

老朽化した道路トンネルの坑口補強工事

北九州自動車道 北41工区トンネル改築工事その1

飛島建設(株)西日本土木支社九州土木事業部福北門司作業所所長 中山佳久
飛島建設(株)土木事業本部土木技術部環境リニューアルグループ課長 川端康夫
飛島建設(株)土木事業本部土木技術部環境リニューアルグループ主任 新井勝明
飛島建設(株)西日本土木支社九州土木事業部土木グループ課長 中原博隆

1. はじめに

北九州都市高速は、都心と市街地周辺との連絡および市内の各拠点間の連絡強化と都市内交通混雑緩和を図る道路で5路線49.5kmを供用し、高規格幹線道路と連携した放射環状型自動車専用道路網を形成している。

北九州都市高速4号線は、昭和33年春日IC側より順次供用され、昭和54年に全線供用している。80%以上の区間が供用後30年以上を経過し、劣化損傷が顕著になってきたため、大規模な補修工事を平成15年度から実施し、構造物の安全性能向上を図っている。

本工事は、これら大規模補修工事の一環として行われた都市高速4号線上り線（門司区春日ランプ～大里ランプ間）の奥田トンネル（652m）および黒川トンネル（190m）における覆工の剥落防止や漏水処理を主体とした補修工事である。図-1 にトンネル位置図を示す。

両トンネルの坑口部について、劣化状況の詳細調査を行ったところ、面壁が前方に5cmほどせり出し、面壁の中心部や周辺部にひび割れが確認された。原因として、面壁と覆工のいずれも無筋構造で、両者が構造的にも一体になっておらず、さらにトンネル掘削時の地山の緩みや長期間の風

化や浸食による土圧が作用したことが挙げられる。また、トンネル底板部にインバートがなく、面壁の下部が不等沈下を起こし、面壁全体が変形したことも原因として考えられる。

本稿では、これらの変状を踏まえた上で、坑口部の安定化のために実施した補強工事の計画、設計、施工について報告する。



図-1 トンネル位置図

2. 工事概要

工事名称：北41工区トンネル改築工事その1

発注者：福岡北九州高速道路公社

工事場所：北九州市門司区大字黒川～奥田四丁目
地内

工 期：平成17年9月6日～平成20年3月

15日

路 線 名：北九州都市高速道路4号線（上り線）

大里IC～春日IC

施 工 者：飛島・松山特定建設工事共同企業体

工事内容：

- ・ 損傷現況調査：1式
- ・ 漏水対策工（樋設置工）：2,734m
- ・ 繊維シート工（剥落対策）：5,524m²
- ・ 割目注入工：422m
- ・ 割目止水工：384m
- ・ 断面修復工：473m²
- ・ トンネル内装板工：4,140m
- ・ 空洞注入工（可塑状注入材）：35m³
- ・ トンネル坑口安定対策：3箇所
- ・ トンネル覆工コンクリート補強対策：1箇所

3. 坑口部の変状と課題

3-1 トンネルの概要

高速4号線のトンネルは、1950年代後半と1970年代前半の施工のものに大別できる¹⁾。

4号線において、もっとも古いトンネルは奥田・黒川トンネル（上り線）であり、1958年に竣工している。同年、関門国道トンネル（海底トンネル）が開通しており、4号線は当初、国道3号バイパスとして供用が開始された。また、「トンネル標準示方書」（土木学会）が制定されたのが1964年であり、奥田・黒川トンネル（上り線）は、トンネル建設技術が体系化される以前の施工であった。奥田・黒川トンネル（上り線）の施工

記録は残っておらず、標準断面図のみ現存している。施工年代から考察すると、木製支保工を用いた在来工法による施工であったと考えられる。

奥田トンネルの地質は、頁岩を主体としており、坑口付近は軟質な強風化頁岩および崖錐堆積物からなる。そのため、坑口付近は側壁導坑先進掘削工法により施工されているが、それ以降の硬岩区間では、底設導坑先進掘削工法により施工されており、無普請もしくは合掌式支保であった可能性が高い。また、覆工コンクリートは全断面で施工されている。一方、黒川トンネルの地質は、頁岩、砂岩の互層およびその強風化層からなり、大半の区間では、上半掘削後に覆工コンクリートを構築し、側壁を逆巻き工法で施工している。

同時期に建設が進められていた「関門国道トンネル」の記録によると、同トンネルではスランプレオに近い固練りコンクリートが使用されていた。木製支柱支保工において盛り替えが容易となるように、当時の覆工コンクリートは「固練りコンクリート」を使用することが一般的であった。採取したコンクリートコアを観察すると骨材の分布が不均一であり、空隙が確認されていることからコンクリートは建設現場で製造し、「木はずしによる手ばね打設」で施工されていたものと考えられる。ただし、正常に採取されたコンクリートコアからは、おおむね40N/mm²以上の高い強度が得られており、「固練り」の効果が現れていた。

