

## 竹内シルトの液状化抵抗

飛鳥建設 正会員 沼田 淳紀  
 飛鳥建設 正会員 田雑 満孝  
 飛鳥建設 染谷 昇

### 1. はじめに

2000年鳥取県西部地震では、海岸埋立地である竹内団地で液状化が生じ、シルトの卓越した噴砂が至るところで確認された<sup>1)</sup>。竹内団地は、1978～1986年に浚渫土により造成された<sup>2)</sup>若齢な地盤である。細粒分の多い土は、一般には液状化しにくいと考えられている<sup>3),4),5)</sup>。1987年千葉県東方沖地震で細粒分の多い土の噴砂が確認されて以来<sup>6)</sup>、細粒分の多い土に関する液状化の研究が行われるようになってきた。砂の液状化抵抗は、特に相対密度との相関が高く影響が大きい。一方、粘性土は砂のような液状化現象は生じず、初期の剛性に比較して極端な剛性低下をせずに変形が発達し、塑性指数の大きなものほど大きな剛性を残す<sup>7)</sup>。この間の粒径となるシルトについては、まだ未解明なことが多い。そこで本論文では、竹内団地で採取したシルトの卓越した噴砂を用いて、液状化抵抗の基本的特性を調べた。

### 2. 竹内シルトの物理的性質

実験に用いた試料は、地震直後に竹内団地内に発生した巨大な噴砂丘より採取した（採取した試料を以下、竹内シルトと呼ぶ）。図-1に、実験に用いた竹内シルトの粒度組成を示す。図中には、地震直後に竹内団地内で採取した噴砂の粒度組成<sup>1)</sup>を併記した。実験に用いた試料は、全体のばらつきのある平均的な値であるが中心よりやや細粒側であり、多くの噴砂と同様に粘土分含有率が10%以下と低く均等粒径であるが細粒分含有率が100%近くシルトが卓越していることがわかる。表-1に、試料の物理的性質を示す。試料は、細粒分含有率が90%と多いが非塑性である。なお、表中に示す最小間隙比は、物理的に得られる最小の間隙比として独自に定義したものであり<sup>8)</sup>（以下、最小法と呼ぶ）、以降の相対密度はこれを用いて求めた。

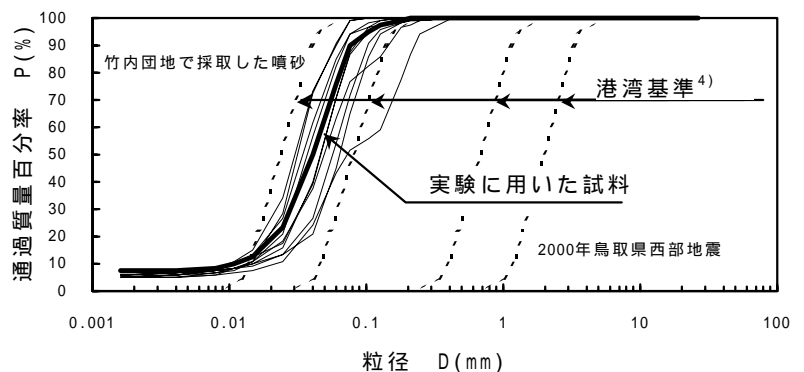


図-1 2000年鳥取県西部地震において竹内団地で生じた噴砂と実験に用いた試料の粒度組成

表-1 試料の物理的性質

土粒子の密度 $\rho_s$ g/cm <sup>3</sup>	最大間隙比 (JIS法) $e_{max}$	最小間隙比 (最小法) $e_{min}$	液性限界 $W_L$ %	塑性限界 $W_p$ %	塑性指数 $I_p$
2.640	1.795	0.746	39.6	-	NP
最大粒径 $D_{max}$ mm	細粒分含有率 $P_f$ %	粘土分含有率 $P_c$ %	50%粒径 $D_{50}$ mm	均等係数 $U_c$	
0.850	90	8	0.040	4.2	

表-2 模型地盤作成方法と三軸供試体の採取方法

試験番号	TU45	TU55	TU65	TU75	
模型地盤 ( $v=98kPa$ )	作成時含水比 $w_i+20\%$ 程度	$w_{opt}$	$w_{opt}$	$w_{opt}$	
	密度調整方法	ヘドロ状試料を投入、98kPaで5日間圧密	タコにて軽く突固め (100回/1層*8層)	タコにて強く突固め (200回/1層*8層)	タコにて強く突固め (400回/1層*8層)
三軸試験 ( $c'=98kPa$ )	相対密度 $D_{rm}$ (%)	43	58	68	76
	供試体作成方法	再構成試料 (空中落下法H=15cm)	不攪乱試料 (シフォ-メッシュラップリング)	不攪乱試料 (シフォ-メッシュラップリング)	不攪乱試料 (シフォ-メッシュラップリング)
	平均相対密度 $D_{rm}$ (%)	49	66	70	79

