

東海大学大学院 毛利 宏之
 東海大学工学部 正会員 本間 重雄
 東海大学工学部 正会員 稲田 倍穂

1. まえがき

土中に注入されたグラウトの浸透は多くの物理的・化学的要素が関与し、単純な浸透理論ではその挙動を表現しつくせない面が指摘されている。これは現位置における地盤の不均一性や注入剤そのものの多様性に加えて、ゲル化を伴う粘性流体としてのグラウトの土中浸透機構の複雑さが大きな要因となっているものと思われる。そこで、溶液型グラウトについて飽和土中における浸透メカニズムを解明するため1次元鉛直注入実験装置を用いた室内実験を実施した結果、注入過程における土中の間隙圧分布、圧力勾配、浸透速度および注入土の強度・変形特性等に関し、いくつかの知見を得たので概要を報告する。

2. 実験概要

実験装置はFig.1に示すような内径5cm、長さ100cmの塩化ビニール管の下端より、水ガラス溶液(A-液)と硬化剤・助剤混合溶液(B-液)をダブルヘッド送液定量ポンプにより供給し、途中に設けたミキサーにより均一にブレンドして注入管に圧送するものである。注入管の管壁には間隙圧測定用の小型圧力計を設置し、注入過程における土中の間隙圧変化を一定時間間隔で計測した。注入管には土試料(砂質土)を数層に分け各層を一定エネルギーで突き固めながら充填した後、試料下端より注水してエントラップドエアーを除去し、密度一定の供試体を作成した。

(1) グラウトの浸透特性

Fig.2は飽和土中に $Q=4\text{cc/sec}$ の注水を行った場合の土中の間隙水圧の経時変化を示したものである。注入と共に管内の水圧はほぼ直線的に増加し、 $t=4\text{ min}$ でほぼ定常状態に達している。時間経過とともに間隙水圧の増加率は減少するが、各時間段階とも水圧は直線的な分布を呈している。流れが定常に達したと見なされる $t=4\text{ min}$ において、注水量と試料の透水係数($K=1.2\times 10^{-2}\text{ cm/sec}$)からDarcyの法則を用いて動水勾配を求めると $i=17$ となるが、Fig.2で $t=4\text{ min}$ における圧力勾配を動水勾配に換算すると $i=4.5$ となる。これは実験中において、注入ポンプから注入部にかけての管路および注入管下部のフィルター部で大きな損失を招いている為と考えられ、同様に現位置におけるグラウト注入に対しても、ポンプ圧と注入圧との間には大きな圧力差が生じるものと推察される。

Fig.3は注入管内の各測定箇所における間隙水圧の経時変化を示したものである。圧力の上昇は注入初期において大きく、次第に増加率を減少して定常状態に至る様子が示されている。このように、飽和土中への水の注入においては、注入部において大きな水頭損失が生じるものの、注入量と土試料の透水係数につり合う動水勾配に向かって土中の間隙水圧分布が一様に変化していくことがわかる。

Fig.4は飽和土中に $Q=4\text{cc/sec}$ の溶液型グラウトを定量注入した場

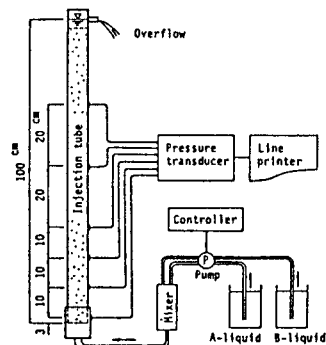


Fig.1 Apparatus for one-dimensional grout injection.

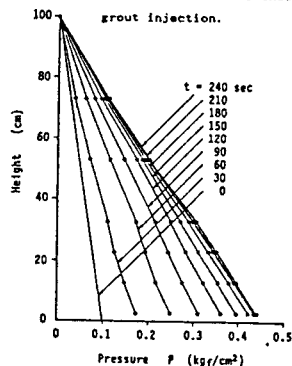


Fig.2 Pressure distribution for water injection.

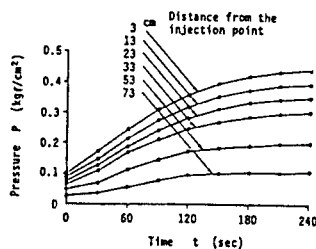


Fig.3 Transient change of pore pressure for water injection.

