

論文 構造物の品質調査による山口県の品質確保システムにおけるひび割れ発生確率の低減傾向の原因分析

吉田 悠人*1・細田 暁*2・吉村 崇*3

要旨：山口県にて2007年以降に建設された橋台についてひび割れ発生確率曲線を作成したところ、既往の研究で入念な施工が行われた際の引張強度と引張応力の変動係数とされる15%よりも大きい19%となった。2009年以前の構造物群と2010年以降の構造物群の2本の曲線を作成すると変動係数はそれぞれ15%、12.5%となり、2010年以降の構造物群では、ひび割れ発生確率の低減傾向が見られた。施工状況把握チェックシート¹⁾の集計結果の分析から2010年以降に施工の基本事項の遵守が浸透した可能性を指摘し表層品質の調査結果から、構造物中の強度と目視評価の結果が向上し、品質のばらつきが減少したことが確認された。

キーワード：温度応力解析、ひび割れ発生確率曲線、品質確保、目視評価、テストハンマー強度

1. はじめに

土木学会のコンクリート標準示方書〔設計編〕では、セメントの水和に起因するひび割れが問題となる場合には、実績による評価、または温度応力解析による評価のいずれかの方法により照査しなければならない、と規定されている¹⁾。温度応力解析を行う場合の照査は温度応力解析により得られた引張応力と引張強度関係からなる、ひび割れ指数を用いるのが一般的である。2022年制定のコンクリート標準示方書〔設計編〕では、従前のワイブル分布を仮定し作成されていたひび割れ発生確率曲線から、引張強度と引張応力が正規分布に従うとして作成されたひび割れ発生確率曲線に変更された。さらに、改訂前は1本のひび割れ発生確率曲線が示されていたが、改訂により、施工や品質管理の状況に応じて引張強度、引張応力の変動係数を変えることで、異なるひび割れ発生確率曲線を用いることが可能となった²⁾。

近年では、材料や施工などのばらつき、またはばらつきを抑えるような対策が行われた際のひび割れ指数の修正係数を導出する研究もおこなわれているが、施工の影響を考慮できるまでには至っていない³⁾。

本研究では、施工の基本事項遵守を図ったうえで、実構造物から得られたデータベースに基づいて温度ひび割れの抑制等を続けている、山口県の品質確保システム(以下、「山口システム」と呼ぶ)の中で建設された橋台を対象とする⁴⁾。橋台のたて壁、胸壁の「コンクリート施工記録」を活用して温度応力解析を行い、ひび割れ発生確率曲線を作成する。山口システムの運用開始直後と近年ではひび割れ発生確率曲線の形状が異なることが既往の研究で明らかになっているため、その原因が施工の質の向上により構造物中のコンクリートの品質が向上していることによる

と考え、実構造物群に対して目視評価法、テストハンマー試験によって品質の調査を実施する。

実構造物の品質の調査結果の分析結果や、各構造物を施工した際の施工の改善指示の記録の分析結果、さらには構造物に使用されたコンクリートの強度管理のデータ等も参考にして、2010年以降とそれ以前の構造物中のコンクリートの品質の違いと、ひび割れ発生確率曲線の形状の違いについて考察する。

2. 施工の影響を考慮したひび割れ発生確率曲線の作成

2.1 解析対象の構造物

山口システムの「コンクリート施工記録」のデータベース⁵⁾に記録されているコンクリートの打設リフトのうち、高炉セメントを用いて建設され、底版を含めたすべての施工記録がそろった橋台98構造物の237リフト(たて壁165リフト、胸壁72リフト)を解析対象として選定した。

2.2 温度応力解析の手法

本研究では、JCIのJCMAC3を用いて3次元温度応力解析を実施し、ひび割れ指数を算出した。構造物のモデルはJCIのマスコングリートのひび割れ制御指針2016⁶⁾(以下、「ひび割れ制御指針」と呼ぶ)に従い、長さ方向に1/2スケールで作成した。「コンクリート施工記録」よりコンクリートの初期温度、配合等の物性値や打設日等を入力した。外気温は「コンクリート施工記録」に記載されていない場合もあり、解析方法を統一するために、構造物に最も近い気象庁の観測点のデータを用いた。

