

# 論文 ブリーディングによる骨材界面空隙の生成が物質透過性に与える影響

田竈 滉貴\*1・中西 縁\*2・伊代田 岳史\*3

**要旨：**コンクリートのブリーディング現象のうち、骨材界面に自由水が拘束されることによって、コンクリート硬化後に骨材界面に空隙を生成する恐れがある。この空隙が劣化因子の大きな移動経路となり、コンクリートの耐久性の低下が懸念されるため、骨材界面空隙の形成が物質透過性に及ぼす影響を明確にする必要がある。本研究ではブリーディングに伴うコンクリート中の骨材界面空隙の生成が物質透過性に与える影響を定量的に把握することを目的とした。実験の結果、粗骨材がブリーディング水の一部を拘束し、骨材界面に空隙を生成することを確認した。また、骨材界面の空隙によって物質透過性が増加する傾向を確認した。

**キーワード：**ブリーディング, 骨材界面, 内部ブリーディング, 異方性, 物質透過性

## 1. はじめに

ブリーディングとは、コンクリートを構成する材料の密度がそれぞれ異なることにより、密度の最も小さい水がコンクリート上面に上昇し、セメントや骨材など密度の大きなものが沈降する現象である。日本コンクリート工学会での「構造物の耐久性向上のためのブリーディング制御に関する研究委員会」では、フレッシュコンクリート中における水の分類が定義されている<sup>1)</sup>。フレッシュコンクリート中の水は、フレッシュコンクリート中を自由に移動する自由水と、自由水以外でセメントや骨材の表面に吸着したものや、その間に拘束される拘束水に分類される。さらに自由水は、ブリーディング現象によりコンクリート上面に到達した(外部)ブリーディング水とコンクリート上面まで到達せずに、鉄筋や骨材の下面に拘束される内部ブリーディング水に分類されている。

ブリーディングはコンクリート上面のコテ仕上げを容易にする一方で、仕上げ面にレイトランスが生じ打継ぎ部の脆弱化や沈下ひび割れの発生の要因となる。さらに、骨材下面にブリーディング水の一部が拘束される内部ブリーディング水はコンクリート硬化後に、骨材界面に空隙が生成され、劣化因子の大きな移動経路となり耐久性の低下に繋がる<sup>1)</sup>と考えられている。また、骨材界面とペースト界面には遷移帯と呼ばれる50 $\mu\text{m}$ 以上の連続した空隙が存在し、劣化因子の移動経路となり耐久性が低下すると言われている。既往の文献より、モルタル体積の構成比を一定として、粗骨材体積を変化させたコンクリート配合とブリーディング率の関係は、粗骨材体積割合が増加することにより、ブリーディング率が低下する

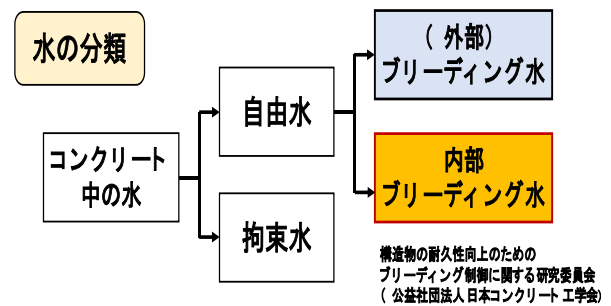


図-1 フレッシュコンクリート中の水の分類

傾向が見られた。これは、コンクリート中の粗骨材が増加したことで、粗骨材下面にブリーディング水が拘束されたためであると考えられている<sup>2)</sup>。コンクリートの耐久性は空隙量や連続性に大きく依存するため、骨材界面の空隙の形成が物質透過性に及ぼす影響を明確にする必要がある。

そこで本研究は、ブリーディングに伴うコンクリート中の骨材界面の空隙の生成が物質透過性に与える影響を定量的に把握することを目的とした。

## 2. 試験概要

本試験は2つのフェーズに分けて実験を行った。フェーズ1では、ブリーディングに影響を与える要因を整理し、ブリーディングによる骨材界面の空隙の形成が物質透過性に与える影響を確認した。フェーズ2ではコンクリートの異方性に着目して内部ブリーディング水による骨材界面の空隙の形成を確認した。既往の研究では、コンクリート打設面に対して垂直方向とその直行方向から割裂引張を行った実験結果より、垂直方向と直行方向

\*1 芝浦工業大学大学院 理工学研究科建設工学専攻 修士 (学生会員)

