

高充填コンクリートの諸地域への展開

鈴木 成¹・永松 雄一²・黒川 尚義³・西野 俊論⁴
西浦 秀明⁵・桜井 邦昭⁶

¹正会員 株式会社大林組 九州支店 椿山トンネル工事事務所 (〒889-2156 宮崎県宮崎市鏡洲560-1)
E-mail:suzuki.shigeru@obayashi.co.jp

²正会員 株式会社大林組 九州支店 大平山トンネル西工事事務所
(〒882-1101 宮崎県西臼杵郡高千穂町三田井6214-5)
E-mail:nagamatsu.yuichi@obayashi.co.jp

³正会員 株式会社大林組 名古屋支店 佐久間浦川トンネル工事事務所
(〒431-3906 静岡県浜松市天竜区佐久間町浦川2906)
E-mail:kurokawa.naoyoshi@obayashi.co.jp

⁴正会員 株式会社大林組 九州支店 椿山トンネル工事事務所 (〒889-2156 宮崎県宮崎市鏡洲560-1)
E-mail:nishino.toshinori@obayashi.co.jp

⁵正会員 株式会社大林組 土木本部 生産技術本部 トンネル技術部
(〒108-8502 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティB棟)
E-mail:nishiura.hideaki@obayashi.co.jp

⁶正会員 株式会社大林組 技術本部技術研究所 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

より経済的に高品質なトンネル覆工を構築するために研究開発が進められている高充填コンクリートの適用展開を図るため、日本各地のトンネル3現場に適用した。その結果、いずれの地域においても、従来の覆工コンクリートと同じ最大寸法40mmの粗骨材を用いることで、単位水量やセメント量を増加することなく、スランブを21cmに高めた高充填コンクリートが製造できること、現場近郊のレディーミクストコンクリート工場から品質の安定した高充填コンクリートが継続的に供給できること、高充填コンクリートは充填の難しいアーチ天端部においても容易に流動して充填できること、高品質なトンネル覆工の構築に寄与することなどを検証した。

Key Words : *high compactability concrete, tunnel lining, mix proportion, construction*

1. はじめに

近年では、耐久性に優れたコンクリート構造物を構築することが強く求められている。山岳トンネルの覆工においても品質や施工性向上を目的として、流動性に優れた中流動コンクリート（スランブフロー35～50cm程度）の適用事例が増加しており、補助的な締固めで確実に充填でき、均質で美観性に優れた覆工を構築できることが確認されている^{1) 2)}。しかし、中流動コンクリートは高い流動性と材料分離抵抗性を確保するため、従来の覆工コンクリートに比べ単位水量やセメント量を増加する必要がある。

大半の山岳トンネルの覆工コンクリートは、設計基準

強度18N/mm²の無筋構造物であることが多く、最大寸法40mmの粗骨材を用いたスランブ15cmのコンクリートが用いられている。このような現状のもと、経済的に高品質なトンネル覆工を構築する材料技術として、単位水量やセメント量をほとんど増加することなく、トンネル覆工の充填に必要な高い流動性と材料分離抵抗性を確保できる高充填コンクリートが開発されている³⁾。既に、北海道および北陸新幹線の一部のトンネル工事で試験施工や実施工が行われているが、適用実績は比較的少ない現状にある。

そこで、高充填コンクリートの適用拡大を図ることを目的とし、日本各地の生コン工場でも所要の性能を有する高充填コンクリートが経済的に製造でき、高品質な覆

工を構築できることを検証するため、東海および九州地方の道路トンネル工事の覆工に高充填コンクリートを適用した。本稿では各地で選定した高充填コンクリートの品質や実施工での適用状況を報告する。

2. 高充填コンクリートのコンセプト

高充填コンクリートは、従来の覆工コンクリートに対して、温度および収縮ひび割れの発生要因となる単位水量やセメント量の増加をできるだけ抑制しつつ、背面空洞等の施工欠陥なく高品質なトンネル覆工を構築するのに必要となる、流動性、充填性および材料分離抵抗性を確保することをコンセプトとして開発されたコンクリートである³⁾。高充填コンクリートの仕様および目標とする品質を他のコンクリートと合わせて表-1に示す。

