

徳山下松港新南陽大橋(仮称)におけるマスコンクリートの温度応力解析について

山口県 豊田土木事務所 正会員 中原 健司

1. まえがき

本橋脚は、図-1に示すように、5.5×16.0m以上の断面と、2.5m以上の打設高さを持ち、マッシブなコンクリートに該当するため、温度ひび割れの発生が懸念された。一方、本橋脚は海洋上に建設されるため、ひび割れの発生を抑制する必要があった。本報告では、解析的に予測した温度ひび割れ指数を基にしてひび割れの制御対策を立案し、計測結果を基にして制御対策の有効性を確認した結果について述べる。

なお、本橋脚でのコンクリート打設は2000/3/11～8/25に行われ、計測を行った第1ロットは3/30に打設を行った。

2. 温度応力事前解析および制御対策

当初予定されていたコンクリートでは、高炉セメントB種を用いることとなっており、配合は表-1に示すとおりであった。なお、本橋脚には2種類の強度があり、第1～9ロットは24N/mm²、第10ロットは30N/mm²である。高炉セメントB種を用いた場合の断熱温度上昇量:Q_∞は、打設時のコンクリート温度によって若干の差は有るが、50～52℃であった。この配合でのひびわれ指数を、3次元有限要素法解析で推定した結果を図-2に示す。最小ひびわれ指数は0.32と予測され、幅の広い温度ひび割れが発生すると推測された。

温度ひび割れの制御対策の候補として、①低発熱セメントの使用、②低発熱セメントの使用+パイプクーリングの実施、および③超低発熱セメントの使用をとりあげ、ひび割れ抑制効果を解析によって推定した。最小ひびわれ指数は、①では0.51、②では0.95、③では図-2に示すように0.67となった。なお、低発熱セメントを用いた場合のQ_∞は40～41℃、超低発熱セメントのQ_∞は24～26℃であり、パイプクーリングについては、パイプ間隔1m程度、パイプ径20mm、流速80cm/sec、水温15℃程度とした。

温度ひび割れ制御対策は、ひび割れは許容するが、幅を制限することとし、ひびわれ指数0.7以上¹⁾を目標とし、施工性・経済性上問題のないことも考慮して、③超低発熱セメントの使用を採択した。この配合を表-2に示す。

3. 第1ロットの温度応力の計測

温度ひび割れ制御対策の有効性を確認するため、実構造物において温度応力の計測を行った^{2),3)}。計測の対象は、外部拘束が顕著と考えられた第1ロットとした。計測機器は橋脚の中央断面に配置し、ひずみの計測は橋脚の長軸方向とした。計測機器の配置を図-3中に示す。

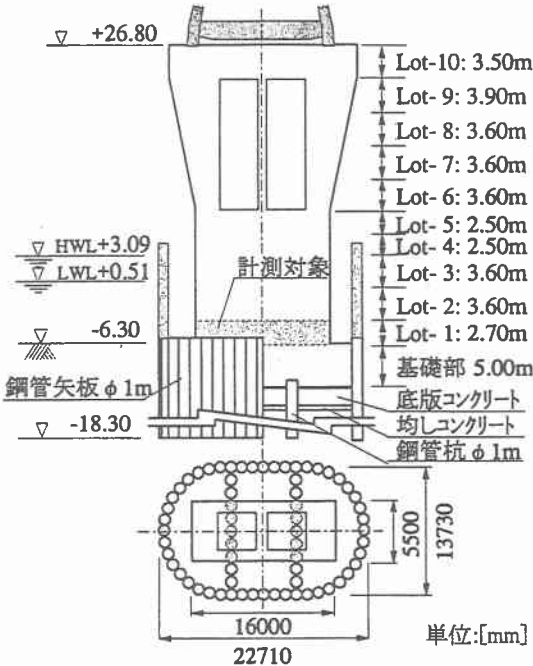


図-1 橋脚の構造概要

表-1 コンクリートの配合（高炉セメントB種）

呼び強度 [N/mm ²]	W/C [%]	単位量 [kg/m ³]				
		セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
24	54	308	166	769	1084	3.33
30	46	361	166	719	1087	3.90

表-2 コンクリートの配合（超低発熱セメント）

呼び強度 [N/mm ²]	W/C [%]	単位量 [kg/m ³]				
		セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
24	55	291	160	779	1076	3.14
30	47	349	164	721	1067	3.77

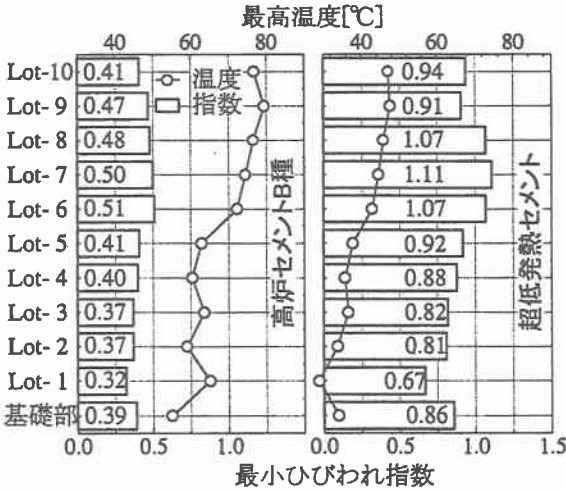


図-2 最高温度・ひびわれ指数の事前解析結

温度の計測結果を図-3に示す。第1ロットの最高温度は橋脚の中央部において、材齢3日目に40.5℃となった。材齢15日目に第2ロットを打設したため、上部の温度が一時的に上昇した。

