

打設間隔を短縮して試験施工した砂防堰堤の温度応力解析とモニタリング

国土交通省中部地方整備局天竜川上流河川事務所 伊藤 誠記・鬼頭 政徳・中谷 真一・佐村 駿太
大日コンサルタント(株) ○深見 秀隆・町 勉・小原 正慎・伊藤 健介

1. はじめに

砂防堰堤では、生コンクリートの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)の(以下、共通仕様書)の規定に、「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には中3日に達した後に新コンクリートを打ち継がなければならない。」との記載があり、コンクリートのひび割れに対する安全性の確保が図られている。しかし一方では、一定期間施工ができないため、砂防工事の生産性向上のボトルネックにもなっている。

これに対して、試験施工を実施した既存の研究²⁾により、夏期施工等の条件下において、打設間隔を短縮して砂防工事の生産性を向上させながら、従来基準と同等の品質が確保できる養生等の施工条件が、温度応力解析、試験施工による検討により明らかになっている。

本研究では、砂防堰堤工事の生産性向上を目的に、研究²⁾のさらなる調査の実績を積み上げるため、冬季施工や配合等、施工条件が異なる長野県伊那市小田井入沢砂防堰堤の本堤において、打設間隔を短縮した場合の試験施工を行い、温度応力解析とモニタリングにより、温度ひび割れへの影響について考察した。

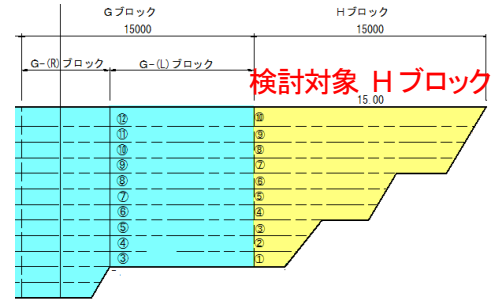


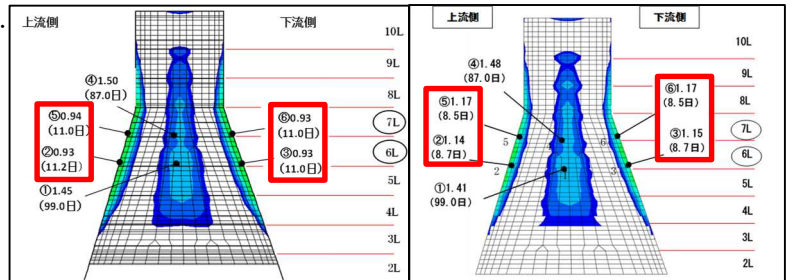
図-1 砂防堰堤のリフト割図

表-1 コンクリート配合

	スラブ (cm)	W/C(%)	単位量(kg/m ³)				f'ck (N/mm ²)	最大 骨材径 (mm)
			W	C	S	G		
砂防堰堤 高炉セメント	5	57.5	108	188	614	1526	21	80

2. 事前の検討

検討は、小田井入沢砂防堰堤のHブロックを対象とした。リフト割を図-1に示す。試験施工の予定時期から、冬季施工を想定した事前の解析を行った。事前の検討結果として、ひび割れ指数の最小値のコンター図を図-2(a)に示す。検討の結果、短縮施工時のリフト表面部のひび割れ指数が1.0を下回る結果となった。



(a) 中2日, 保温養生8日間 (b) 中2日, 保温養生5日間

図-2 ひび割れ指数最小値のコンター図

短縮施工では通常施工に比べて打設間隔が短く脱型が早いことから、リフト表面の温度が下がる時期が早くなるため、リフトの表面部と中心部の温度差が急激に大きくなり、内部拘束によるひび割れが発生しやすい結果となったと考えられる。

対策として、表面部と中心部の温度差を小さくするため、保温養生の期間を6日延長し、計14日間とするパターンと、3日短縮し、計5日間とするパターンの検討を行った。その結果、図-2(b)に示すとおり計5日間で1.0を上回る結果となった。これは、図-3に示すとおり、保温養生期間が長いほど引張強度の発現は早まるが、最大引張応力度も大きくなるのが理由である。この現場においては、計5日間の場合が最もひび割れ指数が大きく1.0を超えたため、最適な保温養生期間と考えられ、この期間保温養生を行うこととした。

