超長尺鋼管先受け工(ELPS)による坑口部のトンネル安定対策

清水建設㈱　紀勢線海山トンネル作業所　正会員　○高岡秀明　平野宏幸　川上博史
清水建設㈱　名古屋支店　土木技術部　正会員　児玉　泰樹

１．はじめに

山岳トンネルにおける長尺鋼管先受け工(AGF)は，先受け鋼管を1シフト12.5mで9m掘進するごとに繰り返すのが一般的である．このため，鋼管先端部では支保工との離隔が増し，次シフトの施工時には先受長は約3mとなる．さらに，切羽を止めての施工となり，工程的には不利となる．そこで，坑口からトンネル縦断勾配に平行に50m級の先受け鋼管を打設可能な超長尺鋼管先受け工（以下 Extremely Long Pre-Supporting を略し，ELPS と呼ぶ.）を開発した．本稿では，紀勢線海山トンネルの到達側坑口においてELPSを施工した結果を報告する．

２．工事概要

紀勢線海山トンネルは，近畿自動車道の尾鷲北ICと紀伊長島ICの間に位置する延長1,591mの2車線トンネルで，トンネル掘削は起点側（尾鷲側）から終点側（紀伊長島側）に向かい片押で行った．トンネルの地質は，砂岩,頁岩，および，砂岩頁岩互層で亀裂の発達した地山であると想定され，特に到達側坑口（**図-1**）は土砂状に強風化した脆弱な頁岩が分布し，かつ，等高線の乱れが著しい小土被り区間が110mにも及ぶため，トンネルの安定確保が課題であった．このため，事前に詳細な地質調査を行ってトンネル安定対策を検討し[1)]，切羽全体に土砂状に強風化した脆弱地山が存在すると確認された45m区間についてELPSを採用した．

３．ELPS の概要

本工法の先受け鋼管の打設は二重管で構成され、ダウンザホールハンマにより打撃と回転で削孔する．50m級の先受け鋼管を打設するには,削孔時の先受け鋼管の方向制御と線形計測が必要となるため，以下の技術を適用する．

3-1. テーパービットによる方向制御

先受け鋼管削孔時の方向制御はテーパービットにより行う．削孔は，直線削孔する場合は回転と打撃で削孔し，方向を修正する場合は修正したい方向と逆方向にテーパーを向けて打撃のみで削孔する．(**図-2**) これにより，高い精度で先受け鋼管を打設することが可能となる．

3-2. 3次元ジャイロによる先受け鋼管の線形計測

本技術では，ダウンザホールハンマの内管ロッド内に3次元ジャイロを挿入することで，先受け鋼管の線形を計測し（**図-3**），逐次前述のテーパービットにより方向制御を行う．この線形計測は非常に簡易で，計測に要する時間は段取りを含めて5分程度である．

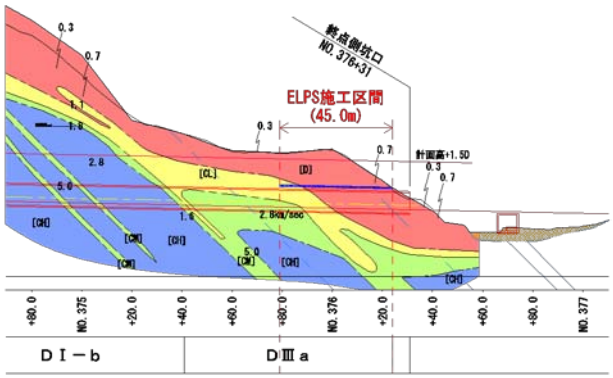

図-1 到達側坑口地質縦断図

図-2 テーパービットによる方向制御

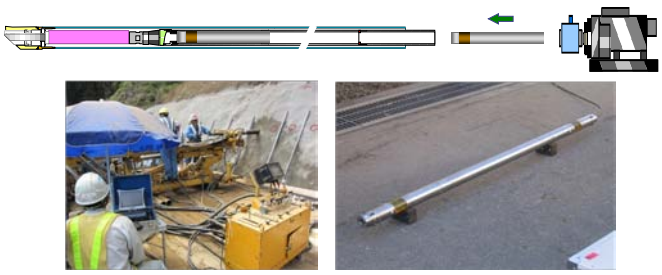

図-3 3次元ジャイロによる先受け鋼管の線形計測

キーワード　先受け工，ELPS，AGF，坑口，方向制御，ダブルパッカー
連絡先　〒460-8580　名古屋市中区錦1-3-7　清水建設㈱ 名古屋支店 土木部　TEL052-203-1498

3-3. ダブルパッカーによる浸透注入

先受け鋼管の打設完了後，鋼管の逆止弁付注入孔からダブルパッカーにより50cm毎のステップ注入により浸透注入を行う．注入材は懸濁型超微粒子スラグでゲルタイムが調整可能である．

