

既設トンネル直下へ超長尺大口径鋼管先受け工を坑内から初適用 Application of Long distance and Large caliber Forepiling method “LL-Fp method” to the inside section of tunnel under the existing water tunnel.

吉平 安生* 吉田 正樹*
Yasuo Yoshihira Masaki Yoshida
山下 雅之** 諏訪 至***
Masayuki Yamashita Itaru Suwa

要 約

大洲・八幡浜道路千丈トンネルには、途中既設水路の直下約 10 m を近接施工する区間があった。また、この区間の周辺には事前調査で断層破碎帯の出現も予測されていた。このため、当該区間ではトンネル掘削に伴う周辺地山の変形・沈下により既設水路へ影響を及ぼすことが懸念されていた。

一般に、このような事象に対する対策工としては長尺鋼管先受工（AGF 工法）が採用されることが多い。AGF 工法はトンネル汎用機であるドリルジャンボを用いて施工が可能であり施工性が良い。しかし、この場合先受鋼管の鋼管径や鋼管長に制限を受ける場合がある。このため、汎用機を用いた超長尺で大口径鋼管（φ 139.8）を用いたより先受け効果の高い LL-Fp 工法を開発し、2013 年度にトンネル坑内から実現場に初適用を試みた。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. LL-Fp 工法の概要
- § 4. LL-Fp 工法の坑内適用
- § 5. 坑内適用のための改良
- § 6. 適用結果
- § 7. まとめ

§ 1. はじめに

大洲・八幡浜自動車道（全体計画延長約 13 km）は、九州からの四国の玄関口である八幡浜市と、四国縦貫・横断自動車道を自動車専用道路でつなぐ「地域高規格道路」である。

この道路の整備目的は、高速交通ネットワークによる渋滞緩和、地域産業の発展・救急医療体制の充実化である。さらには、今後想定される東南海・南海地震の発生や、四国で唯一の原子力発電所である伊方発電所が立地しているため、有事の際の広域避難道路や緊急輸送道路としての、「地域住民の命を守る道路」として位置づけ

られ、愛媛県でも最重要施策として位置づけられている。

この大洲・八幡浜自動車のうち、大洲市北只から八幡浜市保内町喜木間が平成 6 年に「計画路線」に指定された。平成 8 年度には八幡浜市大平から同市内保内町喜木間の 2.3 km が「整備区間」に指定され、平成 9 年度から国道 197 号名坂道路として事業化された。

また、平成 17 年 3 月には八幡浜市郷から同市大平間の 3.8 km が「整備区間」に指定され、平成 17 年度から国道 197 号八幡浜道路として事業化されている。

千丈トンネル（1809 m）は、「八幡浜道路」のなかでも主要構造物であり、2012 年 11 月に掘削を開始し 2015 年 3 月に貫通した。当トンネルは、既設水路の約 10 m 直下を近接施工する区間があり、この周辺には事前調査で断層破碎帯の出現も予測されていたため、当該区間ではトンネル掘削に伴う周辺地山の変形・沈下が既設水路へ影響を及ぼすことが懸念されていた。そこで、当該区間のトンネルの不安定化を防ぐための補助工法、超長尺大口径鋼管先受け工法（LL-Fp 工法）の坑内からの初適用の事例について報告する。

§ 2. 工事概要

2-1 トンネル概要

工 事 名：国道 197 号 千丈トンネル建設工事
発 注 者：愛媛県

* 西日本(支)千丈トンネル(出)(現:拳ノ川トンネル(出))

