

## 15.3 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っている。H25 年度は、不適切なコンクリートの配合や施工により耐凍害性が損なわれる現象について、その原因を確認した。また、耐凍害性低下の原因となる水の材料分離を検出する方法として、フレッシュコンクリートの簡易ブリーディング試験について検討した。さらに出来上がりコンクリートの試験方法として表面吸水試験について検討した。

キーワード：コンクリート、品質管理、打込み、ブリーディング、表面吸水試験

### 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、強度以外の各種性能、例えば耐久性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。

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、従来から用いられている材料・工法以外でも対象にできるような自由度の高い、品質検査システムが求められる。

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配合や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 材料・施工の影響に関する検討

##### 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關

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填するためには、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。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。

一方で、単位水量を増やすなどして安易にスランプを増大させた場合、コンクリートを構成する水や骨材などの材料分離が生じるおそれがある。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、コンクリートの施工中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。

##### 2.1.2 H25 年度の検討の着目点

H22 年度から H24 年度の間、材料分離が出来上がりコンクリートの品質に与える影響について種々の検討を行ってきた。その結果、単位水量が過剰などの理由で水が材料分離しやすいコンクリートを用い、かつ、材料分離を助長するような施工を行うと、出来上がったコンクリートの耐凍害性が損なわれるおそれがあった<sup>1)</sup>。

そこで、H25 年度は、硬化コンクリートの気泡数の測定を行うなどして、耐凍害性が低下する原因について確認した。その詳細は 3 章に示す。また、水の材料分離をコンクリートの受入れ時に試験する方法について検討し

た。その詳細は4章に示す。

## 2.2 出来上がりコンクリートの検査手法に関する検討

### 2.2.1 検討の背景

新材料・新工法を柔軟に活用するためには、これらの適否を検査できる手法が必要である。出来上がりコンクリートの強度的性質を調査する手法については、これまでも種々の検討が行われており、すでに新設構造物の竣工検査等にも取り入れられている。一方、耐久性の観点から出来上がりコンクリートの品質を評価する手法については、十分確立されているとは言えないのが現状である。

コンクリートの耐久性を評価する試験としては、従来から、促進中性化試験や凍結融解試験など、供試体を促進劣化環境において評価するものが多く行われてきた。しかし、それぞれの試験に専用の装置を必要とする、試験に比較的長期間を要するなどの課題があり、品質管理・検査の一環として用いるのは必ずしも現実的ではない。

一方、近年、コンクリート中の空気や水の移動を測定することで、出来上がりコンクリートの密実さの指標とし、硬化コンクリートの品質の良否を総合的に評価する検討が種々行われている<sup>例えは 2)</sup>。コンクリートの密実さは、種々の劣化因子の侵入に対する抵抗性と関係があると考えられるので、簡易な方法でこれを評価できれば、出来上がりコンクリートの耐久性の良否を評価できると期待されている。

しかし、現状では、測定や評価の方法が確立されているとは言えず、不明な点が多い。このため、空気や水の移動に着目した試験方法は、研究レベルでは活発に検討されているが、実務への広範な適用にはいたっていない。

### 2.2.2 H25年度の検討の着目点

基礎材料チームでは、コンクリート中の水の移動しやすさに着目した試験について検討しており、H24年度までの検討で、コンクリートの吸水性状と塩化物イオンの侵入しやすさの間に関係があり、耐久性を評価できる方

法として可能性があることを示してきた<sup>3)</sup>。一方で、表面吸水試験中の吸水量は、試験前の試料の含水状態の影響を受けるため、含水状態の調整を行うことが難しい実構造物への適用には懸念があった。

そこで、H25年度は、表面吸水試験の条件を一定にするための含水状態調整方法について検討した。その詳細は5章に示す。

## 3. 材料分離が耐凍害性に与える影響の確認

### 3.1 検討した供試体

平成24年度までに、スランブを8cmよりも大きくした場合を想定し、スランブや材料分離抵抗性が異なる様々なコンクリートを製造して、出来上がりコンクリートの品質への影響について検討してきた。

平成24年度に製作した供試体の配合を表-1に示す。配合175は、従来から用いられてきた土木用コンクリートを模擬した配合である。試験練りの結果、スランブが8cmよりも大きくなったが、過年度の実験結果と比較することも考慮し、配合の変更は行わなかった。これに対し、配合175AEはAE減水剤を用いることで、配合185は単位水量を増加させることで、スランブを増大させた。配合175AEYは、微粒分をふるいおとした砂を用いることで、水の材料分離（ブリーディング）が顕著になることを意図した配合とした。ただし、いずれの配合も水セメント比が55%であり、材料分離の影響がなければ、強度や耐久性の面で、ほぼ同等な品質のコンクリートになるものと考えた。

コンクリートのブリーディング試験（JIS A 1123）の結果を図-1に示す。配合175、175AE、185は、最終的なブリーディング量に違いはあるものの、初期の経過時間とブリーディング量の関係はよく似ている。一方、配合175AEYは比較的初期から多量のブリーディングが生じており、水が材料分離していることがうかがわれる。

これらのコンクリートを用いて、幅1.8m、奥行き0.33m、目標高さ1.0mの壁状供試体および150×150×530mmの、

表-1 コンクリートの配合と試験結果

| 記号     | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |     | 混和剤 (C x) |       | スランブ (cm) | 空気量 (%) | σ <sub>28</sub> (N/mm <sup>2</sup> ) |
|--------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----------|-------|-----------|---------|--------------------------------------|
|        | W                        | C   | S   | S'  | G   | WR        | AE    |           |         |                                      |
| 175    | 175                      | 318 | 800 | —   | 980 | —         | 0.007 | 12.0      | 5.0     | 34.3                                 |
| 175AE  |                          |     |     |     |     | 0.35      | 0.003 | 17.3      | 4.4     | 37.2                                 |
| 185    | 185                      | 336 | 759 |     |     | —         | 0.006 | 14.2      | 4.3     | 33.8                                 |
| 175AEY | 175                      | 318 | —   | 800 |     | 0.35      | 0.003 | 19.6      | 4.1     | 32.1                                 |

