

## 東北地方の骨材を用いたコンクリートの品質評価

三井住友建設(株) 技術開発センター 正会員 博士(工学) ○谷口 秀明  
 三井住友建設(株) 技術開発センター 正会員 修士(工学) 佐々木 亘  
 三井住友建設(株) 技術開発センター 博士(工学) 樋口 正典  
 三井住友建設(株) 東北支店 正会員 村田 宣幸

### 1. はじめに

最近では、天然骨材の品質低下に起因するコンクリートの乾燥収縮の増加が問題となり、この問題の収束に向けた学協会の活動が活発になっている<sup>1)</sup>。骨材はコンクリート容積の7割前後を占める骨格をなす材料であり、その品質は、乾燥収縮のみならず、コンクリートの様々な品質に大きな影響を及ぼす。しかし、レディーミクストコンクリート工場(以下、工場)では、硬化コンクリートに関

表-1 各工場で使用される骨材の種類、産地および品質

| 工場名 | 工場所在地 | 種類      | 産地  | 試験成績書の試験値                 |                           |         |         | 筆者らによる測定値                 |                           |         |
|-----|-------|---------|-----|---------------------------|---------------------------|---------|---------|---------------------------|---------------------------|---------|
|     |       |         |     | 表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 吸水率 (%) | 安定性 (%) | 表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 吸水率 (%) |
| A工場 | 青森県   | 陸砂      | 青森県 | 2.61                      | 2.57                      | 1.50    | 0.2     | 2.64                      | 2.59                      | 1.79    |
|     |       | 砕砂(石灰石) | 北海道 | 2.62                      | 2.57                      | 2.05    | 0.7     | 2.67                      | 2.64                      | 1.41    |
|     |       | 砕砂2005  | 青森県 | 2.66                      | 2.61                      | 2.05    | 2.2     | 2.64                      | 2.58                      | 2.25    |
| B工場 | 青森県   | 粗砂      | 青森県 | 2.59                      | 2.51                      | 3.23    | 2.4     | 2.63                      | 2.57                      | 2.03    |
|     |       | 細砂      | 青森県 | 2.59                      | 2.51                      | 3.08    | 2.3     | 2.60                      | 2.53                      | 2.64    |
|     |       | 砕砂2005  | 青森県 | 2.70                      | 2.69                      | 0.41    | 0.1     | 2.71                      | 2.70                      | 0.24    |
| C工場 | 青森県   | 陸砂      | 青森県 | 2.62                      | 2.55                      | 2.58    | -       | 2.58                      | 3.73                      | 2.49    |
|     |       | 陸砂      | 青森県 | 2.60                      | 2.54                      | 2.56    | -       | 2.55                      | 2.57                      | 2.49    |
|     |       | 砕砂2505  | 青森県 | 2.73                      | 2.69                      | 1.53    | -       | 2.73                      | 1.70                      | 2.69    |
| D工場 | 岩手県   | 山砂      | 宮城県 | 2.58                      | 2.54                      | 1.64    | 2.0     | 2.56                      | 2.50                      | 2.34    |
|     |       | 砕砂      | 岩手県 | 2.83                      | 2.80                      | 1.14    | 0.4     | 2.80                      | 2.76                      | 1.60    |
|     |       | 砕砂2505  | 岩手県 | 2.91                      | 2.89                      | 0.64    | 0.6     | 2.90                      | 2.89                      | 0.48    |
| E工場 | 秋田県   | 川砂      | 秋田県 | 2.53                      | 2.46                      | 2.82    | 3.2     | 2.52                      | 2.42                      | 3.90    |
|     |       | 川砂利25   | 秋田県 | 2.59                      | 2.52                      | 2.84    | 6.8     | 2.59                      | 2.52                      | 2.74    |
| F工場 | 宮城県   | 陸砂      | 宮城県 | 2.60                      | 2.54                      | 2.47    | 1.6     | 2.60                      | 2.50                      | 3.67    |
|     |       | 砕砂      | 宮城県 | 2.84                      | 2.82                      | 0.87    | 1.0     | 2.86                      | 2.83                      | 0.94    |
| G工場 | 山形県   | 細砂      | 山形県 | 2.56                      | 2.51                      | 1.87    | 0.6     | 2.57                      | 2.51                      | 2.13    |
|     |       | 砕砂      | 山形県 | 2.68                      | 2.66                      | 0.93    | 3.7     | 2.65                      | 2.63                      | 0.90    |
|     |       | 砕砂2005  | 山形県 | 2.70                      | 2.68                      | 0.62    | 1.7     | 2.72                      | 2.70                      | 0.46    |
| H工場 | 山形県   | 砕砂      | 山形県 | 2.59                      | 2.55                      | 1.01    | 4.0     | 2.62                      | 2.60                      | 0.91    |
|     |       | 陸砂      | 山形県 | 2.59                      | 2.55                      | 1.55    | 3.0     | 2.60                      | 2.57                      | 1.20    |
|     |       | 砕砂1305  | 山形県 | 2.64                      | 2.61                      | 1.20    | 10.8    | 2.66                      | 2.64                      | 0.63    |
|     |       | 砕砂2013  | 山形県 | 2.63                      | 2.60                      | 1.09    | 6.5     | 2.65                      | 2.63                      | 0.88    |

