

平成7年兵庫県南部地震によるポートアイランドの液状化により生じた地表面沈下に関する考察

佐藤工業(株) 正会員○辻野修一
同 上 正会員 吉田 望
九州工業大学工学部 正会員 永瀬英生

1. はじめに 平成7年1月17日に阪神地区を襲った兵庫県南部地震では、埋立地等の軟弱な砂地盤で広範囲に液状化が発生した。神戸市ポートアイランドでは、液状化によって埋立地の広い範囲にわたり数10cmの地表面沈下が観測されている。筆者らは、現地調査による地表面沈下量と現地より採取したまき土の液状化試験結果との対比より液状化による地盤沈下量に関する考察を行ったので報告する。

2. 地表面沈下調査結果 ポートアイランドは、六甲山土(まき土)を用いて水深12~15mの沖積粘土層上への埋立てにより造られた人工島である。標準土層¹⁾を図-1に示す。今回の地震によってコンテナバース等は海側への移動により甚大な被害を被ったが、陸側の部分でもほぼ全域で液状化が発生し島全体が沈下している。図-2は現地調査より得られた地表面に生じている段差の計測結果である。ポートライナーの橋脚や建築物は杭で支持されておりほとんど沈下がないと考えられることから、図に示す段差は地盤の沈下量に相当すると考えられる。島中心部の居住区域等ではサンドドレーンやプレローディングによって地盤改良がなされている²⁾ことから沈下量は少ないものの、未改良地域では、40~65cmの沈下が生じている。ポートアイランドでは地表面で341gal、KP-16mで565galの最大加速度が記録されており、埋立土層(地下水位以下の層厚約12m)全層で液状化したものと考えられる³⁾。

3. 室内試験結果 実験に用いたまき土は、地震前にポートアイランドのKP-10mの深度より採取した不攪乱試料である。粒径および物理試験結果を図-3に示す。

繰返し三軸試験装置による液状化試験および液状化強度については別報³⁾に詳細を示しているが、液状化後に排水し過剰間隙水圧の消散に伴う体積変化を求めた。実験ケース・実験結果を表-1に繰返し載荷時の有効応力経路・応力-ひずみ関係を図-4に示す。

4. 液状化後の沈下量 砂の繰返しせん断後の過剰間隙水圧消散に伴う体積変化とせん断中の最大せん断ひずみとは良い相関があることが指摘されている³⁾。この関係は、繰返し載荷中の最大せん断ひずみが大きくなるとほぼ一定の体積ひずみに収束してくる(図-5参照)。今回実施した液状化試験は最大せん断ひずみ20~25%まで載荷しており、ほぼ最大の体積ひずみを計測していることになる。表-1、図-5より、埋立土層の沈下量を算定すると、

$$\text{沈下量 } s = H \cdot \epsilon_v = 1200(\text{cm}) \times (4.11 \sim 4.99(\%)) = 49 \sim 60 (\text{cm})$$

となり、現地の計測結果とほぼ一致する。

5. おわりに 以上、室内実験から得られた液状化後の体積変化を用いた沈下量の予測は、実測値と良好な対応を示した。これは、兵庫県南部地震では入力加速度が大きく、液状化発生後に載荷を繰り返されたため、実験より得られた体積変化にほぼ一致したものと考えられる。今回の検討より、通常の液状化強度試験時に液状化後も載荷を継続し、排水時の体積変化を計測しておくことにより、液状化により起こりうる沈下量を推定することが可能となるものと思われる。

なお、ポートアイランドでは埋立土層が約5%沈下したため地震前に比べて密な状態(相対密度の変化に換算して15~17%程度)となっている。しかし、このような密度増加の深さ方向の分布、さらには、再液状化の可能性について今後検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 渡辺嘉道, 神戸ポートアイランドの開発と基礎工, 基礎工, Vol.9, No.1, pp.83-91, 1981.
- 2) 永瀬英生, 宍道玲, 安田進, 辻野修一, 吉田望, 平成7年兵庫県南部地震におけるポートアイランドでの液状化層推定に関する研究, 土木学会第50回年次学術講演会, 投稿中.
- 3) Nagase, H., Ishihara, K. (1988), Liquefaction - induced compaction and settlement of sand during earthquakes, Soils and Foundations, Vol.28, No.1, pp.65-76.

