

# 新規の一液型混和剤を用いた低セメント量の高流動コンクリートの覆工への適用検討

桜井 邦昭<sup>1</sup>・西浦 秀明<sup>2</sup>・久下 敦<sup>3</sup>・秋山 幸一<sup>4</sup>・丹羽 武志<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 株式会社大林組 技術研究所 生産技術研究部 (〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640)

E-mail:sakurai.kuniaki@obayashi.co.jp

<sup>2</sup>正会員 株式会社大林組 土木本部 トンネル技術部 (〒108-8502 東京都港区港南2-15-2)

E-mail:nishiura.hideaki@obayashi.co.jp

<sup>3</sup>正会員 株式会社大林組 名古屋支店 河津トンネル工事事務所 (〒413-0502 静岡県賀茂郡河津町峰604)

E-mail:kuge.atsushi@obayashi.co.jp

<sup>4</sup>正会員 株式会社大林組 名古屋支店 河津トンネル工事事務所 (〒413-0502 静岡県賀茂郡河津町峰604)

E-mail: akiyama.koichi@obayashi.co.jp

<sup>5</sup>正会員 国土交通省 中部地方整備局 沼津河川国道事務所 (〒415-0035 静岡県下田市東本郷1-6-13)

E-mail: niwa-t85ab@mlit.go.jp

作業員不足が深刻な現状において、覆工の品質を確保・向上させつつ、生産性を高めるには、締固め作業が不要な高流動コンクリートの適用が効果的である。そこで、特殊増粘剤と高性能 AE 減水剤を一体化した新規の一液型混和剤を用いることで、従来の覆工コンクリートと同等のセメント量のまま、高い流動性と自己充填性を有する低セメント量の高流動コンクリートを開発し、道路トンネルの覆工に適用した。その結果、締固め作業を行うことなく、均質なトンネル覆工を構築できることを確認した。

**Key Words:** *self-compacting concrete with low cement content, lining, new one pack type admixture*

## 1. はじめに

近年、建設工事に従事する作業員不足が深刻な状況にあり、生産性向上が強く求められている<sup>1)</sup>。覆工作業でも、熟練作業員の高齢化や若手作業員の不足が常態化している。また、覆工コンクリートは、打込み箇所が限定されるため、流動距離が長く材料分離が生じやすいとともに、特に天端部は吹上げ施工となり、十分な締固めが行いにくいことから充填不良が生じやすい部材である。

覆工の品質を確保しつつ、生産性を向上するには、自己充填性を有する高流動コンクリートの採用が有効であるが、高い流動性に見合った材料分離抵抗性を確保するには、従来の覆工コンクリートの配合に対し、単位セメント量を大幅に増加させる必要があり、ほとんど適用されていない現状にある。

そこで、著者らは、セメント量を増加することなく材料分離抵抗性を付与するための特殊増粘剤と市販の高性能 AE 減水剤を用いることで、従来の覆工コンクリートに比べ、セメント量をほとんど増加することなく、高い

流動性と自己充填性を有する低セメント量の高流動コンクリートを開発した<sup>2)</sup>。低セメント量の高流動コンクリートの位置づけの概念図を図-1に示す。また、この高流動コンクリートを道路トンネルの覆工コンクリートに適用し、締固めを行うことなく、高品質なトンネル覆工が構築できることを確認した<sup>3)</sup>。

現在、この高流動コンクリートを製造するには、写真-1に示す粉末状の特殊増粘剤を事前に計量し水溶紙に梱包しておき、コンクリート製造時に手動もしくは自動装置にて投入する必要がある(写真-2)。

そこで、より合理的に低セメント量の高流動コンクリートを製造するために、特殊増粘剤と高性能 AE 減水剤を一体化した新規の一液型混和剤を開発した。これにより、生コン工場の常備する混和剤タンクや計量設備にて貯蔵・計量することが可能となる。

本稿では、新規の一液型混和剤を用いた低セメント量の高流動コンクリートの実用化に向けて実施した室内および実機試験の結果、ならびに実際に道路トンネルの覆工に適用した結果について報告する。

