

# 報告 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製造方法の多様化に関する検討

桜井 邦昭\*1・玉木 伸二\*2・菅沼 勇輝\*3・小西 秀和\*4

**要旨:** 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製造方法を多様化するため、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る方法、特殊増粘剤を含有した流動化剤を普通コンクリートに後添加する方法について実験的に検討した。その結果、いずれの方法でも低セメント量の高流動コンクリートが容易に製造できることを確認した。さらに、一液型混和剤を用いて製造した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へ適用し、市中の生コン工場から安定的に製造・供給できること、仕上がりの良好な覆工が構築できることを確認した。

**キーワード:** 高流動コンクリート, 特殊増粘剤, 一液型混和剤, 流動化剤, トンネル覆工

## 1. はじめに

近年、建設業界では労働者不足と高齢化が深刻化している。コンクリート工場の生産性向上と作業環境の改善には、締固め作業が不要となる高流動コンクリートの適用が効果的である。そこで、筆者らは、特殊増粘剤と市販の高性能 AE 減水剤を用いることで、一般的な建設工事で用いられるコンクリート（以下、普通コンクリートという）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、実構造物への積極的な適用を行っている<sup>2)~5)</sup>。

現状、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は、1バッチ当たりの必要量を事前に計量して水溶紙に梱包した状態で納品し、生コン工場が高流動コンクリートを製造する際に、手動もしくは専用装置にて投入しており、事前の準備や投入手間を要している（以下、現状の方法という）。また、高流動コンクリートは、JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」の規格から外れることになるため、工事の種類によっては大臣認定等を取得しないと適用できない場合もある。

そこで、低セメント量の高流動コンクリートの適用拡大を目的に、製造方法の多様化について検討した。具体的には、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てレディーミクストコンクリート工場（以下、生コン工場という）にて製造する方法（以下、一液型混和剤による方法という）、生コン工場 JIS 規格品の普通コンクリートを製造し、施工現場にて特殊増粘剤を含有した流動化剤を後添加して製造する方法（以下、流動化剤による方法という）である。

本稿では、これら2つの方法により製造した低セメン

ト量の高流動コンクリートの各種の品質を室内および実機試験で検証した結果、ならびに一液型混和剤による方法で製造し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を報告する。

## 2. 各種の製造方法の概要と特徴

今回検討した低セメント量の高流動コンクリートの各種の製造方法の概要と特徴を表-1に示す。

一液型混和剤は、特殊増粘剤と高性能 AE 減水剤を一体化した混和剤である。特殊増粘剤の主成分はセルローズエーテルであり、市販のポリカルボン酸を主成分とする高性能 AE 減水剤中では塩析を生じ、安定的に溶解させることが困難であった。そこで、今回の一液型混和剤は、モノマーの種類やアルカリによる中和度を調整してイオン強度を大幅に低減した減水成分を用いることで高い製品安定性を確保した。詳細は文献<sup>6)</sup>を参照されたい。なお、この一液型混和剤は、JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」の高性能 AE 減水剤・標準形に適合する。

特殊増粘剤を含有した流動化剤は、特殊増粘剤と粉末状の減水成分（ポリカルボン酸系）を混合したものであり、JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」の流動化剤・標準形に適合している。

一液型混和剤は、生コン工場の既存の混和剤タンク・計量設備にて、貯蔵および計量・投入が行えることから、通常と同じ手順で高流動コンクリートを製造できる利点を有する。一方、流動化剤による方法は、生コン工場からは普通コンクリート（細骨材率は流動化後に材料分離抵抗性が確保できるように調整）を製造・出荷すればよく、実適用に際しての手続きが簡便となる利点がある。

\*1 (株)大林組 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 主任研究員 博士 (工学) (正会員)

\*2 竹本油脂(株) 第三事業部 研究開発部 化学グループ グループリーダー 修士 (工学) (正会員)

\*3 竹本油脂(株) 第三事業部 研究開発部 化学グループ 修士 (応用生物科学)

\*4 信越化学工業(株) 合成技術研究所 研究部開発室 修士 (工学) (正会員)

