

U.D.C 666. 973. 2

## かぶりコンクリートの品質評価に関する一実験

早川 健司\* 小島 文寛\* 伊藤 正憲\*

**要 約：** コンクリート構造物の耐久性は、塩化物イオン、二酸化炭素、水分、酸素など劣化因子の物質移動抵抗性に依存するため、躯体表層のかぶりコンクリートの品質が特に重要となる。現状、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している。しかし、構造物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物質移動抵抗性に代表される品質を実構造物で直接評価できれば、耐久性評価に有効である。この一つとして、非破壊で測定できる透気性試験があり、その有効性の検討等が行われている。本実験では、実構造物の耐久性を透気性試験結果に基づいて評価するための基礎資料を得ることを目的に、実物大試験体の型枠残存期間を変化させ、透気性試験、中性化試験、圧縮強度試験を行った。そして、実物大試験体の部位による品質のばらつき、また型枠残存期間がかぶりコンクリートの品質に与える影響を評価した。

**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
  - 2. 実験概要
  - 3. 実験結果および考察
  - 4. まとめ

### 1. はじめに

コンクリート構造物の耐久性は、塩化物イオン、二酸化炭素、水分、酸素など劣化因子の物質移動抵抗性に依存するため、耐久性を確保する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打設時に採取した供試体の圧縮強度等によって確認している。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バー法<sup>1)</sup>やTorrent法<sup>2)</sup>による透気性試験があり、その有効性の検討<sup>3)</sup>等が行われている。

実構造物のかぶりコンクリートの透気係数を用いて構造体の耐久性を定量的に評価するためには、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<sup>4)</sup>が、これらに加え、コンクリートのフレッシュ性状や材料分離抵抗性、配筋状態、打込み高さや締め固め時間等の施工条件が透気係数へ与える影響、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重要となる。

本実験では、実構造物の品質を透気性試験を用いて評価するための基礎資料を得ること

を目的に、標準的な施工方法で作成した実物大試験体を対象として、透気性試験、中性化試験、圧縮強度試験を行った。そして、型枠残存期間の影響、および試験体内の品質のばらつきを評価するとともに、各測定結果の相関性に関して検討を加えた。

### 2. 実験概要

表1にコンクリートの配合、図2に試験体の概要を示す。試験体の寸法は1.0×1.0×1.0mの立方体であり、せき板には化粧合板を使用した。コンクリート打設は、実現場での標準的な施工方法を想定してコンクリートポンプ車を用いて打込み、φ50mmの高周波パイプレータを用いて締め固めた。試験対象は3側面とし、型枠の脱型時期を4、7、28日と変化させた。なお、型枠面には脱型まで散水等の措置は特に行わなかったが、端部からの乾燥がないようにせき板端面はシリコン樹脂を用いてシールした。試験体は屋外で作製し、型枠脱型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。

表1 コンクリートの配合

| 種類          | W/C (%) | s/a (%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |      |      |
|-------------|---------|---------|-------------------------|-----|-----|------|------|
|             |         |         | W                       | C   | S   | G    | Ad.  |
| 24・8・20 (N) | 57.0    | 46.3    | 161                     | 283 | 848 | 1002 | 2.83 |

Ad. : AE 減水剤

\* 土木総本部 土木技術部

28日脱型(東)

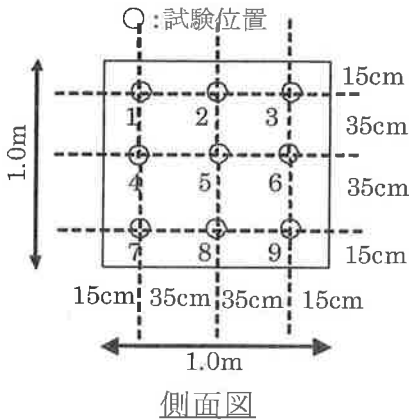
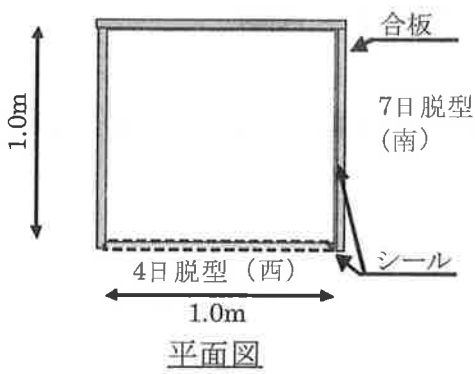


