

論文 採取方向の異なるコア供試体における試験体の表面からの距離の相違がコンクリートの品質に及ぼす影響に関する研究

植田 優太郎*1・大塚 秀三*2・中田 善久*3・荒巻 卓見*4

要旨：採取方向の異なるコア供試体における試験体の表面からの距離の相違がコンクリートの品質に及ぼす影響を明らかにするために、圧縮強度、引っかけ傷幅、中性化深さ、透気係数および細孔量について検討を行った。その結果、表面からの距離が短いほど品質が低下する傾向を示した。コア供試体の採取方向による影響は、水平方向に比べ鉛直方向の方が大きくなる傾向を示した。また、これらの傾向は、水セメント比、単位水量および試験体の寸法が大きいくほど顕著となった。

キーワード：コア供試体、表面からの距離、採取方向、水セメント比、単位水量、試験体の寸法

1. はじめに

コンクリート部材は、打込み・締固め、ブリーディング性状および養生方法などの影響により不均質となり、部材の内部と表層部では品質が異なる場合がある。この一例として、湯浅ら¹⁾は、10×10×40cmの供試体を対象に、コンクリートの表面から内部にかけて、細孔量の分布を検討した結果、内部に比べ表面に近い側に比較的大きな細孔が残存し総細孔量が大きくなることを明らかにした。権代ら²⁾は、厚さを100~300mmに変化させた試験体からコア供試体を採取し、中性化深さを検討した。その結果、試験体の厚さが大きくなるにつれ表層部に形成される脆弱層が大きくなることを示唆している。

これらの背景から、筆者らの一部³⁾は、水セメント比（以下、W/Cとする）を65%で一定とし、単位水量を変化させ異なるブリーディング性状としたコンクリートを用いた実大部材を模擬した試験体を対象に、試験体の表面からの距離と硬化コンクリートの品質の関係について採取方向を変えたコア供試体によって検討した。その結果、表面からの距離が短くなるほどブリーディング水の移動に伴う影響により、硬化コンクリートの品質が低下する傾向を示し、コア供試体の採取方向が水平方向に比べ鉛直方向において顕著であることを明らかにした。なお、ここでの試験体の表面とは、試験体の打込み面およびせき板の接触面の双方を意味する。一方で、月永ら⁴⁾は、W/Cが小さくなると相対的にブリーディング量が減少するためブリーディングの影響が抑制され、表面に形成される脆弱層の厚さに差異が生じるとしている。このことから、既報³⁾で得られた知見が、より小さなW/Cにも適用できるかについて不明な点が残る。

そこで本研究では、2水準の寸法の異なる試験体につ

いて、コンクリートの打込み面に対して鉛直方向および水平方向から採取したコア供試体を用いて、試験体の表面からの距離の相違がコンクリートの品質に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。試験体に用いたコンクリートの配（調）合は、W/Cを45および65%として、既報³⁾のW/C65%および単位水量167kg/m³のコンクリートの結果と合わせて検討した。ここでは、ブリーディング性状、圧縮強度、引っかけ傷幅、中性化深さ、透気係数および細孔量について報告する。

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。試験体の寸法は、大きさを変えた2水準とした。コンクリートは、W/Cを45および65%とし、目標スランブを8および15cm（以下、SL8およびSL15とする）とした。また、コア供試体の採取方向は、試験体の打込み面に対して鉛直方向および水平方向とした。

2.2 コンクリートの概要

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。コンクリートは、W/Cおよび目標スランブを変化させた4配（調）合とした。また、粗骨材下部にブリーディング水が滞留することによる及ぼす影響⁵⁾を考慮し、単位粗

表-1 実験の要因と水準

要因	水準
試験体の寸法 (mm)	H255 : W700×D300×H255
	H1300 : W2,400×D300×H1,300
水セメント比 (%)	45, 65
目標スランブ (cm)	8, 15
コア供試体の採取方向	試験体の打込み面に対して 鉛直方向, 水平方向