3-2 坑口部の構造的特徴

図-2に示すように、現在の一般的なトンネルの坑口は、覆工と一体となったRC構造の面壁で

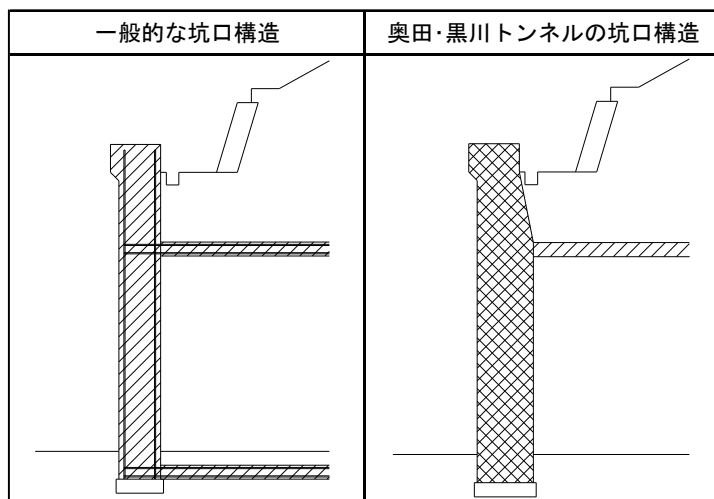


図-2 坑口部構造の特徴

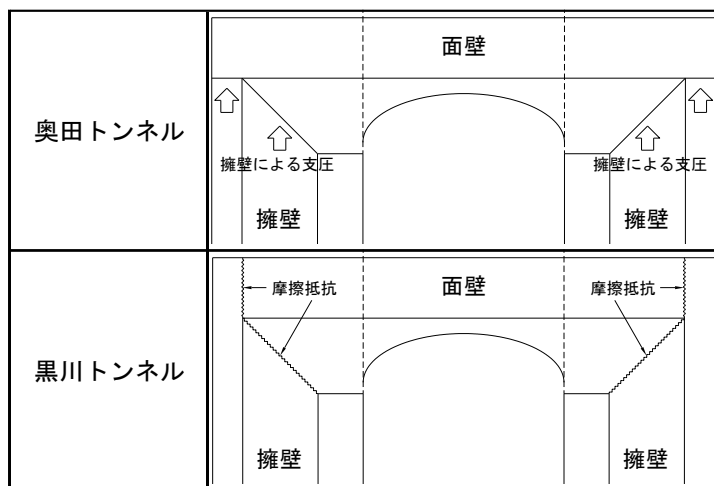


図-3 面壁と擁壁の取合い

あり、張出し擁壁として背面土圧に対抗する構造が採られる。また、覆工は、インバートコンクリートにより、リング状に併合した安定した構造となっている。これに対して、奥田・黒川トンネルの坑口部の構造の特徴を以下に示す。

- ①図-2 に示すように面壁、覆工ともに、無筋構造物であり、それぞれが結合されていない。
- ②面壁は基本的に重力式擁壁として背面土圧に対抗する構造となっているが、さらに図-3 に示すようにに面壁を両側面の擁壁で押さえつけた構造（奥田トンネル）や面壁と擁壁の摩擦によって対抗する構造（黒川トンネル）が採られて

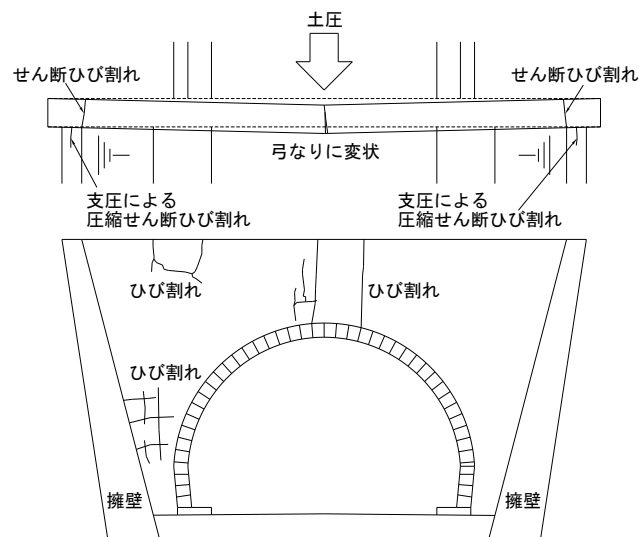


図-4 面壁の変状状況

いた。

- ③インバートコンクリートが無く、リング状に併合されていない。

2-3 坑口部の面壁および覆工の変状状況

奥田トンネル入口、出口および黒川トンネル入口における坑口部の面壁は、図-4 に示すように天端中央部が車道側に弓なりに突出する形状で変状している。面壁と覆工との間は、目地開き、段差が生じており、面壁が車道側に倒れこんだ形跡がうかがえる。面壁のひび割れは、鉛直に発生しているものが多く、背面土圧による曲げひび割れと想定される。また、面壁と擁壁の取合い部では、面壁側にせん断ひび割れが発生し、擁壁側には面壁の支圧による圧縮せん断ひび割れが発生していた。一方、覆工は、奥田トンネル出口および黒川トンネル入口で、ひび割れの発生頻度が多く、ひび割れから漏水が確認された。また、覆工天端部での巻厚が薄く、空洞も散見された。