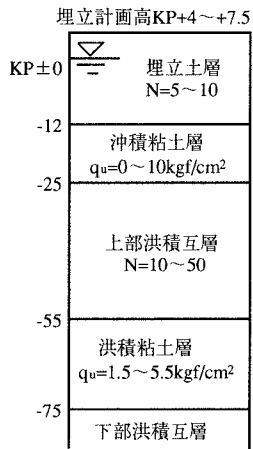


図-1 標準土層図

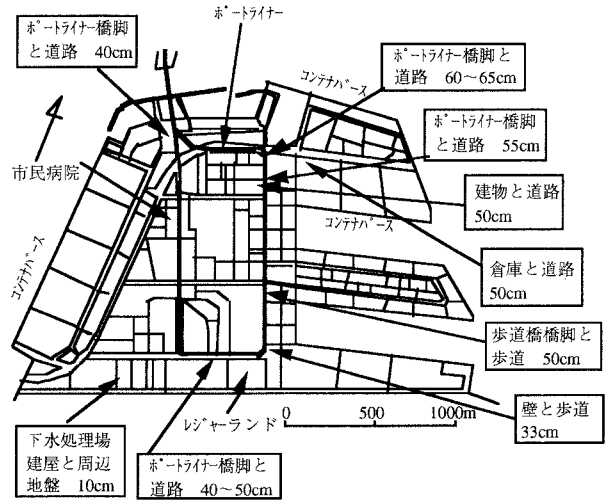


図-2 ポートアイランドに生じた地表面の段差（沈下量）

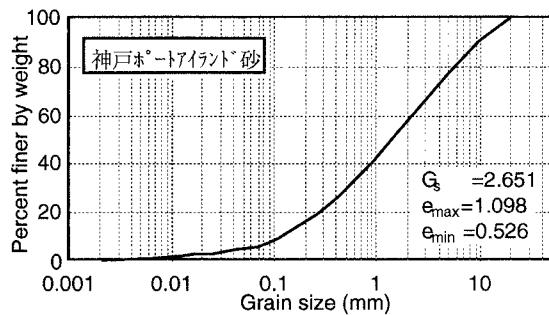


図-3 粒度分布および物理試験結果

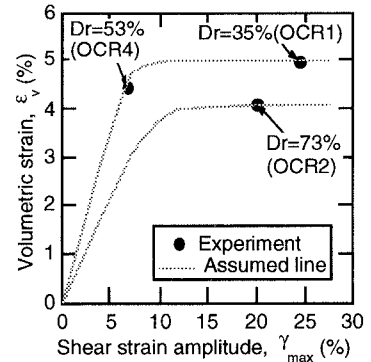
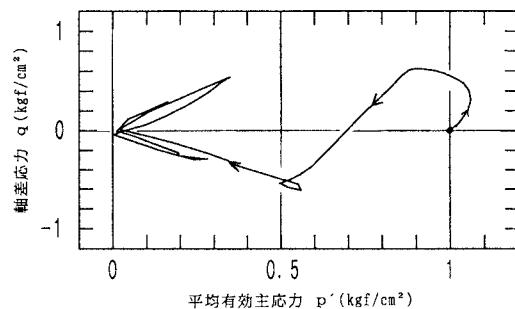


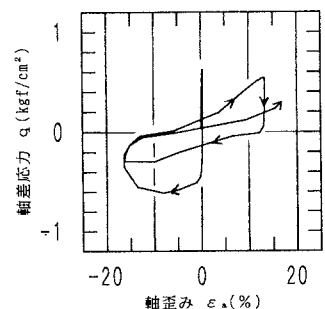
図-5 体積ひずみ-最大せん断ひずみ関係

表-1 実験ケースおよび実験結果

実験ケース (過圧密比)	相対密度 Dr(%)	せん断応力比 $\sigma_d / 2\sigma'_v$	液状化 繰返し回数	載荷 回数	最大せん断 ひずみ(%)	残留体積 ひずみ(%)
OCR1	35	0.294	0.6	2	24.3	4.99
OCR2	73	0.301	6.8	9	20.0	4.11
OCR4	53	0.374	8.7	10	6.8	4.45



(a) 有効応力経路



(b) 応力-ひずみ関係

図-4 実験結果（初期有効応力1.0kgf/cm²，過圧密比1）