

砂防堰堤施工時の最適な コンクリート打設間隔の検討について

四国山地砂防事務所 工務課 工務係 小田 菜月
四国山地砂防事務所 工務課長 有田 由高
四国山地砂防事務所 工務課 設計係長 岡田 浩孝

現在、「生産性の向上」が、建設業をはじめ、あらゆる産業で試みられている。

今回、砂防工事の生産性を向上させるため、砂防工事で大きな要素を占める、生コンクリート打設間隔（次のリフトの生コンクリートを打ち継ぐまでの最低日数）の短縮の可能性について検討した。

今年施工する垂直壁を対象とした温度応力解析を行い、散水養生を実施すれば、現地で供給可能な生コンを使用して打設間隔を中1日短縮しても現行と同等のひび割れに対する安全性となることを確認した。また解析結果を検証するためのモニタリング計画を立案した。

キーワード 生産性向上、砂防堰堤、コンクリート打設間隔、温度応力解析、
温度ひび割れ、モニタリング計画

1. はじめに

現在、日本全体で生産年齢人口の減少が深刻化しつつあり、このため単位あたりの付加価値を増大させる、「生産性の向上」が、建設業をはじめ、あらゆる産業で試みられている。

本研究では、砂防工事の生産性を向上させるため、砂防工事で大きな要素を占める、生コンクリート打設間隔（次のリフトの生コンクリートを打ち継ぐまでの最低日数）の短縮の可能性について検討した。

砂防堰堤の生コンクリート打設間隔を規定する基準として、土木工事共通仕様書第8編（砂防編）¹⁾（以下、共通仕様書）には、「旧コンクリートの材齢が、1.0m以上～1.5m未満のリフトの場合は4日（中3日）に達した後に新コンクリートを打継がなければならない。」との記載があり、季節による温度条件や養生方法等に関する区別を行わない運用がなされている。この規定は、昭和31年制定のコンクリート標準示方書²⁾に同様の記述が見られ、成立から少なくとも半世紀以上が経過している状況であるが、明確な根拠がない。

また、近年の研究では、本堤を対象とした温度応力解析により、高炉セメントB種用いた中3日の施工に対し、普通セメントにして中1日短縮した場合、強度発現とひび割れ安全性が同等以上になることが報告されている³⁾。

本稿では、土石流が直接衝突しない垂直壁において、21-40-BBのコンクリートを使用して打設間隔を短縮した場合の解析検討と、解析結果を検証するための垂直壁の試験施工におけるモニタリング計画を報告する。