\*2 芝浦工業大学大学院 理工学研究科建設工学専攻 修士課程 (学生会員)

\*3 芝浦工業大学工学部土木工学科 教授 工博 (正会員)

では割裂引張強度が異なることが確認されている<sup>3)</sup>。この結果より、コンクリートは等方性ではなく異方性であり、この要因はブリーディングによる骨材下面の欠陥群が存在するためだと考えられている。

2.1 ブリーディングによる骨材界面の空隙の形成が物質透過性に与える影響の確認

(1) 計画配合

表-1にコンクリートの計画配合を図-2, 3にコンクリートとモルタルの体積割合を示す。本研究では、ブリーディング量を変化させる為に、単位水量を一定としてs/aを変化させたコンクリートとそれぞれのコンクリートの配合から粗骨材を除いたモルタルを作製することで、コンクリートとモルタルにおけるブリーディングの比較からブリーディングへの影響要因を整理した。本実験は細骨材には、君津産の山砂(吸水率1.48%, 密度2.62g/cm<sup>3</sup>)を、粗骨材には、津久見産の砕石(吸水率0.32%, 密度2.70g/cm<sup>3</sup>)を使用した。混和剤はセメント質量に対して1.0%の減水剤をコンクリートとモルタルに添加した。練り混ぜはオムニミキサーを使用して行い、簡易型枠に2層詰めにて各層突き棒で8回ずつ突き供試体を作製した。作製したコンクリートとモルタル供試体は、恒温恒湿室(温度:20℃, 湿度:60%)にて7日間封かん養生を行った。フェーズ1での実験フローを図-4に示す。作製した供試体は、ブリーディング試験を行い、養生終了後、同一供試体にて透気試験と空隙率試験を行った。

(2) ブリーディング試験

ブリーディング試験はJIS A 1123を参考にして試験を行った。容器はφ100×200mmの円柱型枠を使用し、コンクリートの表面が容器のふちから15±3mm低くなるようにコテでならした。打込みから30分毎にコンクリート上面に浸み出した水を計測し、ブリーディングが終了するまで累計したブリーディング水の容積からブリーディング率を2本の試験結果の平均値から算出した。

$$Br = \frac{V \times \rho_w}{W_s} \times 100 \quad (1)$$

$$W_s = \frac{W}{C} \times S \times 100 \quad (2)$$

Br: ブリーディング率(%)

V: 最終時まで累計したブリーディングによる水の容積(cm<sup>3</sup>)

ρ<sub>w</sub>: 試験温度における水の密度(g/cm<sup>3</sup>)

W<sub>s</sub>: 試料中の水の質量(g)

C: コンクリートの単位容積質量(kg/m<sup>3</sup>)

W: コンクリートの単位水量(kg/m<sup>3</sup>)

S: 試料の質量(kg)

表-1 コンクリート計画配合

W/C (%)	s/a (%)	air (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			
			W	C	S	G
50	30	4.5	170	340	532	1280
	40				710	1097
	50				887	914
70	30	4.5	170	243	557	1338
	40				742	1147
	50				928	956

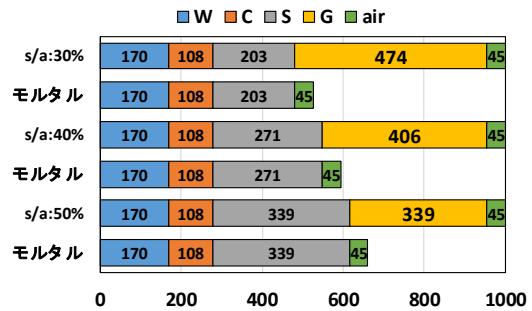


図-2 体積割合 (W/C : 50%)

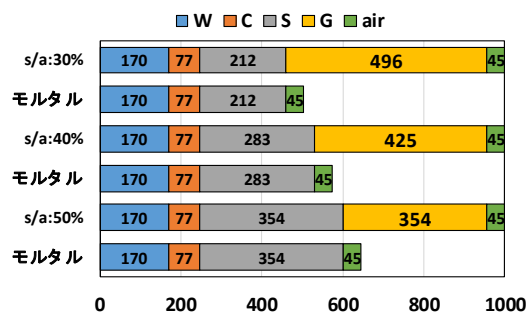


図-3 体積割合 (W/C : 70%)

