

トンネル地山評価システムを用いた補助工法の選定

A Study on Choice of the Auxiliary Method by Tunnel Estimation System

山田 浩幸*¹ 村上 孝男*²
Hiroyuki Yamada Takao Murakami
田中 英男*³ 三木 秀二*³
Hideo Tanaka Shuuji Miki

要旨

山岳トンネルは、地中の線状構造物という特殊性から、事前地質調査によって得られる情報には限界があるため、通常の土木構造物とは異なり、設計では標準支保パターンを用い、施工時に得られる切羽観察や計測結果により、地山状況に適合した合理的支保パターンに修正していく事が一般的である。近年、長尺鋼管フォアパイリングをはじめとする、補助工法のめざましい進歩により、厳しい環境条件（未固結地山、湧水地山、近接施工等）の下においても安全に施工することが可能となってきた。一方、経済性に大きく影響する切羽前方地山の予測といった面では、まだまだ確立された工法がないのが実情である。

本報告は、現場の施工実績における切羽前方探査に基づく補助工法の選定事例とその評価についてまとめたものである。

今回紹介する前方探査手法としては、①硬岩における先行ボーリングとボアホールカメラを用いた前方探査、②地質変化の激しい地山における機械データを用いたトンネル地山評価システム（K-tes）の2種類である。

キーワード：山岳トンネル 前方探査 トンネル地山評価システム 補助工法 支保パターン

1. はじめに

山岳トンネルでは、地中の線状構造物という特殊性から、事前地質調査によって得られる情報には限界があるため、通常の土木構造物とは異なり、設計においては、施工実績に基づき設定された標準支保パターンを用い、施工時に得られる切羽観察や計測結果に基づき地山の変化に応じた最適支保パターンに修正していくことが一般的である。近年、長尺鋼管フォアパイリングをはじめとする補助工法のめざましい進歩により、厳しい環境条件（未固結地山、湧水地山、近接施工等）の下においても安全に施工することが可能となってきた。

本報告では、①硬岩における先行ボーリングとボアホールカメラを用いた前方探査（写真1）と②地質変化の激しい地山における機械データを用いたトンネル地山評価システム（K-tes：写真2）について、実際の現場で適用したシステムの概要と評価結果、および地山評価システムに基づき、トンネルを安全かつ経済的に施工するために実施した対策工（補助工法）や支保パターン等の選定事例について述べる。



写真1 切羽でのボアホールカメラ観察状況

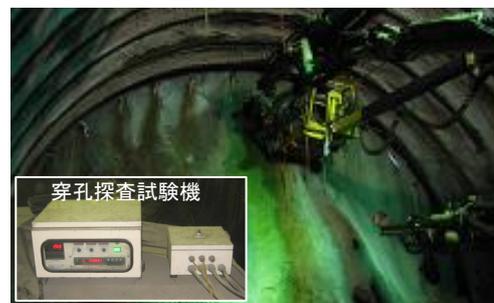


写真2 前方探査実施状況

2. トンネル地山評価システムの概要

2.1 ボアホールカメラによる地山評価手法

使用したボアホールカメラは写真 3 に示す管内観察や空洞調査に用いられているカメラ径 48mm の曲げ押し可能な孔内観察用カメラである。操作は簡単で障害物がない限り、カメラを孔内にケーブルで押しながら挿入していくものである。

湧水が多い場合、撮影に対する支障が懸念されたが、若干水圧による抵抗があったものの、記録画像にはほとんど影響がなかった。実際の観察記録状況は写真 3 に示すとおりである。

現場では、画像を 8mm ビデオに記録し、DV に編集し直して解析に用いたが、この測定方法の短所としては、

- ①画像の上下位置が不明であること。
- ②画像に表示される深度がケーブルの送りから読み上げられるため若干誤差を生じること。

の 2 点が懸念された。

しかしながら、実際の調査では上下の関係は湧水の水面状況から判断でき、深度に関しては採取コアと比較したキャリブレーションを行うことで、修正することが可能であった。

ボアホール画像による地質構造の推定にあたっては、孔壁画像とコアの状況を比較して、実際の不連続面の状態がどのような歪んだ画像に見えるのかを確認した。図 1 に幅約 1cm の介在物を挟んだ亀裂の比較の例を示す。

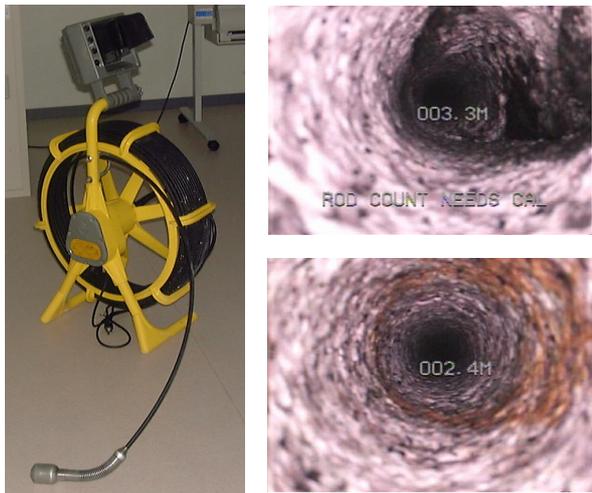


写真 3 ボアホールカメラと画像例

2.2 機械データによるトンネル地山評価システム

今回、構築したトンネル地山評価システム (K-tes : Konoike tunnel estimation system) は、切羽前方探査においてトンネルの標準機械であるドリルジャンボの穿孔時の機械データを収集・分析することにより、切羽前方の

