

東洋大学工学部 正会員 米倉 亮三

加賀 宗彦

建設省

〇今須 重明

1) はじめに

サンドゲルの変形・強度特性を調べる目的で一連の室内実験を進めている。前回までは、グラウト材の混合量を変えたり、砂に人為的にグラウト材を練り混ぜ、モールドに詰める方法(混合サンドゲル)や、モールドに詰めた砂に圧力浸透させる(注入サンドゲル)方法等によって作成してきた。今回は、異なる三種の相対密度の砂試料を用いた混合サンドゲルでの実験結果を報告する。グラウト材は、現在のところまったく無害とされている水ガラス系集液のアルカリ溶液型(LW)、および懸濁型(CW)を用いた。実験は、一軸・三軸 および Brazilian 試験を行ない、サンドゲル破壊強度について整理してみた。足立・吉中らは、主に軟岩の研究に用いている軸差応力と平均有効応力の破壊規準を示している。前回の我々の報告では、サンドゲルに対し引張りと圧縮を別々に考えると、上記の破壊規準ではほぼ平行な二本の線になることを明らかにした。今回は、圧裂引張り試験に拘束圧をかける(Brazilian 試験)ことによって、圧縮と引張りの強度の関連性を調べてみた。又、Brazilian 試験においては、中間主応力と最小主応力が異なるため、三軸主応力状態では中間主応力を考慮する必要がなく、最大・最小主応力のみを考慮すればよいにもかかわらず、モールの円が Mohr-Coulomb の破壊勾配線の上方にとび出すことも、すでに明らかにしている。そこで今回は、八面体面上でのせん断応力と法線応力で整理してみた。

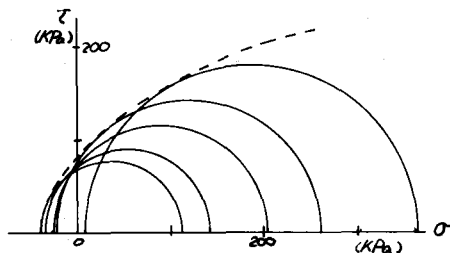


図-1 (CW)

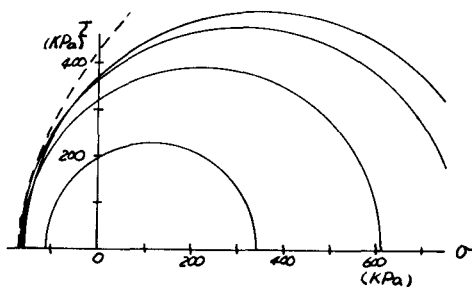


図-2 (LW)

2) 試料および実験方法

今回用いた砂試料は、標準砂を用いた。供試体は、 $\phi=5\text{cm}$, $H=10\text{cm}$ のモールドで、それぞれのグラウト材に対して三種の相対密度で作成した。すなわち $Dr=0.4, 0.6, 0.8$ 。グラウト材のゲルタイムは10分に調整した。又、グラウト材の混合量は、注入率で表現すれば32% (飽和度では $Sr=70.4\%, 73.2\%, 76.5\%$)とした。作成方法は、丸状のグラウト材と砂とをよく混ぜ合せ、かるくモールド側面を軽打しながら密度のバラツキがないように注意した。養生は水中養生で期間は7日間とした。載荷は、ヒズミ制御とし、速度は、 $0.1\%/分$ で行なった。

