

激しい地質構造的な作用を受けた未固結地山におけるトンネル施工

松本浩司¹・遠藤秀雄²・水谷和彦³・古川深夫⁴

¹正会員 (独) 鉄道・運輸機構 鉄道建設本部 北陸新幹線建設局 飯山鉄道建設所

(〒389-2253 長野県飯山市飯山1071-2)

E-mail: kj.matsumoto@jrtt.go.jp

² (独) 鉄道・運輸機構 鉄道建設本部 新幹線第二課

(〒231-8315 神奈川県横浜市中区本町 6-50-1 横浜アイランドタワー26F)

³正会員 前田建設工業(株) 土木事業本部 トンネルグループ (〒102-8151 東京都千代田区富士見2-10-26)

⁴前田・五洋・北野・中野 北幹、高丘T(北)他特定建設工事共同企業体(〒383-0051 長野県中野市大字七瀬29-1)

北陸新幹線 高丘トンネルは、長野県中野市の高丘～長丘丘陵地帯を貫く全長6,944mのトンネルであり、このうち北工区は終点側の工区で延長は4,012mである。地質は、新第三紀鮮新世～第四紀完新世の湖成～河川成の砂礫、砂、シルト及び火山灰の堆積物からなり、激しい地質構造的な作用を受けた経緯を有している。下位層の一部は固結しているが、ほとんどが未固結堆積物で、地下水位もトンネル上部にある。地質状況からは、高丘トンネル（北）は山岳工法とシールド工法の境界領域にあり、両工法の比較検討が必要であった。工期・工費等の比較検討の結果、山岳工法が有利となり、高丘トンネルにおいては、山岳工法にて掘削する事となった。本報告書は、山岳工法を採用するにあつた経緯および施工実績を報告するものである。

Key Words :boundary region between the conventional excavation and the Shield Tunneling , unconsolidated ground

1. はじめに

北陸新幹線長野～金沢間は、図-1に示すように、鉄道建設・運輸施設整備支援機構が「全国新幹線鉄道整備法」にもとづいて建設している新幹線鉄道で、長野市から上越市、富山市などを經由して金沢市に至る工事延長約230kmの路線である。

高丘トンネルは、長野県中野市の高丘～長丘丘陵地帯を貫く延長6,944mの新幹線トンネルである。このうち北工区は上越側に位置し、延長は4,012mである。

丘陵の東端には長丘断層があり、この断層は東西方向の圧縮力により生じたものである。この丘陵は、洪積世後半から繰り返し行われた断層活動によって形成されたものと考えられ、その痕跡として千曲川の屈曲にも現れている。この様に逆断層で持ち上げられ、褶曲し複雑に破碎された洪積層丘陵地帯において、断層に近接してほぼ並行にトンネル掘削を行うことから、掘削工法の選定が課題となった。地質状況からは、高丘トンネル（北）は山岳工法とシールド工法の境界領域にあり、両工法の比較検討が必要であった。工期・工費等の比較検討の結果、山岳工法が有利となり、高丘トンネル（北）におい

ては、山岳工法にて掘削することとなった。本報告書は、山岳工法を採用するにあつた経緯および施工実績を報告するものである。

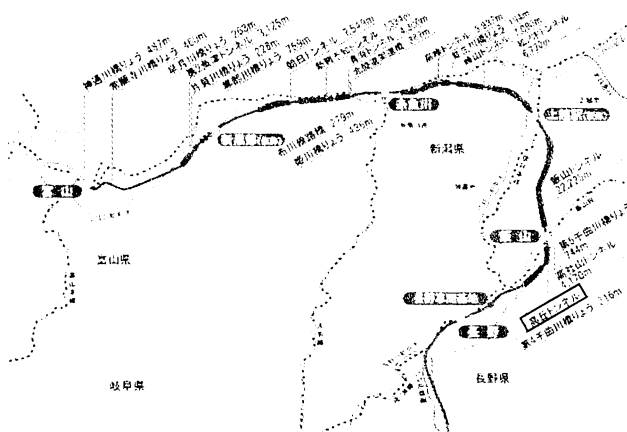


図-1 高丘トンネル位置図

2. 地質・地形概要

丘陵を構成する地層は本来ほぼ水平に堆積したと思われるが、丘陵の長手方向を斜向軸とする褶曲構造が見られ、特に丘陵東端では東に傾斜している。また、丘陵の東端に沿って長丘断層がある。この断層は東西方向の圧縮力により生じたもので、西側が隆起する逆断層であり、洪積世後半から繰り返し活動し、これらの断層活動によって丘陵は形成されたものと考えられる。