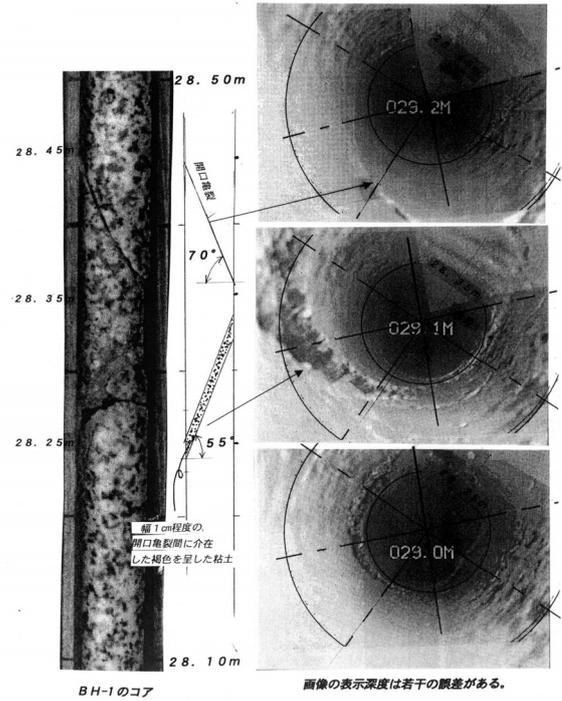


図 1 孔壁画像とボーリングコアの比較

地質を穿孔エネルギーとして定量的に評価する。

また、施工の進捗とともに得られる支保パターン毎の切羽評価点や計測データは機械データとあわせて同様のファイル形式 (CSV 形式) で保存、更新を行い、リアルタイムに施工情報をデータ化する。

これらのシステム内に蓄積された施工データと前方探査により得られた穿孔エネルギーを比較することで、地山の変化に適応した合理的な支保パターンの選定や必要な対策工 (補助工法) の検討を行うことができる (図 3)。

本システム導入により、これまでは、個別に実施して整理していた前方探査データ、切羽観察 (評価点)、計測データを系統的に一元管理し、いわゆる巻物 (展開図 : 図 2) 的に整理することで情報化施工の実現が可能となる。

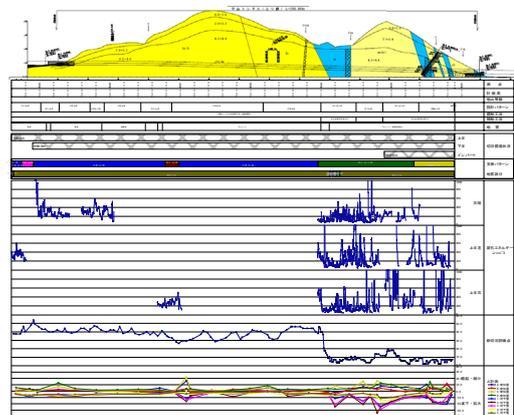


図 2 K-tes 出力結果例

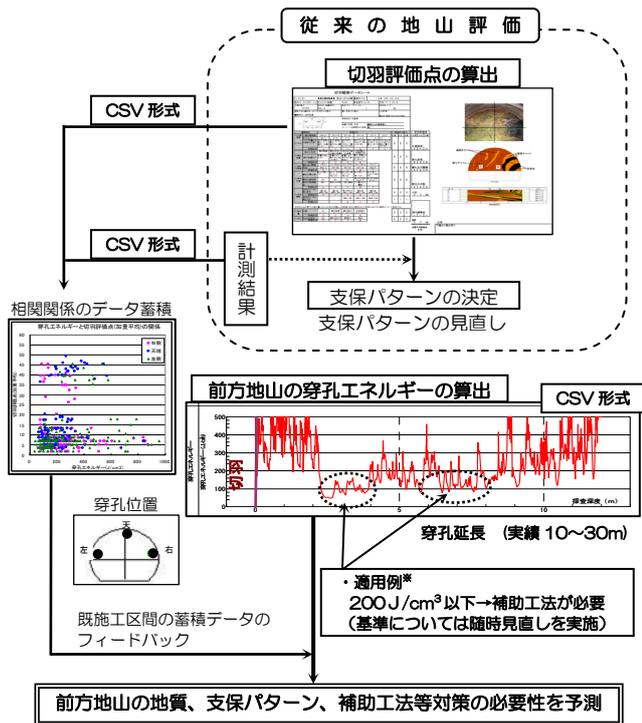


図3 トンネル地山評価システム概念図

3. 実現場での適用事例

3.1 超大断面における交差部補助工法の検討¹⁾

3.1.1 工事概要

第二名神高速道路栗東トンネル西工事では、TBM 導坑先進工法で施工が進められたが、東工事は上半先進工法で施工したため、掘削断面積が 250 m²を超える集じん機坑および補機室や連絡坑との交差部の施工に関しては、TBM にかわる地質情報把握の必要性があり、コアによる調査に加えてボアホールカメラを用いた切羽前方探査を行い、補強対策等の設計検討を実施した。ここでは、集じん機坑ならびに交差部の設計検討の目的で実施したボアホールカメラによる切羽前方探査の概要とその調査結果に基づく設計・検討事例に関して報告するものである。

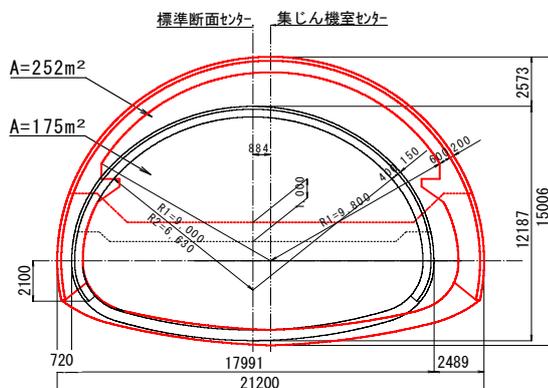


図4 本坑，集じん機坑標準断面比較

一般的に高速道路の長大トンネルの換気設備は本坑にループ状のバイパストンネルを掘削して、その中に設置する方式が主流であるが、本トンネルにおいては図4、5に示すとおり、本坑を拡幅しトンネル頂部に換気設備を設置する計画がなされていた。(区間延長 L=73m)。

したがって、集じん機坑のトンネル掘削断面積は、大断面(3車線)の本線部の標準断面よりさらに大きな断面となり、第二東名・名神高速道路の中でも最大の超大断面(掘削断面積 252 m²) トンネルとなった。