-: 当時の試験値の調査記録なし。

しては、圧縮強度以外を直接試験によって確認することが少なく、骨材の品質がコンクリートの品質に及ぼす影響は必ずしも明らかにはなっていない。

このような状況を鑑み、筆者らは、国内各地の工場で常備する骨材を入手し、骨材以外の諸条件をなるべく同一としてコンクリートの収縮を初めとする様々な品質を確認し、工場設備や配合等のデータとともにデータベースを構築している<sup>2)</sup>。この報告では、その一環として、寒冷地、特に東北地方に存在する任意の工場から入手した骨材を使用したコンクリートの品質評価試験の結果を示し、骨材の相違が各試験値に及ぼす影響の確認や筆者らが実施した全国一斉試験結果<sup>2)</sup>との比較を行った。

### 2. 試験内容

試験対象の8工場(A~H工場)で使用される骨材の種類、産地および品質を、表-1に示す。A工場の砕砂を除き、骨材の産地はすべて東北地方である。複数の細・粗骨材を使用している工場に関しては、各工場で採用している混合比率に従った。各工場から筆者らが所属する試験機関まで骨材を運搬し、同一条件下でコンクリートの製造を行った。

試験の対象は、設計基準強度40N/mm<sup>2</sup>程度のPC橋上部構造を対象とした配合(PC配合と呼ぶ)と、設計基準強度24~27N/mm<sup>2</sup>程度のRC部材に使用される配合(RC配合と呼ぶ)の2種類のコンクリートである。使用したセメントは、それぞれ、早強ポルトランドセメント(密度3.13g/cm<sup>3</sup>)、普通ポルトランドセメント(密度3.15g/cm<sup>3</sup>)であり、すべて同一の銘柄・ロットのものである。水セメント比(W/C)は、PC配合では40%、RC配合では55%とした。

単位水量とスランプ(練り上がり直後で12~15cm程度)の調整には、PC配合では高性能AE減水剤(標準形、ポリカルボン酸エーテル系の化合物、抑泡タイプ)、RC配合ではAE減水剤(標準形、リ

グニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体抑泡タイプ)を使用した。また、空気量の調整(4.5±0.5%, 試験値は表-2を参照)にはAE剤(変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤)を使用した。

単位水量, 単位粗骨材絶対容積および空気量の試験値を, 表-2に示す。コンクリートの収縮量に及ぼす影響等を考慮し, 単位水量の範囲は165±5kg/m<sup>3</sup>, 単位粗骨材絶対容積の範囲は筆者らが実施した全国一斉試験<sup>2)</sup>と同様に0.375±0.015m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>とした。

