

論文 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

桜井 邦昭^{*1}・泉水 大輔^{*2}・山川 勉^{*3}・石田 知子^{*4}

要旨: コンクリート工事の生産性向上には、高流動コンクリートの適用が有効である。しかし、高流動コンクリートは材料分離抵抗性の確保のため、従来の普通コンクリートに比べセメント（粉体）量を増大させる必要があり、材料コストや温度ひび割れの発生リスクが増加する課題がある。そこで、新規の特殊増粘剤と汎用的な高性能 AE 減水剤を用いることで、セメント量を増大することなく材料分離抵抗性を確保できる低セメント量の高流動コンクリートを開発した。また、開発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に適用し、締固め作業を行わずに均質な覆工が構築でき、生産性向上に寄与できることを検証した。

キーワード: 高流動コンクリート、単位セメント量、特殊増粘剤、生産性向上、作業環境改善

1. はじめに

近年、建設工事の生産性向上が強く求められている。高流動コンクリートは、自己充填性を有し締固め作業を省略できることから、施工現場でのコンクリート工事の生産性を大幅に向上できる。国土交通省では、「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」^{1) 2)}を策定し、「現場打ちコンクリート工事の生産性が著しく向上すると判断された場合には、高流動コンクリートを選定してよい」と示している。

高流動コンクリートは 1980 年代後半に我が国で開発され、種々の構造物に適用されている。また、高流動コンクリートを用いた構造物が優れた耐久性を有することも確認されている³⁾。

しかし、国内の建設現場での高流動コンクリートの施工数量は 15~20 万 m³/年（全出荷量の 0.2%程度）³⁾の現状にある。高流動コンクリートは、高い流動性に見合う材料分離抵抗性の確保のため、建設工事で汎用的に用いられている普通コンクリートに比べ、単位セメント（粉体）量を大幅に増加させる必要があり、材料コストや硬化後の収縮ひび割れの発生リスクが増加することが普及を妨げている一因と考えられる。

そこで、新規の特殊増粘剤と汎用品の高性能 AE 減水剤を用いることで、普通コンクリートと同等のセメント量のまま、材料分離抵抗性を確保しつつ、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（以下、新規の高流動コンクリートという）を開発した。

本稿では、新規の高流動コンクリートのフレッシュ時や硬化後の各種の品質試験結果を示すとともに、道路トンネルの覆工コンクリートに適用した結果を示す。

2. 特殊増粘剤の概要

本研究で用いた特殊増粘剤は、平均粒径が約 80μm の粉末で、白黄色のセルロースエーテル系増粘剤である。セルロースエーテルはセメントペースト中に溶解して粘性を高め、材料分離抵抗性の改善やブリーディングの低減に寄与すると言われている⁴⁾。これまでも、水中不分離性コンクリートや増粘剤系高流動コンクリート等に適用されている。

しかし、従来のセルロースエーテル系増粘剤は、粘性を高める反動により、流動性が低下する傾向にあり、コンクリートとして高い流動性を確保するには、単位水量を増加させる等の対策が必要であった。

そこで、材料分離抵抗性と流動性の確保が両立できるように組成等を調整した新規の特殊増粘剤を開発した。表-1 は、水セメント比 51.5% のセメントペーストに、新規の特殊増粘剤または従来のセルロースエーテル系増粘剤を混和したときの塑性粘度と降伏値をレオメータで測定した結果である。同一の塑性粘度を確保した場合、新規の特殊増粘剤の方が降伏値は小さく、高い流動性を確保できている。このため、セメント量が少なく水セメント比の比較的大きい領域でも、材料分離を生じることなく高い流動性を確保できると考えられるが、詳細なメカニズムについては今後検討を進めていく必要がある。

表-1 各種の増粘剤を用いたセメントペーストの塑性粘度と降伏値の測定結果

増粘剤の種類	配合条件			測定結果	
	W/C (%)	高性能AE 減水剤	増粘剤量 (g/m ³)	塑性粘度 (Pa·s)	降伏値 (Pa)
新規の特殊増粘剤	51.5	C × 0.7%	60	0.095	0.032
従来のセルロースエーテル			300	0.101	0.131

*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 (株)大林組 土木本部 工務部 工務第一課 担当課長

