

高速道路供用線におけるインバート補強工事の施工 ー北陸自動車道 米山トンネルー

Construction of Invert Reinforcement Work on Expressway Lines (YONEYAMA Tunnel on the HOKURIKU Expressway)

佐々木 和人^{※1}
Kazuhiro Sasaki

石野 卓哉^{※1}
Takuya Ishino

板野 光純^{※2}
Mitsuyoshi Itano

大畠 継夫^{※3}
Tsuguo Ohata

西原 圭美^{※4}
Tamami Nishihara

熊谷 幸樹^{※4}
Koki Kumagai

川端 康夫^{※5}
Yasuo Kawabata

【要旨】

北陸自動車道米山トンネル下り線は、1983年に供用して以来約40年が経過している。1996年に舗装面が最大108mm隆起し、2007年に発生した中越沖地震では覆工表面が部分的にはく落する等の被害が生じた。復旧工事後に路面隆起が継続していることから、2022年にインバートを新たに設置するリニューアル工事（L=450m）を実施した。本工事は、高速道路の矢板工法で施工されたトンネルでは、初めてのインバート補強工事である。

本稿は、高速道路供用線の特殊性として、高速道路外からの工事用道路の取付け、渡り線を設置した対面通行規制について示す。次に、インバート補強工事として、路面隆起の発生状況、インバート補強工事の設計・施工段階での検討、施工の工程、使用機械およびインバート施工時の計測結果について示す。さらに、供用線工事の工期遵守を目的として実施した施工上の工夫について報告する。

【キーワード】 供用線工事 渡り線 矢板工法 道路トンネル 路面隆起 インバート補強工

1. はじめに

表-1に示す米山トンネルは新潟県の柿崎IC～米山IC間に位置する矢板工法で施工された延長1,616mの道路トンネルであり、米山IC側から新第三紀の西山層(泥岩、火山角礫岩～角礫凝灰岩)、安山岩の貫入岩体、西山層(火山角礫岩～角礫凝灰岩)、聖ヶ鼻層(砂岩泥岩互層)、椎谷層(砂岩、砂質泥岩、泥岩)から構成される(図-1)。

1996年に路面の隆起や、円形水路と路面との間に20～50mmの段差が確認された。路面の隆起は最大で108mm

表-1 工事概要

工事名	北陸自動車道米山トンネル補強工事
発注者	東日本高速道路株式会社
施工者	飛鳥建設株式会社首都圏土木支店
施工位置	北陸自動車道柿崎IC～米山IC下り線
完成年	昭和58年(矢板工法)
工期	令和3年(2021)2月～令和5年(2023)12月
施工延長	KP381.685～382.325, L=450m

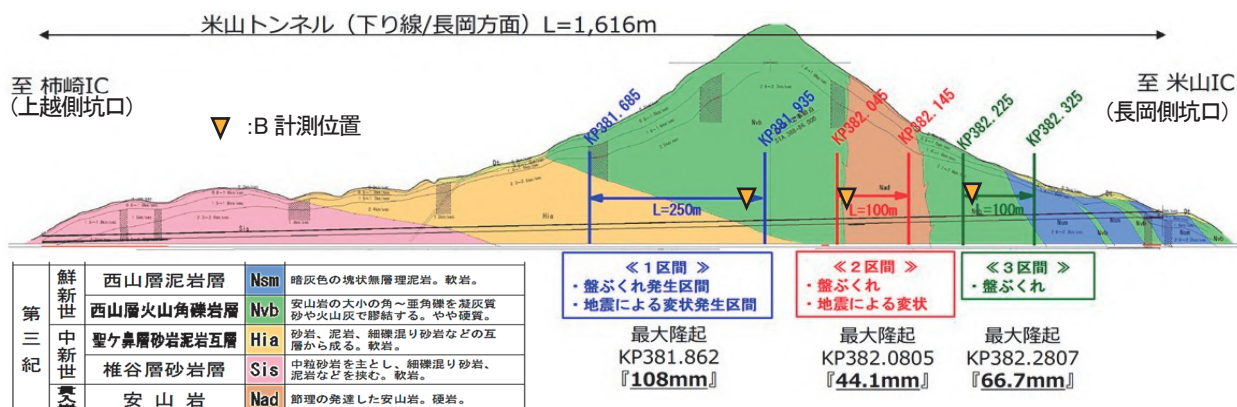


図-1 縦断面

- 1.土木本部 [大阪] 北陸道覆工再生曾々木作業所
- 2.土木本部 [名古屋] 南アルプストンネル作業所
- 3.土木本部 [東北] 東北道北上RN作業所
- 4.土木本部 土木技術部
- 5.土木本部 土木FSC リニューアルG

が生じて舗装面にひび割れが確認された。その後、2007年に発生した中越沖地震でも変状が確認され¹⁾、2009年には施工時に工事が難航したインバート設置箇所で、上・下半の打継目箇所が弱点となり、側圧の影響により覆工の部分的な落などの損傷を受けたが、これらの災害の復旧工事が実施された。

2011年～2019年の路面隆起は、最大で2.0mm/年となっており進行が確認された。2009年の変状原因調査結果では浸水崩壊度が判定「D：24時間後、原形をとどめないもの」であり、かつX線回析分析の結果では膨潤性粘土鉱物のスメクタイトが微量から少量含まれていた。これらの結果から、湧水等によりトンネル下の路盤が強度低下を生じて路面隆起が継続していると考えられた。

