膨張材と低発熱セメントを併用した新野川第一発電所の温度ひび割れ対策

㈱奥村組　正会員　○外木場　康将
山形県企業局　東谷　一義
㈱奥村組　大場　昌彦
㈱奥村組　正会員　上山　悟

1．はじめに

新野川第一発電所基礎部は山形県長井市内に建設する水力発電所の一部であり，B4 層構造でコンクリート量は 5820m^3 である．基礎部は，底盤部がマスコンクリートであり，他の箇所も部材厚が大きく，コンクリートの水和熱に起因する温度ひび割れの発生が予想され対策が必要となった．事前検討の結果，底盤部では，大断面かつ夏期打設のため，膨張材ではひび割れの抑制効果が小さく，低発熱セメントを適用した．他の箇所は膨張材の効果が期待でき，高炉 B 種セメントと膨張材を混合させたものを使用した．発電所の標準構造ならびに使用したセメントの区分を**図-1** に示す．また，コンクリート打設・養生時にはコンクリートと外気の温度計測を行い，その結果から逆解析により温度ひび割れの再検討を行い，対策工の効果と温度ひび割れによる構造物の健全性への影響について検証した．検討手法は，3 次元有限要素法による非定常熱伝導解析・温度応力解析を採用し，一般汎用解析コード“FEAST”を使用した．

2．計測・解析の概要

図-1 に示す箇所を検討対象領域とする．同箇所は，基礎部の中で最も部材厚が大きく，温度ひび割れが発生しやすいと考えられる．検討概要を**図-2** に示す．コンクリートの温度解析において，温度分布はコンクリートの熱伝導率，熱伝達係数，発熱関数に依存し，その中でも発熱関数の設定の影響が最も大きい．今回の検討は，１）温度計測の結果をもとに逆解析（カルマンフィルター理論）を行い，発熱関数を同定，２）新たに算定した発熱関数のもと，非定常熱伝導解析・応力変形解析によりコンクリートのひび割れの検討，の順で行う．計算メッシュ・打設リフト図を**図-3** に示す．温度計測器は熱伝対を使用し，**図-1**，**図-3** に示す断面の部材中央と外側に配置した．計測器の配置状況を**図-4** に示す．

