

覆工コンクリート打込み方法の違いが天端部の品質と充てん性に与える影響

西松建設(株) 技術研究所 正会員 ○椎名 貴快
 西松建設(株) 技術研究所 フェロー会員 佐藤 幸三
 西松建設(株) 土木設計部 正会員 三戸 憲三
 西松建設(株) 土木計画部 大野 幸次

1. はじめに

山岳トンネル二次覆工コンクリートの施工において、充てん性や密実性を確保する上で最も苦慮するのは肩部から上方のアーチクラウン部(以下、天端部)の施工である。天端部は人力によるバイブレータでの締固め作業がしにくい上、目視による充てん状況の確認を完全にはできないなど種々の制約があり、施工上、現場担当者の経験に頼るところが大きい。そのため、充てん不足による背面空洞の発生や密実性の低下など品質面での不具合を生じる場合がある。

そこで実大規模の覆工コンクリート天端模擬型枠を製作し、コンクリートの打込み方法(充てん圧力、締固め)や施工条件(トンネル縦断勾配)の違いが、覆工コンクリートの品質(強度、水密性、中性化抵抗性、細孔容積)や充てん性(背面空洞)に与える影響を実験で確認した(写真-1)。また打込み時に天端部に溜まったエアやブリーディング水を強制的に排出できる特殊吸引ホースを用いた空洞防止技術の効果についても報告する。さらに、近年採用実績が増加している中流動覆工コンクリートについて、増粘剤系配合を用いた場合の充てん品質について報告する。

型枠に設置した圧力計4箇所(ラップ側から250, 1750, 3650, 5750mm)で充てん圧力を確認しながらポンプ吐出量を調整



写真-1 天端模擬型枠の外観

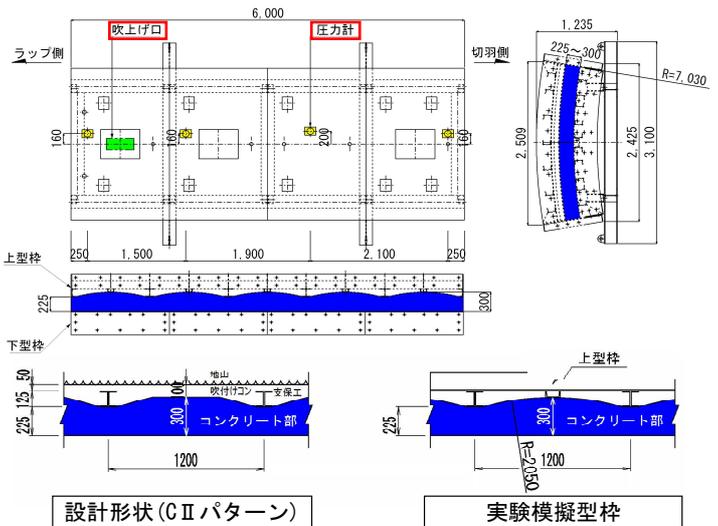


図-1 天端模擬型枠の形状と寸法

2. 覆工コンクリート天端部施工実験

2.1 天端模擬型枠

本実験では、実際の施工条件に近い背面地山の形状を再現した実大規模の天端模擬型枠を使用した。覆工背面での吹付けコンクリートと支保工による設計上の仕上がり凹凸面を再現した形状を有し、特に凹凸が大きく背面空洞の発生リスクの高い条件を想定してCIIパターンで再現した(図-1)。型枠寸法は、幅約2.5m×延長(流動距離)6.0m×覆工厚300~225mmである。

2.2 実験項目と実験ケース

表-1に実験項目及び実験ケースを示す。実験項目は全5項目、実験ケースは全4ケースである。No.1は順勾配2%での標準的な施工方法である。No.2は標準施工完了後、下

表-1 実験項目と実験ケース

実験 ケース No.	実験項目				
	①	②	③	④	⑤
	順勾配 (上り) 2%	加圧 充てん 80kPa	天端 引抜き パイプ	特殊 吸引・注入 ホース	逆勾配 (下り) 4%
写真-2	写真-3	写真-4	写真-5	写真-2	
1(標準)	○				
2	○	○	○		
3	○	○		○	
4					○

キーワード 覆工コンクリート, 加圧充てん, 引抜きパイプ, 特殊ホース, 中流動覆工コンクリート

連絡先 〒105-8401 東京都港区虎ノ門1-20-10 西松建設(株)技術研究所 TEL. 03-3502-0249



(上:順勾配2%, 下:逆勾配4%)
写真-2 型枠設置勾配



写真-3 圧力計

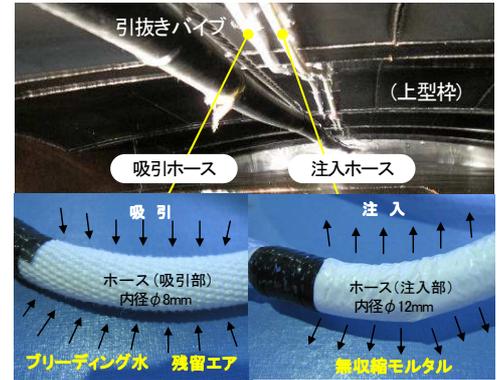


写真-5 特殊ホース(吸引用・注入用)

