

論文 せき板効果を取り除くことによるポーラスコンクリートの透水試験方法の改善

越 健^{*1}・古川浩司^{*2}・国枝稔^{*3}・六郷恵哲^{*4}

要旨：本研究では、せき板効果を低減したポーラスコンクリートの透水試験方法の提案を目的とし、骨材径ならびに供試体径を変化させた供試体を作製することで、せき板効果の影響を確認した。さらに供試体表面に特殊発泡ゴムを巻きつけた透水試験により、せき板効果の影響を低減させることができた。

キーワード：ポーラスコンクリート、せき板効果、空隙率、透水係数、特殊発泡ゴム

1. はじめに

ポーラスコンクリートは、コンクリート内部に連続空隙を持つことが特徴として挙げられ、空隙の特性を表す指標として、供試体レベルでの空隙率や透水係数が用いられる場合が多い。実際の供試体においては、型枠に接する部分（以後、表面部分と呼ぶ）とそれ以外の部分が存在し、それぞれの空隙分布が異なる可能性が指摘されている¹⁾（図-1 参照）。

日本コンクリート工学協会により提案されているポーラスコンクリートの物性試験方法（案）²⁾によると、空隙率や透水係数の測定には、Φ150×300 mmの円柱供試体を用いることが提案されているが、実際にはΦ100×200 mmの円柱供試体が用いられる場合もあり、せき板効果による連続的な、しかも比較的大きな空隙による影響が非常に大きいと考えられる。また、類似した空隙構造を持つと予想される砂礫材料に関しても、粗骨材径が大きく、供試体径が粗骨材径

に対して不十分な場合、透水円筒内周面に接する供試体表面の空隙が大きくなり、これに沿つて流れる水量の割合が大きくなることが指摘されおり、透水円筒の内径と長さは試料の最大粒径の10倍以上が望ましいとされている³⁾。

そこで本研究においては、実験1として、骨材径ならびに供試体径とせき板効果との関係について、空隙率および透水係数の指標を用いて検討を行った。また、実験2として、実験1で得られた結果をもとに、せき板効果を取り除くことによる透水試験方法の提案を試みた。

2. 実験 1

2. 1 実験 1 の概要

(1) 供試体

粗骨材には、揖斐川産の玉砕石（表乾密度2.61 g/cm³）を、JIS 5号砕石（13～20 mm）、6号砕石（5～13 mm）の範囲内に収まるよう粒度調整を行ったものを使用した。表-1に示すポー

表-1 ポーラスコンクリートの示方配合

骨材の類類	目標 空隙率 (%)	P/G (%)	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)		
				W	C	G
5号 (13～20 mm)	17.2	30	30	93	309	1631
6号 (5～13 mm)	14.0	30	30	96	320	1700

