

山口県におけるコンクリート構造物ひび割れ抑制対策について



田村 隆弘¹・二宮 純²・森岡 弘道³

¹徳山工業高等専門学校 土木建築工学科 (〒745-8585 周南市学園台)

²山口県 土木建築部都市計画課 (〒753-8501 山口市滝町1-1)

³山口県 土木建築部技術管理課 (〒753-8501 山口市滝町1-1)

山口県では、実用的なひび割れ抑制技術を確認するために実構造物を対象とした試験施工を行い、その結果をもとに、ひび割れ抑制対策のためのシステムづくりをおこなった。試験施工では、水和熱によるひび割れの抑制を目的として、セメントの種類や補強材料等に着目した対策の効果を検証した。試験施工の結果をさらに試行施工で確認しつつ構築したひび割れ抑制システムは、現在、(財)山口県建設技術センターでデータを蓄積しつつ、新設構造物のひび割れ対策を検討する際に有効に機能している。

キーワード コンクリートのひび割れ、試験施工、ひび割れ対策、ひび割れ抑制システム

1. はじめに

近年、コンクリートのひび割れは構造物の耐久性の観点からあってはならないものと強く言われるようになってきた。そして、ひび割れは、コンクリート材料の特性や構造条件、そして、施工に関わる基礎的問題として研究が進められている。

ひび割れ対策の第1のポイントは、構造物となるコンクリートが、その置かれた構造や環境の中でどの程度のトータルでのひずみを生じ、そのひずみから発生した引張応力度の大きさは、その時点でのコンクリートの引張強度の何%に相当するののかといったことを把握することにある。そして、近年の研究成果として、机上の計算では、ひび割れの発生確率がひび割れ指数として表現されるに至り、例えば、土木学会では、このひび割れ指数と最大ひび割れ幅の関係を鉄筋比毎に示している¹⁾。また、施工技術においても、ひび割れ抑制のための新技術が各方面で開発されている。

そのような中、山口県では、実用的なひび割れ抑制技術を確認するために、平成17年から実構造物を対象とした試験施工を行い、その結果について検証するために、試行施工を実施し、そして、それらの成果をもとに、ひび割れ抑制対策のためのシステムづくりを行った²⁾。ここでは、その概要を紹介する。

2. 試験施工から試行施工への展開

(1) 試験施工の概要

試験施工のフィールドには、延長14kmの地域高規格道路の整備を進めている県道山口宇部線を使用した。当路線では、橋台、橋脚及びボックスカルバートなどの構造物の施工の最盛期を迎えており、同一または類似の構造物が多く、抑制対策の効果を精度よく判定できると考えた。

平成17年度の試験施工では、表-1に示すように抑制対策を以下の4つのカテゴリーに分類し、経済性や実用性を考慮して9種類の対策を選定した。

- ① セメント種類の変更による水和熱の低減（使用したセメントは、高炉B種の他に、低熱ポルトランド、普通ポルトランド）
- ② セメント種類の変更による引張強度発現の促進（使用したセメントは、早強ポルトランド）
- ③ 混和剤の使用による水和熱・乾燥収縮の低減



写真-1 試験施工の対象としたボックスカルバート

- ④ (使用した混和剤は、高性能 AE 減水剤, 水和熱抑制型膨張材)
 - ⑤ 補強材によるボックスカルバート頂版の補強 (使用した補強材は、溶接金網, FRP 繊維, アラミド繊維, そしてポリプロピレン短繊維のコンクリートへの混入)
- また、対策の効果を検証するため、他の 17 の構造物においては、無対策 (標準の高炉 B 種コンクリート) で施工し、ひび割れ状態を調査することとした。

表-1 抑制対策と対応構造物

抑制対策 (使用材料等)	ボックスカルバート側壁	橋台たて壁・胸壁	橋脚底板	ボックスカルバート頂版
① 高炉 B 種セメント (標準)	1	3	3	
② 低熱ポルトランドセメント	1	1		
③ 普通ポルトランドセメント	4	1		
④ 早強ポルトランドセメント	1			
⑤ 高炉 B 種+高性能 AE 減水剤	1	1	1	
⑥ 高炉 B 種+水和熱抑制型膨張材	1	1	1	
⑦ 溶接金網 (高炉 B 種)				4
⑧ FRP 繊維 (高炉 B 種)				2
⑨ アラミド繊維 (高炉 B 種)				2
⑩ PP 短繊維 (高炉 B 種)				1