※C:普通ポルトランドセメント、S:掛川産山砂(密度2.57g/cm<sup>3</sup>、吸水率1.87%、FM2.81)、S':Sを0.3mmの機械ふるいでふるって微粒分を除去したもの(FM3.48)、G:笠間産砕石(密度2.67g/cm<sup>3</sup>、吸水率0.55%)  
WR:AE減水剤、AE:AE剤、目標空気量は4.5%

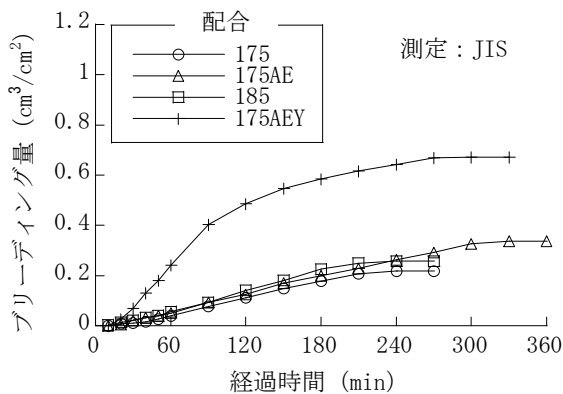


図-1 ブリーディング試験結果

角柱供試体を製作した。壁状供試体の製作では、材料分離を促すため、バケットを用いて高さ4.0mから0.3m³のコンクリートを落下させて型枠に打ち込んだ(1層が約0.5m)。その後、棒状パイプレータを用いて、コンクリートを横流しするように供試体中の3箇所ですら5秒ずつ締め固めた。なお、20℃の恒温室内で練混ぜたコンクリートを恒温室内の外に運搬して打設した。打設中の気温は、概ね11℃～15℃で、供試体による極端な条件の違いはなかった。

角柱供試体の製作は、一般的な強度試験用供試体の製作方法(JIS A 1132)に準じて行った。

### 3.2 平成24年度までの試験結果と考察

打設後、材齢7日で脱型し、材齢14日以降に壁状供試体からコアを採取して、圧縮強度試験、促進中性化試験、凍結融解試験を行った。また、別途、打設時に製作した標準養生供試体や角柱供試体から採取したコアでも、同様に試験を行って、施工の影響を検討した。

試験結果はH24年度にすでに報告しているので詳細を省略するが、表-2に示すように、圧縮強度には配合等による違いが顕著ではなかった。促進中性化試験の結果も同様であった。凍結融解試験の結果には、材料分離の影響が認められた。

凍結融解試験の結果を図-2に示す。まず、丁寧に製作した角柱供試体から採取したコア試料の試験結果に着目すると、配合175の最終回の測定結果以外では動弾性係数の低下が認められず、概ね健全であった。

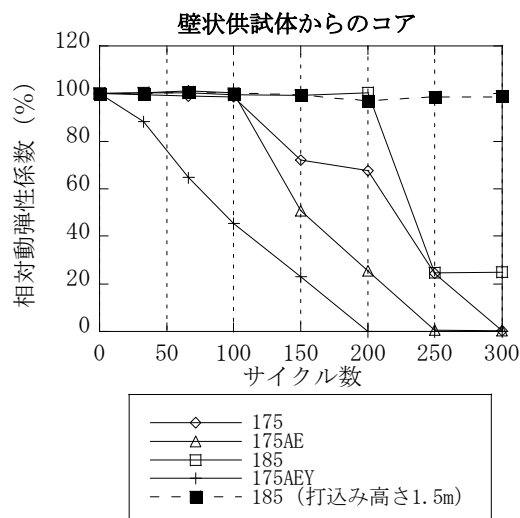
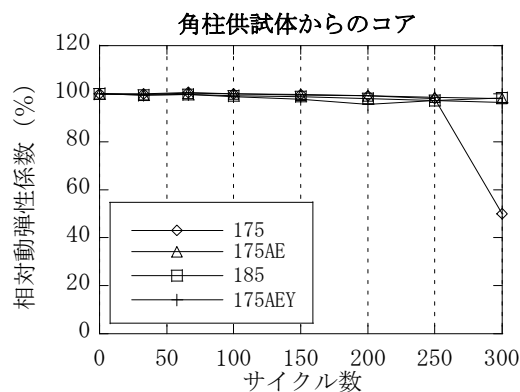
一方、打込み高さ4.0mの壁状供試体から採取したコア試料では、動弾性係数の低下が生じた。特に、水の分離が生じやすい配合175AEYは、凍結融解による相対動弾性係数の低下の開始が極めて早かった。

ここで、打込み時に壁状供試体の上面に集まったブリーディング水の量を図-3に示す。配合185の測定結果

表-2 圧縮強度試験結果の比較 (N/mm²)

|                       | 配合   |       |      |        |
|-----------------------|------|-------|------|--------|
|                       | 175  | 175AE | 185  | 175AEY |
| 標準養生供試体               | 34.3 | 37.2  | 33.8 | 32.1   |
| 壁供試体コア<br>(打込み高さ4.0m) | 34.4 | 36.9  | 32.3 | 38.2   |
| 壁供試体コア<br>(打込み高さ1.5m) | —    | —     | 33.9 | —      |