以上を踏まえて、中越沖地震他の地震の影響が考えられる箇所と路面計画高と測定値との差が概ね20mm以上の箇所、および変位速度が概ね0.5mm/年以上の箇所を変状に対する補強対象として設定し、総延長L=450mにインバート設置が計画された。

本工事は、高速道路の矢板工法のトンネルでは、初めてのインバート補強工事である。NEXCO 東日本と協働し、試行錯誤を繰り返しながら施工を進めた。

本稿は、高速道路供用線の特殊性として、渡り線を設置した対面通行規制、高速道路外からの工事用道路の取付けについて示し、さらにインバート補強工事として、路面隆起の発生状況、インバート補強工事の設計・施工段階での検討、施工工程、使用機械およびインバート施工時の計測結果を示す。さらに供用線工事の工期遵守についての工夫について報告する。

2. 高速道路上の渡り線工事と工事用道路の設置

2.1 渡り線設置工事

渡り線の施工数量一覧を表-2に示す。渡り線とは、米山トンネルの下り線側の一定区間を通行止めにし、上り線を対面通行にするために設置する仮設の走行路である。柿崎側で下り線を1車線に絞込み、走行する車両を上り線の追越車線へ渡し、米山側で上り線側から下り線へ車両を戻す構造とした。対面通行への切り替えは1夜間（20:00～翌6:00）で施工しなければならなかった。渡り線設置順序を以下に示す。

- ①走行車線規制により路肩拡幅
- ②追い越し側の規制を行い、防護柵撤去、仮設防護柵設置、光ケーブルの養生などの施工
- ③仮設備完了後、中央分離帯内の捨土掘削を行い粒状路盤、As 安定処理を施工
- ④本線の切削を行った後、本線と中央分離帯内のAs 基層、表層舗装を施工

当初設計では、NEXCO 東日本の標準に従い、米山側の渡り線を下り線の走行車線に摺り付ける計画であった。

表-2 渡り線施工数量一覧表

	延長	幅員	切土工	粒状路盤	アスファルト	アスファルト	アスファルト
					安定処理路盤 (t=100～700mm)	基層工 (t=60mm)	表層工 (t=40mm)
	m	m	m ³	m ³	m ²	m ²	m ²
柿崎側	678.2	5	1,565.40	1,664.00	5,392.80	2,960.00	3,762.90
米山側	398.5	5	576	927.2	1,917.60	1,665.90	1,848.50

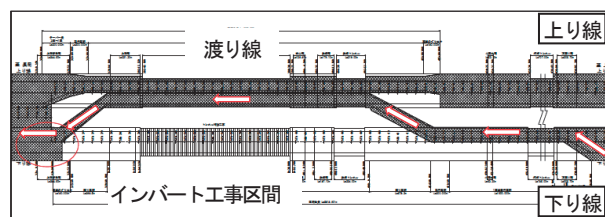


図-2 渡り線の線形修正後の平面図

しかしながら、作業量が多く、1夜間で施工が完了しないリスクが高かった。そのため図-2の朱丸に示すように線形を米山側下り線の追越車線に擦りつく構造に修正し、無事に1夜間での対面通行への切り替えを完了することができた。

渡り線の施工に際しての注意点には品質面と安全面がある。品質面では、万が一走行に支障のある事態が発生した場合、補修のために通行止めを行う必要があるため、大きな不具合を発生させないことが重要である。そのため事前に地質調査を行い、脆弱部には粒状路盤上への敷き鉄板敷設（約400m²）や碎石に変えてアスファルト安定処理路盤工の厚さを700mmまで厚くした。これらにより渡り線供用中のトラブルは発生しなかった。



写真-1 渡り線施工状況



写真-2 工事用道路全景

安全面では特に、一般の運転手に恐怖心を与えないように交通誘導員による注意喚起を行いながら走行車線に近接する作業を行った。渡り線工事状況を写真－１に示す。

2.2 工事用道路の設置

対面通行での米山トンネル下り線の通行止め内でのインバート施工における効率化のため、米山トンネルの柿崎側と米山側の２箇所で一般道から直接高速道路に出入りできる工事用道路が計画された。米山側の工事用道路は既設の県道をほぼそのまま一般車両と供用しながら利用した。工事終了時点で路面の傷みの進行した箇所は認められず、補修の必要は生じなかった。

柿崎側は NEXCO 敷地内に親杭横矢板で最大深さ 5m の掘削により構築するものであった。施工に先立ち地質調査を行ったところ、地質は砂地山で親杭の安定が確保できず、本線への影響が懸念された。そのため、写真－２に示すように大きく線形を変更し、民地を賃借しての盛土形状の工事用道路とした。施工範囲も限られることから法尻に大型土のう（高さ最大 7m）を積み上げた。

工事用道路の設置により規制帯内への工事関係車両の進入・退出時の一般車両との接触リスクを完全に排除できた。さらに仮設ヤードからのアクセス性が向上したため、資機材の搬出入をスムーズに行うことができた。

