

全断面早期閉合における合理化施工

石山 宏二・大谷 達彦・高橋 誠二

切羽に近い位置で一次インバートを施工することで早期に断面を閉合し、トンネルの変形や沈下を抑制できる全断面早期閉合の施工事例が増えている。しかし、安全管理および品質（出来形）管理の面で課題が見られたことから、より合理的な施工を図るために「一次インバート施工管理システム」を開発し、能越自動車道の氷見第8トンネルにおいて現場適用試験を行った。

本文では、一次インバート施工に伴う切羽面の押出し変状とインバート部の出来形をリアルタイムに計測管理する機能を有した「一次インバート施工管理システム」の紹介、ならびに本システムの実用化に向けて取組んだ現場適用試験の結果について述べる。

キーワード：全断面早期閉合、一次インバート、合理化施工、安全管理、品質管理、計測管理

1. はじめに

能越自動車道は、石川県輪島市と富山県砺波市を結ぶ延長約 100 km の高規格幹線道路である。能越自動車道が完成し、北陸自動車道や東海北陸自動車道と接続することによって、能登地域の産業、経済、文化の発展を促進することが期待されている。

本文は、能越自動車道の氷見第8トンネルで行った「補助ベンチ付き全断面掘削工法による早期閉合（以降、全断面早期閉合と称す）」の合理化施工の取り組みを報告するものである。全断面早期閉合は、トンネルの変形や沈下を抑制するために、近年、適用事例が増加している施工法である^{1)~7)}。

図—1 に氷見第8トンネルの位置図を示す。本トンネルでは、安全かつ合理的な全断面早期閉合による

施工を行うために「一次インバート施工管理システム」を開発し、現場適用試験を行った。

2. 全断面早期閉合における合理化施工の取り組み

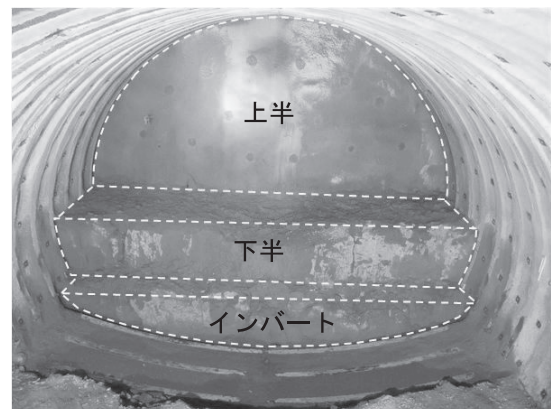
(1) 全断面早期閉合の概要

この施工法は、写真—1 に示すように、切羽から近い位置でインバート部に吹付けコンクリートや、鋼製ストラットを施工し（以降、本設インバート前に施工するインバートを「一次インバート」と称す）、早期にトンネル断面をリング状に閉合する。

早期に断面を閉合することにより安定性の高いトンネルが形成されることによって、トンネルの変形が抑制できる。また、一次インバートによりトンネルの支



図—1 トンネル位置図



写真—1 全断面早期閉合の切羽状況

持面積を拡大することによって、トンネルの沈下を抑制することができる。

(2) 全断面早期閉合における施工上の課題

本トンネルに先行して施工した能越自動車道の七尾トンネル工事において、全断面早期閉合を適用した(図一1参照)。その施工実績から、全断面早期閉合を適用する際の施工上の課題が明らかになった。以下に課題を示す。

(a) 安全管理

全断面早期閉合は、従来の不良地山に対する一般的な掘削工法である上半先進ベンチカット工法に比べて掘削断面積が大きく、切羽が不安定になりやすい。

このような中、一次インバート施工時には、写真一2のように切羽近傍での作業時間が長くなり、切羽崩落に巻き込まれる重大災害につながるリスクが高くなる。



写真一2 鋼製ストラット設置状況

したがって、全断面早期閉合の適用時は、切羽の安定対策を十分に施すとともに、切羽の変状を監視することが重要となる。

(b) 品質管理

一次インバートの出来形管理は、一般的に、水糸(高さの基準に使う糸)やレーザー等を基準にして掘削高さや支保工設置位置を目視で確認している(写真一3)。しかし、この方法では計測頻度が限られるため、掘