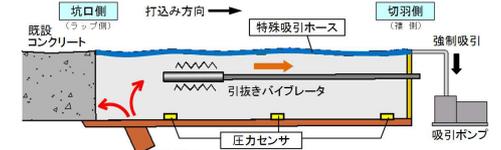


図-2 施工概念図

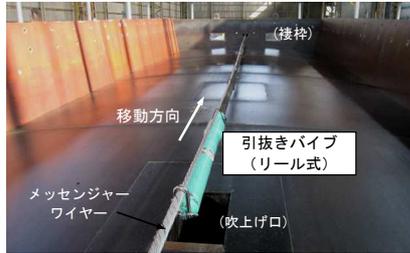


写真-4 引抜きパイプ

し、圧力値 80kPa(型枠の設計耐圧の約 8 割)を目標に加圧充てんし、その後、引抜きパイプによる締固めをおこなった。

No.3 は上型枠の天端部縦断方向に配置した特殊なホースを用いて、コンクリート打込み中および打込み完了後 2~4 時間程度まで連続的にブリーディング水と残留エアを真空ポンプ(締切真空圧 9.6kPa, 吸引量 60L/min)で吸引排出し、さらにコンクリート強度が十分発現した後、無収縮モルタルによる空洞充てんをおこなった(写真-6)。No.4 は No.1 (標準施工)を逆勾配で施工した場合を想定し、勾配は実績上の最大勾配 4%とした。図-2 は No.3 の施工概念図である。

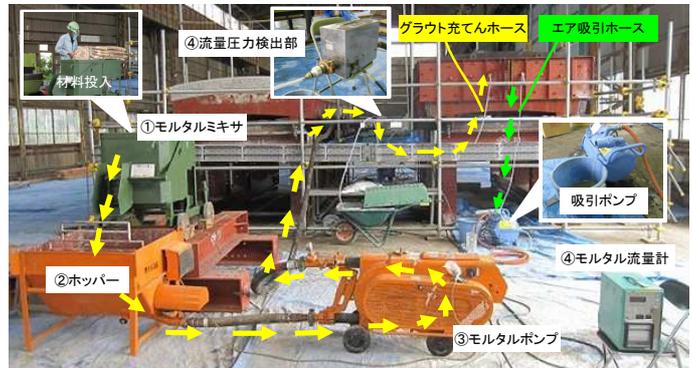


写真-6 特殊ホースを用いた吸引・注入システム

2. 3 使用材料とコンクリート配合

表-2 と表-3 に使用材料及びコンクリート配合を示す。配合条件として、 $W/C \leq 60\%$ 、 $W \leq 175\text{kg/m}^3$ 、スランプ 15 ± 2.5cm、空気量 4.5%、 $G_{\text{max}} = 20\text{mm}$ を満足するプラント JIS 配合を選定した。呼び強度は 27N/mm^2 で一般的な覆工配合 $18 \sim 21\text{N/mm}^2$ に比べてやや高いが、使用骨材の粒度が比較的粗く、微粒分量が少なかったため、安定したフレッシュの経時性状を得るために結合材量が若干多くなり、結果として呼び強度がランクアップした。なお実験時期を考慮して夏期配合とした。

表-2 使用材料

項目	記号	仕様
水	W	地下水
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度 3.16g/cm^3
細骨材1	S1	美山町産砕砂, 表乾密度 2.64g/cm^3 , FM2.90
細骨材2	S2	多磨町産石灰砕砂, 表乾密度 2.64g/cm^3 , FM3.00
細骨材3	S3	富津市鶴岡産山砂, 表乾密度 2.58g/cm^3 , FM1.70
粗骨材	G	相模原産碎石, 表乾密度 2.65g/cm^3 , 実積率59.5%
混和剤	Ad	AE減水剤

表-3 コンクリート配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
		W	C	S1	S2	S3	G	Ad
56.0	48.9	175	313	438	263	175	922	4.07

2. 4 コンクリート打込み手順

アジテータ車から直接、定置式ポンプ(油圧2ピストン式)に荷卸しし、輸送管(管径 5A)を通して吐出量 $15 \sim 18.5\text{m}^3/\text{h}$ で圧送し、ラップ側吹上げ口からコンクリートを吹き上げて打ち込んだ(写真-1)。

2. 5 硬化コンクリートの品質評価項目

表-4 に硬化コンクリートの品質評価に用いた測定項目を示す。非破壊でコンクリート表面から測定する項目以外はすべてコア供試体を採取して評価した。

表-4 硬化コンクリートの品質評価項目

測定項目	概要
表面観察	コンクリート表面の仕上がり状況を目視観察し記録。観察面は6面。
圧縮強度	巻厚方向に採取したコア供試体(φ100×100mm)と現場封緘養生のテストピース(φ100×200mm)の2種類を使用。試験材齢7, 28日。
単位容積質量	土木学会規準 JSCE-G 504-2007 に準じ、シュミットハンマ NR 型を使用。測定箇所は地山側と内空側の2面で、試験材齢は7, 28日。
表面水分量	コンクリート・モルタル水分計でコンクリート表面の水分量測定。
表面弾性波伝搬速度	コンクリート表面で表面弾性波測定器にて測定。測定面は地山側と内空側の2面で、1面当りの測点数77点(5回の平均値)。
促進中性化深さ	JIS A 1153 に準じて試験を実施。供試体はラップ側と襖側から採取したコアφ100×100mmを各々1本使用。
透水係数	地山側から採取したコア供試体(φ150×150mm)3体使用。試験方法はインプット法で拡散係数を求め、透水係数に換算して整理。
細孔径分布	水銀圧入式ポロシメータ使用。襖側で巻厚方向に採取したコアφ100mmから地山側内空側で各々モルタル分を約10g採取して試験。
細孔径量	
地山側背面空洞	専用定規で背面空洞の形状・深さ及び位置を測定して容積算出。

