

早 大 正 員 森 麟  
 ○早大大学院 学生員 武田 安敏

1. まえがき

砂地盤が大きなせん断応力を受ける場合、薬液注入をして砂地盤の強度増加あるいは変形量の低減をはかることは、しばしば実施されている一般的な工法である。有効拘束圧がないと強度を発揮しない砂が薬液で固結されると、拘束圧ゼロの一軸圧縮強度がかなり大きな値を示すので、砂が薬液で固結されればどんな場合にも強度や変形抵抗の上で大きな効果があるという印象を与える。透水性の高い砂地盤は、静的なせん断応力を受ける場合は排水条件の下でせん断が進行すると考えられるので、このような砂地盤の強度特性は排水せん断強さとその条件における変形挙動としてとらえることができる。固化した薬液は砂の間げき中で含水ゲルとなり、固結土の透水性は極めて小さくなるので、固結土は非排水せん断状態における強度特性に移行する。薬液は一般に砂粒子表面のマサツ係数を小さくし、ゆるい砂では特に非排水状態になるため発生する間げき圧により、せん断抵抗角が低下する。このようなことから固結土の粘着力成分がかなり大きくないと、拘束圧（土被り圧）の比較的小さい所では未固結の砂地盤の排水強さに追い越されてしまう。また、薬液の濃度は注入した際地下水により薄められるので、場所によってはかなり低濃度で固結する箇所も生じうる。このような場所は十分な粘着力成分がないので、せん断抵抗角の減少の著しい場合（薬液の性質および砂の密度による）には實際上普通の拘束圧のもとでせん断強さの劣化が起るものと思われる。一方、シールドトンネルなどの掘削を行ったとき、地盤の弾性的な変形を問題にするときには、薬液注入による固結土の非排水状態での変形係数（ $E_{50}$ ）と排水状態での砂の変形係数の相違も考えねばならない。変形係数も薬液の種類、濃度、および砂の粒度、密度などによつては小さい拘束圧のところでは砂の排水状態におけるものに追い越される事態になる。本研究は現在また実験に供した薬液や砂の状態の種類は少ないが、砂地盤の状態および、薬液の種類と濃度によつては強度特性の劣化が生じうることを実験的に明らかにしている。

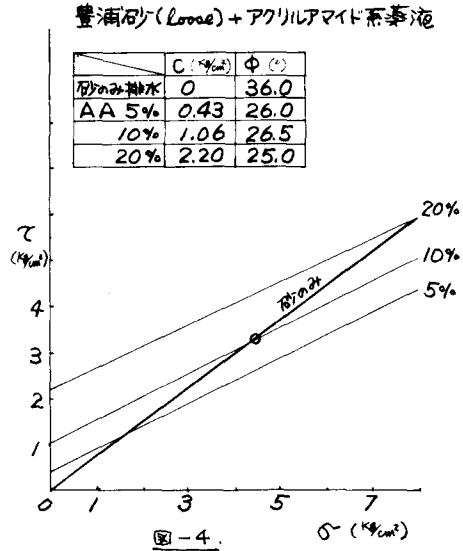
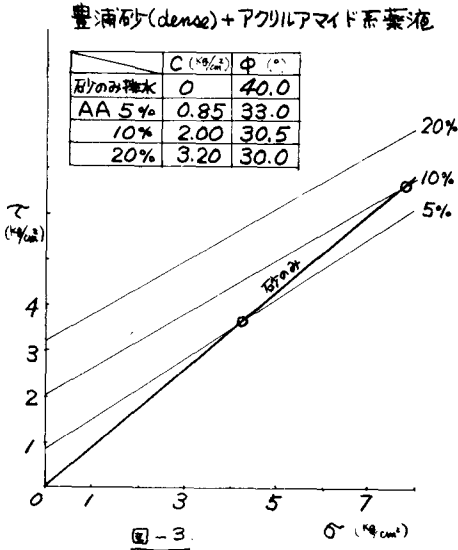
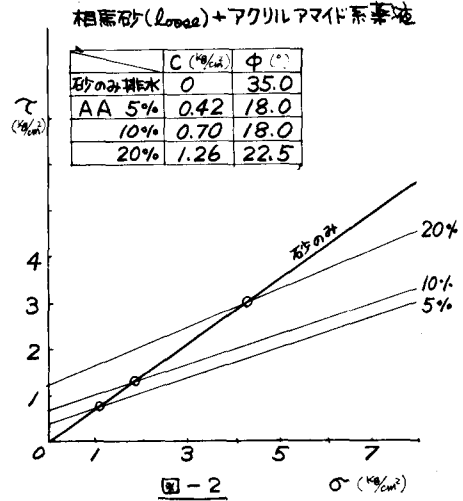
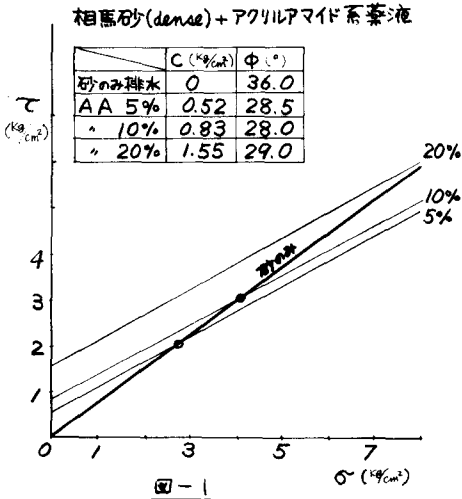
2. 実験方法