この研究では, コンクリートの力学的性質(圧縮強度, ヤング係数), 体積変化(乾燥収縮ひずみ, 自己収縮ひずみ)および凍結融解に関する試験を実施した。圧縮強度およびヤング係数は, それぞれ, JIS A 1108, JIS A 1149に準拠し, 標準水中養生を材齢28日まで行った円柱供試体(φ100×200mm)の値である。

自己収縮試験は, (社)日本コンクリート工学協会「高流動コンクリートの自己収縮試験方法」に準じた。100×100×400mmの角柱供試体を使用し, 供試体中央に埋込みひずみ計を設置した。一方, 乾燥収縮ひずみは, JIS A 1129-2(コンタクトゲージ法)によるもので, ゲージプラグには埋込み型のものを使用した。供試体は100×100×400mmの角柱供試体であり, 材齢7日間の水中養生を行った後, 恒温恒湿室(温度20℃, 相対湿度60%)内で182日まで供試体全面を乾燥させた。

凍結融解試験は, JIS A 1148に準じて実施した。試験方法の種類はA法, 供試体の養生期間は28日である。

### 3. 試験結果および考察

#### 3.1 力学的性質

コンクリートの材齢と圧縮強度の関係を, 図-1に示す。試験値の材齢は, PC配合では3, 7, 28日, RC配合では7, 28日である。図中には, 各配合・材齢における圧縮強度の平均値, 最大値および最小値を示した。各材齢における最大値と最小値の差は, PC配合では約11N/mm<sup>2</sup>, RC配合では約9N/mm<sup>2</sup>である。全国一斉試験において, たとえば, PC配合の材齢28日では, その差は18N/mm<sup>2</sup>程度であり, 今回の試験結果に特異性は認められない。

PC配合に関して, 材齢3日および7日の平均値は, 材齢28日の圧縮強度の平均値に対して, それぞれ, 0.71倍, 0.86倍に相当する。しかし, 個々の値を詳細に確認すると, たとえば, E工場におけるその値は, 3日で0.64倍, 7日で0.82倍と他工場に比べて小さく, 使用するセメントおよび水セメント比が同じであっても, 使用する骨材によって3日から28日までの強度発現性がかなり異なることがわかる。

コンクリートの圧縮強度とヤング係数の関係を, 図-2に示す。図中には, PC配合の材齢3, 7, 28日の試験値(線で結んだもの)とRC配合の材齢28日の試験値をプロットしている。また, コンクリート示方書に示される構造計算に用いるヤング係数の標準値<sup>3)</sup>, およびこの標準値を0.6倍から1.2倍し

表-2 単位水量, 単位粗骨材絶対容積および空気量の試験値

|     | PC配合                      |   |         | RC配合                      |   |         |
|-----|---------------------------|---|---------|---------------------------|---|---------|
|     | 単位水量 (kg/m <sup>3</sup> ) | 単位粗骨材絶対容積 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) | 空気量 (%) | 単位水量 (kg/m <sup>3</sup> ) | 単位粗骨材絶対容積 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) | 空気量 (%) |
| A工場 | 160                       | 0.375                                       | 5.0     | 160                       | 0.375                                       | 5.3     |
| B工場 | 160                       | 0.380                                       | 5.1     | 160                       | 0.380                                       | 5.0     |
| C工場 | 165                       | 0.375                                       | 5.1     | 165                       | 0.375                                       | 4.7     |
| D工場 | 165                       | 0.362                                       | 5.5     | 170                       | 0.362                                       | 4.5     |
| E工場 | 160                       | 0.380                                       | 5.5     | 160                       | 0.380                                       | 5.2     |
| F工場 | 170                       | 0.380                                       | 5.2     | 170                       | 0.380                                       | 5.0     |
| G工場 | 170                       | 0.370                                       | 5.5     | 165                       | 0.370                                       | 5.0     |
| H工場 | 170                       | 0.390                                       | 4.5     | 170                       | 0.390                                       | 4.7     |