模型地盤作成後に脱気水にて飽和化、上載荷圧98kPaにて3日間圧密。

以上より、以降で議論する液状化抵抗は、主に海岸埋立地のような若齢な地盤の非塑性なシルトを対象にしたものである。

### 3. 実験方法

実験は、相対密度と液状化抵抗の関係を明らかにするために、種々の相対密度の供試体を作成し、繰返し非排水三軸試験を実施した。三軸試験に用いた供試体は、基本的には、直径80cm×高さ70cmの中型土槽<sup>9)</sup>に模型地盤を作成し、上載圧98kPaで圧密後、標準貫入試験を実施し（この結果は、ここでは省く）、その後、模型地盤より不攪乱試料を採取した。表-2に、模型地盤の作成方法と三軸供試体の作成方法

キーワード：液状化，シルト，相対密度，埋立地盤，三軸試験

連絡先：〒270-0222 千葉県東葛飾郡関宿町木間ヶ瀬5472 飛鳥建設(株)技術研究所 TEL04-7198-7553

を示す。TU45 の緩い地盤については、供試体が自立せずこれを三軸試験機に設置できなかったため、空中落下法により三軸試験用供試体を作成した。このときの相対密度は、模型地盤で 43%、三軸供試体で 49% でほぼ一致した。TU45 の模型地盤は、浚渫土のポンプ埋め立てを想定してヘドロ状の試料を中型土槽に投入し圧密を行った。このように作成された地盤密度は、空中落下法で作成されるような緩い密度に相当し、空中落下法で作成した供試体の液状化抵抗は実際の海岸埋立地の液状化抵抗に近いと考えられる。

繰返し非排水三軸試験は、供試体寸法が直径 7.5cm × 高さ 15cm で、有効拘束圧 98kPa で圧密後、荷重振幅一定の繰返し载荷を行った。供試体の B 値は 0.95 以上である。

4. 実験結果

図- 2 に、両振幅ひずみ DA=5% にいたる繰返し強度曲線を示す。図中には、藤の森粘土の結果<sup>10)</sup>も併記した。ただし、藤の森粘土の供試体寸法は直径 5cm × 高さ 10cm で、有効拘束圧は 196kPa である。竹内シルトは、相対密度の増加にともない繰返しせん断応力比が増加し、繰返し回数の少ないところで曲線がそり上がる。この傾向は、一般の砂の傾向<sup>11)</sup>とほぼ一致している。一方、藤の森粘土は、曲線の形状は緩い TU45 と同じであるが、繰返しせん断応力比は 2 倍程度大きく、両者の繰返し強度曲線は異なる。

図- 3 は、繰返し回数 20 回における液状化抵抗  $R_{20}$  と相対密度の関係である。図中には、豊浦砂における同様の関係<sup>12)</sup>を併記した。竹内シルトは、相対密度 70% 以上になると液状化抵抗は急激に大きくなる。急激に液状化抵抗が大きくなる相対密度の値は豊浦砂と異なるが、シルトの卓越した竹内シルトは、砂と同様にある相対密度より密になると液状化抵抗が急激に上昇し、また、相対密度との相関が高い。一方、相対密度が 70% 程度以下では竹内シルトも豊浦砂と同程度の小さい液状化抵抗である。相対密度が 50% 付近の液状化抵抗は、前述の通り実際の海岸埋立地におけるシルト地盤の液状化抵抗に近いと考えられ、このような地盤の液状化抵抗が緩い砂と同程度に小さいことがわかった。

5. まとめ

種々の密度における竹内シルトについて繰返し非排水三軸試験を実施し、以下が明らかになった。

- (1) 空中落下法で作成した三軸試験の供試体相対密度は、ヘドロ状試料を中型土槽に投入し圧密した後の相対密度とほぼ一致した。
- (2) 種々の密度における竹内シルトの繰返し強度曲線は、粘土とは異なり、砂におけるそれとほぼ一致した。
- (3) 竹内シルトの相対密度と液状化抵抗の関係は、砂と同様に相関が高く、相対密度が 70% 程度以上になると急激に液状化抵抗が急増するが、70% 程度以下では緩い砂と同程度に液状化抵抗が小さい。