高充填コンクリートの配合上の特徴を以下に示す。

①最大寸法40mmの粗骨材の使用

先述のように大半のトンネル覆工は無筋の構造物であること、粒径の小さい粗骨材を用いると単位水量、セメント量が増大することから、粗骨材には従来と同じ最大寸法40mmを用いる。

②スランプ21cmおよび充填高さ28cm以上

セメント内を容易に流動し、補助的な締固めで充填できる性能とするため、目標スランプを21cm、充填高さ（障害無し）を28cm以上としている。

③高い減水性を有する混和剤の使用

単位水量を増加することなく、所要の流動性を確保するために、混和剤には減水率の高い高性能AE減水剤等を使用する。

表-1に示すように、高充填コンクリートは、従来の覆工コンクリートと同等の単位セメント量であることから、材料コストの増加を抑制できる。

なお、高い流動性に対応する材料分離抵抗性を確保するために、産業副産物であるフライアッシュ等を混和材料として利用する粉体系高充填コンクリート³⁾の検討も進められているが、本稿での現場展開では、貯蔵サイロ等の関係のより、粉体にはセメントのみを用いている。

3. 高充填コンクリートを適用した現場の概要

今回、トンネル覆工に高充填コンクリートを適用したトンネル現場の工事概要を表-2に示す。いずれも、自動車専用の道路トンネルである。東海はトンネルの一部の区間で、九州の2現場はトンネル全線において高充填コンクリートを適用している。

いずれの現場も、2015年後半から高充填コンクリート

表-1 高充填コンクリートの仕様および目標品質

	従来の覆工 コンクリート (代表的なもの)	高充填 コンクリート	中流動 コンクリート (代表的なもの)
スランプSL スランプフローSF	SL15±2.5cm	SL21±2cm (SF35～50cm) ^{*1}	SF35～50cm (SL21±2.5cm)
充填高さ	—	28cm以上	28cm以上
粗骨材の 最大寸法	40mm	40mm	20mm
単位水量の 最大値	165kg/m ³	165kg/m ³	175kg/m ³
単位粉体量 (セメント量) の下限値(目安)	270kg/m ³	270kg/m ³	320kg/m ³ *2
水セメント比 の最大値	60%以下	60%以下	—
設計基準強度	18N/mm ²	18N/mm ²	24N/mm ²

*1 「東海」地区のトンネル工事では、スランプフロー35～50cmで管理

*2 増粘剤系の場合。粉体系では350kg/m³が目安(セメント270kg/m³+FA等80kg/m³)

表-2 高充填コンクリートを適用した現場の概要

東海	工事名称		平成24年度佐久間道路 浦川地区第1トンネル新設工事
	発注者		中部地方整備局 浜松河川国道事務所
	トンネル概要*1		施工延長 1,555m 掘削断面積 76m ³ 、覆工厚さ 30cm
	高充填 コンク リート	適用開始時期	2015年12月～(適用中)
		適用予定延長	894m
適用実績数量*2		3,870m ³	
九州1	工事名称		東九州道(清武～北郷) 椿山トンネル新設工事
	発注者		九州地方整備局 宮崎河川国道事務所
	トンネル概要*1		施工延長 1,100m 掘削断面積 107m ³ 、覆工厚さ 40cm
	高充填 コンク リート	適用開始時期	2015年10月～(適用中)
		適用予定延長	1,100m(全線)
適用実績数量*2		7,446m ³	
九州2	工事名称		宮崎218号 大平山トンネル西新設工事
	発注者		九州地方整備局 延岡河川国道事務所
	トンネル概要*1		施工延長 1,177m 掘削断面積 107m ³ 、覆工厚さ 40cm
	高充填 コンク リート	適用開始時期	2015年11月～(適用中)
		適用予定延長	1,177m(全線)
適用実績数量*2		7,992m ³	

