

コンクリート製水槽構造物のひび割れ制御に関する検討

新日本製鐵(株) 正会員 ○花田 賢師 赤司 有三
 鹿島建設(株) 正会員 横関 康祐 江頭 正之

1. はじめに

これまで、コンクリート製水槽構造物では、鉄筋コンクリートのひび割れによる漏水の問題がしばしば起きている。鉄筋コンクリートのひび割れの原因としては、①外力に起因する発生応力によるひび割れ（水圧や温度荷重）、②セメントの水和熱によるひび割れ（外部拘束によるひび割れ）、③乾燥収縮によるひび割れが考えられるが、今回、延長が60mを超えるコンクリート製水槽構造物を建設するあたり、特に②セメントの水和熱によるひび割れ（外部拘束によるひび割れ）を制御すべく、検討を行った。本稿では、FEM解析によってセメントの水和熱によるひび割れ（以下、水和熱ひび割れ）を照査し、実構造物でモニタリングした結果を報告する。

2. FEM解析による水和熱ひび割れ照査

図-2.1に、解析に用いたコンクリート製水槽構造物の解析モデルを示す。解析モデルは、A、BおよびC水槽の複合構造物を模擬した半断面実規模モデルとし、ひび割れ指数と発生するひび割れ幅の予測をするために、表-2.1に示す解析条件を用いて、3次元FEMによる事前解析を行った。なお、力学条件はJCIマスコンクリートのひび割れ制御指針2008²⁾並びにメーカー技術資料に基づく。

本構造物は水密性を必要とするため、事前解析時のひび割れ指数は、2007年制定コンクリート標準示方書³⁾に示される判定基準から、1.45以上（ひび割れの発生をできるだけ制限したい場合）を目標として、コンクリート配合、ひび割れ誘発目地間隔を設定したが、解析の結果、特殊なセメントの使用や施工をしなければ、目標とするひび割れ指数に達しなかった。したがって、本構造物ではひび割れを許容するが、学・協会の判定基準に基づく水密性を考慮し、許容ひび割れ幅を0.1mmに抑制する設計思想とした。ひび割れ幅が許容値を満足しない場合、ひび割れ制御鉄筋を追加することで、許容値以下に抑制することとした。

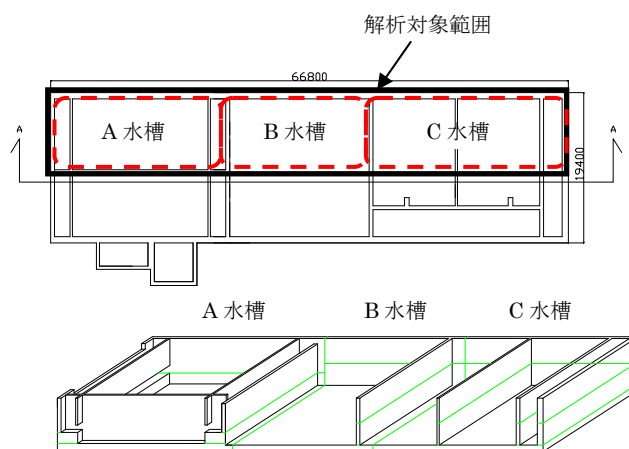


図-2.1 FEM解析モデル

表-2.1 解析条件

配合	呼び方	27-12-20N
	呼び強度(N/mm ²)	27
	粗骨材の最大寸法(mm)	20
	スランプ(cm)	12
	水セメント比(%)	53.0
	細骨材率(%)	44.0
	単位量(kg/m ³)	水 W 175
		セメント C 330
		細骨材 S 778
		粗骨材 G 990
単位量(kg/m ³)	混和剤 Ad	3.50
		AE減水剤
	打設温度(℃)	19.2+5.0=24.2
	比熱(kJ/kg℃)	1.15
	熱伝導率(W/m℃)	2.7
	密度(kg/m ³)	2,300
	断熱温度上昇量(℃)	Q _∞ =49.75 r=1.222
表面熱伝導率(W/m ² ℃)	側面：合板(8), 3日目脱型(14)	
	上面：散水+マット(14)	
	頂版下面：合板(8), 14日目脱型(14)	

表-2.2 C水槽におけるひび割れ指数およびひび割れ幅の算定結果

	FEM解析によるひび割れ指数	設計時の鉄筋比(%)	ひび割れ幅(mm)	判定
2リフト	1.37	0.38	0.13	>0.10NG
1リフト	0.99	0.38	0.20	>0.10NG

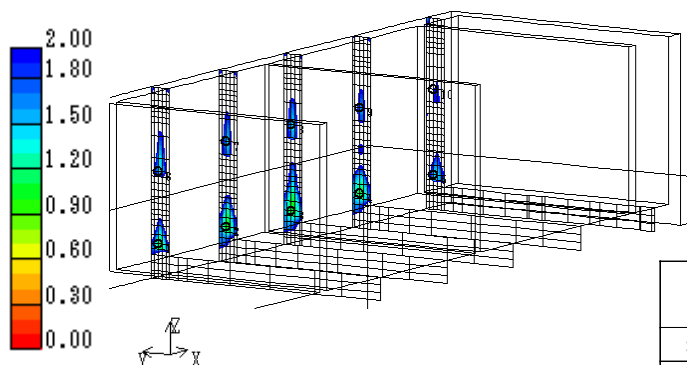


図-2.2 側壁の誘発目地間中央部断面のひび割れ指数のコンタ図

キーワード 水和熱, ひび割れ, FEM

連絡先 〒293-8511 千葉県富津市新富 20-1 新日本製鐵(株) 技術開発本部 TEL 0439-80-2966

ここで、FEM 解析結果について記述する。図-2.2 は、C 水槽における側壁の誘発目地間中央部断面のひび割れ指数のコンタ図である。これによると、1 リフト、2 リフトでの最小ひび割れ指数は表-2.2 のようになり、ひび割れ幅が許容値を満足しないため、ひび割れ制御鉄筋によるひび割れ幅の制御を実施した。