(2) 試行施工への展開

試行施工では、試験施工において特にひび割れ抑制対策が困難であった壁式の橋台や橋脚について効果的な対策を模索することや養生方法の違いによる効果について調査した (表-2 参照)。

表-2 試行施工の内容

項目	備考	対象構造物
セメントの種類	・高炉セメント B 種 (標準仕様) ・普通ポルトランドセメント	橋台
混和材の種類	・水和熱抑制型膨張材 (BB)	橋台
補強材料	・アラミド繊維 (BB) ・補強鉄筋 (BB) ・ガラス繊維 (BB)	橋台
養生方法	・標準養生 ・高保水性養生マット+ブルーシート養生	ボックス
計測	温度・ひずみ計測	橋台 ボックス

3. ボックスカルバートのひび割れ抑制対策

以下では各構造物における代表的な結果と、全体的な傾向について記述する。

例えば、写真-1は試験施工に用いたボックスカルバート (北山田 2 号水路函渠) である。本構造物は、全長

248mでほぼ同寸法の17のブロックで構成されているため、各種の抑制対策を比較することが出来た。

一般にボックスカルバートでは、側壁に垂直に貫通ひび割れが発生する。このため、ひび割れ誘発目地を設置して有害なひび割れの発生を防ぐ。ここでは、約 5m 間隔にひび割れ誘発目地を設置したが、図-1に示すように、5ブロックで誘発目地以外の箇所にひび割れが発生した。しかし、ここで誘発目地以外に発生したひび割れは、いずれも対策を施していない (高炉 B 種セメントを使用した) 構造物であった。

図-2は、ひび割れ誘発目地に発生したひび割れを含めてひび割れ幅を計測し、コンクリート打設温度とブロック幅 1m 当たりのひび割れ幅の関係を示している。図から明らかなように打設温度が上昇するに従ってブロック幅 1m 当たりのひび割れ幅が増大している。また、高炉 B 種セメントの場合には、ひび割れ幅は小さなものから大きなものまで、打設温度に対応してひび割れ幅が広がって行くのに対し、低熱セメントを使用した場合には、ひび割れ幅が最も小さく、普通ポルトランドセメントでも、比較的ひび割れ幅は小さなものになっている。

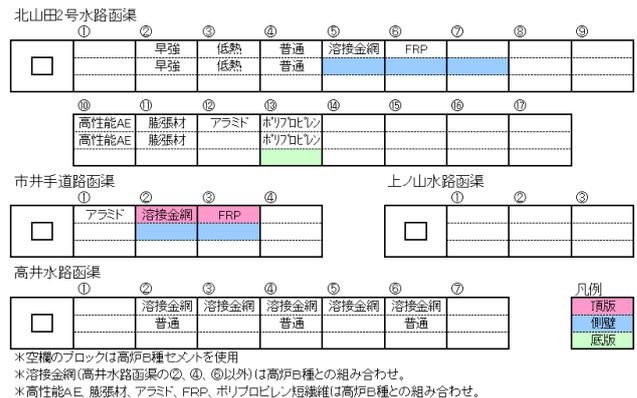


図-1 ボックスカルバートのひび割れ発生状況

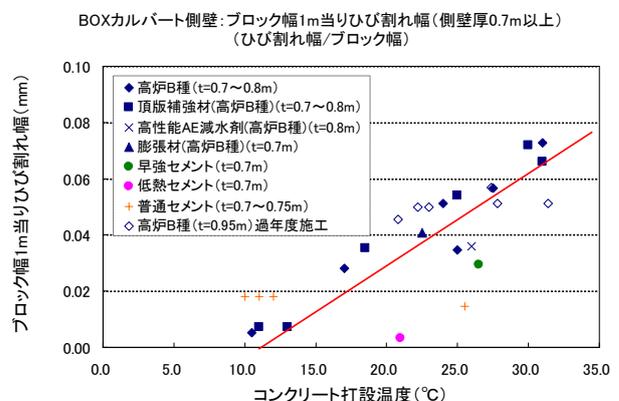


図-2 コンクリート打設温度とブロック幅1m当たりひび割れ幅

4. 橋台、橋脚のひび割れ抑制対策

(1) 橋台たて壁

橋台たて壁は、その幅が10mを超えることが一般的であるが、大きな底版が拘束体になるにも関わらず誘発目地を入れることが構造的に好ましくないと考えられることから、ひび割れ対策の難しい構造物の代表と言える。

