# 論文 空気圧入法によるポーラスコンクリート表層部の目詰まり評価

白川 裕太\*1・川崎 佑磨\*2・中島 康成\*3・山田 茂\*4

要旨:本論文では,新しく考案した空気圧入法により表層部の目詰まりを評価する際の空気圧入測定機器の 設定に関する基礎的検討や人為的目詰まりの評価を行った。その結果,吸引部の開口割合は小さい方が望ま しいことが確認できた。また,測定位置の周囲 35mm における遮蔽物の有無による反射風速の平均誤差は 0.04m/sと,相対的に小さい値となり,遮蔽物の影響が小さいことが確認できた。さらに,供試体の空隙率が 高いほど,目詰まりしている砂の質量を増加させれば,得られる反射風速の値が大きくなる傾向が確認でき た。

キーワード:吸引部開口割合,空気圧入法,空隙率,反射風速,ポーラスコンクリート,目詰まり

#### 1. はじめに

ポーラスコンクリートは,連続,独立した空隙を多数 含むことから、高い透水性を持つ。そのため、透水コン クリートとして,舗装,水質浄化,緑化などに使用され ており、今後さらに幅広い範囲での利用が期待されるエ コマテリアルの一つである。しかし、ポーラスコンクリ ートの普及に向けて、解決すべき課題も多くある。その 1 つとして、ポーラスコンクリートは、施工後、長期間 利用されることによって,様々な外的要因から,砂塵, 砂利, 植生, などがポーラスコンクリート中の空隙に入 り込み、目詰まりが生じることがある。ポーラスコンク リートの重要な性能の一つである透水性は、内部の連続 する空隙によって保証されている <sup>1)</sup> ため, 目詰まりは, 連続する空隙を塞ぎ、透水性を低下させる原因となる。 そのため、施工後の透水性を管理することが重要であり、 そのために定量的に把握できる現場試験法の確立が不可 欠である。

上述の背景から、「性能設計対応型ポーラスコンクリートの施工標準と品質保証体制の確立研究委員会」では、 円柱供試体を用いた定水位透水試験に基づいた「ポーラ スコンクリートの透水試験方法(案)」<sup>2)</sup>が提案されてい る。現場でこの試験を行うためには、供試体からコアを 採取する必要がある。しかし、コア抜きによって構造体 を破壊してしまう点、舗装などの薄肉部材では空隙率測 定をするために十分な供試体高さが得られない点などの 問題点がある。

筆者らは、ポーラスコンクリートの空隙率によって透 水性が変動することに着目し、既往の研究において、主 に土質分野で利用されている RI 法によってポーラスコ ンクリートの空隙率を非破壊および微破壊で評価できる か検討した。その結果、RI 法を用いて算出された空隙率 は、実測空隙率と同等の結果となり、RI 法による空隙率 推定の有効性が示された<sup>3),4)</sup>。しかし、測定装置が高価 である点、高精度な空隙率推定を行う場合は構造体に直 径 10mm 程度の孔を開けなければならないなどの課題も あった。

そこで筆者らは、ポーラスコンクリートに空気を圧入 して跳ね返った空気を評価する空気圧入法を考えた。空 気圧入法により、透水性を低下させる要因となるポーラ スコンクリート表層部の目詰まりを完全非破壊で評価す ることが可能である。この手法を用いることで、RI法よ りも安価かつ簡易的に、目詰まりの有無や目詰まりが生 じている位置を特定し、より効率的な維持管理作業が可 能になると考えられる。

そこで本研究では、空気圧入法を用いたポーラスコン クリートの目詰まり評価の確立に向けて基礎的な検討を 行った。圧入空気量の大小が測定結果にもたらす影響の 検討、周囲に拡散する空気を考慮し、空気を遮蔽する物 体の存在が測定結果に及ぼす影響について検討を行った。 さらに、ポーラスコンクリートに、砂による人為的な目 詰まりを起こし、目詰まり程度を評価できるか検討した。