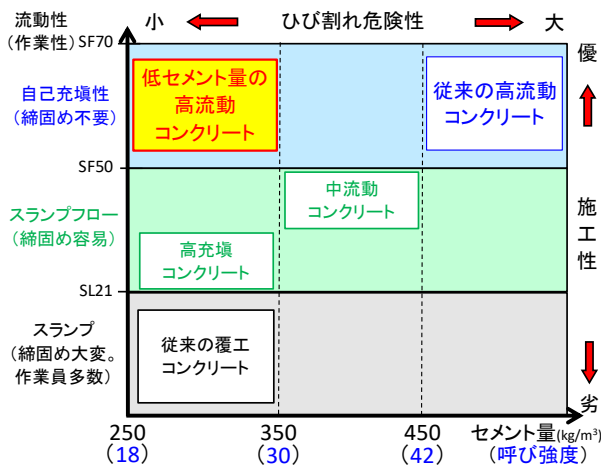


図-1 低セメント量の高流動コンクリートの位置づけ



写真-1 特殊増粘剤の外観 (左) と水溶紙の梱包状況 (右)



写真-2 現状の特殊増粘剤の投入状況 (左: 手動, 右: 自動)

## 2. 新規の一液型混和剤の概要

新規の一液型混和剤で使用する特殊増粘剤の主成分はセルロースエーテル、減水剤成分はコンクリート用の混和剤として広く用いられている高性能 AE 減水剤と同じポリカルボン酸系である。

高性能 AE 減水剤中には、カルボン酸を中心に様々なイオン性物質が含まれており、溶液中ではイオンあるいは塩(えん)の状態が存在している。これらのイオンや塩は水を引き込みやすい性質があり、溶液中のイオン量が多い(イオン強度が高い)ほど水を引き込みやすくなると言われている。

セルロースエーテルは、コンクリート中のペーストの粘度を増加させることで、優れた材料分離抵抗性や保水性を発揮する材料である。しかし、上記の高性能 AE 減水剤中に混合した場合、カルボン酸などのイオンが水を引き込むため、セルロースエーテルは減水剤中で溶解できなくなり(一般に塩析と言われている)、析出してしまふ特徴がある。このため、これまでポリカルボン酸系の減水剤中にセルロースエーテルを安定的に溶解させておくことは困難であり、両者を一体化した一液型混和剤は製造できなかった。

そこで、今回、セルロースエーテルの減水剤への溶解性を高めるために、カルボン酸以外の成分を調整することで、減水剤成分中のイオン量を少なく(イオン強度を小さく)した新規の減水剤成分を開発した<sup>4)</sup>。従来の高性能 AE 減水剤のイオン強度は 0.74mol/L であるのに対し、新規の減水剤成分は 0.06mol/L である。

写真-3 は、市販の高性能 AE 減水剤で使用している減水剤成分、および新規に開発した減水剤成分に特殊増粘剤を 1%濃度で混合して、静置した時の特殊増粘剤の沈降状況を比較観察した結果である。市販の高性能 AE 減水剤の減水剤成分では特殊増粘剤が沈降した。一方、新

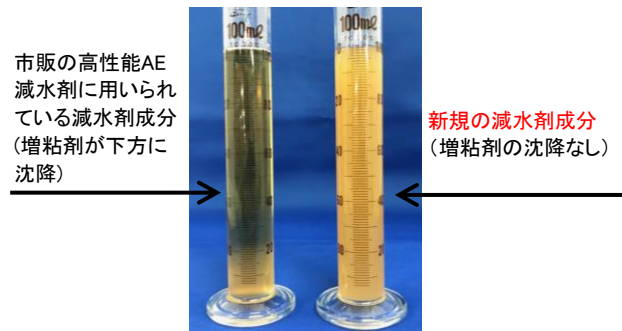


写真-3 一液型混和剤の安定性の検討状況

規の減水剤成分では沈降は生じなかった。なお、同様の試験を温度 20 および 40°C で、28 日間静置した場合でも、新規の減水剤成分では沈降は認められなかった。

## 3. 配合選定および各種品質の確認 (室内試験)

開発した一液型混和剤を用いることで、低セメント量の高流動コンクリートが製造できることを検証するため、室内試験練りを行った。

高流動コンクリートの配合選定にあたり目標とした品質を表-1 に示す。目標品質は土木学会のコンクリート標準示方書や高流動コンクリート指針<sup>9)</sup>を参考に設定した。覆工は、大半が無筋構造物であるため自己充填性のランクはランク 3、スランプフローの目標値は 60±10cm とした。また、背面空洞の発生や圧送時の閉塞を防止するため、ブリーディング試験や加圧ブリーディング試験を実施した。さらに、強度発現性や凍結融解抵抗性も試験した。