図-3は、高炉B種（無対策）、普通ポルトランドセメント、そして、高炉B種に水和熱抑制型膨張材を使用した橋台たて壁の事例である。ここに示す事例のように、比較的マッシュな構造物では、水和熱抑制型膨張材を使用した場合においても、ひび割れの抑制は困難であることがわかる。

図-4は、試験施工の対象とした橋台たて壁の鉄筋比と最大ひび割れ幅の関係を示したものである。ここで、横軸には、ひび割れ抑制対策の種類（鉄筋A、鉄筋Bについては、次項に解説）を示し、その部材の鉄筋比を棒グラフ（左縦軸）で示し、最大ひび割れ幅を赤丸（右縦軸）で示している。図より、相対的に鉄筋比が増加するに従い最大ひび割れ幅が小さくなる傾向が確認できる。また、鉄筋比が高い状態でガラス繊維を使用した場合には、ひび割れ抑制効果が高い状況も認められる。

図-5は、図-4の中から高炉Bのみの構造物について取り出し鉄筋比と最大ひび割れ幅の関係を示したものである。この図からも鉄筋比が増加するに従い最大ひび割れ幅が減少する傾向が確認できる（ここでは、鉄筋比が0.25%を超えると最大ひび割れ幅が0.1mm以下に収まっている）。

