

### 竹内シルトの最小間隙比

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

#### 1. はじめに

1987年千葉県東方沖地震以来、細粒分の多い土に対しての液状化研究が行われるようになってきた<sup>1)2)3)4)</sup>。液状化抵抗と相対密度とは相関が高いことが知られているので、このような細粒な土に対してもJIS A 1224に定める砂の最小密度・最大密度試験（以下、JIS法と呼ぶ）の適用範囲外でありながらも、JIS法により最大・最小間隙比をあえて求めて使用している場合が多い。しかしながら、著者らは、細粒分含有率が5%以上である細粒分の多い土に対してJIS法を用いて相対密度を定義すると、相対密度が不合理な値になることを既に指摘した<sup>5)</sup>。そこで、相対密度を求める時の最小間隙比を物理的に作り得る最小の間隙比と定義し、JIS A 1210の締固め試験の締固めエネルギーを種々変えて得られる最大の乾燥密度より求めることを提案した<sup>6)</sup>。この方法では、ほぼ相似粒度と考えられる細粒な土の最小間隙比は土が異なってもほぼ一致し、*N*値や液状化強度と相対密度の相関がJIS法で求めた相対密度に比べはるかに高く、適用性が高いことを明らかにした。2000年鳥取県西部地震では、竹内団地でシルトの卓越した噴砂が多く確認された<sup>7)</sup>。そこで本研究では、竹内団地で採取されたシルト（以下、竹内シルトと呼ぶ）に対して新しく提案した相対密度の定義方法についてその適用性を検討した。

#### 2. 試料の物理的性質

実験に用いた試料は、2000年鳥取県西部地震において、竹内団地で液状化により発生した噴砂から採取した試料である。表-1と図-1に試料の物理的性質と粒度組成を示す。これらの表、図には、比較のため豊浦砂、利根川砂、北海道T砂、函館シルトを併記した。いずれの試料も均等係数10以下、粘土分含有率10%以下、NPであるが、細粒分含有率が0~90%程度と大きく異なる。粒度組成は、豊浦砂が他の試料と比べ均等係数が小さいが、5試料は、概ね相似粒度である。特に竹内シルトと函館シルトの粒度組成は良く似ており、JIS法で求めた最大・最小間隙比も同程度である。写真-1は、函館シルトと竹内シルトのマイクロスコブ写真である。この写真より両者の粒度組成はほぼ一致しているが、粒子形状に注目すると函館シルトは竹内シルトに比べ若干丸みを帯びている様子がわかる。

表-1 用いた試料の物理的性質

| 項目  | 豊浦砂   | 利根川砂  | 北海道T砂 | 函館シルト | 竹内シルト |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| 土粒子の密度 <i>s</i> g/cm <sup>3</sup>                       | 2.640 | 2.754 | 2.775 | 2.682 | 2.640 |
| 最小密度 (JIS法) <i>d<sub>min</sub>JIS</i> g/cm <sup>3</sup> | 1.337 | 1.217 | 1.055 | 0.962 | 0.944 |
| 最大間隙比 (JIS法) <i>e<sub>max</sub>JIS</i>                  | 0.975 | 1.263 | 1.630 | 1.788 | 1.795 |
| 最大密度 (JIS法) <i>d<sub>max</sub>JIS</i> g/cm <sup>3</sup> | 1.651 | 1.620 | 1.411 | 1.294 | 1.305 |
| 最小間隙比 (JIS法) <i>e<sub>min</sub>JIS</i>                  | 0.599 | 0.700 | 0.967 | 1.073 | 1.023 |
| 最大密度 (最大値) <i>d<sub>max</sub></i> g/cm <sup>3</sup>     | -     | 1.703 | 1.765 | 1.680 | 1.512 |
| 最小間隙比 (最小値) <i>e<sub>min</sub></i>                      | -     | 0.617 | 0.572 | 0.596 | 0.746 |
| 最大粒径 <i>D<sub>max</sub></i> mm                          | 0.425 | 4.75  | 9.50  | 2.00  | 0.850 |
| 細粒分含有率 <i>P<sub>f</sub></i> %                           | 0.1   | 7     | 25    | 81    | 90    |
| 粘土分含有率 <i>P<sub>c</sub></i> %                           | -     | 5     | 7     | 5     | 8     |
| 50%粒径 <i>D<sub>50</sub></i> mm                          | 0.205 | 0.282 | 0.120 | 0.044 | 0.040 |
| 均等係数 <i>U<sub>c</sub></i>                               | 1.3   | 2.9   | 8.6   | 3.9   | 4.2   |
| 液性限界 <i>w<sub>L</sub></i> %                             | -     | -     | 28.7  | 39.9  | 39.6  |
| 塑性限界 <i>w<sub>p</sub></i> %                             | -     | -     | NP    | NP    | NP    |
| 塑性指数 <i>I<sub>p</sub></i>                               | NP    | NP    | NP    | NP    | NP    |