表-1 低セメント量の高流動コンクリートの各種の製造方法の概要と特徴




	現状の方法	一液型混和剤による方法	流動化剤による方法
混和剤の概要	特殊増粘剤(粉末)と市販の高性能AE減水剤 	特殊増粘剤と減水剤を一体化した液体混和剤 	特殊増粘剤と減水剤を混合した流動化剤(粉末) 
製造方法	生コン工場のミキサ	生コン工場のミキサ	普通コンを積載した生コン車に後添加
利点	・生コン工場で製造のため品質が安定 ・高性能AE減水剤の銘柄を選ばない	・生コン工場で製造のため品質が安定 ・工場の既存タンク・設備で貯蔵・計量	生コン工場からはJIS規格の普通コンクリートを出荷
留意点	・JIS規格外品となる ・増粘剤の事前計量・梱包、投入が必要	・JIS規格外品となる	・後添加のため、現場での品質管理が煩雑 ・後添加の際に投入手間が必要

表-2 高流動コンクリートの目標品質

試験項目	目標とした品質	試験方法
充填高さ(ランク2)	300mm以上	JSCE-F511
スランプフロー	60±10cm	JIS A 1150
500mmフロー到達時間	3~15秒	同上
空気量	4.5±1.5%	JIS A 1128
加圧ブリーディング	指針 <sup>8)</sup> に示される「良好な圧送」の範囲内	JSCE-F502
ブリーディング	普通コンクリートと同等であること	JIS A 1123
圧縮強度	同上	JIS A 1108
凍結融解抵抗性	同上	JIS A 1148
中性化深さ	同上	JIS A 1152, 1153

表-3 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	石灰砕石2005、表乾密度2.68g/cm <sup>3</sup>
混和剤	WR	AE減水剤(高機能タイプ)*普通コンで使用
	SP	高性能AE減水剤(市販品)*現状の製造方法で使用
	SPV	一液型混和剤(開発品、液状)
	SP-VP	特殊増粘剤を含有した流動化剤(開発品、粉末状)
	VMA	特殊増粘剤(開発品、粉末状)*現状の製造方法で使用

表-4 各種コンクリートの配合とフレッシュ品質試験結果

コンクリートの種類	製造方法	自己充填性のランク	目標スランプフロー(cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				混和剤(製造時)			混和剤(後添加)		フレッシュコンクリートの品質					
						W	C	S	G	減水剤種類	添加量(C×%)	特殊増粘剤(g/m <sup>3</sup> )	種類	添加量(g/m <sup>3</sup> )	流動化後の別	スランプフロー(cm)	500mmフロー到達時間(秒)	空気量(%)	充填高さR2(mm)	ブリーディング率(%)
普通コンクリート(21-15-20BB)	-	-	SL15	58.8	49.9	167	284	895	933	WR	0.8	-	-	-	-	SL17.5	-	4.1	-	3.1
低セメント量の高流動コンクリート	現状の方法	ランク2	60±10	58.8	52.1	167	284	934	892	SP	1.3	60	-	-	-	62.0	4.2	4.3	332	-
	一液型混和剤									SPV	1.6	-	-	-	-	59.5	5.8	4.4	333	1.9
	流動化剤									WR	1.0	-	SP-VP	800	ベース	SL17.5	-	5.0	-	-
														流動化後	62.5	4.0	4.0	334	1.4	

表-5 コンクリートの練混ぜ方法

種類	練混ぜの方法	
普通コンクリート(21-15-20BB)	(1)セメントと骨材を投入し10秒間練混ぜ (2)混和剤を溶解した練混ぜ水を投入して60秒間練混ぜ (3)練上がり後、直ちに試料を排出して品質試験	
高流動コンクリート	●現状の方法 ●一液型混和剤による方法	(1)セメント、骨材を投入し10秒間練混ぜ (2)混和剤を溶解した練混ぜ水を投入して90秒間練混ぜ (3)練上がり後5分間静置して試料を排出して品質試験
	●流動化剤による方法	(1)ベースは普通コンクリートと同様 (2)普通コンクリートの品質試験後、全試料をミキサに戻し、流動化剤を投入して30秒間練混ぜ (3)練上がり後5分間静置して試料を排出して品質試験

### 3. 室内試験による各種品質の検討

#### 3.1 実験概要

高流動コンクリートの目標品質と試験項目を表-2に示す。指針<sup>7)</sup>等を参考に、スランプフローは60cm、自己充填性はランク2とした。実験に用いた材料を表-3、配合を表-4に示す。なお、試験は20℃の屋内で行った。

練混ぜには強制二軸練りミキサ(容量60L)を用い、練混ぜ量は40L/バッチとした。練混ぜ方法を表-5に示す。現状の方法と一液型混和剤による方法では、セメントと骨材を投入し10秒間練り混ぜた後、あらかじめ混和剤を溶解した練混ぜ水を投入して90秒間練り混ぜた。5分間ミキサ内で静置後、試料を排出して試験した。

