

PROPERTIES OF LOW DRYING-SHRINKAGE CONCRETE WITH SHRINKAGE-REDUCING ADMIXTURE

Kazumasa Inoue^{1,A)}, Kenro Mitsui^{A)}, Toshio Hashiba^{B)}

^{A)} Research and Development Institute, TAKENAKA Corporation

1-5-1 Otsuka, Inzai-city, Chiba, 270-1395

^{B)} Tokyo Main Office, TAKENAKA Corporation

1-1-1 Shinsuna, Koto-ku, Tokyo, 136-0075

Abstract

Effects on drying shrinkage of concrete were tested by using cement, the limestone coarse aggregate and the shrinkage-reducing admixture. As the results, the drying shrinkage of concrete was realized below 400×10^{-6} . By using this low drying-shrinkage concrete, to prevent cracking on concrete structure during the long service life and to secure the measuring accuracy of concrete structure related the accelerator are expected.

収縮低減剤を用いた低収縮コンクリートの特性

1. はじめに

コンクリート構造物のひび割れの原因となる乾燥収縮を低減することは、加速器に関連する建築・土木のコンクリート構造物の耐久性を向上させると同時に、機器設置の精度確保の点からも有効である。部材の収縮変形に対する拘束度が0.5程度^[1]の一般構造物の場合、ひび割れの発生を抑制するためには、コンクリートの乾燥収縮率を 400×10^{-6} 以下にすることが必要と考えられる。そこで、各種の収縮低減剤と骨材・セメントの材料調合技術とを組み合わせ、コンクリートの乾燥収縮性状について実験的に検討した^[2]。また、既往の乾燥収縮予測式を用いた検討結果^[3]から、乾燥収縮率が 400×10^{-6} 以下のコンクリート（以下、低収縮コンクリート）を用いた場合の、各部材厚における乾燥収縮率の推定値を示し、機器設置の精度確保への貢献の可能性を記した。

2. 実験概要

2.1 実験の因子水準とその組み合わせ

表1に示すように、収縮低減剤の種類、セメントの種類、粗骨材の種類を因子とした実験を行った。収縮低減剤は、既存品5種類（表1中の記号A～E）と筆者らの開発品1種類（記号F）の計6種類とし、濃度は練混ぜ水量に対して0%、4%、8%の3水準とした。セメントの種類は、普通ポルトランドセメントと中庸熱ポルトランドセメントの2種類とした。また、粗骨材も代表的な2種類とした。

2.2 使用材料およびコンクリートの調合

使用材料を表2に、コンクリートの調合を表3に

示す。コンクリートは、目標強度を 30N/mm^2 とし、水セメント比が50%で、目標スランプが18cm、空気量が4.5%となるように調合した。

2.3 試験項目と試験方法

表4に示す各種の試験を、各々のJISに準じて実施した。なお、拘束収縮ひび割れ試験については、粗骨材に石灰石を用いたコンクリートについてのみ実施した。

表1：実験の因子水準とその組み合わせ

| セメントの種類 | 収縮低減剤の種類 | 粗骨材の種類 | | | | | |
|---------|----------|-----------------|----|----|-----|----|----|
| | | 硬質砂岩 | | | 石灰石 | | |
| | | 収縮低減剤濃度 (W × %) | | | | | |
| | | 0% | 4% | 8% | 0% | 4% | 8% |
| 普通 | なし | | | | | | |
| 中庸熱 | なし | | | | | | |
| | A | | | | | | |
| | B | | | | | | |
| | C | | | | | | |
| | D | | | | | | |
| | E | | | | | | |
| | F | | | | | | |

表2：使用材料

| | |
|-------|--|
| セメント | 普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm^3) 中庸熱ポルトランドセメント(密度 3.21g/cm^3) |
| 細骨材 | 君津産山砂(密度 2.61g/cm^3 , 吸水率2.18%) |
| 粗骨材 | 八王子産硬質砂岩砕石(密度 2.67g/cm^3 , 吸水率0.77%) 秩父産石灰砕石(密度 2.72g/cm^3 , 水率0.27%) |
| 混和剤 | AE減水剤 |
| 収縮低減剤 | A: 低級アルコールアルキレンオキサイド付加物 |
| | B: ポリエーテル系 |
| | C: エチレンオキサイドとプロピレンオキサイドの共重合体 |
| | D: プロピレングリコールエーテル類 |
| | E: グリコールエーテル誘導体 |
| | F: 低級アルコール類 |