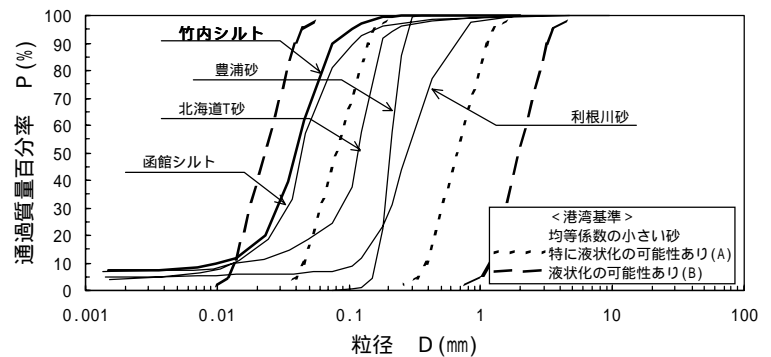
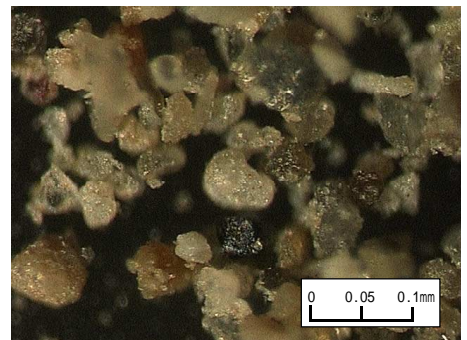
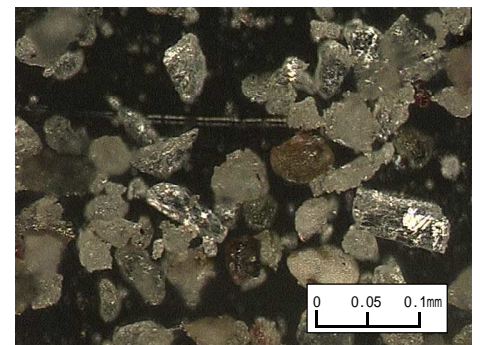


図-1 用いた試料の粒度組成



(a) 函館シルト



(b) 竹内シルト

写真-1 試料のマイクロスコブ写真

### 3. 最小間隙比の定義方法

物理的に作り得る最小の間隙比を求めるために、JIS A 1210 の締固め試験を実施した。試験は A-c 法で行い、落下回数を変化させることにより、締固めエネルギーを  $1E_c (=550\text{kJ/m}^3)$ 、 $2E_c$ 、 $4E_c$ 、 $8E_c$ 、 $16E_c$ 、 $32E_c$  とし、最小の間隙比を求めた。また、締固め試験後の粒子破碎を求めるために最適含水比付近の締固め後試料を用い、粒度試験（JIS A 1204）を実施した。

図-2 に、締固めエネルギーと乾燥密度および各粒径における通過質量百分率の関係を示す。明らかに  $32E_c$  から粒子破碎が多く生じ、その影響で密になったと考えられる。 $16E_c$  ではわずかに破碎の可能性が考えられる。そこで、粒子破碎が生じない範囲で、密度が  $16E_c$  の乾燥密度に漸近すると想定し、その時の最大乾燥密度を最小間隙比とした。

### 4. 50%粒径と間隙比の関係

図-3 に 50%粒径と間隙比の関係を示す。図中には、JIS 法によって求めた最小・最大間隙比  $e_{\text{minJIS}}$  および  $e_{\text{maxJIS}}$ 、締固め試験によって物理的に作り得る最小の間隙比  $e_{\text{mmin}}$  を示した。豊浦砂を除けば、JIS 法の最小・最大間隙比は粒径が小さくなると間隙比が大きくなる傾向が認められる。これは、粒子に付着している微細粒子がクッション的役割を果たし土粒子の移動を妨げるからだと考えられる。