2. 6 実験結果

(1) コンクリートのフレッシュ性状

図-3にコンクリートの現着受入れ試験の結果を示す。気温が高く、コンクリート温度が30°C前後となり、プラントからの運搬に30分程度を要したが、全ての実験ケースでスランプと空気量は所定の規格範囲内であった。

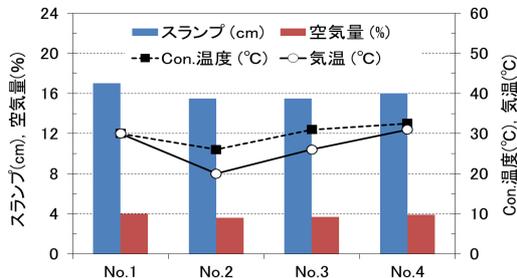


図-3 コンクリートのフレッシュ試験結果

(2) コンクリートの流動状況

写真-7に打設勾配の異なるNo.1(順勾配2%)とNo.4(逆勾配4%)におけるコンクリート打込み時の流動状況を示す。

順勾配2%のNo.1は、吹上げ後、コンクリートが左右に広がり、その後、概ね左右均等にコンクリートが横方向に向かってスムーズに流動して打ち上がった。なお流動先端部での流動勾配は比較的小さく、No.2,3も同様であった。

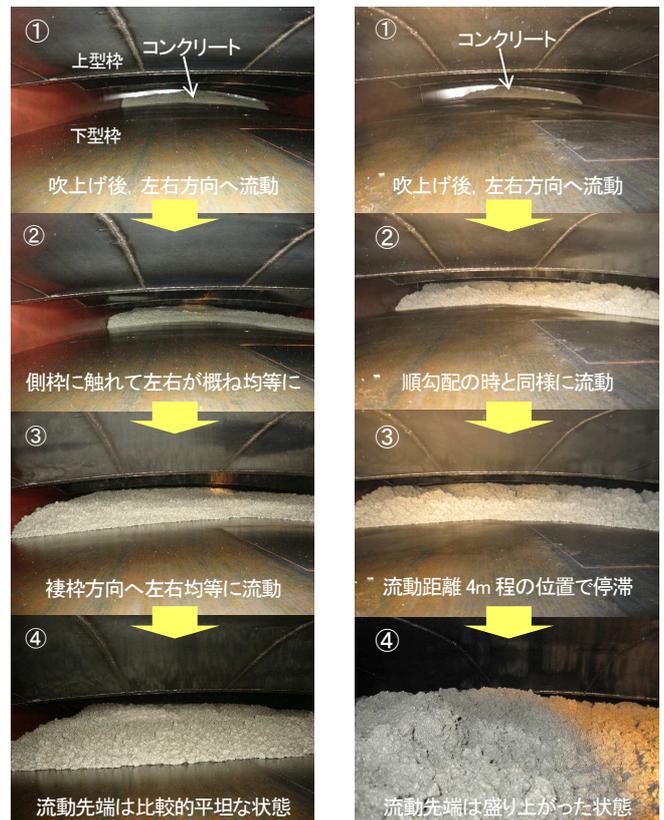
一方、逆勾配4%のNo.4は、吹上げ後、順勾配の場合と同様に比較的流動勾配は小さいまま横方向へ進んだものの、全体の半分程度さらに3分の2程度まで流動した所でしばらく流動性が滞留した。この間、コンクリートと接触していた圧力計の値が数kPa跳ね上がるような傾向がみられた。その後、圧力が元の値に戻った後、再びコンクリートが流動し始め、横方向まで達した。なお、流動先端部は順勾配の時よりも若干立ち上がった状態となったものの、材料分離などは確認されなかった。

以上より、縦断勾配の違いによってコンクリートの流動傾向に違いがあり、逆勾配では一時的に流動性が停滞して、型枠に作用する圧力が上昇する傾向がみられた。

(3) 充てん圧力の経時挙動

図-4にコンクリート充てん圧力の経時変化を示す。

No.1(標準施工)では、圧送開始後、吹上げ口近傍の圧力計①から順に圧力が上昇し、打ち終わり直前に全ての圧力がわずかに急増して最大30kPa程度に達した。No.2(加圧充てん+引抜きパイプ)の場合、加圧充てんによって全体の圧力が加圧前の約3倍まで上昇したが、引抜きパイプによって概ね40~50kPa程度の等しい値となった。No.4(逆勾配)では、吹上げ口に近い圧力計①~③の値が順勾配の時に比べて約1.3~1.6倍まで上昇した。



順勾配2% (No. 1)

逆勾配4% (No. 4)