#### 2. 空気圧入装置について

空気圧入装置は、図-1 に示すように、空気の吸引部 を伴った本体、圧入部、そしてそれらを繋げるホースか ら構成されている。本体の寸法は、500mm×400mm× 370mm、重量は26.7kg、圧入部の面積は210mm×190mm である。写真-1 に示すように、圧入部には、プロペラ 付きの風速測定器を取り付けた。風速測定器は、Bluetooth でスマートフォンと連動し、専用アプリをダウンロード することで、リアルタイムの風速が計測可能である。ま た、1 秒ごとの風速をデータとして記録することも可能

\*1 立命館大学 理工学研究科環境都市工学専攻 (学生会員) \*2 立命館大学 理工学部環境都市工学科准教授 博(工) (正会員) \*3 北海道ポラコン株式会社 代表取締役社長 \*4 北海道ポラコン株式会社 顧問 である。圧入する空気の量は,吸引部に付属している円 形の蓋を開閉して吸引部の開口割合を変動させることで 調節可能である。測定原理は,まず,吸引部からホース を通じてきた空気を圧入部から供試体に圧入する。そし て,供試体から圧入部に反射した空気を,圧入部に取り 付けた風速測定器が計測する。計測された風速から,ポ ーラスコンクリート表層部の状態を評価する。すなわち, 反射する空気量が多いと計測される風速が速くなるため, 空隙率が低いほど,また表層部の目詰まり量が多いほど, 反射する空気量が多くなると考えられる。

### 3. 実験概要

#### 3.1 供試体概要

使用材料を表-1に示す。5号砕石,7号砕石ともに,表 -2に示す配合で,直径 600mm×高さ 100mm,直径



### 図-1 空気圧入装置概略図



写真-1 空気圧入部と風速計測器

₩/₽· <b>*</b> *	5 号砕石	7 号砕石			
	大阪高槻産	和歌山橋本産			
	粒径:13.0~	粒径:2.5~			
아이터 고마	20.0mm	5.0mm			
	表乾密度:	表乾密度:			
	2.69g/cm <sup>3</sup>	2.73g/cm <sup>3</sup>			
セメント	普通ポルトランドセメント				
	密度: 3.15g/cm <sup>3</sup>				
混和剤	高性能 AE 減水剤				
	密度:1.07g/cm <sup>3</sup>				

表-1 使用材料

300mm×高さ 50mm の円盤供試体をそれぞれ作製した。 供試体作製は、ペースト先練りとし、セメントおよび水 を 100L ミキサーに投入して 180 秒間練り混ぜた後、骨 材を投入してさらに 90 秒間練り混ぜた。突き棒を用いて 3 層に分けて突き固めを行い、各層の表面はコテで押さ えて平らに仕上げ、その後は型枠を取り付けたまま、気 中養生を行った。

### 3.2 検討項目ごとの測定方法

### 3.2.1 表層部を評価するための圧入空気量の検討

本検討では、表層部の状態に適正な吸引部開口割合を検 討するために、表層部の粗密に差が生じやすいとされる 7 号砕石を使用したポーラスコンクリートで、設計空隙 率15%、20%の直径 600mm×高さ 100mmの円盤供試体 を使用した。表-3 に示すように、空気圧入測定を行う 吸引部の開口割合を 1/8 刻みの 8 通りとした。写真-2 に示すように、吸引部のふちに開口割合ごとに蓋を合わ せるための印をつけて開口割合を調節した。また、供試 体表面は人力でコテ仕上げをしているため、位置によっ て表層部の粗密にばらつきが生じる。そのため、図-2 に示すように、1 つの供試体ごとに測定位置を 4 か所と してそれぞれの反射風速を測定した。空気圧入測定は、 型枠を取り付けた状態で行った。なお、空気圧入測定は 気乾状態で行った。

### 3.2.2 周囲の遮蔽物が測定結果に及ぼす影響の検討

本検討では、5 号砕石において設計空隙率 25%、30%、 7 号砕石において設計空隙率 15%、20%の直径 600mm× 高さ 100mm の円盤供試体を使用した。まず、型枠を取 り付けた状態で、前節の実験と同様、図-2 に示すよう に、4 つの位置で空気圧入測定を行なった。各測定位置 の辺から型枠までの直線最短距離は 35mm である。その 後、型枠を脱型し、同様の位置で再び空気圧入測定を行 ない、両者の結果を比較することで、空気圧入法におい て、周囲の壁の存在の影響を確認した。