型枠面や打込み面の養生条件や養生日数に応じて、ひび割れ制御指針に従って構造物表面の熱伝達率を適宜設定した。なお、「コンクリート施工記録」において型枠面の養生方法として「散水」と記録がある場合の熱伝達率は、

*1 横浜国立大学大学院 都市イノベーション学府 都市地域社会専攻 都市地域社会コース (学生会員)

*2 横浜国立大学大学院 大学院都市イノベーション研究院 教授 博士(工学) (正会員)

*3 山口県 土木建築部 技術管理課 (正会員)

ひび割れ制御指針において合板を用いた場合に設定する $8\text{W}/\text{m}^2$ を用いた。

地盤に関するデータは「コンクリート施工記録」に記載がないが、筆者らの事前の検討により地盤の剛性の違いが本研究の対象であるたて壁の解析結果にも顕著に表れる場合があることが確認されたため、国土地盤情報センター KuniJiban と産総研地質 navi より地質や岩級区分、標準貫入試験を調査し、ひび割れ制御指針をもとに地盤のヤング係数を設定した。

解析を行った期間は、事前の検討により地盤の初期温度の影響は本研究の対象である第2リフト以降のたて壁、胸壁の温度や応力に対し極めて小さいことが確認されたため、底版打設の3日前より解析を開始した。また解析の終了時期は、解析対象の全てのリフトでひび割れの確認が終了している最終リフトの養生が終了した28日後とした。

解析によって導かれる断熱温度上昇量、圧縮強度、引張強度、ヤング係数、クリープの影響や自己収縮ひずみはひび割れ制御指針に記載される算出式より導いた。なお乾燥収縮の影響は考慮していない。

2.3 ひび割れ発生確率の算定

金津らの作成手順に従って、温度応力解析により得られた各リフトの最小ひび割れ指数を0.05ごとに整理した⁷⁾。「コンクリート施工記録」より各リフトのひび割れの有無を調査し、各区分のひび割れ発生率を算出した。図-1のプロットは各区分での発生率を示している。

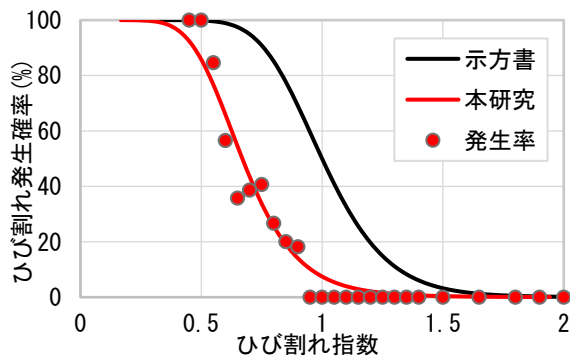


図-1 山口県の構造物のひび割れ発生確率曲線

本研究では平成11年版のコンクリート標準示方書〔施工編〕の改訂資料⁸⁾を参考に引張強度と引張応力は同一の変動係数である正規分布となると仮定し、図-1に示した各区分のひび割れ発生率のプロットに対して最小二乗法により誤差が最小となるように引張強度、引張応力に共通に設定する変動係数を算定し、図-1の曲線のようなひび割れ発生確率曲線を作成した。図-1の曲線における変動係数は19%である。得られた曲線は既往の研究^{9),10)}における曲線と同様に2022年版のコンクリート標準示方書¹⁾に

記載される発生確率曲線に比べて大きく左にシフトしたものとなった。大きく左にシフトした原因について、筆者らは既往の研究で検討しており、山口県内の21のコンクリート製造工場で作製した円柱供試体で行った熱膨張係数試験より得られた熱膨張係数がひび割れ制御指針に従い温度応力解析を行う際に用いる $12 \times 10^{-6}/\text{C}$ よりも極めて小さい値であったことが主な原因であると考えている¹⁰⁾。

2.4 建設年での発生確率曲線の整理

本研究で対象とした全ての構造物を用いてひび割れ発生確率曲線を作成すると、引張応力と引張強度の変動係数を19%とした場合に実構造物でのひび割れ発生確率との誤差が最小となった。2022年版のコンクリート標準示方書の改訂資料²⁾では、施工実績等による独自の十分なデータがない場合の引張強度と引張応力の変動係数は20%、入念な施工と管理を行う場合には変動係数は15%としてよいと記載されている。本研究の対象である山口システムの構造物では、施工の基本事項の遵守をシステムとして達成しているため、19%という変動係数は大きいと思われる。筆者らは、19%と変動係数が大きくなったのは、施工の基本事項の遵守が十分に達成されていない時期の構造物が含まれることが原因と考え、分析を行うこととした。

