

V-81

高強度コンクリートの断熱温度上昇追従強度に関する研究

(株) 間組 技術研究所 正会員 宮野一也

(株) 間組 技術研究所 正会員 喜多達夫

1. まえがき

高強度コンクリートは、セメント、混和材の種類、添加量により圧縮強度の発現性が温度上昇に依存するため、標準水中養生強度と実構造物へ打設した強度とは異なることが予想される。そこで、本報告は、断熱温度上昇と同様な温度履歴を受けた追従圧縮強度試験を実施し、各要因が打設後のコンクリート強度に及ぼす影響を実験計画法により検討した。また、断熱積算温度当りの追従強度を算定し、温度上昇が小さくかつ圧縮強度の高い低発熱型高強度コンクリート特性について検討を加えた。

2. 実験概要

表-1 使用材料

2.1 使用材料

使用材料は表-1に示す通りである。セメントは、普通、中庸熱、フライアッシュセメントを用い、混和材は高炉スラグ微粉末、顆粒シリカフェームを用いた。なお、高炉スラグ微粉末は、ブレン値の異なる3種類を用いた。

|         |          |                                                               |                                                                               |
|---------|----------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 結合材     | セメント     | 普通                                                            | 比表面積(ブレン)3330cm <sup>2</sup> /g 比重 3.16                                       |
|         |          | 中庸熱                                                           | 比表面積(ブレン)3240cm <sup>2</sup> /g 比重 3.22                                       |
|         |          | フライアッシュ                                                       | F/(G+F)=30%<br>フライアッシュ比表面積(ブレン)3110cm <sup>2</sup> /g 比重 2.14                 |
|         | 高炉スラグ微粉末 | A種                                                            | 比表面積(ブレン)4230cm <sup>2</sup> /g 比重2.90 塩基度1.82                                |
|         |          | B種                                                            | 比表面積(ブレン)6420cm <sup>2</sup> /g 比重2.91 塩基度1.79                                |
|         |          | C種                                                            | 比表面積(ブレン)8510cm <sup>2</sup> /g 比重2.91 塩基度1.78                                |
| シリカフェーム | 顆粒状      | 比表面積(BET)20m <sup>2</sup> /g 比重 2.2 SiO <sub>2</sub> 量=92.85% |                                                                               |
| 骨材      | 細骨材      | 大井川産川砂                                                        | 比重 2.60 吸水率 1.41% F.M.2.70                                                    |
|         | 粗骨材      | 秩父産砕石                                                         | 硬質砂岩 比重 2.70 G <sub>max</sub> 20mm<br>(20-13) F.M.7.02 (13-05) F.M.6.44 1:1混合 |
| 混和剤     | 高性能AE減水剤 | —                                                             | 芳香族アミノスルホン酸系高分子化合物                                                            |

2.2 実験条件

実験要因と水準は表-2に示すように選定し、L9直交表に割り付けて実験を行った。配合は、単位水量150kg/m<sup>3</sup>、単位結合材量550kg/m<sup>3</sup>、細骨材率38%と一定とし、高性能AE減水剤は単位結合材量あたり1.7~1.8%添加した。練りませは、容量50Ωのパン型強制練りミキサーを用いて結合材、骨材を空練りとして30秒、水、混和剤を投入してから本練りとして120~150秒練りませた。なお、練り上り温度は20±2℃になるように調整した。

表-2 要因と水準

| 記号   | 要因              | 水準 |     |     |
|------|-----------------|----|-----|-----|
|      |                 | 1  | 2   | 3   |
| C種   | セメントの種類         | 普通 | 中庸熱 | フライ |
| B種   | 高炉スラグ微粉末の種類     | A種 | B種  | C種  |
| B置換  | 高炉スラグ微粉末の置換率(%) | 0  | 30  | 60  |
| SF置換 | シリカフェームの置換率(%)  | 0  | 10  | 20  |

