

## ダイラタンシー効果の補正法の比較と

若干の考察について (三軸試験の場合)

福岡大学 工学部 正員 吉田 信夫

○ 学生員 松永 兼孝

学生員 中川 一良

## 1. まえがき

Mohr-Coulomb の破壊規準は不連続な粒子の集合体には厳密には適用できない。それはせん断にもないダイラタンシー現象を生じるからである。この検討は Reynolds (1885) 以来多くの人によって説明がなされてきている。ダイラタンシー効果の補正法としては Bishop<sup>1)</sup>, Newland & Allely<sup>2)</sup>, Row<sup>3)</sup> の方法があり、わが国では最上<sup>4)</sup>が二面せん断試験機によりダイラタンシー効果を論じている、赤井<sup>5)</sup>により三軸試験の場合における定量的な検討がおこなわれ、村山、松岡<sup>6)</sup>らは粒子の接点傾斜角  $\theta$  によるダイラタンシー現象の微視的評価を試みている。

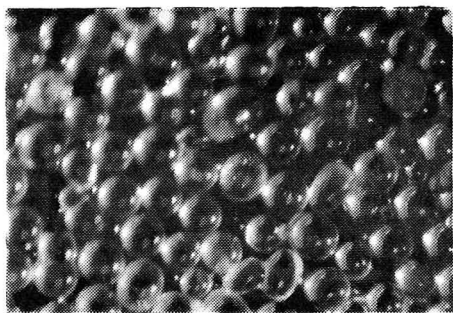
しかしダイラタンシー現象に影響をあたえる要因には、粒子の大きさ、粒子の形、粒子の偏平度、粒径、間げき、応力状態などがある。これらの文献については春山<sup>7)</sup>によりまとめられている。

ここではダイラタンシー現象に影響をあたえる各要因の大きさの割合を検討するためにまず補正法として採用しようとする式の実験値への適合性の評価を目的とするものである。試験からえられた結果について  $P$ - $\epsilon$  曲線、内部摩擦角をあらわす  $\phi$  とダイラタンシー現象を示す  $\tan \theta$  について若干の考察を加えたものである。

なお、粒子の形状、材質を統一するためにガラスビーズを試料としてもちいた。

## 2. 試料と実験装置

三軸試験にもちいた試料は東芝製の研磨用のガラスビーズ G-K で粒子の大きさは、0.074 $\mu$ m, 0.125 $\mu$ m, 0.250 $\mu$ m, 0.50 $\mu$ m, 2.0 $\mu$ m の5種類であり、これは土質工学会のせん断の一斉試験にもちいられたものと同系統のものである。副圧  $p$  は 0.5, 1.0, 1.5, 2.0  $\mu$ m の4段階に、間げき比は、所定の間げき比 ( $e_0$ ) の段階に調整し、 $p$  を加えた後での間げき比を ( $e_i$ ) とした。ガラスビーズの比重は 2.5 2 でありその 0.5 $\mu$ m の顕微鏡写真を右上に示す。



なお三軸圧縮試験は圧密排水試験でおこなった供試体の直径は 10 cm、高さ 20 cm である。

垂直荷重と軸方向変位は X-Y 記録計でとり体積変化量はピュレット式で測定した。荷重速度は 1  $\mu$ m/min である。

## 3. 測定値の解析法

次に述べる Bishop, Newland & Allely, Row の方法で測定値を整理し、ダイラタンシー現象による強度成分と摩擦自体の強度成分に分けて比較をおこなうことにする。

[1] Bishop の方法

$$(\sigma_{max} - \sigma'_x) = \sigma_3 \left( \frac{\delta V}{\delta V} \right)_{max} \quad (1)$$

[2] Newland & Allely の方法

$$\frac{\sigma_{max}}{\sigma_3} = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi_1}{2} + \frac{\theta}{2} \right) \quad (2)$$

$$\text{ただし } \tan \theta = \frac{\sqrt{\frac{\sigma_{max}}{\sigma_3}} \cdot \left( \frac{\delta V}{\delta V} \right)_{max}}{1 + \frac{\sigma_{max}}{\sigma_3} + \left( \frac{\delta V}{\delta V} \right)_{max}}$$