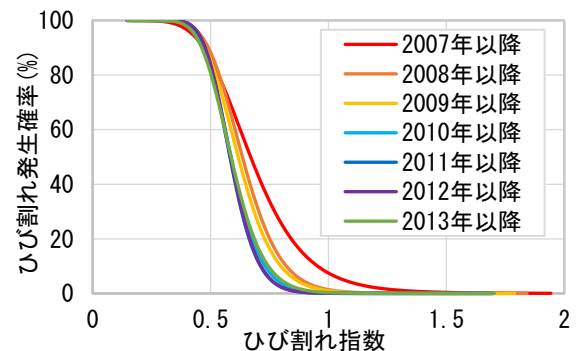


図-2 建設時期によるひび割れ発生確率曲線の違い

図-2には、山口システムの運用が開始された2007年以降のデータをすべて用いた曲線に加えて、1年ずつ古い時期のデータを除去して、複数の曲線を作成した。その結果、同じひび割れ指数に対するひび割れ発生確率が低下する傾向がみられた。2009年以前のデータを除去した2010年以降のデータを用いた曲線までは、ひび割れ発生確率の低下の傾向がみられたが、2011年以降の曲線では大きな差は見られず、2012年以降と2013年以降の曲線もほぼ重なるものとなった。

図-2での検討結果をもとに、2010年を境界として2つの曲線を作成することとした。図-3には、2009年以前の構造物群のデータを用いた発生確率曲線と2010年以降の構造物群の発生確率曲線を示した。変動係数は2009年以前の曲線では15%、2010年以降の曲線では12.5%となっ

た。また2本の曲線について、同じひび割れ指数で比較すると、2010年以降の曲線の方がひび割れ指数は顕著に小さくなった。この傾向の主要因の1つは、品質確保システムの浸透により施工の基本事項の遵守が徹底され、構造物中のコンクリートの引張強度が向上したことによると考察した。この仮説を、3章以降の検討で検証することとした。

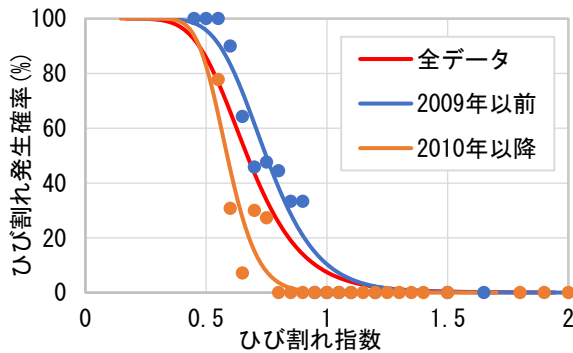


図-3 データを建設年で分けた発生確率曲線

3. 施工状況把握チェックシートの集計データを用いた施工の質の分析

3.1 施工状況把握チェックシートについて

施工状況把握チェックシート（以下、チェックシート）は山口システムの運用開始に際して、監督職員ごとの施工状況把握の視点の著しい差異やレベルを合わせるために考案され、コンクリート標準示方書〔施工編〕に示される施工の基本事項の中でも、特に品質への影響が大きいと考えられる27項目が抽出され記載されてプロトタイプが開発された。山口県では橋台であれば1構造物1回以上、必要に応じて1ロットごとの施工状況把握を行うこととされており、監督職員がチェックシートを持ち現場に臨場し、各項目が遵守されているかを確認する。山口県のコンクリート品質確保のホームページでは半期ごとに各項目の改善指示の有無が集計され公表されている⁴⁾。

3.2 施工の改善指示に関する分析

図-3に示したように、2009年以前の構造物群のひび割れ発生確率曲線と2010年以降の構造物群の曲線が明らかに異なるものとなった。筆者らは、その原因が、品質確保システムの浸透により、施工の質が改善され構造物中のコンクリートの引張強度が向上したことである推察した。この仮説に対して、まずはチェックシートにおける施工の改善指示について分析することとした。

