

低炭素型のコンクリートの温度ひび割れ抵抗性に関する検討

前田建設工業株式会社  
大成建設株式会社  
国立研究開発法人土木研究所

正会員 ○白根 勇二  
正会員 宮原 茂禎  
正会員 中村 英佑

梶田 秀幸  
荻野 正貴

1. はじめに

高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの混和材を積極的に利用した低炭素型のコンクリートは、従来のコンクリートと比較して発熱温度が抑制されるため、マスコンクリートへの適用が期待される。そこで、既報の実験データ<sup>1),2)</sup>を用いて橋梁下部構造をモデルとした温度応力解析を実施し、温度ひび割れ抵抗性に関する検討を行った。

2. 解析概要

図-1 に解析モデル図を示す。フーチングは 13.0m×12.0m×高さ 3.0m、壁部は幅 3.0m×長さ 11.0m×高さ 4.5m とし、1/4 断面をモデル化した。

本検討では、4 種類の JIS セメント (N, BB, M, L) と、4 種類の低炭素型の結合材を対象とした (表-1)。低炭素型はベースセメントに H を使用し、結合材の一部に高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの混和材を質量置換しており、H の割合は 25mass% (H25 とする)、または 10mass% (H10 とする) である。低炭素型の水粉体比は呼び強度 24 相当となる配合を選定し、JIS セメントの W/C は 55%としたが、L は呼び強度 24 相当となるよう示方書<sup>3)</sup>を参考に 54.3%とした。

コンクリートは全 6 回の施工で 28 日間隔とし、解析期間中の外気温は 20℃一定とした。表面の熱伝達係数は型枠存置中で 8(W/m<sup>2</sup>℃)、それ以外で 14(W/m<sup>2</sup>℃)とし、型枠存置期間は N で 5 日、他ケースで 7 日とした。  
また、H25BFA は保温養生の効果検証を目的に材齢 7 日まで型枠面、仕上げ面の熱伝達係数を 6(W/m<sup>2</sup>℃)としたケース (H25BFA(λ6)) も検討した。

低炭素型の条件には、実験で得た圧縮強度 (図-2)、自己収縮 (図-3)、熱膨張係数および断熱温度上昇特性 (表-1) を用いた。低炭素型のその他の入力条件および JIS セメントの入力条件は示方書<sup>3)</sup>に示される一般値を用い、JIS セメントにも自己収縮を考慮した。

