

U.D.C 666. 973. 2

かぶりコンクリートの品質に及ぼす 配筋および締固めの影響

早川 健司* 伊藤 正憲* 小島 文寛*

要約： 一般に、コンクリート自体の物質移動抵抗性は水セメント比によって定まるが、実構造物のコンクリート品質は水セメント比の他、配筋条件や形状、また締固め、養生などの施工条件の影響が大きいことが知られている。そこで、本研究では、かぶりコンクリートの品質を確保するための施工・品質管理方法の確立を目的とし、かぶりコンクリートの品質に及ぼす締固めや養生など施工条件の影響を実験的に検討した。実験では実物大の試験体を作製し、表面透気性試験などによってかぶりコンクリートの品質を評価するとともに、施工条件の影響を受けない小型供試体の試験結果と対比し、各施工条件の影響を検討した。この結果、鉄筋が配置されている場合、打設高さ方向の品質のばらつきは無筋の場合より小さくなること、スランブ 8cm 程度のコンクリートの場合、締固め時間を標準的な時間より長くすることにより、表面透気係数およびそのばらつきは小さくなることなどが示された。

キーワード： かぶりコンクリート、透気係数、中性化、構造体コンクリート、耐久性

目次：	1. はじめに	3. 実験結果および考察
	2. 実験概要	4. まとめ

1. はじめに

コンクリート構造物の耐久性は、主に塩化物イオン、二酸化炭素、水分、酸素などの劣化因子の物質移動抵抗性に依存するため、耐久性確保のためにはかぶりコンクリートの品質が特に重要となる。現在、構造体コンクリートの品質はフレッシュ状態での品質試験や供試体の圧縮強度等によって確認されている。しかし、構造体の品質はコンクリートの打設法や養生方法等の影響を受けることから、かぶりコンクリートの密実性に代表される品質を実構造物で直接評価できれば、耐久性評価に有効と考えられる。この一つとして、非破壊で測定できるシングルチャンパー法¹⁾や Torrent 法²⁾による表面透気性試験があり、その有効性の検討³⁾が行われている。

実構造物のかぶりコンクリートの品質を表面透気試験によって評価するためには、コンクリートの含水率や材齢等が測定結果に与える影響を考慮する必要があることなど指摘されている⁴⁾が、これらに加え、配筋状態、打込み高さや締固め時間等の各条件が表面透気性へ与える影響、すなわち透気性からみた構造体品質のばらつきを把握しておくことが品質評価ならびに品質確保の観点から重要と考えられる。

これらの背景から、本実験では、構造体かぶりコンクリートの品質を現位置で評価すること、ならびに品

質を確保するための施工方法に関する基礎資料を得ることを目的に、標準的な施工方法を基本として作製した大型供試体のかぶりコンクリートを対象に、トレント法による表面透気性試験、反発硬度の測定を行った。また、施工の影響を受けない小型供試体の試験結果と比較することで、配筋や締固め方法、養生方法がかぶりコンクリートの品質に及ぼす影響について検討を加えた。

2. 実験概要

2.1 コンクリート配合および供試体の作製方法

表1にコンクリートの配合を示す。実験にはレディーミクストコンクリートを用い、スランブおよびセメント種類の異なる3種類を用いた。

供試体には、コンクリートの基礎性能を評価するための小型供試体（表面透気性試験用：15×15×15cm、圧縮強度：φ10×20cm）と施工条件の影響を評価するための大型供試体（断面0.9×0.9×高さ1.2m）を用いた。

図1および表2に大型供試体の作製条件について示す。かぶりコンクリートの品質が特に重要となるのは鉄筋コンクリート構造物であるが、打ち込み方法等によるコンクリートの物性変化を検討した既往の研究では、無筋のコンクリートブロックを用いたものが多く、かぶりコンクリートに着目し鉄筋を配置して施工条件の影響を検討

*土木総本部 土木技術部

表1 コンクリートの配合

コンクリートの種類	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単分量(kg/m ³)				
				W	C	S	G	AE 減水剤
24-8-20(N)	4.5	57.0	46.6	159	279	858	1002	2.79
24-18-20(N)	4.5	57.0	49.3	180	316	866	906	3.16
24-8-20(BB)	4.5	55.1	46.1	159	289	840	1002	2.89