*1 断面積、覆工厚さは標準断面の値 *2 2016年6月時点での実績

による施工を開始しており、2016年6月現在で、3現場合わせて約20,000m³の高充填コンクリートを施工している。

4. 高充填コンクリートの配合選定

現場適用に先立ち、各地域の生コン工場において高充填コンクリートの配合を選定した。使用材料を表-3に示す。使用した骨材は、いずれも生コン工場で標準的に使用している材料である。

表-3 使用材料

種類	記号	東海	九州1	九州2
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度3.16g/cm ³	普通ポルトランドセメント, 密度3.16g/cm ³	高炉セメントB種, 密度3.04g/cm ³
細骨材	S1	川砂, 表乾密度2.62g/cm ³	海砂(粗目), 表乾密度2.58g/cm ³	海砂, 表乾密度2.61g/cm ³
	S2	砕砂, 表乾密度2.65g/cm ³	海砂(細目), 表乾密度2.57g/cm ³	砕砂, 表乾密度2.62g/cm ³
粗骨材	G1	砕石1505, 表乾密度2.66g/cm ³	砕石2005, 表乾密度2.60g/cm ³	砕石2005, 表乾密度2.66g/cm ³
	G2	砕石2010, 表乾密度2.66g/cm ³	石灰砕石4020, 表乾密度2.71g/cm ³	砕石4020, 表乾密度2.66g/cm ³
	G3	砕石4020, 表乾密度3.01g/cm ³	—	—
混和剤	HWR*1	AE減水剤(高機能タイプ)	AE減水剤(高機能タイプ)	AE減水剤(高機能タイプ)
	SP, VA*2	高性能AE減水剤(増粘剤一液タイプ), VA	高性能AE減水剤, SP	高性能AE減水剤, SP
非鋼繊維	PP	—	ポリプロピレン繊維, 密度0.91g/cm ³	—

*1 試験練りにおける従来の覆工コンクリートに使用, *2 高充填コンクリートに使用

表-4 各地域において選定した高充填コンクリートの配合

No.	地域	種類	細骨材		粗骨材			Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						非鋼 纖維 PP (Vol%)	混和剤		
											W	C	S		G			種類	添加量* (C×%)	
			S1	S2	G1	G2	G3						S1	S2	G1	G2				G3
1	東海	従来覆工	川砂	砕砂	砕石 1505	砕石 2010	砕石 4020	40	60.0	50.1	165	275	645	281	279	279	424	—	HWR	1.30
2		高充填コン						40	58.9	51.8	165	280	477	480	314	314	307	—	VA	1.40
3	九州1	従来覆工	海砂	海砂	砕石 2005	砕石 4020	—	40	46.9	40.3	161	343	498	213	533	553	—	0.3	HWR	1.00
4		高充填コン						40	48.5	46.3	165	340	570	244	476	496	—	0.3	SP	1.25
5	九州2	従来覆工	海砂	砕砂	砕石 2005	砕石 4020	—	40	58.0	45.7	164	283	415	419	604	402	—	—	HWR	1.00
6		高充填コン						40	58.0	52.7	164	283	768	193	614	263	—	—	SP	1.38