** 技術研究所土木技術グループ

*** 土木設計部設計2課



図-1 トンネル位置図

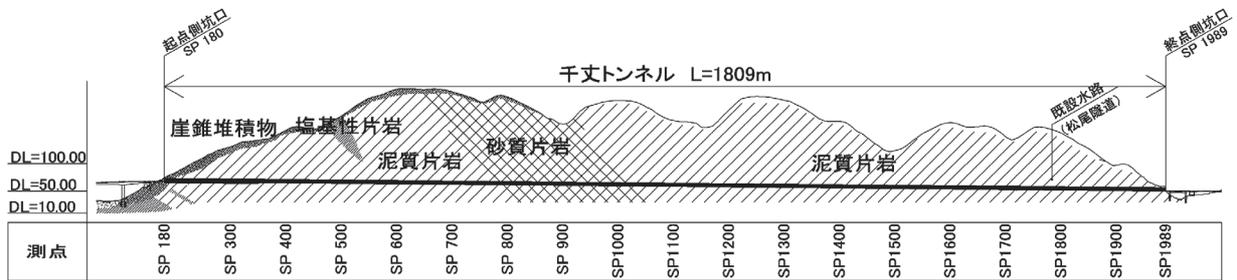


図-2 千丈トンネル地質縦断面図

施工者：西松・東急・四国通建共同企業体
 施工場所：愛媛県八幡浜市郷～松柏
 工期：平成23年12月15日～平成27年9月30日
 諸元：トンネル延長 $L = 1809\text{ m}$
 掘削断面積 $A = 71 \sim 84\text{ m}^2$
 掘削工法 補助ベンチ付全断面掘削工法
 上半先進ベンチカット工法
 掘削方式 発破および機械掘削方式
 ズリ運搬方式 ベルトコンベヤ方式

2-2 地形・地質概要

本トンネルは、千丈川右岸側の急峻な山地地形に位置する。千丈川右岸にはトンネルの線形とほぼ直交するように千丈川の支流が南流しており、坑口には千丈川（掘削開始側坑口）と入寺川（貫通側坑口）がある。トンネルと交差する流水が認められる支流は3条あり、特に鳴滝川の西側の支流は、尾根と河床の高低差が約50mの深い谷地形を呈しており、直線状の線形であることや流下方向と同方向に尾根の遷緩線・鞍部が連続することから、断層を示唆するリニアメントとして抽出される。

四国地方の基盤岩は、中央構造線、清水構造線等の大断層によって、北から領家帯、三波川帯、秩父帯および四万十帯に区分され、本トンネルは三波川帯と秩父帯の境界付近の三波川帯側に位置している。

地質は三波川結晶片岩類を主体とし、三波川結晶片岩

類は泥質片岩を主体とし、砂質片岩、緑色片岩および石灰質片岩が泥質片岩の片理面にレンズ状に挟在される。これらの基盤岩を覆って崖錐堆積物が分布し、谷沿いに土石流堆積物が分布している。

§3. LL-Fp工法の概要

開発した工法（LL-Fp工法：Long distance and Large caliber Forepiling method）は、トンネルの汎用機械であるドリルジャンボを使用した大口径鋼管（φ139.8mm）の超長尺打設、およびインナー管を挿入した2重構造の鋼管からの注入により、掘削時のより高い沈下抑制・切羽安定効果を期待するものである（図-3）。本工法は、これまでトンネルの坑外から坑口部へ適用した実績²⁾のみであり、今回のトンネル坑内からの初適用にあたり狭隘な作業空間における施工性・安全性を確保するために治具等の改良を実施した。

§4. LL-Fp工法の坑内適用

4-1 適用経緯

本トンネルでは、図-2に示したような地山条件において既設水路の直下約10mを近接施工する区間があった。また、この区間の周辺には事前調査で断層破碎帯の出現も予測されていたため、当該区間ではトンネル掘削

に伴う周辺地山の変形・沈下により既設水路へ影響を及ぼすことが懸念されていた。そこで、当該区間への「LL-Fp 工法」を提案し、トンネル掘削に伴う地山の変形抑制を図った。

4-2 坑内実験

既設水路直下における LL-Fp 工法の適用に先立ち、坑内の非常駐車帯妻部の面壁から斜め前方に向けて L = 45 m の大口径鋼管の打設、およびシリカレジン注入試験を行った(写真-2)。実験の結果、本工法の坑内での適用のためには、鋼管の打設精度を確保するために使用する特殊鋼管受け治具の改良の必要性や、本坑坑内での狭隘な作業スペースにおける鋼管接続作業を、安全かつ効率よく実施するための新たな治具の開発が必要であることが考えられた。なお、坑内適用のための工法改良については次章で詳述する。