表2 大型供試体の作製条件

種類	鉄筋の有無	締固め時間(秒)	養生日数(日)
24-8-20(N)	無筋	15, 45	5, 9, 28
	配筋		5, 9
24-18-20(N)	無筋	45	5, 9
	配筋		5
24-8-20(BB)	無筋	15	5, 12
	配筋		5

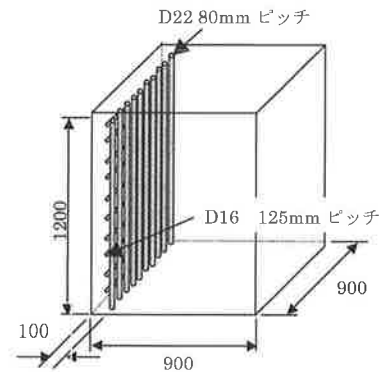


図1 大型供試体の概要

表3 試験方法

分類	試験項目, 方法	試験時期等
フレッシュ	スランプ, 空気量, 温度	荷降し, 筒先
	ブリーディング (JIS A 1123)	荷降し
小型供試体	圧縮強度 (JIS A 1108)	荷降し・筒先 (標準水中 28 日) 荷降し (現場封かん 28 日)
	表面透気試験 (トレント法) 質量変化率 含水率 (静電容量法)	材齢 28 日まで標準養生後, 20°C, 60%RH に暴露 材齢 35~190 日の間に 5 材齢で測定
大型供試体	表面透気試験 反発硬度 (JIS A 1155)	材齢 91~100 日

した研究⁵⁾は比較的少ない。本研究では、かぶりコンクリートの品質に及ぼす配筋の影響を調べるため、一部の面には、比較的密(縦方向: D22, 80mm ピッチ, 横方向: D16, 125mm ピッチ)に鉄筋を配置した。大型供試体の作製では実際の標準的な施工条件を考慮し、ポンプ圧送により1層40cm程度で打ち込み、φ50mmの高周波パイプレータを用いて締め固めた。締固め時間は標準的な15秒に加え、比較として45秒を実施し、各層4箇所所定時間の振動締固めを行った。養生日数は、コンクリート標準示方書の標準的な養生日数と打設時を考慮して、5, 9, 12 および 28 日とし、型枠脱型および養生終了後については自然環境下(神奈川県相模原市内)に暴露した。なお、コンクリート打設は外気温 8~12, コンクリート温度 13~18°Cの条件であり、また、打重ね間隔は20~30分程度とした。

2.2 試験方法および試験時期

表3に試験方法について示す。フレッシュコンクリートの試験としては、スランプ, 空気量, コンクリート温

度に加え、ブリーディング試験を実施した。コンクリートの基礎的な性質を把握するため、小型供試体を対象として、圧縮強度および表面透気性試験を実施した。ここで、表面透気性については、Torrent 法²⁾に基づく二重チャンバー方式の表面透気試験器を用いて透気係数を算出した。

大型供試体は、側面を試験対象面とし、表面透気係数および反発硬度の測定を実施した。表面透気試験によって得られる透気係数は、コンクリートの材齢や含水率の影響を受けることが指摘されている。そこで、小型供試体については、28日間の標準水中養生終了後に、20°C, 60%RHの恒温恒湿室に静置し、表面透気係数ならびに表面含水率を材齢35~190日の範囲で5回測定した。表面含水率の把握は静電容量式的水分計、ならびに供試体の質量変化の測定により行った。大型供試体を対象とした表面透気性試験は、含水率がある程度安定する時期を考慮し、材齢91~100日で行った。このときの静電容量法による表面含水率、ならびに反発硬度を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュ試験結果

表 4 にフレッシュ試験結果、図 2 にブリーディング試験結果を示す。コンクリートのスランプは荷降し時点で目標範囲にあり、ポンプ圧送後ではスランプ、空気量ともに低下する傾向にあった。コンクリートのブリーディング量は、単位水量の多いスランプ 18cm の配合で最も大きくなり、また高炉セメントを用いた場合は概ね同一配合の普通ポルトランドセメント使用の配合より大きかった。