*1 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）

*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 技能工芸学部建設学科助教 博士(工学)（正会員）

骨材かさ容積を一定とし、単位水量を調整することで配（調）合を変化させた。

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×D300×H255mm および W2,400×D300×H1,300mm（以下、それぞれ H255 および H1300 とする）の寸法とし、1 配（調）合につき H255 を鉛直方向用に 5 体、水平方向用に 5 体、H1300 を鉛直方向用に 3 体および水平方向用に 2 体作製した。H1300 は、試験体の左右に断熱材（発泡スチロール）を設置し熱の伝達を遮断することにより、コンクリート部材の中央部を模擬した。コンクリートの打込みは、H255 では 2 層打ちとし、H1300 ではバケットを用いて 3 層に分けて行った。締固めは、棒形振動機および木槌の叩きによるものとした。また、せき板の取外しは、コンクリートの打込み後材齢 2 日とした。その後、試験体は、屋外環境下に静置し気中養生した。

コア供試体は、採取方向の違いを比較検討するために、鉛直方向および水平方向のそれぞれが同一の高さでコア供試体の中心位置が交差するように採取した。鉛直方向におけるコア供試体の採取位置は、H255 および H1300 とともに厚さ方向の中心部とした。水平方向におけるコア供試体の採取位置は、H255 では高さ方向の中心部とし、H1300 では試験体の高さを 3 分割した上段（打込み面から 150mm）、中段（同 670mm）および下段（同 1,090mm）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、コア供試体の試験位置を表－5 に示す。コア供試体は、材齢 28 日に採取した。コア供試体の直径は、圧縮強度試験、引っかけ傷幅試験および促進中性化試験に供するものをφ100mm とし、透気試験および細孔量の測定に供するものをφ150mm とした。

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：3,270cm ² /g
水	地下水	－
細骨材	栃木県栃木市知内町産 陸砂	表乾密度：2.61g/cm ³ 粗粒率：2.75 吸水率：2.22%
粗骨材	栃木県佐野市会沢町産 石灰岩碎石	表乾密度：2.70g/cm ³ 実積率：60.0% 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)	実測 スランプ (cm)	OT※3 (°C)	CT※4 (°C)	標準養生 供試体の 圧縮強度 (N/mm ²)	JIS A 1123:2018 によるBL量 (cm ³ /cm ²)
			W	C	S	G									
45	0.620	44.0	171	380	762	1004	0.03	1.2	3.9	8	7.5	19.9	24.7	41.9	0.03
		42.9	178	396	731				5.0	15	17.0	22.9	26.8	40.7	0.05
65	0.580	50.8	167	257	937	940	0.03	1.2	3.1	8	9.5	18.0	22.0	23.1	0.13
65	0.580	49.4	180	277	885	940	0.03	1.2	3.0	15	13.5	20.4	26.0	29.9	0.08

■：既報³⁾ ※1：AE剤 ※2：AE減水剤 ※3：外気温 ※4：コンクリート温度

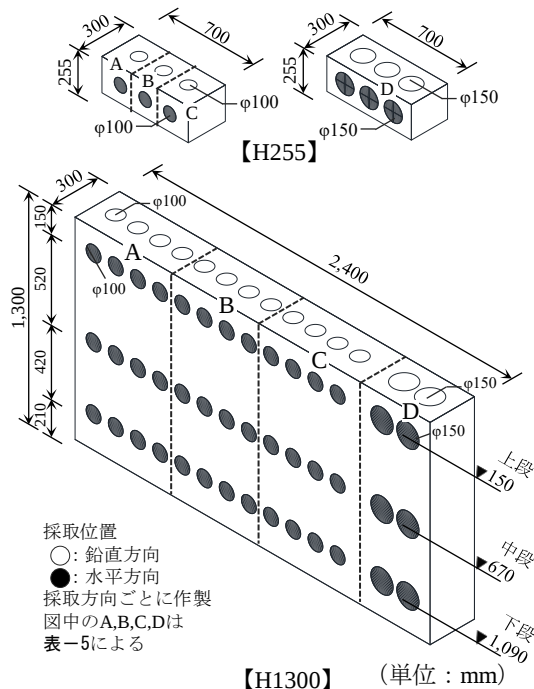
また、試験面が表－5 に示す試験位置となるようにそれぞれ切断した。コア供試体の高さは、圧縮強度試験用が 200mm、引っかけ傷幅試験用が 20mm、促進中性化試験用が 70mm および透気試験用が 10mm とした。切断したコア供試体は、20℃±2℃、相対湿度 60±5%の恒温恒湿室にて7日間気中養生した後、各試験に供した。

