

2000 年鳥取県西部地震における埋立て土の液状化特性

山口大学大学院	学生員	○渡辺 真悟
山口大学工学部	正員	兵動 正幸 吉本 憲正
復建調査設計（株）	正員	藤井 照久
三井建設（株）技術研究所	正員	山本 陽一

1. まえがき 2000 年 10 月 6 日に発生した鳥取県西部地震において、米子市から境港市に至る半島部分を中心に大きな液状化被害が発生した。著者らは、液状化調査時に採取した噴砂・噴泥を用いて物理試験を行い、特に美保湾側では粒径のそろったシルト、粘土に属する噴泥が多く確認されたことを報告したり。ここでは、細粒分を多く含む噴砂・噴泥が生じた美保湾側の竹内団地内の地盤を対象に、ボーリング調査を行い、不攪乱試料を採取した。また道路橋示方書・同解説（V 耐震設計編）²⁾、港湾の施設の技術上の基準・同解説³⁾、建築基礎構造設計指針⁴⁾の 3 つの指針により対象地盤の液状化判定を行い、現行の設計法による液状化判定の可否について検討を行った。

2. 調査箇所の物理的性質 ボーリング調査を実施したのは、図-1 に示す美保湾側に面した竹内団地内の A 地点である。この調査地点を選定した理由は、今回の地震によって細粒分を多く含む噴砂・噴泥跡が数多く確認され、著しく液状化したと推察されたためである。図-2 に調査地点のボーリング調査結果を示す。なお、図中には、ボーリング時に採取した不攪乱試料を用いて実施した物理試験結果のうち、各深度の粒度組成も併せて示している。A 地点の地層構成は、上位より埋立時に用いられた埋土（浚渫土）が 12~13m 程度、それ以深に埋立前の表層地盤である沖積の砂質土層（Uc）が 3m 程度、さらにその下位に洪積の粘土層（Lc）が堆積している状況にある。埋立は大半がシルトで構成されており、所々に砂分を含む層を挟んでいる。また、A 地点の埋土は粘土分を 20~30% 含んでいる。

図-3 は A 地点の埋立層の粒径加積曲線である。図中には、比較のため地震後に採取した各地点の噴砂・噴泥の粒径加積曲線（図中：●）も併せて示している。なお、図中の破線は港湾基準³⁾で「特に液状化の可能性があり」とされている範囲と「液状化の可能性があり」とされている範囲の両方を示している。A 地点では GL-5m 付近までの粒径加積曲線

（図中：△、◎）は、噴砂・噴泥の粒径加積曲線と非常に類似していることがわかる。したがって、この区間の埋土が地震時に著しく液状化し、地表面に噴き上がってきた可能性が高い。この区間の塑性指数は、 $I_p=NP\sim 22$ 程度で噴砂の塑性指数（ $I_p=22$ ）とほぼ同程度であった。GL-5m 以深の粒径加積曲線（図中：◇、□）は、噴砂・噴泥の粒径加積曲線とは異なり、特に GL-7m 以深の埋立（図中：□）は塑性指数が $I_p=30$ 以上であるから、液状化した可能性そのものが低いと考えられる。

3. 各種設計指針による液状化判定 ここでは、ボーリング調査を実施した A 地点の試料についての各深度における物理的性質を表-1 に示す。まず道路橋示方書・同解説に沿って液状化判定を行うと、道路橋示方書・同解説の中には「細粒分含有率 FC が 35% 以下の土層、または FC が 35% をこえても塑性指数 I_p が 15 以下の土



図-1 調査位置平面図

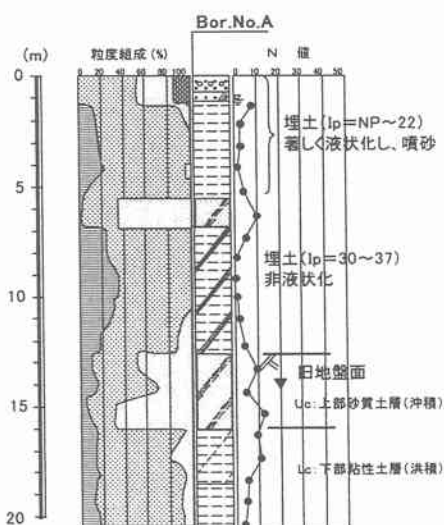


図-2 A 地点の地盤状況

層について液状化判定を行う」という項目がある。これをもとに表-1に着目すると、いずれの深度の試料もFCが35%以上あり、G.L.-5.15~5.45mの試料を除いては、 I_p が15以上あることが分かる。つまり、道路橋示方書・同解説によるとG.L.-5.15~5.45mの試料のみが液状化対象土となる結果となった。次に、港湾の施設の技術上の基準・同解説に沿って液状化判定を行った。港湾の施設の技術上の基準・同解説では、均等係数の大きさ($U_c < 3.5$ 又は $U_c \geq 3.5$)によって、粒径加積曲線をそれぞれ描き、「液状化の可能性あり」の範囲におさまっているかどうかで判定を行うようになっている。表-1に着目す

