

吹上げ方式により打ち込む 覆工コンクリート天端部の品質に関する実験

小池 悟¹・小野里みどり²・諸澤正毅³・齋藤 淳⁴・多宝 徹⁵

¹正会員 (株)安藤・間 技術研究所 土木研究部 (〒305-0822 茨城県つくば市荻間515-1)
E-mail:koike.satoru@ad-hzm.co.jp

²正会員 (株)安藤・間 技術研究所 土木研究部 (〒305-0822 茨城県つくば市荻間515-1)
E-mail:onozato.midori@ad-hzm.co.jp

³(株)安藤・間 土木事業本部 土木設計部 (〒107-8658 東京都港区赤坂6-1-20)
E-mail:morosawa.masanori@ad-hzm.co.jp

⁴正会員 (株)安藤・間 技術研究所 土木研究部 (〒305-0822 茨城県つくば市荻間515-1)
E-mail:atsushi.saito@ad-hzm.co.jp

⁵正会員 (株)安藤・間 土木事業本部 先端技術開発室 (〒107-8658 東京都港区赤坂6-1-20)
E-mail:taho.toru@ad-hzm.co.jp

山岳トンネルの覆工天端部の施工は、一般に、吹上げ方式で施工され、施工完了ブロックとのジョイント近傍に設置した吹上げ口からコンクリートを打ち込み、スパン全体に圧入する。そのため、コンクリートを最大10 m程度横移動させることになるが、これによるコンクリート品質への影響については十分に解明されていない。そこで、吹上げ方式での施工による品質面の影響を検証するために、実物大型枠を用いて検証実験を行った。実験結果から、コンクリートの横移動による顕著な材料分離はなく比較的良好な施工ができていることを確認した。一方、バイブレータの締固め方法等については、改善すべき点もあることがわかった。

そこで、バイブレータの締固め方法等に関する追加実験を行い、天端部のコンクリートの打込み方法を改善する知見を得たので、ここに報告する。

Key Words : NATM, lining, crown part, upward concret-injection method, segregation

1. はじめに

山岳トンネルの覆工コンクリートの天端部は、一般に吹上げ方式で施工される。吹上げ方式では、既設コンクリートとの境界(ラップ側)から75 cm程度離れた位置に吹上げ口を取り付け、そこから型枠内部へコンクリートをコンクリートポンプの圧送力で送り込んでいく打込み方法である¹⁾。覆工コンクリートを打込む際に使用する型枠(セントル)は、延長10.5 m程度のものが用いられる。吹上げ方式では、コンクリートの打込みを天端の吹上げ口一箇所からつま部にかけて連続して打ち込んでいくため、コンクリートを最大10 m程度横移動させる必要が生じる。このような打込み方法は、一般の土木構造物の場合と比較して特異な打込み方法となるが、これによるコンクリート品質への影響については十分に解明されていない。

そこで筆者らは、現行の吹上げ方式による施工法がコンクリートの品質にいかなる影響を与えるかを検証することを目的として、実物大の模擬型枠を用いて検証実験を行った。

実験では、①コンクリートの充填状況を詳細に把握することと、②均一性の高い高品質なコンクリートとなっているかに着目して検証を行った。①に関しては、コンクリートを着色して打ち込むことで、コンクリート硬化後に充填状況を確認した。また②に関しては、切断面における粗骨材の分布状況やコア供試体から得られた計測値から、品質の均一性を評価した。

検証実験から得られた結果を踏まえ、改善策を検討し、その有効性を検証するための追加実験を行った。

本稿では、これらの実験から得られた知見を報告する。

2. 施工法の検証実験

(1) 実験の目的

矢板工法時代の覆工は、コンクリートポンプの性能の面から吹上げ方式での打込みが難しく、覆工天端部に打込み用の配管を設置し、引き抜きながら打ち込む引き抜き方式での施工を行っていた（図-1 参照）。

その後、コンクリートポンプの性能向上に伴い、NATIM が主流となるころには、吹上げ方式の打込みに変わった（図-2 参照）。引き抜き方式では、コンクリートの投入箇所が随時移動し、コンクリートの連続性を保ちづらかったのに対して、吹上げ方式は1箇所から連続的に打込みを行えるため、相対的に覆工コンクリートの品質は向上した。

しかし、コンクリートの流動距離に着目すると、天端部のコンクリートは 10 m 程度流動させることとなり、一般の土木構造物と比べるとかなり特殊な打込み方法となった。一般に、コンクリートを横移動させると材料分離などの問題が生じると考えられているが、覆工天端部でこのような打込み方法を採用する場合の品質面での十分な検証は行われていない。

また、覆工天端部のコンクリートの締固めは、セントルの作業窓から棒状バイブレータを用いて行われる（図-2参照）。そのため、バイブレータによる締固め作業を行えるコンクリートは、棒状バイブレータが届く範囲に限られる。

そのため、任意の位置でバイブレータによる締固めを行うことは難しく、時間差を持って打ち込まれたコンクリートの打重ね部分の締固めを十分に行うことができない場合もある。このようなことから、覆工の天端部についてはコンクリートの締固め不足やコールドジョイントの発生というような、コンクリートの均一性や一体性が損なわれることが懸念される。

