

# 論文 山口県の実構造物のデータベースを活用したひび割れ抑制設計

二宮 純<sup>\*1</sup>・森岡 弘道<sup>\*2</sup>・細田 暁<sup>\*3</sup>・田村 隆弘<sup>\*4</sup>

**要旨:** 山口県ではコンクリート構造物のひび割れ抑制を始めとする品質確保を目的として、産学官が協働して取組む独自のシステムを運用している。このシステムでは、実構造物のコンクリート施工に関する詳細な記録をデータベースに蓄積しており、これを活用して新たな構造物のひび割れ抑制設計を数値解析によらずに行うことが可能になるが、実構造物データであることに起因する制約条件があり、これに配慮した設計手法が必要になる。橋台たて壁を対象にした抑制設計を事例として、ひび割れ抑制設計の実用的な手法を考察した。

**キーワード:** 実構造物, データベース, 山口県, 品質確保システム, ひび割れ抑制設計

## 1. はじめに

山口県では、コンクリート構造物を施工する際に発生するひび割れを抑制することを目的として「コンクリートひび割れ抑制システム」を構築し、2007年から運用を開始した<sup>1)</sup>。さらに2014年には、システムの目的をひび割れ抑制から表層コンクリートの密実性などの品質確保に拡張するとともに、対象構造物をそれまでのRC構造物のみからプレストレストコンクリートまで広げた「コンクリート構造物品質確保システム」に拡張して運用を継続している<sup>2)</sup>。

いずれのシステムも、その中核をなしているのは、県が発注した工事で建設されたコンクリート構造物の詳細なデータを蓄積したデータベースである。

各工事の施工者が、使用材料、施工状況、ひび割れなどのデータを定められた様式のシートに記録し、引取り時に工事管理資料として発注者である県に提出する。これを県がデータベースに蓄積し、ウェブサイトにおいて公表しており<sup>3)</sup>、設計・発注・施工・製造の各分野の技術者を始め、自由に閲覧・利用することができる。

運用開始から約8年が経過し、ひび割れ抑制や表層品質の向上に効果を上げているが<sup>4),5),6)</sup>、一方で新たな構造物の設計においてデータベースを合理的に活用する手法が未確立であり、構造物建設の最も上流に位置する設計段階での活用が不十分であることが課題となっている。その対策の一つとして、山口県は品質確保システムの規準書である「コンクリート構造物品質確保ガイド<sup>7)</sup>」(以下、「ガイド」と表記)に、橋台たて壁及び胸壁について設計事例を掲載しているが、設計者が適切に設計業務を行うための情報はまだ不足している状況にある。

本研究では、この設計事例を作成する過程で明らかになった、実構造物データの活用上の制約となる特性について考察し、この特性を考慮したうえでの実用的な設計方法について検討を行う。

## 2. 山口県の品質確保システム

### 2.1 システムの経緯

#### (1) ひび割れ抑制システム

2001年に国土交通省が発出した通達「土木コンクリート構造物の品質確保について(国官技第61号,平成13年3月29日)」により、各発注機関がひび割れの調査及び記録を施工者に義務付けるようになり、山口県でも義務付けを開始した。

また、山口県は2003年に成績評定制度を導入し、ひび割れの発生や処理について厳格に評価するようになった。

これらの状況変化により、コンクリート構造物のひび割れの責任について、施工者と発注者の対立が生じるようになった。施工者は「設計も材料も決まっているのだから、発生したひび割れの補修責任はない。」と主張し、発注者は「設計図書を確認し、施工方法を決定した施工者が、ひび割れを補修すべきだ。」と主張する。同様に、材料供給者や設計者も自らの責任を回避し、結果として関係者全員がひび割れの責任の当事者でないことを主張するばかりで、解決する方法を誰も考えないという、「負のスパイラル」と呼ぶべき現象が生じていた。

この解決を目指して、山口県は2005年に実構造物を使用したひび割れ抑制対策の試験施工に着手し、その結果を基に独自のひび割れ抑制システムを構築し、2007年から運用を開始した。

\*1 山口県土木建築部 審議監 (正会員)

\*2 山口県土木建築部技術管理課 主幹 (正会員)

\*3 横浜国立大学大学院 都市イノベーション研究院 准教授 博(工) (正会員)