使用材料を表-2 に、室内試験により得られた高流動コンクリートの配合を表-3 に示す。発注機関の仕様書を満

表-1 高流動コンクリートの目標とした品質

試験項目	目標とした品質	試験方法
充填高さ(ランク3)	30cm以上	JSCE-F511
スランブフロー	60±10cm	JIS A 1150
空気量	4.5±1.5%	JIS A 1128
ブリーディング	従来の覆工に対して低減	JIS A 1123
加圧ブリーディング	指針 <sup>6)</sup> に示される「良好な圧送」の範囲内	JSCE-F502
圧縮強度	・設計基準強度以上 ・従来覆工と同等以上の発現性	JIS A 1108
凍結融解抵抗性	従来の覆工に対し同等以上	JIS A 1148

表-2 使用材料

種類	記号	物理的性質など
セメント	C	高炉セメントB種, 密度3.04g/cm <sup>3</sup>
水	W	地下水
細骨材	S	山砂, 表乾密度2.58g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	G	石灰碎石2005, 表乾密度2.68g/cm <sup>3</sup>
混和剤	WR	AE減水剤(高性能タイプ)*従来覆工で使用
	SPV	一液型混和剤 *開発品。高流動で使用

表-3 低セメント量の高流動コンクリートの配合とフレッシュ試験結果

種類	自己充填性のランク	目標スランブフロー(cm)	粗骨材の最大寸法(mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				混和剤		フレッシュコンクリートの品質				
						W	C	S	G	種類	添加量(C×%)	スランブフロー(cm)	500mmフロー到達時間(秒)	空気量(%)	充填高さ(cm)	ブリーディング率(%)
従来の覆工 21-15-20BB	-	スランブ 15	20	58.8	49.9	167	284	895	933	WR	1.5	SL17.5	-	4.1	-	3.9
低セメント量の高流動コンクリート	ランク3	60±10		58.8	52.1	167	284	934	892	SPV	1.8	60.0	5.8	4.0	35.4	0.3

C: 高炉セメントB種, S: 山砂, G: 砕石2005, WR: AE減水剤, SPV: 一液型混和剤(特殊増粘剤と高性能AE減水剤を一体化したもの)



写真4 従来の覆工(左)と高流動コン(右)の外観

足る従来の覆工コンクリートの配合(21-15-20BB)と同じ単位水量・セメント量のまま、目標とする高い流動性と自己充填性を有する高流動コンクリートが得られた。また、写真4に示すように、スランブフロー試験後の試料にはペースト分や水の浮き上がり、粗骨材の偏在等は認められず、良好な状態であった。

ブリーディング試験結果を表-3中に示す。高流動コンクリートは、ブリーディングがほとんど認められず、施工時に材料分離や背面空洞の生じにくいことを確認した。また、加圧ブリーディング試験により圧送性を検討したところ、従来の覆工コンクリートは、ポンプ施工指針<sup>6)</sup>に示される「良好な圧送範囲」からやや逸脱し、圧送時に閉塞が生じる可能性が示唆される結果であったのに対し、高流動コンクリートは良好な圧送性を有することを確認した(図-2)。

圧縮強度試験結果を図-3に示す。高流動コンクリートの若材齢時の強度発現性は従来の覆工コンクリートと同等以上であり、従来通りのサイクルで覆工の施工を行うことが可能であることを確認した。

