

避難連絡坑断面でのトンネル一次支保工の 長期耐久性に関する調査について

Investigation of long durability of pre-support concrete of emergency tunnel

西谷直人¹・清水隆司²・野村昌弘³

Naoto Nishitani and Takashi Shimizu and Masahiro Nomura

¹中日本高速道路㈱ 金沢支社 金沢保全・サービスセンター (〒920-0365 石川県金沢市神野町東170)

²中日本高速道路㈱ 金沢支社 金沢保全・サービスセンター (〒920-0365 石川県金沢市神野町東170)

³正会員 ㈱クエストエンジニア (〒920-0025 石川県金沢市駅西本町3-7-1)

In this study, we have evaluated the durability and properties that are support materials of shotcrete used the tunnel emergency in a year. The emergency omits secondary lining. The researches are the survey of shotcrete surface, the compression test and neutralization by the concrete specimens, drying shrinkage tests, and the bond rests between rock and shotcrete. We are going to research after 10 years.

Key Words : emergency Tunnel, shotcrete, long durability, bond strength

1. はじめに

中日本高速道路株式会社が管理する北陸自動車道(以下「北陸道」という)敦賀トンネルでは、トンネル防災設備の基準改正により、避難連絡坑を新設する工事が行われた。

従来、トンネル構造物は、吹付けコンクリートやロックボルトを主体とする一次支保工により、掘削後のトンネルの安定性を確保し、安定性が確認された後に防水工を兼ねたアイソレーションを施し、二次覆工コンクリートを施工して完成となる。

そのため、覆工コンクリートに覆われているトンネル一次支保工の直接的な状況把握は困難であり、耐久性について検討した例は少ない。

そこで、北陸道敦賀トンネルは、花崗岩主体の良好な地山だったこともあり、試験施工の位置付けで新設する避難連絡坑において、二次覆工を省略し、吹付けコンクリートの長期耐久性を評価するために

- ①吹付け面の外観調査
- ②吹付けコンクリート材料の長期耐久性、
- ③吹付けコンクリートのシェル構造物として長期耐久性

④吹付けコンクリートと地山との一体化による支保構造の長期耐久性

に関して、トンネル完成から10年間にわたり調査を実施することとした。

2. 新設避難連絡坑の概要¹⁾

北陸道敦賀トンネルは、福井県敦賀市と今庄町の市境に位置し、地形的制約上急峻な斜面に位置するため、敦賀側坑口では上下線の離隔が水平で約300m、高低差で約58m、坑口から約1,200m地点では高低差38mをもって立体交差する分離断面構造となっている。

トンネル延長は上り線が延長3,225m、下り線が延長2,925mであり、昭和52年に暫定2車線で昭和55年には4車線として完成した。

新設する避難連絡坑は、図-1の立体イメージ図に示すように、車道連絡坑が上り線へ、人道連絡坑は車道連絡坑より分岐し、下り線へ接続する構造となっている。

車道連絡坑は、内空断面18.0㎡、延長530m、下り勾配*i* = 8.0%であり、人道部は、内空断面10.0

m³延長 142m, 上り勾配 i = 25.0% で計画された。

断面形状は、二次覆工コンクリートを省略することから長期安定性を考慮して、

①吹付けコンクリートの設計強度を 36N/mm² に引き上げる。

②吹付けコンクリートは鋼繊維補強コンクリート (SFRC) とする。(配合は表-1 参照)²⁾

③二次覆工が可能な内空断面を確保する。を取り入れて計画した。

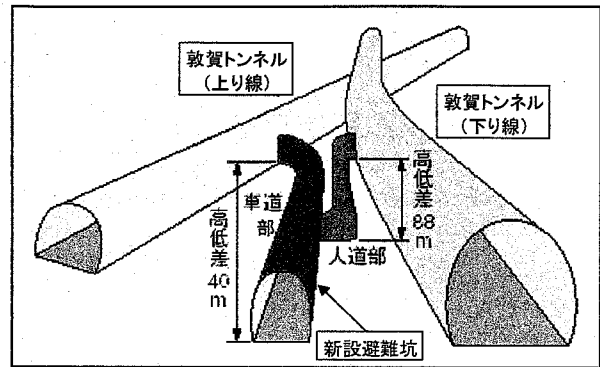


図-1 避難連絡坑と営業線の立体イメージ

表-1 鋼繊維補強吹付けコンクリートの配合

材令28日 強度 (N/mm ²)	目 標 スランプ (cm)	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
				セメント	水	細骨材	粗骨材	高性能 減水剤	粉じん 低減剤	鋼繊維
36	18	40.0	65.4	475	190	1082	586	6.85	47.5	58.5