3. インバート補強工事

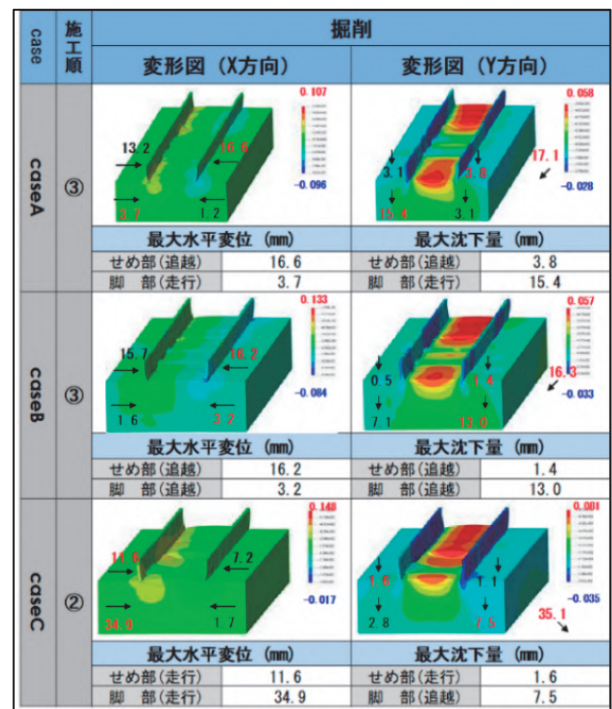
3.1 インバート掘削の一施工単位の検討

インバート掘削の一施工単位の検討は三次元弾塑性解析を用いた解析的手法で検討した。インバート形状は既存のインバートに合わせることで、解析ケースは表－３に示すように、インバート掘削の一施工単位 L=6m を標準ケース(CaseA)とし、CaseA' は覆工の沈下防止を目的に事前補強として補強ボルトを追加したケース、CaseB は標準より掘削幅を小さくし、L=3m としたケース、CaseC は掘削幅を 12m に長くしたケースとして比較を行った。

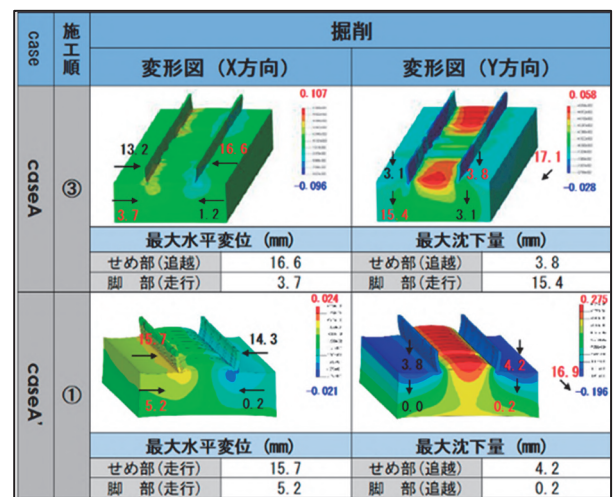
検討結果として、1 区間における解析結果を図－３、図－４に示す。各ケースの変位量は、最大変位量が CaseC>CaseA>CaseB である。CaseA、B は約 1mm の差であり大きな差異はないが若干 CaseB が優位である。CaseA（ロ

表－３ インバート部掘削スパン割

掘削パターン		先行掘削（足付け部）		インバート掘削（足付け部（残））	
		施工位置(始点)	長さ(m)	長さ(m)	長さ(m)
CaseA	標準ケース	アーチ目地部	6.00	6.00	—
CaseA'	標準ケース ロックボルト有	アーチ目地部	6.00	6.00	—
CaseB	標準より掘削幅小	アーチ目地部	3.00	6.00	3.00
CaseC	足付け無 ロックボルト無	先行なし		12.00	—



図－３ 区間施工時影響解析(変位)結果



図－４ 区間施工時影響解析(変位：ロックボルト有無)結果

ックボルト無)と CaseA'（ロックボルト有）の対比を行うと、CaseA の 17.5mm に対し CaseA' は 16.9mm となり、概ね 0.6mm の変位抑制効果が発揮されるものとなった。

以上の結果を踏まえてインバート掘削の施工方法は、矢板工法トンネルでの初めての工事であることから安全性の確保を重視し、事前に補強ボルトを設置する掘削長 6m の全幅一括掘削（CaseA'）を基本とした。