*1 岐阜大学大学院 工学研究科土木工学専攻（正会員）

*2 昭和コンクリート工業（株）技術開発部開発課 工修（正会員）

*3 岐阜大学助手 工学部土木工学科 工博（正会員）

*4 岐阜大学教授 工学部土木工学科 工博（正会員）

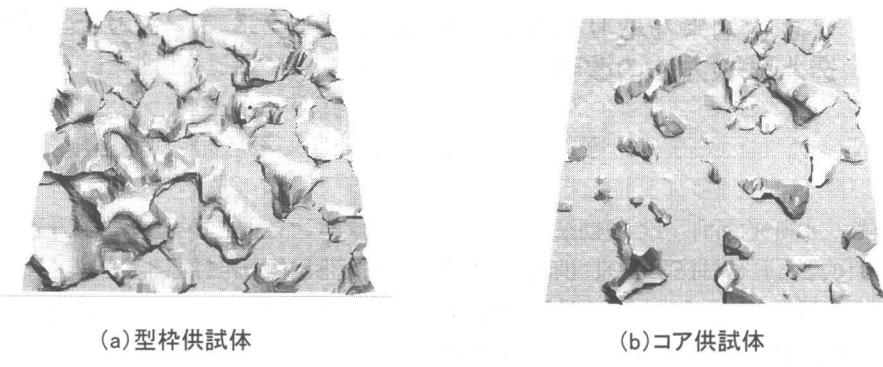


図-1 ポーラスコンクリートの表面形状の違い⁴⁾

ラスコンクリートの示方配合により、 $\phi 100 \times 200 \text{ mm}$, $\phi 150 \times 300 \text{ mm}$, および $\phi 300 \times 300 \text{ mm}$ (5号碎石の最大粗骨材寸法の10倍以上の直径)の型枠に詰めた円柱供試体(型枠供試体)を3体ずつ作製した。試料は各供試体について3層に分けて型枠に詰め、突き棒(突き部分が $35 \times 35 \text{ mm}$)による締固めを行った。さらに、コアボーリングにより $\phi 100 \times 200 \text{ mm}$, $\phi 150 \times 300 \text{ mm}$ の円柱供試体(以後、コア供試体と呼ぶ)もそれぞれ3体ずつ作製した。コア供試体は型枠供試体と同様の手順にて作製した立方供試体から、コアドリルにより切り出した。

(2) 空隙率の測定

空隙率の測定は、「ポーラスコンクリートの空隙率試験方法(案)」の容積法²⁾に準じて行った。

(3) 透水係数の測定

透水係数の測定は、「ポーラスコンクリートの透水試験方法(案)²⁾」に準じて行った。既往の研究²⁾によると、透水係数を算定する際の水頭差は、動水勾配で0.2~0.3程度となる水頭差であれば問題ないとされている。本実験では、供試体高さの1/4(動水勾配0.25)の水頭差において透水係数を測定した。測定時の水温は20°C、流量の計測時間は、 $\phi 100 \times 200 \text{ mm}$, $\phi 150 \times 300 \text{ mm}$ については30秒間、 $\phi 300 \times 300 \text{ mm}$ については、計測時間30秒間での流量が極端に多く、計測が困難であったため、計測時間を15秒間にとした。

2.2 実験結果

(1) 空隙率

空隙率の測定結果を図-2, 3に示す。図より、5号碎石および6号碎石を用いた型枠供試体(以後、5号型枠、6号型枠供試体と呼ぶ)とともに供試体径が増加するにつれ、計測された空隙率は減少する結果となった。 $\phi 100 \times 200 \text{ mm}$ と $\phi 150 \times 300 \text{ mm}$ を比較した場合、5号型枠供試体については、 $\phi 150 \times 300 \text{ mm}$ の空隙率の値は、 $\phi 100 \times 200 \text{ mm}$ のそれに比べて4%程度減少した。6号型枠供試体についても、 $\phi 150 \times 300 \text{ mm}$ における極端に小さな空隙率(13.1%)を除いては、 $\phi 100 \times 200 \text{ mm}$ に対しておよそ3%程度、空隙率が減少した。この $\phi 150 \times 300 \text{ mm}$ の供試体における極端に小さな空隙率の原因は定かではないが、おそらく供試体作製時の締固めに問題があるものと考えられる。コア供試体については、5号、6号供試体ともに供試体寸法によらず、空隙率はほぼ同程度の値となった。

$\phi 150 \times 300 \text{ mm}$ と $\phi 300 \times 300 \text{ mm}$ を比較した場合、5号型枠、6号型枠供試体とともに $\phi 300 \times 300 \text{ mm}$ は、 $\phi 150 \times 300 \text{ mm}$ に比べ、若干、空隙率が減少した。また、 $\phi 300 \times 300 \text{ mm}$ の空隙率が $\phi 100 \times 200 \text{ mm}$, $\phi 150 \times 300 \text{ mm}$ のコア供試体のそれとほぼ同等の値となった。これより、供試体径の増加に伴い、型枠供試体の空隙率は減少し、コア供試体の値に緩やかに近づく結果となった。以上より、供試体径が大きくなるほど、表面部分の空隙の影響が小さくなることが明らかとな