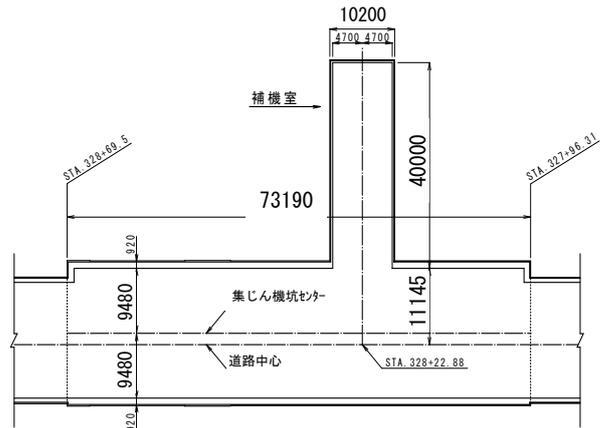


図5 集じん機坑平面図 (S.L. 盤)

3.1.2 調査項目

集じん機坑の設計支保パターンや補強対策の必要性を判断するにあたり、以下に示す調査を実施した。

①オールコアによるボーリング調査

岩盤状況(節理、割れ目状況、風化変質の程度、岩盤区分、湧水状況)を把握する。

また、亀裂に介在する粘土成分の分析を粉末 X 線回折により実施し、膨脹性粘土鉱物の有無の確認と施工への影響を検討する。

②ボアホールカメラによる孔壁観察

不連続面の分布状況や湧水状況に関してボアホールカメラによる映像をデジタル化し、採取されたコアの亀裂状況と対比することにより、亀裂の走向・傾斜といった地質構造を推定する。

③湧水状況の確認

湧水量の確認や水質分析により湧水供給源の特定や施工時の影響について検討する。

特に標準部における前方探査手法の確立といった観点から通常のボーリング調査に加えてボアホールカメラによる地質状況の観察を行い、ボーリングコアとの対比や調査の妥当性の確認と適用性に関する検討を行った。

3.1.3 調査結果に基づく地山評価と対策工の検討

集じん機坑の掘削にあたっては、このような超大断面において一旦地山のゆるみを大きく許した場合、その対策工が非常に大規模なものとなる。

また、本坑（標準部）から集じん機坑への拡幅部の施工方法についても、拡幅量がかかなり大きくなるため慎重に検討して施工を進める必要があった。

したがって、前述のとおり切羽前方探査による地質分析を行い、適切な支保を選択し、図7に示す事前補強を行った上で掘削を実施した。施工順序は、上半掘削、下半掘削、盤下げインバートコンクリート打設、覆工コンクリート打設の順で実施した。

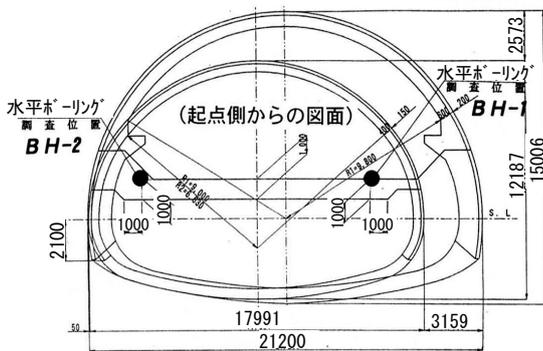


図6 水平ボーリング調査位置図

図6に示すとおり、水平ボーリングは2箇所を実施した。

図8、9に前方探査結果に基づく推定地質平面図と施工時の切羽観察に基づく地質平面図を示すが、推定された地質に比べて破碎帯の方向性や連続性が若干異なったものの、破碎帯の位置や規模は概ねよく一致しており、有効性が確認できた。

集じん機坑での前方探査手法の妥当性が確認できたことを受けて、標準部においても順次前方探査を実施した。

なお、施工サイクルを考慮した上で、標準部においては、施工に用いるトンネルジャンボによる削岩孔(L=30m)を用いた。

今回のポアホールカメラによる地山評価システムによる前方の地山状況を把握し、地山の急変に備え必要な対策工を事前に検討できたことは安全かつ合理的な施工に有意義であったと考える。

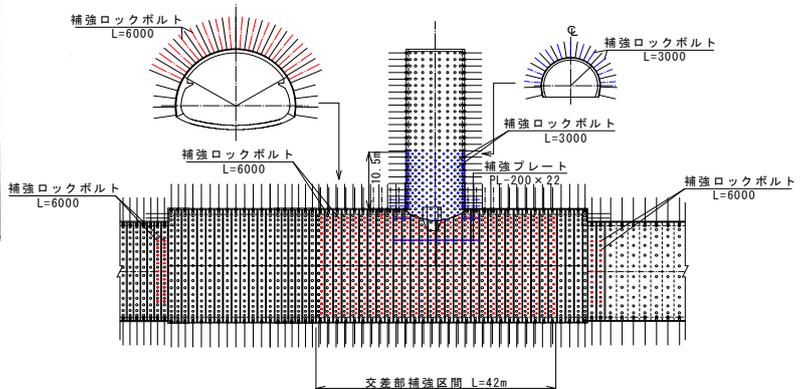


図7 交差部補強工展開図

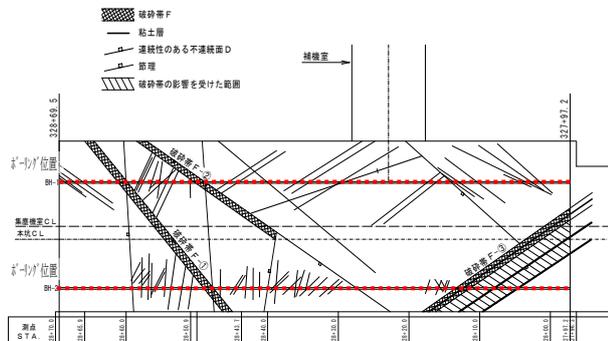


図8 推定地質平面図（前方探査結果に基づく）

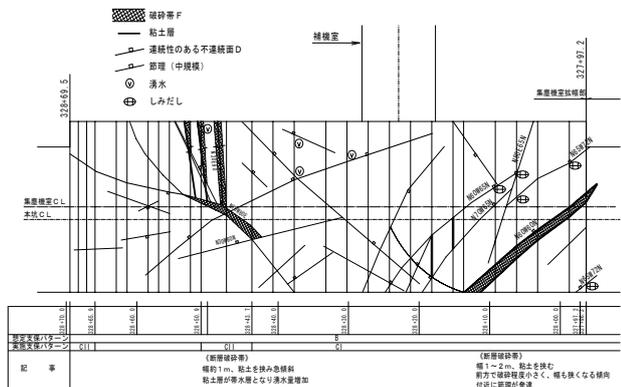


図9 実績地質平面図（切羽観察結果に基づく）

3.1.4 ポアホールカメラによる地山評価手法と効果

今回、トンネル地山評価システムとしてポアホールカメラを用いた切羽前方探査を実施し、道路トンネルとしては前例のない 250 m² を超える超大断面（集じん機坑）の施工を無事完了することができた。

