

東洋大学工学部 正会員 米倉 亮三

〇加賀 宗孝

大学院 桜井 智宏

1 はじめに

注入による土の強度増加は 内部摩擦角(ϕ)に 余り変化を与えない。これに対し 粘着力(C)は 大きく改良されることなど数多く研究されている。しかしながら 注入された土の引張り強度も考えた統一的な破壊現準は 余り調べられていない。このため一連の実験を進めている。前報では 2主応力せん断強度による破壊現準で整理した。今回は 3主応力を考えた破壊現準も含め 現在利用されている各種破壊現準でサンドゲル強度を整理した。また 近年新しい考えで松岡らによって研究されているSMP面による破壊現準を粘着力のある土にも適用できるように拡大し これによる破壊現準でも整理した。その結果を相関係数などにより整理し 比較検討したので報告する。

2 試料および実験方法

サンドゲル供試体の砂試料は 標準砂を用いた。モールドに詰められた砂試料にCW溶液を注入して作成したサンドゲルをInj(43%), Inj(32%)と呼ぶ。またCW溶液を人為的に砂と混ぜ合わせた後モールドに詰めて作成したサンドゲルをMix(43%), Mix(32%)と呼ぶ。CW(水ガラス系溶液型)サンドゲルについて 詳しくは 報告2を参照されたい。LW(アルカリ懸濁溶液型)サンドゲルは 砂試料に注入材を人為的に混合し $\phi = 5\text{cm}$, $L = 10\text{cm}$ のモールドに詰めた。砂のみの空隙率は $D_r = 0.8, 0.6, 0.4$ と3種取とした。注入率は 32%一定とした。強度試験は CW供試体で行った実験方法と同じである。

3 試験結果と検討

3-1 サンドゲル供試体の破壊現準

これまでに 引張り強度も考えたサンドゲル供試体の強度特性を調べるためMohr-Coulombの直線近似 放物破壊包絡線 $\{\tau = m^2(\sigma - G)\}$ 、および修正されたGriffithの破壊包絡線などで整理し報告した。その結果CW, LWサンドゲル供試体の 圧縮強度に関しては Mohr-Coulombの直線近似が適用できた。しかしながら 3主応力の異った応力(拘束圧試験結果)では Mohr-Coulomb 放物包絡線 修正Griffithなどによる破壊現準で表わすことができなかった。今回は 3主応力を考えた破壊現準も含め 整理してみた。今回用いた破壊現準と下記に示す

$$\text{Mohr-Coulomb} \quad G_1 - G_3 = 2C \cos \phi / (1 - \sin \phi) + 2G_3 \sin \phi / (1 - \sin \phi)$$

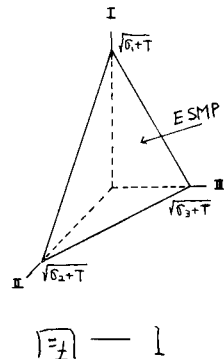
$$\text{Extended Tresca} \quad G_1 - G_3 = \alpha G_m \quad \times: G_m = (G_1 + G_2 + G_3) / 3$$

$$\text{Extended Von Mises} \quad \frac{1}{3} \{ (G_1 - G_2)^2 + (G_2 - G_3)^2 + (G_3 - G_1)^2 \}^{\frac{1}{2}} = \alpha G_m$$

$$\text{Extended SMP} \quad T_{ESMP} = G_{ESMP} \frac{\frac{2}{3} \left\{ \frac{(G_1 - G_2)^2}{4G_1E G_2E} + \frac{(G_2 - G_3)^2}{4G_2E G_3E} + \frac{(G_3 - G_1)^2}{4G_3E G_1E} \right\}^{\frac{1}{2}}}{\frac{1}{3} \{ (G_1 - G_2)^2 + (G_2 - G_3)^2 + (G_3 - G_1)^2 \}^{\frac{1}{2}}} \quad \begin{aligned} \times: G_{2E} &= G_2 + T \\ T &= C \cot \phi \end{aligned}$$

吉中¹⁾、足立²⁾らによる破壊現準は 供試体の強度を両対数表示することにより直線で整理されている。この破壊現準は 基本的にTrescaの式を用いたものである。サンドゲル供試体を吉中¹⁾ 足立²⁾の行っているように 両対数(図報)で整理してみた。その結果 G_m が 大きくなるにしたがい 測点は 勾配がほぼ45°の直線上にプロットされた。この結果とExtended Trescaの式のそのまま破壊現準として適用できるならば 両対数で整理しなくとも 算術目盛で直線近似ができるものと考えた。従って今回の報告は 全て算術目盛を用いてサンドゲル強度を整理した。