3) 試験結果と検討

3-1 Brazilian 試験

今回用いたサンドゲルの Brazilian 試験結果より、モールの円を描くと図-1.2 のようになる。CWを用いたサンドゲルにおいては、拘

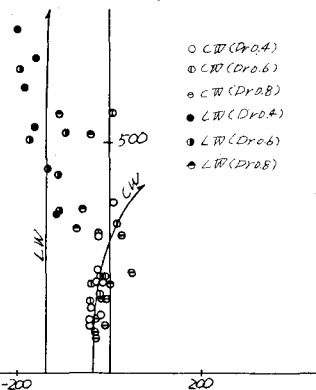


図-3

束圧をかけると放物破壊勾絡線の曲率円の直径よりモールの円の直径が大きくなる。従って、その接点は放物破壊勾絡線の原点以外の点となる。このことは、せん断破壊が主することを示す。一方、LWを用いたサンドセルは、すべてのモールの円の直径が曲率円の直径より小さい傾向を示している。(0.5=-115KPaのモールの円は、人為的ミスか、機械による誤差と判断しこの考察からは除外する。)これは、放物破壊勾絡線の頂点でモールの円が接し、その破壊は破壊面が最大主応力面に垂直な面内で生ずるへき開破壊ということになる。図-3は、それぞれのサンドセルにおける、最大・最小主応力とプロットしたものである。CWを用いたサンドセルでは、 $\sigma_1 = -\sigma_3$ (σ_1 は最大引張り応力)の領域(へき開破壊が生じる領域)が短く、LWを用いたサンドセルでは長い。この領域の範囲は、 $\sigma_1(cw) < \sigma_1(lw)$ であることより、最大引張り応力が高いに関係するのではないかと推測される。赤井・森らの報告によれば、へき開破壊からせん断破壊への遷移領域では、へき開破壊とせん断破壊が混合した別の形式で破壊が生じているのではなくて、ある部分ではへき開破壊が、他の部分ではせん断破壊がそれぞれ生じており、その割合は側圧に支配されるとしている。しかし、今回の実験では破壊面が肉眼で見えるくらい最大主応力面に垂直な面内で発生するということが、すべてのサンドセルにおいてみられた。

3-2 八面体せん断応力と活線応力による破壊規準

図-4.5は、CWおよびLWを用いたサンドセルの破壊時の八面体せん断応力 τ_{oct} と活線応力 σ_{oct} とプロットしたものである。高い応力下のもとでは、すべての点が45°の線上にプロットされる。すなわち、 $\tau_{oct} = \alpha \sigma_{oct}$ となる。これは、Misesの破壊規準である。この破壊規準は、八面体せん断応力が一定という条件を意味するものである。延性金属に関しては妥当とされるMisesの破壊規準は、土の場合には適用性のある形で拡張し難いとしながらも、Druckerによって次のように拡張されている。

$$\left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{6} \right]^{1/2} = \alpha \sigma_m' = \sqrt{\frac{3}{2}} \tau_{oct} - \alpha \sigma_m' = K$$

このKに準ずるものとして、図-4.5にそれぞれのサンドセルごとに β を一定に加え、 $\tau_{oct} = \alpha \sigma_{oct} + \beta$ を描いてみると、各々固有の破壊規準がうかがえる。図-4.5より得られた α 、 β と、三軸試験結果より得られたMohr-Coulombの規準の C 、 ϕ を対比してみると表-1のようになる。 ϕ を同-グラウト材においては等しいとみなすならば、 α は、 ϕ の関数として表わすことが可能である。しかしながら、 β は C と ϕ あるいは両方の関数とすることは容易ではなさそうである。従ってBrazilian試験を含めた破壊規準を C を用いて表現するのは、困難となる。 β は、グラウト材の種類や、混合量によって、

又相対密度などによっても変化するものであろうが、その物理的な意味については今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 米倉 加賀水カミ系薬液を用いた砂質土供試体の変形・強度特性
工研会 第25回発表会

- 2) 赤井・森組合せ圧縮応力下における和泉砂岩の破壊機構に関する研究 土木学会論文集 No.147

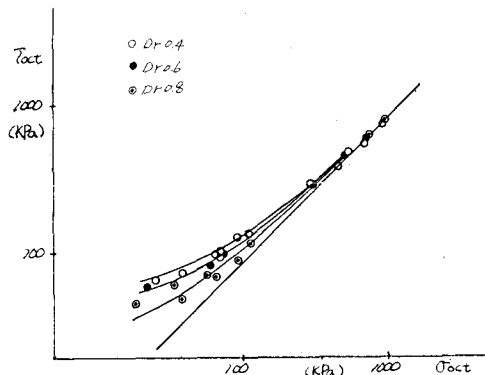


図-4 (CW)

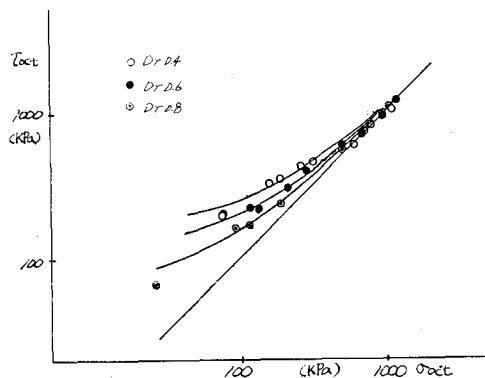


図-5 LW

表-1

	CWを用いたサンドセル				LWを用いたサンドセル			
	Dr	α	β	$\phi(^{\circ})$	C	α	β	$\phi(^{\circ})$
	0.4	0.86	44.1	39.4	49.0	1.02	147.0	40.3
	0.6	0.86	34.3	38.3	83.8	1.02	107.8	43.6
	0.8	0.86	19.6	39.8	81.8	1.02	58.8	43.3