

22. 注入式長尺鋼管フォアパイリングによる トンネル坑口部補強対策の施工例

東洋建設(株)：岡 憲二郎・小竹 望
*真鍋 智康

1. はじめに

トンネルの大断面化、都市部施工の増加が進む中で、沈下、崩落、地すべりなどが発生しやすい坑口部での、より安全で確実なトンネル掘削のための新技術がますます求められている。それに応えるのがマイクロパイルの技術を使った種々の補助工法であり、そのひとつに坑口部での注入式長尺鋼管フォアパイリングがある。

本報告は、新潟県内のトンネル工事の坑口部で施工された注入式長尺鋼管フォアパイリングについて報告をするものである。

今回の施工で、偏心拡張ビットとダウンザホールハンマーによる乾式削孔や、逆止弁とダブルパッカーによる注入方式が、複雑な地山に柔軟に対応できることを確認した。

2. マイクロパイルと注入式長尺鋼管フォアパイリング

マイクロパイルとは、 $\phi 100 \sim 300$ mm程度の小口径杭のことで、地山を削孔して鉄筋、鋼管などの鋼製補強材を挿入し、セメントモルタルやセメントミルクなどを注入したものである。その適用範囲は広く、アンダーピニング、基礎杭、土留め壁をはじめとする都市土木から、最近では山岳トンネルの補助工法への応用も注目されている(図-1)。打設方法は、偏心拡張ビットによる二重管方式、自穿孔方式などがある。

注入式長尺鋼管フォアパイリングを含めた長尺先受工法(アンブレラ工法)とは、小口径鋼管や高圧噴射で切羽前方のトンネル天端外周に梁状またはアーチシェル状の改良体を形成し、切羽前方地山を改良・補強し、切羽の安定をはかるものである¹⁾²⁾(図-2)。今回の施工事例では、マイクロパイルの技術を注入式長尺鋼管フォアパイリングに応用し、坑口部補強工に適用した。

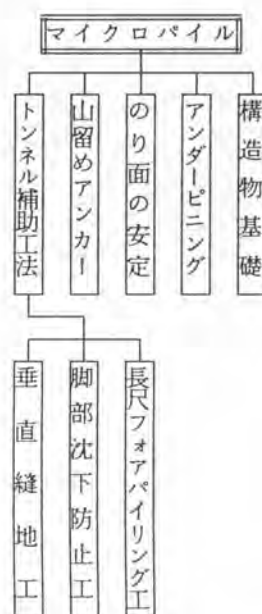


図-1 マイクロパイルの応用例

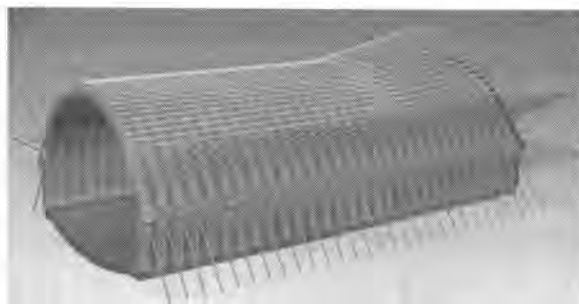


図-2 坑口部の注入式長尺鋼管フォアパイリング概念図

3. 坑口補強工としての注入式長尺鋼管フォアパイリング

3-1 注入式長尺鋼管フォアパイリング採用の経緯と工事概要

上記トンネル工において、西側の坑口部の地山が崩壊性の高い崖錐堆積物、風化砂岩からなり、また破碎帯と地すべりの痕跡も認められたため（図-3）、切羽と周辺地山の安定確保に効果が高く、かつ当該現場の地質に適している注入式長尺鋼管フォアパイリングを坑口補強工として採用した。

トンネル掘削開始に先立ち外径114.3mmの内径106.0mm、長さ33本の注入式長尺鋼管フォアパイリングを坑口外周に40cm間隔で縦断方向に16.5mから18.0mの長さで33本挿入し、高圧注入を行った。施工断面図を図-3に示す。

