

トンネル覆工自動化施工方法に対するコンクリートの充填性評価に関する検討

千葉工業大学 学生会員 ○永島啓介 池田信義 花咲魁人 正会員 橋本紳一郎
佐藤工業 正会員 小山広光 弘光太郎 藤原正佑 小野知義

1. はじめに

現在、トンネル側壁部でのコンクリートの打込みはセントルの作業窓から投入する方法で施工している。この際に、狭隘な空間のため締固めが困難なこと、それらにより打込みによる余分な空気の巻き込みによる未充填箇所の発生などの施工不良が問題となっている。また、建設作業員の高齢化、熟練工不足の問題や、コンクリート構造物への要求品質向上といった背景から、近い将来にこれまでの施工方法を継続することが困難となることが予想される。

そこで、トンネル覆工自動化施工を目的とし、本研究では、実物大のセントルを用いてセントル下部から自己充填コンクリートを圧入する方法で、配管に設置した圧力計から圧送性及び型枠への充填性を確認するとともに充填完了の目安の把握を実験的に検討した。

2. 実験概要

使用材料は、普通ポルトランドセメント(密度 3.15g/cm^3)、S1:山砂(表乾密度 2.58g/cm^3)、S2:砕砂(表乾密度 2.69g/cm^3)、G:砕石(表乾密度 2.69g/cm^3)、SP:高性能 AE 減水剤(ポリカルボン酸系化合物と増粘成分)とした。表-1 に配合表を示す。配合は、既往の研究¹⁾で目標値を満足する性能を有していたため、本実験においても同様の配合とした。また、自己充填ランク 3 の条件(スランプフロー: $600\pm 50\text{mm}$ 、U形充填高さ: 障害なし: 300mm)を目標値とし、圧入時の管内圧力から、自己充填コンクリートの圧送性、充填性について評価した。写真-1 に覆工実物大実験装置設置状況、図-1 に配管図及び圧力計の設置位置を示す。内部に液圧対応のため補強したセントルを組み立て、型枠面の縦断方向中央部下端に自己充填コンクリートの圧入口を左右 1 箇所ずつ設置した。圧入は下端のみから行い、配管切り替え装置を低版部に設置した。

3. 実験結果及び考察

実験の結果、覆工コンクリートの容積 84m^3 の圧入に 3 時間 14 分を要した。図-2 に経過時間による平均管内圧力の推移を示す。従来の圧送と同様に、水平換算距離が大きくなるにつれて、平均管内圧力は低くなる結果

表-1 配合表

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



写真-1 覆工実物大実験装置設置状況

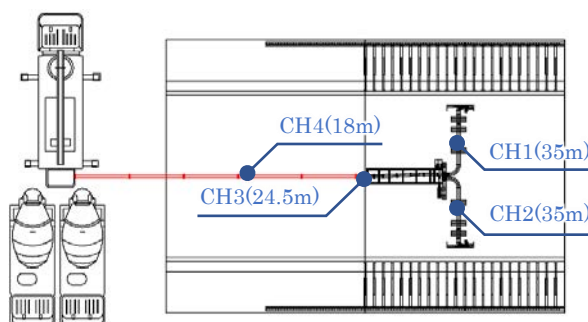


図-1 配管図及び圧力計の設置位置

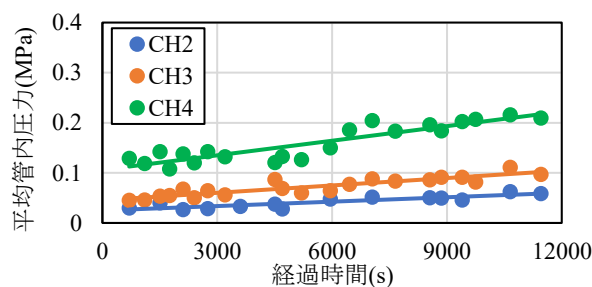


図-2 経過時間による平均管内圧力の推移

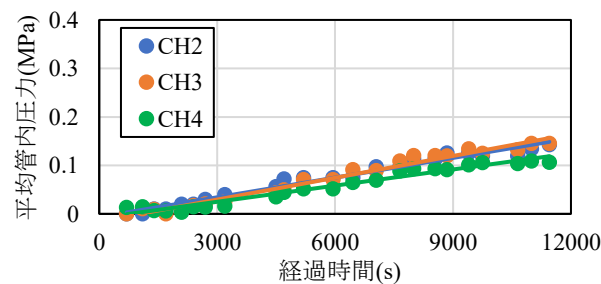


図-3 経過時間によるコンクリートの自重圧の推移

となった。一方で、全ての CH において時間経過とともに平均管内圧力の値は徐々に上昇していく傾向がみられた。これはコンクリートを圧送する力と型枠に圧入されたコンクリートの自重の影響を受け、管内圧力が徐々に上昇したと考えられる。本研究では、このコンクリートの自重の影響をコンクリートの自重圧（以降、自重圧）と考え、コンクリートを圧送する力が発生しないピストン未稼働時（左右の配管の切り替えの際に生じる）の管内圧力を自重圧とした。図-3 に経過時間によるコンクリートの自重圧の推移を示す。コンクリートが圧入されるにつれて平均管内圧力は徐々に上昇し、すべての CH で同程度の圧力推移が確認できたことから、自重圧と考えるのが妥当である。