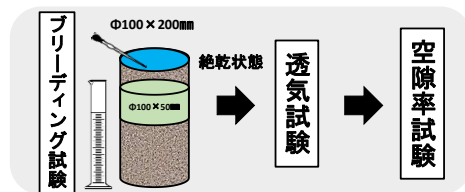


図-4 実験フロー(フェーズ1)

表-2 コンクリート計画配合

W/C (%)	s/a (%)	air (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			
			W	C	S	G
50	30	4.5	170	340	532	1280
	50				887	914

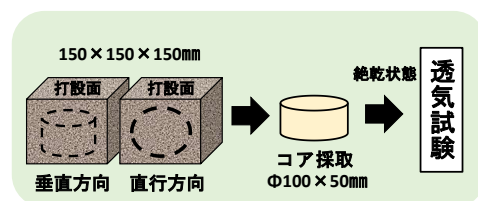


図-5 実験フロー(フェーズ2)

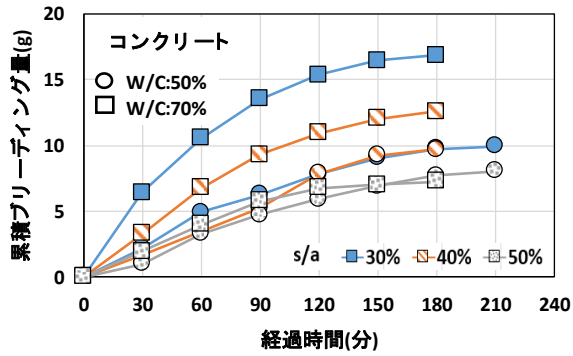


図-6 累積ブリーディング量(コンクリート)

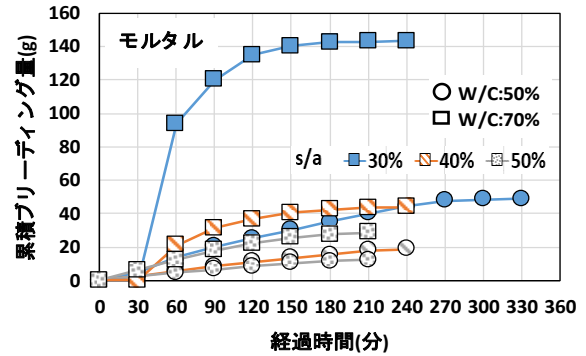


図-7 累積ブリーディング量(モルタル)

### (3) 空隙率試験

空隙率試験は封かん養生終了後、ブリーディング試験で用いた供試体の底面から 100~150mm で切断した、φ100×50mm の試料を用いた。切断した供試体は乾燥炉の中に静置させ、恒量となった時点を絶乾として絶乾重量を測定した。飽水重量は絶乾重量測定後に、水の入った容器に試料を入れ真空チャンパー中に静置させ、3時間真空吸引し、その後一日真空保持状態として試料中を飽水させ測定を行った。最後に、水中重量を計測しアルキメデス法から空隙率を算出した。

$$\text{空隙率(\%)} = \frac{\text{飽水重量} - \text{絶乾重量}}{\text{飽水重量} - \text{水中重量}} \times 100$$

### (4) 透気試験

透気試験は空隙率試験と同じ試料 (φ100×50mm) を用いて、40℃乾燥炉にて絶乾状態になるまで静置した。透気量は透気試験装置<sup>4)</sup>を用い、一定の圧力をかけて水上置換法によりメスシリンダーを用いて計測した。

## 2.2 異方性に着目した内部ブリーディング水による骨材界面の空隙の形成

### (1) 計画配合

表-2 にコンクリートの計画配合を示す。コンクリートの配合は、フェーズ1の結果よりブリーディング率に差が生じた配合を用いた。供試体は 150×150×150mm の正方形の型枠を用いて作製した。フェーズ1と同様に恒温恒湿室(温度:20℃, 湿度:60%)で封かん養生にて7日間静置した。フェーズ2での実験フローを図-5に示す。作製した供試体は、養生終了後、同一供試体にて透気試験を行った。

### (2) 透気試験

封かん養生終了後、打設面に対して垂直方向とその直方向にてφ100mmのコアカッターを用いコアを採取した。採取したコアはφ100×50mmのサイズになるよう切断した。切断した試料は、40℃の乾燥炉にて絶乾状態となるまで静置した。2.1(4)と同様に透気試験装置を用い、一定の圧力をかけて水上置換法によりメスシリンダーを