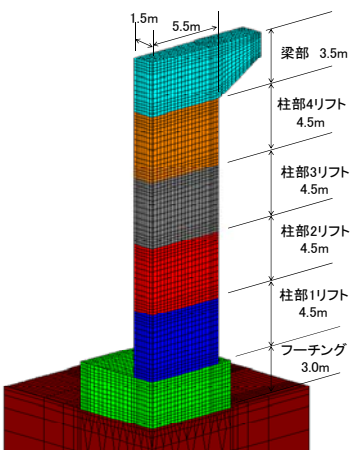


図-1 解析のモデル図

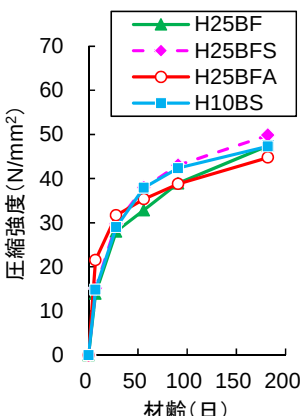


図-2 圧縮強度履歴

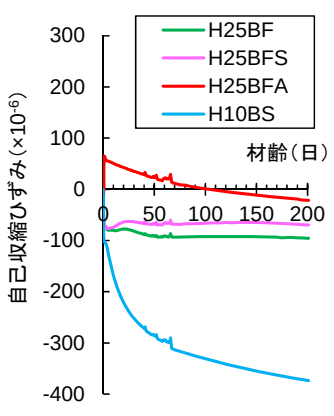


図-3 自己収縮履歴

表-1 検討配合および熱物性条件

| 配合名    | 水<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 粉体<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 水粉体<br>比<br>(%) | 粉体 (mass%) |     |     |     |    |     |    |   | 熱膨張<br>係数<br>(×10 <sup>-6</sup> /℃) | 水和発熱特性                                   |              |       |       |
|--------|---------------------------|----------------------------|-----------------|------------|-----|-----|-----|----|-----|----|---|-------------------------------------|------------------------------------------|--------------|-------|-------|
|        |                           |                            |                 | セメント       |     |     |     |    | 混和材 |    |   |                                     | $Q(t)=Q_{\infty}[1-\exp\{-r(t-t_0)^s\}]$ |              |       |       |
|        |                           |                            |                 | N          | BB  | M   | L   | H  | B   | F  | S |                                     | A                                        | $Q_{\infty}$ | $r$   | $t_0$ |
| N      | 165                       | 300                        | 55.0            | 100        | -   | -   | -   | -  | -   | -  | - | 10.00                               | 50.3                                     | 1.250        | 0.000 | 1.000 |
| BB     | 165                       | 300                        | 55.0            | -          | 100 | -   | -   | -  | -   | -  | - | 12.00                               | 51.3                                     | 0.809        | 0.000 | 1.000 |
| M      | 165                       | 300                        | 55.0            | -          | -   | 100 | -   | -  | -   | -  | - | 10.00                               | 43.9                                     | 0.657        | 0.000 | 1.000 |
| L      | 165                       | 304                        | 54.3            | -          | -   | -   | 100 | -  | -   | -  | - | 10.00                               | 40.9                                     | 0.637        | 0.000 | 0.545 |
| H25BF  | 165                       | 407                        | 40.5            | -          | -   | -   | -   | 25 | 45  | 30 | - | 11.58                               | 44.8                                     | 0.636        | 0.100 | 1.000 |
| H25BFS | 165                       | 392                        | 42.1            | -          | -   | -   | -   | 25 | 45  | 25 | 5 | 10.78                               | 42.7                                     | 0.734        | 0.112 | 1.000 |
| H25BFA | 165                       | 380                        | 43.4            | -          | -   | -   | -   | 25 | 45  | 25 | - | 9.93                                | 38.0                                     | 1.195        | 0.131 | 1.000 |
| H10BS  | 165                       | 388                        | 42.5            | -          | -   | -   | -   | 10 | 85  | -  | 5 | 11.47                               | 26.6                                     | 0.942        | 0.116 | 1.000 |

N：普通ポルトランドセメント，BB：高炉セメント B 種，M：中庸熱ポルトランドセメント，L：低熱ポルトランドセメント  
H：早強ポルトランドセメント，B：高炉スラグ微粉末 4000，F：フライアッシュ II 種，S：シリカフェム，A：無水石こう

キーワード 低炭素，温度ひび割れ，高炉スラグ微粉末，フライアッシュ，石こう  
連絡先 〒179-8914 東京都練馬区旭町1-39-16 前田建設工業（株）技術研究所 TEL 03-3977-2384

### 3. 解析結果および考察

図-2 に最高温度分布の一例として BB と H25BFA の結果を、図-3 に各ケースのフーチングの最高温度を示す。H25 の温度上昇量は 56~60℃で中庸熱セメントと同程度、H10 は 45℃で低熱セメントよりも小さくなり、低炭素型の発熱抑制効果が認められた。

図-4 に最小ひび割れ指数の分布状況の一例として BB, H25BFA および H25BFA (λ6) の結果を、図-5 および図-6 に各ケースのフーチングと柱 1 リフト中央内部の最小ひび割れ指数を示す。フーチングの指数は内部拘束型のひび割れを、柱の指数は外部拘束型のひび割れを示している。図-5 より、フーチングは発熱が抑制されているにも拘らずひび割れ指数が JIS セメントよりも小さく、内部拘束型のひび割れ発生リスクが高くなっている。これは低炭素型の強度発現が緩やかであるため、発熱による内部膨張に対して表面部の強度が十分でないことが起因していると考えられる。図-5 の H25 に着目すると H25BFA のひび割れ指数が H25BF や H25BFS よりも大きくなり、無水石こうの添加によるひび割れ抑制効果が認められた。これは、熱膨張係数や初期の強度発現が改善されたためと考えられる。一方、図-6 よりいずれの低炭素型も外部拘束型の温度ひび割れに対する抵抗性は優れており、特に H10 の優位性が顕著であった。また、H25BFA (λ6) は H25BFA に比べてフーチング、柱部のひび割れ指数が改善されており、低炭素型の適用にあたっては保温養生の実施を検討することが望ましいと言える。