Extended SMPは 松岡により研究されている破壊規準と 粘着力のある工にも適用できるように拡大したものである。松岡によれば 3次元空間にも、とも滑りやすい空間滑動面(SMP)があり、この面上のせん断力(T_{ESMP})と垂直応力(G_{ESMP})の比(T_{ESMP}/G_{ESMP})がある一定の値に達したとき、工が破壊するものと説明している。またこの比は、中間主応力が変化しても一定の値を示すとされている。この破壊規準は非粘着性の工に適用され、粘着性のある工には使用できない。そのため、粘着性のある工にも使用できるように、拡大した結果を、下記のように示す。松岡によれば、3主応力面のスベリ面は $\tan(45^\circ + \phi_{moij}/2) = \sqrt{G_i/G_j}$ で示されるが、粘着のある場合は $\tan(45^\circ + \phi_{moij}/2) = \{(G_i + T)/(G_j + T)\}^{1/2}$ $T = C \cot \phi$ で表わされる。これを 図-1に示す。また最大、中間、最小、主応力は次のよう



に示される。 $G_{1E} = G_1 + T$, $G_{2E} = G_2 + T$, $G_{3E} = G_3 + T$, G_{1E} は

Extendedされた主応力となる。これより空間滑動面上の垂直応力

(G_{ESMP})、せん断応力(T_{ESMP})は $G_{ESMP} = \sigma_1 \sigma_2 / \sigma_3 - T$

$T_{ESMP} = \sqrt{\sigma_1 \sigma_2 \sigma_3 - 9 T^2 / \sigma_3}$ となる。

CW, LWサンドゲル供試体について行なわれた三軸、一軸

Brazilian試験結果を、前記4つの破壊規準で整理して実験結果の代

表的なものを 図-2に示す。この図に示されるように、今回行な

われたCW, LWサンドゲル供試体すべて算術目盛で、一本の直線

で整理できた。これは、図より明らかである。(この直線は、最小

2乗法で整理したものである。) この直線の相関性を見るため、相

関係数を求めてみた。今回整理された試験結果全部を 図-3に示

す。最も相関係数の悪いのは、LW-2($D_r=0.4$)供試体での

Mohr-Coulombの破壊規準で、0.92であった。その他の相関係数は

0.95~1.0である。この図より、特に注目されるのは、2次元で整

理されたMohr-Coulombの相関係数は、すべて低い。これに対し

Von Mises, Trescaによる破壊規準は、特に相関性がよく、相

関係数は、ほぼ0.99~1.0になった。これは、Mohr-Coulomb、放

射包絡線、修正Griffithでは、判然としなかった破壊規準を、3次

元で整理することにより、相対的に高い相関係数をもつ直線で、破壊

規準を表わすことができる。Extended SMPによる計算結果、特

別な特徴は、見られなかった。Von Mises, Trescaの破壊規準より

相関係数は、必ずしも低いが、これらとはほぼ同じような傾向を示し

た。

後記 この実験を平論として行なってくれた、高江 相馬 奈良

坂田 諸君には、深く感謝の意を表します。

参考文献

1) 例えば、3主応力下の工のせん断挙動に関する統一的理解

2) 名倉、加賀サトルによるカービシ特性の実験的研究、第16回工質学会発表会

3) 例えば、堆積軟岩の力学特性と破壊規準、工材論、第29号、1980年

4) 例えば、べき関数による破壊規準、第1回岩盤力学シンポジウム

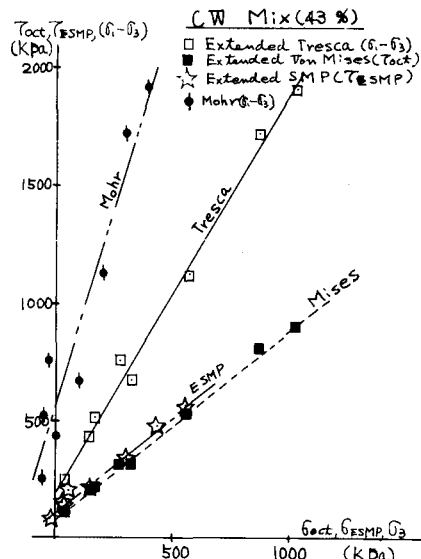


図-2 各種の破壊規準で整理したサンドゲル強度

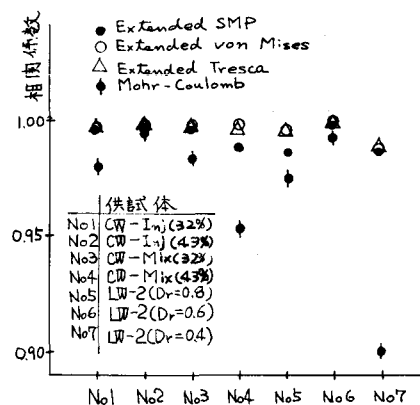


図-3 相関係数