

羊蹄トンネル（比羅夫）他における SENS 一次覆工コンクリートの開発

奥村・日本国土・札建・山田特定建設工事共同企業体 正会員 ○加藤清孝
奥村・日本国土・札建・山田特定建設工事共同企業体 正会員 岩永 直
奥村・日本国土・札建・山田特定建設工事共同企業体 正会員 中村誠喜
独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 十倉昭次郎

1. 羊蹄トンネル（比羅夫）他の工事概要

本工事は新函館北斗・札幌間を結ぶ北海道新幹線の内、ニセコ町と倶知安町にまたがる羊蹄トンネル（9,750m）の終点側（延長 5,569m）を掘削する（図 1）. 本トンネルは、当該区間の地質状況から、掘削切羽の安定を確保するため、シールドを用いた場所打ち支保システム¹⁾（以後、SENS）を採用する。



図 1 施工位置図

SENS は、シールド掘進と同時に打設する場所打ちの一次覆工コンクリートによってライニングを構築するトンネル施工方法で、羊蹄トンネルで 5 例目の施工になる。SENS に用いる一次覆工コンクリートは地山と内型枠の間に隙間なく充填可能な流動性、配管内に一定時間滞留可能なフレッシュ保持性、早期に内型枠の脱型が可能な強度発現性及び被水圧条件下においても打設可能な水中不分離性が求められている。そこでトンネル掘削に先立ち、コンクリートの各種基本性状実験を実施し、トンネル施工条件に適合した 4 つの特徴的な要求性能を有する一次覆工コンクリートを開発する。

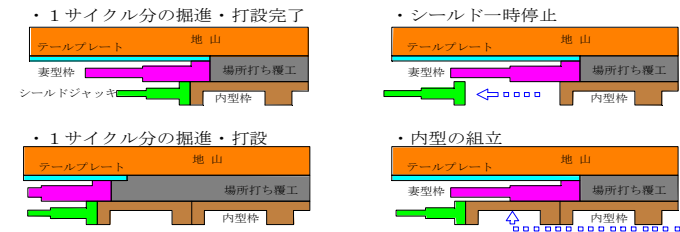


図 2 SENS イメージ図

2. 一次覆工コンクリートの要求性能

一次覆工コンクリートの要求性能を表 1 に示す。

表 1 一次覆工コンクリートの要求性能

項目	要求性能	確認方法
流動性	練上がり直後の スランプフロー値 650±50mm 50cmフロー到達時間180秒以下	スランプフロー試験 JIS A 1150
フレッシュ保持性	4時間後における 50cmフロー到達時間180秒以下	スランプフロー試験 JSCE-F 516
強度発現性	24時間 15N/mm ² 以上 脱型時 30N/mm ² 以上	圧縮強度試験 JIS A 1107
水中不分離性	pH=12.0以下 懸濁物質質量 500mg/L以下	水中不分離度試験 JSCE-D 104

過去の要求性能の基準は実績を考慮して設定されている。この要求性能に加え、羊蹄トンネルの特殊な施工条件を考慮して、追加要求性能を検討した。

本トンネルは過去の SENS トンネルより高水圧（最大 0.7MPa）であるため、併進指針モデル²⁾、耐荷機構モデル¹⁾の設計手法を用いると、内型枠脱型強度が 30N/mm² 以上必要である。シールド掘進サイクルを考慮して内型枠脱型時間を 36 時間とした。

さらに本トンネルは、巨礫が多数出現する区間が存在すると予測されており、掘進速度の低下、シールド機及び設備トラブルによって、配管内にコンクリートが滞留する時間が長くなることが想定される。トラブルの対応として、フレッシュ保持性の要求性能である保持時間（4 時間）を 2 倍の 8 時間とした。フレッシュ保持性の確認方法は、所定時間における 50cm フロー到達時間に追加してスランプフロー値を設定した。

以上より、表 1 の要求性能に表 2 の要求性能を追加した。本トンネルは、施工条件から追加したフレッシュ保持性と早期強度発現性のバランスに重点を置き、一次覆工コンクリートの開発を行う。

表 2 施工条件による追加要求性能

項目	要求性能	確認方法
フレッシュ保持性	8時間後における スランプフロー値 650±50mm 50cmフロー到達時間180秒以下	スランプフロー試験 JIS A 1150 JSCE-F 516

キーワード SENS、一次覆工コンクリート、水中不分離性、フレッシュ保持性、混和剤
連絡先 〒060-0004 北海道札幌市中央区北四条西 2-1-18 株式会社 奥村組 札幌支店

