

15.4 性能規定に対応したコンクリート構造物の施工品質管理・検査に関する研究 (1)

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 22～平 26

担当チーム：材料資源研究グループ（基礎材料）

研究担当者：渡辺博志、古賀裕久、中村英佑

【要旨】

コンクリートに求められる性能を明確にした、より合理的な施工品質管理・検査体系が求められている。基礎材料チームでは、コンクリートの配合や打設に関する品質管理、検査について検討を行う。H23 年度は、内部に鉄筋を配置した高さ 1m の供試体を製作して、スランプの異なるコンクリートで部位による品質の分布等に差が生じるか検討を行った。その結果、単位水量を増やしてスランプを増大させた場合、耐凍害性に影響が生じるおそれがあることなどを確認した。また、ブリーディングに伴う塩分の移動について検討を行った。

キーワード：コンクリート、品質管理、打込み、養生、非破壊試験、ブリーディング

1. はじめに

コンクリート構造物に関する施工品質管理や検査は、従来から用いられてきた材料・工法を念頭において定められた各施工段階における試験や、出来形検査、目視による検査や強度試験等で構成されており、出来上がりコンクリートそのものの各種性能を直接的に検査する方法は、現状では確立されていない。このため、ともすれば従来の仕様にこだわることとなり、新材料・新工法を柔軟に活用することが難しい。

一方で、コンクリート構造物への要求性能の多様化に伴い、施工に起因したコンクリート構造物の不具合に関する現場技術相談も多くなっている。

そこで、施工の自由度を高めることで、種々の条件に対応した新材料・新工法を活用でき、結果として施工における不具合を低減できると期待されている。このためには、受け取り検査時に出来上がりコンクリートそのものの各種性能をより直接的に確認できるような、品質検査システムの充実が必要である。

このため、本研究では、特にコンクリート構造物の耐久性に影響する打込み等の施工要因や寒冷地での養生条件について検討を行っている。基礎材料チームでは、主としてコンクリートの打込み時の課題について検討している。

2. 検討の概要

2.1 打込みに関する課題

2.1.1 検討の背景

従来、一般的な土木用コンクリート構造物では、スラ

ンプ 8cm のコンクリートが用いられる場合が多かった。しかし、近年、コンクリート構造物の耐震性などに関する要求の高まりから部材に配置される鋼材量が増えており、コンクリートを確実に充てんするためには、配筋や施工の条件にあわせてスランプを柔軟に設定できることが望ましいとの指摘がある。

単位水量を増やすなどしてスランプを増大させたコンクリートは、これを構成する水や骨材などの材料分離が生じやすくなることが知られている。ただし、最近では、高性能 AE 減水剤などの使用実績も増えており、技術が蓄積されているので、コンクリートの品質を損なわずにスランプを増大させることも十分可能と考えられている。

しかし、既存の品質管理・検査体系は、暗黙の内にスランプ 8cm のコンクリートが使用されることを前提に構築されており、スランプを増大させた際に生じる材料分離などの懸念に対応したものはなっていない。この点について検討するためには、コンクリートの打込み時の材料分離の程度やそれによって生じる性能の変化について把握する必要があるが、現状では十分に明らかになっていない。

スランプを増大させた場合に懸念される点については、研究開始当初から文献調査、実験を行って検討してきたが、平成 23 年度は、さらに RC 大型供試体を用いた材料分離に関する検討、打込み後のブリーディングに伴う塩分の移動に関する検討を行った。

2.1.2 打込み時の材料分離に関する検討

コンクリートの部材では、打込み時・締固め時にブリーディング水の上昇や骨材の沈降が生じるため、コンク

リートの品質が高さ方向で異なることが知られている。また、鉄筋が移動の障害になるため、かぶり部とその内側ではコンクリートの品質が異なるとの指摘もある^(例えば1) 2) 3)。しかし、既存の検討は強度的な側面からの品質評価が主で、耐久性に関する知見は十分とは言えない。

そこで、スランブやブリーディング量の異なる3種類の配合のコンクリートを用い、高さ1mの鉄筋コンクリート(RC)供試体を作製して材料分離の影響を検討した。詳細は、3章に報告する。

2.1.3 ブリーディングに伴う塩分の移動に関する検討

コンクリートの構造物の塩害を防ぐため、フレッシュコンクリートの塩分(塩化物イオン)含有量は、原則0.3kg/m³以下に規制されている。しかし、コンクリートの打込み・養生中にブリーディング水が上昇すると、それに伴って塩化物イオンが移動し、特に、鉄筋の下面にブリーディング水が溜まって生じる水隙などが、鉄筋腐食の原因となるおそれがあると指摘されている^(例えば4)。

そこで、あらかじめ塩分を混入したコンクリートで供試体を製作し、部位による塩化物イオン量の違いを検討した。詳細は、4章に報告する。

2.2 コンクリートの配合に関する検討

コンクリートの打込み時の性状や打込み後のブリーディング性状は、使用するコンクリートの材料や配合、打込みの方法などによっても大きく異なる。

そこで、平成23年度は、主に単位水量や水セメント比、ブリーディング試験を行う際の試料の締固め方法などに着目して検討した。詳細は、5章に報告する。

3. RC大型供試体を用いた材料分離に関する実験

3.1 概要

従来、一般的な土木構造物ではスランブ8cmのコンクリートが用いられてきた。しかし近年、部材形状や配筋量、施工条件等を考慮して、打込み時点での最小スランブを柔軟に設定することが提案されている。

一方、コンクリートのスランブを増大させると、既往の研究からブリーディングや粗骨材の分離の程度などがやや大きくなるおそれがあるが、これらが構造体コンクリートの品質、特に耐久性に及ぼす影響については必ずしも十分には明確でない。また、これらの影響が生じたおそれのあるコンクリートを硬化後に評価する方法も確立されていない。

これに関してH22年度は、1mの高さの無筋コンクリート供試体を作製して検討し、フレッシュ時の洗い分析の結果や、高さ方向の圧縮強度の分布、中性化に対する抵

表-1 コンクリートの配合

| | 目標SL (cm) | 単位量 (kg/m ³) | | | | 添加量 (Cx%) | | |
|-----|--------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----------|------|-------|
| | | W | C | S | G | Ad1 | Ad2 | AE |
| 配合1 | 8 | 175 | 318 | 803 | 980 | — | — | 0.006 |
| 配合2 | 18 | 185 | 336 | 762 | | 0.25 | — | 0.002 |
| 配合3 | | 150 | 273 | 903 | | 0.25 | — | 0.002 |
| 配合4 | | — | — | — | | — | 4.00 | 0.006 |

※粗骨材最大寸法：20mm

セメント：普通ポルトランドセメント

細骨材：掛川産山砂(表乾密度2.56g/cm³、吸水率2.23%)

粗骨材：笠間産碎石(表乾密度2.67g/cm³、吸水率0.46%)

AE減水剤(Ad1)：リグニンスルホン酸系

高性能AE減水剤(Ad2)：ポリカルボン酸系

空気連行剤(AE)：変性ロジン酸化合物系

※配合設計では空気量4.5%とした。

※配合3、4では、ブリーディングが生じやすくなることを意図して、気乾状態の細骨材を0.15mmの機械ふるいでふるって微粒分の除去を試みた。ただし、微粒分を除去した/していない細骨材中の0.15mm以下の粒子について、ふるいわけ試験(JIS A 1102)で確認したところ、それぞれ7.0%と4.3%であり、その差は顕著とまでは言えなかった。

抗性の違い等について検討した^{5) 6) 7)}。しかし、打込み後にブリーディング水を除去してブリーディング量を測定したために、上昇したブリーディング水による悪影響が十分に再現されず、供試体上部の品質が改善されるなどの反省点があった。

H23年度は、H22年度の実験結果をふまえ、打込み後のブリーディング水を除去しなかった。また、単位水量を大きくして材料分離傾向を高めた配合の追加、鉄筋を配置してかぶり部とかぶり内部を比較、型枠側面でスペーシングを実施、凍結融解試験を実施などの変更を加えて実験を行った。

3.2 実験方法

3.2.1 コンクリートの配合及び供試体

コンクリートの配合を、表-1に示す。配合1および2は、適切に施工できる単位水量および単位セメント量で、配合1はスランブ8cmを、配合2はスランブ18cmを目標とした。配合3は、配合2よりも単位水量、単位セメント量を増やすことで、ブリーディングが大きくなることを狙った。配合4は、材料分離が生じやすいように単位セメント量を減らした上で、高性能AE減水剤を過剰に用いてペーストを流動化させることでスランブを大きくした。

RC大型供試体の形状の例を、図-1に示す。供試体は3層に分けてコンクリートを打込み、締固めを行った。打込み時はバケツを使用して図-1に示すA面側にコンクリートを投入し、棒状バイブレータを用いた締固めによってC面側にも行き渡らせた。締固めは、A面側の5

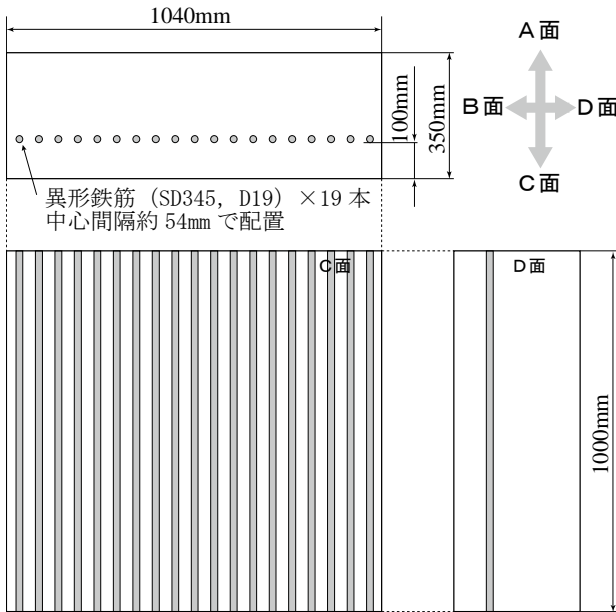


図-1 RC 大型供試体形状



図-2 スペーシングの実施状況

箇所に均等にバイブレータを使用し、振動締固め時間は充てん状況に応じて一箇所あたり 5~15 秒とした。なお、打重ね時に下層コンクリート上面にあったブリーディング水は除去しなかった。また、各層の締固め直後に、主要な測定面である A 面及び C 面付近の表面気泡を除去する目的でスペーシングを行った (図-2)。供試体 1 体あたりの打込みに要した時間は、各ケースとも 1 時間弱であった。