2. 検討方法

(1) 検討対象

本検討は、当事務所管内にて建設中のウルシ谷砂防堰堤第1垂直壁を対象とした。

砂防堰堤のリフト割を図-1に示す。堤体はほぼ左右対称であることから、斜面の傾斜が緩やかであり計測作業が行い易い、右岸側のAブロックをモデル化した。

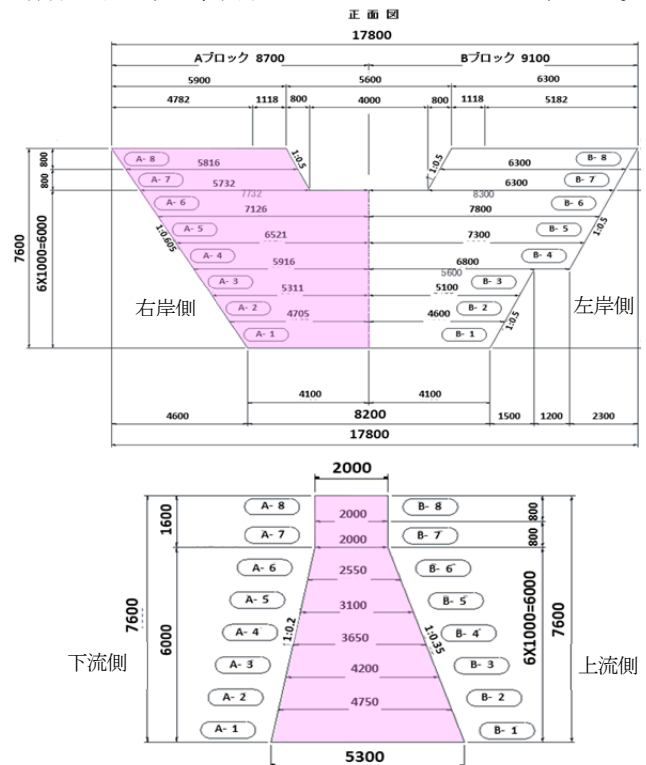


図-1 砂防堰堤のリフト割図

(2) 解析モデル

解析モデルは、図-2 に示すように、堤体の3次元形状を考慮するため、3次元モデルとした。

各要素の熱伝達率境界は、土木学会「2012年制定 コンクリート標準示方書」⁴⁾の参考値を用いて設定した。

また、解析では、リフトの打設、脱型、上流側の埋戻し土等、実施工の施工計画に合わせて段階的な施工順序を考慮した。

A, Bブロックの目地は、ボンド要素（圧縮は伝達して引張は伝達しない要素）を与えた上で、堰堤軸方向に拘束条件（対称面）を与えてモデル化した。

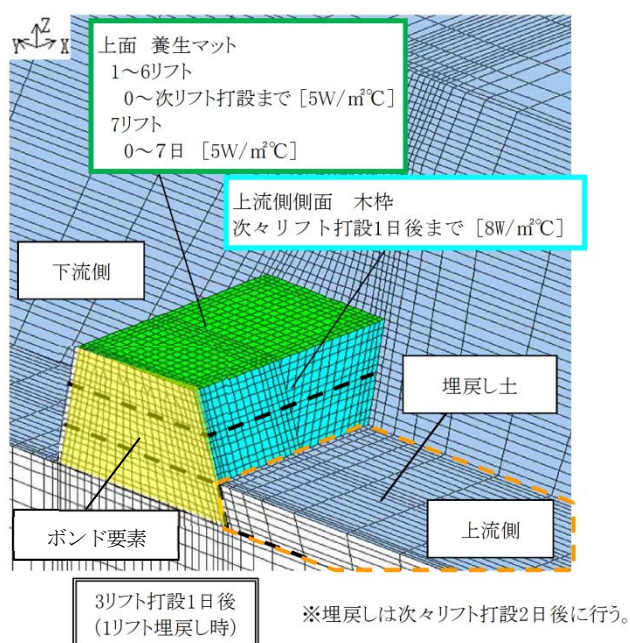


図-2 熱伝達境界，施工順序，目地のモデル化

(3) 解析ケース

解析ケースを表-1 に示す。夏季と冬季において、打設間隔を標準の中3日と、標準に対して1日短縮した中2日のケースとした。

なお、夏季中2日は、後述するようにひび割れ指数の低下が見られたことから、堤体温度を下げる対策として、養生マットから散水養生を想定したコンクリート表面の熱伝達率に変更したケースを追加した。

表-1 解析ケース

	打設時期	打設間隔	備考
CASE1	夏期	中3日	コンクリート表面の熱伝達率 $\eta=5(W/m^2\cdot^\circ C)$
CASE2-①		中2日	〃
CASE2-②		中2日	コンクリート表面の熱伝達率 $\eta=14(W/m^2\cdot^\circ C)$
CASE3	冬期	中3日	コンクリート表面の熱伝達率 $\eta=5(W/m^2\cdot^\circ C)$
CASE4		中2日	〃

(4) 解析条件

解析にあたっては、表-2 に示す工事現場へ納入するプラントの配合、図-3 に示す工事現場近傍（高知県吾川郡いの町）の気象庁気温データ（2014～2017年の旬平均気温データ）を考慮した。なお、コンクリート打ち込み温度は過去の実績より $+5^\circ C$ とした。

表-2 コンクリート配合

	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				$f'_{ck}(i)$ (N/mm ²)	管理材齢 (日)
		W	C	S	G		
砂防ダム 高炉セメント	59.8	150	251	894	1108	21	28