るとどの深度の試料も均等係数 $U_c \geq 3.5$ であることが分かる。そこで、図-3に港湾の施設の技術上の基準・同解説に従った粒径加積曲線を描いてみた。図-3から、G.L.-8.60~9.40m以外の試料は「液状化の可能性あり」の範囲におさまっていることが認められた。

最後に、建築基礎構造設計指針に沿って液状化判定を行った。

建築基礎構造設計指針の中には、「細粒分含有率FCが35%以下の土層」また「細粒土含有率が35%以上であっても粘土含有率が10%以下、または塑性指数が

15以下の低塑性のシルト層については液状化の判定が必要であり、また、粘土含有率が20%を越える飽和土層を液状化判定の対象から除外してよい」という2つの項目がある。そこで表-1に着目してみると、道路橋示方書・同解説の時と同様にどの深度の試料もFCが35%以上あり、G.L.-5.15~5.45mの試料を除いては、粘土含有率が10%以上あり、 I_p が15以上あることが分かる。つまり、建築基礎構造設計指針についてもG.L.-5.15~5.45mの試料のみが液状化対象土となる結果となった。以上3種類の液状化判定を行った結果をまとめたものを表-2に示している。前述のとおり、噴砂の状況とボーリングの結果からG.L.-5.45m以浅の層は液状化したことが認められたので、各指針の見直しが今後必要ではないかと考えられる。

4. 結論 ①GL-5m 付近までの試料の粒径加積曲線が、噴砂・噴泥の粒径加積曲線と非常に類似していることから、この区間の埋土が地震時に著しく液状化し地表面に噴き上がってきた可能性が高いことが認められた。②道路橋示方書・同解説（V耐震設計編）、港湾の施設の技術上の基準・同解説、建築基礎構造設計指針の3つの指針に沿って液状化判定を行うと、噴砂・噴泥と同様の諸物性を示す土層においても液状化対象層になっていないことから、各指針の見直しが今後必要ではないかと考えられる。

＜参考文献＞1) 兵動正幸,吉本憲正,藤井照久,山本陽一,伊東周作：2000年鳥取県西部地震で生じた噴砂・噴泥の諸特性,第36回地盤工学研究発表会 2001,1月号 2) (社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説,1999. 3) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説(V,耐震設計編),1990. 4) (社)日本建築学会：建築基礎構造設計指針,1988.

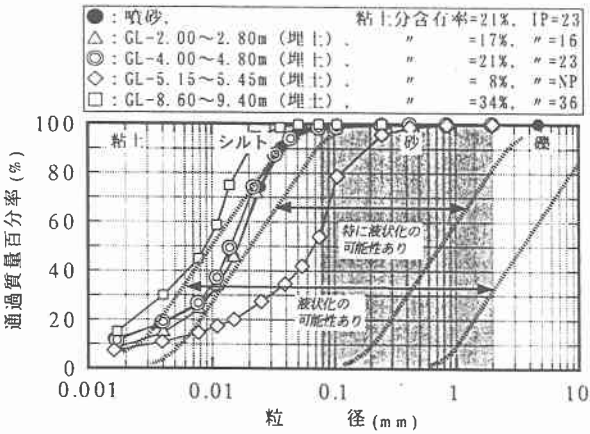


図-3 A地点の粒径加積曲線

表-1 A地点の不攪乱試料の物理的性質

記号	サンプリング深度(m)	FC(%)	CC(%)	I_p	N値	U_c
△	G.L.-2.00~2.80m	98	17	16	4	8.87
◎	G.L.-4.00~4.80m	98	21	23	3	—
◇	G.L.-5.15~5.45m	98	8	N.P.	5	27.3
□	G.L.-8.60~9.40m	100	34	36	1	—

表-2 A地点の不攪乱試料の液状化判定結果

記号	サンプリング深度(m)	FC(%)	CC(%)	I_p	N値	液状化判定を行うか否か		
						道路	港湾	建築
△	G.L.-2.00~2.80m	98	17	16	4	×	○	×
◎	G.L.-4.00~4.80m	98	21	23	3	×	○	×
◇	G.L.-5.15~5.45m	98	8	N.P.	5	○	○	○
□	G.L.-8.60~9.40m	100	34	36	1	×	×	×