黒川トンネル出口の坑口は、面壁および覆工ともほとんど変状・損傷が発生していなかった。

4. 面壁の対策工

対象となる坑口が3箇所あることから、各坑口部の変形および損傷状況を踏まえ、一貫した方針および判断基準で対策工を施す必要がある。そこで、面壁と覆工を分けて各々の対策の基本方針を設定し、対策工の立案を行った。

4-1 基本方針

面壁における対策工の基本方針を以下に示す。

- ①現在、何らかの変状・損傷がある面壁は、今後、損傷状態が進展する可能性がある。
- ②現在、変状・損傷がなく、安定している面壁は、今後も安定状態が継続する。
- ③変状・損傷を受けている面壁は、現在の構造を踏まえ、さらに作用荷重に耐えられる対策工を選定する。

- ④1車線規制下での施工環境を考慮し、予想される不具合を想定した上で対策工を選定する。

4-2 対策工の検討

表-1に面壁補強対策工の比較表を示す。

奥田トンネル出口、入口および黒川トンネル入口の3箇所の面壁は、損傷状態に若干の違いが確認されるが、基本的に不適切な構造形式が背面の土圧に耐えきれずに変形・損傷が生じている。面壁としての構造性能を回復または向上させるためには、対象部位ごとに変状原因を検討し、適切な補強方法を決定する必要がある。さらに、当該道路の重要性から、通行止めをせずに、かつ1車線規制下で第三者に対する安全性が確保できる工法が求められた。

検討の結果、ある程度の不確定な荷重にも対抗

表-1 面壁補強対策工の比較表

工 法	増し打ち工法		場所打ち押えコンクリート (面壁補修+擁壁押えコンクリート)		プレキャストアーチ部材を用いた 増し打ち工法	
特 徴	増し打ちコンクリート		側壁端部 支圧コンクリート 面壁押えコンクリート 炭素繊維補修材		プレキャスト アーチ部材 面壁押えコンクリート	
	面壁の前方に厚さ5m程度のコンクリート打設する。配筋で曲げ耐力を確保すると共に擁壁にアンカーを打込んで増し壁と構造を一体化する。		面壁の脚部にコンクリートを打設して面壁を押さえる。また、面壁の上部は炭素繊維ラミネートを貼り付け、梁構造として補強する。		2分割されたプレキャストアーチを道路に左右交互に設置する。プレキャストアーチを型枠の代わりにしてコンクリート打設することで増し打ち工法と同等の効果が得られる。	
性 能	新設の坑口と同等の耐荷力を有する	○	現状に対する対処療法であり、長期的な安定性に欠ける。	△	プレキャストアーチ部材は耐久性に優れる。	○
施工性	プロテクターの設置が必要	△	1車線規制内で作業可能	○	1車線規制内で作業可能	○
工 程	工程：120日 完全通行止め：4日	×	工程：80日 通行止め：不要	△	工程：60日 通行止め：不要	○
経済比率	0.8		0.5		1.0	
実 績	震災を受けた坑門で通行止めを行って施工した事例がある。	○	擁壁の安定対策として事例がある	△	覆工の内巻き立てや新幹線トンネル坑口での実績が豊富	○
評 価	—		—		採用	

できる増し打ちコンクリートによる安定化対策を基本とし、型枠としてプレキャストアーチ部材を用いた坑口補強工法を選定した。

4-3 面壁対策工の設計・施工法の検討

奥田トンネル出口の坑口補強構造図を図-5に示す。増し打ち工の規模として、まず背面土圧に対抗できるコンクリート塊の重量を算出し、必要なトンネル延伸量を決定している。基礎は、現地地盤の支持層が深く、支持力が不足するため、コンクリート柱（ $\phi 600$ ，圧縮強度 30N/mm^2 ）を造成する方法を採用した。ただし、奥田トンネルの入口は、比較的に支持層が浅かったため、置き換えコンクリートとした。基礎構築後、全面通行止めを必要としない工法として、プレキャストアーチ（コンクリート二次製品）部材をアーチ状に架設して、増し打ちコンクリートの型枠とし、そ

の後、上部にコンクリートを打設する方法を計画した。使用するプレキャストアーチ部材は、鉄道トンネルの緩衝工などで実績があるもので、片側1車線での施工を条件に施工方法の検討を行っている。また、面壁の前面は、周囲景観にマッチしやすい擬岩模様のコンクリートパネル（コンクリート二次製品）を用い、型枠解体工程を省略できる方法を採用した。

5. 覆工の対策工

5-1 基本方針

覆工における対策工の基本方針を以下に示す。

- ①現在、変状・損傷がなく、安定している覆工は、今後も安定状態が継続する。
- ②坑口部の施工条件（地山が強風化を受けていること、地震や降雨による変状が生じやすいこと、