¹ E-mail: inoue.kazumasa@takenaka.co.jp

表3：コンクリートの調合（目標強度30N/mm²）

| セメントの種類 | 水セメント比 (%) | 細骨材率 (%) | 単位数(kg/m ³) | | | | 混和剤 (AE減水剤) |
|---------|------------|----------|-------------------------|--------|-------|----------|-------------|
| | | | 水 W | セメント C | 細骨材 S | 粗骨材 G | |
| 普通 | 50 | 46.2 | 170 | 340 | 815 | 972(992) | C×0.2% |
| 中庸熱 | | 46.3 | 170 | 340 | 819 | 972(992) | |

粗骨材 ()内は石灰石の場合の質量

表4：試験項目と準拠基準

| 試験項目 | 試験方法 |
|--------------|---|
| 圧縮強度 | JIS A 1108 :1999 |
| 静弾性係数 | JIS A 1149 :2001 |
| 引張強度 | JIS A 1113 :1999 |
| 乾燥収縮 | JIS A 1129-2 :2001 |
| 拘束収縮 ひび割れ | JIS A 1151 :2002 (計算拘束度 0.57(t=4mm)、 0.73(t=9mm)の2種類) |

3. 実験結果

3.1 コンクリートの強度・静弾性係数試験結果

図1に、コンクリートの圧縮強度試験結果を示す。硬質砂岩の場合、収縮低減剤を用いたコンクリートの材齢4週の圧縮強度は、収縮低減剤無添加のコンクリートに比べて、低下する傾向にある。特に収縮低減剤の濃度が高い場合、ばらつきはあるが、さらに強度が低下する傾向がみられた。しかしながら、材齢8週時では、収縮低減剤の種類（図中のA, B, F）によっては、収縮低減剤無添加コンクリートの材齢4週の時とほぼ同等となることがわかった。骨材が石灰石の場合も同様の傾向を示した。収縮低減剤を用いる場合には、水セメント比を低く設定するか、管理材齢を長くするなどの考慮が必要であると考えられる。なお例外として、収縮低減剤Eを用いた場合、圧縮強度が収縮低減剤無添加のコンクリートに比べて大きかった。これは、Eを用いたコンクリートの場合、空気量が1%と少なくなったためと考えられる。図2に、コンクリートの静弾性係数試験結果を示すが、圧縮強度とほぼ同様の傾向がみられた。

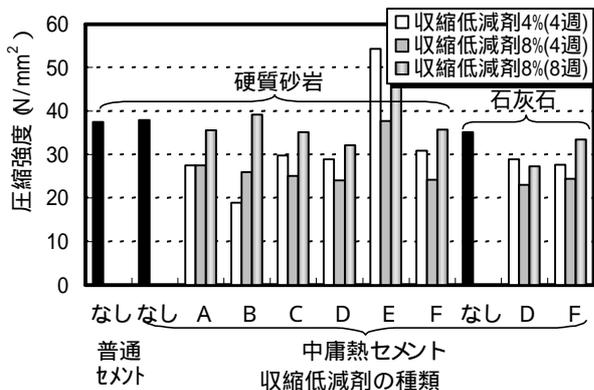


図1：圧縮強度試験結果

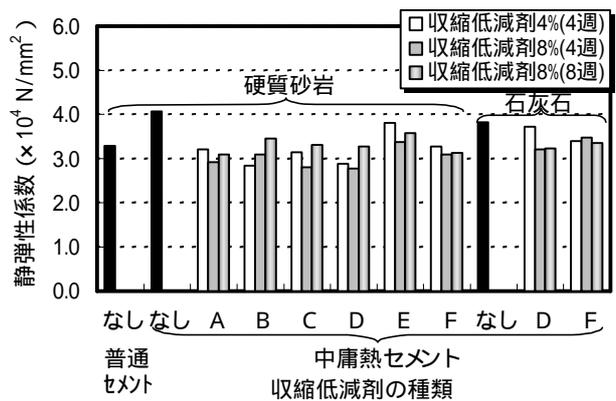


図2：静弾性係数試験結果

3.2 コンクリートの乾燥収縮試験結果

図3に、コンクリートの乾燥収縮試験結果を示す。中庸熱セメントは普通セメントよりも収縮が小さかった。硬質砂岩と収縮低減剤を用いた場合、濃度4%では120~200×10⁻⁶、濃度8%では150~260×10⁻⁶乾燥収縮率が低減し、最大で4割以上の収縮低減を示した。また、石灰石を用いると乾燥収縮はさらに小さくなる。収縮低減剤、セメント、粗骨材の組み合わせによって、乾燥収縮率を、目標の400×10⁻⁶以下にすることが可能であることがわかった。