RC 大型供試体は、配合ごとに 2 体を作製した。一体は図-1 に示した形状で非破壊試験に使用した。一体は、幅 1800mm とし、コアを用いた試験に使用した。幅 1800mm の供試体も、図-1 同様の間隔で鉄筋 33 本を配置した。なお、打込み後は、20℃の室内で打設面を湿布で覆って型枠内で養生し、7 日後に脱型した。脱型後は気中養生した。

RC 大型供試体と標準的な材料試験の結果を比較するため、圧縮強度試験用の 100×200mm の標準養生供試体



図-3 間隙通過性試験の実施状況

を作製し、材齢 28 日で試験を行った。また、150×150×530mm の角柱供試体を作製し、その側面からコアを採取して、密度吸水率試験、促進中性化試験、凍結融解試験を行った。試験方法は、RC 大型供試体から採取したコアと同様とした (表-2)。

3.2.2 フレッシュ時の試験

RC 大型供試体の打設時には、フレッシュコンクリートのスランプ、空気量を測定するとともに、圧縮強度試験用の供試体を採取した。また、打設直後の供試体天端の高さを測定 (23 箇所/供試体) し、沈下がほとんど終了したと見られる打設から 3 時間後の高さと比較して沈下量を求めた。

なお、試験練り時に JIS A 1123 に従ったブリーディング試験を行った。また、JSCE-F 511 の高流動コンクリートの充てん装置を用いた間隙通過性試験方法 (案) を参考に、ボックス型容器 (障害 R2) を用い、バイブレータで振動締固めを行って、締固め開始から B 室の高さ 300mm の位置までコンクリートが充てんされるまでの時間を測定した (図-3)。さらに、測定後の A 室、B 室の上部から φ100×200mm の使い捨て型枠に入るだけの試料を採取し、コンクリート中の粗骨材量の測定を行った。

3.2.3 コアを用いた試験

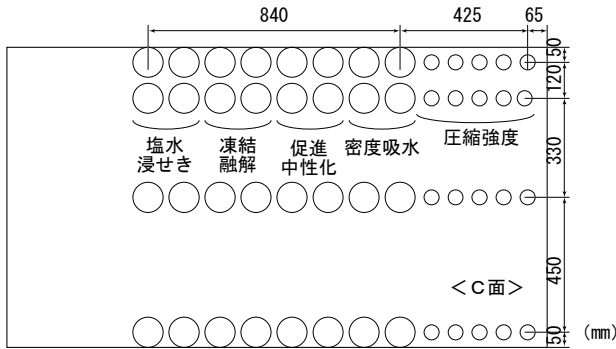
RC 大型供試体から材齢 14~27 日までの間にコアを採取し、試験日まで RC 大型供試体と同様に養生して、材齢 28 日前後に各種の試験を行った。

コア採取位置は図-4 のように定め、A 面、C 面から 100mm の位置まで採取した。採取したコアを用いて表-2 に示す試験を行った。

3.2.4 非破壊試験

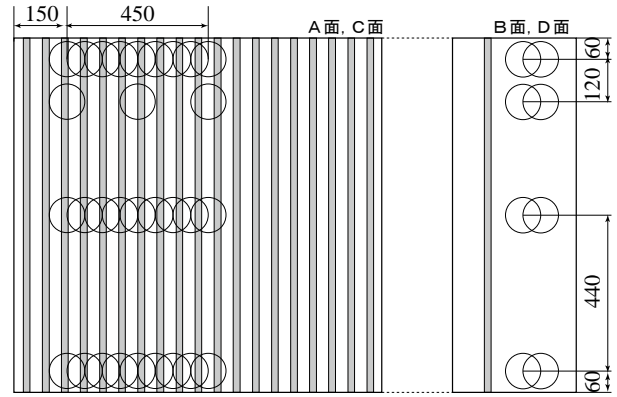
非破壊試験用の RC 大型供試体を用いて材齢 28 日前後に TORRENT 法による透気試験⁸⁾、リバウンドハンマーによる反発度の測定 (JIS A 1155)、超音波伝播速度の測定を行った。本報では、これらのうち透気試験の結果に

15.4 性能規定に対応したコンクリート構造物の
施工品質管理・検査に関する研究 (1)



※コアの長さが100mmであるため、圧縮強度試験用のコアの径は50mmとした。それ以外のコアの径は100mmとした。

図-4 コア採取位置



単位: mm

※図中の○として、測定用の装置(セル)の設置位置を示す。

図-5 透気係数の測定位置

表-2 コアを用いた試験

| 種類 | 方法 |
|-------------|--|
| 圧縮強度試験 | φ50mm×約100mmのコアを用い、イオウキャッピングにより整形した。各位置で5体の試験を行い、その平均をとった(ただし、極端に強度が低いなど欠陥が疑われるものは除外した)。 |
| 密度吸水率試験 | コアのうちコンクリート表面から約50~100mmの部分を用い、表乾、水中、絶乾質量の測定を行って、その結果から密度、吸水率などを算出した。なお、供試体を吸水させる際には真空環境下で行った。各位置で2体の試験を行い、その平均をとった。 |
| 促進中性化試験 | JIS A 1153 に準じて行い、促進期間8週間での測定のみ行った。各位置で2体の試験を行い、その平均をとった。 |
| 凍結融解試験 | 吸水させたφ100mm×約100mmの供試体をビニール袋に入れた上で凍結融解試験機内部の水中に設置し、凍結融解させた。合計300サイクルの凍結融解を作用させたが、33 または50 サイクルごとに観察し、その際に水中に浸せきして吸水させた。その他の試験条件や測定はJIS A 1148 に準じて行った。各位置で2体の試験を行った。 |
| 骨材の分布に関する試験 | 密度吸水試験に用いたコアを、試験終了後、塩酸で溶解させ、内部に含まれる粗骨材量を測定した。 また、促進中性化試験を行った後の割裂面を観察し、型枠面から粗骨材までの距離を測定した。測定結果は、促進中性化深さの測定と同様に、複数箇所測定した結果の平均値とした。 |

ついて報告する。

透気試験の測定位置を、図-5 に示す。ただし、測定材齢や供試体の配合、測定面によって、測定数は異なる。

なお、多数箇所の測定には時間を要するため複数の日にわたって測定を行い、本報では材齢26~28日に測定した結果を材齢28日、材齢17~19週に測定した結果を材齢18週と表現している。ただし、供試体は測定の十分前

表-3 各配合のスランプ、空気量、圧縮強度

| | スランプ (cm) | 空気量 (%) | 圧縮強度 (N/mm ²) |
|-----|-----------|---------|---------------------------|
| 配合1 | 12.7 | 4.7 | 36.2 |
| 配合2 | 20.0 | 4.5 | 34.5 |
| 配合3 | 22.7 | 3.9 | 35.3 |
| 配合4 | 14.9 | 4.4 | 27.1 |

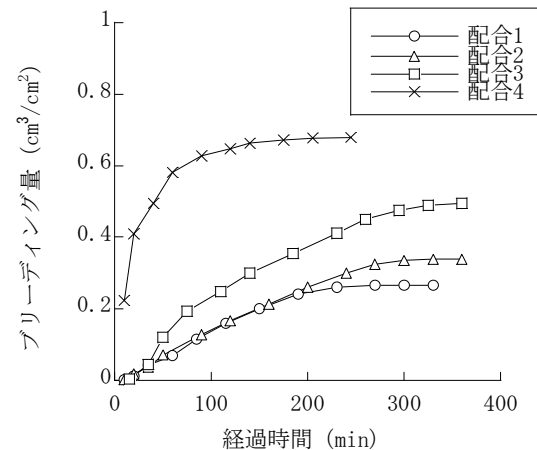


図-6 ブリーディング試験結果

から自然乾燥している状況下であり、測定日の数日の違いは結果に大きな影響を与えないものと考えた。なお、この2回の測定時期の間、RC大型供試体は室内にて保管した。

3.3 実験結果及び考察

3.3.1 フレッシュ性状に関する試験結果

スランプ、空気量、標準養生供試体の圧縮強度試験の結果を表-3に示す。また、ブリーディング試験の結果を図-6に示す。配合1~3の標準養生供試体の圧縮強度は概ね同程度であったが、配合4は小さくなった。配合4は、高性能AE減水剤を多量に使用しているためセメント

表-4 間隙通過性試験結果

| | 300mm 到達時間 (sec) | 充てん速度 (mm/sec) | 粗骨材量 | |
|-----|------------------------|-------------------|------|-------|
| | | | A室 | B室 |
| 配合1 | 3.62 | 83.0 | 97.7 | 100.0 |
| 配合2 | 4.54 | 66.1 | 87.9 | 87.9 |
| 配合3 | 5.83 | 51.5 | 82.3 | 81.3 |
| 配合4 | 16.44 | 18.3 | 97.7 | 74.2 |

※粗骨材量は、配合上の量を100とした場合の量を示した。

表-5 RC 大型供試体で測定した沈下量

| | 沈下量 (mm) | H22 年供試体の 沈下量 (mm) |
|-----|-------------------------------------|-----------------------|
| 配合1 | 全体平均: 0.3 A面平均: 0.4 C面平均: 0.3 | 4.8 |
| 配合2 | 全体平均: 1.0 A面平均: 1.4 C面平均: 0.5 | 8.1 |
| 配合3 | 全体平均: 1.8 A面平均: 2.1 C面平均: 1.2 | — |
| 配合4 | 全体平均: 5.7 A面平均: 4.8 C面平均: 7.9 | 12.6 |

