

各種増粘剤を使用した 水中不分離性コンクリートの基礎性状実験

野口守¹・神田大²・田中淳寛³・水野清⁴・上田洋⁵

¹正会員 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部 青森新幹線建設局 次長
(〒030-0801 青森県青森市新町二丁目2-4)
E-mail:mam.noguchi@jrtr.go.jp

²正会員 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部 青森新幹線建設局 外ヶ浜建設所 所長
(〒030-1309 青森県東津軽郡外ヶ浜町字上蟹田3番地8)
E-mail:hi.kanda@jrtr.go.jp

³正会員 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部 青森新幹線建設局 外ヶ浜建設所 担当副所長
(〒030-1309 青森県東津軽郡外ヶ浜町字上蟹田3番地8)

⁴正会員 鉄道総合技術研究所 材料技術研究部 (コンクリート材料) 主任研究員
(〒185-8540 東京都国分寺市光町二丁目8-38)
E-mail:mizuno@rtri.or.jp

⁵正会員 工博 鉄道総合技術研究所 材料技術研究部 (コンクリート材料) 主任研究員GL
(〒185-8540 東京都国分寺市光町二丁目8-38)

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、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。SENSで用いる一次覆工用コンクリートは、被水圧条件下においても適用可能な水中分離抵抗性を有することが求められている。本研究は、SENSの施工に使用する一次覆工用コンクリートを開発する目的で、コンクリートに所定の要求性能を設定し、各種増粘剤を用いた水中不分離性コンクリートの配合、増粘剤量を減じた低コスト配合、増粘剤を用いずに粘性をより小さく経済性をとくに意識した配合について各種基礎性状実験を実施して、実施工に使用可能なコンクリートを開発した。

Key Words : SENS, anti-washout under water concrete, viscosity agent, water reducer

1. はじめに

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において2例目となる施工を行っている。SENSで用いる一次覆工用コンクリートは、被水圧条件下においても適用可能な水中分離抵抗性を有することが求められている。従来、水中不分離性コンクリートには、セルロース系およびアクリル系増粘剤を使用した配合がほとんどであったが、近年、新規の増粘剤が複数商品化されて多様化が進んでおり、1例目として施工された三本木原トンネルの一次覆工用コンクリートも前述の従来型増粘剤によらないものであった。

本稿は、SENSの施工に使用する一次覆工用コンクリートを開発する目的で所定の要求性能を設定し、①各種増粘剤を用いた水中不分離性コンクリートの配合、②増

粘剤量を減じた低コスト配合、③増粘剤を用いずに粘性をより小さく経済性をとくに意識した配合について実施した各種基礎性状実験の結果と、実験結果に基づいて設定した一次覆工用コンクリートの配合選定、また、設定した要求性能に基づいて開発した一次覆工用コンクリートによる津軽蓬田トンネルの実施工結果について述べる。

2. 実験概要

(I) フレッシュコンクリートの配合計画

SENSの一次覆工用コンクリートは、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に打設されるため、被水圧条件下でも適用可能な水中分離抵抗性を有することが求められており、十分な耐久性ととともに、施工時のフレッシュ保持性、ポンプ圧送性、短時間での強度発現性が必要とされる。1例目の三本木原トンネルにお

いては、被水圧条件下でも適用が可能な高い水中不分離性を有する一次覆工用コンクリートで安定な施工を実現するために以下の性能が要求された¹⁾。

すなわち、①圧送および充てんが確実に行えること（高流動性）、②練上がりから打設まで最長約4時間、フレッシュ性状を保持すること（フレッシュ性状の保持）、③地下水条件下での打設でも目標強度と品質を満足する耐水性を有すること（耐水性）、④材齢24時間で15N/mm²以上の強度を確保（早強性）、⑤ポンプ圧送および充てん時の材料分離を抑制すること（材料分離抵抗性）、であった。

本稿で実験にあたり設定した一次覆工用コンクリートの要求性能は表-1に示すとおりで、三本木原トンネルの要求性能に準じたものとした。

表-1 一次覆工用コンクリートの実験時要求性能²⁾

スランプフロー	練上がりで60±5cm
フレッシュ保持性	4時間後のスランプフローが練上がり時の80%
強度発現性	材齢24時間強度で15N/mm ² 以上 材齢28日強度で30N/mm ² 以上
水中分離抵抗性※	地下水環境下での打設においてもセメント分の分離を抑制でき、所定の強度を発現できること