※壁供試体の圧縮強度は底面からの高さが0.5mの位置から採取した6試料(寸法は、約φ70×140mm)の平均値を示した。なお、配合185のみ、打込み高さ1.5mの壁供試体も製作したので、その結果も示した。



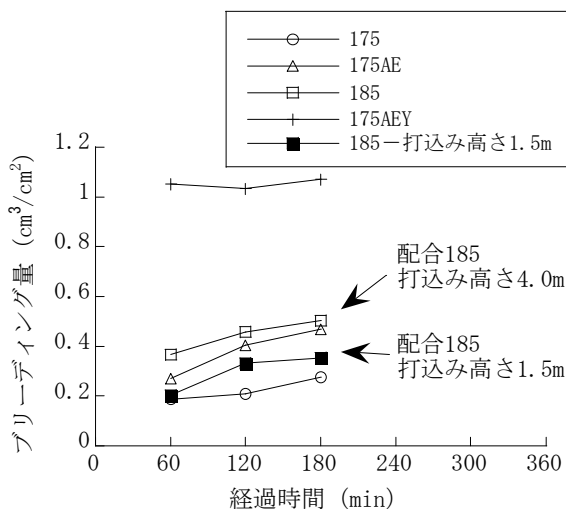
※凍結融解試験は、水中凍結融解法とした。φ100×150mmのコアを用い、縦振動による動弾性係数を求めた。

※角柱供試体は採取した2試料の平均値を示した。壁状供試体は底面からの高さが0.5mの位置から採取した4試料の平均値を示した。

※特に記述がない場合、壁状供試体の打込み高さは4.0mである。

図-2 凍結融解試験結果

に着目すると、打込み高さによって60分経過後のブリーディング量が大きく異なっていることがわかる。打込み高さを4.0mと大きくした場合、落下の衝撃のため水の材料分離が促進されたものと考えられた。配合175AEYの試



※JISの測定と異なり、測定したブリーディング水を上面に戻した。また、測定は180分で打ち切った。

図-3 壁状供試体のブリーディング測定結果

験結果に着目すると、経過時間60分後までにJISブリーディング試験の5倍ほどのブリーディング量があった。

これらの結果から、材料や施工の条件から水の材料分離が生じやすい場合、耐凍害性が顕著に低下するおそれがあることがわかった。

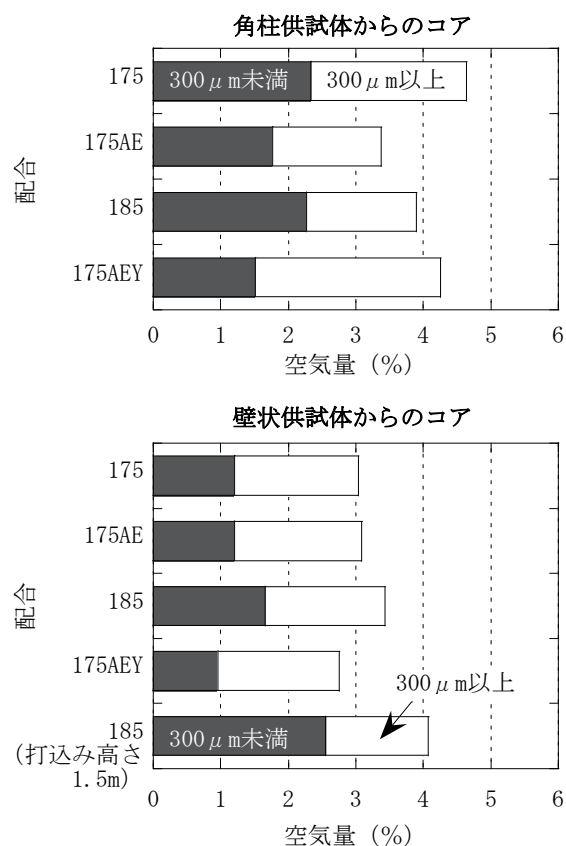
### 3.3 気泡観察の結果と考察

耐凍害性が低下した原因をより明確にするため、平成25年度は、平成24年度に作製した壁状供試体等から試料を採取し、硬化コンクリートの気泡の観察を行った。観察方法は、ASTM C 457-98 のリニアトラバース法に準じた。試料は、凍結融解試験に用いたコア試料と隣接した箇所から採取したコアまたは切り出したコンクリート塊を用いた。

観察結果から、気泡径300 $\mu$ m未満の気泡と、それ以上の気泡に分類し、それぞれの空気量を図-4に示した。前者の多くは、化学混和剤によって連行されたエントレインドエアであり、耐凍害性の改善に資するものと考えた。

図-4で、まず、角柱供試体から採取した試料の試験結果に着目すると、空気量の総量は3.4~4.6%で、エアメータを用いて測定したフレッシュコンクリートの空気量(表-1)からはやや低下が認められるものの、大きな違いはなかった。気泡径が300 $\mu$ m未満の気泡による空気量は、1.5~2.3%であった。

これに対し壁状供試体は、打込み高さ1.5mとした場合を除くと、いずれの配合でも300 $\mu$ m未満の気泡が減少していた。また、配合ごとに比較すると、175AEY<175、175AE<185の順に300 $\mu$ m未満の気泡による空気量が少なく、この順序と、凍結融解試験で相対動弾性係数が低下した



※特に記述がない場合壁状供試体の打込み高さは4.0mである。

図-4 硬化コンクリートの空気量(気泡径ごと)