※B、SF置換率：単位結合材量(550kg/m<sup>3</sup>)×%

2.3 試験方法

前回報告した<sup>1)</sup>断熱温度上昇試験結果を用いて、各配合において温度履歴を追従する湿潤追従養生槽内で供試体を養生し、強度発現が顕著である材令1,2,3,7日の初期材令において圧縮強度試験を実施した。

3. 試験結果および考察

表-3 追従圧縮強度試験結果一覧表

3.1 追従圧縮強度

各配合における追従圧縮強度試験結果を表-3に示す。各要因が、追従圧縮強度に及ぼす影響を調べるために分散分析を行った。分散分析結果を表-4に、有意水準5%となった要因の水準と追従圧縮強度の関係を図-1に示す。その結果、有意となった要因は、材令3,7日における高炉スラグ微粉末の種類であり、ブレン値を6400cm<sup>2</sup>/g程度にすると材令3日では約180kgf/cm<sup>2</sup>増加し、材令7日では約140kgf/cm<sup>2</sup>の増加となった。しかし、ブレン値を8500cm<sup>2</sup>/g程度まで大きくしても効果はほと

| 配合No | C種類     | B種類 | B置換率 | SF置換率 | 追従圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> ) |      |      |      |
|------|---------|-----|------|-------|-------------------------------|------|------|------|
|      |         |     |      |       | 材令1d                          | 材令2d | 材令3d | 材令7d |
| 1    | 普通      | -   | 0%   | 0%    | 586                           | 763  | 800  | 864  |
| 2    | 普通      | B種  | 30%  | 10%   | 613                           | 940  | 976  | 975  |
| 3    | 普通      | C種  | 60%  | 20%   | 530                           | 750  | 768  | 928  |
| 4    | 中庸熱     | A種  | 30%  | 20%   | 267                           | 665  | 712  | 725  |
| 5    | 中庸熱     | B種  | 60%  | 0%    | 90                            | 804  | 854  | 949  |
| 6    | 中庸熱     | -   | 0%   | 10%   | 524                           | 750  | 867  | 913  |
| 7    | フライアッシュ | A種  | 60%  | 10%   | 47                            | 440  | 688  | 877  |
| 8    | フライアッシュ | -   | 0%   | 20%   | 495                           | 812  | 905  | 945  |
| 9    | フライアッシュ | C種  | 30%  | 0%    | 154                           | 796  | 901  | 931  |

んどなく若干減少した。また、シリカヒュームの置換により温度上昇開始の時期が早まると報告<sup>1)</sup>したが、初期材令時の追従圧縮強度には有意さは見られなかった。

3. 2 断熱積算温度当たりの追従圧縮強度

高強度コンクリートをマスコンクリートに適用を考えた場合、温度ひびわれおよび長期強度の増進を考慮すると、発熱が小さくかつ高強度となる結合材配合は非常に有利であると予想される。そこで、追従圧縮強度試験体が養生条件として受けた温度履歴を各材令時の断熱積算温度として算出し、追従圧縮強度を断熱積算温度で除して、断熱積算温度当たりの追従圧縮強度を求めた。そして、その値を分散分析により検討し、各要因が断熱積算温度当たりの追従圧縮強度に及ぼす影響を調べた。

その結果、材令1日でセメントの種類と高炉スラグ微粉末の種類、材令2, 3, 7日すべてに高炉スラグ微粉末の置換率が有意と判定された。分散分析結果を表-5に、有意水準5%となった要因の水準と追従圧縮強度の関係を図-2に示す。材令1日では、普通セメントを用いると、圧縮強度の発現が他のセメント使用よりも早いため、温度上昇量も大きいものの結果として積算温度当たりの追従圧縮強度が大きくなる。また、高炉スラグの種類も有意となっており、ブレン値が6400cm<sup>2</sup>/g程度のものを使用することは、材令1日時点では効果的であることがわかる。材令2日以降では、高炉スラグ微粉末の添加率だけが有意となり、他の要因は

