

施工計画

プレキャストアーチ部材を活用したトンネル坑口の安定対策と TDRショット工法を活用したトンネル覆工コンクリートの補強対策

東京土木施工管理技士会

飛鳥建設株式会社

土木事業本部 トンネル技術G

中山 佳久[○]

Yoshihisa Nakayama

土木事業本部 環境・リニューアルG

川端 康夫

Yasuo Kawabata

九州土木事業部 大峽トンネル作業所

武市 直人

Naoto Takeichi

1. はじめに

日本の高速道路・自動車専用道路は、モータリゼーションと共に路線を拡大し、経済活動の大動脈として、今日の社会基盤の中で重要な役割を担っている。このような中、既に建設後50年を迎える構造物も現れており、構造物の健全度を確認し、長寿命化を図ることが急務となっている。

福岡北九州高速道路公社では、北九州高速4号線の大規模補修工事を平成15年度から平成20年度にかけて実施してきた。

本報告では、北九州高速4号線の中で、最も施工年代の古い奥田・黒川トンネル（上り線）[昭和33年竣工]で実施した、トンネル坑口の安定対策と覆工補強対策の事例について紹介する。

工事概要

- (1) 工事名：北41工区トンネル改築工事その1
- (2) 発注者：福岡北九州高速道路公社
- (3) 工事場所：北九州市門司区大字黒川
～奥田四丁目地内
- (4) 工期：平成17年9月6日
～平成20年3月15日

- (5) 路線名：北九州都市高速道路

4号線（上り線）大里IC～春日IC

- (6) 工事内容

- ・トンネル覆工コンクリート剥落対策
奥田トンネルL=641m、黒川トンネルL=185m
- ・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

- (7) 工事の特徴

本工事は、当初トンネル全線における覆工コンクリートの剥落防止対策（繊維シート貼り）を主体としていた。工事着手前に実施した覆工調査では、覆工コンクリートの状態が注目された。骨材



写真-1 コアボーリング試料

の粒径分布が悪く、締固めが不十分なため、空隙（ジャンカ）を多く含むコンクリートになっており、覆工の部分的な剥落が懸念される状態であった。覆工表面からひび割れ部をコアボーリングした試料を写真-1に示す。骨材粒径のバラツキとひび割れの背後の空隙（ジャンカ）が確認できる。

一方、坑口部では、背面の土圧により、構造物が変形し、損傷が生じていた。その原因は、本坑の特異な構造にあると考えられた。

2. 現場における課題・問題点

2.1 坑口部構造物（面壁）の変状と構造の特徴

坑口部面壁は、垂直・水平方向共に弓形に変形しており、曲げによるひび割れが鉛直に発生し、面壁端部では、せん断破壊が生じていた。

（図-1、写真-2）

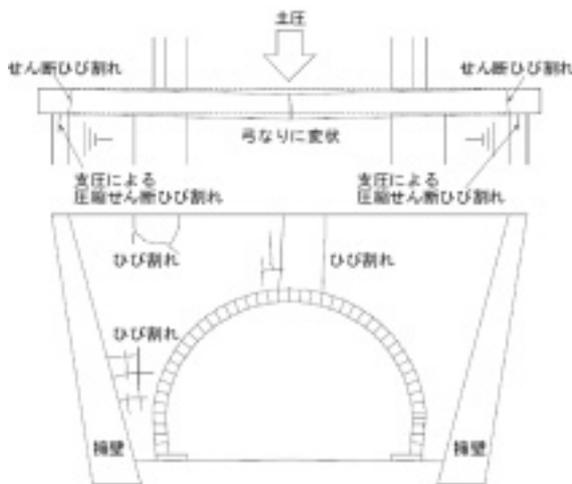


図-1 坑口部構造物（面壁）の変状



写真-2 坑口構造物（面壁）の変状

本トンネルの面壁構造物の特徴を以下に示す（表-1）。

- ①面壁は独立しており、覆工コンクリートと一体となっていなかった。
- ②面壁・覆工コンクリート共に無筋構造であった。
- ③インバートコンクリートの施工が無くリング状に閉合されていなかった。