順序が合致していた。

最近の研究で、ブリーディング水の移動に伴ってエントレインドエアも移動し破泡するおそれがあることが指摘されている<sup>4)</sup>。施工方法が不適切で水の材料分離が促された場合には特にその影響が顕著に生じ、エントレインドエアとして導入した気泡が損なわれたために耐凍害性が顕著に低下したものと考えられた。

### 3.4 材料分離が耐凍害性に与える影響についてのまとめ

スランブを不適切に増大させた場合に、水の材料分離が生じやすくなるおそれがあることを想定し、種々の実験を行ってきた。その結果、水の材料分離が顕著な場合はエントレインドエアが損なわれ、耐凍害性が大きく低下するおそれがあることが確認された。

これを防ぐためには、過度な衝撃を加えないような適切な施工を行うとともに、材料分離が生じやすい配合を避けることが求められる。

## 4. 水の材料分離を試験する方法についての検討

### 4.1 検討目的

前章の検討で、特に耐凍害性の低下が著しかった配合

### 15.3 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)

175AEY は、ブリーディング試験を行った際の水の滲出が、他の配合よりも早く、経過時間とブリーディング量の関係を図化した際に初期の傾きが大きかった(図-1)。また、平成23年度の検討でも、分離気味の配合では同様に初期からブリーディング量が多い傾向が認められていた<sup>5)</sup>。そこで、ブリーディング性状から、材料分離の程度を定量的に評価できないか検討することにした。

試験室での標準的なブリーディング試験方法(JIS A 1123)では、試料を容器に詰めた後、静置して試料上面に溜まったブリーディング水を測定する。この方法でブリーディングの総量を求める場合、長時間を要する。また、ポンプ施工時の施工性能を評価する試験方法として、JSCE-F 502-2013(加圧ブリーディング試験方法)もあるが、載荷する装置が必要で現場適用性は低い。

そこで、簡易にブリーディング性状を測定できる手法として、おもりを用いて試料に圧力を加え、ブリーディングを促す簡易ブリーディング試験について検討した。

また、スランブ試験後の試料の形状からも材料分離の程度が簡易に評価できると考えられているので、その観察も合わせて行った。

#### 4.2 検討方法

簡易ブリーディング試験の方法については、既往の研究事例<sup>6),7)</sup>を参考に、コンクリート試料に5kgのおもりをのせて、ブリーディングを促進することにした。図-5に示すように装置を組み、突き棒で均しながらコンクリートを充填しておもりを載せた。その30分後に、受け皿および、試料の上面にたまった水の量を測定した。

表-3に示す配合のコンクリート練混ぜ、上記に示した簡易ブリーディング試験のほか、スランブ試験、JISの

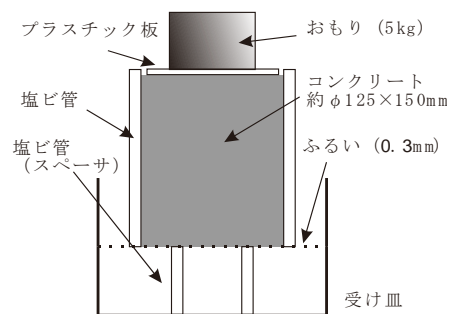


図-5 簡易ブリーディング試験の方法

ブリーディング試験などを行った。配合は、土木学会の「施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針(案)」<sup>8)</sup>を参考に、単位水量、単位セメント量などが異なり、材料分離に対する抵抗性が異なるものが混在するように定めた。

#### 4.3 検討結果

JISによるブリーディング試験の結果を図-6に示す。配合1から単位水量及びセメント量を減じた配合4、水セメント比を変化させた配合6,8のブリーディング性状は類似していた。単位水量と単位セメント量を同時に増加させた配合5は、分離気味でブリーディング量が若干増加したが、顕著ではなかった。

これに対し、配合1から単位水量のみを増やした配合7は、比較的初期からブリーディング量が多かった。また、砂の微粒分を除去した配合3も、ブリーディング量が多くなった。一方で、石灰石微粉末を用いて高流動コンクリートとした配合2は、ブリーディング量はわずかであった。

簡易ブリーディング試験の結果をJISのブリーディン

表-3 コンクリートの配合と試験結果

| 記号 | W/C (%) | s/a (%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |     |     | 混和剤量 (C×%) |     |        | スランブ (cm) | 空気量 (%) | σ <sub>28</sub> (N/mm <sup>2</sup> ) | 備考    |
|----|---------|---------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------------|-----|--------|-----------|---------|--------------------------------------|-------|
|    |         |         | W                        | C   | P   | S   | S'  | G   | WR         | SP  | AE     |           |         |                                      |       |
| 1  | 55      | 46.0    | 170                      | 309 | —   | 806 | —   | 980 | 0.15       | —   | 0.0050 | 15.5      | 5.6     | 32.6                                 | 標準    |
| 2  |         | 49.2    |                          |     | 200 | 768 |     | 821 | —          | 1.6 | 0.0040 | 欄外        | 5.9     | 40.3                                 | 高流動   |
| 3  |         | 46.0    |                          |     | —   | —   | 806 | 980 | 0.15       | —   | 0.0035 | 16.9      | 6.3     | 31.1                                 | 砂の微粒分 |
| 4  |         | 47.2    | 160                      | 291 |     | 847 | —   | 980 | 0.15       |     | 0.0050 | 7.1       | 6.1     | 33.4                                 | 水量減   |
| 5  |         | 44.7    | 180                      | 327 |     | 765 |     | 980 | 0.15       |     | 0.0055 | 18.7      | 6.0     | 32.1                                 | 水量増   |
| 6  | 45      | 44.2    | 170                      | 378 |     | 750 |     | 980 | 0.25       |     | 0.0040 | 11.3      | 6.7     | 43.1                                 | W/C減  |
| 7  | 65      | 45.9    | 194                      | 298 |     | 781 |     | 951 | 0.15       |     | 0.0200 | 20.6      | 4.8     | 24.2                                 | 水だけ増  |
| 8  | 65      | 47.2    | 170                      | 262 |     | 845 |     | 980 | 0.05       |     | 0.0075 | 11.0      | 6.4     | 24.1                                 | W/C増  |

