

[110] シリカフュームスラリー化システムを用いた 高強度レディーミクストコンクリート

住友大阪セメント(株) ○小田部裕一 小林隆芳 小林哲夫
東京エスオーシー(株) 金塚美喜男

1. はじめに

近年、建築物の高層化に伴い、 $60\text{N}/\text{mm}^2$ 以上の設計基準強度を満足するような高強度コンクリートが要求されるようになった。上記のような高強度域に達するコンクリートは、単位結合材量が著しく多くなるため、コンクリートの粘性や発熱が増加し、低熱ポルトランドセメントやシリカフュームを使用するなど発熱や粘性低減の対策を要する。更に、標準養生強度と構造体コンクリート強度との差を考慮したコンクリート調合設計も重要となってくる。そこで、シリカフュームスラリー化システムを用いた高強度レディーミクストコンクリートの性状を実験的に確認し、その結果をもとに調合設計に必要な基礎データについて報告する。

2. 実験概要

2. 1 使用材料およびコンクリート調合

高強度レディーミクストコンクリートには、低熱ポルトランドセメント(密度:3.24)を使用した。その他の使用材料およびコンクリート調合は表1に示す通りであり、 $W/B=16, 20, 24\%$ のケースにはシリカフューム(密度:2.20, 50%濃度スラリー)を用いた。

2. 2 試験項目

(1)フレッシュコンクリートの性状確認 フレッシュコンクリートの性状に関しては、スランブフロー、Vロート、L型フロー、空気量の各試験を実施した。当面の目標値は、スランブフロー $65 \pm 5\text{cm}$ 、空気量 $2.0 \pm 0.5\%$ とした。

(2)硬化性状 試験内容は、 1m 角の柱状構造物を想定したブロック供試体の温度履歴、コア強度および標準養生供試体の圧縮強度測定である。なお、ブロック供試体に付随した試験は、温度変化の影響を把握するため春期、夏期の2シーズンにて実施した。

2. 3 シリカフュームスラリー化システム

シリカフュームスラリー化システムの概略を図1に示す。このシステムの特徴は、シリカフュームスラリータンクから計量瓶の配管途中に γ 線式密度計を設置し、随時スラリー濃度を把握できる点である。よって、所定のシリカフュームの単位量を正確に計量することが可能である。更に、任意のシリカフューム置換率でのコンクリートを容易に製造できる点に特徴がある。

3. 実験結果

3. 1 フレッシュ性状

コンクリートのフレッシュ性状は表2に示す通りである。表2より、水結合材比が25%より小さくなる

表1 コンクリート調合

| 記号 | W/B (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | | | SP (B×%) |
|-----------------|---------|--------------------------|---------|-----|-----|-----|-----|----------|
| | | セメント | シリカフューム | 水 | 山砂 | 砕砂 | 粗骨材 | |
| σ 60-34 | 34.0 | 471 | --- | 160 | 562 | 386 | 842 | 1.1~1.6 |
| σ 60-30 | 30.0 | 534 | --- | 160 | 531 | 365 | 842 | 1.2~1.65 |
| σ 60-26 | 26.0 | 616 | --- | 160 | 492 | 338 | 842 | 1.4~1.75 |
| σ 100-24 | 24.0 | 526 | 58 | 140 | 521 | 356 | 837 | 1.6~1.7 |
| σ 100-20 | 20.0 | 630 | 70 | 140 | 462 | 317 | 837 | 1.6~1.7 |
| σ 100-16 | 16.0 | 787 | 88 | 140 | 374 | 255 | 837 | 2.0~2.15 |

使用材料) 山砂: 岩津産(密度2.58)、砕砂: 鳥形山産石灰石砕砂(密度2.66)
粗骨材: σ 100岩瀬産硬質砂岩(密度2.65)、 σ 60鳥形山産石灰石砕石(密度2.7)
SP: 高性能AE減水剤(日本シーカ社製)

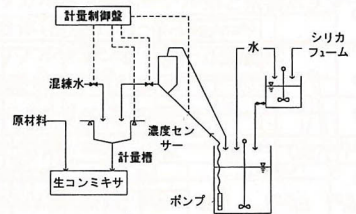


図1 シリカフュームスラリー使用製造システム

ような場合、単位水量が小さくなるにも関わらず、コンクリートの粘性に関わる指標は極端に大きくなっていないことが分かる。したがって、このような域に達する高強度コンクリートにはシリカフェームを使用することは粘性低減の面で得策と思われる。

3. 2 強度および発熱特性

標準養生供試体およびコアの圧縮強度は図2に

示す通りである。高強度コンクリートの調査設計では、標準養生強度と構造体コンクリート強度の差(S 値)を用いている。この S 値は水セメント比(もしくは水結合材比)や打込み温度といった温度条件に依存される。したがって、この両者と S 値の関係を明確にすることが調査設計を行う上で合理的と言える。しかし、図3の温度計測結果における最高温度と S 値の関係を見る限り、明確な相関関係は認められない。よって、今回得られた結果を調査設計に反映させるためには温度条件毎に S 値の算定方法を導く必要があるものと思われる。

3. 3 S 値算定方法に基づく調査設計

調査設計は、[1]式で表される S 値を考慮した調査強度の算定となる。この調査強度を満足するような水結合材比を決定することが合理的な調査設計の一連の流れと言える。

$$mF \geq F_q + mS_n + 2\sigma, \quad mF \geq 0.9(F_q + mS_n) + 3\sigma \quad [1]$$

