

表面気泡を有するトンネル覆工コンクリートの融雪剤による表層劣化

山口大学大学院 学生会員 ○Huang Huatao  
 山口大学大学院 Hu Liangjun  
 五洋建設株式会社 正会員 前田 智之  
 山口大学大学院 正会員 吉武 勇

1. はじめに

トンネル覆工コンクリートの側壁部は負の勾配を有し、表面気泡が発生しやすい。この表面気泡は、コンクリートの美観性だけでなく耐久性にも悪影響を与えると考えられる。例えば冬季の道路では融雪剤（主成分：塩化カルシウム）が散布されるため、走行車両によって巻き上げられた塩化カルシウムがトンネル覆工コンクリート側壁部に付着し、特に表面気泡を中心に塩化物イオンが浸透することでスケーリング劣化が促進される可能性もある。そこで本研究では、凍結融解の温度環境下において、コンクリート表面に塩化カルシウム水溶液を散布することで、その劣化過程におよぼす表面気泡の影響を調べた。

2. 実験方法

表-1 コンクリート配合

(1) 実験供試体

既往の研究<sup>1)</sup>において、トンネル覆工コンクリートの表面気泡の発生特性を調べるため作製されたコンクリートブロック（幅 300mm×奥行 300mm×高さ 750mm）計 6 体を用いた。配合条件を表-1 に示す。

No.	air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							
				W	C	S	G1505	G2010	G4020	WRA	
1	5.0	59	48.8	163	277	901	394	590	-	2.77	
2	5.5	59	48.7	172	292	880	387	581	-	-	
3	-	59	40	165	280	726	342	342	455	2.8	
4	3.8	59	40	165	280	726	342	342	455	2.8	
5	2.8	59	40	165	280	726	342	342	455	2.8	
6	3.9	59	40	165	280	726	342	342	455	2.8	

(2) 実験方法

これらの供試体を大型冷凍庫内に静置し、-15°Cで16時間、常温で8時間を1サイクルとして凍結融解試験を行った。なお、すべての供試体において両側面をプラスチックシートで被覆し、各サイクルでコンクリート表面に塩化物濃度 10%の塩化カルシウム水溶液（40g/m<sup>2</sup>）を噴霧した。さらに定期的にコンクリート表面を撮影し、既報<sup>2)</sup>の表面気泡判定ソフトウェアを用いて画像解析を行い、表面気泡面積率の変化を求めた。300サイクル終了後には、コンクリート供試体の中心から下方の100mm×300mm部分を切削し、硝酸銀溶液（0.1mol/L）を用いて塩化物浸透深さを調べた。

3. 実験結果および考察

0, 61, 100, 150, 200, 300サイクル終了後、撮影した画像を用いて画像解析を行うとともにコンクリート表面を切削し、塩化物浸透深さを観察した。画像解析により得られた結果を図-1 に、切削後の観察により得られた結果を図-2 に示す。300サイクル終了後において、表面気泡を有するコンクリートは凍結融解および塩化物イオンの作用による表面気泡面積率の明確な変化がみられた。凍結融解サイクル過程において、以下に示す(1)~(3)の劣化状況が観察された。

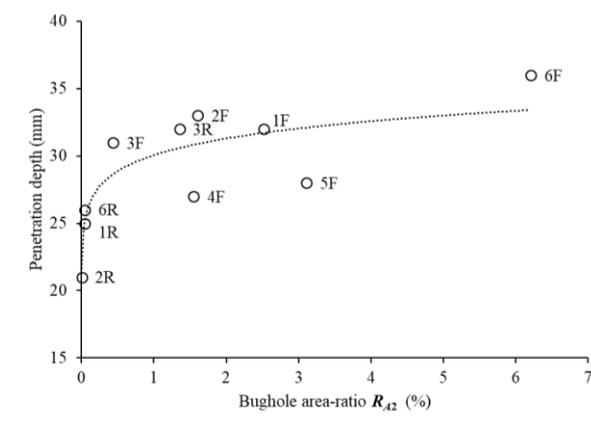
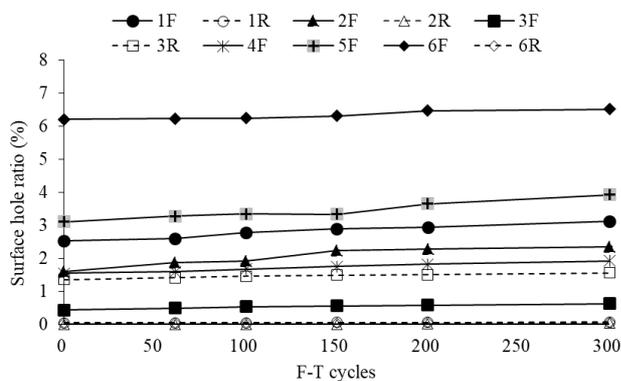
- (1)凍結融解作用によるコンクリート角部の剥離（図-3 参照）；
- (2) 気泡間のコンクリート部の凍結損傷作用による気泡の一体化（図-4 参照）；
- (3) 気泡端部に残存した水の凍結に伴う気泡面積の拡大（図-4 参照）。

