

論文 ブリーディング性状の異なる試験体における表面からの距離と硬化コンクリートの品質に関する実験的研究

檜村 啓*1・大塚 秀三*2・中田 善久*3・奥山 夏樹*4

要旨: 本研究は、水セメント比および単位粗骨材かさ容積を一定とし、単位水量を変化させたブリーディング性状の異なるコンクリートを用いた試験体を対象として、せき板の接触面およびコンクリートの打込み面からの距離と硬化コンクリートの品質変化の関係を明らかにすることを目的とした。その結果、ブリーディングは、せき板の接触面に近いほど大きくなる傾向を示した。また、コンクリート表面からの距離に応じたブリーディング性状によって圧縮強度、引っかき傷幅、中性化深さおよび透気係数が変化し、せき板の接触面よりもコンクリートの打込み面からの距離の方が顕著であることを明らかにした。

キーワード: ブリーディング, 硬化コンクリートの品質, 圧縮強度, 引っかき傷幅, 中性化深さ, 透気係数

1. はじめに

コンクリートの打込み後に生じるブリーディング(以下、BL とする)は、硬化後のコンクリート表面に砂すじりや脆弱な薄膜であるレイタンスの発生²⁾およびBLによるコンクリートと鉄筋の付着強度の低下³⁾など、コンクリートの表層部のみならず内部の品質に影響を及ぼす場合がある。

コンクリート内部のBL水の挙動と、これが硬化コンクリートの品質に及ぼす影響についての検討として以下の知見がある。辻⁴⁾は、BL水の移動距離について試験容器を用いて検討した結果、容器側面に沿って移動する距離が7~9cm程度であるとしている。一方で、犬飼ら⁵⁾は、何らかの原因で試料が不均質になる場合において水みちが形成され、BL水の移動距離が300mmと大きくなる場合があることを明らかにしている。また、三田ら⁶⁾は、BL水が部材の中心と比較してせき板近傍から上昇する量が多いことを明らかにしている。これらから、コンクリート部材に生じるBLは、部材高さ、水みちの形成状態およびせき板の接触面からの距離などの要因により異なることが示唆される。

また、湯浅ら⁷⁾は、コンクリートの深さ方向の細孔径分布および総細孔量の変化を実験的に検討し、コンクリートの表層部に近いほど、細孔が大きな径に偏るとともに総細孔量が大きくなることを明らかにしている。一方で、月永ら⁸⁾は、せき板の接触面からの距離とBL水量の関係および表層部と中心部の中性化深さ、スケールン量に着目して検討し、中心部と比較して表層部においてBL水量が大きく、中性化深さおよびスケールン量が大きくなることを明らかにしている。

以上のように、部材内におけるBLに伴う水の挙動と、これが硬化コンクリートの品質に及ぼす影響は、部材内において均一でないことが示唆されるが、フレッシュ時のBL性状と硬化後のコンクリート表面からの距離に応じた品質の変化の關係に着目し、詳細に検討した例は見当たらない。

そこで、本研究では、BL性状の異なるコンクリートを対象に、BLによる硬化コンクリートの表面からの距離における品質の相違を明らかにすることを目的とした。

ここでは、試験体の寸法を変化させ、BL性状とせき板の接触面およびコンクリートの打込み面からの距離における硬化コンクリートの品質の変化について、圧縮強度、引っかき傷幅、中性化深さおよび透気係数に着目して実験的に検討した結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 実験の要因と水準

実験の要因と水準を表-1に示す。実験の要因は、コンクリートのBL水量、試験体の寸法およびコア供試体の採取方向とした。コンクリートは、BL水量の異なる2配(調)合とした。試験体は、高さを変化させた3水準と

表-1 実験の要因と水準

要因	水準
コンクリートのBL水量	BL水量を変化させた2配(調)合
試験体の寸法(mm)	H255 : W700×L300×H255 H700 : W2,400×L300×H700 H1,300 : W2,400×L300×H1,300
コア供試体の採取方向	打込み面に対して 水平方向, 鉛直方向

*1 (株)コンステック 研究開発本部 修士(ものづくり学) (正会員)

*2 ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科 教授 博士(工学) (正会員)

*3 日本大学 理工学部 建築学科 教授 博士(工学) (正会員)