※C:普通ポルトランドセメント、P:石灰石微粉末(密度2.7g/cm<sup>3</sup>、比表面積3,900cm<sup>2</sup>/g)、S:掛川産山砂(密度2.59g/cm<sup>3</sup>、吸水率1.65%、FM2.67)、S':Sを0.3mmの機械ふるいでふるって微粒分を除去したもの(FM3.27)、G:笠間産砕石(密度2.67g/cm<sup>3</sup>、吸水率0.55%) WR:AE減水剤、SP:高性能AE減水剤、AE:AE剤

※配合2は高流動コンクリートで、スランブフローを測定したところ63.0×62.0cmであった。

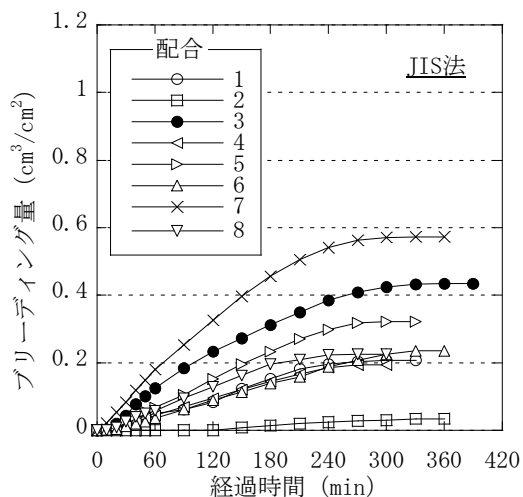


図-6 ブリーディング試験結果 (JIS A 1123)

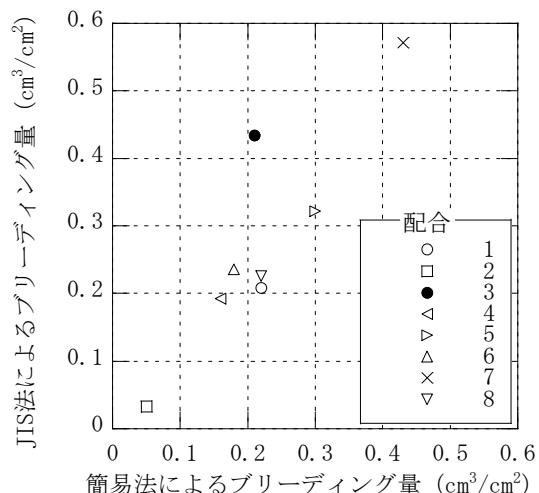


図-7 簡易ブリーディング試験結果と JIS による試験結果の関係

グ試験の結果と比較して図-7 に示す。両試験方法のブリーディング試験結果は、概ね良好な関係があり、簡易法でもある程度ブリーディングの性状を評価できることが確認された。

なお、スランプ試験を行ったところ、ブリーディング量が多かった配合 3、7 では、試料がスランプコーン引き上げ前の円錐状の形状を保つことができず、崩れた (図-8)。また、配合 5 では試験前の円形の上表面が少し広がり、試験前のコテ押さえ面が不明瞭となった。スランプ試験後の試料が崩れるような性状を示す場合には、材料分離抵抗性がやや低いと考えられており、参考にできるものと考えられる。ただし、配合 5 のようにくずれたものともそうでないものの中間的な性状を示す場合、評価者によって意見が異なることも考えられた。

#### 4. 4 水の材料分離を試験する方法についてのまとめ

材料分離の傾向が著しい配合では、比較的早期からブリーディング水が多いことに着目し、簡易な方法でブリーディング試験を実施できないか検討した。その結果、簡易ブリーディング試験でも、ブリーディングの傾向を概ね把握することができた。

ただし、簡易ブリーディング試験では、試料の量が少ないので試験結果のばらつきが大きくなるおそれがある。また、試験時間も、現場適用性を考慮するとより短縮することが求められる。これらの点は今後の課題である。

### 5. 表面吸水試験に関する検討

#### 5. 1 検討目的

出来上がりコンクリートの耐久性に関わる品質を比較的短い期間で評価する手法について種々検討した結果、



配合 1 (一般的な形状、若干傾き有り)



配合 3 (崩れ)



配合 5 (上部が広がり、コテ押さえ面が不明瞭)



配合 7 (崩れ)

図-8 スランプ試験後の試料の形状

### 15.3 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)

コンクリートを吸水させた際の吸水量と塩化物イオンの侵入しやすさの間に関係があり、耐久性を評価できる方法として可能性があった。一方、表面吸水試験(図-9)で測定される吸水量は、試験前の試料の含水状態の影響を受けるという課題があった。

実環境では、コンクリートの表面と内部では含水状態が異なることが知られている。また、表面のコンクリートの含水率は、降雨等の影響を受けて大きく変化しうる。このため実構造物での測定を考えると試験前の含水状態の違いに対応する方法を検討しておく必要がある。

