

大規模水門の温度ひび割れ対策について

(株)鴻池組 本社 土木技術部
(株)鴻池組 東北支店 土木部

正会員 ○金本 和憲 正会員 為石 昌宏
牛嶋 浩一朗

1 はじめに

「舞川水門」は洪水調整機能を有する遊水地への中小洪水の流入防止と洪水後の貯留水排除を目的に、「一関遊水地事業」の一環として岩手県一関市に建設される全長109m, 最大幅 60m, 堰柱高さ 23m, コンクリートの総使用量が 25000m³ の大規模水門であり, 有害な温度ひび割れの発生が懸念されたことから, 3次元温度応力解析を行い, 本構造物に対して有効なひび割れ対策の検討を行った。

図-1に, 舞川水門一般図を示す。本構造物は, 本体部と翼壁部5ブロック(川表A, B, 川裏A, B, C)の合計6ブロックに分類される。本稿は, 使用コンクリート量が6ブロックの中で最も多く, 最大壁厚 4.5m を有する本体壁(約8000m³)の対策について取りまとめたものである。

2 解析ケース及び条件

表-1に解析ケースを示す。ひび割れ指数(I_{cr} =引張強度/発生応力) $I_{cr}=1.00$ を評価基準とした。概略設計での対策工であるパイプクーリングを基に対策を検討した。配合を表-2に示す。セメントは高炉B種とした。膨張材を使用する解析ケースでは, 単位セメント量を膨張材の使用量で置換した。

3 無対策時に生じる現象

図-2に, 無対策の場合における解析結果を示す。本体壁は, 冬季から翌年の秋季までの期間, 約13リフトにかけて打設する計画となっており, 断面「中心部」は, 0.35~0.68といずれも1.00を大きく下回る結果であった。また, 一般に温度ひび割れに対して有利な時期である冬季においても0.5未満となる箇所が生じた。

ひび割れ指数履歴図より「中心部」のみならず「表面部」における全断面において, 外部拘束による引張応力を要因とした貫通ひび割れが生じる可能性が高いと予想された。

4 温度ひび割れ対策工の検討

表-3に, 今回検討を行った各ケースの解析のうち, 最もひび割れ指数が悪化した堰柱(断面減少部: 4.0m 幅)夏季打設リフトにおける解析結果の一覧を示す。

ケースB(パイプクーリングのみ)は, 隣り合うパイプの間隔を500mmとし, パイプとコンクリート表面間は1000mm, 通水温度15.0℃, 通水量15L/min, 通水期間は, 躯体内部温度が15.0℃に達してから5.0日間とした。図-3にクーリングパイプ配置概略図(10LIFT)を示す。パイプクーリング実施により部材内部温度は17.8℃低減され50.2℃となった。最小ひび割れ指数は0.15良化し0.50となったものの, 評価基準を満足しなかった。

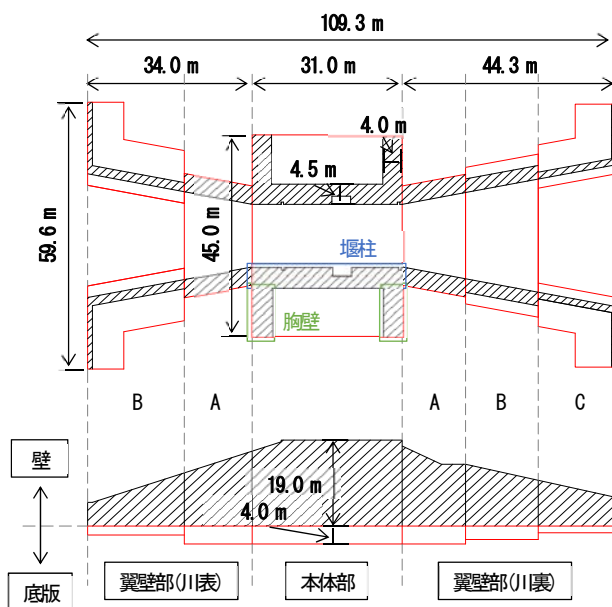


図-1 舞川水門一般図(平面図, 側面図)