本研究で解析の対象とした橋台237リフトのうち154リフト（うち44リフトでひび割れあり）でチェックシートが記録されており、その結果を活用した。山口県では施工状況把握を1構造物に1回以上としているため、同一の構造物中で、ほかのリフトに記録はあるが、当該リフトに記録がない場合があり、そのリフトの結果を使用する方法も

検討したが、同一構造物内でリフトごとにチェックシートの結果が変化している事例があったため、施工状況把握の記録のないリフトのデータは用いなかった。

3.3 改善指示のあったリフト数の推移

図-4は、建設年度別のチェックシートで1項目でも改善指示があったリフトの割合の推移を示す。改善指示があったリフトの割合は2009年を境に大きく減少している。2012年度ごろに、山口県の監督職員によるチェックシートを用いた施工状況把握に「形骸化」した状況がみられたため、研修の再構築や推進体制の整備による巻き直しが行われた¹⁾。その影響もあったためか、2015年ごろ改善指示のあったリフトの割合が上昇しているが、全体として2010年以降は改善指示のあるリフトの割合は低く抑えられている。2010年以降の構造物で施工の質が向上した一つの証拠であると考えている。

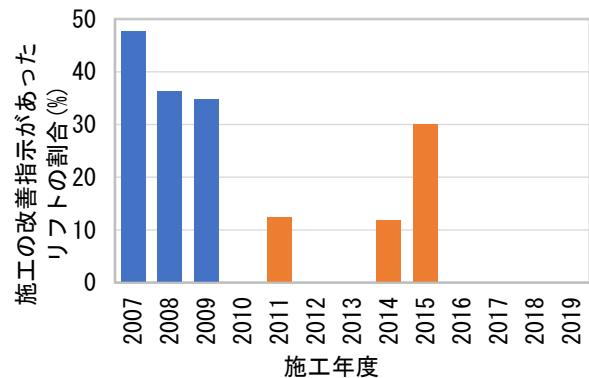


図-4 施工年度ごとの改善指示リフトの割合

3.4 改善指示の有無で整理したひび割れ発生確率曲線

図-5は、2009年以前の構造物群と2010年以降の構造物群をそれぞれ改善指示ありと改善指示なしに分けて4本のひび割れ発生確率曲線を作成したものを示す。表-1は各区分の内訳である。2010年以降の改善指示ありの構造物群は数が少ないため曲線の形状や位置の信憑性は他に劣ると思われる。

表-1 各区分のリフト数

	2009年以前	2010年以降
改善指示あり	26リフト	6リフト
改善指示なし	40リフト	82リフト

2009年以前のリフト群を改善指示ありと改善指示なしで分けて作成した曲線はほぼ重なるものとなった。一方で、2010年以降のリフト群と比較すると、改善指示の有無により曲線の形に違いが見られた。また改善指示があったリフト群の曲線は2009年以前の構造物群の曲線と一部重なっ

ていた。ただし、2010年以降で改善指示のあったリフトの数が少ないことに留意が必要である。

2010年以降の監督職員により改善指示のなかったリフトにおいて、同じひび割れ指数で比較した場合にひび割れ発生確率が低くなった。山口システムにおける施工の基本事項の遵守が各現場に浸透し、各現場での施工に対する意識の向上がひび割れ発生の抑制という形で結果として表れた可能性が高いと考えている。2010年以降の構造物で品質が実際に向上しているかどうかを、4章にて実構造物の調査を実施して分析することとした。

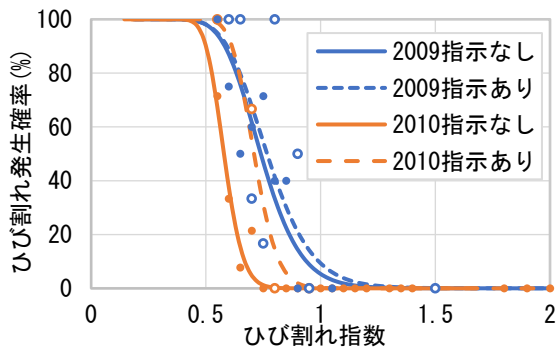


図-5 改善指示の有無で分けた発生確率曲線

4. 実構造物の表層品質の調査

4.1 調査の概要と目的

2009年以前に建設された構造物群と2010年以降に建設された構造物群に分けてひび割れ発生確率曲線を作成すると、同じひび割れ指数で比較すると、2010年以降の曲線の方が2009年以前の曲線よりも低いひび割れ発生確率を示した。筆者らは、その原因が、施工の質の改善による構造物中の引張強度の向上と推察した。実構造物の表層品質を、本研究用にカスタマイズした目視評価法と、テストハンマーにより調査し、仮説の検証を試みる。

