

22 品質管理

4 車線道路橋台コンクリートに対する 温度ひび割れ対策

岡山県土木施工管理技士会

アイサワ工業株式会社

役 田 浩 志 ○ 近 藤 起 世

1. はじめに

本工事は、国道1号静岡バイパス清水立体事業のうち、尾羽地区における高架橋下部工事であり、バイパス本線となる尾羽第1高架橋のA1橋台と尾羽ICのON・OFFランプ橋の橋台および各橋台背面側に接続するU型擁壁を新設する工事である。図-1に竣工時の工事箇所全景を示す。

工事概要

- (1) 工 事 名：令和3年度1号清水立体尾羽第1高架橋下部工事
- (2) 発 注 者：国土交通省 中部地方整備局 静岡国道事務所
- (3) 工事場所：静岡県静岡市清水区尾羽
- (4) 工 期：令和3年9月22日～
令和5年10月27日

2. 現場における問題点

本工事の主要工種はRC橋梁下部工であり、逆T式橋台を3基施工する。3基のうち全幅員が

19mで全高13.2mの本線A1橋台は、図-2に示すように厚さ2.8mの縦壁と厚さ0.7mの胸壁および翼壁を有しており、マスコンクリートに該当する構造物である。また、躯体コンクリートの打込みを9月～11月に行う予定であったため、日平均気温が25℃以上となる日の打込みも考えられ、暑中コンクリートとしての取り扱いも考慮する必要があった。以上の施工条件から、温度ひび割れ対策を講じない場合、構造物の性能を著しく低下させる有害な温度ひび割れの発生が予想された。

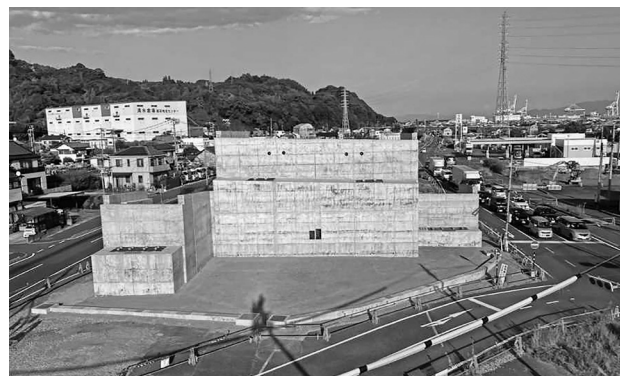


図-1 工事箇所全景（竣工時）

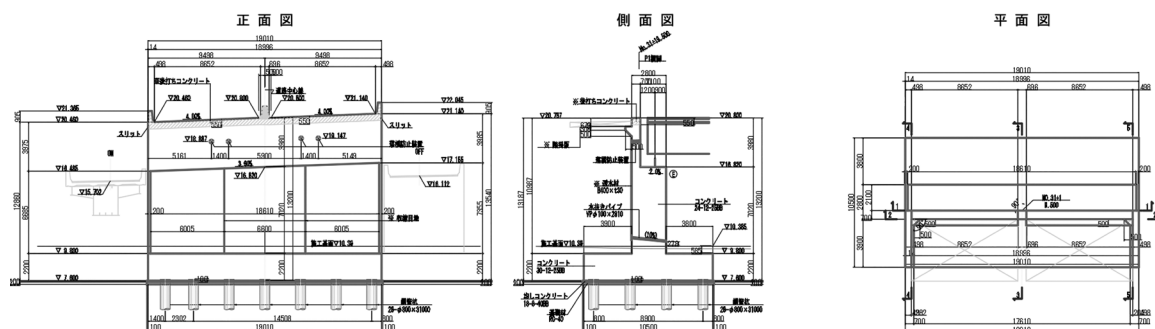


図-2 本線A1橋台構造図

3. 工夫・改善点と適用結果

3-1 ひび割れ対策の選定

温度ひび割れ対策は、材料、構造、施工等の多様なアプローチがあり、ひび割れ抑制効果の大小と経済性、施工性を考慮して最適な手法を選択する。本工事でも事前に三次元温度応力解析を行い、算出した最小ひび割れ指数および最大ひび割れ幅により各対策の効果を評価し、経済性と施工性を考慮した最適なひび割れ抑制手法を検討した。