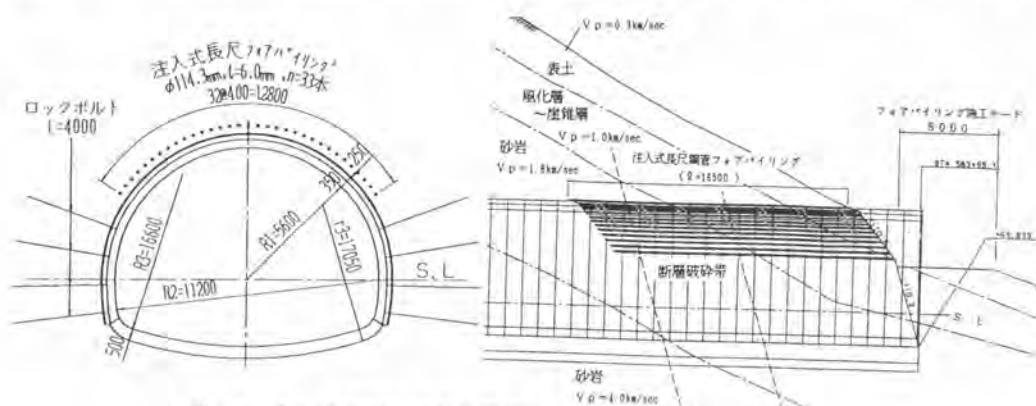


図-3 坑口部の注入式長尺鋼管フォアパイリング施工断面図

なお、同現場で施工された坑口前の進入路造成のための土留工、バッチャープラントのセメントサイロの基礎杭の概要図を図-4、図-5に参考として示す。いずれの場合も、施工ヤードが狭く大型機械が進んでこないこと、地質が表土、風化岩、砂岩から成るため孔壁防護と十分な削孔能力が必要なことから、マイクロパイルが採用されるにいたった。施工方法は、後述する注入式長尺鋼管フォアパイリングとほぼ同じである。

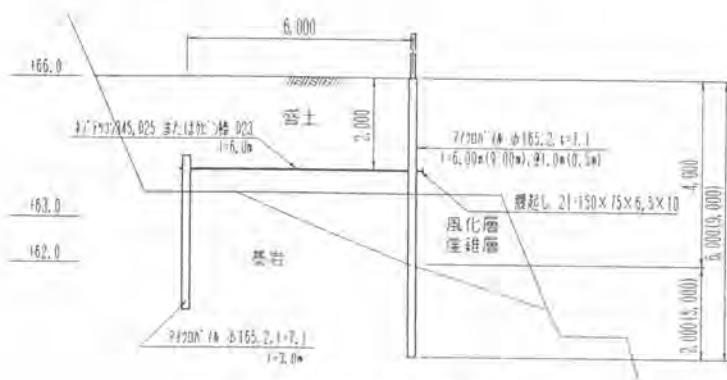


図-4 坑口前の土留め工断面図

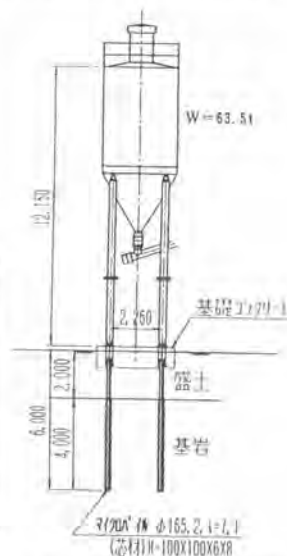


図-5 セメントサイロ基礎

3-2 施工方法の概要

今回の注入式長尺鋼管フォアパイリングの施工法の選定にあたっては、以下の点について検討を行い決定した。

- ①作業ヤードが狭いため、機動性が良い1.1tのディーゼルエンジン搭載のクローラ式油圧削孔機を採用した。これにより、電気設備や架台などの大がかりな仮設備が不要となる。
- ②孔壁防護のために、偏心拡張ビットを使って削孔と同時に鋼管を挿入する二重管方式を採用した。この削孔方式は、削孔ツールの組合わせを変えることで変化の多い地山に柔軟に対応することができる。
- ③地山に節理が多いことなどから、削孔水による地山の劣化を避けるためダウンザホールハンマーによる乾式削孔を採用した。
- ④地質構造が複雑なことから、注入工は1次と2次の2回にわけ、鋼管に付けた逆止弁とダブルパッカーで限定範囲にセメントミルクを圧入する方法を採用した。パッカーを任意の位置に移動できるので地質条件に柔軟に対応することができる。
- ⑤大型機材としては基本的に削孔機、エアーコンプレッサー、グラウティングユニットがあれば良く、設置も簡単であるから機動力がある。

<削孔>

削孔方式は、ダウンザホールハンマーと偏心拡張ビットを使った2重管方式の乾式削孔である。

(施工手順)

- ①削孔機のガイドセルに鋼管とドリルパイプ（ロッド）をセットして、削孔の方向を定める。
- ②削孔と同時に鋼管を挿入する。（図-6(a)）。
- ③鋼管とドリルパイプを継ぎ足していき、所定の深さまで削孔する。
- ④削孔終了後、偏心拡張ビットの偏心部を収納し、ドリルパイプ、ダウンザホールハンマーとともに鋼管から引き抜く（図-6(b)）。