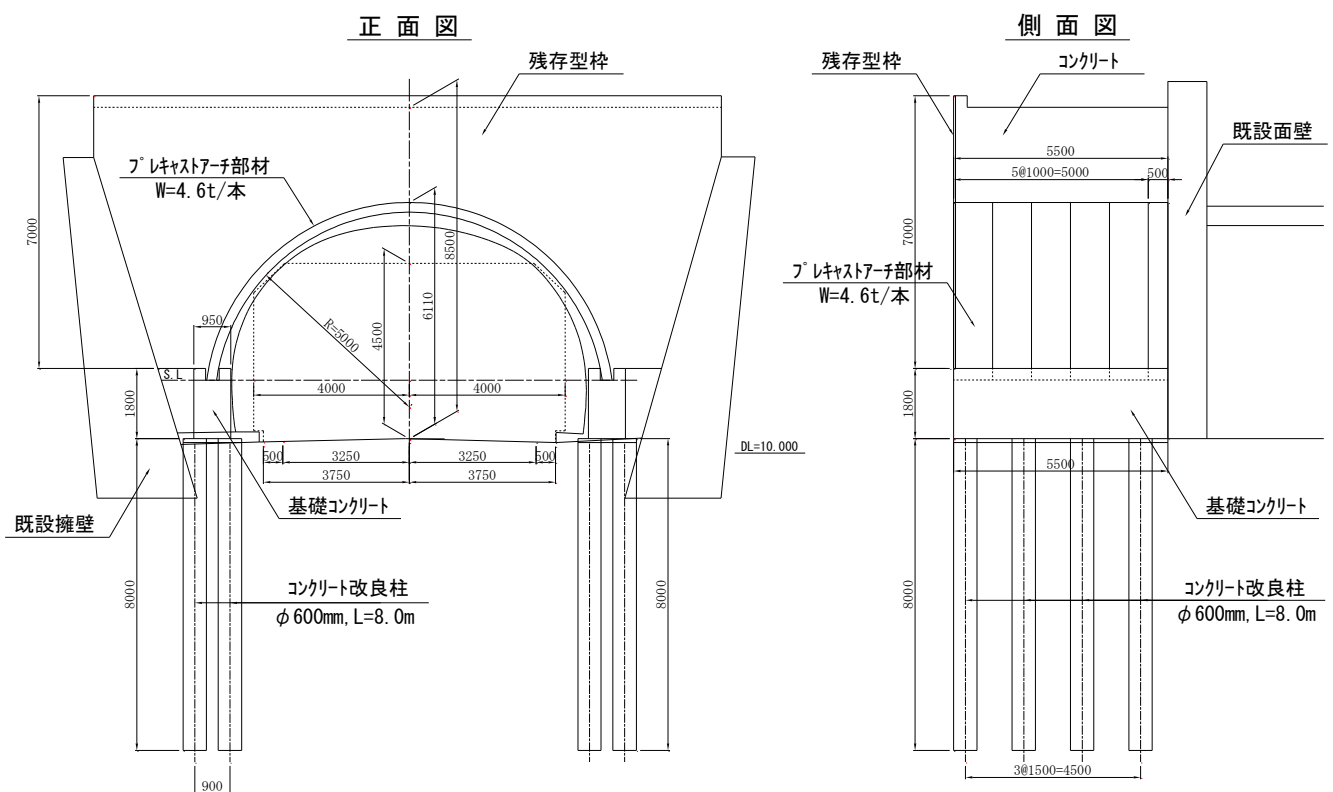
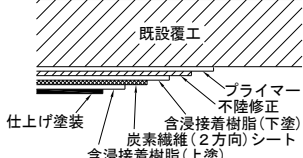
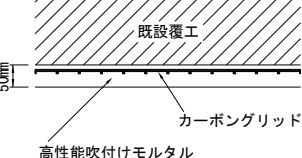
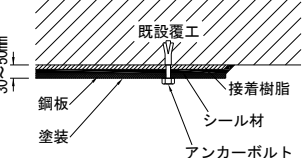
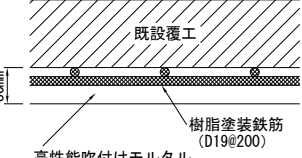


図-5 坑口補強構造図（奥田トンネル出口）

表-2 各坑口覆工の損傷状態と課題

施工箇所	損傷の状態	坑口対策工としての課題
奥田トンネル入口	・覆工の巻厚不足 ・部分的な空洞(30cm)	湧水もなく、ひび割れ、変状も少ないことから炭素繊維による剥離・剥落対策を基本とする。
奥田トンネル出口	・極端な巻厚不足(15~20cm) ・面壁背面の地質は脆弱層が厚い。 ・コンクリートの剥離 ・打継ぎ、ひび割れからの漏水が多い。	対象箇所は漏水が多く、繊維シートは適さない。脆弱層が厚く、極端に巻厚の薄い箇所があるため、補強対策が必要である。
黒川トンネル入口	・天端部の巻厚不足(25cm程度) ・縦横断にひび割れが発生しており、ひび割れ密度が高い。 ・覆工背面に空洞が広がっている(30cm) ・打継ぎ、ひび割れからの漏水が多い。	対象箇所は漏水が多く、繊維シートは適さない。