地質は、新第三紀鮮新世～第四紀完新世の湖成～河川成の砂礫、砂、シルト及び火山灰の堆積物からなる。下位層の一部は固結しているが、ほとんどが未固結堆積物で、地下水位もトンネル上部にある。北工区の掘削部は比較的下部に位置する猿丸層であり、礫岩、凝灰角礫岩、砂、シルトで形成されている。猿丸層の主体は大円礫岩であるが、基質部の固結程度は小さく、乾湿変化を受けると脆弱になりやすい。凝灰角礫岩は、空隙の大きい軽石礫を主体とする軽石質凝灰角礫岩と硬質安山岩礫を含む安山岩質凝灰角礫岩よりなり、帯水層が分布している。

砂、及びシルトは、礫岩中に数m以下の層厚で狭在しているが、一部区間では細粒分が乏しく均等係数の小さい粗砂が広く分布し、流砂現象の発生が懸念された。図-2に事前の地質調査ボーリング結果から想定した小土盛り部の地質縦断図を示す。

3. 掘削工法の比較検討

これまでの鉄道トンネルにおける、山岳工法（都市部）とシールド工法の一軸圧縮強度と土被りの実績に高丘トンネル（北）工区における地質調査結果（表-1）をプロットしたものを図-3に示す。また、単位体積重量を $20.0 \text{ (kN/m}^3\text{)}$ と仮定した場合の地山強度比 $G_n=2.0$ のラインを点線で示す。

高丘トンネル（北）の地質調査結果は、地山強度比 $G_n=2.0$ のライン上付近もしくは、それ以下に分布しており、脆弱な地山が想定された。また、山岳工法とシールド工法の境界領域に地質調査結果が分布していることから、両工法の比較検討が必要となった。

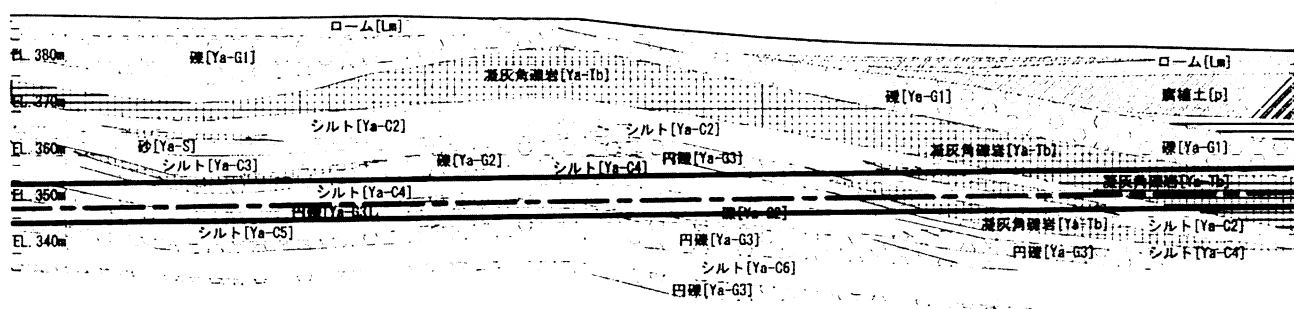


図-2 小土被り部の想定地質縦断図

表-1 高丘トンネル（北）事前地質調査結果

測点	主な土質・岩質	一軸圧縮強度 qu (MPa)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	土被り高さ H (m)	地山強度比 Gn
134km810m	軽石質凝灰角礫岩	0.529	20.0	50	0.5
135km760m	礫岩	0.158	23.4	64	0.1
137km000m ～ 137km285m	礫岩	0.153	21.9	58	0.1
		1.760	21.9	58	1.4
137km285m ～ 137km390m	粘性土	0.093	16.0	47	0.1
137km390m ～ 137km430m	凝灰角礫岩	1.080	21.4	45	1.1
137km430m ～ 137km760m	砂(岩)層	0.197	18.0	43	0.3
		2.160	18.0	43	2.8
137km760m ～ 137km790m	シルト岩	0.515	16.1	35	0.9
137km790m ～ 138km390m	凝灰角礫岩	1.080	21.4	27	1.9
138km390m ～ 138km410m	砂礫	0.784	20.0	17	2.4
138km410m ～ 138km490m	火山灰質 砂～シルト	0.784	17.5	15	3.0

※土被り高さは、測点区間の平均値を代表値として記載している。

高丘トンネル（北）における地質的特徴としては、砂・礫などが互層を成し、堆積環境からレンズ状の形態を示すことが多く、同様の地山状況が長く続くことは少ないと予想された。この様な目まぐるしく変化する地山に対し、シールド工法においては、最も条件の悪いところに合わせて設計時に決めたパターンや材料をそのまま採用することになるが、山岳工法の場合には、地山に合わせた支保構造や補助工法をフレキシブルに用いることが出来る。よって、高丘トンネル（北）においては、シールド工法に比べ山岳工法の方が経済的であると考えられた。

工期面においては、シールド工法の場合には、シールド機の製作や地上からのシールド機の搬入、組み立て場所の拡幅掘削や組み立て等の工程等がある。また、高丘トンネル（北）においては、斜坑から本坑を掘削する事になるが、山岳工法の場合には、2つの切羽を

