

早稲田大学 理工学部 正 員 森 麟
同大学院(現東京瓦斯) 正 員 O・小松原 徹
同大学院 学生員 細 川 晃

1. はじめに

軟弱地盤の多い我が国では、シールド工法などにおいて沈下防止の補助工法として薬液注入が広く用いられており、その効果に関しては一般に、注入範囲を大きくする程効果があると考えられている。しかしこれには検討する余地が十分ある。砂地盤を対象とした場合、拘束圧の小さい状態では強度は僅かであり、薬液注入によって粘着力成分が付加され、強度および変形抵抗が大きくなる。しかしこれまでの研究結果によると、拘束圧の大きい所では砂だけの場合に比べ、薬液注入を行なった固結砂の方が必ずしも大きな変形抵抗を期待できるとは限らないことが明らかにされている^{1,2)}。すなわち原地盤のままの砂はせん断を受けた場合、排水状態でせん断に抵抗するため間ゲキ圧が発生せず作用応力がそのまま有効応力として働く。そのための拘束圧が大きい程せん断時の粒子間力が大きくなり、変形係数が大きくなる。これに対し固結砂は砂とその間ゲキに満たされた薬液固結ゲルとの複合体であり、ゲルの透水性が非常に悪いために非排水状態でせん断特性を考えねばならない。つまり固結砂の変形特性は、せん断初期に発生する正の間ゲキ圧のために有効応力が減少し、応力-ヒズミ曲線の勾配が緩くなるので、砂を排水状態でせん断したものと比べると変形係数は小さくなる。このため、ある拘束圧と境に砂のみの変形係数に近いとされ、その後拘束圧の増加とともにその差が拡大される。

本研究はこのような排水条件の変化による変形特性をふまえて、薬液注入と施した地盤にシールドトンネルを掘削した場合生じる地盤の変形挙動を有限要素法を用いて解析し、注入範囲と沈下量と比較検討したものである。

2. 解析の方針

砂質地盤に径5mのシールドトンネルを掘削する場合と想定し、薬液注入範囲とトンネル掘削断面中央を中心と同心円状に変化させ、それぞれの場合に対して応力解放したときの地盤変位量などを求めることとした。なお解析に導入する砂および固結砂の変形係数と拘束圧の関係は図-1に示すものを用いた。これらは砂の密度が大きくなるほどまた薬液濃度が濃くなるほど、直線の傾きすなわち拘束圧に対する変形係数の増加率が大きくなるので、当研究室の実験データおよび現場データより妥当と思われる範囲を設定したものである。また特に拘束圧がゼロの場合の変形係数150%₀については、当研究室のデータに加えて建設省土木研究所の大型人工地盤を行なった実験により得られた変形係数と一軸圧縮強度の関係も参考にした。

3. 解析結果

図-2・図-3に、地表面およびトンネルクラウン部の沈下量とグラウト半径の関係を、トンネルの土被り別に解析した結果を示した。ここで、グラウト半径とはトンネル周面からの注入厚さのことである。図より、地表面およびクラウン部ともにとの土被りでも、注入しない砂だけの場合より沈下量がかなり減少しており、薬液注入が沈下防止に効果のあることが示されている。しかし、土被りの浅い場合は注入範囲が広がるにつれて沈下量がさらに減少するのがあるいは一定値に落ち着くのに比べて、土被りの深い場合にはある半径の所で最小の沈下量が得られ、それ以降逆に沈下量が増加する傾向にある。この半径付近の拘束圧は地盤の等応力線図を調べると、図

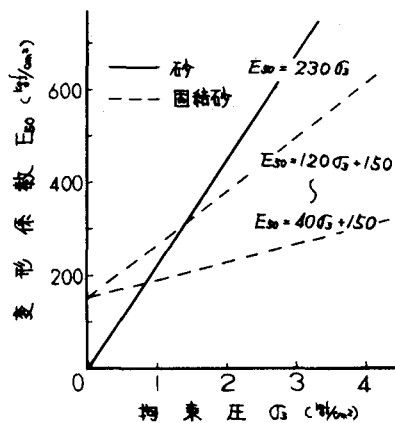


図-1 変形係数と拘束圧の関係

1の固結砂の変形係数と拘束圧の関係を示す直線と砂のみのそれとの交点付近の拘束圧にほぼ等しいことがわかる。このことより、交点前すなわち応力解放面付近の土圧の低い所では、固結砂の変形係数が砂よりも大きいたる薬液注入が効果的であり、交点後すなわち掘削面より離れた土圧の高い所では変形係数が逆転するたため、注入以前に比べて地盤の変形がしやすくなり、注入によって地盤の変形特性が劣化させることがわかる。土被りの浅い場合には地盤の土圧分布がだいたい交点前あるいは交点付近の値なので、このような傾向は見られない。したがって、土被りの深い所に薬液注入を施す場合は十分に注意が必要であるし、また浅い場合でも沈下量の曲線がほぼ一定値に落ち着くのを注入範囲を大きくし過ぎて意味はない。

よってこれより、本解析で設定したような変形係数が予想される地盤においては、適正な注入範囲は、土被りの深い場合をよそグラウト半径1.0m~1.5mぐらい、また浅い場合を1.5m~2.0mぐらいであることがわかる。

次に土被り深さ25mの場合を例にとり、固結砂に対する変形係数の増加率を変え、トンネルクラウン部の沈下量とグラウト半径の関係を解析した結果を図-4に示した。これを見ると、増加率の小さい方が沈下防止に対する注入効果は小さく、またある注入範囲と境に沈下量が増加する傾向にあり、薬液が効果的に作用する範囲が小さい。これは増加率の小さい方が、薬液注入しない砂に比べ拘束圧の増加にともなう変形係数の相違が著しいためであり、固結砂の変形係数と拘束圧の関係を示す直線と砂のみのそれとの交点が拘束圧の小さい所にあるからである。変形係数の増加率は薬液濃度や砂の密度などに関係しており、したがって濃度が低い場合や砂の密度が小さい場合には、注入に際して十分な検討を要することになる。

4. まとめ

従来、薬液注入した地盤の沈下量等と算定する解析では、固結砂の変形係数は拘束圧に無関係に薬液注入をしない場合の2~3倍という評価として用いていたが、これだと注入範囲を大きくする程効果があるという結果が得られる。しかし砂および固結砂の変形係数は拘束圧と密接な関係を持っており、この関係を考慮して解析を行なうと、沈下量はある範囲と境に一定値に落ち着いたり、あるいは逆に増加したりする傾向を示す。したがって、変形防止に関する薬液注入範囲の設計に際しては、変形係数と拘束圧の關係が特に留意されることが望ましいと思われる。

参考文献 森 丈山「薬液により固結させた砂の強度・変形特性について」土木学会第32回講演報告集

2) 森 前島「薬液による固結砂の力学特性に及ぼす粒度・密度の影響」第14回土質工学研究発表会

3) 建設省土木研究所「薬液等注入材料の研究開発に関する研究報告書」昭和53年3月

