

2000 年鳥取県西部地震における米子市の軟弱埋立て地盤の液状化

飛島建設 正会員 ○三輪 滋 飛島建設 正会員 大野 孝二
飛島建設 正会員 嶋本 栄治 飛島建設 正会員 池田 隆明

1.はじめに

2000 年 10 月 6 日鳥取県西部地震では、中海沿岸域の干拓地・埋立地や境港市の埋立地において各地で液状化が発生し、港湾施設、工業施設、農業施設、住宅など様々な構造物に被害をもたらした¹⁾。米子市彦名の埋立地においては本震で液状化が発生しただけでなく、最大余震でも液状化が発生した。また、この地点近傍は、1943 年鳥取地震、1946 年南海地震で、米子市の気象庁震度階がⅣであるにもかかわらず、液状化した記録が残されている²⁾。本報文では、この地域の液状化地点の地盤調査結果と米子市で観測された地震動をもとにして、今回の地震における地盤の液状化の程度などを検討した。

2.中海沿岸の地震被害

米子市彦名は米子港の北西側から彦名干拓地にかけての中海に面した地域を指し、江戸時代以降の新田開発に始まり、最近まで行われた埋立てによる、非常に新しい表層地盤を有する地域である。図-1 に示すように、2000 年鳥取県西部地震の際には、この地域内の多くの地点で液状化が生じた。特に、粟島神社から米子市下水処理場にかけての海岸沿いの地域はほぼ全域で液状化が発生し、南東端の安部彦名団地では、小河川での護岸の移動による川幅減少・大量の砂の噴出と底盤浮上、木造住宅の沈下・傾斜、中層 RC 住宅の周囲の沈下、水道管の破損などの被害が発生した。また、団地と粟島神社の間の空き地や農地では、いたるところで噴砂が生じ、畑の沈下や水田が噴砂で埋まる現象が見られた。この地点の一部では 10 月 6 日 13 時 30 分の本震で液状化が発生しただけでなく、10 月 8 日 20 時 51 分の最大余震(Mj=5.0)でも噴砂・噴水が生じ、液状化の発生が確認された。また、再液状化地点の西側の農地一帯においては、震源距離が 71km の 1943 年鳥取地震(Mj=7.3)、343km の 1946 年南海地震(Mj=8.0)で、米子市の気象庁震度階がⅣであるにもかかわらず液状化し、今回の地震同様に畑の沈下や水田が噴砂で埋まったという記録がある²⁾。今回の地震における聞き取り調査において、その地域をおおよそ特定することができた。図-1 にその地域をあわせて示すが、その地域は今回の地震でもやはり液状化した。また今回の地震で再液状化した地点はその南東に隣接し、当時は湿地であったとのことである。

3.弓ヶ浜半島の中海沿岸および砂丘部分の地盤条件

彦名の液状化および再液状化が発生した地点において、スウェーデン式サウンディングによって、表層地盤の調査を行った。稲田の式³⁾で換算した N 値を図-3 に示す。また周辺の地盤調査結果をあわせて図-3 に示す。G.L.-6m 付近までは N 値が 0~2 程度、G.L.-10m 付近まで N 値 5 前後の非常に緩い砂が堆積している。さらに G.L.-15m までは軟弱粘性土が堆積する。周辺の地盤調査(文献 4)などから N 値の違いはあるものの、表層に砂層が堆積する地盤構造が確認でき、さらに G.L.-18m までが粘性土、それ以深は粘土と砂の互層が続き 50m 付近で N 値 50 以上が連続する工学的基盤が現れると考えられる。図-2 に噴砂の粒径加積曲線(文献 5)の図に加筆を示す。再液状化が確認された地点の噴砂の細粒分含有率は 2.5%以下で非常に小さく、均等係数も 1.5~1.7 と小さい。この砂が緩く堆積しているため非常に液状化しやすい砂層であると考えられる。近傍の水田では細粒分がやや高いが、ほぼ同様な粒度分布である。一方、県道 47 号より東側の砂丘と考えられる地点は、N 値の大きな締まった砂が堆積しており、沿岸埋立て地とは対照的である。

