

III-345 薬液により固結させた砂の強度特性

フジタ工業(株)技術研究所 正会員○佐藤研一 福島伸二 香川和夫

1.はじめに

最近、首都圏を中心に大深度地下空間の利用が注目されている。地下に空洞を造り、構造物を建設する場合、より安全に掘削を進めるために地盤の強度増加を目的とした補助工法が必要となる。その補助工法の一つである薬液注入工法は、薬液を地盤内に注入する場合、地盤内部の状態により地盤補強効果は異なり、その評価は難しいとされている。したがって、薬液により固結した砂の強度特性を知ることは、薬液注入された地盤全体の補強効果を知る上で重要である。そこで本報告では、豊浦標準砂と水ガラスセメント系薬液(LW)および水ガラス系溶液型薬液(グリコザール)を注入材として用いて固結体(サンドゲル)を作成し、三軸圧縮試験、三軸伸張試験および割裂試験を行ない、その強度特性を調べたものである。

2.実験方法

実験に使用した試料は、豊浦標準砂を使用し、薬液として水ガラスセメント系薬液(LW)および水ガラス系溶液型薬液(グリコザール)を用いた。また、その薬液の配合は表-1に示す配合比で行なった。

供試体の作成は、直径 $d_s=5\text{cm}$ 、高さ $h_s=10\text{cm}$ のモールドを使用し、振動台上に乗せたモールド中に薬液を一定量入れ、一定時間の振動を加えながら砂を流し込むという方法をとった。また、セメント系薬液を使用したサンドゲルについては3日強度を基準とした。

尚、供試体の間隙比は、ほぼ $e=0.71$ である。

試験は、サンドゲルの基本的な性質を調べるために、側圧一定の排水三軸圧縮試験を行なった。また、薬液注入が行なわれた地盤は、掘削をした場合に場所によっては地山の応力状態が負になり、薬液による固結体が引張りを受けると考えられるため、側圧一定軸圧減少の三軸伸張試験も行なった。図-1は三軸伸張試験時のセル内にセットされた供試体の状況を示したものである。図に示すように、伸張試験用供試体は、上・下端部にキャップをかぶせ、その間をアラルダイトで接着させ、メンブレンで覆った。また、今回、割裂試験も三軸伸張試験との比較のために行なった。

3.実験結果および考察

3-1 三軸圧縮試験結果

サンドゲルの基本的な性質を調べるために、側圧一定($\sigma_3=0.2, 0.5, 1.0\text{kgf/cm}^2$)の排水三軸圧縮試験($\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3; b=0$)を行なった。図-2に、溶液型サンドゲルの軸差応力($\sigma_1 - \sigma_3$)にひずみ関係を示した。これより、サンドゲルは $\gamma=1\sim 2\%$ とせん断初期にピークが見られ、拘束圧の影響も明確に見られた。

図-3、4は、LWおよび溶液型サンドゲルのモールの応力円である。この図から求められるせん断強度定数は、LWについては、

表-1 薬液の配合比

薬液の種類		配合比
A 材	水ガラス：水	1：3
	セメント系	セメント：水
B 材	溶液型	グリコザール：水
		1：3

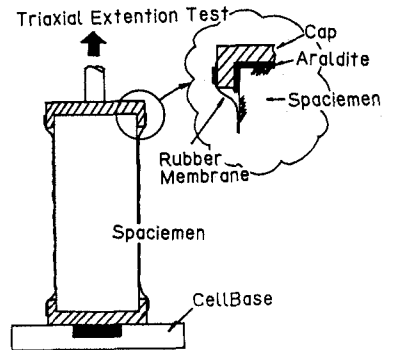


図-1 三軸伸張試験の供試体

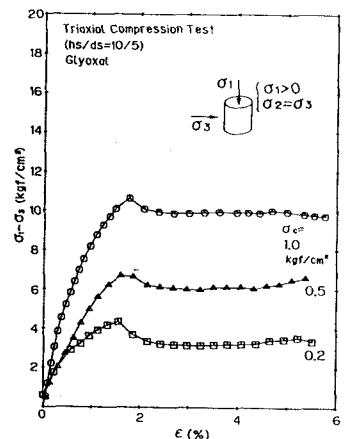


図-2 三軸圧縮試験結果
(グリコザール)

見かけの粘着力 $c=2.0\text{kgf/cm}^2$ ，せん断抵抗角 $\phi=66.0^\circ$ であり，溶液型では $c=0.45\text{kgf/cm}^2$ ， $\phi=49.0^\circ$ であった。

