

小断面トンネルのシングルシェル による合理化施工の試み

須藤 敦史¹・木村 哲²・和泉 吉浩³

¹正会員 岩田地崎建設(株) 技術部 (〒105-8488 東京都港区西新橋3-23-5)

E-mail:a.sudou@iwata-gr.co.jp

²(株)日本ザイペックス (〒107-0062 東京都港区南青山2丁目22番3号)

E-mail:kimura@xypex.co.jp

³神奈川県足柄上地域県政総合センター森林部森林課 (〒062-8602 神奈川県足柄上郡開成町吉田島2489)

青崩隧道(既設トンネル)は、発電所の管理のための一部素掘りトンネルであったが、周辺の地殻変動や風化による緩みで、トンネル壁面の大きな落盤や全体崩落の危険性が高かった。そこで、新設トンネルは、通常の小断面(NATM)トンネルで計画されていたが、急峻な溪谷地形と経済的な要因などのため、通常のセントル型枠を用いて打設する覆工コンクリートに代えて、繊維補強吹付けコンクリートを用いたシングルシェル構造を採用した。本研究は、小断面のシングルシェルトンネルにおける吹付けコンクリートに採用した防水方法と配合・試験結果を報告する。

Key Words :Single Shell tunnel, Test method, Fiber reinforced shotcrete, Tunnel construction method

1. はじめに

神奈川県山北町に位置している県営玄倉林道線内の青崩隧道(既設トンネル)は、発電所の管理のための一部素掘りトンネルであったが、周辺の地殻変動や風化による緩みで、トンネル壁面の大きな落盤や全体崩落の危険性が高かった。そこで、新設トンネルは小断面(NATM)トンネルとして計画されていた。

しかし、計画トンネルは曲線半径が50mと小さく、縦断勾配6.232%(登り)と急勾配であり、また施工箇所は山間部の林道であるため、一般的な覆工コンクリートの施工では様々な理由により不経済になる。

加えて、坑口部ヤードおよび既設トンネル内は極めて狭くセントルの組立・解体作業は安全性に欠け、またコンクリートの打設に多くの時間と労力が必要となり、全作業日数が多くなるため、トータルコストが割高になる。さらに既設トンネルは一部素掘りとなっており、希少性の高いこうもりの生息地になっている。

そこで、通常の覆工コンクリートに替えて、繊維補強吹付けコンクリートを用いたシングルシェル構造¹⁾を採用し、合理的・経済的な小断面トンネルの施工を行った。

本研究は、小断面のシングルシェルトンネルにおける吹付けコンクリートに採用した防水工法と配合・試験結果を報告する。

2. シングルシェル・ライニング

NATM トンネルの支保構造は、支保工と覆工コンクリートで構成され、一般的に支保工と周辺地山でトンネル構造体の安定化を図るものと考えられている。一方、コスト低減、改築・補修、維持管理などの理由により、トンネルを合理的に施工する手段が注目されている。