※水中分離度試験でpHが12以下³⁾

実験に用いたコンクリートの使用材料を表-2に、示方配合を表-3に示す。

ここで示した配合レベルは、水中分離抵抗性および増粘剤の添加量や種類に応じて設定した水準である。すなわち、レベルⅠは、水中分離抵抗性を三本木原トンネルで使用した一次覆工用コンクリートと同等の性能を有する配合、レベルⅡはレベルⅠより水中分離抵抗性は低下

するが、増粘剤の種類や添加量を減量するなどして低コスト化を意識した配合、レベルⅢは増粘剤を使用せず、粘性をさらに小さくして経済性をとくに意識した配合として設けた水準である。また、水中分離抵抗性の発現については増粘剤の種類を変更した配合や同じ増粘剤を使用して添加量を減量することで対応した。さらに、比較のため、三本木原トンネルで用いられた配合も加えて実験を行った。

表-2 使用材料

種類	仕様
セメント (C)	早強ポルトランドセメント 密度：3.14g/cm ³ 比表面積：4460cm ² /g
水	上水道水
細骨材 (S)	山砂 密度：2.61g/cm ³ 吸水率：1.51% 粗粒率：2.12
粗骨材 (G)	碎石1305 密度：2.66g/cm ³ 吸水率：2.80% 粗粒率：6.13
混和剤	表-3による

(2) 試験方法

フレッシュコンクリートの評価は、以下に示すように比較的汎用性の高い試験方法を適用して実施した。また、コンクリートの耐水性に関しては新たな試験方法を試みた。

a) フレッシュコンクリートの基本性状評価実験

①スランプフロー試験 (JIS A 1150)

日本工業規格 (JIS A 1150) に規定された方法に準じて実施した。また、スランプフローが 50cm に到達する

表-3 各コンクリートの示方配合

配合 レベル	配合名	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)								
				W	LP*	C	S	G	増粘剤	減水剤	硬化促進剤	消泡剤
Ⅰ	T-1	40	43.3	190	—	475	709	947	1.33	7.13	4.75	0.3
Ⅱ	T-2	45	46.9	175	—	389	820	947	0.88	4.28	2.33	0.3
Ⅰ	P-1	35	52.4	200	—	571	804	745	2.50	9.71	—	—
Ⅱ	P-2		54.6	185	—	529	880	745	3.70	8.20	—	—
Ⅲ	P-3			185	—	529	880	745	—	8.20	—	—
Ⅰ	D-1	34.3	41	185	—	540	666	979	1.30	21.6	—	—
Ⅰ	K-1	42	33.8	189	200	450	623	812	8.51	11.06	4.5	0.21
Ⅰ	S-1**	35	38	190	—	543	597	948	15.2	17.37	—	—

*石灰石微粉末：密度：2.70g/cm³，比表面積：3500cm²/g **三本木原トンネルで使用されたコンクリートの示方配合

増粘剤の種類：T配合＝配合レベルⅠ、Ⅱともに水溶性メチルセルロース系（粉体）

P配合＝配合レベルⅠ：水溶性アクリル系（粉体），配合レベルⅡ：水溶性メチルセルロース系（粉体）

D配合＝配合レベルⅠ：セルロース-パイオポリマー複合系（粉体）

K配合＝配合レベルⅠ：アルキルアンモニウム塩（液体）＋アルキルアリルスルホン酸塩（液体）

までの時間をストップウォッチで計測した。

②水中分離度試験（JSCE-D 104）

土木学会規準（JSCE-D 104 付属書 2）に記載された方法に準じて実施した。

b) 圧縮強度試験

コンクリート打設時、養生時における水の影響について以下の圧縮強度試験用供試体作製方法により検討した。

直径 100mm×高さ 200mm 型枠にフレッシュコンクリートを充てんした。コンクリートの充てんは、気中、水中打設とした。ただし、気中打設においては通常行う突き棒による突き固め等は行わないこととした。