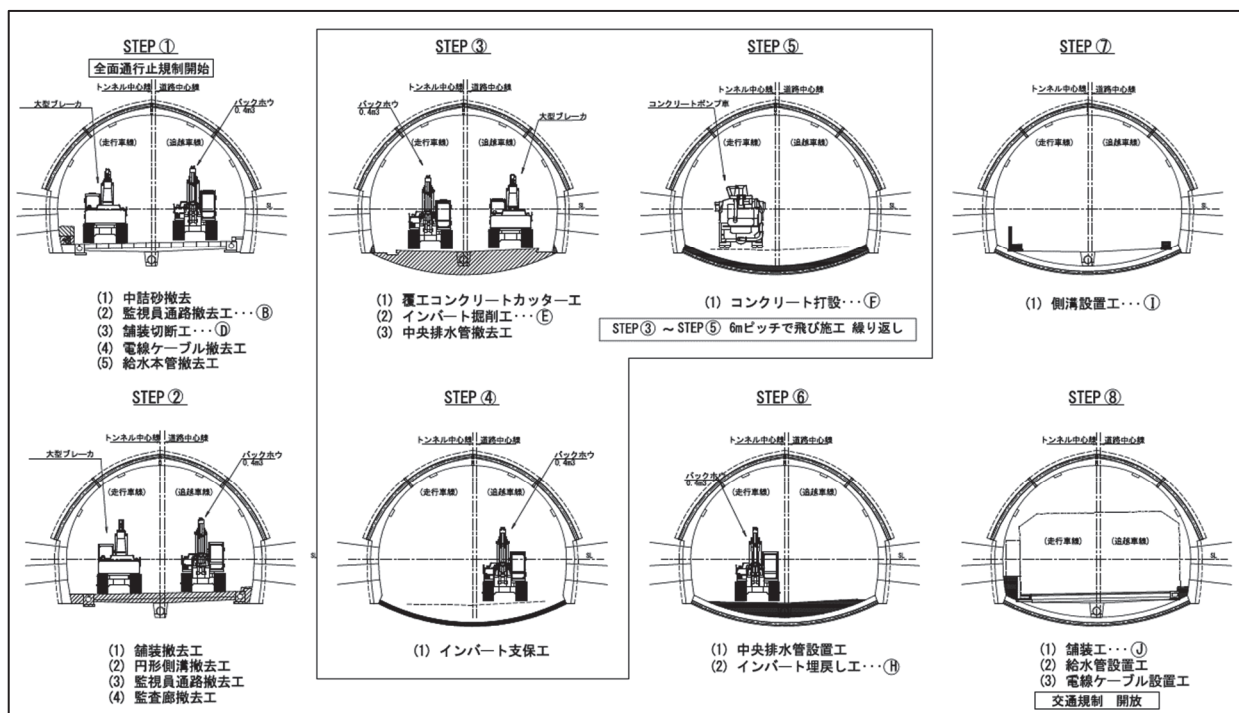
3.2 施工ステップと工事工程

本工事の計画・実施工程を表－４に示す。施工ステップを図－５に示す。１年目に側壁に補強ボルトの打設や光ケーブルの移設などを実施し、２年目に監視員通路などの構造物の撤去や舗装版を撤去した後に、インバート

表－4 計画・実施工程表

		2021(1年目)												2022(2年目)												2023(3年目)												2024														
		5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3																
規制	走行側規制	冬期休止期間													冬期休止期間													冬期休止期間																								
	追越側規制																																																			
	対面通行規制																																																			
施工	渡り線	設置													撤去													撤去																								
	支障ケーブル工	調査・切替準備												切替・撤去												復旧												※執筆時(2023年3月)														
	補強ボルト工													昼夜、切断6班・取壊し4班																																						
	インバート工	昼間、2班												掘削・支保												復旧												復旧														
	監視員通路 監査廊													取壊し												復旧												復旧														
	舗装工													昼夜、4班												復旧												復旧														
	追加工事	集水補修他												集水補修、試験施工他												切削・オーバーレイ																										
		■ 計画 ■ 実績																																																		

■ 計画 ■ 実績



図－5 施工ステップ

本体の施工に着手する。降雪期には交通規制ができないため、本工事は降雪期前である2022年11月末まで(冬季休止期間前)にすべての工事を完了し、交通開放する必要があった。そのうち、インバート設置工事は2022年5月初～10月末の6か月間のみの限られた期間であった。

インバート施工箇所は1工区(L=250m)、2工区(L=100m)、3工区(L=100m)の3箇所に及ぶため、片押しで施工すると冬季休止期間までに完了できないことから、上越側からと長岡側からの両坑口から同時施工を計画した(図－1参照)。当初計画では、それぞれの工区で工期短縮のため、複数工種、複数施工箇所を同時に施工することを計画していたが、トンネル延長1,616mに対して、3つの工区が広範囲に分布していることや、進入路が両坑口の2箇所である条件となっていることから、コンクリート構

造物の切断作業と取り壊し作業、さらには取り壊したコンクリート塊の搬出などの作業が輻輳することとなった。このため、作業ヤードの確保や資機材の搬出入のために作業を中断して通行路を確保するなど、作業効率が上がらない状況であったため、昼夜間施工に変更し施工班を当初計画の2倍以上投入して効率化を図った。

インバート工事完了後、監視員通路や監査廊などの構造物の復旧工事、連続鉄筋コンクリート舗装版工に着手した。舗装工事は日中に行い、夜間時間帯での作業を管路工やケーブル工の設置工に変更して工期短縮化を図った。以上の対応により、2022年10月31日に計画どおり対面通行規制から追越車線規制に切り替えることができ、その後、11月28日に4車線開放を実施できた。

3.3 施工機械

表－5 使用機械一覧表

工種	使用機械
補強ボルト工	穿孔機械: T25
インバート工	掘削: 0.4m ³ BH/0.7m ³ 級BH 支保工設置: 0.4m ³ 級BH
監視員通路 監査廊	縦壁切断 (ウォールソーイングマシンWS-440HF)
舗装工	トンネル内舗装撤去(フラットソー-AZZ II 601+0.4m ³ ・0.7m ³ 級バックホウ)

各工種における使用機械一覧を表－5に示す。補強ボルト工では、車線規制により通常の穿孔機械を使用することができないため、ガイドセルが短い機械を使用した。また、施工期間に制約があるため削孔から打設まで昼夜2班で施工した。

インバート工事の施工前に実施した連続鉄筋コンクリート舗装版や監視員通路、覆工脚部などの切断作業については、2022年GW明けの5月10日より、下り線追越側の舗装版、監査廊の取り壊しを開始した。さらに走行側の監視員通路には消火栓などの非常用施設設備があるため、下り線の通行止め後の6月1日より着手した。構造物取壊しにおいて、最も時間を要したのがコンクリート舗装版、監視員通路、覆工脚部などの切断作業(写真－3、4)であった。