3. 調査概要

本調査は、車道連絡坑 L=530m の内、地山等級 C I から D I に区分される約 330m の区間で吹付けコンクリートにスチールファイバー (SF) を混入したものとし、ないものを比較することを目的として (図-2 C I 支保パターン断面図参照) トンネル完成か

ら 1 年, 3 年, 5 年, 10 年の各時点で表-2 に示す各種調査を行うこととした。

なお、環境条件把握のため、調査期間中は気温・湿度の測定も実施する。

また、調査区間内で吹付けコンクリートが部分的に劣化した場合、劣化の要因についても検討することとした。

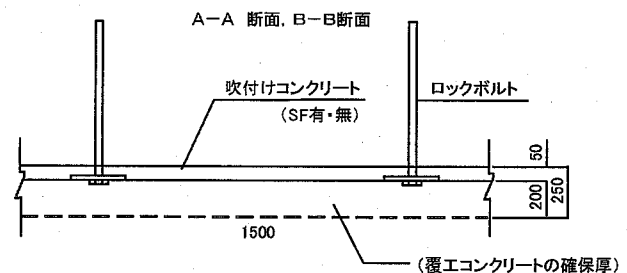
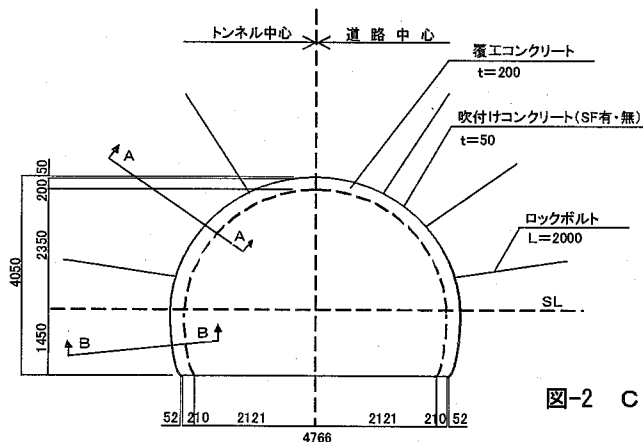


図-2 C I 支保パターン断面図

表-2 調査および試験計画

実施時期		評 価 項 目			
		① 吹付け面の目視観察	② 吹付けコンクリート材料の長期耐久性	③ 吹付けコンクリートのシェル構造体としての長期耐久性	④ 吹付けコンクリートと地山との一体化による支保構造の長期耐久性
経年変化	1年	・目視・たたき調査	・圧縮強度試験 (供試体) ・乾燥収縮試験 (供試体)	・圧縮強度試験 (原位置) ・乾燥収縮試験 (原位置) ・中性化試験 (原位置)	・付着強度試験 (原位置)
	3年	・目視・たたき調査	—	—	—
	5年	・目視・たたき調査	・圧縮強度試験 (供試体) ・乾燥収縮試験 (供試体)	・圧縮強度試験 (原位置) ・乾燥収縮試験 (原位置) ・中性化試験 (原位置)	・付着強度試験 (原位置)
	10年	・目視・たたき調査	・圧縮強度試験 (供試体) ・乾燥収縮試験 (供試体)	・圧縮強度試験 (原位置) ・乾燥収縮試験 (原位置) ・中性化試験 (原位置)	・付着強度試験 (原位置)

(1) 1年目の調査結果と評価

a) 外観調査

外観調査は、目視とテストハンマーによる打音により行い、トンネル上半部は高所作業車を使用した。

吹付けコンクリート面は、全般的に結露状態であり、漏水部分の判定ができない状況であった。

主な損傷は、コンクリートの空洞と遊離石灰が点在していることであり、空洞の多くはアーチ部に発生していた。写真-1はその一例である。

b) 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、避難坑の側壁部（SF 入り、無し）および施工時に作成した箱型枠供試体からコアをφ55mm、L=100mm 程度を採取し、切取整形後、JIS A 1108に基づき、実施した。施工時からの経時変化を図-3 に示す。