3.2 小型試験体の試験結果

表 5 に、圧縮強度の試験結果を示す。標準養生における材齢 28 日の圧縮強度は 30~34N/mm²であった。これに対し、筒先採取の圧縮強度は荷卸採取の場合より 2 割程度大きくなる傾向にあり、これは圧送に伴う空気量の変化等によるものと考えられる。

図 3 に小型供試体の材齢と表面透気係数およびその変動係数の関係、図 4、5 に、材齢と表面含水率および乾燥開始後の質量減少率の関係を示す。乾燥開始から 7 日後の材齢 35 日の表面透気係数は $0.1 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 以下であったが、乾燥の進行に伴って表面透気係数は増加する傾向にあった。乾燥に伴う表面透気係数の変化は、表面含水率や質量減少率の測定結果と概ね対応しており、コンクリートの含水率の変化が表面透気係数の測定結果に影響していると考えられ、この傾向は透気性に関する既往の研究結果と一致している。ここで、表面含水率の測

定値は材齢 100 日と材齢 190 日でほぼ一定の値を示しているのに対し、表面透気係数は増加する傾向を示した。一方、質量減少率は材齢 100 日から 190 日の間に減少する傾向にあることを考慮すると、表面含水率の測定値が一定にも関わらず表面透気係数が変化した理由の一つとしては、静電容量法による表面含水率の試験対象範囲（コンクリート表面からの深さ）と表面透気試験で評価している範囲が一致していないことが考えられる。また、

表 4 フレッシュ試験結果

種類	スランプ ^a (cm)		空気量(cm)		コンクリート温度(°C)
	荷降	筒先	荷降	筒先	
24-8-20N	6.5	6.0	4.9	3.5	17.1
24-8-20BB	10.0	7.0	3.1	2.7	13.4
24-18-20N	16.0	14.0	5.3	4.0	16.0

表 5 圧縮強度試験結果 (材齢 28 日 : N/mm²)

種類	荷降標準	荷降現場封緘	筒先標準
24-8-20-N	33.9	30.6	39.6
24-18-20-N	29.7	29.0	36.3
24-8-20-BB	34.1	31.7	38.1

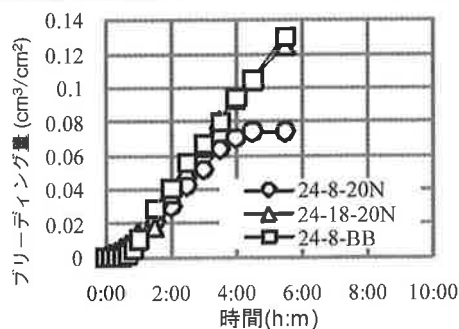


図 2 ブリーディング試験結果

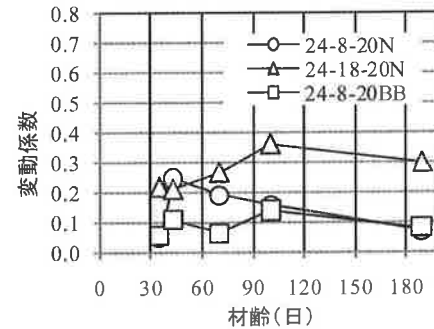
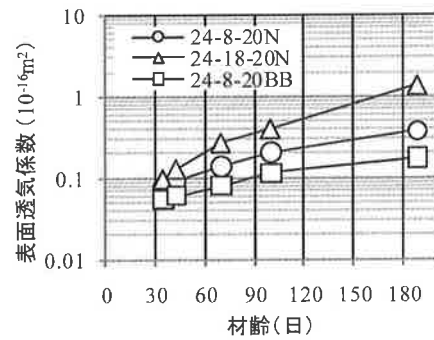


図 3 材齢と表面透気係数の関係

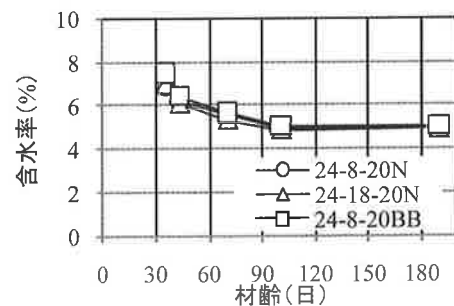


図 4 材齢と表面含水率の関係 (静電容量法)