*3 信越化学工業(株) 合成技術研究所 研究部開発室 主席研究員 博士（工学）（正会員）

*4 (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）

表-3 コンクリートの配合（品質確認実験）

配合No.	検討要因	コンクリート種類	自己充填性のランク	目標スランプフロー(cm)	W/C(%)	s/a(%)	単位粗骨材絶対容積(L/m³)	単位量(kg/m³)				混和剤(C×%)			特殊増粘剤VMA(g/m³)	品質試験結果			
								W	C	S	G	WR	SP	SPV		スランプフロー(cm)	空気量(%)	24時間圧縮強度(N/mm²)	
1	普通コン(比較用)	—	SL12cm	55.0	52.9	321	320	175	318	938	848	0.25	—	—	—	SL12cm	5.2	4.2	
2	新規の高流動 単位セメント量 (水セメント比)	ランク2	60±10	65.0	54.0	306	320	175	269	978	848	—	2.50	—	90	58.0	5.2	2.2	
3				60.0	54.9	313			292	959		—	2.10	—		61.0	5.1	3.2	
4				58.7	53.3	315			298	955		—	1.90	—		61.5	5.3	3.3	
5				55.0	52.9	321			318	938		—	1.90	—		61.5	4.6	3.8	
6				51.5	52.4	328			340	920		—	1.75	—		62.0	5.1	4.0	
7				48.6	52.0	334			360	903		—	1.65	—		62.5	5.2	4.7	
8				47.5	51.8	337			368	896		—	1.55	—		62.0	5.2	5.5	
9				46.1	51.5	341			380	887		—	1.45	—		61.5	5.7	6.0	
10				43.8	51.0	347			400	870		—	1.25	—		61.0	5.7	6.4	
11				40.0	50.1	359			438	839		—	1.30	—		63.0	5.0	10.4	
12				35.0	48.5	379			500	788		—	1.35	—		64.0	4.0	16.8	
13		粉体系 高流動 (比較用)		55.0	52.9	321	320	175	318	938	848	—	1.90	—	90	60.0	5.5	3.5	
14				46.1	51.5	341			380	887		—	1.50	—		64.0	4.0	6.9	
15				35.0	48.5	379			500	788		—	1.20	—		62.5	4.7	15.8	
16	増粘剤系 高流動 (比較用)	ランク2	60±10	55.0	52.9	321	320	175	318	938	848	—	—	1.90	90	62.5	4.1	4.3	
17				51.5	52.4	328			340	920		—	—	1.75		61.5	4.7	4.1	
18				48.6	52.0	334			360	903		—	—	1.65		62.5	4.2	5.2	
19				46.1	51.5	341			380	887		—	—	1.55		61.5	5.2	5.3	
20				43.8	51.0	347			400	870		—	—	1.40		61.5	6.0	5.9	
21				40.0	50.1	359			438	839		—	—	1.25		63.0	5.6	9.6	
22	特殊増粘剤の添加量	新規の高流動	ランク2	60±10	55.0	52.9	321	320	175	318	938	848	—	1.90	—	30	61.5	4.4	4.3
23													—	1.90	—	120	60.5	5.3	4.4
24													—	2.00	—	200	60.5	6.0	3.6
25													—	2.10	—	250	61.0	6.0	3.2

3. 新規の高流動コンクリートの品質確認実験

3.1 実験概要

試験練りに用いた材料を表-2、配合を表-3に示す。検討要因は単位セメント量（水セメント比55%）と特殊増粘剤の添加量とした。配合条件は、単位水量175kg/m³、単位粗骨材絶対容積320L/m³で一定とした。単位セメント量の範囲は270～500kg/m³（水セメント比の範囲で65～35%）とした。

比較のため、土木分野で一般的な鉄筋コンクリート構造物に使用される配合を想定した普通コンクリート（スランプ12cm、水セメント比55%）、材料分離抵抗性を確保するために単位セメント量を増加させる粉体系高流動コンクリートおよび高性能AE減水剤（増粘剤一液タイプ）を用いることで粉体系に比べて単位セメント量の増加を抑制できる増粘剤系高流動コンクリートも試験した。

