

施工計画

夏季における高強度のマスキョークリートの施工について

～温度ひび割れ対策としてのフライアッシュの活用～

所属技士会名：高知県土木施工管理技士会

会社名： 福留開発株式会社

主執筆者： 生駒和久 現場代理人 資格者証番号 00001283649 号

共同執筆者： 横田昭彦 技術顧問 資格者証番号 00060184673 号

1. はじめに

当該工事は高知南国道路本線高架橋の橋脚工事で、橋脚の躯体部におけるコンクリートの品質向上の取組を紹介する。

高知南国道路は高知市から高知龍馬空港へのアクセス道路で高知県東部への南国安芸道路に接続する重要な路線でもあることから、早期開通を目指して急ピッチで工事を進めている。



図-1 完成写真

工事概要

- (1) 工事名 : 五台山第5高架橋下部外第2工事
- (2) 発注者 : 四国地方整備局土佐国道事務所
- (3) 工事場所 : 高知市五台山
- (4) 工期 : 平成31年1月26日～
令和元年10月31日

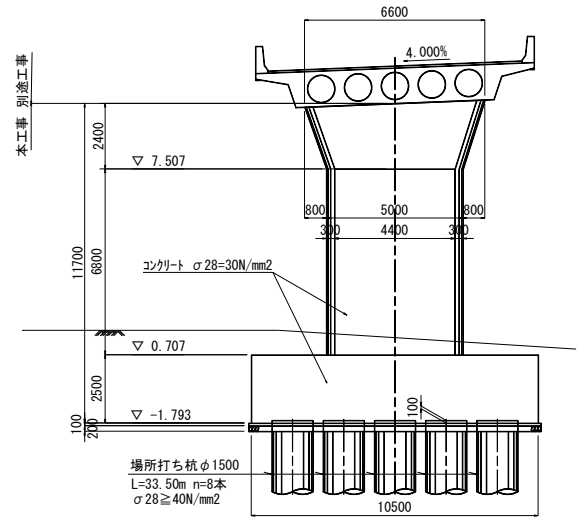


図-2 正面図

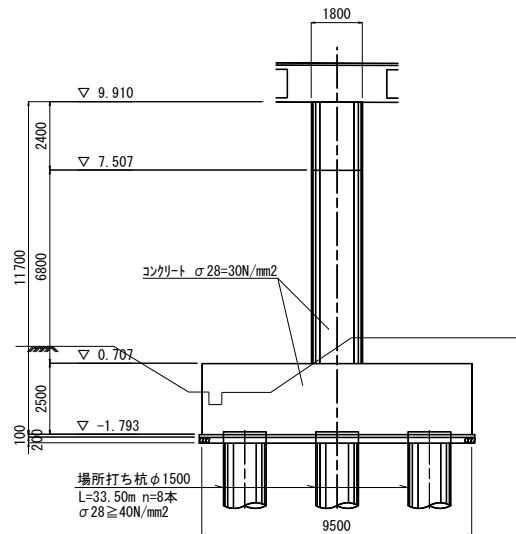


図-3 側面図

2. 現場における問題点

橋脚の底版を含む躯体部はコンクリート打設に不利となる夏季施工となり、品質にかかる問題点として種々の検討を行った。

躯体部のコンクリートは呼び強度が 30N/mm² で設計されている。同じ呼び強度の JIS 規格品による事前の温度解析では、外気温 30℃ の場合、コンクリートの内部温度が 3 日目で 80℃ 程度まで上昇し、表面に発生する引張応力はその時の引張強度を大きく上回ることが予想され、水和熱に起因する内部拘束の温度ひび割れが発生する恐れがあった。

3. 工夫・改善点と適用結果

3-1 フライアッシュの活用

五台山第 5 高架橋下部工の施工に当たり、コンクリートの水和熱を低減させる方法を検討した。低熱セメント、中庸熱セメントの使用も考えられたが、強度が補償される材令が 56 日、91 日となり工程に影響を及ぼすことやプラントの設備面から製造できる生コン工場に限られること、コンクリートの価格等から使用は見合わせた。

高知県ではフライアッシュ（以下 FA という）をセメントの代替（内割）として、水セメント比を水結合材比に読み替えて JIS 規格を取得している生コン工場が多数ある。そのほとんどの工場がセメントの 10% を FA に置き換えた配合で、JIS 規格品として公共工事にも使用している。FA はポズラン反応で硬化するが、ポズラン反応はほとんど発熱しないという特徴がある。このことを踏まえ、本工事では JIS 規格品よりも多いセメントの 20% を FA に置き換えた配合でコンクリートの水和熱を低減させる方法を提案した。

表-1 試験練り配合表

NO.	配合	混和剤構成	水結合材比 (%)	単位水量 (kg/m ³)	単位C量 (kg/m ³)	単位粉体量 (kg/m ³)	総骨材率 (%)
①	30-12-20BB	FA内割20%	50.9	163	257	321.2	45.2
②	30-12-20BB	FA内割10%	47.8	164	309	343.3	43.9
③	30-12-20BB	FA無し	50.5	167	331	-	45.2

