

飛鳥建設(株) 正会員 ○ 沼田淳紀
飛鳥建設(株) 正会員 森伸一郎
飛鳥建設(株) 正会員 三輪 滋

1. はじめに

1995年1月17日に起きた兵庫県南部地震 ($M_j=7.2$) では、多くの構造物が大きな被害を受けた。大被害に至った要因のひとつに、地盤の液状化現象があげられ、これによる被害は港湾構造物を中心に甚大なものとなった。

ここでは、地震後行った液状化調査結果に加え、液状化によって生じた噴砂の粒度特性について述べる。

2. 液状化地点

図-1に、今回の地震における液状化発生地点を示した。ここに示した液状化地点は、いずれも、筆者らの実施した現地踏査で、液状化によって生じた噴砂が確認された地点である。

神戸から大阪にかけての大阪湾沿いの海岸埋立地では、ほぼ全域にわたり液状化が生じている。また、内陸部の沖積地盤においても液状化が発生した。さらに、淡路島の北部や、徳島県鳴門市においても液状化が生じた。明石以西については、播磨町の海岸埋立地で液状化が生じたが、それ以外については、調査を行っていない。

神戸市の埋め立ては、1172年に既に埋め立てが行われたという歴史が残っているが、本格的な埋め立ては明治20年(1887年)以降になる¹⁾。このような、若齢な海岸埋立地が液状化するの、近年の地震災害の特徴と言える。

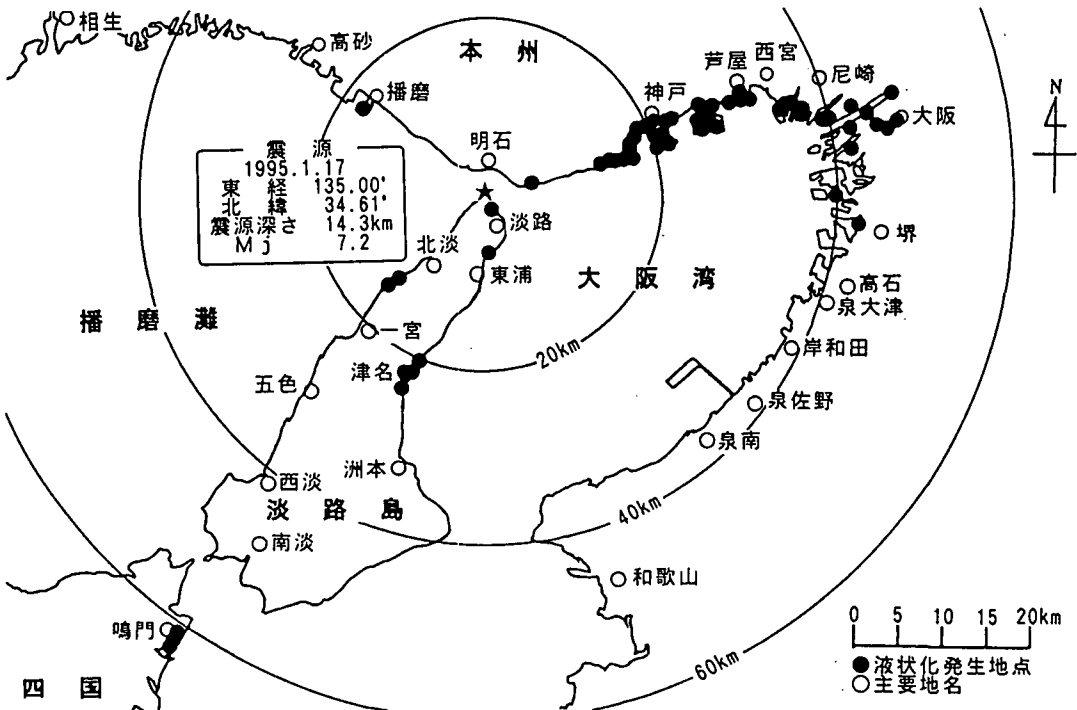


図-1 1995年兵庫県南部地震における液状化発生地点

栗林・龍岡ら²⁾が経験的に求めた、液状化の生じる限界震央距離 ($\log_{10} R=0.77M-3.6$) は、 $R=88\text{km}$ となる。今回調査した範囲では、震央から最遠点の液状化地点は震央距離約60kmの鳴門市里浦で、砂丘間低地で液状化が確認された。近年の液状化が発生した地震では、限界震央距離を越えた海岸埋立地で多く液状化が確認されている^{3) 4) 5)}。しかし今回の地震では、液状化の発生した地点は、経験式で求められる範囲に比べ狭い範囲であった。