合の土中の間隙圧分布を示したものである、この場合、各時間における圧力分布には直線性は認められず、注入点に近いほど大きな圧力勾配を示し、グラウトの浸透フロント付近で圧力勾配を減じながら初期静水圧分布に近い分布となって管上端に至っている。図中、右側に示した矢印は、注入されたグラウトが間隙水を完全に置換して浸透すると仮定したときの、注入量と土の間隙比より算出した各時刻におけるグラウトの到達位置を示したものであり、浸潤フロント付近において圧力勾配がなだらかに減少している。これは、グラウトの浸透先端において土中の間隙水による希釈により粘性抵抗が減少し、圧力の低下が生じたものと考えられ、飽和土中へのグラウト注入のような粘性係数の異なる2流体の混和置換浸透においては、その境界において流れの摩擦損失が変化し、浸透方向の圧力勾配が漸変することが認められる。

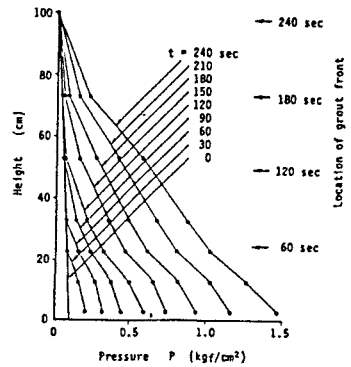


Fig. 4 Pressure distribution for grout injection.

Fig. 5は各圧力測点における間隙圧の経時変化を示したもので、注入断続に伴い土中各部の間隙圧は上昇を続け定常分布には至っていない。この場合、土中の間隙圧はグラウトが到達するまでは静水圧に近い圧力を維持し、グラウトフロントの通過と共に圧力が上昇し、同時にグラウトのゲル化の進行を伴いながら圧力勾配を増加させていく結果となる。一方、一定注入圧で注入をおこなった場合には、グラウトフロントまでの圧力勾配と注入圧およびゲル化の進行が釣り合う形でグラウトの浸透が停止するものと考えられ、この点は今後実験的に検証する必要があると思われる。

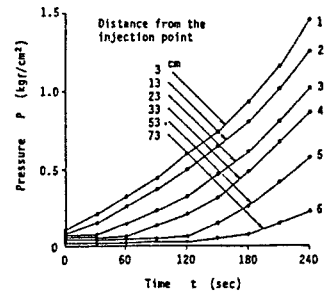


Fig. 5 Transient change of pore pressure for grout injection.

(2) 注入土の力学特性

グラウト注入による改良土の力学的性状の変化を確かめるため、10日養生後の供試体について一軸圧縮試験を実施した。Fig. 6は供試体の一軸圧縮強度の高さ方向の分布を示したものであり、注入点からの距離が増すに従い強度が減少している。これは、注入点付近では常に計画配合に近い濃度のグラウトが供給されるのに対し浸透距離が増大するにつれグラウトの間隙水への拡散並びに硬化剤・助剤の土粒子への吸着等によりグラウトの濃度が低下したことによるものと思われる。

Fig. 7は一軸圧縮試験により得られた応力-歪曲線を示したもので、注入点付近の改良土は初期接線勾配が大きく、軸歪の小さな段階 ($\epsilon = 1 \sim 2\%$) で大きな強度を発揮している。最大圧縮応力を経過した後は急激に応力が減少し、硬くて脆い性質を示している。これに対し、注入点からの距離が増すにしたがい、応力-歪曲線はなだらかな形状となり、破壊歪も大きくなって弾性的な性質を示している。注入点からの距離に応じて、注入土

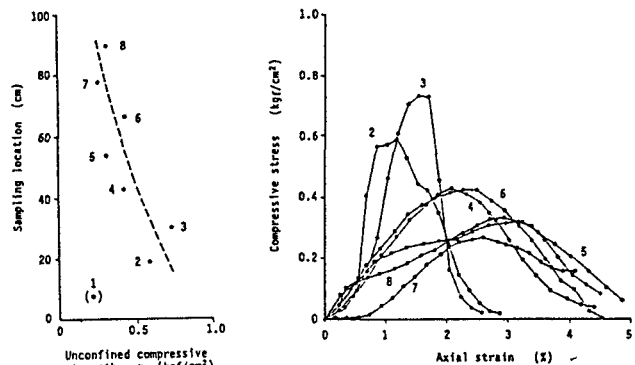


Fig. 6 Distribution of the unconfined compressive strength of injected soil.

の強度および変形特性には変化が認められるが、詳細には三軸圧縮試験を実施して、注入による土の強度定数の変化を確認する必要があると思われる。

Fig. 7 Results of the unconfined compression test for injected soil.