そこで、筆者らは、現行の施工法での懸念事項を検証するために、実物大の模擬型枠を用いて検証実験を行った。

(2) 実験概要

a) 模擬型枠

実験に用いた型枠はトンネルの覆工コンクリートの天端部を実物大で模擬したものである。型枠の寸法は、延長10.5 m、幅5.0 m、厚さ0.35 mとした。写真-1に型枠の外観、図-3に型枠の平面図を示す。

模擬型枠は、内型枠と外型枠からなり、内型枠はトンネル現場のセントルの天端部を再現し、外型枠は地山を模した。また、既設コンクリートとの境界面（ラップ側）は、既設コンクリートに替えて、鋼製のつま板で代替した。外型枠と内型枠の間は型枠セパレータで緊縛し、

コンクリートの打込みによる型枠のはらみを防止した。また、作業窓は実際のセントルを模して1.5 m間隔に設置した。ラップ側にはエア抜き孔を1箇所設置した。外型枠の天頂部にはアクリル製の観察窓を設け、コンクリート打込み中の充填状況を型枠上部から観察できるようにした。

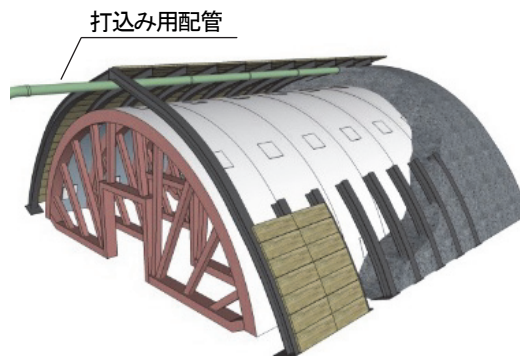


図-1 引き抜き方式によるコンクリート打込み概要図

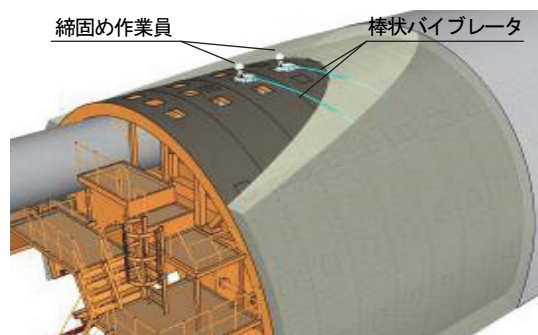


図-2 吹上げ方式によるコンクリート打込み概要図



写真-1 型枠外観

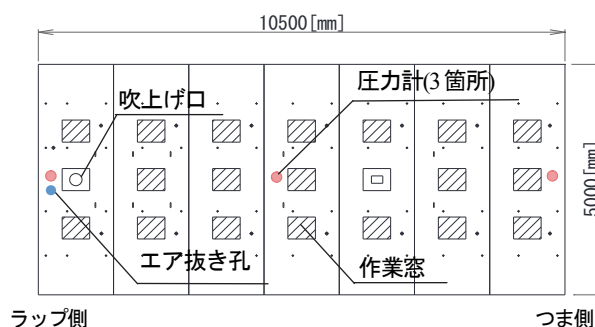


図-3 型枠平面図

b) 打込み数量およびコンクリートの着色

コンクリート打込み数量は19.4 m³で、生コン車 5台で 4 m³ずつ合計 20 m³のコンクリートを用いた。実験では、充填性状を検証するために、コンクリートを生コン車毎に異なる色に着色した。表-1にコンクリート着色の諸元を示す。コンクリートの着色は現場に到着した生コン車に着色剤を投入し、2分間高速攪拌することで行った。

c) 使用材料およびコンクリート配合

表-2 にコンクリートの使用材料、表-3 にコンクリートの配合表を示す。コンクリートのスランプは、着色によるスランプロスを考慮し、ベースコンクリートのスランプを 21 cm とし、着色後のスランプを 18 cm とした。

d) 充填管理

コンクリートの充填性を確認するために、型枠内部にコンクリートの充填圧を計測するための圧力計とコンクリート締固め時の振動を検知することでコンクリートの充填を確認する振動デバイスを設置した。

圧力計は内型枠に設置し、打込み中の型枠にかかる圧力をリアルタイムで計測した。圧力計の設置位置は、図-3に示すように型枠の長手方向中央部に3箇所とした。また、振動デバイスは外型枠の内表面に取り付けた。設置位置は、圧力計設置位置の直上とした。

(3) コンクリート充填状況

一般に、覆工の天端部のコンクリートは、図-4 の(a)→(b)→(c)の順番で充填していく。打込み口を天端の吹上げ口に切り替えた直後のコンクリートは、ラップ部の際を天端から肩部に向かって横断方向に流下した後、つま側に向かって、縦断方向に肩部が充填されていく(図-4(a)参照)。その後、徐々に天端部に向かって充填高

表-1 コンクリートの着色

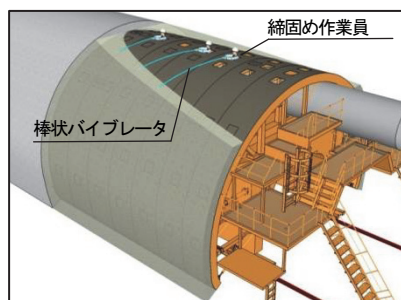
	生コン車台数	累計打込み数量(m ³)	着色
①	1 台目	0~4	茶
②	2 台目	4~8	橙
③	3 台目	8~12	黄
④	4 台目	12~16	赤
⑤	5 台目	16~20	青