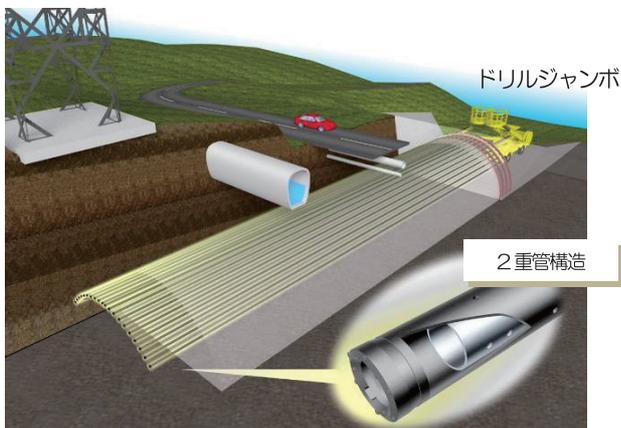


図-3 LL-Fp 工法概念図



写真-1 2重管構造

4-3 適用概要

本適用では、トンネル掘削による既設水路への影響が懸念された水路直下を中心とする 45 m の施工区間に対し、切羽前方のトンネルアーチ部に向けて大口径鋼管を 27 本 / 断面 × 2 シフト (拡幅断面からの延長約 30 m、無拡幅断面からの延長約 27 m) で打設し、打設鋼管からのシリカレジンの注入と併せて地山改良を行った(図-4)。

(1) 1 シフト目

無拡幅方式では、打設角度が 8 ~ 10° 程度となる。この方式は打設角度が非常に大きいことから、鋼管の先端に近づくにつれ、鋼製支保工と鋼管の離隔が大きくなってしまふ。確実に地山の注入が実施されていれば大きな問題とはならないが、切羽天端の剥落防止を目的とした補助工法を採用しているような地山状況にあつては、鋼管と鋼製支保工間の地山の崩落につながる恐れがあり、既設水路への影響が懸念された。そこで拡幅方式の採用を検討した。この場合、打設角度を 3° (スライム除去を考慮した限界角度) に抑えることが可能であり、鋼管と鋼製支保工間の離隔が無拡幅方式に比較して小さくなる。

これにより肌落ち防止効果や鋼管の支持機能の向上が



写真-2 実験実施状況

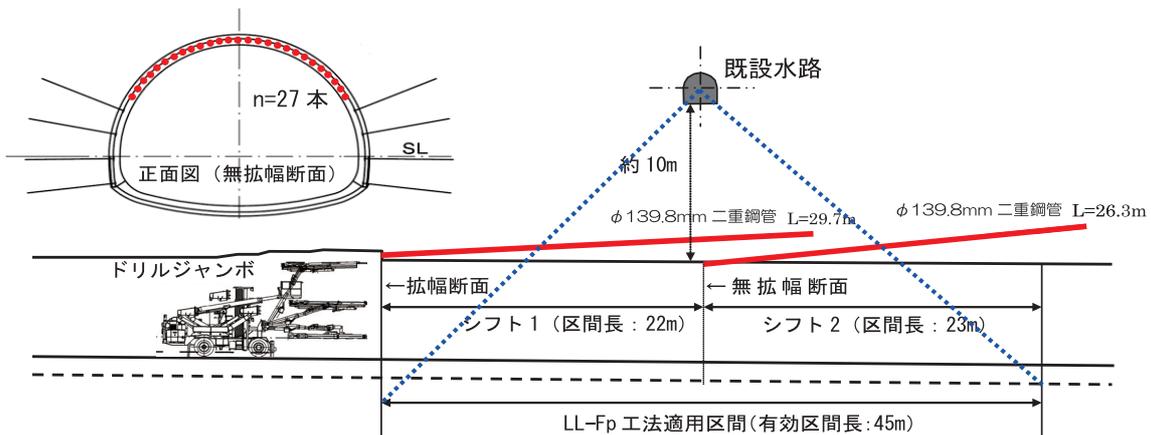


図-4 水路近接区間の LL-Fp 工法適用位置

出来ると考え1シフト目は拡幅方式で施工を行った(図-5).