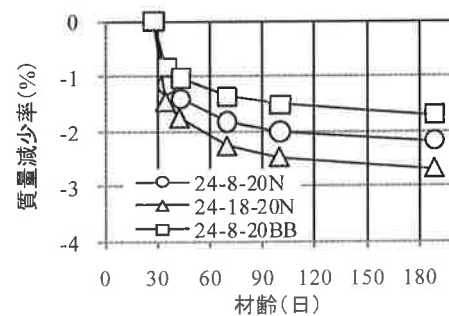


図 5 材齢と乾燥開始後の質量減少率の関係

材齢の進行に伴う中性化によりコンクリート表層品質が変化し、表面透気係数の測定値に影響している可能性もある。

コンクリートの種類で比較すると、スランプ 18cm であり単位水量の多い 24-18-20N の表面透気係数が最も大きくなり、高炉セメントを用いた 24-8-20BB は普通セメントを用いた場合より小さくなった。また、変動係数は 0.3 程度以下であり、乾燥の進行との明確な関係は認められないが、単位水量の多いスランプ 18cm の配合の変動係数が大きい傾向を示した。

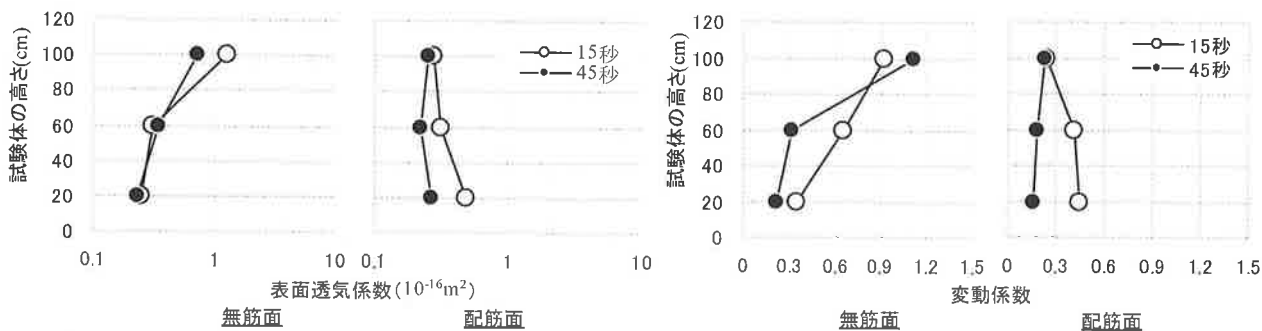
3.3 大型供試体の試験結果

図 6～8 は、表面透気係数およびその変動係数と試験位置の関係であり、締固め時間、スランプ、セメント種類の影響を配筋の有無ごとに示している。無筋の場合においては、上層（高さ 100cm）の表面透気係数が中層（高さ 80cm）、下層（高さ 40cm）より大きくなる傾向を示したのに対し、鉄筋が配置されている場合には明確な傾向は認められず、上層の測定値は無筋の場合より小さい傾向を示した。無筋の場合に上下方向の表面透気係数に差が生じ、鉄筋を配置した場合に上下方向の差が小さくなった理由としては、かぶりコンクリートに作用する自重が配筋の有無で異なり、圧密やブリーディングの影響程度に差が生じたことが考えられる。また、試験体の作製における振動締固め作業は、配筋の有無に関わらず、バイブレータを型枠面から 25cm 程度の位置に挿入して同一時間の締固めを行っているため、無筋の場合の

かぶりコンクリートに作用する振動力は鉄筋を配置した場合より大きいと推察され、締固めに伴うブリーディングや締固め程度に違いが生じたことが影響している可能性もある。ただし、本実験の範囲では、鉄筋が配置されている場合の上下方向の品質の差は小さい結果となったが、打ち上げ速度が速い場合、コンクリート温度が低い場合、またリフト高さが大きい場合など自重の作用が大きくなる条件下では上下方向の品質に差が生じてくる可能性もある。