表-2 コンクリートの使用材料

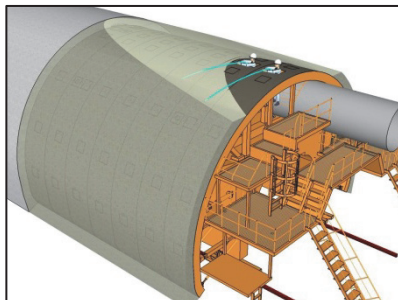
材料	種類	仕様
セメント	普通ポルトランドセメント	密度:3.15g/cm ³
細骨材	砂	表乾密度:258g/cm ³ , 実績率:2.5%
	砂利	表乾密度:269g/cm ³ , 実績率:3.1%
粗骨材	碎石	表乾密度:269g/cm ³ , 実績率:60.0%
混和剤	高性能 AE 減水剤	フローリック SF500S
着色剤	酸化鉄	比重:4.1~5.2g/ml

表-3 コンクリート配合表

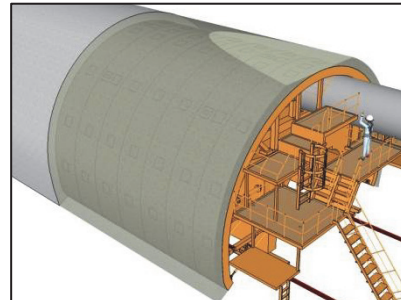
呼び強度	スランプ	粗骨材 最大寸法	水セメント 比	細骨材率	単位量					
					水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤	
N/mm ²	cm	mm	%	%	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
27	21 (目標:18)	20	53.0	48.9	330	330	596	266	928	3.30



(a) 肩部の充填



(b) 天端部の充填

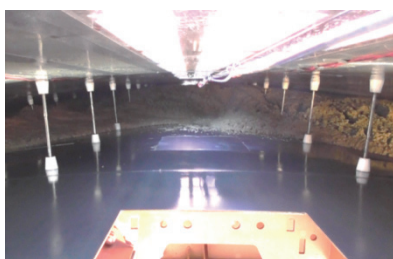


(c) つま部到達時

図-4 吹上げ方式によるコンクリート打込み概要



(a) 肩部の充填



(b) 天端部の充填



(c) つま部到達時

写真-2 検証実験におけるコンクリート充填状況

さを上げていく。最天端部の打込みは、吹上げ口から圧入されて、流れてくるコンクリートを棒状バイブレータを用いて人力で締め固めながら、セントルの表面をコンクリートで覆っていく。バイブレータを操作する作業員はコンクリートの充填面積が広がるのにしたがって、作業窓を閉めながらつま側に移動する(図-4(b)参照)。作業窓をすべて閉めた後は(図-4(c)参照)、つま板近傍の一部を除いてバイブレータを用いることなく、吹上げ口からコンクリートを圧入する。つま側まで完全に充填された段階で打込み完了となる。

検証実験では、上記の打込み状況を再現した実験を行った。写真-2(a)は1台目のコンクリートの打込み状況で、図-4(a)のように吹上げ口から、肩部に向かってコンクリートが流動している。写真-2(b)は3台目のコンクリート打込み完了時の充填状況である。この時点で、覆工内面となるセントルの天端部の大部分を覆い、つま板から3mの付近まで到達している(図-5参照)。写真-2(c)は、つま側までコンクリート到達直前の状況である。

写真-3、写真-4に硬化後のコンクリートの上面・下面を示す。なお、写真-3、写真-4ともに写真の上が北である。写真上に示している①～⑤の数字は打込み順序を示している。写真-3、写真-4に示したコンクリート上面・下面の分布は概ね同じ傾向を示している。また、1～3台目に打ち込んだコンクリートは肩部に充填され、4、5台目のコンクリートは天頂部に帯状に充填されていることがわかる。

コンクリート打込み時に確認した状況では、3台まで打込み完了した時点ではつま板から3mの区間を除いて、セントル天端をコンクリートが覆っている(図-4(b)、図-5参照)。しかし、打込み後のコンクリート分布を見ると、天端部には4、5台目に打ち込んだコンクリートが帯状に充填されている。このことから、4、5台目に打ち込んだコンクリートが、セントル天端部を覆っていた3台目までのコンクリートを肩部に押し出し、これを置換しながら充填していったものと推測される。

これまで筆者らは、セントル表面を覆いながらつま側に向かって広がってくるコンクリートにバイブレータをかけ、コンクリートの締め固めを行うことで、覆工天端部下面の表面の気泡や縞模様の発生等の初期欠陥を防止していると考えていた。しかし、打込み完了後に天端部を覆っていたコンクリートは、通常の棒状バイブレータでは締め固めが困難な4、5台目に打ち込んだコンクリートであった。よって、覆工天端部下面のコンクリートは後述する圧入により、品質は確保されていると考えられる。

図-6に型枠に設置した圧力計の計測結果を示す。ここで、覆工巻き厚(0.35 m)分のコンクリートの自重により載荷される圧力は8 kPa ($8 \text{ kN/m}^2 = 0.35 \text{ m} \times 23 \text{ kN/m}^3$)となる。この値がコンクリートが圧力充填される目安と

