

鋼管先受け工法用注入材（ハイドロレジン）に関する模型実験 ー浸透固結形状および鋼管間からの土砂拔落ち防止効果ー

東亜合成(株) 正 ○松井 智隆 東亜合成(株) 正 武田 晋治

1. はじめに

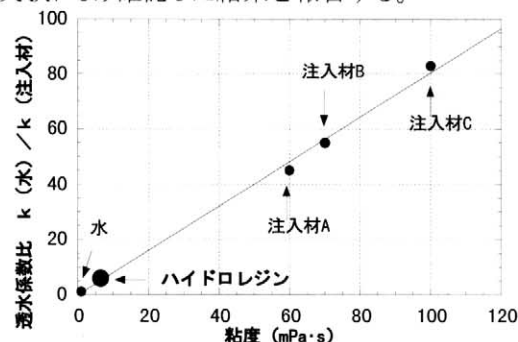
近年、トンネル掘削工事に於いて良質な岩盤ではなく、未固結砂質地盤を対象とした掘削工事が増加しており、補助工法の必要性が増してきている。特に切羽・天端の安定化を目的とした鋼管先受け工法では、掘削による緩みや鋼管間からの土砂の抜落ちを防ぐため鋼管周囲を注入材で固結させている。

本報では、飽和度の高い未固結砂質地盤の安定化を目的に当社が新規に開発したハイドロレジン系注入材を用い、未固結砂地盤での固結形態および鋼管間からの土砂の抜落ち防止効果を模型実験により確認した結果を報告する。

2. 注入材（ハイドロレジン）の特徴

ハイドロレジンとは、溶剤を含まない水系のアクリル酸塩系の安全性の高い材料である。また、粘性が低く、浸透性に優れていることから、崩落しやすい未固結砂質地盤の一体化が可能であり、更に、粘性が低いので長距離圧送性にも優れており、注入用設備の設置場所の確保が難しいトンネル切羽付近ではなく、遠隔地からの圧送が可能となる材料である。

図－1に各注入材の粘度と透水係数比を示すが、注入材の種類にかかわらず、粘度と透水係数比は比例関係にあり、注入材の粘度が浸透性の代用特性として評価できることが分かった。更に、ハイドロレジンとは水と同程度の浸透性を有していることが認められた。表－1に豊浦標準砂(Dr=80%)を用いた砂ゲルの圧縮強度、圧縮破壊ひずみおよび引張割裂強度を示す。



図－1 各注入材の粘度と透水係数比の関係

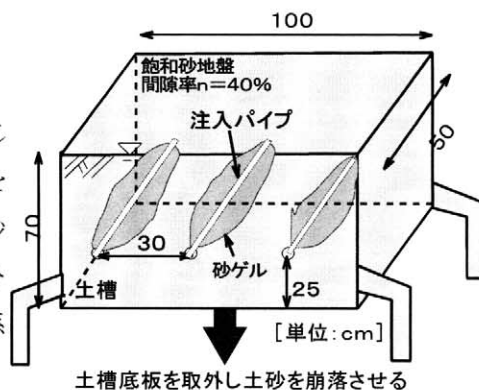
表－1 豊浦標準砂を用いた砂ゲルの強度特性

圧縮強度	圧縮破壊ひずみ	引張割裂強度
4.0N/mm ²	10%	0.5N/mm ²

3. 実験方法

3. 1 固結形態の確認

図－2に示す落し戸式の土槽内(縦50cm、横100cm、深さ70cm)にあらかじめ塩ビ製の注入パイプ(内径1.2cm、パイプ長50cm、注入孔径5mm×6箇所)を30cm間隔で3本設置し、表－2に示す8号珪砂を用いて水中落下法により飽和砂地盤を作製した。注入材を注入パイプ1本当たり9L注入し、固結後、非固結部分の砂を取り除き、固結体形状の確認を行った。なお、注入前の模型地盤の透水係数は $9.8 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ であった。



図－2 実験概要図

3. 2 土砂抜落ち防止効果の確認

自立性がなく抜落ちしやすい地盤に対するハイドロレジンの崩落防止効果を確認した。

3.1と同様な方法で模型地盤を表－2に示す4号珪砂を用いて作製し、任意の改良土砂量に対して注入率100%で注入を行った。固化後に土槽底板を取り外し、崩落した土砂の重量を測定して、次式により崩落土砂率を求めた。

$$\text{崩落土砂率}(\%) = [\text{崩落土砂重量}(\text{kg}) / \text{土槽内の全土砂重量}(\text{kg})] \times 100$$

ハイドロレジン注入による改良範囲および形状は、注入パイプを中心とした浸透注入による円柱状コラムと仮定した。隣合うコラムが接触して連続体となる時の改良土砂量を基準(V_{100})とし、改良土砂量を変化(V_n)させて実験を行い、改良土砂率と崩落土砂率および固結倍率の関係を求めた。なお、隣合う円柱状コラムが接触する時の円柱コラムの半径は15cmである。表－3に実験水準を示す。

表－2 珪砂の物性

	4号	8号
Gs	2.60	2.58
e _{max}	0.977	1.383
e _{min}	0.648	0.693
D ₅₀	0.95	0.095
U _c	2.6	1.5