山岳トンネルの地質調査は、従来より主として弾性波速度に基づいて実施されており、実際の施工では湧水状況や亀裂の状態、逆転低速度層の影響等により設計と異なる地山が出現することは少なくない。

今回のポアホールカメラによる前方探査では、施工サイクルに大きな影響を及ぼすことなく実施することが可能であり、実際の亀裂状況や湧水の状態を可視化して画像として直接見ることができる。

したがって、前方探査結果と事前の地質調査結果とを合わせて総合的な判断を行うことで地質構造の推定が可能となる。その結果に基づき掘削前に対策工の検討を行うことが可能となり、より安全で合理的な施工の実現に寄与するものと考えられる。

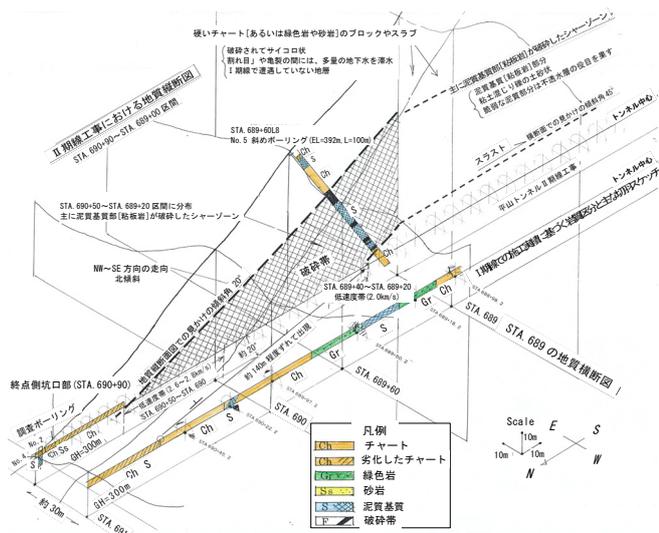


図12 終点側坑口部の地質構造の推定

3.2.3 補助工法の選定

補助工法の選定にあたっては、前述の地形・地質状況およびI期線施工結果を考慮して、本トンネル終点側坑口部における施工条件を考慮した上で、採用可能であると考えられる天端安定対策として以下の工法を一次選定した。

- ① パイプルーフ工法
- ② 長尺鋼管フォアパイリング
- ③ ウレタン注入式フォアポーリング
- ④ 薬液注入工法
- ⑤ 垂直縫地ボルト工法

これらの工法に関して、表2に示すとおり「施工性」、「信頼性」、「経済性」といった観点から、比較検討を実施した結果、上部斜面への影響を極力小さく抑えるために、先行ゆるみの抑制効果の高い長尺鋼管フォアパイリングを選定した。

また、先受け工法の選定にあたっては、土被りや先行ゆるみ範囲の大きさにより先受け効果が異なるため注意する必要がある。すなわち、図13に示すとおり、先受け長さが短いと前方のゆるみを押さえきれずに先行変位を生じることとなるため、上部斜面への影響は免れない。

したがって、坑口部において上部斜面及び地すべり土塊に影響を与えないように先行ゆるみを押さえるためには、長尺(L=5.0m以上)の採用が必要であると判断した。

なお、長尺鋼管フォアパイリングの工法としては、表3に示すとおり、ゆるみの発生を最小限とするため、無拡幅工法であり、打設角度が小さく多段打設が可能なAGF-HITMを採用した。

