

2001年芸予地震における広島県廿日市市沿岸の砂質土地盤の液状化強度

山口大学工学部
東亜建設工業(株)
明伸建設コンサルタント(株)

正会員 山本 哲朗
正会員 千田 隆行
正会員 大石 宏

山口大学工学部
広島県庁
明伸建設コンサルタント(株)
明伸建設コンサルタント(株)

正会員 鈴木 素之
正会員 吉森 亜由美
正会員 木元 信司
正会員 ○末重 宜洋

1.はじめに 平成13年3月24日、安芸灘を震源とする芸予地震(M6.7)が発生した。震源の深さは51kmで、プレート内で発生した地震であった。この地震で広島県、愛媛県を中心に大きな揺れを観測し、震源付近で液状化及び斜面崩壊等の被害が発生した。

著者らは本地震で確認された各種の被害状況を述べ、液状化が確認された廿日市市木材港で採取した土の物理的性質及び液状化強度を求めた結果を記述した。また、この液状化強度と物理定数の相関性を検討した。

2.被害状況 2001年芸予地震によって広島県の河内町、大崎町及び熊野町では震度6弱を記録し、広島県、山口県、愛媛県の周辺各地で強い揺れが観測された。地震による人的被害は死者2名、負傷者287名、物的被害は住家の一部損壊も合せて49,420棟、ライフラインの被害は水道(断水)40,786戸、電気(停電)43,514戸、ガス13,305戸であった¹⁾。

図-1に液状化による噴砂・噴泥地点を示す²⁾。広島市内で噴砂・噴泥現象は合計11地点で確認された。この他に呉市、竹原市及び松江市など広い範囲で被害が発生した。廿日市市木材港は、液状化で緑地帯、道路に地割れや噴砂現象が発生した。しかし、全域において液状化による建物被害はほとんど認められなかった。

図-2に廿日市市における液状化地点(震央距離(Δ)=40.8km)と地震マグニチュードMの関係を示す。

3.試験概要 廿日市市木材港で液状化した地盤から噴砂を採取し、物理試験と応力制御式繰返し三軸試験を実施した。三軸試験用の供試体は空中落下法で作製した。初期有効拘束圧 $\sigma'_{30}=98$ kPaで1時間圧密後、周期10秒の繰返し軸差応力 σ_d を供試体に作用させた。破壊は軸ひずみ両振幅 $DA=5\%$ と定義した³⁾。

4.試験結果 表-1に物理的性質、図-3に粒径加積曲線を示す。表-1、図-3に示すとおり、両試料の物理的性質は著しく相違しているが、両試料ともに“液状化の可能性あり”の範囲⁴⁾であった。

図-4に代表的な実験記録波形(試料1)を示す。軸差応力の繰返し回数Nの増加で過剰間隙水圧比 $\Delta u/\sigma'_{30}$ は徐々に大きくなるが、軸ひずみ ϵ_1 の変化は小さい。DA=5%に近づくと過剰間隙水圧比はほぼ1.0まで上昇し、軸ひずみが伸張側に急激に増加して破壊が生じる典型的な液状化挙動がみられ、破壊までの繰返し回数 N_f は21回であった。

図-5(a),(b)に試料1, 試料2の液状化強度曲線を示す。試料1の平均相対密度 Dr は $Dr=65.9\%$ 、繰返しせん断応力比 R_{20} は $R_{20}=0.12$ であった。試料2は、 $Dr=63.2\%$ 、 $R_{20}=0.25$ であった。豊浦標準砂は $R_{20}=0.19$ を得ている⁵⁾。