表-3 覆工補強対策工の比較表

工 法	断面修復工(※) + 炭素繊維シート工	カーボングリッド + 高性能吹付けモルタル	断面修復工(※) + 鋼板接着工	樹脂塗装補強鉄筋 + 高性能吹付けモルタル
工法概要	 標準的な剥離・剥落対策である。	 カーボングリッドを配置し、厚さ50mmで高品質吹付けモルタルを施工する。	 工場で作成、塗装された鋼板をケミカルアンカーボルトで固定し、エポキシ樹脂を充填、接着する。	 D19@200の樹脂塗装鉄筋を配置し、厚さ80mmで高品質吹付けモルタルを施工する。
性 能	剥離剥落対策として使用される。	補強効果は期待できるが、NATMの坑口覆工までの耐荷力を有さない。	NATMの坑口覆工の耐荷力を目指すことが可能。	NATMの坑口覆工の耐荷力を目指すことが可能。
建築限界の許容性	厚さが薄く、支障はない。	建築限界を侵す箇所をハツリ取ることでの対応できる。	検討を要す。	建築限界を侵す箇所をハツリ取ることでの対応できる。
供用下の安全性	1車線規制内で作業可能である。	・1斜線規制内で作業可能である。 ・粉塵等の養生が必要である。	・1斜線規制内で作業可能である。 ・重量物で施工性が悪い。	・1斜線規制内で作業可能である。 ・粉塵等の養生が必要である。
工 程	短期間	短期間	鋼板製作に時間を要す。 (4~6ヶ月)	短期間
経済比率	1.0	1.8	3.0	2.5
実 績	補強を目的として使用しない。	実績有り	実績有り	実績有り
施工箇所	奥田トンネル入口部に採用	黒川トンネル入口部に採用	—	奥田トンネル出口部に採用

※ 表中の断面補修工は、表面の不陸修正を目的としている。

漏水が生じやすいことなど)に配慮する。

③補強設計では、作用荷重だけで補強構造を計画するのではなく、坑口部の現構造並びに変状、巻厚などを考慮して、NATMの坑口覆工と同等の構造性能を目指す。

④1車線規制下での施工環境を考慮し、予想される不具合を想定した上で対策工を選定する。

5-2 対策工の検討

表-2に示すように奥田トンネル入口、出口および黒川トンネル入口は、損傷状態に違いが確認されたため、各々の状況に応じた対策工を選定した。表-3に覆工補強対策工の比較表を示す。工法検討の結果、奥田トンネル入口では、炭素繊維シート工、奥田トンネル出口では、「鉄筋配置+

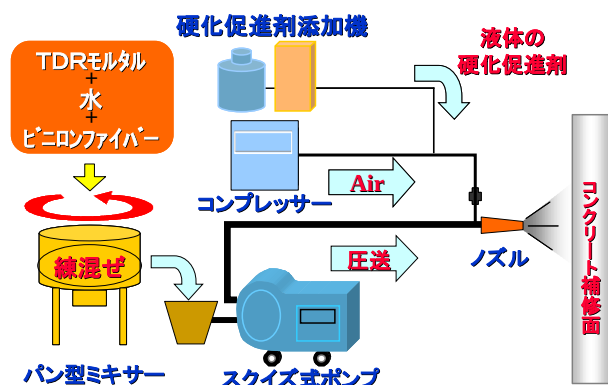


図-6 TDRショット工法の基本システム

高性能吹付けモルタル」による増し厚工，黒川トンネル入口では，「カーボングリッド配置＋高性能吹付けモルタル」による覆工増し厚工を選定した．高性能吹付けモルタル工法は，1回の吹付け厚さが厚く，工程が有利となるTDRショット（**Tough and Durable Repair Shot**）工法²⁾を採用した．

TDRショット工法は，中性化や塩害などの劣化外力により損傷を受けたコンクリート構造物を高品質モルタルの湿式吹付けによって断面修復する工法である．本工法は，高品質な無機系材料を使用することで従来のポリマーセメントモルタル

を用いる断面修復材と同等以上の品質を有し，さらに硬化促進剤を用いることで高い厚付け性能が得られ，施工性を向上させている³⁾．TDRショット工法の基本システムを図-6に示す．

5-3 覆工対策工の設計

5-3-1 奥田トンネル出口側坑口の保有耐力の検討

奥田トンネル出口側坑口部の覆工厚は，設計覆工厚 500mm に対して，追越し車線側の天端から肩部にかけて 150～200mm の厚さの箇所が比較的広く分布しており，局所的に 150mm を下回る箇所があった．覆工対策工の基本方針に基づき，NATM の坑口覆工と同等の構造性能とするため，増し厚工の耐荷力を照査した．検討モデルを図-7に示す．覆工断面をフレームでモデル化し，限界状態設計法により検討した．現状覆工は，覆工厚の調査結果を基に最小厚 150mm とし，覆工補強は現状覆工と「鉄筋配置＋高性能吹付けモルタル」の一体構造としてモデル化した．

検討結果として，図-8に各検討モデルのM－

CASE	基本条件			概略図
現状覆工	コンクリート	設計基準強度	40 (N/mm ²)	
		覆工厚さ	150 (※) (mm)	
	鉄筋	なし		
NATM	コンクリート	設計基準強度	18 (N/mm ²)	
		覆工厚さ	350 (mm)	
	鉄筋	D19@200		
吹付けモルタル＋鉄筋補強	高性能吹付けモルタル	設計基準強度	40 (N/mm ²)	
		覆工＋モルタル厚さ	150 (※)＋80＝230 (mm)	
	鉄筋	D19@200		

