

## コンクリートポンプを用いた砂防堰堤の打設のための温度応力解析

国土交通省 近畿地方整備局 六甲砂防事務所 辻田英幸, 長尾壮治  
協和設計株式会社 西岡孝尚, 南部啓太, ○安田真悟

### 1. はじめに

砂防堰堤はマスコンクリートであり、一般的にはコンクリートバケットを用いて打設される。砂防堰堤は使用するコンクリート量が膨大で、打設ブロック数が多くなるため、養生日数が長期に亘り、工事の全体工程に大きな影響を及ぼす。また、マスコンクリートに生じるひび割れを抑制するため、単位セメント量が小さいスランブ 5cm のコンクリートをバケットにより打設する必要があるが、この方法は手間と時間を要し、効率的ではない。砂防堰堤は山地部や急峻な地形を呈する箇所に設置されることが多く、打設方法や打設量に制約が発生するなど、施工上及び生産性向上のための大きな課題である。

一方で、ポンプ打設により砂防堰堤を築造することができる場合、現場の省力化に伴う施工性が飛躍的に高まり、生産性の大きな向上が期待できる。ポンプ打設にはポンプ圧送時の閉塞や打設時の材料分離等を防止するために、スランブ 8cm 以上が必要となるが、単位セメント量が大きくなればひび割れ発生リスクは増大するため、ポンプ打設による砂防堰堤の築造には課題があると考えられる。

そこで、本稿ではコンクリートの温度応力解析により温度ひび割れ指数をもとめ、ひび割れと指数の関係を評価してポンプ打設の実現性を検討し、生産性向上について検討した結果を報告する。

### 2. 温度応力解析

#### 2.1 概要

砂防堰堤のコンクリート打設時には、躯体の内部と外部の温度差に起因する引張応力が発生し、内部拘束によるひび割れが生じる可能性がある。これら初期のひび割れが施工段階で発生する可能性について、コンクリート打設計画に従い、3次元有限要素法解析を用いて、コンクリートの温度解析及び温度応力解析を行ってひび割れ指数を算出し、施工時に発生するひび割れを発生確率で評価した。

#### 2.2 解析条件

解析に用いるコンクリートの規格は計画地周辺のコンクリート工場で作られている実績値を用いた。解析に用いたコンクリートの規格を表1に示す。解析は全6ケースを実施したが、ここではスランブ値の違いについて考察し、ポンプ打設の実現性について報告するものである。

ケース①：業務地周辺の砂防工事で用いられている 24-5-40BB を最も外気温が高い**夏季**に打設

ケース②：最も外気温が高い夏季に、ポンプ打設を想定し、24-8-40BB を打設

ケース③：最も外気温が低い**冬季**に 24-5-40BB を打設

ケース④：通常、砂防工事に用いられる 18-5-40BB を最も外気温が低い冬季に打設

ケース⑤：18-5-40BB を冬季に打設し、下流側型枠を景観に配慮した化粧型枠(発泡スチロール)から、**普通型枠**に変更

ケース⑥：18-5-40BB を冬季に打設し、下流側型枠を景観に配慮した化粧型枠(発泡スチロール)から、普通型枠に変更し、コンクリートに**膨張剤**を添加

表1 業務地周辺のコンクリート規格

【24-5-40BB】							
種別	呼び強度 N/mm <sup>2</sup>	粗骨材の 最大寸法 mm	スランブ cm	セメントの種類			
無筋コンクリート	24	40	5	高炉セメントB種			
単位量(kg/m <sup>3</sup> )						W/C (%)	S/a (%)
セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤	55	42.5	
278	153	789	1085	2.78			
【24-8-40BB】							
種別	呼び強度 N/mm <sup>2</sup>	粗骨材の 最大寸法 mm	スランブ cm	セメントの種類			
無筋コンクリート	24	40	8	高炉セメントB種			
単位量(kg/m <sup>3</sup> )						W/C (%)	S/a (%)
セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤	55	42.7	
287	158	783	1070	2.87			
【18-5-40BB】							
種別	呼び強度 N/mm <sup>2</sup>	粗骨材の 最大寸法 mm	スランブ cm	セメントの種類			
無筋コンクリート	18	40	5	高炉セメントB種			
単位量(kg/m <sup>3</sup> )						W/C (%)	S/a (%)
セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤	66	44.4	
235	155	838	1067	2.35			