次に、計測で得られた管内圧力を自重圧補正無、計測で得られた管内圧力から自重圧を減じた圧力を自重圧補正有として比較した。図-5 に充填完了直前の平均管内圧力の値を 1 としたときの最大管内圧力の変化率を示す。自重圧補正無よりも補正有の方が変化率はやや大きかった。加えて、自重圧補正有の変化率は最も低い値でも 1.65 倍を示し、双方を比べると自重圧補正有の方が判定しやすい結果となった。しかし、この結果は、充填完了直前の平均管内圧力と充填完了時の最大管内圧力の値を比較しており、施工時において、充填が完了する直前の管内圧力の値を得ることは現時点では不可能である。

そこで、施工時にも適用できるような、圧入初期の平均管内圧力を 1 としたときの最大管内圧力の変化率を図-6 に示す。自重圧補正有の変化率よりも、補正無の変化率の方が全ての CH において大きく、中でも、CH2（圧入口側）の補正無の変化率は 8.23 倍であった。CH2（圧入口側）において、充填完了直前の値を 1 としたときの最大管内圧力の変化率と比べても、著しく大きな変化率になっていることが確認できる。よって、圧入初期の値を 1 としたときの最大管内圧力の変化率（自重圧補正無）から充填完了を確認する目安の判断ができると考えられる。また、これらの充填性評価により脱枠したトンネル覆工コンクリートは、充填不良や表面気泡も見られず、良好な出来映えであった。

4. まとめ

本検討より、管内圧力を計測することで、充填完了の目安の確認が可能であることが示唆された。中でも、自重圧を考慮せずに圧入初期を 1 とした時の平均管内圧力の値の変化率を計測することが充填完了の目安の判断として有効であり、今後の実験も重ね、最適な充填完了の閾値の検討を行っていく。

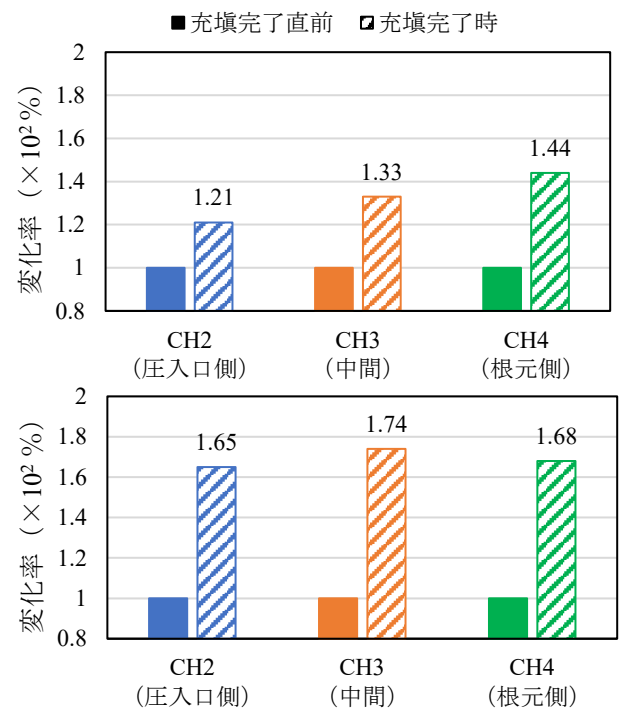


図-5 充填完了直前の値を 1 としたときの最大管内圧力の変化率

(上：自重圧補正無，下：自重圧補正有)

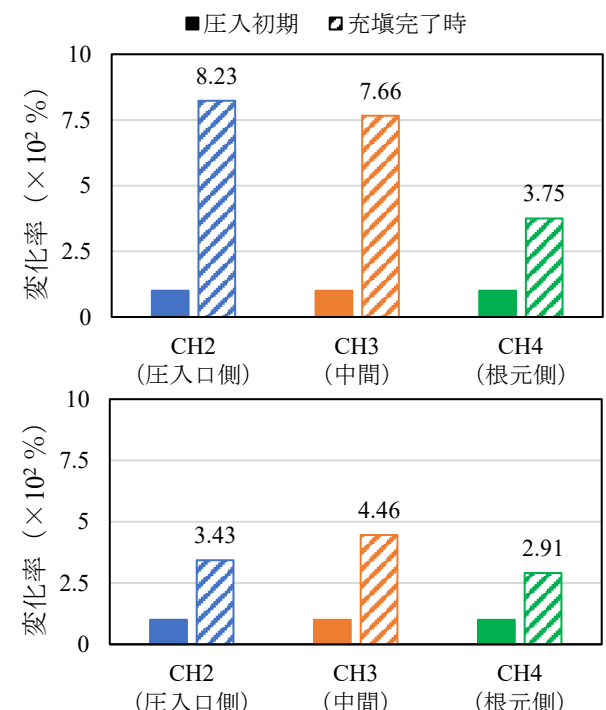


図-6 圧入初期の値を 1 としたときの最大管内圧力の変化率

(上：自重圧補正無，下：自重圧補正有)

5. 参考文献

- 1) 小山広光, 弘光太郎, 藤原正佑, 小野知義, 宇野洋志, 橋本紳一郎: 「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 2) 壁状型枠を用いた圧入実験」, 佐藤工業技術研究所報 No.46 2021