なる。型枠中央部の圧力計(No.2)が8 kPaを越えてくるのは、概ね4台目の打ち込み開始以降である。その後も圧力の上昇は緩やかで、つま側の圧力計(No.3)が8 kPaを超えるのは打込み終了直前で、最後に加圧充填を行うことで、No.1～3の圧力計の値が急激に上昇する。

なお、ラップ側肩部に設置した振動デバイスでの充填が確認されたのは、吹上げ口近傍に設置した圧力計(No.1)の値が30 kPaとかなり高い値に達した時点である。

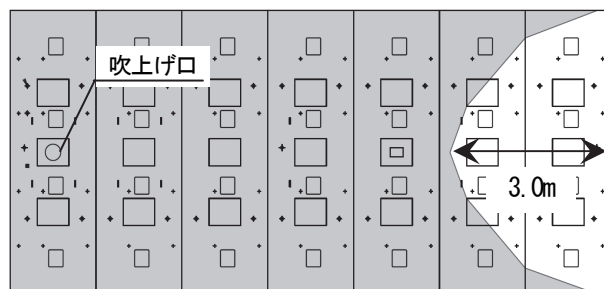


図-5 3台目打込み完了時のコンクリートの覆工天端部での充填状況

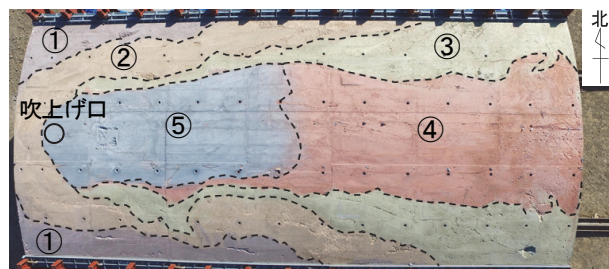


写真-3 硬化後コンクリート充填状況 (上面)

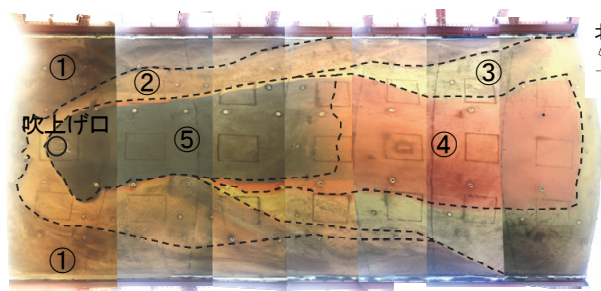


写真-4 硬化後コンクリート充填状況 (下面)

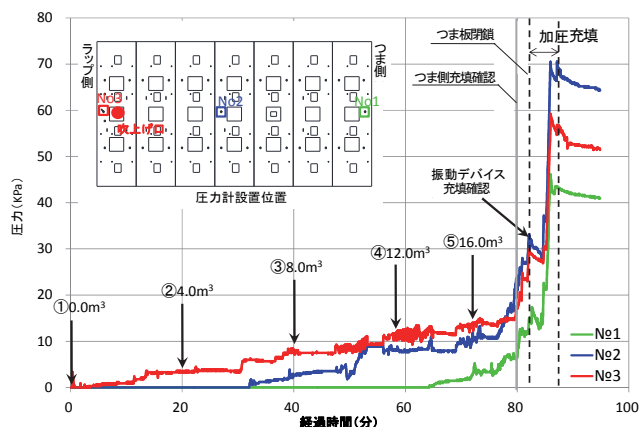


図-6 コンクリート充填圧力経時変化

(4) 硬化コンクリートの品質評価

コンクリートの充填状況から、天端部に充填されているコンクリートは、パイプレータによる締固めが困難であるものの、吹上げ口からの圧入により充填されることがわかった。一方、肩部のコンクリートについては、パイプレータで締固めを十分に行えるが、横移動の距離は長く、しかも、水平方向に流動して充填される。これらの締固めの程度や横移動の方法の違いが、覆工の品質に与える影響について検証した。

また、天端部のコンクリート（4、5台目のコンクリート）と肩部のコンクリート（1～3台目のコンクリート）の境界部を観察すると、境界が明瞭になっている状況が認められる。この部分の打重ね部が不均一になる可能性が考えられることから、切断面の観察等により検討した。

a) 粗骨材分布

コンクリート中の粗骨材の分布状況を、硬化コンクリートの切断面の画像解析により算出した。写真-5に粗骨材の分布量を算出した断面位置を示す。

天端部と肩部のコンクリートの横移動による傾向を検証するために、粗骨材分布量の算出は、写真-5に示す4つの切断面でおこなった。それぞれの切断面毎に20 cm × 20 cmの領域を6箇所選定し、その領域の粗骨材量を画像解析により算出した。画像解析は、断面画像のモルタルと粗骨材を色彩で判別するアルゴリズムを構築して実施した²⁾。図-7に画像解析の概要を示す。