一方、竹内シルトの  $e_{\text{mmin}}$  は、粒度組成が良く似ている函館シルトと比べるとやや大き目ではあるが、 $e_{\text{minJIS}}$  と比べ小さく、他の試料の  $e_{\text{mmin}}$  とほぼ同一であり、竹内シルトについても他のほぼ相似粒度の試料と同程度の  $e_{\text{mmin}}$  が求められることがわかる。同一の粒子形状、同一材質で相似な粒度組成の粒子であれば、取り得る最小間隙比も同一である。したがって、竹内シルトの  $e_{\text{mmin}}$  のわずかな違いは、材質あるいは写真-1 に示したような粒子形状の違いの影響であると考えられる。

以上より、JIS 法で求めた最小間隙比は物理的意味が曖昧であったが、ここで求めた最小間隙比は、物理的意味が明瞭であり、竹内シルトについてもこの方法が適用できることがわかった。

### 5. まとめ

相対密度を求める時の最小間隙比を物理的に作り得る最小の間隙比と定義することを提案しているが、その方法を竹内シルトに適用しても他の相似粒度な試料とほぼ同じ間隙比が得られ、合理的に最小間隙比を定義できることがわかった。

#### 参考文献

- 1) 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.
- 2) 桑野 二郎, 飯村 博志, 中沢 博志, 杉原 弘一: カオリンを含む砂の液状化強度, 土木学会第 50 年次学術講演会, 第 3 部門, pp.506-507, 1995.9.
- 3) 黄 大振, 柳沢 栄司, 菅野 高弘: シルトを含む砂のせん断特性について, 土木学会論文集, No.463/ -22, pp.26-33, 1993.3.
- 4) 佐藤 正行, 小田 匡寛, 風間 秀彦, 小瀬木 克巳: 細粒分が埋立地盤の液状化特性に及ぼす影響に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No.561/ -38, pp.271-282, 1997.3.
- 5) 嶋本 栄治, 沼田 淳紀, 染谷 昇, 諏訪 正博: 非塑性シルトの液状化強度に対する相対密度による評価, 土木学会第 55 回年次学術講演会概要集, 第 3 部, pp.176-177, 2000.9.
- 6) 沼田 淳紀, 嶋本 栄治, 染谷 昇, 國生 剛治: 細粒な土の相対密度 (定義方法), 第 36 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.2193-2194, 2001.5.
- 7) 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発表講演集, pp.2149-2150, 2001.5.

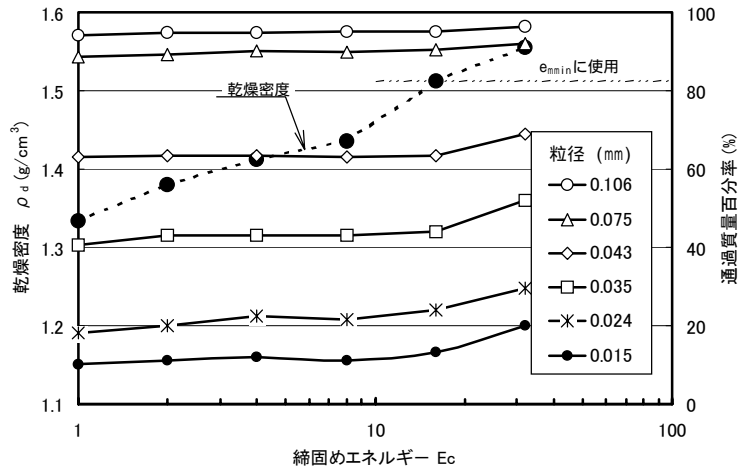


図-2 締固めエネルギーと乾燥密度・粒度組成の関係

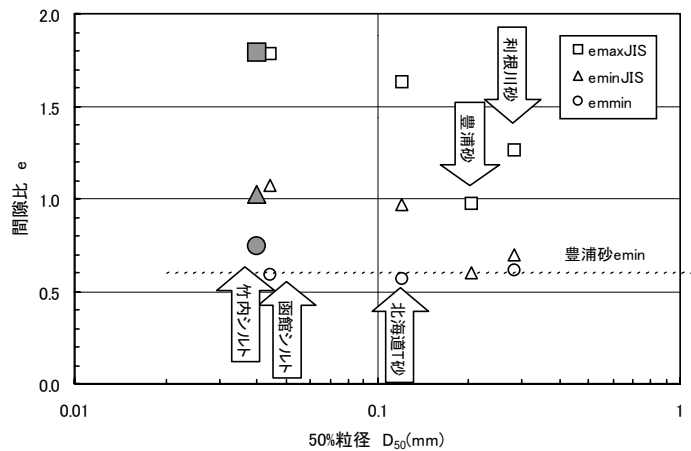


図-3 50%粒径と間隙比の関係