そこで、実構造物で測定することも念頭に置いて、コンクリートの含水状態を簡易に調整した上で、安定した表面吸水試験を実施できないか検討した。

## 5.2 検討方法

### 5.2.1 含水状態の調整方法

試験前のコンクリートの含水率が様々であることを考えると、試料をいったん吸水させて、乾燥させることが必要と考えた。事前調整としての吸水の期間は、長いほうがより確実に含水状態を調整できると考えられるが、あまり長時間とすると現場での実施が困難になることから、ここでは24時間とした。

次に、吸水させた試験面を乾燥させる期間については、予備試験として真空飽水により十分に吸水させた厚さ約20mmの試料を両面から乾燥させたところ、24時間の乾燥でおおよそ一定の含水状態に落ち着く結果を得た(図-10)。また、送風によって若干乾燥に要する期間を早めることができること、送風しても最終的に安定する含水率には大きな違いがないことを確認した。一方で、厚さ40mmの試料の測定結果からは、コンクリート表面からの距離が10mmを超えると、1日乾燥などの短時間での調整では、含水状態を安定させることは困難であった。

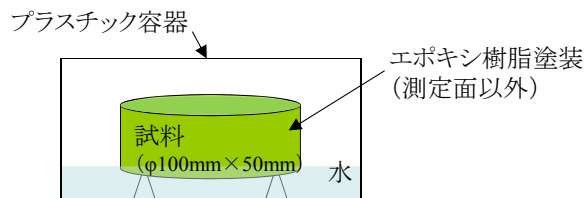
これらの予備検討結果をふまえ、表面吸水試験の実施前の含水状態調整方法として、試験前に試料を24時間吸水させその後24時間送風して乾燥させることで、当初の含水状態の影響を排除できないか試みた。

### 5.2.2 試料作製及び実験ケース等

表-4に示す配合のコンクリートを練混ぜ、角柱供試体を製作し、材齢28日まで水中養生した。配合は、品質の異なるコンクリートが幅広く含まれるように、水セメント比30~70%の範囲で変化させた。養生期間中に、角柱供試体の側面からコアを採取して試験に用いるφ100×50mmの形状に整形した。

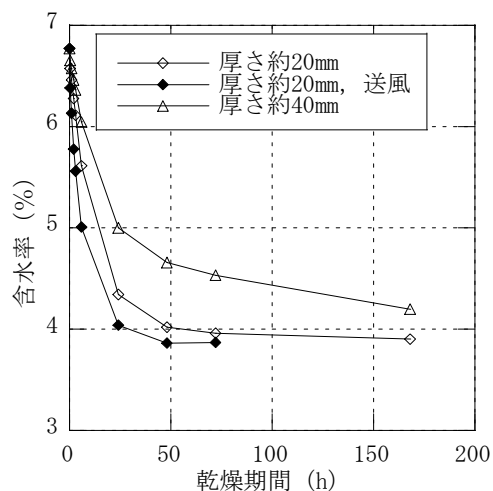
養生終了後の飽水状態から、表面吸水試験前の試料の

含水状態が異なるように図-11に示す種々の条件で乾燥させた。その後、表面吸水試験(図-9)を行った。また、条件A~Dでは、一回目の測定が終了した試料を24時間乾燥させ、二回目の測定を行った。



※従来は、測定面の対面(試験中の上面)は塗装しなかったが、今回は、実構造物で一面から吸水、放湿することを想定し、測定面以外をエポキシ樹脂で塗装した。塗装前後の質量を測定し、樹脂の質量を把握した。

図-9 表面吸水試験の状況



※気温20℃、RH60%の部屋で、φ150mmの試料を乾燥させた。

※試料としたコンクリートの水セメント比は50%である。

※送風のケースでは、扇風機を用い風速約3m/sの風を送った。

※試料の含水率は、並行して行ったコンクリートの密度吸水率試験の結果を元に推測した。

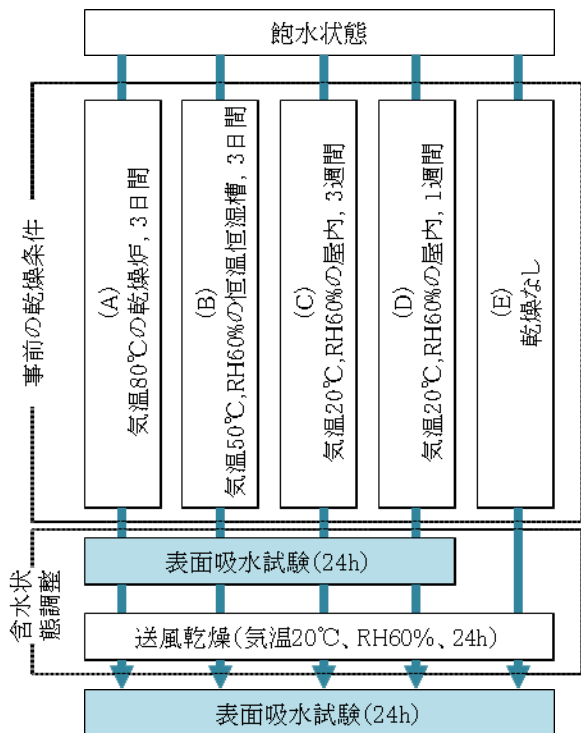
図-10 飽水状態からのコンクリートの乾燥の例

表-4 コンクリートの配合と試験結果

| W/C (%) | 単位量 (kg/m³) |     |     |     | スランブ (cm) | Air (%) | σ <sub>28</sub> (N/mm²) |
|---------|-------------|-----|-----|-----|-----------|---------|-------------------------|
|         | W           | C   | S   | G   |           |         |                         |
| 30      | 175         | 583 | 678 | 893 | 16.8      | 5.2     | 81.4                    |
| 40      |             | 438 | 747 | 945 | 21.0      | 5.7     | 60.4                    |
| 50      |             | 350 | 797 | 968 | 16.1      | 4.2     | 43.3                    |
| 60      |             | 292 | 837 | 976 | 15.8      | 4.4     | 33.2                    |
| 70      |             | 250 | 871 | 976 | 11.9      | 4.2     | 26.1                    |