このように，サンドゲルは砂に比べかなり大きなせん断強度を持っていることがわかる。

3-2 三軸伸張試験および割裂試験

薬液注入が行なわれた地盤を掘削すると，地盤の応力状態が負となり，薬液による固結体は引張り力を受けると考えられ，固結体の引張り強度を調べることは重要である。

そこで，側圧一定 ($\sigma_3=0.0, 1.0, 2.0, 4.0\text{kgf/cm}^2$) 軸力減少の三軸伸張試験 ($\sigma_1=\sigma_2>\sigma_3$; $b=1$) を溶液型サンドゲルについて行ない，サンドゲルの引張り強度を調べた。

また，これと同時に割裂試験 ($b=0.25$) も行なった。ここで，割裂試験の主応力は次式の通りである。

$$\sigma_1 = 3 |\sigma_3|$$

$$\sigma_2 = 0$$

$$\sigma_3 = -2P/\pi t D \quad t: \text{供試体の高さ}, D: \text{供試体直径}$$

また，三軸伸張試験の結果はメンブレンの張力の補正も行なっている。

図-5は，溶液型サンドゲルの三軸伸張試験の結果である。また，割裂試験の結果と三軸圧縮試験における破壊包絡線も併せて示してある。

この図より，伸張試験の破壊包絡線は，引張り領域で曲線を描くと考えられ，引張り強度は， $\sigma_t=0.3\text{kgf/cm}^2$ 程度であると思われる。また，この試験から求められるせん断強度定数は，見かけの粘着力 $c_{TE}=0.38\text{kgf/cm}^2$ ，せん断抵抗角 $\phi_{TE}=15.9^\circ$ であった。

図-6に，LWサンドゲルの割裂試験の結果を示した。

LWサンドゲルにも，かなりの引張り強度があることが分かるが，試験結果にはかなりのばらつきがあった。

4. まとめ

薬液により固結させた砂の三軸圧縮，伸張および割裂試験を行ない，その強度特性を調べた。

LWおよび溶液型サンドゲルともに砂に比べかなり大きなせん断強度を持っていることがわかった。また，サンドゲルの破壊包絡線は，引張り領域で曲線を描き，サンドゲルは引張り強度を持っていることが分かった。

参考文献

- (1) 森ら：第32回土木学会講演要集 pp.496~497, 1977
- (2) 佐藤ら：「薬液固結体による地盤補強効果」，第24回土質工学研究発表会，1989

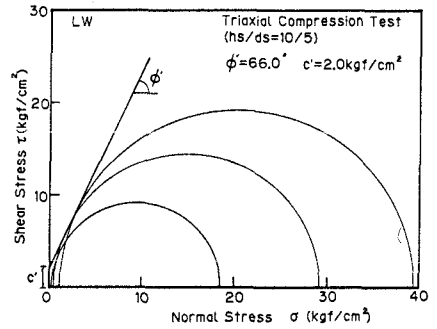


図-3 三軸圧縮試験におけるモールの応力円(LW)

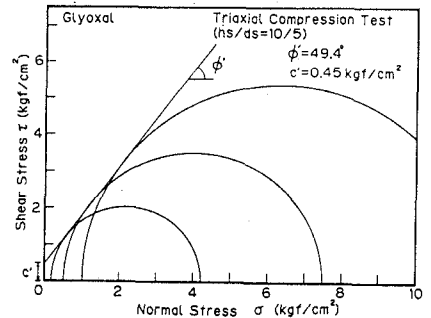


図-4 三軸圧縮試験におけるモールの応力円(グリオキザール)

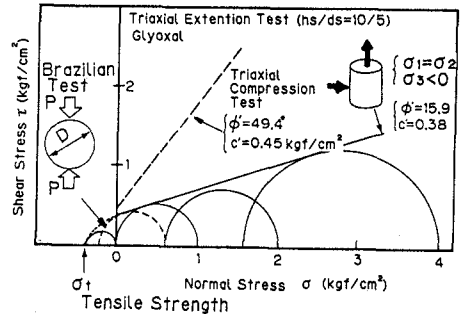


図-5 三軸伸張試験におけるモールの応力円(グリオキザール)

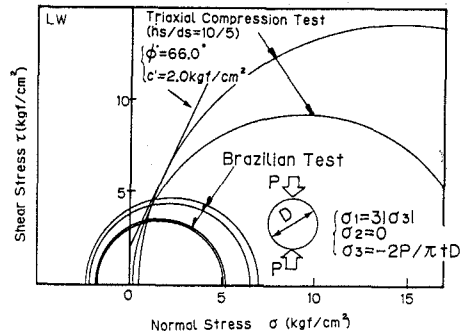


図-6 割裂試験結果(LW)