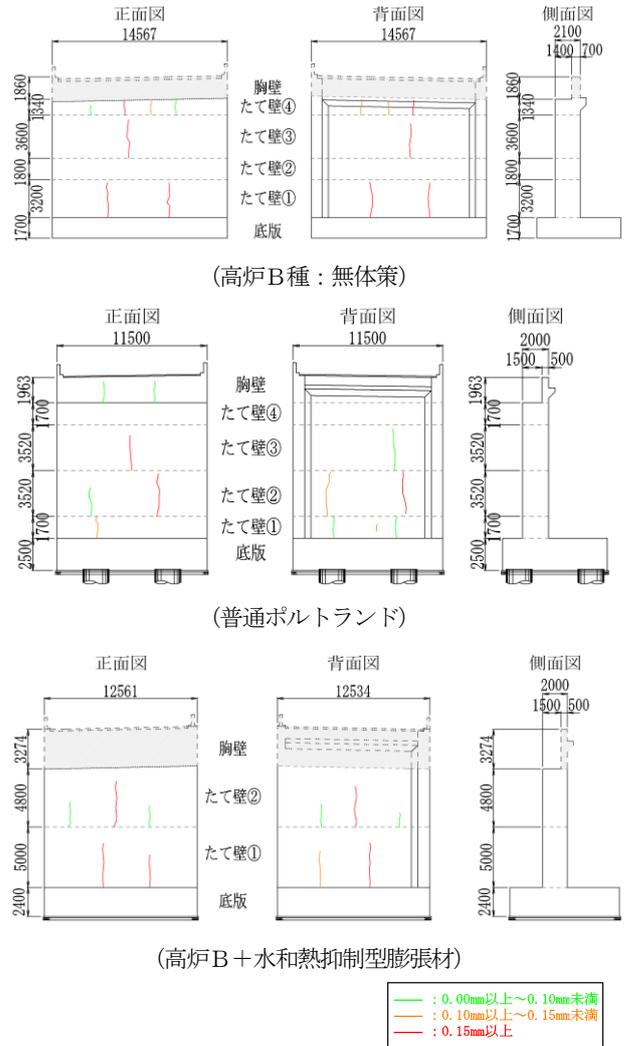


図-3 橋台たて壁のひび割れ事例

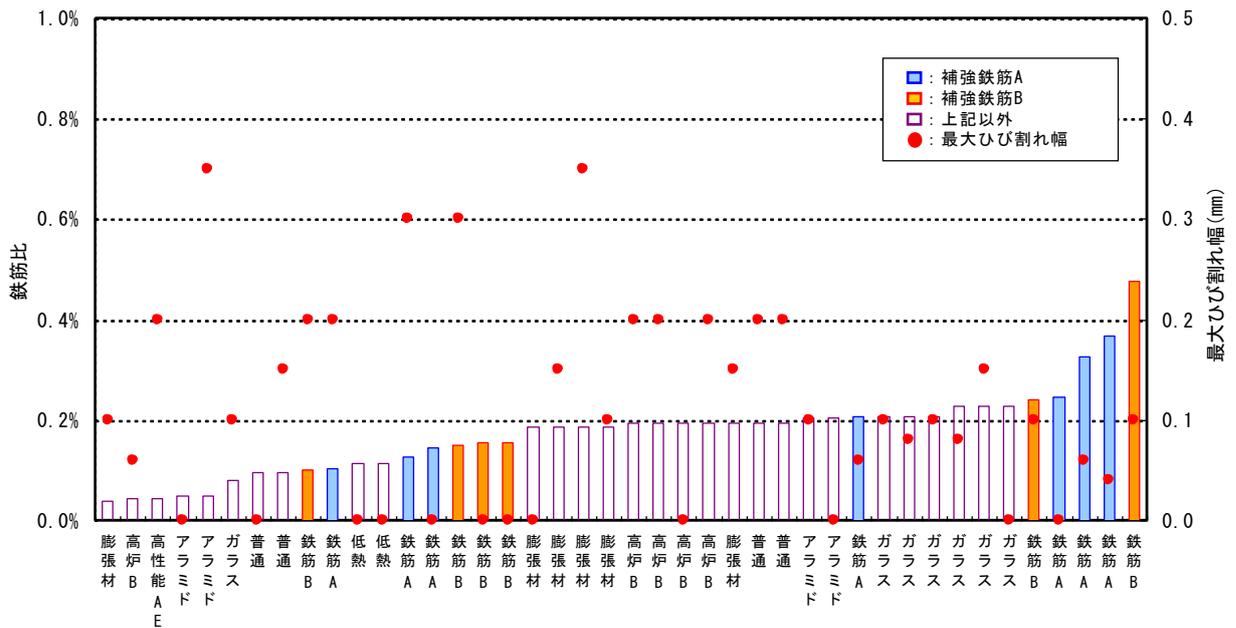


図-4 鉄筋比と最大ひび割れ幅の関係（試験施工の対象とした橋台たて壁の状況，H18年度）

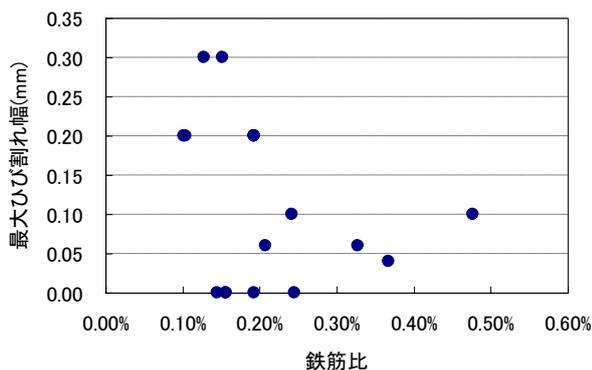
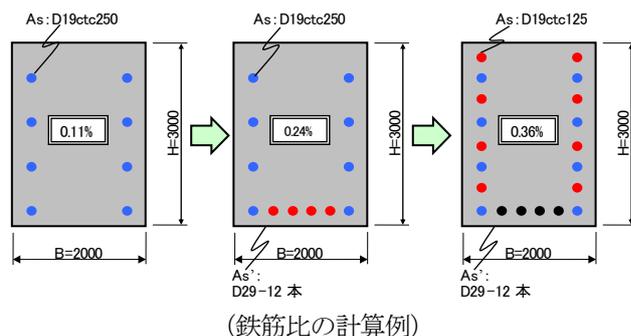


図-5 鉄筋比とひび割れ幅の関係



(鉄筋比の計算例)

(2) 橋台たて壁の補強鉄筋によるひび割れ抑制対策

図-6は、部材の鉄筋比を増加させる時の2つの方法を示している。図下段に示す「補強鉄筋A」は、部材内部に水平方向へひび割れ抑制を目的とした鉄筋を配置する方法である。配置位置は、拘束を受ける場所に比較的近い位置に配置するため、外部拘束による貫通ひび割れに対して効果を期待している。一方「補強鉄筋B」は、部材表面近くに、既に配置されている鉄筋の間隔を詰めて鉄筋を増量する方法で、内部拘束による表面でのひび割れに対する効果も期待している。図上段は、鉄筋比の計算例である。

