

東京大学生産技術研究所 正員 〇佐藤 剛司
 同上 正員 三木五三郎
 同上 正員 今村 芳徳

1. まえがき

地盤注入用薬液のほとんどは含水ゲルの状態で固化するのですが、これらの薬液を注入して固結した砂は、長期荷重を受けることにより圧密脱水沈下を起こすことが予想され、最終的には注入しない砂と同程度の沈下を生ずることが考えられるので、この薬液注入固結砂の圧縮特性を明らかにするため、標準砂に数種の薬液を注入して固結砂の圧縮試験を行ってその結果を比較検討した。

2. 実験に用いた試料土および薬液

この実験に用いた試料土は豊浦産の標準砂で、有効径 $D_{10} = 0.16 \text{ mm}$ 、均等係数 $U_c = 1.4$ 、土粒子の比重 $G_s = 2.641$ である。

薬液は、アミド系、尿素系、ウレタン系（非水溶性）の3種類で、実験に使用した配合は表-1に示すとおりである。なおウレタン系の薬液は、原液を標準砂に注入するときの一軸圧縮強さは $20 \sim 25 \text{ kg/cm}^2$ と大きいので、樹脂濃度を 10% にしたものを使用してみたが、今回はその一軸圧縮強さも 1.0 kg/cm^2 と小さく、ゲルの状態も悪かった。したがって今回の実験結果からだけではウレタン系本来の特性を知ることができはじと思われる。

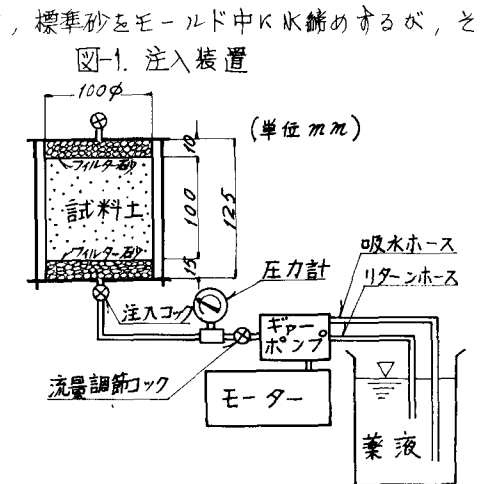
表-1. 薬液の配合

		アミド系	尿素系	ウレタン系
配 合	A液	主剤 10%	主剤 20%	主剤 100% (樹脂濃度10%) 触媒 2% (主剤に対する 添加量)
		促進剤 0.6%	助剤 5%	
	水 残	水 残		
	B液	開始剤 0.5%	硬化剤 2%	
抑制剤 0.07%		水 残		
ゲルタイム		8分(20℃)	5.5分(21℃)	——

3. 実験方法

3.1. 実験試料土の攪製

標準砂の締め固めは、図-1に示すような装置を用いて、標準砂をモールド中に水締めするが、そのときの供試体の密度は、かた詰め、中詰め、およびゆる詰めの種類とした。すなわちまず標準砂をモールドに入れ、下部より徐々に注水しむら試料土中の気泡を追い出し、完全飽和状態としたのちに水締めした供試体が中詰めのものであり、これをさらに水締め中に動的な荷重を加えて非常に密な状態としたものがかた詰めである。また、ゆる詰め供試体は、モールド下部より試料土中の気泡を追いださずに注水し、不飽和状態のまま水締めした供試体である。これらの場合のそれぞれの間ギャキ比は、かた詰めで $e = 0.582 \sim 0.639$ 、中詰めで



$e = 0.669 \sim 0.745$, 尤も諾めで $e = 0.804 \sim 0.850$ であった。

薬液の注入は, 1 l の薬液を供試体の下部から注入して上部から越流させる方法によった。

薬液が固結してから1時間(ウレタン系では24時間)経過後, 固結砂をモールドより取り出し, 図-2に示す圧密リングに試料押し込みカラーを取り付け, 薬液注入固結砂を圧密リングに押し込み, 上下面を成形して圧密箱に設置した。圧密試験は圧密箱に試料土を設置後約20時間後に開始した。

