

III-531 実地盤での薬液注入・掘り出し実験による適切な注入速度の調査、研究

早稲田大学 正会員 森 麟
建設省建築研究所 正会員 田村昌仁
佐藤工業（株） ○正会員 森山健吉
同上 正会員 芝本真尚

1. 研究目的

本試験は、現場における規準的な注水試験（qcr 試験）による p-q 曲線をもとに、割裂発生時の注入速度を求め、これの1倍、3倍、10倍の注入速度にて注入を行い、注入速度の変化による注入固結体の形状の良否を調査し、適切な注入速度を決めるための資料を得るものである。

2. 注入対象地盤

試験の対象地盤は千葉県山武町の成田層の比較的均一な微細砂層で、透水係数は 10^{-4} cm/secオーダーである。表-1に地盤の物理的性質を示す。

表-1 地盤の物理的性質

土粒子の密度 g/cm^3	2.664~2.719
含水比 %	20 ~ 30
細粒分含有率 %	6 ~ 13
均等係数	2.38 ~ 11.0
N 値	30 ~ 50以上

3. 注入試験及び固結形状の確認方法

試験は、まず施工箇所で規準的な注水試験を行い、対象地盤の注入圧 p と注入速度 q の関係である p~q 曲線を求めた。併せて、ボーリングでの試料により一般的な物理的性質を求めた。そして、試験注入は複相式二重管ロッド注入で、表-2に示すように緩結性溶液型の薬液を用い、注入深度 6m、8m において、注入速度を 2 ℓ /min、6 ℓ /min、20 ℓ /min の3段階に変えて一点注入方式で行った。更に、群注入としての固結状況を調査するために、適切な注入速度の範囲内と考えられる 6 ℓ /min の注入速度で注入した。注入孔間隔は1mで、1列3本 $\times$ 3列、合計9本とし、深さ9m~7.25mの範囲をステップ長 25cmで注入した。一点注入及び群注入の各ステップでの注入量はパッカー用の瞬結性薬液を9 ℓ とし、緩結性薬液は100 ℓ である。なお、瞬結性の薬液は赤に着色し、緩結性薬液の最後の20 ℓ は青に着色をして、その浸透状況、経路の把握を行った。以上のほかに、一点注入方式で瞬結性薬液のみを 6 ℓ /minの注入速度で注入し、緩結性薬液 6 ℓ /minの場合と比較した。

表-2 注入仕様（一点注入、群注入）

方式	注入深度	注入材	注入速度	注入量
一点注入	6m、8m	(S)+L	2 ℓ /min	(9)+100 ℓ
		"	6 ℓ /min	(9)+100 ℓ
		"	20 ℓ /min	(9)+100 ℓ
		S	6 ℓ /min	100 ℓ
群注入	7.25m~9m @0.25m $\times$ 8	(S)+L	6 ℓ /min	各ステップ (9)+100 ℓ

注) (S):シール用ショートゲル S:ショートゲル L:ロングゲル

更に、群注入としての固結状況を調査するために、適切な注入速度の範囲内と考えられる 6 ℓ /min の注入速度で注入した。注入孔間隔は1mで、1列3本 $\times$ 3列、合計9本とし、深さ9m~7.25mの範囲をステップ長 25cmで注入した。一点注入及び群注入の各ステップでの注入量はパッカー用の瞬結性薬液を9 ℓ とし、緩結性薬液は100 ℓ である。なお、瞬結性の薬液は赤に着色し、緩結性薬液の最後の20 ℓ は青に着色をして、その浸透状況、経路の把握を行った。以上のほかに、一点注入方式で瞬結性薬液のみを 6 ℓ /minの注入速度で注入し、緩結性薬液 6 ℓ /minの場合と比較した。

固結形状の調査は、注入後に地盤を掘削して固結体を洗いだし、目視確認を主体として、固結重量の計測をし、更にサンプリング試料を採取して室内試験（一軸圧縮試験、単位体積重量試験、透水試験、三軸圧縮試験）を行った。

4. 標準注水試験法による p~q 曲線

と割裂発生注入速度

注水試験は、深度 6m と 8m で行い、試験結果は図-2に示す通りである。注水圧力はポンプ圧力から管内抵抗を差し引いた有効圧力 p を用いている。いずれの場合も初期勾配から外れ始める点は 2 ℓ /min程度となる。