写真一3 水系による掘削高さ確認状況

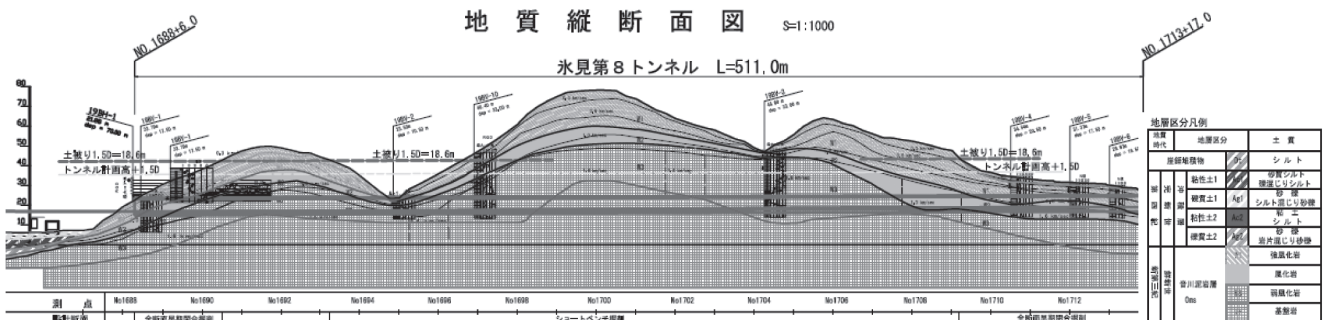
削の過不足や鋼製ストラット設置の精度不良、吹付けコンクリートの巻厚不足等が懸念され、一次インバート全体の品質に影響を与える可能性がある。

そこで、全断面早期閉合の適用時は、一次インバートの掘削、支保工設置を精度よく行うための品質(出来形)管理手法の確立が重要となる。

3. 氷見第8トンネルの施工概要

氷見第8トンネルでは、起点側坑口部43.5m、終点側坑口部93.0mの合計136.5mに全断面早期閉合を適用した(図一2参照)。これら両坑口部には、固結度の低い強風化泥岩が存在していて、トンネルの支持力が不足する状況であった。そこで、当初設計において3次元FEM解析が実施され、その結果からトンネルの沈下対策として全断面早期閉合が計画された。図一3および図一4に、氷見第8トンネルの全断面早期閉合区間における支保パターン横断面図および縦断面図を示す。

本トンネルでは、全断面早期閉合を適用することにより、天端沈下を適用前の40%(40.0mm→15.8mm)に抑制することができた。この低減率は、前述した七尾トンネルとほぼ同等の値である。



図一2 地質縦断面図

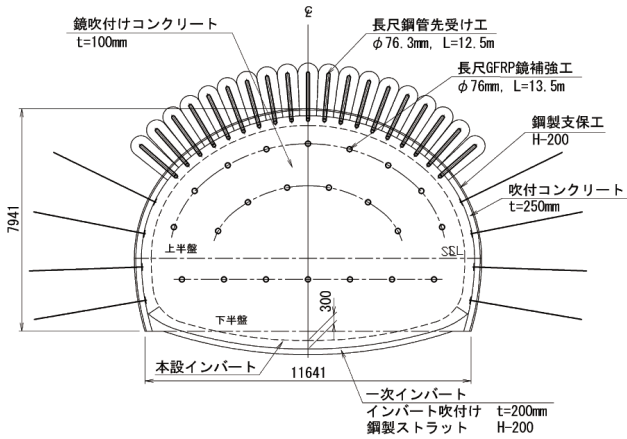


図-3 氷見第8トンネル横断面図

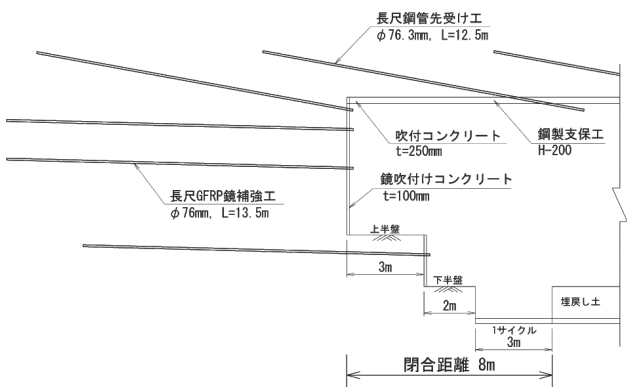


図-4 氷見第8トンネル縦断面図

4. 一次インバート施工管理システム



七尾トンネルで実施した全断面早期閉合において、安全管理および品質管理の体制確立が課題として挙げられた。そこで、この課題解決策として「一次インバート施工管理システム」を開発し、氷見第8トンネルの到達側（終点側）坑口部にて試験施工を行い、その有効性、施工性について検証した。