\*4 徳山工業高等専門学校 土木建築学科 教授 博(工) (正会員)

システムでは、施工中に発生するひび割れを抑制するため、①適切な施工時期、②材料等による適切な対策方法、③確実な施工の実施の3要素で構成する対策を行う。

①は、水和熱による温度ひび割れを抑えるため、気温の高い時期の施工を避けるように努めるもの。②は、材料や養生方法を工夫することで、ひび割れの抑制を目指すもの。材料による標準的な対策は、補強鉄筋、ガラス繊維、膨張コンクリート、誘発目地などであり、材料費および施工費を工事費に加算する。③は、不適切な施工によるひび割れを排除するため、コンクリート標準示方書[施工編]に示された基本事項を遵守するものである。

この抑制対策を実行するシステムの構成を図-1に示している。構造物の施工から得られた詳細な情報をデータベースに蓄積し、その後の設計・施工の参考資料として活用するとともに、規準書改訂の根拠資料としても使用することで、PDCA サイクルにより、システムを継続的に改善していくことができる。

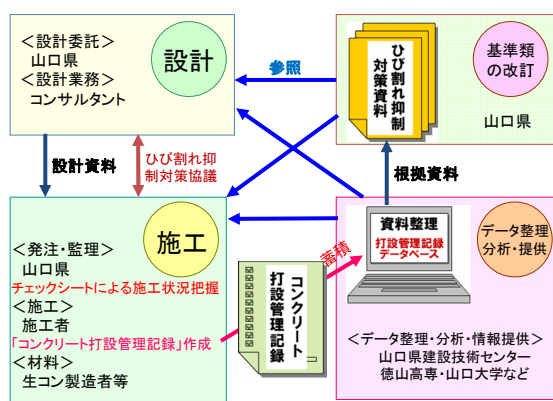


図-1 ひび割れ抑制システムの構成

データベースの活用において重要な点は、データに間違いや記入漏れがなく正確であることに併せて、不適切な施工により発生したひび割れが少なく、信頼性が高いデータであることである。

ひび割れ抑制の1要素である「確実な施工の実施」のもとで発生したひび割れのデータは、施工者の違いによらない、再現性・信頼性が高いものとなる。

システムでは、この「確実な施工の実施」を発注者が支援するため、図-1に示すチェックシートを活用した施工状況把握を実施している<sup>8)</sup>。

## (2) 品質確保システム

ひび割れ抑制システムの効果について、日本コンクリート工学会および土木学会の研究委員会の調査研究により、ひび割れ抑制にとどまらず、コンクリート表層部の品質向上にも及ぶことが明らかにされた<sup>4)5)</sup>。さらに、日本コンクリート工学会「データベースを核としたコン

クリート構造物の品質確保に関する研究委員会(田村隆弘委員長)」において、より適切なシステムについて議論され、目的を表層品質なども含めた品質確保に拡張し、また対象構造物をプレストレストコンクリートまで広げた「コンクリート構造物品質確保システム」に進化させる研究が行われた<sup>9)</sup>。

## 2.2 データベースの概要と内容

図-1に示すように、施工者がリフトごとに所定の様式のシートに施工の詳細な情報を記録し、このデータをデータベースに蓄積し、(一財)山口県建設技術センターの「コンクリート構造物の品質確保」のウェブサイトにおいて公表している<sup>3)</sup>。

このサイトにおいて、「コンクリート施工記録データ(山口県発注分)」を選択すると、全データの一覧表が表示され、打込み時期、構造物、部位などの項目で条件を絞込み、参照したいリフトのデータを抽出できる。

各リフトのデータは6枚のシートで構成され、PDF形式で格納されている。

各シートに記録された内容は、①「リフト図」に、工事名、施工者、工期、構造物名などの基本情報及び形状・寸法、補強鉄筋などによるひび割れ抑制対策の有無や内容。②「コンクリート打込み管理表」に、コンクリート、運搬・打込み・締固め、コンクリート温度履歴、養生の情報。③・④「コンクリート打込み管理表(温度計測その1, 2)」に、コンクリート内部温度と外気温(1日3回計測)。⑤・⑥「ひび割れ調査票(その1, 2)」に、発生したひび割れのスケッチ図などとなっており、これから設計や施工を行うものと類似したデータの詳細な情報を把握することができる。