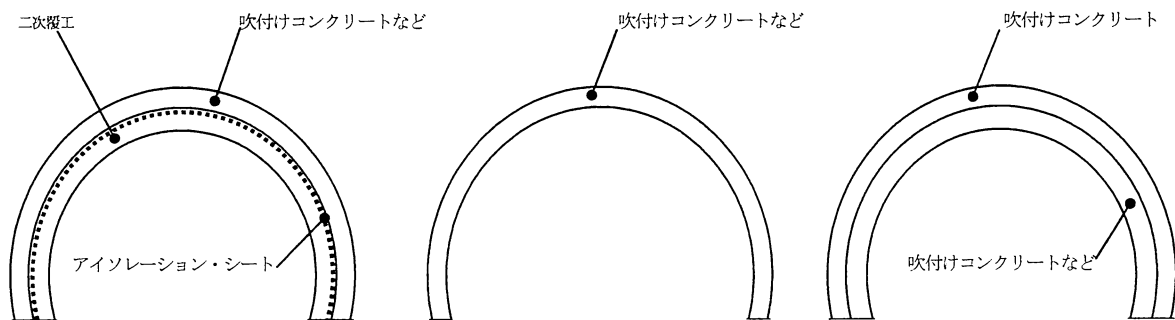
(1) シングルシェル・ライニングの構造

a) ダブルシェル・ライニング

一般的な NATM トンネルでは、各部材の機能を分離するため、支保工と覆工が一体化しないように間に防水シートが施工される。

防水シートは、防水・漏水防止機能の他に、覆工コンクリートと支保工との間で縁切り材(アイソレーションシート)として働き、背面拘束を軽減して温度応力・乾燥収縮などによる覆工コンクリートのひび割れ発生を防止する機能も有している。

このように防水シートにより支保工と覆工コンクリートが独立して境界面でせん断力の伝達が行われない構造はダブルシェル・ライニングと称されている(図-1(a)参照)



(a) ダブルシェル・ライニング
(一般的な山岳工法)

(b) シングルシェル・ライニング
(単層構造)

(c) シングルシェル・ライニング
(多層構造)

図-1 シングルシェル・ライニングの概略構造

表-1 吹付コンクリート配合表 (シングルシェル)

配 合	σ_{28} N/mm ²	W/C %	S/a %	1m ³ 配合 (kgf/cm ³)						
				C	W	S	G	混和剤	急結剤	繊維
標準コンクリート	18	60	62	360	194	1,086	675	-	19.8	-
高強度吹付コンクリート	36	45	60	450	203	983	668	4.5	45	-
繊維補強 高強度吹付コンクリート	36	45	70	450	203	1,148	499	5.4	45	4.55

混和剤：FTN-30, 急結剤：T-30, 繊維：バルチップ

また、一般的な地山において覆工コンクリートは定量的な力学的機能は要求されておらず、不確定要因に対する安全性向上の目的で施工されている。

b) シングルシェル・ライニング

シングルシェル・ライニングは、図-1 (b), (c) に示すように単層あるいは多層構造の吹付けコンクリートや型枠打設コンクリートで構成されている。

多層構造の場合には、せん断力の伝達を阻害するものがないため、各層間はしっかりと一体化され、ダブルシェル・ライニングが重ね梁を形成するのに対してシングルシェル・ライニングは合成梁となり、地山からの荷重をより薄い断面厚で支保することができる構造である。

現在、わが国では標準的な山岳トンネルの施工法は、ダブルシェル・ライニング構造が一般的に採用されているが、ヨーロッパなどではトンネルを合理的に施工する考え方の一つとしてシングルシェル・ライニングが数多く施工されている²⁾。

(2) シングルシェルライニングの特徴

シングルシェル・ライニングの採用により、一般的な NATM に比較して支保構造（特に覆工コンクリート）の薄肉化を図ることができ、コンクリート使用量や掘削量の削減が可能である。しかし、永久構造物として必要

な品質の確保が必要がある。

また欧米では、シングルシェル・ライニングの採用により、建設コストの低減や工期短縮が可能となると考えられている。

3. 小断面トンネルにおけるシングルシェル・ライニング

(1) シングルシェル・ライニングの採用

本小断面 (NATM) トンネルにおいても覆工コンクリートは、スライドセトルまたはバラセトルなどを使用して全断面で施工することが当初から計画されていた。

しかし、本トンネルは曲線半径が50mと小さく、縦断勾配6.232%（登り）と急勾配であり、また施工箇所が山間部であるため、一般的な覆工コンクリートの施工は様々な理由により不経済になる。

加えて、坑口部ヤードおよび既設トンネル内は極めて狭いため、セトルの組立・解体作業の安全性に欠け、覆工コンクリートの打設に多くの労力が必要となり、全作業日数が多くなるため、トータルコストが割高になることが判明した。

