

SENS で用いる水中不分離性コンクリートの性状調整

(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 ○神田大 正会員 野口守 三上美輝雄 正会員 小川淳
(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 水野清 正会員 上田洋
鹿島建設 (株) 正会員 松原功明

1. SENS 工法の概要

シールドを用いた場所打ち支保システム（以後、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法で、現在、北海道新幹線津軽蓬田トンネルで2例目の施工を行っている。

津軽蓬田トンネルにおける一次覆工コンクリート打設方法の概要を図－1に示す。地山掘削のためのシールドマシンは、一般的な泥土圧シールドマシンと同様であるが、マシン内にコンクリート打設のための設備が装備されていることが特徴である。これらの設備には、コンクリート圧送設備、内型枠、妻型枠などがある。掘進とコンクリート打設手順を図－2の上図から順に示す。コンクリートは、マシン内で設置された内型枠と地山との間に、空隙ができないよう掘進と同時進行でポンプ打設される。内型枠は、掘進に伴い順次後方で解体され、前方に移送されて再び組み立てられ、次リングの掘進と打設が繰り返される。

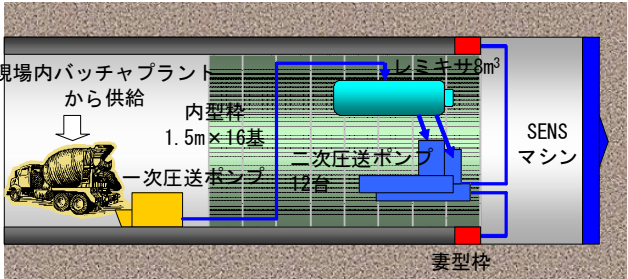
本報では、津軽蓬田トンネルで使用されている一次覆工コンクリートのフレッシュ性状と打設性能について報告する。

2. コンクリートの要求性能

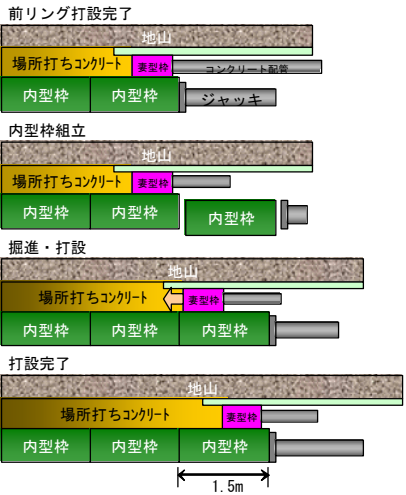
津軽蓬田トンネルの一次覆工コンクリートの要求性能を表－1に示す。コンクリートは、内型枠と地山との間に空隙が生じないように掘進と同時進行で打設されるため、高流動性が必要とされた。フレッシュ状態の保持性は、長時間にわたり断続的な圧送が必要であることから決定された。初期の圧縮強度は、掘進の進行と同時に内型枠の脱型が可能ないように設定された。水中不分離性は、地下水を有する地山に対して打設が可能ないように設定された。

3. 掘進速度に応じた保持時間の調整

SENS 工法では、内型枠脱型時には所定の強度が必要であり、凝結時間を過度に遅くすることができない。津軽蓬田トンネルでの型枠存置時間は最短で 20 時間程度であり、掘進速度が速いほど型枠存置時間は短くなる。また、コンクリートは掘進の続く限り圧送し続ける必要がある。コンクリートの凝結時間が過度に早い場合、長時間の連続掘進の間にポンプ油圧が徐々に高くなり、掘進途中で能力の限界に達し、圧送ができなくなる。その場合、掘進を中止し、コンクリート打設ラインを洗浄する必要がある、施工速度低下の原因となる。このため、コンクリートのフレッシュ性状の保持時間は施工サイクルに応じて調整する必要がある。



図－1 SENS 工法のコンクリート打設概要



図－2 コンクリート打設手順

表－1 コンクリートの要求性能

品質項目	要求性能
スランプフロー	650±50mm
フレッシュ保持性	練上りから8時間後の50cmフロー到達時間が180秒以下
圧縮強度	実環境の養生条件において、材齢24時間で15N/mm ² 以上、28日で30N/mm ² 以上
ポンプ圧送性	3インチ配管で30mの距離に打設可能であること
材料分離抵抗性	圧送および充てん時に材料分離を生じない
水中不分離性	JSCE-D 104Iにより、pH12.0以下、懸濁物質質量500mg/L以下

キーワード SENS, 水中不分離性コンクリート, 性状調整

連絡先 〒030-1309 青森県東津軽郡外ヶ浜町字上蟹田 3 番地 8 TEL0174-31-1103

4. コンクリートの配合と連続打設性能

津軽蓬田トンネルでの実施工において、コンクリートのフレッシュ性状の保持時間と連続圧送性の関係を確認した。使用材料を表－2、2種類の使用配合を表－3に示す。両配合は、減水剤および早強剤以外の単位量は同一であり、減水剤および早強剤の変更のみでフレッシュ性状の保持時間を変化させた。各配合のスランプフロー値の経時変化を図－3に示す。No.2 配合は No.1 配合よりもフレッシュ性状の保持時間を長くした配合であり、練上りから 8 時間経過してもスランプフローが 100mm 低下する程度の保持性を有していることが