本吹付けコンクリートにおける基準は、 $\sigma_{3hr}=2\text{ N/mm}^2$ 、 $\sigma_{24hr}=10\text{ N/mm}^2$ 、 $\sigma_{28d}=36\text{ N/mm}^2$ である。³⁾

施工時およびトンネル完成から1年目のどちらも基準値を満足し、時間の経過とともに増加する傾向にある。

また、供試体における1年後の圧縮強度は、SF 入りが 57 N/mm^2 、SF なしが 56 N/mm^2 の値が得られ、側壁部から採取した方が供試体よりも上回っている傾向がある。

c) 乾燥収縮試験

乾燥収縮試験は、避難坑の側壁部および施工時に作成した箱型枠供試体に設置した標点間（間隔約10cm）の長さをコンタクトゲージにて測定した。写真-2はその測定状況である。調査時における環境条件を図-4、測定開始時からの経時変化を図-5 に示す。

ひずみ値は、計測当初の10日間で急激に収縮し、その後、時間の経過とともに伸長に転じて、1年後

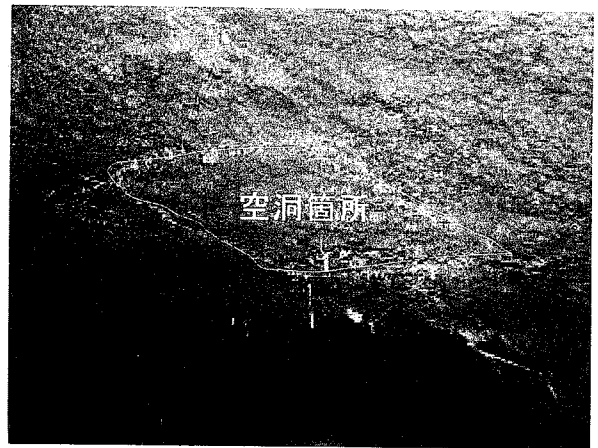


写真-1 損傷状況

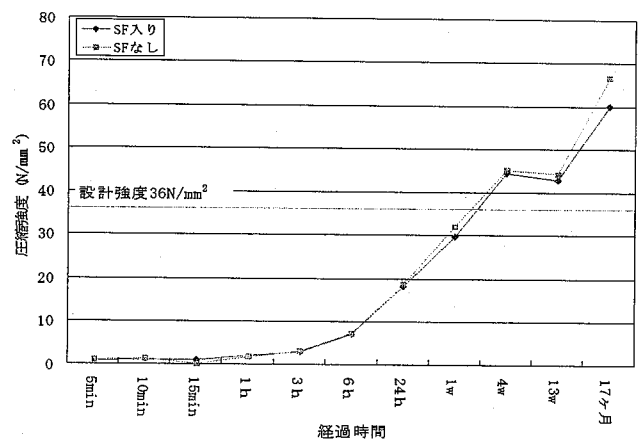


図-3 圧縮強度の推移

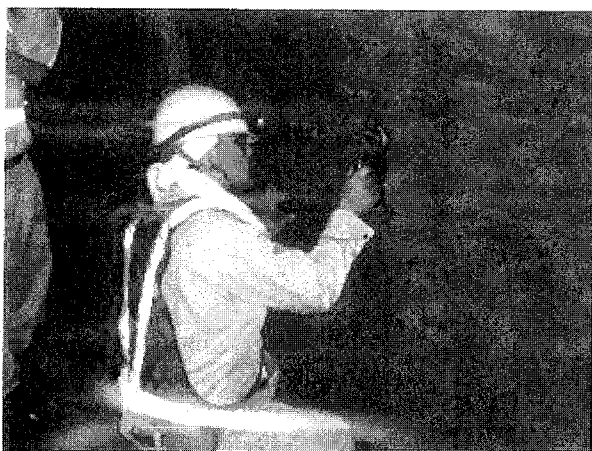


写真-2 コンタクトゲージによる測定

は、側壁部で平均 72μ 程度、供試体で平均 56μ 程度である。この値は、一般的なコンクリートの乾燥収縮ひずみの限界値 $500\sim 700\mu$ ⁴⁾の約1/10程度となっている。