※C:普通ポルトランドセメント、S:掛川産山砂(密度2.59g/cm³、吸水率1.65%、FM 2.67)、G:笠間産砕石(密度2.67g/cm³、吸水率0.55%)

15.3 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)



※条件Aの測定に用いた試料を、測定終了後に深紅飽水処理して条件Bにも用いた。同様に条件Eに用いた試料を条件Dにも用いた。このように、条件によってコンクリートの材齢が異なっているが、いずれも材齢28日まで水中養生した後の測定であり、材齢の経過による品質の向上は顕著でないものと考えた。

図-11 表面吸水試験の条件

二回目の測定が、試験前に含水状態を調整した測定に該当する。なお、表面吸水試験は、同条件の試料を2試料ずつ用意して試験を行い、その平均値を試験結果とした。

5.3 検討結果

まず、水セメント比30%の試料について、表面吸水試験中の吸水量の推移を図-12に示す。含水状態の調整を行っていない場合、条件によって吸水量は大きく異なっていた。しかし、含水状態の調整を行った場合、条件による違いが緩和され、特に吸水開始から1時間までは、吸水量が同程度となった。調整を経て表層の含水状態がある程度一定の範囲になったためと考えられる

ただし、含水状態を調整した場合でも、吸水時間が1時間よりも長くなると当初の乾燥条件が厳しいものほど吸水量が多くなった。短時間では試料内部までは含水状態を調整できないので、時間の経過とともに当初の乾燥条件による吸水量の違いが生じたものと考えられる。

図-13には、水セメント比50%の試料の測定結果を示す。水セメント比が50%の試料では、含水状態の調整を行った場合でも、条件による測定結果の違いが目立った。

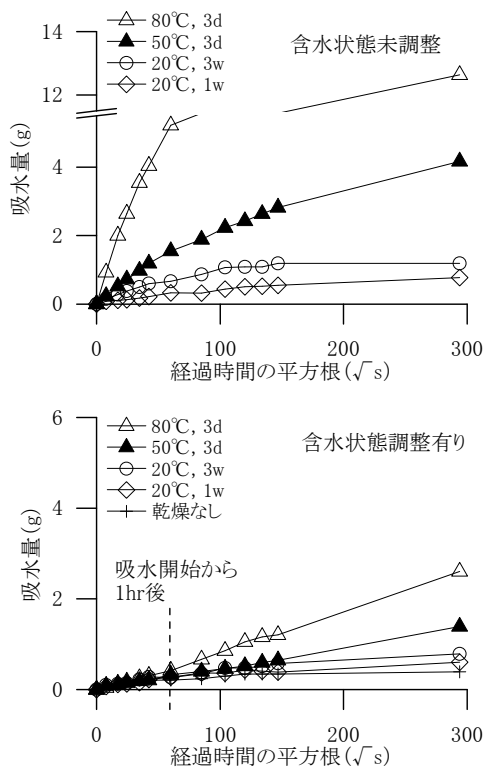


図-12 表面吸水試験中の吸水量の推移 (W/C=30%)

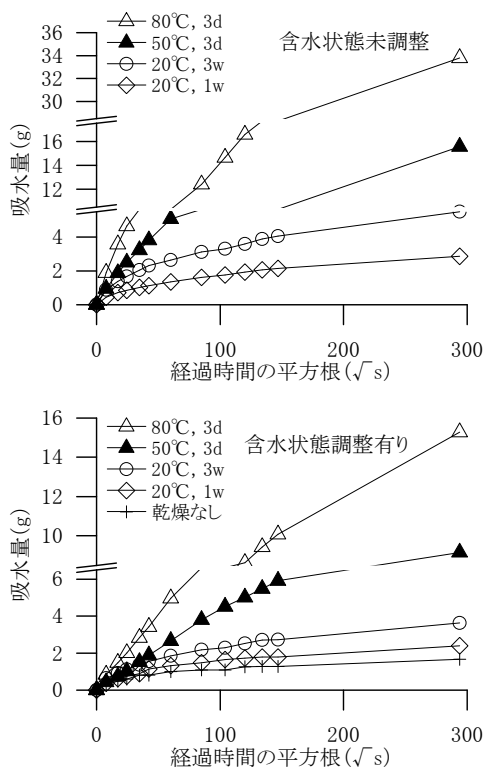


図-13 表面吸水試験中の吸水量の推移 (W/C=50%)

水セメント比が比較的大きい試料では、内部で水の移動が生じやすいために調整期間中にも表面から内部へ、あるいは内部から表面への水の移動が生じ、当初の試料の



含水状態の影響を受けやすく、含水状態の調整を行っても一定の試験結果が得られにくいおそれがある。

表面吸水試験の開始から1時間後の吸水量に着目し、図-14に示す。含水状態を調整していない場合には、試験前の試料の乾燥条件によって1時間後の吸水量が大きく異なるが、24時間吸水・24時間乾燥を経るとその差が抑制され、水セメント比30%または40%の場合は、80°Cの乾燥炉で熱した条件を除くと条件によらずそれぞれほぼ同じ値になった。また、水セメント比によって吸水量が異なっていた。