キーワード:ハイドロレジン、先受け工法、注入材、固結形状、抜落ち防止効果

連絡先:東亜合成(株)機能製品事業部〒455-0027 名古屋市港区船見町1-1 tel052-611-9921 fax052-614-3549

4. 実験結果

4. 1 固結形状の確認及び考察

土槽内に形成された砂ゲルコラムを写真-1に示す。8号珪砂を詰めた土槽(透水係数 $9.8 \times 10^{-3} \text{cm/s}$)においても、ハイドロレジン注入パイプを中心に割裂浸透し、良好な円柱状コラムを形成した。注入条件は、注入速度 0.5 L/min.、注入パイプ1本あたりの注入時間を18分、ゲル化時間を8分に設定した。カリフラワー状の固結体が得られた理由として、外周がゲル化しても、次々に送られてくるハイドロレジンによりゲル化部分の一部が突き破られ、これを中心にしてハイドロレジンが地盤内に浸透固結したことによるものと考えられる。

4. 2 土砂拔落ち防止実験

図-3に改良土砂率と崩落土砂率および固結倍率(固結体積/注入量)の関係を示す。なお、崩落土砂量は、改良土砂率 100%の時でも土槽底板を外した際に落下する土砂重量を差し引いて算出した。なお、ハイドロレジン注入していない未改良の場合には、土槽内の土砂はすべて崩落した。改良土砂率26%の場合には、土槽内の固結体を除くすべての未改良土砂が抜け落ちたが、38%では拔落ちを防止することができた。更に、改良土砂率64%以上で崩落土砂率は完全に収束し、改良土砂率100%と同程度の効果を得ることができた。理論上、円柱状コラムの砂ゲル同士が接触し合うのは、改良土砂率が100%(円柱状コラム半径15cm)の時であることから、隣合う円柱状コラムが一体化せず、円柱状コラム間に未改良の部分が残っていても、土砂の拔落ちを防止する効果があることが確認された。写真-2から判断すると、隣合う円柱状コラムが支点となり、未改良土砂のアーチ作用により土砂の拔落ちを防止しているものと考えられる。

すべての改良土砂率で固結倍率が200%以上となり、間隙水が静止状態にある時は注入材のほぼ全てが固結するという結果を得た。通常、地下水流に乱流は存在しないため、注入材を浸透注入させれば、注入材は地下水に希釈されることなく全量が固結すると思われる。一方、注入速度を速くして注入材を割裂注入させた場合には、注入材と地下水との接触面積が増加し、注入材と地下水の境界部に濃度勾配が生じるため、地下水に希釈されやすくなると考えられ、高含水地盤では、浸透注入状態の保持が重要であると考えられる。

5. 結論

(1)透水係数が $9.8 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ の難浸透性地盤においてもハイドロレジンは、

浸透し、円柱コラム状の砂ゲルを形成した。

(2)隣合う円柱状コラム間に未改良の土砂がある場合でも、未改良土砂のアーチ作用により土砂の拔落ちを防止することができた。

(3)飽和砂地盤においても、ハイドロレジンは希釈されることなく固結した。

今後、本知見をもとに実際のトンネル掘削工事現場での実証をはかっていく予定である。

参考文献:薬液注入工法における注入効果の予測・確認手法に関する研究委員会研究会報告(1993)、島田俊介最先端の薬液注入工法 理工図書

表-3 実験水準

改良土砂率 $V_n/V_{100}(\%)$	円柱コラム半径 (cm)	改良土砂量 (cm^3)
0	—	—
26	7.5	8830
38	9	12700
64	12	22600
100	15	35300

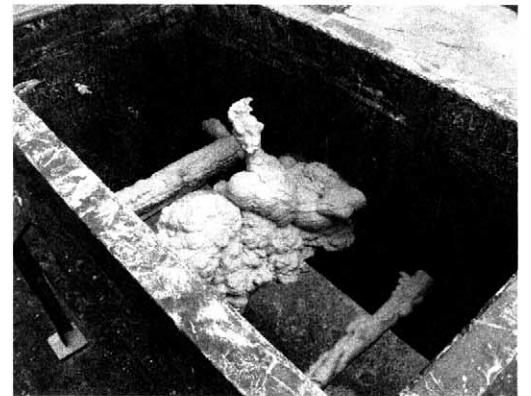


写真-1 8号珪砂の固結状況

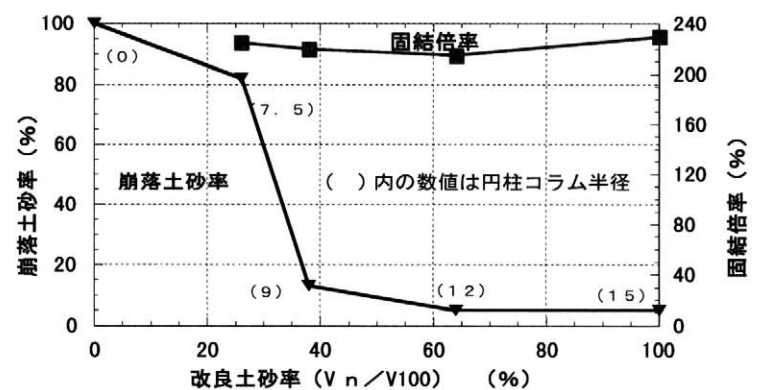


図-3 改良土砂率と崩落土砂率および固結倍率の関係



写真-2 土槽底部から見た拔落ち防止状況

(改良土砂率 64%の時)