### 3.2.3 人為目詰まりによる影響の検討

本検討では、5号砕石、7号砕石ともに、表-2に示す 全配合において、直径300mm×高さ10mmの円盤供試体 を使用した。供試体を前項までより小さい寸法とした理

表一2 配合表

骨材	設計空隙率		単位量(kg/m³)				
	(%)	W/C(%)	W	С	G	Ad	
5 号 砕石	25		76	304	1552	2.43	
	27		69	276	1544	2.20	
	30	25	57	228	1537	1.82	
7 号 砕石	15	23	128	512	1528	4.10	
	20		112	448	1491	3.58	
	25		90	360	1491	2.88	

### 表-3 吸引部開口割合ごとの面積

開口割合	吸引部面積 (mm <sup>2</sup> )				
1/8	1633.7				
1/4	3267.5				
3/8	4901.2				
1/2	6534.9				
5/8	8168.6				
3/4	9802.4				
7/8	11436.1				
全開	13069.8				



写真-2 開口割合の印



図-2 測定位置

由は、砂を満遍なく目詰まりさせやすいためである。ま ず、供試体に人為目詰まりを起こす前に空気圧入法によ る測定を実施し、そのデータを初期値とした。その後、5 号砕石供試体には 1.2mm ふるいを通過した砂、0.6mm ふ るいを通過した砂をそれぞれ 100.0g ずつ、計 200.0g、7 号砕石供試体には 0.6mm ふるいを通過した砂 100g を供 試体表面に満遍なく投下した。骨材径ごとに投下する砂 の粒径、量を変えた理由は、骨材径が大きいほど空隙径 も大きくなり、空隙に目詰まりしやすい砂の粒径が異な るためである。さらに、雨によって物質が空隙に流れ込 む現場での目詰まりケースを模擬するために、供試体に 水をかけて砂を流し込んだ。その後、2 回目の空気圧入 測定を実施した。さらに、同様の量の砂を追加投下し、 供試体に目詰まりさせ、3 回目の空気圧入測定を実施し た。

また,砂を水で流し込んだ際に供試体底面または側面 から落ちる砂を計量することで,実際に供試体に目詰ま りしている砂の量を確認した。ならびに,空気圧入測定 時に,供試体底面から落ちる砂の量を計量することで空 気圧入法によって目詰まり物質を内部へ押し込む影響を 確認した。空気圧入測定の測定位置は,供試体中央部と した。

### 4 実験結果

# 4.1 表層部を評価するための圧入空気量の検討

### 4.1.1 測定時間の決定

図-3 に、設計空隙率 15%, 20%の供試体において、 吸引部開口割合ごとに、空気圧入開始から1秒ごとの反 射風速を示す。なお、それぞれの全空隙率は、15.4%、 20.0%と、設計空隙率との差は極小であったため、図中 の空隙率は設計空隙率として記載した。反射風速は4か 所の測定位置の平均とする。図-3より、いずれの設計 空隙率,吸引部開口割合においても,空気圧入開始から 5秒間,または6秒間は,反射風速は上昇し続け,以降, 反射風速は安定した。これは、空気圧入装置が起動して から、最大出力に達するまで時間を要するためであると 考えられる。また,開口割合ごとに,特に1/8~1/2では, 反射風速が安定に至るまでの変動にばらつきが見られた。 これは,装置の起動直後は,圧入する空気量が小さく, 相対的に周囲の物体や空気の流れの影響を受けやすいた めと考えられる。この結果から、空気圧入開始7秒から 12秒までの5秒間の反射風速の平均を1つのデータとす ることとした。

### 4.1.2 測定位置ごとの反射風速

図-4に測定位置ごとの反射風速を示す。図-4より, すべての吸引部開口割合において,設計空隙率15%での 反射風速が設計空隙率20%を上回った。これは,空隙率 が小さいほど表層部がセメントペーストによって密な状 態となり,反射する空気量も多くなるためと考えられる。