図-2にデータベースに蓄積されたデータ数の推移を示している。2005年度及び2006年度は、試験段階であったことからデータ数は少なく、運用開始の2007年度からデータ数が大幅に増加したが、その後は県の公共事業費の縮小によって建設する構造物が減少し、データの増加が低調になり、現在の累計は1,100件余りである。

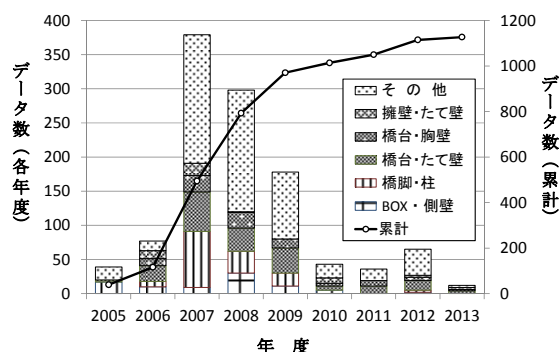


図-2 蓄積データ数の推移

### 3. データベースを活用したひび割れ抑制設計

#### 3.1 データベース活用上の課題

データベースを設計や施工に活用する場合、2.1(1)で述べたデータの正確性と信頼性という「質」の充実とともに、データ数が豊富である「量」の充実も求められる。

質の充実については、システムを着実に運用していくことが重要であり、実践的な研修などにより発注者をはじめ関係するすべての技術者へシステムの浸透を継続的に図っていく必要がある。

一方、量の充実については、このデータベースが実構造物からデータを蓄積するものであるため、急速に達成することは難しい。

したがって、当面建設するコンクリート構造物の品質確保を図り、質と量が不十分な現在の状況でも工夫しながら活用していくことが必要となる。

設計や施工にデータベースを活用する際には、該当する構造物・部材について、寸法や打込み時期などの要素が類似したデータを参照することになるが、実構造物のデータであるため、データの分布には偏りがある。

ここから、図-3 に示すような橋台たて壁を事例として、主要要素に関する数値の分布について考察する。

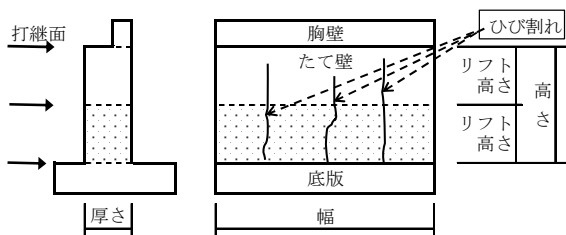


図-3 橋台たて壁の概要図

#### (1) 打込み時期

2014年9月時点では、データベースで184件の橋台たて壁のデータが閲覧できる。このデータを打込み月別に示したものが図-4である。

7月から9月の3か月間のデータ数が少なくなっているのは、「打込み時期による抑制対策」として、6月から9月までの施工を可能な限り避けることにしており<sup>1)</sup>、これが実行されているためと推察できる。

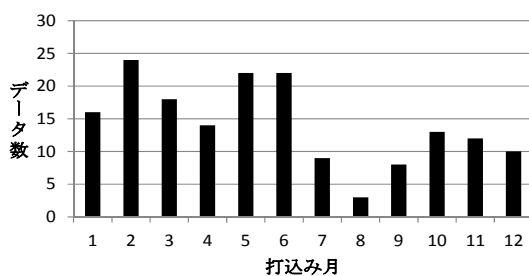


図-4 月ごとの打込み数の分布

今後、システムの浸透をさらに進めていくことで、この期間のデータの蓄積数が他の期間に比べ少ない傾向はさらに強まると予想される。

#### (2) 構造物の寸法

システムでは、構造計算により部材寸法が設定された後に、構造物や部材の種類に応じて補強鉄筋、膨脹コンクリート、誘発目地などの対策を講じており、その効果を施工実績の分析により確認している<sup>6)</sup>。橋台たて壁の幅・厚さ・高さは、設定済みの固定条件となるが、リフト高さは、仮設土留工や埋戻工による制約に加え、打込みの施工性を考慮して、リフト数とリフト高さを設定する。