(ここに、 mF : 材齢 m 日の調査強度、 F_q : 品質基準強度、 mS_n : 標準養生供試体の材齢 m 日の強度と構造体コンクリートの材齢 n 日の圧縮強度との差、 σ : 標準偏差、いずれの単位も(N/mm²))

[1]式の mS_n は、標準養生強度、構造体コンクリート強度それぞれに対して結合材水比との関係を求めることによって、[2]式のように表すことができる。

$$mS_n = 1.2(A_m - A_n) / (1.2A_n - 0.2A_m) \cdot F_q + (A_n B_m - A_m B_n) / (1.2A_n - 0.2A_m) \quad [2]$$

(ここに、 A_m , B_m : 材齢 m 日における結合材水比と標準養生供試体強度の関係を表す1次式における傾きと切片、 A_n , B_n : 材齢 n 日における結合材水比と構造体コンクリート強度の関係を表す1次式における傾きと切片)

[1], [2]式より各品質基準強度(材齢91日)を満足する水結合材比は表3に示す通りである。

4. まとめ

- (1)水結合材比が著しく小さくなる高強度コンクリートには、シリカフェームを使用することによってフレッシュ性状が改善される。
- (2)標準養生供試体強度と構造体コンクリート強度を水結合材比との関係を基に整理することによって、S 値を考慮した調査設計が可能となる。

表2 フレッシュコンクリートの性状調査

| 記号 | スポンジフォーム(cm) | 50mm 7秒到達時間(秒) | L型フォーム平均速度(cm/s) | Vポット(秒) | 空気量(%) |
|-----------------|--------------|----------------|------------------|-----------|---------|
| σ 60-34 | 61~63 | 3.0~6.8 | 1.51~3.02 | 6.2~14.5 | 1.1~2.3 |
| σ 60-30 | 65~72 | 3.5~5.1 | 1.88~2.92 | 8.5~13.1 | 1.3~1.8 |
| σ 60-26 | 61~77 | 3.4~9.5 | 1.31~3.57 | 10.7~23.4 | 1.0~1.8 |
| σ 100-24 | 68~71 | 4.3~7.1 | 1.21~1.52 | 16.2~20.3 | 1.5~1.9 |
| σ 100-20 | 64~74 | 7.1~8.2 | 1.12~1.67 | 13.6~25.7 | 1.4~1.6 |
| σ 100-16 | 72~76 | 8.5~9.9 | 1.19~1.30 | 20.7~30.4 | 1.3~1.5 |

※春期、夏期の結果を合わせ範囲にて表示

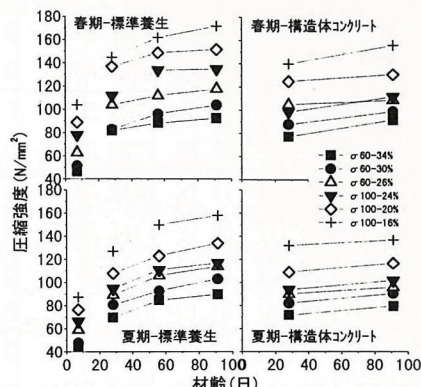


図2 強度試験結果

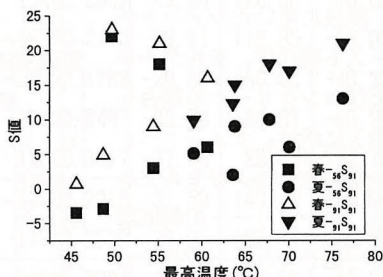


図3 温度とS値の関係

表3 調査設計に基づく水結合材比の決定

| 打設時期 | F_q (N/mm ²) | $F = A_m(BW) + B_m$ | | $F = A_n(BW) + B_n$ | | mS_n (N/mm ²) | mF (N/mm ²) | W/B (%) |
|------|-------------------------------|---------------------|-------|---------------------|-------|--------------------------------|------------------------------|------------|
| | | A_m | B_m | A_n | B_n | | | |
| 春 | 60 | 26.31 | 10.09 | 18.92 | 36.19 | -13.1 | 72.0 | 42.5 |
| | 70 | 26.31 | 10.09 | 18.92 | 36.19 | -8.06 | 84.0 | 35.6 |
| | 80 | 13.20 | 80.50 | 21.03 | 24.92 | 27.1 | 129 | 27.5 |
| | 90 | 13.20 | 80.05 | 21.03 | 24.92 | 22.9 | 136 | 24.0 |
| | 100 | 13.20 | 80.50 | 21.03 | 24.92 | 18.8 | 143 | 21.3 |
| 夏 | 60 | 23.55 | 15.05 | 17.63 | 29.33 | 0.05 | 72.1 | 41.4 |
| | 70 | 23.55 | 15.05 | 17.63 | 29.33 | 4.37 | 89.2 | 31.7 |
| | 80 | 18.95 | 30.63 | 16.74 | 32.66 | 6.50 | 104 | 25.9 |
| | 90 | 18.95 | 30.63 | 16.74 | 32.66 | 8.13 | 118 | 21.7 |
| | 100 | 18.95 | 30.63 | 16.74 | 32.66 | 9.76 | 132 | 18.7 |

※標準養生強度の管理材齢 $m=56$ 日、構造体コンクリート強度の管理材齢 $n=91$ 日

$F_q=60 \sim 70$: 低熱・低収縮セメント単量, $F_q=80 \sim 100$: シリカフェーム混入, $mS_n \leq 0$ ならば $mS_n=0$ とする