※工事実績より

#### 2.3 解析結果

温度解析により温度分布を求め、応力解析によりひび割れ指数を算定した。ひび割れ指数の分布図を図1に示す。ここで、

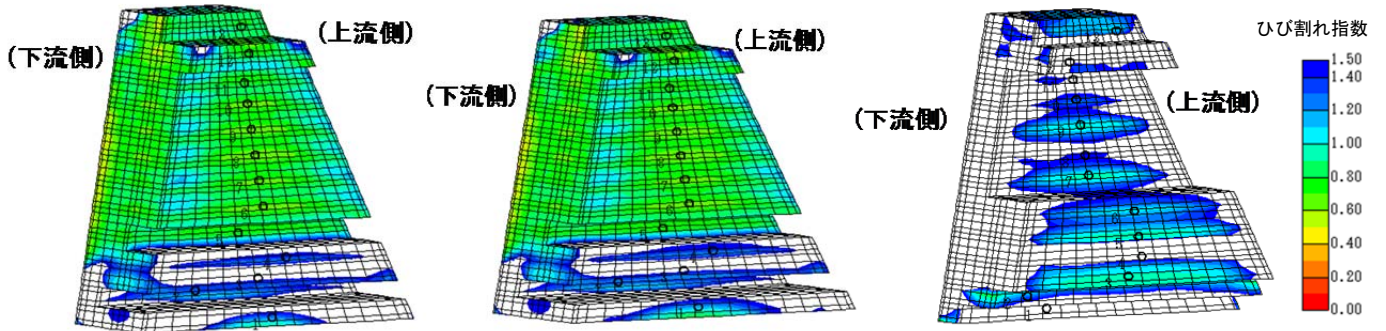


図1 ブロック4(越流部)におけるひび割れ指数分布図  
 左図: 24-5-40BB[ケース①], 中図: 24-8-40BB[ケース②], 右図: 18-5-40BB[ケース⑥]

表2 スランプ値の違いによるひび割れ指数と差分

リフト	位置	BL1		BL2		BL3		BL4		BL5		BL6		BL7					
		【基準】24-5-40BB	【基準】24-8-40BB	【基準】24-5-40BB	【基準】24-8-40BB	【基準】24-5-40BB	【基準】24-8-40BB	【基準】24-5-40BB	【基準】24-8-40BB	【基準】24-5-40BB	【基準】24-8-40BB	【基準】24-5-40BB	【基準】24-8-40BB	【基準】24-5-40BB	【基準】24-8-40BB				
⑤	表面	0.69	0.68	0.01	0.62	0.61	0.01	0.78	0.76	0.02	0.85	0.85	0.00	0.62	0.61	0.01	0.70	0.69	0.01
	内部	0.85	0.83	0.02	0.97	0.94	0.03	1.32	1.27	0.05	1.28	1.25	0.03	0.96	0.94	0.02	0.88	0.85	0.03
⑥	表面	0.69	0.69	0.00	0.70	0.70	0.00	0.77	0.77	0.00	0.77	0.77	0.00	0.71	0.70	0.01	0.67	0.66	0.01
	内部	0.71	0.73	0.02	0.82	0.80	0.02	0.99	0.95	0.04	0.96	0.94	0.02	0.85	0.81	0.04	0.73	0.72	0.01
⑦	表面	1.02	1.05	0.03	0.89	0.88	0.01	0.88	0.85	0.03	0.89	0.89	0.00	0.65	0.65	0.00	0.57	0.56	0.01
	内部	0.84	0.82	0.02	0.83	0.82	0.01	1.04	1.01	0.03	0.99	0.96	0.03	0.80	0.78	0.02	0.78	0.78	0.00
⑧	表面	1.07	1.07	0.00	0.89	0.88	0.01	0.72	0.71	0.01	0.57	0.56	0.01	0.71	0.70	0.01	0.63	0.62	0.01
	内部	0.74	0.74	0.00	0.74	0.73	0.01	0.87	0.84	0.03	0.74	0.74	0.00	0.72	0.71	0.01	0.71	0.69	0.02
⑨	表面	1.05	1.02	0.03	0.65	0.65	0.00	0.78	0.76	0.02	0.57	0.56	0.01	0.76	0.76	0.00	0.65	0.64	0.01
	内部	0.75	0.77	0.02	0.72	0.71	0.01	0.83	0.81	0.02	0.76	0.75	0.01	0.81	0.81	0.00	0.72	0.71	0.01
⑩	表面	0.89	0.87	0.02	0.61	0.60	0.01	0.77	0.77	0.00	0.65	0.65	0.00	0.78	0.78	0.00	0.62	0.61	0.01
	内部	0.76	0.75	0.01	0.69	0.69	0.00	0.75	0.72	0.03	0.73	0.72	0.01	0.73	0.71	0.02	0.77	0.76	0.01
⑪	表面	0.55	0.54	0.01	0.67	0.64	0.03	0.69	0.70	0.01	0.64	0.62	0.02	0.66	0.62	0.04	0.65	0.63	0.02
	内部	0.69	0.68	0.01	0.67	0.66	0.01	0.71	0.69	0.02	0.64	0.63	0.01	0.70	0.69	0.01	0.72	0.70	0.02
⑫	表面	0.66	0.64	0.02	0.58	0.56	0.02	0.70	0.68	0.02	0.57	0.56	0.01	0.70	0.68	0.02	0.58	0.56	0.02
	内部	0.71	0.70	0.01	0.64	0.63	0.01	0.65	0.64	0.01	0.62	0.61	0.01	0.65	0.64	0.01	0.68	0.67	0.01
⑬	表面	0.71	0.68	0.03	0.60	0.59	0.01	0.63	0.63	0.00	0.63	0.61	0.02	0.60	0.60	0.00	0.62	0.61	0.01
	内部	0.69	0.69	0.00	0.68	0.66	0.02	0.68	0.66	0.02	0.62	0.62	0.00	0.68	0.67	0.01	0.68	0.67	0.01
⑭	表面	0.70	0.73	0.03	0.50	0.48	0.02	0.62	0.60	0.02	0.54	0.53	0.01	0.63	0.61	0.02	0.52	0.51	0.01
	内部	0.82	0.80	0.02	0.62	0.61	0.01	0.66	0.65	0.01	0.65	0.64	0.01	0.68	0.66	0.02	0.63	0.61	0.02
⑮	表面	1.00	0.96	0.04	0.47	0.46	0.01	0.62	0.60	0.02	0.58	0.57	0.01	0.66	0.64	0.02	0.49	0.48	0.01
	内部	0.72	0.75	0.03	0.78	0.78	0.00	0.72	0.70	0.02	0.64	0.63	0.01	0.73	0.72	0.01	0.76	0.75	0.01
⑯	表面	1.09	1.05	0.04	0.62	0.61	0.01	0.75	0.71	0.04	0.69	0.61	0.08	0.78	0.74	0.04	0.62	0.60	0.02
	内部	0.71	0.70	0.01	0.71	0.70	0.01	0.74	0.72	0.02	0.70	0.68	0.02	0.73	0.71	0.02	0.71	0.70	0.01
⑰	表面	1.03	1.00	0.03	0.66	0.64	0.02	0.89	0.86	0.03	0.77	0.74	0.03	0.89	0.85	0.04	0.65	0.64	0.01
	内部	0.68	0.66	0.02	0.75	0.74	0.01	0.89	0.87	0.02	1.27	1.27	0.00	0.89	0.87	0.02	0.76	0.75	0.01
⑱	表面	1.50	0.95	0.55	0.60	0.60	0.00	1.09	1.09	0.00	0.97	0.97	0.00	1.06	1.07	0.01	0.92	0.90	0.02
	内部	0.45	0.44	0.01	0.68	0.67	0.01	0.85	0.83	0.02	1.34	1.31	0.03	0.98	0.95	0.03	0.68	0.67	0.01
⑲	表面							1.17	1.16	0.01	0.97	0.96	0.01	1.09	1.08	0.01			
	内部							0.83	0.81	0.02	1.16	1.14	0.02	0.87	0.86	0.01			
⑳	表面							1.92	1.88	0.04	1.47	1.47	0.00	1.76	1.77	0.01			
	内部							1.06	1.03	0.03	1.08	1.06	0.02	1.06	1.06	0.00			