設けて同時に掘削することが可能である。一方、シールド工法の場合は、シールド機をもう一台増やすことは工費的に不利になり、現実的には片押し掘進となることから、シールド工法の月進が150m/月、山岳工法の月進が50m/月と想定しても、山岳工法の方が若干工期的に有利になった。

一方、山岳工法の場合、同時注入が可能なシールド工法と比較すると、沈下量が大きくなる傾向にあり、近接構造物に与える影響が大きい。高丘トンネル（北）においては、一部、道路トンネル（中野トンネル）と2D程度の離れで交差する部分があり、トンネル掘削による影響も懸念されたが、山岳工法においても技術的に十分対応できる範囲であると考えられた。

以上の比較検討の結果（表-2）、高丘トンネル（北）においては、シールド工法ではなく、山岳工法にて施工する事に決定した。

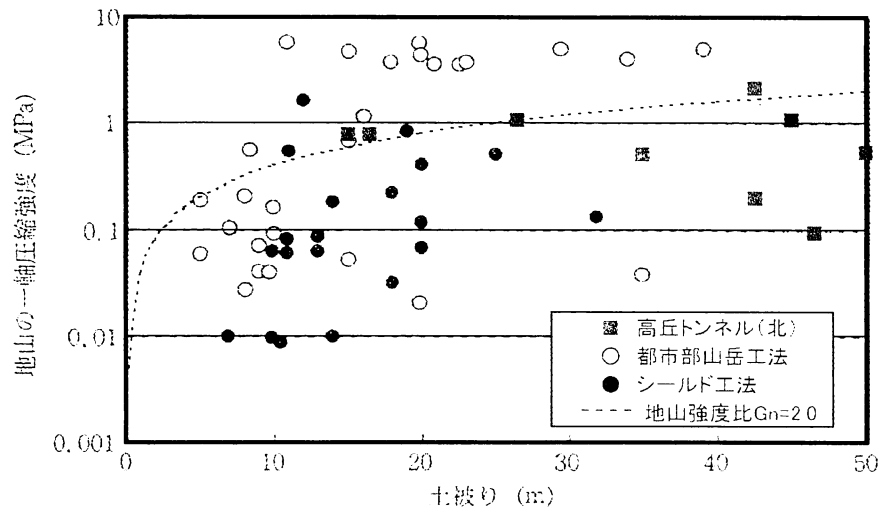


図-3 地山の一軸圧縮強度・土被りとトンネル掘削工法との関係
(鉄道構造物等設計標準・同解説山岳トンネル 鉄道総合研究所編より抜粋)

表-2 工法比較検討結果

掘削工法	工費	工期	品質	評価
シールド工法	△	△	◎	○
山岳工法	○	○	○	◎

4. 地質性状を考慮した補助工法の選定
(137km500～138km050)

切羽は、写真-1に示すように未固結のシルト層、砂層、砂礫層が互層をなし、同じ砂礫層に分類される層でも20～30cmの大きさの礫が卓越した層、砂のみの層、砂質シルトの層等が分布している。丘陵は洪積世後期から繰り返し行われた断層活動により逆断層で持ち上げられ形成され、このような地質構造作用を示す形跡として、これらの層がめまぐるしく変化しながら出現した。また、横断方向でも褶曲や背斜構造、断層等が見られた。含水未固結地山のトンネル内出現への対策工として、まず湧水対策工の選定を行った。土被りが比較的小さいことから、地上部からのディープウェル工法を検討したが、地質調査ボーリングより帯水層が複数に存在し、互層かつ幅狭した地質であり、数センチ厚の薄い粘土層でも連続していれば、ディープウェル工法による排水効果は望めないことから、坑内からの水抜きボーリングを定期的に行うことにした（主に、長さ：75m、ピッチ：50m、位置：下半、左右1本づつ）。ボーリング孔が帯水層に当たった所では、水位低下等の効果が認められたが、当該工区の様な褶曲等による複雑な地質構造のもとでは、効果は限定的で残水が生じた。このため、天端部及び切羽の自立が困難な未固結地山（砂、砂礫）に湧水が伴うことから、大

規模な崩落及び流砂現象等の変状が生じるおそれがあり、天端部（先受け工）及び切羽（鏡補強工）の補助工法を検討した。

先受け工は過去に含水未固結地山について採用実績のある工法の中から、表-3に示す工法を抽出し、この中から砂、砂礫層への注入に効果が期待できることなどを選定項目にして絞り込んだ。その結果、水ガラス系の溶液型注入材を用いた二重管ダブルパッカー方式による長尺先受け工法（以下、AGF-R 工法と称す）を採用することにした。

鏡補強工は、短尺式と長尺式について表-4に示す工法を検討したが、先受け工との材料の共有性や施工サイクルの効率化を考慮し、同じく水ガラス系の溶液型注入材と AGF-R 鋼管を適用したフェイスグラウト工法（以下、FG 工法と称す）による長尺鏡補強とした。