(1) ブリーディング試験

ブリーディング試験は、JIS A 1123:2012 による鋼製容器を用いた方法に加え、試験体の打込み面についても行った。試験体の打込み面では、せき板近傍と内部におけるブリーディング性状の差異を把握するために、図－2 に示すように領域分割してブリーディング量を測定した。試験体の打込み面のブリーディングは、試験体の厚さ方向の中心部において、塩化ビニル製の仕切板を用いてせき板の接触面から距離の異なる 5 つの領域においてそれぞれ幅 20mm の範囲に分割し、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水を採取した。

(2) 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、材齢 28 日まで標準養生を行った供試体に加え、採取後に恒温恒湿室にて気中養生を行ったコア供試体を対象に行った。また、表面を残存させたコ

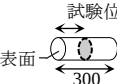
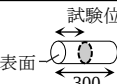


図－1 試験体の概要

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	5つの領域における幅20mmの範囲からスポイトを用いて JIS A 1123:2012 と同等の採取時間間隔においてブリーディングを採取	打込み面
	JIS A 1123:2012	JIS容器
圧縮強度試験	JIS A 1108:2018	φ100mm コア供試体
引っかかり傷幅試験	日本建築工学会式 引っかかり試験器を用いる	
促進中性化試験	JIS A 1153:2012	
透気試験	NDIS 3436-2:2020	φ150mm コア供試体
細孔量の測定	水銀圧入法 (ポロシメータを用いる)	H255 試験片

表-5 コア供試体の試験位置

寸法	コア供試体	試験位置		
		A：圧縮	B：引っかかり， C：中性化，D：透気	D：細孔量
H255	鉛直方向 	25	0， 5， 10， 30， 50， 70， 127.5	0， 10， 50， 70， 127.5
	水平方向 	50	0， 5， 10， 30， 50， 70， 150	0， 10， 50， 70， 150
H1300	鉛直方向 	0， 250， 500， 750， 1050	0， 5， 10， 30， 50， 70， 150， 350， 450， 550， 650， 750， 850， 950， 1090， 1230	
	水平方向 	50	0， 5， 10， 30， 50， 70， 150	

(単位：mm)

(単位: mm)

コア供試体は、コンクリート表面の影響を検討するために機械研磨せず、硫黄を用いたキャッピング処理を行った後に試験に供した。

(3) 引っかかり傷幅試験

圧縮強度試験に加えコア供試体の強度性状の測定について表面強度を評価する引っかかり傷幅試験⁶⁾を用いた。引っかかり傷幅試験は、採取後に恒温恒湿室にて気中養生を行ったコア供試体を対象に、日本建築工学会式の引っかかり試験器を用いて行った。引っかかり傷幅は、3本の引っかかり傷の傷幅をクラックスケールにて測定し、その平均とした。

(4) 促進中性化試験

コア供試体の中性化深さは、水準値の差異をより明確に捉えるために、JIS A 1153:2012 に準拠した促進中性化試験とした。コア供試体は、恒温恒湿室にて気中養生を行った後に、側面をアルミニウム箔テープで封かんし、温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $60 \pm 5\%$ および二酸化炭素濃度 $5 \pm 0.2\%$ とした養生槽に静置した。なお、促進期間は28日間とした。