一般的な坑口構造	奥田・黒川トンネルの坑口構造
※鉄筋が配置され剛結構造 ※インバートコンクリートが施工され、リング併合している。	※鉄筋の配置無く、重力式擁壁として考えられている ※インバートコンクリートなく不安定な構造

表-1 坑口構造の比較

2.2 坑口部覆工コンクリートの変状

一部の坑口部覆工では、天端部において、覆工厚の薄い箇所が広く分布し、耐荷力が著しく低下した状態になっていた。坑口から10m程度の区間では、覆工コンクリートの打継ぎ目地が開いており、背面土圧による押し出しが想定され、ひび割れや漏水が散見された（写真-3）。



写真-3 目地の変状（目開き20mm、段差10mm）

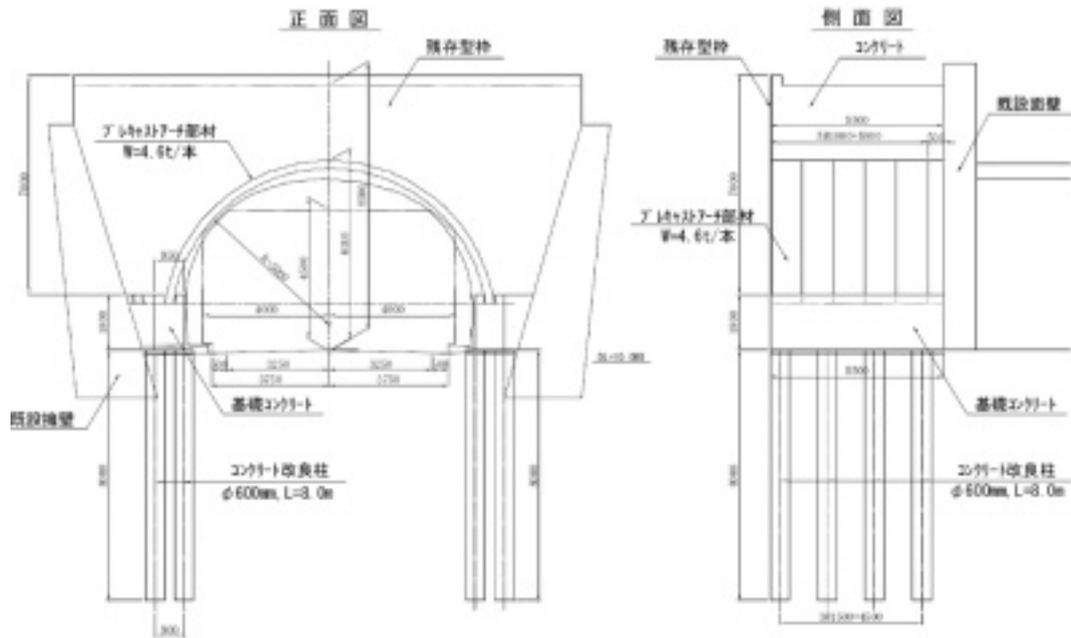


図-2 坑口補強構造（奥田トンネル出口部）

3. 対応策・工夫・改良点

3.1 坑口構造物（面壁）の安定対策工法の選定

安定対策の基本方針として、現在の構造（覆工コンクリートと一体となっていないこと）を変更せず、面壁の自重で背面土圧に対抗させる構造を目指した。対策工法は、坑口部面壁の「全面増打ち」による安定対策とした。増打ちのため延伸する面壁下部にトンネル空間を確保するためには、一時通行止めや施工中のプロテクターの設置が必要となり、交通容量の低下を招くことが問題であった。交通を確保して、片側車線規制にて実施できる対策工法として、プレキャストアーチ部材を無支保で架設する工法を採用し、トンネル坑口構造物を補強することとした（図-2）。

3.2 坑口構造物（面壁）の安定対策

プレキャストアーチ部材の軽量化を図ることにより、25tクレーンによる架設とし、片側1車線での施工を可能とした（写真-4）。面壁背面の中詰部分は、コンクリートを用いて重量を大きくし、延伸長を短くした。基礎構造は、置換えコンクリート、コンクリート改良柱による地盤改良を実施した。面壁前面はコンクリートパネルを用い、急速施工と美観向上を図った。