写真-7 型枠内でのコンクリート流動状況

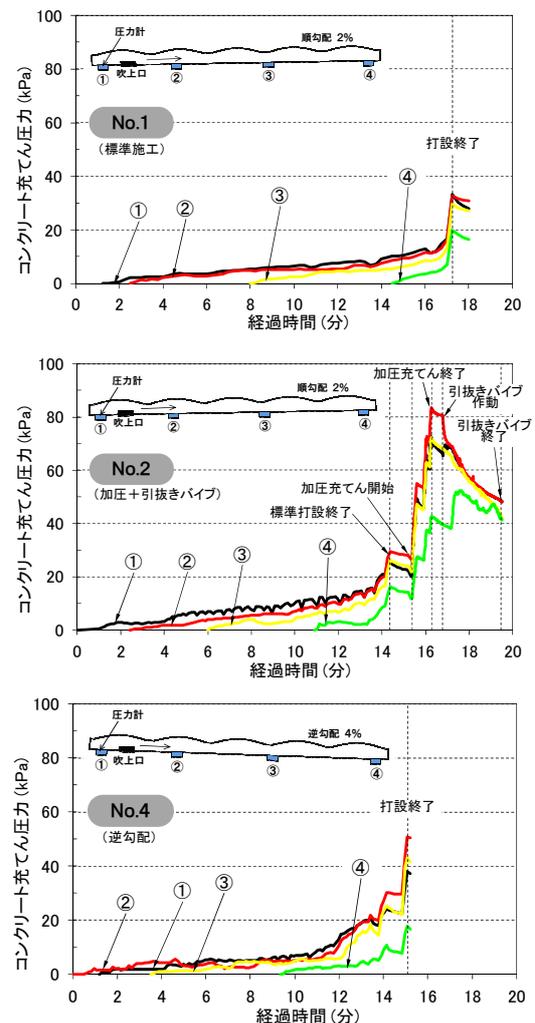


図-4 コンクリート充てん圧力の経時変化

図-5 に実験ケースごとに打込み完了後の充てん圧力の縦断分布を示す。同図より、No.1(標準)では、吹上げ口から遠ざかるほど圧力が緩やかに低下し、平均 28.9kPa であった。No.4(逆勾配)の場合、ラップ側や棲側の値は No.1 と概ね同等の値であったが、中央付近で充てん圧が高い傾向にあり、平均 37.4kPa であった。一方、No.2(加圧充てん+引抜きパイプ)では、全体的に圧力の差が小さく縦断方向での圧力分布は概ね等しい値であり、平均圧力は No.1 より 6 割程度高い 45.5kPa であった。

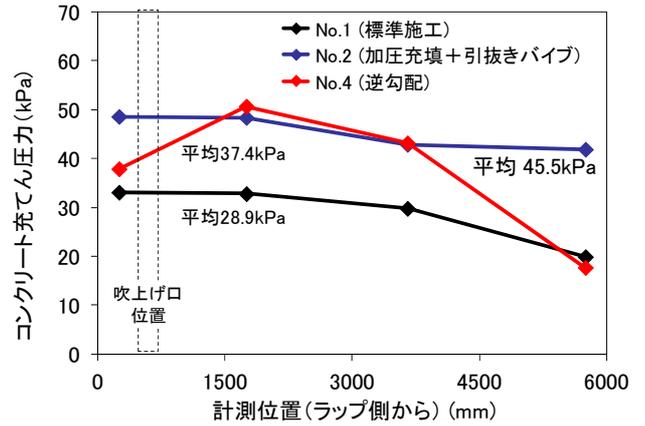


図-5 打込み完了後のコンクリート充てん圧力縦断分布

図-6 に、実験ケースごとに各打込み段階での縦断方向充てん圧力値の最大と最小の差を示す。同図より、順勾配の No.1~3 における標準打設後の圧力差は平均 15kPa で、加圧充てん後では平均 40kPa 程度となり、標準打設後の約 2.7 倍となった。その後、引抜きパイプをかけることで圧力差が 7~9kPa まで下がり、圧カムラが抑えられた。一方、逆勾配(No.4)では打設後の圧力差が 30kPa を超え、順勾配での圧力差(平均 15kPa)の 2 倍程度のばらつきを有していた。

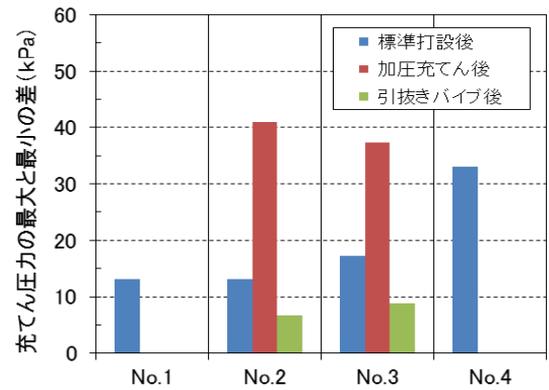


図-6 各打込み段階での充てん圧力値の最大と最小の差

以上より、加圧充てんと引抜きパイプを併用することで、覆工天端全体に等価な圧力を作用させてコンクリートを打ち込むことができると考える。また、逆勾配では順勾配に比べて倍程度の圧カムラを生じる可能性があると考えられる。

(4) 圧縮強度、テストハンマー強度

図-7 に材齢 28 日における強度試験結果(テストピース(現場封緘), コア強度, テストハンマー強度)を示す。

同図より、標準的な施工(No.1)に比べて、加圧充てんと引抜きパイプによる施工を行った No.2 や No.3 はコア強度及びテストハンマー強度の値が増加した。特に特殊ホースでブリーディング水や残留エアの強制吸引を行った No.3 は、地山側と内空側の値が概ね等しくなっており、巻厚方向に強度が均質化できていることがわかった。

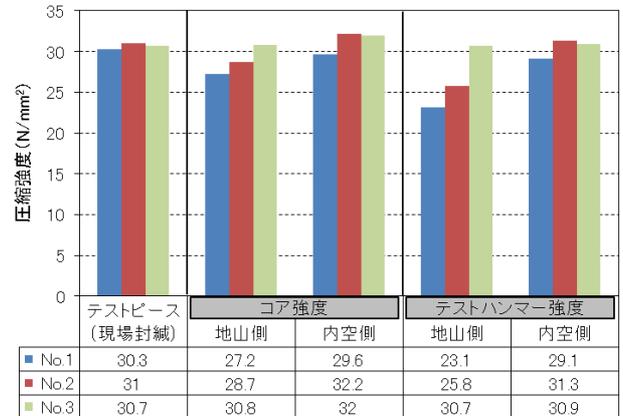


図-7 強度試験結果(材齢 28 日目)