図1 試験体概要および試験位置

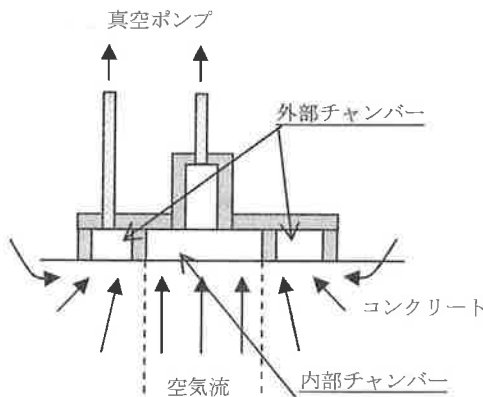


図2 透気性試験概念図

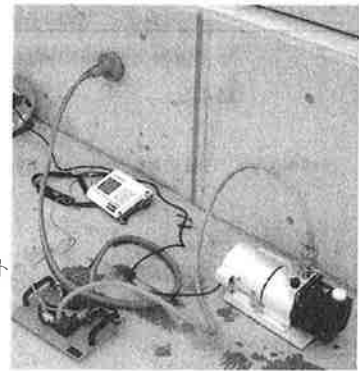


写真1 透気性試験状況

表2 試験方法

| 試験項目      | 試験方法, 測定時期  |
|-----------|---|
| 透気性試験     | Torrent 法<br>試験材齢9ヶ月, 各面9点測定<br>表面は乾燥状態で測定                            |
| テストハンマー強度 | JSCE-G 504-2007<br>透気性試験位置の近傍で実施                                      |
| 圧縮強度      | JIS A 1107, 1108<br>図1の1-3, 7-9から採取, コア径70mm<br>表面から約50, 190mmで切断して使用 |
| 中性化試験     | JIS A 1152, 1153<br>コア表面側の50mmを使用<br>20℃, 60%RH, CO2濃度5%で28日促進        |

表2に試験項目を示す。透気性については、Torrent法<sup>2)</sup>に基づく二重チャンバー方式の透気性試験機を用いて透気係数を算出した。図2に示すように、二重チャンバー方式である本試験方法は、内部セルと外部セル内の圧力を平衡させて透気性を評価するため、シングルチャンバー法で問題となる極表層のスキンといわれる脆弱層の影響を排除でき、表面から数センチの透気性を評価できるものである。透気試験結果に及ぼすコンクリートの含水率の影響をなるべく排除するため試験材齢は9ヶ月とし、透気試験は、各試験面上段(図-1中の1-3)、中段(4-6)、下段(7-9)の9点で測定した。その後、各試験面上段および下段では、透気性試験位置と概ね同じ位置でテストハンマーにより反発硬度を測定するとともに、φ70mmのコア採取を行い、表面側の50mmを促進中性化試験、それより深部を圧縮強度試験に供した。

### 3. 実験結果および考察

図2に型枠の脱型時期と透気係数の関係を示す。ここで、グレーのプロットは上・中・下段の各3点の測定結果の平均値であり、白抜きのプロットが各測定値を示している。透気係数は $0.08\sim 6.0 \times 10^{-16} \text{m}^2$ の範囲であり、試験体の高さ方向で比較すると、下段の透気係数は上・中

段より小さくなる傾向、また上・中・下段ともに脱型時期が遅いほうが透気係数は小さくなる傾向を示した。かぶりコンクリートの品質評価についてTorrentは、透気係数と電気抵抗値の測定結果から5段階の品質区分を示している。図中に示すように、今回の測定結果は、材齢

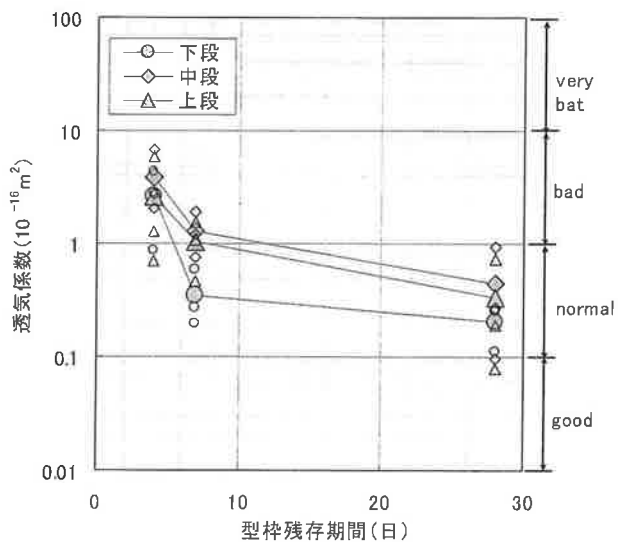


図2 型枠脱型位置と透気係数の関係

4 日で脱型したケースは、透気係数  $1\sim 10\times 10^{-16}\text{m}^2$  の範囲で「bat」、材齢 7 と 28 日では概ね  $0.1\sim 1.0\times 10^{-16}\text{m}^2$  の範囲で「normal」に相当した。