また,設計空隙率 15%,20%ともに,開口割合が小さ いほど測定位置ごとの反射風速にばらつきが確認された。 特に,吸引部開口割合 1/8,1/4 において,設計空隙率 15% では測定位置 1,設計空隙率 20%では測定位置 4 での反 射風速が,他の測定位置より反射風速が顕著に大きい値 を得た。これは表層部が他の測定位置より密になってい るためと考えられる。設計空隙率 20%において最も反射 風速が大きい値を得た測定位置 4,最も小さい値を得た 測定位置 2 の表層部を写真-3 に示す。写真-3 より, 測定位置 4 の方が,表層部の骨材が密になっていること がわかる。



これらの結果から、空気圧入法によって、特に小さい 吸引部開口割合では、ポーラスコンクリート表層部の粗 密を評価できることが確認された。

## 4.1.3 開口割合ごとの反射風速差

図-5 に開口割合ごとに,設計空隙率 15%, 20%の 4 か所の測定結果を平均した反射風速の差を示す。同図よ り、開口割合が大きくなるにつれて差が小さくなってい ることがわかる。開口割合 1/8 から 3/8 にかけては特に

その関係が著しく表れている。これは、開口割合を大き くするほど、風圧が強くなることによって、底部または 外部に排出される空気量の割合が多くなり、計測器に反 射する空気量に差が生じにくくなるためであると考えら れる。

これらの結果から、空気圧入法によってポーラスコン クリート表層部の状態を評価する際は、吸引部の開口割 合を3/8以下に調整した方が良いことが確認された。



(b) 測定位置 4 写真-3 設計空隙率 20%の表層部



### 4.2 周囲の遮蔽物が測定結果に及ぼす影響の検討

前節において、測定時の吸引部開口割合は、小さいほ ど表層部の状態を評価しやすいということが確認された ため,前節の実験で最小の吸引部開口割合とした1/8を, 本実験の吸引部開口割合として定めた。また、空気圧入 開始7秒から12秒までの5秒間の反射風速の平均を1 つのデータとした。

全空隙率と反射風速の関係を図-6に示す。脱型前と 脱型後の状態の反射風速の平均誤差は 0.04m/s, 最大誤差 は5号砕石設計空隙率25%の0.09m/sである。5号砕石, 7 号砕石それぞれの設計空隙率ごとの反射風速差の平均 が 0.30m/s, 0.84m/s であることと比較しても, 脱型前と 脱型後の反射風速は全て近い値を得ていることがわかる。 また,7号砕石設計空隙率15%は脱型後の反射風速が脱

型前の反射風速を上回ったのに対して,7 号砕石設計空



隙率 20%, 5 号砕石設計空隙率 25%では脱型前の反射風 速が脱型後の反射風速を上回った。これらの結果から, いずれの砕石径においても, 圧入部の周囲 35mm の型枠, すなわち遮蔽物は測定結果に影響をほとんど及ぼさない ことが確認された。これは、空気圧入法において、圧入 部に設置した風速計測器に反射する空気は、供試体のご く表層部からのものがほとんどであり、供試体内部の空 隙を通過して拡散された空気は計測器には反射しないた めだと考えられる。

### 4.3 人為目詰まりによる影響の検討

前節同様, 吸引部開口割合は 1/8 とし, 空気圧入開始 から7秒から12秒までの5秒間の反射風速の平均を1 つのデータとした。表-4 に、実際に目詰まりした砂の 量および割合と落下した砂の量を示す。表-4より、投 下した砂に対して、実際に目詰まりする砂の質量割合の

(1)5 号砕石					(2)7 号砕石							
投下した 砂 (g)	設計空隙率(	%)	25	27	30		投下した 砂 (g)	設計空隙率(	%)	15	20	25
200.0目詰まり砂落下砂	日封まり砂	g	96.4	106.1	96.7			日封ナり功	g	91.0	75.4	74.0
	%	48.2	53.1	48.3		100.0	日記より砂	%	91.0	75.4	74.0	
	g	7.4	8.1	7.0			落下砂	g	0.1	0.0	0.0	
400.0  目詰ま   落下	日封まり劢	g	190.9	210.7	189.6		200.0	目詰まり砂	g	172.8	165.1	171.9
	日田よりが	%	47.7	52.7	47.4				%	86.4	82.6	86.0
	落下砂	g	11.9	13.1	17.3			落下砂	g	0.2	0.1	0.1