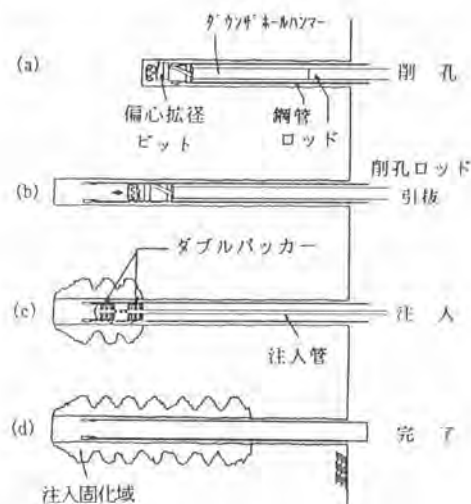


図-6 施工手順

削孔のための空気の圧力はダウンザホールハンマーを効率よく稼働させられる 1.4 kgf/cm^2 程度とした。また排土に十分な風速を確保するために空気吐出量を $1.0 \sim 2.0 \text{ m}^3/\text{min}$ とした。

また、フォアパイリング先端部の数メートル間の地質は硬質の凝灰質砂岩で孔壁が自立することから、偏心拡張ビットより削孔速度の速い径90mmのダウンザホールビットによる先行



図-7 ダウンザホールビットによる先行削孔

削孔のあと、拡張ビットで孔を拡幅しながら鋼管を挿入し効率を向上させた（図-7）。

<注入>

加圧膨張型のダブルパッカーを鋼管内に挿入し、鋼管に付いている逆止弁を通して地山にセメントミルクを限定加圧注入する方式である。

（施工手順）

- ①ダブルパッカーを挿入し、所定の位置で加圧膨張させてセメントミルクを鋼管と孔壁の間隙に充填する（1次注入）。
- ②2次注入材が孔壁と鋼管の間隙を通して拡散することなくパッカー周辺の地山に圧入されるように、1次注入が終わった後パッカーを引抜き半日から1日程度セメントミルクの硬化を待つ。
- ③再度ダブルパッカーを挿入しセメントミルクを地山に2次注入として圧入する（図-6(c)）。2次注入では、パッカーを1mおきに移動してステップ注入を行う。
- ④鋼管の口元に蓋をして管内を充填する。

1次注入の注入圧は、グラウティングポンプ吐出口で10～15kgf/cm²程度で、2次注入では20kgf/cm²を上限とした。なお注入速度は1次と2次注入いずれも20ℓ/min程度に設定した。

3-3 主要機械設備

①削孔機（図-8）

施工場所が狭く大型機械が進入できないこと、仮設架台が不要なこと、長尺の孔を掘るのに適していることなどの理由で、機動性が良く、さらにトルクの大きいロータリーヘッドを装備したディーゼル式クローラ型油圧削孔機を使用した。また、乾式削孔のための装備を備えているのでダウンザホールハンマーの使用に適している。

②エアーコンプレッサー

ダウンザホールハンマーと偏心拡張ビットを効率よく稼働させるために高空気圧が必要であること、排土のために大きい吐出量が必要なこと、エアーホース内でのエネルギー損失などを考慮して、十分な容量を有する高圧コンプレッサーを採用した。

表-1 主要機械一覧

機 械 名	機 種	規 格・仕 様	数 量
削孔機	ソイルメック SM400	定格 102.2kW クローラ式 重量11t ロータリーヘッド 1.2m	1台
エアーコンプレッサー	アトラスコ XRHS350	吐出圧 20kgf/cm ² 吐出量 21m ³ /min	1台
ダウンザホール ハンマー	サトビック Megadril	外径 76mm	1台
拡張削孔ツール	サトビック TUBEX90	拡張孔径123mm	1式
グラウティング ユニット	ソイルメック GS-1	MAX 117kgf/cm ² MAX 53ℓ/min ブラケット型ポンプ	1台
ダブルパッカー	アトラスコ φ85L500	φ85mm加圧膨張型 膨張部天然ゴム製	1台

③ダウンザホールハンマー

ダウンザホールハンマーはドリルパイプを介さず直に衝撃をビットに伝えるため、削孔長が長くなってもエネルギー伝達のロスが少なく、削孔の方向性がよいことも知られている³⁾。また、高压空気で排土を行う乾式削孔方式なので、削孔水による劣化が懸念される地山には特に有効である。今回は、直径123mmの削孔に適している外径76mmのものを使用した。

④拡張削孔ツール (図-9)

掘削時の正回転(右回転)ではリーマーが偏心し拡張削孔ができ、反回転(左回転)させるとリーマーが閉じて、鋼管の中を通してビット全体を回収することができる。この機構により削孔と同時に鋼管を孔内に挿入することができる。