また比較のために行なった標準砂のみの実験試料土は, 圧密リングに直接つめて依製した。

3.2. 圧密試験方法

圧密試験装置は, 図-2に示すように固定リング型で, 圧密リングの大きさは直径30cm, 高さ30cm, 断面積 7.07 cm^2 である。また上部カラーを長くして加圧板の上部に帯を設け, 加圧板の傾きを防止できる装置とした。

圧密試験の載荷重は, 0.8, 1.6, 3.2, 6.4, 12.8, 25.6, 51.2 kg/cm^2 の7段階で荷重増加率は1とした。また各荷重における載荷時間は4時間とし, 51.2 kg/cm^2 載荷後の除荷は25.6, 6.4, 1.6, 0 kg/cm^2 とした。

圧密沈下量の測定間隔はJIS-A-1217上の圧密試験方法に準じて行なった。

4. 実験結果とその考察

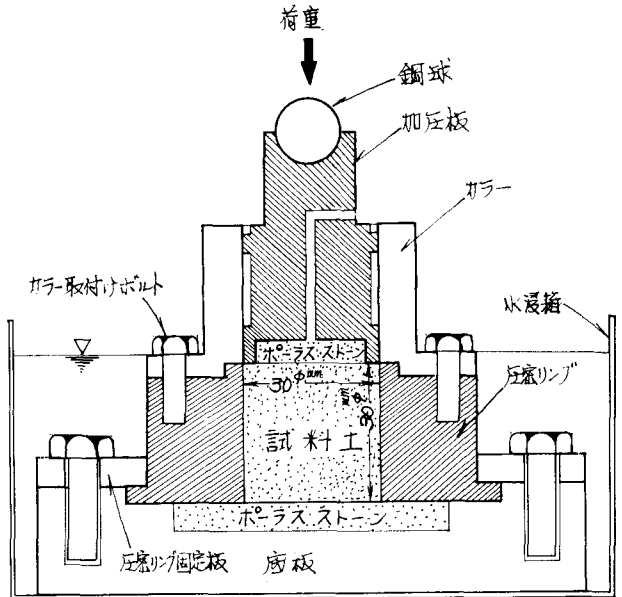
圧密試験の結果より各荷重載荷時における間ゲキ比(e)を求め, 載荷重 $P = 0.8 \sim 51.2 \text{ kg/cm}^2$ の範囲で $e - \log P$ 曲線を描いたのが図-3である。

図-3に示すように, $e - \log P$ 曲線は載荷重が $0.8 \sim 12.8 \text{ kg/cm}^2$ ではほぼ直線と見られるが, 12.8 kg/cm^2 以上に對して, 急激に間ゲキ比が減少する傾向を示す。このような圧密特性は各薬液注入固結砂の場合, 標準砂のみの場合, また初期間ゲキ比の大小に関係なく, つねにみられる傾向である。

したがって図-3の $e - \log P$ 曲線の直線部分の傾度, すなわち圧縮指数 $\{ C_c = (e_1 - e_2) / (\log P_2 - \log P_1) \}$ は, 載荷重が $0.8 \sim 12.8 \text{ kg/cm}^2$ と $12.8 \sim 51.2 \text{ kg/cm}^2$ で2つの値が得られる。この圧縮指数(C_c)と圧密試験開始前の間ゲキ比(e_0)との関係を図示すると図-4のようになる。