※各供試体の測定結果の平均と、A面、C面沿いで測定した値の平均値を示した。なお、点数は少ないがA面、C面以外の測定位置もあり、A面、C面の平均値の平均と全体平均は一致しない。

ペーストと骨材が分離する傾向が顕著であり、強度に影響したと見られた。ブリーディング試験でも、配合4は練混ぜ直後から急激に材料分離が生じる傾向が記録された。

間隙通過性試験の結果を表-4に示す。配合1~3を比較すると、充てんに要する速度は大きくは異ならなかった。一方、配合4は、粗骨材が閉塞し、充てんに時間を要した。配合4については、骨材量の測定結果でもコンクリート中の骨材が鉄筋間をスムーズに通過できていないことが確認された。なお、配合2および配合3で粗骨材量が小さく測定されたのは、振動により骨材が沈下しているためと考えられる。これらの結果から、配合4では、かぶり側(C面側)に骨材が充てんされにくいおそれがあると考えられた。

表-5にRC大型供試体の沈下量の測定結果を示す。ブリーディング量が大きかった配合3、4は、沈下量が大きくなった。A面とC面の沈下量を比較すると、配合1~3はA面の沈下量が大きかった。この理由は明確ではないが、A面側で振動締め固めを行っていること、A面とC面を比較するとC面の方が鉄筋に近く鉄筋が沈下を抑制した可能性があること、などが考えられる。これに対して

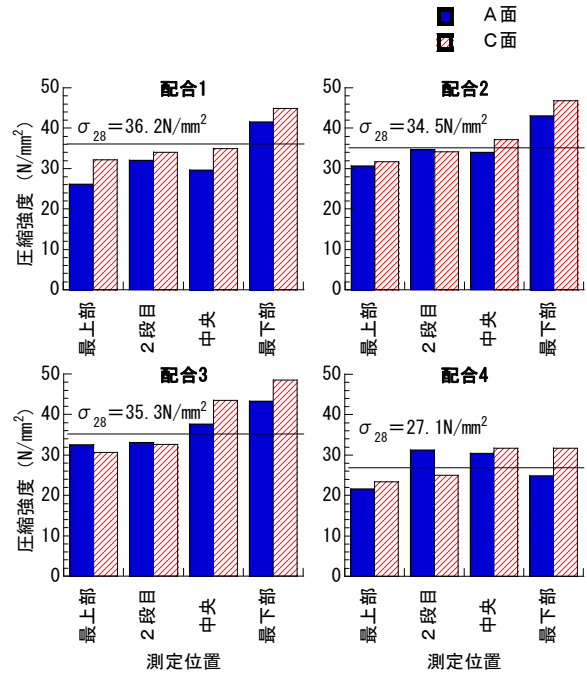


図-7 圧縮強度試験結果

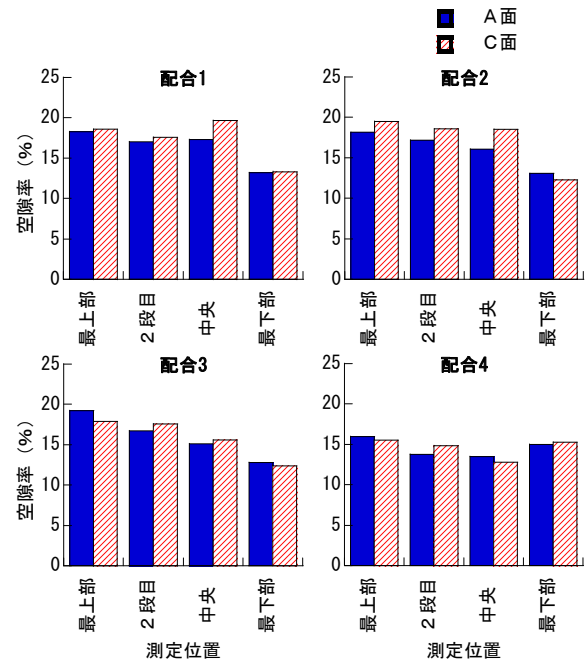


図-8 空隙率測定結果

配合4ではC面側の沈下量が大きかった。配合4は間隙通過性試験の結果からC面側の骨材量が少なく、沈下が大きくなった可能性がある。

また、参考までにH22年度の大型供試体で測定した沈下量を示す。両者の沈下量は大きく異なっている。その理由としては、供試体の鉄筋の有無や打込み、締め固め位置や時間、ブリーディング水の除去の有無など、様々なものが考えられ、現時点では明確でない。

3.3.2 コアを用いた試験の結果

(1) 圧縮強度試験結果

圧縮強度試験の結果を図-7 に示す。配合 1~3 は、高さ方向の強度の分布傾向が類似しており、高さの異なる 4 箇所（最上部、2 段目、中央、最下部）は、標準養生供試体より 3 割程度強度が高くなった。一方、最上部は強度が低く、ブリーディングの影響等が疑われる。ただし、こうした強度分布の傾向は、既往の研究とも一致していた。また、配合 1~3 はブリーディング性状が異なるが、その影響は明確には認められなかった。

配合 4 は、配合 1~3 と比較して強度が小さいが、これは、セメントペーストと骨材の分離が顕著であり、供試体表面の砂すじが顕著なうえ、内部にも空隙があったためと考えられる。なお、配合 4 のコア試料には、採取中に折損した場合や圧縮強度が極端に小さい場合もあったが、これらのデータは無視した。

なお、A 面、C 面側で強度に違いがある箇所もあったが、全体的な傾向としては必ずしも明確ではなかった。

(2) 密度吸水率試験結果

密度吸水率試験の結果から、コンクリート中の空隙の量を表す指標として、式(1)で表される空隙率を算出し、その結果を図-8 に示す。

$$P(\%) = \frac{W_s - W_d}{V_s} \cdot \frac{1}{\rho_w} \times 100 \quad (1)$$

ここに、P：空隙率、 W_s ：飽水状態の質量、 W_d ：絶乾質量、 V_s ：飽水状態の体積、 ρ_w ：水の密度

配合 1~3 は、一般に考えられているように、下部ほど空隙率が小さくなる傾向であった。一方で、配合 4 は、高さ位置による違いが明確ではなく、また、空隙率が配合 1~3 よりも小さかった。これは、配合 4 のセメントペーストの分離によって生じた空隙が顕著であり、一部はコア供試体外部まで連続しているため、測定原理から「供試体中の」空隙率としては評価できなかったためと考えられる。

(3) 促進中性化試験結果

促進中性化 8 週間後の中性化深さを図-9 に示す。配合 1~3 は、試験結果の傾向が似ており、高さの異なる 4 箇所（最上部、2 段目、中央、最下部）は、標準養生供試体よりも中性化深さが小さくなった。一方、場所によって若干大小があるものの、上部ほど中性化深さが大きくなる傾向があった。これらの傾向は、圧縮強度や空隙率とも一致していた。

一方、配合 4 では、高さ方向の傾向が明確ではないが、これは材料分離の影響で、高さ方向の位置に関わらずコ

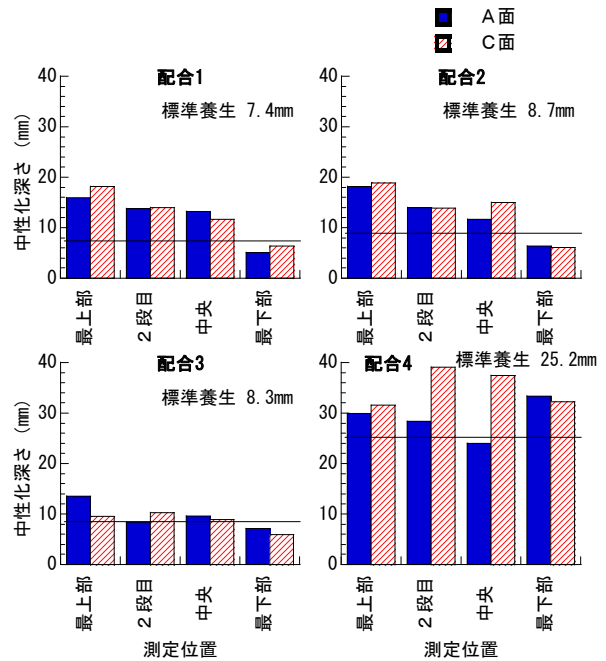


図-9 促進中性化試験結果

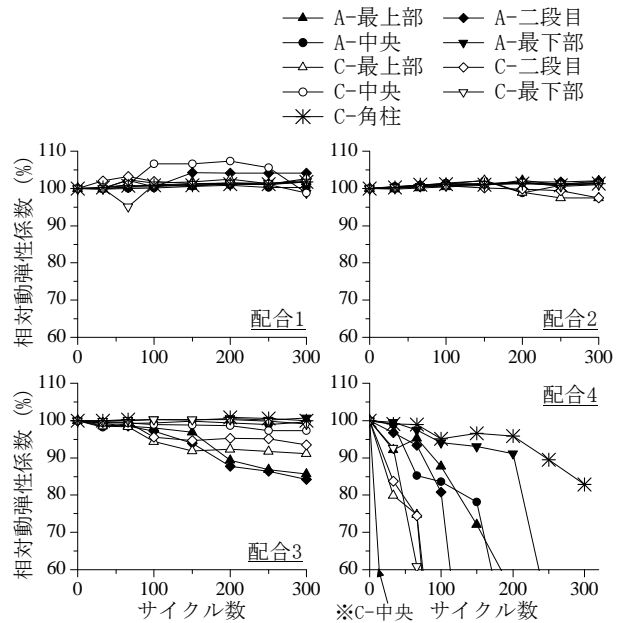


図-10 凍結融解試験結果

ンクリートが十分密実になっていないためと考えられた。

(4) 凍結融解試験結果

凍結融解試験中の相対動弾性係数の変化を図-10 に示す。配合 1 および 2 では、相対動弾性係数がわずかに 100 を下回る箇所も見られるものの、劣化として明確に認識できるほどではなかった。