温度ひび割れ対策を検討するにあたり、「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」¹⁾を施工方針とし、最小ひび割れ指数1.0以上、最大ひび割れ幅0.2mm以下を目標とした。検討した結果、本工事で実施する対策を-表-に示す。また、-表-に示した全ての対策（ひび割れ補強鉄筋および表層改質剤を除く）を実施した場合の解析結果を図-3に示す。各部材・各リフトにおける最小ひび割れ指数が目標値である1.0以上を満足しており、各対策の有効性を確認できた。なお、底版後趾側で最小ひび割れ指数が0.63となっているが、存置鋼矢板を型枠として使用するため、背面が拘束された状態となっているのが原因である。当該箇所では、一般的な温度ひび割れ対策では改善が難しいため、ひび割れ補強鉄筋によるひび割れ幅抑制のみを実施した。

3-2 ひび割れ対策の実施

a) 配合選定・施工計画時の工夫

躯体構築の施工計画・準備段階において、配合、リフト割りおよび打継間隔の検討を行った。

躯体に使用するコンクリートについて、当初は高炉セメントB種を用いた配合が指定されていたが、熱膨張係数の小さい普通ポルトランドセメントに変更することで最小ひび割れ指数が0.03～0.11改善される解析結果が得られたため、底版コンクリートには30-12-25Nを、堅壁・胸壁・翼壁コンクリートには24-12-25Nを用いることとした。

本線A1橋台の堅壁は、高さ7.02m、厚さ2.8mと壁状構造物としては部材寸法が極端に大きいこと

-表- ひび割れ対策と期待できる効果

方法	期待できる効果
セメント変更（BB→N）	熱膨張係数の改善
リフト高さ 3m 以下	内部ピーク温度低減
打継間隔 15 日以内	下部拘束力の低減
ひび割れ誘発目地の設置	拘束度低減
液体窒素プレクーリング	打込み温度低減
断熱型枠の使用	内外温度差の縮小
ひび割れ補強鉄筋の設置	ひび割れ幅の制御
表層改質剤の塗布	ひび割れ進展防止

A1橋台(7m高小・時間短縮+液体窒素+保温+普通ポルトランドセメント誘発目地)

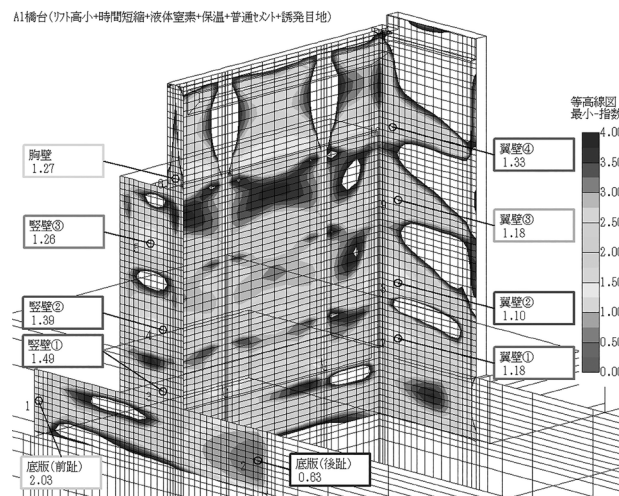


図-3 三次元温度応力解析結果（対策実施時）

から、堅壁のリフト割りについて再検討を行った。リフト割りを当初の2回から3回とした場合、ピーク温度が2℃程度低下し、最小ひび割れ指数が改善する解析結果が得られたため、堅壁のリフト高さを下から順に1.8m、2.7m、2.52mと分割することで、1回当たりの打込み量低減を図った。

打継間隔に関しては、当初計画では底版構築以降の打継にかかる日数を、各リフト20日程度で計画していたが、型枠や鉄筋の大組みにより作業日数の縮減を図ることで、堅壁①、②に関しては先行リフトの10日後に、堅壁③および胸壁は15日後に打込み可能であると判断し、解析で得られた最小ひび割れ指数をみても、最大で0.28の改善が見込めたため、打継間隔の短縮を行った。