この図-4から, 載荷重が $0.8 \sim 12.8 \text{ kg/cm}^2$ と小さい場合には(a)図に示すように, 初期間ゲキ比が大きくなるほど圧縮指数も増加する傾向を示すが, その初期間ゲキ比に対する圧縮指数の増加割合は, 標準砂のみの場合が最も大きく, 薬液注入固結砂では3種類の薬液とも小さくなってきている。またアミド系, ウレタン系薬液注入固結砂では, その増加割合は同じ程度であるが, 尿素系薬液注入固結砂が特に小さい。このように, 載荷重が $0.8 \sim 12.8 \text{ kg/cm}^2$ に対しては, 標準砂のみの場合の初期間ゲキ比の増加による沈下量の増加に比較して, 薬液注入固結砂の場合の初期間ゲキ比の増加による沈

図-2. 圧密試験装置



下量の増加割合は小さく、薬液注入による効果が表われており、3種類の薬液では尿素系が最も良い結果を示している。

なお、この図-4における各薬液注入固結砂の初期間ゲキ比は、固結砂中の薬液ゲルの乾燥重量(乾燥固形分)をふくめた値を求めているので、標準砂のみの値と比較すると薬液ゲルの乾燥重量分だけ実際の値よりも小さくなっているものと思われる。したがって、この図では薬液注入固結砂の圧縮指数が標準砂のみの場合よりも大きくなっているが、実際には同程度はいしはそれ以下の圧縮指数を示しているものと思われる。

載荷重が $12.8 \sim 51.2 \text{ kg/cm}^2$ と大きい場合の初期間ゲキ比(e_0)と圧縮指数(C_c)の関係は図-4(b)に示すように、初期間ゲキ比に対する圧縮指数の増加割合は、標準砂のみの場合と比較してアミド系、ウレタン系注入固結砂はほとんど同じかやや大きく、 12.8 kg/cm^2 以上の大きき載荷重に対してはほとんど薬液の効果はみられない。しかし尿素系薬液注入固結砂は初期間ゲキ比のある所までの増加に対しては圧縮指数の増加も小さく注入効

図-3. 薬液注入固結砂の $e - \log P$ 曲線

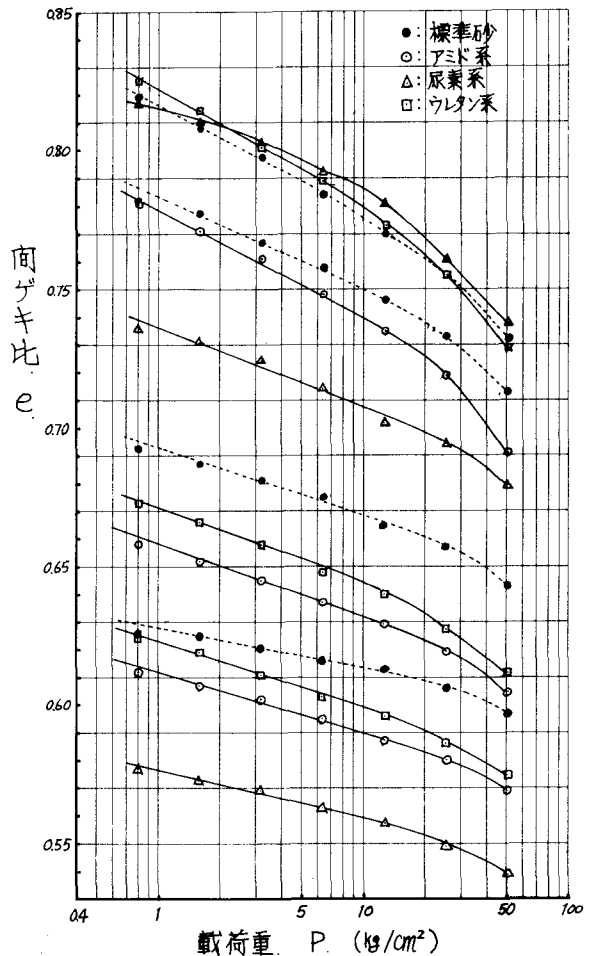


図-4. e_0 と C_c との関係.

