

論文 鉄筋間通過に伴う配合変化と締固めがかぶりコンクリートの表層透気性に及ぼす影響

加藤 祐彬*1・加藤 佳孝*2

要旨: コンクリート構造物の耐久性はかぶりコンクリートの品質が重要となるが、かぶり部のコンクリートは、鉄筋の内側にコンクリートを打設し内部振動機によって鉄筋の外側(かぶり部分)に流動させて充填される。このとき、鉄筋の干渉によってモルタルと粗骨材が分離しやすくなり、打設前の配合とは異なる配合となる可能性がある。本研究ではかぶり部の充填に伴う配合変化、およびその配合変化が表層透気係数に及ぼす影響を検討した。その結果、何れの鉄筋間隔においても表層透気係数はほぼ同等程度になることや、空気量の増加に伴って表層透気係数も増加することを確認した。

キーワード: かぶり, 鉄筋間通過, 表面透気試験, 配合変化, 洗い分析, 締固め

1. はじめに

コンクリート構造物の耐久性は、かぶりコンクリートの品質と密接な関係にあり、その品質は、使用材料や配合、複数の施工プロセスの影響を受ける。特に、かぶり部のコンクリートは、鉄筋の内側にコンクリートを打設し、内部振動機によって鉄筋の外側(かぶり部分)に流動させて充填されるため、鉄筋の干渉によってモルタルと粗骨材が分離しやすくなり、打設前のコンクリートの配合とは異なる可能性がある¹⁾。しかし、施工後の品質の確認は供試体の圧縮強度や、構造物のひび割れ以外では定量的な評価が行われておらず、かぶりコンクリートの品質を評価できていないとの指摘がある²⁾。

近年、構造物の耐久性と密接に関連するかぶりコンクリートの物質移動抵抗性を評価する表面透気試験³⁾や表面吸水試験⁴⁾等が注目されており、中性化や塩害等の劣化に関連する耐久性指標との相関性が検討されている⁵⁾⁶⁾。

このような構造物で適用可能な測定方法の発展を受けて、早川ら⁷⁾は、鉄筋間を通過したコンクリートの表層透気係数の変動傾向について検討しているが、鉄筋間通過に伴う品質変動のメカニズム、および配合変化が表層透気係数に及ぼす影響等については明確になっていない。また前記したように、施工に伴う配合変化に関する既往の研究はあるが^{例えば}、その配合変化がかぶりコンクリートの品質に及ぼす影響についての検討は殆どされていない。

このような現状を鑑み、本研究では鉄筋間通過に伴うかぶりコンクリートの配合変化および硬化後のかぶりコンクリートの表層透気係数について検討した(実験シリーズⅠ)。さらに、鉄筋間通過に伴う配合変化による表層透気係数の変動メカニズムを把握するため、配合変化後

のコンクリートを想定し、モルタルの細骨材量、空気量、水セメント比の変化が表層透気係数に及ぼす影響(実験シリーズⅡ)、および振動締固めが表層透気係数に与える影響(実験シリーズⅢ)を検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

使用材料はセメントには普通ポルトランドセメント(密度 3.15g/cm³)、細骨材には山梨県富士川産川砂(表乾密度 2.60g/cm³, 絶乾密度 2.57g/cm³, F.M.2.62)、粗骨材には埼玉県秩父産砕石(表乾密度 2.72g/cm³, 絶乾密度 2.70g/cm³, F.M.6.77)、化学混和剤にはアルキルエーテル系 AE 剤およびポリカルボン酸エーテル系高性能減水剤を用いた。**表-1** にシリーズⅠ, シリーズⅢに用いたコンクリートの配合を示す。シリーズⅠでは鉄筋間通過に伴う配合変化の検討、および鉄筋間通過したコンクリートの硬化後の表層透気係数の検討を目的としたものであり、水セメント比 50%の配合を用いた。

