科　TEL0294-38-5177

これより，砂は相対密度が高くなるにつれて液状化強度も増加するため [3]，杭を挿入したことによって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 4 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．

$$\text{構造物沈下比} R_s = \frac{\delta_1}{\delta_0} \qquad (1)$$

ここに，δ_0 は無対策の構造物の沈下量，δ_1 は杭基礎を使用した構造物の沈下量である．**図 4** 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発揮されなかったと考えられる．すなわち**図 4** 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期待できることがわかった．

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 [4]．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を試算する．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．

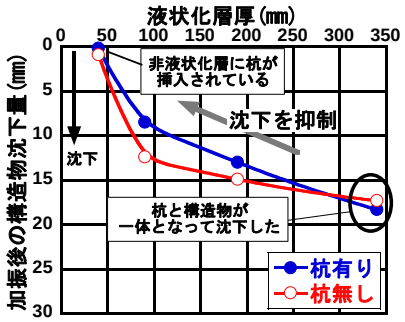

図 3 構造物沈下量と液状化層厚の関係

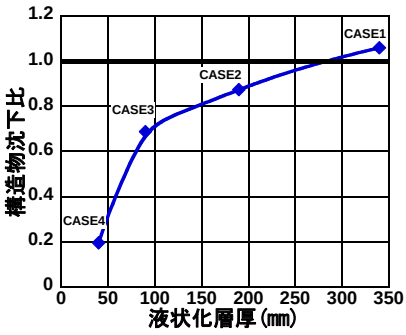

図 4 構造物沈下比と液状化層厚の関係

表 2 沈下量予測例

	Rs	δ(m)	δ_1(m)
田中後	0.68	0.19	0.13
海門町	1.00	0.65	0.65

表 2 に沈下量を試算して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．沈下量が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．

5. 結論

本研究で，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 200mm 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期待できることを明らかにした．

(2) 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ことで地盤沈下を低減し，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．

【謝辞】本研究の一部は，茨城大学戦略的地域連携プロジェクトのご助力を受けて実施したものであります．また，ひたちなか市都市整備部から，ひたちなか市の地盤情報を提供していただきました．ここに記して感謝の意を表します．

<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)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. 4)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.