表-4に粗骨材分布量および箇所毎の標準偏差を示す。全体的に大きなばらつきはないが、切断面4の標準偏差が天端部（切断面1、2）や肩部の切断面3と比較して、2倍程度と大きくなっている。これは、コンクリートを流動させる肩部と、圧入に近い状態で打ち込んだ天端部とで材料の分離傾向の違いが出た可能性や、コンクリートの移動距離の違いによる可能性があると考えられる。

b) コンクリート圧縮強度

コンクリート圧縮強度の傾向を検討するために、コア（φ100）採取による圧縮強度試験（ σ_{28} ）を行った。写真-5に示す9箇所（一般部）から、2本ずつ計18本の供試体を採取した。2本ずつとしたのは、近接して2本のコアを採取し、上側と下側で供試体を作成し、覆工の下面側と上面側の違いを見るためである。

表-5に試験結果を示す。ここで計測値は、肩部と天端部ともに平均30 N/mm²以上の強度となっている。特に、天端部のコンクリートについては、パイプレータをかけられていないにも関わらず、高い圧縮強度を示している。これは、自重の3倍程度まで高い圧力で加圧充填した効果が表れた可能性がある。また、標準偏差に関しては、いずれの箇所も小さい値であり、全体的に均質なコンクリートとなっているものと考えられる。

c) 打重ね部の検討

写真-5に示す位置で切断面の観察を行い、打重ね部の品質評価を行った。写真-6にコンクリート切断面を示す。切断面の観察から、打重ね部付近は、モルタル分が多く集まり、粗骨材の分布が少なくなっていることがわかる。

次に打重ね部でのコンクリート強度を確認するために、打重ね部でコアを採取し、圧縮強度を測定した。コア採取箇所は写真-5の10～12の番号で、それぞれ2本ずつサンプリングした。なお、コアの採取時期の都合により材齢は62日となった。表-6に圧縮強度試験の結果を示す。材齢が異なることもあるが、大部分が、一般部のコア圧縮強度試験の平均値を上回っており、打重ね部の圧縮強

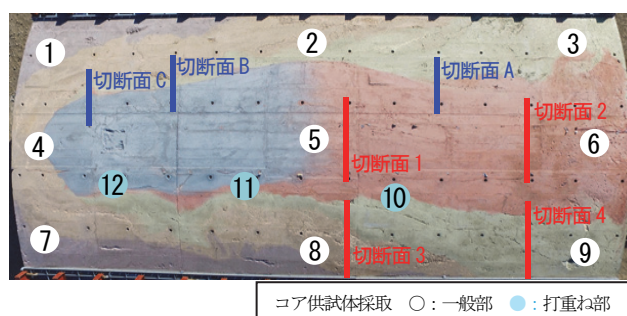


写真-5 コア採取箇所および解析評価断面

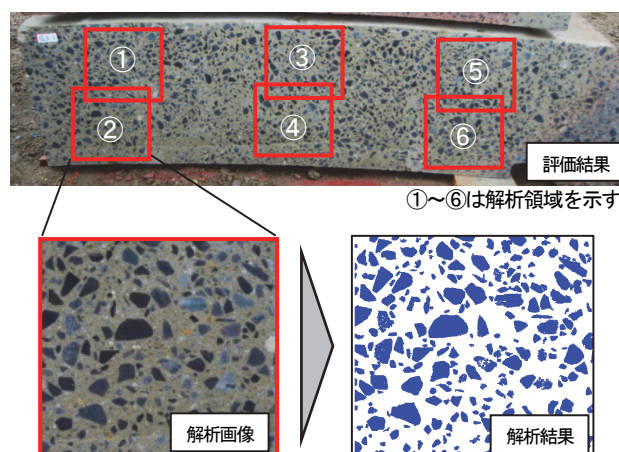


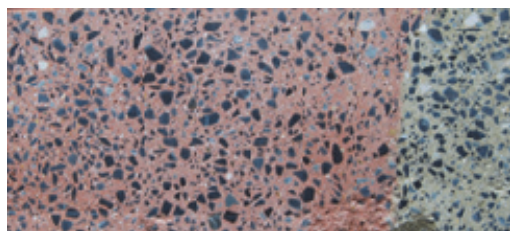
図-7 画像解析の概要

表-4 粗骨材分布量

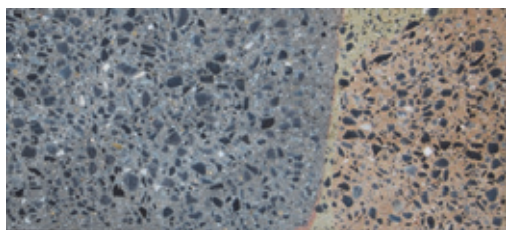
		骨材量 (%)						標準偏差
		①	②	③	④	⑤	⑥	
天端部	切断面 1	39.3	38.4	34.5	33.6	33.5	35.5	2.27
	切断面 2	42.1	37.6	41.2	39.1	36.4	33.7	2.85
肩部	切断面 3	37.1	35.0	43.7	36.2	39.2	36.7	2.85
	切断面 4	39.6	37.8	32.1	25.4	39.4	31.3	5.15

表-5 コア供試体による圧縮強度（一般部）

	圧縮強度 (N/mm ²)							標準偏差
	平均値							
肩部 1～3	37.9	35.3	35.1	33.8	31.9	32.9	34.5	1.92
天端部 4～6	28.3	32.3	31.6	33.8	31.9	34.5	32.1	1.96
肩部 7～9	32.9	34.8	29.6	30.3	31.6	31.4	31.8	1.72