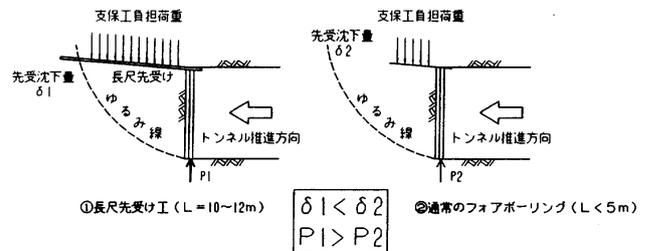


図13 先受け長さと支保反力の関係³⁾

表2 補助工法比較検討表

対策工	①パイプルーフ工法	②長尺鋼管フォアパイリング	③ウレタン圧入式フォアポーリング	④薬液注入工法	⑤垂直縫地ボルト工法
概要図					
信頼性	上部緩み土圧に対して坑内より剛性の高いパイプを平行に施工し、トンネル施工時に支保工で受けながら掘進する。 クラウン部崩落、崩壊、地表面沈下抑制には信頼性が高く、施工実績も多い。 パイプを支保工で確実に受けていくため、緩みを抑制し切羽安定性もよく上部斜面への影響も抑えられる。◎	坑内より剛性の高い鋼管パイプ(φ114.3mm L=12.0m)をダブルに打設し、シェル構造により前方地山のゆるみを抑える。 長尺でかつダブルに鋼管を配置するため、先受け効果が高い。 地山の変位に応じて施工規模を変更できる。◎	坑内より天端付近にL=3m、4mの圧入ボルトを打設し、ウレタンを注入することで、ウレタン改良体による地山固結改良をする。 セメント系の注入材に比べて粒子が細かく流動性が高いため、注入の確実性は高いが先行変位は止められない。 限定された範囲を確実に固結改良でき改良ゾーンの強度、効果の確実性も高く実績も多い。○	湧水や亀裂の多い地山での逸散等により、注入の確実性に懸念があり十分な改良効果が望めない。 均一な地山改良ができれば、切羽の自立性の向上、クラウン部地山の崩落、崩壊防止に効果がある。△	地表面ボーリングを行い、セメントミルクを注入した後、縫地ボルトD32(SD35)を挿入することにより、地山の縫付け、および吊下げ効果を発揮する。 すべり土塊を多くもの鉄路で補強するものであり、すべりの方向性に左右されず効果がある。 別途先受け工が必要。△
施工性	地質によっては、パイプ間からの地山の抜け落ち、および余掘りが懸念される。 亀裂の多い地山やクラッキーな地山では掘削が困難となる。△	拡幅が不要で牽引方式によるため施工が確実。 特別な機械を必要としない。○	掘削サイクルに取り込める。 特別な機械を必要としない。○	地表からの作業は可能であるが、削削延長が長くなる。坑内の施工の場合、掘削サイクルには取り込めない。△	施工ヤードが斜面となり、工事用進入道路及び足場が必要となる。 斜面作業となり施工性に劣る。△
経済性	パイプルーフ推進用の架台が必要となる。 延長が長くなると大口径のパイプ施工となり割高となる。△	9m毎に打設本数や範囲を変更でき、ウレタン系とセメント系の複合注入により経済的。◎	注入範囲は薬液注入工法に比べて少なくて済むが、材料が高価で経済的には不利。○	注入範囲が広範囲となり注入量も多くなることから経済性は劣る。×	斜面上の施工では費用がかかる。 トンネル掘削時に先受けの併用が必要。×
工期	トンネル掘削に先立ち施工を完了させる必要があるため、工期に大きく影響する。△	鋼管打設は9m毎の打設となるが多少時間がかかる。△	掘削サイクルに取り込めるため、工期的に若干の遅れが出る程度である。○	注入作業に時間がかかり掘削サイクルに取り込めない。×	事前に施工できるため掘削サイクルには影響を及ぼさない。△
総合評価	△	◎	○	×	△

表 3 AGF-P と AGF-HITM の比較

工法	AGF-HITM	AGF-P
概		
要	<ul style="list-style-type: none"> ・坑内より剛性の高いパイプ (L=10m, φ=89.1~114.3mm) を 30~60cm ピッチ/断面, 5m~9m 毎で施工し支保工で受けながら掘進する。 ・パイプ内より地山へウレタン系とセメント系の複合注入を行い、パイプ間の改良を図る。(湧水箇所ではウレタン系注入材) 	<ul style="list-style-type: none"> ・坑内より剛性の高いパイプ (L=12.5m, φ=114.3mm) を 45cm ピッチ/断面程度で施工し、支保工で受けながら掘進する。 ・パイプ内より地山へウレタン系の注入を行いパイプ管の改良を図る。 ・トンネルの掘削は行わない。
ビット	ロストビット方式	拡張ビット方式 (ロストビット方式)
打設方法	前方打撃で牽引方式のため、ロッドによる先端部塩ビ管の損傷はほとんどない。	後方打撃方式のため打撃により曲がり鋼管の破損が考えられる。(ロストビット方式の場合は HITM と同様)
鋼管の接続	ネジ加工, カップラー式	ネジ加工 (ネジ込み)
改良範囲	いずれの範囲でも 2 段以上の鋼管で支持する多段方式	いずれの範囲においても 1 本の鋼管で支持する。
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・ウレタン系とセメント系の複合注入により限定された範囲を確実に改良できアーチ形成が可能となる。 ・パイプを支保工で確実に受けるため沈下及び地すべり抑制効果が高い。 ・トンネルジャンボにより施工でき、無掘削のための新たな設備を必要とせず、工期も比較的短い。 ・施工ピッチが細かいため切羽の変化に応じて範囲の変更が可能で経済的。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ウレタン系を使用するため、限定された範囲を確実に改良できアーチ形成が可能。 ・トンネルジャンボにより施工でき、無掘削のための新たな設備を必要とせず、工期も比較的短い。 ・先打ちとなるため地山の変化に対応しにくい。
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・ロストビットにより前孔を行うが、玉石等大きな礫があるときジャミングが発生する。 ・鋼管先端ではラップ状となり、鋼管間および鋼管より下の地山の崩落が懸念される。(鋼管配置で対応可) 	<ul style="list-style-type: none"> ・拡張ビットによる掘削を行うが、砂礫層やクラッキーな地山ではジャミングにより穿孔不能となる。 ・拡張しないが鋼管の間に地山を抜くため、地山条件によっては AGF に比べ沈下を発生する懸念がある。
施工性	鋼管径が小径化できるため施工性は良く、ビットの選択も不要。	HITM に比べ鋼管径が大きく施工延長も長いため施工性は劣る。
信頼性	多段となり支持効果は高くなる。	掘削等では支持効果が小さい。 鋼管のジョイントが弱点となる。

施工時の設計の修正に関しては、図 14 に示すとおり、切羽評価点、切羽前方探査結果及び計測結果に基づくトンネル地山評価システムを参考に、支保パターンの選定や追加対策の検討、支保低減の検討を実施するという方針で施工管理を行った。