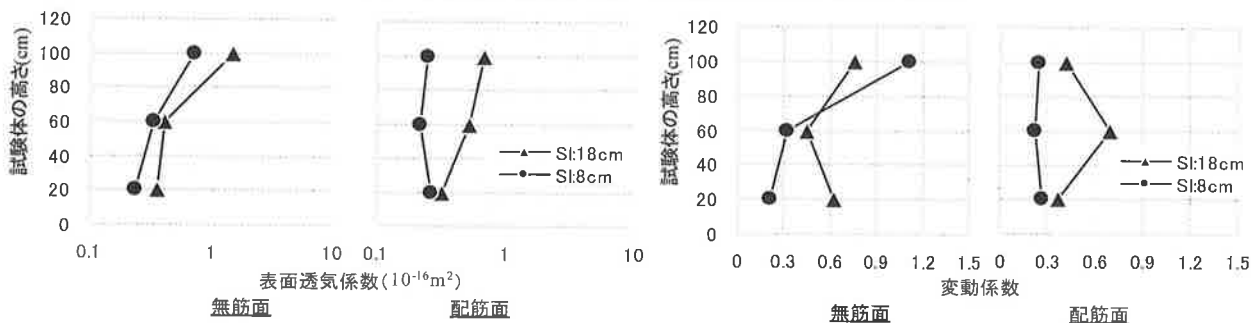
図 6 に示すように、締固め時間の影響としては、配筋面 15 秒の表面透気係数は $0.3 \sim 0.5 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 、45 秒では $0.2 \sim 0.3 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 程度であり、締固め時間が長いほうが表面透気係数は小さくなる傾向を示した。3.2 で示したように、同一の表面含水率の測定結果においても表面透気係数は変化しており単純に比較できないが、表面透気係数測定時の含水率は 4.9～5.8% の範囲にあった。この含水率に対応する小型供試体の表面透気係数は $0.15 \sim 0.2 \times 10^{-16} \text{m}^2$ であり、45 秒締固め、5 日脱枠した場合は、28 日間水中養生した小型試験体の透気係数に近い値となった。

表面透気係数の測定結果と同様に、その変動係数は締固め時間を長くしたほうが小さくなる傾向を示した。小型供試体の変動係数は 0.2 以下であったのに対し、大型供試体 15 秒の変動係数は 0.3～0.45 程度と大きくなった。しかし、締固め時間 45 秒の場合には 0.15～0.3 程度であり、締固め時間の増加によりかぶりコンクリートの透気