打設条件と打設後の養生条件、養生期間を表-4 に示す。

表-4 供試体作製条件と養生期間

No.	作製条件	養生条件	養生期間
1	気中	20℃気中	24時間
2	水中	20℃気中	48時間
3	気中	20℃水中	7日
4	水中	20℃水中	28日

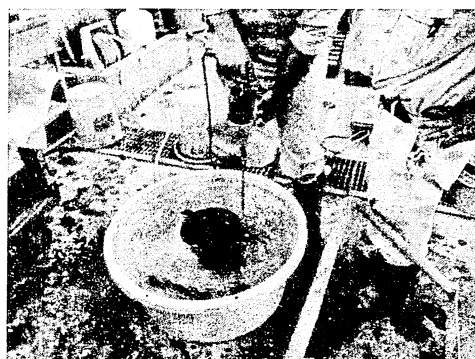


図-1 一面流水試験

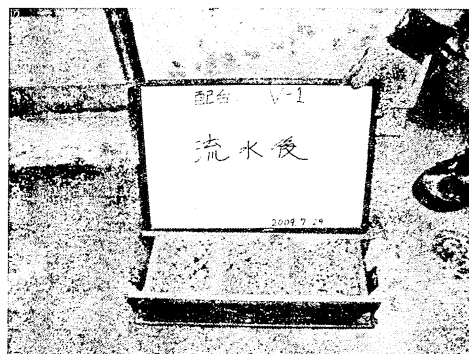


図-2 一面流水試験後の供試体

c) 一面流水試験

地下水条件下で一次覆工用コンクリートを打設した場合、地山より突出した湧水に曝される可能性が懸念され、こうした条件下でも打設可能であることが、SENSに用いる一次覆工用コンクリートとしての条件のひとつである。しかし、この種の状況を模擬して流水下でのコンクリートを評価する試験方法はなかった。そこで、直径 100mm×高さ200mm型枠に充てんしたコンクリートを水中に沈めて一定速度の流水下に保持した後に、型枠開口部を目視で観察して流出したモルタル分について定性的に評価する方法を検討した⁴⁾。本稿では、さらに型枠の形状を見直すなどして流出したモルタル量を測定し、コンクリートの耐水性について定量的に評価することを試みた。

コンクリート打設直後の流水の影響を検討するため、気中作製したコンクリート供試体を型枠に入れたまま、水槽にいれ、コンクリート供試体を一定速度の流水にさらしてコンクリートの損耗量を測定した。

供試体は、開口部 100mm×100mm、コンクリート充てん深さ 100mm の試験体が 3 個連なる型枠にフレッシュコンクリートを充てんして作製した。コンクリートを充てんした供試体は重量を正確に測定した後、深さ 200mm、直径約 600mm、内径約 200mm、流路幅約 200mm の円形水路に沈め、直径 150mm、6 枚羽根のプロペラを毎分 300 回転で回転させて起こした流水中に 5 分間保持した。所定時間流水中に保持した後、供試体を取

り出して、型枠開口部のコンクリート表面の目視観察と重量測定を行って、各配合間の違いを比較検討した。

3. 実験結果と考察

(1) フレッシュコンクリートの基本性状評価実験

コンクリートの基本性状実験の結果を表-5に示す。

フレッシュコンクリートのスランプフローをみるといずれの配合も設定した要求性能をほぼ満足するものであった。しかし、フロー保持率でみるとT-2配合は条件を満たすことができなかった。また、50cmフロー到達時間で比較してみると、いずれの配合も三本木原トンネル配合（S-1）より短くなっており、当初の目標であった粘性を低減させたコンクリートが得られたと考えられる。

フレッシュコンクリートの水中分離抵抗性を評価する指標として、コンクリート開発時の要求性能としてpHを定めた。いずれの配合も要求性能を満たすことが明らかとなったが、同じく水中分離抵抗性の指標である懸濁物質質量に着目すると配合レベルⅡ、Ⅲのコンクリートでは非常に高い値を示すことがわかった。これは、水中での材料分離が大きいことに起因すると考えられる。配合レベルの違いは、後述するコンクリートの耐水性の違いにも関連しており、実施工に用いるコンクリートの配合選定にあたっては懸濁物質質量もあわせて検討する必要があるものと考えた。

表-5 各コンクリートのフレッシュ性状および強度発現性状

測定項目	条件	配合レベルⅠ				配合レベルⅡ			配合レベルⅢ
		T-1	P-1	D-1	K-1	S-1	T-2	P-2	P-3
スランプフロー (cm)	練上がり直後	63.5	64.5	62.0	66.5	51.3	66.5	62.5	52.0
	240 分後	57.5	54.0	51.0	61.0	47.3	44.3	56.0	70.5
50cm フロー到達時間 (sec.)	練上がり直後	20.7	13.8	9.5	24.7	375	13.6	8.1	6.2
	240 分後	56.3	87.5	44.5	56.0	—	—	25.0	5.0
フロー保持率 (%)		90.6	83.7	82.3	91.7	92.2	66.0	89.6	135.6
圧縮強度 (材齢 24h) (N/mm ²)	気中作製 ^a 気中養生	33.8	36.5	17.7	20.1	22.5	28.0	28.4	44.9
	水中作製 気中養生	28.4	20.7	14.0	15.9	15.3	11.9	17.7	8.84
	気中作製 水中養生	22.4	12.1	6.32	7.17	5.25	17.1	10.3	22.8
	水中作製 ^w 水中養生	17.0	5.91	4.50	4.94	3.88	9.11	4.90	4.51
水中気中強度比 (w/a) (%)		68.1	44.5	48.0	73.3	39.5	45.8	33.3	15.7
水中分離度試験	pH	11.6	11.2	11.8	11.8	11.5	11.9	12.0	12.0
	懸濁物質質量 (mg/l)	342	5	96	179	18	928	1480	4580