表-4 実際に目詰まりした砂と測定時に落下した砂

平均は,5号砕石において49.6%,7号砕石において85.9% であり、7号砕石の方が低い値を得た。また、目詰まり している砂に対する、測定時に落下する砂の質量割合の 平均は,5号砕石において7.35%,7号砕石において0.08% と、5号砕石の方が高い値を得た。この結果から、5号砕 石の方が空気圧入法によって砂が内部に押し込まれてい ることが確認された。これは、5号砕石は連続空隙が多 く、砂が内部に透過しやすいためと考えられる。砂の粒 径が大きい場合、押し込む砂の質量は小さくなると考え られる。また、表-5に目詰まり前後の供試体全空隙率 を示す。

図-7 に,投下した砂の量ごとの,空気圧入測定の結 果を示す。なお,投下した砂の量に対する反射風速の変 動を確認するために,全空隙率は全て砂を投下する前の ものに統一した。図-7 より,投下した砂の量が多いほ ど,反射風速が大きい値を得る傾向が確認できた。また, 7 号砕石において特に,空隙率が小さいほど,投下した 砂の質量ごとにおける反射風速の差が低下していること がわかる。これは,空隙率が小さいほどセメントペース

表—5 供試体の目詰まり前後の全空隙率 (1)5号砕石

人為目詰まり (g)	設計空隙率 (%)	25	27	30
0.0	合定险应	25.3	27.5	30.2
200.0	王空原平 (0/)	24.3	26.4	29.2
400.0	(%)	23.2	25.2	28.2

人為目詰まり (g)	設計空隙率 (%)	15	20	25			
0.0	公元哈应	16.1	20.9	25.9			
100.0	王空原平 (1/)	15.1	19.9	25.0			
200.0	(%)	14.2	19.0	24.1			



トが内部に占める割合が高く,空隙の体積が少ないため, 砂が表層部の空隙を塞ぎ切り,飽和状態になったことが 考えられる。これらの結果から,空気圧入法によって, ポーラスコンクリートに目詰まりした砂の量を,飽和状 態に達するまでは評価することが可能であることがわか った。

### 5. 結論

本研究で得られた結論を以下に示す。

- (1) 吸引部開口割合を小さくするほど,空隙率,表層部の状態によって反射風速に差が出やすい傾向が見られた。したがって,ポーラスコンクリート表層部の状態を評価するためには,吸引部開口割合を小さくすることが望ましい。
- (2) 同一のポーラスコンクリートにおいて, 型枠の脱型 前および脱型後の空気圧入測定で, 反射風速は近い 値を得た。したがって周囲 35mm においての遮蔽物 は測定結果に影響しないことが確認できた。
- (3) 砂を用いて、ポーラスコンクリートに人為目詰まり を起こし、空気圧入測定を行なった結果、砂が飽和 状態に達するまでは、目詰まりしている砂の量が多 いほど、反射風速が大きい値を得た。

### 謝辞

本研究を行うにあたり,福岡大学工学部社会デザイン 工学科の山田悠二助教,戸田建設株式会社の王子哲氏に 多くのご教示を頂いた。ここに記して謝意を表する。

### 参考文献

- 森鼻泰大・中川武志・三島直生・畑中重光:実施工 におけるポーラスコンクリートスラブの品質管理 に関する一考察,日本建築学会東海支部研究報告集, 2011
- 日本コンクリート工学会:性能設計対応型ポーラス コンクリートの施工標準と品質保証体制の確立研 究委員会報告書,2015.6
- (3) 安部良介,中新弥,川崎佑磨,岡本享久: RI 法を援用したポーラスコンクリートの空隙率算定方法の提案,コンクリート工学年次論文集,Vol.38, No.1, pp.1731-1736,2016
- 4) 白川裕太,王子哲,川崎佑磨,山田悠二:RI計器の 線源棒直下の空間がポーラスコンクリートの空隙 率推定値に与える影響,コンクリート工学年次論文 集, Vol.41, No.1, pp.1457-1462, 2019

(2)7号砕石