写真-1 ポートアイランド
北公園東側岸壁の被害

3. 液状化による被害の特徴

神戸市には、ポートアイランドや六甲アイランドなどの巨大な人工島を始めとし、埋め立てによって造られた港湾施設が多く存在している。これらの岸壁が、写真-1に示すように、背後地の地盤に岸壁と平行に亀裂が生じ、岸壁の背後が陥没し、岸壁が数メートルせり出し、傾斜や沈下が生じた。また、背後地では液状化によって生じる噴砂が多くの箇所を確認された。このような、液状化による側方流動をともなった被害は、神戸市の大部分の岸壁で認められた。岸壁構造の違いによる被災程度の違いや、被害メカニズムにおける慣性力と液状化の影響度合いについては、今後の検討課題である。

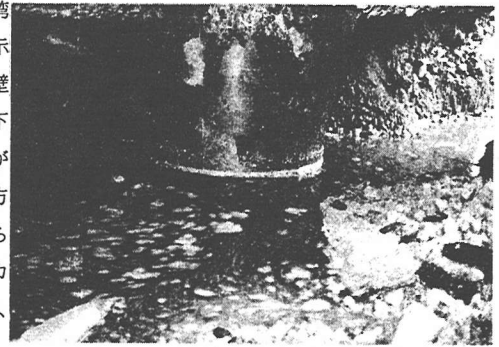


写真-2 中央市場魚市場基礎杭の被害

液状化により、地盤が沈下したり側方流動で構造物基礎

の周辺に隙間ができるなどして、杭基礎の頭部が露出した構造物が37ヶ所で認められた。37ヶ所の内約半数の17ヶ所で被害が認められ、杭頭が傾斜する、フーチングから抜け出す、亀裂が生じる、表面が剥離する、切断される、破壊する等の被害形態があった。写真-2は、PC杭の杭頭接合部に亀裂が生じ、一部コンクリートが剥離し、傾斜した一例である。2階建てRC造の上屋が無傷のまま岸壁へ向かう方向に約3°傾斜した。写真-2の反対側になる、海側の傾斜した側の杭は圧壊していた。

杭の被害は、この他に、鋼管杭、場所打ち杭などでも認められた。これらの構造物被害の特徴は、杭が被害を受けているにもかかわらず、上部の構造物の被害が軽微な場合が多い事である。したがって、液状化が生じた地域では、上部の構造物被害が軽微であっても、多くの杭基礎が被害を受けている可能性が大きいと考えられる。

一方、広い地域で液状化が確認されているにもかかわらず、埋設物の浮き上がり、道路の波打ち、電柱の傾斜の被害は少ないように感じられた。特に、ポートアイランド内陸側では、液状化により人工島の大部分が30～50cm程度沈下したにもかかわらず、これらの被害はほとんど認められなかった。

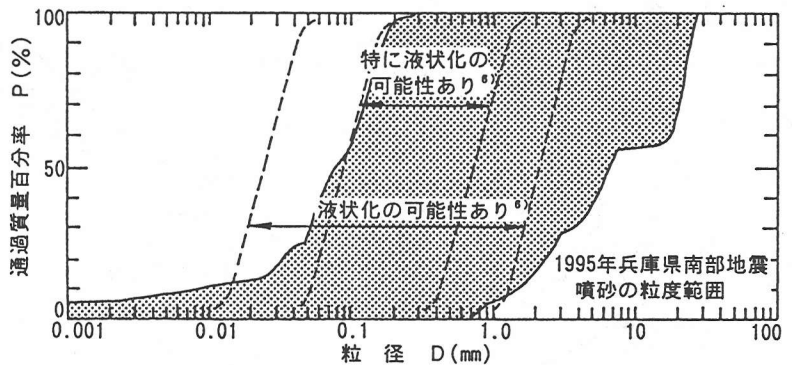


図-2 地震で生じた噴砂の粒度範囲

4. 噴砂の粒度特性

液状化により噴出した土を代表すると思われる部位より採取した試料の内、142試料について粒度試験を実施した。これらの粒度範囲を図-2に示す。図中には、港湾基準⁹⁾に示される均等係数の小さい場合の液状化の可能性のある粒度範囲を示した。細粒側は「特に液状化の可能性あり」の範囲と噴砂の粒度範囲がほぼ一致しているが、大きい粒径については、範囲を超えたかなり大きな粒度組成のものまでが液状化している。図中には示されていないが、現地では40cmを超えるような大きな礫も確認した。