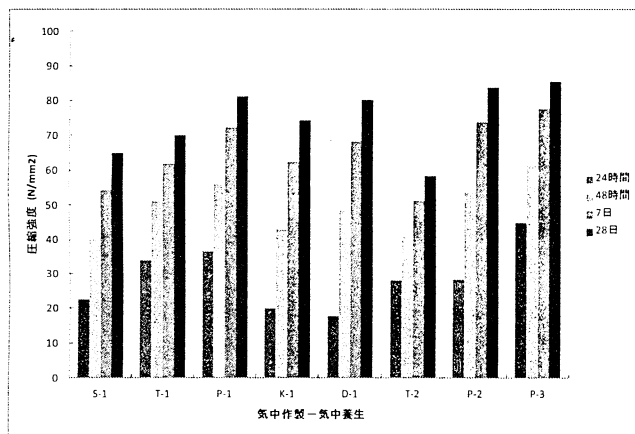


図-3 各配合の圧縮強度（気中作製気中養生）

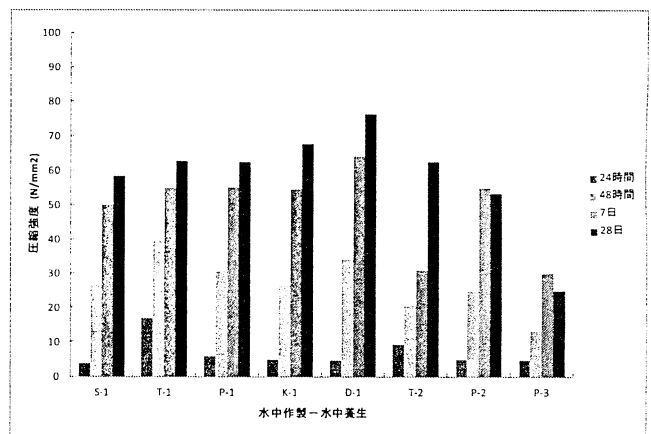


図-4 各配合の圧縮強度（水中作製水中養生）

(2) 圧縮強度試験

強度発現性状に関しては、材齢24時間強度を表-5に、また、48時間材齢以降の各材齢における圧縮強度を気中作製気中養生と水中作製水中養生の場合を例として図-3、4に示す。気中作製気中養生の場合、要求性能をいずれの配合も満足していた。また、水中作製水中養生の場合、配合レベルⅠのコンクリートであっても強度発現の遅延が認められ、材齢48時間以降で15N/mm²以上の強度を発現する結果となった。また、材齢28日の圧縮強度でみるといずれの配合も非常に高い圧縮強度を発現することがわかった。また、配合レベルⅢのコンクリート (P-3) で

は、水中作製水中養生時の強度発現が大きく減少した。

(3) 一面流水試験

一面流水試験の実施前後における供試体重量ならびに損耗量を表-6に示す。表から明らかなように供試体開口部のコンクリート表面に大きな変化は認められなかった。また、試験前後の供試体の重量差から求めたコンクリートの損耗量についても変化はほとんど認められなかった。筆者らは、既報⁴⁾で直径100mm×高さ200mmの円柱供試体の型枠に充てんしたコンクリートを流水にさらした後に、開口部のコンクリートの状況を目視で観察することで定性的に評価する方法を提案した。このときの結果で