った。

(2)透水係数

動水勾配 0.25 における透水係数の測定結果を図-4, 5 に示す。図より空隙率同様、型枠供試体において透水係数は、供試体径の増加に伴い減少した。コア供試体は供試体寸法によらず、5 号、6 号供試体ともにほぼ同程度の透水係数が得られた。 $\phi 300 \times 300 \text{ mm}$ において、5 号、6 号供試体ともに、空隙率同様にコア供試体の透水係数とほぼ同程度の値が得られた。

図-2において、 $\phi 150 \times 300 \text{ mm}$ における空隙率は型枠、コア供試体とともに、ほぼ同程度の値が得られているのに対し、図-4においては、コア供試体の透水係数は型枠供試体のそれの 2/3 程度の値となった。また、空隙率は、 $\phi 150 \text{ mm}$ 程度から緩やかに収束傾向にあったのに対し、透水係数においては、5 号型枠、6 号型枠供試体とともに $\phi 100 \text{ mm}$ から $\phi 300 \text{ mm}$ にかけてほぼ直線的に減少している。なお、コア供試体の空隙率、透水係数が供試体径の違いによらず一定であると仮定した場合、型枠供試体の値が供試体径の増加とともにコア供試体の値に緩やかに近づいている。本研究の範囲内では、 $\phi 300 \text{ mm}$ の型枠供試体の空隙率、透水係数においては、ともにせき板効果の影響は小さかった。また、空隙率と透水係数の間にはある程度の相関関係は認められるが、透水係数においてより顕著にせき板効果の影響が確認された。透水係数は、空隙率という指標以外にも、空隙の径や形状、またそれらを形成する骨材の粒径や粒度などの影響を大きく受けるためと考えられる。

2.3 実験 1 のまとめ

骨材径、供試体径の異なる型枠、コア供試体を用いて、骨材径ならびに供試体径とせき板効果の関係について調べた結果、以下の結論を得た。

- (1) コア供試体の空隙率の値は、供試体径の違いによらず、ほぼ一定値をとることが明らかとなった。一方、型枠供試体の空隙率の

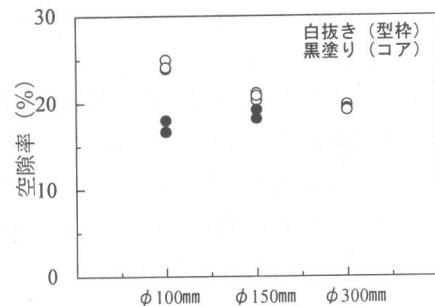


図-2 5号空隙率

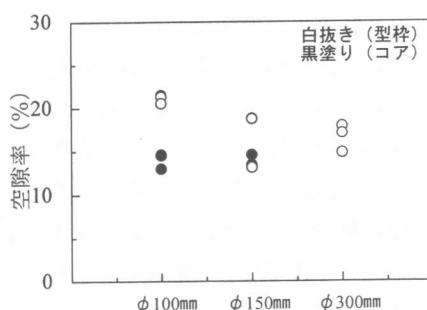


図-3 6号空隙率

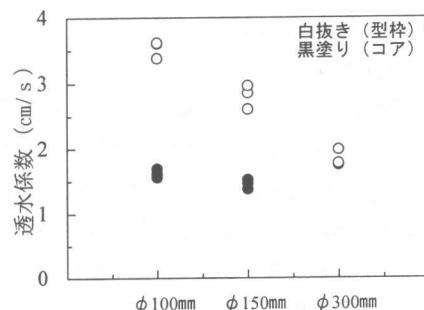


図-4 5号透水係数(動水勾配 0.25)

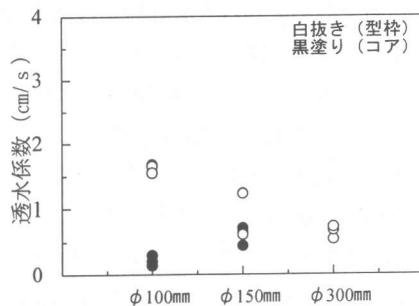


図-5 6号透水係数(動水勾配 0.25)