4.地盤条件と液状化の関係

この地点で発生した液状化の程度を評価するために、検討地点から約 3.2km 離れた K-net 米子⁶⁾で観測された地

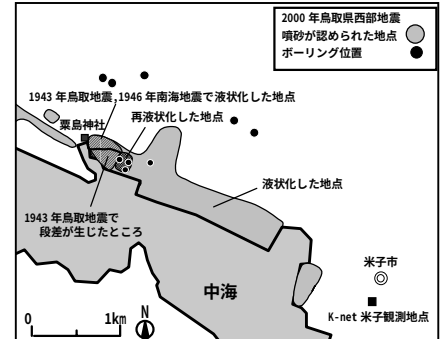


図-1 米子市における液状化地点

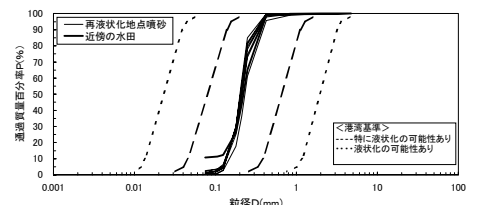


図-2 粒径加積曲線

液状化、埋立地盤、地震、地盤条件、軟弱地盤
飛島建設技術研究所地盤耐震研究室 (〒270-0222 千葉県東葛飾郡関宿町木間ヶ瀬 5472 tel:0471-98-7553, fax:0471-98-7586)

震動を用いて検討した。K-net 米子においては本震で約 380cm/s^2 、余震で約 100cm/s^2 の地震動を観測している。それぞれ計測震度は5強および4である。この最大加速度を用いて液状化判定を行った。液状化判定の方法は建築基礎構造設計指針の方法⁷⁾にしたがい、せん断応力の繰り返し回数を規定するマグニチュードは本震では $M=7.3$ 、余震では $M=5.0$ とした。図-3に判定結果をあわせて示す。本震においては、埋立地は10m以浅の砂層のほぼ全層が液状化する。また余震においても、地点によってはG.L.-1m~-2m、G.L.-4m~-6mの非常に緩い砂層が部分的に液状化したと推定される。本震において、液状化した表層砂層が相対密度40~50%程度の砂層と仮定し、石原の方法⁸⁾で推定すると体積ひずみで3.5~4.5%程度であり、沈下量にして