表-6 一面流水試験結果

	配合レベル Ⅰ					配合レベル Ⅱ		配合レベル Ⅲ
	T-1	P-1	D-1	K-1	S-1	T-2	P-2	P-3
外観	型枠開口部のコンクリートにモルタルの流出等は認められない。	型枠開口部のコンクリートにモルタルの流出等は認められない。	型枠開口部のコンクリートにモルタルの流出等は認められない。	型枠開口部のコンクリートにモルタルの流出等は認められない。	型枠開口部のコンクリート表面に粗骨材の露出箇所があるがモルタルの流出等は認められない。	型枠開口部のコンクリートにモルタルの流出等は認められない。ブリーディング水様のものが認められる。	型枠開口部のコンクリートにモルタルの流出等は認められない。ブリーディング水様のものが認められる。	型枠開口部のコンクリートにモルタルの流出等は認められない。ブリーディング水様のものが認められる。
試験前重量 (kg)	21.59	21.59	21.72	21.83	21.56	21.66	21.85	21.84
試験後重量 (kg)	21.60	21.59	21.70	21.75	21.50	21.66	21.79	21.83
損耗量 (減少重量 : kg)	-0.01	0.00	0.02	0.08	0.06	0.00	0.06	0.01

は、本稿で実験に供した各種配合レベルのコンクリート面からモルタル分の流出が認められた。この結果を基に本稿の試験方法によるコンクリートの耐水性に関する試験を試みたが、開口部の大きさや形状、流水の開口部コンクリートへの影響など異なる点が多く、既報の結果から想定していたような配合レベルの差を評価するには至らなかった。

これに対し、前述の水中分離度試験における懸濁物質量の測定結果は定量性もあり、配合レベル間の違いも明白であり、SENSの一次覆工用コンクリートの水中分離抵抗性を評価する手法として汎用性が高いと考えられる。

(4) SENSに用いる一次覆工用コンクリートの配合選定

SENSに用いる一次覆工用コンクリートを開発するため、三本木原トンネルの施工に用いた一次覆工用コンクリートの要求性能に準じて設定した実験時要求性能を定めて各種実験を行った。それらの結果を基に各配合について整理すると表-7のとおりである。

本稿で実験を実施した各配合のコンクリートについて実験時要求性能に照らし合わせて評価すると、いずれの配合も要求性能をほぼ満たすことが明らかとなった。しかし、配合レベルⅡやⅢは、懸濁物質量が非常に多く、被水圧下でのコンクリート打設には課題がある。さらに、既報の被水圧下を模擬した加圧試験⁴⁾では、配合レベルⅡ、Ⅲのコンクリートは水の突出に伴う欠損が生じている。このことは、SENSの安全かつ安定なコンクリートの打設を考えた場合、配合レベルⅡ、Ⅲのコンクリートではより信頼性の向上が必要であると考えた。

表-7 実験時要求性能に対する各配合の評価結果

項目	要求性能	配合レベル		
		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
スランプフロー	60±50mm	○	○	○
フレッシュ保持性	4 時間後のスランプフローが練上がり時の80%	○	○ 一部×	○
強度性状	材齢24時間強度で15N/mm ² 以上 材齢28日強度で30N/mm ² 以上	○	○	○
ポンプ圧送性	3インチ配管で30mの距離に5m ³ /hを打設可能	○	○	○
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	○	○	○
水中分離抵抗性	pH=12 以下	○	○	○

そこで、本稿の各実験結果を基にSENSに用いる一次覆工用コンクリートの配合選定に用いる要求性能として表-8に示す項目と内容を定めた。

表-8 SENSに用いる一次覆工用コンクリートの配合選定のための要求性能

項目	新たに設定した要求性能	参考：三本木原Tの要求性能
スランプフロー	自己充てん性を有し、材料分離を生じないこと。 目標性能：600±50mm	600±50mm 目標性能に関する規定はない
フレッシュ保持性	練り上がりから4時間後でもポンプ圧送が可能であること。 目標性能：練り上がり4時間後の50cmフロー到達時間が180秒以下	4時間後のスランプフローが練り上がり時の80%以上 50cmフロー到達時間に関する規定はない
強度性状	材齢24時間強度で15N/mm ² 以上 材齢28日強度で30N/mm ² 以上	←
ポンプ圧送性	3インチ配管で30mの距離に5m ³ /hを打設可能	←
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	←
水中分離抵抗性	pH=12.0以下 懸濁物質量500mg/l以下 目標性能：pH=11.8以下、懸濁物質量500mg/l以下	pHに関しては測定値のばらつきを考慮して目標性能値を定めた。 新たに懸濁物質量の上限値を定めた。

SENSに用いる一次覆工用コンクリートの配合選定のための要求性能では、一部の目標性能値を設けた。スランプフローとフレッシュ保持性に関する目標性能値は、コンクリートの粘性に関して目標となる数値を定めた。これによって、フレッシュ保持性が高いが、粘性が高く、実用性に欠けるコンクリート配合は排除できると考えられる。