(1) システムの概要

「一次インバート施工管理システム」の概念図を図-5に示す。本システムでは、インバート掘削に伴う切羽面の押出し変状と、インバート部の出来形（掘削高、支保工設置高・位置）をリアルタイムに計測管理し、設計位置との差異を画面表示する。具体的な機能は、「切羽変状計測」、「インバート掘削高計測」、「支保工計測」の3つで、各々の役割と特長を以下に記す。なお、本システムを廉価かつ確実に機能させるため、山岳トンネル工事の施工管理に多くの実績を有する既存のトンネルマーキング・計測システム⁸⁾に追加できる機能として開発した。

本システムで使用する機器は、一次インバート施工時に掘削部近傍に配置するトータルステーション1台と、これを無線で操作可能な坑内仕様のハンディPC（タッチパネル方式）から構成される。これらは上記トンネルマーキング・計測システムの付属機器であり、表-1に示す比較的計測精度の高いトータルステーションを選定・採用することを推奨している。

表-1 利用可能なトータルステーションの仕様例

トータルステーション			
		SOKKIA NET1	LEICA TCRA1103
測距精度 (mm)	反射シート使用時	1+1ppm × D	5+2ppm × D
	プリズム使用時	1.5+1ppm × D	2+2ppm × D
	ノンプリズム時	3+1ppm × D	3+2ppm × D
ターゲット照明装置		搭載	-
測角精度 (秒)		1	3
測距時間	精密測定	0.9s毎 (初回2.4s未満)	1s
	高速測定	0.6s毎 (初回2.0s未満)	
	トラッキング	0.4s毎 (初回1.3s未満)	0.3s毎

※ D: 測定距離 (mm), ノンプリズムでの精度は計測条件 (湧水等) により異なる場合がある

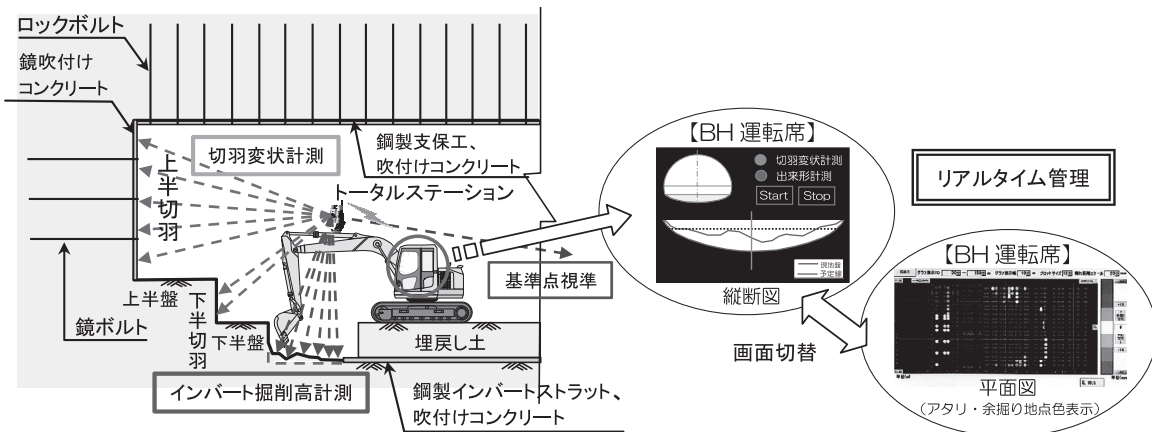


図-5 一次インバート施工管理システム概念図

(a) 切羽変状計測

一次インバート掘削時の切羽面の押出し状況をノンプリズム方式で自動計測し、リアルタイムで切羽変状監視を行う。

図-6に示すように、切羽面上に設定した標準9点の測点をターゲットとし、測点ごとに押出し量に応じて「範囲内」、「注意」、「要注意」、「嚴重注意」の4段階を色分けしてハンディPC画面に表示し、掘削機械のオペレータに切羽面の状況を知らせる。最も危険な「嚴重注意」段階では、パトライト等の報知器と連動し、坑内作業員全員に危険性を自動通報することも可能である。