(5) 透気試験

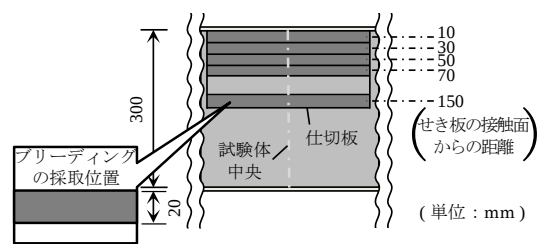


図-2 領域分割したブリーディング試験の概要

透気試験は、NDIS 3436-2:2020 に定められるダブルチャンバー法を用いて測定を行った。試験は、採取後に恒温恒湿室にて気中養生を行ったコア供試体の側面をエポキシ樹脂で封かんした後、高周波容量式 (20MHz) の水分計を用いて含水率が 5.0% 以下であることを確認した後にを行った。透気係数は、試験面の1面につき15分以上の間隔を空けて2回ごと測定し、その平均とした。

(6) 細孔量の測定

細孔量の測定は、H255 における W/C45 および 65% の SL8 のコンクリートを対象にポロシメータを用いた水銀圧入法によって行った。試料は、透気試験で使用したコア供試体を材齢 91 日に 2.5~5.0mm の大きさにハンマーを用いて破碎した。その後、粗骨材を除くモルタル部分を試料として選別し、アセトン処理および D-dry 処理を行って試験に供した。

3. 結果および考察

3.1 ブリーディング性状

せき板の接触面からの距離とブリーディング量の関係を図-3 に示す。ブリーディング量は、W/C および単位水量が大きいほど大きくなる傾向を示し、せき板の接触面からの距離が短くなるにつれ大きくなった。これは、ブリーディング量がせき板近傍において大きくなるとした知見⁷⁾と同様であり、コンクリート中の自由水がせき板近傍に形成された水みちに沿って移動および上昇したことを示唆するものと考えられる。また、H255 および H1300 では、概ね同等のブリーディング量となったことから、試験体の寸法の違いによる影響は小さかった。一方、申ら⁸⁾は、高さ 15~150cm の模擬壁部材を対象とし、高さ寸法の違いがブリーディング性状に及ぼす影響を検討し、高さ寸法に比例してブリーディング量が大きくなることを示しており、本実験と相反する傾向を示しているが、犬飼ら⁹⁾が指摘するようにブリーディングの水みちが複雑に形成され、一定とならなかったことが影響した可能性がある。

3.2 圧縮強度

打込み面からの距離と圧縮強度の関係を図-4 に示す。打込み面からの距離と圧縮強度の関係は、コア供試体の採取方向の影響が小さく、打込み面からの距離に比例し

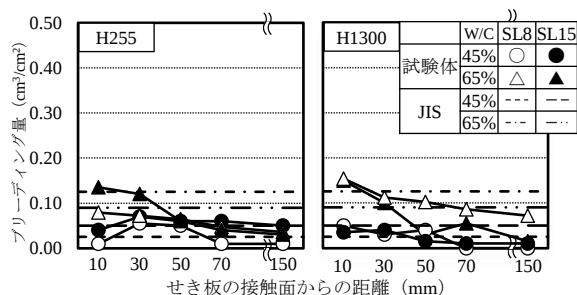


図-3 せき板の接触面からの距離とブリーディング量の関係

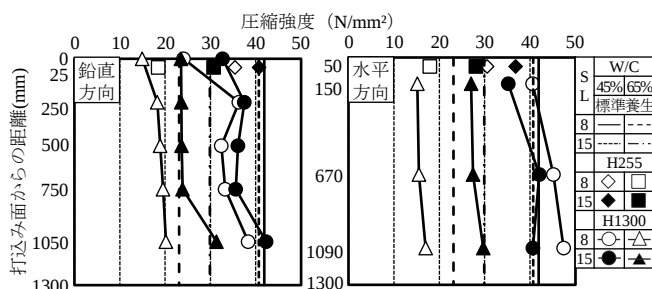


図-4 打込み面からの距離と圧縮強度の関係

圧縮強度が大きくなる傾向を示した。この傾向は、W/C および単位水量が大きくなるほど顕著であり、大塚ら¹⁰⁾と同様の傾向であった。これは、ブリーディング水の上昇に伴い、試験体下部において圧密沈下したことが影響したと考えられる。