砂として相馬標準砂と豊浦標準砂を用い、 $\phi 5\text{cm}$ 、 $h 10\text{cm}$ のモールドにまだゲル化していない薬液を入れ、この中にロートで砂を流し込んだ。砂の密度は、ゆる詰めの場合はロートで入れたままとし、密詰めの場合はモールドをハンマーでたたいて振動を与えながら行ったもので、相馬砂および豊浦砂ともにゆる詰めは  $\rho_s = 1.46\text{ g/cm}^3$ 、密詰めは  $\rho_s = 1.61\text{ g/cm}^3$  である。用いた薬液はアクリルアミド系のもの、およびアルデヒド系の硬化剤を用いた水ガラス系の2種である。前者はゲル化後1時間程度、後者はゲル化後1日養生して試験を行った。試験として三軸試験の非排水試験を行い、モールの包絡線と  $\sigma_3 = 0, 1, 3, 5\text{ kg/cm}^2$  における変形係数  $E_{50}$  を求めた。砂は水で飽和させ初期密度をそれぞれ上記の値に合わせ、排水せん断試験によつてモールの包絡線と  $E_{50}$  を求めている。

### 3. 固結させた砂のせん断強さと砂の排水せん断強さとの比較

#### (a) アクリルアミド系薬液の場合

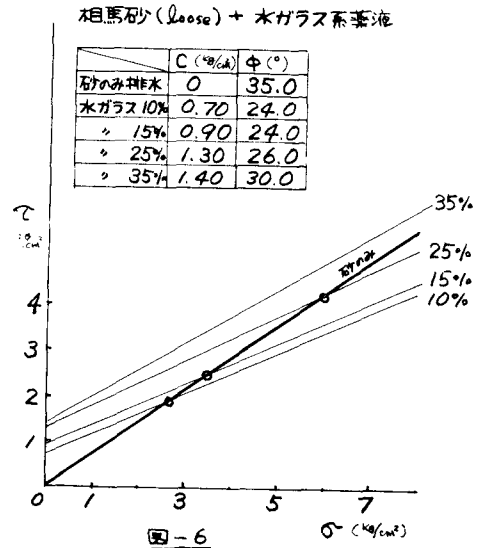
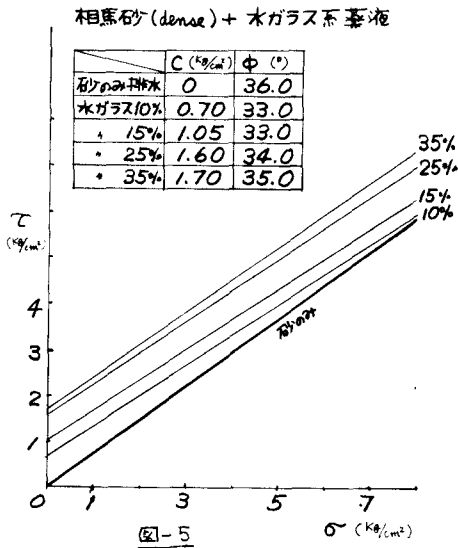