凍結融解試験結果を図-4に示す。高流動コンクリート

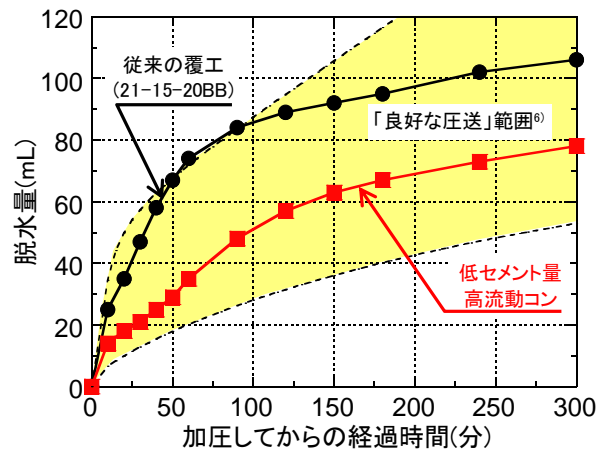


図-2 加圧ブリーディング試験結果

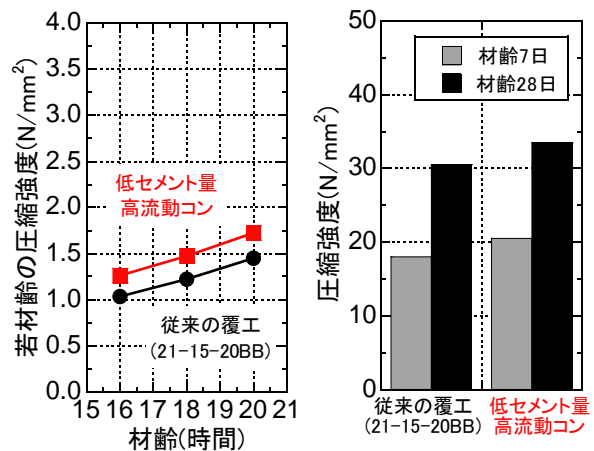


図-3 圧縮強度試験結果(左: 若材齢, 右: 通常材齢)

は、従来の覆工コンクリートと同様に、高い凍結融解抵抗性を有することを確認した。

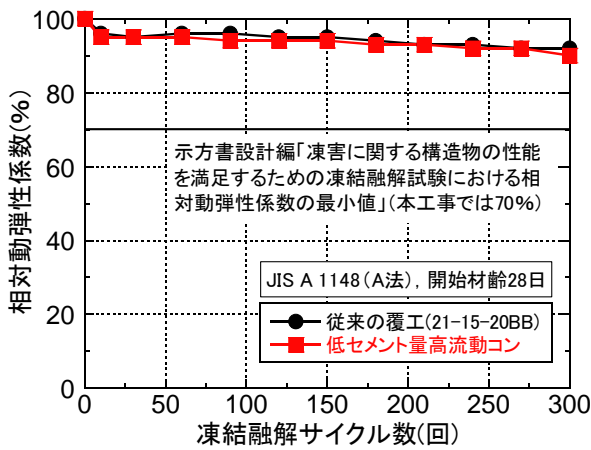


図4 凍結融解試験結果

以上の結果から、開発した一液型混和剤を用いることで、従来の覆工コンクリートに対してセメント量を増加することなく、高い流動性と自己充填性を有する高流動コンクリートが製造できること、およびこの高流動コンクリートの強度発現性や凍結融解抵抗性は従来の覆工コンクリートと同等であることが確認できた。

#### 4. 実機ミキサでの製造確認（実機試験）

前章で選定した高流動コンクリートが実機ミキサで容易に製造できること、時間経過に伴う品質変化が小さいことを検証するために、出荷予定の生コン工場にて実機試験を行った。

練混ぜには生コン工場の実機ミキサ（強制二軸練りミキサ、公称容量 2.25m<sup>3</sup>）を用い、1バッチの練混ぜ量は 2m<sup>3</sup>、練混ぜ時間は 60 秒間とした。なお、一液型混和剤は、通常の混和剤と同様に、生コン工場の混和剤タンクに貯蔵しておき、自動にて計量・投入した。

フレッシュコンクリートの各種品質の測定結果の推移を図-5に、スランプフロー試験時の状況を写真-5に示す。いずれの試験項目についても、時間経過による品質変化が生じにくく、練上がりから 120 分間にわたり高い流動性と自己充填性を保持できることが検証できた。

#### 5. トンネル覆工への適用

本章では、前章までに選定した一液型混和剤を用いた低セメント量の高流動コンクリートを道路トンネルの覆工コンクリートに適用した結果について示す。

適用したトンネルは、南伊豆地域の南北を結ぶ河津下田道路（延長 12.5km）のうち、静岡県河津町に位置する河津トンネル逆川地区工事である。トンネル延長は 1,384.5m、標準部の掘削断面積は約 90m<sup>2</sup>、覆工厚さは