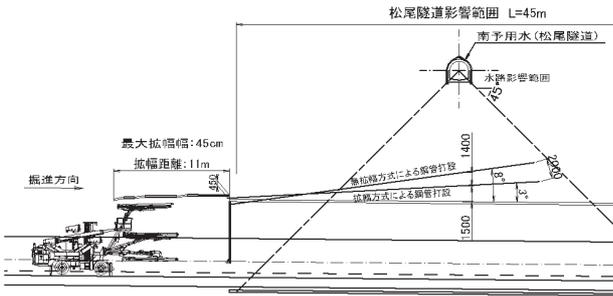


図-5 1シフト目打設角度比較図

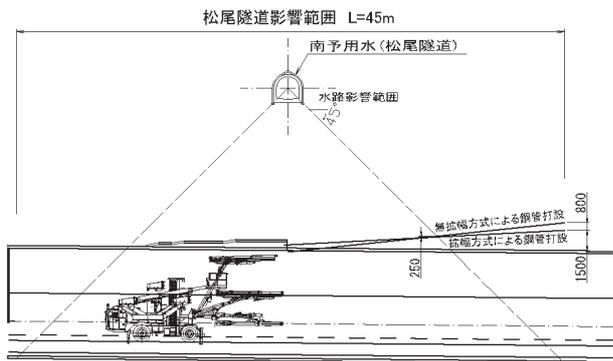


図-6 2シフト目打設角度比較図

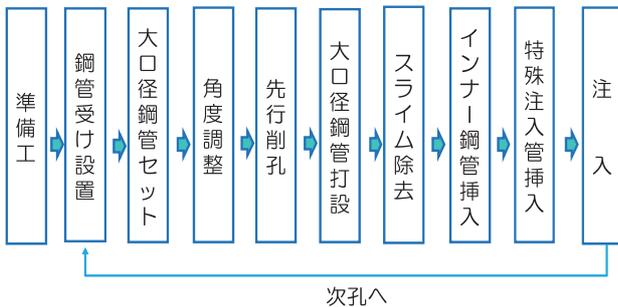


図-7 LL-Fp工法の施工フロー

(2) 2シフト目

施工開始位置が既設水路の直下であるため、ここで拡幅方式を採用した場合、断層破碎帯の出現が予測されている脆弱な地山において不利な形状(断面の拡幅)で掘削しなければならない。ここで、無拡幅方式を採用した場合には鋼管と鋼製支保工間の離隔の問題があったが、打設角度を6°とすることにより拡幅方式との離隔の差を800とすることができることから、無拡幅方式で施工を行った(図-6)。

(3) 施工状況

図-7に示すように、本工法において使用する部材等は通常のAGF工法とは若干異なるものの、施工手順は従来のAGF工法と大きく変わらない。ただし、スライム除去やインナー鋼管挿入等、若干作業工程が新たに加わっている。写真-3に代表的な作業項目の施工状況を示す。

§5. 坑内適用のための改良

既設水路直下区間への本工法の適用に先立ち実施した坑内実験の結果をふまえ、鋼管の打設精度を確保するために使用する特殊鋼管受け治具を坑内仕様に改良するとともに、狭隘な作業スペースにおける鋼管接続作業を安全かつ効率よく行うための鋼管継ぎ装置を新たに開発した。

5-1 坑内用特殊鋼管受け治具

本工法では鋼管打設時の孔曲がり(鋼管曲がり)を抑制させるために、4面ローラーで鋼管の上下左右を固定させる機構を有する特殊鋼管受け治具を使用している²⁾ 従来の坑外からの適用では写真-4のようにガイド支保工上(外)面に特殊鋼管受け治具を設置しているが、トンネル坑内でこのスペースを確保するのは非常に困難で