試験項目および目標とした品質を表-4に示す。コンクリート標準示方書や指針³⁾を参考に、一般的な配筋条件の部材への適用を想定し、自己充填性のランクはランク2とした。スランプフローの目標値は60cmとし、目標値となるよう高性能AE減水剤の添加量を調整した。

試験項目は、スランプフロー、空気量および充填高さに加えて、材料分離が生じていないことを確認するため500mmフロー到達時間やブリーディング率を、凝結遅延が生じないことを検証するため材齢24時間の圧縮

表-2 使用材料（品質確認実験）

種類	記号	銘柄、物理的性質など
セメント	C	普通ポルトランドセメント、密度3.16g/cm³
細骨材	S	陸砂、表乾密度2.61g/cm³、吸水率1.80%、粗粒率2.46%
粗骨材	G	碎石2005、表乾密度2.65g/cm³、吸水率0.75%、実積率59.7%
WR	AE減水剤 *汎用品	
SP	高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系) *汎用品	
SPV	高性能AE減水剤(増粘剤一液タイプ) *汎用品	
VMA	特殊増粘剤(セルロースエーテル系)	

表-4 試験項目と目標とした品質

試験項目	準拠規準など	目標とした品質
充填高さ	JSCE-F511、障害条件:R2	30cm以上
スランプフロー	JIS A 1150	60±10cm
500mmフロー到達時間	同上	3～15秒
空気量	JIS A 1128	4.5±1.5%
ブリーディング率	JIS A 1123	
圧縮強度	JIS A 1108	
長さ変化率	JIS A 1129-3(ダイヤルゲージ方法)	
中性化深さ	JIS A 1152, JIS A 1153 [促進条件]CO ₂ 濃度5%, 20°C60RH [促進期間]3ヶ月	普通コンクリートと同等であること
塩分浸透深さ	JSCE-G572 [促進条件]NaCl濃度10%水溶液(20°C) [促進期間]3ヶ月	

強度も測定した。

さらに、普通コンクリート（配合No.1）と同じ単位セメント量（水セメント比55%）の新規の高流動コンクリート（配合No.5）を対象に、圧縮強度の発現性、長さ変化率、中性化や塩分浸透に対する抵抗性も調べた。