※ 現状覆工厚さは，最小巻厚でモデル化した．

図-7 検討モデル図

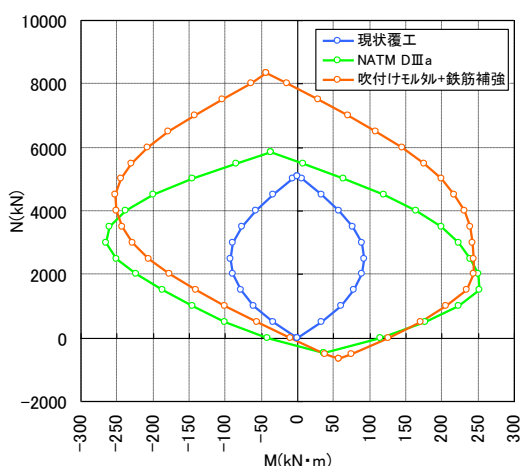


図-8 M－N耐力線比較図

N耐力線比較図を示す．これより，次の事項が確認できた．

- ①現状覆工は，無筋構造であるため，引張力に対する抵抗がなく，許容できる曲げモーメントが限られる．
- ②NATM の坑口覆工や「鉄筋配置＋高性能吹付けモルタル」による補強は，鉄筋による補強効果により，許容可能な曲げモーメントが現状覆工より大きい．
- ③「鉄筋配置＋高性能吹付けモルタル」による補強は，NATM の坑口覆工と許容可能な曲げモーメントがほぼ同一であり，現状覆工を補強することで，同等の耐荷力を有する構造に回復できる．

5-3-2 複合部材の耐力試験

(1) 検討目的

保有耐力の検討では，補強部材と既設の覆工が一体となって，外力に対抗する構造を前提としている．しかし，実際の部材では，補強部材と覆工が終局状態まで，一体となって挙動することが確認されておらず，各々の部材が荷重の作用する過程でひび割れや界面剥離などで個別に挙動するようなことがあれば，補強の効果が得られない．そこで，複合構造（既存コンクリートと補強部材）とコンクリートだけの単純構造の梁試験体を用い，「曲げせん断破壊型」の破壊形態を想定した上で，部材寸法，鉄筋量を決定し，耐力試験を実施した．