なお、側壁部の伸長変化が小さい要因としては、吹付けコンクリート厚が5cmのため、岩盤による凹凸拘束を受けているものと考えられる。

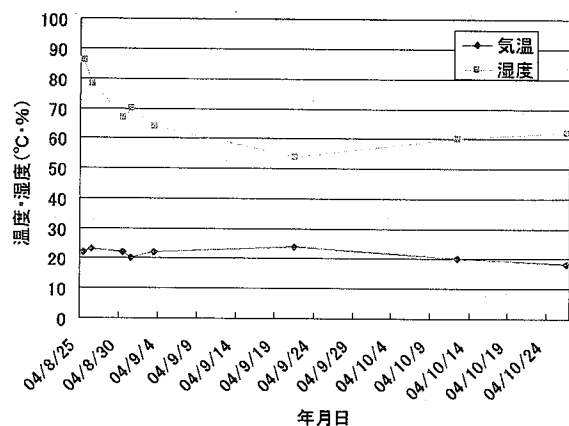


図-4 気温・湿度の測定

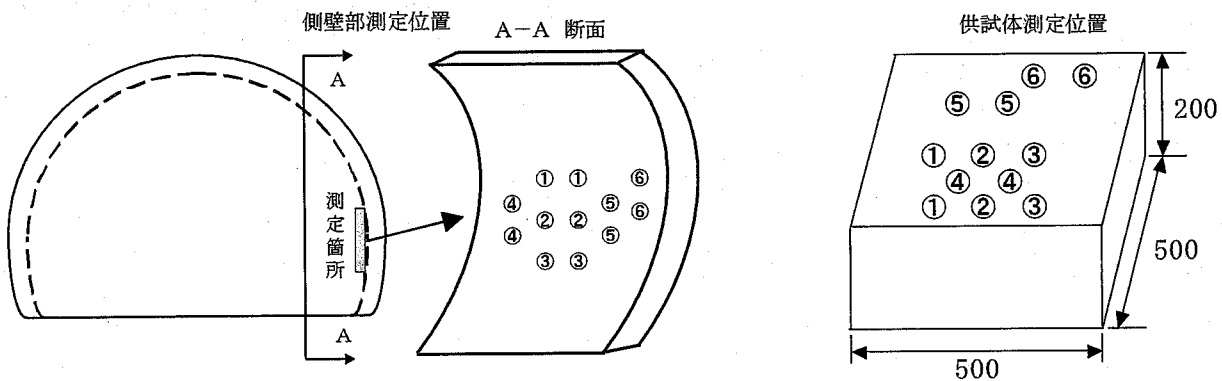
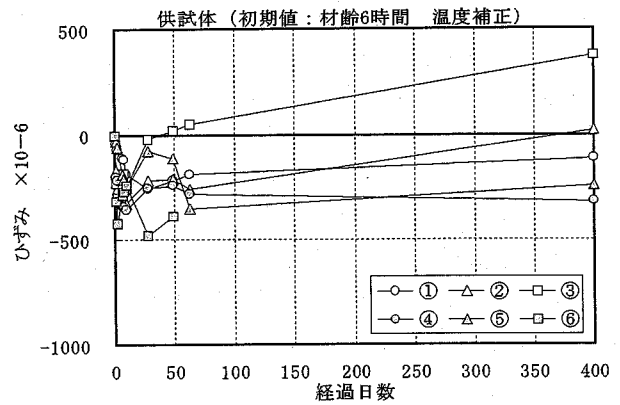
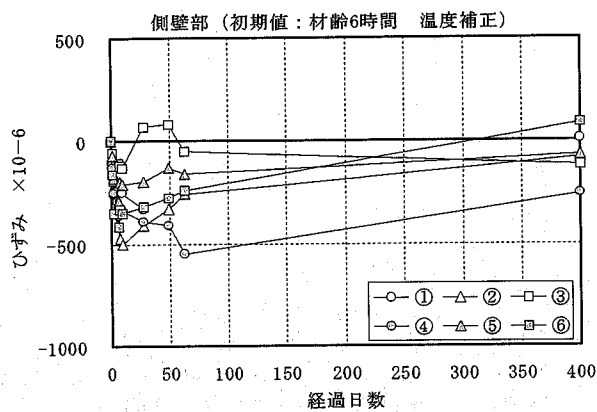