水中分離抵抗性に関しては、pHに加えて懸濁物質量の上限値を定めた。これによって、pHのみの評価では水中分離抵抗性の劣るコンクリート配合であっても要求性能を満たす可能性があったが、これを未然に防ぐことができるようになったと考える。ここで定めた懸濁物質量の上限値は、本稿における実験結果を参考として水中

不分離性混和剤の評価規準における上限値（50mg/l）の10倍量として設定した値である。

なお、SENSによるトンネル施工の2例目となる津軽蓬田トンネルの一次覆工用コンクリートの配合には、三本木原トンネルと同様の性能を有する配合レベルⅠに分類されるコンクリートを使用することとした。また、トンネル起点方の蓬田部層、瀬辺地部層は、流砂を起こしやすく、しかも高水圧下での施工になることが想定されることから三本木原トンネルで実績のある増粘剤と同種の増粘剤を用いた配合（K-1）を適用することとした。また、同じ配合レベルⅠに属する他の配合についても地層が安定するトンネル後半の工事で一部を使用することとした。

4. 津軽蓬田トンネル施工状況と実施工配合

(1) 津軽蓬田トンネルの一次覆工コンクリート配合

津軽蓬田トンネルは、全長6,190m（新青森起点18km680m～24km870m）のトンネルである。このうち起点方120m（新青森起点18km680m～18km800m）は、地山土被りが5m以下であることから開削区間として、残りの区間は流動化しやすい地質（蟹田層）であることからSENS施工区間としている。SENSによる掘進は、平成21年11月より開始し、初期掘進162mを平成22年2月に終了し、その後本掘進を進めた。本掘進開始後平成22年7月には220.5m/月の進捗を記録し、三本木原トンネルのSENSによる最高月進172.8m/月を更新し、約1,000mまでの施工では一定レベルの月進速度で安定な掘進を確保することができ、前章までで開発した配合は良好な性能を示した。ここまでの最大連続掘進リング数は11リング（1.5m/リング）であったが、さらに月進速度向上を目指すと連続掘進中にポンプ油圧が上昇して掘進を中断せざる得ない現象が発生した。また、コンクリートライン中に付着硬化したコンクリートが生じてラインの清掃により時間を要するような現象が発生した。

このことは、実験室で検討し、決定したスランプフロー値やフレッシュ保持性が必ずしも津軽蓬田トンネルの施工サイクルとは合致していないために発生したものとみられ、流動性（スランプフロー値）とフレッシュ保持性に関する要求性能の見直しを現場における試験施工で再検討した。試験施工に用いたコンクリート（試験施工時の配合として区別するため、K-1調整とよぶ）のスランプフロー値に関しては、当初の600±50mmから三本木原トンネルの現地施工で用いられていた650±50mmとした。また、フレッシュ保持性については、フレッシュ保持時間を4時間から8時間に延ばした。フレッシュ保持性を延ばすと、強度発現に遅延が発生するが、一次覆工コ

ンクリートが打設される実環境は、コンクリート開発時の実験に用いた標準状態（20℃）より高くなり（実環境で30℃以上）、強度発現も早まる可能性がある。そこで、現場環境にテストピースを養生することで内型枠脱型時の強度を確認し、安全な施工を確保した。

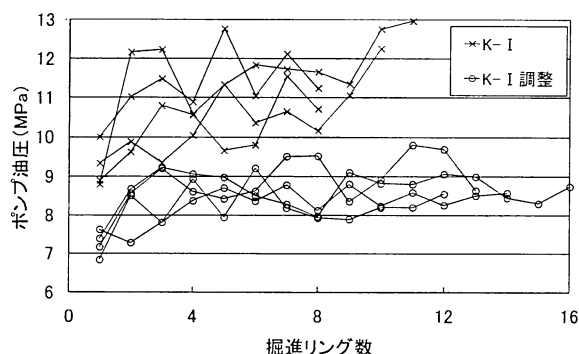


図-5 連続掘進中のポンプ油圧

これらの見直しによって、ポンプ油圧の上昇は抑制され、施工性能も改善された（図-5）。図から明らかなようにK-1配合使用時の掘進リング数は11リングまでであったが、試験施工に用いたK-1調整配合では16リングまで連続掘進が可能となり、ポンプ油圧の上昇も抑制されている。一方で、現場施工サイクルでは妻型枠内でコンクリートが自立する程度まで硬化した時点で、定期的にコンクリートラインの配管解体、清掃を行ってきたが、コンクリート強度の発現遅延の影響で解体・清掃を開始するまでの時間が遅くなる結果を招いた。K-1調整配合でポンプ油圧の上昇抑制と付着硬化コンクリートのはつり作業の軽減は可能になったが、清掃終了時間が長くなることとなり、速度向上の妨げとなってしまった。これについては、連続掘進の最終段階で従来型のフレッシュ保持性配合を用いることで改善を図った。