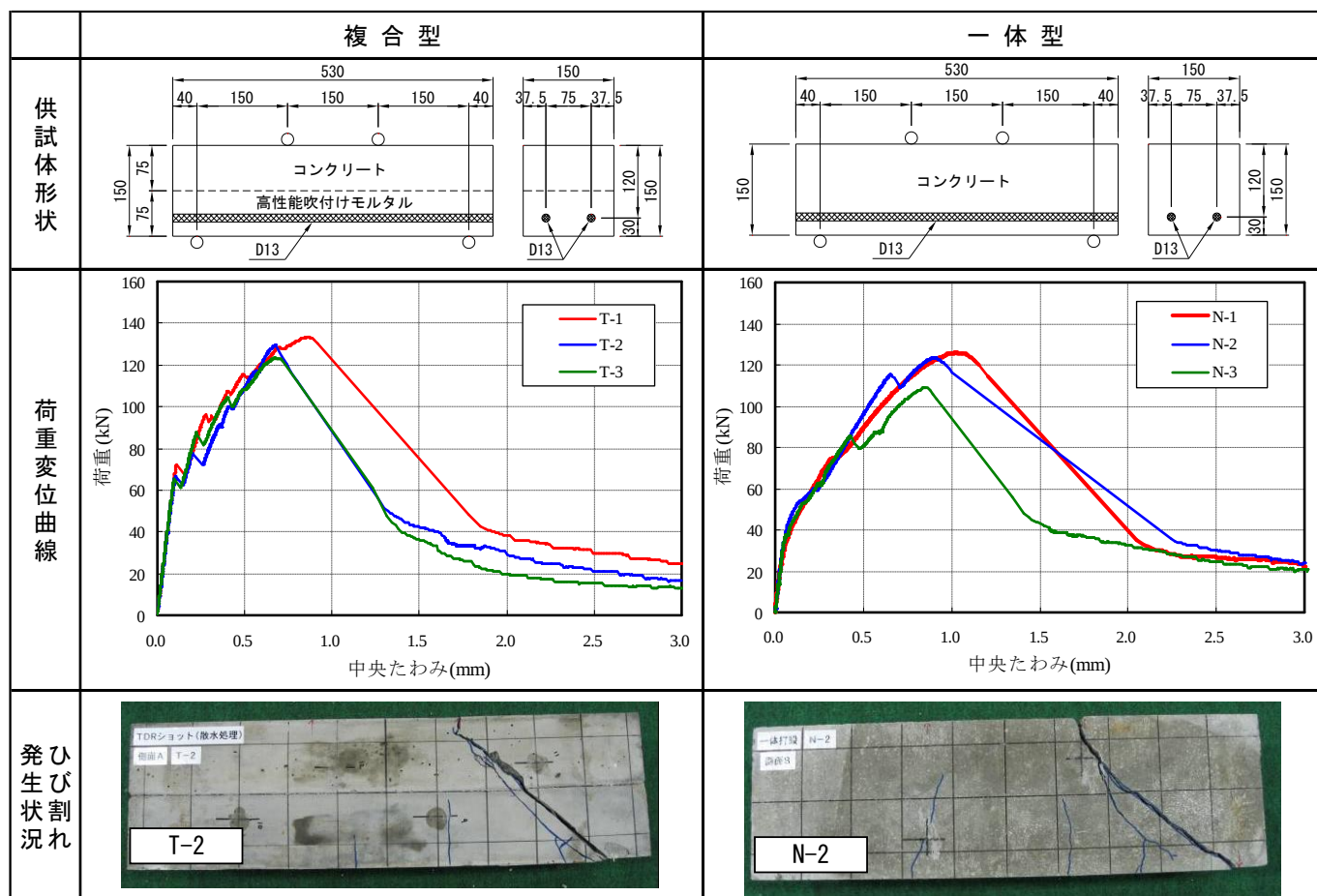


図-9 荷重－変位曲線およびひび割れ発生状況

(2) 実験方法

耐力試験用の試験体は、コンクリートと吹付け材からなる試験体（複合型）とコンクリートを一体成型した試験体（一体型）を用いた。「複合型」は、コンクリートを材齢 2 週まで湿潤養生した後、TDR ショット工法で高性能吹付けモルタルを吹付け、吹付け後材齢 28 日で耐力試験を実施した。その間の養生は、湿潤養生とした。載荷は、3 等分点載荷方法により実施している。

(3) 試験結果

図-9 に荷重-変位曲線およびひび割れ発生状況を示す。荷重-変位曲線より、「複合型」および「一体型」とともに、ほぼ同等の曲げ・せん断耐力を有していることが確認できる。また、試験体のひび割れ発生状況も同様の傾向を示しており、先行して部材中央付近に曲げひび割れが発生し、終局時には下面支点付近から試験体天端中央に向け、せん断ひび割れが延伸して破壊に至っている。

「複合型」では、そのひび割れが、打継ぎ面界面を斜め（45°）方向に横断しており、ひび割れが界面に展開したり、付着切れを起こすようなことは確認されなかった。

(4) 複合部材の性能評価

試験結果より、既存（旧）コンクリートと高性能吹付けモルタル（TDR ショット工法）の複合部材の性能ととして、以下が確認できた。

①荷重-変位曲線およびひび割れ発生状況より、終局状態に至るまでのどの段階においても、既存コンクリートと高性能吹付けモルタルの界面剥離は発生しない。

②既存コンクリートを高性能吹付けモルタルで補強すれば、一体型コンクリートと同等以上の曲げ、せん断耐力を得ることができる。

③既存コンクリートと高性能吹付けモルタルの界面剥離が発生しないことから、平面保持の仮定を用いて、曲げ、せん断耐力、変形性能を検討することができる。

6. 施工

6-1 面壁補強工

面壁補強工は、奥田トンネル入口、出口および黒川トンネル入口部の 3 箇所に対し、実施した。面壁の補強工の施工フロー図を図-10 に、施工機械一覧表を表-4 に示す。

基礎としてのコンクリート杭は、奥田トンネル出口および黒川トンネル入口で施工した。（写真-

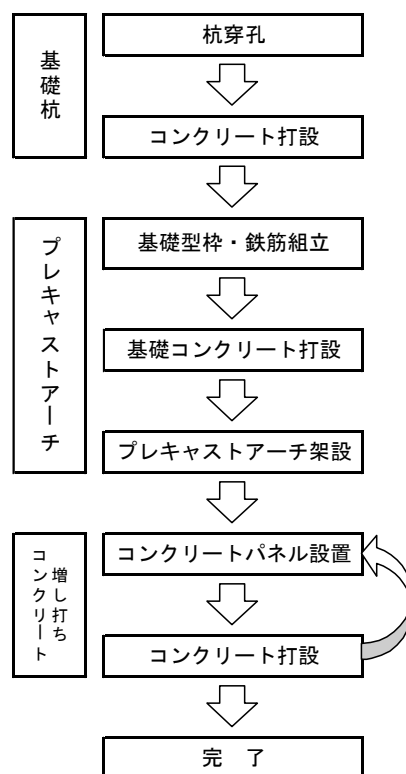


図-10 面壁補強工施工フロー図

表-4 施工機械一覧

工 種	使用機械
基礎杭工	クローラ式ロックオーガ(35 t 級)
プレキャストアーチ工	ラフタークレーン(25 t)
残存型枠工	ラフタークレーン(5 t)
コンクリート工	コンクリートポンプ車

1) ロックオーガマシンは、車線規制内で施工できる省スペース用の施工機械を選定している。一方、奥田トンネル入口は、脆弱部を除去し、コンクリートにより置き換えた。

プレキャストアーチ部材は、中央で 2 分割され、左右のピースが千鳥配置となっており、規制車線を切り替えながら 1 日 3 ピースの架設を行った。(写真-2) 1 回の架設時間は 1 時間程度であった(準備作業 30 分、部材準備 10 分、架設作業 1 分、接合作業 10 分)。部材の吊上げ、旋回は、車両の通行が途切れたタイミングを見計らって、安全監視員の指示のもと、第三者の安全に留意しながら実施した。