一方、配合 3 の最上部、二段目から採取した試料では、100 サイクル以降、相対動弾性係数が低下する傾向が見られ、圧縮強度試験や促進中性化試験の結果（配合 1~3

15.4 性能規定に対応したコンクリート構造物の
施工品質管理・検査に関する研究 (1)

で傾向が同じ)とは異なっていた。ブリーディング水が多いと対凍害性が低下することが知られており⁹⁾、また、配合3の供試体の中でもブリーディング水上昇の影響を受けやすいとみられる最上部、二段目で低下傾向が認められることから、対凍害性が配合1、2よりも低下した原因としては、ブリーディング水が多くなったためと考えられる。今後、そのメカニズムについてさらに詳細に調査する予定である。

配合4は、配合1~3と異なり極めて短期間に供試体が破壊されたものが少なかった。顕著な材料分離によって粗大な空隙が生じている(ポーラスなコンクリートとなっている)ことが影響したものと見られる。採取位置について見ると、C面の供試体で劣化が早かった。角柱供試体から採取した試料や、A面最下部の試料などは比較的劣化が遅く、材料分離の悪影響を受けにくかったものと見られる。

(5) 骨材の分布に関する試験結果

密度吸水率試験後の試料を用いて測定した各部の粗骨材量を表-6に示す。配合4については間隙通過性試験(表-4)の結果から粗骨材が入りにくいとも予想したが、密度・吸水試験後の試料ではそのような傾向は確認できなかった。この理由は明確ではないが、今回、この測定に用いた試料はφ100×50mmを1箇所あたり2個と、多くはないので、粗骨材量の分布を議論するにはばらつきが大きすぎたおそれもある。

次に、中性化深さを測定した後の供試体で、型枠に接していた面(コア採取前の供試体表面)から粗骨材までの距離を測定した結果を図-11に示す。配合1~3では、いずれも最下部で、供試体表面から粗骨材までの距離が小さくなっている。沈下の影響で粗骨材が多くなっているためと考えられる。また、配合2及び配合3では、上部ほど供試体表面から粗骨材までの距離が大きくなっていた。この理由は必ずしも明確ではないが、打設時にスペーシングを行った際に型枠側面付近にあった粗骨材が排除されたと考えられる。軟らかいコンクリートの方がすぐに流動化するためスペーシングが容易で、骨材が排除されやすかったと推定される。図-11では、特に配合3のC面で、上下方向の差が顕著であった。一方、配合1では、最下部を除き、高さの影響が顕著ではなかった。

3.3.3 非破壊試験の結果

(1) 透気試験結果のばらつき

本報では、種々検討した非破壊試験のうち、透気試験の結果について示す。透気係数はコンクリート中での空気の通過しやすさを評価する指標で、中性化に対する抵

表-6 コアを用いて測定した各部の粗骨材量

| | 配合1 | | 配合2 | | 配合3 | | 配合4 | |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | A面 | C面 | A面 | C面 | A面 | C面 | A面 | C面 |
| 最上部 | 86.2 | 80.3 | 85.8 | 73.9 | 66.7 | 93.0 | 90.2 | 89.9 |
| 二段目 | 83.6 | 79.1 | 85.9 | 80.0 | 92.0 | 84.3 | 94.8 | 92.9 |
| 中央 | 89.6 | 72.7 | 87.6 | 75.9 | 90.7 | 90.9 | 86.4 | 98.9 |
| 最下部 | 98.5 | 84.4 | — | 79.0 | 95.2 | 89.5 | 90.6 | 75.7 |

※粗骨材量は、配合上の量を100とした場合の量を示した。
※配合2、A面、最下部の試料は測定ミスによりデータが得られなかった。

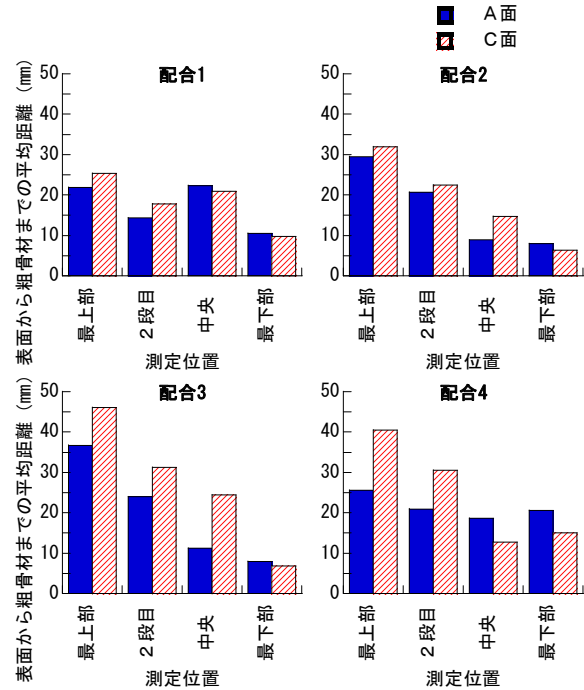


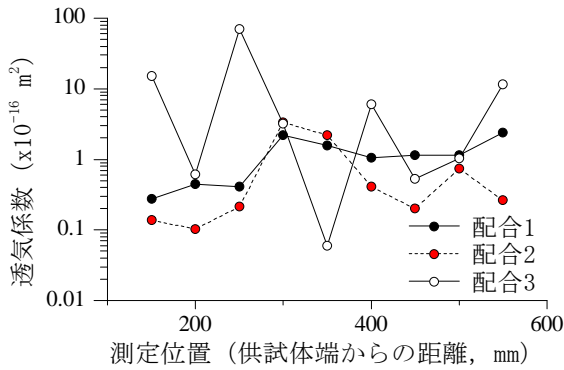
図-11 供試体表面から粗骨材までの距離

抗性など関係があると考えられている^{例えは¹⁰⁾}。一方、測定位置によるばらつきが大きいことも知られており、土木研究所で過去に行った実構造物部材の測定¹¹⁾や、H22年度供試体を用いた測定でも測定結果のばらつきが大きく評価が難しかった。この原因は必ずしも明確ではなかったが、型枠面に存在する表面気泡の影響を疑い、H23年度は施工中にスペーシングを行って、測定面の表面気泡を減少させた。

まず、測定結果の例として、各供試体のC面、高さ方向中央の位置で、材齢28日に測定した透気係数を図-12に示す。図から、測定位置が水平方向に50mm異なる程度でも、透気係数の測定結果が大きく異なる場合があることが確認された。

そこで、測定結果の再現性を検討するため、材齢18週で測定した結果を、材齢28日の測定結果と比較した。結果の例として配合2及び配合3のC面、高さ方向中央で測定した結果を図-13に示す。材齢28日の測定で透気

15.4 性能規定に対応したコンクリート構造物の
施工品質管理・検査に関する研究 (1)



※配合4の供試体では、透気係数が得られなかった（機器の性能を超えて大きいものと見られる）

図-12 透気係数の測定結果分布の例（C面、中央）

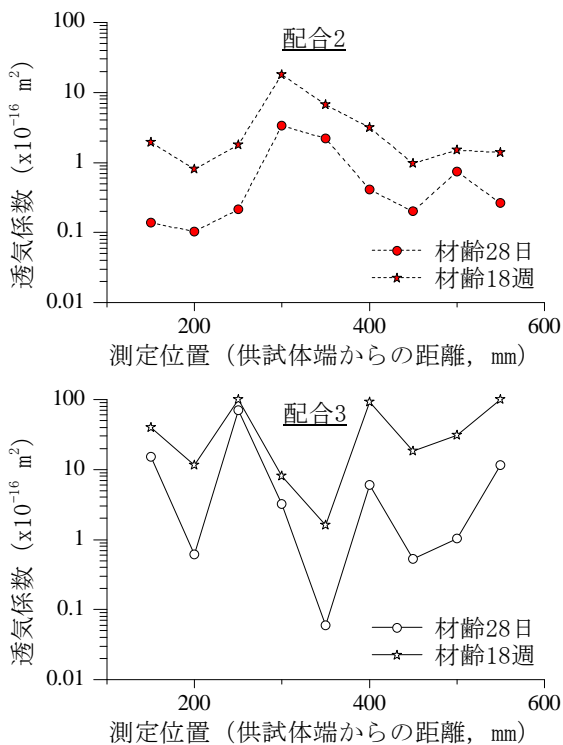
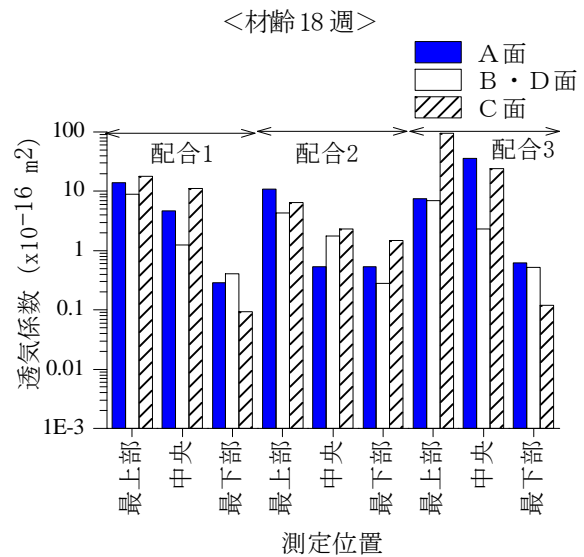
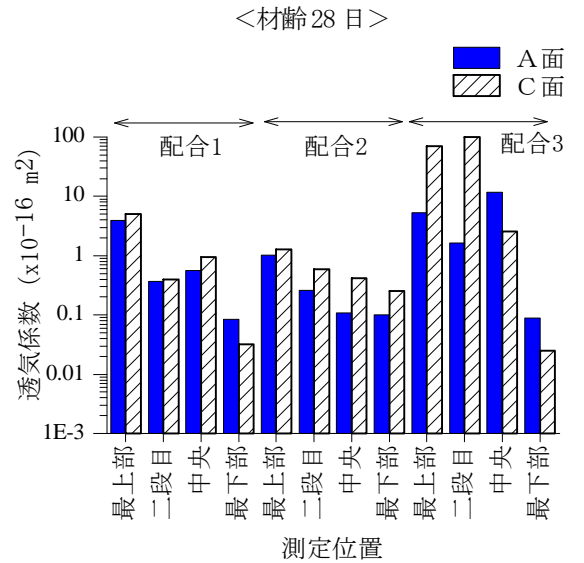