図-1 に鉄筋の配置を示す。鉄筋は D16 を使用した。鉄筋間隔に関して、土木学会コンクリート標準示方書⁸⁾によると、はり部材について 20mm 以上、粗骨材の最大寸法の 4/3 倍以上、鉄筋直径以上、柱部材について 40mm 以上、粗骨材の最大寸法の 4/3 倍以上、鉄筋直径以上とされており、本研究は上記のうち狭い配筋が許容されるはり部材を対象とした。鉄筋間隔は 20, 30, 40, 60mm のものに無筋を加え 5 水準とし、水平方向に鉄筋を配置し、鉄筋の端部に同じ鉄筋を鉛直に配置し、鉄筋同士を溶接して固定した。

シリーズⅡでは配合が表層透気係数に与える影響の検討を目的とし、粗骨材の影響を排除するためモルタル供試体を作製し、配合中の細骨材量と空気量が表層透気係

*1 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 修士(工学) (正会員)

*2 東京理科大学 理工学部土木工学科 准教授 博士(工学) (正会員)

表-1 シリーズ I, III の示方配合

粗骨材最大寸法 (mm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				AE(g)	高性能減水剤(g)
				W	C	S	G		
20	50	4.5	48	165	330	855	969	10	330

表-2 シリーズ II の示方配合

検討項目	W/C (%)	S/C	単位量(kg/m ³)		
			W	C	S
骨材量	50	1	416	832	832
		2	315	630	1260
		3	254	507	1522
		4	212	424	1698
	60	1	461	768	768
		2	356	593	1186
		3	290	483	1448
		4	244	407	1629
空気量	40	2.1	262	656	1382
	50	2.4	288	576	1382
	60	2.7	308	513	1382

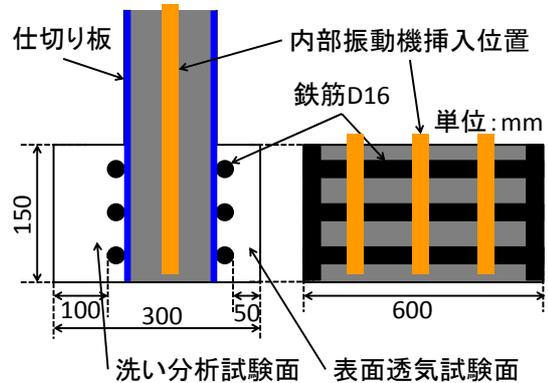


図-1 型枠概要および振動機挿入位置

数に及ぼす影響を検討した。細骨材量の検討として水セメント比を 50, 60% の 2 水準とし、S/C を 1, 2, 3, 4 の 4 水準とした。空気量の検討として骨材量の影響を排除するため全ての配合で骨材量を一定、水セメント比を 40, 50, 60 の 3 水準とし、それぞれの配合で AE 剤の量を $C \times 0, 0.002, 0.004, 0.006$ と変動させ表層透気係数を測定した。シリーズ II の締固めは突き棒により行ったが、細骨材量の検討での S/C が 4 の配合は充填性が悪いため、内部振動機を用いて締め固めた。

シリーズ III では鉄筋間通過に伴う締固めの影響を検討し、シリーズ I と同じ配合を用い締固め方法を変化させ、突き棒締固め、棒状内部振動機を挿入し、表層透気係数への影響を検討した。また、締固めがコンクリートの空気量およびブリーディング量に及ぼす影響も検討するため、試験時の容器への締固め方法を供試体作成時と同様にし、JIS A 1128, JIS A 1123 に準じて空気量、ブリーディング量を測定した。

シリーズ I, III に用いたコンクリートの練混ぜには強制パン型ミキサ(容量 50l)を用い、細骨材、セメントを投入後 30 秒間練混ぜ、粗骨材を投入し、30 秒練混ぜ、水を投入後 120 秒練混ぜる方法とした。シリーズ II ではオムニミキサ(容量 10l)を使用し、シリーズ I と同じ手順で練混ぜる方法とした。