側壁の水平鉄筋は、外側に D29 と D16 を交互に 250mm ピッチ、内側に D25 と D16 を交互に 250mm ピッチで配筋し、表-2.3 に示すようにひび割れ幅を制御した。

以上のひび割れ幅の算定には、JCI マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008²⁾に示される式-1 を用いた。

$$W_c = \gamma a (-0.071/P) \times (I_{cr} - 2.04) \quad \text{(式-1)}$$

ここに、P:鉄筋比、I_{cr}:ひび割れ指数、 γa :(=1.0)。

3. モニタリングによる評価

実施後、2. で述べた FEM 解析結果に基づく水和熱ひび割れ対策の効果を評価するためにモニタリングを実施した。モニタリングでは、側壁部のひび割れ発生状況を確認した。

図-3.2 に、C 水槽側壁部のひび割れ状況を示す。このとき、2 リフト目については、ひび割れが発生していないため、1 リフト目のみを示している。図-3.2 によると幅 0~0.1mm 程度のひび割れが発生した。以上より、ひび割れ幅は、表-2.3 に示すひび割れ幅の算定結果に対し、おおむね整合性が取れていることが分かる。

また、今回のひび割れは1 リフト目のみに発生し、2 リフト目には発生しなかった。この原因としては、ひび割れ指数の違い(1 リフト:0.99, 2 リフト:1.37)が影響していると考えられる。学・協会の判定基準では、ひび割れ指数とひび割れ発生確率の関係について、表-3.1 のように示されている。本構造物では、学・協会の判定基準に対し、ひび割れの発生状況は十分に再現性のある結果となった。

4. まとめ

今回、FEM 解析によって水和熱ひび割れを照査し、コンクリート製水槽構造物の水密性を確保すべく、許容値を設定し、ひび割れ制御鉄筋を設置することで、許容値以下に抑制することにしたが、FEM 解析結果とモニタリング結果がおおむね整合性を得られた結果となった。

参考文献

- 1) 土木学会 2007 年制定 コンクリート標準示方書【設計編】
- 2) 日本コンクリート協会 マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008

表-2.3 C 水槽におけるひび割れ制御鉄筋を用いた場合のひび割れ幅の算定結果

	ひび割れ制御鉄筋 追加時の鉄筋比(%)	ひび割れ幅 (mm)	判定
2リフト	0.49	0.10	≦0.10OK
1リフト	0.77	0.10	≦0.10OK

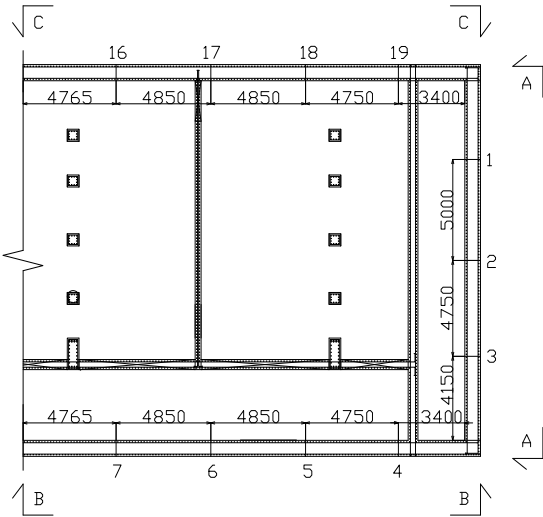
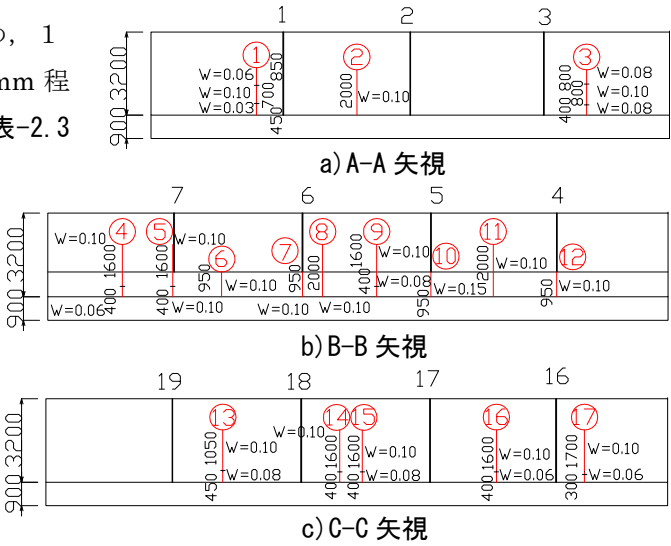


図-3.1 C 水槽平面図



1～19—：ひび割れ誘発目地 ①～⑱—：ひび割れ部

図-3.2 C 水槽側壁部のひび割れ発生状況

表-3.1 学・協会の判定基準

要求品質	ひび割れの 発生確率	ひび割れ指数	
		土木学会	JCI
ひび割れを 防止したい場合	5%	1.75 以上	1.85 以上
ひび割れの発生を できるだけ 制限したい場合	25%	1.45 以上	(1.25 以上)
ひび割れの発生を 許容するが、 ひび割れ幅が過大と ならないように 制限したい場合	85%	1.0 以上	(0.78 以上)