*1 配合選定の試験練りでの値

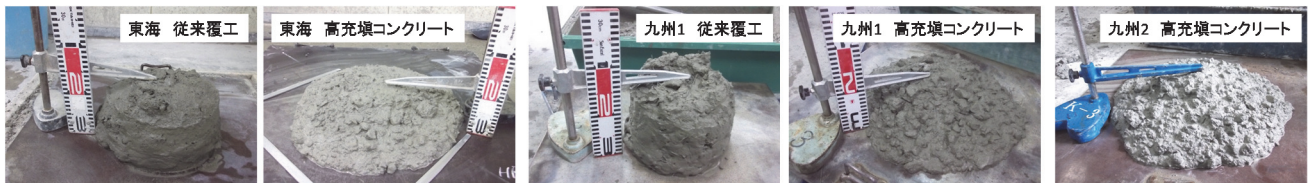


写真-1 高充填コンクリートのスランプ試験状況

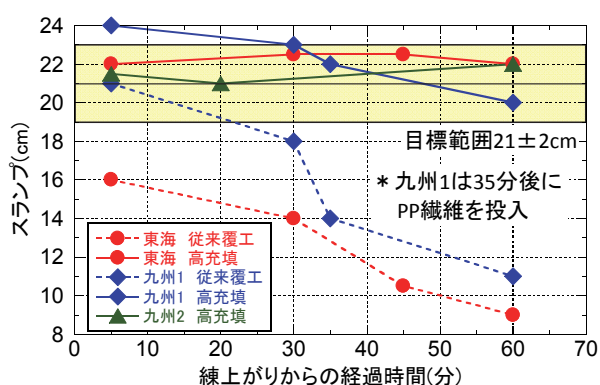


図-1 各種コンクリートのスランプの経時変化

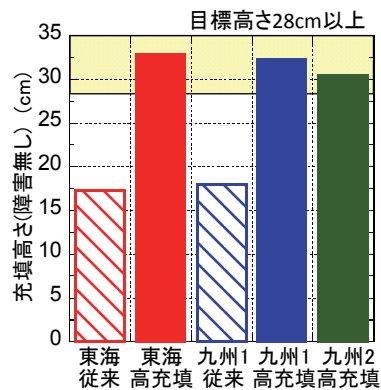


図-2 充填試験結果

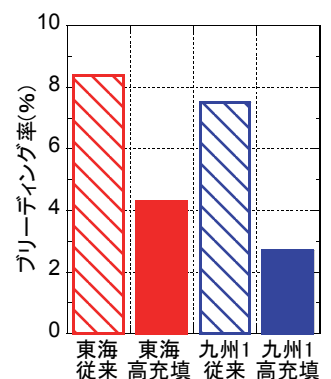


図-3 ブリーディング試験結果

各地の生コン工場で選定した高充填コンクリートの配合を表-4に、スランプ試験状況を写真-1に示す。いずれの地域においても、従来の覆工コンクリートに対して単位水量やセメント量をほとんど変化させることなく、細骨材率や各工場の所有する細骨材、粗骨材の混合比率を

適切に調整し、高性能AE減水剤を用いることで高充填コンクリートを製造できた。なお、九州1は、剥落防止の観点から非鋼繊維を0.3Vol%混入し、単位セメント量を340kg/m³以上とした仕様であるが、この場合も従来と同様の水量、セメント量で製造できた。