表-1 解析ケース

	ケースA	ケースB	ケースC	ケースD	ケースE	ケースF
パイプクーリング	-	○	○	○	○	○
打設高さの抑制(1.5m→1.0m)	-	-	○	○	○	○
膨張材使用	-	-	-	○	○	○
ひび割れ誘発目地設置	-	-	-	-	○	○
クーリングパイプ配置見直し	-	-	-	-	-	○

表-2 コンクリート配合表

	配合	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				
			水 W	セメント C	膨張材	細骨材 S	粗骨材 G
標準配合	24-8-20-BB	53.8	161	299	0	810	1053
変更配合	24-8-20-BB	53.8	161	279	20	810	1053

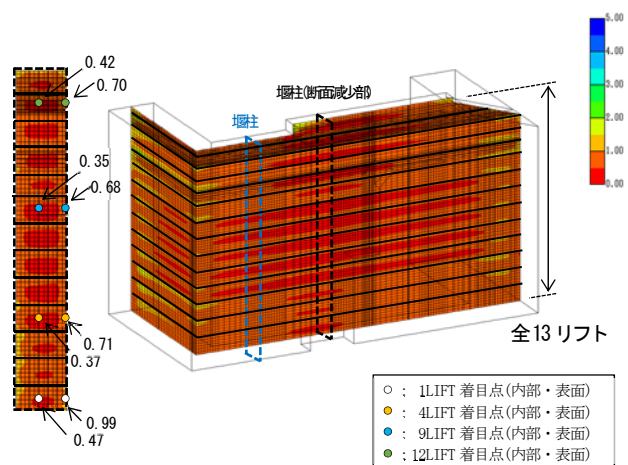


図-2 部材断面 最小ひび割れ指数分布図(無対策)

キーワード: 大規模水門, パイプクーリング, マスコンクリート, 温度ひび割れ

連絡先: 〒541-0057 大阪市中央区北久宝寺町3-6-1 (株) 鴻池組 土木事業総轄本部 技術本部 土木技術部

そこで、ケース C (1 リフトあたりの打設高を 1.5m から 1.0m に縮小) で部材内部温度の更なる低減と、クーリングパイプ総延長を約 170000m から 140000m にすることで経済性の向上を図った。部材内部温度は 2.6℃低減され、47.6℃となったが、評価基準を満足しなかった。

高炉 B セメントを用いたコンクリートの自己収縮ひずみは温度依存性が高く、水和熱により大きくなることが知られている¹⁾ことから、自己収縮により生じる引張応力の低減が重要であると考えられた。そのため、膨張材を追加した。その結果、発生引張応力は 1.1N/mm²低減され、最小ひび割れ指数は、0.27 良化し、0.80 となった。

しかし、夏季においては、上記の対策を講じても目標とするひび割れ指数を満足しなかったため、ケース E (ひび割れ誘発目地を設置) について検討を行った。ひび割れ誘発目地の設置位置は、図-4 に示す発生応力ベクトル図を元に検討した。具体的には、堰柱において x 方向に引張力が生じた場合、①に示す箇所は断面が減少しているため、より大きな応力が生じる。そこで、断面減少部を挟む形でひび割れ誘発目地を設置し、発生引張応力の低減を図った。また、②に示す箇所は堰柱と胸壁の境目となる隅角部であり、堰柱で生じる x 方向の応力と胸壁で生じる y 方向の応力が合力となり、大きな発生応力となる箇所であったため、その境目にひび割れ誘発目地を設置し、合力として部材に作用する応力を分散させた。部材内部温度はケース C と同じだが、最小ひび割れ指数は 0.49 改善するに至り、1.29 となった。ケース E にて、断面内部ではいずれの箇所においても 1.00 を上回る結果となったが、表面付近において 1.00 を下回る箇所が確認された。そこで、クーリングパイプ配置を見直し、パイプとコンクリート表面の距離を 1000mm から 500mm としたケース F の解析を行った。その結果、部材表面温度は 4.1℃低減され 36.2℃に、最小ひび割れ指数は 0.52 良化し 1.35 となった。ケース F にて、断面内部・表面部全ての箇所において最小ひび割れ指数 1.00 を上回った。