*4 ものづくり大学大学院 ものづくり学研究科 ものづくり学専攻 (学生会員)

した。コア供試体の採取方向は、コンクリートの打込み面に対して鉛直および水平の2水準とした。

2.2 コンクリートの使用材料および配(調)合

コンクリートの使用材料を表-2、コンクリートの配(調)合およびコンクリートの性状を表-3に示す。コンクリートの使用材料は、セメントに普通ポルトランドセメント、細骨材に陸砂、粗骨材に砕石 2005、化学混和剤をAE剤、AE減水剤とした。使用したコンクリートは、水セメント比を65%、単位粗骨材かさ容積を0.58m³/m³と一定とし、単位水量を変化させてセメントペーストの量を変化させたBL性状が異なる目標スランプ8cmおよび21cm(以下、SL8およびSL21とする)の2配(調)合をレディミクストコンクリート工場で製造したものを用いた。

2.3 試験体の概要

試験体の概要を図-1に示す。試験体は、W700×L300×H255、W2,400×L300×H700およびH1,300mm(以下、H255、H700、H1,300とする)とし、コア供試体の採取方向ごとに作製した。水平方向のコア供試体の採取位置は、

表-2 コンクリートの使用材料

材料	種類	品質・性質
セメント	普通ポルトランドセメント	密度：3.16g/cm ³ 比表面積：3,300cm ² /g
水	上水道水	—
細骨材	栃木県栃木市尻内町産陸砂	表乾密度：2.61g/cm ³ 吸水率：2.22%
粗骨材	栃木県佐野市会沢町産砕石 2005	表乾密度：2.70g/cm ³ 吸水率：0.65%
化学混和剤	AE剤	天然樹脂酸塩
	AE減水剤	リグニンスルホン酸系

表-3 コンクリートの配(調)合およびコンクリートの性状

W/C (%)	単位粗骨材かさ容積 (m ³ /m ³)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				Ad ^{※1} (C%)	Ad ^{※2} (C%)	空気量 (%)	目標スランプ (cm)	スランプ (cm)	OT ^{※3} (°C)	CT ^{※4} (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)	JIS A 1123:2012によるBL水量 (cm ³ /cm ²)
			W	C	S	G									
65	0.58	50.8	167	257	937	940	0.03	1.2	3.1	8	9.5	18.0	22.0	23.1	0.124
		46.8	202	311	800	4.4									

※1：AE剤 ※2：AE減水剤 ※3：外気温 ※4：コンクリート温度

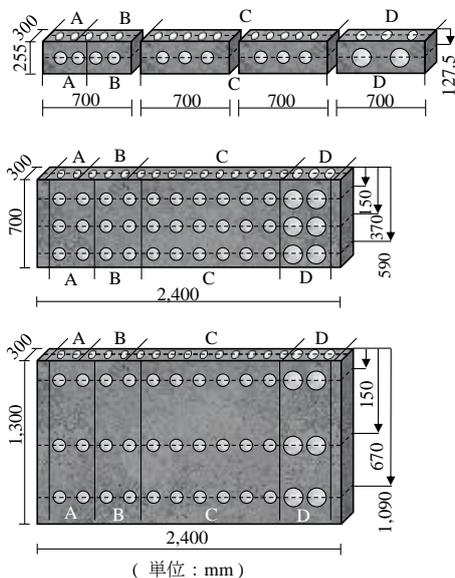


図-1 試験体の概要

高さ 255mm の試験体では中心部のみとし、高さ 700 および 1,300mm の試験体において試験体の高さを 3 分割した上段、中段および下段とした。また、鉛直方向のコア供試体の採取位置は、試験体の厚さ方向の中心部とした。コンクリートの打込みは、トラックアジテータのシュートから直接打ち込む 2 層打ちとし、H255 で幅方向の中心、H700 および H1,300 で W800mm ごとに各層 5 秒間棒形振動機を用いて締固めた。試験体は、BL 水の逸散を防ぐため、せき板の接合部にシリコン系シーリング材を用いて止水処理した。コンクリート表面の均しは、打込み直後に金属製のこてを用いて 1 回行うものとし、BL の上昇を阻害しないよう概ね平滑となる程度とした。