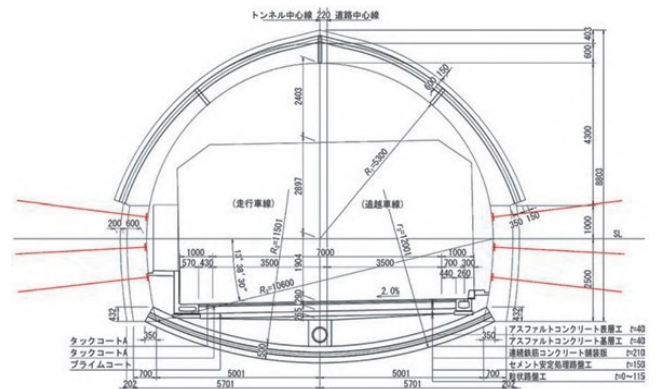


写真－3 コンクリート舗装版撤去状況



写真－4 覆工脚部の切断状況

3.4 補強ボルト工



図－6 補強ボルト工標準断面図

側壁の補強ボルトは、インバート掘削時の覆工の沈下や側壁の変形抑制を目的としている。インバート対策延長のL=450mで、各断面の両側に3本、L=4m、打設間隔は上下方向に0.9mピッチ、トンネル軸方向1.5mピッチで総計1,812本を打設した。図－6に標準断面図を示す。

補強ボルトの施工に先立ち覆工背面の空洞調査を行い、覆工背面に空洞がないことを確認した。車線規制しながらの施工可能幅は、走行側が5,520mm、追越側は5,080mmに制限されている。そのため、削岩機のガイドセルを短く改造することや、一般車両への安全対策として削孔機にくり粉の吸引システムを搭載するなどの対策を実施し、規制帯内での施工を可能にした。

地質が脆弱な砂岩、泥岩であるため、削孔では削孔水の影響で孔壁の自立が期待できないことや、注水による地山の劣化を最小限とするため、無水削孔による自穿孔ボルトを採用した。削岩機は孔荒れ時の施工性の低下を考慮し、削孔能力の高い210kg級を採用した。さらに、インバート施工時の安全性に関係する側壁背面の地山性状を把握する目的で、すべての削孔について削孔検層を行った。

結果的に湧水が少なく背面空洞がなく地山の孔壁の自立性が良好であったことから、補強ボルトのモルタルを確実に充填することができた。

3.5 インバート工

(1) インバート設置工

インバートの施工は解析結果に基づき、全幅一括施工のL=6mピッチで施工した。施工順序は、図－7に示すように奇数スパンを先行して全数施工(以下「先行施工」という)し、後行で偶数スパンを全数スパン施工(以下「後行施工」という)する。まず、路盤を掘削し全体的に盤下げし、覆工脚部を斜めにウォールソーで切断した後、最初の掘削スパンの初期掘削施工は観察を強化して細心の注意を払いながら施工した。

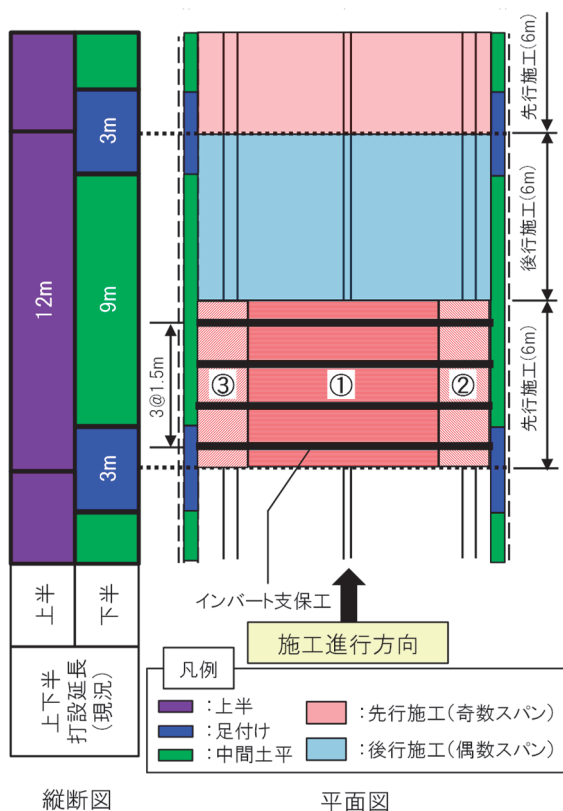
各施工の順序は、①中央部掘削、②追越側土平掘削、③走行側土平掘削、④支保工設置、⑤型枠設置、⑥インバートコンクリート打設とし、計測工は内空変位や脚部沈

下、覆工応力測定、せめ部（側壁部の覆工上半部との境界部で、コンクリートの投入口をいう）の目離れ測定、打設後のインバート支保工応力、インバートコンクリート応力の計測を実施し、計測結果を基に施工状況と合わせて安全性を確認しながら進めた。施工状況を写真－５に示す。

支保構造のうち、インバートに設置する鋼製支保工は 2 車線の道路トンネルで用いられている NH200 と同等な強度で軽量な HH154 高規格（HT590 相当）を採用している。インバートコンクリートの強度は、インバート掘削

表－6 管理基準値

測定項目	レベルⅠ (警戒)	レベルⅡ (緊急)	レベルⅢ (非常)
【初期掘削】 内空変位 (+縮小, -拡大)	±5mm	±10mm	±15mm
【インバート設置後】 内空変位 (+縮小, -拡大)	±10mm	±20mm	±30mm
天端沈下, 脚部沈下, 打継 部変位 (+沈下)	2.5mm	5.0mm	7.5mm
覆工応力(-圧縮)	-6N/mm ²	-10.5N/mm ²	-15N/mm ²
ロックボルトの軸力	58kN	116kN	175kN
地中変位(+拡大)	+2.5mm	+5.0mm	+7.5mm
インバートコンクリート応力 (-圧縮)	-12N/mm ²	-24N/mm ²	-36N/mm ²
インバート支保工応力測定 (-圧縮)	-110N/mm ²	-165N/mm ²	-220N/mm ²