3.3 引っかかり傷幅

表面からの距離と引っかかり傷幅の関係を図-5 に示す。引っかかり傷幅は、W/C および単位水量が小さいほど、表面からの距離が長くなるほど小さくなる傾向を示した。この傾向は、先述した圧縮強度と同様の傾向を示しており、湯浅ら⁶⁾と同様に圧縮強度と引っかかり傷幅が強い相関を示した。また、水平方向におけるコア供試体の採取高さで引っかかり傷幅の関係は、上段に比べ中段および下段において引っかかり傷幅が小さくなる傾向を示した。一方、試験体の寸法が大きいほど採取方向による影響が大きく、水平方向に比べ鉛直方向の方が引っかかり傷幅の変化量が大きかった。これは、ブリーディング水の上昇により、試験体の打込み面近傍が脆弱化したことが影響していると考えられ、白石ら¹¹⁾の知見と同様であった。

表面からの距離と引っかかり傷幅の関係は、H1300 では鉛直方向において表面から 150mm 程度、水平方向では 10mm 程度の範囲において変化が大きくなった。また、H255 ではコア供試体の採取方向に関わらず、表面から 10mm 程度の範囲において変化が大きくなった。

3.4 中性化深さ

表面からの距離と中性化深さの関係を図-6 に示す。中性化深さは、表面からの距離が短くなるほど大きくなる傾向を示した。この傾向は、W/C、単位水量および試験体の寸法が大きいほど顕著に見られ、先述した権代ら

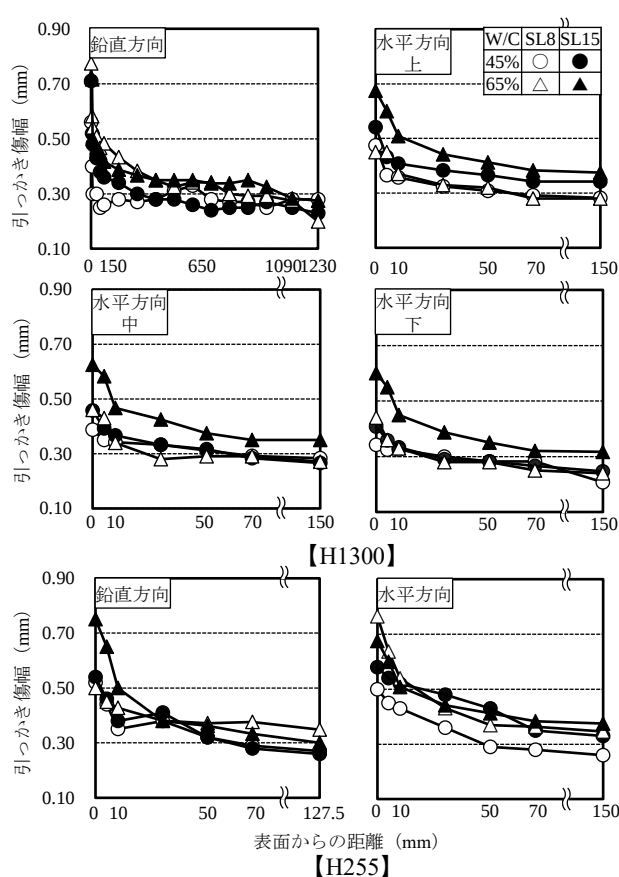


図-5 表面からの距離と引っかかり傷幅の関係

と同様の傾向となった。また、H1300 の水平方向における中性化深さは、コア供試体の採取高さが高いほど表面からの距離の影響が大きくなった。

表面からの距離と中性化深さの関係は、H1300 では鉛直方向において表面から 70~150mm 程度、水平方向では表面から 10mm 程度の範囲において変動が大きく、H255 ではコア供試体の採取方向による影響は小さく表面から 10mm 程度の範囲で中性化深さの変化が大きくなった。