幅・厚さ・リフト高さの分布を示したものが、図-5、図-6、図-7である。

図-5の幅は、10m前後に分布が集中している。これは、山口県で整備する道路が、車道2車線、あるいは車道2車線及び片側歩道のものが多いため、道路幅員が10m前後に集中するためである。今後建設する幅員の傾向は変わらず、この分布状況は継続していくと考えられる。

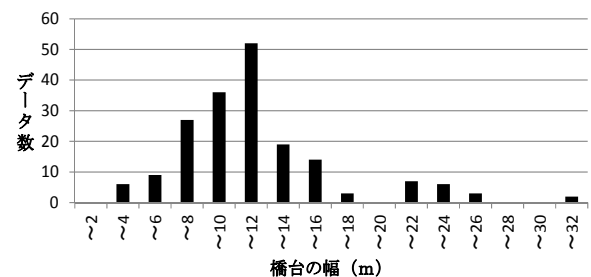


図-5 橋台の幅の分布

図-6の厚さは、1.3~1.4mと1.9~2.0mの2か所にピークがあり、一方、1.2m以下や2.6m以上のデータは少ない。橋台の厚さは桁の長さや厚さにより設定されるため、小規模な橋梁の建設が多い山口県では、このように狭い範囲に分布している。

今後建設する橋梁規模の傾向は変わらず、幅と同様に、この分布傾向が継続していくと考えられる。

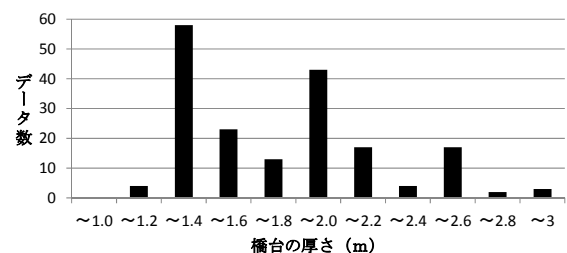


図-6 橋台の厚さの分布

図-7のリフト高さは、0.9mの倍数ごとにピークが見られる。これは、橋台たて壁の型枠に、0.90m×1.80mが定尺の耐水合板を横使い（長辺を水平方向に設置）するケースが多いためと推察される。また、それぞれのピークよりも少し低いリフト高さも比較的多く、合板を切断せずに定尺のまま使用し、仕上げ高さを幾分調整する施工が行われていることも推察される。

図-8にデータ数の割合を示しており、定尺および定尺よりも0.1m、0.2m、0.3m低いものが全体の66%を占めている。リフト高さの設定は仮設土留工などによる制約条件がある場合を除き、打込み高さや体積を考慮したうえで、定尺の倍数を基本に設定されていると推察される。

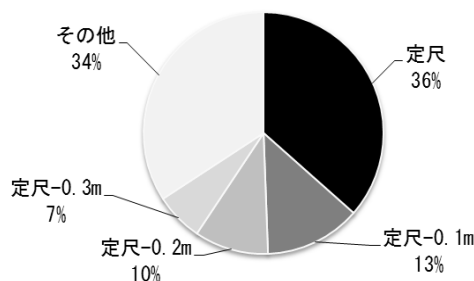


図-8 リフト高さの割合

### (3) 打継ぎ間隔

図-9に、先行リフトと後続リフトの打継ぎ間隔の分布を示している。

6~10日から21~25日までの4箇所（20日間）に分布が集中しているが、約1/4のデータは、30日を超えており、さらに60日以上のもが10件余りとなっており、かなり広く分布している。

打継ぎ間隔が長くなれば、外部拘束による温度ひび割れが生じやすくなるため、「ガイド<sup>7)</sup>」では、打継ぎ間隔の調整によるひび割れ抑制として15日程度以内を推奨している。したがって、今後は打継ぎ間隔の長いデータは増加しにくいことになる。