(5) 単位容積質量

図-8 に材齢 28 日における単位容積質量の測定結果(テストピース(現場封緘), コア強度)を示す。

同図より、標準的な施工(No.1)に比べて、No.2 と No.3 は加圧充てんと引抜きパイプの施工によってわずかながら単位容積質量が増加しており、コンクリート自体の密実性が改善していると推定される。

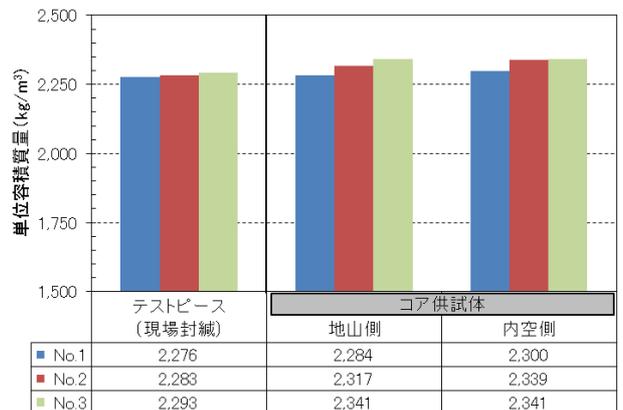


図-8 単位容積質量の測定結果(材齢 28 日目)

(6) 表面弾性波伝搬速度

図-9 に、表面弾性波伝搬速度の分布状況を示す。測定時のコンクリート表面水分率の値は 4.2~4.5%の範囲であり、含水率の違いによる測定値への影響は小さいと判断した。

同図より、標準施工(No.1)では内空側と地山側で測定値

に大きな差があったが、No.3(加圧充てん+引抜きパイプ+天端エア抜き+充てん)では、内空側で平均4,153m/s、地山側で平均4,111m/sとなり、ほぼ等しい結果となった。なお、加圧充てんと引抜きパイプを併用したNo.2では、No.1同様に地山側の値が低かったため、天端部でのブリーディング水や残留エアの排出効果が高かったと推定される。

(7) 中性化抵抗性

写真-8及び表-5に覆工内空側から採取したコア供試体(φ100mm)を用いた促進中性化試験の結果を示す。試験の結果、促進中性化速度係数の値はNo.1が5.1mm/√週、No.3で4.6mm/√週となり、No.3の方が10%程度小さい値であった。以上より、No.3はNo.1に比べて緻密性が高まり、中性化に対する抵抗性が改善したと考える。

(8) 水密性

写真-9及び表-5に地山側から採取したコア供試体(φ150×150mm)を用いた透水試験の結果を示す。試験の結果、透水係数の値はNo.1(標準施工)が 3.7×10^{-12} m/s、No.3が 2.1×10^{-12} m/sとなり、No.3は透水係数が43%向上した。この結果、No.3では覆工コンクリートが緻密化し、水密性が改善したと考える。

(9) 細孔径分布

図-10及び表-6に地山側及び内空側から採取したコアの水銀圧入式ポロシメータによる細孔径試験の結果を示す。同図表より、全細孔容積の値はNo.1が平均0.1200ml/gに対して、No.3では平均0.0892ml/gで約26%小さい結果であった。また中性化抵抗性などの耐久性品質は水セメント比によらず直径0.05μm以上の細孔空隙量に依存するとの指摘があり、本実験ではNo.1で平均0.0652ml/gに対して、No.3では平均0.0440ml/gとなり、No.3の方が約33%小さい値であった。この結果、No.3はNo.1に比べて、コンクリートの緻密性が増して耐久性品質が向上していると考えられる。

(10) 覆工コンクリート面の仕上がり状況

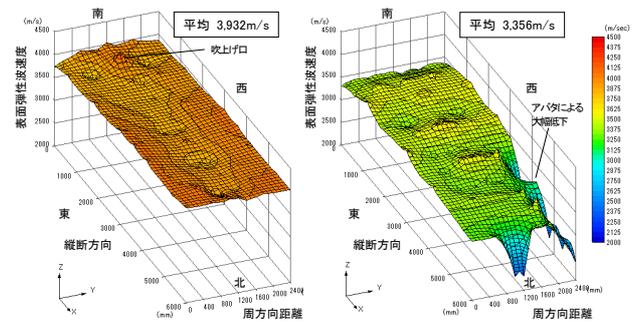
① 内空側

内空側覆工面の仕上がり状況について、No.1はラップ側と切羽側に軽微なあばたが発生した他、縞模様の色むらも確認できた。一方、加圧充てんと引抜きパイプを併用したNo.2とNo.3については、目立った変状は発生しておらず、縞模様の色むらも目立たないほどであった。

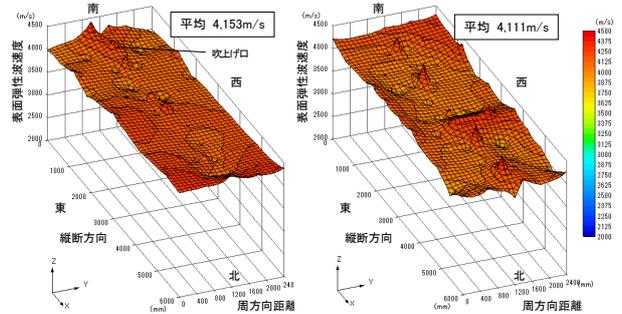
② 地山側

写真-10に地山側覆工面の仕上がり状況を示す。写真の上方がラップ側(吹上げ側)、下方が棲側である。

No.1では上型枠の凹部にあたる3箇所エア溜まりやブ



No.1 (左:内空側, 右:地山側)



