

自己充填コンクリートを用いた覆工自動化施工の開発 —壁状模擬型枠を用いた予備実験による充填状況および均質性の確認—

佐藤工業株式会社 正会員 ○小山広光 弘光太郎 藤原正佑 小野知義 宇野洋志城

1. はじめに

山岳トンネルの覆工コンクリート施工の省力化および品質向上を目的として、筆者らは自己充填コンクリートを用いた覆工の自動化施工の開発を行っている。実物大のセトルを用いた施工実験に先立ち、自己充填コンクリートの充填状況と均質性の確認、および使用センサ類の適用性検証を目的に、壁状模擬型枠を用いて予備実験を実施した。本稿は、この予備実験について報告するものである。

2. 試験概要

図-1 に実験に用いた壁状模擬型枠（長さ 10.5m、高さ 1.0～1.42m、厚さ 300mm）の概要図、写真-1 に型枠外観の写真を示す。コンクリートの充填状況を観察するため、片面にアクリル樹脂製の透明型枠を配置した。型枠天端部は長さ方向に勾配を設け、天端部を塞ぎ密閉性を確保した。壁状型枠は 2 基作製し、一方の型枠（No.1 試験体）は側枠の中央部、もう一方の型枠（No.2 試験体）は中央から 2.75m（型枠端部から 8m）の位置に自己充填コンクリートの圧入孔（φ130mm）を設置した。

表-1 に自己充填コンクリートの配合を示す。自己充填コンクリートは自己充填ランク 3 の条件（スランプフロー：600±50mm、U 形充填高さ・障害なし：300mm）を目標値とした。1 バッチ当たり 1.5m³ をプラントで練り混ぜ、1 台のアジテータ車に 2 バッチ分 3m³ を積み込んだ。実験ヤード到着後にスランプフロー試験および空気量測定等を実施してフレッシュ性状を確認した後に実験を実施した。

自己充填コンクリートは型枠に設けた圧入孔からコンクリートポンプ車で型枠内へ圧送した。透明型枠側からの目視により充填状況を確認するとともに、充填感知センサと圧力センサを壁状模擬型枠内に設置し、データロガーを用いてリアルタイムで計測を行った。充填感知センサは、電圧を印加させた 2 つの電極にコンクリートなどの導電体が到達した際の抵抗値の変化を感知して充填の判別を行う方式のものを用いた。高さ方向のセンサの間隔は 150mm とし、長さ方向に等間隔で 11 箇所設置した（図-2）。

また、自己充填コンクリートの充填状況を把握するため、RFID タグを用いてコンクリートの充填位置を確認した。アジテータ車からポンプ車ホoppaへ荷卸しを開始後、1～2 分の間隔で RFID タグをコンクリート中に投入し、コンクリート硬化後に RFID リーダにより読み取り、投入した時間と読み取り位置の関係からコンクリート充填位置の推定を行った。

壁状模擬型枠に打設したコンクリートが硬化した後に型枠を取り外し、約 8 週間後にそれぞれの試験体からコア供試体を採取し、供試体の密度、粗骨材量（供試体端面の

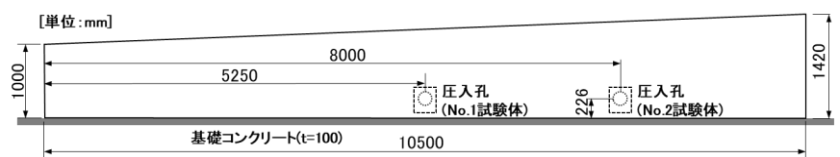


図-1 壁状模擬型枠概要図



写真-1 壁状模擬型枠外観

表-1 自己充填コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)					
			W	C	S1	S2	G	SP
41.6	48.7	4.5	170	409	576	257	904	6.95

C: 普通ポルトランドセメント(密度 3.15g/cm³)

S1: 山砂(茨城県行方市産, 表乾密度 2.58g/cm³)

S2: 砕砂(栃木県佐野市会沢産, 表乾密度 2.69g/cm³)

G: 砕石 2005(茨城県つくば市産, 表乾密度 2.69g/cm³)

SP: 高性能 AE 減水剤(ポリカルボン酸系化合物と増粘成分)

キーワード トンネル, 覆工, 自己充填コンクリート, 省力化, 充填, 圧入

連絡先 〒300-2658 茨城県つくば市諏訪 C30 街区 1 佐藤工業株式会社 技術センター 土木研究部 TEL.070-3291-1453

粗骨材面積率を画像解析より算出したもの²⁾、および圧縮強度からコンクリートの均質性を評価した。

3. 試験結果と考察

コンクリート吐出量は $18.0\text{m}^3/\text{h}$ で一定とし、それぞれの試験体の圧入孔から自己充填コンクリートを圧入した。型枠天端部までの完全な充填を試みたが、コンクリートが天端に到達した際に型枠に変状が確認されたため、充填完了前に圧送を停止した。

