

トンネル覆工コンクリートに生じる表面気泡のシート材による低減効果

山口大学大学院
中電技術コンサルタント(株)(元山口大学大学院)
五洋建設株式会社
山口大学大学院

学生会員
正会員
正会員
正会員

○原田 沙里
平野 正幸
前田 智之
吉武 勇

1. はじめに

トンネルの覆工コンクリートは、所要の強度、水密性、耐久性などの設計基準を満たすことは無論のこと、覆工コンクリートの仕上がりの表面品質(美観性)も重要な要素のひとつである。また、既往の研究¹⁾において、覆工コンクリートの見映え(美観性)は耐久性に次いで重要視されていることが明らかとなっている。また覆工コンクリートの見映えに影響を及ぼす表面欠陥のうち、表面気泡の発生は特に問題視されている。そこで本研究では、トンネル覆工コンクリート側壁部に生じる表面気泡の除去・低減を最終目標とし、その基礎的実験としてセントル(覆工コンクリート型枠)の一部を模擬した型枠に透明アクリル板を使用し、表面気泡の発生機構の観察を行った。続いて、型枠被覆材としてシート材(2種類)を用いて、表面気泡の低減効果を調べた。さらに、型枠被覆背面の形状が表面気泡量に及ぼす影響を調査した。なお表面気泡の定量化には、本研究で開発した表面品質自動判定システムを使用した。

2. 実験概要

(1) コンクリートの配合および使用材料

本研究で作製したコンクリート配合を表-1に、また使用材料を表-2に示す。また、粗骨材の質量混合比を $G_1 : G_2 : G_3 = 4 : 3 : 3$ となるような配合とした。

(2) 実験装置

本実験で使用した型枠の正面図と側面図を図-1に示す。この型枠はセントル(トンネル覆工コンクリート型枠)の側壁部を模擬したもので、負勾配である側壁部を再現するため、傾斜角度を $0^\circ \cdot 15^\circ \cdot 30^\circ \cdot 45^\circ$ に固定できる可傾式となっている。本実験では、既往の研究²⁾により得られた、表面気泡が著しく増加する型枠の傾斜角度 30° で実験を行なった。材質は実際のセントルに使用する鋼板を基準とし、評価対象面のみ実験の目的に応じて材質や型枠性状、型枠被覆の種類を変化させた。型枠素材・形状を図-2に示す。

表-1 コンクリート配合

配合	w/cm	単位量 (kg/m ³)							
		W	C	S	G ₁	G ₂	G ₃	WRA	AE
A	0.59	165	280	726	455	342	342	0.42~3.36	0~0.084
B	0.59	165	280	726	454	341	341	2.24	-

表-2 コンクリート材料

材料	記号	物理的性質など
セメント	C	高炉セメント B 種 密度 3.04g/cm ³
細骨材	S	福岡県玄界灘長間礁沖産海砂 表乾密度 2.60g/cm ³
粗骨材	G ₁	山口市宮野産砂岩碎石, 最大粗骨材寸法 40mm 表乾密度 A 配合 : 2.72g/cm ³ B 配合 : 2.70 g/cm ³
	G ₂	山口市宮野産砂岩碎石, 最大粗骨材寸法 20mm 表乾密度 A 配合 : 2.73g/cm ³ B 配合 : 2.72 g/cm ³
	G ₃	山口市宮野産砂岩碎石, 最大粗骨材寸法 15mm, 表乾密度 2.70g/cm ³
混和剤	WRA	AE 減水剤標準形 (リグニンスルホン酸塩系化合物)
	AE	高級脂肪酸系 AE 剤



図-1 可傾式型枠

キーワード トンネル覆工コンクリート, 表面気泡, 被覆材

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院理工学研究科 TEL0836-85-9306

(3) 表面気泡発生機構の調査実験

表面気泡の低減対策を検討する上で、その発生機構の観察は重要である。そこで本実験では、評価対象面の型枠にアクリル製の透明型枠（図-2）を用いて、コンクリートの打込み～振動締固め～打込み完了までの一連の過程における表面気泡の発生機構および移動挙動の観察実験を行なった。

(4) シート材の型枠被覆による表面気泡低減実験

ここでは、表面気泡発生機構の調査実験の結果を踏まえ、シート材を用いた表面気泡低減実験を行った。型枠被覆材および被覆材背面の型枠形状（図-2）をパラメータとした供試体を7体作製し、表面気泡の低減効果を検討した。使用した被覆材を図-3に示す。余剰水および気体を排出可能な透水シート（PS）と、気体のみを排出可能な透湿防水シート（BS）の2種類を使用した。