図-5 乾燥収縮の推移

d) 中性化試験

圧縮強度試験用コアを用いて、フェノールフタレイン溶液1%を噴霧し、中性化深さを測定した。その結果は、中性化の進行は認められなかった。

e) 付着強度試験

付着強度試験は「吹付コンクリートと地山との一体化による支保構造の長期耐久性」を評価する意味で重要な方法である。

しかしながら、国内においては、吹付けコンクリートの付着強度の測定方法には基準化されたものがない。

今回の付着強度試験は、「北陸自動車道敦賀トンネル一次支保工の長期耐久性に関する技術検討委員会」にて検討提案された方法で、図-6に示すように吹付けコンクリート表面から地山に至る円形コアスリットを挿入し、引抜き試験を行う方法である。⁵⁾

(写真-3 参照)

試験の手順は次のとおりである。

- ①吹付けコンクリートにケミカルアンカーを穿孔打設
- ②硬化養生 (30 分程度)
- ③コアマシン設置
- ④コアスリットを挿入

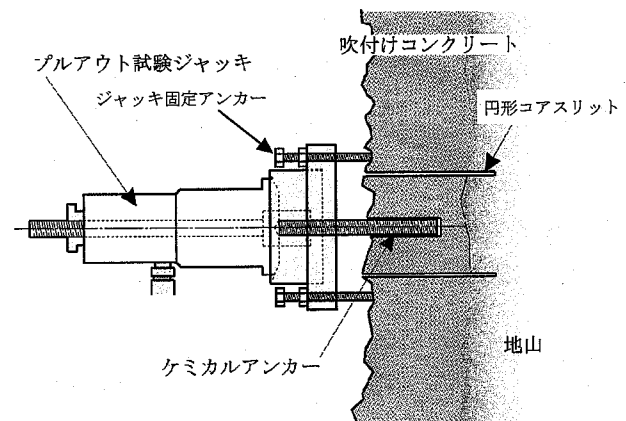


図-6 付着強度試験の概念図



写真-3 引抜き試験状況

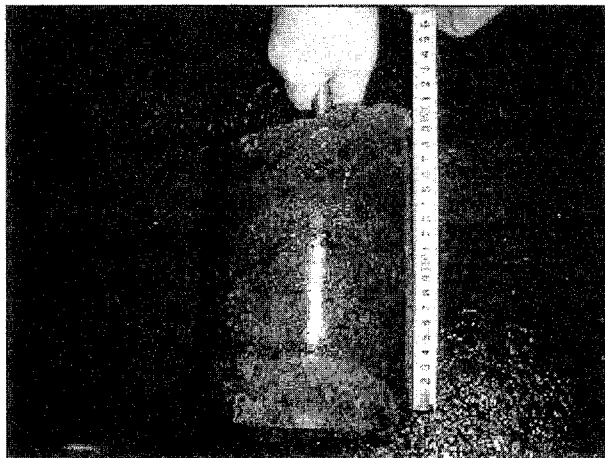
⑤プルアウト試験用ジャッキ（不陸用ジャッキ固定アンカー付き）の設置

⑥引抜き試験

⑦コア付着切れ箇所を観察

吹付けコンクリート施工後および1年経過後の付着強度試験結果を表-3に示す。

吹付けコンクリートの付着強度は、C I 等級地山で 0.5N/mm^2 、海外の基準でも岩盤への最小付着強度は、非構造体 0.1N/mm^2 、構造体 0.5N/mm^2 の値⁶⁾が示されている。