写真-1 切羽状況図

表-3 先受け工比較検討表

先受け工種別	概要図	施工概要	効果			湧水対策
			低固結礫岩	クラッキーなシルト	砂・砂礫	
モルタル定着ボルト (L=3m@30cm)		モルタルによる定着のため、水の影響を受けやすく未固結の砂・砂礫地山では、ボルト間の抜け落ちを防止できない。また、先受け長が短く、地山の変位抑制効果は小さい。	×	×	×	×
鋼管膨張型ボルト (L=3m@30cm)		ボルトの膨張による周辺地山の圧密効果は期待できるが、未固結の砂・砂礫地山ではボルト間の抜け落ちを完全に防止できない。また、先受け長が短く、地山の変位抑制効果は小さい。	○	△	×	△
注入式ボルト(L=3m@60cm) 毎基施工 シリカレジン注入		注入式ボルトにおけるシリカレジンの注入形態は、未固結の砂・砂礫地山に対しては、浸透注入より割れ注入と考えられ、ゾーンとしての地山改良体は形成しにくく、ボルト間の改良が不十分でボルト間の抜け落ちが懸念される。少々の湧水では発泡可能であるが、流れのある帯水層では湧水が流れられ発泡しない。また、先受け長が短く、地山の変位抑制効果は小さい。	△	○	×	△
注入式長尺先受け工(AGF) (L=12.5m@45cm) 9m毎施工 シリカレジン注入		芯材として鋼管を使用し、45cmピッチで施工することで鋼管間の地山への注入効果も期待できるが、注入形態・発泡形態は注入式ボルトと同様で、ボルト間の改良が不十分でボルト間の抜け落ちが懸念される。帯水層では注入式ボルトと同様の懸念がある。また、長尺先受け工のため、先行変位を抑制でき、トンネル掘削に伴う地山緩み防止効果は大きい。	△	○	△	○
注入式長尺先受け工(AGF-R) (L=12.5m@60cm) 9m毎施工 シリカライザー注入 もしくは デンカSバック注入		芯材として60cmピッチで鋼管を打設し、鋼管を注入管として使用する。注入材として砂・砂礫層に浸透注入するシリカライザーを50cmステップでダブルパッカー注入することで改良ゾーン（止水ゾーン）を確実に形成し、未固結の砂・砂礫の前落を防止する。また、流れのある帯水層でも施工可能である。ただし、シリカライザー自身の強度が小さいため割れ注入になる地山に対しては、その箇所を縁を切り肌落ちするおそれがあるため強度のあるデンカSバックを注入する。また、長尺先受け工のため、先行変位を抑制でき、トンネル掘削に伴う地山緩み防止効果は大きい。	△	△	○	○

5. 選定した先受け工法の概要

5.1 概要

ここで採用した AGF-R 工法は長尺先受け工法の一つで、逆止弁構造を有する注入ノズルを設置した鋼管を地山に打設し、その周囲にスリーブグラウトを形成した後に、浸透性の良い注入材を二重管ダブルパッカー方式でステップ注入し、「鋼管+改良体」の複合地盤にて地山を補強・改良する工法である。

崩壊性の土砂状地盤では、完全な改良体の形成は非常に困難であり、本工法は鋼管を利用して浸透性の良い注入材を二重管ダブルパッカー方式でステップ注入し、鋼管間の地山の固結を図るものである（図-4 参照）。

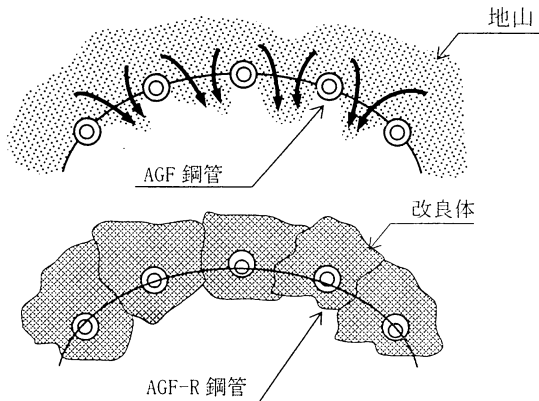


図-4 注入施工概念図

5.2 特徴

この種先受け工法は、次のような特徴を有している。

- ・本工法で用いるAGF-R鋼管は、既存のAGF鋼管に逆止弁付きの注入ノズルを取付ける事により、信頼性の高い二重管ダブルパッカー方式の注入形態を採る事を可能にした工法である。
- ・対象地盤に合わせて、溶液型注入材～超微粒子懸濁型注入材まで目的に合わせた注入材を選定する事が可能である。
- ・注入設備を含めてコンパクトな機械設備であることから、機動性が良く坑内での作業性にも優れている。
- ・AGF鋼管にスリット加工して掘削時に切断することで、鏡部への施工が可能である。