3. 実験結果および考察

(1) 表面気泡発生機構の調査実験

振動締固め過程において、表面気泡はコンクリート上部に排出される一方で、新たな気泡がコンクリート内部から評価対象面上に連続的に出現した。このため、比較的長時間（420秒間）の振動締固めを行ったものの、表面気泡を完全に除去することは不可能であった。また、発生する表面気泡は、巻き込み空気由来の空気あばたであることが判明した。

(2) シート材の型枠被覆による表面気泡低減実験

表面気泡面積率と気泡径別の表面気泡発生個数をそれぞれ図-4、図-5に示す。型枠被覆なし、透湿防水シート（BS）、透水シート（PS）の順で大きな表面気泡面積率を示した（図-4）。また図-5によると透湿防水シートよりも透水シートの方が、表面気泡の低減効果が大きいことがわかる。しかしながら、透水シート（PS）を使用した供試体表面には、余剰水の過度な排水に起因する色むらが発生した。

4. 結論

- (1) 表面気泡は振動締固め過程で上方へ排出されるが、巻き込み空気由来の気泡が内部から連続的に発生し、長時間の振動締固めでも除去することはできない。
- (2) 評価対象面側の型枠を透水シートおよび透湿防水シートで被覆した場合、両シートとも表面気泡の低減効果が認められ、特に透水シートの方が優れた低減効果を示した。ただし透水シートを使用したコンクリート表面には色むらが発生するため、美観性の観点から注意が必要である。

参考文献

- 1) 掛樋雅人，平岡照規，稲川雪久，小牟禮宏樹，吉武 勇：AHPを用いたアンケートによるトンネル覆工コンクリートの美観性調査，土木学会第67回年次学術講演会，VI-013，pp.25-26，2012。
- 2) 平野正幸，吉武 勇，平岡照規，稲川雪久：トンネル覆工コンクリートの側壁に生じる表面気泡量の評価に関する基礎研究，セメント・コンクリート論文集，2013，No.67，pp.252-257，2014。

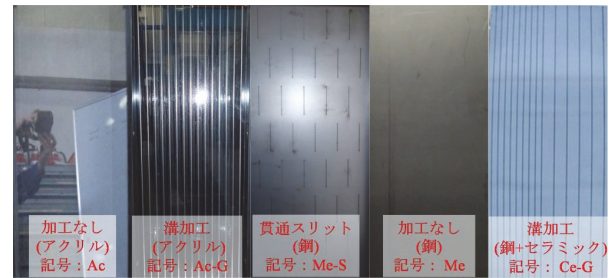


図-2 使用した型枠

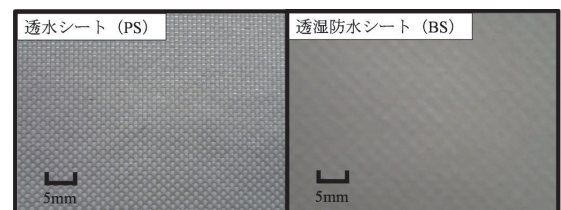


図-3 使用したシートの拡大写真

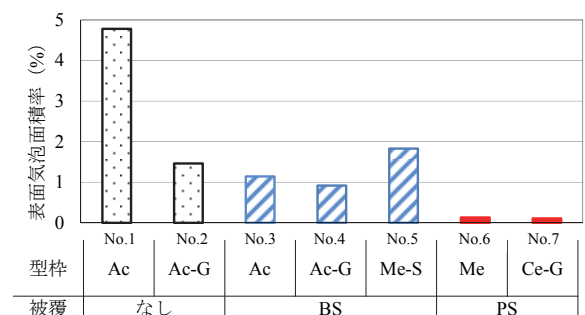


図-4 表面気泡面積率

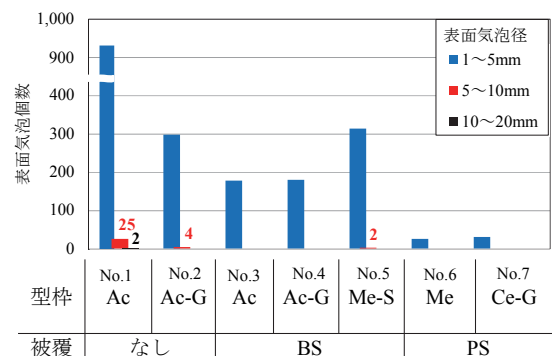


図-5 気泡径別の表面気泡発生個数