表 5 試験結果

配合	スランプフロー (mm)		50cmフロー到達時間 (秒)			pH	懸濁物質 質量 (mg/L)	圧縮強度 (N/mm ²)	
	直後	8h後	直後	4h後	8h後			σ24h	σ36h
要求性能	650±50		180以下			12.0以下	500以下	15以上	30以上
No.1	678	530	29	45	91	11.5	114	29.8	41.2
No.2	690	655	19	28	36	11.5	144	29.5	41.1

3. 配合設計

使用材料を表 3、試験練りを行う配合を表 4 に示す。予備設計として、混和剤の種類を決定するために、4 種の混和剤を用いて、表 1、2 の要求性能の比較検討を行った。早期強度に対応するため水セメント比を 37%に固定し、強度遅延のない界面活性剤系の増粘剤（以下、VT1）を採用した。水中不分離性を考慮して、VT1 の添加量を 7.4kg/m³ に固定し、基本となる配合 No.1 を設計した。No.1 配合に対して、減水剤（以下 SP4）、状態調整剤（以下 FA1）を増量し、フレッシュ保持時間をさらに長くした No.2 配合を設計した。

設計した 2 配合を使用して表 1、表 2 の試験を実施し、コンクリートの品質を確認した。

表 3 使用材料

種類	呼称	仕様
セメント	HC	早強ポルトランドセメント 密度 3.14g/cm ³
水	W	上水道水
細骨材	S	洗砂 密度 2.63g/cm ³
粗骨材	G	砕石 1305 密度 2.61g/cm ³
混和剤	増粘剤	VT1 界面活性剤系
	高性能減水剤	SP2 ポリカルボン酸系
	減水剤	SP4 オキシカルボン酸系
	状態調整剤	FA1 ノニオン界面活性剤系

表 4 使用配合

配合	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)							
		W	HC	S	G	VT1	SP2	SP4	FA1
No.1	37	185	500	686	914	7.4	11.5	0.5	0.052
No.2								2.0	0.148

4. 試験結果

試験結果を表 5 に示す。No.1、No.2 配合共に表 1 の要求性能を満足し、No.2 配合は表 2 の追加要求性能も満足する結果となった。フレッシュ保持性に着目すると、No.1 配合の 8 時間後のスランプフロー値が 600mm を下回るのに対し、No.2 配合は 8 時間後も追加要求性能であるスランプフロー値 650±50mm を満足する結果となった。一般的にフレッシュ保持時間を長くすると初期強度は低下するが、No.2 配合

の強度は No.1 配合と同程度であった。その要因は、強度発現性に影響がない FA1 を増量していることが挙げられ、発現強度を保ったままフレッシュ保持時間を長くすることができた。また、FA1 は水中不分離性にも影響を与えるので、添加量の調整が必要である。No.2 配合の pH、懸濁物質量をみると、要求性能を満足していることを確認できたため、FA1 は適切な添加量であると考えられる。

以上の試験結果から、強度発現性が No.1 配合と同程度であり、フレッシュ保持時間が長い No.2 配合を本トンネルの基本配合と定めた。

5. まとめ

今後は基本配合（No.2 配合）の実施工を考慮した試験を深度化していく。一次覆工コンクリートは要求性能以外に SENS 特有の施工条件及び 0.7MPa と高水圧下での打設、最低気温・10℃の厳冬の中で製造する等の環境条件に適したコンクリートの開発が必要である。表 6 の試験を実施し、コンクリートの品質を確認して、実施工への対応を検討する。

表 6 深度化試験

項目	試験	目的
流動性 材料分離抵抗性	加圧脱水性試験	地山への凹凸への充填性を確認 加圧脱水性を確認
強度発現性	凝結時間測定	強度発現時間の確認
	付着力評価試験	経時の強度と付着力の 関係を確認
ポンプ圧送性	こわばり試験	ポンプ再圧送の簡易的な確認
水中不分離性	被水圧下試験	高水圧に対する抵抗性、 性状変化の確認
	被流下試験	流水中でのコンクリート性能と 硬化後の強度性状に与える 影響を確認
その他	温度変化試験	実施工時の温度変化を考慮した 各種試験による性状の確認

参考文献

- 1) シールドを用いた場所打ち支保システムの設計
施工指針(案) 平成 28 年 12 月 独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構
- 2) 併進工法設計施工指針(案) 都市トンネル編 平成 4 年 4 月 日本鉄道建設公団