⑤グラウティングユニット

アジテーター、ミキサー、グラウティングポンプを一体化したものを使用した。グラウティングポンプは今回のように水セメント比が60%のセメントミルクなど比較的濃度が高いグラウト材の高压注入に適したプランジャー型ポンプヘッド⁴⁾を持ったものを使用した。注入圧は約60kgf/cm²まで使用可能で、吐出量は連続的に53ℓ/minまで調節できる。

⑥ダブルパッカー (図-10)

比較的軽量なため水平に打設された鋼管内へでも挿入と引抜きが容易であり、ステップ注入に適している。鋼管に挿入して小型の膨張用ポンプで膨張ゴムエレメントを20~40kgf/cm²程度に加圧するとゴム部が膨張し鋼管内を密閉できる。減圧すればゴム部が元通りに収縮し次の注入位置に移動させることができる。今回は鋼管内径102.3mmに対し外径85mmのパッカーを使用した。

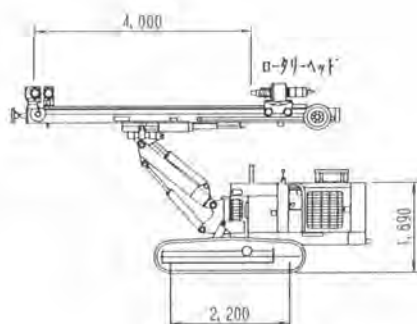


図-8 油圧削孔リグ SM400

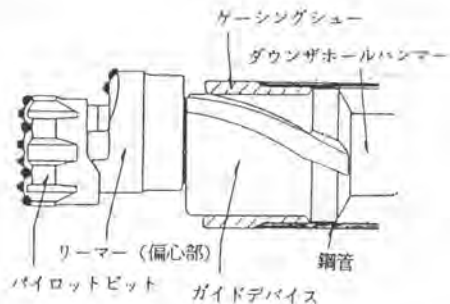


図-9 拡張削孔ツール TUBEX

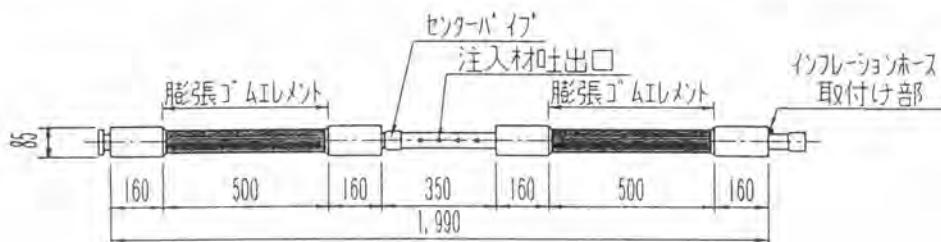


図-10 ダブルパッカー

4. 施工結果

削孔では、崖錐堆積物、摂理の多い岩や硬質岩が混在する地層でも、ダウンザホールハンマーと偏心拡径ビット、ダウンザホールビットを使った乾式削孔方式が十分対応できることが分かった。

今回の施工条件での削孔精度は良好で、トンネルの掘削断面内への鋼管の入り込みや、隣接鋼管との接触等は無かった。

注入では、挿入式のダブルパッカーを使用し、2次注入を数回に分けて施工するなどして、崖錐層や破砕帯がある複雑な地質にも柔軟に対応できた。

注入式長尺鋼管フォアパイリングの効果についても、トンネル坑口部掘削時の切羽は充分安定しており、土被りが薄いにもかかわらず地山の変位も許容範囲内に抑制された。クラウン部の鋼管内に設置した水平連続傾斜計と地表面の3次元測定の計測の結果、鋼管と地表面の最大沈下量はともに20mm程度であった。

5. おわりに

今回坑口部の注入式長尺鋼管フォアパイリングに採用したマイクロパイルの施工技術が、変化の激しい地質条件や狭い作業ヤードなどの施工条件に対応できることを確認した。

さらに、注入式長尺鋼管フォアパイリングのほかに坑口前の土留め工とバッチャープラントのセメントサイロの基礎杭にもマイクロパイルが使用され、その多工種にわたる適用力が実証された。

今後は、トンネル本体内での補助工法に加えて、坑口周辺の土工や仮設構造物の築造などのトンネル付帯工種でも、同様の施工方法、材料、設備による施工実績をかさね、さらに工法の充実に図っていく予定である。

参考文献

- 1) 岡澤達男, 春中絃一, 金田勉: トレビチューブ工法による大断面双設トンネルの施工, 建設の機械化, NO. 530, pp. 26~31, 1994.
- 2) 山本稔, F. Pagliacci: Aosta谷の道路トンネル群にみる新工法, トンネルと地下, VOL. 23, NO. 1, pp. 21~28, 1992.
- 3) 河内英幸他: 新編図解ボーリング便覧, p. 67, 1968.
- 4) 同上, p. 85.