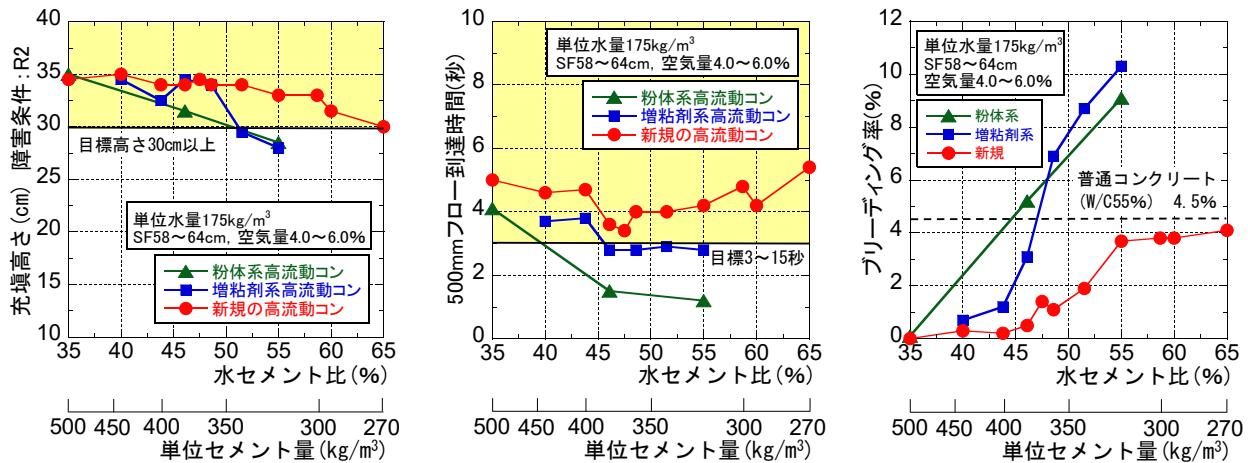


図-1 各種高流動コンクリートの単位セメント量と充填高さ, 500mm フロー到達時間およびブリーディング率の関係

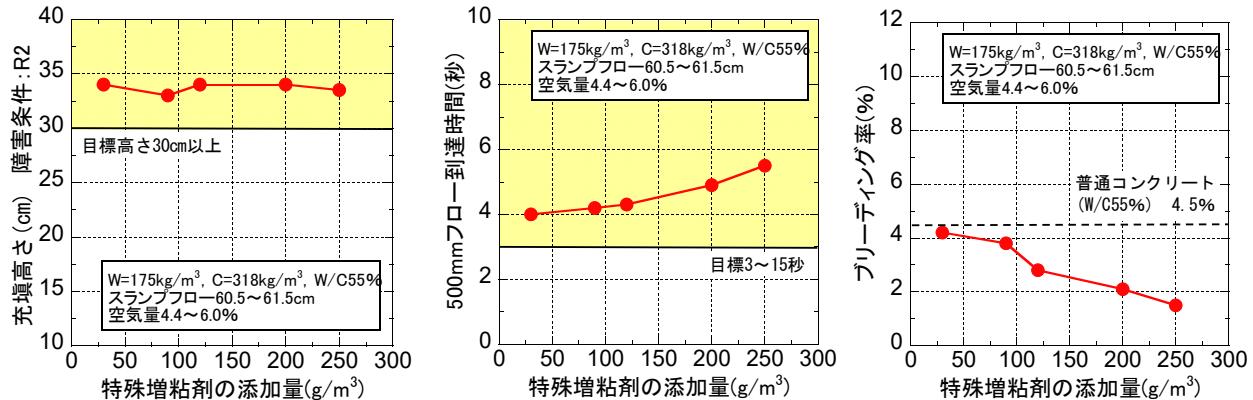


図-2 新規の高流動コンクリートの特殊増粘剤添加量と充填高さ, 500mm フロー到達時間, ブリーディング率の関係

コンクリートの練混ぜには、強制二軸練りミキサ（容量 60L）を用い、1 バッチの練混ぜ量は 40L とした。練混ぜ方法は、セメント、骨材を投入して 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 分間静置した後に、十分に練り返して各種の品質試験を行った。なお、特殊増粘剤は、セメントの投入に合わせてミキサ内へ投入した。試験は室温 20°C・湿度 60% で管理された室内で行った。

3.2 実験結果および考察

(1) 単位セメント量（水セメント比）の検討

各種の高流動コンクリートの充填高さ、500mm フロー到達時間およびブリーディング率の測定結果を図-1 に示す。なお、新規の高流動コンクリートにおける特殊増粘剤の添加量は 90g/m³ で一定とした。

充填高さは、粉体系および増粘剤系高流動コンクリートでは単位セメント量が 350kg/m³ を下回る（水セメント比が 50% を超える）と 30cm 以下となり、自己充填性が確保できない結果となった。一方、新規の高流動コンクリートは単位セメント量を 270kg/m³（水セメント比 65%）まで少なくとも充填高さ 30cm 以上を確保できていた。

500mm フロー到達時間は、粉体系および増粘剤系高流動コンクリートではセメント量が少なく（水セメント比が大きく）なるに従い速くなつた。一方で、新規の高流動コンクリートでは、充填高さが 30cm 以上を確保でき、500mm フロー到達時間も他の高流動コンクリートと比較して遅く、約 6 秒であった。

動コンクリートは単位セメント量によらずほぼ一定の到達時間であった。ブリーディング率についても、粉体系や増粘剤系高流動コンクリートでは単位セメント量の低下に伴い増加し、特にセメント量が 400kg/m³ 程度以下になると急増した。新規の高流動コンクリートは、上記の高流動コンクリートに比べて同一の単位セメント量（水セメント比）でのブリーディング率は小さく、水セメント比 55% では、普通コンクリートよりも小さかった。

一連の結果を踏まえると、特殊増粘剤を用いることで、現在のコンクリート工事で汎用的に用いられている普通コンクリートと同じセメント量（水セメント比）のまま、材料分離抵抗性を確保しつつ、高い流動性と自己充填性を有する高流動コンクリートを製造できるといえる。