- 値は、供試体径が大きくなるにつれて減少し、コア供試体の値に緩やかに近づくことが明らかとなった。
- (2) コア供試体の透水係数の値は、空隙率同様、供試体径の違いによらず、ほぼ一定値をとることが明らかとなった。一方、型枠供試体の透水係数の値は、 $\phi 300$ mmまでは直線的に減少し、コア供試体の値に近づくことが明らかとなった。

- (3) 本研究の範囲内では、 $\phi 300$ mmの型枠供試体の空隙率、透水係数においては、ともにせき板効果の影響は小さかった。また、空隙率と透水係数の間にはある程度の相関関係は認められるが、透水係数においてより顕著にせき板効果の影響が確認された。透水係数は、空隙率という指標以外にも、空隙の径や形状、またそれらを形成する骨材の粒径や粒度などの影響を大きく受けるためと考えられる。

3. 実験 2

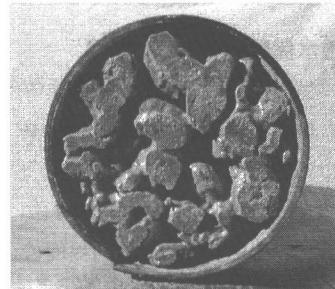
3. 1 実験 2 の概要

(1) 供試体

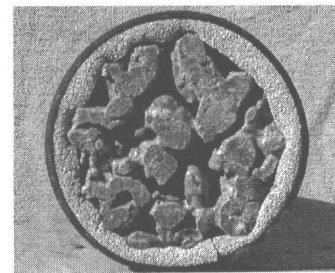
実験 1 で作製した供試体のうち、透水係数の測定値において、せき板効果の影響を大きく受けた、 $\phi 100 \times 200$ mm, $\phi 150 \times 300$ mm の 5 号型枠、6 号型枠供試体、ならびに同サイズの 5 号コア、6 号コア供試体をそれぞれ 3 体使用した。

(2) 透水係数の測定

透水試験において、透水円筒と供試体表面との間に生ずる空隙（せき板効果による）、すなわち表面部分を流れる水を遮断するために特殊発泡ゴム（材質：EPDM、独立気泡を有する市販の防水ソフトテープ）を供試体の周りに巻きつけて（写真-1 参照）、実験 1 で使用した図-6 に示すような試験装置を用いて透水試験を行った。供試体に巻きつけたゴムの厚さは、よりせき板効果の影響を受け易い $\phi 100 \times 200$ mm の供試体に対しては、5, 10, 15 mm の 3 種類を使用し、 $\phi 150 \times 300$ mm の供試体に対しては、5, 10 mm の



(a) ゴムを用いない供試体



(b) ゴムを巻きつけた供試体

写真-1 2 種類の試験方法に用いた供試体

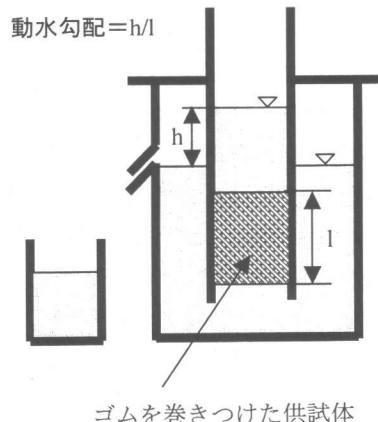


図-6 透水試験装置

2 種類を使用した。なお、透水係数を測定する際の水頭差については、供試体高さの 1/4（動水勾配 0.25）とした。ただし、透水係数の算出には、ゴムを巻いた場合にも、もとの供試体直径 ($\phi 100$, $\phi 150$ mm) を用いた。試験時の水温は 20°C、流量の計測時間は 30 秒間とした。

