

トンネル覆工コンクリートの側壁に生じる表面気泡の定量化

山口大学大学院 学生会員○平野正幸 山口大学大学院 正会員 吉武 勇
岐阜工業株式会社 正会員 平岡照規 岐阜工業株式会社 正会員 掛樋雅人
岐阜工業株式会社 棚瀬富弘 岐阜工業株式会社 正会員 稲川雪久

1. はじめに

近年、より良い品質の覆工コンクリートを実現するため、設計・施工などの改良が求められる。トンネルの最終的な評価は、設計基準を満足することはもちろんであるが、覆工コンクリートの仕上りの表面品質（美観性）も重要な要素のひとつである。しかしながら、覆工コンクリートの側壁部では、打設されるコンクリートの角度の影響により、表面気泡の発生数が多く、かつ点検通路の目線位置に生じやすいため、美観性の評価に与える影響が大きい。これまで一般的なコンクリート構造物を対象とした表面気泡の減少に関する研究は行われているが、覆工コンクリートを対象とした研究例はほとんどみられない。表面気泡の発生量は、コンクリートの角度の違いによる、巻込み空気量の差異およびエントラップトエアの抜け方の相違など、不明な点も多い。そこで本研究では、覆工コンクリートに生じる表面気泡を低減させることを目的とし、その第一段階として表面気泡の定量評価法を検討するとともに、型枠素材およびコンクリートの打設角度と表面気泡発生量の関係性を、覆工型枠における側壁部の一部を模擬した型枠を用いて実験を試みた。

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表を表 - 1 に、またその使用材料を表 - 2 に示す。細骨材と粗骨材の質量混合比はそれぞれ、 $S_1 : S_2 = 1 : 1$ および $G_1 : G_2 : G_3 = 4 : 3 : 3$ となるように配合した。

(2) 使用型枠およびパラメータ

使用した型枠を図 - 1 に示す。型枠の素材には実際にセントル(覆工型枠)に使用される材料を用いた。この型枠は、鉛直状態から 0° 、 15° 、 30° 、 45° に傾けることが可能である。また評価対象面となる部分の型枠素材には鋼とセラミック塗装(断面図を図 - 2 に示す)の2種類を用意し、型枠角度と型枠素材をパラメータとした。750×300×300mm の角柱供試体7体を作製し、画像解析法により表面気泡を定量評価した。

3. 表面気泡の評価方法

本研究では、圧力測定フィルムを用いて表面気泡を写し取った。使用した圧力測定フィルムは、A4

表 - 1 配合表

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
		W	C	S	G	WRA
59	40	165	280	731	1135	2.80

表 - 2 使用材料

種類	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 ₁	福岡県玄界灘長間礁沖産海砂 表乾密度 2.60g/cm ³
	S ₂	福岡県玄界灘長間礁沖産海砂 表乾密度 2.64g/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 2.70g/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 2.72g/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	減水剤標準形



図 - 1 使用型枠



図 - 2 セラミックコート断面



図 - 3 圧力測定フィルムのモノクロ化

サイズの2シートタイプのものである。これは、発色剤のカプセルが塗布された A フィルムと顕色剤が塗布された C フィルムで構成されている。まずコンクリートの評価対象面に C フィルム、A フィルムの順で粘着テープを用いて貼り付け、その上から金属製のハンドローラを用いて圧力を加えることで、C フィルムに表面気泡を写し取った。この変色した C フィルムをスキャナにより画像データに変換し、トリミングした画像を、上記同様に VBA プログラムを作成してモノクロ化した。この画像を図 - 3 に例示する。そして表面気泡部分のドット数をトリミング画像の全ドット数で除すことで、評価対象面の表面気泡面積率を算出した。また、前述したモノクロ化画像を CSV ファイルに変換し、Excel で読み込むことで画像データ中の数値化した色情報を各セルにドット単位で代入した。そして各表面気泡部分のセルの値を表面気泡ごとの固有の値に変換し、表面気泡の個数および面積を求めた。