写真-4 プレキャストアーチ部材架設状況

プレキャストアーチ部材の架設作業は、1日3ピースの架設を、規制車線を切り替えながら実施した。1回の架設に要する時間は1時間程度であった（準備作業40分、部材準備10分程度、接合作業10分程度）。部材の吊り上げ、旋回作業は、車両の通行が途切れた際に行うこととし、部材の吊り込み作業時には、万一の場合に備えて安全監視車両を常時配置した。坑口補強工の全体工期は、約4ヶ月であった（写真-5）。



写真-5 トンネル坑口安定対策（完成）

3.3 坑口覆工コンクリートの対策工法の選定

覆工コンクリートの巻き厚不足対策は、単に上載荷重だけで補強仕様を決定するのは坑口付近の不確実な土圧に対して危険であると考えられ、現在の NATM の坑口覆工（設計基準強度 $24\text{N}/\text{mm}^2$ 、厚さ： 35cm 、鉄筋（SD345）の配置： $\text{D}19@200\text{mm}$ シングル）と同等の保有耐力を有することを目指した。対策工法として、厚鋼板の巻き立てやプレキャスト部材の設置も候補としたが、片側車線規制下での施工においては、施工機械の配置が困難になること、施工に伴う規制期間が長くなることが懸念された。施工期間が短く、片側車線規制にて施工できる対策工法として、「補強鉄筋の配置+TDR ショット工法」による増し厚工法を採用した。（図-3）

TDR ショット工法は、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。

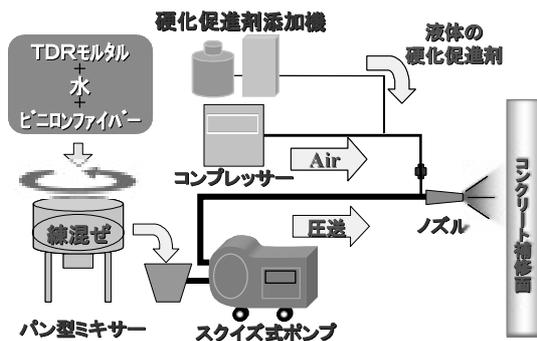


図-3 TDR ショット工法

3.4 覆工コンクリート補強対策

補強仕様については、構造解析・実証実験を行い決定している。補強部材は、設計基準強度 $40\text{N}/\text{mm}^2$ 、厚さ 8cm とし、鉄筋（SD345）の配置は、トンネル円周方向に $\text{D}19@200\text{mm}$ 、トンネル軸方向に $\text{D}16@200\text{mm}$ とした。なお、長期的には覆工背面からの漏水発生も予測され、さらに鉄筋かぶり薄いことから、エポキシ樹脂塗装鉄筋を採用している。極力補強部材を薄くするため、既存覆工（ $t=15\text{cm}$ ）と補強部材（ 8cm ）とを一体化した複合部材として設計した。

増し吹付けは TDR ショット工法により、 8cm の吹き付けを基層 6cm +表層 2cm の2層吹き付けで仕上げている（写真-6）。表層の施工では、硬化促進剤の添加量を調整した上で、コテ仕上げを行い、平滑に仕上げた。1日の作業の時間は、準備作業（プラント設営、養生設置）約2時間、吹付作業約3時間、片付作業約1.5時間となっている。1日の施工数量は、基層で $0.6\text{m}^3/\text{日}$ 程度、表層で $30\text{m}^2/\text{日}$ （ $0.6\text{m}^3/\text{日}$ 相当）程度であった（写真-7）。



写真-6 TDR ショット吹付け作業



写真-7 覆工コンクリート補強 (完成)

4. おわりに

施工後50年を経過し、建設時には想定していな

かった背面土圧が作用し、さらに坑口構造物（面壁・覆工コンクリート）に鉄筋が配置されていなかったため、変状が顕著になった事例である。

今後は、更なる品質向上と通行車両の安全確保、準備作業を含めた工程の短縮等が改善点であると考えている。

謝辞：道路交通規制について指導を頂いた「福岡県警察」並びに、調査・検討より指導を頂いた「独立行政法人土木研究所」、発注者「福岡北九州高速道路公社」の関係各位に謝意を表します。

【参考文献】

- ・伊川幹夫、西恭太、中山佳久：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」、p.78-84, CEJ 編集委員会、2008. 4