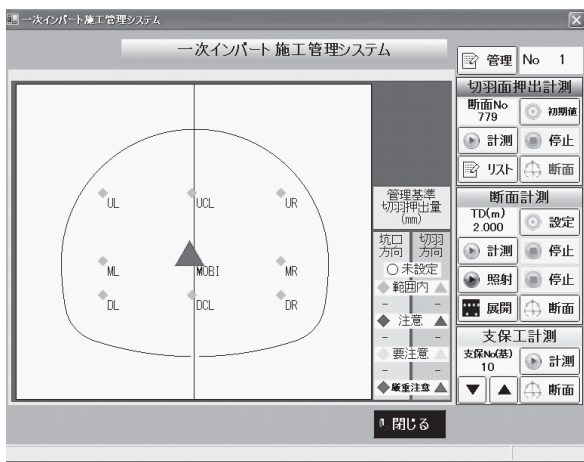


図-6 「切羽変状計測」モードでの計測画面

(b) インバート掘削高計測

一次インバートの掘削がある程度進んだ段階で「切羽変状計測」から「インバート掘削高計測」へとシステムのモードを切替えて、掘削中の一次インバートの掘削高をノンプリズム方式で自動計測する。

掘削面上の計測断面に設定した標準12点/断面の測点をターゲットとし、測点ごとに掘削高を計測して床付け面計画高に対する差異量をハンディPC画面に表示する。これにより掘削作業は過不足（余掘り、アタリ）確認を行いながら実施可能となる。また、掘削作業の過程を考慮して計測対象範囲をインバート部の「左側」、「右側」、「全断面」に選択ができる。計測結果（余掘りやアタリの量）は図-7に示すように断面図、あるいは展開平面図での表示が選択可能となっている。

なお、切羽面の押出し状況が気になる際は、随時「切羽変状計測」モードに切替えることで変状監視が可能となる。

(c) 支保工計測

一次インバートの掘削終了後、床付け面へ支保工を

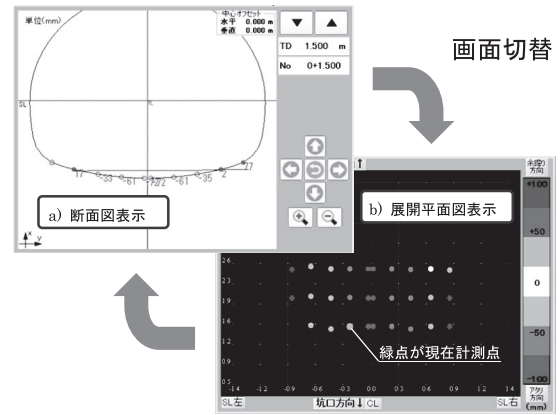


図-7 「インバート掘削高計測」モードでの計測画面

設置する際にシステムのモードを「支保工計測」に切替え、ハンディPCでトータルステーションを遠隔操作し、プリズム方式で支保工の設置状況（設計高・位置との誤差）を高精度に手動計測する。

ターゲットとなる反射プリズムは、支保工上の所定位置（左、右、中央）に設置し、図-8に示すように、計測結果（設計位置とのずれ量・方向）を瞬時に表示することで、支保工を直ちに適正な位置へと誘導修正することが可能となり、トンネルの品質が確保できる。また、支保工の出来形データを最終的に帳票として残すことで、トンネル供用後における維持管理を行う上でのトレーサビリティ確保にも役立つ。

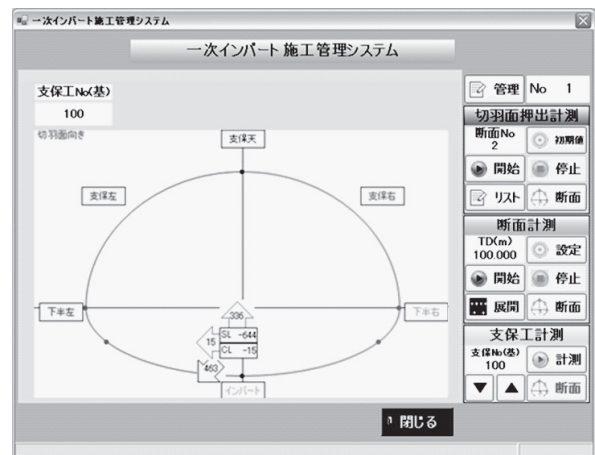


図-8 「支保工計測」モードでの計測画面

(2) 現場適用試験による検証

本システムにおいて実用化を目指す上での課題は、切羽および一次インバート部を計測可能なトータルステーションの設置位置と設置方法であった。

本トンネルでは、写真-4に示すように、側壁肩部のロックボルト頭部に架台治具を取り付け、その上にトータルステーションを設置する方法を考案し採用した。その結果、掘削作業へ支障を与えることなく、