3.2 実験結果

(1) $\phi 100 \times 200 \text{ mm}$ 供試体

$\phi 100 \times 200 \text{ mm}$ の供試体における透水係数の測定結果（動水勾配 0.25）を図-7, 8 に示す。図より従来の透水試験方法で測定した結果（ゴム無し）とゴムを巻きつけた結果を比較した場合、5号型枠、6号型枠供試体とともに、ゴムを巻きつけた供試体の透水係数は、ゴム無しのそれの半分以下に減少する結果となった。

ゴムの厚さが試験結果に及ぼす影響については、5号型枠供試体においては、ゴム厚を 5 mm とした場合と比べ、10, 15 mm とした場合に透水係数に明確な低下が見られた。6号型枠供試体においては、ゴム厚の変化による透水係数の明確な低下は見られなかった。

コア供試体については、5号コア、6号コア供試体ともにゴムを巻きつけることによる影響ならびにゴム厚の違いによる影響は見られず、透水係数は、ほぼ一定値となった。型枠供試体とコア供試体を比較した場合、5号型枠供試体（骨材径 13～20 mm）においては、ゴム厚 10 mm 以上とすることにより、コア供試体の透水係数と同等の値が得られている。6号型枠供試体においても、ゴム厚の変化によらずコア供試体の透水係数とほぼ同等の値が得られている。以上より、ゴム厚を変化させることにより、算定される透水係数が若干変動することが明らかとなった。

(2) $\phi 150 \times 300 \text{ mm}$ 供試体

$\phi 150 \times 300 \text{ mm}$ の供試体における透水係数の測定結果（動水勾配 0.25）を図-9, 10 に示す。図より、従来の透水試験方法で測定した結果（ゴム無し）とゴムを巻きつけた結果を比較した場合、 $\phi 150 \times 300 \text{ mm}$ においても、5号型枠供試体において、ゴムを巻きつけた供試体の透水係数は、ゴム無し供試体のそれの 2/3 程度の値まで減少する結果となった。6号型枠供試体は、一体極端に小さな透水係数（透水係数 0.61 cm/s）を有する供試体があるが、その他の供試体の透水係数は、ゴム無し供試体のそれの 1/2 程度の値まで減少する結果となった。

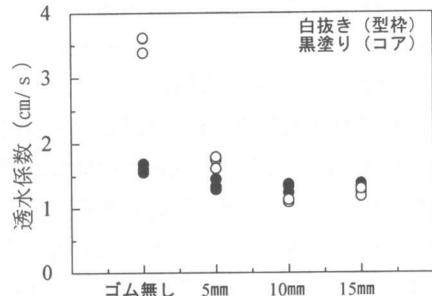


図-7 5号($\phi 100$)透水係数(動水勾配 0.25)

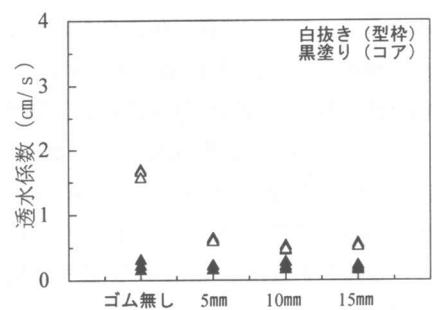


図-8 6号($\phi 100$)透水係数(動水勾配 0.25)

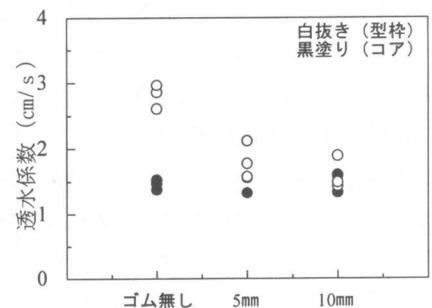


図-9 5号($\phi 150$)透水係数(動水勾配 0.25)

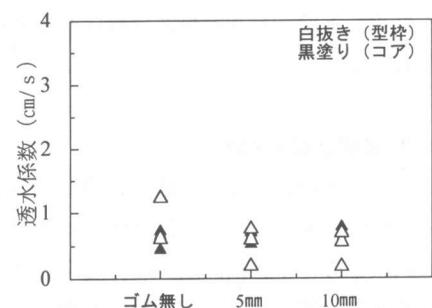


図-10 6号($\phi 150$)透水係数(動水勾配 0.25)

