

VI-63

深層混合攪拌工法によるトンネル坑口処理
(東海北陸自動車道 杉原工事山田トンネル)

日本道路公団

真柄 鎮*

佐藤工業㈱ 正会員

○古川 哲男

1. はじめに

NATMが国内で本格的に採用されるようになって約10数年経過してきているが、トンネル工事においてNATMの補助工法、特に「補助工法B」の必要性はますます高まりつつある。崖錐性扇状地などの軟弱地盤、また偏圧を受けやすい地形や地すべり地帯に坑口が位置する場合は、事前に各地形・地質に適合した補助工法によって地盤を改良し、坑口部の掘削を行う事例が多い。

本文は、地耐力が不足する崖錐性扇状地で、トンネルの補助工法としては非常に珍しい深層混合攪拌工法を採用した例であり、今後坑口部あるいは土被りの浅い箇所での新たな補助工法として適用できることから、ここに報告いたします。

2. 補助工法の検討

2.1 坑口部の地形・地質

起点側坑口は、崖錐性の扇状地が15～20度の緩傾斜で南側へ分布する斜面の端部に直交する形で位置している。扇状堆積物の分布範囲は、奥行きが坑口から約35m、層厚は最大25m程度である。土質は粘性土をマトリックスとした砂レキ(レキ含有率10～60%)で、N値は4～22と小さく、坑口部の施工に当たっては次のような問題があった。

1.) 設計では支持地盤の地耐力を考慮して側壁導坑先進工法を採用してあるが、原位置試験の結果地盤の許容支持力は 44t/m^2 で、想定した側壁導坑底盤に発生する荷重 58t/m^2 より小さく、側壁導坑方式でも地耐力が不足することが判明した。

2.) N値10前後の地質では切羽・天端の自立性が小さく、崩落によるゆるみ領域の増大が予想される。

3.) 坑口部では、掘削にともなって発生する沈下および緩み領域の増大は斜面の崩壊を誘発する恐れがあり、また変状が生じた場合には復旧に多大の工期と費用を費やす。

2.2 補助工法の検討

地耐力が不足しかつ崩落しやすい地盤に対して次の6ケースで比較検討した。

表1 補助工法の比較検討表

ケース	補助工法		工期	安全 環境	確実性	経済性	総合 判定
	支持力対策工	切羽対策工					
1	導坑底盤1m拡幅	ウレタン液量3m	△	△	○	△	△
2	導坑中詰コンクリート	ウレタン液量3m	△	△	○	△	△
3	補強ロックφ=12.10p/m	ウレタン液量3m	×	△	×	△	×
4	深礎くいφ1.5・100m	ウレタン液量3m	×	△	○	×	×
5	深層混合攪拌工法		○	○	○	○	○
6	薬液注入工法		△	△	△	×	×

(ケース) (支持力対策) (切羽安定対策)

- 導坑底盤の拡幅 +ウレタン注入
- 導坑中詰コンクリート+ウレタン注入
- 導坑脚部の補強ロック+ウレタン注入
- 導坑内からの深礎くい+ウレタン注入
- 深層混合攪拌工法(上半先進工法)
- 薬液注入工法(上半先進工法)

比較検討結果を表1に示す。補助工法の施工数量は、既存地質調査資料および原位置試験結果等を参考に構造計算結果より設定した。深層混合攪拌工法の採用は、地形・地質に適合しており、最も安価で確実に改良でき、施工性・安全性に優れていることによる。

3. 深層混合攪拌工法

深層混合攪拌工法は、軟弱な砂質土・粘性土または有機質土・腐食土の地盤中に、スラリー状の安定処理材を低圧で注入し、原地盤土と混合攪拌し、必要な強度および性質を持つ硬化改良体を作成し、地盤を安定化させる工法である。これまでは構造物や盛土部の基礎処理などにも適用されてきた。(図1・2)

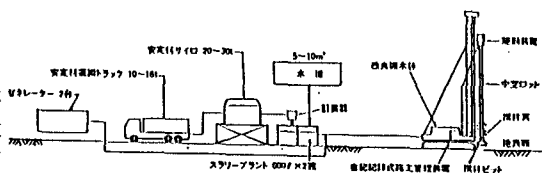


図1 深層混合攪拌工法概要図

*日本道路公団 名古屋建設局 美濃工事事務所 八幡工事区工事長

3.1 適用条件

本工法を採用した理由の1つとして、地形・地質が次のような条件を満足したことである。

- 1.) 土含有率・土径が小さな土質であること。
- 2.) 改良箇所の上に障害物がないこと。
- 3.) 場所が平坦で広く、大型機械が動けること。

3.2 改良範囲

地盤改良範囲を図3に示す。改良深度は構造計算（フレーム解析）よりトンネル底盤から3mとした。天端側壁部については地山アーチ形成に必要な3mとした。

3.3 地盤改良強度

地盤改良強度は構造計算および既存資料を参考に次のように設定した。

- イ) トンネルより底盤下3mまで $q_{u1}=13\text{kg/cm}^2$
- ロ) トンネルより天端上3mまで $q_{u2}=10\text{kg/cm}^2$
- ハ) ロ)より上部 $q_{u3}=6\text{kg/cm}^2$