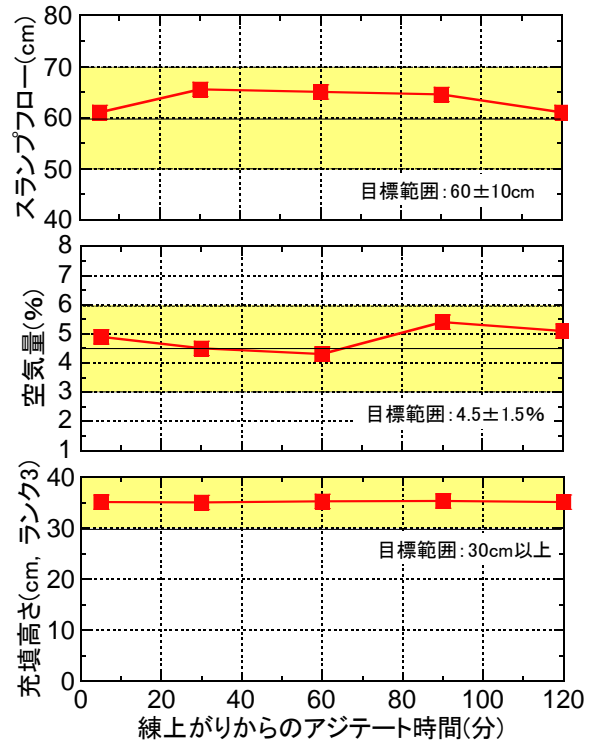


図5 実機試験におけるフレッシュ品質の推移

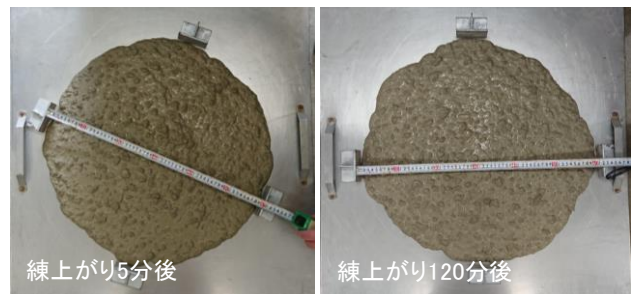


写真-5 実機試験における高流動コンクリートの外観  
(左：練上がり 5 分後、右：120 分後)

30cmである。覆工作業は 1 スパン長を 12.5m として施工している。覆工コンクリートの構築作業は 2019 年 6 月より開始した。

高流動コンクリートの製造は、4 章で示した方法と同様に、2m<sup>3</sup>バッチで製造し、2 バッチ製造して、アジテータ車にて施工現場まで運搬した。運搬時間は約 40 分であった。

##### (1) 品質試験結果

高流動コンクリートを用いた施工では、締固め作業を行わないことから、コンクリートのフレッシュ時の品質が、構築される覆工の良否に直結する。このため、安定した品質の高流動コンクリートを継続的に製造・出荷することが極めて重要である。

そこで、施工当初は頻度を高めて、コンクリートの品質試験を実施した。2019 年 7 月時点で 6 回の施工を完了しており、これまでの荷卸し時の品質試験結果の一覧を

表-4 実施工における荷卸し時の品質試験結果

試験項目	目標品質	単位	測定回数	試験結果		
				平均値	最大値	最小値
スランプフロー	60±10	cm	21	60.0	66.9	51.5
空気量	4.5±1.5	%	21	4.1	5.8	3.0
充填高さ	30以上	cm	8	34.8	35.2	34.4
単位水量	167±15	kg/m <sup>3</sup>	15	167.5	178.2	159.3
圧縮強度 (材齢7日)	—	N/mm <sup>2</sup>	6	21.5	23.6	19.7
圧縮強度 (材齢28日)	18以上	N/mm <sup>2</sup>	3	34.1	35.0	32.3