有意とならなかった。これは、高炉スラグ微粉末を置換することにより、断熱温度上昇速度が小さく<sup>1)</sup>なるため、本算出方法の分母である断熱積算温度が小さくなる結果と思われる。ただし、材令の経過とともに効果は小さくなり、材令7日になると30%置換では、置換しない場合とほぼ同様な結果となった。

4. まとめ

高強度コンクリートの断熱温度上昇追従圧縮強度特性を実験計画法により検討した結果、以下の傾向が認められた。

- ①高炉スラグ微粉末の種類として、ブレン値6400cm<sup>2</sup>/g程度のものを置換することにより、材令3~7日では追従圧縮強度が増加する。
- ②断熱積算温度当たりの追従圧縮強度は、材令1日では、普通セメントを使用し、ブレン値6400cm<sup>2</sup>/g程度の高炉スラグ微粉末を置換すると大きくなる。材令2日以降では、高炉スラグ微粉末の置換率を増加することにより大きくなるが、材令7日になると60%置換しなければ効果は小さい。

<参考文献>

1)宮野 他:高強度コンクリートの断熱温度上昇特性に関する研究,土木学会第45回年次学術講演会,1990

表-4 追従圧縮強度の分散分析結果

| 要因   | 平方和  | 自由度   | 分散 | 分散比   |        |
|------|------|-------|----|-------|--------|
| 材令3日 | B種類  | 48747 | 2  | 24373 | 12.66* |
|      | B置換率 | 16308 | 2  | 8154  | 4.23   |
|      | 誤差   | 7704  | 4  | 1926  | —      |
| 材令7日 | C種類  | 6684  | 2  | 3342  | 1.62   |
|      | B種類  | 29495 | 2  | 14747 | 7.17*  |
|      | 誤差   | 8231  | 4  | 2058  | —      |

\*:有意水準5%で有意

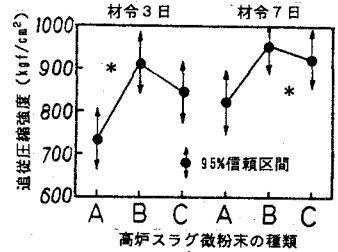


図-1 追従圧縮強度に及ぼす要因の影響

表-5 積算温度当たりの追従圧縮強度の分散分析結果

| 要因   | 平方和   | 自由度    | 分散 | 分散比    |        |
|------|-------|--------|----|--------|--------|
| 材令1日 | C種類   | 4177.8 | 2  | 2088.9 | 15.01* |
|      | B種類   | 4255.8 | 2  | 2127.9 | 15.29* |
|      | 誤差    | 556.6  | 4  | 139.1  | —      |
| 材令2日 | B種類   | 420.7  | 2  | 210.4  | 2.30   |
|      | B置換率  | 1397.8 | 2  | 698.9  | 7.64*  |
|      | 誤差    | 365.9  | 4  | 91.5   | —      |
| 材令3日 | C種類   | 88.92  | 2  | 44.46  | 4.80   |
|      | B置換率  | 295.88 | 2  | 147.94 | 15.97* |
|      | 誤差    | 37.05  | 4  | 9.26   | —      |
| 材令7日 | B置換率  | 46.13  | 2  | 23.07  | 9.94*  |
|      | SF置換率 | 9.79   | 2  | 4.90   | 2.11   |
|      | 誤差    | 9.28   | 4  | 2.32   | —      |

\*:有意水準5%で有意

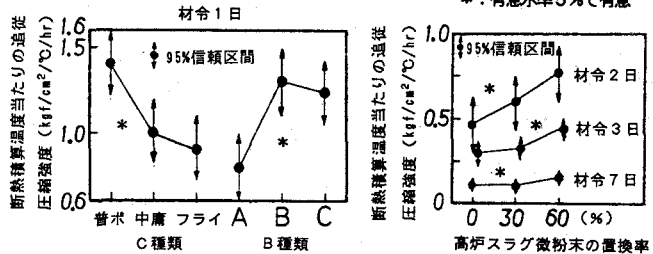


図-2 断熱積算温度当たりの追従圧縮強度に及ぼす要因の影響