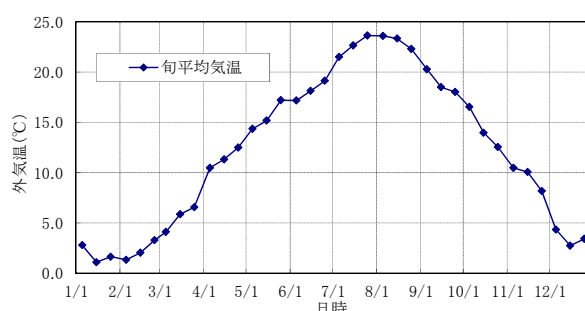


図-3 外気温の設定温度

強度発現式、断熱温度上昇特性等のコンクリートの物性については、土木学会「2012年制定 コンクリート標準示方書」に示された基本的な物性を与えた。

解析は、3次元 FEM 温度応力解析プログラム「ASTEAMACS」により温度解析と応力解析を行った。

打設間隔を短縮した場合の強度発現は、上記条件の下で解析した「圧縮強度」で評価することとした。一方、温度ひび割れに対する安全性は、上記条件の下で解析した「ひび割れ指数」（発現している引張強度を、発生している引張応力度で除した値）で評価することとした。

3. 解析結果と考察

(1) 圧縮強度発現の対比

各ケースの圧縮強度発現の解析結果を表-3 に示す。夏季、冬季ともに、中2日とした場合の打設時の圧縮強度は、中3日に比べて3～4 (N/mm²) 低い結果となった。

表-3 圧縮強度発現の解析結果

表面部 要素		単位: N/mm ²		
4リフト目の打設日	圧縮強度 材齢(日)	中3日 $\eta=5(W/m^2\cdot^\circ C)$	中2日	
			$\eta=5(W/m^2\cdot^\circ C)$	$\eta=14(W/m^2\cdot^\circ C)$
8月初旬	2日	—	20.01	19.17
	3日	23.46	—	—
2月初旬	2日	—	7.13	—
	3日	11.41	—	—

一方、コンクリート標準示方書（施工編）における側壁の脱型に必要な最低強度の目安は $3.5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ であり、冬季中2日であっても $7 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 程度発現しており、型枠のはらみ出しに対する強度では満足している。ただし、冬季における打設間隔の短縮については、今回の検討の対象外とする。

(2) ひび割れ指数の対比

a) 夏季中3日と夏季中2日の対比

夏季中3日と夏季中2日のケースにおけるひび割れ指数最小値のコンターを図-4と図-5に示す。

4Lのひび割れ指数に着目すると、堤体内部において、夏季中3日が0.82に対し、中2日は0.71となり、0.11低下した。

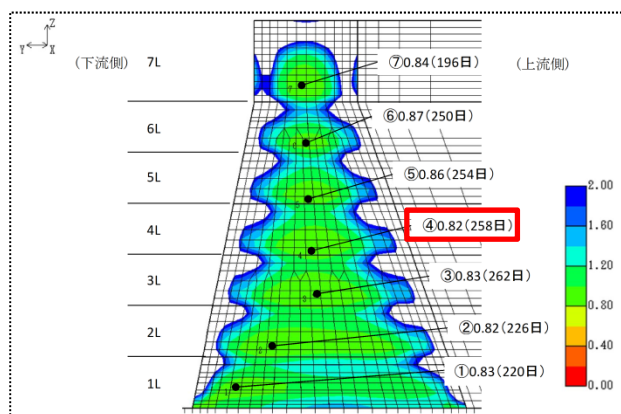


図-4 夏季中3日（CASE1）の
ひび割れ指数最小値

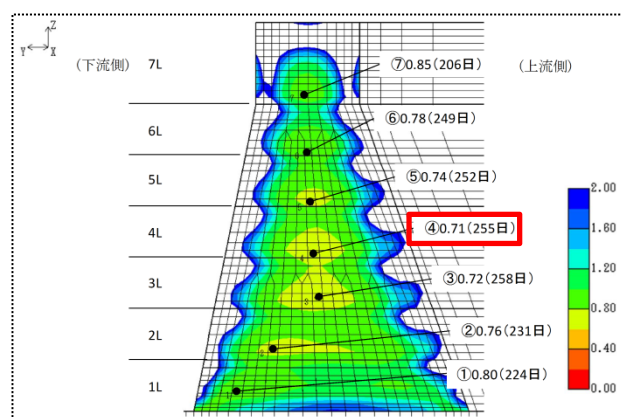


図-5 夏季中2日（CASE2-①）の
ひび割れ指数最小値

b) 堤体内部が厳しくなった原因の考察

夏季中3日に比べて夏季中2日が堤体内部で厳しくなった原因は、夏季は打設時温度が高いことに加え、図-6と図-7の温度履歴の違いを示すように、打設間隔を短縮したことにより、前のリフトの温度低下がある前に次のリフトを打ち重ねることで堤体に熱が蓄積されたためと考えられる。