図-13 時期の異なる透気係数測定結果の比較

係数が比較的大きかった箇所は、材齢18週でも他の箇所より透気係数が大きい傾向があった。すなわち、ばらつきのある透気係数の測定結果は、偶然の測定誤差ではなく、各測定箇所の品質の違いを反映したものであると見られる。なお、材齢28日より材齢18週で透気係数が大きいのは、室内に保管した間に乾燥が進んだためと考えられる。

(2) コンクリートの品質と透気試験結果

前述のように透気係数の測定結果は、測定位置による違いが大きいことから、測定面・高さごとに相乗平均をとって試験結果を整理した。その結果を図-14に示す。



※今回の実験では、測定セル内の気圧が急速に変化し、透気係数の値が得られない場合があった。このような箇所は、透気係数が $100 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ （測定機器に表示される上限の値）であるものとして平均値を求めた。

※相乗平均をとった測定データの数、部位や測定時によって異なり3~9個であった。

※配合4は、多くの測定値で透気量が多く透気係数が得られなかったため省略した。

図-14 透気係数測定結果の平均値

図から、透気係数は測定位置の高さによって大きく異なり、いずれの配合・測定面でも最下部では小さく、上部ほど大きくなる傾向があった。この傾向は、圧縮強度試験や促進中性化試験により把握されたコンクリートの品質の分布傾向と一致していた。

一方で、最上部から中段までの透気係数に着目すると、配合による透気係数の違いも大きく、配合3の透気係数は配合1、配合2より顕著に大きかった。この点で透気係数の結果は、配合1~3の違いが大きくなかった圧縮強

表-7 RC大型供試体を用いた実験結果の概略

| 検討項目 | 着眼点 | | |
|-------------|--|---|---|
| | (a)スランブの異なるコンクリート ※配合1と配合2の比較 | (b)ブリーディングが多いコンクリート ※配合3と配合1及び2の比較 | (c)セメントペーストと骨材の分離が著しいコンクリート ※配合4と配合1~3の比較 |
| 圧縮強度 | <ul style="list-style-type: none"> スランブ増加の影響はほとんど認められない。 スランブ8cmのコンクリートでも高さ方向に品質の分布が生じる。 供試体の最下部は、上部のコンクリートの重みにより密実に締固められ、強度が高くなった。 供試体の最上部は、強度が低くなった。 | <ul style="list-style-type: none"> ブリーディング量増加の影響は明確ではなかった。 | <ul style="list-style-type: none"> 入念に施工しても粗大な空隙の発生が避けられず強度は低下した。 |
| 中性化抵抗性 | <ul style="list-style-type: none"> 品質の分布は圧縮強度と類似していた。 | | |
| 凍結融解抵抗性 | <ul style="list-style-type: none"> スランブ増加の影響はほとんど認められず、いずれの位置でも凍結融解抵抗性は高かった。 | <ul style="list-style-type: none"> 供試体の上部では、凍結融解抵抗性がやや低下しており、ブリーディング水の影響が疑われた。 | <ul style="list-style-type: none"> 粗大な空隙の存在により、凍結融解抵抗性は極めて低くなった。なお、小型の供試体では、大型供試体ほど顕著ではなかった。 |
| 骨材の分布 | <ul style="list-style-type: none"> 最下部は粗骨材が多くなっているものと推定されるが、定量的な評価は困難であった。 | <ul style="list-style-type: none"> コンクリート表面付近では、骨材が少なかった。なお、スページングを行った影響があったとも考えられた。 | <ul style="list-style-type: none"> 間隙通過性試験の結果から、かぶり部（C面側）に骨材が入りにくくなると予想されたが、明確には確認できなかった。ただし、かぶり部の沈下量がやや大きかった。 |
| 塩害抵抗性 | (継続検討中) | | |
| 透気試験による性能評価 | <ul style="list-style-type: none"> スランブ増加の影響は明確ではなかった。 透気係数は、測定位置のわずかな違いにより大きな影響を受けた。 | <ul style="list-style-type: none"> ブリーディング量の多い配合3では透気係数がやや大きかった。 透気係数は、測定位置のわずかな違いにより大きな影響を受けた。 | <ul style="list-style-type: none"> 粗大な空隙の存在により、ほとんどの箇所では測定できなかった。 |

度試験や促進中性化試験の結果とは異なっていた。

既往の文献¹²⁾から、透気係数は、ブリーディングの大きい配合で大きい傾向が見られている。そのような観点でブリーディング試験結果(図-6)を見ると、配合3は、配合1や配合2よりも初期からブリーディング量が大きい。一方、初期のブリーディングの出方が類似しているが、最終的なブリーディング量の異なる配合1と配合2では、透気係数の違いが顕著ではない。これらの結果から、ブリーディングの最終的な量よりも、特に打込みや締固めなどの際に影響を与えうる初期の水の分離が影響を与えているように考えられた。

また、本報では詳細を略すが、スページングを行ったA面およびC面の透気係数よりも、行っていないB面及びD面の方が比較的安定して測定結果が得られているようにも感じられた。この点は、細かな表層気泡の除去により、透気係数のばらつきを抑制できるとの事前の予想

と反していた。この理由として、スページングを行うことにより型枠側面に接するコンクリート流動化し、局所的にコンクリートのブリーディングを増やすような影響があったおそれがあることが、考えられる。

このように透気係数の測定結果は、ブリーディングなどの影響を受け敏感に数値が変動するので、複数回測定することが必要と考えられる。また、そのようにして得た代表値(例えば、相乗平均)は、硬化コンクリートの性能以上にブリーディング影響を受けやすいといった特徴があり、配合の異なるコンクリートの性能を評価する際には注意が必要である。

3.4 RC大型供試体を用いた実験結果のまとめ

材料分離の程が異なるコンクリートを用いて高さ1mのRC大型供試体を作製し、材料分離が高さ方向の品質の分布に与える影響について検討した。結果の概略を表-7にまとめた。

4. フレッシュ時の塩分の移動に関する検討

4.1 概要

ブリーディング量が大きいと、コンクリート中の塩化物イオンが移動・集積したりするおそれがあると指摘されていた。そこで、ブリーディング性状の異なるコンクリートを用いて供試体を作製し、供試体の上下方向の塩化物イオン濃度の違いや、ブリーディング水がたまるおそれのある鉄筋下面付近の塩化物イオン濃度を測定して

表-8 モルタル、コンクリートの配合

| 配合 | 施工条件 (表-9) | W/C (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | | 添加量 (C x %) | | | CI量 (C x %) |
|----|---------------|---------|--------------------------|-----|------|-----|------|-------------|--------|--------|-------------|
| | | | W | C | S | S' | G | Ad1 | Ad2 | Ad3 | |
| 1 | 通常 | 55 | 175 | 318 | — | 803 | 980 | 0.00 | — | 0.0030 | 0.8 |
| 2 | | | 150 | 273 | | 903 | | 0.25 | — | — | |
| 3 | | | 175 | 318 | 803 | — | | — | 4.00 | 0.0045 | |
| 4 | 通常 | 55 | 175 | 318 | — | 803 | 0.25 | — | — | | |
| 5 | 過振動 | | | | — | 803 | — | — | — | | |
| 6 | 高流動 | 35 | 175 | 500 | 654 | — | — | 1.00 | 0.0030 | | |
| 7 | 通常 | 55 | 284 | 516 | 1303 | — | — | 0.25 | — | | |

※粗骨材最大寸法 20mm

C：普通ポルトランドセメント (密度 3.16g/cm³)

S：掛川産山砂 (配合 1~3：密度 2.57g/cm³、吸水率 1.87%)

(配合 4~7：密度 2.56g/cm³、吸水率 2.23%)

S'：S を 0.15mm ふるいでふるい微粒分の一部を除去したもの

G：笠間産碎石 (密度 2.67g/cm³、吸水率 0.46%)

Ad1：リグニンスルホン酸系 AE 減水剤

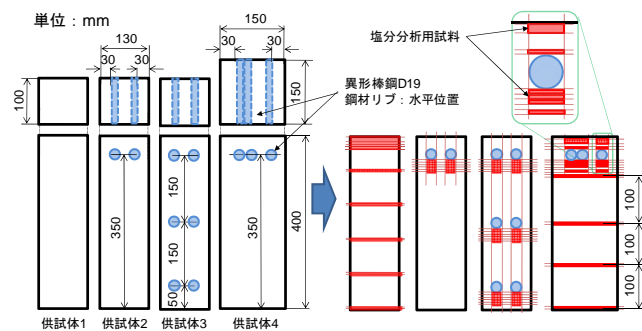
Ad2：ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤

AE：変性ロジン酸化合物系空気連行剤

※配合 7 (モルタル) は、ブリーディング性状をコンクリートに近づける制御する目的で、メチルセルロース系増粘剤を水に対して 0.075% 用いた。

表-9 コンクリートの施工条件

| 施工条件 | 打込み | 締固め | | |
|------|-----|---------------------|-----|--------------------|
| | | 使用機器 | 加振面 | 時間 |
| 通常 | 二層 | 型枠バイブレータ | 両側面 | 15 秒 / (1 側面・1 層) |
| 過振動 | 二層 | テーブルバイブレータ (VC 試験機) | 底面 | 120 秒 / (1 側面・1 層) |
| 高流動 | 一層 | なし | なし | なし |