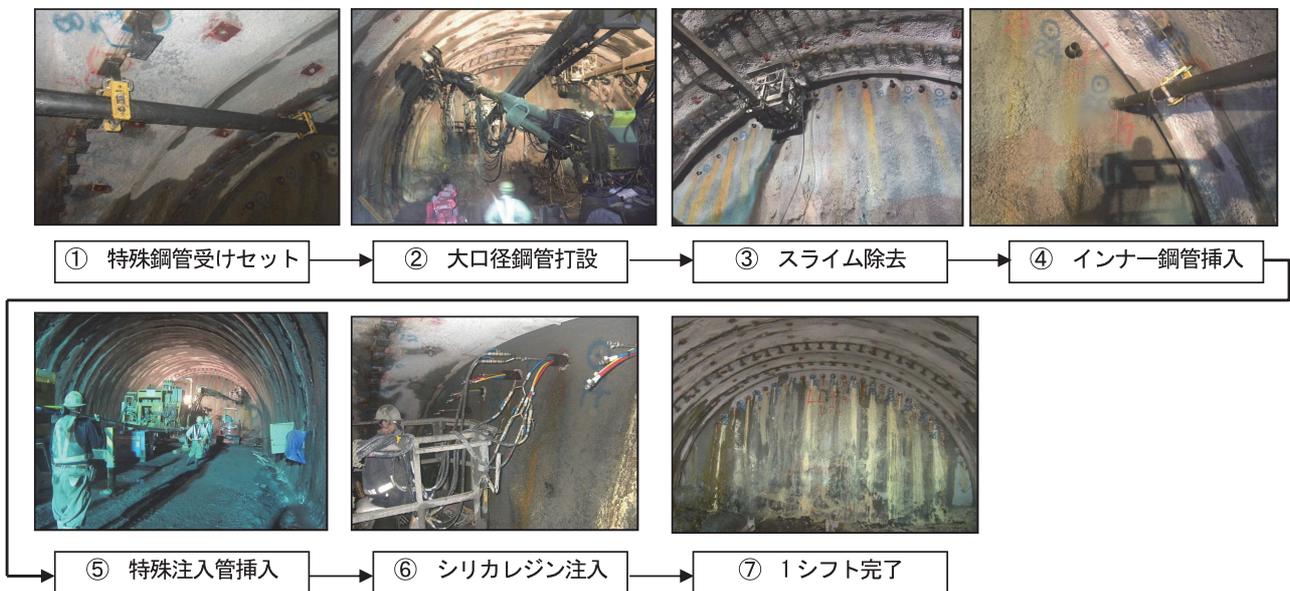


写真-3 代表的な作業項目の施工状況

あった。そこでトンネル支保として施工された鋼製支保工に台座を支保工の下面側（トンネル内空側）に取付け、その台座に特殊鋼管受け治具を設置する手法を採用した。ただし、この方法では特殊鋼管受け治具を台座の下側といった不安定な向きに設置しなければならないため、設置時の安全性・作業性を考慮して坑内用の特殊鋼管受け治具は従来型から大幅な軽量化を図った。

5-2 大口径鋼管接続装置

大口径鋼管打設長さ約3m（約70kg）の鋼管を順次接続しながら行すが、通常はジャンボのマンゲージの上で作業員による手作業で接続する。坑内での適用にあたっては、トンネル壁面近傍で十分な作業スペースが確保できない中で不安定な体勢で大口径鋼管を取り扱わなければならない、安全性や作業効率の低下が懸念された。そこで、写真-6に示すような人力に極力頼らない鋼管継ぎ装置を開発した。この装置は鋼管回転装置、および鋼管把持・全身ローラーから構成されており、本装置を使用して先に打設した鋼管の後端のネジ部に取り付けて新たに継ぎ足す鋼管を回転・前進させることにより、大

口径鋼管接続の半自動化が可能となった。

§6. 適用結果

LL-Fp 工法に改良を加え、作業スペースの限られるトンネル坑内において適用した結果、施工実績では準備工も含めても2.0本/1方（対象地山：泥質片岩）の鋼管を打設することができた（インナー鋼管の挿入、および地山注入も含む）。その結果、施工効率を低下させることなく従来工法（トレビチューブ工法）の概ね1/2程度の期間（2週間）で所定区間の鋼管打設および地山注入を実施することができた（表-1）。また、適用区間の



写真-4 特殊鋼管受け治具（従来型）



写真-5 坑内用特殊鋼管受け治具

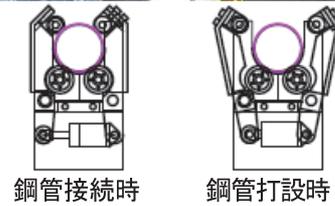


写真-6 鋼管継ぎ装置

表-1 施工実施工程

日付	【1シフト目】								【2シフト目】									
	1		2		3		4		5		6		7		8			
	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N	D	N		
準備工	台座溶接																	
鋼管打設工	奇数孔打設 インナー管挿入				奇数孔打設 インナー管挿入						奇数孔打設 インナー管挿入				奇数孔打設 インナー管挿入			
注入工					奇数孔						奇数孔				偶数孔			
片付け工																		