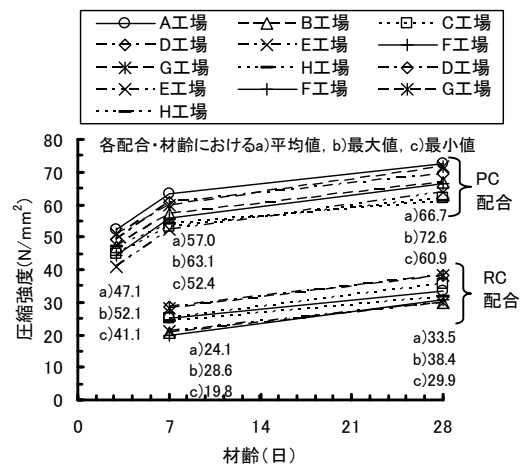


図-1 材齢と圧縮強度の関係

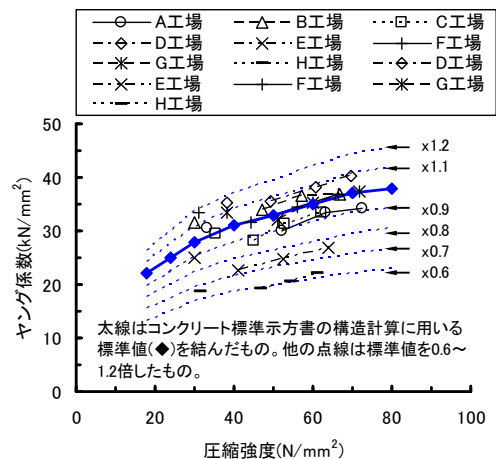


図-2 圧縮強度とヤング係数の関係

た値を結ぶ線を示している。圧縮強度とヤング係数の関係は、構造計算に用いる標準値とおおむね一致し、試験値の多くは標準値に対して±10%程度の範囲に入る。しかし、E工場およびH工場の骨材を使用した場合のヤング係数は相当に小さい。全国一斉試験においても、標準値に対して±30%程度異なるものが存在したが、H工場の試験値はこれよりもさらに小さい結果となった。

### 3.2 体積変化

自己収縮ひずみの測定結果（凝結の始発を起点）を、図-3に示す。図中の太線は、JCIひび割れ制御指針<sup>4)</sup>に示された自己収縮ひずみの算定式を用いた計算値（早強ポルトランドセメント、水セメント比40%）である。点線はその計算値を0.5~1.3倍したものである。図中には、全国一斉試験における自己収縮ひずみの平均値、最大値および最小値を示した。測定された自己収縮ひずみは、計算値の0.5~1.3倍の範囲に存在し、全国一斉試験の最大値および最小値の範囲内であり、比較的小さいものが多い。なお、測定された自己収縮ひずみは、計算値に比べて初期材齢の値が小さく、収束するまでの時間が長いが、この傾向は全国一斉試験においても確認されている。

乾燥収縮ひずみの測定結果を、図-4に示す。図中の太線は、コンクリート標準示方書の予測式<sup>5)</sup>で算出した乾燥収縮ひずみの計算値である。単位水量には、各配合における全工場の平均値165kg/m<sup>3</sup>を代入した。点線はその計算値を0.6~1.4倍したものである。測定された乾燥収縮ひずみは、予測式の曲線と同等もしくはこれよりも早期に収束した曲線を描くものが多い。乾燥収縮ひずみは、いずれの配合も乾燥期間91日までは全国一斉試験の最大値および最小値の範囲内であるが、182日においてはH工場の試験値が最大値を超えており、特にRC配合においては計算値の1.5倍以上に達している。

これまでの筆者らの研究<sup>6)</sup>では、ヤング係数が小さいコンクリートは乾燥収縮ひずみが大きくなる傾向があることを確認している。図-2と図-4より、ヤング係数が小さいH工場、E工場およびC工場の乾燥収縮ひずみは他工場と比べて大きく、これまでの見解を裏付けるものである。