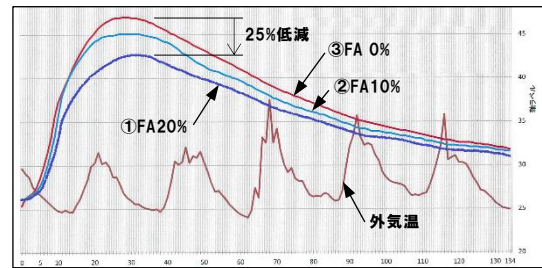
まず水結合材比を決定する試験練りを行い、28 日強度で目標強度 35N/mm² を得られる水結合材比

50.9% を決定した。

続いて、

- ① 水結合材比 50.9% とし、FA を内割で 20% 使用した配合
- ② 呼び強度 30N/mm² の FA を内割で 10% 使用した配合（JIS 規格品）
- ③ 呼び強度 30N/mm² の FA を使用しない配合（JIS 規格品）

を同じ日に試験練りした。それぞれの配合での単位セメント量は①257 kg/m³、②309 kg/m³、③331 kg/m³ となっており、FA 内割 20% と FA 無しでは 74 kg/m³ の差があった。



最大温度	① FA 20%	42.7°C (29h)	上昇量 16.5°C
	② FA 10%	45.1°C (28h)	上昇量 18.9°C
	③ FA 0%	47.0°C (27h)	上昇量 21.6°C

図-4 簡易断熱温度上昇の測定結果

それぞれの配合の圧縮強度供試体を用いて、発泡スチロールを利用した簡易の断熱状態での温度上昇の測定を行った。最大温度上昇量はそれぞれ①16.5℃、②18.9℃、③21.6℃となり、FA 内割 20% のコンクリートは FA 無しのコンクリートの約 75% に低減できることが判明した。また、呼び強度が 28 日で発現することを確認して採用した。

3-2 応力解析と温度測定によるモニタリング

施工に先立ち簡易なプログラムで、コンクリートの水和熱による躯体中心部と型枠内部の温度上昇量を解析し、その温度差による応力解析を行った。図-5 と図-6 において放物線状の曲線はコンクリートの引張強度、波状の線はコンクリートに生ずる引張応力を示す。図-5 は FA 無しの配合で発生する引張応力が引張強度を大きく超えていることが判る。図-6 は FA 内割 20% の配合で発生する引張応力はほぼ引張強度と等しい。

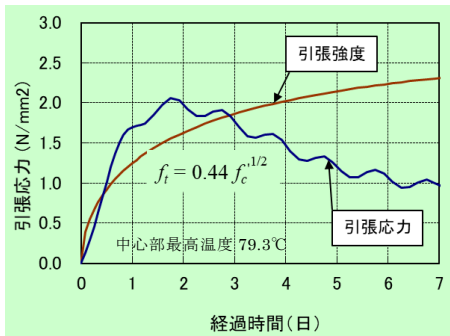


図-5 配合による応力解析 (FA 無し)

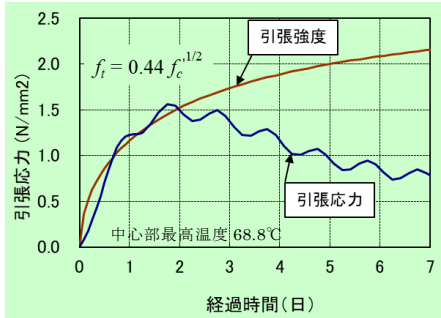


図-6 配合による応力解析 (FA20%)

実際の施工においては躯体中央部、型枠表面、コンクリート天端に熱電対を設置し、気温と共に温度のモニタリングをした。応力解析の過程で算出された躯体内部の最高温度は 68.8°Cであったのに対し、計測された最高温度は 67.8°Cであり、FA による発熱はほとんどないことが判った。

簡易な温度解析プログラムを改良し、測定したコンクリートの内部温度と表面温度からリアルタイムで表面に発生している引張応力を推定し、養生方法を変更する判断材料として利用した。このモニタリングは施工の目安としては大変役に立った。