流動化による方法は、まずベースとなる普通コンクリート(以下、ベースコンクリートという)を製造して品質試験を行った。その後、全試料をミキサに戻して、流動化剤を投入して30秒間練り混ぜた後、5分間静置後に試料を排出して品質試験を行った。

#### 3.2 実験結果および考察

##### (1) フレッシュ製造および硬化後の品質

各種の方法により製造した低セメント量の高流動コンクリートのフレッシュ時の品質試験結果を表-4中に示す。単位セメント量が284kg/m<sup>3</sup>と少ないにも関わらず、いずれの方法でも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製造できた。また、写真-1に示すように、スランプフロー後の状態は、粗骨材の偏在や浮きなどは認められず、良好な状態であった。



写真-1 各種コンクリートの外観

加圧ブリーディング試験結果を図-1に示す。普通コンクリートはポンプ施工指針<sup>8)</sup>に示される「良好な圧送の範囲」からやや逸脱しており、圧送時の加圧脱水が生じやすい傾向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、いずれの方法でも、良好な圧送性を有する結果が得られた。低セメント量の高流動コンクリートは、少ないセメント量でも高い材料分離抵抗性を確保できていることを示す結果と考えられる。

圧縮強度結果を図-2に示す。いずれの方法で製造しても、若材齢時の強度発現性は普通コンクリートと同等であることを確認した。材齢7および28日の圧縮強度も同等以上であった。

また、一液型混和剤の場合のみの結果であるが、中性化や凍結融解に対する抵抗性も普通コンクリートと同等であり、十分な耐久性を有することを確認した(図-3)。

(2) 混和剤の添加量とフレッシュ品質の関係の確認

一般に、コンクリートの製造では、外気温の変化や骨材品質の変動等に応じて、混和剤の添加量を調整することで所定の流動性を確保している。そこで、一液型混和剤もしくは流動化剤の場合でも、それらの添加量を変化させることで流動性のレベルを調整できるかを検討した。

試験結果を図-4に示す。いずれの場合も、混和剤の添加量を変化させることで流動性のレベルを調整できるとともに、自己充填性も確保できることを確認した。

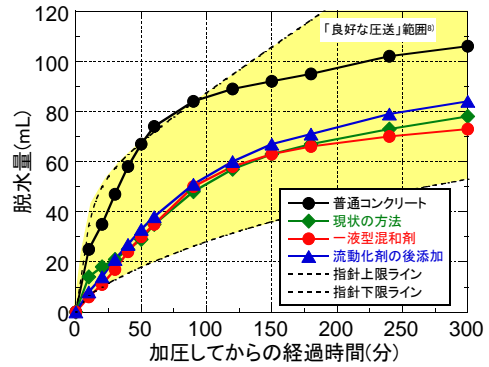


図-1 加圧ブリーディング試験結果

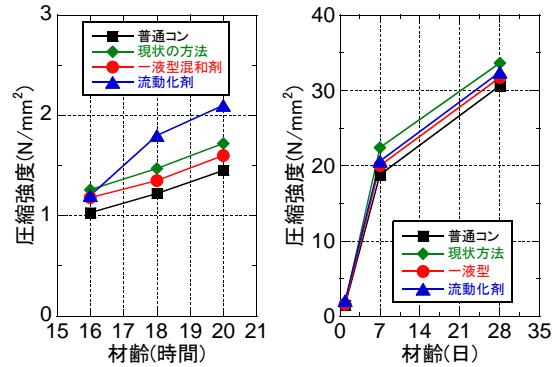


図-2 各種コンクリートの圧縮強度試験結果

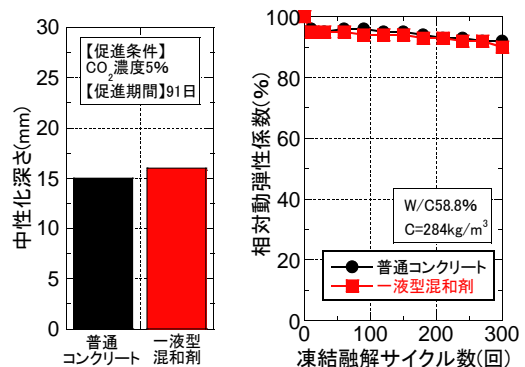


図-3 耐久性の試験結果 (一液型混和剤による方法)