ただし、 $\delta V$ : 純体積膨脹量

$\delta V$ : 軸方向への体積変化量

$\theta$ : 粒子と粒子との傾斜角

またはダイラタンシーを表わす角

$\phi_1$ : 内部摩擦角

$$\theta = 0 \text{ の時には } \frac{\sigma_{max}}{\sigma_3} = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi_1}{2} \right) \quad (3)$$

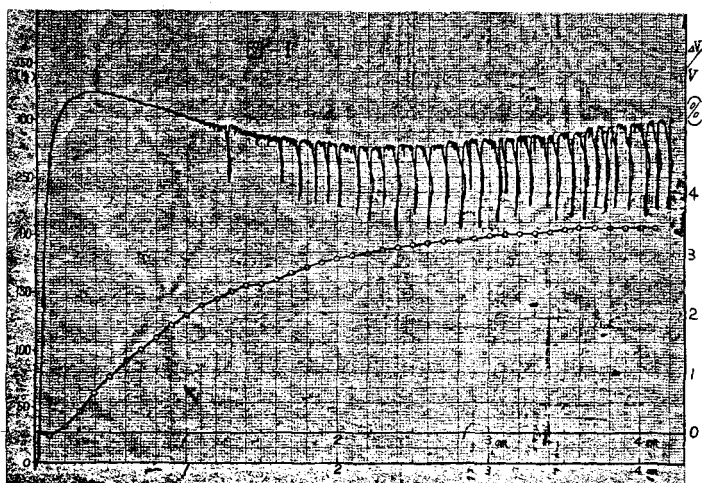
[3] Rowe の方法

$$\frac{\sigma_{max}}{\sigma_3 \left( 1 + \frac{\delta V}{\delta V} \right)_{max}} = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi_1}{2} \right) \quad (4)$$

#### 4. 試験結果と2~3の考察

##### 4-1. P-ε 曲線

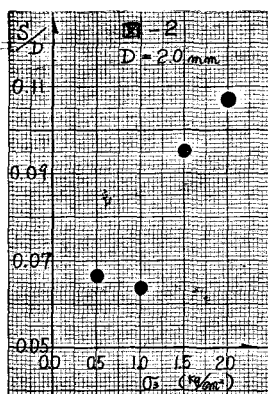
ガラスビーズは単一粒径に調整して実験をおこなったものでいろいろな粒子の形状と粒度配合をもった一般の砂とは異なったP-ε曲線がえられた。このような現象はすでに土質工学会せん断試験法委員会の“土のせん断試験法に関する基礎的研究”の中であげられているものと同じであり、また今回発表の直接せん断試験においても顕著されている。この代表的なP-ε曲線 図-1 によれば  $P_{max}$  がえられるすこし前から軸ひずみの進行に伴い粒子同志の詰まり具合による応力緩和の波が周期的に生じてくる。しかし全体としては軸荷重Pは増加の傾向をたどる。 $P_{max}$  ののちにはこの軸ひずみの進行にともなう応力緩和の波の山と谷がしだいに深くなりサイクルをくり返しながら軸荷重Pは低下していく。さらに軸



ひずみが大きくなると、急激な応力緩和が新しい長周期の波として生じてくる。これはかなり大きなスベリが供試体のなかに周期的に発生することを示し、スベリが生じた直後にはすぐに粒子の再詰め合せがおこなわれ、Pがまたある程度回復するものと考えられる。

いまこの大きなスベリの間隔をSとして粒径Dとの関連を検討してみる。自動記録計からこの大きなスベリの間隔の平均値をもとめ  $S/D$  をたて軸に側圧を横軸にプロットしたのが図-2である。これは直接せん断の場合とくらべて、 $\sigma_3 = 1.0 \text{ kg/cm}^2$  でやや低い値が全体としては側圧に比例して、しだいに大きなスベリが規則的に生じていることになる。