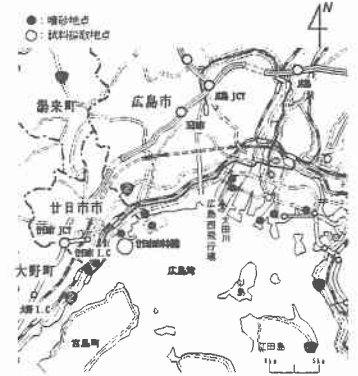


図-1 液状化による噴砂・噴泥地点

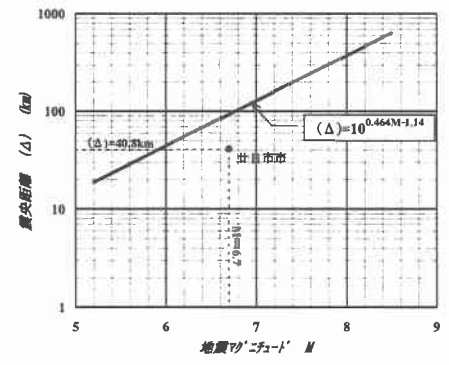


図-2 震央距離と地震マグニチュードの関係(文献3)を簡略化

表-1 試料の物理的性質

	試料1	試料2
ρ_s (g/cm ³)	2.657	2.640
U_c	17.90	3.75
U_c'	4.83	1.09
D_{10} (mm)	0.011	0.295
D_{50} (mm)	0.156	0.925
D_{max} (mm)	9.5	9.5
F_c (%)	27.4	1.50
F_{clay} (%)	7.2	—
土質分類	SF	SG

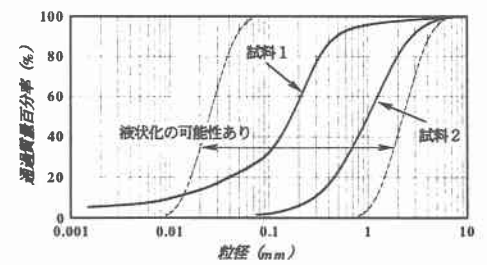


図-3 試料の粒径加積曲線

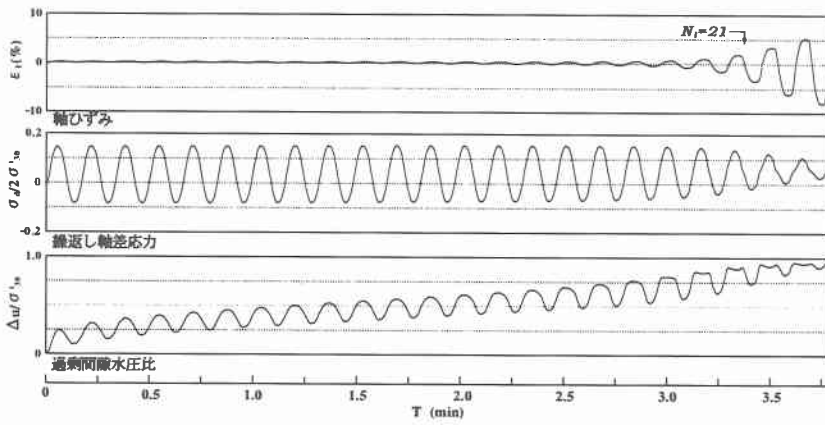


図-4 代表的な実験記録波形 (試料 1)

5. 考察 表-2 に過去の地震で液状化した土の物理的性質と液状化強度を示す。鳥取県西部地震及び兵庫県南部地震における R_{20} はそれぞれ0.13⁶⁾、0.16⁷⁾である。両試料の R_{20} の違いは、均等係数や粒子形状の違いにあると考えられる。既往の研究では、均等係数 U_c が大きいほど液状化抵抗が小さくなる結果を得ている⁸⁾。しかし、最大・最小間隙比も U_c の影響を受けているため、相対密度の液状化強度変化も考える必要がある。また、試料 2 は角張った粒子や貝殻が多いことから、インターロッキング効果で R_{20} が大きくなったと考える。

図-7 に R_{20} と物理的性質の関係を示す。(a) 図から、 D_{10} が大きいほど R_{20} は大きくなる傾向であった。(b) 図から、FC との相関は得られなかった。(c) 図から、 U_c が大きいほど液状化抵抗が小さくなる結果が得られた。

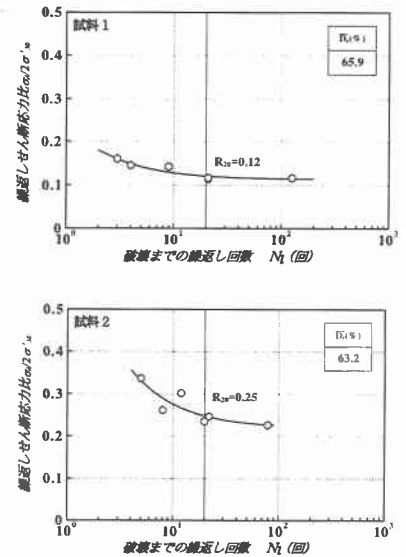
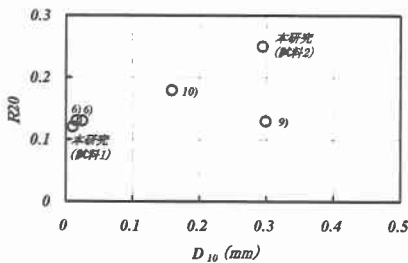