(3) ベースコンクリートの品質変動に関する検討

流動化剤による方法の場合、生コン工場から供給されるベースコンクリートの品質が変化することも想定される。そこで、見かけ上細骨材の表面水率が±0.7%変動して、ベースコンクリートのスランプが変化した場合でも、流動化剤の添加量の調整により目標とする品質が確保できるかを検討した。試験結果を図-5に示す。表面水率の変動に伴い、ベースコンクリートのスランプは12.5~19.5cmの範囲で変化した。流動化剤の添加量を調整することで、目標とする高い流動性および自己充填性を確保できることを確認した。

なお、本実験は、ベースコンクリートの流動性が変化した場合でも、流動化剤の添加量の調整により高流動コンクリートが所要のフレッシュコンクリート品質を確保できるかを検証したものであり、ベースコンクリートに含まれる水量が増減しても良いことを示すものではない。

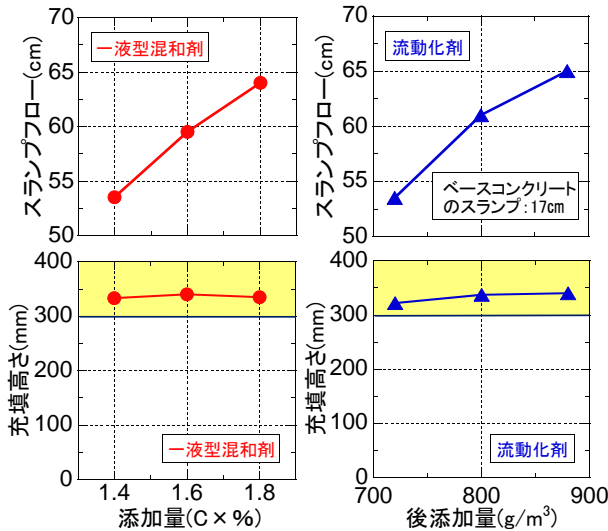


図-4 混和剤添加量の調整による品質の変化の検討  
(左：一液型混和剤，右：流動化剤)

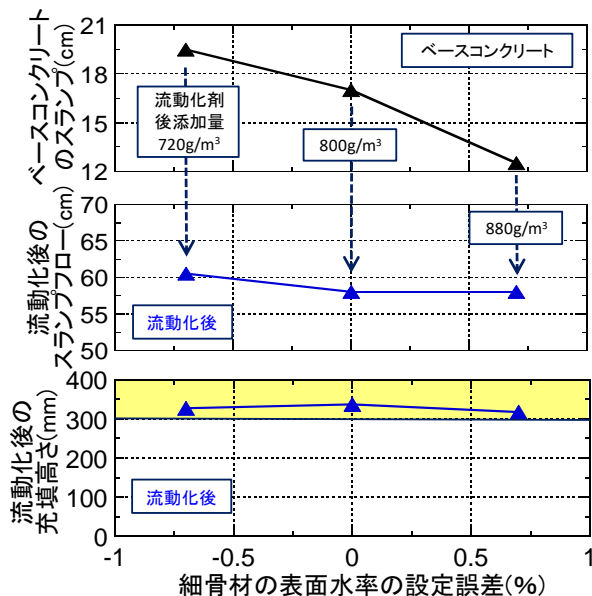


図-5 ベースコンクリートの品質変動に対する検討

#### 4. 実機試験による製造方法とフレッシュ品質の検証

一液型混和剤もしくは流動化剤により、低セメント量の高流動コンクリートが容易に製造できることを検証するため実機試験を行った。コンクリートの製造には、生コン工場の実機ミキサ（強制二軸練りミキサ，公称容量 $2.25\text{m}^3$ ）を用い、1バッチの製造量は $2\text{m}^3$ とした。

一液型混和剤による方法では、混和剤は生コン工場の混和剤タンクに貯蔵し、既存設備にて自動計量・投入した。ミキサ内に全材料を投入後60秒間練り混ぜて、アジテータ車に排出した。流動化剤による方法では、普通コンクリートを実機ミキサにて製造してアジテータ車に排出したのち、水溶紙で梱包した流動化剤（水溶紙サイズ： $10\times 15\text{cm}$ ，1袋あたりの梱包量： $160\text{g}/\text{袋}$ ）をアジテータ車のホッパーから投入してドラムを120秒間高速攪拌し、その後5分間低速でアジテートして製造した（写真-2）。なお、実機試験時のコンクリート温度は約 $15^\circ\text{C}$ であった。