(2) 現場の施工性を考慮した配合変更

これら現場の施工性に考慮して、起点より1,000m以降で用いたのが、連続掘進中のポンプ油圧上昇を抑制する「連続掘進配合」と、配管清掃開始時間を遅延させない「掘進終了時配合」である。「連続掘進配合」は、フレッシュ保持時間を8時間に設定し、スランプフローの経時変化を抑制することで流動性を確保した配合であり、「掘進終了時配合」はフレッシュ保持性を4時間とした配合で、いずれの配合も高性能AE減水剤の添加量を調整することで対応が可能である⁹⁾。

さらには、現場施工においてはコンクリートの練上がり温度が季節変動する（図-6）。これに未対応の状態では図-7に示すようなポンプ油圧の上昇が発生し、安定な施工を阻害することとなった。しかし、これについても、混和剤の使用量を調整することで対応を図り、安定な施

工を図った。「連続掘進配合」と「掘進終了時配合」を組み合わせ、現場環境に対応した配合調整によって、津軽蓬田トンネルのSENSによる一次覆工コンクリートの打設は非常に安定したものとなった⁹⁾（図-8）。

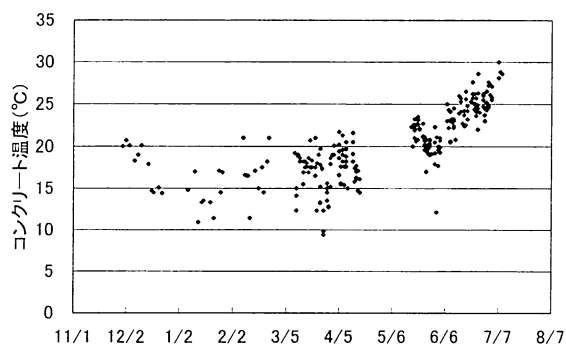


図-6 コンクリート練上がり温度の季節変動

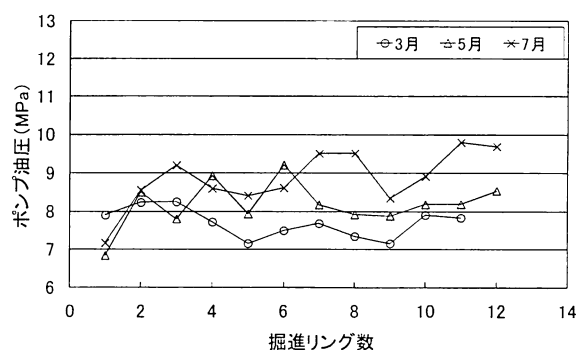


図-7 季節変動未対応のコンクリート使用時のポンプ油圧の上昇

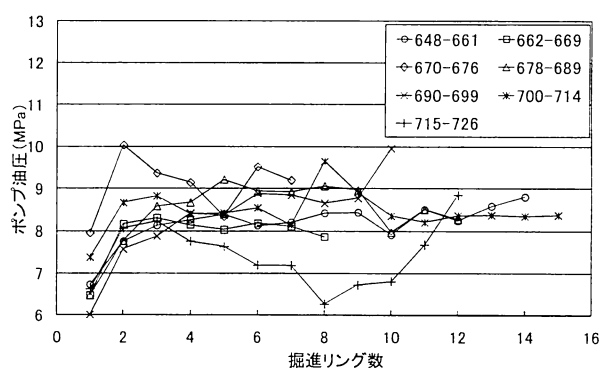


図-8 掘進リングとポンプ油圧の変化

連続掘進配合と掘進終了時配合（後半2リング）使用

これまでの実施工の実績からSENSに用いる一次覆工用コンクリートの要求性能は、現場での利便性を鑑み、配合選定のために設定した要求性能の一部を変更してい

る。現場施工を考慮したSENS一次覆工用コンクリートの要求性能を表-9に示す。

表-9 現場施工に対応した一次覆工用コンクリートの要求性能

項目	要求性能	変更点
スランプフロー	650±50mm	スランプフロー値を変更した
フレッシュ保持性	フレッシュ保持時間（4時間後又は8時間後）における50cmフロー到達時間が180秒以下	フレッシュ保持時間の設定に対応できるようにした。 配合の微調整によってコンクリート温度が10～30℃の範囲で満たすこと。
強度性状	材齢24時間強度で15N/mm ² 以上 材 齢 28 日 強 度 で30N/mm ² 以上	
ポンプ圧送性	3インチ配管で30mの距離に5m ³ /hを打設可能	配管中に2時間静置した後でも再圧送が可能であること。
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	
水中分離抵抗性	pH=12.0以下 懸濁物質質量500mg/l以下	
備考		連続掘進配合（フレッシュ保持8時間）と掘進終了時配合（フレッシュ保持4時間）を併用

5. おわりに

SENSの一次覆工用コンクリートを開発するため、各種増粘剤を用いたコンクリートの配合を検討して各種基礎実験を行った結果、実用性の高い一次覆工用コンクリートを開発した。

SENSの2例目となる津軽蓬田トンネルは、本掘進着手後、「連続掘進配合」と「掘進終了時配合」の適用によ

って、平成23年6月末には中間立坑のビット交換位置まで到達し、約2箇月後の8月末には掘進を再開し、平成24年8月23日時点で5708.9mまで到達している。この間、平成24年6月には367.5m/月の進捗を記録しており、今回開発した一次覆工用コンクリートによってSENSの安定な掘進施工を実現した。また、使用する混和剤の異なる2種の配合（いずれも、配合レベルⅠ：P-Ⅰ配合、D-Ⅰ配合）についても、混和剤添加量の調整によって「連続掘進配合」と「掘進終了時配合」が得られ、練上がり温度の変動にも対応できることが確認され、実施工に供することができた。今後、これらの現場施工データを取りまとめることによって、安全かつ合理的なSENSの施工に適用可能な一次覆工用コンクリートのさらなる品質向上を図りたいと考えている。