表－2 使用材料

材料名	記号	摘要
早強ポルトランドセメント	C	密度:3.14g/cm ³ 、比表面積:4460cm ² /g
石灰石微粉末	LP	密度:2.70g/cm ³ 、比表面積:3500cm ² /g
水	W	蓬田村地下水
細骨材	S	富産産洗砂 密度:2.61、吸水率:1.51、粗粒率:2.12
粗骨材	G	平内産玄武岩 密度:2.73、吸水率:1.92、粗粒率:6.46
混和剤	増粘剤	KTV1 アルキルアンモニウム塩
		KTV2 アルキルアリルスルホン酸塩
	高性能AE減水剤	KSP1 ポリカルボン酸系(標準形)
	高性能AE減水剤	KSP2 ポリカルボン酸系(遅延形)
	AE減水剤	KAE ポリカルボン酸系(遅延形)
	早強剤	AC 塩化カルシウム系
	消泡剤	DA シリコン系

表－3 使用配合

No.	W/C (%)	単位量(kg/m ³)					添加量(kg/m ³)						
		W	C	LP	S	G	TKV1	TKV2	KSP1	KSP2	KAE	AC	DA
1	42	189	450	200	625	846	4.25	4.25	5.53	5.53	—	4.50	2.13
2									5.85	—	3.90	—	

表－4 施工サイクル

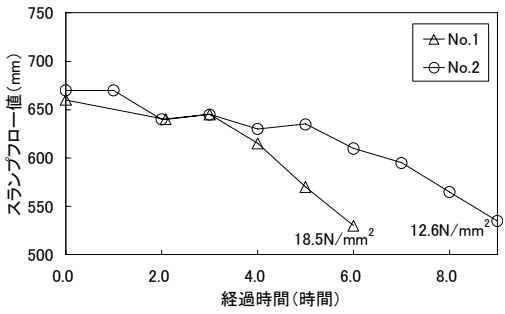
ケースNo.	配合	施工サイクル
1	No.1	20mm/min程度
2	No.1	15mm/min程度
3	No.2	15mm/min程度

分かる。また、図中には、養生温度 20℃での 24 時間強度を示す。No.2 配合では、材齢 24 時間で 15N/mm² の圧縮強度を得られなかったが、実施工では自己発熱により強度発現が促進されており、要求性能を満足していることが確認されている。

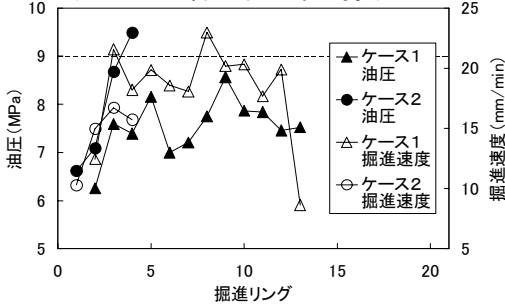
これらの配合を使用し、使用配合と施工サイクルによって表－4に示すとおり掘進ケースを設定し、ポンプ油圧の推移を確認した。No.1 配合での掘進結果を図－4に示す。津軽蓬田トンネルの圧送ポンプは、油圧が 9MPa を超えると圧送が困難となる。掘進速度が速いケース 1 では、連続掘進を実施しても経時的なポンプ油圧の上昇は小さいが、掘進速度が遅いケース 2 では油圧がすぐに上昇し、掘進を 4 リングで中止した。これは、掘進速度が遅い方が、配管内へのセメントペーストの付着が早く進行するためと考えられる。No.2 配合での掘進結果を図－5に示す。フレッシュ性状の保持時間が長い No.2 配合の場合、ケース 2 と同程度の掘進速度にもかかわらず、経時的な油圧上昇は確認されなかった。

5. まとめ

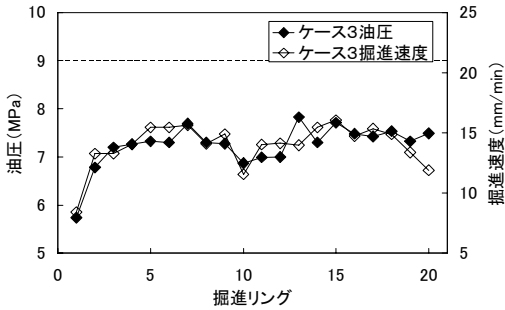
このように、津軽蓬田トンネルでは、施工サイクルに応じてフレッシュ性状の保持時間を調整することによって、1 週間の連続掘進を実現できている。これにより、施工開始から 2 年 3 ヶ月で約 4000m の掘削を達成した。SENS 工法は施工事例がまだ少なく、今後、施工事例が増加するに伴い、要求性能はさらに最適化されていくものと考えられるが、ここで示した連続掘進時の配合調整思想についても要求性能のひとつとなる可能性が考えられる。



図－3 各配合の経時変化



図－4 No. 1 配合での掘進結果



図－5 No. 2 配合での掘進結果