

III-152 薬液注入改良砂の力学特性

清水建設㈱ ○ 渡辺浩平
 清水建設㈱ 石井利信
 清水建設㈱ 小林和彦
 清水建設㈱ 宮本武司
 清水建設㈱ 山本和義

1. はじめに

地下工事において、安定性確保のため薬液注入により、強度特性や変形特性などを改良した場合には、改良後の地盤の力学特性について正確に把握する必要がある。今回、横浜市に分布する上総層群上星川層の砂層において、薬液注入による改良効果を把握する目的で、ブロックサンプリングにより試料を採取し、一軸圧縮試験、三軸圧縮試験などの一連の室内試験を行い、力学特性について検討した。強度特性については、モール・クーロンの破壊基準に基づいて、変形特性については、ヤング係数とポアソン比の拘束圧依存性について検討した。

2. 薬液注入改良砂

試験に用いた試料は、横浜市のトンネル掘削現場からブロックサンプリングによって採取した上総層群上星川層の薬液注入によって改良された砂層である。薬液注入は、二重管複合注入工法により、非アルカリ系シリカゾル（二次注入材）を毎分8～10リットルの注入速度で行い、注入率は27%であった。表-1には、この薬液注入改良砂の基本的な物理特性を示した。ボーリングによる事前調査によりN値は50以上と良く締まった密な砂層であることが判明していたが、間隙比の値からも分かる。また、均等係数が6.8であり、日本統一土質分類法によれば「粒度分布が悪い」と判定され、やや均質な粒度組成の砂層である。一軸圧縮試験は、7本の供試体について行ったが一軸圧縮強度は、最大値11.75 kgf/cm²、最小値9.65 kgf/cm²、平均値10.63 kgf/cm²、標準偏差0.818 kgf/cm²となり、ばらつきが少なく、改良目標値6～8 kgf/cm²を上回る値が得られた。

3. 三軸圧縮試験結果

三軸圧縮試験は、排水条件下でひずみ速度一定（ $\dot{\epsilon}_1 = 0.05\%/min$ ）として行った。側圧は、2、5、10 kgf/cm²の3種類であり、バックプレッシャーは、2.0 kgf/cm²を作用させた。

図-2には主応力差（ $\sigma_1 - \sigma_3$ ）～軸ひずみ（ ϵ_1 ）～体積ひずみ（ ϵ_v ）関係を示した。

図-2の主応力差～軸ひずみ関係については、側圧2

表-1 薬液注入改良砂の物理特性

湿潤単位体積重量 γ_t		2.06 tf/m ³
乾燥単位体積重量 γ_d		1.71 tf/m ³
間隙比 e		0.58
含水比 w		20.2%
粒度組成	砂 分	84.0%
	シルト分	12.0%
	粘土分	4.0%
均等係数 U_c		6.8

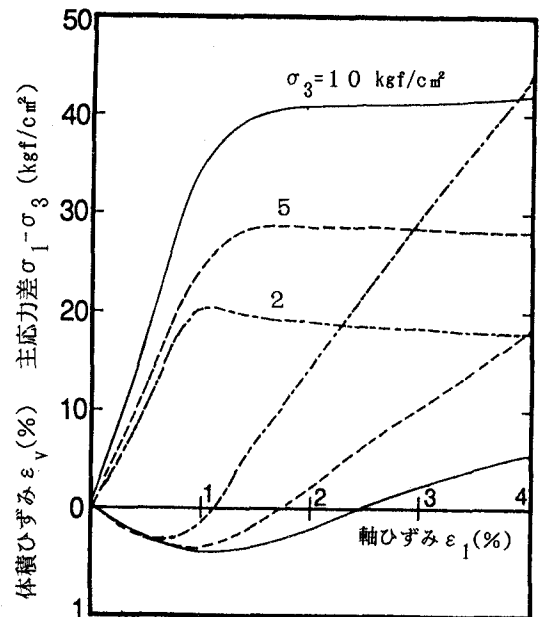


図-1 主応力差～軸ひずみ～体積ひずみ関係

kgf/cm²と5 kgf/cm²の場合については、最大強度に達した後、緩やかなひずみ軟化を生じているが、側圧10 kgf/cm²の場合には、逆に、緩やかなひずみ硬化を示した。また、体積ひずみ～軸ひずみ関係については、軸ひずみ1%前後から正のダイレイタンスーによって急激な体積膨張が生じているのが見られる。