##### 4-2. ダイラタンシー補正法の比較



試験でえられた強度成分を粒子間の摩擦だけによる強度成分とダイラタンシー効果にもとづく強度成分とに分けて考える。

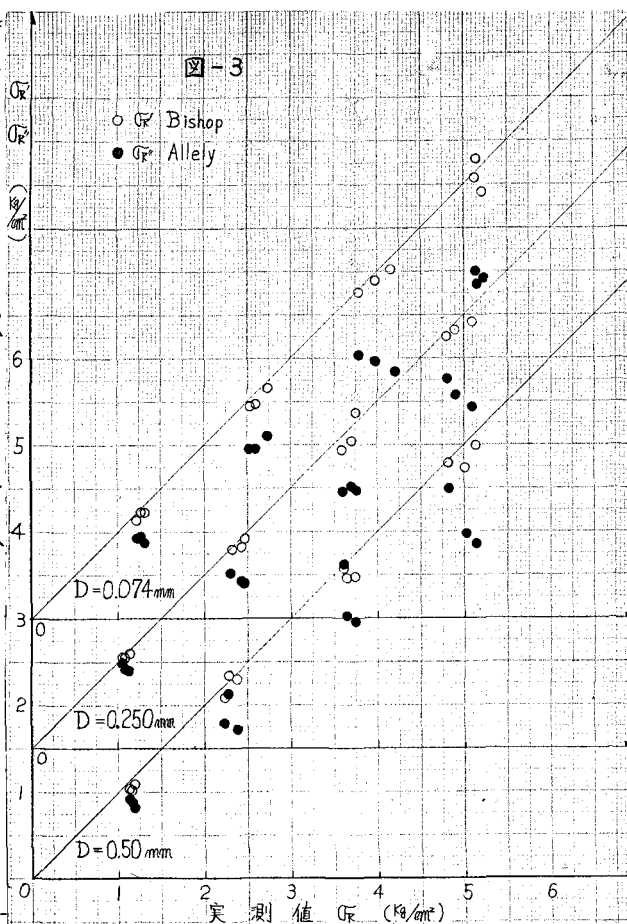
いま、(1)式でもとめられる Bishop による摩擦の強度成分を  $\sigma_R$ 、Newland & Allely の(2)式でもとめられる  $\sigma_R$  を(3)式に代入してえられた摩擦の強度成分を  $\sigma_{R'}$  とする。(4)式による Row の方法は Newland & Allely の値と一致するので省略する。一オ、体積変化が終了、すなわち  $dV/V$  がゼロになった状態での応力を実験値でえられた摩擦の強度成分と考えてこれを  $\sigma_R$  とする。

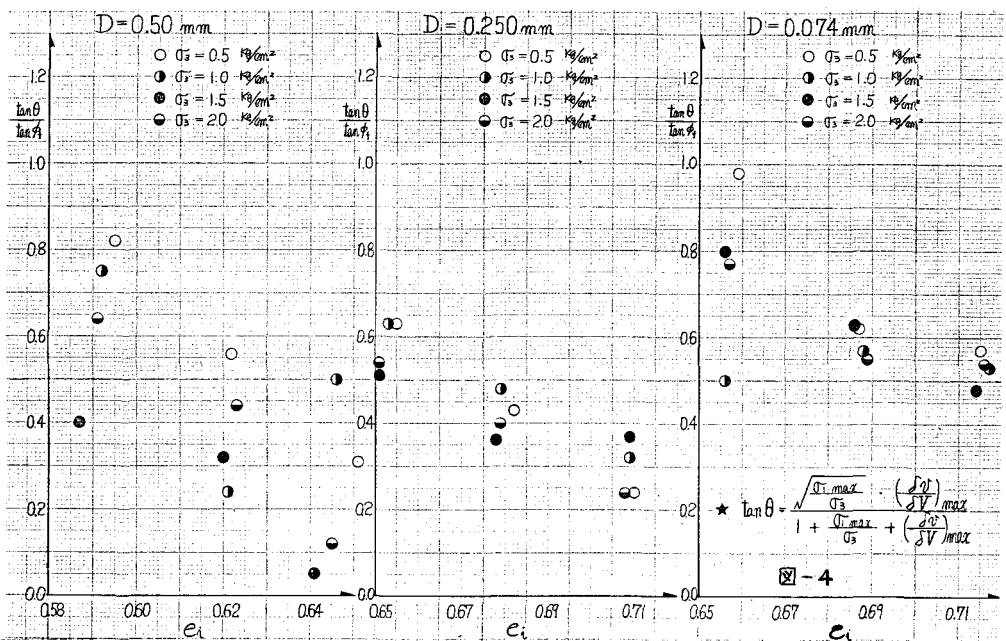
もし、(1)、(3)式で計算した  $\sigma_{R'}$ 、 $\sigma_R$  と実験値  $\sigma_R$  とが一致すれば、たて軸に  $\sigma_{R'}$ 、 $\sigma_R$ 、横軸に  $\sigma_R$  をプロットした場合 45° 線上にのるはずである。これらの値をガラスビーズの 0.074  $\mu$ m、0.250  $\mu$ m、0.50  $\mu$ m について示したのが図-3である。この結果 Bishop によるダイラタンシー補正法の(1)式が、Newland & Allely および Row の補正法(3)、(4)式よりも適合性がよい。すなわち Bishop の方法では 45° の直線上にきれいにのり、Newland & Allely では実験値にくらべて計算値  $\sigma_{R'}$  が低くなっている。このような結果は Newland & Allely の実験でも同じような傾向が示されている。また Bishop の方法は上述の実験では実験値より大きくでていたが、本実験では  $\sigma_R$  によく合うことが認められ、また側圧が増加しても Bishop の方法はよく実験値に適合するが、Newland & Allely の方法では側圧が増加するにともない  $\sigma_R$  よりもかなり過少の値となる傾向にある。同じ傾向が 0.125  $\mu$ m と 2.0  $\mu$ m にもみられる。

