

北海道大学工学部 正員 〇三 浦 清 一
北海道大学工学部 正員 北 郷 繁

〔まえがき〕 筆者らは、圧縮・伸張両状態における飽和混合土の非排水せん断特性に関する実験結果を報告しているが¹⁾²⁾³⁾、本文は混合土中の砂分含有量の多い場合について新たに実施した結果を示し、砂質領域における混合土は粘土分の混入によって不安定構造が卓越しやすいことを明らかにしている。

〔実験方法〕 本実験に用いた試料は、表-1に示すようにグラスビーズ ($D_{50}=0.37\text{mm}$, $e_{max}=0.708$ ⁴⁾, $e_{min}=0.568$ ⁴⁾)と粘土の人為混合体である。ここでRは粘土(シルト分を含む)含有率であって、例えばR40はグラスビーズの含有率が60%の混合土であることを示している。R200の混合土の供試体作製は予備圧密法⁴⁾、およびR20混合土のそれは初期含水比を種々に変えた予圧密成形法⁵⁾によった。また、R≤10の混合土では広範囲の空隙比を有する供試体を作製するため、乾燥および湿潤状態でタンピングする方法を採用した。このタンピング法で作製した供試体にCO₂を通し、引続き脱気水で飽和させた後さらに196 kN/m²のバックプレッシャーを与えることにより、0.97以上のB値を得ている⁶⁾。実験はすべて等方圧密(圧密圧力=2, 3, 4, 5×98.1 kN/m²)非排水三軸圧縮試験であって、圧密は間隙水圧が95%以上消散した時侯を完了としている。なお、R20の混合土では圧密開始前に98 kN/m²のバックプレッシャーを与えており、圧密完了後24時間経過してからせん断($\dot{\epsilon}_a=0.05\%/min$)を実施した。また、R≤10の混合土の $\dot{\epsilon}_a$ は0.15%/minを採用している。

〔実験結果および考察〕 (1)粘土含有率と空隙比の関係: 図-1は、等方圧密($P_0=196\text{ kN/m}^2$)後の各混合土の空隙比 e_0 とRの関係を示したものであって、図中の e_c , e_g はそれぞれグラスビーズの容積を無視した場合の粘土の空隙比および粘土の容積を無視した場合のグラスビーズの空隙比であり、次式(1), (2)で示される。 $e_c=e_0[1+\frac{G_{sc}}{G_{sg}}(\frac{1-R}{1-R})] \dots (1)$, $e_g=e_0[1+\frac{G_{sg}}{G_{sc}}(\frac{1-R}{1-R})] \dots (2)$ ここで、 G_{sc} , G_{sg} はそれぞれ粘土およびグラスビーズの比重である。 $e_0 \sim R$ 関係より、グラスビーズの混入による粘土分の空隙比の変化は、Rが50~60%以上では極めて小さいことが認められる。この傾向は、Rが50~60%以上では粘土の力学的性質がそのせん断初期より十分発揮されている結果(図-3参照)を裏付けているものといえよう。一方、 e_0 はRが40~100%まではRの減少に伴って直線的に減少し、かつRが20~30%でその最小値を有している。この空隙比の最小値の存在理由を、空隙比 e_0 をもつ粒状体(容積 V , 重量 W , 比重 G_s)に空隙比 e_2 の細粒分(V_2 , W_2 , G_{s2})を混合する場合についてモデル的に考えてみよう。すなわち、粒状体の V_2 は細粒分が混入しても変化しないものと仮定すると、両成分混合体の空隙比 e_m は、

$$e_m = \left(\frac{e_0}{1+e_0} - \frac{V_2}{V \cdot G_{s2} \cdot \lambda} \right) / \left(\frac{1}{1+e_0} + \frac{V_2}{V \cdot G_{s2} \cdot \lambda} \right) \dots (3)$$

と表わされる。また、細粒分が粒状体の空隙を満たす程度を示すパラメータ(空隙充足率と称する) λ は、 $\lambda = V_2 / (V - \frac{W}{G_{s2} \cdot \lambda}) = \frac{(1+e_0)}{e_0} \cdot \frac{V_2}{V} \dots (4)$ となる。