初期の弾性変形挙動を生じている部分について、応力ひずみ関係から接線ヤング係数Eおよびポアソン比 ν を求めそれぞれ図-3、図-4に示した。図-3、図-4を見ると、ヤング係数Eについては拘束圧依存性が見られ平均主応力 σ_m とほぼ直線関係にあることがわかる。しかし、ポアソン比については、拘束圧依存性は見られず一定の値となった。このため、式（1）、式（2）に示すような実験式を用いて接線弾性係数を表すことにした。また、図-3、図-4には、式（1）、式（2）の関係式を実線で示した。

$$E = 1600 + 145 \cdot \sigma_m \quad (1)$$

$$\nu = 0.20 \quad (2)$$

図-5には、最大強度のモール円および式（3）で表されるモール・クーロンの破壊基準線を示した。

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan \phi \quad (3)$$

ここで、cは粘着力、 ϕ は内部摩擦角である。図-5より、強度定数として粘着力 $c = 3.93 \text{ kgf/cm}^2$ 、内部摩擦角 $\phi = 35.1^\circ$ の値が得られた。

4. まとめ

今回、薬液注入により改良した砂地盤の力学特性について検討した結果以下のようなことが明らかとなった。

- 1) 薬液注入によって、砂地盤の一軸圧縮強度は、平均値で10.63 kgf/cm²に改良され、改良目標を上回る値が得られた。
- 2) 強度特性については、モール・クーロンの破壊基準に基づいて検討した結果、粘着力cとしては、3.93 kgf/cm²と比較的大きな値が、また内部摩擦角 ϕ として35.1°の値が得られた。
- 3) 変形特性については、接線ヤング係数には拘束圧依存性が見られ平均主応力 σ_m の1次式として表されることが、またポアソン比については拘束圧依存性が見られず一定の値となった。

今後は、改良前の砂層についても試験を行い改良前後の力学特性を比較検討する予定である。

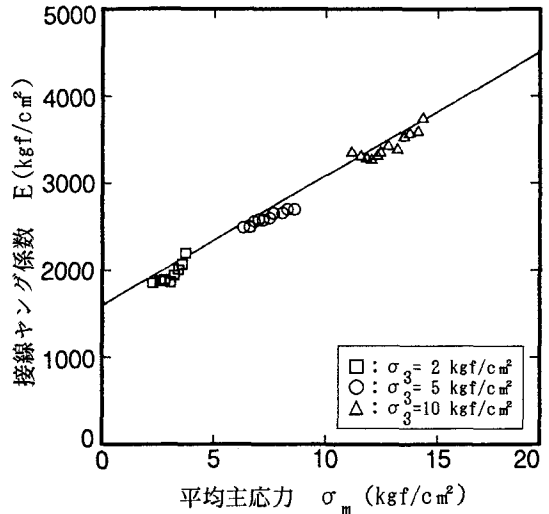


図-2 接線ヤング係数の拘束圧依存性

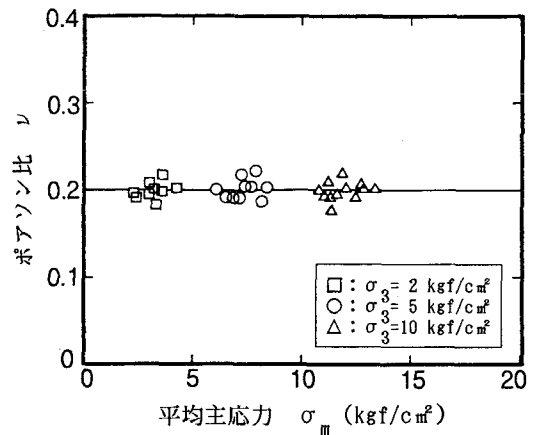


図-3 ポアソン比の拘束圧依存性

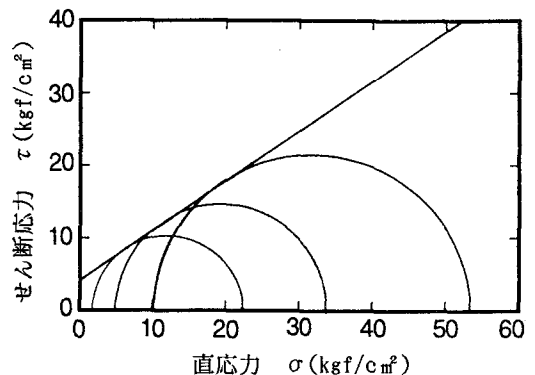


図-4 最大強度のモール円および破壊基準線