5 まとめ

本検討では、堰柱部において壁厚 4.5m、最大高さ 19.0m、最大拘束延長 31.0m を有する大規模な水門における温度ひび割れ制御方法として、①水和熱の抑制(パイプクーリングの実施、打設リフト高の低減)、②収縮低減による発生引張応力の低減(膨張材の使用)、発生引張応力の分散(適切な位置に対するひび割れ誘発目地の設置)、の①～③を組み合わせることが有効であると明らかになった。本検討が、同種・同規模の構造物に対して、ひび割れ対策検討を行う際に一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会：ひび割れ制御指針 2016

表-3 各対策工解析結果一覧(夏季打設リフト)

			共通項目		堰柱 4.5m幅		堰柱(断面減少部) 4.0m幅	
			打設日	打設温度 (℃)	最高温度 (℃)	最小Icr	最高温度 (℃)	最小Icr
ケースA	9LIFT	中心部	2019/8/10	28.9	68.2	0.65	68.0	0.35
		表面			45.1	0.68	45.1	0.68
ケースB	9LIFT	中心部			51.2	0.68	50.2	0.50
		表面			44.3	0.61	44.3	0.57
ケースC	14LIFT	中心部			48.3	0.69	47.6	0.53
		表面			42.8	0.64	42.6	0.56
ケースD	14LIFT	中心部			48.3	0.89	47.6	0.80
		表面			42.8	0.88	42.6	0.77
ケースE	14LIFT	中心部			48.3	1.09	44.9	1.29
		表面			42.8	0.85	40.3	0.83
ケースF	14LIFT	中心部			49.1	1.13	45.1	1.25
		表面			41.7	1.25	36.2	1.35

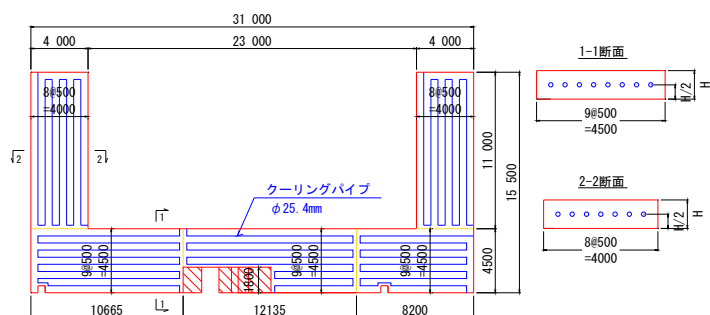


図-3 クーリングパイプ配置概略図 (10LIFT)

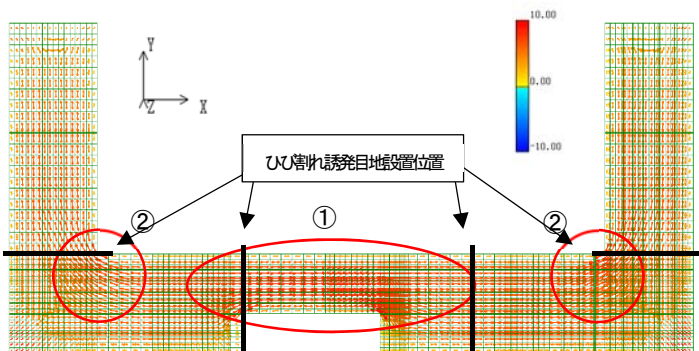


図-4 発生応力ベクトル概略図(無対策)