2.2 実験方法

(1) 鉄筋間通過に伴う配合変化および配合変化後の表層透気性

実験シリーズ I に用いた型枠の形状を図-1 に示す。仕切り板によって仕切られた型枠中心の空間内に、供試体を充填するのに必要な量(27l)のコンクリートを投入し、左右の仕切り板を引き上げた。本実験ではスランプ 11cm 程度のコンクリートを使用した。仕切り板を引き上げ

た時点で、自重による変形により鉄筋間隙を通過してかぶり部に到達したものはなかった。続いて棒状内部振動機(出力 230W, 電圧 100V, 振動数 235-285Hz, 径 23mm)を用いて、投入したコンクリートの流動が偏らないように、1 箇所ずつ等しい時間供試体中央部 3 箇所に挿入し、目視で概ね充填が完了したと判断された時間(3 箇所合計で鉄筋無し: 7 秒, 60mm: 15 秒, 40mm: 21 秒, 30mm: 61 秒, 20mm: 163 秒)振動させた(図-1 参照)。打設終了後型枠の上部を取り外し、かぶり 100mm 側からまだ固まらないコンクリート試料を 7l 採取し、洗い分析を行った。コンクリートを採取したかぶり 100mm 側には、試料採取後に供試体内部および表面透気試験面のコンクリートの流動を防ぐため、練りあがった配合のコンクリートを突き棒により締固め埋め戻した。打設後 1 日で脱型し、材齢 28 日まで温度 20°C 湿度 60~80% の恒温室内で気中養生し、かぶり 50mm 側で表面透気試験を行った。表面透気試験の影響深さは過去の検討結果では水上ら⁹⁾によると 0-30mm、田中ら¹⁰⁾によると 0-40mm とされており、本実験では鉄筋自身が表層透気係数に影響を及ぼさないように、表面透気試験面のかぶりを 50mm とした。実験シリーズ I について各配筋条件について 2 回実施し、2 回のデータを平均(表層透気係数は相乗平均)したものを用いる。

(2) 配合組成が表層透気係数に与える影響

シリーズ II では粗骨材の影響を排除し、モルタル中の細骨材量および空気量の影響を、水セメント比を変化させて検討した。供試体として 150mm 角の立方体を作製した。

(3) 締固めが表層透気係数に与える影響

シリーズ III では供試体寸法を 150mm 角とした。突き棒による締固めと、型枠の中心部に棒状内部振動機を挿

入し、5, 15, 60 秒間振動したものの4種類を作製した。

2.3 試験項目

フレッシュコンクリートの試験は JIS A 1101 に準拠したスランブ試験, JIS A 1128 に準拠した空気量試験および JIS A 1123 に準拠したブリーディング試験を行った。

かぶりコンクリートの洗い分析では、採取した 7l のまだ固まらないコンクリートを空気量測定器に詰めて、フレッシュコンクリートの試験と同様に空気量を測定した。次に 5mm ふるい上でコンクリートを洗い、モルタルと粗骨材を分離し、モルタルを 0.15mm ふるいの上で水洗いし、セメント分および細骨材の 0.15mm 以下を除去した。ふるい上に残った骨材(0.15mm 以上の細骨材と粗骨材)を 105°C の乾燥炉で 24 時間乾燥させ、10mm ふるいを用いて粗骨材を 5~10mm, 10~20mm の粒径グループに分け、それぞれの絶乾質量を測定した。細骨材のふるい分け試験の結果から 0.15mm ふるいを通過する質量は 4%であったため、ふるい分け後の細骨材の絶乾質量に (100/96) を乗じて補正した。各骨材の絶乾質量を絶乾密度で除して容積を求め、これらに(1000/7) を乗じて 1m³ 当たりの値に換算した。さらに、測定した空気量とそれぞれの骨材容積を差し引くことにより、式(1)を用いてセメントペーストの容積を求めた。

$$V_{paste} = 1 - (V_s + V_{G(5-10)} + V_{G(10-20)} + V_{air}) \quad (1)$$

ここに、 V_{paste} : セメントペーストの単位容積(m³)、 V_s : 単位細骨材容積(m³)、 $V_{G(5-10)}$: 5~10mm の単位粗骨材容積(m³)、 $V_{G(10-20)}$: 10~20mm の単位粗骨材容積(m³)、 V_{air} : 空気量(m³)