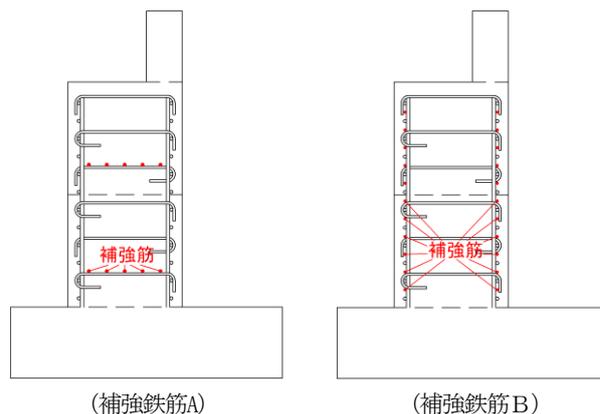


図-6 橋台たて壁の鉄筋比の増量方法

補強鉄筋A, Bのいずれにおいても、補強鉄筋は、コンクリートの収縮を制御するものではなく、ひび割れの分散を促すことにより、ひび割れの局所化を抑制し、最大ひび割れ幅の縮小を目指している。

図-7は、補強鉄筋を配置して鉄筋比を増加させ、ひび割れを分散させることが出来た幅約25mの橋台たて壁である。施工後約1~2ヶ月の段階で、たて壁①とたて壁③では0.06mm以下のひび割れが10本程度確認され、た

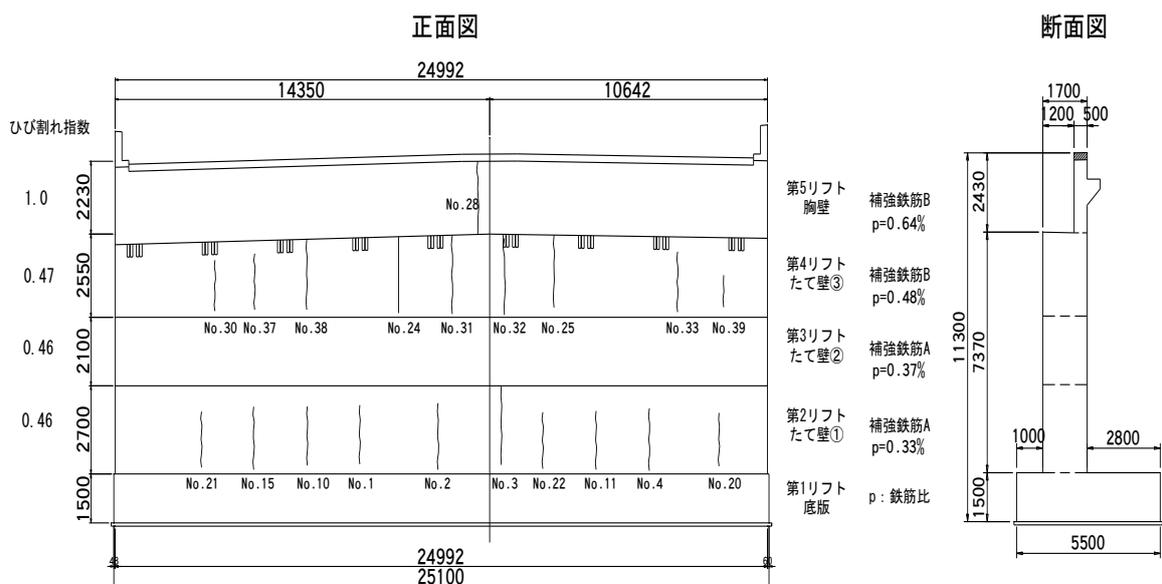


図-7 補強鉄筋を配置してひび割れを分散させた幅25mの橋台 (図左端の数字はリフト毎のひび割れ指数を示す。たて壁①とたて壁③では0.06mm以下のひび割れが10本程度確認され、たて壁②ではひび割れは確認されなかった。)

て壁②ではひび割れの発生は確認されなかった。また、ほぼ同程度の構造物にガラス繊維による対策を講じた構造物においても、若干ひび割れ幅は大きくなったが同様にひび割れを分散させる効果が確認された。