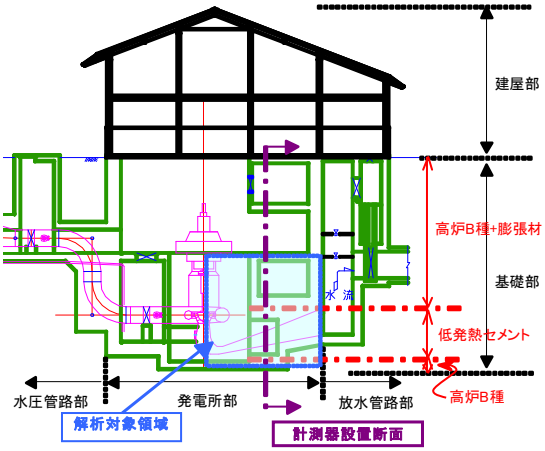

図-1 標準構造図とセメント区分

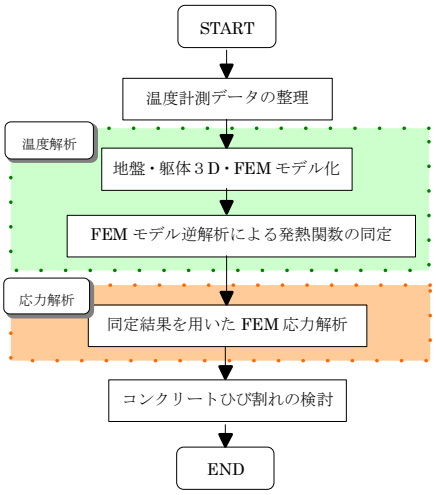

図-2　検討フロー図

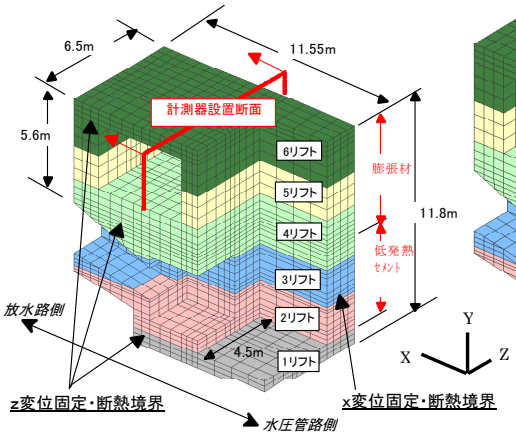

図-3　計算メッシュと打設リフト

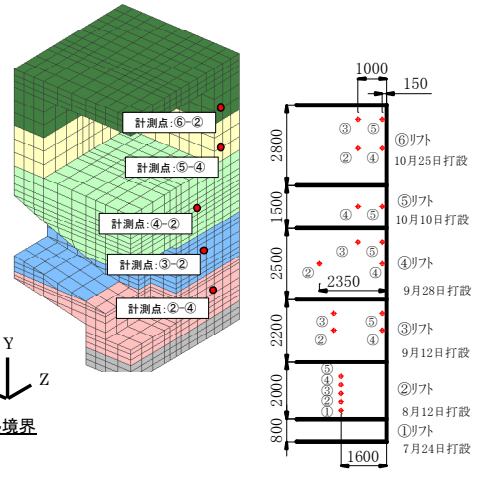

図-4　計測器の配置状況

キーワード　膨張材，低発熱セメント，有限要素法，逆解析
連絡先　〒108-8381 東京都港区芝 5-6-1 ㈱奥村組 TEL:03-5427-8041 FAX:03-5427-8104

3．計測温度と同定結果

計測結果から 2 リフト（低発熱セメント），5 リフト（高炉 B 種+膨張材）の発熱関数の同定を行った．その他のリフトは，2 リフトならびに 5 リフトの結果をもとに発熱関数を算定した．なお，算定にはコンクリート標準示方書(土木学会)で提案されている打設温度の補正表を参照した．使用するコンクリートの配合を**表-1**，各リフトのコンクリートの発熱関数を**表-2** に示す．**図-5** に計測結果と解析による温度変化を示す．**図-5** 左側が同定解析の結果であり，**図-5** 右側が算定した発熱関数をもとに計算した結果である．同図から比較的良好に温度変化を再現できていることがわかる．

表-1　コンクリート配合

セメント種類	ｾﾒﾝﾄ (kg/m^3)	水 (kg/m^3)	細骨材 (kg/m^3)	粗骨材 (kg/m^3)	混和剤 (kg/m^3)	備　考 材齢28日管理 呼び強度
高炉Ｂ種	313	165	720	1073	3.13	24
低発熱ポルトランド	316	147	700	1147	4.74	24
高炉Ｂ種（膨張材入り）	279	159	757	1063	3.89	24

表-2　発熱関数一覧

リフト		セメント種類	$T(t)=T_0(1-e^{-rt})$ T_0	r
⑥リフト		高炉B種+膨張材	49.0	0.980
⑤リフト		高炉B種+膨張材	47.0	1.290
④リフト	上部	高炉B種+膨張材	47.0	1.348
	下部	低発熱ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞ	39.8	0.603
③リフト		低発熱ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞ	40.2	0.497
②リフト		低発熱ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞ	40.0	0.550
①リフト		高炉B種	46.3	1.200

4．温度応力ひび割れ解析と評価

算定した発熱関数を用いて，非定常熱伝導解析・応力解析を行った．コンクリートの力学特性は土木学会のコンクリート標準示方書に則した値を使用した．2 リフトにおける計測点近傍のひび割れ指数の経時変化を**図-6** に，施工開始から 300 日後のひび割れ指数コンターを**図-7** に示す．解析の結果，ひび割れ指数は外面・内面とも 1.0 以上を確保しており，8～9 ヶ月後には 1.0 以上で安定もしくは上昇傾向を示している．また，現場でのコンクリート壁面の目視調査から，水和熱に起因する温度ひび割れは発生していない．