(2) 特殊増粘剤の添加量

単位セメント量を 318kg/m³（水セメント比 55%）で一定として特殊増粘剤の添加量を 30~250g/m³ の範囲で変化させた場合の新規の高流動コンクリートの各種の品質試験結果を図-2 に示す。

充填高さは特殊増粘剤の添加量によらず、いずれも目標とする 30cm 以上を十分に確保できていた。また、特殊増粘剤の添加量が多くなるほど、500mm フロー到達時間は遅く、ブリーディング率は小さくなる結果が得られた。このため、使用材料の種類や単位セメント量の条件

に応じて、特殊増粘剤の添加量を調整することで、高流動コンクリートの材料分離抵抗性を調整することが可能と考えられる。

(3) 新規の高流動コンクリートの品質安定性

単位セメント量 318kg/m^3 (水セメント比 55%) の新規の高流動コンクリート (配合 No.5) を対象に、細骨材の表面水率の設定が $\pm 1\%$ 誤った場合のフレッシュ時の品質変動を調べた (図-3)。表面水率が変動しても、目標とする充填高さを満足でき、ブリーディングの急激な増大も生じなかった。新規の高流動コンクリートは、実施工時に細骨材の表面水率の変動が生じても材料分離せずに自己充填性を確保できることを示す結果と考えられる。

(4) 新規の高流動コンクリートの硬化後の品質

水セメント比 55% の普通コンクリート (配合 No.1) と新規の高流動コンクリート (配合 No.5) の強度発現性、長さ変化率、中性化深さおよび塩分浸透深さの試験結果を図-4～図-5 に示す。いずれの試験項目においても、普通コンクリートと新規の高流動コンクリートとの顕著な違いは認められなかった。特殊増粘剤を用いた新規の高流動コンクリートの硬化後の品質は、水セメント比の等しい普通コンクリートと同等であることが確認できた。

4. 実構造物への適用

新規の高流動コンクリートを用いて、国道 45 号吉浜釜石道路工事の唐丹第 2 トンネル (仮称) の覆工コンクリート (幅 12.6m、高さ 9.16m、設計厚さ 40cm、1 スパン長さ 10.5m) を施工した。本章では、施工に用いた新規の高流動コンクリートの各種品質試験結果、高流動コンクリートの採用による生産性の向上効果および構築したトンネル覆工の表層品質測定結果について示す。

4.1 施工に用いた高流動コンクリートの配合と品質

施工に用いた高流動コンクリートの配合を配合選定期時の品質試験結果と合わせて表-5 に示す。施工した覆工が無筋構造物のため、自己充填性はランク 3 とした。

特殊増粘剤と汎用品の高性能 AE 減水剤を用いることで従来の覆工コンクリートとほぼ同等のセメント量で自己充填性を有する高流動コンクリートが製造できた。ブリーディング率は従来の覆工コンクリートに対し半減でき、圧縮強度の発現性は同等であった。また、施工箇所