5. 山口県のひび割れ抑制対策システム

(1) ひび割れ抑制対策システムとは

図-8は、山口県のひび割れ抑制対策システムの概念図である。設計段階から効果的なひび割れ抑制対策を検討することを基本としているが、その際、今回の試験施工で得られた知見をもとに作成した「ひび割れ抑制対策資料」を参考にするとしている。本資料は、山口県土木建築部と徳山工業高等専門学校の官学共同研究の成果の一つであり、システムの運営は、(財)山口県建設技術センターがおこなっている。また、ひび割れ抑制対策資料については、平成19年度に開発した「コンクリート打設管理記録(次項で解説)」から得られるデータベースの分析結果に基づき逐次改訂が図られることになっている。

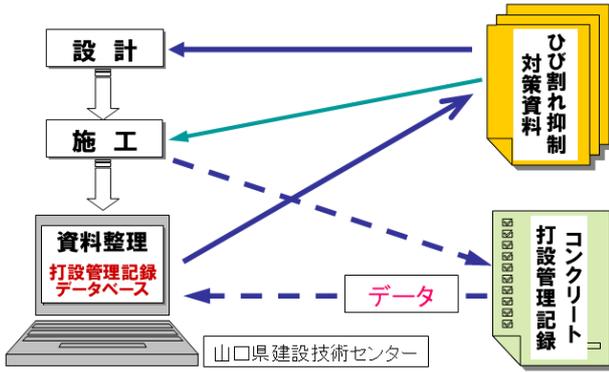


図-8 山口県のひび割れ抑制対策システムの概念

(2) コンクリート打設管理記録

図-9-1～図-9-4は、ひび割れ抑制対策資料をブラッシュアップするための情報を与えてくれるコンクリート打設管理記録の記入例である。コンクリート打設管理記録は、①コンクリート打設リフト図、②コンクリート打設管理表、そして、③ひび割れ調査票の3つのシートで構成して、構造物のリフト毎に情報を入力する。なお、コンクリート温度については計測した温度データをシート3(省略)に入力することで自動的に完成する。

施工現場で整理されたコンクリート打設管理記録を山口県建設技術センターで集約し、データベース化することで、過去に建設したコンクリート構造物のひび割れ発生状態を容易に検索できるシステムとなっている。

図-10は、これまでのコンクリート打設管理記録のデータ(リフト数で集計)の累積状況を示しているが、現在では既に600リフトを超えるデータを蓄積している。

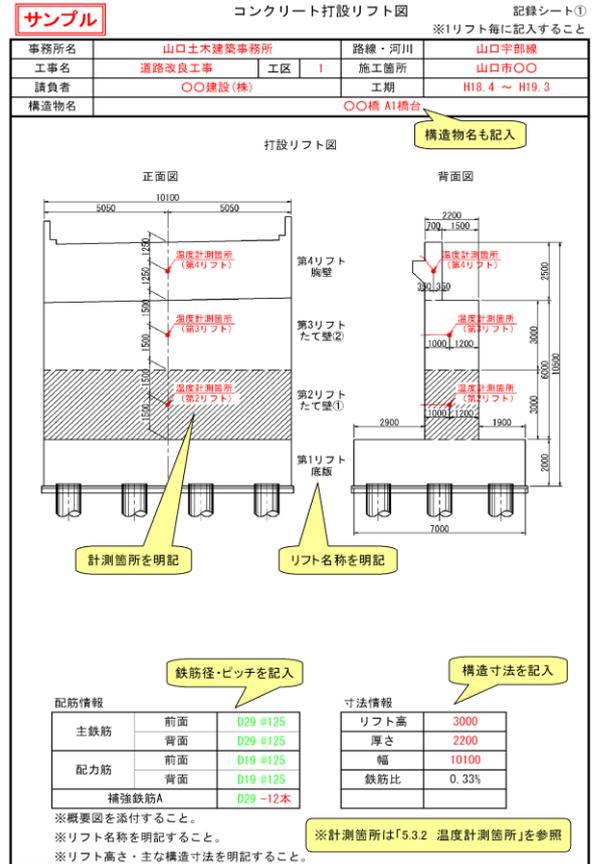


図-9-1 コンクリート打設管理記録(コンクリート打設リフト図)



図-9-2 コンクリート打設管理記録(コンクリート打設管理表)