### 3.3 凍結融解

凍結融解試験の結果を、図-5に示す。C工場を除く7工場におけるRC配合（W/C=55%）のコンクリートを評価対象とした。凍結融解試験では、相対動弾性係数と質量減少率が評価指標となる。また、参考として、凡例の（ ）内には、JIS A 1148の方法で計算した耐久性指数を示した。

E工場を除く6工場のコンクリートの相対動弾性係数は、300サイクルまで60%以上を確保している。しかし、E工場のコンクリートの相対動弾性係数は、試験開始直後から急激に低下し、約100サイクル

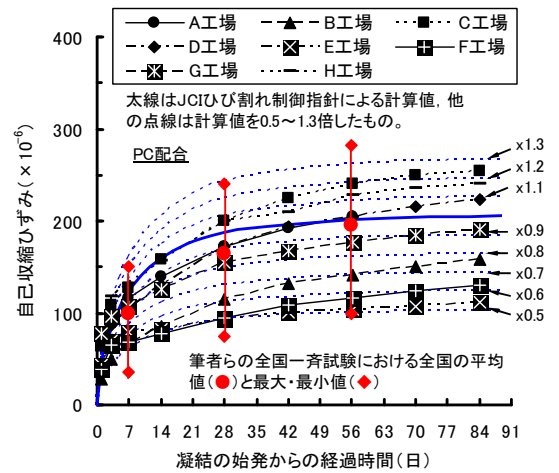


図-3 自己収縮ひずみの測定結果

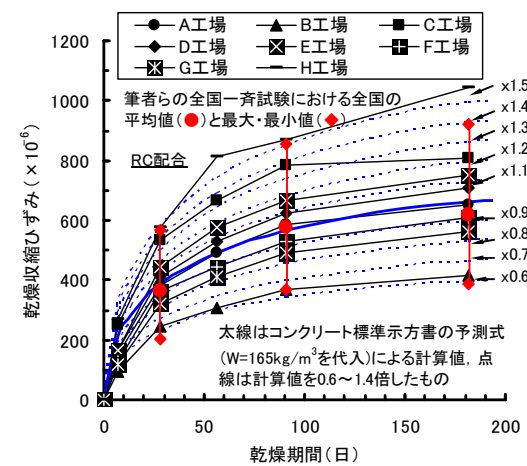
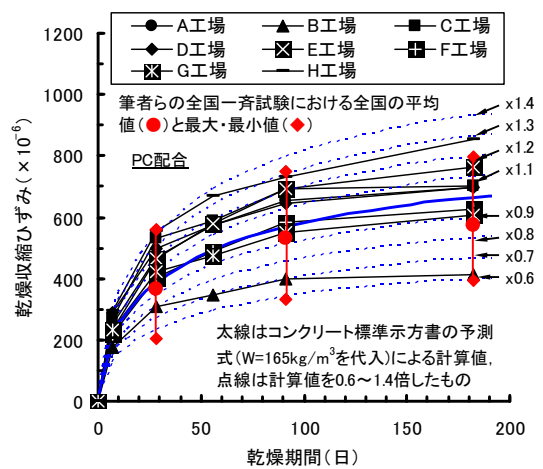


図-4 乾燥収縮ひずみの測定結果

で60%未満となっている。E工場に関しては相対動弾性係数の変化が他工場と著しく異なるため、同一配合で再試験(図中のE工場2)を実施したが、1回目(図中のE工場1)との差異は認められなかった。A工場およびH工場に関しても、300サイクルの相対動弾性係数が約60%であり、評価対象とした工場の半数近くで凍結融解抵抗性に優れるとは言いがたい結果となった。

質量減少率に着目すると、相対動弾性係数が早期に著しく低下したE工場の質量減少率は他の工場に比べて最も小さい。その一方で、B工場では、300サイクルの相対動弾性係数が80%程度であるが、質量減少率は他の工場に比べて大きく、骨材により凍結融解による劣化の進行形態が異なる。

