

東京電機大学理工学部 ○安田進 小林利雄  
野村博之 西川修

1. まえがき

1995年兵庫県南部地震により、兵庫県から大阪府にかけての大阪湾岸の多くの地点で液状化が発生し、それにより多くの構造物が被害を受けた。今回の液状化はいくつかの特徴を有しているようであり、その解明が現在なされつつあるところであるが、ここでは、現行の耐震設計基準類に取り入れられている”簡易式による液状化の判定法”の適用性に関して、今回発生してきた問題点を指摘してみたい。

2. 液状化発生箇所の概要

地震発生後に撮られた航空写真（株）八州撮影）をもとに、神戸市長田区から西宮市間で噴砂の発生地点を調べた結果を図-1に示す。ただし、ここでは密着写真から大まかに判断しただけで、概略の箇所であることをお断りしたい。図にはまた、明治19年当時の海岸線も示した。両者を比べてみると、液状化発生箇所は埋立地がほとんどであるが、西宮市や芦屋市などでは沖積低地でも液状化が発生している。

3. 液状化しやすい粒径について

数は少ないが、筆者達は図-1に示した箇所で噴砂を採取した。この噴砂の粒径加積曲線を図-2に示す。これらのうち、西宮市の沖積低地で採取したものは、平均粒径が0.1~0.3mmのきれいな砂であった。これに対しポートアイランド、魚崎浜、芦屋浜の埋立地で採取した噴砂は平均粒径が0.6mm以上と大きかった。図-2にはポートアイランドを埋め立てた際に用いた土の粒径分布例<sup>1)</sup>および、ポートアイランドで1年前に不攪乱試料を採取したもの<sup>2)</sup>の粒径分布も示す。これらはさらに粗粒で、前者では平均粒径は2mmを超えていた。

一般に基準類では平均粒径が2mm程度より大きい土は液状化しにくいとして扱っているものが多いが、実際にそのような土でも液状化が発生した。ただし、図-2に見られるように平均粒径が大きいと言っても、細粒分も含んでいる。ちなみに、試料①を前述の不攪乱試料と同じ密度に詰め、透水試験を行ってみると、 $k=7 \times 10^{-3}$  cm/sであった。したがって、1993年北海道南西沖地震の際に森町赤井川地区で液状化した岩屑なだれ堆積物と同様に、全体に粗粒であっても細粒分も含んでいて、透水性が悪く、そのために液状化し易かったのではないかと考えられる。このような粒度組成の砂礫は他にもあると考えられ、透水性を考慮できる判



図-1 液状化発生地点（航空写真より概略判読したもの）および噴砂採取位置

定方法や、砂礫に適する（N値に代わる）土質調査方法の開発が必要ではないと思われる。

4. 大きな地震力に対する適用性について

ポートアイランド西部での土質柱状図例<sup>3)</sup>を図-3(a)に示す。ここでは地表から約17mの深さまでN値が10前後の埋立砂がある。この柱状図をもとに道路橋示方書・同解説、建築基礎構造設計指針、原子力発電所耐震設計技術指針の方法で液状化強度比R（または $\tau_1/\sigma_z'$ ）および繰返しせん断力比L（または $\tau_d/\sigma_z'$ ）を求めたのが図-3(b)、(c)である。ただし、通常の設計に沿った地震力と、今回の地震による神戸市の港湾地域の地表最大加速度を考慮して、450gal程度の加速度を与えて場合とで計算している。また、ポートアイランドや六甲アイランドではSCPやロードコンパクション工法で締固めてあった地盤が液状化しなかったため、この改良した地盤での液状化強度比R（または $\tau_1/\sigma_z'$ ）も求めてみた。ただし、改良にともなうN値の上昇量としては中島ら<sup>4)</sup>が六甲アイランドで調べた値からN=18と仮定したものと、ポートアイランドでは粒径が大きくN値はもう少し大きいとの情報より、N=25と仮定して計算を行った。なお、粒径としては不攪乱試料のデータ<sup>2)</sup>から $D_{50}=1.2\text{mm}$ 、 $F_c=8\%$ と仮定した。

図-3(b)、(c)みると原地盤ではいずれの方法でも450gal程度の加速度で液状化が発生する結果となり、被災状況を説明できた。これに対し、締固めた地盤では、判定法によって結果は異なるものの、かなり液状化が発生すると結果になり実際の現象を説明し難かった。これまで一般に、液状化の判定方法は200gal程度までの加速度を対象にして妥当性が検証されてきており、今回のように大きな地震力での適用性に関しては検討が十分にされてきていない。したがって、大きな地震動に対するR、Lの算出方法、および、地震動のパラメータとして地表最大加速度を用いることやRとLを比較して判定する方法の妥当性などを、今後検討する必要があると考えられる。

5. あとがき

兵庫県南部地震による液状化地点の土質特性を調べ、液状化判定法の適用性に関して考察してみた。ただし、筆者達の調査は現時点でまだ少ししか行えてなく、発表当日までにさらに検討をしておきたいと考えている。 参考文献 1)ポートアイランド建設史編集委員会：ポートアイランド海上都市建設の15年，1981。 2)永瀬・宍道・辻野・木村：過圧密履歴を受けた不攪乱砂の液状化強度，第30回土質工学研究発表会（投稿中），1995。 3)神戸市企画局総合調査課：神戸の地盤，1980。 4)中島・福井・谷本：新交通車輛基地の基礎工，基礎工，Vol.20，No.5，pp.73-79，1992。

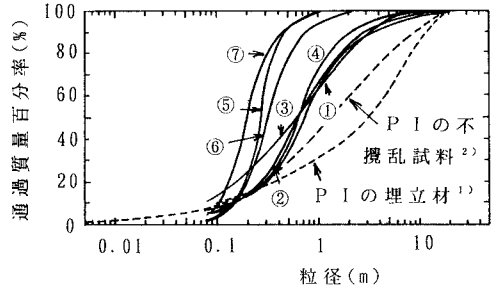


図-2 噴砂およびポートアイランド砂の粒径<sup>1)</sup><sup>2)</sup>

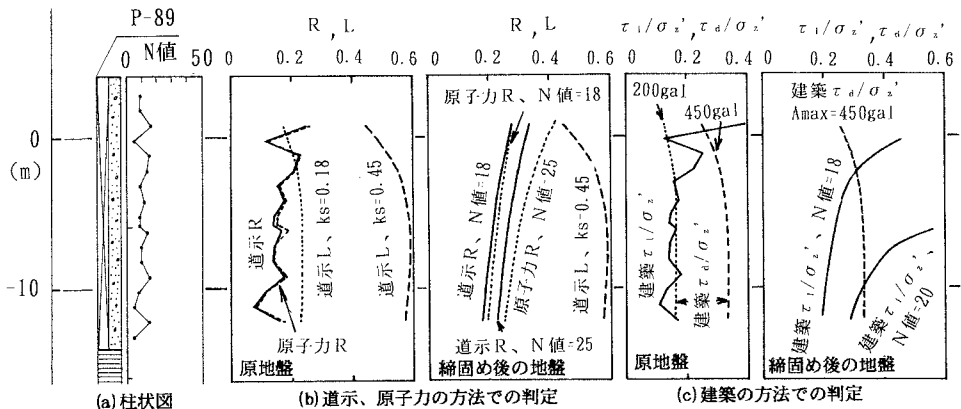


図-3 ポートアイランドの土質柱状図例<sup>3)</sup>および液状化判定結果