掘削時においてもトンネル変形の増大もなく、懸念された既設水路への影響も管理基準値の約 1/2 程度（水路沈下量）に抑制させることができた。

既設水路直下部では、開口亀裂および薄層状の破碎帯を含む岩盤が連続すると推定されており、断層破碎帯付近における突発・大量湧水が切羽の不安定化を促進させる恐れがあった。そのため、施工時において地下水状況を含めた切羽前方の地山性状を迅速かつ正確に把握する必要があった。そこで今回の施工では、鋼管打設時の削孔データを穿孔探査装置（DRISS）で計測・解析し、切羽前方の地山状況の3次元的な評価も併せて実施した。図-9 に DRISS の結果を示す。探査の結果当初懸念されていた区間の地山評価は事前調査で予測されていた断層破碎帯や多量の湧水は確認されず、亀裂質ではあるものの比較的堅硬な C II 地山であることが掘削前に確認できた。

§7. まとめ

LL-Fp 工法の坑内への初適用で得られた成果を以下にまとめる。

- ① L = 29 m, 27 m, n = 54 本の大口径鋼管をトンネル汎用機のジャンボを使用して精度よく打設できた。
- ② 施工効率を低下させることなく約 2 週間で所定区間の鋼管打設および地山注入ができた。
- ③ 懸念された既設水路への影響（沈下量）も管理基準値の 1/2 程度に抑制させることができた。

以上にまとめたように、今回のトンネル坑内からの初適用により、超長尺大口径鋼管先受け工法（LL-Fp 工法）がトンネル坑口のみならず、坑内においても問題なく適用可能であることを確認できた（写真-7）。

また、その後の掘削ではおおむね安定してトンネル掘削を行うことができた。

今回の実績をもとに今後は、

- 道路直下に坑口がある場合の地表面沈下抑制対策
 - 大口径鋼管を利用した水抜きポーリング
 - 既設トンネル等の重要構造物との交差区間における天端沈下抑制対策
 - 低土被り区間掘削時における天端沈下抑制対策
- 等、掘削時の変形抑制が必要なトンネルにおいて、本工法の積極的な活用が期待できる。

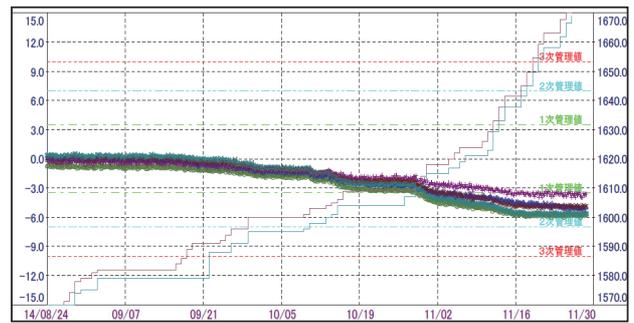


図-8 既設水路の沈下量

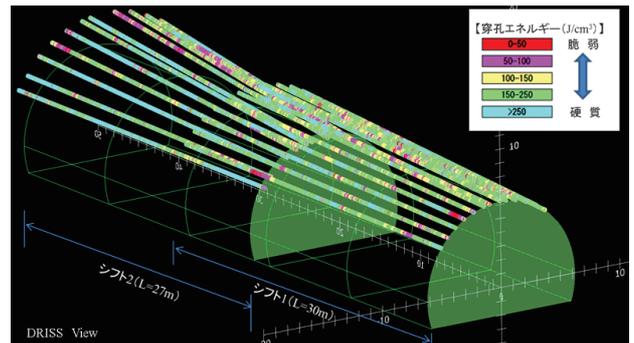


図-9 DRISS による地山評価結果



写真-7 LL-Fp 工法完了状況
※ 2016年1月現在、合計3トンネルで本工法を採用している

参考文献

- 1) 山下他：ドリルジャンボを使用した超長尺大口径鋼管先受け工法の開発，第 68 回土木学会年次学術講演会，VI-408，pp. 815～816，2013.
- 2) 池田他：超長尺大口径先受け工により地すべり坑口部を掘削—国道 289 号 八十里越 7 号トンネル—，トンネルと地下 vol.46，no.2，2015.