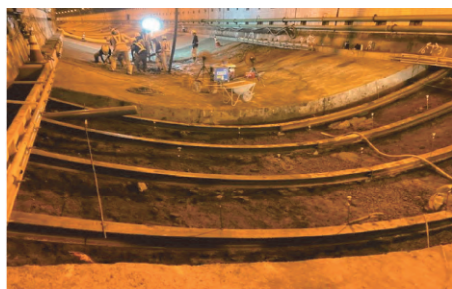
図－7 インバート工施工順序



ブレイカによる岩砕【初期掘削】



小型バックホウ掘削【初期掘削】



インバート支保工設置



コンクリート打設状況



コンクリート打設完了

写真－５ インバート工施工状況

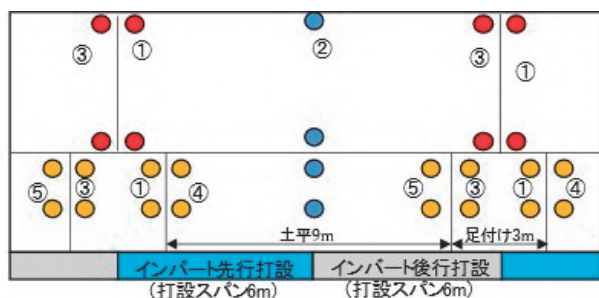


図-8 計測位置

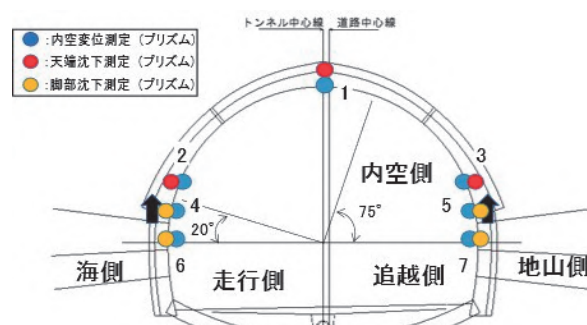


図-9 計測断面図

後の覆工の沈下や変位を抑制するため、インバートにより早期に覆工を閉合させ、初期強度の高い σ_{28} 強度 36N/mm^2 の早強コンクリートを適用することとした。

施工前に懸念された掘削時の湧水については、下り線全体で 150l/min 程度の湧水が認められたが、泥濁化することはなかった。そのため、夜間に高速道路上の通行止め区間内に掘削土を仮置きして、翌日の日中に残土処分場に直接運搬が可能であった。

(2) 計測管理計画と計測結果

各計測項目における管理基準値を表-6に示す。管理基準値は、過去の事例を参考として数値解析の結果や各部材の許容耐力から設定した。計測位置は矢板トンネルの覆工目地部を考慮して図-8、9のとおり複数の側線を配置した。また、覆工側壁の沈下やせめ部の目地の開き、インバート設置効果の分析に着目し、各区間の初回の施工スパン(3断面)位置に、B計測(図-10)を計

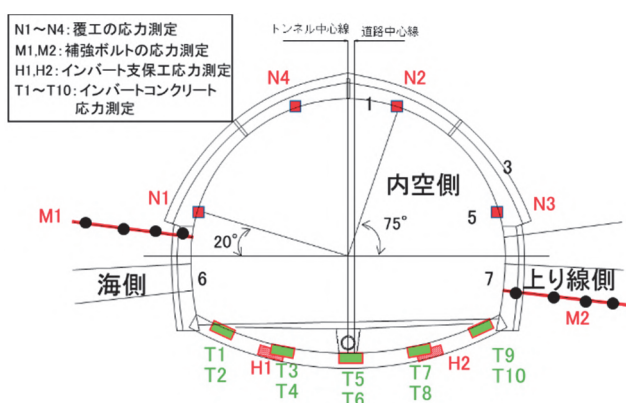


図-10 B計測断面図

表-7 管理レベルを超える場合の対策工

対策段階	管理レベル 超越時期	対策工の種類
STEP1	掘削時応急措置	掘削を停止し、直ちに掘削箇所を埋戻し、盛土する。
STEP2	掘削～ Con打設完了後	施工スパンを6m→3mに短縮
STEP3	"	ロックボルトを活用したウォールビーム(C200)を設置する。
STEP4	"	両側壁のウォールビーム支点に、H300の仮設材をジャッキで突張る胴梁を設置する。
STEP5	"	施工を一旦停止し、補強ボルトや仮インバート吹付けなどの、これまでの検討と異なる対策を立案し、資機材を準備する。

画した。B計測の縦断位置を図-1に示す。計測の監視体制は各種計測結果が把握できるように、計測結果を現場や発注者・施工者の事務所でリアルタイムに共有し、異常発生時は緊急メールを送信するシステムを導入した。

なお、計測管理において、管理値を超えることを想定し、管理レベルごとに表-7示す対策工を計画し、必要な資機材を事前に準備しておいた。

計測結果について以下に示す。内空変位や天端・脚部沈下は全期間を通じて管理基準値レベルI以下の値に収まった。また、ロックボルトの軸力、インバート支保工応力、インバートコンクリート応力いずれについても管理基準値レベルI以下で収束した。このため、後行施工では、6mスパンを2スパンずつの施工とすることができ、工程短縮に大きく寄与した。