(a) 切断面 A



(b) 切断面 B



(c) 切断面 C

写真-6 打重ね部の切断面の状況

表-6 打重ね部の圧縮強度（材齢62日）

	圧縮強度 (N/mm ²)						平均値
	33.6	34.5	35.6	32.2	33.0	33.5	
コア供試体(10~12)	33.6	34.5	35.6	32.2	33.0	33.5	33.7

度は良好であると判断できる。

切断面の観察から、境界面付近のコンクリートに不均一性も見られたが、圧縮強度は十分に要しており、明確な問題は認められなかった。ただし、粗骨材の分布が顕著に偏ったりすると、自己収縮等によるひび割れが誘発されることも懸念されるため、より品質の高いコンクリートとするために、打重ね部の施工法については改善の余地があると考えられる。

(5) まとめ

本章では、従来方法の打込みによるコンクリートの品質を確認した。従来、覆工天端部については、コンクリートを 10 m 程度流動させることから、コンクリートの品質に何らかの問題があることが懸念されていた。しかし、実験結果からは、天端部のコンクリートは流動させるというよりも、吹上げ口からコンクリートを圧入するような状態であり、明確な問題点は確認されなかった。

その中で、今後、コンクリートの品質を高めるために改善の可能性がある点について以下にまとめる。

- ・肩部のコンクリートの特に流動距離が長くなるつま側

については、粗骨材量の変化が認められた。

- ・覆工天端部には、最後の 2 台で打ち込んだコンクリートが帯状に分布することがわかった。この部分は、圧入による充填され、圧縮強度や粗骨材の分布状況など良好な品質であった。
- ・天端部のコンクリートと肩部のコンクリートの接合部については、一部のコンクリートに不均一性がみられたが、十分な圧縮強度を有していた。ただし、より品質の高いコンクリートとするために改善の余地がある。

3. 天端部施工法の改善実験

(1) 概要

本章では、2章の検証実験の結果を受けて、以下の事項の改善に向けた対策について述べる。

- ①天端部のコンクリートの締固めおよび天端部のコンクリートとそれ以前に打ち込んだコンクリートの接合部の締固め
- ②天端部のコンクリートの打込み方法の改善
- ③肩部で流動距離が長くなるつま側のコンクリートの品質向上

これらの事項を改善するための追加実験を2ケース実施した。実験には、前章の実験で使用した模擬型枠と同じものを使用し、コンクリートの配合、使用材料も同じとした。

(2) 改善実験1

a) 実験概要

本実験は「①天端部のコンクリートの締固めおよび天端部のコンクリートとそれ以前に打ち込んだコンクリートの接合部の締固め」の改善を目的とした実験である。

改善実験1では、2章で実施した通常施工を模した検証実験（以下、検証実験という）に加えて、天端部の締固めに引抜き式バイブレータを用いる。これにより、検証実験では締め固めることが困難であった天端部のコンクリートを、十分に締め固められると考えられる。

b) 実験状況

引抜き式バイブレータは、コンクリートの打込みに先立ち、型枠内部に設置しておいた。この状態で、コンクリートが充填完了するまで、検証実験と同様に棒状バイブレータを用いて施工を行った。その後、コンクリートの充填が完了した時点で、引抜き式バイブレータを加振させながら引き抜いた（図-8参照）。なお、引抜き式バイブレータを引き抜いた際に生じた空間に周囲のコンクリートが流入し、充填圧が低下する。そのため、バイブレータを引き抜いた後に所定の圧力となるまで、再度、コンクリートを打ち込んだ。

c) 実験結果

写真-7に硬化後のコンクリートの上面を示す。コンクリートの打込み方法そのものは検証実験とほぼ同じであるが、コンクリートの分布は検証実験と若干異なる分布となっていた。これは、微妙なコンクリートの状態の違いでコンクリートの流路が変化したことなどによると考えられる。

表面の着色コンクリートの境界部に着目すると、検証実験では、大部分のコンクリート境界が明瞭で、コールドジョイントではないものの、打重ねの不均一さが認められた。一方、改善実験1では、打重ねの境界が不明瞭となり、打重ねの状態が改善された部分とそうではない部分が認められた。

これは、コンクリートの流動状況により、打重ねが引抜き式バイブレータの締固め範囲に入っているところと、そうではないところで差が生じたものと考えられる。また、引抜き式バイブレータは打込み完了後 1 回のみの締固めであるため、コンクリートの分布状況により効果の差が出やすかったことも考えられる。

改善実験1の結果から、天端部の引抜き式バイブレータを2本としたが、引抜き式バイブレータの本数を増やし、打重ね部全体をバイブレータの締固め範囲とすることで、改善できると考えられる。

表-7に材齢28日におけるコア供試体の圧縮強度を示す。なお、コア採取は検証実験と同じ位置から採取した。天端部における値を確認すると、平均値は検証実験での値と比較して、約8%向上している。