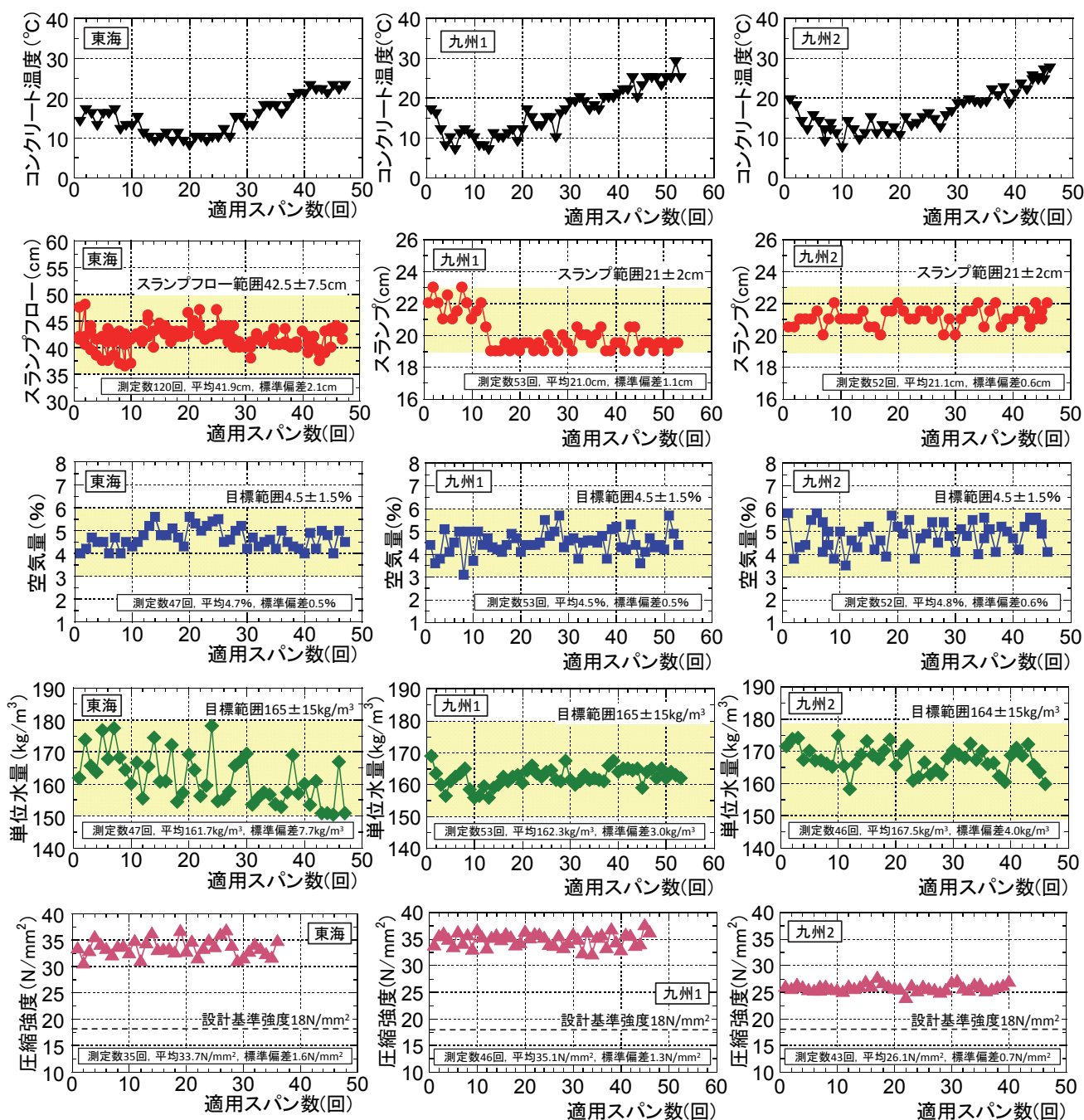


図-4 実施工時のコンクリート温度と品質試験結果（東海）

図-5 実施工時のコンクリート温度と品質試験結果（九州1）

図-6 実施工時のコンクリート温度と品質試験結果（九州2）

選定した高充填コンクリートは、図-1および図-2に示すように、長時間にわたり所要の流動性を確保でき、充填高さは30cm以上で十分な充填性を有していた。また、ブリーディングは従来の覆工コンクリートに対して半減できていた（図-3）。

覆工背面の空洞防止や、均質な状態で充填するには、ブリーディングが少なく、高い流動性を長時間保持する必要があるが、今回の試験結果から、いずれの地域においても、これらを兼ね備えた高充填コンクリートを製造できることを確認した。

5. 実施工への適用

(1) コンクリート品質の安定性の検証

荷卸し時のコンクリート温度、および各種の品質試験結果を適用現場ごとに図-4～図-6に示す。なお、生コン工場から各施工現場への運搬時間は、東海が約15分、九州1および2が30～40分程度である。

いずれの現場においても、施工時期に応じて、コンクリート温度は7～25℃程度の範囲で変化しているが、荷卸し時点のスランプ（フロー）、空気量および単位水量は全て管理目標範囲を満足していた。また、材齢28日に