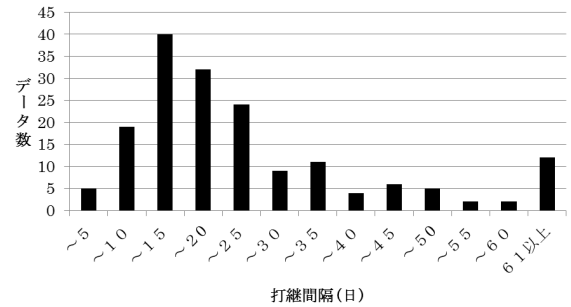


図-9 打継ぎ間隔の分布

### (4) ひび割れ幅

ひび割れは、型枠の取外しから工事完了までの間、施工者が定期的に計測し、2.2で説明した「ひび割れ調査票（その1, 2）」に、計測日ごとのひび割れの長さや幅およびスケッチ図が記録されている。ひび割れの程度を単一指標で評価することはできないが、抑制設計では基本的指標として、各リフトごとのひび割れの計測期間中の最大値を使用している。

図-10に、最大ひび割れ幅の割合を示している。0mm（ひび割れなし）が約半分を占め、これを含めて補修基準0.15mmを下回ったものが約3/4、補修が必要となるひび割れが約1/4生じている。抑制設計の精度が向上することにより、補修基準を下回るデータの割合が増加していくことになる。

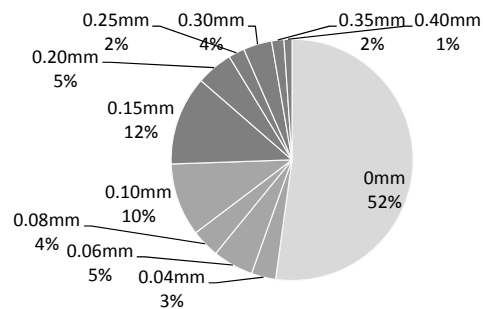


図-10 最大ひび割れ幅別のデータ数の割合

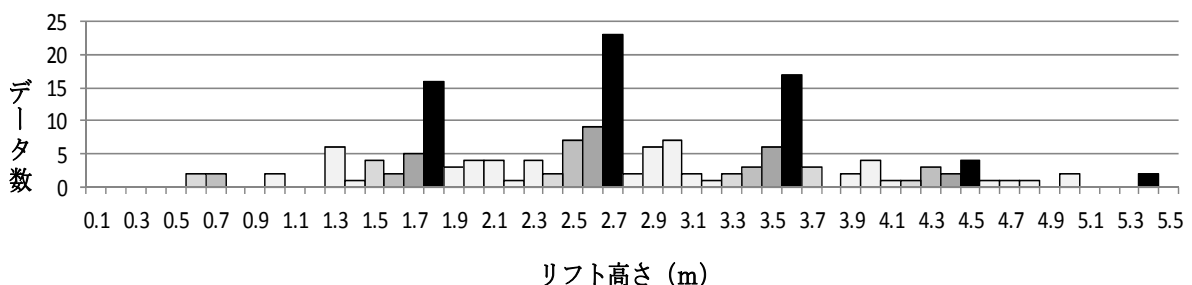


図-7 橋台のリフト高さの分布

### 3.2 類似条件のデータ群を活用した設計手法

#### (1) 設計手法の構築コンセプト

マスコンクリートについて事前にひび割れの対策を検討することが、土木工事共通仕様書において規定されている<sup>10)</sup>。ほとんどの場合、数値解析により検討されているが、2012年に改訂されたコンクリート標準示方書〔設計編〕では、既往の実績による検討が追加された<sup>11)</sup>。

既往の実績は、長大な高架橋のように類似した構造寸法の構造物を大量に繰り返し建設する場合には、直接的に活用できるが、山口県のように県内各所で小規模な建設事業を行う場合には、工夫が必要になる。

3.1で考察したように、データベースに蓄積されているデータは質と量がまだ不十分な状況にある。また、各要素の分布が均一ではなく遍在している。今後の構造物においても、分布の少ない領域の実績を恣意的に増やすことはできず、遍在性が継続する。

この制約を前提に既往のデータを実用的に活用する手法として、最大ひび割れ幅を縦軸に、橋台の幅・打継間隔・補強鉄筋などの各要素を横軸にグラフを作成し、抑制対策を設定する手法を試みた。

既往データの分布には偏りがあるため、検討対象の構造物・部材の各要素は分布の密な個所に該当する場合、しない場合に分かれる。密な個所であれば、参照できる豊富な既往データによって確定的な判断ができる。一方、疎な個所では、少ないデータを参考にしながら幾分安全側の設定を行うことで対応する。