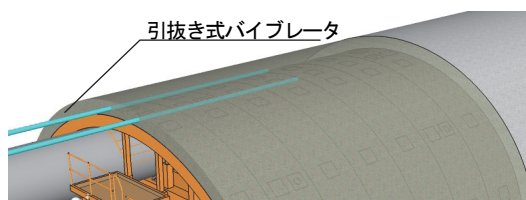


図-8 引抜き式バイブレータ概要



写真-7 硬化後充填状況（改善実験1）

表-7 圧縮強度試験結果（改善実験1）

	計測値 (N/mm ²)						標準偏差	
	平均値							
天端部 4~6	39.1	35.8	30.9	36.1	27.8	38.0	34.6 (32.1)	3.98 (1.96)

()内は検証実験での値

(3) 改善実験2

a) 実験概要

本実験は、改善実験1で目的とした「①天端部のコンクリートの締固めおよび天端部のコンクリートとそれ以前に打ち込んだコンクリートの接合部の締固め」の改善に加えて、「②天端部のコンクリートの打込み方法の改善、③肩部で流動距離が長くなるつま側のコンクリートの品質向上」の改善を目的とした改善実験である。

改善実験2では、通常は天端部に設けた一箇所の吹上げ口から打ち込まれる肩部のコンクリートを、先行して別の方法で打ち込むことを想定した実験を行うものである。肩部の先行施工方法のひとつとして、肩部に追加の吹上げ口を設け、そこから肩部を打込む方法などが考えられる。これにより、天端部の吹上げ口からの打込み量を低減し、コンクリートを横移動させる量を限定することができる。

天端部の締固めは伸縮式バイブレータで行うものとした。伸縮式バイブレータは、セントル天端の型枠面に挿入孔を空け、型枠内にバイブレータを差し込む（写真-8、図-9 参照）。さらに打込み終了後に、バイブレータを加振させながら引き抜くこととした。改善実験1で用いた引抜き式バイブレータは、打込み完了後に1回しか作動させることができないが、伸縮式バイブレータを用いることで、天端部のコンクリートは、吹上げ口からの打込み中でも随時締め固めることができるようになる。

b) 実験状況

実験では、肩部の先行施工は、アウトセントルに設けた作業窓を使って、ブーム式のコンクリートポンプ車を用いて上部から打ち込んだ。両肩部のコンクリートを水平に打ち込んだ後に、配管を吹上げ口に接続し、吹上げ口からコンクリートを打ち込んだ。

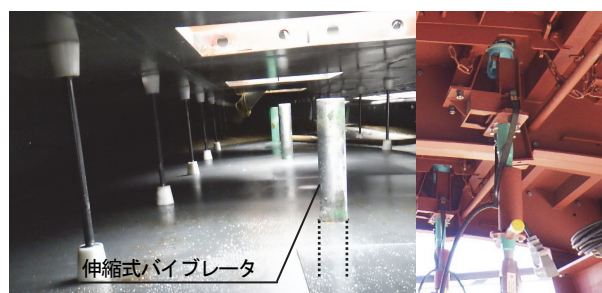


写真-8 伸縮式バイブレータ概要

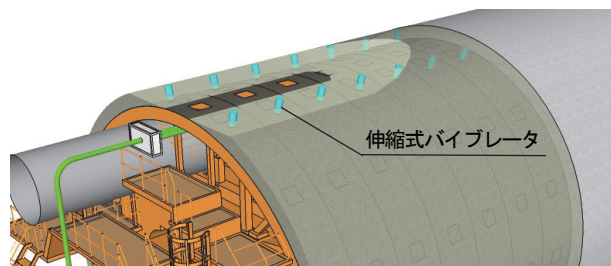


図-9 伸縮式バイブレータ概要

締固めは伸縮式バイブレータの効果を実に把握するために、通常の棒状バイブレータを併用せず伸縮式バイブレータのみを使用して行った。バイブレータ作動のタイミングは、打込み状況をつま側から観察し、コンクリートの充填状況に応じて伸縮式バイブレータを適宜作動させた。

c) 実験結果

写真-9に硬化後のコンクリートの上面を示す。肩部を先行して打ち込むことで、天端部のコンクリートを横移動させる量を削減したことから、コンクリートの分布状況は他のケースと異なっている。

表-8にコア供試体の圧縮強度の試験結果を示す。試験結果より、天端部と肩部ともに検証実験での標準偏差と比較して、値が減少し、ばらつきが少ないことがわかる。肩部のばらつきの減少は、コンクリートを先行施工によりコンクリートを横移動させないで打ち込んだことによる効果であり、今後、実施工を想定した追加実験が必要であると考えられる。

また、天端部に関しては、伸縮式バイブレータにより、打込み中、任意のタイミングで締固めを行ったことによる効果によるものと考えられる。

表面の着色コンクリートの境界部は、本実験では、打重ね面が明瞭に確認できる部分はほぼなくなった（写真-9参照）。通常ケース、改善実験1と比べても、打重ね部が改善されたことが確認できる。コンクリート打込み中に、随時、伸縮式バイブレータを加振させることで、打重ね箇所を含め、全体的にコンクリートを締め固めることができた結果であると考えられる。

d) 施工性について

伸縮式バイブレータは、型枠外部から、スイッチのオンオフだけで締固めを行えることから、棒状バイブレータによる締固めと比較して、作業員への負荷が大幅に軽減された（写真-10、写真-11参照）。