表-4に示す。

いずれの試験項目でも、目標とする品質が確保されており、今回採用した高流動コンクリートが、市中の生コン工場から安定して製造・出荷できることが確認できた。

### (2) 打込み方法および流動状況

高流動コンクリートの打込みは、従来のコンクリートの施工と同様に、側壁部は左右の打込み口から、天端部は既設側の吹上げ口から行った。

側壁部では、コンクリートの打上りに合わせて順次、上方の打込み口に切り替えた。また、1層当たりの打上り高さが50cm以下で、かつ左右が均等に打ち上がるようにコンクリートを打ち込むとともに、自由落下高さが1.5m以下となるように適宜サニーホースを設置した。なお、打上り速度は、標準的な施工速度である1.5m/hとした。

高流動コンクリートの流動状況を写真-6に示す。コンクリート自体の高い流動性により、型枠の隅々まで材料分離することなく流動・充填できていた。また、ノロやペースト分の浮き上がりもほとんど認められなかった。

### (3) セントルに作用する側圧

セントル側部（S.L.の高さ）の左右に圧力計を設置して、コンクリートの打上りに伴い、セントルに作用する側圧を計測した結果を図-6に示す。打上りに伴い側圧は増加するが、打込みの約60～90分後にピークを迎えた後は、ほとんど増加しない結果であった。側圧の最大値は0.03～0.04N/mm<sup>2</sup>程度であり、既報<sup>3)</sup>にて、今回と同様の低セメント量の高流動コンクリートで施工した場合と同程度であった。

今後データを蓄積していく必要はあるものの、トンネル覆工の標準的な打上り速度は1.5m/h程度であり、コンクリート標準示方書に示される標準的な打上り速度（2～3m/h）に比べて小さいこと、今回開発した低セメ



写真-6 高流動コンクリートの流動状況

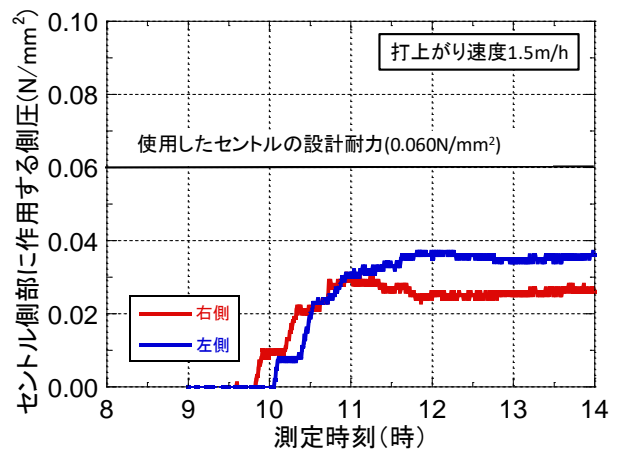


図-6 セントルに作用する側圧の測定結果

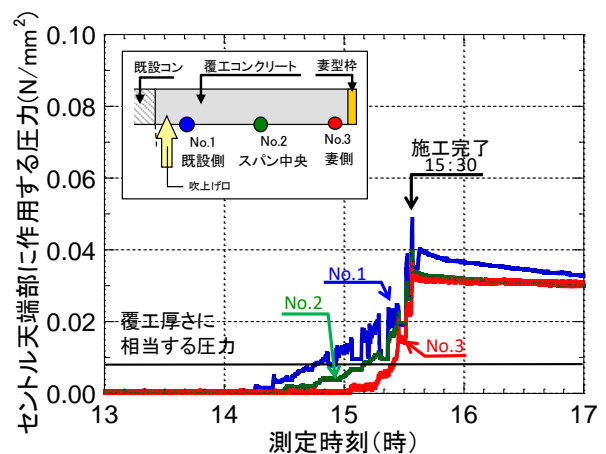


図-7 天端部の充填確認の測定結果

ント量の高流動コンクリートは単位セメント量（セメントペースト量）が少ないため、いったん充填した後では、骨材の噛み合いなどにより横方向に動きにくいことなど

の要因により、それほど大きな側圧が生じなかったものと考えられる。

#### (4) 天端部の充填確認

覆工コンクリートの天端部は、端部からの吹上げ施工となるため、特に充填が難しい部位である。そこで、セントルの天端3か所に圧力計を設置して、コンクリートが確実に充填できることを検証した。測定結果を図-7に示す。いずれの測定箇所においても、覆工厚さに相当する圧力に対して3倍以上の圧力が作用しており、密実に充填できることが確認できた。