そこで、小断面トンネルの合理化施工を目的として、繊維補強吹付けコンクリートを用いたシングルシェル構造

を採用した³⁾。

(2) シングルシェル・ライニングの設計

本小断面NATMトンネルにおいても、覆工コンクリートは定量的な力学的機能は要求されておらず、不確定要因に対する安全性向上の目的で計画されていた。

そこで、計画されていた覆工コンクリート以上の保有耐力を有するような部材厚さを有限要素法により求め、使用する吹付けコンクリートは以下に用い決定した。

(3) 繊維補強高強度吹付けコンクリート

本トンネルは小断面であるため、DⅠ以上の支保パターンでは、一次吹付けコンクリートの上に覆工コンクリートに相当する繊維補強高強度吹付けコンクリートを施工する多層構造のシングルシェル・ライニング（表-1参照⁴⁾）を基本として採用した。

(4) シングルシェルトンネルの施工

吹付けコンクリートのみで構成させるシングルシェルの場合、従来の NATM トンネルにおける覆工コンクリートとほぼ同等な機能を有することが必要であるため、2層構造（支保層+補強層）とした。

なお、支保層において表面部に防水機能を有する構造として吹付けコンクリート表面の改質（緻密化）を施している。

① 一次層（支保層）

【支保耐力】現設計の支保部材（支保工+ロックボルト+吹付けコンクリート）で長期的に十分な支保耐力を有しており、トンネル構造体としての安定を図ることが可能と考えられる。

② 二次層（補強層：一般 15cm, 非常駐車帯：20cm）

【支保耐力に関する安全性の付加】従来の覆工コンクリートが長期的安定を確保する目的であるため、補強層としての繊維補強高強度吹付けコンクリートの施工により、支保剛性を現設計より大きくした。

ここで、坑口部および既設トンネルの接続部（DⅡパターン）では、従来の覆工コンクリートを施工する（ダブルシェル・ライニング）構造とした。

【湧水処理】シングルシェル・ライニングでは基本的に水圧は考慮しないものとし、防水シートは施工しないが、一次吹付コンクリート表面に不透水層を形成させるコンクリート改質剤（ザイベックス）の吹付けを行っている（写真-1 参照）。

なお、DⅡパターン（坑口）部では、一次吹付コンクリート表面に設置した不織布にコンクリート改質剤を吹付けて、バラセントルにて覆工コンクリートの施工（吹付けコンクリートと覆工コンクリートに改質層形成）を行っている。

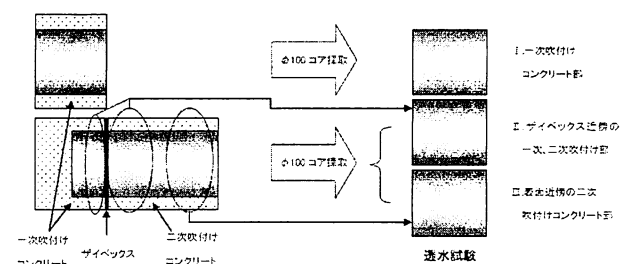


図-2(a) シングルシェル・ライニング防水試験

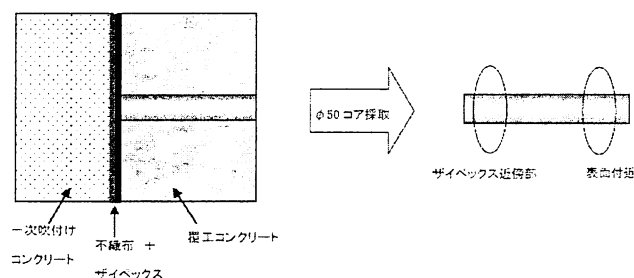


図-2(b) 防水剤の確認試験（覆工部）



写真-1 シングルシェル・ライニングの状況

4. シングル・シェル（吹付け）コンクリートにおける防水層

(1) 吹付けコンクリートの（防水）構造

シングルシェル・ライニングの一次吹付けコンクリート表面における改質（不透水）層形成の確認試験を図-2(a)に示す。

また、ダブルシェル・ライニング（DⅡパターン）部における一次吹付けコンクリートの改質（不透水）層形成の確認試験は、採取したコアの改質（不透水）層施工部付近と表面付近からそれぞれ資料を採取（図-2(b)参照）して、Au蒸着後、走査型電子顕微鏡(SEM)によりコ