従って、水注入による割裂発生注入速度はほぼ 2 ℓ /min と想定される。

5. 固結形状と注入速度

緩結性薬液の一点注入試験結果の注入速度と固結形状、固結状態との関係を見ると次のようになっている。

① 注入速度が小さいほど、球状に近い固結形状になっている。

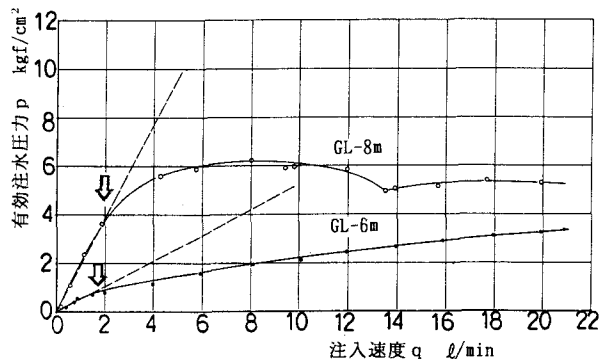


図-2 注水試験結果 p~q 曲線

- ② 注入速度 6 ℓ/min (割裂発生注入速度 2 ℓ/min の3倍に相当)までは写真1、2のように良好なまとまった固結形状となっているが、10倍に当たる 20 ℓ/min では固結形状が写真3のように偏平な円盤状となり、かなりいびつ形で不良である。
- ③ 着色状態から判断すると、注入速度が小さい場合、最後の20 ℓ は注入孔付近に存在していて、後からの注入材が先に注入された薬液を押し出す形で浸透している。注入速度が 20 ℓ/min と大きい場合は、後からの青色の薬液が逆に外側に認められる箇所がある。これは緩結材の注入中も割裂脈が伸展していて、後からの薬液(青色)が割裂脈先端部から外側に浸透したことを示すものと想定される。
- ④ パッカー用の瞬結材の注入9 ℓ によって、注入孔から地盤中に2～3本の割裂脈が発生する。この瞬結ホモゲルの入った割裂脈はその後の緩結性薬液の浸透面として機能することがわかった。



写真1 注入速度 2 ℓ/min

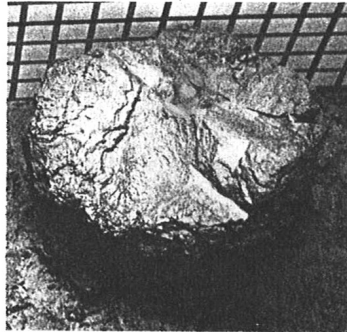


写真2 注入速度 6 ℓ/min

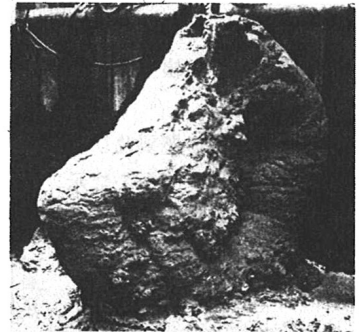


写真3 注入速度 20 ℓ/min

また、瞬結材のみ注入速度 6 ℓ/min で注入した場合は、緩結材 6 ℓ/min の場合と比べて割裂面が非常に大きくなり、固結形状はかなり不良なものになっている。これは透水性が 10^{-4}cm/sec オーダーと小さい砂質地盤のためと考えられる。しかし、透水性がはるかに良い場合は、瞬結性薬液のみでも十分良好な固結形状になり得ることが実験や現場調査でわかっている。

群注入は、深度50cm毎の水平スライス面において、全て設計注入範囲よりも広い範囲で、非常に良好な固結状態を示し、未固結部は見当たらず良好な固結状況であった。この結果は、この地盤の浸透注入に適するゲルタイム 30 分程度の緩結性薬液を用い、適切な注入速度にあたる 6 ℓ/min で注入し、更に、充填率100%を用いて求めた設計注入率 40%で施工したことによるものと考えられる。コアの一軸圧縮強さは全て3～7 kgf/cm^2 の範囲にあり、透水係数は $10^{-6}\sim 10^{-7}\text{cm/sec}$ のオーダーであった。

6. まとめ

本実験地盤は透水係数が 10^{-4}cm/sec オーダーのため、良好な固結がかなり難しいと予想された微細砂層であるが、規準的な方法によるp～q 曲線から割裂発生注入速度を求め、その1倍(2 ℓ/min)、3倍(6 ℓ/min)、10倍(20 ℓ/min)の注入速度を用いて緩結性薬液を注入し、固結形状を調査した。その結果、

- ① 3倍までは良好な固結形状を示したが、10倍では形状が崩れ、かなりいびつな形になる。従って、割裂発生注入速度の3倍までは適切な注入速度であることが明らかになったが、これは必要とする浸透面積(割裂面積)がまだ小さく、割裂面からの浸透分が全体としてはばまとまった形となるためである。
- ② また、10倍の場合は、発生割裂面積が大きくなるので、その割裂形状も種々に変化し、ここからの浸透分によって偏平や不規則でいびつな形になる。このため、10倍の注入速度は不適当であることが分かる。
- ③ これらの結果から適切な注入速度の限界は割裂発生注入速度の3倍～10倍の間になるものと考えられる。適切な注入速度の上限に当たる限界注入速度を正しく求めるには、別途、研究を必要とするが、本実験から割裂発生注入速度の3倍までは良好な固結形状となることが立証できた。
- ④ この3倍の注入速度で行った群注入試験では、全体的に全く良好な固結状態が確認されたので、対象地盤に適切な注入速度とゲルタイムを用いて、合理的な注入率で注入すれば、一般に確実な注入効果が期待できるものと考えられる。