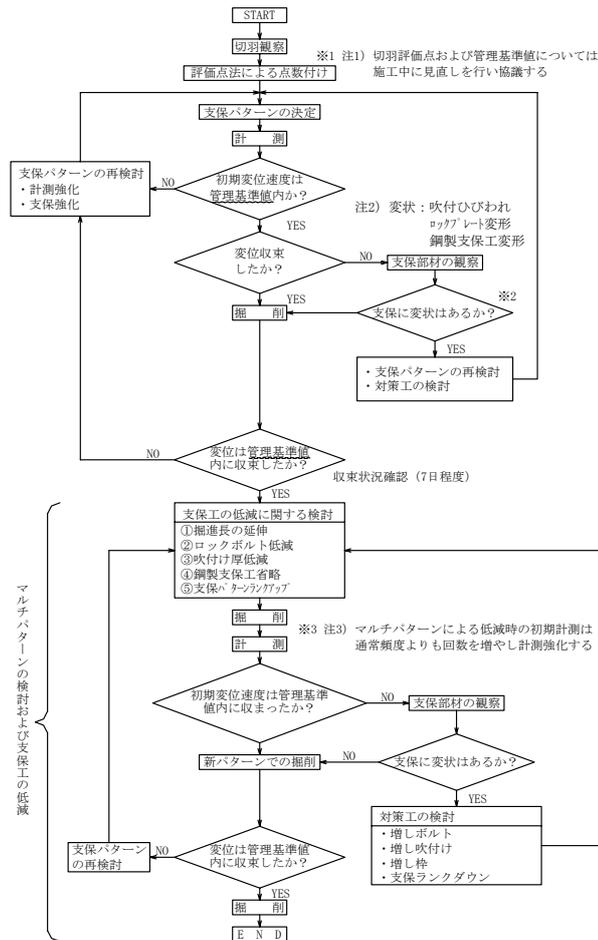


図 14 施工時における設計修正フロー

3.2.4 トンネル地山評価システム試行結果

工事を開始する終点側坑口部において、トンネル地山評価システム (K-tes) を試行的に実施した。前方探査の配置は、原則として左右 2 箇所 (必要に応じて天端を追加)、探査延長は、先受け長をカバーできる L=15m とした。

今回、終点側坑口より約 L=630m 区間を対象として実施し、施工に反映させた。穿孔エネルギーの値から前方の地山状況を予測し、補助工法選定の判断材料とした。対象区間においては、部分的には集中湧水 (100 ㍓/min) 程度の湧水は発生したものの幸いにも、当初予想されていた突発的な湧水は見られず、AGF-HITM の採用により上部斜面への影響なく、天端の安定を確保できた。

一方、付加帯という地質的特殊性から、測点 690 付近では、地山が好転したため、一旦、AGF-HITM の施工を中断したが、写真 4 に示すように、切羽右側の肩部から核にかけて一部小崩落が発生し、急ぎょ切羽前方探査を追加して実施したところ、前方において地山が急変することが想定され、鏡ボルトの追加や AGF-HITM の採用を再開する結果となった。

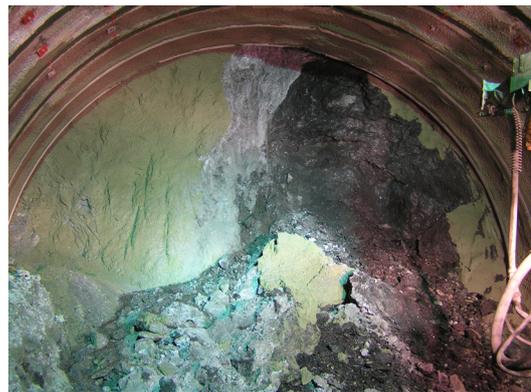


写真 4 切羽崩落状況 (測点 689+84.2)

図 15 に坑口部施工結果のまとめを示す。

図中に示すとおり、切羽評価点 (平均) と切羽前方探査による穿孔エネルギー (平均) の間には比較的良好な相関関係が得られ、特に坑口部の AGF-HITM が施工された箇所では、切羽の一部で地山変化に伴う多少のばらつきは見られたが、切羽全体平均値では閾値 (200J) 近傍であった。

