

コンクリート長距離圧送実験に関する考察

西松建設(株)土木設計部 正会員 ○小林 優太

西松建設(株)土木技術部 正会員 鈴木 健

中日本高速道路(株)金沢支社 敦賀保全・サービスセンター 正会員 鈴木 俊雄

1. はじめに

矢板工法により建設されたトンネルは、NATM とは異なり、覆工背面に防水シートがないことから、覆工の経年劣化により漏水が発生している。寒冷地では、漏水が原因となり、氷柱（ツララ）が発生するため、走行車両への安全対策としてツララ落とし作業を実施しているが、実施に際し、渋滞の発生や交通事故を誘発するリスクがある。これらの課題に対する抜本的な対策の一つとして「覆工再生工」¹⁾が検討されている。覆工再生工は、供用下での施工を想定し、トンネル中央部に「防護工」と称するプロテクターを設置し、防護工内に一般車両を通行させながら、既設覆工の切削、防水シートの設置および再生覆工コンクリートを構築するものである。再生覆工コンクリートの打設には、全断面スライドフォーム（以下、セントルと称す）の使用を想定しているものの、トンネル中央部に防護工があり、また、防護工内は一般車両を供用することから、セントル付近にコンクリート打設用ポンプを配置することが不可能となり、長距離圧送が必要となる。これを受けて「北陸自動車道 覆工再生工に関する技術開発業務」では、「再生覆工コンクリート（現場打ち）技術開発」の要求要件に「長距離（最大 850m）の運搬を必要とする再生覆工コンクリート（圧縮強度：36N/mm²、繊維混入、最小覆工厚さ 200mm）は現場打ちコンクリートとし、必要な品質及びワーカビリティを有すること。」²⁾が設定されていた。

本稿は、この要求要件に対し、長距離圧送試験を行い、再生覆工コンクリートに必要な品質およびワーカビリティの検証等、再生覆工コンクリート（現場打ち）技術の開発成果について報告する。

2. 再生覆工コンクリート配合計画

再生覆工コンクリートの配合計画は、以下を基本とし、表-1 の通りとした。

- 再生覆工コンクリートは、長距離圧送性能と薄肉覆工（t=200mm）の充填性（自己充填性ランクⅢ）を考慮し、現場添加型流動化コンクリートを製造する。
- 繊維混入後の目標フロー値は、再生覆工打設時の流動性および充填性を考慮して 60±10cm とした。ただし、セメント量の決定は、コンクリートのフレッシュ状態での流動性を考慮して決定し、強度が目標強度の 10%を超過しても配合計画の修正は行わない。

表-1 再生覆工コンクリート配合

水セメント比 W/C(%)	細骨材率 s/a(%)	単位量(kg/m ³)						
		W	C	S	G	混和剤① ^{※1}	混和剤② ^{※2}	繊維 ^{※3}
41.6	53.6	175	420	909	798	3.78	2.52	2.73

※1：高性能 AE 減水剤（ベースコンクリートに添加）
※2：流動化剤（ベースコンクリート現場到着後添加、添加量はコンクリート性状によって変更）
※3：繊維混入率 0.3vol%（ベースコンクリート現場到着後添加）

キーワード 覆工再生工 再生覆工コンクリート 長距離圧送 圧力計測

連絡先 〒160-6407 東京都港区虎ノ門 1-17-1 西松建設(株)土木設計部 TEL 03-3502-7637

3. 長距離圧送試験概要

長距離圧送試験概要を以下に示す。

- ・技術実証ヤード内にコンクリート圧送用配管を延長850m敷設した。配管は、使用可能ヤードの形状から蛇腹状に敷設したことによって、配管の水平換算距離は、約1kmとした。実施工において、コンクリート圧送用配管はトンネル坑内に敷設されることを考慮し、本試験では、配管上面に遮光ネットを敷設するとともに、スプリンクラーで散水して、直射日光による配管表面の温度上昇を抑制した（図-1参照）。
- ・長距離圧送試験実施前に、水送り試験、試験圧送①（圧送距離L=320m）および試験圧送②（圧送距離L=850m）を実施し、圧送時の配管に異常がないことを確認した。
- ・長距離圧送に使用する圧送ポンプの仕様は、圧送不可計算式³⁾および吐出量から決定し、理論突出量110（ロッド）/76（ヘッド）m³/h級の定置式ポンプを採用した。コンクリート吐出量は、実施工の再生覆工コンクリートの打設速度を想定して、V=10m³/hとした。なお、このポンプを採用したことで中継ポンプは省略することが可能となった。また、この計算結果を考慮して、圧送元から約480mはインロー式の高圧配管を採用し、配管には、50m毎に圧力計を配置（配置数：合計19箇所）し、圧送中の圧送負荷を計測した。

4. 長距離圧送試験結果

長距離圧送試験結果を以下に示す。

- ・圧送試験結果から、圧送時の配管の脈動等を確認し、曲線配管が必要な箇所は、チェーン固定等が必要であることが分かった。
- ・圧送試験開始前の計画では、先送りモルタルは、1:2モルタル、V=1.5m³と計画した。しかしながら、試験圧送②で先送りモルタル圧送中に異常な圧送負荷が計測された。このことから、先送りモルタルの仕様について再検討し、1:1モルタルに変更した。この結果、長距離圧送試験（2回実施）では、先送りモルタルおよびコンクリート圧送時に異常な圧送負荷や配管閉塞の発生はなかった。
- ・コンクリート受入検査項目の「運搬・打込み時間」は、「外気温25℃超える場合：1.5時間以内、外気温25℃以下の場合：2時間以内」と規定されている。しかしながら、再生覆工コンクリート打設速度10m³/h（筒先の吐出速度）を設定して、850m圧送を行うと、コンクリート製造から吐出完了までに必要な時間は、長距離圧送試験では最大150分必要だった。なお、本実験でのコンクリート製造から現場到着までの時間は30分～40分程度だった。なお、吐出後のコンクリート性状を受入検査で確認すると、部分的に目標スランプフロー下限値を下回った結果もあったが、概ね目標範囲内に収まった。

以上より、長距離圧送試験時に計画したコンクリート配合、ポンプ仕様および配管仕様は、要求要件を満足することが確認できた。しかしながら、実施工において長距離圧送が必要な場合は、コンクリート製造場所や筒先でのコンクリート製造を確認して、「運搬・打ち込み時間」の規定の適用について検討が必要である。



図-1 長距離圧送試験（左：配管敷設・養生状況，中：圧力計，右：配管圧力計測状況）

参考文献

- 1) 中日本高速道路株式会社金沢支社：供用下における矢板工法トンネル覆工再生工に関する手引き（案），2020年1月
- 2) 中日本高速道路株式会社金沢支社 敦賀保全・サービスセンター：「北陸自動車道 覆工再生工に関する技術開発業務」基本性能・基本条件書，令和2年10月
- 3) 公益社団法人土木学会：「トンネルライブラリー135号 コンクリートのポンプ施工指針〔2012年版〕」，2012年6月