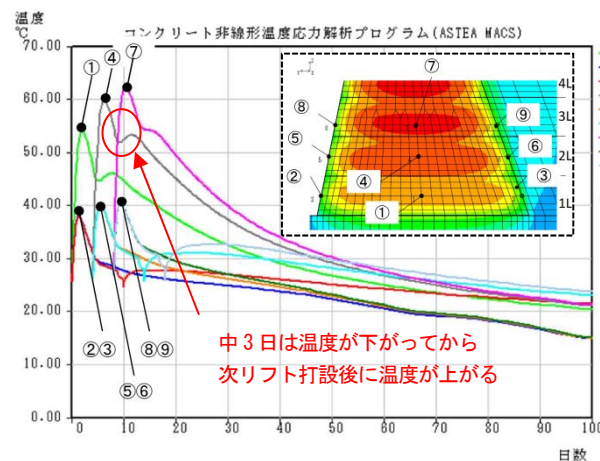


図-6 夏季中3日（CASE1）の温度履歴

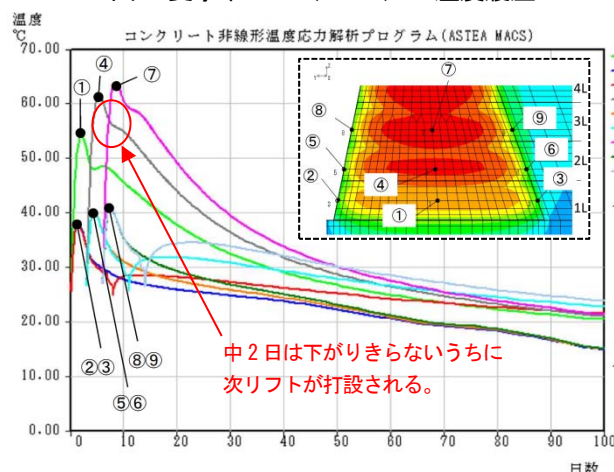


図-7 夏季中2日（CASE2-①）の温度履歴

(3) 夏季中2日の対策の検討

内部のひび割れ指数の低下の原因の考察を踏まえた対策としては、コンクリートの硬化熱を下げることで有効と考えた。

そこで、当現場で実施している散水養生をコンクリート表面の熱伝達率に考慮することとした。当現場では、写真-1のように吸水変色性を有した養生マットを用いた散水養生を実施し、マットの含水状況を可視的に管理している。この方法であれば、マットを常に湿潤状態に保つことで、養生水の気化熱によりコンクリート表面の温度を下げる効果があると考え、熱伝達率は、コンクリート標準示方書に示される散水養生の値($\eta = 14 \text{ (W/m}^2\text{°C)}$)とした。

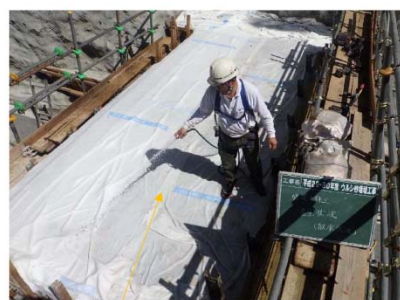


写真-1 当現場における散水養生

(4) 夏季中2日の対策の解析結果

夏季中2日で散水養生とした場合のひび割れ指数最小値のコンターを図-8に示す。

コンクリート表面の養生方法の変更、すなわちコンクリート表面の熱伝達率を $\eta=5(\text{W/m}^2\text{C})$ から $\eta=14(\text{W/m}^2\text{C})$ に変更することにより、ひび割れ指数は、0.79まで回復し、中3日の解析ケースとほぼ同等まで改善される効果が見られた。