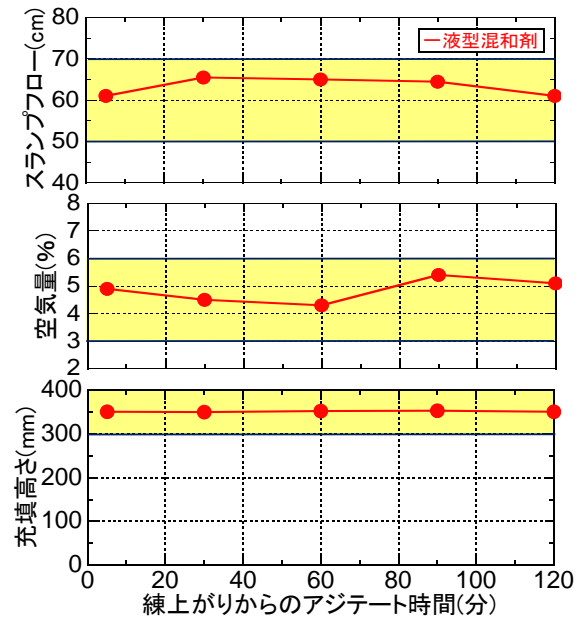


図-6 実機試験の試験結果（一液型混和剤による方法）

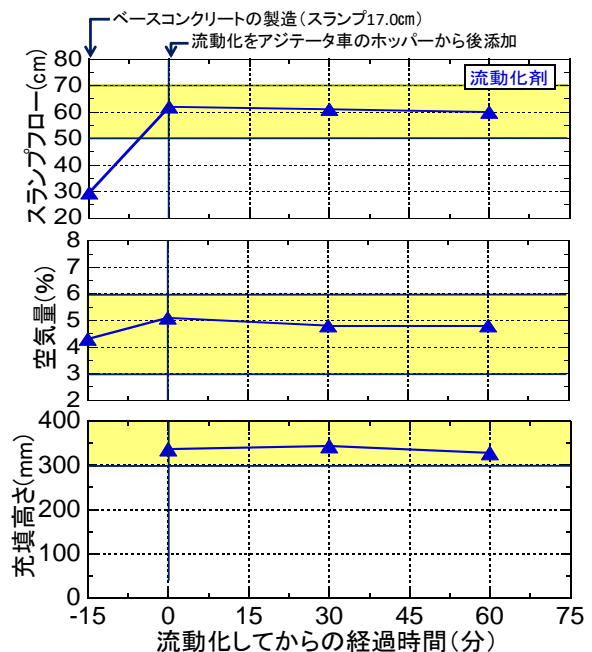


図-7 実機試験の試験結果（流動化剤による方法）



写真-2 水溶紙で梱包した流動化剤の外観と投入状況

実機試験の品質試験結果を図-6および図-7示す。一液型混和剤により製造した高流動コンクリートは、練上がりから120分間、流動化剤により製造した場合は、流動化後から60分間にわたり目標とする流動性および自己充填性を確保できた。

## 5. トンネル覆工への適用

本章では、一液型混和剤により製造し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、南伊豆地域を南北に結ぶ河津下田道路（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 30cm である。

高流動コンクリートは、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。

### 5.1 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ため、フレッシュ時の品質が構築される構造物の良否に直結する。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・出荷することが重要である。

2019 年 6 月より適用を開始し、12 月時点で約 30 回の施工を完了している。これまでの荷卸し時の品質試験結果を表-6 に示す。いずれの試験項目でも、目標品質が確保されており、一液型混和剤を用い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・出荷できることを確認した。なお、スランプフローは目標品質の範囲内ではあるものの最大値と最小値には大きな開きがあることから、外気温の変化に伴う一液型混和剤の添加量の調整や細骨材中に含まれる水分量の管理に留意する必要があると考えられる。

### 5.2 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、従来の普通コンクリートと同様に、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がりに合わせて順次、上方の打込み口に切り替えた。また、1 層当たりの打上がり高さが 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。打上がり速度は、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-3 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上がりもほとんど認められなかった。

### 5.3 型枠に作用する側圧

型枠（セントル）の側部の左右に圧力計を設置して、高流動コンクリートの打上がりに伴い作用する側圧を計測した（図-8）。打上が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>2)~5)</sup>にて、現状の方法で製

