

高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの温度・湿度を考慮した  
力学的特性による温度ひび割れ評価に関する検討

法政大学大学院 学生会員 浅井壮  
法政大学 正会員 溝渕利明

1. はじめに

高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの力学特性は環境条件や養生方法に左右されやすいことから、初期養生期間中の温度・湿度及び型枠脱型時期を変化させた力学特性試験を行った。また得られた結果をもとに、温度、湿気移動、応力解析を行い、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの表面および内部の温度・湿度を考慮した強度発現がコンクリートのひび割れ発生に与える影響について検討した。

2. 試験概要

2.1 室内試験

配合条件や養生条件を変化させ、圧縮強度およびヤング係数試験を行った。コンクリート配合の要因と水準を表-1 に示す。また養生条件を表-2 に示す。試験材齢は 7, 14, 28, 56, 91, 180 日とし、20℃の初期養生室にて各脱型材齢まで養生した。

表-1 要因と水準(配合条件)

| No | W/B(%) | 高炉スラグ置換率(%) |
|----|--------|-------------|
| a  | 45     | 0           |
| b  |        | 40          |
| c  |        | 70          |
| d  | 50     | 0           |
| e  |        | 40          |
| f  |        | 70          |
| g  | 55     | 0           |
| h  |        | 40          |
| i  |        | 70          |

表-2 要因と水準(養生条件)

| No | 養生方法 | 養生温度(℃) | 養生湿度(%RH) | 脱型材齢(日) |
|----|------|---------|-----------|---------|
| 1  | 恒温恒湿 | 20      | 40        | 7       |
| 2  |      |         |           | 3       |
| 3  |      |         |           | 5       |
| 4  |      |         | 60        | 7       |
| 5  |      |         |           | 7       |
| 6  |      |         |           | 7       |
| 7  |      | 30      | 60        | 3       |
| 8  |      |         |           | 5       |
| 9  |      |         |           | 7       |
| 10 |      |         | 40        | 7       |
| 11 |      |         |           | 3       |
| 12 |      |         |           | 5       |
| 13 | 水中   | 20      | 80        | 7       |
| 14 |      |         |           | 3       |
| 15 |      |         |           | 5       |
| 16 |      |         |           | 7       |

2.2 重回帰分析

配合条件や環境条件などの複数の要因から圧縮強度を推定するため、重回帰分析を行った。要因は室内試験結果から圧縮強度に影響を与える因子を選択し、圧縮強度推定式の説明変数とした。

2.3FEM 解析

高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの温度・湿度を考慮した強度特性が、コンクリート構造物の温度ひび割れにどのような影響を与えるのかを把握するため2次元有限要素法を用いて温度、湿気移動解析を行い、CP 法を用いて応力解析を行った。図-1 に解析モデルとして橋梁の高欄の概要、解析検討ケースを表-3 に示す。

3. 試験結果

3.1 室内試験結果

図-2 より、本試験結果による水結合材比と圧縮強度の関係は、これまで述べられているように、高炉スラグの置換率によらず、水結合材比が小さいほど圧縮強度が大きくなる傾向を示した。高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは、初期強度は低いものの、長期強度の増進が見込まれ、今回の結果から水中養生であれば、初期強度に対して約 2.5~3.0 倍の長期強度の増進がみられるものと考えられる。

また、圧縮強度と積算温度の対数との関係及び圧縮強度と積算湿度の対数との関係は、図-3、図-4 よりほぼ比例する結果となった。

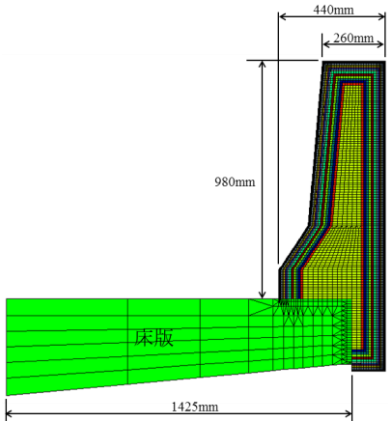


図-1 解析モデル

表-3 検討ケース

| 検討ケース | 高炉スラグ置換率(%) | 温度上昇            | 圧縮強度発現式         | 乾燥収縮 |
|-------|-------------|-----------------|-----------------|------|
| case1 | 40          | JCIひび割れ制御指針2008 | JCIひび割れ制御指針2008 | 考慮せず |
| case2 | 40          | JCIひび割れ制御指針2008 | JCIひび割れ制御指針2008 | 考慮する |
| case3 | 40          | 断熱温度試験結果        | 圧縮強度推定式         | 考慮する |
| case4 | 70          | 断熱温度試験結果        | 圧縮強度推定式         | 考慮する |

キーワード 高炉スラグ微粉末 強度推定式 FEM 解析 積算温度 積算湿度

連絡先 〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2 TEL042-387-6124

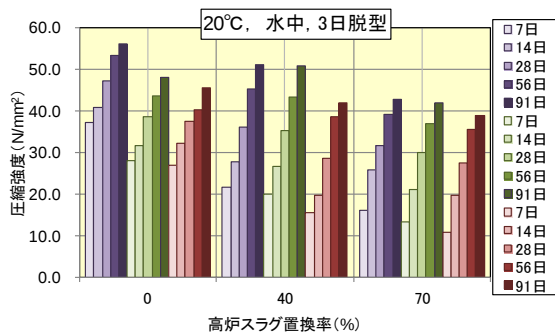


図-2 水結合材比と圧縮強度の関係

### 3.2 重回帰分析結果

高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの圧縮強度発現には、水結合材比、高炉スラグ置換率、養生温度、養生湿度および乾燥開始材齢が影響を与えていると考えられる。そこで、これらの配合条件や養生条件を考慮した圧縮強度発現式の推定を行った。重回帰分析で求めた推定式を式(1)に示す。

$$f'_c = \log_{10} \left( M^{1.05} \times RHD^{-6.60} \right) - 0.847W/B - 0.219S + 1.35t_d + 62.3 \quad \text{式(1)}$$