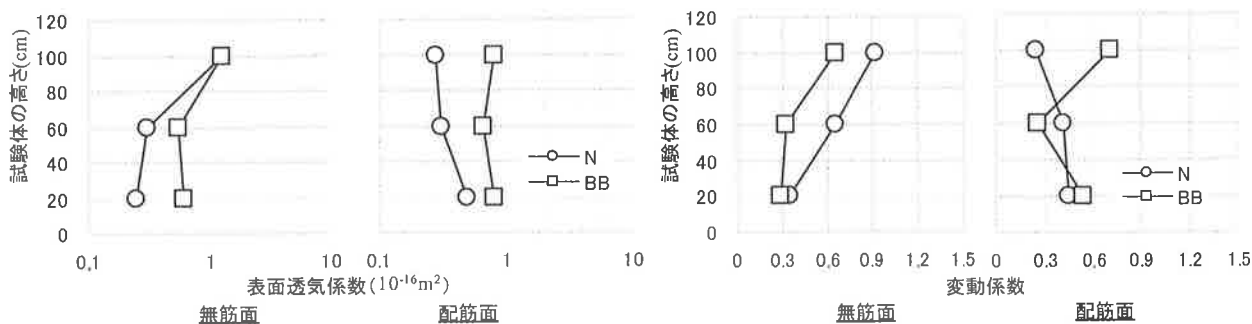
※24-8-20N, 5 日脱枠, 含水率測定値 4.4～5.8%

図 6 表面透気係数に及ぼす配筋および締固め時間の影響



※普通ポルトランドセメント, 締固め時間 45 秒, 5 日脱枠, 含水率測定値 4.9～6.5%

図 7 表面透気係数に及ぼす配筋およびスランプの影響



※スランブ8cm (24-8-20N, BB), 締固め時間 15秒, 5日脱枠, 含水率測定値 4.4~5.7%

図8 表面透気係数に及ぼす配筋およびセメント種類の影響

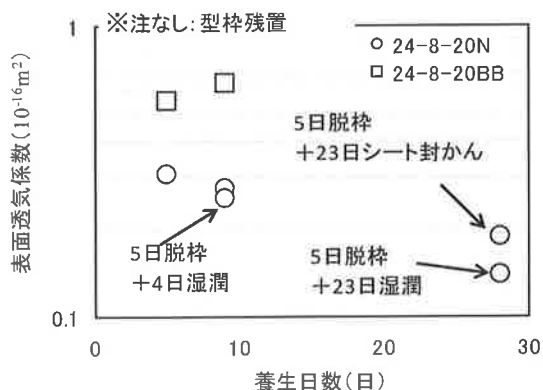


図9 養生日数と表面透気係数の関係

性からみた品質のばらつきは小さくなった。

図7に示すように、スランブ 18cm の場合の表面透気係数は、小型供試体と同様にスランブ 8cm のそれより大きい傾向にあり、コンクリート自体の透気性の違いによるものと考えられる。また、スランブ 8cm の配筋面の表面透気係数と試験位置との関係に明確な関係は認められなかったが、スランブ 18cm の場合には、配筋がある場合にも上層ほど表面透気係数が大きくなる傾向を示した。一方、スランブ 18cm の変動係数は、0.35~0.75 程度であり、小型供試体の変動係数 0.2~0.35 程度より大きくなった。両者の締固め時間は 45 秒であり、スランブ 8cm の場合には標準より長い振動締固めを行うことによって表面透気係数および変動係数は小さくなる傾向にあったが、スランブ 18cm の変動係数は小型供試体に近づいていない。このように、スランブが 18cm 程度のコンクリートに対して過剰な締固めを行った場合には、骨材の材料分離等が影響し、かぶりコンクリートの品質向上に寄与しないものと考えられる。

図8に示すように、高炉セメントを用いたコンクリートは普通ポルトランドセメントを用いたものより、表面透気係数は総じて大きくなった。これは標準養生を行った小型供試体の表面透気係数と逆の関係にあり、初期養生の違いの影響、大型供試体では両者のブリーディングの差の影響が大きくなったことなどが、小型供試体と異

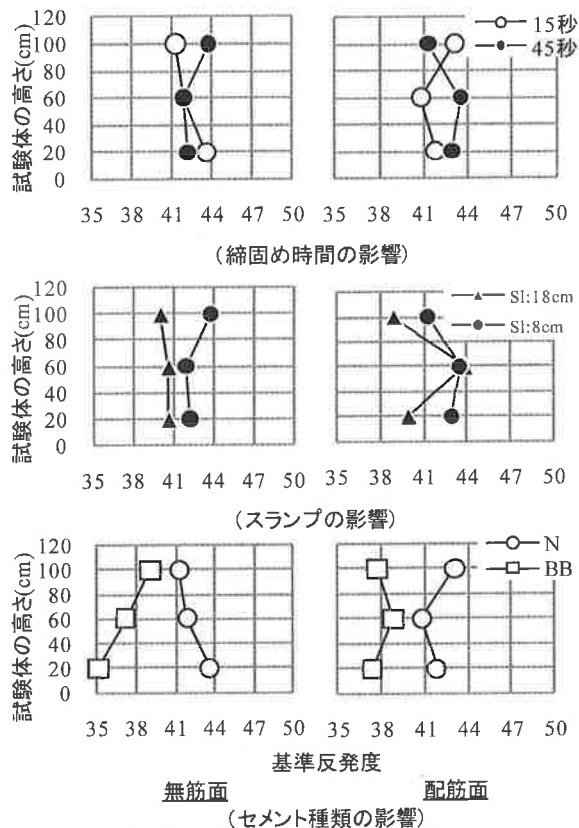


図10 基準反発度の測定結果

なる傾向を示した一要因と考えられる。

図9は養生日数と表面透気係数の関係を示したものである。普通ポルトランドセメントの場合には、材齢5日脱枠後28日まで養生した場合の表面透気係数は5日脱枠の場合の1/2以下に減少し、また、若干、養生9日の表面透気係数は養生5日より小さくなる傾向にあった。一方、高炉セメントを使用した場合には型枠残置期間を延長してもその効果が認められておらず、特に高炉セメントを用いた場合に表面品質を確保するためには、養生期間中の表面乾燥の防止、また水分の供給が必要なものと思われる。