トンネル覆工コンクリートの側壁部は負の勾配を有するため、表面気泡が発生しやすいが、表層部分にある気泡でもモルタル層に被覆され、目視では観察されない表面気泡が存在する。このような微小な気泡の表層が凍結融解作用下で徐々に剥離し、表面気泡が形成される様子が観察された（図-5 参照）。また、脱型後に表面気泡とコンクリートの間には挟角が生じることがあり、その中でも鋭角部は凍結融解条件下において、スケーリングも生じやすいものと考えられる。300サイクル終了後の異なるサイクルの表面を比較すると、3R表面の1つの気泡面

キーワード 表面気泡, トンネル覆工コンクリート, 凍結融解試験

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部社会建設工学科 TEL0836-85-9306

積が初期の面積の 3 倍にまで拡大した (図-6 参照), また初期面積率が 0.1 %以下の表面は、表面気泡が 0.015%~0.046%, 初期面積率が 0.1 %以上の表面は表面気泡が 0.181%~0.685%増加した. 気泡の初期面積率が高い表面ほど, 300 サイクル終了後の表面気泡面積率の変化量は大きい. 300 サイクルにおいて, コンクリート表面を切削し観察を行った結果, 初期の表面気泡面積率が 0.045%以下のコンクリート表面の平均浸透深さが 24.0mm, 0.045%以上の表面の平均浸透深さが 31.2mm であった. 塩化物が表面気泡に残存しやすいため, 初期の表面気泡面積率が 0.045%以上のコンクリートでは, 塩化物浸透深さが平均 7.2mm に達した.



※F-供試体の正面, R-供試体の背面

図-1 各サイクルにおける画像解析結果

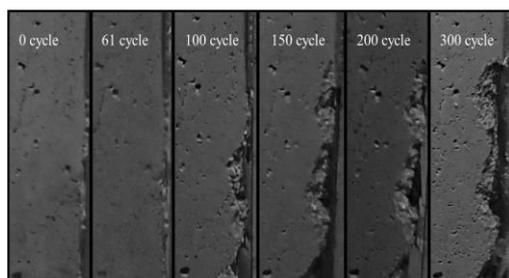


図-3 コンクリート右下角部の劣化

図-2 塩化物浸透深さ

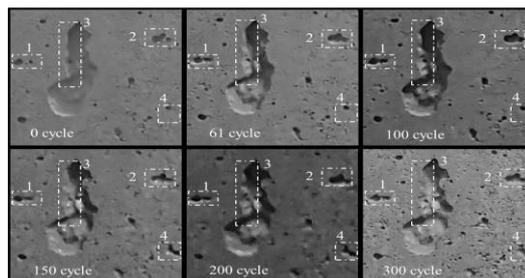


図-4 気泡部の一体化および拡大

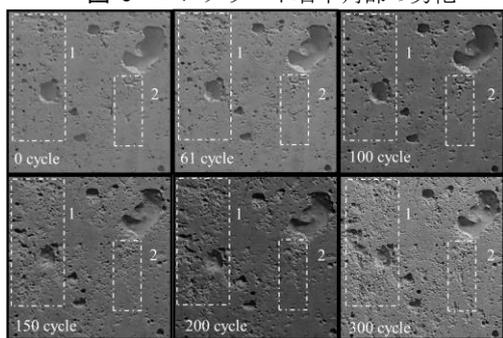


図-5 表層コンクリートの剥離による気泡の形成

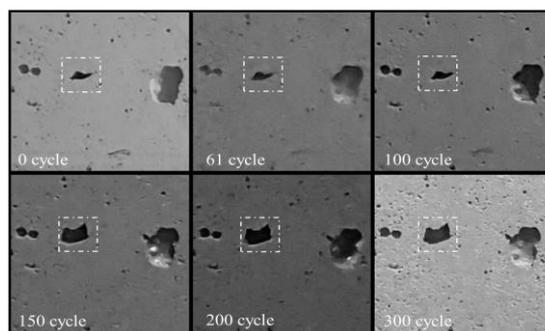


図-6 気泡拡大過程

#### 4. まとめ

- (1) 凍結融解サイクルに応じて表面気泡の端部から微小なスケリングが進行し, 表面気泡が拡大する.
- (2) 初期の表面気泡面積率が 0.045%より大きいコンクリートでは, 凍結融解 300 サイクル後, 塩化物浸透深さが平均 7.2mm に上昇した.

#### 参考文献

- 1) 前田智之: 山岳トンネル覆工コンクリートの表面気泡の定量評価と低減方法, 山口大学博士論文, 2017.
- 2) Yoshitake I. et al.: Image analysis for the detection and quantification of concrete bugholes in a tunnel lining, *Case Studies in Construction Materials*, pp.116-130, 2018.