

Ⅲ-A144 神戸ポートアイランド地盤改良地点における簡易液状化判定

飛島建設 正会員 沼田 淳紀  
 愛媛大学 正会員 森 伸一郎  
 飛島建設 関 宝琪

1. はじめに

改良地盤における地震時挙動を明らかにする目的で、神戸ポートアイランド(以下、KPI と称す。)で観測された 1995 年兵庫県南部地震の強震鉛直アレー記録<sup>1)</sup>を用いて、一次元の等価線形地震応答解析より求められた応答せん断応力より簡易液状化判定を行った。この結果、現地との状況と合わせて考えると、改良地盤においても深い部分の埋土層で液状化が生じた可能性が高いことがわかった。

2. 検討地点と被害概要<sup>2)</sup>

検討地点は、KPI の強震鉛直アレー観測地点より約 100m 北側で、ロードコンパクションにより地盤改良されている。改良によって、10～15 だった N 値が、20～35 に上昇している。地盤は約 GL-18m 以浅がまさ土による埋土層であり、その下位は沖積粘土層である。

検討地点には、直接基礎の鉄骨上屋があるが、地震後異常がなく、天井クレーンの走行にも支障がなかった。また、地震後噴砂は認められていない。しかし、浜田ら<sup>3)</sup>によれば、地震前後の航空写真から求められた建屋上などの測定点における水平変位量は海側(北西方向)に 57cm、沈下量は 10cm であった。一方、検討地点の周囲や敷地内の未改良地盤では、地震後噴砂が確認され、沈下は、場所によっては改良地盤と比較しさらに数十 cm 生じた。なお、敷地内には、旧防波堤の石積みマウンドが埋土下に伏在し、その直上の直接基礎の上屋は不同沈下などの被害が見られた。

3. 簡易液状化判定方法

簡易液状化判定は、道路橋示方書<sup>4)</sup>と建築基礎構造設計指針<sup>5)</sup>の二つの考え方に倣い、繰返し三軸試験より求められた液状化抵抗比(R または  $\tau/\sigma'_v$ )と、重複反射理論に基づく一次元等価線形解析による地震応答解析より求められた各層に作用する最大せん断応力比(L または  $\tau/\sigma'_v$ )の比より液状化安全率(F<sub>L</sub> または F<sub>L</sub>)を求めた。なお、地盤改良地点と比較するために KPI 強震鉛直アレー観測地点の検討も行った。この地点は、地盤改良が行われていない。

繰返し三軸試験のデータは、KPI の未改良地盤<sup>6)</sup>と改良地盤<sup>2)3)7)</sup>より凍結サンプリングによって得られたものを用いた。図-1に求められた両振幅ひずみ DA が 5%にいたるまでの繰返し強度曲線を示す。液状化抵抗比は、図-1より繰返し回数 N=20 回(道路橋示方書)、または、15 回(建築基礎構造設計指針)に対する繰返しせん断応力比を読み取り計算した。なお、建築基礎構造設計指針による液状化抵抗比  $\tau/\sigma'_v$  は、地震動の多方向による補正 0.9、静止土圧係数 K<sub>0</sub>=0.5 として次式より計算した<sup>10)</sup>。

$$\tau/\sigma'_v = 0.9 \cdot (1 + 2 \cdot K_0) \cdot R/3$$

K<sub>0</sub>: 静止土圧係数  
 R: 繰返し回数 15 回で両振幅ひずみ 5% にいたる繰返しせん断応力比

作用する最大せん断応力比は、建築基礎構造設計指針による場合、等価繰返し回数への補正に用いるマグニチュードを 7.2 として求めた。これは、1995 年兵庫県南部地震のマグニチュードである。なお、GL-3m の地下水面以浅と、埋土層下位の沖積粘土層以下は液状化判定を行っていない。

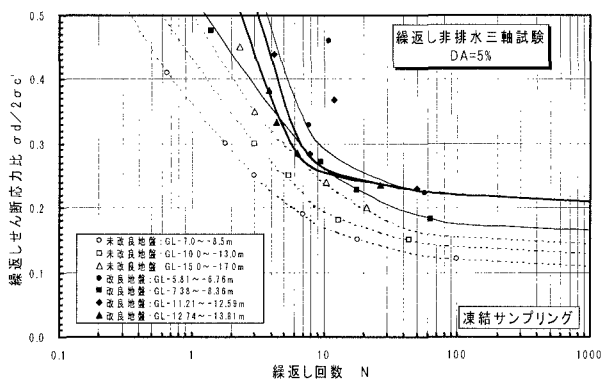


図-1 凍結サンプリングによって求められた繰返し強度曲線<sup>2)3)8)9)</sup>

液状化、地震、震害、まさ土、地震応答解析

〒 270-0222 千葉県東葛飾郡関町木間ヶ瀬 5472、TEL 0471-98-7553、FAX 0471-98-7585、E-mail numata@alpha-web.or.jp

4. 簡易液状化判定結果

図-1に、道路橋示方書と建築基礎構造設計指針に基づいた判定結果を示す。

未改良地盤では、両判定方法で  $F_L$  または  $F_L$  はほとんど 0.5 以下となり、地下水位以下の埋土層全層が液状化したものと推定される。これは、KPI の未改良地盤のいたるところで噴砂が生じ、数十 cm の沈下が生じたことも整合している。