2.4 試験項目および方法

試験項目および方法を表-4、コア供試体の切断箇所を

表-4 試験項目および方法

試験項目	試験方法・規格	試験対象
ブリーディング試験	JIS A 1123:2012による	内径250mm×内高255mmの金属製の円筒容器
	領域分割した幅20mmの範囲からスポイトを用いて JIS A 1123:2012と同様の採取時間間隔においてブリーディングを採取	試験体の打込み面 (図-3)
圧縮強度試験 (A)	JIS A 1107:2012による	コア供試体を切断したもの (図-2)
引っかき傷幅試験 (B)	日本建築士学会会式引っかき試験器を用いる	
促進中性化試験 (C)	JIS A 1153:2012に準じた方法	
表層透気試験 (D)	ダブルチャンバー法透気試験機を用いる	

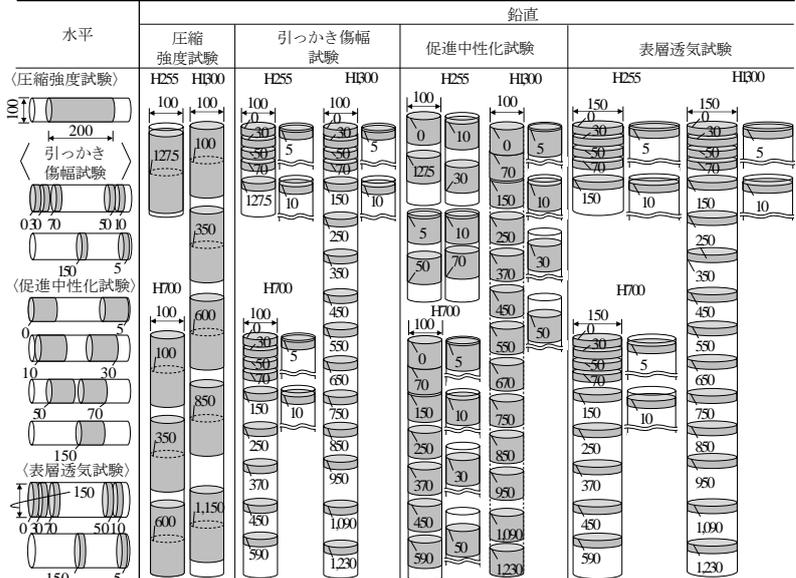


図-2 コア供試体の切断箇所

図-2に示す。試験体は、材齢2日に脱型し材齢5日に、圧縮強度試験、引っかかり傷幅試験、促進中性化試験用のφ100mmおよび表層透気試験用のφ150mmのコア供試体を採用した。コア供試体の高さは、圧縮強度試験用に200mm、引っかかり傷幅試験用に20mm、促進中性化試験用に70mm、表層透気試験用に10mmとなるように複数のコア供試体を後述する箇所が試験面となるように切断した。コア供試体の切断箇所は、コンクリート表面から0, 5, 10, 30, 50および70mm、せき板の接触面から150mm、打込み面からH255で127.5mm, H700で150, 250, 370, 450および590mm, H1,300で150, 250, 350, 450, 550, 670, 750, 850, 950, 1,090および1,230mmとした。

(1) ブリーディング試験

BL水の採取位置を図-3に示す。BL水の採取は、試験体の打込み面より行うこととし、塩化ビニル製の仕切板を設置することで領域分割し、幅20mmの範囲にスポイトを用いてJIS A 1123:2012と同様の採取時間間隔において採取した。仕切板は、BL水の上昇を阻害しないよう、三田ら⁹⁾と同様にコンクリートの打込み面から15mmの深さとなるよう設置した。

(2) 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、20±2℃、相対湿度60±5%の恒温恒湿室(以下、恒温室とする)にて材齢28日まで気中養生した2個のコア供試体を対象に行い、その平均を試験値とした。鉛直に採取したコア供試体は、試験面を中心とした200mmの高さとなるように切断した。

(3) 引っかかり傷幅試験

引っかかり傷幅試験は、日本塗り床工業会認定・日本建築仕上学会式の引っかかり試験器を用いて行った。試験は、恒温室にて供試体を2日間気中養生し、材齢7日に切断面の1面につき3箇所行い、その平均を試験値とした。