3.5 透気係数

表面からの距離と透気係数の関係を図-7 に示す。透気係数は、W/C および単位水量が大きいほど、表面からの距離が短くなるほど大きくなる傾向を示した。また、H1300 の水平方向における透気係数は、中段および下段に比べて上段が大きくなる傾向を示した。これらは、中性化深さと同様の傾向を示しており、実大試験体において中性化深さと透気係数に相関関係があるとした知見¹²⁾と同様であった。これについては、コンクリートの構成材料が圧密沈下し、試験体下部が緻密になったことが原因と考えられる。一方、H255 における透気係数は、コア供試体の採取方向による影響が小さかった。

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鉛直方向において表面から 150mm 程度、水平方向において表面から 10mm の範囲において透気係数の変化

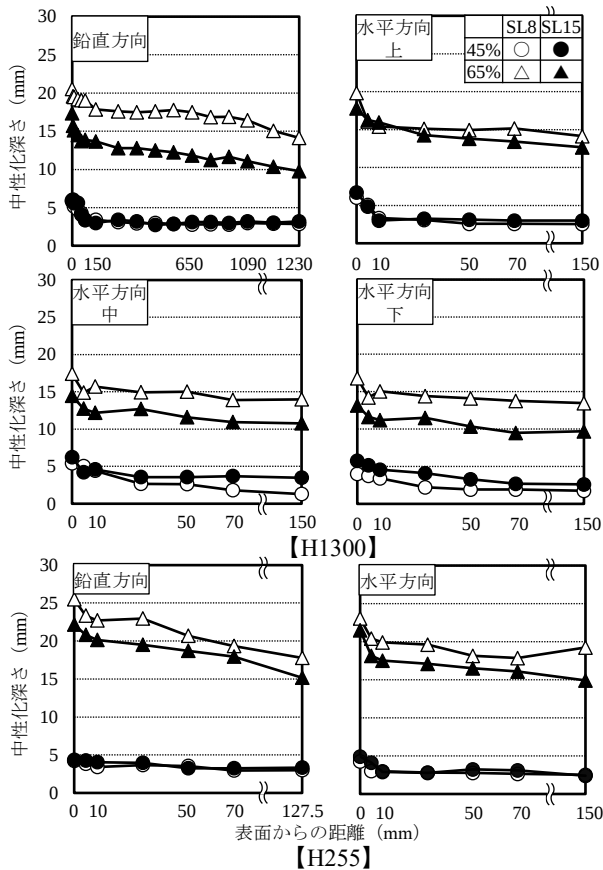


図-6 表面からの距離と中性化深さの関係

が大きいことから、表面付近は、内部と比べ粗な構造となったことが示唆された。

3.5 細孔量

表面からの距離と総細孔量の関係を図-8 に示す。総細孔量は、W/C およびコア供試体の採取方向による影響が小さく、表面からの距離が長くなるにつれ小さくなる傾向を示した。これに対して、総細孔量は、W/C に比例して大きくなるとされている^{2), 13)}が、本研究の範囲内において同様の傾向はみられなかった。

細孔径分布を図-9 に示す。細孔径分布は、表面からの距離が短くなるにつれて水平方向では細孔半径 50~1000nm の大きな細孔が増加し、鉛直方向では細孔半径 5~50nm の微細な細孔が増加した。以上より、H255 の細孔構造は、鉛直方向より水平方向の方が粗大な細孔が形成される傾向を示し、これまで検討を行った品質のコア供試体の採取方向の相違による傾向とは異なるものとなった。これは、本研究において試料の厚さを 10mm としたことや材齢 91 日まで気中養生したことによってセメントの水和反応が阻害され細孔径が粗大化した影響が考えられ、部材中の組織構造と必ずしも一致していない可能性が示唆される。そのため実験手法について今後の検討課題としたい。

