

不飽和化による残留沈下抑制と杭応力軽減に関する解析的検討

清水建設（株）正会員 ○大槻 明、福武毅芳、三宅紀治

1. はじめに

砂の飽和度が低下すると液状化強度が増加することは既往の研究からよく知られている。この原理を利用して提案された工法¹⁾は、長期間にわたり地盤の不飽和化を維持できるのが特徴で、ローコストな液状化軽減対策として期待される。これまで、室内実験結果による不飽和の度合いと液状化強度の増加に関する研究はあるが、地震応答の観点から液状化対策の有効性を調べた研究は極めて少ない。このことから、本報告では不飽和化が地盤の沈下や杭応答に与える影響について解析面から検討した。

2. 室内試験の要素シミュレーション

後藤、社本²⁾によって不飽和な砂に対する高精度の室内試験が行われ、液状化強度曲線、せん断応力とひずみ関係から、不飽和化によって液状化強度の増加に加え、せん断ひずみ振幅の増幅抑制効果が指摘された。本解析では R-O モデルとおわんモデル³⁾を組み合わせた土の構成式を用いて室内試験結果をシミュレートした。液状化強度曲線、せん断応力とひずみの関係を実験値と合わせて図 1、2 に示す。B 値 0.05 の液状化強度は B 値 0.95 の 2 倍程度大きく、B 値 0.05 の応力～ひずみの関係は、ひずみが 2%を超えたあたりからひずみの漸増傾向が鈍くなることが分かる。これらの計算値は実験値を精度良く表現している。

3. 地盤・杭基礎モデルと入力地震動

想定した地盤モデルおよび地盤物性を図 3 に示す。GL0m～-16m が $D_r=70\%$ 程度の豊浦標準砂を想定した液状化危険度の高い地盤である。

水平成層地盤を対象とした解析では、不飽和化による対策深度として、地表より深さ 8m（対策 ） 地表より深さ 12m（対策 ） 地表より深さ 16m（対策 ） までの層を B 値 0.05 に不飽和化した 3 ケースと、地表より深さ 16m の層を B 値 0.95 とした場合（無対策）について検討した。

杭基礎を対象とした解析では、上部構造・杭・地盤系の 1 次と 2 次の固有周期は 0.84 秒および 0.56 秒で、基礎（幅 30m、奥行き 78m）は、杭本数 48 本、杭径 1000、杭長 25m の場所打ち杭で支持されている場合を想定した。地盤は 2 次元平面ひずみでモデル化し、地盤の解析幅は基礎幅と奥行きはそれぞれ 240m と 78m で、側方境界は繰返し境界とした。また、下方境界は粘性ダンパーを 30m の位置に配置し、地盤の半無限性を考慮した。

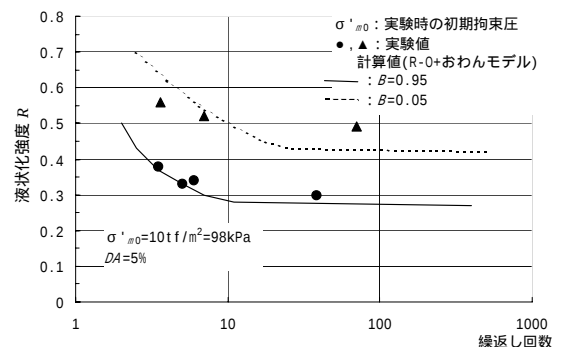
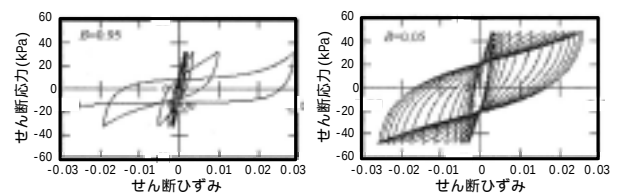


図 1 飽和砂 ($B=0.95$) と不飽和砂 ($B=0.05$) の液状化強度曲線



(a) 計算結果

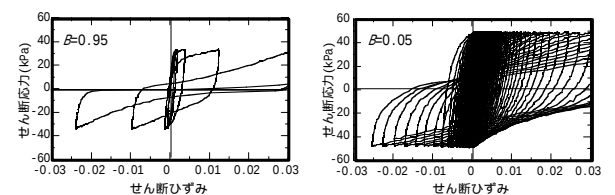


図 2 豊浦砂の有効応力経路と応力～ひずみ関係

	GL(m)	N値	Vs(m/s)	γ (kN/m ³)	G_0 (kPa)
砂1		8			
砂2	-4	10	160	18	46000
砂3	-8	12			
砂4	-12	14			
	-16	6			
洪積粘土	-20	8	120	17	24000
洪積砂礫	-24	>50	350	20	245000
	-28				

図 3 1 次元地盤の層構成と基本物性

キーワード 液状化対策工，不飽和，残留沈下，杭応力，有効応力解析，応力～ひずみ関係

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3 丁目 4 番 17 号 清水建設（株）技術研究所 TEL03-3820-5521