以上より，温度計測結果に基づく有限要素解析の結果および現場でのひび割れ調査から，水和熱に起因する温度ひび割れに対して，対策工の効果が充分現れており，構造物としての健全性に問題はないと判断される．

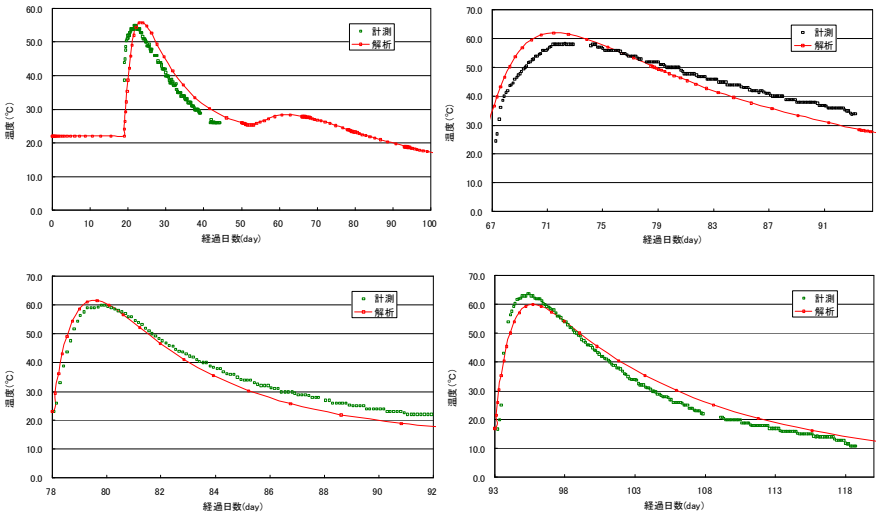

図-5 計測結果と解析値

（左上：②-④，左下：⑤-④，右上：④-②，右下：⑥-②）

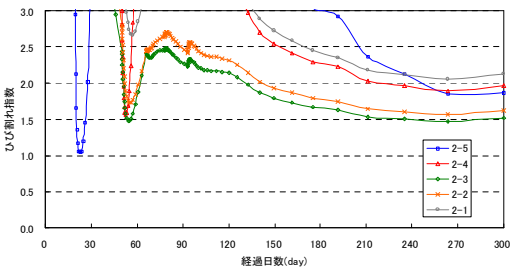

図-6　ひび割れ指数経時変化（2 リフト）

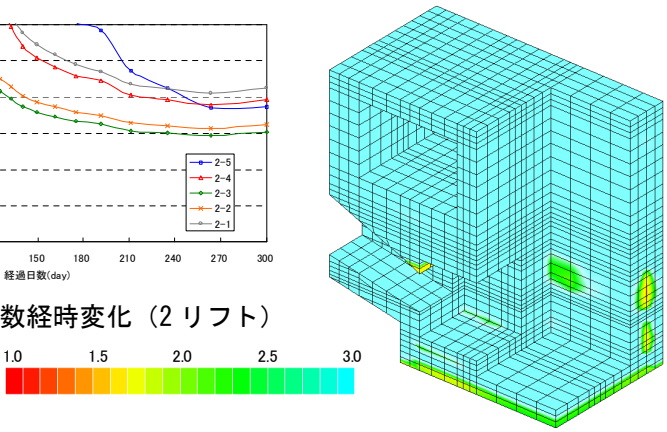

図-7　ひび割れ指数コンター図（300 日後）

5．まとめ

新野川発電所基礎部躯体工事において，水和熱に起因する温度ひび割れの対策として，低発熱セメントと膨張材の併用を行った．温度計測，逆解析による数値解析，現場でのひび割れ調査等から，これらの対策工が有効であることが確認できた．今後，他の構造物においても，部材厚や打設時期の違いを考慮して，低発熱セメントと膨張材を有効に使い分けることにより，コスト・施工面からもより有効な温度ひび割れの対策が可能であることが示唆できた．