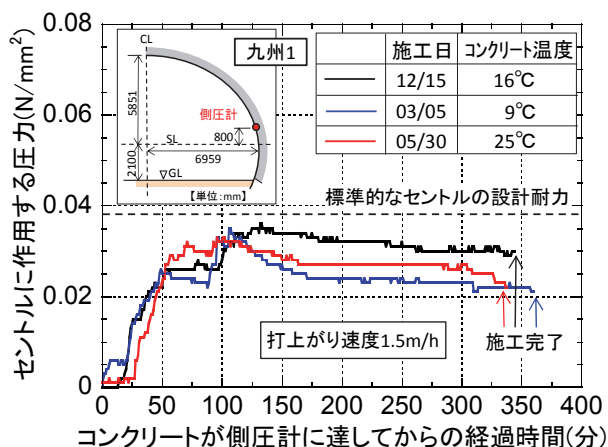


図-7 セントル側部へ作用圧力の測定結果（九州1）

おける圧縮強度の標準偏差は 2N/mm^2 以下と小さく、安定した品質のコンクリートが供給されていたことを裏付ける結果が得られた。

今回の適用結果を踏まえると、現場近郊の標準的な生コン工場においても、品質の安定した高充填コンクリートを継続的に出荷できるといえる。

(2) セントル側部に作用する圧力

トンネル覆工に限らず、流動性の高いコンクリートを用いると、型枠に作用する圧力が増加する。中流動コンクリートを用いた場合にも、セントル側面に作用する圧力が増大することが指摘されている¹⁾。

標準的なセントルの側部における設計耐力は 0.04N/mm^2 程度であるが、流動性の高いコンクリートの使用により、作用圧力がこれを超える場合には、セントルの耐荷力を増強する、もしくは打上がり速度を遅くする対策を講じる必要がある。前者はセントル設備費用の増大、後者は施工時間の増大（サイクルの遅延）を招く要因となる。

そこで、高充填コンクリートを用いた場合にセントルに作用する側圧を測定した。九州1での測定結果の一例を図-7に示す。図には、施工時期の異なる測定結果を示している。なお、打上がり速度は、標準的な施工速度である 1.5m/h とした。施工時期によらず、セントル側部に作用する圧力の最大値は 0.035N/mm^2 の程度であり、標準的な設計耐力以下であった。

今回の適用結果を踏まえると、高充填コンクリートをこれまでと同様の打上がり速度で施工する場合には、セントル側部の耐力の補強は不要といえる。高充填コンクリートは、打込みの時点では、高い流動性や充填性を有しているが、単位水量やセメント量は従来の覆工コンクリートと同等と少なく、かつ最大寸法 40mm の粗骨材を用いているため、いったん、充填された後では、骨材同士のかみ合いの影響が卓越し、コンクリート自体が横方

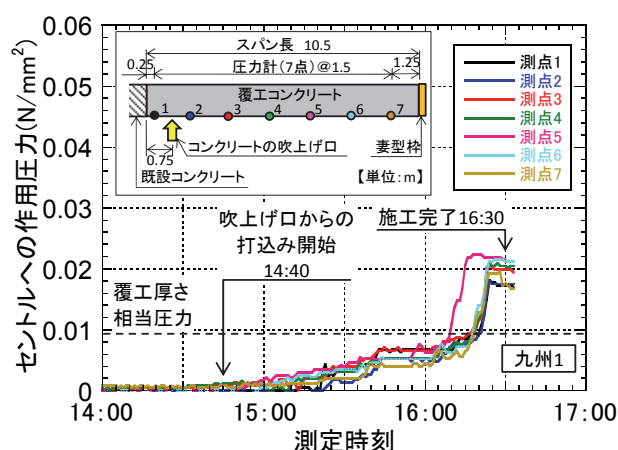


図-8 天端部での圧力計による充填確認（九州1）

向に移動し難くなるため、側圧の増大が生じにくいものと推測される。

(3) アーチ天端部への充填性

トンネル覆工のアーチ天端部は、一般に、セントルの既設側に設けた吹上げ口1箇所からコンクリートを上方に吹き上げて、妻側まで最大 10m 程度を流動させて充填する必要がある。打込み口が限定されるため、先に打ち込んだコンクリートが適切な流動性を確保できていないと、吹上げ口付近にコンクリートが堆積し、妻側までコンクリートが行き渡らず、背面空洞が生じる危険性が高まるとともに、吹上げ口付近に過大な圧送圧力が作用してセントルの変形を招く場合もある。