また、洗い分析によって求めた骨材容積に表乾密度を乗じ、セメントペーストの単位容積を W/C=50% のセメントペーストの体積比によって単位セメント体積および単位水体积に分離しそれぞれの密度を乗じ、単位セメント量および単位水量を算出し、推定配合を求めた。

硬化コンクリートの試験では、ダブルチャンバーを用

いた Torrent 法³⁾による表面透気試験を行った。表面透気試験は 4 点測定し、相乗平均して各供試体の表層透気係数とした。表面透気試験は真空ポンプを用いてチャンバー内の圧力を設定値(30hPa)まで減圧し、その後内部の気圧が復圧していく過程から、表層透気係数を式(2)により求める方法である。チャンバー全体の直径は 100mm で計測対象となる内部チャンバーの直径は 50mm である。

測定対象面のコンクリートの空隙率を測定時に把握することは難しく、一般に空隙率は想定値として 0.15m³/m³ を用いていることが多く³⁾、本研究においても同様とした。

$$kT = \left(\frac{V_c}{A} \right)^2 \frac{\mu}{2\varepsilon P_a} \left[\frac{\ln \left(\frac{P_a + \Delta P}{P_a - \Delta P} \right)}{\sqrt{t} - \sqrt{t_0}} \right]^2 \quad (2)$$

ここに、 kT : 表層透気係数 (m²)、 V_c : 内部チャンバーの容積 (m³) (= 0.000165)、 A : 内部チャンバーの面積 (m²) (= 0.001963)、 μ : 空気の粘性係数 (N・s/m²) (20°C で 2.0 × 10⁻⁵)、 ε : コンクリートの空隙率の想定値 (m³/m³)、 P_a : 大気圧 (N/m²)、 ΔP : 試験終了までの復圧量 (N/m²)、 t : 試験終了時間 (s)、 t_0 : 試験開始時間 (s) (= 60)

3. 実験結果および考察

3.1 シリーズ I

(1) 鉄筋間通過に伴う配合変化

図-2 に鉄筋間を通過したコンクリートの洗い分析結果を示す。図中の試験結果は 2 回の平均値を用いている。練り上がりの結果は、打設せずに空気量試験を行ったものを洗い分析したものである。

表-3 に練り上がりのコンクリートと、鉄筋間隔が最も狭く鉄筋間通過の影響が最も大きいと考えられる 20mm を通過させたコンクリートの洗い分析による推定配合を示す。練り上がりの 2 回の洗い分析結果の平均値からの変動は最大 2%程度となり、本研究で用いた洗い分析の方法