改良地盤においては、建築基礎構造設計指針による場合、 $F_L$  はどの層も 0.5 程度で低く、改良地盤では被害がほとんどなかったことと整合しない。一方、道路橋示方書による場合、GL-6m 以浅では、 $F_L$  が 0.85 以上で、GL-6m 以深では概ね 0.75 以下である。埋土層全層が液状化したとも考えられるが、改良地盤では、被害はほとんどなかったものの 57cm の水平変位と 10cm の沈下が生じたと考えられることから、判定の精度を考えると、特に、GL-6m 以深では  $F_L$  が 0.75 以下と低いので、この層以下で液状化が生じた可能性が高いと推察される。

道路橋示方書と建築基礎構造設計指針による方法を比較すると、この地点では、改良地盤地表での被害がほとんどなかったことは道路橋示方書による方法の方が整合性が高いといえる。これは、図-1に示したように、液状化抵抗比 ( $R$  または  $\tau_v/\sigma'_v$ ) は、建築基礎構造設計指針の場合、改良地盤と未改良地盤との比が小さいのに対し、道路橋示方書の場合、1995 年兵庫県南部地震が反映され内陸直下型の地震が考慮されているので、特に、密な土の繰返し回数が少ないときの強度が大きくなり改良地盤と未改良地盤との比が大きくなるためと考えられる。

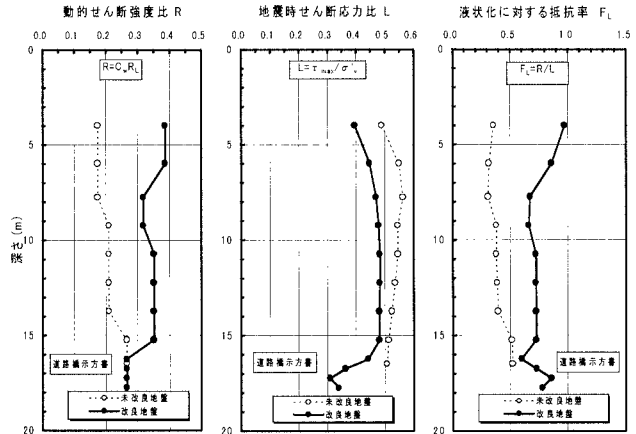
5. まとめ

- (1) 道路橋示方書と建築基礎構造設計指針の考え方に倣って簡易液状化判定を行った結果、検討地点については、道路橋示方書の方法が、現地の状況と整合性が高かった。
- (2) 検討地点の改良地盤では、地表に噴砂や構造物被害などの液状化被害はほとんど認められなかったが、GL-6m 以深では液状化が生じた可能性が高いと推察された。

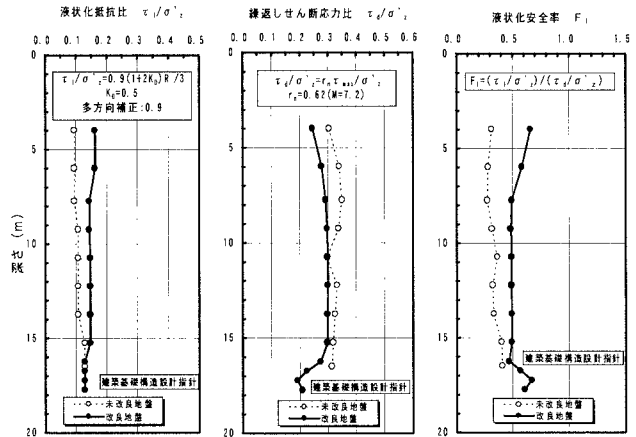
謝辞 本研究は、阪神淡路大震災地盤調査研究会(座長:石原研而 東京理科大学教授)から資料を提供して戴き解析を行った。また、内容についても当研究会で御意見を戴いた。最後に記して心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 神戸市開発局: 兵庫県南部地震による埋土地盤変状調査(ポートアイランド、六甲アイランド)報告書, 1995.8.
- 2) 阪神淡路大震災・地盤調査研究会: 平成9年度報告書, 1998.3.
- 3) 石原 研而, 軽部 大蔵, 後藤 洋三: 改良地盤に於ける地盤の動的強度の調査, 第24回地震工学研究発表会講演論文集, pp.461464, 1997.7.
- 4) Masanori Hamada, Ryoji Isoyama and Kazuo Wakamatsu: The 1995 Hyogoken-Nambu(Kobe) Earthquake Liquefaction, Ground Displacement and Soil Condition in Hanshin Area, Association for Development of Earthquake Prediction, pp.136-137, 1995.8.
- 5) 日本道路協会: 7.5 砂質地盤の液状化の判定, 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, pp.91-95, 1996.12.
- 6) 日本建築学会: 4.5 節 地盤の液状化判定, 建築基礎構造設計指針, pp.163-169, 1988.1.
- 7) 沼田 淳紀, 森 伸一郎, 関 宝珠: 神戸ポートアイランドにおける地震応答解析と簡易液状化判定, 第10回日本地震工学国内シンポジウム, 投稿中
- 8) 内田 明彦, 畑中 宗憲, 鈴木 善雄: 神戸ポートアイランドの埋土マサ土地盤の静的及び動的強度特性, 第2回阪神・淡路大震災に関する学術講演論文集, pp.135-142, 1997.1.
- 9) 阪神淡路大震災・地盤調査研究会: 平成8年度報告書, 1996.12.
- 10) 吉見 吉昭: 4.2.3 三軸試験結果から推定した原位置における液状化抵抗比, 第二版 砂地盤の液状化, 82pp, 技報堂, 1991.5.



(a)道路橋示方書<sup>3)</sup>による判定



(b)建築基礎構造設計指針<sup>4)</sup>による判定

図-2 簡易液状化判定結果