図-3および図-4に海岸埋立地で生じた噴砂と、自然地盤で生じた噴砂の粒度組成を示す。どちらの地形に分類されるか不明なものについては、これらの図からは外した。

自然地盤で採取された噴砂は、「特に液状化の可能性あり」の範囲に大部分が入る。一方、海岸埋立地で生じた噴砂は、礫分を含有する砂までが液状化し、その範囲は図-2に示した範囲とほぼ一致している。図-3より、海岸埋立地で生じた噴砂の内、粒径の大きなものは細粒側のものと比較して粒度配合が良い。そこで、図-3には、港湾基準に示される均等係数の大きい砂の場合の液状化の可能性の範囲を示した⁹⁾。「液状化の可能性あり」の範囲に、大部分が入っている。噴砂の粒度組成には、一部港湾基準の範囲を超えて大きな粒径があるが、これらはいずれも階段粒度になっている。これは、粒度試験の際に大きな礫が入られるか否かによるものであり、地盤の母材の代表的な粒度組成を表しているわけではない。これを考慮すれば、液状化で生じた噴砂の粒度組成は、概ね港湾基準に示される範囲内であったと言える。

ポートアイランドはじめ多くの近年埋め立てられた海岸埋立地では、「地震の液状化に対して抵抗力も大きいと見放されてきた⁷⁾」まさ土によって埋め立てられた地盤が液状化した。図-5に、ポートアイランド北側半分で採取された噴砂の粒度組成を示す。

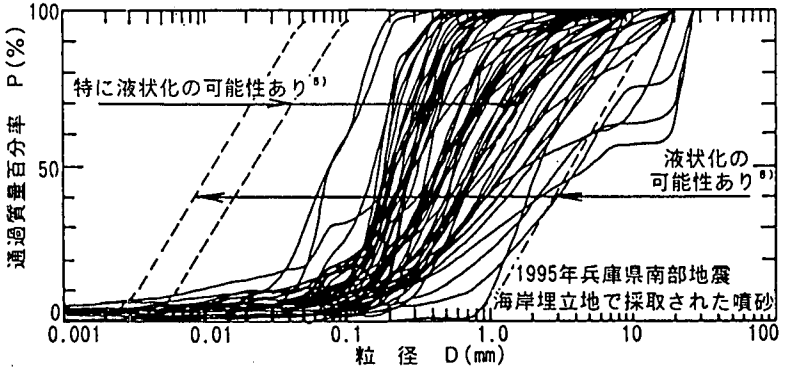


図-3 海岸埋立地で生じた噴砂の粒度組成

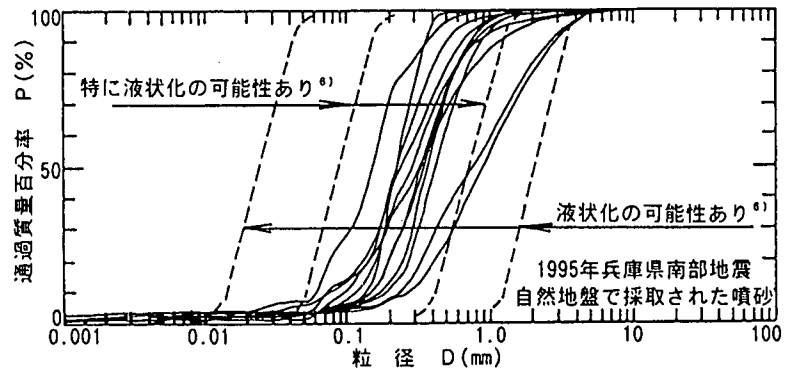


図-4 自然地盤で生じた噴砂の粒度組成

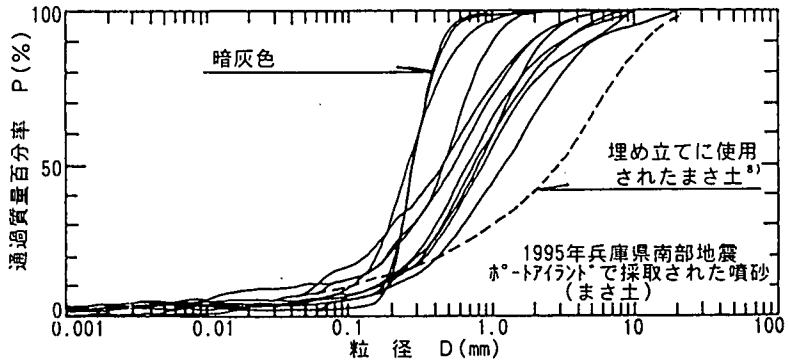


図-5 ポートアイランドで生じた噴砂の粒度組成

図中に示した噴砂は、まさ土と考えられるものと、暗灰色の土に分けられる。暗灰色の土は、いずれも細粒側にあり、図-4に示した自然地盤で発生した噴砂とも類似し、埋立土層下部の海砂の液状化の可能性を示唆している。