(4) 促進中性化試験

供試体は、恒温室にて7日間気中養生し、試験面を暴露面とし、側面を封かんした。中性化深さは、2個の供試体を20±2℃、相対湿度60±5%およびCO₂濃度5±0.2%の促進中性化槽に28日間設置した後、供試体を割裂し、フェノールフタレイン1%溶液を噴霧して未定色領域についてノギスを用いて測定し、平均を試験値とした。

(5) 表層透気試験

供試体は、エポキシ樹脂を用いて試験面以外を封かんし、材齢28日まで恒温室にて気中養生した。透気係数は、高周波容量式(20MHz)の水分計を用いて供試体の含水率が5%以下であることを確認した後、ダブルチャンバー法透気試験機を用いて1個の供試体に対し2度測定し、その平均を試験値とした。

3. 結果および考察

3.1 せき板の接触面からの距離とBL水量の関係

せき板の接触面からの距離とBL水量の関係を図-4に示す。BL水量は、SL8と比較してSL21が顕著に大きい傾向を示した。これは、SL21の調合において単位水量が大きいことに起因し、自由水が多くなったためと推察される。せき板の接触面からの距離とBL水量の関係は、せき板の接触面からの距離が近いほど大きくなる傾向を示した。これは、三田ら⁹⁾と同様にBL水が移動する際に、せき板の接触面に水みちを形成して上昇する割合が大きいことを示唆するものと考えられる。また、BL水量のJIS A 1123:2012に規定される容器との差異は、H255およびH700で小さくなる一方、H1,300において大きくなる傾向を示した。これは、申ら¹⁰⁾と同様の傾向にあり、試験体の高さが高くなるほど打込みや締固めの影響により試料が不均質になりやすく、水みちの形成状態が変化することを示唆するものと考えられる。

BL水量は、せき板の接触面から30~50mm程度まで変化が大きくなる傾向を示した。すなわち、BL水は、せき板の接触面に近い箇所から多く上昇し、コンクリート表面から50mm程度の範囲で変化することを示唆するものと考えられる。

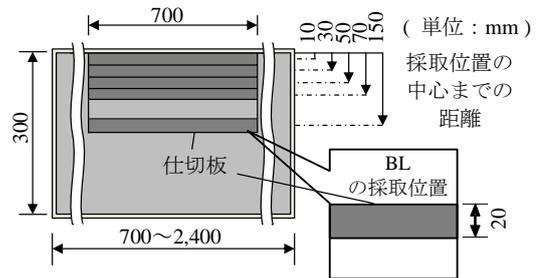


図-3 BL水の採取位置

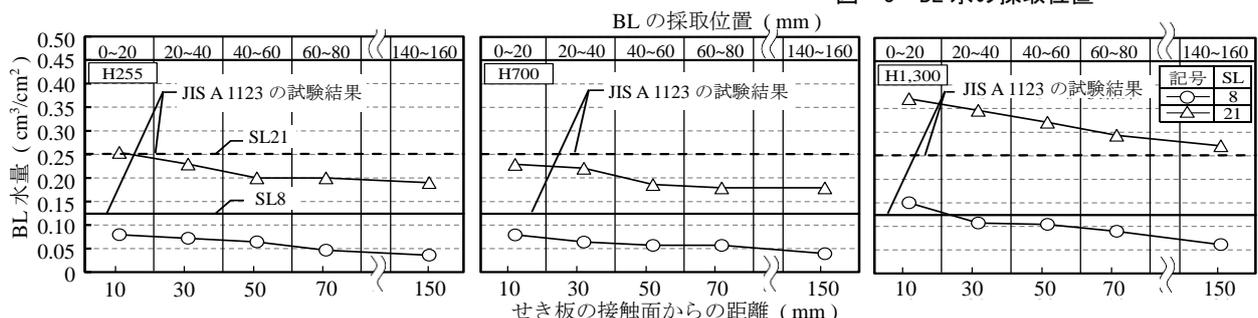


図-4 せき板の接触面からの距離とBL水量の関係

3.2 コンクリートの打込み面からの距離と圧縮強度の関係

コンクリートの打込み面からの距離と圧縮強度の関係を図-5に示す。H255の圧縮強度は、鉛直および水平方向から採取したコア供試体によってそれぞれ試験に供した。圧縮強度は、同一の水セメント比に関わらず、SL8と比較してBL水量が大きいSL21が大きい傾向を示した。これは、BLとともに試験体内部の自由水が排出され構成材料が密実になったためと推察される。なお、本実験の範囲では、空気量の違いが圧縮強度に及ぼす影響について不明確であり、BL水量の違いによる影響度が空気量の違いによる影響度より大きかったためと考えられる。