面壁のコンクリートパネルは、1 回の組立て高さを 1.5m とし、パネル構築後、直ちに増し打ちコンクリートを打設した。コンクリート打設は、左右均等の打設高さになるようにコンクリートを分配し、その都度規制車線の変更を行うとともに、コンクリートポンプ車も移動させた。(写真-3) 1 箇所当たりの面壁の構築に要した期間は、約 1 ヶ月である。完成状況を写真-4 に示す。

自動車専用道路上では車両の方向転換ができないため、規制車線を切り替えるためには、全工事用車両を、いったん一般道路に排出し、再び施工場所へ戻る方法を採らなければならなかった。工



写真-1 コンクリート柱設置状況



写真-2 プレキャストアーチ部材架設状況



写真-3 増し打ちコンクリート打設状況



写真-4 奥田トンネル入口面壁補強完成

種によっては、1日4回程度の車線切り替えを繰り返す必要があった。

6-2 覆工補強工

本工事では、奥田トンネル出口および黒川トンネル入口の覆工補強に対し、TDRショット工法によるモルタル吹付け工を行った。奥田トンネルでは、目標圧縮強度を、 45N/mm^2 に設定し、減水剤を使用した配合とした。一方、黒川トンネルは、剥離・剥落防止が主な目的のため、 40N/mm^2 の標準的な配合とした。表-5 に配合表を示す。また、外気温が低い時期の施工であったため、温水を用いてモルタルの練り上がり温度を常に 15°C 以上に保つように管理した。

奥田トンネル出口側は、主鉄筋として D19 を 200mm 間隔で配置し、80mm の増し厚吹付けを実施した。なお、施工前に漏水が確認されており、鉄筋かぶりも少ないことで、将来的に鉄筋の発錆が主なる可能性があるため、樹脂塗装鉄筋を採用している。(写真-5) また、建築限界の制約が厳しい肩部については、既設覆工の巻き厚に余裕があることを確認した上で、吹付け前に既存覆工を切削し、建築限界を確保した。

黒川トンネル入口は、CFRP格子筋(50mm×50mm)を配置して 50mm の増し厚吹付けを実施した。(写真-6)

表-5 配合表 (1m³ 当り)

	TDR モルタル	ビニロン ファイバー	TDR-ACC (硬化促進剤)	水	減水剤
奥田 トンネル	1,975 kg	6.5 kg	39.5 kg	253 kg	4 kg
黒川 トンネル	1,900 kg	6.5 kg	38.0 kg	266 kg	—

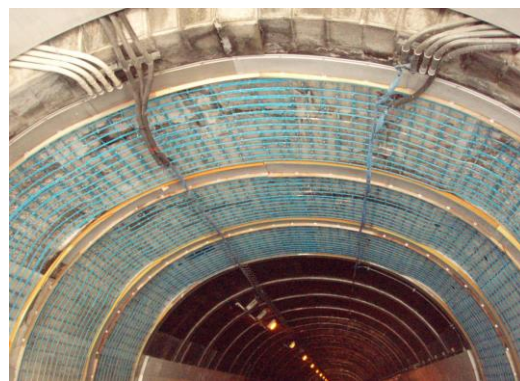


写真-5 樹脂塗装鉄筋（奥田トンネル出口）



写真-6 CFRP格子筋（黒川トンネル入口）



写真-7 モルタル吹付け状況



写真-8 覆工補強完成（奥田トンネル出口）

施工は、終日の車線規制ができないため、すべての資機材をトラックに載せた車上プラント方式とし、準備・片付け作業の効率化を図った。また、高所の吹付け作業には、写真-7 に示すように高所作業車を使用し、片側規制の状態で施工を行っている。写真-8 に完成写真を示す。

7. おわりに

奥田・黒川両トンネルの変状は、施工後 50 年が経過し、老朽化が進んだこと、建設時に想定していなかった背面土圧が作用したこと、さらにトンネル坑口の構造が想定荷重に対し、適切でなかったことなどから変状が顕著になった事例である。本工事では、片側車線規制という限られた作業範囲で、常に第三者の安全に留意しながら、大規模な坑口補強を実施した。本報告が今後の類似工事の参考になれば幸いである。

最後に、本工事の実施にあたりご指導をいただきました、福岡北九州道路公社の皆様方をはじめ、(独)土木研究所道路技術研究グループの真下英人グループ長、関係機関、関係者の方々に謝意を表します。

参考文献

- 1) 伊川幹夫, 西恭太, 中山佳久: 施工年代におけるトンネル変状の特徴, シビルエンジニアリングジャーナル・シリーズ 1 「土木の新時代」, pp.78-84, 2007.4.
- 2) 川端康夫, 松尾勝弥ほか: 新しい断面修復用湿式吹付け工法の開発, 土木建設技術シンポジウム 2004, 土木学会

- 3) 荒木昭俊, 寺村悟ほか: 硬化促進剤を用いた補修吹付けモルタルの特性, 第 3 回コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム, 日本材料学会

(トンネルと地下 第 635 号、第 41 巻第 2 号

2009.2 掲載原稿)