ひびわれ指数の計測結果を図-4に示す。ひびわれ指数は、圧縮強度試験(φ10×20cm標準養生供試体)の結果から推定した引張強度を、有効応力で除して求めた。有効応力は、計測された全ひずみと、橋脚内部で計測した自由ひずみから有効ひずみを算定し、これに計測した有効応力から推定した有効弾性係数を乗じて求めた。第1ロットの最小ひびわれ指数は側部において、材齢6.5日目に1.39となった。第1ロットの長期的なひびわれ指数は、5.0を下回ることにはなかった。計測結果より第1ロットにはひび割れが発生する可能性はないと判断され、目視調査でも第1ロットにひび割れは発見されなかった。

4. 制御対策の有効性評価

温度ひび割れの有効性を評価するためには、本橋脚の全ロットのひびわれ指数を算定し、また、高炉セメントB種を用いた場合でのひびわれ指数を推定する必要がある。そこで、第1ロットでの計測結果を用いて超低発熱セメントの物性を推定し、この物性と計測した外気温を用いて事後解析を行った。また、高炉セメントB種の場合は、事前解析と同じ物性と、計測された外気温を用いて事後解析を行った。第1ロットの事後解析の結果を図-3および図-4に示す。温度およびひびわれ指数の経時変化は、計測結果と概ね一致し、解析は妥当であると考えられた。

全ロットの事後解析の結果を図-5に示す。最高温度は高炉セメントB種の場合は第9ロットで88.7℃となり、超低発熱セメントの場合は56.0℃となった。最小ひびわれ指数は、高炉セメントを用いた場合は第2ロットで0.36、超低発熱セメントでは0.66となった。超低発熱セメントを用いることによって、最高温度を32.7℃低減させ、最小ひびわれ指数を0.3向上させることができたと推測された。また、最小ひびわれ指数は目標とした0.7を若干下回ったが、ひび割れ幅を抑制できる範囲内にあったと考える。

施工後の目視調査では、材齢初期に幅の極細い(0.03mm以下)ひび割れを第5～10ロットに発見した。しかし、これらは許容ひび割れ幅⁴⁾0.24mm(=0.0035×かぶり70mm)以下であり、耐久性に悪影響を及ぼす可能性はない。

5. まとめ

本橋脚では、温度ひび割れ制御対策として、有効性の解析的な予測結果を基にし、超低発熱セメントの使用を採択したことによって、合理的にひび割れを制御することができたと考える。

【参考文献】1) コンクリート標準示方書[平成8年制定]施工編, 土木学会, pp.173-193, 1996.3 2) 中原健司, 藤江耕二, 高橋 攻, 壹岐直之: 超低発熱セメントを用いた実構造物での温度応力計測, コンクリート工学年次論文報告集, JCI, Vol.22, No.2, pp.1087-1092, 2000.6 3) 秋山哲治, 中原健司, 高橋 攻, 壹岐直之: 超低発熱セメントの使用による温度ひび割れ制御対策, コンクリート工学年次論文報告集, JCI, Vol.23, 2001.7 4) コンクリート標準示方書[平成8年制定]設計編, 土木学会, pp.86-95, 1996.3

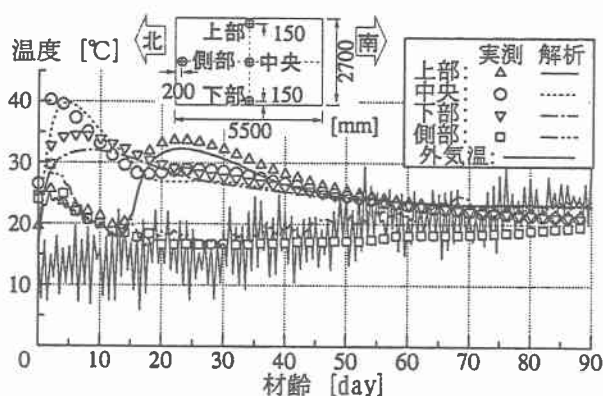


図-3 温度の計測結果と解析結果

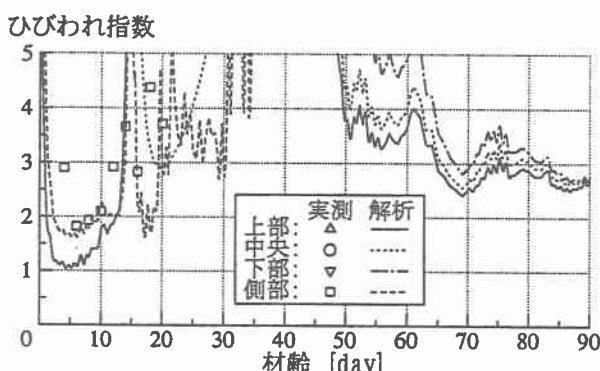


図-4 ひびわれ指数の計測結果と解析結果

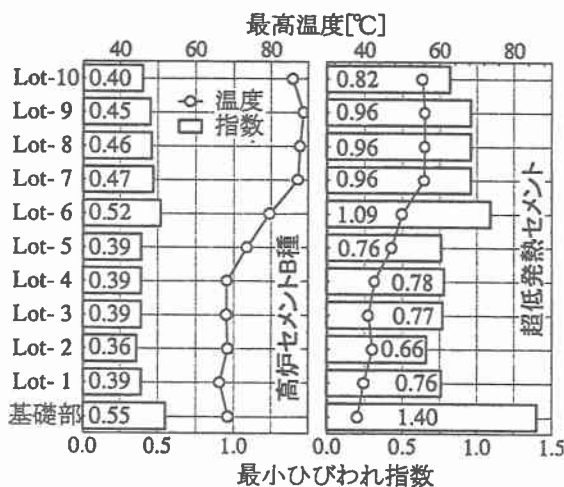


図-5 最高温度・ひびわれ指数の事後解析結果