今回の結果は、個々の測定値の差が大きく、また一部では小さい値も得られているが、これは、

①地山の潜在亀裂による影響

②地山と吹付けコンクリートの境界での隙間の存在（写真-4 参照）

により、バラツキや低い値を示したと考えられる。

しかしながら、時間的な視点では、1年経過しても吹付けコンクリートと岩盤の付着性状に大きな環境変化はなかったものと考えられる。

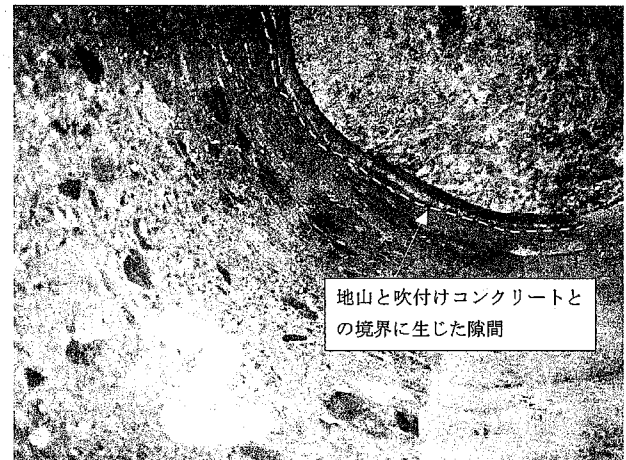


写真-4 付着強度試験後のコアと界面状況

表-3 付着強度試験の結果

	測点	No.	コアスリット 導入状況	付着強度 (N/mm ²)	付着面の観察
施工後	No.3+4.939側壁 (SFあり)	1	完了	0.020	コンクリートと岩盤の界面で破断した。
		2	完了	0.140	コアスリットが一部地山に到達せず、一部コンクリートが破断。付着断面内に岩塊の大きな段差が存在した。
		3	完了	0.140	コアスリットが一部地山に到達せず、一部コンクリートが破断。付着断面内に岩塊の大きな段差が存在した。
	No.3+47.639側壁 (SFなし)	4	完了	0.100	コンクリートと岩盤の界面で破断した。
		5	完了	0.100	コンクリートと岩盤の界面で破断した。
		6	完了	0.040	ほぼコンクリートと岩盤の界面で破断したが、コアスリット内の一部は岩塊が存在した。
		7	完了	0.360	付着面が亀裂の多い岩盤であり、岩盤の一部がコンクリートと付着したままで噛合いを生じたと思われる。
1年後	No.3+4.939側壁 (SFあり)	1	完了	1.011	ほぼコンクリートと岩盤の界面で破断した。破断面の一部は、岩盤亀裂であった。
		2	完了	0.129	ほぼコンクリートと岩盤の界面で破断した。破断面の一部は、岩盤亀裂であった。(吹付けコンクリートと地山との境界に隙間有り)
		3	完了	—	コアスリット導入時に、ほぼコンクリートと岩盤の界面で破断した。破断面の一部は、岩盤亀裂であった。(吹付けコンクリートと地山との境界に隙間有り)
	No.3+47.639側壁 (SFなし)	4	完了	0.048	ほぼコンクリートと岩盤の界面で破断した。破断面の一部は、岩盤亀裂であった。(吹付けコンクリートと地山との境界に隙間有り)
		5	完了	—	コアスリット導入時に、ほぼ岩盤亀裂で破断した。破断面の一部は、コンクリートと岩盤の界面であった。(吹付けコンクリートと地山との境界に隙間有り)
		6	完了	0.039	ほぼコンクリートと岩盤の界面で破断した。破断面の一部は、岩盤亀裂であった。(吹付けコンクリートと地山との境界に隙間有り)

3. まとめ

本調査の目的は、二次覆工を省略し、施工から10年間の吹付けコンクリートの性状変化や機能面での劣化程度を明らかにすることである。

1年を経過した調査では、吹付け面で浮き、はく離箇所が増加や溶脱物(遊離石灰等)発生が見られ、機能的な面や耐久性の面での懸念が残る。

本調査で得られるデータは重要な基礎資料となるため、今後も継続調査していくことにしている。

なお、本報告文の取りまとめにあたっては、「北陸自動車道敦賀トンネル一次支保工の長期耐久性に関する技術検討委員会」委員の金沢工業大学 環境・建

築学部環境系の木村助教授に監修をいただいた。ここに深くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1), 3) 加藤陽一, 高久英彰, 荒本貴司: トンネル吹付けコンクリートの長期耐久性についての試験施工—合理的なトンネル一次支保に向けて—, EXTECNo. 73, pp20, pp23, 2005.
- 2), 5), 6) (財)高速道路技術センター: 北陸自動車道敦賀トンネル一次支保工の長期耐久性に関する技術検討報告書, pp2-9, pp5-16, 参-63, 2005.
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書[施工編]pp54, 2005.