そこで、高充填コンクリートを用いることで、アーチ天端部を容易に流動し、確実に充填できることを検証するため、セントル天端部に圧力計を設置して、充填状況を確認した。九州1での測定結果の一例を図-8に示す。

この現場では、天端部（センターライン上）に 1.5m 間隔で圧力計を設置している。各測定点における圧力の増加の推移は同様であり、天端部を一樣にコンクリートが流動していることを示唆している。また、施工終了段階における各測定点での作用圧力は、覆工厚さ（設計 40cm ）のコンクリートが載荷したときの $1.5\sim 2$ 倍程度の圧力が作用しており、各所において背面空洞を生じることなく、充填できていることが確認できた。

今回の結果は、既報³⁾に示される測定結果と同様であり、表-1に示す仕様を満足する高充填コンクリートを用いることで、天端部においても確実に充填できることを示す結果と考えられる。

(4) 仕上がり状況

各現場における覆工の仕上がり状況を写真-2に示す。いずれも、縞模様の少ない良好な覆工が構築できていることを確認した。



写真-2 高充填コンクリートを用いた覆工の仕上がり

(5) 覆工作業に要する時間

今回適用した3現場では、従来と同様に2日に1回のサイクルで覆工の打設作業を行っている。

覆工の打設時間は6～7時間程度（施工数量80～100m³程度）であり、打設終了後から材齢16～18時間程度でセントルの脱型作業を開始しているが、表面はく離などの不具合も生じていない。高充填コンクリートを用いる場

合においても、従来通りのサイクルで覆工作業を行うことは十分に可能であると考えられる。

6. まとめ

より合理的に高品質なトンネル覆工を構築する観点から、従来の覆工コンクリートと同等の単位水量およびセメント量のまま、流動性と充填性を向上させた高充填コンクリートが各地において容易に製造でき、高品質な覆工を構築できることを検証するため、東海および九州地方のトンネル工事において高充填コンクリートを適用した。本稿の範囲で得られた知見を以下に示す。

- (1) いずれの地域においても、従来の覆工コンクリートと同等の水量およびセメント量で、所要の品質を有する高充填コンクリートが製造できる。
- (2) 現場近郊の生コン工場において、安定した品質の高充填コンクリートを継続的に製造および出荷できる。
- (3) 高充填コンクリートを用いて施工した場合、セントル側部に作用する側圧は、標準的なセントルの設計耐力以下である。
- (4) 高充填コンクリートを用いることで、アーチ天端部を容易に流動・充填することができる。

参考文献

- 1) 村崎慎一，森俊介，中間祥二，桜井邦昭：トンネル全線に中流動コンクリートを適用し高品質覆工に挑戦—北海道横断自動車道 久留喜トンネル—，トンネルと地下，Vol.41，No.12，pp.7-16，2010.12
- 2) 諏訪園和彦，松野徹，泉水大輔，桜井邦昭：増粘剤系中流動コンクリートによるトンネル覆工の施工—南九州西回り自動車道 津奈木トンネル（仮称）—，コンクリート工学，Vol.50，No.4，pp.366-371，2012.4
- 3) 佐藤貴史，萩原秀樹，秋田勝次，桜井邦昭：フライアッシュを用いた覆工用高充填コンクリートの開発，トンネルと地下，第44巻10号，pp.43-52，2013.10

(2016.8.5 受付)

APPLICATION AND SPREAD TO SEVERAL AREAS OF HIGH COMPACTABILITY CONCRETE

Shigeru SUZUKI, Yuichi NAGAMATSU, Naoyoshi KUROKAWA, Toshinori NISHINO, Hideaki NISHIURA and Kuniaki SAKURAI

High Compactability Concrete (HCC) was developed to construction of high quality tunnel lining economy. Water content and cement content of HCC same usual lining concrete, but HCC has high flowability and is able to compaction for arch of tunnel readily. So, HCC is characterized by decreased risk of shrinkage crack and filling defect. This paper reports that application results of HCC for tunnel lining in several areas.