※左図の着色部は、供試体中の鉄筋の配置状況を示す。

※右図には、配筋状況に加え、塩化物イオン濃度を測定した位置を示している。

図-15 供試体概要

検討した。

4.2 実験方法

配合を、表-8 に示す。ブリーディング量に着目した実験のため、配合 1~3、5 に用いた細骨材はブリーディングが生じやすいように粒径 0.15mm 以下の微粒分をふるい分けて除去した。配合 6 は、ブリーディングが生じない高流動コンクリートとした。配合 7 は、粗骨材の有無の影響を把握する目的で、配合 4 のモルタル部分のみを取り出した配合とした。なお、塩分の移動・集積の傾向をとらえやすくするため、練混ぜ水に塩化ナトリウムを混入し、あらかじめ多量の塩化物イオンを含むコンクリートとした。

供試体は、図-15 (左図) に示す形状とした。供試体 1 は、高さ方向における塩分分布を把握するものとした。供試体 2、3 は、ブリーディング水の移動距離に着目し、異なる高さにおける鋼材下面での塩分の移動・集積の程度を把握するものとした。供試体 4 は、鋼材面積の影響を把握するものとした。なお、配合 5 は、成形条件の影響を把握するため、過剰な振動締固めを行って供試体を作製した。養生は、気温 20°C の試験室内で行い、打設後 14 日目まで型枠内で封緘養生とした。その後は、脱型して材齢 28 日まで気中養生し、図-15 (右図) に示す位置から塩化物イオン濃度測定用の試料を 5mm ピッチで切り出した。

塩分分析は、全塩分を電位差滴定法 (JIS A 1154) で分析した。また別途、ブリーディング試験 (JIS A 1123) も実施した。なお、ブリーディング試験は、過振動条件 (配合 5) のみ、供試体と同様の締固め方法で試料を締め固めた。

4.3 実験結果及び考察

4.3.1 ブリーディング試験結果

ブリーディング試験結果を図-16 に示す。図中には、目安として供試体と同様の締固めを実施した配合 5 のブリーディング試験結果を示している。まず、全ての試験

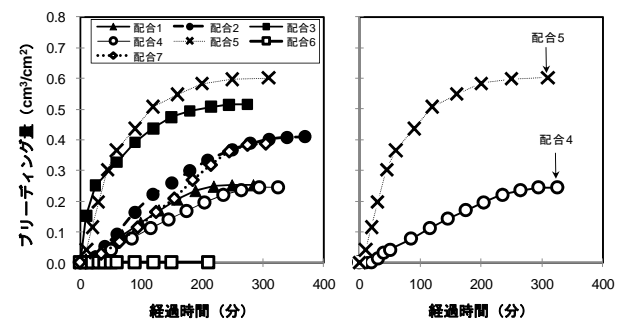


図-16 ブリーディング試験結果

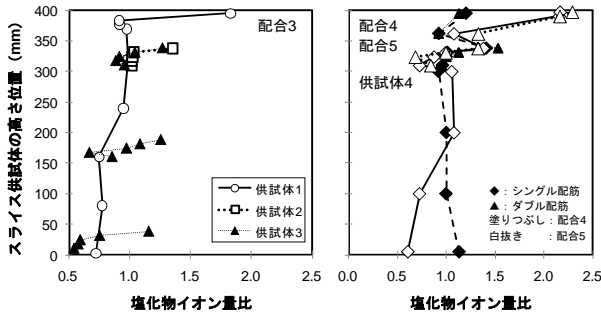


図-17 塩分分布の一例

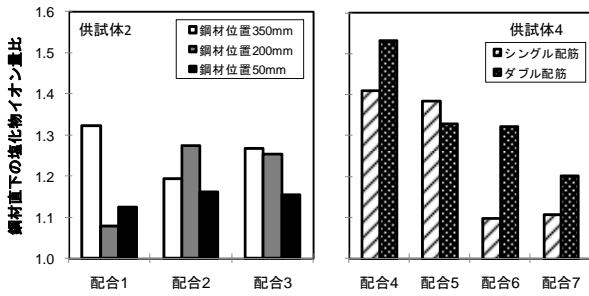


図-18 鋼材直下の塩化物イオン量比

結果の概略 (図-16、左図) を見ると、ブリーディングが生じない高流動コンクリート (配合 6) から大幅にブリーディングが生じるコンクリート (配合 3) まで、幅広いブリーディング量の範囲のコンクリートとなった。次に、供試体の成形条件の異なる配合 4、5 (図-16、右図) に着目すると、過剰に振動をかけた配合 5 はブリーディング量がかなり大きいコンクリートとなった。

4.3.2 高さ方向の塩分分布

塩分の移動・集積は、塩分分析で得られた全塩分量を練混ぜ時に混入した塩分量で除した値 (塩化物イオン量比) で評価した。

測定結果から得られた塩分分布の一例を図-17 に示す。まず、ブリーディング量の大きな配合 3 (図-17、左図) に着目する。無筋の供試体 1 の結果から、上部で塩化物イオン量比が大きくなる傾向が見られた。また、配筋した供試体 2、3 では、鋼材直下の塩化物イオン量比が急激に大きくなった。なお、供試体 2、3 で同じ高さ位置 (350mm) では、鋼材直下の塩化物イオン量比は、同程度であった。練混ぜ時に混入した塩分量を超える箇所は、最上部から 50mm 程度 (供試体 1) の場所で、また、鋼材下面から数 cm 程度 (供試体 2、3) が顕著であった。

次に、供試体 4 (図-17、右図) に着目する。供試体の成形条件の異なる配合 4、5 では、高さ方向の分布傾向が少し異なり、通常の成形条件の配合 4 に比べ、過剰に振動をかけた配合 5 が上部で塩化物イオン量比が大きくなる傾向がより顕著となった。また、どちらの配合も配筋

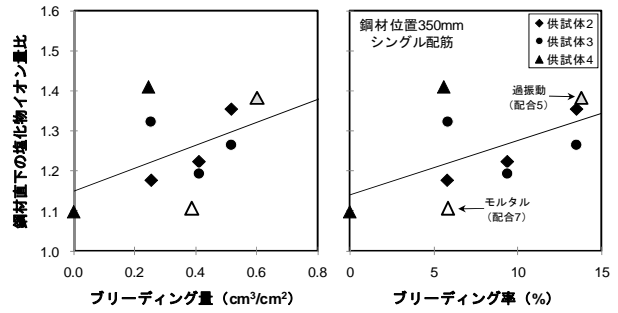


図-19 鋼材直下の塩分集積とブリーディングの関係

条件が異なっても、鋼材直下の塩化物イオン量比は、大きくなった。

塩化物イオン量比が最も大きくなった部分は、ほぼ全ての配合で最上部であり、その大きさは最大 2.2 倍となった。

4.3.3 鋼材直下の塩分集積

鋼材直下の塩化物イオン量比を図-18 に示す。まず、供試体 3 の結果 (図-18、左図) に着目すると、ばらつきはあるが、上部の鋼材ほど、その直下の塩化物イオン量比が増加する傾向にあった。次に、供試体 4 (図-18、右図) に着目すると、ほぼ全ての配合でダブル配筋の方がシングル配筋に比べ、鋼材直下に位置する塩化物イオン量比がやや大きい傾向にあった。

4.3.4 塩分集積とブリーディングの関係

シングル配筋で鋼材位置 350mm の鋼材直下の塩化物イオン量比とブリーディングの関係を図-19 に示す。ブリーディングが生じない高流動コンクリート (配合 6) で鋼材直下の塩化物イオン量比が 1.1 倍程度であった。ブリーディング量・率が大きい配合では、鋼材直下の塩化物イオン量比が大きい傾向にあるようにも見受けられたが、その違いは顕著ではなかった。また、分析試料中に粗骨材が存在しないモルタル (配合 7) では、あまり顕著な集積程度にならなかった。本検討に用いた配合の範囲では、シングル配筋で練混ぜ時の塩分量の最大 1.4 倍程度であった。

4.4 塩分の移動に関する実験結果のまとめ

- (1) ブリーディングによって、塩化物イオンが移動・集積される現象が確認できた。
- (2) 例えば、異形鋼材 D19・1 本の場合、鋼材直下の塩化物イオン量は、練混ぜ時の塩分量の最大 1.4 倍程度であった。重ね継手を模して D19 を 2 本並べた場合、鋼材直下の塩化物イオン量は、やや大きくなった。
- (3) ブリーディング量・率が多い配合の方が、鉄筋下面に集積する塩化物イオン量が大きいようにも見受けら

15.4 性能規定に対応したコンクリート構造物の
施工品質管理・検査に関する研究 (1)

れたが、ブリーディング量・率の影響が顕著とまでは
言えなかった。

(4) (1)~(3)から、本実験の範囲では、スランブの増大に
伴ってブリーディング量・率が若干増加したとしても、
塩化物イオンなどの劣化因子がコンクリートの一部に
集積するというメカニズムによって耐久性上の欠陥が
生じるおそれはそれほど大きくないと考えられる。

5. 配合がブリーディング性状に与える影響に関する検討

5.1 概要

従来、一般的な土木構造物ではスランブ 8cm のコンク
リートが用いられてきたが、施工条件に応じて打込み時
点での最小スランブを柔軟に設定することが近年提案さ
れている。しかし、スランブを増大させると、ブリーデ
ィング量がやや多くなると考えられている。

一方で、ブリーディングに影響を与える要因は、スラ
ンブ以外にも、水セメント比 (W/C) や AE 剤の使用、セ
メントの種類、細骨材の粒度、コンクリートの温度、締
固め、打込み速度、打込み高さなどがあり¹³⁾、相互に影
響する要因もある。しかし、現状では、これらの影響程
度について定量的に紹介された資料は必ずしも十分では
ない。そこで、基礎的な検討として、単位水量や水セメ
ント比、締固め方法、温度がブリーディングに与える影
響程度について検討した。

5.2 実験方法

コンクリートの配合を表-10 に示す。単位水量、混和
剤の種類、W/C などを変更した 17 配合とした。一方、セ
メントの種類や使用骨材、細骨材率は一定とした。各配
合のスランブ、空気量、圧縮強度の試験結果を表-11 に
示した。

ブリーディングの測定は、JIS A 1123 により行った。
一部の配合では、これに加えて試料の締固めを振動締固
めに変更した測定や、比較的低温な環境での測定も行っ
た (表-12)。