相馬砂と豊浦砂をそれぞれ濃度 5%、10%、20% の 3 種類の薬液で固結したときのモール包絡線と上記 2 種の砂のゆる詰め、密詰めの場合に対応する排水状態でのモール包絡線を図示すると図 1 ~ 図 4 のようになる。各図中には固結土の  $C_u$ 、 $\phi_u$  と砂の  $\phi_d$  を示してある。いずれも  $\phi_u$  の方が砂の  $\phi_d$  より小さいので、垂直応力  $\sigma_v$  がある値  $\sigma_0$  以上になると固結土の強さの方が砂より小さくなってくる。



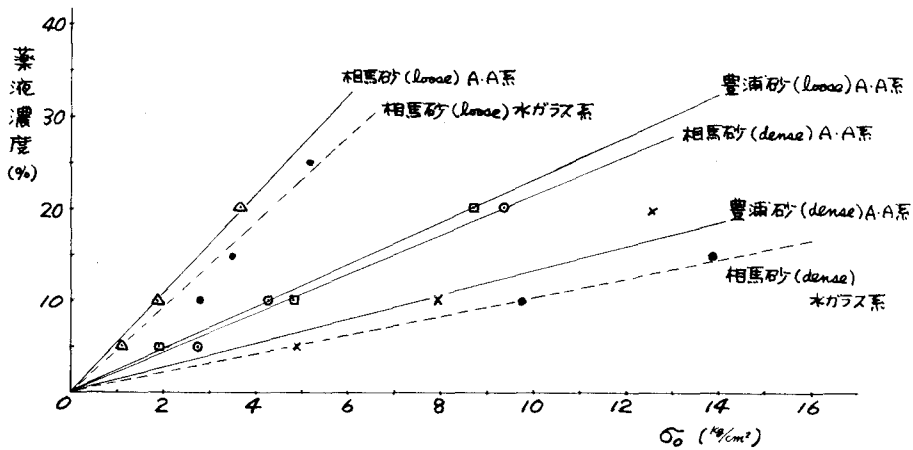
#### (b) 水ガラス系薬液の場合

水ガラス系薬液には種類が多く、それぞれ薬液により固結土の力学的性状がかなり異なるようである。このために一つの薬液で代表させることはできない。ここに示すのはアルデヒド系の硬化剤を用いたものである。水ガラス濃度は 10%、15%、25%、35% の 4 種、使用した砂は相馬砂で、ゆる詰め

と密詰めのものについて求めた固結土と砂のモーラー包絡線は図5, 6の通りである。



以上(a), (b)の6枚の図からそれぞれの場合について各濃度別に固結土のせん断強さが、砂の排水せん断強さより小さくなる垂直応力の値を求めると、どの場合も当然薬液濃度が大きくなればσも大きくなっている。このような薬液濃度と固結土の強度の方が小さくなる垂直応力のσとの関係を図で示してみると図7のようになる。どの場合も原点を通る直線で示すことができる。