(3) 施工時に対応した施工上の課題と工夫

既設覆工の根足部とインバートコンクリートの密着性向上のため、図-11に示すようにインバートコンクリートの左右両端を埋設物の基礎コンクリートを兼ねる形状とした。形状の変更により、インバートコンクリート打設時、両端の締固めが容易にできるため既設覆工とインバートの密着性を高めるほか、基礎コンクリート施工の工期を短縮することができた。

次に、インバート掘削の事前施工として舗装版撤去(円形水路、監査路撤去含む)を行ったところ、側壁覆工コンクリートの底盤位置が設計より20mm～300mm深い状況であった。そのため、現設計のインバート取付位置は当

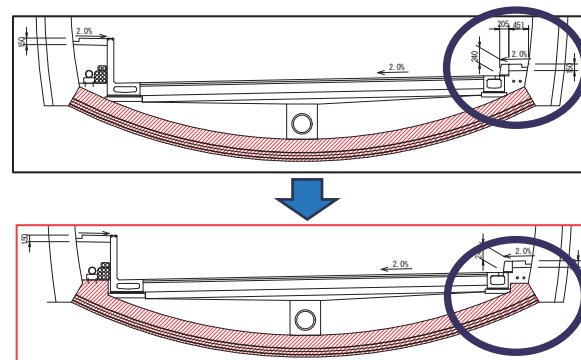
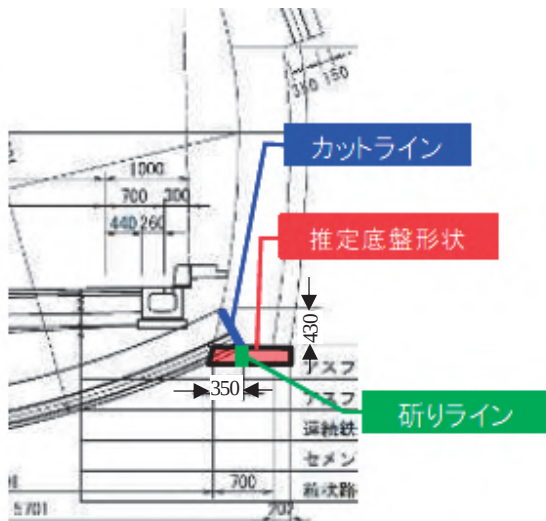


図-11 インバートコンクリート形状変更



図ー１２ 側壁の深さに合わせた脚部のカットライン



写真ー６ 側壁のひび割れ発生状況

初設計のままとし、設計より深いコンクリート部分はコンクリートブレーカーで取壊し撤去を行うことで、インバート取付形状を確保した（図ー１２）。

工事着手前にオーバコアリング法で初期応力を測定したところ、圧縮で最大 11N/mm^2 の応力、平均で 5N/mm^2 前後、応力が全く発生しない箇所もあり、測定位置間でばらつきがみられた。また、インバート施工前には、側壁にロックボルトを打設し補強していた。このような状況下でありながら、インバート施工前に図ー１２に示すように新設するインバートの接合のため、側壁の下部を $430\text{mm} \times 350\text{mm}$ に斜めに切断したところ、写真ー６に示すようなひび割れが複数の覆工スパンで発生した。側壁

の下端から SL 付近まで伸長したものもあり、ひび割れ幅 3mm 程度のものもあった。この際、トータルステーションで確認できる変位は測定されていない。また、インバート施工まで継続的にひび割れの伸長を監視したが、脚部の切断以降、結果的にひび割れ幅、長さに進展が認められなかったことから、インバート施工に着手した。

3.6 舗装工の課題と実施工

(1) 当初設計の課題

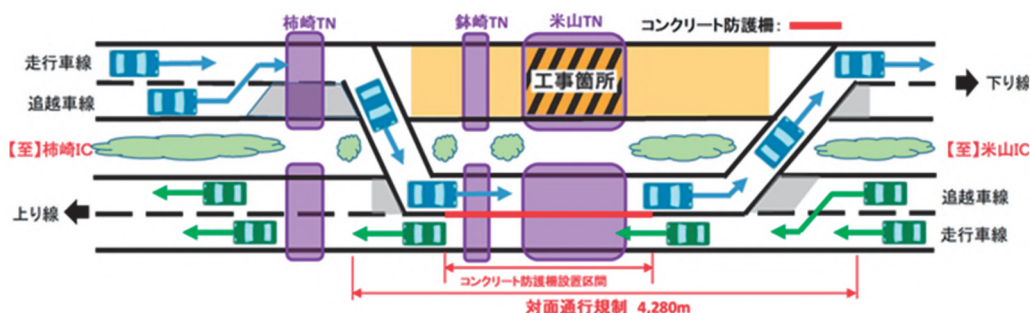
当初設計では、インバート施工区間について連続鉄筋コンクリート舗装が計画されていた。本工事着手前の想定では、舗装工の施工期間を 40 日と想定していたが、着手時に詳細打ち合わせをした結果、75 日必要であることが判明した。さらに前後の区間が路盤の隆起による路面の不陸を $4 \sim 7\text{cm}$ のアスファルト舗装で調整していることから、今回の施工においてもコンクリート舗装の上に 4cm のアスファルト施工をする必要があることとなった。連続鉄筋コンクリート工法においてクリティカルとなるのが鉄筋組立であることに着目し、鉄筋組立の工程短縮を図ることとした。

(2) 施工上の工夫

鉄筋の組立工程短縮のため、写真ー７に示すようにトラス状に組まれた段取り筋を活用したほか、鉄筋工の人数を倍増させて工程の短縮を図った。コンクリート打設においては生コンプラントの 1 日当たりの標準供給量以上を打設するために事前に貸し切りとしたほか、日当た