b) 鉄筋組立時の工夫

鉄筋組立時に実施する対策として、ひび割れ補強鉄筋を追加し、ひび割れ幅の制御を行った。

底版、堅壁、胸壁および翼壁に対し、各リフトの鉄筋比および最小ひび割れ指数から最大ひび割れ幅を算出した結果、底版後趾側と堅壁全リフトにおいて最大ひび割れ幅が0.2mmを超過したため、ひび割れ補強鉄筋を追加し、鉄筋比の改善を図った。ひび割れ補強鉄筋の追加は、コンクリートの充填性および鋼材の入手し易さを考慮し、配力筋相当の鉄筋を設計の配力筋の中間に配置するタイプBを基本とし、躯体内部に配置するタイプAの本数を調整して所定の鉄筋比を確保した。ひび割れ補強鉄筋の配筋図を図-4に示す。

c) 型枠組立時の工夫

型枠組立時に実施する対策として、ひび割れ誘発目地の設置および断熱型枠の使用により、外部拘束および内部拘束の低減を行った。

本線A1橋台では、堅壁および胸壁に対し、設計段階でVカット収縮目地が2箇所計画されていたが、目地間隔が6.6mと広く、十分なひび割れ制御能力を得られるかが不明であること、胸壁内に設置する落橋防止装置に近接しているため、誘発したひび割れが装置に影響を与えることが懸念された。そのため、解析によって配置を再検討し、目地を4.383m間隔の計4箇所とすることで外部拘束力が低減し、最小ひび割れ指数が改善されることを確認した。また、ひび割れ制御能力および止水性の向上のため、Vカット目地をひび割れ誘発目地に変更した。図-5にひび割れ誘発目地の配置図を示す。特に壁厚が大きい堅壁部に関しては、標準のA部材およびBL部材のほか、断面欠損鋼板を内部に設置し、断面欠損率51.8%を確保した。

次に、使用する合板型枠に対し断熱型枠パッドを取り付けることで、型枠養生中の躯体表面温度の急激な低下を防止し、内外温度差の抑制を図った。解析の結果では、断熱により内外温度差が3℃程度緩和され、表層における最小ひび割れ指数が0.18~0.30程度改善されており、対策の有効性が確認できたため、養生期間の内外温度差が15℃以内になるように断熱養生を行うこととした。

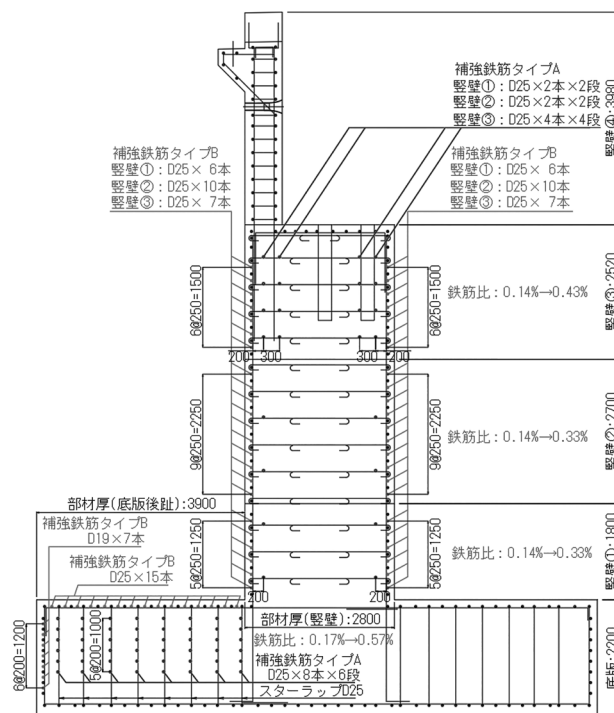


図-4 ひび割れ補強鉄筋配筋図

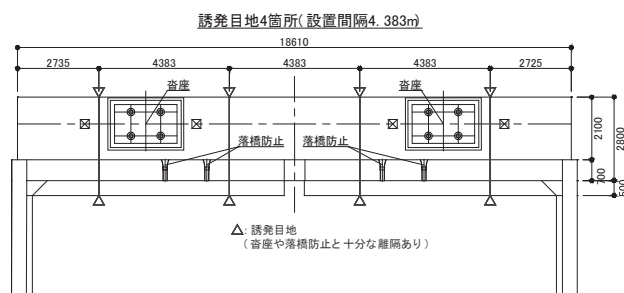


図-5 ひび割れ誘発目地配置平面図

d) コンクリート打込み時の工夫

コンクリート打込み時に実施する対策として、液体窒素噴射によるプレクーリングを実施した。プレクーリングは、ひび割れ発生確率が最も高い堅壁全3リフトの打込みに対して実施した。解析では、コンクリート温度を5℃低下させた場合、堅壁内部のピーク温度が5.3℃低下し、最小ひび割れ指数が0.05~0.09改善する結果が得られたため、本工事での目標低下温度を5℃とした。