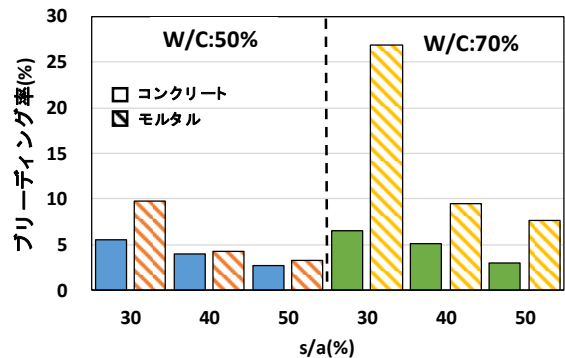


図-8 ブリーディング率

用いて透気量を計測した。

3 異方性に着目した内部ブリーディング水による骨材界面空隙の形成の確認

### 3.1 ブリーディング試験

図-6 にブリーディング試験の結果よりコンクリートの累積ブリーディング量を、図-7 にモルタルの累積ブリーディング量を示す。コンクリートの場合、打設直後から180~210分でブリーディングの終了を確認したのに対して、モルタルではブリーディング終了までに210分~330分かかった。モルタルには、ブリーディング水の上昇を阻害する粗骨材が存在しないため、ブリーディング終了時間がコンクリートよりも長くなったと考えられる。W/Cに着目すると、W/Cが高い方がコンクリートもモルタルも累積ブリーディング量が多い。これはW/Cが高くなると、コンクリート中のセメント体積割合が減少するため、フレッシュコンクリート中の水がセメント粒子表面に吸着される拘束水の割合が低下するため、自由水の割合が増加するためであると考えられる。次にコンクリートのs/aに着目すると、s/aが小さいコンクリートになるほど累積ブリーディング量が大きくなる傾向が見られた。これはs/aが大きくなると、コンクリート体積中の細骨材体積割合が増加するため、フレッシュコンクリート中の水が細骨材表面に吸着することで拘束水の割

合が増加し、上面まで移動できる自由水の量が減少するためだと考えられる。また、コンクリートとモルタルの累積ブリーディング量を比較すると各配合のコンクリートよりもコンクリート配合から粗骨材を除いたモルタルのブリーディング量が多くなった。この結果は、コンクリートの配合から粗骨材を除いたモルタルを単位量で換算すると、コンクリートの単位水量よりもモルタルの単位水量が大きくなるためだと考えられる。

図-8 にブリーディング率の結果を示す。コンクリートとモルタルをブリーディング率で整理をすることにより、配合上の単位水量が異なる点を排除して整理することができる。コンクリートの  $s/a$  に着目すると、 $s/a$  が小さくなるほどブリーディング率は大きくなった。また、同一  $s/a$  における  $W/C$  の異なるコンクリートは、 $W/C$  の大きいコンクリートのブリーディング率が大きくなった。次に、コンクリートとモルタルのブリーディング率を比較すると、モルタルのブリーディング率がコンクリートのブリーディング率よりも大きい結果となった。コンクリートとモルタルのブリーディング率の違いには、単位水量の増加による影響とは別の要因が働いていると考えられる。コンクリートとモルタルの大きな違いとして粗骨材の有無があげられることから粗骨材がブリーディング水を拘束していることが考えられる。

図-9 にコンクリート中の粗骨材体積と内部ブリーディング率の関係を示す。コンクリートの配合から粗骨材を除いたモルタルの内部ブリーディングは同一量であると仮定し、モルタルのブリーディング率からコンクリートのブリーディング率を差し引いた値は、コンクリート中の内部ブリーディング率を表すものと考え内部ブリーディング率を算出した。同一  $s/a$  における  $W/C$  に着目すると、 $W/C$  の高いコンクリートの方が内部ブリーディング率は高い傾向が見られた。同一  $W/C$  の場合の単位粗骨材体積に着目すると、単位粗骨材体積が  $0.45\text{m}^3/\text{m}^3$  より増加すると内部ブリーディング率が増加する傾向を示しているため、コンクリート中の粗骨材が増加することで、ブリーディング水を拘束して内部ブリーディングを増加させる要因となると言える。

### 3.2 空隙率試験

図-10 に粗骨材体積と空隙率の関係を示す。粗骨材体積が大きくなるほど、空隙率は減少する傾向がある。この傾向は、コンクリート中の空隙は主にモルタル部に存在するため、粗骨材体積が大きくなるほど、コンクリート中のモルタルの割合が小さくなるため、空隙率も小さくなったと考えられる。