トンネル地山評価システム (切羽前方探査) の採用により、施工の安全性確保、経済性の面からも有効であることが実証されたものと考えられる。

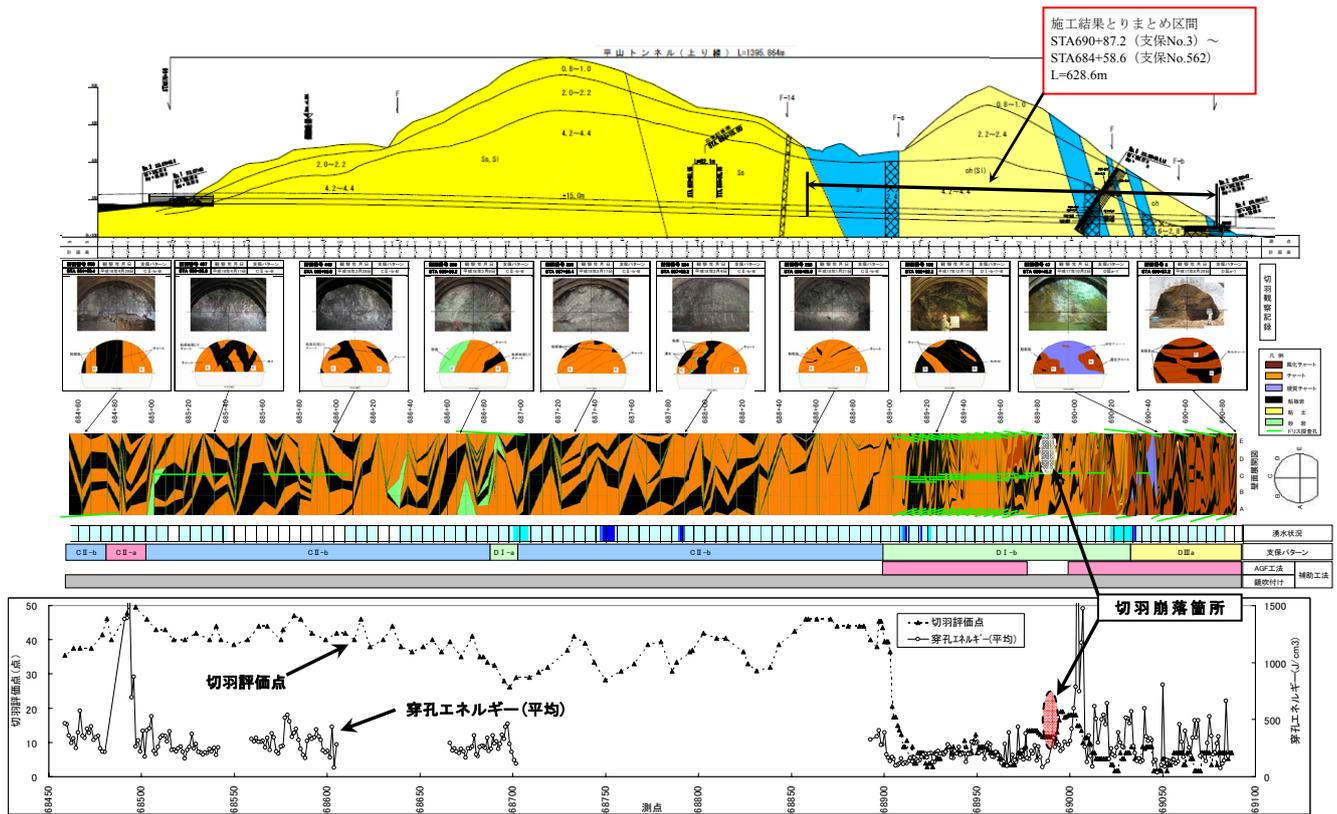


図 15 施工結果まとめ

3.2.5 施工結果の分析

坑口部より実施した切羽前方探査の結果を図 16 に示すように、切羽評価点（加重平均）と穿孔エネルギー（ E_d ）の指標で整理した。

前方探査の実施位置（天端、左側、右側）により多少ばらつきは見られるものの、切羽全体の平均値としては、太点線で囲まれた範囲、すなわち、切羽評価点が 20 点以下、穿孔エネルギーが $200\text{J}/\text{cm}^3$ 付近の範囲に集中している。

また、切羽評価点が高くなると、穿孔エネルギーのばらつきが大きくなる傾向が見られ、特に右側は地質（チャート）の影響でばらつきがあった。

したがって、切羽観察や計測結果の結果等の施工実績も踏まえ、補助工法が必要となる穿孔エネルギー（ E_d ）を $200\text{J}/\text{cm}^3$ 以下と設定し、前方探査の結果を補助工法の必要性の判断材料とした。

一方、図 17 に前方探査結果の一例を示す。ここでは、切羽位置から 12m 前方を穿孔した結果、現切羽は比較的良好な状態であったが、2m~8m 区間にかけて穿孔エネルギーが $200\text{J}/\text{cm}^3$ 以下となり、設計においても、前方に断層破碎帯の出現が予想されていたこともあり、現切羽から長尺鋼管フォアパイリングを施工することで切羽の安定を確保することができた。

このケースでも、穿孔エネルギーが $200\text{J}/\text{cm}^3$ 以下で、補助工法が必要となることが再確認された。

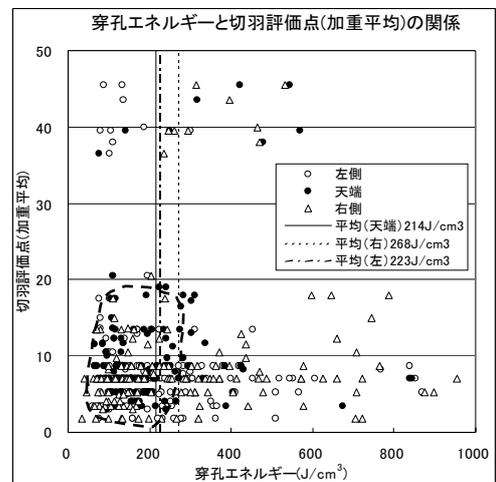


図 16 切羽評価点と穿孔エネルギーの関係

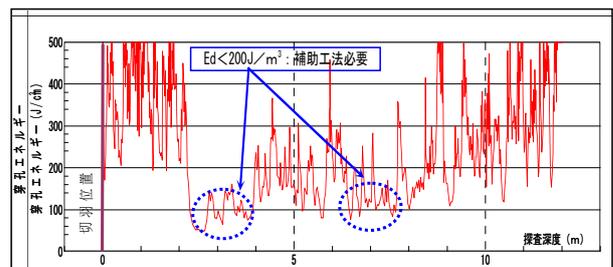


図 17 前方探査結果と補助工法の選定（測点 690 付近）

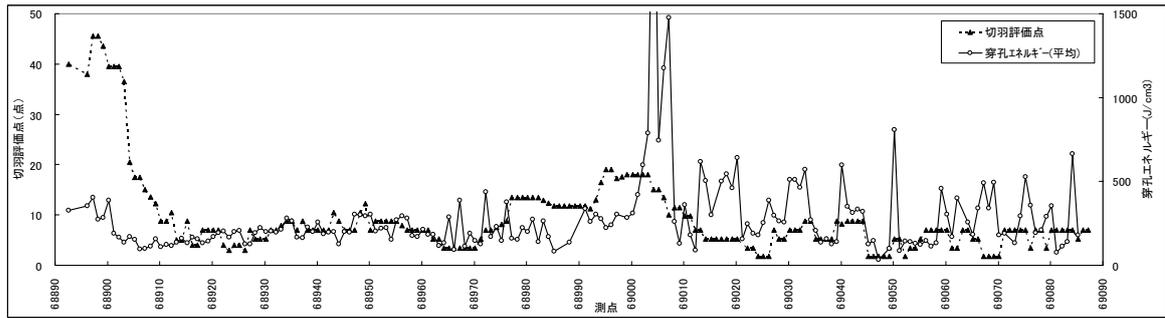


図 18 切羽評価点と穿孔エネルギーの比較

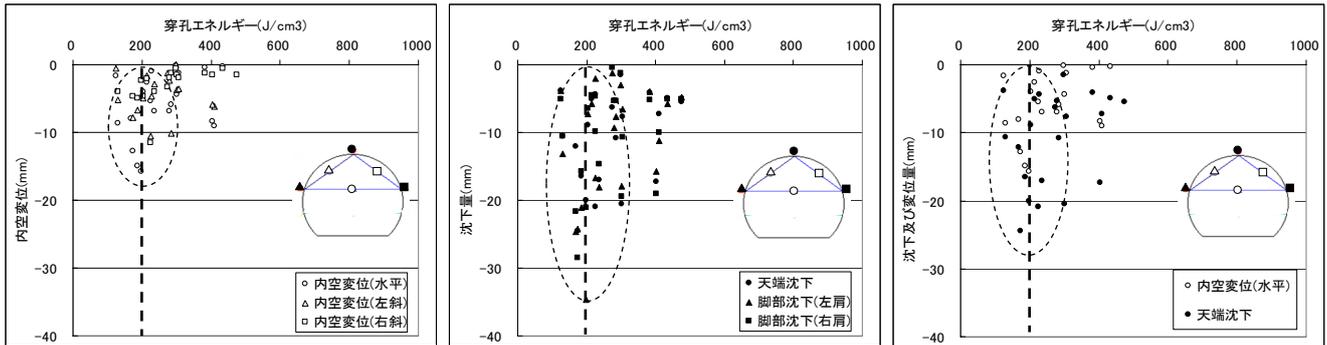


図 19 A計測結果（収束値）と穿孔エネルギーの関係

図 18 は AGF 施工区間における切羽評価点（加重平均）と切羽前方探査による穿孔エネルギーの比較、図 19 は A 計測と穿孔エネルギーの関係を示したものである。穿孔エネルギーのばらつきの原因はレンズ状に分布する比較的硬質なチャート層の存在であるが、地質的に変化の著しい本トンネルでは、 $200\text{J}/\text{cm}^3$ という指標が 1 つの目安となると判断できる。