No.3 (左:内空側, 右:地山側)

図-9 表面弾性波伝搬速度の分布

促進材齢4週目(右:覆工内空側)

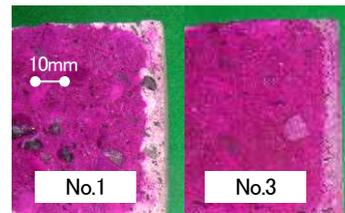


写真-8 促進中性化深さ状況

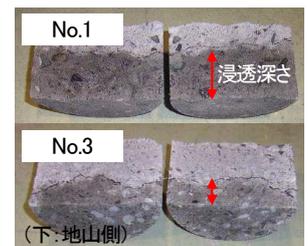


写真-9 透水深さ状況

表-5 促進中性化速度係数と透水係数

	促進中性化速度係数 (mm/√週)	透水係数 (m/s)
No.1	5.1	3.7×10^{-12}
No.3	4.6	2.1×10^{-12}

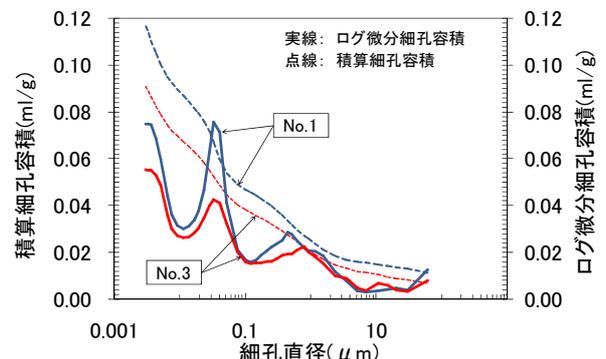
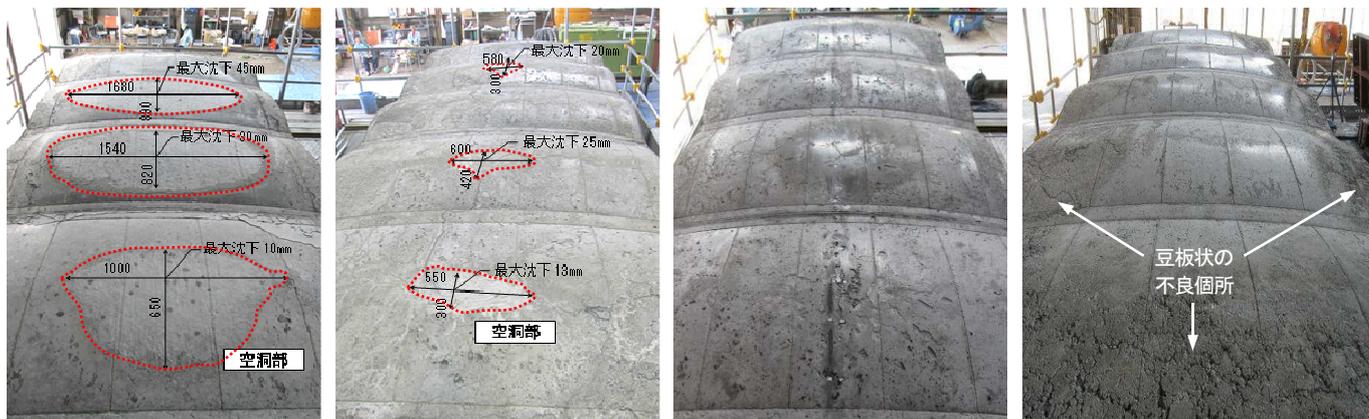


図-10 覆工内空側コアを用いた細孔径試験の結果

表-6 細孔径試験結果

	No.1		No.3	
	地山側	内空側	地山側	内空側
全細孔容積 (ml/g)	0.1234	0.1166	0.0874	0.0909
	平均 0.1200		平均 0.0892	
直径0.05 μm以上の 細孔容積量 (ml/g)	0.0765	0.0538	0.0434	0.0446
	平均 0.0652		平均 0.0440	



No. 1 (標準施工)

No. 2

No. 3

No. 4

写真-10 地山側覆工面の空洞発生状況 (写真上方:ラップ側(吹上げ口側)、写真下方:襜側)

リーディングによるものと推定される背面空洞を確認でき、その容積は計 0.058m³であった。No.2 では加圧充てんと引抜きパイプによる効果で空洞の大きさは軽微であったものの、No.1 と同様に 3 箇所計 0.014m³の背面空洞が発生した。No.3 では天端部におけるブリーディング水と残留エアの吸引による効果で空洞は発生しなかった。なお、特殊ホース設置部を巻厚方向にコア抜きしてホース内外状況を確認した結果(写真-11)、注入ホース内部にグラウト材が充てんされ、ホースの外に注入材が流出して充てんされた箇所は確認されなかったため、吸引ホースのみで空洞の発生を十分に防止できていることがわかった。