コンクリートの打込み面からの距離と圧縮強度の関係は、試験体の下部ほど圧縮強度が大きくなる傾向を示した。また、圧縮強度の高さ方向の変化は、水平より鉛直の方が顕著であった。これは、BL水が上昇することに伴い、骨材の下面に空隙が生じ、載荷時においてコア供試体の採取方向の違いにより生じた異方性の影響が大きかったためと考えられる。

3.3 コンクリート表面からの距離と引っかけ傷幅の関係

コンクリート表面からの距離と引っかけ傷幅の関係を図-6に示す。引っかけ傷幅は、コンクリート表面からの距離が近いほど大きくなり、せき板の接触面からの距離よりコンクリートの打込み面からの距離の影響が大きくなる傾向を示した。これは、コンクリートの打込み面の近傍において、BLに伴うコンクリート表層部の脆弱層であるレイタンスの方が、せき板の接触面の近傍におけるBL水の上昇に伴う水みちの形成によるコンクリート表面が脆弱になることより卓越したことを示唆するものと考えられる。一方で、試験体の寸法およびBL水量

の差が引っかけ傷幅に及ぼす影響は小さい傾向を示した。

コンクリート表面からの距離と引っかけ傷幅の関係は、せき板の接触面からの距離が10mm程度および打込み面からの距離が150mm程度まで差異が大きい傾向を示した。すなわち、BLが引っかけ傷幅に及ぼす影響範囲の距離は、せき板の接触面から10mm程度および打込み面から150mm程度であることを示唆するものと考えられる。

3.4 コンクリート表面からの距離と中性化深さの関係

コンクリート表面からの距離と中性化深さの関係を図-7に示す。中性化深さは、水セメント比が同一にも関わらず、SL8と比較してSL21が小さくなる傾向を示した。これは、BLとともに試験体内部の自由水がより多く排出されることで見掛けの水セメント比が小さくなり、一般的な知見である水セメント比が小さいほど中性化の