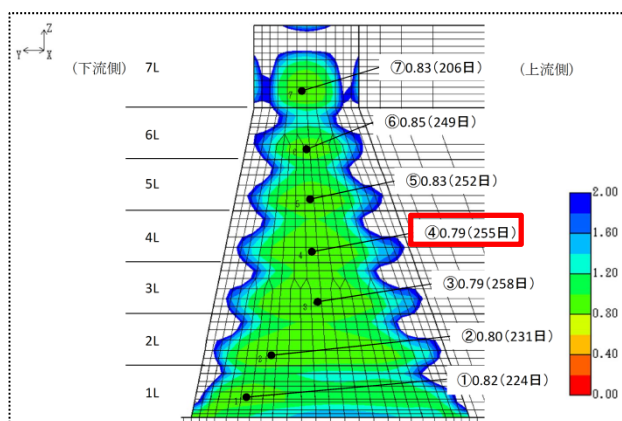


図-8 夏季中2日 (CASE2-②) の
ひび割れ指数最小値

4. モニタリング計画

(1) モニタリングの目的

①温度応力解析結果の妥当性の検証、②解析へのフィードバック、③本堤へ適用するための基礎データ収集を目的として、施工時の温度・応力のモニタリングを計画した。以下にモニタリング計画の概要を示す。

(2) 計測項目、計測位置、計測期間

実構造物中のコンクリート強度は、硬化熱の影響を受けるため、温度追従養生装置を使用し、実構造物と同じ温度条件で養生した供試体を用いて、圧縮強度試験、割裂引張試験、静弾性係数試験を材齢3, 7, 28日の計3回実施し、土木学会の推定式を補正する。

堤体の温度と発生応力の計測位置を図-9に示す。

広く温度分布を計測することで、逆解析により熱物性値を同定することができるため、堤体の温度の計測は、2L～6Lの表面部と内部の2箇所とする。

堤体の発生応力の計測は、有効応力計、埋込み型ひずみ計、無応力計を用いて行う。計測位置は、解析結果でひび割れ指数最小値が確認された4Lの表面部と内部の2箇所とする。

有効応力計は、設置した方向の発生応力を直接計測するものであり、これにより、発生応力の大きさと経時変化を考察する。

埋込み型ひずみ計は、コンクリートの全ひずみ(a)

を計測するものであり、無応力計は、温度による線膨張や自己収縮による自由ひずみ(b)を計測するものである。温度応力は、(a)と(b)のひずみの差(拘束ひずみ)に、有効ヤング係数を乗ずることによって求められる。埋込み型ひずみ計を、ダム軸方向、上下流方向、鉛直方向の3方向に設置することで、主応力方向の経時変化を考察する。

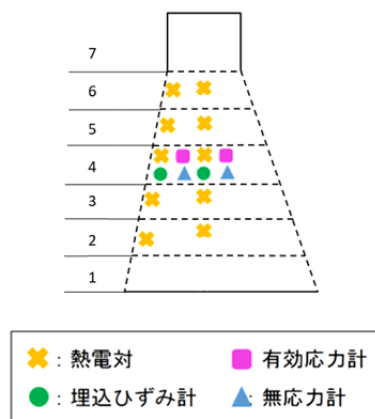


図-9 計測位置

5. おわりに

現行基準の打設間隔で施工した場合のひび割れ指数を目安とすると、夏季に打設間隔を短縮する場合には、散水養生($\eta=14(\text{W/m}^2\text{C})$)にすることで、温度ひび割れに対する安全性を、施工時期やコンクリートの養生方法に関係なく適用される通常の打設と同等程度になることが解析で確認できた。

試験施工に当たっては、強度・温度・応力・線膨張係数を計測し、計測結果を解析に用いることで、実際の堰堤内部で予測どおりのひび割れ危険性が発現しているかの確認を行う予定である。

なお、通常の打設でも同程度のひび割れ指数が予測されることから、一般的な砂防堰堤の内部状況の考察にも援用が期待できる。

謝辞：本検討に際し、国土技術政策総合研究所、土木研究所、岐阜大学森本博昭名誉教授に貴重な御意見・御助言を賜った。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 土木工事共通仕様書第8編(砂防編)第1章第8節 8-1-8-1 一般事項 5.新コンクリートの打継
- 2) 昭和31年制定「コンクリート標準示方書」ダムコンクリート標準示方書 44条
- 3) 伊藤 他：温度応力解析による砂防堰堤のコンクリート打設間隔短縮に向けた取組み—砂防工事の生産性向上—, 砂防学会 平成29年度 砂防学会研究発表会「奈良大会」
- 4) 土木学会「2012年制定 コンクリート標準示方書」