本実験の天端部については、手動の棒状バイブレータを全く用いなかったが、コンクリートの仕上がり、締固め等において、十分な品質を得ることができた。

4. まとめ

本稿は、吹上げ方式による打込みが覆工天端部のコンクリート品質に与える影響を検証するための実験から得られた知見をまとめたものである。

まず、現行の覆工天端部の施工方法がコンクリートの品質にどのような影響を与えるのかを検討することを目的として、実物大の模擬型枠を用いて検証実験を行った。その結果、以下の(1)～(5)ことがわかった。

(1) コンクリートを着色して打ち込むことで、コンクリ

表-8 圧縮強度試験結果（改善実験2）

	圧縮強度 (N/mm ²)							標準偏差
	平均値							
肩部 1～3	34.7	37.3	35.4	33.7	32.9	34.5	34.7 (34.5)	1.36 (1.92)
天端部 4～6	32.8	35.2	30.6	32.6	33.7	32.4	32.9 (32.1)	1.40 (1.96)
肩部 7～9	34.0	35.7	35.4	35.1	35.2	33.9	34.9 (31.8)	0.71 (1.72)

()内は検証実験での値

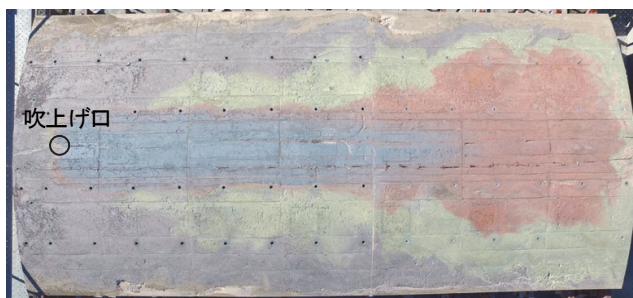


写真-9 硬化後充填状況（改善実験2）

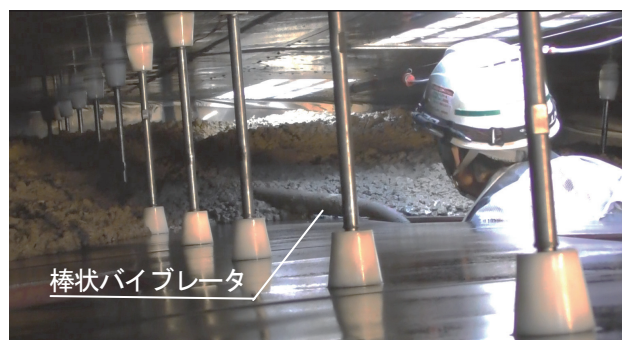


写真-10 従来の締固め方法



写真-11 伸縮式バイブレータ使用状況

ートの充填状況を詳細に検討することができた。

- (2) 天端部のコンクリートは流動させるというよりも、吹上げ口からの圧入によって充填していくことを確認した。
- (3) コア供試体の圧縮強度は、品質の低下は見られなく、ばらつきも許容範囲内であった。

(4) 覆工天端部において、コンクリートの横移動による粗骨材の顕著な分離は確認できなかった。

(5) 肩部のコンクリートと天端部のコンクリートの、打重ね部では一部不均一な所があった。

続いて、現行の施工法の検証実験から得られた課題を踏まえて、改善実験を行い、それらの有効性について検証した。その結果、以下の(6)～(9)ことがわかった。

(6) 引抜き式バイブレータを用いた実験では、天頂部のコンクリートの締固めができ、一定の効果を得られることがわかった。

(7) 肩部を先行して打ち込み、吹上げ口からの打ち込みを天端部に限定することにより、肩部、天端部のコンクリートの品質を向上させることができた。

(8) 伸縮式バイブレータは、コンクリート打ち込み中に、随時、加振させることで、打重ね箇所を含め、全体的にコンクリートを締め固めることができ、コンクリートの品質を向上させることができた。

(9) 伸縮式バイブレータの使用により、覆工天端部の打ち込み作業を大幅に省力化できる可能性がある。

今回の実験では、従来の打ち込み方法でも、適切な施工を行うことにより、良好な覆工コンクリートを得られることを確認した。さらに、打ち込み方法を工夫することにより、品質をより向上させられることを確認した。

参考文献

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書〔共通編〕・同解説／〔山岳工法編〕・同解説，p.196，2016.
- 2) 野間康隆，小池悟：画像解析を用いたコンクリート部材の切断面の粗骨材分布の計測に関する検討，土木学会第 72 回年次学術講演会講演概要集，pp.1881-1882，2017.

(2017.8.11 受付)

AN EXPERIMENTAL STUDY ON QUALITY OF TUNNEL LINING CONCRETE AT CROWN PART PLACED BY THE UPWARD CONCRETE-INJECTION METHOD

Satoru KOIKE, Midori ONOZATO, Masanori MOROSAWA,
Atsushi SAITO and Toru TAHO

In general, tunnel lining concrete at crown is placed by the upward concrete-injection method and a blow hole to place concrete is installed at the edge of the formwork. Although the flow distance of concrete is approximately 10m with this method, this effect has not been sufficiently evaluated. Therefore authors conducted model test using a full-scale formwork to evaluate quality of concrete. Consequently, notable segregation could not be observed despite the long-distance flow of concrete. On the other hand, there were some concerns about the way of compaction. Then, additional model tests were conducted to evaluate some compaction methods and improvement construction method was proposed.