４．ELPS の施工結果

トンネル掘削に先立ち，ELPS を到達側坑口のトンネル天端 120° の範囲に 21 本（φ139mm, t=6.6mm, L=45m）を施工した（**図-4**）．方向制御を行った先受け鋼管の打設精度の一例を**図-5**（a）（b）に示す．計画線から下方にずれていた先受け鋼管を上向きに方向制御し，管理基準値の±250mm 以内に収まっている．ただし，礫混じりの土砂地山では急激な方向制御は困難なため，管理基準値内で早い段階に少しずつ制御していくことに留意して施工を行った．その結果、全ての鋼管の計測位置で断面方向の偏芯量は管理基準値(±250)以内に収まった。**図-6** は全鋼管の 45m 先端の偏芯位置を示す．施工結果は計画線より上方向に集中する傾向があり，これは計画線が上向き 2%（トンネル縦断勾配）であることや，地質構成が打設方向に対して流れ盤であったことが起因していると考えられる．

ELPS の薬液注入は，先受け鋼管周りの直径 1m の地山を対象とし，対象地山が礫含有率 50%以上の砂礫であることから，注入率は 30%を基本とし，最大 40%を上限として注入圧管理によりステップ注入を行った．注入材は，浸透性に優れた高強度（一軸圧縮強度：ホモゲル 3MPa 以上）の恒久グラウトである懸濁型超微粒子スラグ（シラクソル）を使用し，ゲルタイムを 60～120 分で調節した．

注入結果は，ほぼ全てにおいて最大注入量に近い注入量となり，当該地山は空隙が大きい未固結地山であったことがわかる．

５．ELPS 施工区間のトンネル掘削結果

ELPS を施工した区間は想定通り切羽全面に強風化した脆弱な頁岩が現れたが，切羽において、天端からの抜け落ち、鏡の肌落ちや孕みだしは見られず、薬液注入と安定した先受けの効果が確認され，切羽の安定が格段に向上したため安全に施工できた．当該区間の坑内変位は最大-10mm，地表面沈下は最大-12mm であり，FEM 解析により当初想定されていた変位の 1/10 程度に抑制され（**表-1**），追加の対策工無しで施工可能であった．

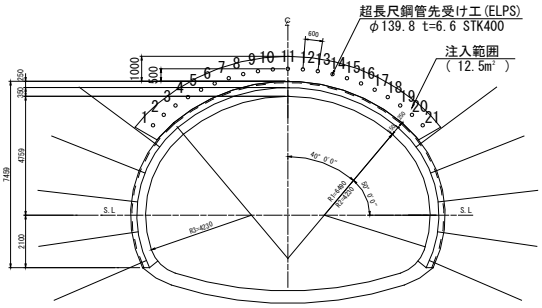

図-4 超長尺鋼管先受け工支保パターン図

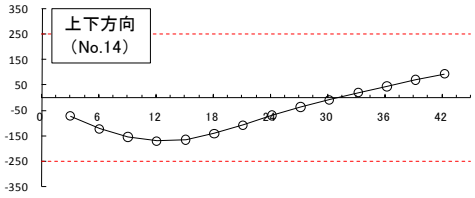

図-5（a）鋼管打設出来形例(上下方向)

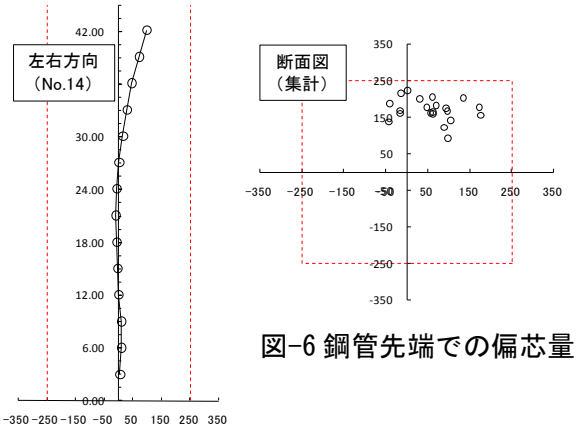

図-6 鋼管先端での偏芯量

図-5 (b) 鋼管打設出来形例(左右方向)

表-1 各種変位の実測値と FEM 解析値の比較

	実測値	FEM解析予測値
地表面沈下	-12.1 mm	-113 mm
天端沈下	-9.5 mm	-89 mm
内空変位	-9.8 mm	-10 mm

６．まとめ

土砂状に強風化した脆弱な地山が分布する到達側坑口において，ELPS の高精度な鋼管打設および浸透注入により天端部の事前地山補強を行った事で，トンネルの品質向上，施工の安全性向上，および，工程短縮を実現できた．

謝辞

本事例を施工する機会を与えて頂き，論文発表をご了解頂きました国土交通省中部地方整備局紀勢国道事務所の関係各位に深く感謝の意を表します．

参考文献

1) 高岡秀明, 川上博史, 平野宏幸：強風化した脆弱地山におけるトンネル坑口の安定対策の検討，トンネル工学報告集第 21 巻，(2011)