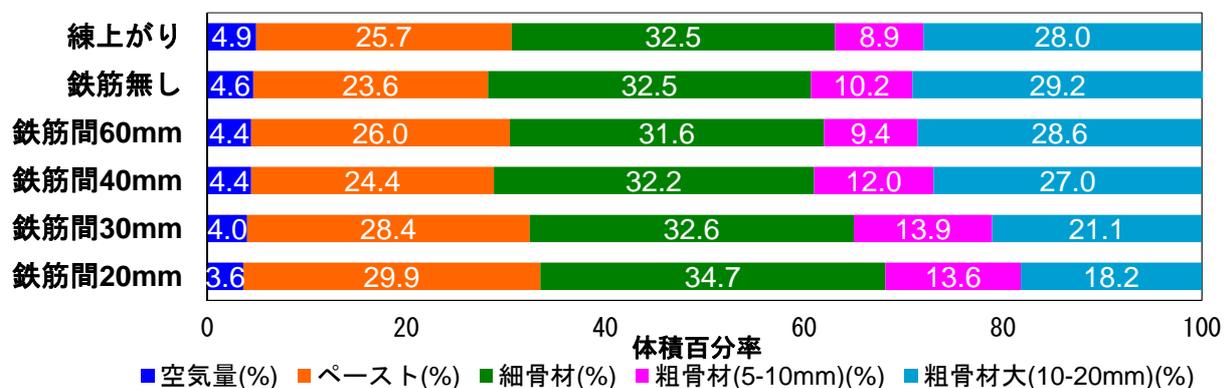


図-2 鉄筋間通過後の洗い分析結果

表-3 洗い分析による推定配合

	試験回数	W(kg)	C(kg)	S(kg)	G ₍₅₋₁₀₎ (kg)	G ₍₁₀₋₂₀₎ (kg)
練上がり	1回目	147	295	830	246	776
	2回目	142	284	863	240	745
鉄筋間20mm	1回目	178	356	897	387	499
	2回目	169	339	908	353	492

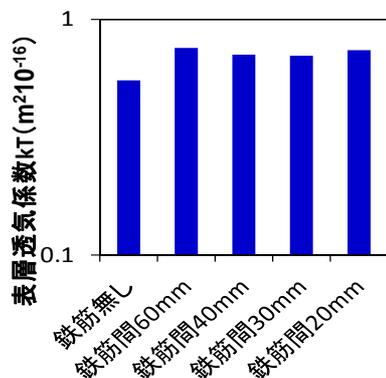


図-3 鉄筋間通過後の表層透気係数

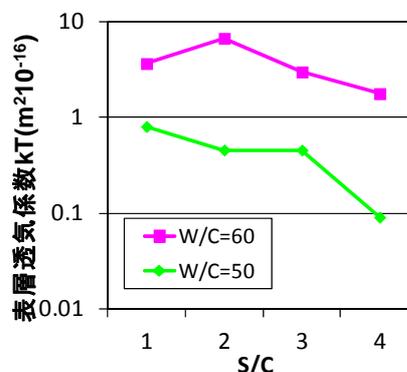


図-4 細骨材量と表層透気係数

は概ね妥当であることがわかる。また、鉄筋間 20mm の 2 回の鉄筋間通過後の洗い分析試験結果の平均値からの変動は最大 5%程度であり、前記した練上がりコンクリートの洗い分析の結果を踏まえると、コンクリートの投入および締固め方法は、再現性のある方法であることがわかる。

以上のことから、鉄筋間通過に伴う配合変化に及ぼす配筋の影響を、本研究の方法で評価できるものと判断した。練上がりと鉄筋無しの結果はほぼ同等となり、打設の有無による洗い分析結果の差異は生じなかった。締固めが短時間で鉄筋が存在せず流動距離が短い場合は、練上がりの配合とほぼ同等であると考えられる。鉄筋間隔の減少に伴い、10~20mm の粗骨材の容積は単調に減少するが、5~10mm の粗骨材の容積は単調に増加している。既往の研究¹⁾と比較すると、10~20mm の粗骨材の容積の減少については一致しているが、5~10mm の粗骨材の容積は鉄筋間隔によらずほぼ一定であるとされており、本研究では異なる結果となった。鉄筋間隔が狭く粗骨材が閉塞した場合、内部のコンクリートのモルタル部分が選択的にかぶり部に充填されると予測され、既往の研究¹⁾では、そのような結果となっている。一方、本実験でモルタル部の増加とともに 5~10mm の粗骨材が増加する結果となったのは、既往の研究に比べて内部のコンクリートの領域が狭く、モルタルのみではかぶり部が充填しきれずに、次に移動しやすい粗骨材 5~10mm がかぶり部に流動したものと考えられる。