なお、一般的なコンクリート構造物の使用環境では温度80°Cでの乾燥にさらされることは生じにくいので、水セメント比が40%以下の比較的品质の高いコンクリートについては、ここで提案した含水状態の調整によって概ね安定した測定結果が得られ、品質の良否を評価できると考えられる。一方、水セメント比50%以上のコンクリートについては、今回の方法では、事前の乾燥条件の影響を完全に排除することは難しかった。

#### 5.4 表面吸水試験に関する検討のまとめ

含水状態の異なる試料に対してこれを調整した上で表面吸水試験を実施することにより、安定した試験結果を得ることが可能か、実験を行って検討した。その結果、水セメント比が30%または40%のコンクリートの場合には、吸水24時間、乾燥24時間の調整を行うことで安定した試験結果が得られ、また、コンクリートの品質の違いを評価できる可能性があった。

リバウンドハンマーで測定される反発度やトレント法による透気試験など、硬化コンクリートに対する非破壊試験では一定程度以上に品質が良いコンクリートについて、試験結果に大きな違いが生じにくい場合が多い。表面吸水試験は、比較的品质の良いコンクリートに対する評価手法として活用できる可能性がある。

#### 6. まとめ

この研究では、コンクリートの材料や施工の自由度を高めた場合に対応できる品質管理・検査手法について検討している。

基礎材料チームでは、フレッシュコンクリートのスランプを一般的な8cmより大きくした場合を想定して、これまでスランプの規定で暗黙のうちに確保されてきたと見られる品質を確保する方法について検討した。平成25年度は、不適切にスランプを増大した場合の悪影響についてさらに検討を進め、ブリーディング(水の材料分離)が多い配合と打込み時に衝撃を加えるなどの不適切な施

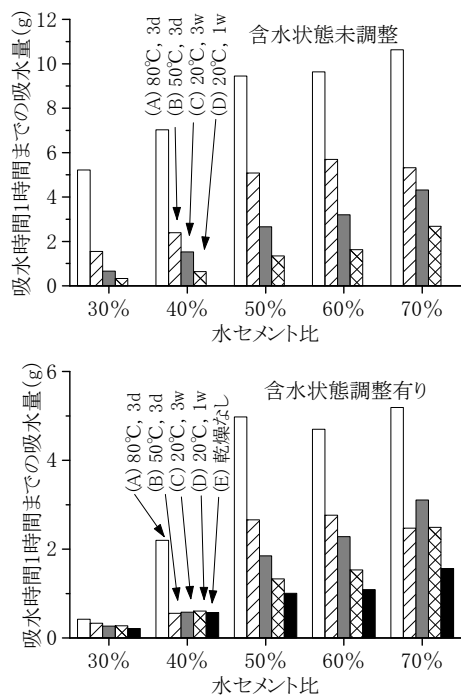


図-14 吸水1時間後の吸水量の比較

工の条件が重なると、コンクリート中のエントレインドエアが損なわれ、耐凍害性が顕著に低下する可能性があることを明らかにした。また、施工中に水の分離が生じやすいフレッシュコンクリートを受入れ時に排除するための試験方法として、簡易ブリーディング試験について検討し、特に材料分離の著しい配合を検出できることを示した。今後、簡易ブリーディング試験の試験結果のばらつき等について確認し、品質管理方法を提案する予定である。

また、出来上がりコンクリートの耐久性を評価する方法として、表面吸水試験に着目して検討してきたが、平成25年度は、試験前の含水状態調整について検討した。その結果、水セメント比40%以下のコンクリートについては、24時間吸水、24時間乾燥の含水状態調整を行うことによって、安定した測定結果が得られることを明らかにした。

#### 参考文献

- 1) 勝畑敏幸、古賀裕久、渡邊健治、渡辺博志：コンクリートの物性に及ぼす打設時の落下高さの影響に関する検討、コンクリート技術シリーズ、Vol.102、pp.III-61-66、2013.11
- 2) 土木学会コンクリート委員会構造物表層のコンクリート品質と耐久性耐検証システム研究小委員会：構造物表層のコンクリート品質と耐久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

### 15.3 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)

- 講演概要集、コンクリート技術シリーズNo.97、2012.7
- 3) 古賀裕久、渡辺博志、河野広隆、片平博：使用材料の異なるコンクリートの耐久性能と吸水性状の関係、セメント・コンクリート論文集、vol.67、pp.456-463、2014.2
  - 4) 坂田昇、菅俣匠、林大介、作榮二郎：コンクリートの凍結融解抵抗性に及ぼすブリーディングの影響に関する一考察、コンクリート工学論文集、Vol.23、No.2、pp.59-69、2012.5
  - 5) 古賀裕久、山田宏、渡辺博志：ブリーディング増大要因に関する実験的検討、土木学会第67回年次学術講演会、V-599、2012.9
  - 6) 辻正哲、伊藤幸広、蟹谷慎也：ポンパピリチーの簡易試験方  
法、セメント・コンクリート論文集、Vol.44、pp.624-629、  
1990.12
  - 7) 笹田達也、小野博宣、渡辺健治：フレッシュモルタルのブリー  
ジング測定法の比較試験、日本建築学会大会講演梗概集、  
pp.711-712、2000.9
  - 8) 土木学会コンクリート委員会コンクリートの施工性能評価小  
委員会：施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施  
工指針（案）、コンクリートライブラリー126、2007.3

## 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 2013, accelerated bleeding test was discussed as a quality control technique, because it was confirmed that the excess segregation of fresh concrete can cause the amount of entrained air and do harm on the durability of concrete exposed to freeze-thaw cycles.

**Key words** : concrete, quality control, placing, bleeding, surface absorption test