一オ、直接せん断試験の場合には、せん断箱の側面抵抗があり Bishop、Newland & Allely 両者とも  $\sigma_R$  が実際の計算値よりも大きくでることになる。したがって、側面抵抗があるので Bishop の方法が適合性がよいことを提案した。三軸試験の場合にはゴムスリーブの粒への付着、その他の問題を含むが、やはり Bishop の方法がダイラタンシー効果を補正するのに妥当であると結論できる。

#### 4-3. 摩擦強度成分とダイラタンシーによる強度成分 $\tan \theta$

摩擦角である  $\theta$  とダイラタンシー効果の  $\tan \theta$  の関係を見ると、まず  $\theta$  は側圧が増せば減少するが間げき比によってはそう変化がない。一オ  $\tan \theta$  は粒径が一定であれば間げき比の減少につれて





増加し、側圧についてはあまり関係がない。

$\phi_f$  が側圧に、 $\tan \theta$  が間げき比につれて変動するので、この間の関係、すなわち摩擦による強度成分と体積膨脹による強度成分との割合を定量的に検討するために  $\tan \theta / \tan \phi_f$  の比をプロットしたのが図-4である。これによると間げき比の減少につれて  $\tan \theta / \tan \phi_f$  の比は増加し直線的に変化する。すなわち間げき比の減少につれて体積変化による強度成分が比例して増加することになる。

### 結論

- 1) 同一形状、同一粒径のガラスビーズではP-ε曲線にみられるすべり量Sと直径Dとの比、 $S/D$  は側圧に比例する。
- 2) ダイレタンスー効果の補正は Bishopの方法が妥当である。
- 3) 間げき比の変化につれて体積変化にもとづく強度成分の割合は直線的に増加する。

最後に本実験と試料の整理に協力した須藤広光君に謝意を表する。

### 参考文献

- 1) Bishop, A.W. 1954 Discussion on A.D.M. Penman (1953). Geotechnique, Lond., 4, no.1, 43.
- 2) Newland, P.L. & Allely, B.H. 1957 Volume changes in drained triaxial tests on granular materials. Geotechnique, Lond., 7, no.1, 17.
- 3) Row, P.W. "The Stress-dilatancy Relation for static Equilibrium of an Assembly of Particle Contact". Proc. Roy. Soc., London. Vol. 269. 1962
- 4) 最上, 乾燥砂の運動機構について (I)-(IV) 土木学会誌. Vol.28. (1942), Vol.29. (1943)
- 5) 赤井, 砂のせん断におけるダイラタンスー効果 土木学会論文集 58号 (S.33)
- 6) 村山, 松岡, 粒状土のせん断抵抗と粒の構造について 土木学会第25回年次学術講演会 (S.45)
- 7) 春山, 砂のダイラタンスーに影響する因子について 第5回土質工学研究発表会 (S.45)
- 8) ダイレタンスー効果の補正法の比較と若干の考察について (直接せん断の場合) (S.45)