図4は、粗骨材に硬質砂岩を用いた試験体の中で、最も乾燥収縮率が小さかった収縮低減剤Dの場合の、乾燥収縮率と質量減少率の関係を示したものである。中庸熱セメントと収縮低減剤を用いた場合、乾燥収縮率は小さくなるが、質量減少率は無添加に比べてあまり変わらない。また、乾燥期間4週以前に収縮率が大きく低減しているが、4週以降は収縮低減剤無添加と大きな差は認められない。他の収縮低減剤の場合も同様の傾向がみられ、収縮低減剤は乾燥初期に大きな効果を示すと思われる。中庸熱セメントを用いた場合、普通セメントを用いた場合に比べて、質量減少が大きく、特に乾燥初期に大きくなる傾向がある。中庸熱セメントの場合、材齢初期には組織が緻密でないことが関係しているものと思われる。

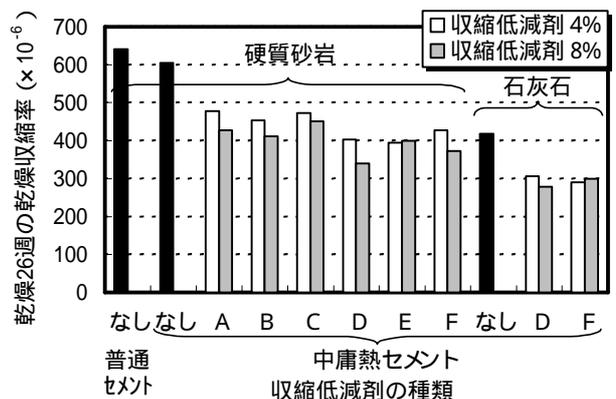


図3：乾燥収縮試験結果

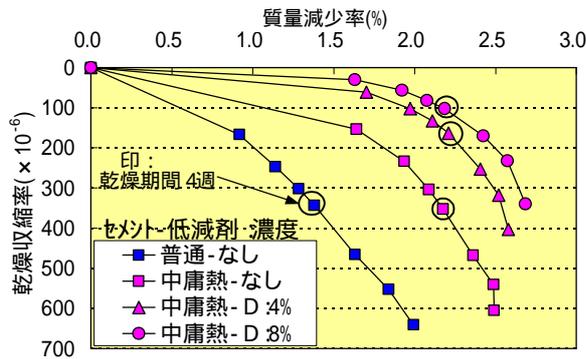


図4：乾燥収縮率と質量減少率の関係(印：4週)

3.3 拘束収縮ひび割れ試験結果

収縮低減効果の大きい収縮低減剤DとFを用いたコンクリートについて、拘束収縮ひび割れ試験(図5参照)を行った。セメントは中庸熱セメント、粗骨材は石灰石とし、収縮低減剤濃度は4%とした。

拘束収縮ひび割れ試験結果を表5、表6および図5に示す。収縮低減剤を用いることでひび割れ発生日数が延びており、ひび割れ抵抗性の増大効果が確認できた。収縮低減剤Fを用いたコンクリートでは、拘束度0.57の場合、100日以上経過してもひび割れは発生しなかった。打設後現在までに1300日が経過しているが、ひび割れは発生していない。収縮低減剤の使用によって乾燥収縮率が低減したこと以外に、静弾性係数が若干低くなったこともひび割れの抑制

表5：収縮ひび割れ試験用コンクリートの強度結果

| 収縮低減剤 | 材齢4週 (N/mm ²) | | | 材齢13週 (N/mm ²) | | |
|-------|---------------------------|------|------------------------|----------------------------|------|------------------------|
| | 圧縮強度 | 引張強度 | ヤング係数 | 圧縮強度 | 引張強度 | ヤング係数 |
| なし | 35.2 | 3.05 | 3.82 × 10 ⁴ | 45.3 | 3.58 | 4.11 × 10 ⁴ |
| D | 28.9 | 2.53 | 3.72 × 10 ⁴ | 36.9 | 2.91 | 3.89 × 10 ⁴ |
| F | 27.6 | 2.66 | 3.40 × 10 ⁴ | 36.8 | 3.16 | 3.81 × 10 ⁴ |