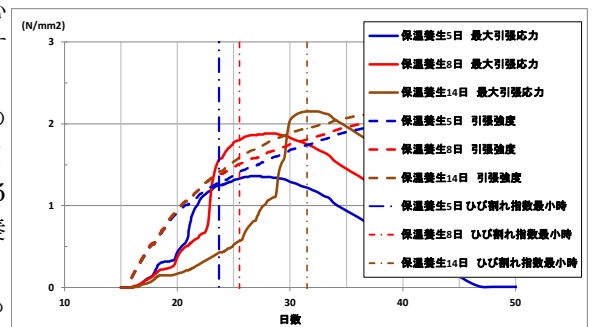


図-3 保温養生期間の違いによる表面の引張強度発現と発生応力の関係

3. モニタリング計画

モニタリング計画図を図-4に示す。堤体温度は、広く温度分布を計測するため、4~8リフトの表面部と内部の2箇所とした。強度特性とひずみの計測は、ひびわれ指数が最小値を示した6リフトを対象とした。強度試験は、温度追従養生装置を使用し、実構造物と同じ温度条件で水中養生した供試体を用いて、圧縮強度、割裂引張強度、静弾性係数試験を行った。ひずみは、6リフトの表面部と中央部に対して埋込み型ひずみ計をx, y, zの3方向に設置し、埋込み型ひずみ計にて計測したひずみ(全ひずみから温度ひずみを控除したひずみ)から、無応力計にて計測した自己収縮ひずみを差し引くことで有効ひずみを算出した。モニタリング期間は、事前解析結果にて中央部のひび割れ指数が最小値となる4ヶ月とした。



図-4 モニタリング計画

4. 強度特性試験結果

6 リフト中央におけるコンクリートの打設日、外気温、コンクリートの打込温度を反映した解析結果の対比を図-5 に示す。圧縮強度は、材齢初期段階において、計測より解析の値が低めを示すが、材齢 28 日にてほぼ一致し、引張強度は、割裂引張強度試験結果の 2 割低減した値と解析値がほぼ一致したため強度の評価式が妥当であると判断した。また、弾性係数は、計測と解析で概ね一致するため、評価式は妥当であると判断した。

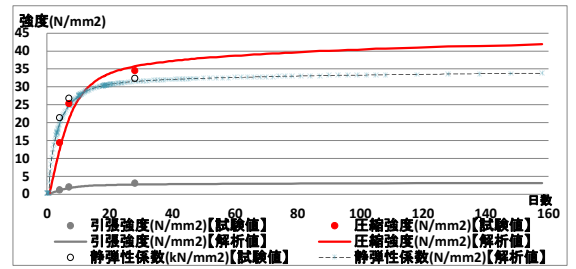


図-5 圧縮引張強度・静弾性係数

5. 堤体温度のフィッティング解析と応力解析の妥当性の確認

基本ケースの温度解析結果では、表面部の堤体温度において、解析と計測が比較的一致するが、中央部において、解析の堤体温度が計測の堤体温度を 5~10℃程度上回る結果となった。そこで、断熱温度上昇式の Q_{∞} : 終局断熱温度上昇量, γ_{AT} : 断熱温度上昇速度に関する係数を変更することにより、図-6 に示す通り中央部の堤体温度を計測値とフィッティングさせた。

有効ひずみの解析値と計測値の対比を図-7 に示す。堰堤軸 (x 軸) 方向の有効ひずみは、解析と計測の傾向が一致することから解析は妥当と判断した。また、上下流 (y 軸) 方向、鉛直 (z 軸) 方向は、計測が圧縮側で推移するのに対して、解析では引張ひずみが生じることから解析は安全側の評価を与え、解析は妥当と判断した。