図中には、埋め立てに用いられたまさ土の代表的な粒度組成⁸⁾を示した。噴砂の粒度が、若干細粒側にあり、噴出する際に土粒子が分級された可能性も考えられる。

また、埋め立てに使用されたまさ土の粒度組成は、図-3に示した均等係数の大きな場合の「液状化の可能性あり」の範囲内であった。

ポートアイランドでは、液状化により噴出した粘性土も多く確認された。粘性土が確認された箇所の噴砂丘は、

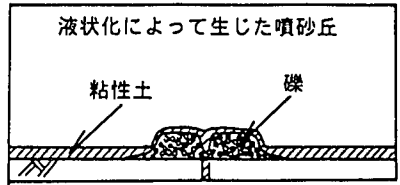


図-6 粘性土の確認された噴砂丘の模式図

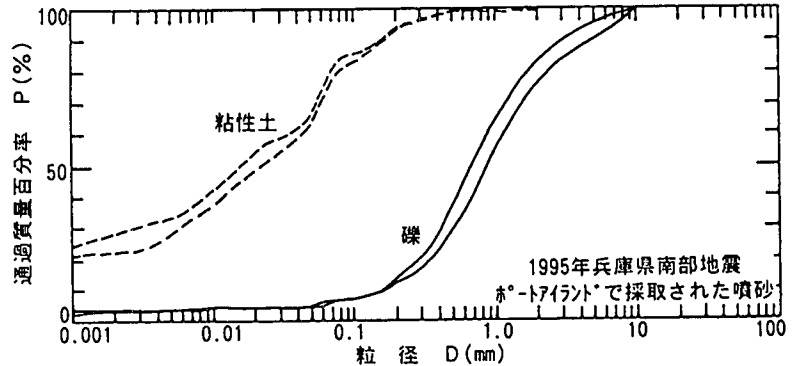


図-7 噴砂丘周辺の粘性土と噴砂丘の粒度組成

図-6に示すように、粒径の粗い粒子が噴砂口近傍にあり、その周辺に粘性土が堆積していた。図-7に、それぞれの粒度組成を示す。テレビの映像や航空写真から判断すると、ポートアイランドは、地震直後、噴砂・噴水により地面が水没したような状態になっていた。このため、細粒分が長い間浮遊し、水が溜まった低い地域および地表面に、粘性土が堆積したものと考えられる。このことは、筆者らの経験から、まさ土を土槽に水中落下させると、まさ土自体の粘土含有率は3%程度であるのに、堆積したまさ土表面には粘土分が堆積していた事実とも一致する。したがって、噴出した土に認められる粘性土は、噴出した後の堆積過程における分級作用を受けた結果であり、液状化した土層を代表する土とは考えられない。

5. まとめ

- (1) 液状化は、神戸から大阪にかけての海岸埋立地を中心に多数生じたが、その範囲は、経験式で求められる範囲に比べ狭かった。
- (2) 液状化による被害は、岸壁のせり出し等港湾施設の被害が目立ち、杭基礎の被害も露出していた37ヶ所の内約半数の17ヶ所で認められた。
- (3) 液状化により生じた噴砂の粒度組成は、港湾基準に示される「液状化の可能性あり」の範囲内であり、「液状化の可能性あり」の粒度範囲の上限の妥当性が実証された。

謝辞

調査に当たっては、当社の関宝琪氏、関真一氏、柴田登氏に協力して戴いた、心より感謝致します。

<参考文献>

- 1) 宮永清一、竹山征治：神戸の埋立の歴史、土と基礎、39-1(396), pp.42 ~ 45, 1991.1
- 2) 栗林栄一、龍岡文夫、吉田精一：明治以降の本邦の地盤液状化履歴、土木研究所彙報第30号, pp.1 ~ 9, 1974.12
- 3) 森伸一郎、滝本幸夫、長谷川昌弘：1987年12月17日千葉県東方沖地震における液状化調査、第23回土質工学研究発表会発表講演集, pp.943 ~ 946, 1988.6
- 4) 森伸一郎、沼田淳紀：1989年07・7°リタ地震における液状化調査と噴砂の物理的性質、第25回土質工学研究発表会発表講演集, pp.67 ~ 70, 1990.6
- 5) 沼田淳紀、森伸一郎：1994年ノースリッツ地震における液状化調査、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集第3部, pp.636 ~ 637, 1994.9
- 6) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説, pp.203 ~ 209, 1988.6
- 7) 石原研而：土質特性と地盤変状、土質工学会・阪神大震災報告会—地盤災害とその教訓—, 講演概要集, pp.25 ~ 28, 1995.5
- 8) 石原研而、安田進：臨海地域の地盤災害、阪神大震災災害調査緊急報告会資料, pp.13 ~ 18, 1995.2