5.3 注入工の仕様と管理

スリーブ注入、一次注入にはデンカSパックを用い、二次注入（浸透注入）にはシリカライザーを使用した。注入仕様とその管理は以下に示すような方法で行った。

表-4 鏡補強工比較検討表

先受工種別	概要図	施工概要	効果			湧水対策
			低固結礫岩	クラッキーなシルト	砂・砂礫	
注入式鏡ボルト(L=4m) 2m毎施工 (シリカレジンを注入)		シリカレジンの注入形態は未固結の砂・砂礫地山に対しても、浸透注入により割裂注入すると考えられ、ゾーンとしての地山改良が形成しにくく、ボルト間の改良が不十分でボルト間の崩落が懸念される。2mラップのため2m以深より地山が緩めば崩落する。また、ボルト長が短く、地山の変位抑制効果は小さい。少々湧水では発泡可能であるが、流れのある帯水層では薬液が流され発泡しない。	△	△	×	×
注入式長尺鏡ボルト(L=12m) 9m毎施工 (シリカレジンを注入)		芯材にFRPボルトを使用する。シリカレジンを注入するため、注入式鏡ボルトと同様の懸念がある。長尺(12m)であるため、先行緩みに対して有効である。	○	○	×	△
フェイスグラウト工(L=12m) 9m毎施工 シリカライザー注入 もしくは デンカSパック注入		注入管として鋼管(HiVp)を打設し、砂・砂礫層に浸透注入するシリカライザーを50cmステップでダブルパッカー注入することで、改良ゾーン(止水ゾーン)を確実に形成し、未固結の砂・砂礫の崩落を防止する。長尺(12m)であるため、先行緩みに対して有効である。また、流れのある帯水層でも施工可能である。シリカライザー自身の強度は小さいため割裂注入になる地山に対しては、その箇所縁を切り肌落ちする恐れがあるので、強度のあるデンカSパックを注入する。	△	△	○	○

(1) 注入速度

スリーブ注入，一次注入，二次注入とも確実な注入を行うため 10 ㍈/min といいた，比較的遅い注入速度で注入することを標準とした。

(2) 完了基準

原則としてステップ毎の定量注入とした。但し，注入圧力の管理状況（初期圧や圧力変化など）より明らかに地山状況が異なる場合は，注入量を変化させ注入をおこなった。

(3) 注入率

① スリーブ注入工

AGF-R鋼管周囲のシールグラウトを目的として，削孔長1.0m当たり 5 リットルとした（削孔長が12.5mのため約62 L／本）。

② 一次・二次注入工

当現場では，「ソレタンシュ地盤改良工法・標準積算資料・第10版」より表-5に示す注入率を採用した。

(4) 注入管理

定量管理を基本とし，全注入完了後にステップ毎の最終圧力を確認し，管理圧力未満のステップでは，補足注入（定量の1.5倍）を実施した。

6. 補助工法の施工

6.1 基本パターン

地山改良径（厚）は，過去の実績を基に天端補強，鏡補強とも湧水がある場合は 1.5m，湧水がない場合は 1.0mと設定した。

また，注入工は全体注入率を 35%とし，地質状況より一次注入（荒詰注入：デンカSパック）を10%，二次注入（浸透注入：シリカライザー）を25%に分割を基本とした。なお，改良域の中でシルト層，砂礫層が互層で出現した場合，一次注入は全域で実施するが，二次注入は砂礫層のみとした。天端補強，鏡補強ともに，施工範囲は基本的に 160°とし，地山状況や湧水状況によっては 120°に低減した。1シフト長は 9mとした。図-5に湧水がない場合の標準図を示す。なお，補助工法施工時には

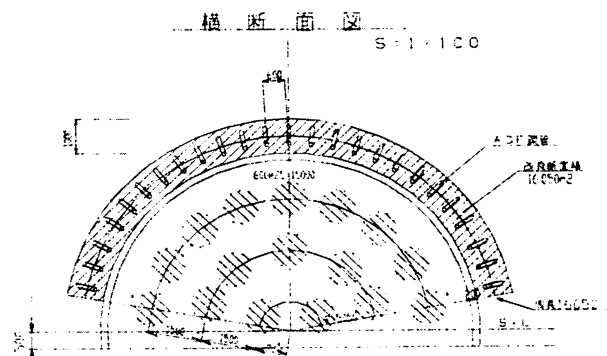


図-5 湧水がない場合の標準図

鏡吹付け (t=200mm) を施し，掘削時には毎基，t=50mm を標準として鏡吹付けを実施した。

ただし，当トンネルの地質は砂，砂礫，シルトの互層であること，横断方向でも褶曲や背斜構造が見られることから，地山性状に応じて最適な補強効果と経済性を追求するため，シフト長，注入材，注入率，圧力管理等の施工仕様を変更して施工することにした。例えば，鋼管間からの部分的な抜け落ち等が生じ，切羽が不安定になった場合には，シフト長やピッチの変更，粘性の高い材料への変更を実施し，溶液型注入材の効果が小さいシルト層が出現すると予想された場合には，二次注入を省略し，懸濁型注入のボルトに変更した。