図6~8の表面透気性試験に対応する反発硬度の測定

結果を図 10 に示す。反発硬度では鉄筋の影響や締固め時間の影響について明確な傾向が認められないが、スランプの影響については表面透気係数、また圧縮強度と同様の大小関係が確認できる。また、圧縮強度では高炉セメントと普通ポルトランドセメントで概ね同等の値を示したのに対し、反発硬度は高炉セメントのほうが小さくなっており、この関係は表面透気係数の測定結果と一致、すなわち表面品質の相違を反映した結果が得られた。

4. まとめ

本研究では、構造体かぶりコンクリートの品質に及ぼす配筋や締固め条件の影響を把握することを目的に、コンクリート標準示方書に示されている標準的な施工方法を基本として大型供試体を作製し、かぶりコンクリートの表面透気係数、および反発硬度の測定を行った。

- 1) 鉄筋が配置されているかぶりコンクリートの打設高さ方向の品質のばらつきは無筋の場合より小さくなる傾向にあった。
- 2) スランプ 8cm 程度のコンクリートの場合、締固め時間を標準より長くすることにより、かぶりコン

クリートの表面透気係数およびそのばらつきは小さくなった。一方、スランプ 18cm の場合には、締固め時間を長くしても、品質のばらつきは小さくならないことが示された。

- 3) 高炉セメントを用い標準養生した小型供試体の表面透気係数は普通ポルトランドセメントより小さくなったが、大型供試体の場合には初期養生条件やブリーディングの影響等により、普通ポルトランドセメントを用いた場合の表面透気係数より大きくなった。
- 4) 反発硬度では、配筋や締固め時間の影響に関して明確な傾向が認められなかったが、コンクリート種類の違いについては表面品質を反映したと考えられる結果が得られた。

これらの結果は、配筋条件やコンクリート種類に応じて、かぶりコンクリートの品質を確保するための適切な締固め、養生方法が異なることを示唆していると考えられる。本実験は限定的な条件で実施したものであるため、今後もデータを蓄積し施工条件等がかぶりコンクリートの品質に及ぼす影響に関する検討を進めていきたい。

謝 辞

本研究は東京大学生産技術研究所加藤佳孝准教授と共同で実施したものです。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 今本啓一他：構造体コンクリートの表層透気性評価におけるシングルチャンバー法の適用性の検討，日本建築学会構造系論文集，第 607 号，31-38,2006,9
- 2) R.J. Torrent : A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air the concrete cover on site. *Materials and Structures*, vol.25
- 3) 品質試験方法と実施工時諸特性との相関性評価委員会：施工の確実性を判定するためのコンクリートの試験方法とその適用性に関する研究報告書，pp107-219，日本コンクリート工学協会，2009.7
- 4) RILEM TC 189-NEC(Non-Destructive Evaluation of covercrete),State-of-the-Air Report,chapter3, 'Non-destructive methods to measure air-permeability', Draft Version, November .2005
- 5) 加藤佳孝他：ニューラルネットワークによるかぶり品質変動の定量的評価，コンクリート工学論文集，第 18 巻第 1 号，2007.

THE INFLUENCE OF REINFORCEMENT AND CONSOLIDATION FOR THE QUALITY OF COVER CONCRETE

K.Hayakawa M.Ito and F.Ojima

The purpose of this study is to evaluate the influence of the construction works and condition on the quality of cover concrete to insure the durability of structural concrete. Experiments investigated the air permeability index under variable construction works and conditions. In addition, the concrete at the slump and cement type were also varied. Air permeability at the concrete surface was carried out by the Torrent method, a non-destructive test which can be used in the field.

As a result, this air permeability examination can evaluate the quality of cover concrete over curing periods. In this case, the variation in air permeability index for full size specimens was larger than that of small size specimens, due to the fresh concrete properties such as bleeding of concrete, consolidation times, and compaction by self-weight.