ゴム厚を変えることによる影響は、5号型枠供試体については、ゴム厚を5mmから10mmに変えた場合、若干の減少傾向を示した。ただし、 $\phi 100 \times 200$ mmの場合と比べると、減少傾向が緩やかであった。これは、円柱供試体の直径が大きくなうことにより、供試体体積に占める表面積の割合が減少したことによるものと考えられる。コア供試体においては $\phi 100 \times 200$ mmと同様に、ゴムを巻きつけたことによる影響ならびにゴム厚の違いによる影響は見られなかつた。また、5号型枠供試体と5号コア供試体についてみた場合、5号型枠供試体に多少のばらつきは見られるが、ゴム厚10mmにおいて、5号コア供試体とほぼ同程度の値を得ることができた。以上より、ゴム厚を変化させることによる影響は、 $\phi 100 \times 200$ mmに比べ小さい結果となつた。

6号型枠供試体についても、 $\phi 100 \times 200$ mm同様にゴム厚の影響は少なく、ゴム厚を変化させた場合においても同程度の透水係数が得られた。 $\phi 100 \times 200$ mm同様、 $\phi 150 \times 300$ mmにおいても、ゴム厚を変化させることにより、算定される透水係数が若干変動することが明らかとなつた。

本研究の範囲内においては、型枠供試体とコア供試体と同程度の透水係数を得るためにゴム厚は、供試体寸法の違いによらず骨材寸法の影響を受けており、5号碎石(13~20mm)の場合には10mm以上、6号碎石(5~13mm)の場合には5mm以上であった。せき板効果の発生メカニズムから考えると、型枠面に接する骨材径と相関があることが予想されるが、今後のデータの充実が望まれる。さらに本実験では特殊発泡ゴムを採用したが、巻きつける材料に関する検討も必要である。

3.3 実験2のまとめ

せき板効果を取り除くために、透水円筒と供試体の間に、ゴムを巻きつけた供試体を用いて透水試験を行った結果、以下の結論を得た。

- (1) せき板効果を取り除く試験方法の一つとして、供試体に特殊発泡ゴムを巻きつける

方法を提案した。この方法によると、供試体側面に存在する空隙による影響(せき板効果)を低減することが可能であり、型枠供試体を用いてコア供試体の透水係数と同等の値を得ることが可能であった。

- (2) 本研究の範囲内においては、型枠供試体とコア供試体と同程度の透水係数を得るためのゴム厚は、5号碎石(13~20mm)の場合には10mm以上、6号碎石(5~13mm)の場合には5mm以上であった。今後、骨材径との相関に着目した検討が必要である。また、供試体に巻きつける材料に関する検討が望まれる。

4. あとがき

本研究では、ポーラスコンクリートのせき板効果が、供試体寸法の増加に伴い減少することを明らかにした。また、せき板効果は、ポーラスコンクリートの空隙率や透水係数に影響を及ぼし、特に透水係数の測定値にそれが顕著に表れる結果となつた。寸法の大きな実構造物への適用において、せき板効果の影響は小さくなる反面、物性値の把握には、 $\phi 100 \times 200$ mm、 $\phi 150 \times 300$ mmサイズの円柱供試体が用いられることが多いため、せき板効果の低減を目指した更なる試験方法の確立が望まれる。

参考文献

- 1) 鎌田敏郎ら:超音波によるポーラスコンクリートの内部組成の評価、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 20, No. 2, pp. 733~738, 1998
- 2) 日本コンクリート工学協会:エココンクリート研究委員会報告書, 1995
- 3) 土質工学会:土質工学会基準(JSF T 311-1990)「土の透水試験方法」
- 4) 越 健ら:ポーラスコンクリートの空隙率と空隙分布の評価、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 21, No. 1, pp. 259~264, 1999