解析ケースは、図3に示す地盤を対象に不飽和化による対策（改良深さ8m）、対策（改良深さ16m）と無対策の3ケースについて杭の応答を比較検討した。

入力地震動としては、ポートアイランドのGL-83mで観測されたNS成分を最大加速度500Galに振幅調整した波を用いた。

4. 地盤応答と残留沈下⁴⁾

地盤の最大変位およびせん断ひずみ分布を図4に示す。大地震のもとでも地盤の変形およびひずみが不飽和化によって顕著に抑制されている。液状化終息後の残留沈下を社本の方法⁵⁾により算定した。深度方向の沈下量分布を図5に示す。無対策の場合と液状化層を全層(16m)不飽和化した対策を比較すると、地表の沈下量は40%に低減されている。

表層の一部を改良する対策とでは、未改良層が液状化し一種の地盤免震が生じているため、改良深さの浅い対策でもと同程度の効果を有している。このことから、対象構造物にもよるが必ずしも全層不飽和化する必要はない。

5. 杭応答

図6に、深度方向の端部の杭の曲げモーメントおよび基礎直下中央部の地盤の過剰間隙水圧比分布を示す。対策の杭の曲げモーメントは、無対策の場合より杭頭部から深度-20m間で30%~50%程度に低減している。特に、非液状化層と液状化層の境界部(深度-15m)での大きな曲げモーメントの発生は抑制されている。これは、この区間の過剰間隙水圧比が地盤の不飽和化により大幅に抑制されているためである。対策の場合、杭頭付近の曲げモーメントは対策と無対策の間にあり、その低減効果は無対策の場合の15%程度である。今回の結果からは顕著な低減効果を期待するためには対策のように液状化層全層にわたる深度までの改良が必要と判断される。

6. まとめ

不飽和化による砂質土の特性として、液状化強度の増加および液状化後のひずみの増加傾向が抑制される点を考慮し、土の構成式のパラメータを設定した。この構成式を用いた有効応力解析から、暫定的ではあるが、以下の点が明らかになった。本提案工法は、液状化後の沈下量の抑制に大きな効果が、液状化に伴う広範囲の沈下を容易に軽減できる工法であること、杭の曲げモーメント低減効果に極めて有効であることが分かった。今後は、他の解析条件のもとでも同様な効果があるか検討する必要がある。

参考文献

- 1) 三宅紀治、社本康広、後藤茂(2003): 不飽和砂化による液状化対策(その1)対策の考え方と不攪乱資料での検証、第38回地盤工学研究発表会
- 2) 後藤茂、社本康広(2002): 不飽和砂の液状化抵抗の評価法(その2)繰返しせん断履歴効果を与えた不飽和砂の液状化試験、第37回地盤工学研究発表会、pp.1987-1988
- 3) 福武毅芳・松岡元(1989): 任意方向単純せん断におけるダイレイタンスの統一的解釈、土木学会論文集, No.412/ -12, pp.143-151
- 4) 大槻明、福武毅芳、三宅紀治(2003): 不飽和砂化による液状化対策(その3)残留沈下軽減効果の解析的検討、第38回地盤工学研究発表会
- 5) Shamoto, Y., Sato, M and Zhang, J. (1995): Liquefaction - induced settlements in sand deposits. 3rd International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, St. Louis, Missouri, Vol.1, pp.215-220.

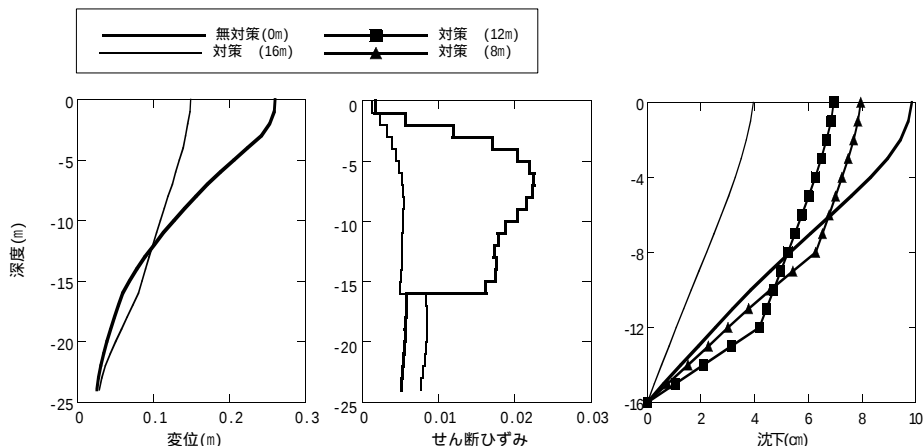


図4 地盤の変位・ひずみ分布

図5 砂層の沈下量分布

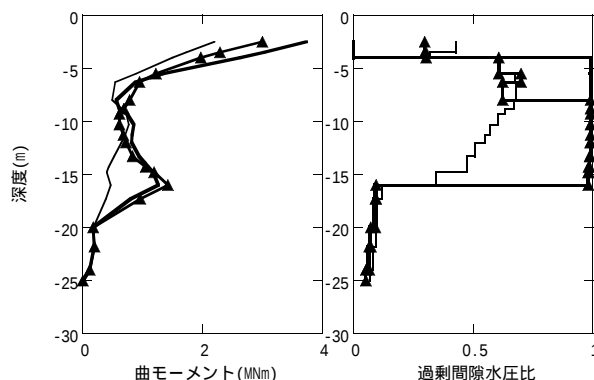


図6 杭の曲げモーメントと間隙水圧比分布