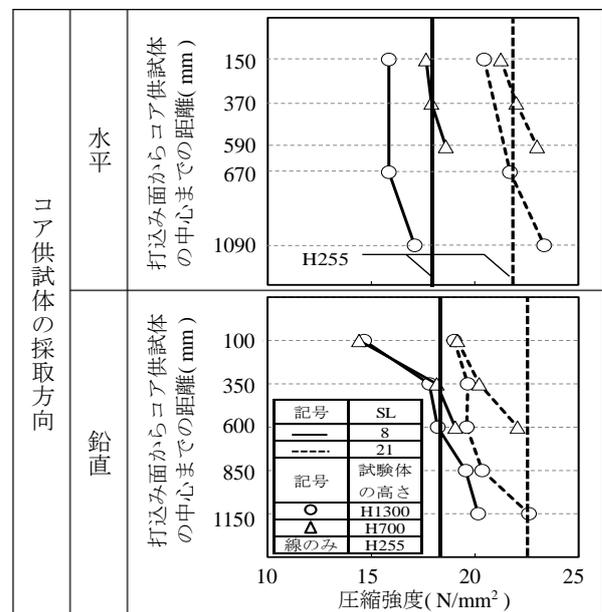


図-5 コンクリートの打込み面からの距離と圧縮強度の関係

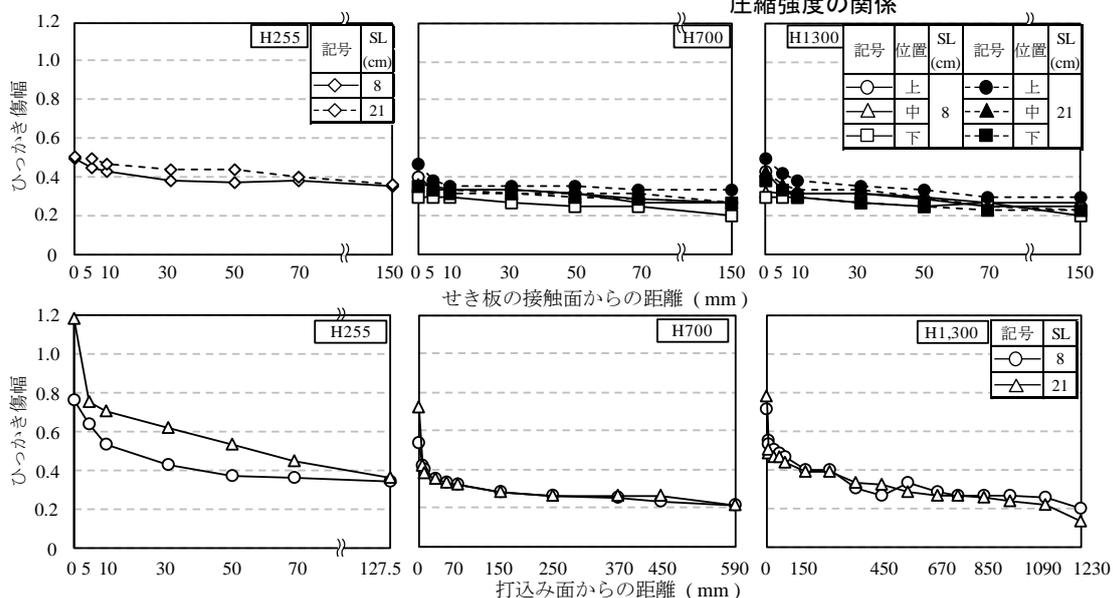


図-6 コンクリート表面からの距離と引っかけ傷幅の関係

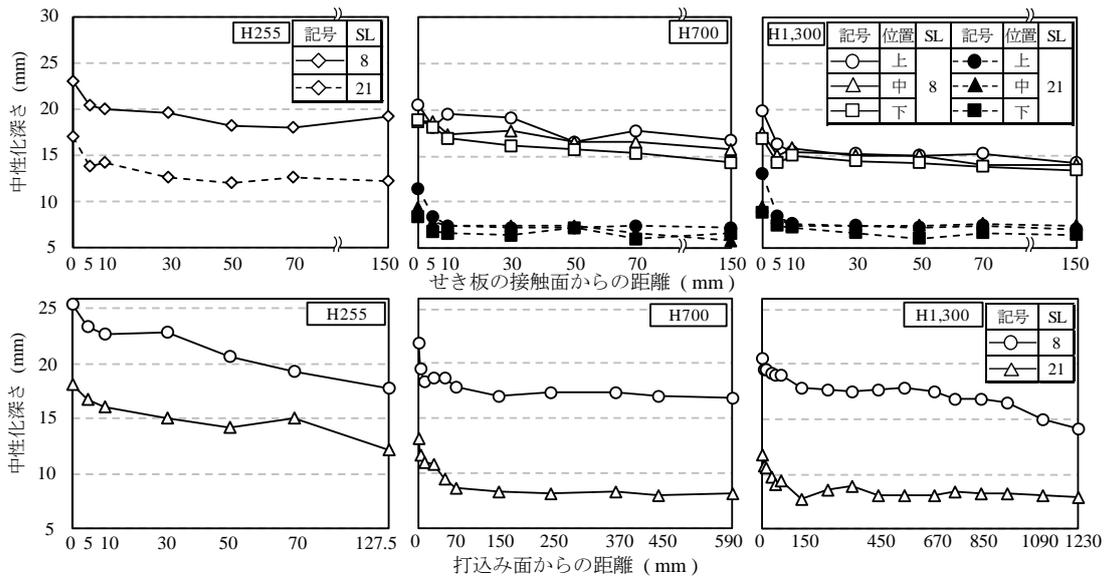


図-7 コンクリート表面からの距離と中性化深さの関係

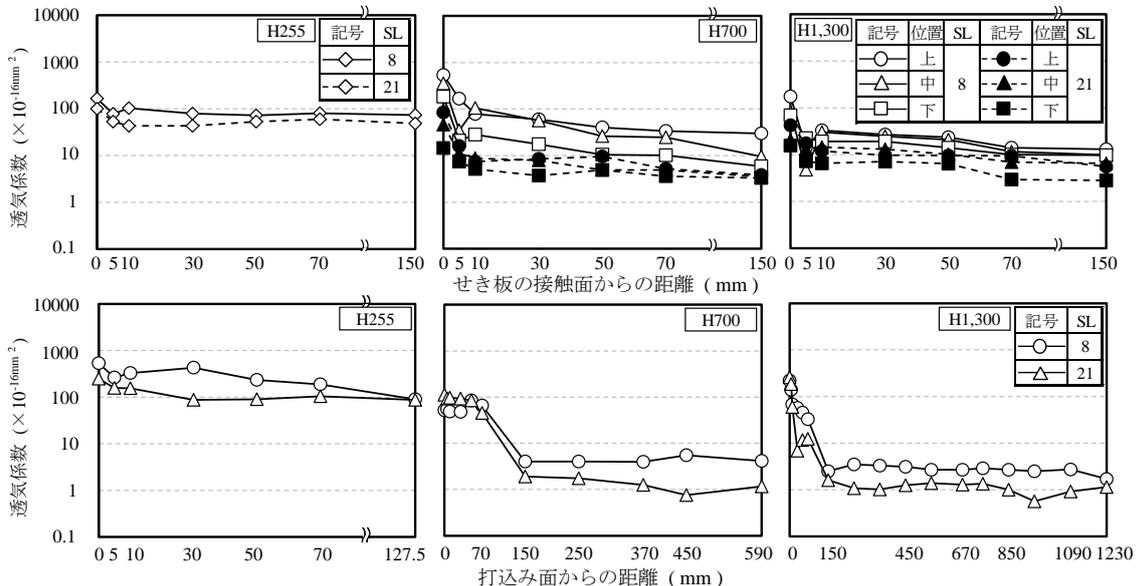


図-8 コンクリート表面からの距離と透気係数の関係

進行が抑制される傾向と同様になったためと推察される。また、中性化深さは、コンクリート表面からの距離が遠くなるほど小さくなる傾向を示した。これは、先述したBLとともに試験体内部の自由水が排出され構成材料が密実になったためと推察される。一方で、試験体の寸法の違いが中性化深さに及ぼす影響は小さかった。

コンクリート表面からの距離と中性化深さの関係は、せき板の接触面からの距離が10mm程度および打込み面からの距離が150mm程度までの範囲において差異が大きい傾向を示した。すなわち、BLが中性化深さに及ぼす影響範囲の距離は、せき板の接触面から10mm程度および打込み面から150mm程度であることを示唆するものと考えられる。

3.5 コンクリート表面からの距離と透気係数の関係