ンクリート組織の水和反応層の確認を行っている。

ここで、ダブルシェル・ライニング（DⅡパターン）部の一次吹付けコンクリートにおける水和組織の観察結果を図-3に示す。

図-3より、3本のコアにおいて不透水層近傍個所が表面付近と比べて結晶化が進行している様子が観察され、吹付けコンクリートの打設後約1ヶ月でエントレインドエアの空隙や毛細管空隙にコンクリート改質剤（ザイペックス）による結晶が生じており緻密化現象が確認されている。

5. 結 論

本報告では、小断面NATMトンネルにおけるシングルシェル・ライニングの採用状況および吹付けコンクリートの防水機能付加のための表面部の改質状況を主に記述している。

今後のシングルシェル・ライニング採用の際に参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) ジェオフロンテ研究会：シングルシェル・トンネルの設計・施工計画・積算報告書，2002.5.
- 2) 須藤敦史：シングルシェルライニングに関する技術について，北海道土木技術会，トンネル研究委員会会報，No.33，pp.8-11，2002.5.
- 3) 山中桂司，須藤敦史，和泉吉浩：様々な条件に取り組んだ小断面トンネルの合理化施工-県営玄倉林道線 2号隧道付替青崩隧道，北海道土木技術会 トンネル研究委員会，2012 トンネル技術研究発表会論文

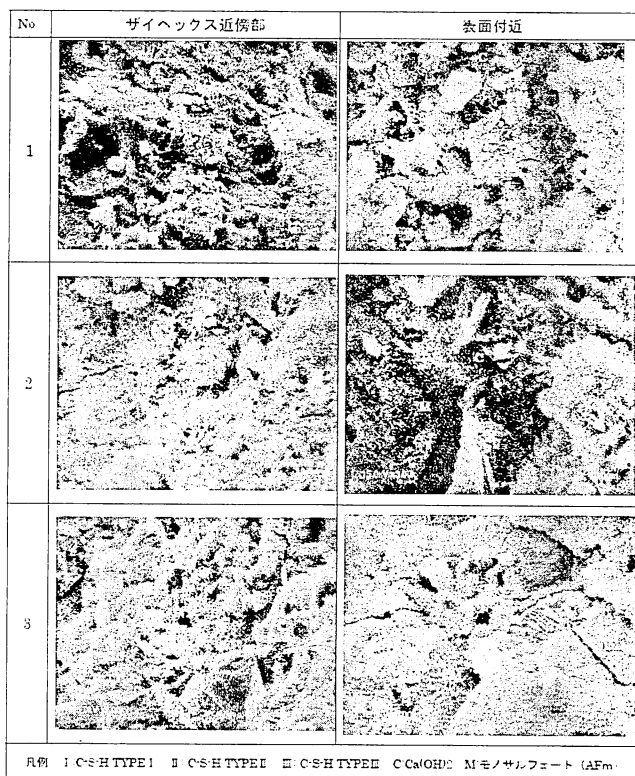


図-3 SEMによる改質剤の防水層確認状況

- 4) トンネル技術協会：トンネル技術者のための吹付けコンクリート・ロックボルト Q&A，トンネルと地下[連載講座]，pp.32-37，2003.3.

(2012.9.3 受付)

RALIZATION OF SINGL SHELL LINING SMALL SECTION TUNNEL

Atsushi SUTOH, Tetsu KIMURA and Yoshihiro WAIZUMI

In this paper propose, the single shell structure small section tunnel using fiber reinforcement spraying concrete was constructed in Kanagawa, which is presented to forecast the rational process of tunnel lining. And, various examinations on a waterproofing function were carried out at single shell lining spraying concrete. The single shell lining system has the following advantages: Convenient construction, easy to handle materials, and on-site production. Flexible installation and wide span in capacity. Easy to repair and custom design by spraying thicker concrete to adding new support.