

34. 空気の力を利用してトンネルを安全に構築

無水削孔システム「WALDIS（ウォルディス）」を開発

鹿島建設株式会社 機械部 佐藤 政昭
鹿島建設株式会社 機械部 ○牟田口 茂

1. はじめに

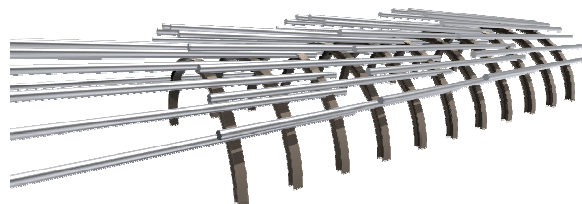
近年、経済性や断面の自由性などにより、NATMが都市部や低土被りのトンネル掘削に採用されることが多くなっている。このような場合、安全で効率的な施工を行なうためには適切な補助工法の適用が不可欠となっている。

補助工法のうち、掘削に先行してトンネル外周にアーチ状の地山改良体を形成するAGF工法は、図－1に示す鋼管打設を必要とする。

今回、周辺環境への影響を最小限に抑えながら、高品質な地山改良体を形成する鋼管打設の新工法を開発したので報告する。

2. 開発の背景

NATMでは、地質条件の悪い区間を施工する場合、切羽崩落防止や地山の緩み防止を目的として、ボルト材又は鋼管と注入材によって地山を先行補強するのが一般的である。鋼管と注入材を用いたAGF工法は、先行緩みの抑制効果に優れ

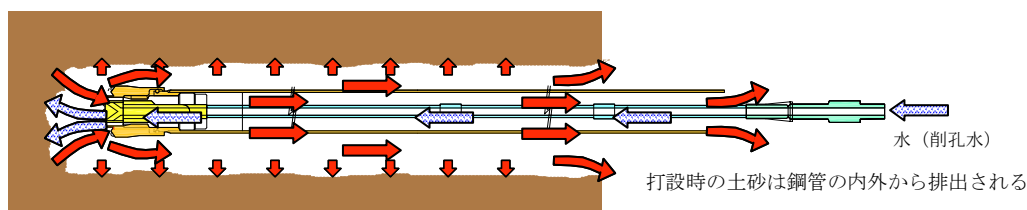


図－1 AGF工法

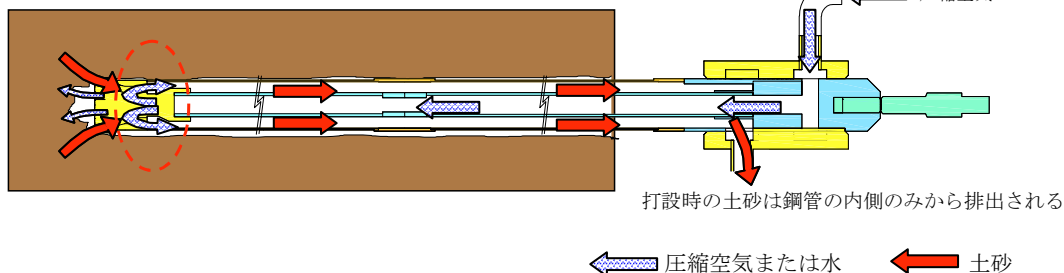
ているため、数多く採用されている。しかし、鋼管打設時の土砂は水で排出されるため、地山条件によっては、洗掘により予定した直径以上の孔が空き、注入材が十分に充填されないケースがある。さらに、水により地山を緩めてしまうなどの課題がある。

当社は、課題解決のため、圧縮空気をを用いて鋼管打設時の土砂を鋼管内部のみから排出する「WALDIS工法：ウォルディス工法」を考案しトンネル工事に採用した。

[従来工法]



[WALDIS工法]