図-2 の洗い分析結果から鉄筋間隔の減少に伴い粗骨材量が少なく、単位水量が多い配合となっている傾向が見られる。松崎ら¹¹⁾は、硬化コンクリートの表層透気係

数は単位水量の増加に伴って大きくなることを確認している。配合分析結果から、鉄筋間通過による粗骨材の減少は、結果として単位水量の増加につながるため、かぶりコンクリートの表層透気係数を増加させる影響があるものと考えられる。空気量に着目すると、鉄筋間隔の減少に伴って空気量は小さくなる傾向が確認された。これは、鉄筋間隔が小さくなると内部振動機を用いた締固め時間が長くなることにより、コンクリート中の空気が抜けたのではないかと考えられる。

(2)鉄筋間通過後の表層透気係数

図-3 に振動締固めによって充填した、かぶりコンクリートの表層透気係数を示す。鉄筋間隔 20mm の供試体では相対的に単位水量が多い配合となりブリーディングが多くなるため、表層品質が悪化するものと思われたが、表層透気係数はほぼ一定となった。これは、粗骨材やモルタル中の配合が変化していること、およびかぶりにコンクリートを充填させるための締固め時間が異なることなどが影響していると考えられ、これらの要因が表層透気係数に及ぼす影響をシリーズ II, III で検討する。

3.2 シリーズ II

(1)細骨材量の影響

図-4 に細骨材量と表層透気係数の関係を示す。水セメント比 60%で S/C が 2 の場合を除いて、細骨材量の増加に伴い表層透気係数は小さくなる結果となった。細骨材の増加は、モルタルの密度を増加させ透気領域を減少させたため、表層透気係数が小さくなったと考えられる。水セメント比 60%, S/C=2 の配合では表層透気係数が若干大きい結果となっているが、この配合のみで砂すじ

が確認され、表層透気係数に影響したと考えられる。Torrent 法を用いた表層透気係数の測定では、このような表面欠陥が影響するため、砂すじ発生位置での測定は表層コンクリートの評価を正確にできていない可能性が示唆された。ここで、既往の研究を参考に、本研究の結果を考察する。石田ら¹²⁾の研究では細骨材としてガラスビーズ(φ 1.0, 0.4, 0.05mm)および石灰粉を使用し、シングルチャンバー法によりモルタルの透気係数を検討している。細骨材の径が 1.0, 0.4mm では細骨材量の増加に伴って透気係数が増加し、細骨材の径が 0.05mm および石灰粉では細骨材量の増加に伴って透気係数が減少することを示している。細骨材の径によって表層透気係数に与える影響は異なる。本研究で使用した細骨材の粒度分布は土木学会コンクリート標準示方書¹³⁾の標準粒度範囲内のものであり、適切な粒度を持った細骨材の場合は、細骨材量の増加に伴い表層透気係数は減少すると考えられる。また、田中ら¹⁴⁾の研究でアウトプット法を用いたモルタルの透気性について検討した事例では、豊浦標準砂を使用し W/C を 45, 60, 70% の 3 水準、砂ペースト容積比を 0, 0.45, 0.70, 1.22(S/C で 1~3.5 程度)の 4 水準で実験しているが、何れの配合においても細骨材量の少ない領域では透気係数は変化せず、細骨材量の多い領域では透気係数は急激に増加していた。本研究では細骨材量の増加は表層透気係数を減少させる影響があったが、田中らの研究と比較すると異なる結果となった。既往の研究¹⁴⁾での実験方法は定常状態になってからの透気量から透気係数を算出している。遷移帯に関する文献¹⁵⁾から細骨材量の増加に伴って骨材同士が接する確率が増加し、遷移帯が共有され空隙の連続性が増加し、透気係数に影響したと考えられる。細骨材量が多い場合の実験結果の比較から、アウトプット法では空隙の連続性の影響を受け、Torrent 法による非定常の表面透気試験では空隙率の影響を大きく受けるものと考えられる。