骨材中に空隙は無く空隙は全てモルタル中に存在すると仮定して、空隙率を各コンクリート中のモルタル割合で除した単位モルタル当たりの空隙率で整理した。図

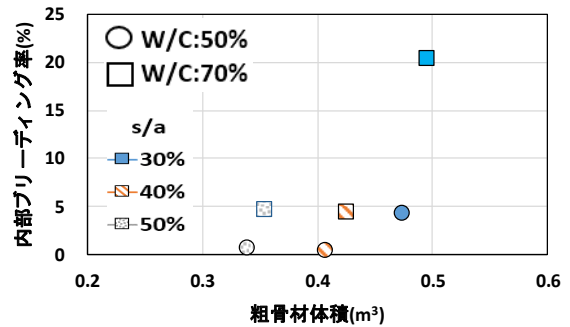


図-9 内部ブリーディング率

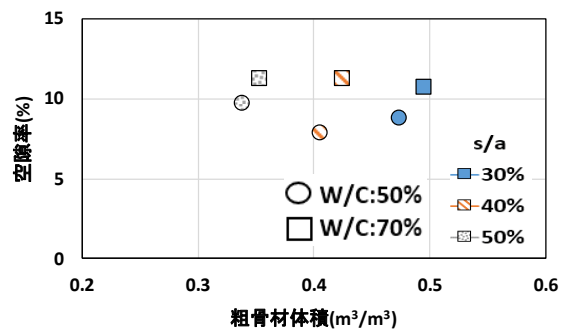


図-10 空隙率

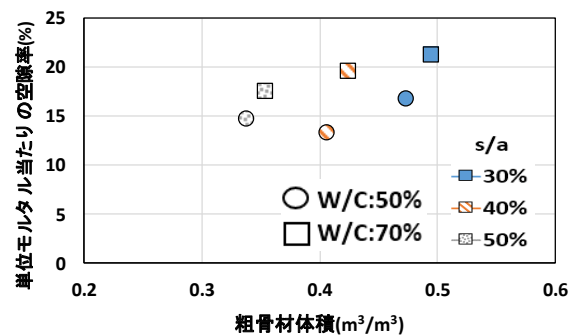


図-11 粗骨材体積と単位モルタル当たりの空隙率の関係

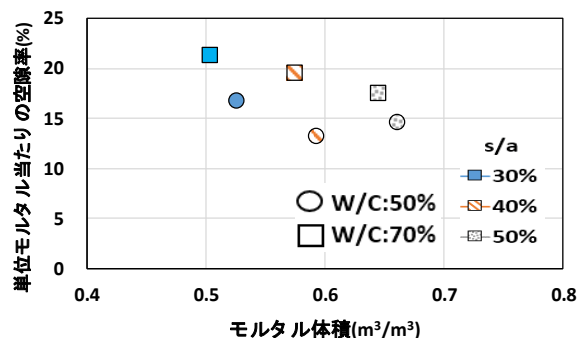


図-12 モルタル体積と単位モルタル当たりの空隙率の関係

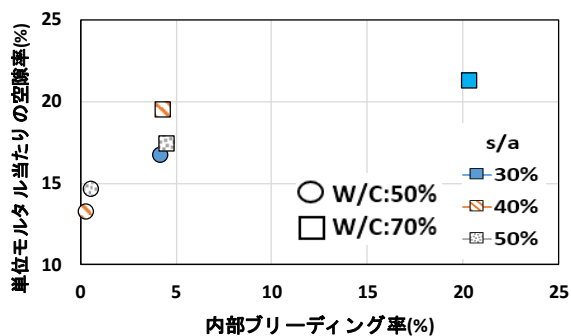


図-13 内部ブリーディング率と単位モルタル当たりの空隙率の関係

図-11 に粗骨材体積と単位モルタル当たりの空隙率の関係を、図-12 にモルタル体積と単位モルタル当たりの空隙率の関係を示す。粗骨材体積が大きいコンクリートほどモルタル部分の体積が小さいのにも関わらず、単位モルタル当たりの空隙率は大きくなる傾向が見られた。また、W/C に着目すると W/C の大きいコンクリートの方がモルタル部分の体積が小さいにも関わらず、単位モルタル当たりの空隙が大きいの結果より、モルタル部の空隙とは別の空隙の要因が影響を与えており、コンクリート中の骨材界面に存在する空隙であると考えられる。よって、粗骨材体積割合が大きいコンクリートは骨材界面の空隙が増加している。