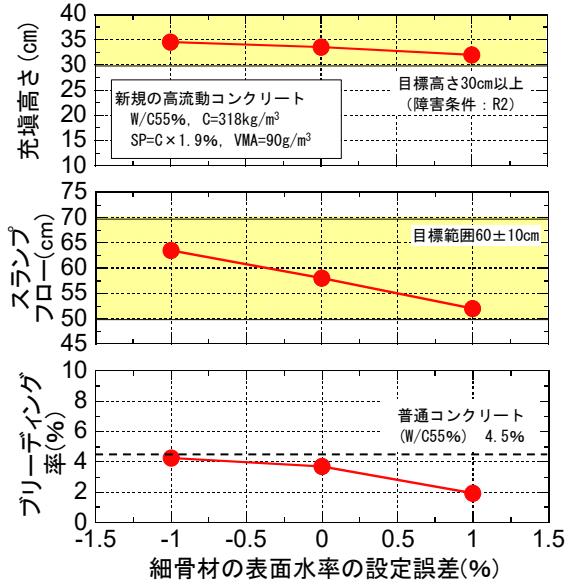


図-3 細骨材の表面水率の設定誤差が生じた場合のフレッシュコンクリートの品質変化

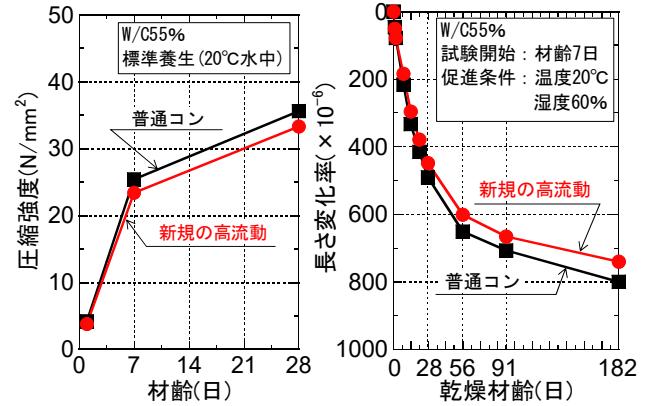


図-4 圧縮強度の発現性と長さ変化

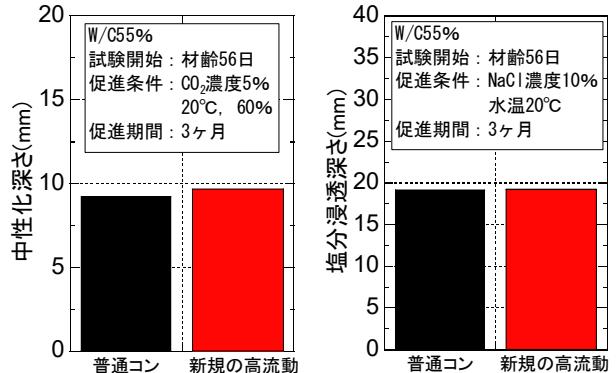


図-5 中性化深さと塩分浸透深さ

表-5 高流動コンクリートの配合と配合選定期時の品質試験結果 (実施工)

配合種類	配合												品質試験結果							
	自己充填性のランク	目標スランプフロー(cm)	目標空気量(%)	W/C(%)	s/a(%)	単位粗骨材絶対容積(L/m³)	単位量(kg/m³)				混和剤(C × %)	特殊増粘剤(g/m³)	スランプフロー到達時間(cm)	500mmフロー到達時間(秒)	充填高さ(ランク3)(cm)	漏斗流下時間(秒)	空気量(%)	ブリーディング率(%)	圧縮強度(N/mm²)	
							W	C	S	G								材齡24時間	材齡28日	
従来の覆工(24-18-20BB)	-	SL18	4.5	57.1	55.6	309	165	289	1035	836	WR 0.9	-	SL 18.5	-	16.8	-	5.2	2.4	3.6	41.9
新規の高流動コンクリート	ランク3	60	5.5	55.0	54.0	310	170	309	973	839	SP 1.3	60	57.5	4.3	33.9	11.8	4.7	1.2	3.4	41.7

C:高炉セメントB種、S:山砂(65%)+碎砂(35%)、G:碎石2005、WR:AE減水剤(高機能タイプ)、SP:高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系)

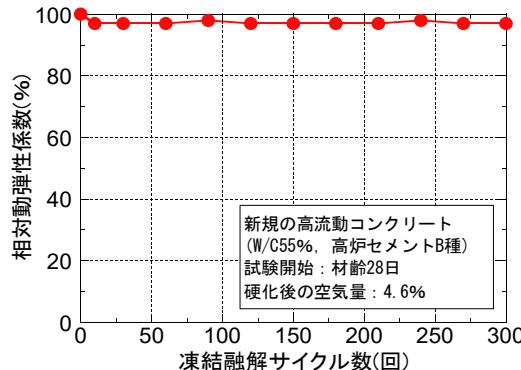


図-6 新規の高流動コンクリートの凍結融解試験結果

が東北地方沿岸部であったことから凍結融解試験（JIS A 1148 A 法）を行ったところ、十分な凍結融解抵抗性を有していることも確認した（図-6）。

4.2 実施工の概要

コンクリートの製造は生コン工場の実機ミキサで行った。1バッチの練混ぜ量は 2m^3 とし、2バッチ製造してアジテータ車に積み込んで施工現場（運搬時間は約30分）まで運搬した。練混ぜ時間は全材料投入後120秒間とした。特殊増粘剤は、あらかじめ 1m^3 当たりの添加量（ $60\text{g}/\text{m}^3$ ）を水溶紙に梱包し、他の材料の投入と同時に実機ミキサに投入した。施工は春期に行い、外気温は 12°C 、コンクリート温度は 15°C 程度であった。