さらに細粒分含有率 $R = (W_2 / (W + W_2))$ を用いて e_m , λ を表わすと、 $e_m = e_0(1+e_2-\lambda) / (1+e_2+\lambda e_0) \dots (5)$, $\lambda = \frac{1}{e_0} \cdot \frac{G_{s1}}{G_{s2}} \cdot \left(\frac{1-R}{1-R} \right) \cdot (1+e_2) \dots (6)$ となる。本研究で用いた混合土について、式(5), (6)から計算して得た結果を図-2に示してある。すなわち、 $R=196\%$ において、R0の非常にゆるい状態の $e_0(e_0)=0.703$ にR100の $e_0(e_0)=1.114$ を混合した場合、空隙充足率 λ が1.0つまり最小の空隙比 $e_{min}(=0.278)$ を与える $R(R_{min})$ は26.2%である。また図示は省略したが、R0の密つめの $e_0=0.583$ に細粒分を混合する場合は、 $R_{min}=23.0\%$, $e_{min}=0.241$ を得る。実験値とつ良好な一致は見られませんが、細粒分の混入により $R=20 \sim 30\%$ で e_{min} が

Table 1. Index properties of ring-shaped sand mixtures

	WTC	WTC	WTC	WTC	WTC	WTC	WTC	WTC	WTC
Ring number	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Sand percentage	17	16	15	14	13	12	11	10	9
Gravel percentage	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Linear density	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
Particle size	20-40	20-40	20-40	20-40	20-40	20-40	20-40	20-40	20-40
Maximum size	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75
Minimum size	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
Specific gravity	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
Water content	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Shrinkage	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

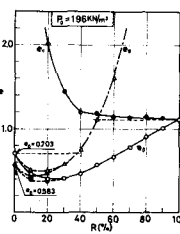


Fig. 1

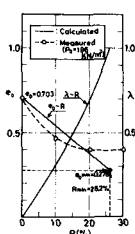


Fig. 2

存在する理由は、上述の考察からある程度理解できよう。

$R=20\sim30\%$ で $e_{0,min}$ が得られるということは、直観的には大きな粒子の空隙を小さい粒子が満たし、空隙比は小さくなりその強度も増すはずであると考えられるから、この R に近い混合土の力学的性質は良好であると見做せるはずである。しかし、このような単純な推論は以下に示す正規圧密混合土の非排水せん断挙動との関連において議論すると、必ずしも適当ではない。また小田は⁹⁾ 2成分混合の粒状体(種々の粒径のグラスビーズ)について、1粒子当りの接触数の標準偏差値(粒子構造の不均一性を示す指標と考えている)を求め、粒度組成の変化による空隙比の減少は、構造の不均一性を伴うことを指摘している。

2. {各混合土の非排水せん断挙動について}: 図-3, 4は、それぞれ $R>40$ 、 $R=20$ 混合土のせん断試験から得られた有効応力径路 $q/p_0 \sim p/p_0$ 、ただし $q = \sigma_a - \sigma_r$ 、 $p = \frac{1}{2}(\sigma_a + \sigma_r)$ 、 $p_0 =$ 圧密圧力)と有効応力比 $\eta (= q/p) \sim e_0$ 関係を示したものであって、図中 η_0 は限界状態の η 値である。 $R=80$ においては、 R の変化による応力 $\sim$ ひずみ $\sim$ ダイレイタンスー特性の顕著な差はないとみてよい。しかし、 $R=20$ 混合土はすでに報告しているように³⁾、その非排水せん断強度 S_u が $R=100$ の65%程度しか発揮されていない、 $(\sigma_a - \sigma_r)_{max}$ 時における e_0 が小さいおよび発生空隙水圧が大きいなどの諸特徴から判断して、非常にゆるい砂に類似している。つまり不安定な構造状態にあるとみられる。図-5は、 $R=20$ の非排水せん断特性を示したものである。ここで、正規圧密条状の場合、 $R>30$ ではそれぞれ1本の $e_0 \sim \log p$ 関係が得られるが、 $R<20$ では初期間隙比に応じて $e_0 \sim \log p$ 関係が存在するので(図-1参)、 e_0 の相違を考慮しなければならない。 $R=20$ 混合土では、特にその有効応力径路(ダイレイタンスー特性)があたかも e_0 の相違に強く影響を受けているかのようである。しかし、ダイレイタンスー特性の相違をもたらす要因は、 e_0 の微少な差(0.02)のみではなく、この混合土の構造状態の相違であることを指摘する必要がある。さらに、 $e_0 = 0.403$ の混合土は $R=20$ の非排水せん断挙動の諸特徴と類似している点を考慮すると、不安定な構造が生じやすい混合土といえる。図-6, 7に示し、 $R=10, R=20$ においても、ゆるい状態では上記の混合土と同様の挙動を呈している。ただし、限界状態付近の有効応力径路に着目すると、 $R<10$ ではかなり原状付近まで進行していく(液状化型)が、 $R=20, R=30$ 混合土では粘土分の存在によってある程度このような現象は阻止されている。