6.2 砂質土での施工

砂質土区間で，天端補強における鋼管間の1箇所から部分的な抜け落ちが生じた。原因は，図-6に示すように砂質土の粒度分布が一定でなく，めまぐるしく変化していたので，薬液が逸走しやすく改良が不十分であったと考えられた。そのため，以下の施工条件の変更を行った。

- ・鋼管間の改良効果を確保するために，断面方向の打設ピッチを 60 cm から 45 cm と狭くし，軸方向には注入長を 10m から 11m に延長した。
- ・一次注入材を粘性のあるセメントベントナイトに変更し，一次注入効果を向上させた。

このような変更仕様で施工したところ，未固結砂層の崩落を防止し，トンネル掘削は順調に進捗した。

表-5 砂層での注入率

土質:砂		
N値	0～30	30以上
注入率	30～40%	30～35%
当現場では，35%を採用した。		

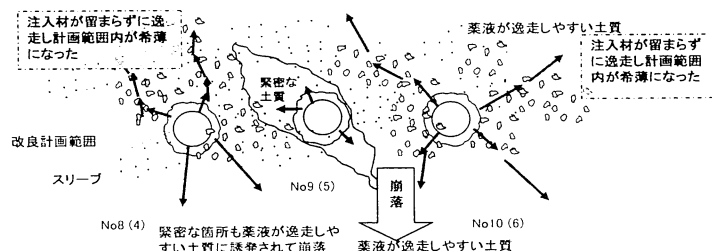


図-6 砂質土区間での地山崩落想定図

6.3 互層部での施工

砂礫層、シルト層の互層区間では、浸透注入（二次注入）が適さないシルト層は一次注入のみとし、掘削の際にシリカレジンを注入のフォアポーリングを施工した。

対象地山が全面シルト層の場合には、シリカレジンを注入する AGF 工法を採用した。図-7に土質別の長尺先受け工および先受けボルトの施工例を示す。

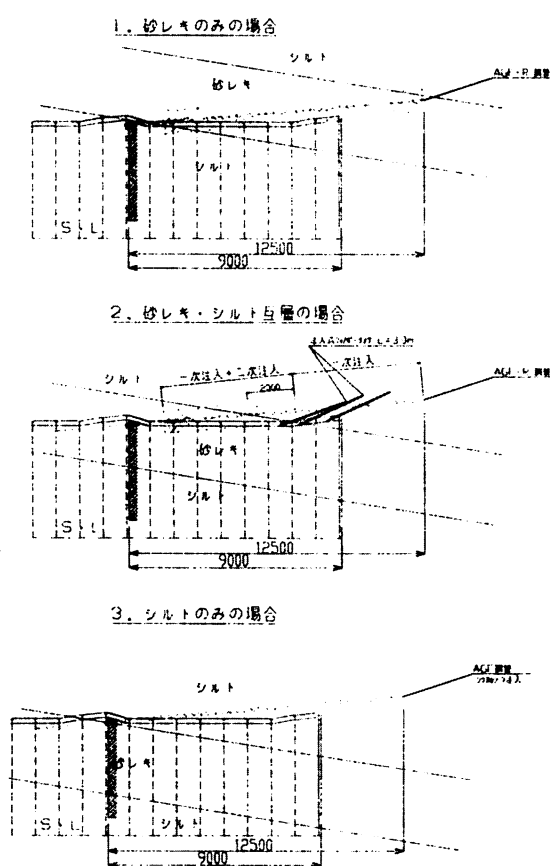


図-7 土質別の先受け工施工例

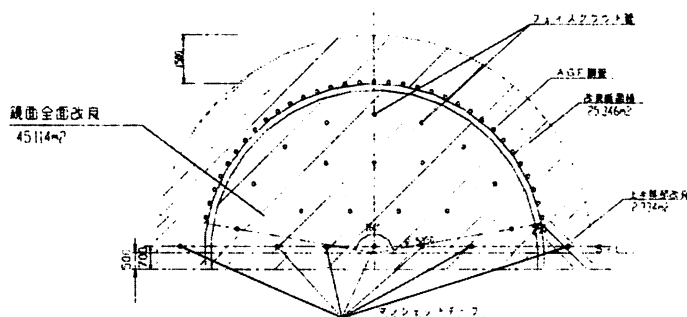


図-8 湧水がある場合の切羽改良パターン図

6.4 湧水部の施工

湧水部においては、砂層にて 10～20L/min 程度の湧水があり、設計改良径 1 m の FG を切羽面に十数本打設しても、歯抜け状態が避けられないため、掘削中の土砂の流出を防ぐことは困難であった。このため、鏡面に二重管ダブルパッカー方式による注入により全面改良（止水工）を行うことにした。