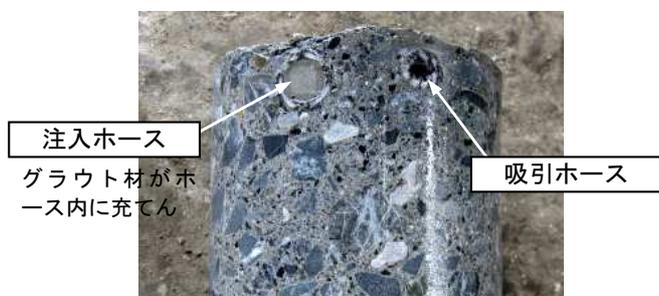


写真-11 天端部ホース設置部で採取したコア供試体

No.4 では空洞の発生は確認されなかったが、アバタが多数発生した。この結果、加圧充てんと引抜きパイプに、特殊ホースによるブリーディング水や残留エアの吸引工を併用することで、覆工背面の地山形状が設計上の凹凸範囲内であれば、背面空洞の発生防止を期待できると考える。なお、注入ホースによる無収縮モルタルの空洞充てん作業については、今後さらに技術的検証を行う予定である。

3. 中流動覆工コンクリートの施工実験

3. 1 要求性能

表-7 に東・中・西日本高速道路(株)のトンネル施工管理要領(中流動覆工コンクリート編)¹⁾に規定された中流動覆工コンクリート(短繊維混入:種別 T3-1)の要求性能を示す。

表-7 中流動繊維補強覆工コンクリートの要求性能

材齢 28 日 圧縮強度 (N/mm ²)	スランブ フロー (cm)	空気量 (%)	加振 変形量 (cm)	U 形充填高さ (障害なし) (mm)	曲げ靱性 特性
18	35~50	4.5 ±1.5	10±3 (10 秒加振後 の広がり)	280 以上	基準線 4.1kN 以上 かつ曲げ靱性係数 平均 1.4Nmm ² 以上

表中の加振変形量とは、振動下におけるコンクリートの流動性や材料分離抵抗性といった変形性能を評価する指標である。試験には加振変形試験器を使用し、スランブフロー試験をおこなった後、テーブル下面に設置された棒状振動機を 10 秒間作動させ、加振前後でのスランブフローの変化量(加振変形量)を測定する。加振変形量が 10±3cm の範囲内の場合、所要の変形性能を満足する。

U 形充てん高さ(障害なし)とは、コンクリートの充てん性能を評価する指標である。試験は、JSCE-F511「高流動コンクリートの充てん装置を用いた間げき通過性試験方法(案)」に準拠し、U 形容器(流動障害なし:ランク 3)を使用する。充てん高さが 280mm 以上の場合、所要の充てん性能を満足する。

3. 2 コンクリート配合と使用材料

表-8 にコンクリートの配合を示す。呼び強度 30N/mm²、スランブフロー 50cm、セメントは普通ポルトランドセメント、混和剤は水溶性合成ポリマーの特殊増粘剤を一体化したポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤標準形(I 種)を使用し、ポリプロピレン短繊維(以下、PP 繊維)をコンクリート容積比 0.3%混入した。

表-8 コンクリート配合 (30-50-20N)

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (C×%)	繊維 (vol.%)
		W	C	S	G		
50.0	52.6	170	340	936	851	1.4	0.3

本配合は増粘剤を用いた中流動配合であり、東・中・西日本高速道路(株)の中流動覆工コンクリート仕様に準拠して

いる。なお、単位セメント量は同要領の繊維補強覆工コンクリート編²に規定された最低セメント量 340kg/m^3 とした。

3.3 フレッシュ性状

表-9にフレッシュ試験の結果を示す。繊維混入後のスランプフロー値は $46.0\times 44.5\text{cm}$ （加振前）で、加振後の広がりには $8.0\times 9.5\text{cm}$ となり規定範囲 $10\pm 3\text{cm}$ 内であった。また空気量は5.1%、U型充填高さは313mmとなり、所要の変形性能と充填性能を満足した（写真-12、13）。

表-9 フレッシュ試験結果

	スランプフロー(cm)			空気量 (%)	U型充填高 (障害なし) (mm)
	加振前	加振後	加振変形量		
繊維混入前	50.0×48.5 (4.9秒停止)	—	—	4.1	—
繊維混入後	46.0×44.5 (4.1秒停止)	54.0×54.0 (4.2秒停止)	8.0×9.5	5.1	313 (4.2秒停止)
要求性能	35~50	—	10±3	4.5±1.5	280以上



写真-12 加振変形試験



写真-13 U型充填性試験

3.4 コンクリート打込み方法と流動性

型枠は順勾配 2%で設置し、コンクリートは吐出量 $15\text{m}^3/\text{h}$ で定置式ポンプにて圧送し、締固めには型枠振動機（出力 550W）を4台設置して用いた。写真-14および写真-15に型枠振動機の設置状況とコンクリート打込み時の流動状況を示す。

コンクリート吹上げ後、アーチ部に沿って左右に流れ広がった後、左右の側枠に沿って稜側方向に進み、やや遅れて中央部が稜側方向に流れた。この傾向は過去の同種実験³⁾で示された結果と同様である。なお、打設中のコンクリートの流動勾配は標準配合コンクリート（No.1~3）に比べて極めて小さく、全体的に平坦な状態で打ち上がっていった。流動先端部での材料分離は確認されなかった。