#### (5) 仕上がり状況

低セメント量の高流動コンクリートを用いて構築した覆工の外観を写真-7に示す。充填不良やひび割れは認められなかった。また、従来の覆工コンクリートを用いた場合に生じやすい側壁部の表面気泡や目地部の欠けなども大幅に低減されており、仕上がりも良好となることが確認できた。

## 6. まとめ

特殊増粘剤と高性能 AE 減水剤を一体化した一液型混和剤を用いた低セメント量の高流動コンクリートのトンネル覆工への適用性について実験的に検討するとともに、実際に道路トンネルの覆工へ適用した。得られた知見を以下に示す。

- 一液型混和剤を用いることで、従来の覆工コンクリートと同じセメント量のまま、高い流動性と自己充填性を有する高流動コンクリートが製造できる。
- この高流動コンクリートは、水セメント比の等しい従来の覆工コンクリートと同等以上の強度発現性および凍結融解抵抗性を有する。
- 一液型混和剤は、生コン工場の混和剤タンクおよび計量設備にて貯蔵・計量でき、専用の人員や設備を追加で配置することなく、低セメント量の高流動コンクリートを製造できる。
- 市中の生コン工場から品質の安定した低セメント量の高流動コンクリートが製造・出荷できる。
- 今回の高流動コンクリートを用いて、打上がり速度1.5m/hで施工した場合、セントルに作用する側圧は0.04N/mm<sup>2</sup>程度であった。
- 一液型混和剤を用いた低セメント量の高流動コンクリートにより、締固めを行うことなく、仕上がりの良好な覆工が構築できる。

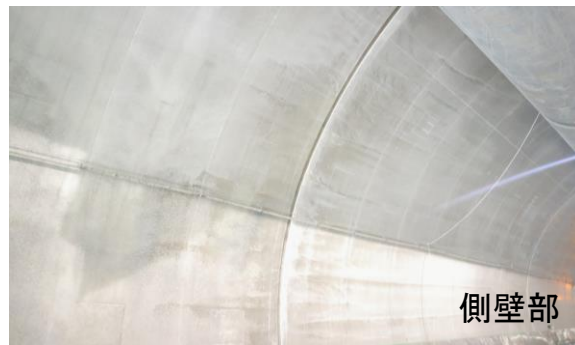


写真-7 高流動コンクリートで構築した覆工の外観

#### 参考文献

- たとえば、流動性を高めたコンクリートの活用検討委員会：流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン，pp.1-7，2017。
- 桜井邦昭，泉水大輔，山川勉，石田知子：新規の特殊増粘剤を用いた低セメント量の高流動コンクリートの開発と実構造物への適用，コンクリート工学年次論文集，Vol.40，No.1，pp.1161-1166，2018。
- 渡辺匠，桜井邦昭，黒川尚義，西浦秀明，岡崎雄一：低セメント量の高流動コンクリートのトンネル覆工への適用性の検討，トンネル工学報告集，第28巻，1-6，2018。
- 玉木伸二，岡田和寿，桜井邦昭，山川勉：低セメント量の高流動コンクリートに用いる特殊増粘剤を含有した新規一液型混和剤の開発，コンクリート工学年次論文集，Vol.41，No.4，pp.107-112，2019。
- 土木学会：高流動コンクリートの配合設計・施工指針 [2012年版]，コンクリートライブラリー136，pp.86-92，2012。
- 土木学会：コンクリートのポンプ施工指針 [2012年版]，コンクリートライブラリー135，p.26，2012。

(2019. 8. 9 受付)

APPLICATION FOR TUNNEL LINING OF SELF-COMPACTING CONCRETE  
WITH LOW CEMENT CONTENT USING A NEW ONE-PACK TYPE ADMIXTURE  
CONTAINING A SPECIAL VISCOSITY MODIFYING AGENT

Kuniaki SAKURAI, Hideaki NISHIURA, Atsushi KUGE, Koichi AKIYAMA and  
Takeshi NIWA

We have newly developed self-compacting concrete(SCC) with the same unit cement as ordinary concrete using one-pack type admixture containing a special viscosity modifying agent. We have also applied it to the lining of a road tunnel. As a result, the concrete properly flew to every corner without vibration, which has realized a high-quality tunnel lining without segregation.