3.2.6 トンネル地山評価システム導入の効果

山岳トンネルにおける地山評価は、現状では、掘削時に切羽の状態を観察し、切羽評価点として点数化し、支保パターン毎の評価実績や計測結果を比較することで実施している。

この方法では、切羽前方未掘削部の地山評価が行えないため、表 4 に示すような課題が考えられる。

3.1 節において述べたとおり、地山が良好な場合には先行ボーリング等による前方探査も可能であるが、破砕帯や弱層部では孔壁の自立が困難で探査時間も長くなる。

今回導入したトンネル地山評価システムでは、脆弱な地山においても適用が可能である。

施工時に得られる機械データから算出される穿孔エネルギーと切羽評価点や変位等の計測データを蓄積し、その相関関係を把握しておくことで、新たに切羽で得られる機械データを用いて前方の地質を想定する事ができ、地山に適合した支保パターンの選定や必要な対策工（補助工法）の検討のための資料として用いることが可能である。

本工法導入の効果は、表 5 に示すとおりである。

表 4 トンネル地山評価における課題

項目	地山評価における課題
①	地質の変化が多い地山（坑口部、破砕帯、付加体地質等）では、地質の急変により切羽に出現した地山の評価結果とその直後の地質が異なる場合がある。
②	坑口や破砕帯で必要となる補助工法の必要区間長や範囲を事前に設定できない。（特に長尺先受け工の場合）したがって、地山の変化が多い地山ではどうしても安全側の対策を取らざるを得ないため、結果的に不経済な施工となる場合がある。
③	想定外の突発的な湧水や地質の急変が発生する可能性があり、対策工の検討・実施の間、掘削が止まり工程の遅延をまねく場合がある。

表 5 トンネル地山評価システム導入の効果

項目	システム導入の効果
①	地山の急変や突発湧水といった切羽前方地山の予測ができるため、支保の設計や対策工の必要性を掘削に先立って検討、実施できる。
②	掘削作業の安全性、トンネルの品質向上が期待できる。
③	前方地山の予測により、補助工法の区間や範囲を合理的に決めることができるため、経済性が向上する。
④	補助工法を事前に準備することができるため、掘削作業を止めることなく、確実な工程計画が可能となる。

4. まとめ

本報告では、2つの施工事例を紹介した。

1) 硬岩における超大断面部分の交差部において実施したトンネル地山評価システム(ボアホールカメラによる切羽前方探査予測)と補助工法の選定

2) 地質の変化の著しい付加体地山におけるトンネル地山評価システムに基づく補助工法の選定

両事例とも、前方地山評価を行い、施工時の安全確保および効果的な補助工法の選定が実現できたものと考えられる。

1)のボアホールカメラによる前方探査では、施工サイクルに大きな影響を及ぼすことなく実施することが可能であり、実際の亀裂状況や湧水の状態を可視化し、画像として直接見ることができるため、事前の地質調査結果と合わせて総合的な判断を行うことで地質構造の推定が可能となり、事前に対策工の検討を行うことができた。

2)のトンネル地山評価システムの導入では、トンネルの標準機械であるドリルジャンボの穿孔時の機械データを収集・分析することにより、切羽前方の地質を穿孔エネルギーとして定量的に評価することができるため、実現場において補助工法の必要性の判断資料として試行的に適用することができた。

また、地山評価結果の分析では、切羽評価点(平均)と穿孔エネルギー(切羽全体平均値)の間に比較的良好な相関が見られ、切羽前方予測により、補助工法の選定に参考となる資料となりうることを確認された。

これらの事例のように、特殊な施工条件や付加体地質という変化の著しい地山における山岳トンネルの施工において切羽前方の地山状況を適切に評価できることは、作業の安全性確保と同時に、必要な対策の検討を掘削に先立ち実施することで有意義であると考えられる。

特に長尺の先受け工を採用する際の施工区間や施工範囲の決定が可能であるなど、経済的にも有効であると考えられる。また、切羽を止めることなく対策工の検討や資材の調達を行うことができ、確実な工程管理の実現も可能となる。

今後、山岳トンネルを取り巻く条件は都市化、大断面化、偏平化を受けて、一層厳しくなる事が予想される。

また、都市部での施工や厳しい地山条件下での施工が増えてくるため、適切な支保や補助工法の選定がますます重要になってくると考えられる。

今回報告した2事例(写真5, 写真6)におけるトンネル地山評価システムを用いたトンネル施工では、施工時に前方地山条件を確認して適切な支保工と補助工法を選定

することにより、工事の安全確保はもとより、確実かつ経済的なトンネルの施工を実現することができたものと考えられる。

今後、同種工事の参考になれば幸いである。

なお、今回のトンネル地山評価システムの導入ならびに補助工法の検討にあたり、発注者を始め関係各位の方々にご協力いただき、ここに深く感謝の意を表します。



写真5 栗東トンネル集じん機坑全景



写真6 平山トンネル全景

参考文献

- 1)山田浩幸、向井盛夫、大内浩之、村上孝男、井上雅人：250 m²を超える超々大断面(集じん機坑)の設計と施工、土木学会第12回トンネル工学研究論文集、pp.257-262、2002.11
- 2)山田浩幸、原田雅也、田中英男、三木秀二：前方探査に基づく地山評価システムの構築と適用に関する一考察、第61回土木学会年次学術講演会、2006.9
- 3)脚部補強工 技術資料(第三版)、ジェオフロンテ研究会、p.1、2004