表-6 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	63	61.1	67.5	51.0	
空気量	4.5±1.5	%	63	4.2	5.8	3.0	
充填高さ	300以上	mm	8	348	352	344	
単位水量	167±15	kg/m <sup>3</sup>	57	165.6	178.2	153.0	
圧縮強度	材齢7日	—	N/mm <sup>2</sup>	24	18.6	22.0	16.9
	材齢28日	18以上	N/mm <sup>2</sup>	20	29.2	34.1	27.3



写真-3 高流動コンクリートの流動状況

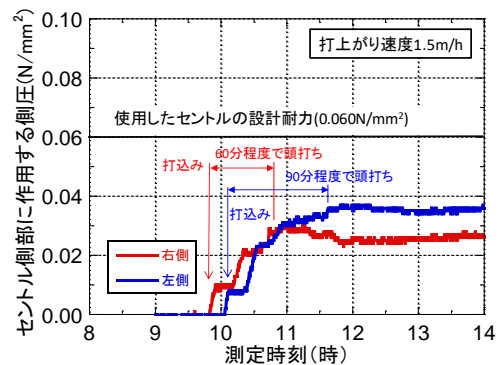


図-8 セントルに作用する側圧の測定結果

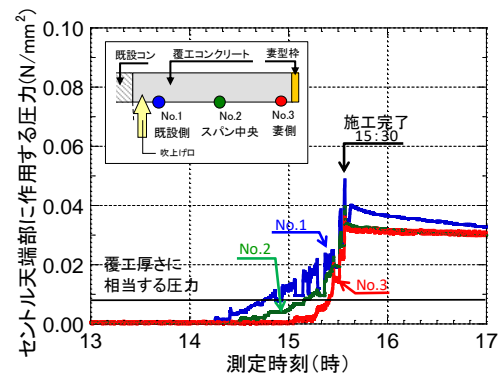


図-9 天端部の充填確認の測定結果

造した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。

作用する側圧の最大値については、今後も検証を継続していく必要があるものの、トンネル覆工の標準的な打上がり速度は 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がり速度（2~3m/h）に比べて小さいこと、低セメ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水平方向に動きにくいこと等の要因により、それほど大きな側圧が生じなかったものと考えられる。



写真-4 一液型混和剤を用いて製造した低セメント量の高流動コンクリートで構築した覆工の外観

#### 5.4 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-9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、密実に充填できているものと推察された。

#### 5.5 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-4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、仕上がりも良好であることが確認できた。

#### 6. まとめ

低セメント量の高流動コンクリートの製造方法を多様化するため、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による方法、特殊増粘剤を含有した流動化剤を普通コンクリートに後添加する方法について検討した。また、一液型混和剤により製造した高流動コンクリートを道路トンネルの覆工に適用した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 一液型混和剤もしくは流動化剤を用いることで、普通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が製造できる。
- (2) 上記により製造した高流動コンクリートは、水セメ

ント比の等しい普通コンクリートに比べ圧送性に優れる。また、圧縮強度は同等である。

- (3) 一液型混和剤を用いることで、生コン工場の既存設備により低セメント量の高流動コンクリートを容易に製造できる。
- (4) 普通コンクリートを積載したアジテータ車のホッパーに特殊増粘剤を含有した流動化剤を投入し、ドラムを高速攪拌することで、低セメント量の高流動コンクリートを製造できる。
- (5) 一液型混和剤により製造した低セメント量の高流動コンクリートを用いることで、仕上がりの良好なトンネル覆工を構築できる。

最後に、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に際しては、国土交通省中部地方整備局沼津河川国道事務所の方々に多大なるご理解とご協力をいただきました。記して御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) たとえば、土木学会：コンクリート構造物における品質を確保した生産性向上に関する提案，コンクリートライブラリー148，pp.3-14，2016.12
- 2) 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
- 3) 桜井邦昭，永松雄一，上原哲哉，山川勉：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によるトンネル覆工の施工，コンクリート工学年次論文集，Vol.41，No.1，pp.1319-1324，2019
- 4) 桜井邦昭，西浦秀明，黒川尚義：セメント量の増加を抑制した高流動コンクリートの開発とトンネル覆工への適用，トンネルと地下，Vol.50，No.10，pp.45-55，2019.10
- 5) 加藤隆雄，黒川尚義，渡辺匠，桜井邦昭：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によるトンネル覆工の施工—三遠道路3号トンネル東栄地区工事—，コンクリート工学，Vol.57，No.7，pp.516-521，2019.7
- 6) 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.1，pp.107-112，2019
- 7) 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.86-92，2012.6
- 8) 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.26，2012.6