写真-2 にコンクリート圧入状況写真を、図-2 に No.1 試験体の圧入開始から 6 分後における自己充填コンクリートの充填状況（図の灰色領域）およびその時点での充填感知センサの感知した箇所（図の赤点）を示す。いずれの試験体においてもコンクリートは圧入孔から端部に向けて緩やかな勾配で充填され、図に示すようにコンクリートの充填位置と充填感知センサの感知箇所はおおむね一致することが確認された。



写真-2 コンクリート圧入状況

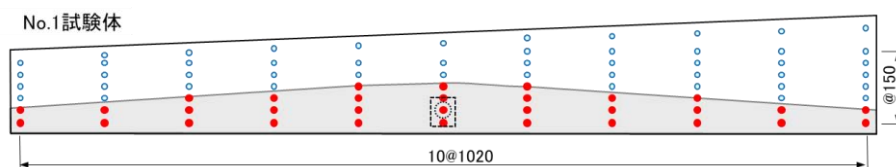


図-2 自己充填コンクリートの充填状況

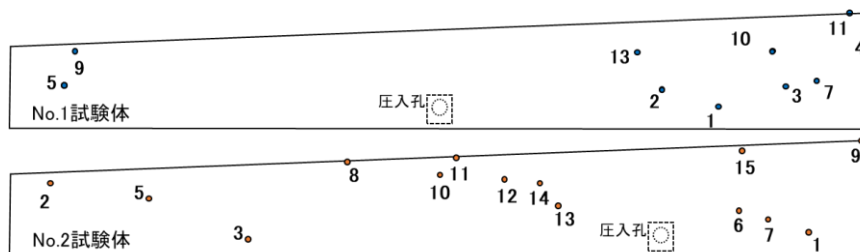


図-3 RFID タグ読み取り位置

図-3 にそれぞれの試験体における RFID タグを読み取った位置を示す。図中の番号はタグを入れた順番を示しており、先に投入したタグは底部あるいは端部付近に、後に投入したタグは天端部もしくは圧入孔付近で確認され、コンクリートの流動状況を推定できることが示唆された。

図-4 に圧入孔からの水平距離で表したコア供試体の密度、粗骨材量および圧縮強度の分布を示す。密度と粗骨材量は配合値に対する比とし、圧縮強度は平均値に対する比とした。密度および粗骨材量は、No.2 試験体の 6m より長い距離および型枠端部（図の破線部で示す箇所）では小さくなる傾向にあり、No.1 試験体においては型枠端部でやや小さくなったものの概ね配合値に近い値であった。また、圧縮強度は水平距離が大きくなるにつれ一様に減少する傾向にあった。

4. おわりに

今回の予備実験により、セントルを想定した型枠内に圧入された自己充填コンクリートの流動状況、均質性、充填感知センサの妥当性、および RFID タグによる充填位置把握の可能性が確認され、その後の実物大の施工実験に反映させることができた。

参考文献

- 1) 小山広光, 弘光太郎, 森賢宇, 宇野洋志城: 自己充填コンクリートを用いた覆工の自動化に関する研究 (その 1), 佐藤工業技術研究所報, No.45, p.34-40, 2020
- 2) 菊地達哉, 木ノ村幸士, 岸利治, 渡部正: コンクリートコアによる SCC 構造物内部品質の評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.1, p.601-606, 2000

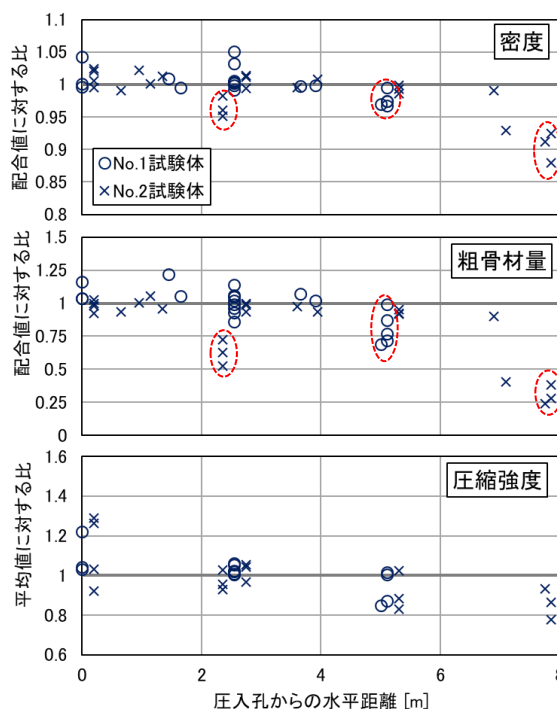


図-4 密度、粗骨材量および圧縮強度の分布