なお、上半最下端部はドリルジャンボによる AGF-R 鋼管の削孔ができないため、AGF-R 鋼管の代わりに鋼管マンシエットチューブをドリリングマシンで施工することにし、施工効率を上げるため 1 シフトで 18m を改良（止水）することにした。図-8 に上半切羽で湧水がある場合の切羽改良パターン図を示す。また、一次注入を増量し（注入率 5% から 10% に変更）、注入圧力についても現状では不足と考え、今までの平均注入圧以上を目安にして管理圧力の変更を行った（管理圧力 1.7MPa から 2.5MPa に変更）。

さらに、湧水を伴う砂層が下半部に出現し、掘削時に砂層の流出が生じたため、上半部と同様に改良が必要になった。まず、上半切羽が進んでいる区間では、下半切羽より下半側壁のみを鋼管マンシエットチューブを用いて、1 シフトで 18m を改良（止水）した。

上半切羽以深の箇所では、上半切羽から上半部と下半部を同時に改良することでサイクルの短縮を図った。それまでの施工箇所との大きな変更点は、上半最下端部鋼管マンシエットチューブによる止水工の 1 シフト長を、18m から 9m と短くし、下半側壁の改良（止水）は上半切羽から斜め前方下向きに施工したことである。図-9 に全面に湧水がある場合の切羽改良（止水）パターン図を示す。

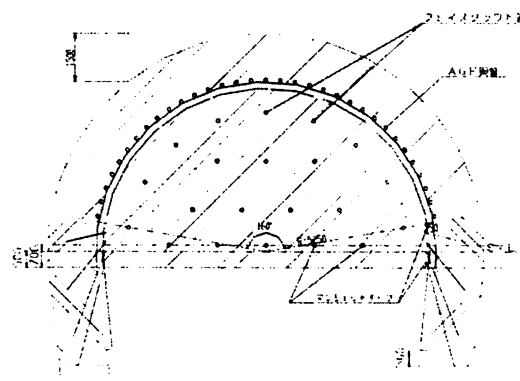


図-9 上下半全面に湧水がある場合の改良パターン図

7. まとめ

含水未固結地山に対し、事前に基本的な補強パターンを設定して掘削に臨んだ。

実際に基本パターンで施工できたのは 40m 程度しかなく、地山状況に合わせて変更の連続であった。表-6 に補助工法の主な仕様変更の一覧を示す。

その結果、以下の知見を得た。

- ・含水未固結砂質地山に対して、長尺先受け工に十分な地山改良効果を発揮させるには、二重管ダブルパッカー方式を適用した AGF-R 工法が有効であった。
- ・鋼管マンシュットチューブを用いた二重管ダブルパッカー方式による上半切羽から下向きの止水工も湧水抑制には有効であった。
- ・砂礫層は薬液が逸走し易いため、一次注入には粘性のある材料が有効であった。
- ・湧水を伴う均等係数の小さい粗砂では、少量の湧水(10~20L/min 程度)でも土砂流出が発生する。土砂流出の可能性がある場合には、鏡面改良(止水)が有効である。

8. おわりに

地山状態がめまぐるしく変化する区間では、その変化の予想が難しく、採用した補助工法がその地山に適しているかは、掘削して地山の变形や支保工に生じる変状を把握しないと判定できないのが実状である。従って、施工状況を常に観察しながら補助工法の効果を判断し、次シフトで改善していくことが重要である。また、未固結地山の場合、同じ地質であっても、切羽からの湧水量や含水状態によって、切羽の安定性やその対策も大きく異なってくる。含水未固結地山の場合には、少量の湧水でも土砂の流出が発生し、その対策として鏡面の全面止水が有効であることが判った。

シールド工法においては、最も条件の悪いところに合わせて設計時に決めたパターンや材料をそのま

ま採用することになるが、山岳工法の場合には、地山に合わせた支保構造や補助工法をフレキシブルに用いること出来る。これまでの鉄道トンネルにおける工事費の実績を図-10 に示し、高丘トンネル(北)において、最もハイスペックとなった湧水区間における工事費を併せてプロットする。これらより、高丘トンネル(北)において山岳工法を採用した事については、他工法と比較して経済的な施工が出来たと考えられる。

参考文献

- 1) 鉄道構造物等設計標準・同解説 都市部山岳工法トンネル、鉄道総合技術研究所、2002.5
- 2) 古川深夫、日野泰宏、都築保男、浅利浩二：地山変化に応じて補助工法仕様を変更した含水未固結地山中のトンネル施工ー北陸新幹線高丘トンネル北工区ー、(社)日本トンネル技術協会、第58回施工体験発表会(山岳)
- 3) 日野泰宏、古川深夫、井上博之、依田淳一：地山性状に応じた補強工を適用して未固結層を突破、第61回土木学会年次学術講演会講演概要集