(2)空気量の影響

図-5 に空気量と表層透気係数の関係を示す。何れの水セメント比も、空気量の増加に伴い表層透気係数の増加が確認された。水セメント比 40% の配合では、空気量の増加に対する表層透気係数の増加が 50, 60% のものと比較して顕著であった。これは、高水セメント比では、低水セメント比に比べて空隙が多いため、空気量が増加しても表層透気係数に及ぼす影響は少ないが、低水セメント比の場合は、高水セメント比に比べて空隙が少ないため、空気量の増加が表層透気係数に敏感に影響したと考えられる。

過去にエントレインドエアとコンクリートの物質透過性の関係について言及されている文献¹⁶⁾では、「不連続な空隙はコンクリートの透過性に寄与しない。同じこと

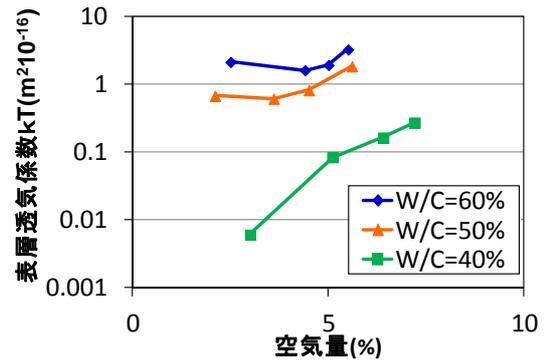


図-5 空気量と表層透気係数

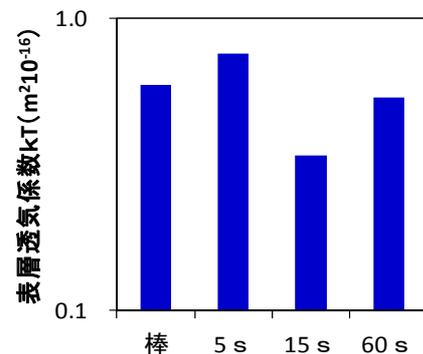


図-6 締固め方法と表層透気係数

表-4 締固め方法と空気量および BL 量

締固め方法	空気量 (%)	ブリーディング量 (cm³/cm²)
棒	5.2	0.094
5s	4.0	0.074
15s	3.5	0.085
60s	2.1	0.120

が、エントレインドエアなどのばらばらになった空隙にも当てはまる。」と推察されているが、本研究の範囲内では、化学混和剤により調節した空気量の増加に伴う表層透気係数の増加から、エントレインドエア等の独立気泡が透過性に寄与する可能性が示唆された。

3.3 シリーズⅢ

締固め方法と表層透気係数の関係について図-6 に示す。内部振動機 15 秒間の場合が、最も透気係数が小さい結果となった。締固め時には適切な時間が存在し、長い時間振動を加えると材料分離が生じ透気係数は大きくなり、逆に振動時間が短い場合でも十分な締固めができず、透気係数は大きくなると考えられる。表-4 に締固め方法と空気量およびブリーディング量の関係を示す。締固めエネルギーの増加に伴い空気量は小さくなる傾向にあり、この結果はシリーズⅠの鉄筋間通過させたものと同じ結果となっている。図-5 から空気量の減少は透気係数を小さくする影響があるが、実験シリーズⅢでは空気量の減少だけでなく、振動を受けるため、ブリー

ディングの影響も受ける。ブリーディング量は締固め時間が長いほど多くなっている。早川ら¹⁷⁾の研究では、ブリーディング量に比例して表層透気係数は増加するとされており、既往の研究¹⁸⁾より、ブリーディング水は型枠に沿って上昇することが報告されており、ブリーディング量の増加により型枠界面の見かけの水セメント比が大きくなり表層品質の低下を引き起こしたものと考えられる。図-3 および図-6 の表層透気係数の結果は、空気量の減少の影響とブリーディングによる表層品質低下の影響を含み、概ね同等程度となったと考えられる。