4. 各種品質に影響を及ぼす範囲の定性的な傾向

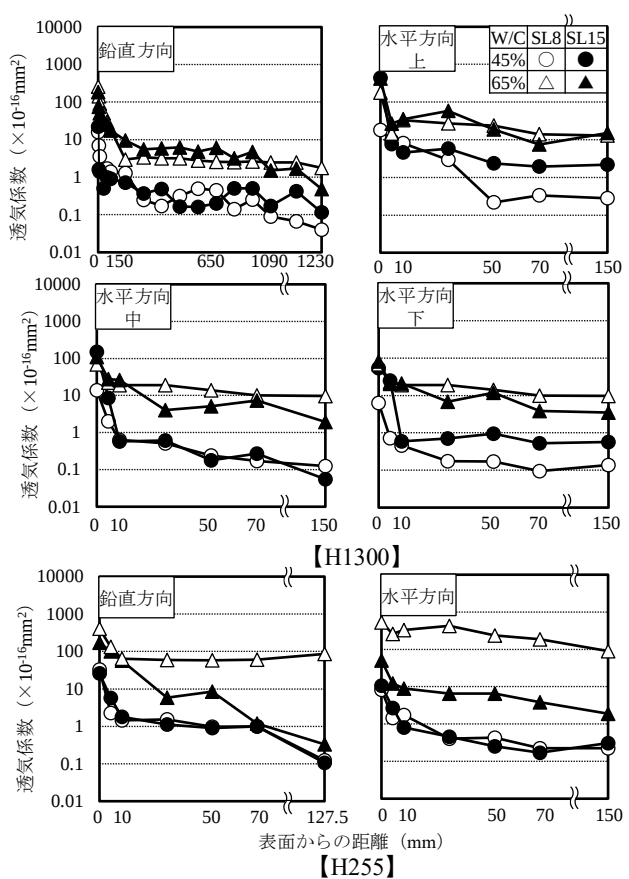


図-7 表面からの距離と透気係数の関係

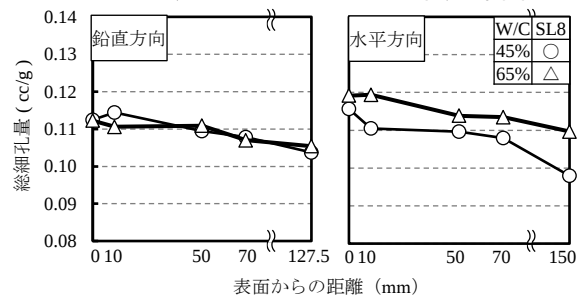


図-8 表面からの距離と総細孔量の関係

表面からの距離が品質に影響を及ぼす範囲の定性的な傾向を図-10 に示す。表面からの距離が品質に及ぼす影響は、W/C、単位水量および試験体の寸法が大きくなるほど増大する傾向を示した。また、品質に影響を及ぼす範囲は、既報³⁾と同様に、鉛直方向では表面から 150mm 程度、水平方向では表面から 10mm 程度であった。一方、H255 ではコア供試体の採取方向の影響が小さく、鉛直方向および水平方向において表面から 10mm 程度となった。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) W/C および単位水量が大きくなるにつれて、表面からの距離が品質に及ぼす影響は大きくなった。
- (2) 表面からの距離が短いほど、圧縮強度は小さくなり、引っかけ傷幅、中性化深さ、透気係数および細孔量は大きくなった。