表-1によれば、E工場の骨材は、細骨材、粗骨材ともに吸水率が高く、絶乾密度が小さい。筆者らが測定した結果では、川砂の吸水率は3.5%を超え、絶乾密度は2.50g/cm<sup>3</sup>を下回り、JIS A 5308ではいずれも使用に対する購入者の承認が必要となるものである。今回の試験では300サイクルの相対動弾性係数は70%であるが、F工場の陸砂も吸水率が高く、絶乾密度が小さい。一方、H工場の骨材の吸水率は他の工場と比べて高くはないが、砕石の安定性の値(工場から提示)が他工場と比べて大きい。前述のE工場で使用される川砂利の安定性もやや大きな値である。一般に骨材の安定性試験は凍害に対する骨材の抵抗性を調べる手段として用いられており、細骨材では10%以下、粗骨材では12%以下が判定基準である。試験値が大きい場合には、規定値の範囲内であっても凍結融解試験の結果に悪影響を及ぼす可能性がある。

#### 4. まとめ

東北地方の骨材を使用したコンクリートの品質評価試験で得られた知見を、以下に示す。

- (1) 測定されたヤング係数は構造計算に用いる標準値と同程度のものが多いが、その一方で、標準値の約0.6倍まで小さいものが存在する。
- (2) 自己収縮ひずみは計算値と同等もしくは小さいものが多い。一方、乾燥収縮ひずみは、RC配合の乾燥期間182日において計算値の1.5倍以上となるものが存在する。また、乾燥収縮ひずみが大きいコンクリートではヤング係数も小さいことが確認された。
- (3) RC配合では、凍結融解抵抗性に劣る結果が複数工場で確認された。吸水率や安定性の値が高い骨材が存在し、これらが凍結融解試験の結果との関連性があると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：コンクリートの収縮問題とその対応—委員会報告，2010.3
- 2) 谷口秀明，樋口正典，藤田学，河野広隆：施工者によるレディーミクストコンクリートの品質評価，コンクリート工学，Vol.48，No.2，pp.15-23，2010.2
- 3) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書〔設計編：本編〕，p.44，2008.3
- 4) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御指針2008，2008.11
- 5) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書〔設計編：本編〕，p.46，2008.3
- 6) 谷口秀明，佐々木亘，斯波明宏，樋口正典：コンクリートの乾燥収縮ひずみに及ぼす要因に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.1，pp.365-370，2010.7

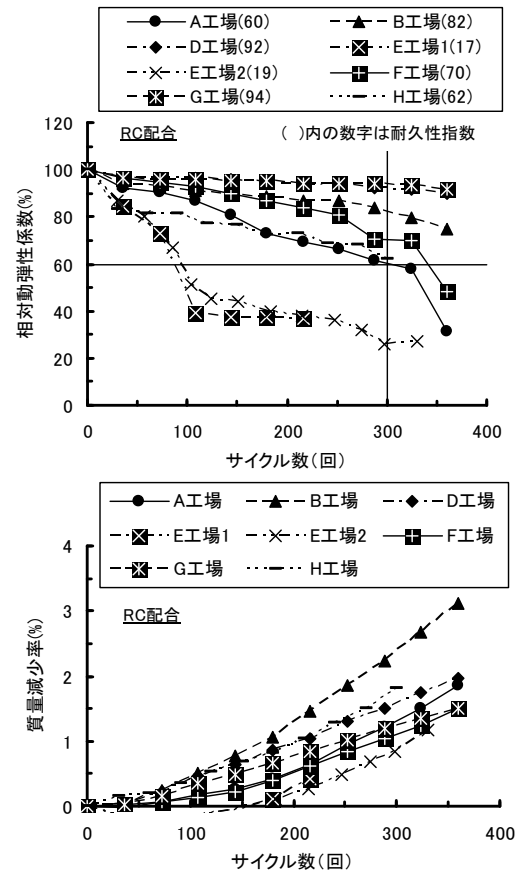


図-5 凍結融解試験の結果