### 4. まとめ

本検討は、呼び強度 24 相当の条件で橋梁下部構造をモデルとして低炭素型の温度ひび割れ抵抗性について検討した。本検討の範囲内で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 低炭素型の温度上昇量が抑制され、H25 は中庸熱セメントと同程度、H10 は低熱セメントよりも小さくなった。
- (2) 低炭素型は強度発現が遅く、内部拘束型のひび割れ発生リスクが高くなる傾向にあるが、無水石こうを使用することで改善することがわかった。一方、外部拘束型のひび割れに対する抵抗性は優れており、特に H10 の優位性が顕著であった。
- (3) 低炭素型の適用にあたっては、保温養生の実施を検討することが望ましい。

なお、本検討は土木研究所主催の共同研究の成果の一部である。

#### 参考文献

- 1) 舟橋ら：低炭素型のコンクリートの配合設計手法および硬化特性の検討，コンクリート工学年次論文集，No.36，pp.232-237，2014.7
- 2) 白根ら：低炭素型のコンクリートの熱膨張係数および断熱温度上昇特性に関する検討，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.69，pp.190-191，2014.9
- 3) 土木学会：2012 年制定 コンクリート標準示方書 [設計編]，2013.3

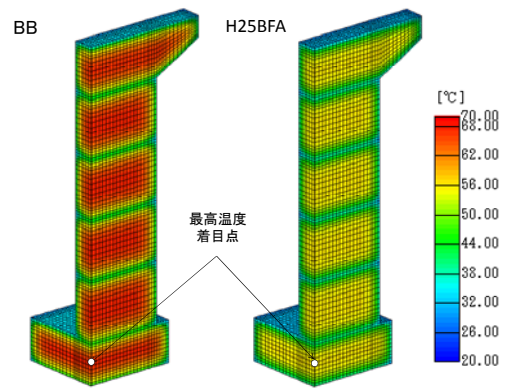


図-2 最高温度の分布状況の例

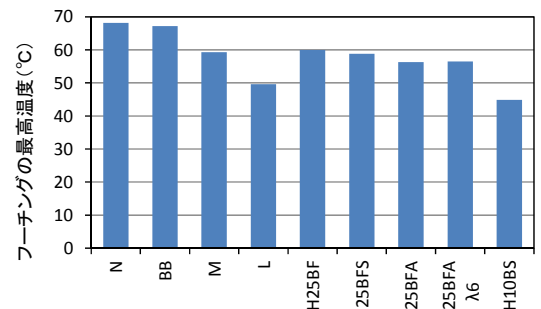


図-3 フーチングのコンクリート最高温度

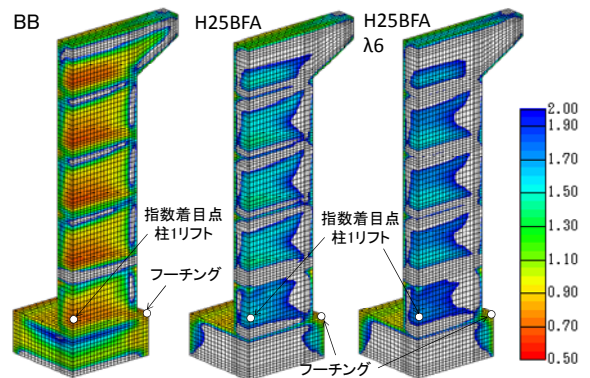


図-4 最小ひび割れ指数の分布状況の例

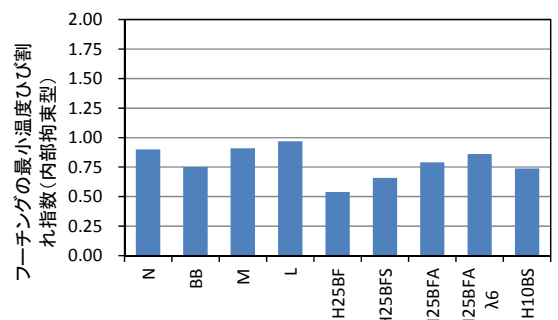


図-5 フーチングの最小ひび割れ指数

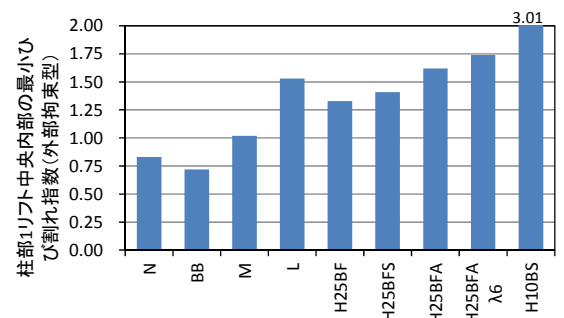


図-6 柱部1リフトの中央内部のひび割れ指数