3.5 コンクリート充てん圧力

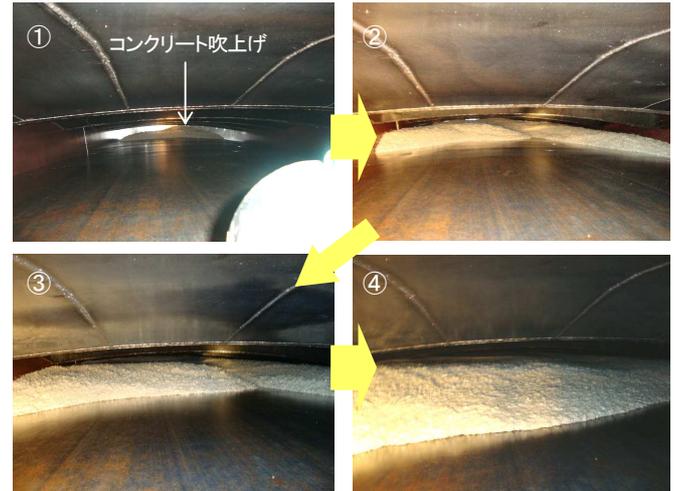
図-11にコンクリート充てん圧力の経時変化を示す。標準的な打込み法による施工終了後、充てん圧力は $25\sim 40\text{kPa}$

の範囲でばらついていた。その後、型枠振動機4台を15秒間作動させた結果、締固め完了時には4箇所の圧力は平均 30.4kPa となり、概ね等しい値であった。



寸法：H213×I159×L242×W218
出力：550W
電圧：48V
電流：12.5A
備考：NEXCO 基準に準拠

写真-14 型枠振動機



（奥：ラップ側（吹上げ口側），手前：稜側）
写真-15 中流動覆工コンクリートの流動状況

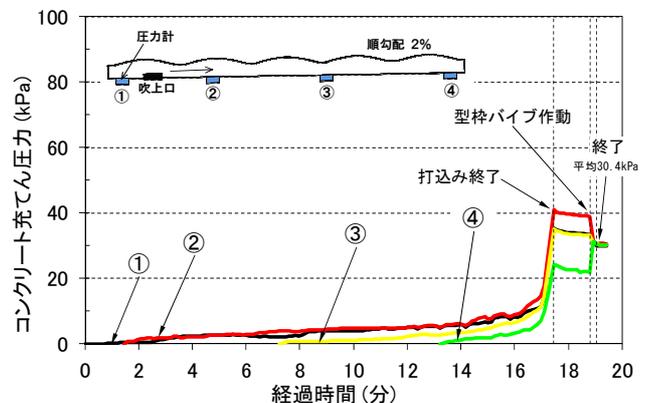


図-11 コンクリート充てん圧力の経時変化

3.6 覆工面の仕上がり状況

中流動コンクリートは普通コンクリートよりも打込み時の流動勾配が小さく平滑に打ち上がっていくため、地山側にエア溜まりによる空洞が生じやすいと推定された。実験の結果、背面に5箇所まで計 0.076m^3 の空洞を確認できた（写真-16）。この値はNo.1（標準施工）より大きな空洞であった。対策として、天端部中心測線上に特殊吸引ホースを設置し、コンクリート打込み中及び打込み完了後4時間程度までブリーディング水と残留エアを強制的に吸引ポンプで排出した。実験の結果、背面空洞の発生を防止できた。

内空側の仕上がりについては、型枠振動機の効果により、標準施工(No.1)に比べて、全体的に色むらも小さく良好な仕上がりとなった。

3.7 硬化コンクリート特性

表—10 に中流動覆工コンクリート(特殊ホース使用時)の硬化体特性をまとめて示す。

圧縮強度、単位容積質量およびテストハンマー強度の値は地山側と内空側で概ね等しい値であり、覆工巻厚方向での品質のばらつきは小さかった。また曲げ靱性係数の値はNEXCO 規格($\geq 1.4\text{N/mm}^2$)を上回る結果を得られた。このほか、促進中性化速度係数の値は前記 No.1(標準)の 50%程度、透水係数の値も 35%程度と極めて小さい値であった。

4. おわりに

本稿では、実際の施工条件を再現した実大規模の天端模擬型枠を使用し、覆工コンクリートの充てん性と品質の確保に向けた実験の取組みについて報告した。

実験の結果、これまでの標準的な施工方法に加えて、コンクリートの加圧充てんや、引抜きパイプによる天端部の締固めが品質の向上に有効であり、さらに特殊ホースによるブリーディング水と残留エアの強制吸引を併用することで、品質が改善され、均質な覆工コンクリートを施工することができた。また、中流動覆工コンクリートに関しては、増粘剤系中流動配合を選定し、施工性と品質を確認できたが、背面空洞の防止にエア吸引が有効であった。

参考文献

- 1) 東・中・西日本高速道路(株): トンネル施工管理要領(中流動覆工コンクリート編), 平成 23 年 7 月。
- 2) 東・中・西日本高速道路(株): トンネル施工管理要領(繊維補強覆工コンクリート編), 平成 23 年 7 月。
- 3) 馬場弘二ほか: 中流動覆工コンクリートの模擬型枠による施工性確認試験, 土木学会第 61 回年次学術講演会, pp.363-364, VI-182, 平成 18 年 9 月。



写真—16 覆工背面の仕上がり状況

表—10 硬化コンクリート特性

圧縮強度(N/mm ²)	テストピース(現場封緘)		35.4
	コア供試体	地山側	33.1
		内空側	35.5
単位容積質量(kg/m ³)	テストピース(現場封緘)		2,247
	コア供試体	地山側	2,287
		内空側	2,295
テストハンマー強度(N/mm ²)	地山側		32.2
	内空側		33.5
曲げ靱性係数(N/mm ²)			1.78
表面弾性波伝搬速度(m/s)	地山側		3,933
	内空側		4,084
促進中性化速度係数(mm/√週)	内空側		2.6
透水係数(m/s)	地山側		1.3×10^{-12}
全細孔容積(ml/g)	地山側		0.0895
	内空側		0.0864
背面空洞(m ³)	ホース未使用		0.076
	ホース使用		0