現着したアジテータ車のドラム内にプレクーリング専用足場から冷却ノズルを挿入し、ドラムを高速攪拌させながら-196℃の液体窒素を直接噴射してコンクリート全体を冷却した。液体窒素は、ドラム挿入型温度計により噴射前後のコンクリート温度を計測し、目標低下温度を満足するま

で噴射した。液体窒素噴射中は、窒素冷却による白煙が発生するため、シートによる防護と送風ファンによる拡散を行い、周辺環境に配慮した(図-6)。

本工事で実施した液体窒素プレクーリングは、アジテータ車1車4.25m³につき、噴射時間120～150秒、使用量90～150kgの範囲で行われ、5～7℃の温度低下を確認した。また、本工事の使用実績をまとめると、1m³のコンクリートを1℃低下させるための液体窒素使用量が約4.9kgとなった。

e) 養生期間中の工夫

養生に関する対策について、各部材の躯体中心温度および表層温度を計測し、養生期間中の温度管理を行った。計測は、熱電対センサを部材中心および側壁のかぶり位置に取り付け、15分間隔で自動計測した。計測した中心温度および表層温度から求めた内外温度差を図-7に示す。計測した結果、全リフトにおいて型枠養生期間中の内外温度差が目標値を満足していることを確認した。

養生終了後は、縦壁、胸壁および翼壁に発生した微細なひび割れの進展を防止するため、表層改質剤の塗布を行った。高圧水で表層を洗浄した後、改質剤を0.10kg/m²の量で2回塗布し、改質剤浸透後に反応水による散水養生を行った。

3-3 適用結果

本線A1橋台に対して実施した各対策の効果を確認するため、目視によるひび割れ調査を行った。調査の結果、有害な温度ひび割れは認められなかった。また、縦壁および胸壁で実施した表層透気試験では、透気係数kTが $0.025 \sim 0.077 \times 10^{-16}$ m³の値が得られ、良評価に該当する結果となった。以上より、実施した各対策により本線A1橋台での温度ひび割れ発生が抑制され、緻密性の高い高品質のコンクリート構造物を構築できたと言える。

4. おわりに

本工事では、温度ひび割れの発生が懸念される大型コンクリート構造物に対して、三次元温度応



図-6 液体窒素プレクーリング

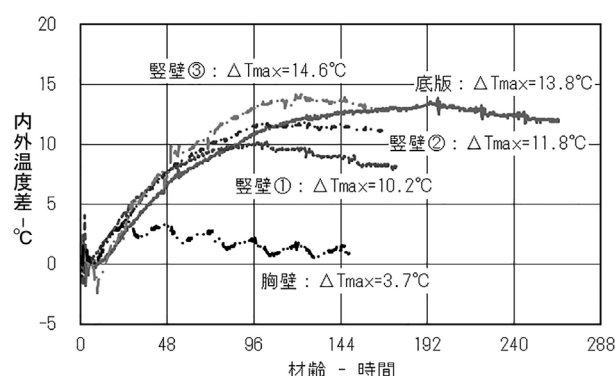


図-7 内外温度差計測結果

力解析結果を基に、当現場に適した対策を過不足なく実施することで、有害な温度ひび割れの発生を防止できた。しかしながら、縦壁部の水抜きパイプ周辺に幅0.1mmのひび割れが確認され、実施した対策では、断面欠損部でのひび割れを抑制することができなかった。この件を踏まえ、ランプ橋台およびU型擁壁では、水抜きパイプ周辺にひび割れ抑制鋼板を設置することとし、結果、断面欠損部のひび割れを防止することができた。本報告が橋台コンクリートに対する温度ひび割れ対策の参考になれば幸いである。

最後に、本工事を施工するにあたり、ご指導・ご協力いただきました皆様に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕、pp.322-324、2017.3