参考文献

1) 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, pp.2149-2150, 2001.6.  
 2) 日本建築学会: 5.1 液状化による被害, 2000 年鳥取県西部地震被害調査報告 2001 年芸予地震被害調査報告, pp.161-164, 2001.10.  
 3) 日本道路協会: 7.5 砂質地盤の液状化の判定, 道路橋示方書・同解説 耐震設計編, pp.91-95, 1996.12.  
 4) 日本港湾協会: 第 13 章地盤の液状化, 港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻), pp.281-288, 1999.4.  
 5) 日本建築学会: 4.5 節 地盤の液状化, 建築基礎構造設計指針, pp.61-72, 2001.10.  
 6) 森 伸一郎, 沼田 淳紀, 境野 典夫, 長谷川 昌弘: 埋立地の液状化で生じた噴砂の諸特性, 土と基礎, 39-2(397), pp.17-22, 1991.2.  
 7) 兵動 正幸, 内田 一徳: 粘性土の動的性質 2. 粘性土の動的問題の分類, 土と基礎, Vol.46, No.6, pp.53-58, 1998.6.  
 8) 田雜 満孝, 沼田 淳紀, 染谷 昇: 竹内シルトの最小間隙比, 土木学会第 56 回年次学術講演会(投稿中), 2002.9.  
 9) 國生 剛治, 吉田 保夫, 諏訪 正博, 桑原 弘昌, 佐藤 正行: 土槽貫入実験によるまさ土の液状化強度の評価(その 1) - 土槽実験による各種土質定数の関係 -, 第 34 回地盤工学研究発表会, pp.125-126, 1999.7.  
 10) 粘性土の動的性質に関する研究委員会: EX(試験)部会報告, 粘性土の動的性質に関するシンポジウム(地盤工学学会), pp.20-46, 1995.7.  
 11) 山本 陽一, 兵動 正幸, 黒島 一郎, 谷垣 正治: 砂および粘土の繰返しせん断強度に基づく有効応力モデルとその液状化解析への応用, 土木学会論文集, No.561, pp.295-308, 1997.3.  
 12) 沼田 淳紀, 嶋本 栄治, 染谷 昇, 國生 剛治: 細粒土の土槽貫入実験(実験結果), 土木学会第 56 回年次学術講演会, 第 3 部, pp.144-145, 2001.10.

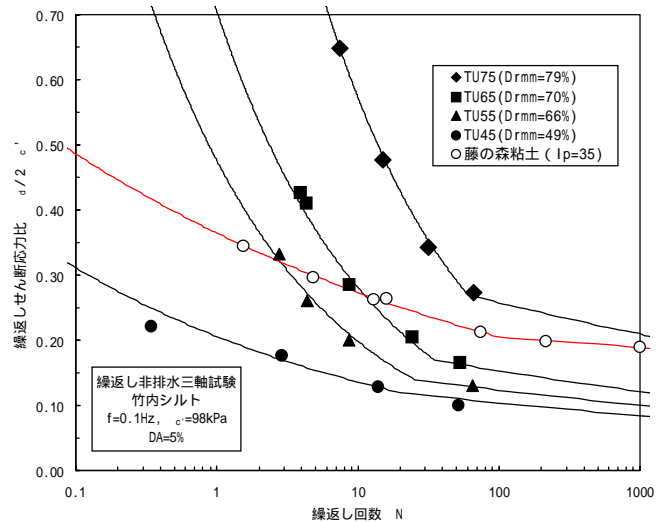


図-2 竹内シルトと藤の森粘土の繰返し強度曲線

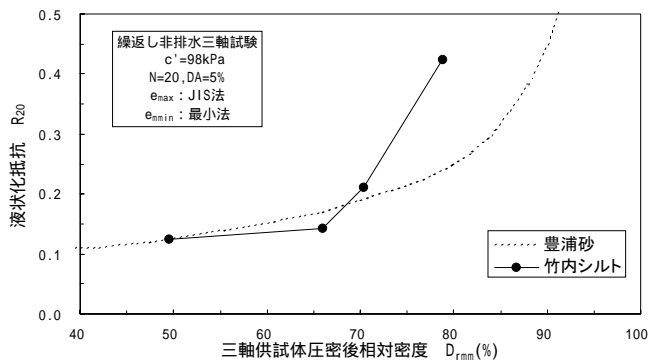


図-3 竹内シルトの相対密度と液状化抵抗の関係