それぞれの施工結果は新たなデータとしてデータベースに蓄積されるので、次第に設計の精度が向上していくことになる。

ここから、橋台たて壁を事例にして、図-11に示すフローによるひび割れ抑制設計の概要を説明する。

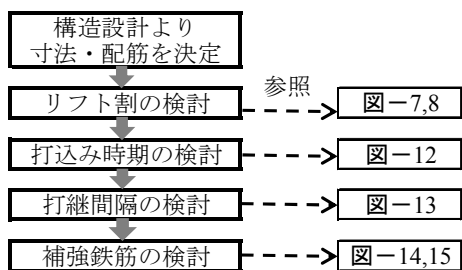


図-11 標準的な設計フロー

#### (2) リフト割の検討

構造設計により決定された部材寸法をもとに、現場条件を考慮し、各リフトが適切な打込み時間となるように、図-7及び図-8を参考にして、リフト数及びリフトの高さを決定する。

#### (3) 打込み時期の検討

図-12に、橋台たて壁の幅と最大ひび割れ幅の関係を季節別に示している。なお、ここでは6月～9月を夏期としている。

橋台の幅が10mよりも短い範囲では、補修が必要なひび割れ（幅0.15mm以上）が、いずれの季節でもほとんど発生していない。これは、先行リフトの拘束力が弱く温度ひび割れが生じにくいいためと推察される。

幅が10m以上になると、補修基準を超えるものが現れ、特に夏期および春・秋期に超えるものが多い。この範囲では、補強鉄筋などによる抑制対策を検討する。

なお、20m以上で0.20mmを超えるものがなく、負の相関を示しているように見えるが、これは補強鉄筋による抑制対策が徹底されているためと考えられる。

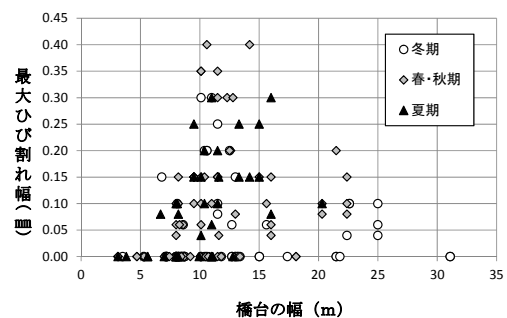


図-12 橋台の幅と最大ひび割れ幅の関係

設計段階では、工程に自由度があれば、夏期（6月～9月）を避けた設定とし、現場条件などにより避けられない場合には、それを設計条件として検討する。

発注・施工段階に、夏期以外から夏期に変更する場合には、設定した抑制対策の見直しが必要になる。

#### (4) 打継ぎ間隔の検討

図-13は、打継ぎ間隔と最大ひび割れ幅の関係を示している。いずれの季節も、打継ぎ間隔が約20日を超えるとひび割れ幅が急に大きくなっており、打継ぎ間隔を短くすることも有効な対策になると考えられる。

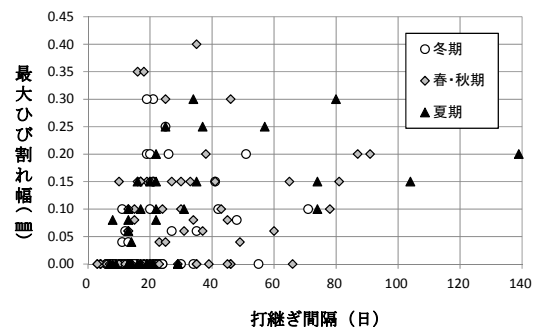


図-13 打継ぎ間隔と最大ひび割れ幅の関係

### (5) 補強鉄筋の検討

図-14 は、鉄筋比と最大ひび割れ幅の関係を示している。鉄筋比は、鉛直方向のひび割れに直交する水平方向鉄筋が部材断面に占める割合である。

いずれの季節においても、鉄筋比が大きくなるとひび割れ幅が減少する傾向が見られ、補強鉄筋が有効な対策であることがわかる。「ガイド<sup>7)</sup>」で橋台たて壁の標準としている鉄筋比 0.30%を超える範囲のデータは少ないが、補修基準 (0.15mm) 以上のものはわずかとなっている。