以上述べてきたように、砂質領域における正規圧密混合土の非排水せん断挙動は、細粒分の混入により不安定構造が卓越する可能性があるため、空隙比や含水比だけでは解明できない。今後、粒子配列構造との関連性を調べる必要がある。最後に、本実験において、本学助教助手、工藤技官および卒業生成田・宮崎両氏の協力を得た。記して謝意を表する。

文献 1) 北郷・奈良: 第29回年次講演会 '74 2) 北郷・奈良: 第30回 '75 3) 北郷・奈良: 第31回年次講演会 '76 4) 北郷・奈良: 第32回年次講演会 '77 5) 北郷・奈良: 第33回年次講演会 '78 6) 北郷・奈良: 第34回年次講演会 '79 7) 北郷・奈良: 第35回年次講演会 '80 8) 北郷・奈良: 第36回年次講演会 '81 9) 小田: 土と基礎, Vol. 26, No. 2, 1982

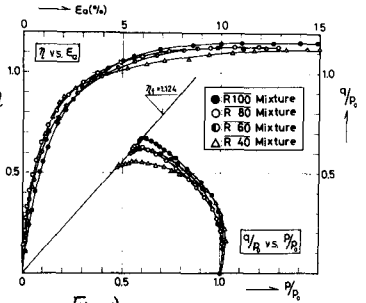


Fig. 3

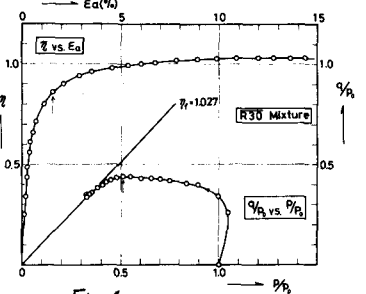


Fig. 4

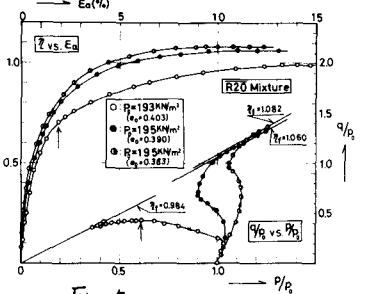


Fig. 5

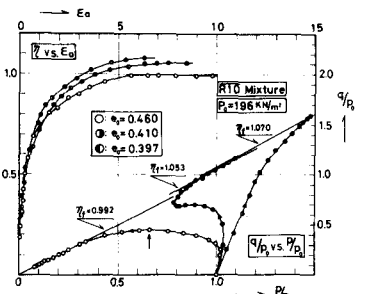


Fig. 6

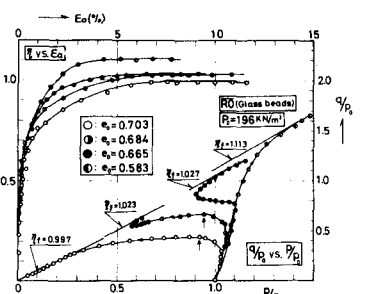


Fig. 7