コンクリート表面からの距離と透気係数の関係を図-8に示す。透気係数は、水セメント比が同一に関わら

ず、SL8と比較してSL21が小さくなる傾向を示した。これは、中性化深さと同様に、BLとともに試験体内部に存在した自由水が排出されることで、見掛けの水セメント比が小さくなったためと推察される。また、透気係数は、せき板の接触面およびコンクリートの打込み面から遠くなるほど小さくなる傾向を示し、透気係数の変化量は、試験体の内部に至るほど水平方向と比較して鉛直方向で大きくなった。これは、BL水がせき板の接触面を上昇することにより生じる影響と比較して、試験体下部から上部に移動することで生じる影響の方が大きかったためと考えられる。一方で、H255では、試験体の寸法がH700およびH1,300と比較して小さいことに起因して、コンクリートの打込みによる構成材料の緻密化の影響が小さかったと思われる。

コンクリート表面からの距離と透気係数の関係は、中性化深さと同様にせき板の接触面からの距離が10mmお

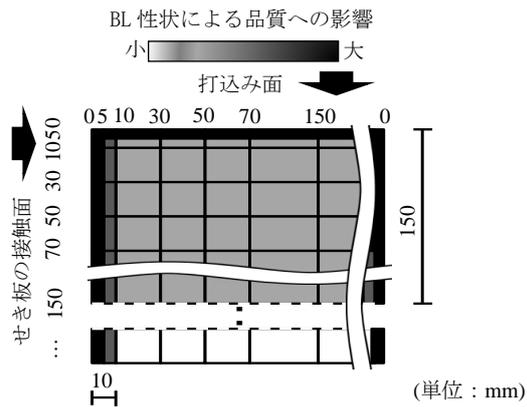


図-9 BL 性状が硬化コンクリートの品質に影響を及ぼす範囲の定性的な傾向

および打込み面からの距離が 150mm までの範囲において差異が大きい傾向を示した。すなわち、BL が透気係数に及ぼす影響の範囲は、せき板の接触面からの距離が 10mm 程度および打込み面からの距離が 150mm 程度であることを示唆するものと考えられる。