差分平均値: 0.02

【指数】赤:0~0.7、橙:0.71~0.8、茶:0.81~0.99、黒:1~

【差分】紫:0~0.5、緑:0.51~

スランプの違いによるひび割れ指数の変化について、各ブロックでひび割れ指数の差分を算出し、その影響度を確認した。ブロック毎に算出した差分値の傾向はほとんど変わらなかったため、ここでは平均値によって評価するものとした。すなわち、差分平均値が大きければ、条件の違いにより解析結果が大きく異なることを意味し、その影響度は大きいといえる。スランプ値の違いによるひび割れ指数とその差分値を表2に示す。差分平均値は0.02であった。参考に、膨張材の有無による差分平均値は0.52であった。

表3 各検討条件のひび割れ指数への影響度

	差分平均値	影響度
スランプ値【5cm・8cm】	0.02	小さい
打設時期【夏季・冬季】	0.22	大きい
呼び強度【18N/mm <sup>2</sup> ・24N/mm <sup>2</sup> 】	0.12	大きい
型枠変更【化粧・普通】	0.18	(表面)大きい (内部)小さい
膨張材添加【あり・なし】	0.52	大きい

## 2.4 考察

各検討条件のひび割れ指数への影響度を表3に示す。スランプの違いによるひび割れ指数への影響は各検討条件と比較すると最も影響が小さく、差分平均値も他のケースに比べて明らかに小さい。

ここで、現状24-5-40BBのコンクリートを使用して問題なく施工がされている。解析結果では、スランプ5cmと8cmでひび割れの発生に大きな差はなく、24-8-40BBでのポンプ打設はひび割れの発生に対しては現状の施工状況と大きな差はないと考えられる。したがって、24-8-40BBのコンクリートを用いたポンプ打設は可能であると考えられ、その有効性を温度応力解析により確認できた。

## 3. おわりに

コンクリートの温度応力解析を実施し、温度解析・応力解析の結果からひび割れ指数分布を求めた。スランプ値の違いによるひび割れ指数の差分は他の条件に比べ明らかに小さく、影響度は小さい。

ポンプ圧送が可能なスランプ8cmと通常のバケット打設により砂防堰堤工事で用いられるスランプ5cmの解析結果に大きな差はなく、24-8-40BBでのポンプ打設はひび割れの発生に対しては現状の施工状況と大きな差はないと考えられることから、ポンプ打設による砂防堰堤の構築は可能であると判断され、生産性向上に寄与すると思われる。