3.4 配合強度および配合

室内配合試験を実施し、安全率を1.5として改良材の配合強度を決定した。改良材には消石灰・セメントおよびセメント系固化材があるが、室内で比較試験を実施して、当該土質に最も適しかつ経済性・施工性等を総合的に判断し、セメント系固化材を使用した。

(改良範囲)(改良強度)(配合強度)(改良材の量)

- イ) 13kg/cm^2 20kg/cm^2 170kg/m^3
- ロ) 10kg/cm^2 15kg/cm^2 150kg/m^3
- ハ) 6kg/cm^2 9kg/cm^2 100kg/m^3

3.5 施工

進入路造成および緩い傾斜の施工ヤードを平坦に造成後、二軸式深層混合処理機を1台搬入した。深層混合攪拌工法の施工は、杭本数 284本、平均杭長14.7mを約1ヶ月で完了した。改良効果の確認のため実施した原位置でのサンプリング資料による強度試験では、計画以上の強度を確保することができた。

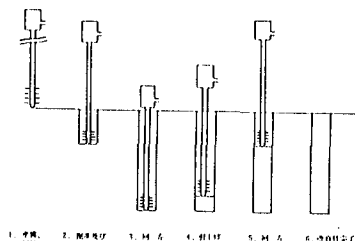


図2 深層混合攪拌工法施工順序図

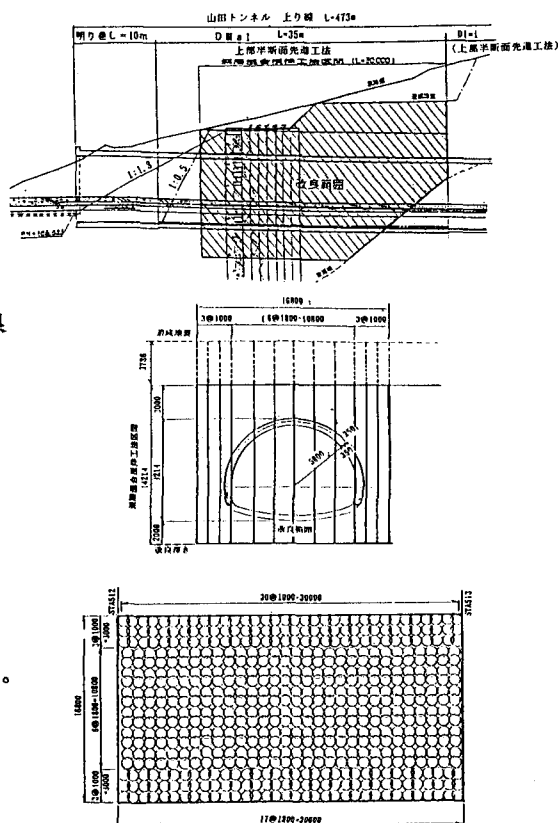


図3 地盤改良範囲

4. トンネル坑口部の掘削

深層混合攪拌工法によって地盤改良を行った後、坑口部の掘削を行った。掘削に当たっては計測計画を十分にたて、斜面およびトンネル内の地山・支保の変状の有無を観察した。当初設計の側壁導坑先進工法（施工延長35m）では約60日間の工期を予想していたが、地盤改良により上部判断面先進工法の施工が可能となり、また縫地ボルトおよびパターンボルトを省略することができ、施工性が向上して約20日の工程で無事施工することができた。

5. おわりに

深層混合攪拌工法が、適用条件を満足すれば、比較的安価で確実性のある補助工法として、トンネルで採用できることが実証できた。近年熟練したトンネル坑夫が減少し、さらに労働時間の短縮に伴って作業日数が減少することから、トンネルの合理的な施工法の開発が望まれている。本報告は、軟弱地盤の坑口部の施工を補助工法を採用することにより単純化した例で、今後同様な条件下ではトンネルの補助工法の施工事例となれば幸いである。