また、間隙通過性試験 (図-3) の妥当性を検討するた
め、同時に測定を行った。試験の方法は、3.2.2 に示し
たものと同様である。

5.3 ブリーディング試験結果

5.3.1 各配合のブリーディング性状

JIS A 1123 による測定結果を図-20 に示す。ブリーデ
ィング率は多くの配合で 10%以下であるが、いくつか顕
著に大きい場合もあった。ブリーディング率が特に大き
い配合は、練混ぜ直後から水の分離が顕著であったもの
で、図-21 に示すように早期に多量のブリーディング水

表-10 ブリーディング性状を試験した配合

| 配合 | W/C (%) | 単位量(kg/m ³) | | | | 混和剤(% vs C) | | |
|----|---------|-------------------------|-----|-----|------|-------------|-----|-------|
| | | W | C | S | G | WR | SP | AE |
| 1 | 55 | 175 | 318 | 803 | 979 | — | — | 0.006 |
| 2 | | 190 | 345 | 775 | 945 | | | 0.01 |
| 3 | | 160 | 291 | 831 | 1013 | | | 0.008 |
| 4 | | 175 | 318 | 803 | 979 | 0.25 | | 0.001 |
| 5 | | 190 | 345 | 775 | 945 | | | |
| 6 | | 160 | 291 | 831 | 1013 | | | 0.004 |
| 7 | | 150 | 273 | 849 | 1036 | | | 0.003 |
| 8 | 65 | 175 | 318 | 803 | 979 | — | 1.0 | 0.004 |
| 9 | | 160 | 291 | 831 | 1013 | | | |
| 10 | | 150 | 273 | 849 | 1036 | | | 0.002 |
| 11 | | 150 | 273 | 849 | 1036 | | 4.0 | 0.005 |
| 12 | 45 | 175 | 269 | 821 | 1001 | | — | 0.006 |
| 13 | | 190 | 292 | 795 | 969 | | | 0.006 |
| 14 | 45 | 175 | 389 | 776 | 947 | | | 0.008 |
| 15 | | 190 | 422 | 746 | 910 | | | 0.008 |
| 16 | | 175 | 389 | 776 | 947 | | 1.0 | 0.002 |
| 17 | | 190 | 422 | 746 | 910 | | | 0.002 |

※セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。細骨材は、掛川産
陸砂 (表乾密度 2.56g/cm³、吸水率 2.2%)、粗骨材は、笠間産砕石 (表
乾密度 2.67g/cm³、吸水率 0.46%) を使用した。混和剤として、リグ
ニンスルホン酸系の AE 減水剤 (WR)、ポリカルボン酸系の高性能
AE 減水剤 (SP)、AE 剤 (AE) を使用した。
※目標空気量 4.5%として配合設計した。空気量を測定した結果、高性能
AE 減水剤を多量に使用し材料分離が顕著であった配合 11 以外は、4.5
±1.5%の範囲にあった。
※配合 16 及び 17 は、スランブフローでは、配合 16 が 580×630mm、
配合 17 が 700×740mm であった。

表-11 フレッシュ時の性状

| 配合 | Sl (cm) | Air (%) | σ ₂₈ (MPa) |
|----|---------|---------|-----------------------|
| 1 | 12.5 | 4.8 | 39.3 |
| 2 | 18.5 | 5.4 | 37.1 |
| 3 | 7.5 | 4.8 | 35.5 |
| 4 | 20.5 | 3.7 | 42.2 |
| 5 | 22.0 | 3.3 | 34.0 |
| 6 | 10.5 | 5.8 | 37.5 |
| 7 | 4.0 | 4.3 | 40.7 |
| 8 | 22.5 | 5.4 | 35.7 |
| 9 | 21.0 | 5.7 | 39.1 |
| 10 | 11.0 | 6.0 | 40.7 |
| 11 | 18.5 | 2.3 | 27.4 |
| 12 | 11.5 | 4.5 | 26.3 |
| 13 | 20.0 | 4.0 | 28.3 |
| 14 | 8.0 | 5.5 | 45.4 |
| 15 | 13.5 | 5.8 | 46.0 |
| 16 | 25.5 | 5.5 | 49.5 |
| 17 | 25.5 | 3.0 | 44.6 |

が生じていた。

このように、特にブリーディング率が大きい (15%以
上の) 場合を除き、単位水量ごとに整理して図-22 に示
す。図から、練混ぜ直後の水の分離が顕著でない配合に
関しては、単位水量が多いほどブリーディング率が大き
くなる傾向が認められた。例えば、配合 1~3 では、単位

表-12 ブリーディングの測定条件

| 測定条件 | 備考 |
|-----------|---|
| JIS | JISA 1123の規定による。 |
| 振動 締固め | ASTM C232を参考にコンクリートを2層で打込み、VC試験機を用いて締固めた。締固め時間は各層3秒とし、その後、必要な場合は上面にペーストが出るまで追加的に振動を加えた。 |
| 低温 | 冬季に、温度管理のされていない室内で測定した。コンクリートの練り上がり時の温度が16~17℃で、ブリーディング測定中の室温は、8~11℃であった。 |

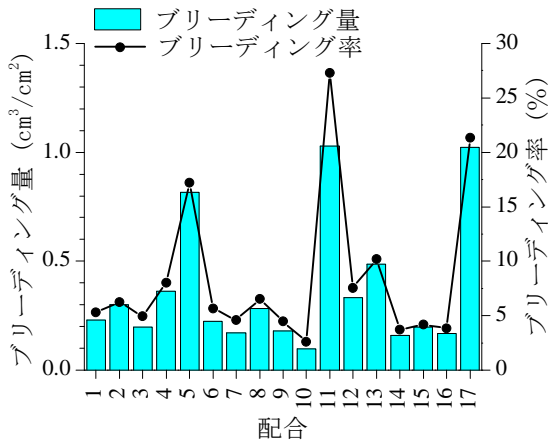


図-20 ブリーディング試験結果 (JIS)

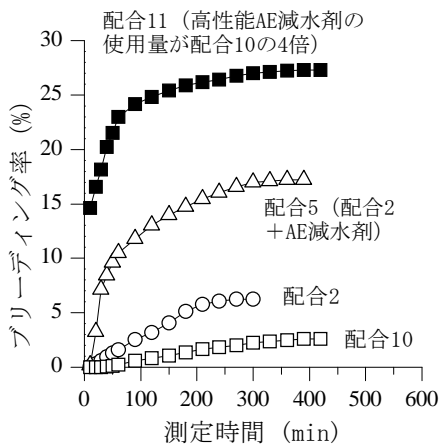


図-21 ブリーディング測定結果の例

水量 15kg/m³の変動によって、ブリーディング率が 1.0 ~1.3%程度変化していた。

また、単位水量が同一の場合、AE 減水剤を使用した配合でブリーディング率がやや大きくなった。ただし、同程度のスランプを得るのに必要な単位水量が低下するので、これに応じて水量を減じれば、ブリーディングを適切に抑制できると考えられる。一方、高性能 AE 減水剤を使用した場合、ブリーディング率の変化は AE 減水剤ほどではなかった。高性能 AE 減水剤を使用したコンクリートは粘性がやや高いことが影響している可能性がある。W/C

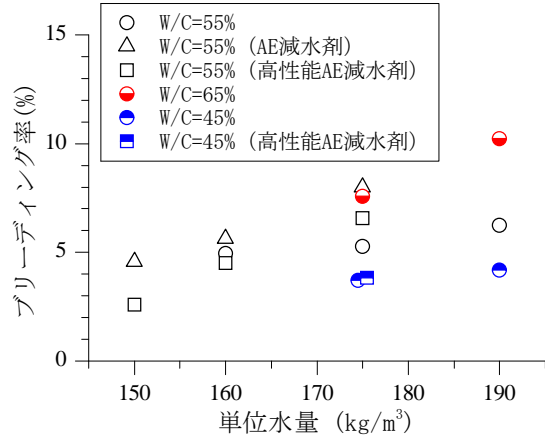


図-22 単位水量とブリーディング率の関係

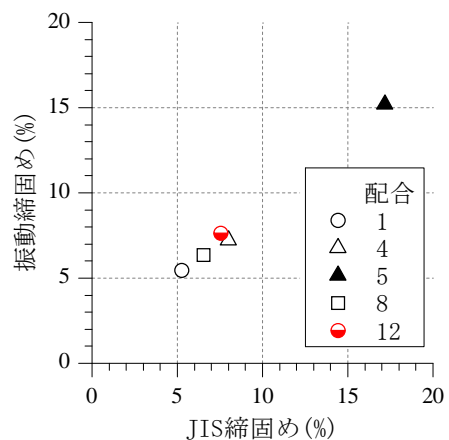


図-23 締固め条件の影響

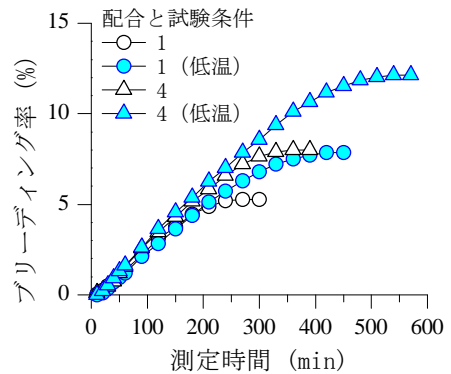


図-24 試験時の気温の影響

の違いに着目すると、W/C が大きい配合ほどブリーディング率が大きくなる傾向があった。

5.3.2 測定条件の影響

振動締固めを行った場合について比較して図-23 に示す。今回の条件の範囲では、振動締固めを行っても、JIS の場合と同程度のブリーディング量・率であった。

気温が約 10℃と 20℃より低い室内で測定した場合、ブ

表-13 間隙通過性試験結果

| 配合 | 300mm 到達時間 (sec) | 充てん速度 (mm/sec) | 粗骨材量 | |
|----|------------------------|-------------------|-------|-------|
| | | | A室 | B室 |
| 1 | 5.4 | 55.3 | 97.4 | 95.3 |
| 2 | 1.7 | 181.7 | 110.1 | 99.1 |
| 3 | 18.0 | 16.7 | 88.8 | 91.4 |
| 4 | 5.4 | 55.9 | 98.5 | 99.2 |
| 5 | 6.6 | 45.7 | 86.6 | 84.7 |
| 6 | 13.6 | 22.0 | 84.2 | 93.5 |
| 7 | 43.5 | 6.9 | 83.3 | 88.4 |
| 8 | 6.8 | 44.4 | 82.8 | 82.6 |
| 9 | 9.0 | 33.3 | 84.2 | 87.3 |
| 10 | 25.6 | 11.7 | 81.8 | 88.0 |
| 11 | 13.5 | 22.2 | 108.2 | 83.2 |
| 12 | 19.3 | 15.5 | 77.1 | 89.7 |
| 13 | 10.8 | 27.8 | 82.8 | 93.9 |
| 14 | 7.6 | 39.7 | 102.4 | 98.3 |
| 15 | 5.0 | 60.0 | 97.8 | 103.9 |
| 16 | 4.5 | 67.4 | 89.6 | 92.6 |
| 17 | 2.1 | 140.5 | 81.1 | 71.3 |