$f'_c$ : 推定圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>),  $M$ : 積算温度(°D・D),  $RHD$ : 積算湿度(%RH・D),  $W/B$ : 水結合材比(%),  $S$ : 高炉スラグ置換率(%),  $t_d$ : 乾燥開始材齢(日)

また、重相関係数は 0.944 と高く、配合条件に加え、積算温度と積算湿度を用いることでより精度の高い圧縮強度の推定が可能であると考えられる。

### 3.3 FEM 解析結果

図-5 より、経過日数 90 日において乾燥収縮の有無で表面から 120mm の範囲において最小ひび割れ指数に差異が生じた。また温度、湿度を考慮した強度推定式を用いると指数は小さくなり、コンクリート表面ほど差異は小さくなる傾向が見られた。ただし、高炉スラグ置換率の差異による違いはほとんど見られなかった。乾燥収縮及び湿度影響を考慮しない場合、図-6 の case1 に示すように、最小ひび割れ指数は部材中央部で最も小さく、表面部付近は 1.5 前後のひび割れ指数を示す結果となった。一方、乾燥収縮及び湿度影響を考慮した強度式を用いた場合、図-6 の case3 に示すように、コンクリート表面部の最小ひび割れ指数が 1.0 未満となっており、case1 ではみられなかった表面ひび割れ発生の可能性を示す結果となった。

### 4. まとめ

高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートでは、乾燥の影響を受けて、圧縮強度と対数表示した積算温度とは従来からいわれているようにほぼ比例する関係にあった。また圧縮強度は対数表示した積算湿度ともほぼ比例する関係にあった。体積変化に伴うひび割れ評価では、温度、湿度を考慮した強度特性を用いることで、温度のみを考慮した場合よりもより実際に近い評価を行う可能性を見出すことができたと思われる。今後は積算湿度での評価範囲を適切に定めることや実構造物における計測やひび割れ調査を行い、本研究における強度推定式の妥当性を検証していく必要がある。

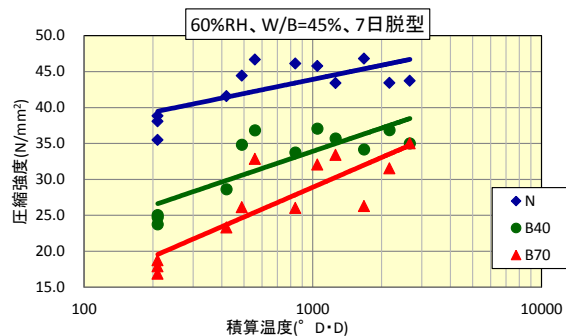


図-3 積算温度と圧縮強度の関係

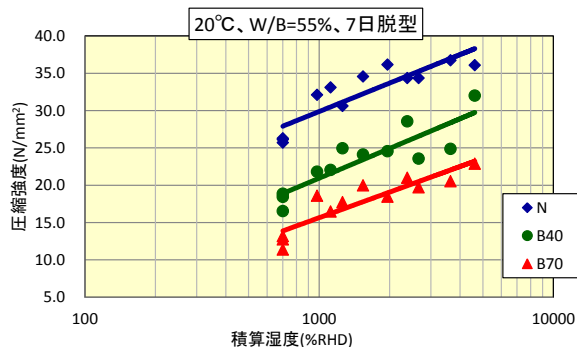


図-4 積算湿度と圧縮強度の関係

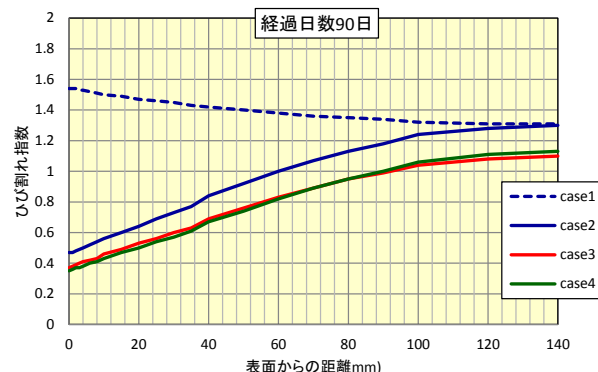


図-5 表面からの距離とひび割れ指数の関係

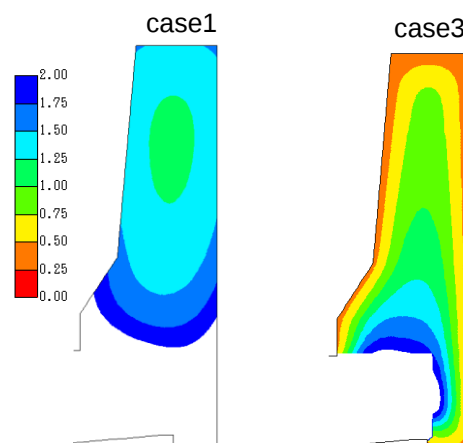


図-6 最小ひび割れ指数の分布図