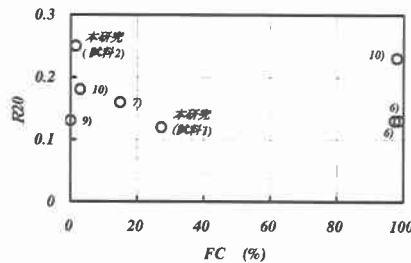
図-5 液状化強度曲線

表-2 過去の地震で液状化した土の物理的性質

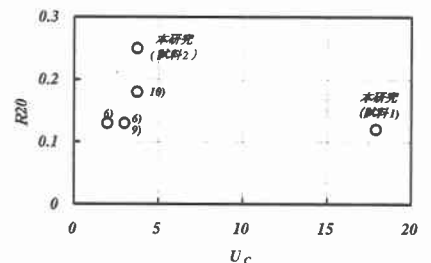
	R_{20}	D_{10} (mm)	FC (%)	U_c	文献
北海道南西沖地震	0.13	0.3	0	2	9)
兵庫県南部地震	0.16	—	15	—	7)
鳥取県西部地震 (竹内工業団地)	0.23	—	98	—	10)
鳥取県西部地震 (昭和町)	0.13	0.025	97.4	2	6)
鳥取県西部地震	0.13	0.016	98.7	3	6)
平成 13 年度芸予地震	0.18	0.16	3	3.75	10)
平成 13 年度芸予地震 (試料 1)	0.12	0.011	27.4	17.9	本研究
平成 13 年度芸予地震 (試料 2)	0.25	0.295	1.5	3.75	本研究



(a) R_{20} と D_{10} の関係



(b) R_{20} と FC の関係



(c) R_{20} と U_c の関係

図-7 R_{20} と物理的性質の関係

6. まとめ

- 1) 液状化は広島市, 廿日市市沿岸で 11 地点観測されたが、それによる建物への被害は確認されなかった。
- 2) 液状化した 2 試料の物理的性質、粒子形状は大きく異なることから、液状化強度が大きく相違した。
- 3) 本試験範囲では、液状化強度と物理定数と一義的に関係づけられないことが示された。

参考文献 1) 消防庁: <http://www.fdma.go.jp/html/infor/010324geiyo.htm>. 2) ㈱ダイヤコンサルタント: <http://www.diaconsult.co.jp/> 3) 吉見吉昭: 第二版 砂地盤の液状化, 技報堂出版, pp.38-39, 1991. 4) 日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻), pp.281-282, 1999. 5) 山本哲朗・山内智也・堀淵幸司: 砂～シルト地盤に対する液状化対策としてのセメント安定処理の効果に及ぼす粒度の影響, 土木学会論文集, No.541/III-35, pp.133-146, 1996. 6) 山本哲朗・鈴木素之・千田隆行・松尾晃: 平成 12 年鳥取県西部地震におけるシルト質土の液状化とそのセメント安定処理(第二報), 土木学会第 56 回年次学術講演会, pp.228-229, 2001. 7) 森井慶行・後藤聡・谷澤房郎・末岡徹: 粒度分布の相違がまさ土の液状化特性に与える影響について, 土木学会第 51 回年次学術講演会, pp.214-215, 1996. 8) 前掲 3) 9) 三浦清一・梶川正純・八木一善: 北海道南西沖地震によって被災した砂地盤の繰返し非排水強さ, 第 29 回土質工学研究発表会, pp.779-782, 1994. 10) 藤井照久・兵動正幸・吉本憲正・山本陽一・伊東周作: 2000 年鳥取県西部地震, 2001 年芸予地震で液状化が生じた地盤の諸特性, 第 26 回地盤工学研究発表会講演論文集, pp.553-556, 2001.