4. まとめ

本研究の範囲で得られた知見をまとめると次のようになる。

- (1) かぶりが供試体厚さに比べて比較的厚い場合、鉄筋間通過に伴う配合変化は鉄筋間隔の減少に伴って5~10mmの粗骨材量は増加する傾向にあった。
- (2) かぶりコンクリートの表層透気係数は、鉄筋間隔によらず、鉄筋間を通過させたものではほぼ同等程度となった。これは配合変化による粗骨材量の減少に伴うブリーディング量の増加による表層品質低下の影響、および締固めによる空気量減少による表層品質向上の影響とブリーディング量増加による表層品質低下の影響が、相互に影響することで概ね同等になったのではないかと考えられる。
- (3) 化学混和剤によって空気量を調整した供試体の表層透気係数は空気量の増加に伴って増加する傾向を確認した。特に W/C40% の配合ではその傾向が顕著であった。

謝辞：本研究の一部は平成 25 年度港湾空港総合技術センター研究開発助成によるものである。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 尾上幸造, 亀澤 靖, 松下博通：鉄筋間通過によるコンクリートの配合変化, 土木学会論文集 E, Vol.62, No.1, pp.119-128, 2006.2
- 2) (社)土木学会：構造物表面のコンクリート品質と耐久性性能検証システム研究小委員会(JSCE335 委員会)第二期成果報告書およびシンポジウム講演概要集, pp.1, 2012.7
- 3) R.J.Torrent：A two-chamber cell for measuring the coefficient permeability to air of the concrete cover on site, *Material and Structure*, Vol.25, No.6, pp.358-365, 1992
- 4) 林 和彦, 細田 暁：表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質の評価方法に関する基礎的研究, 土木学会論文集 E2, Vol.69, No.1, pp.82-97,

2013

- 5) 加藤佳孝, 早川健司：表面透気試験を用いた中性化に伴う鋼材腐食の耐久性設計と検査の連係に関する一考察, 土木学会論文集 E2, Vol.68, No.4, pp.410-421, 2012
- 6) 毛塚貴洋, 高橋佑弥, 岸 利治, 魚本健人：表層透気係数と電気泳動試験結果の相関に関する一検討, 土木学会第 65 回年次学術講演会, V-298, pp.595-596, 2010
- 7) 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, Vol.68, No.4, pp.399-409, 2012
- 8) (社)土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書 [設計編], pp.322, 2013.3
- 9) 水上翔太, 早川健司, 加藤佳孝, 勝木 太：含水状態を考慮した構造物かぶりコンクリートの透気性評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1829-1834, 2011.7
- 10) 田中章夫, 今本啓一, 下澤和幸, 山崎順二：ダブルチャンバー法を用いた既存鉄筋コンクリート造建築物の中性化予測に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1691-1696, 2011.7
- 11) 松崎晋一朗, 吉田 亮, 岸 利治：単位水量と水セメント比がコンクリートの表層透気性に及ぼす影響とその養生依存性, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.757-762, 2009.7
- 12) 石田哲也, 前川宏一：物質移動特性からみたコンクリートの微小空隙構造, 土木学会第 49 回年次学術講演会, V-510, pp.1020-1021, 1994
- 13) (社)土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書 [施工編], pp.46, 2013.3
- 14) 田中亨二, 国田洋行, 橋田 浩：モルタルの透気性に及ぼす細骨材量の影響, 日本建築学会構造系論文報告集, No.511, pp.25-30, 1998.9
- 15) 加藤佳孝, 魚本健人：細骨材の量と比表面積が遷移帯形成に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.20, No.2, pp.775-780, 1998
- 16) A.M.Neville：ネビルのコンクリートバイブル, 技報堂出版, pp.596, 2004
- 17) 早川健司, 加藤佳孝：材料分離がコンクリートの表層透気性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.647-652, 2011.7
- 18) 辻 正哲, 坂井秀紀：ブリーディングの発生機構に関する基礎的研究, セメント技術年報, No.37, pp.229-232, 1983