図－2 従来工法とWALDIS工法の概要

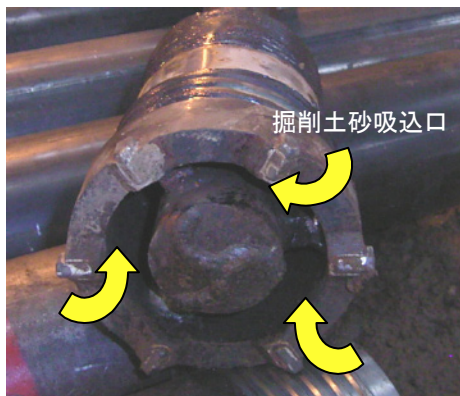
3. 開発の内容

(1) 圧縮空気による鋼管内部からの土砂排出
従来工法とWALDIS工法の概要を図－2に示す。

両工法とも注入剤の圧入が可能な有孔鋼管を、二重管方式で打設する。従来工法では、土砂は鋼管の内外を通して水とともに排出される構造となっている。一方、WALDIS工法は、打設に圧縮空気を使用し、土砂は鋼管内部のみから排出する構造となっている。これにより、孔壁洗掘のない鋼管打設が可能となった。

(2) アタッチメント及びビットの開発

NATMで標準的に使用するドリルジャンボに簡単に装着できるWALDISビットとアタッチメントを開発した。特殊設備やドリルジャンボの改造が不要となり、経済性については従来工法と同等とした（写真－1、2）。



写真－1 WALDISビット



写真－2 WALDISアタッチメント

4. 試験施工

本工法の効果を確認するため、試験施工を実施した。地質を表－1に示す。試験施工は両工法それぞれについて 12.5m×2本の鋼管を打設した。両工法ともにそのうちの1本は鋼管から注入剤（シリカレジン）を注入した。
試験施工の状況を写真－3に示す。

表－1 試験施工時の地質

項目		単位	数量
湿潤密度		g/cm ³	1.80
自然含水比		%	40.6
粒度分布	礫分	%	20.0
	砂分	%	15.5
	シルト分	%	34.6
	粘土分	%	29.9
	最大粒径	mm	26.5
液性限界		%	62.3
塑性限界		%	32.0



写真－3 試験施工状況

鋼管打設後に鋼管を撤去し、孔内の状況をボアホールカメラにより撮影した（写真－4、5）。
従来工法では、孔壁洗掘により予定した直径より大きな径となっている。

一方、WALDIS工法では孔壁洗掘が見られず、きれいな円形を保っている。



写真-4 孔内写真（従来工法）



写真-5 孔内写真（WALDIS工法）

注入剤による鋼管周囲の地山改良効果を確認するため、シリカレジン注入を実施した。注入方式には鋼管周囲の改良効果をより高めるためパッカーを中間に二カ所設置して均等注入をはかるステップ注入を採用した。

シリカレジンの注入速度は3kg／分とし、設計量を注入した時点で停止した。図-3、4に注入量及び注入圧の経時グラフを示す。

注入完了後、鋼管周辺を掘削し鋼管周辺への注入状況を目視により確認した。鋼管外周へのシリカレジンの平均付着厚は、従来工法では30mm、WALDIS工法では2mmである。