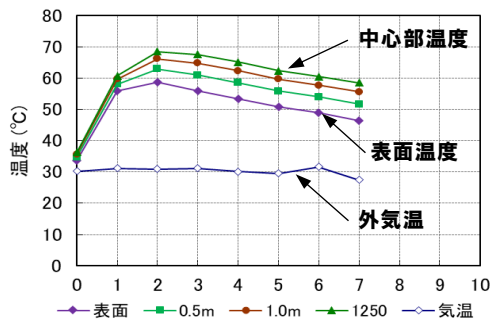


図-7 コンクリート温度測定結果

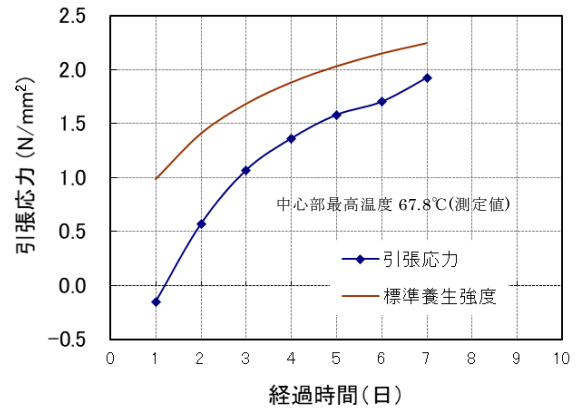


図-8 実測温度による応力解析

3-3 養生の工夫

図-6 の応力解析ではコンクリート表面の引張応力に対し引張強度に余裕が無かったので、コンクリートの表面を保温することにした。養生方法はコンクリートの内部温度を下げるのと同時に、コンクリート内部の熱を利用して表面を保温し、コンクリート内部と表面の温度差を少なくして引張応力を小さくするようにした。

躯体足場で使用するスパイラル管を活用し、そのうち 12 箇所へ注入ホースを設置した。それぞれの管内に冷水を注水し、コンクリート内部で温められた冷水は温水となってコンクリートの天端に溢れ出し、その温水を湛水することで表面を保温した。温水は外気で冷却されやすいため、その上にウレタン系の「うるおんマット」を敷設し冷却を防いだ。コンクリート内部で温められた温水の温度は 42°C 程度であった。冷水の注入は内部温度がピークとなった打設後 3 日まで行い、その後は湛水のみで養生を行い、7 日後に内部温度の降下を確認し型枠を解体した。

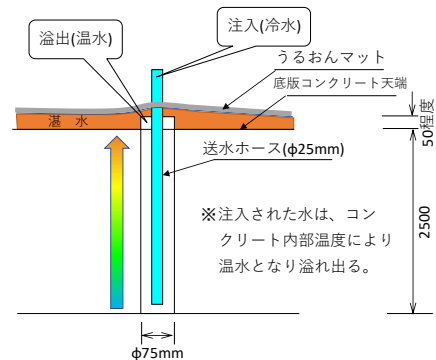


図-9 湛水養生概要



図-10 湛水養生状況

3-4 表層部（かぶり部）の品質確保の工夫

橋脚の主筋は D38 の太径鉄筋が用いられ、主筋中央部までのかぶりは 160 mm であり鉄筋と型枠の最小のあきは約 100 mm であった。そのため組み立てた鉄筋の内側からの棒状バイブレーターの締固めでは、振動がかぶり部に伝わりにくく締固め不足となり、豆板（ジャンカ）やコールドジョイント、沈みひび割れ等の初期欠陥を生じる恐れがあった。通常、マスコンクリートでは太径の棒状バイブレーター（φ50 mm）を 50 cm の間隔で挿入して締固めを行うが、かぶり部で使用すると鉄筋や型枠に接触し、コンクリートの品質に悪影響を及ぼす恐れがある。今回の工事ではかぶり部の品質を確保するため、小径の棒状バイブレーター（φ30 mm）を 30 cm 間隔で入念に締固めを行った。



図-11 小径バイブレーターによる締固め

3-5 適用結果

結果、真夏における高強度のマスコンクリートの施工にもかかわらず、フライアッシュを有効活用し、湛水養生や温度測定によるモニタリングを

行うことにより温度ひび割れは発生しなかった。また、小径のバイブレーターを使用する事により、表層部（かぶり部）は緻密性を確保した。FA の特徴として長期強度の伸びが大きく、長期間において表面の緻密性が改善されるので、品質の良い構造物となり、長寿命化にも寄与できたと思われる。

当該工事では、JCI 四国支部の品質確保委員会によるチェックシートを用いた施工状況の把握や表層品質目視評価、表面吸水試験（SWAT）、表層透気試験（トレント法）を行ったが、どれも評価は良好の判定結果を得られた。

FA コンクリートの試験練りは水結合材比を決定するための試験練りと、決定された配合での試験練りの 2 種類を行ったので、準備等も含めて 2 ヶ月半あまり時間を要した。今後の使用にあたっては、工事の工程を踏まえて注意が必要である。



図-12 表面吸水試験(SWAT)

4. おわりに

本工事は、高強度のマスコンクリートを夏季に施工という、品質の確保が難しい工事であったが、今回はフライアッシュコンクリートを使用することで温度ひび割れの発生を防止できた。今後は、構造物の設計時点で施工時期も含め検討をしていただき、発注時点でフライアッシュ等の使用を明示していただきたい。

フライアッシュの活用については高知高専の横井克則教授、温度応力の解析については高知工科大学の島弘教授のご指導を仰ぎ、その他たくさんの方から助言をいただき無事に完成させることができました。最後に、当該工事の施工に当たりご協力をいただいた関係者の皆さまに深く感謝し、御礼申し上げます。