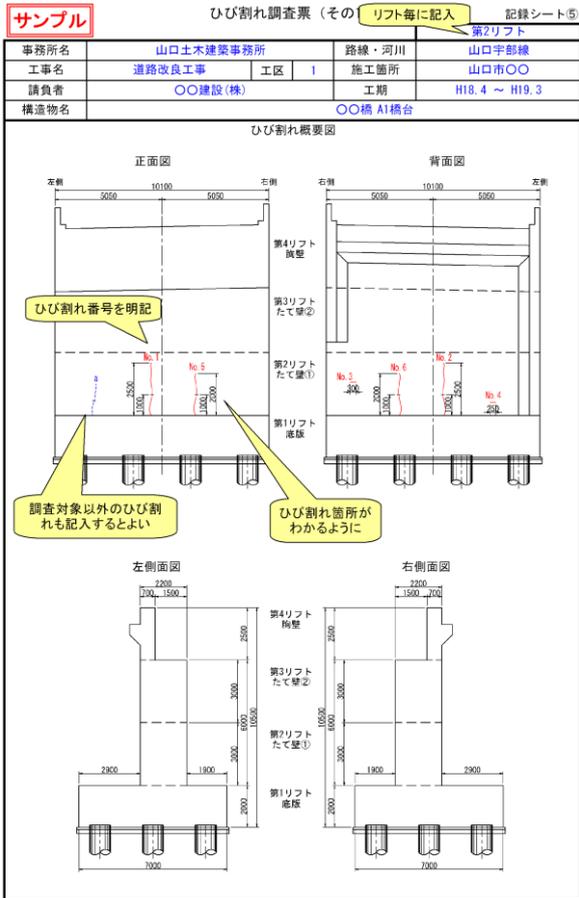


図-9-3 コンクリート打設管理記録 (ひび割れ調査票 1)



図-9-4 コンクリート打設管理記録 (ひび割れ調査票 2)

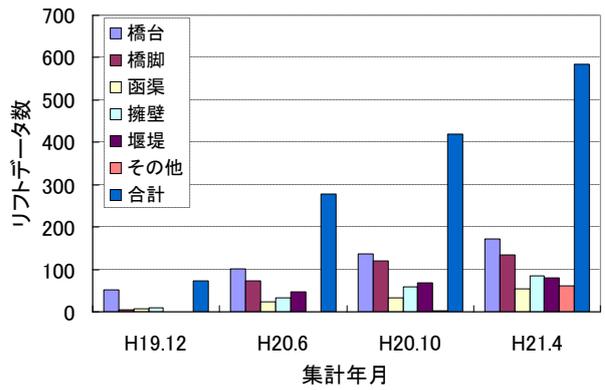


図-10 コンクリート打設管理記録データベースの状況

6. ひび割れ抑制に係る各種研究

試験施工に関連して多くの研究をおこなったが、ここでは、代表的なテーマの紹介に留める。

- (1) 補強材のひび割れ抑制効果検証のための室内実験
概要：各種補強材を施した梁部材の直接引張試験を行い、ひび割れ分散性能を確認した。
- (2) ボックスカルバートの頂版に発生するひび割れの研究
概要：ボックスカルバートの頂版に縦断方向へ発生するひび割れについて、温度応力解析によって分析した。
- (3) 養生方法の相違による構造物の挙動に関する調査
概要：保水マットを用いた養生と通常の養生の効果を構造物の内部温度を計測することで比較した。
- (4) ボックスカルバートの温度変化に伴う変形状の把握
概要：ボックスカルバートの施工初期の温度勾配と構造物全体の変形をクリープメータによって計測した。
- (5) ひび割れ計測手法の標準化に関する研究
概要：ひび割れ計測時に、有害もしくは無害の判定を正しく行う手法とその標準化を目指す研究を行った。
- (6) ひび割れ長期調査による構造物の挙動に関する研究
概要：構造物に発生したひび割れを長期的に観察し、年間の構造物の温度や収縮に関する挙動を確認した。

7. おわりに

コンクリートのひび割れ抑制対策は、設計段階に構造物の施工時期を念頭に置いた適切な抑制対策を選定することが大切である。コンクリート打設管理記録データベースの蓄積は、適切な対策を的確に選定するために大切な作業である。今後、このデータの収集作業が県を越えて広範囲な活動となり、各方面でデータベースが活用されることを期待する所である。

参考文献

- 1) 土木学会：2007年コンクリート標準示方書設計編,p183
- 2) 山口県：<http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a18000/hibiware/>
hibiwareyokusei.html