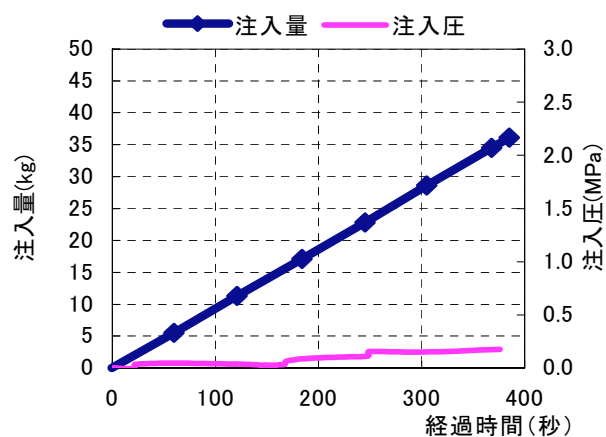


図-3 注入経時グラフ（従来工法）

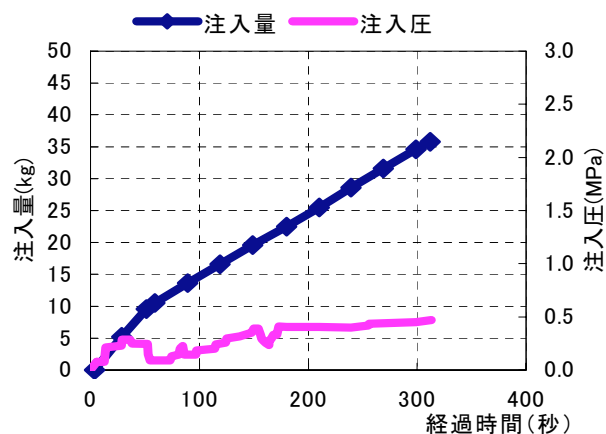
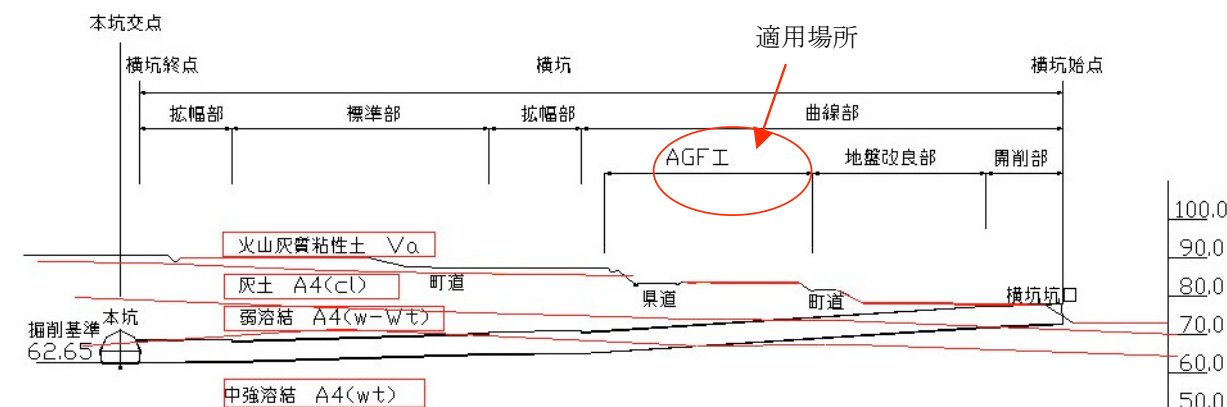


図-4 注入経時グラフ（WALDIS工法）

写真-6 にシリカレジン付着状況（従来工法）を示す。



写真-6 鋼管周辺のシリカレジン付着状況（従来工法）

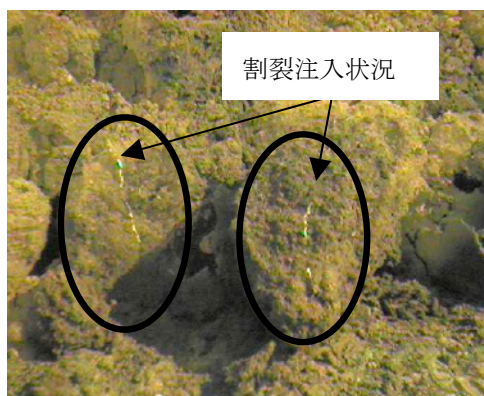


図－４ 縦断面図

注入後の鋼管周辺掘削による目視確認と注入時の圧力変化により次のことがわかった。

従来工法では注入剤が地山の亀裂に浸透せず、鋼管周辺への空隙充填にとどまっていた。注入時の圧力上昇がほとんどないことから、同様のことが推測できる。

一方、WALDIS工法では、鋼管周辺から地山への割裂注入が目視により多数確認できた。写真－７に割裂注入状況を示す。注入時の圧力は初期注入圧から 0.4MPa 上昇し設計注入量を完了した。圧力上昇過程では数回圧力低下が見られるが、これは地山への割裂注入が進展しているものと推測できる。



写真－７ シリカレジン割裂注入状況
(WALDIS工法)

5. 現場への適用

試験施工により技術的課題を解決し、九州新幹線新田原坂トンネル工事（鉄道・運輸機構九州新

幹線建設局発注）の横坑低土被り区間を当工法により施工し、2007年8月に無事に低土被り区間の施工を完了した。

適用区間の最小土被りは7m、施工延長は27mである。WALDIS工法によるAGFが3シフト採用され実施工において順調に施工できたことを確認した。適用区間の縦断面図を図－４に、現場施工中状況を写真－８に示す。



写真－８ 現場施工状況

6. 今後の展望、課題

試験施工及び実際の現場施工への適用により本工法が周辺環境への影響を最小限に抑えながらトンネル外周にアーチ状の高品質な地山改良体を構築できることを確認した。今後はさらに低土被り部及び脚部補強等に積極的に採用し適用範囲を拡大したいと考えている。