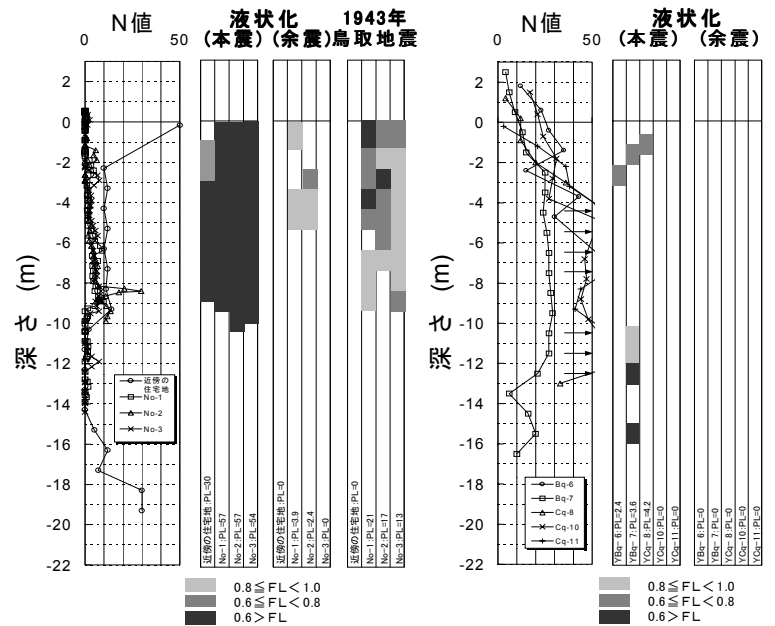


図-3 地盤柱状図と液状化判定

35~45cm程度となるが、近接する農地の沈下量が最大で30~35cm程度であったこと、同じく近接する杭基礎RC住宅の周辺地盤の沈下が25~30cm程度¹⁾であったこととほぼ対応し、本震での液状化の状況を評価できたものと考えられる。また、余震では再液状化は発生したものの範囲が限定的であったことについても評価できたと考えられる。一方、内陸側の地点ではほとんど液状化は発生しない。N値の低い部分で部分的にFLが1.0以下となる層もあるが限定的であり、かりに発生していても地表への影響はほとんどなかったと考えられる。N値分布には違いがあるものの、このような地盤の堆積状況は、検討地点から米子港にかけての中海側ではほぼ同様であり、沿岸埋立地で液状化が発生し、内陸砂丘地では液状化が発生していないことと調和的である。

1943年鳥取地震、1946年南海地震に関しては米子市の震度階IVという記録のみで地震動記録が存在しない。震度IVがおおむね $25\sim80\text{cm/s}^2$ にあたること、および鳥取県西部地震の余震で震度階IVの米子で 100cm/s^2 程度の記録が得られていることから地表面加速度を 100cm/s^2 として、同様の液状化判定を行った。結果を図-3にあわせて示す。鳥取地震では、余震と地震動の最大値は同程度であるが、マグニチュードが大きくせん断応力の繰り返し回数に違いがあるために液状化の程度に違いが生じ、今回の本震と同様に表層部がほぼ全層液状化したと推定される。聞き取り調査によれば、埋立年代の違いから海岸線に平行なある線に沿って数十cmの段差が生じ、かつ水田や畑に数十cmの沈下あるいは隆起が生じたとのことで、検討結果は地震動強度が明確ではないにせよ、当時の被害状況をほぼ説明するものと考えられる。

5. まとめ

- 1) 2000年鳥取県西部地震で米子市彦名の埋立地では本震で液状化、10月8日の最大余震で部分的に再液状化が生じた。
- 2) 地盤調査からこの地点は表層約6mがN値0~2、10mまでがN値5程度の非常に緩い砂層であることを確認した。
- 3) 米子市で観測された地震動記録を用いた検討により、本震では表層10mの砂層全層が、余震ではG.L.-1m~-6mまでの層のうち、特に緩い層が液状化したと推定される。また、内陸部では液状化が発生しなかったと推定される。これらの結果は被害調査から得られた被害状況と調和的である。
- 4) 周辺農地は1943年鳥取地震、1946年南海地震でも液状化したが、被害状況および液状化判定から表層約10mの砂層がほぼ全層液状化したと推定される。

謝辞：本検討では防災科学技術研究所のK-netの地震動観測記録を使用させていただきました。記して感謝いたします。またデータ分析では綾部孝之氏と鈴木重良氏の協力を得ました。記して謝意を表します。

参考文献：1) 飛鳥建設技術研究所：2000年10月6日鳥取県西部地震被害調査報告、2000.10.2) 松浦誠、芳賀保夫：鳥取県弓ヶ浜半島の砂地盤(その1)、第14回土質工学研究発表会、pp.121-124、1979.6. 3) 稲田倍穂：スウェーデン式サウンディング試験結果の使用について、土と基礎、Vol.8、No.1、pp.13-18、1960. 4) 中国地方基礎地盤研究会：山陰臨海平野地盤図 '95、1999.11. 5) 嶋本栄治、沼田淳紀、染谷昇、三輪滋、池田隆明、大野孝二：2000年鳥取県西部地震における液状化、第36回地盤工学研究発表会(投稿中)、2001.6. 6) 防災科学技術研究所：強震観測網(K-net)、<http://www.k-net.bosai.go.jp> 7) 日本建築学会：建築基礎構造設計、1982. 8) Ishihara, K. and Yoshimine, M. : EVALUATION OF SETTLEMENTS IN SAND DEPOSITS FOLLOWING LIQUEFACTION DURING EARTHQUAKES, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol.32, No.1, 173-188, 1992.5.