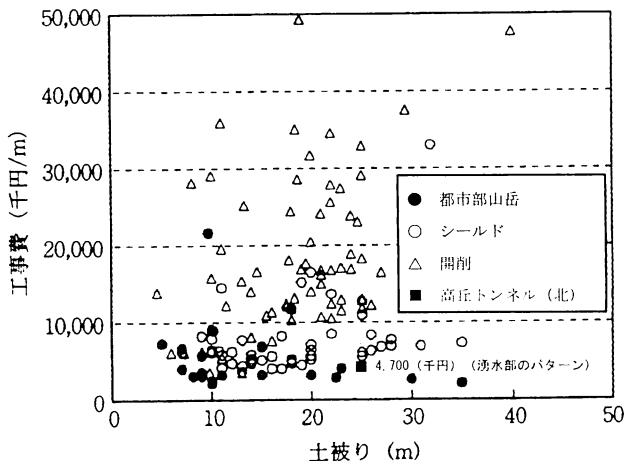


図-10 工事費とトンネル掘削工法との関係
(鉄道構造物等設計標準・同解説山岳トンネル 鉄道総合研究所編より抜粋)

表-6 補助工法の区間毎の仕様変更一覧

トンネル位置		137+466m~137+511m	137+511m~137+520m	137+520m~137+556m	137+556m~137+562m	137+562m~137+566m	137+566m~137+592m	137+592m~
区間距離(m)		45	9	36	6	6	24	24
地質状況		砂礫層、砂質シルト、砂層の互層	砂質土主体 (砂、粗砂が主体に混入)	砂主体 砂質、シルトが混入	同左	砂質が卓越、湧水を伴う	同左	砂主体の塊状に砂層
補助工法 変更 内容	天端	基本パターン ・シフト長 9m ・打設ピッチ: 60cm ・注入長 10m(鋼管長 12.5m) ・二次注入材: デンカSバック ・二次注入材: シリカラーザー ・注入量管理 ・目標改良厚: 1.5m(湧水有り) ・1.0m(湧水無し) ・二次注入のシルトへのラップ無し	・打設ピッチ: 45cm ・注入長 1.1m ・一次注入材変更(CB) ・二次注入を隣接からシルト部へ2mラップ ・圧力管理(補足注入)も併用	地質に応じて補強 ・砂層部: シリカレンジン注入式先受け ・シルト部: シリカレンジン注入のみ (ただし、二次注入の2mラップは継続)	・シフト長を6mに変更(鋼管延長 12.5m→9.5m)	・一次注入の注入率を増加(5%→10%) ・注入管理圧力の増加	・注入管理圧力の低減と補足注入量の減少(50%)	・一次注入の注入率を低減(10%→5%) ・注入管理圧力を低減
	鏡	基本パターン ・シフト長 9m ・打設ピッチ: 1.5m ・注入長 10m(鋼管長 12.5m) ・一次注入材: デンカSバック ・二次注入材: シリカラーザー ・注入量管理 ・目標改良厚: 1.5m(湧水有り) ・1.0m(湧水無し) ・二次注入のシルトへのラップ無し	・一次注入材変更(CB) ・二次注入を隣接からシルト部へ2mラップ ・圧力管理(補足注入)も併用	変更なし	・シフト長を6mに変更(鋼管延長 12.5m→9.5m)	・鏡面全面改良 ・上半部下部でのマンシュットチューブによる注入実施 ・一次注入の注入率を増加(5%→10%) ・注入管理圧力の増加	・注入管理圧力の低減と補足注入量の減少(50%) ・注入圧力に対する鏡補強吹付けを鋼管補強コンクリート吹付けに変更	・一次注入の注入率を低減(10%→5%) ・注入管理圧力を低減
変更理由		・510m地点で天端陥落 ・陥落土中に湧水存在 ・地山変化著しく薬液逸走	・AGF-R鋼管の下壁で改良体の剥離発生	・シフト後半での改良体の剥落が多い ・シフト長が長く、先端は鋼管の位置により改良体が破壊する	・559mの切羽下部で湧砂現象が発生 ・湧水を伴う未固結砂質が切羽に出現と予想し、現状の鏡補強では湧砂を防止できないと判断	・注入時にトンネル変形あり ・二次注入圧が高く、注入過剰気味である	・全面改良により地山は安定 ・経済性を考慮	

CONSTRUCTION OF TUNNEL IN UNCONSOLIDATED GROUND THAT RECEIVES INTENSE GEOLOGICAL PROCESSES.

Koji MATSUMOTO ,Hideo ENDO,Kazuhiko MIZUTANI and Fukao FURUKAWA

Takaoka tunnel passes hill of Nagaoka from Takaoka of the Nagano Prefecture Nakano city. It is a tunnel of 6,944m in total length, and the length of this construction is 4,012m among these. Geological features are gravel, sand, the silts, and the volcanic ash deposits. The geological structure has received intense geological processes. Takaoka tunnel was in the boundary region of conventional excavation and shield tunneling method from geological features, and it was necessary to compare both methods. As a result of the comparison, conventional excavation became advantageous. Takaoka tunnel was constructed with conventional excavation. This reports on details of the adoption of conventional excavation and construction results of the tunnel.