写真ー７ 鉄筋工施工状況



図ー１３ 対面通行規制図

りの供給量を増やし、各ブロックをそれぞれ1日単位で打設を行った。

また、注入目地においても瀝青板の工夫により注入目地の型枠工程を排除して工程の短縮を図った。舗装コンクリートには早強セメントを用いているが、事前に同配合での圧縮強度試験を1時間単位で行い、次工程を実施できる強度を時間単位で把握した。実施工では強度発現想定との養生時間で圧縮強度を確認しながら次工程に移行することによって工程の短縮を図った。

さらに、設計ではアスファルト舗装は走行側と追越側を別々に施工することとなっていたが、幅8.5mを一度に舗装できるオプションを搭載し、道路中心での横断勾配変化に対応できるアスファルトフィニッシャーを準備しアスファルト舗装工程も短縮した。

4. 対面通行区間の安全対策

図-13に示すように、インバート補強工を効率的かつ早期に実施するため、下り線を通行止めとして上り線を対面通行規制とした。

対面交通とした上り線の米山トンネルでは、火災時の避難誘導と通常走行時の視線誘導を兼ねて車線の両側に常時、緑色に点灯する足元灯(写真-8)の設置や、走行中のドライバーへの注意喚起と事故や故障車等の発生時に警報を発信するための新型拡声放送設備を設置し、安全性の向上を図った。また、テーパー部や車線シフト部の事故防止のため路面誘導灯(写真-9)を設置し、視覚的に車両を誘導する対策を行った。そのほかの安全対策や広報などのソフト対策は表-8に示す。

このような対策に加えて、期間中に発生した事故などの事象に迅速に対応するため、NEXCO 東日本新潟支社長岡管理事務所とグループ会社等と連携・協働し、警察、消防の協力のもとで各機関が一丸となり交通の安全を見守り続けた。その成果が実り期間中は大きな障害や渋滞発生もなく本工事を成し遂げることができた。

5. まとめ

米山トンネル下り線で実施したインバート補強工事は、矢板工法で施工された高速道路トンネルで初めてのインバート補強工事であり、綿密に施工計画や工程の検討を実施した。全工事工程は3年間であるが、2年目のインバート設置工事では、事前に4kmを超える延長の渡り線を設け、約5ヶ月間の昼夜施工で、対面通行の交通安全確保を行いながら、無事完了することができた。本工事の事例が、矢板工法トンネルのインバート補強工事計画やリニューアルプロジェクト工事計画の一助となれば幸いです。

表-8 対面交通期間中の安全対策など一覧

対策等	目 的
足元灯	米山トンネル（上り）で発生したトンネル火災時の避難誘導 通常走行時の視線誘導
拡声放送設備	事故、火災時の初期避難、落下物、故障車発生時の警戒放送
路面誘導灯	規制テーパー部や車線シフト箇所の視線誘導
簡易LED表示板による情報提供	渋滞発生時の高速と国道の所要時間表示を行い、路線選択を促す 対面通行区間内のトンネル車線幅員がW=3.25mと狭いため、車幅3m以上の車両の通行制限表示を実施
非常用電話を増設	米山トンネル（上り）の下り車線方面側に増設
消火器	米山トンネル（上り）の下り車線方面側に増設
緊急事象時訓練	対面通行区間で緊急事象が発生した場合を想定した事前訓練を関係機関と合同で実施
交通監視室	24時間体制でWebカメラ映像を監視
トンネル進入禁止対策	米山トンネル坑口手前に緊急事象時に通行規制を行う交通誘導員を24時間常駐
広報	デジタルサイネージ、リーフレット、ポスター、テレビ及びラジオCM、横断幕、工事お知らせ看板



写真-8 足元灯



写真-9 路面誘導灯

ある。

最後に本工事を施工するにあたり、ご指導・ご鞭撻を頂いた、NEXCO東日本新潟支社長岡管理事務所の方々に、心より感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 中野清人, 小川澄; 中越沖地震による高速道路トンネルの被災事例分析-北陸自動車道米山トンネル-, トンネルと地下, Vol.43, No.4, pp.49-54, 2012.4
- 2) 清水雅之, 川端康夫, 佐々木和人, 石野卓哉: 高速道路で初の矢板工法トンネルのインバート補強工事-北陸自動車道 米山トンネル-, トンネルと地下, Vol.54, No.7, pp.17-28, 2023.7

Summary The Yoneyama Tunnel on the outbound Hokuriku Expressway has been in operation for about 40 years since its opening in 1983. In 1996, the pavement surface was confirmed to have risen 108 mm at its highest point. The Chuetsuoki Earthquake in 2007 generated further damage, resulting in the partial delamination of the lining surface. Due to the continuing rise of the road surface, a renewal project (L = 450 m) was undertaken in 2022 to install a new invert. This marked the first invert reinforcement project carried out on an expressway tunnel built using the timbering support method.

This paper reports on the following:

- special considerations required for construction works on expressways that remain in service during the work, including installing construction roads from outside the expressway and imposing two-way traffic restrictions as crossovers are installed
- specifics of invert reinforcement work, including the state of the uplift road surface, considerations at the design and construction stages, construction process, machinery used, and measurements during construction
- measures to ensure adherence to timetables for construction under service lines

Key Words : *Construction Under Service Lines, Crossover for Two-Way Traffic, Timbering Support Method, Road Tunnel, Uplift Road Surface, Invert Reinforcement Work*