表6：拘束収縮ひび割れ試験結果

| 計算拘束度 | 収縮低減剤 | ひび割れ発生日数 | ひび割れ発生時のひずみ(×10 ⁻⁶) | | 拘束応力(N/mm ²) | 引張強度(N/mm ²) | 収縮応力強度比 |
|-------|-------|----------|---------------------------------|------|--------------------------|--------------------------|---------|
| | | | 自由収縮 | 拘束収縮 | | | |
| 0.57 | なし | 15 | 159 | 43 | 116 | 1.19 | 0.73 |
| | D | 46 | 139 | 52 | 87 | 1.46 | 0.55 |
| | F | なし | - | - | - | - | - |
| 0.73 | F | 50 | 170 | 31 | 139 | 1.78 | 0.63 |

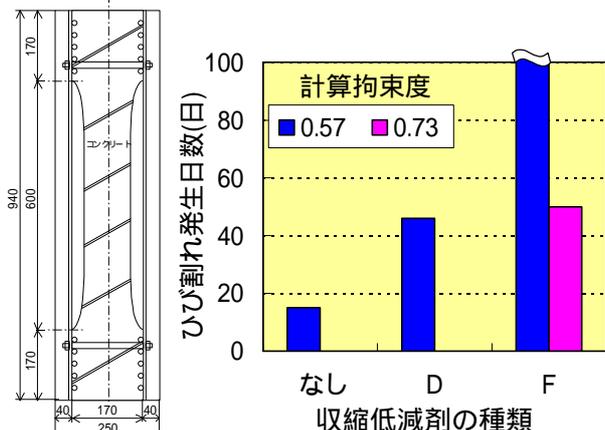


図5：試験体概要およびひび割れ発生日数

に寄与しているものと考えられる。ひび割れ発生時の拘束応力は、引張強度の0.5~0.7倍程度であった。この数値は、このJIS試験で通常報告^[4]されている程度のものであった。図3に示したように、収縮低減剤DとFの乾燥収縮率は同程度であるにもかかわらず、ひび割れ発生日数に差がみられた。収縮低減剤FがDよりも引張強度が高く、静弾性係数が低かったことも影響しているものと考えられる。

4. 部材厚さによる乾燥収縮率の推定

図6に、部材厚さが異なる場合の乾燥収縮率の時間的な推移(計算値)を示す。400×10⁻⁶のコンクリートを用いて、仮想部材厚さが400~800mmと大きい場合、10000日での乾燥収縮率は300~200×10⁻⁶程度と、さらに小さくなるのが推定される。

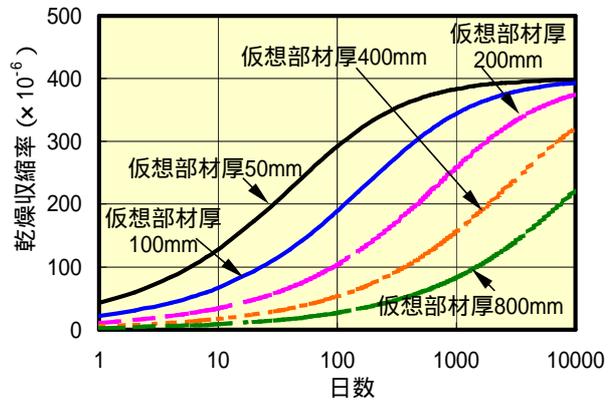


図6：各種部材厚による乾燥収縮率の予測値(CEB/FIP-90式による)

5. まとめ

収縮低減剤、セメント、骨材種類の組み合わせにより、乾燥収縮率を目標の400×10⁻⁶以下にすることが可能である。また部材が厚くなると、乾燥収縮率はさらに小さく推定できることが確認された。乾燥収縮率を目標の400×10⁻⁶以下とすることで、収縮ひび割れに対する抵抗性の増大効果が確認できた。長寿命化と機器設置の精度確保への貢献が期待できる。

参考文献

- [1] 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ、-メカニズムと対策技術の現状-、2003.5
- [2] 池尾・井上：セメント、骨材、収縮低減剤の組み合わせによる低収縮コンクリートの開発、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、pp.107-108、2003.9
- [3] 井上・三井他：乾燥収縮量が異なるコンクリートの乾燥収縮率に及ぼす部材厚の影響、コンクリート工学年次論文集、Vol.24、No.1、pp.453-458、2002
- [4] 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説、2006.2