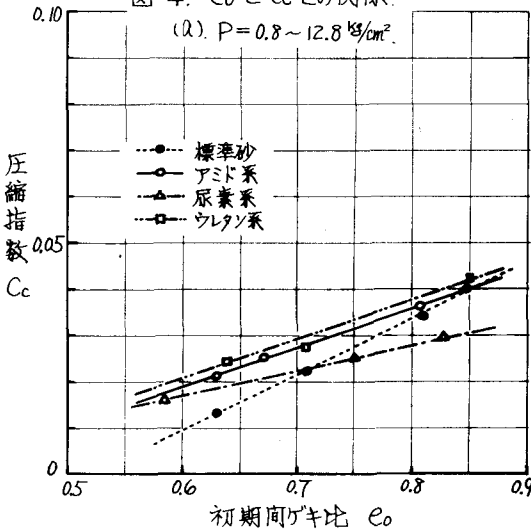
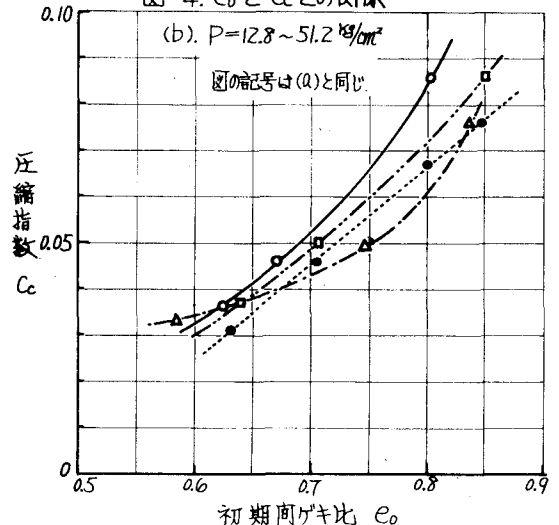


図-4. e_0 と C_c との関係



果があり、それ以上に初期期間ゲキ比が増加すると急激に圧縮指数が増加する傾向を示す。このように 1.6 kg/cm^2 以上の大きな載荷重に対しては薬液注入による沈下減少の効果はほとんどなく、圧縮指数は標準砂のみの場合とほとんど同じである。

すなわち今回の実験に用いた各種の薬液を砂層に注入してからかぶり大きな載荷重をかけた場合の全沈下量は、注入しない砂層のみの場合の沈下量と同程度生ずるものと思われる、薬液を注入することにより砂層の沈下をふとぐ効果はほとんどないと考えられる。

次に薬液注入固結砂が載荷重により沈下を止ず

る時間について比較してみると、図-5 のようになる。すなわち図-5 は経過時間と圧縮度との関係をゆる詰め供試体の場合について図示したものであるが、(a) は載荷重 1.6 kg/cm^2 、(b) は載荷重 51.2 kg/cm^2 のときの関係である。ここに圧縮度とは、ある載荷重の最終沈下量 (4 時間) に対する各経過時間の沈下量の割合を百分率で示した値である。

この図からわかるように、載荷初期の圧縮度は薬液注入固結砂の方が標準砂のみの場合よりかなり大きくなっており、砂の間ゲキが水または空気では満たされている場合よりも、薬液のゲルで満たされている場合には、その接着性によって沈下がおくられる傾向が明らかである。

5. あとがき

今回の実験結果は数少ない実験値に基づくものであるが、薬液注入固結砂の圧縮特性について、全沈下量はとくに載荷重が大きいために砂のみの場合と同程度とはなるが、載荷初期における沈下の割合は間ゲキ中の薬液ゲルの接着性のためにかなり小さくはり、沈下の進行がおくられることがわかった。

なお、今回は強度の強いウレタン系薬液については十分な実験ができなかったが、実験装置の改良や注入方法の工夫によって今後一層の研究を重ねる予定である。

図-5. 薬液注入固結砂の圧縮度と経過時間