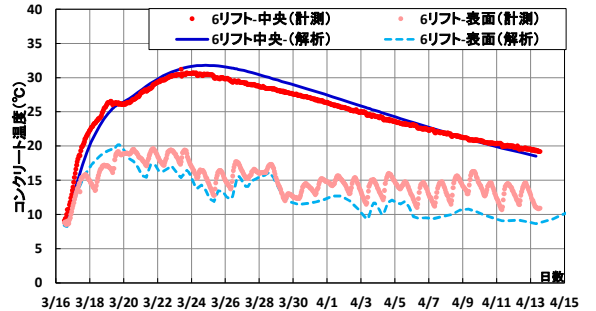


図-6 堤体温度フィッティング後の温度履歴

6. 短縮施工におけるひび割れに対する安全性の評価

解析の妥当性を確認できたことから、実構造物のひび割れに対する安全性を評価した。再現解析におけるひび割れ指数を図-8 に示す。検討の結果、事前の対策検討では、いずれもひび割れ指数が 1.0 以上となっていたが、再現解析では、6 リフト表面部において、ひび割れ指数が 1.0 を下回る結果となった。このため、実構造物におけるひび割れ発生の可能性について考察した。

有効ひずみによる評価として、「2013 年制定コンクリート標準示方書[ダムコンクリート編]」に示される、ダムコンクリートの許容拘束ひずみ 100 μ から判断すると図-7 に示すとおり、許容拘束ひずみが 100 μ を超えないことが確認でき、実構造物におけるひび割れ発生の可能性は低いと言える。また、図-9 に示すとおり 6 リフトの表面における解析の最大引張応力は、試験値の引張強度を超えていないため、実構造物でのひび割れ発生の可能性は低いと考えられる。打設後の表面の目視及び打音検査においても、6 リフト表面のひび割れは確認されなかった。

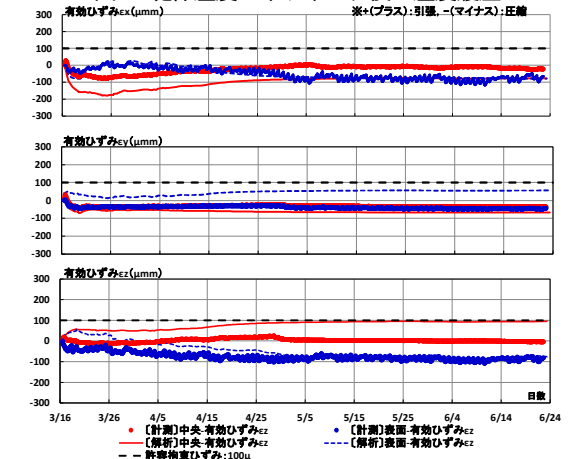


図-7 有効ひずみの対比

7. おわりに

本研究では、生コンクリートの打設間隔を短縮する方法において、適切な養生期間を設定することで、ひび割れの可能性が低いことが確認できた。今後はさらにさまざまな気候条件、単位セメント量、堤体規模等でのモニタリングや解析を蓄積し、打設間隔の短縮 (中 2 日) の適用性と精度の向上を図ることで砂防堰堤のコンクリート打設においては、生産性向上が期待される。

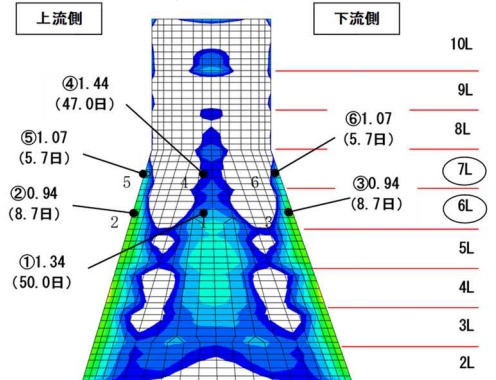


図-8 中 2 日保温養生 5 日の再現解析におけるひび割れ指数

[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 2) 町勉ほか: 打設間隔を短縮して試験施工した砂防堰堤垂直壁の温度応力解析とモニタリング, 土木学会第 74 回年次学術講演会, 第 6 部門, pp.701-702, 2019.9 3) 土木学会「2017 年制定 コンクリート標準示方書」 4) 日本コンクリート工学会「マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016」

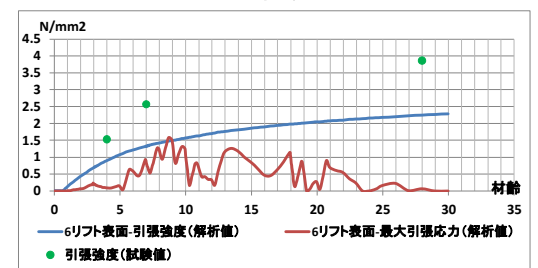


図-9 最大引張応力と引張強度対比