4. 結果と考察

各型枠素材における表面気泡面積率と型枠角度の関係を図 - 4 に示す。また、図 - 4 に示す結果について回帰した表面気泡面積率の回帰曲線を図 - 5 に示す。図 - 4 より、型枠材料が鋼、セラミック塗装の両ケースにおいて、角度 $0^{\circ} \sim 45^{\circ}$ の範囲内で、角度の増加にともない表面気泡面積率は増加することが確認できた。また、 $0^{\circ} \sim 15^{\circ}$ の範囲内では、型枠材料が鋼の方が表面気泡は発生しにくく、およそ 15° を超えるとセラミック塗装の方が表面気泡は発生しにくい。

各型枠素材における各サイズの表面気泡数と型枠角度の関係を図 - 6 に示す。現場では直径 10mm 以上の表面気泡（円換算面積が 78.5mm^2 以上）を重要視することがあり、この大きさの表面気泡が発生する最小の型枠角度は、セラミック塗装型枠（FC）が $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 、鋼型枠（FS）が $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ であった。また、セラミック塗装の場合では 150mm^2 以上の表面気泡が発生しておらず、この結果からも $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ の範囲ではセラミック塗装が表面気泡の低減に効果的であった。

5. 結論

- (1) $0^{\circ} \sim 15^{\circ}$ の範囲内では、鋼型枠の方が表面気泡は発生しにくく、 15° 以上ではセラミック塗装型枠の方が表面気泡は発生しにくい。
- (2) 本研究の実験によると、直径 10mm 以上の表面気泡が発生する最小の型枠角度は、セラミック塗装型枠が $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 、鋼型枠が $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ であった。

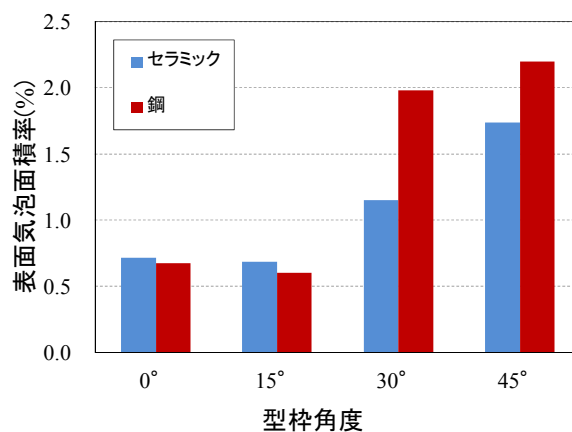


図 - 4 表面気泡面積率－型枠角度の関係

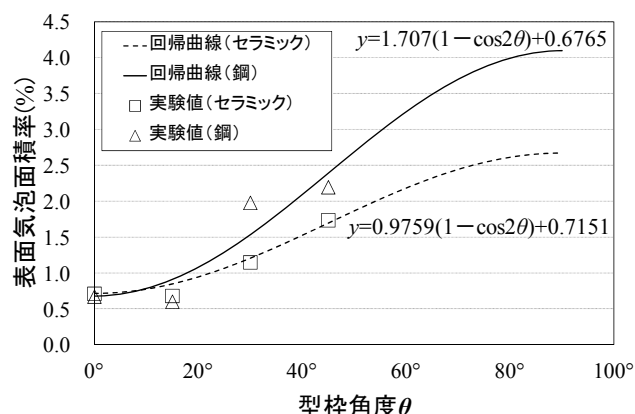


図 - 5 表面気泡面積率の回帰曲線

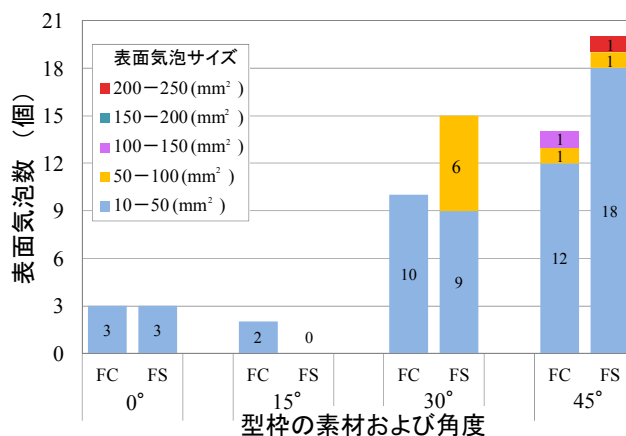


図 - 6 各サイズ（ 10mm^2 以上）の表面気泡数－型枠角度の関係