

破壊状態におけるストレス-ダイレイタンス式 軸対称圧縮状態におかれた供試体のエネルギー釣合式を Roscoe¹⁾の記号を用いて考察する。供試体内部で消散されるエネルギー増分 dW は、(1) せん断変形に伴う粒子表面摩擦成分； $\mu p d\varepsilon$ (ただし、 $\mu = (6 \sin \phi_v) / (3 - \sin \phi_v)$)²⁾、(2) 粒子の滑動に伴う摩擦成分； dW' 、および (3) 粒子破碎に消費される成分； dW'' から成っているであろう。したがって、エネルギー釣合は図-1 に示すように

$$\left(\frac{q}{p}\right) = \mu - \frac{d\nu}{d\varepsilon} + \underbrace{(dW' + dW'' + dU)}_R / (p d\varepsilon) \dots \dots (1)$$

ここに、 dU は供試体に可逆成分として蓄えられるエネルギー。

さて、同一試料を間隙比 e や側圧 σ_3 をかえて排水試験すると、破壊直は図-2 の線分 AB のような直線上に並ぶ。Rowe³⁾ は、この破壊状態線の位置が供試体寸法に影響されるとのみ述べている。

しかしながら、この線分の縦軸切片は理論上 Roscoe の $M (= (6 \sin \phi_v) / (3 - \sin \phi_v))$ となることでもあり、物理的意味を持つと考えられる。

図-3 は、著者がこれまでに行った $\sigma_3 \leq 15 \text{ kgf/cm}^2$ までの試験結果である。a) は、豊浦標準砂およびそれと同じ粒度に調整した試料の結果である。三浦⁶⁾の $\sigma_3 = 300 \text{ kgf/cm}^2$ に及ぶ試験では、粒子が等方圧力下で破碎されはじめた圧力 (100 kgf/cm^2) で収縮が最大となり、 σ_3 がそれより大きくなると、同じ線上を M へ逆行している。b) は、試料を相似粒度を持つように調整した場合である。(砕砂と海砂の粒度分布は文献⁵⁾)、マサ小径は、豊浦砂に近い。) 砕砂とマサは粉碎により小粒径試料を得たが、海砂はふるい分けだけで調整した。

せん断強さの推定法 同じ母岩から得られた相似粒度の試料 A, B の一方だけを三軸圧縮試験し、その結果から他方の試料が任意の σ_3 と n におかれた時に発揮するせん断強さを推定したい。まず、図-3b により、両試料は共通のストレス-ダイレイタンス式を持つと仮定する。すなわち、

$$\left(\frac{q}{p}\right)_f = -a \left(\frac{d\nu}{d\varepsilon}\right)_f + M \dots \dots (2)$$

そうすると、せん断強さ $(q/p)_f$ を推定する問題は、破壊時におけるダイレイタンス係数 $(d\nu/d\varepsilon)_f$ を推定する問題に変わる。

ところで、ダイレイタンスは、土の骨格構造の変化に伴う現象であるから、ダイレイタンスを支配する法則を探るには試料に作用する応力が土粒子接点に与える影響を見積ることが有用であろう。Marsal⁷⁾は、球状粒子の圧裂荷重 P_a と

$$P_a = k \cdot r^{\frac{3}{2}} \quad (\text{ただし、} k: \text{材料定数、} r: \text{粒子半径})$$

と推論している。一方、等大球で構成された試料の間隙率 n とすると、単位体積試料中の接点総数 N は

$$N = 0.24g(n)(1-n)r^{-3} \quad (\text{ただし、} g(n) \text{ は 1 球当りの接点数})$$

となる。したがって、接点に圧裂荷重が作用す

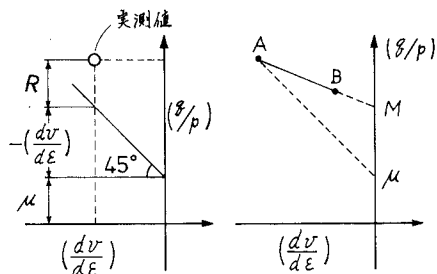


図-1

図-2

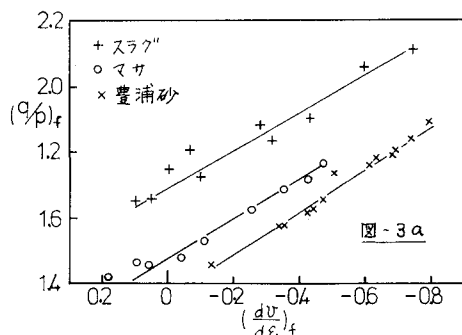


図-3a

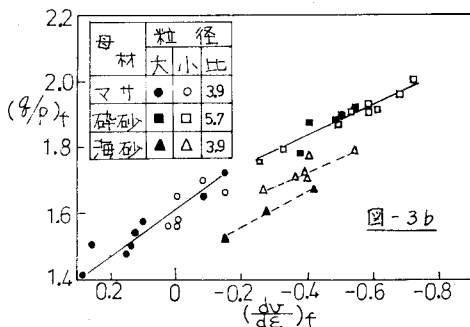


図-3b

るために必要な応力 σ_u は、

$$\sigma_u = p_a \cdot N^{\frac{2}{3}} = k f(n) r^{-m} \quad (3)$$

ただし、 $f(n)$ は n の減少関数、 m の理論値は、 $m = 0.5$ 。

粒子が破碎しやすいとダイレイタンスは抑制されるから、

$(dv/d\varepsilon)_f$ は、 (σ_3/σ_u) で決まると仮定してみる。とすれば

試料 A の初期間隙率 n_A を一定にして、 σ_3 を変えた試験を多数行
って、 $(dv/d\varepsilon)_f = F_A(\sigma_3) \quad (4)$