打込み概要を図-7に示す。なお、1スパン長は10.5mである。通常の覆工施工と同様に、側壁部はスパン中央の打込み口から行い、自由落下高さが1.5m以下となるように、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から打ち込んだ。天端部は既設側端部の吹上げ口から打ち込んだ。また、打上がり速度は、標準的な速度である $1.5\text{m}/\text{h}$ とした。

実施工時の品質試験結果を表-6に示す。いずれも目標範囲を満足しており、新規の高流動コンクリートが、市中の生コン工場で安定的に製造できることを確認した。

高流動コンクリートの流動状況を写真-1および写真-2に示す。側壁部および天端部とも型枠の隅々まで容易に流動し充填できていた。また、側壁部の流動先端にてコンクリート試料を採取して洗い試験を行ったところ、試料中の粗骨材容積は $320\text{L}/\text{m}^3$ （配合値は $310\text{L}/\text{m}^3$ ）であり、材料分離することなく均質な状態で流動し充填できていることを確認した。

セントル下端付近に圧力計を設置して、打上がりに伴う側圧を測定した。測定結果を打上がり高さとの関係で整理して図-8に示す。側圧の最大値は約 $0.055\text{N}/\text{mm}^2$ で、中流動コンクリート（スランプフロー $35\sim 50\text{cm}$ ）で施工した過去の実績⁵⁾と同程度であった。一般に、高流動コンクリートを用いる場合は側圧を液圧として考慮する必要があるが³⁾、トンネル覆工のように打上がり速度が比較的小さい場合には、打上がり高さの全高に相当する液圧ほどの側圧は生じないものと考えられる。

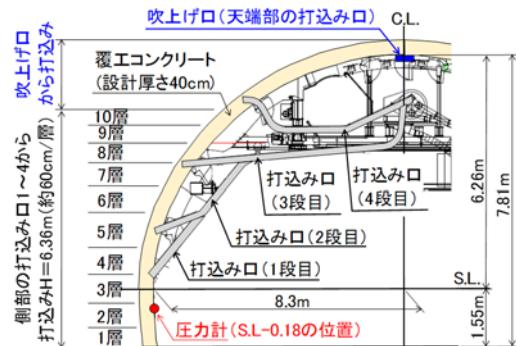


図-7 コンクリートの打込みの概要

表-6 荷卸し時の品質試験結果

項目	単位	目標とした品質	試験回数	試験結果	
				平均値	偏差
充填高さ(ランク3)	cm	30以上	7	34.8	0.45
スランプフロー	cm	60 ± 10	12	62.1	1.36
500mmフロー到達時間	秒	3~15	12	4.3	0.71
空気量	%	5.5 ± 1.5	12	5.9	0.45
圧縮強度(材齢28日、標準養生)	N/mm ²	24以上	3	36.2	0.51



写真-1 高流動コンクリートの流動状況（側壁部）



写真-2 高流動コンクリートの流動状況（天端部）

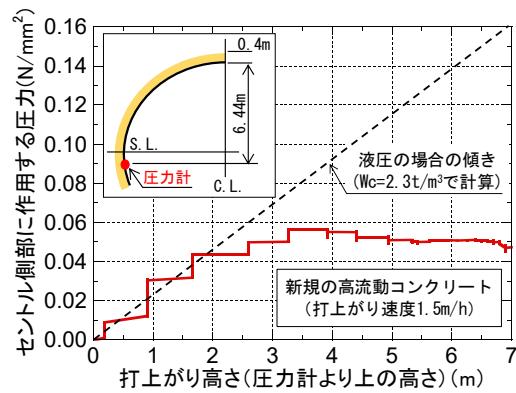


図-8 セントルに作用する側圧の測定結果

較的小さい場合には、打上がり高さの全高に相当する液圧ほどの側圧は生じないものと考えられる。

4.3 生産性向上に関する検証

高流動コンクリートによる生産性向上の効果を検証するため、同一断面を表-5に示す従来の覆工コンクリートを用いて施工した場合と比較した（表-7）。

施工に要する時間はいずれも約7.5時間で同等であつ

表-7 生産性向上の検証結果

項目	従来の覆工コンクリート	新規の高流動コンクリート
施工時間	7時間20分	7時間40分
施工数量	130m ³	132m ³
バイブレータによる締固め作業時間	960分 (16時間) ^{*1}	なし
セントル内の騒音	95dB	75dB