図 3 に透気係数と中性化深さの関係を示す。ここで、測定値は各面上段、下段それぞれ 3 点の平均値で示している。中性化深さは材齢 9 ヶ月時点で  $3\sim 5\text{mm}$  程度進行し、促進 28 日後では  $8\sim 10.5\text{mm}$  程度となり、透気係数が大きいほど中性化深さは大きくなる傾向を示した。 $\sqrt{t}$  則により材齢 9 ヶ月の中性化深さから中性化速度係数を求めると  $3.7\sim 6.0\text{mm}/\sqrt{\text{year}}$  の範囲となり、例えば単純に 50 年後を推定すると  $24\sim 42\text{mm}$  となる。

ここで、促進試験後の中性化深さは、上段より下段で大きい傾向を示した。促進中性化試験における中性化速度に関する既往の研究では供試体の前養生の影響を受けることが指摘されている<sup>4)</sup>。今回の試験は屋外環境に暴露した試験体から材齢 9 ヶ月で採取したコア供試体を用いており、上段と下段では暴露期間中の雨掛りの程度など乾燥条件の履歴が異なっていた可能性がある。試験結果は促進期間が 4 週と短く、試験誤差が大きく現れていること等も考えられ詳細は不明であるが、前養生条件が影響している可能性がある。

図 4、図 5 に透気係数とテストハンマー強度ならびにコア圧縮強度の関係を示す。測定値は、図 3 と同様に、各面上段、下段それぞれ 3 点の平均値で示している。透気係数は各面上段、下段それぞれ 3 点の平均値で示している。テストハンマー強度は中性化深さと同様に透気係数と相関関係を示した。本実験では表層コンクリートの品質、すなわち透気係数の大小を反映した結果となったが、表面反発度は中性化の影響を受けることなどが指摘<sup>5)</sup>されており、表面反発度で表層コンクリートの品質を評価できるかについては一概には言えないと考えられ、今後の検討課題である。

一方、コア圧縮強度は下段で  $37\sim 38\text{N}/\text{mm}^2$ 、上段で  $29\sim 30\text{N}/\text{mm}^2$  であり、上段と下段で大きく異なる結果となったが、透気係数との相関は認められなかった。なお、材齢 28 日で実施した現場封緘養生のテストピースの圧縮強度は  $29.0\text{N}/\text{mm}^2$  であった。

以上のように、標準的な施工方法で打設した本試験体は、下段ほど自重により圧縮されて密実な組織になることやブリーディングの影響により、圧縮強度は下部と上部で 20%程度の差が生じている。ただし、コア圧縮強度は表面から 50mm 以深を対象としたため、型枠残存期間の影響は認められない。表層コンクリートの品質は、試験体の高さ方向、また型枠残存期間の影響をうけ、中性化深さで 2mm 程度の差が認められた。透気係数は中性化深さと概ね対応しており、表層コンクリートの品質に及ぼす型枠残存期間の影響を評価できることが確認された。透気係数を用いて実構造物での評価を行う場合は、コンクリートの含水率等による影響の他に、構造体自体