図-13 に内部ブリーディング率と単位モルタル当たりの空隙率の関係を示す。内部ブリーディング率が增加するほど、単位モルタル当たりの空隙率は増加する傾向が見られた。この結果より、フレッシュ時に、内部ブリーディング水として骨材界面に拘束された水が乾燥後に骨材界面に空隙として存在していることを表していると考えられる。

### 3.3 透気試験

図-14 に粗骨材体積と透気量との関係を示す。粗骨材体積が大きくなるほど、透気量は小さくなる傾向が見られた。コンクリート中の粗骨材は物質の透過を抑制していることが言える。

図-15 に空隙率と透気量との関係を示す。空隙率が大きくなるほど、透気量も大きくなることから、物質はコンクリート中の空隙を透過していることが言える。

図-16 に単位モルタル当たりの空隙率と透気量との関係を示す。単位モルタル当たりの空隙率が大きくなると透気量は小さくなる傾向が見られた。この結果より、空隙率が大きくなると透気量も大きくなるという相関関係が見られなかったことから、この要因はコンクリート中の骨材界面に空隙が生成されており、物質の移動経路は大きくなっているが、粗骨材が存在していることによ

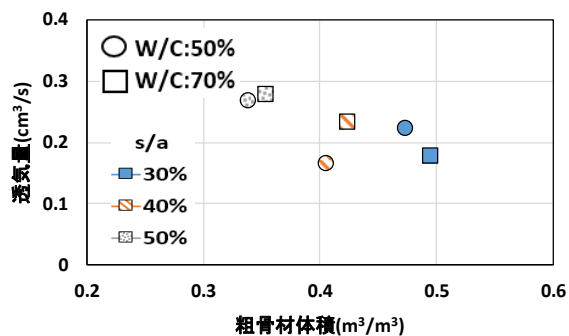


図-14 粗骨材体積と透気量の関係

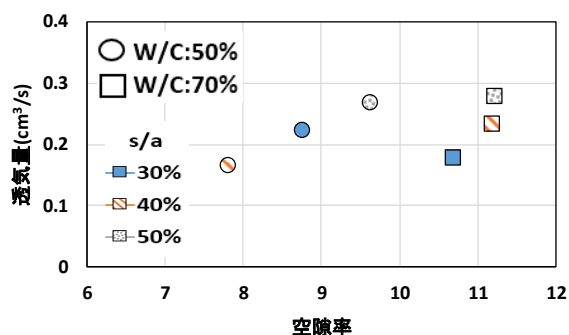


図-15 空隙率と透気量の関係

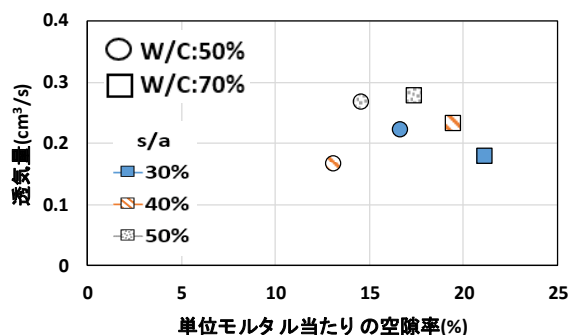


図-16 単位モルタル当たりの空隙率と透気量との関係

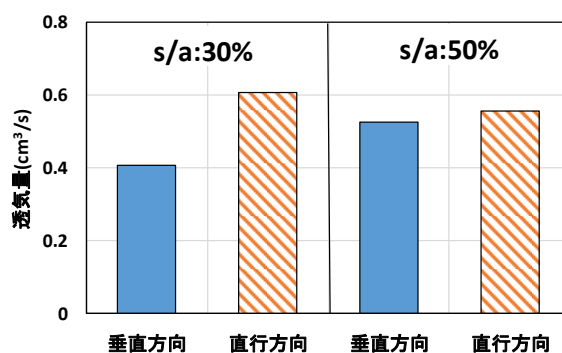


図-17 透気試験結果



り物質の移動を抑制し、また移動経路が複雑となることによって、移動経路が長くなったため、透気量が小さくなったためであると考えられる。

#### 4. 試験結果および考察(フェーズ 2)

##### 4.1 透気試験

図-17 に透気試験の結果を示す。供試体打設面に対して、垂直方向とその直行方向にて採取したコアの透気量を比較すると、垂直方向よりも直行方向の透気量が大きい傾向を示した。この結果より、コンクリートが等方性ではなく異方性であることを確認することができる。また、垂直方向と直行方向の透気量の差は、 $s/a$  が小さいつまり粗骨材体積の大きなコンクリートの方が大きい。これは、粗骨材体積の大きなコンクリートは内部ブリーディング率も大きい傾向があり、骨材界面の空隙が増加し、骨材界面の空隙の連結性が骨材による物質の移動経路の抑制や複雑化よりも卓越したため、直行方向における透気量が大きい値を示したと考えられる。よって、内部ブリーディングによる骨材界面の空隙の生成はコンクリートの打設面に対して直行方向の物質透過性に影響を与える。

##### 5. まとめ

本研究で得られた結果を下記にまとめる。

- (1) コンクリートとコンクリートの配合から粗骨材を除いたモルタルのブリーディング試験の結果より、コンクリートとモルタルを比較するとコンクリートのブリーディング率が小さくなった。この要因として、粗骨材がブリーディング水の一部を拘束していることが考えられる。また、粗骨材体積の大きなコンクリートほど、内部ブリーディング率が増加する。