を得ておくと、任意の σ_3 と n のもとにおける試料 B のダイレイタ
ンスは次式で推定できることになる；

$$(dv/d\varepsilon)_f = F_A(\sigma_{3B}) \quad (5)$$

ただし、

$$\sigma_{3B} = (\sigma_3)_B \times \left(\frac{r_B}{r_A}\right)^m \times \frac{f(n_A)}{f(n_B)} \quad (6)$$

ここに、 $(\sigma_3)_B$ ：試料 B に作用する σ_3 、 (r_B/r_A) は相似比（粒径比）
、 n_B は試料 B の間隙率。

式 (4) は、粒子が等方圧力下で破碎されはじめる圧力以下では
1 価関数である。図-4 は、図-3b の資料から使試体作製時の
締固め回数が一定（30 回）のものを選び出し、 σ_3 について整理し
たものである。今、小粒径試料を基準にとれば、式 (4) の実験式

は図-4 より； $(dv/d\varepsilon)_f = b \log \sigma_3 + c \quad (4)'$
したがって、大粒径試料の式は、式 (5)、(6) より；

$$\left(\frac{dv}{d\varepsilon}\right)_f = b \log \sigma_{3B} + m b \log \left(\frac{r_B}{r_A}\right) + b \log \frac{f(n_A)}{f(n_B)} + c \quad (5)'$$

図-4 において 3 組の相似試料は、それぞれ平行線を引き得るの

で、式 (5)' の右辺 1 項は満たされている。使試体の作製方法からみて、 σ_3 項は小さいので無視すると、図上
の 3 小試料の傾度は 2 項に等しい。そこで 2 項中の m を逆算すると、砕砂：0.35、海砂：0.91、マサ：0.99
となった。つぎに、図-5 は、式 (5)' の 3 項を検討するための図である。いざや $\sigma_3 = 1.5 \text{ kgf/cm}^2$ における
結果であろうが、初期間隙率が変えてある。資料数は少ないが、一応 $(dv/d\varepsilon)_f = b'n + c'$ が成立している
と見ると、

$$f(n_A)/f(n_B) = 10^{\frac{b'}{b}(n_B - n_A)} \quad (7)$$

よって、式 (6) は

$$\sigma_{3B} = (\sigma_3)_B \times \left(\frac{r_B}{r_A}\right)^m \times 10^{\frac{b'}{b}(n_B - n_A)} \quad (6)'$$

ここに、指数 b 、 b' は、基準試料の試験結果を図-4、5 のように整理して得られる直線の勾配である。 m の
値は一定値が得られなかったが、その値が小さい程、破碎されにくいことがわかっていく。したがって、式 (6)
の中に材料定数 k (式 (3)) が生き残るような議論を組み立てる必要がある。

実験担当者 堤肇、木下靖 両氏に謝意を表する。

参考文献 1) Roscoe 他、Yielding of Clays..., Géotechnique, Vol. 13, 1963. 2) 堤肇, 土木学会論
文報告集, No. 273, p87, 1978. 3) Rowe, The Stress-dilatancy Relation..., Royal Society of Lon
don, Series A, Vol. 269. 4) 土木学会 35 周年次学術講演会, III-19. 5) 同 36 回, III-23. 6) 三浦他,
高拘束圧下における標準砂の..., 土木学会論文報告集, No. 193, 1971. 7) "Embankment-Dam Engineer
ing", 中の Marsal 論文, p133. John Wiley, 1972.

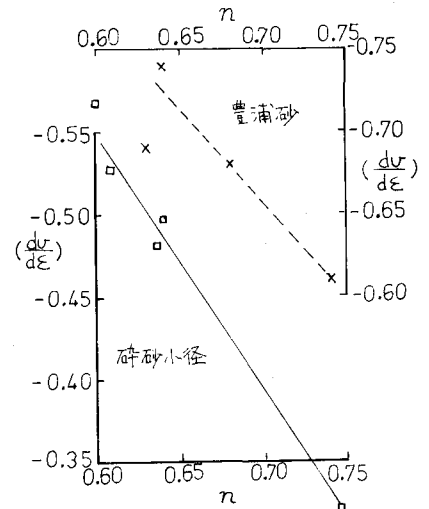
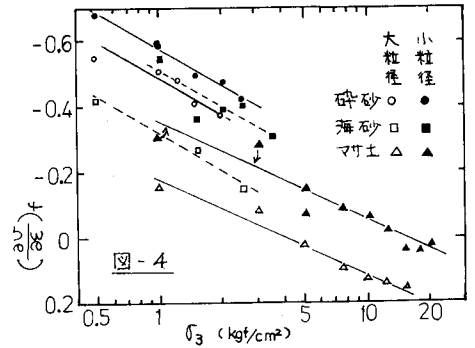


図-5