*1 締固め作業に従事した作業員(5名)の合計時間

た。従来の覆工コンクリートの場合、1スパン当たりのバイブルータによる締固め時間は合計960分(16時間)であった。このため、高流動コンクリートの採用により打込み作業における作業員数を従来の5~6名体制から2名程度(30%程度)は削減できるものと考えられる。

また、セントル内でバイブルータによる締固め作業を行っているときの騒音は約95dBと大きく、文献⁶⁾によれば「長時間で難聴」となるレベルであった。一方で、高流動コンクリートを採用した場合、セントル内にはコンクリートポンプによる圧送音が生じているだけで騒音は75dB(人体損傷の安全域)まで低減され、作業環境も大幅に改善できることが検証できた。

4.4 トンネル覆工の仕上がり

新規の高流動コンクリートにより構築した覆工の脱型後の仕上がりを写真-3に示す。充填不良は認められず良好な仕上がりであった。材齢56日に構築した覆工の側壁部と天端部にて、テストハンマーによる反発度とトレント法による透気係数を測定した。測定結果を表-8に示す。測定は、1箇所当たり3回行い平均値を求めた。測定時の表面の含水率は4.7~5.3%であった。

新規の高流動コンクリートで施工した覆工の表層品質は、水セメント比のほぼ等しい従来の覆工コンクリートと同等であった。新規の高流動コンクリートを用いることで、締固め作業を行うことなく、均質なトンネル覆工が構築できることを示す結果と考えられる。

5. まとめ

特殊増粘剤を用いることで、従来の普通コンクリートと同等のセメント量のまま自己充填性を確保できる低セメント量の高流動コンクリートを開発した。また、開発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に適用した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 特殊増粘剤を用いることで、単位セメント量270~500kg/m³(水セメント比65~35%)の範囲で自己充填性のランク2を満足する高流動コンクリートを製造することができる。
- (2) 上記の高流動コンクリートのブリーディング率、強度発現性、収縮特性および耐久性は、水セメント比の等しい普通コンクリートと同等である。

表-8 表層品質の測定結果

コンクリートの種類	テストハンマーによる反発度(-)						トレント法による透気係数kT($\times 10^{-16} \text{ m}^2$)					
	側壁部			天端部			側壁部			天端部		
	既設側	スパン中央	妻側	既設側(吹上)	スパン中央	妻側	既設側	スパン中央	妻側	既設側(吹上)	スパン中央	妻側
従来の覆工コンクリート	35.9	36.5	35.7	38.0	38.4	38.0	0.48	0.15	0.78	0.16	0.52	0.34
新規の高流動コンクリート	39.2	39.1	38.1	39.3	39.0	38.8	0.51	0.66	0.52	0.18	0.33	0.26



写真-3 新規の高流動コンクリートで構築した覆工

- (3) 開発した高流動コンクリートを用いることで、均質なトンネル覆工を構築できる。
- (4) トンネル覆工に高流動コンクリートを適用することで、締固め作業が排除され、作業員数を低減できるとともに作業環境も改善できる。

実施工に際しては、国土交通省東北地方整備局南三陸国道事務所の皆様に多大なるご協力を頂きました。記して御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 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、2017.3
- 2) 国土交通省大臣官房 技術調査課：「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」について、コンクリートテクノ、Vol.36、No.7、pp.17-19、2017.7
- 3) 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、2012.6
- 4) 加藤忠哉：水溶性・水分散型高分子材料の最新技術動向と工業応用、日本科学情報、pp.841-863、2001
- 5) 中間祥二他：中流動コンクリートを用いたトンネル覆工の施工—北海道横断自動車道久留喜トンネル—、コンクリート工学、Vol.48、No.6、pp.25-30、2010.6
- 6) 日本火薬工業会：あんな発破 こんな発破 発破事例集、pp.30-33、2002.3