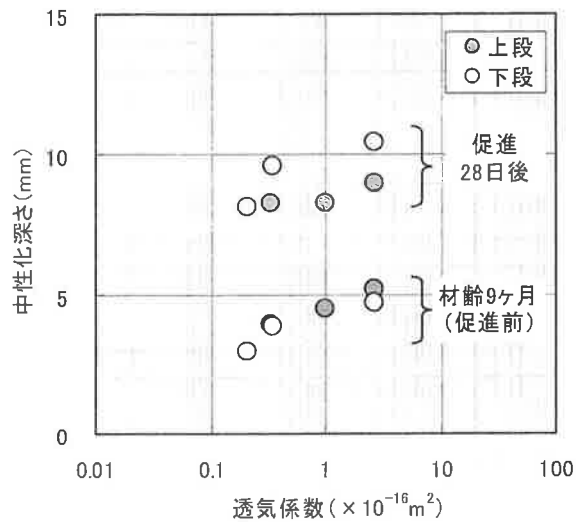
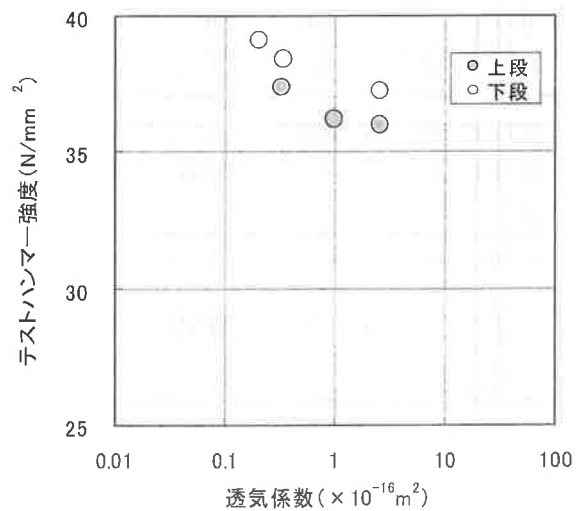
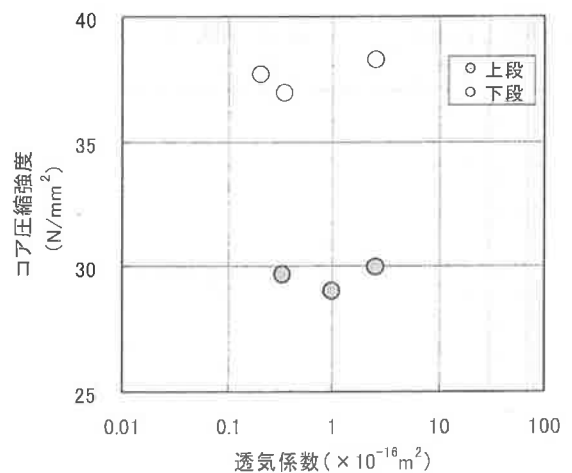


図 3 透気係数と中性化深さの関係



※テストハンマー強度 F: 材料学会式による  
( $F=18+1.27R_o$ ,  $R_o$ : 基準反発度)

図 4 透気係数とテストハンマー強度の関係



※テストピース材齢 28 日封緘養生:  $29.0\text{N}/\text{mm}^2$

図 5 透気係数とコア圧縮強度の関係

の品質のばらつきを考慮する必要があり、本実験の範囲では高さ方向の透気係数のばらつきとして0.7~0.9程度の変動係数を見込む必要があると思われる。

#### 4. まとめ

本研究では、標準的な施工方法で打設した実物大の試験体の品質のばらつき、また型枠残存期間の影響を透気性試験と中性化、強度試験により評価した。本実験の範囲で得られた知見を以下に示す。

- 標準的な施工方法で打設した試験体側面の透気係数は  $0.08\sim 6.0\times 10^{-16}\text{m}^2$  の範囲であった。

- 透気係数は材齢4日脱型で  $1\sim 10\times 10^{-16}\text{m}^2$ 、28日脱型で  $0.1\sim 1.0\times 10^{-16}\text{m}^2$  程度であり、型枠残存期間の違いを評価可能である。
- 土木工事で一般的に用いられる24-8-20のコンクリートを用い、標準的な施工方法で打設した試験体は試験体の場所で品質が異なり、透気係数からみた品質のばらつきとして変動係数0.7~0.9程度を見込む必要がある。

今後もデータを蓄積し、実構造物のかぶりコンクリートの品質評価に関する検討を進めていく予定である。

#### 参考文献

- 1) 今本啓一, 山崎順二, 他2名: 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, pp.358-365, 1992
- 3) 小野聖久, 上東泰, 他2名: コンクリートの密実性評価に関する研究, 土木学会第57回年次学術講演会講演概要集, V-522, 2002.9
- 4) 日本建築学界: 高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)・同解説, pp179-184, 1991.7
- 5) 独立行政法人土木研究所・日本構造物診断技術協会: コンクリート構造物の鉄筋腐食診断技術に関する共同研究報告書, p3, 2003.3

## AN EXPERIMENT FOR THE QUALITY EVALUATION OF COVER CONCRETE

K.Hayakawa, M.Ito, and F.Ojima

The quality of the cover concrete influences the durability strongly. This experiment performed air permeability of the cover concrete, carbonation depth, compressive strength of core samples with the specimen of the full size level. Air permeability test carried out Torrent method for non-destructive test which can investigate in a field.

As a result, this air permeability examination could evaluate the durability of the structural concrete. In this case, variation index of full size specimen for air permeability was 0.7~0.9, affected by bleeding of concrete and compaction by the self-weight.