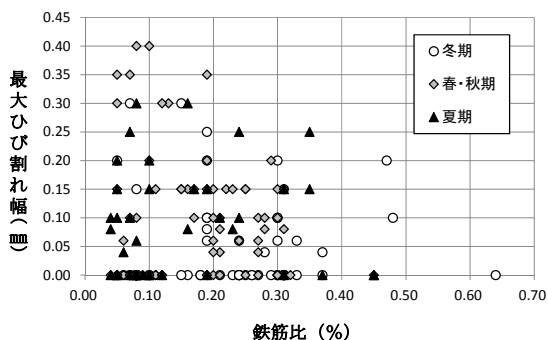


図-14 鉄筋比と最大ひび割れ幅の関係(1)

図-15 は、図-14 について(4)の打継ぎ間隔による対策の効果を加えるために、打継ぎ間隔 20 日以下のデータに絞り込んだ事例を示している。立案した施工計画により設定した打継ぎ間隔に対して、より詳細な検討が可能になる。

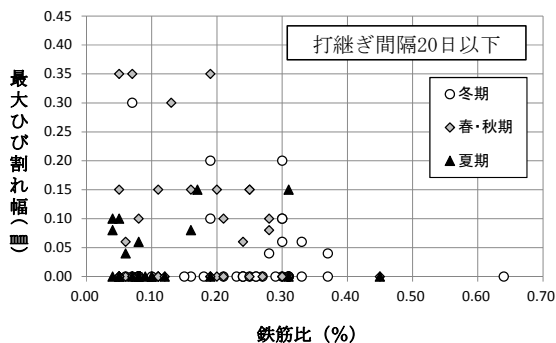


図-15 鉄筋比と最大ひび割れ幅の関係(2)

### 4. まとめ

本研究のまとめを以下に記す。

- (1)実構造物のデータベースの活用においては、データの精度とともに、不適切な施工による不具合が含まれないことが重要である。
- (2)実構造物のデータベースには偏在性などの制約があることを示したが、その制約を前提として簡便なひ

び割れ抑制設計に活用することが可能である。

(3)事例として考察した橋台たて壁の抑制設計では、幅が 10m 程度未満では、特に補強対策は不要であり、幅が 10m 程度以上については打継ぎ間隔と補強鉄筋を組合せた抑制対策が有効である。

今後、さらに蓄積されるデータも併せて分析・考察を行い、この設計手法の精度の向上や適用範囲の拡大を図ることが必要である。

### 参考文献

- 1) 国重典宏, 田村隆弘, 二宮純, 森岡弘道: 山口県における「コンクリートひび割れ抑制システム」について, コンクリート工学, Vol49, pp.91-95, 2011.5
- 2) 山口県技術管理課ホームページ: コンクリート構造物の品質確保, <<http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a18000/hibiware/hibiwareyokusei.html>>
- 3) (財) 山口県建設技術センターホームページ: コンクリート構造物ひび割れ抑制対策, <<http://www.yama-ctc.or.jp/data/index.html>>
- 4) 高性能膨張コンクリートの性能評価とひび割れ制御システムに関する研究委員会報告書, 日本コンクリート工学会, pp.294-317, 2011.9
- 5) コンクリート技術シリーズ No.97, 構造物表層のコンクリート品質と耐久性検証システム研究小委員会 (JSCE335 委員会) 成果報告書およびシンポジウム講演概要集, 土木学会, pp.215-292, 2012.7
- 6) 細田暁, 二宮純, 田村隆弘, 林和彦: ひび割れ抑制システムによるコンクリート構造物のひび割れ低減と表層品質の向上, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol.70, No.4, pp.336-355, 2014
- 7) 山口県土木建築部: コンクリート構造物品質確保ガイド, 2014.5
- 8) 森岡弘道, 二宮純, 細田暁, 田村隆弘: 報告 地方自治体におけるコンクリート構造物のチェックシートを活用した品質確保の取組み, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, 2013
- 9) データベースを核としたコンクリート構造物の品質確保に関する研究委員会報告書・シンポジウム論文集, コンクリート工学会, WG1 報告書 pp.2-97, WG3 報告書 pp.4-22, 2013.9
- 10) 山口県土木工事標準仕様書, p.55, 2013.10
- 11) 2012 年制定コンクリート標準示方書 [設計編], 土木学会, pp.91-93, 2013.3