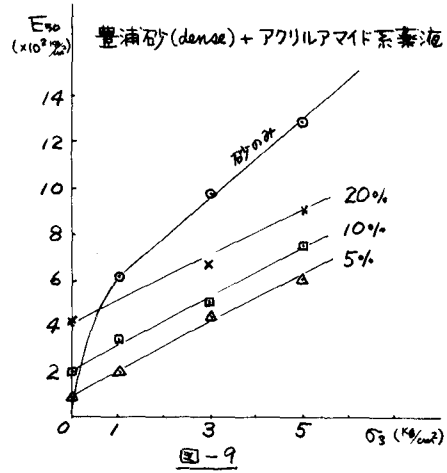
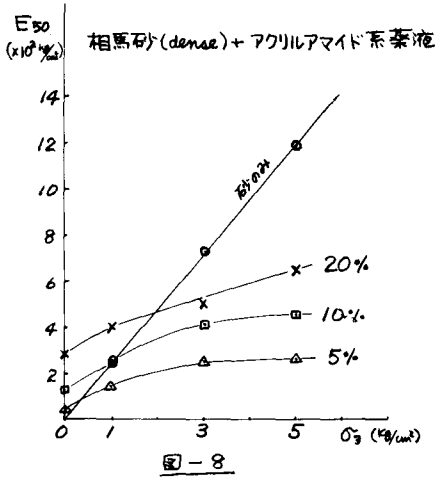


従って、これらの直線はある薬液濃度に対して求まるσより垂直圧力の大きい所に薬液を注入すると、注入しない元の砂地盤のせん断強さより弱くなることを示す注入限界を意味する。直線の勾配の高いものは薬液濃度に対するσが小さくなるので、注入が有効な地盤の深度が浅くなっていく。

ここで実験した2種の薬液を比較すると、同一の砂に対してアクリルアミド系の薬液の方が勾配が高くなっている。また、薬液が同じ場合には砂の粒径が大きく、かつ密度の小さい方が勾配が高くなる。従って、粒径の粗い砂でルーズな場合は、薬液の種類あるいは稀釈された濃度によって拘束圧の極く小さい所で強度が砂自身より弱くなることありうる。

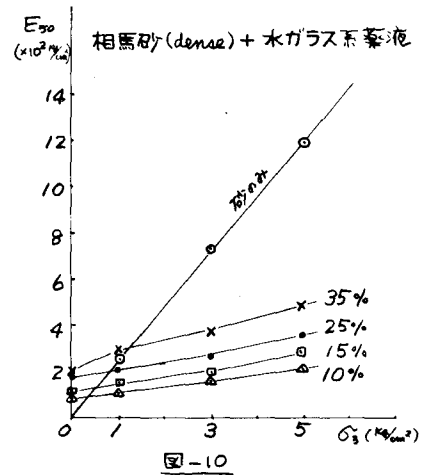
薬液が地下水で希釈されて、アクリルアミド系が5%以下、水ガラス系が10%以下の濃度になると実際には固結しないようなので、これ以下の濃度のところは問題にする必要がないように考えられる。

#### 4. 固結させた砂の $E_{50}$ と砂の排水セクションの $E_{50}$ の比較



薬液で固結させた相馬砂および豊浦砂の非排水セクションにおける  $E_{50}$  と同一初期密度をもつ飽和砂の排水セクションの際の  $E_{50}$  を側圧  $\sigma_3$  との関係で示してみると図8~10のようになる。これらはいずれも密詰め砂についてのものである。

砂の  $E_{50}$  は  $\sigma_3$  による増加が著しいが、薬液による固結土の場合の増加率は低い。このため固結土の  $E_{50}$  は比較的小さい  $\sigma_3$  の所で砂の  $E_{50}$  に追い越される結果となる。このような結果から薬液による固結土は強度より変形抵抗における劣化が起こりやすいことがわかる。強度の場合には問題の少なかった水ガラス系で固結した密詰め砂も、変形抵抗の点では不十分である。



以上の結果は、薬液注入は土の拘束圧の小さい所において効果は大きいが、拘束圧の大きい深部では効果がマイナスになる場合のあることを示すもので、薬液注入の際に十分な検討の必要なことを示すものといえよう。