4. BL 性状が硬化コンクリートの品質に影響を及ぼす範囲の定性的な傾向

本実験で得られた BL 性状が硬化コンクリートの品質に影響を及ぼす範囲の定性的な傾向を図-9 に示す。前章までの試験結果から、BL が硬化コンクリートの品質に影響を及ぼす範囲は、コンクリートの打込み面からの距離とせき板の接触面からの距離によって異なることが示唆された。そこで、ここでは、本実験で得られた水セメント比 65% の SL8 および SL21 のコンクリートの試験結果に限って、BL が硬化コンクリートの品質に影響を及ぼす範囲を定性的に示すこととした。

その結果、BL が硬化コンクリートの品質に影響を及ぼす範囲は、せき板の接触面からの距離が 10mm 程度、コンクリートの打込み面から 150mm 程度であることが示唆された。

5. まとめ

本研究により得られた知見を以下に示す。

- (1) BL 水量は、SL8 と比較して SL21 が大きくなり、せき板の接触面からの距離が 30~50mm 程度まで変化した。
- (2) 圧縮強度は、BL 水量に比例して大きくなり、コンクリートの打込み面近傍で小さくなった。
- (3) 引っかき傷幅は、BL 水量の違いによる差異が小さく、せき板の接触面からの距離と比較してコンクリートの打込み面から近いほど大きくなった。
- (4) 中性化深さおよび透気係数は、BL 水量が大きいほど小さくなり、せき板の接触面およびコンクリート

の打込み面から遠いほど小さかった。

本検討を踏まえ、細孔径分布および透水性について今後検討していく予定である。これに加えて、異なる水セメント比のコンクリートを対象に、打込み面に対して鉛直および水平方向とコンクリート表面からの距離の相違による BL 性状と硬化コンクリートの品質の関係についてさらに検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 例えば、小林聖、渡邊賢三、坂田昇、細田暁：ブリーディング抑制型 AE 減水剤によるコンクリートの表層品質の向上効果、コンクリート工学年次論文集、Vol.36, No.1, pp.1576-1581, 2014.7
- 2) 例えば、日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事、p.280, 2015
- 3) 例えば、大塚晋也、高橋正典、島弘：鉄筋とコンクリートの付着応力-すべり関係に及ぼすブリーディングの影響、日本建築学会四国支部研究報告集、Vol.10, pp.11-12, 2010.4
- 4) 辻正哲：ブリーディング水の発生機構とその処理方法に関する研究、セメントコンクリート、No. 457, pp.25-30, 1985.3
- 5) 犬飼利嗣、畑中重光、三島直生、金子林爾：視覚的評価方法によるコンクリート中のブリーディング挙動に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.26, No.1, pp.609-614, 2004.7
- 6) 三田勝也、加藤佳孝：領域分割による型枠界面のブリーディング水計測に関する実験的検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.37, No.1, pp.1081-1086, 2015.7
- 7) 湯浅昇、笠井芳夫、松井勇：乾燥を受けたコンクリートの表層から内部にわたる含水率、細孔構造の不均質性、日本建築学会構造系論文集、No.509, pp.9-16, 1998.7
- 8) 月永洋一、権代由範、庄谷征美、阿波稔：コンクリート部材の断面厚さの相違が表層部脆弱層の形成に及ぼす影響、セメント・コンクリート論文集 Vol.64, No.1, pp.391-397, 2010
- 9) 三田勝也、加藤佳孝：型枠形状の違いがブリーディング水の発生機構に及ぼす影響に関する実験的検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.34, No.1, pp.1198-1203, 2012.7
- 10) 申英珠、田中享二：コンクリート壁のセパレーターの透水性に影響を及ぼすブリーディングについての研究、2001 年度日本建築学会関東支部研究報告集、Vol.72, pp.61-64, 2001