※粗骨材量は、配合上の量を100とした場合の量を示した。

リーディングは長時間にわたって継続し、リーディング量・率が約1.5倍になった(図-24)。

5.4 間隙通過性試験の結果

間隙通過性試験の結果を表-13に示す。まず、300mm到達時間に着目すると、配合によって2秒から44秒と大きな差があった。スランプの大きい配合ほど300mm到達時間が短い傾向があった。短時間で試験が終了するものの中には、配合17のように水の分離が著しいもの(図-20に示したようにリーディング率大)もあったが、配合2のようにA室とB室の粗骨材量に大きな差が無く、材料の分離が顕著ではない配合もあった。また、今回もつとも時間の掛かった配合7も、締固め性状が悪いようには見られなかった。

次に、粗骨材量(B室)について見ると、材料分離が顕著でリーディング率が大きい配合5、11、17は、B室の粗骨材量が他の配合よりも小さい傾向があった。モルタルが分離して先にB室に異動したことが考えられる。一方、これら以外の配合でB室の粗骨材量が示方配合の85%以下と小さくなったのは配合8のみとほとんどなかった。

一方、粗骨材量(A室)は粗骨材量が小さくなる場合があり、振動によって骨材が沈下したためと考えられた。特に高性能AE減水剤を適用した配合で粗骨材量が比較的小さくなる場合が目立った。この理由は現時点では明確でない。

なお、土木学会341委員会からは、A室・B室のコンクリート中の粗骨材量を測定するにあたって、A室は下

部から、B室は上部から採取することを提案しており、このように行うことができれば、今回のようにA室の骨材量が小さくなることを避けることができると思われる。しかし、今回検討した配合のうち、特に材料分輪傾向が強い配合では、A室のコンクリートが密実に締め固められ、試料を採取することが容易ではない状態であった。これに対し、B室からの採取はA室と比較すると容易なもの、必ずしも作業性がよいものではなく、採取時に骨材の多い/少ない部分を選択的に採取してしまうおそれがあるように感じられた。

5.5 ブリーディング性状に関する実験結果のまとめ

ブリーディング量・率は、混和剤の使用量または単位水量を過剰に大きくし、練混ぜ直後から水の分離が顕著な配合で極端に大きくなった。そのような場合を除くと、本研究の範囲では、ブリーディング率は単位水量に比例するように増減しており、また水セメント比が大きいほど大きかった。気温約10℃の環境で測定した場合、20℃の場合と比較してブリーディング量・率が約1.5倍になった。一方、減水剤の影響については、その種類や配合により異なっており予測が難しかった。

間隙通過性試験については、B室の粗骨材量を測定することによって、フレッシュコンクリートの分離傾向をある程度定量的に評価できると考えられたものの、作業性は必ずしも良いとは言えず、課題である。

6. まとめ

H23年度は、コンクリートの施工に関する規定のうち、特にスランプを柔軟に設定した場合を想定し、ブリーディングの増大や、骨材の分離に関して検討し、以下の結果を得た。

- (1) RC大型供試体を用いた検討から、AE減水剤を適正量用いてスランプを増大させた場合に関しては、強度や耐久性上の悪影響はほとんどないものと考えられた。
- (2) RC大型供試体を用いた検討から、単位水量を185kg/m³とやや大きくし、ブリーディング量が0.5cm³/cm²とやや多い配合にした場合でも強度や中性化抵抗性には悪影響が見られなかった。ただし、凍結融解抵抗性には若干の低下が認められた。また、定量的な評価は困難であるが、打込み後の沈下量が大きいことが硬化後のコンクリートの性能に悪影響を生じさせないか懸念が残る。
- (3) RC大型供試体を用いた検討から、練混ぜ直後からセメントペーストと骨材の顕著な分離が生じるようなコンクリートを用いると、顕著な砂すじや粗大な空隙が

15.4 性能規定に対応したコンクリート構造物の 施工品質管理・検査に関する研究 (1)

生じ、圧縮強度や耐久性能に悪影響があることが確認された。

- (4) ブリーディングに伴う塩化物イオンの移動について検討した結果、塩化物イオンの高さ方向の分布や鉄筋下面での集積が確認された。ただし、今回の実験の範囲では、フレッシュコンクリート中の塩化物イオン量が適切に制御されている場合、すぐに顕著な腐食の原因になるとは考えにくい結果であった。
- (5) ブリーディング性状について検討した結果、ブリーディング量・率は、混和剤の使用量または単位水量を過剰に大きくし、練混ぜ直後から水の分離が顕著な配合で極端に大きくなった。そのような場合を除くと、今回の検討の範囲（使用材料が一定）では、ブリーディング率は、単位水量に比例するように増減しており、また水セメント比が大きいほど大きかった。
- (6) 間隙通過性試験を行い、障害を通過した後のコンクリート中の粗骨材量を測定することで、コンクリートの材料分輸抵抗性を評価できる可能性があることが確認された。
- (7) 硬化後のコンクリートの耐久性能を評価する指標の一つとして透気係数について検討した。その結果、測定位置の水平方向のわずかな違いでも透気係数が大きく異なることがあり、特にブリーディング量の多い配合で顕著であった。

H24 年度以降は、ブリーディング量が多い配合で凍結融解抵抗性が低下する場合について、その理由を検討するとともに、塩害抵抗性について確認する予定である。また、これまで、主として配合（の不適切さ）に起因する材料分離について検討してきたが、打ち込みの方法等について、検討範囲を広げる予定である。

出来上がりコンクリートの検査手法については、これまでの検討で、コンクリート表面において測定する透気係数には大きなばらつきが避けられないことが明らかになったので、吸水性状など新たな試験手法について検討していく予定である。

参考文献

- 1) 神田衛、吉田八郎；コンクリート打ち込み後の部材断面における水セメント比の分布性状—主として配合要因の影響について—、セメントコンクリート論文集、Vol.30、

pp.280-284、1976

- 2) 加賀谷誠、徳田弘、舟木論：締固め時間がコンクリートの空気量と圧縮強度の分布に及ぼす影響、セメント技術年報、Vol.41、pp.287-290、1987
- 3) 齋藤憲寿、小野寺紀裕、加賀谷誠：コンクリートの材料分離低減によるかぶり部の対凍害性改善に関する研究、コンクリート工学年次論文集、vol.35、No.1、pp.641-646、2011
- 4) 大島久次、池永博威：コンクリートのブリーディングと乾燥に伴う塩化物の移動に関する研究、セメント技術年報、vol.33、pp.158-161、1979
- 5) 山田宏、松本健一、古賀裕久、渡辺博志：配合の異なるコンクリートにおけるフレッシュ時の品質と材料分離性状、第65回セメント技術大会講演要旨、pp.252-253、2011
- 6) 松本健一、山田宏、古賀裕久、渡辺博志：スランブが異なるコンクリートの材料分離と強度特性、第65回セメント技術大会講演要旨、pp.254-255、2011
- 7) 天谷公彦、古賀裕久、山田宏、松本健一、渡辺博志：施工性能が異なるコンクリートの超音波伝播特性に関する実験的検討、土木学会第66回年次学術講演会講演概要集、V-299、2011
- 8) R. Torrent, M. Basheer and A. F. Gonçalves : Non-destructive methods to measure gas permeability, Non-destructive evaluation of the penetrability and thickness of the concrete cover, RILEM TC 189-NEC, pp.45-51, 2007
- 9) 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 2009、pp.616-619、2009
- 10) 今本啓一、下澤和幸、山崎順二、二村誠二：実構造物の表層透気性の非・微破壊試験方法に関する研究の現状、コンクリート工学、Vol.44、No.2、pp.31-38、2006.2
- 11) 古賀裕久、大石龍太郎、渡辺博志、田口史雄、遠藤裕丈：実橋床版を用いた透気試験の適用性検討、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、Vol.9、pp.45-50、2009.10
- 12) 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、2011.6
- 13) 日本コンクリート工学会：平成 22 年度コンクリート技士研究テキスト、pp.50-51、2010

STUDY ON THE PERFORMANCE-BASED QUALITY CONTROL AND INSPECTION METHODS FOR THE CONSTRUCTION OF CONCRETE STRUCTURES

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2010-2014

Research Team : Materials and Resources Research
Group (Concrete and Metallic
Materials Research Team)

Author : WATANABE Hiroshi

KOGA Hirohisa

NAKAMURA Eisuke

Abstract : In this research projects, concrete and metallic materials research team set the target on the quality control and inspection scheme that can prevent segregation of concrete due to poor mix proportion and inadequate casting. In fiscal year 2011, reinforced concrete specimens, 1m in height, were cast to investigate the effect of excessive bleeding of concrete on the durability of concrete. Transportation and concentration of chloride ions by bleeding water in casted fresh concrete were also investigated.

Key words : concrete, quality control, placing, curing, non-destructive testing