- (2) 空隙率をコンクリート中のモルタル割合で除した単位モルタル当たりの空隙率で整理した結果と内部ブリーディング率の関係より、粗骨材体積の大きなコンクリートほど、ブリーディングによる骨材界面の空隙が増加していると考えられる。
- (3) 空隙率と透気試験の結果より、空隙率が大きくなると透気量も大きくなる相関関係が見られた。一方、単位モルタル当たりの空隙率と透気量の関係では、同様の相関関係を示さなかった。この要因は、コンクリート中の骨材界面に空隙が生成されており物質の移動経路は大きくなっているが、粗骨材が存在していることにより物質の移動を抑制し、また移動経路が複雑となることの影響が卓越したためであると考えられる。
- (4) コンクリート打設面に対して、垂直方向と直行方向

における透気量の関係は、垂直方向よりも直行方向の透気量が大きくなる傾向を示したことより、コンクリートが異方性であることを確認した。また、粗骨材体積の大きなコンクリートの方が透気量の差が大きかったことより、内部ブリーディングによる骨材界面空隙の生成が物質透過性に影響を与える。

##### 参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会：構造物の耐久性向上のためのブリーディング制御に関する研究委員会報告書，pp4-14，2017
- 2) 田籠滉貴，伊代田岳史：ブリーディングによる空隙構造の違いが物質透過性に及ぼす影響，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第16巻，pp189-194，2016
- 3) 十代田知三，大岡督尚：引張性状にみられるコンクリートの異方性—ブリーディングがもたらす構造欠陥の把握—，「コンクリートのブリーディング制御」に関するシンポジウム，日本コンクリート工学会，pp67-74
- 4) 林亮太，樋原弘貴，添田政司，松本涼：透気係数による各種コンクリートの物質移動抵抗性評価方法に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.1，pp745-750，2013
- 5) 本名英理香，中田康喜，伊代田岳史：骨材の有無が物質浸透性に与える影響，土木学会，Vol.70，pp521，2015
- 6) 星野政幸，苫米地司：ブリーディング現象と各部コンクリート強度の関係について（その1ブリーディング水と打設高さの関係について），日本建築学会学術講演梗概集（近畿），第55巻，pp53-54，1980.9
- 7) 加賀秀治：高性能 AE 減水剤の使用量の変動がコンクリートの品質に及ぼす影響，日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸），A，pp569-570，1992.8
- 8) 桜井邦昭，平田隆祥：鉄筋や粗骨材の下面に残留するブリーディングに関する基礎的検討，日本コンクリート工学会「コンクリートのブリーディング制御」に関するシンポジウム，pp75-80，2016.3
- 9) 上野敦，国府勝郎，宇治公隆：コンクリートの流動性およびブリーディング性状に及ぼす粉体材料の影響評価に関する基礎的検討，土木学会論文集，No.725，V-58，pp295-308，2013
- 10) 庄谷征美，杉田修一，阿波稔，中道礼司：鉱物質微粉末の保水性能とその混和によるコンクリートのブリーディング制御について，セメント・コンクリート論文集，No.52，pp368-373，1988