トータルステーション

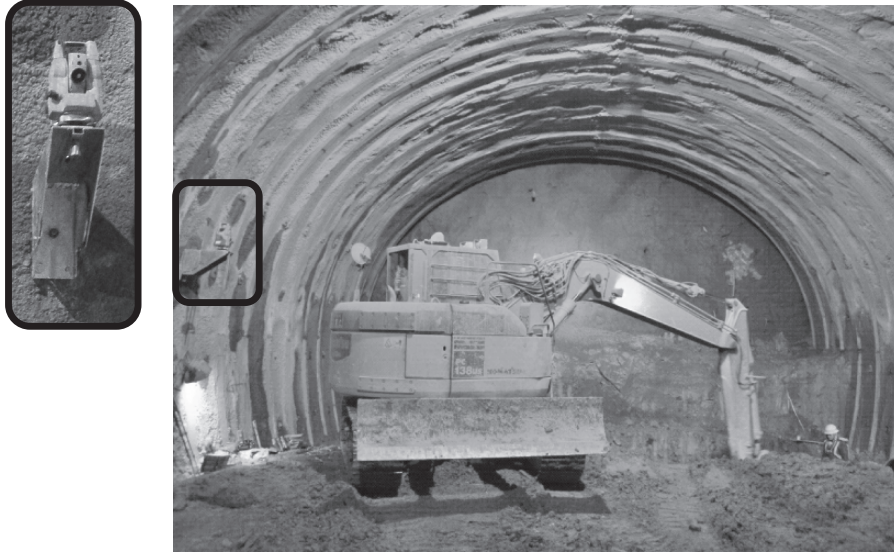


写真4 現場適用試験におけるトータルステーション設置状況

一次インバート施工範囲の全体を計測できることが確認できた。

5. おわりに

氷見第8トンネルでは、全断面早期閉合の安全と品質を確保するための「一次インバート施工管理システム」の適用試験を行った。今後、本システムの適用実績を増やすことで操作性や機能の改善を適宜行い、システムの充実を目指していきたい。また、ハンディPCの操作・確認は、現状、職員が行ったが、将来的には掘削機のオペレータが操作できる運用形態を目指している。

今回の報告が、今後の施工の参考になれば幸いである。

J C M A

《参考文献》

- 1) 御手洗良夫, 森崎泰隆, 今田徹: 全断面早期閉合による施工法の考え方とその事例, トンネルと地下 第38巻9号, pp.51-61, 2007.9.
- 2) 浜野善治, 宮崎俊英, 熊谷幸博: 膨張性地山での坑口部の対策工法—ふるさと農道整備工事—七海トンネル工事一, 土木技術 60巻10号, pp.28-34, 2005.10.
- 3) 徳留修, 大津敏郎, 広瀬雅明, 澤田一也: 断層・褶曲作用を受けた脆弱泥岩地山における変位抑制対策, トンネル工学報告集 第17巻, pp.29-34, 2007.11.
- 4) 平野宏幸, 白田芳彦, 清水則一, 神澤幸治, 宮田和: 長尺鏡ボルトと早期断面閉合を用いた地すべり地直下のトンネル施工, 第12回岩の力学国内シンポジウム 併催: 第29回西日本岩盤工学シンポジウム, pp.903-907, 2008.1.

- 5) 秋田修, 真弓英大, 玉井昭雄, 岡山徹: 中央構造線擾乱帯を貫く一三遠南信自動車道 三遠トンネル一, トンネルと地下 第39巻10号, pp.17-27, 2008.10.
- 6) 寺山徹, 津野和宏, 内野貴志, 蛭川愛志: 補助ベンチ付き全断面掘削・早期閉合で都市トンネルを掘る—岸谷生麦線(生麦方向行き)トンネル工事一, トンネルと地下, 第39巻5号, pp.7-17, 2008.5.
- 7) 中野清人, 佐藤諭一, 本藤敦: 蛇紋岩地すべり脆弱部を早期閉合で掘削—北海道横断自動車道 タンネナイトンネル一, トンネルと地下, 第41巻3号, pp.7-16, 2010.3.
- 8) ジェオフロンテ研究会: 山岳トンネルにおけるICT活用事例, pp.22-27, 2010.3.

【筆者紹介】

石山 宏二 (いしやま こうじ)
西松建設㈱
技術研究所土木技術グループ
主席研究員



大谷 達彦 (おおたに たつひこ)
西松建設㈱
土木設計部設計課
課長代理



高橋 誠二 (たかはし せいじ)
西松建設㈱
氷見第8トンネル工事
監理技術者