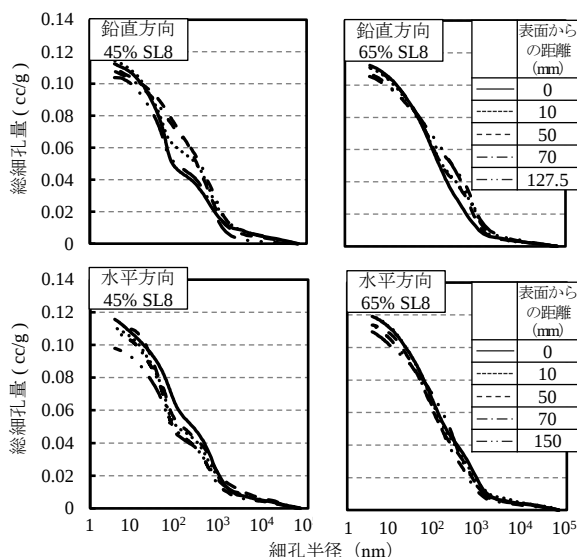


図-9 細孔径分布

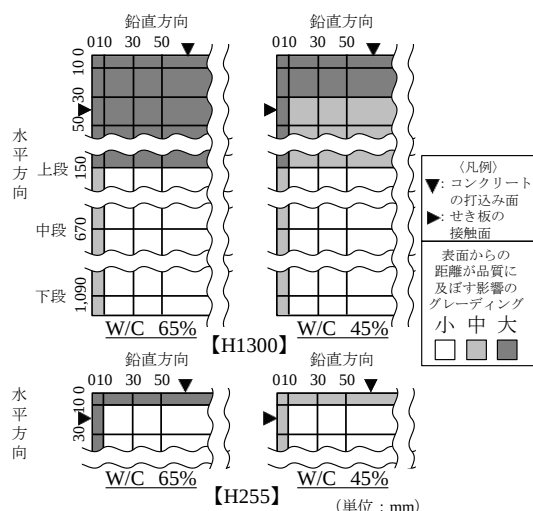


図-10 表面からの距離が品質に影響を及ぼす範囲の定性的な傾向

- (3) コア供試体の採取方向による表面からの距離が品質に及ぼす影響は、試験体の寸法が大きくなるほど顕著に表れ、H1300の鉛直方向では表面から150mm程度、水平方向では表面から10mm程度であった。

謝辞

本研究の実施にあたり、ものづくり大学技能工芸学部建設学科大塚研究室の学生より多大な協力を得た。ここに記して、深謝する。

参考文献

- 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
- 権代由範, 月永洋一, 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, 細孔構造の不均質性, セメント・コンクリート論文集, No.64, pp.391-397, 2010

- 3) 樫村啓, 大塚秀三, 中田善久, 奥山夏樹: 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, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, pp.1103-1108, 2019.7
- 4) 月永洋一ほか: コンクリート表層部脆弱層の形成に関する研究, 断面厚さおよび水セメント比による検討, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, pp.475-476, 2012.9
- 5) 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, 2017.6
- 6) 湯浅昇, 笠井芳夫, 松井勇: 引っかき傷によるコンクリートの表面強度測定方法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.677-678, 1999.9
- 7) 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
- 8) 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, 日本建築学会関東支部研究報告集, Vol.72, pp.61-64, 2002.2
- 9) 犬飼利嗣, 畑中重光, 三島直生, 金子林爾: 視覚的評価方法にもとづくモルタル中の自由水のブリーディング挙動に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol.70, No.590, pp.1-7, 2005.4
- 10) 大塚秀三, 中田善久, 大木崇輔: 各種セメントを用いた高強度コンクリートの模擬柱部材における打込み面からの採取深さがコア強度と変動に及ぼす影響, 日本建築学会構造系論文集, Vol.76, No.659, pp.23-30, 2011.1
- 11) 白石倫巳, 湯浅昇, 笠井芳夫, 松井勇: 日本大学生産工学部5号館解体に伴う学術調査-その2 非破壊試験による強度推定-, 日本大学生産工学部第37回学術講演会, 4-30, pp.205-210, 2004.12
- 12) 早川健司, 加藤佳孝: かぶりコンクリートの品質に及ぼす配合および施工方法の影響, 土木学会論文集E2(材料・コンクリート構造), Vol.68, No.4, pp.399-409, 2012
- 13) 桂修, 漆崎要, 吉野利幸, 鎌田英治: 水銀圧入法によるセメント硬化体の細孔径分布と水の脱着平衡, コンクリート工学論文集, Vol.10, pp.65-77, 1999