謝辞： 本原稿を取りまとめるに際して貴重な助言やご指摘をいただいた「北海道新幹線（本州方）トンネル施工技術委員会 機械化施工WG」（座長：小山幸則京都大学大学院教授）の委員各位ならびに、関係者に、この場を借りて深い感謝の意を表します。

参考文献

1) 飯田廣臣, 磯谷篤実, 井浦智実, 川嶋潤二, 小西真治：シールドを用いた場所打ち支保システムの施工, トンネル工学報告集, 第14巻, pp.195-202, 2004.11

2) 佐伯則幸, 石岡英敏, 中島活哉, 岩永茂治：小土かぶり未固結地山をSENSで貫通－東北新幹線 三本木原トンネル－, トンネルと地下, 第38巻10号, pp.687-693, 2007.10

3) 佐々木幹夫, 佐原圭介, 井浦智実, 川嶋潤二：場所打ち支保システムによる山岳密閉シールド－東北新幹線 三本木原トンネル－, トンネルと地下, 第36巻4号, pp.295-303, 2005.4

4) 野口守, 三上美輝雄, 神田大, 田中淳寛, 水野清, 西尾壮平, 上田洋：SENSで用いる一次覆工コンクリートの水中分離抵抗性, 土木学会第67回年次学術講演会講演概要集, V-423, pp.845-846, 2012

5) 神田大, 野口守, 三上美輝雄, 小川淳, 水野清, 上田洋, 松原功明：SENSで用いる水中不分離性コンクリートの性状調整, 土木学会第67回年次学術講演会講演概要集, V-424, pp.847-848, 2012

(2012. 9. 3 受付)

BASIC CHARACTERISTICS OF ANTI-WASHOUT UNDER WATER CONCRETES USING VARIOUS VISCOSITY AGENT

Mamoru NOGUCHI, Hiroshi KANDA, Atsuhiro TANAKA, Kiyoshi MIZUNO
and Hiroshi UEDA

SENS is a method of tunnel construction to extend a concrete primary lining in situ to be placed at the same time as the boring shield strokes. Currently, we are now constructing Tsugaru Yomogida tunnel of Hokkaido Shinkansen as the second case of SENS. Primary lining concrete used in SENS is required to have a water separation resistance when applied even under water pressure conditions. In order to develop a primary concrete lining to be used in the application of SENS. We prescribed the performance requirements for concrete, and conducted various fundamental experiments for concrete of various compositions mixed with various viscosity agent. As a result, we have developed an appropriate concrete composition to be used for the actual construction.