4.2 調査対象構造物

表-2は現地調査を行った13リフトの一覧である。品質確保システム導入以前をグループ1、品質確保システム導入直後から2009年までをグループ2、2010年以降のシステムが浸透したと考えられる時期のものをグループ3とし

た。グループ1を除き、「コンクリート施工記録」が残されている。単位セメント量が300kg/m³程度、W/Cが50%程度の標準的な配合で、温度応力解析により得られたひび割れ指数が0.58~0.77程度と、図-3において2つの曲線でひび割れ発生確率が大きく異なる領域にあるものを抽出した。また、いずれも埋め戻しが行われておらず、近接して調査を行うことができる。

4.3 調査方法

本研究では目視評価法とテストハンマー試験の2種類の調査を行った。一般的な目視評価法、テストハンマーとは評価方法を変更し、図-6のように調査の対象とするリフトの中ほどにある打重ね線を挟んで上下に2か所、長さ方向には端部より1mおきに分割した領域で評価を行った。

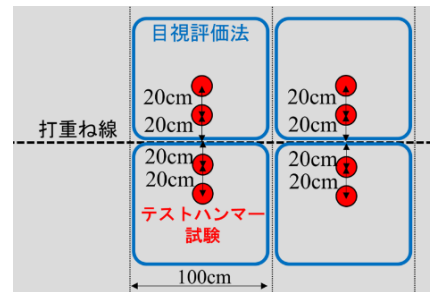


図-6 試験箇所

(1) 目視評価法

目視評価法は、コンクリート表面の出来ばえを、沈みひび割れ、表面気泡、打重ね、型枠継ぎ目のノロ漏れ、砂すじの5項目で評価し、一般的にはリフト全体を一つの評価領域として評価し、次の打込みへの改善にフィードバックする方法である¹²⁾。本研究では、図-6のように評価領域を小さく設定して、評価項目をコンクリートの均質性や密実性に関連していると思われる沈みひび割れ、表面気泡、砂すじの3項目に限定し評価を行った。目視評価法は第二著者が指導して評価方法をキャリブレーションし、評価者は固定して、2人の評価者が4点満点(0.5点刻み)で評価を行い、評価後は見落としした不具合がないように両者の結果を比較し、必要に応じて再評価を行った。

表-2 調査を行った構造物

ひび割れ	グループ1	グループ2						グループ3					
	有	有			無			有			無		
建設年	1992	2008	2008	2009	2008	2009	2009	2010	2015	2015	2010	2013	2013
長さ	11.6	15.0	15.0	21.5	7.1	8.0	8.0	8.0	12.7	12.7	8.0	8.3	8.6
構造物幅	---	1.4	1.4	1.9	2.5	1.3	1.3	1.7	1.3	1.3	1.7	1.6	1.6
リフト高	2.3	3.9	3.4	4.0	2.1	2.7	1.9	2.7	3.0	3.0	1.7	3.6	3.6
ひび割れ指数	---	0.613	0.757	0.682	0.759	0.720	0.737	0.622	0.723	0.724	0.769	0.631	0.584
改善指示	---	無	無	無	無	無	無	無	有	有	無	無	無

(2) テストハンマー試験

リフト中ほどの打重ね線を挟んで上下に 20cm, 40cm 程度離れた箇所ですべて 9 点の計測を行った。同一リフト内の品質のばらつきを把握しなかったため、このように多くの箇所での調査を実施した。

4.4 評価結果および考察

(1) 目視評価法

図-7 に各グループでの 3 項目の点数を示す。システム導入後に、各項目の点数が上がる傾向が認められ、2010 年以降にはシステム導入前と比べて顕著に点数が向上している。項目別にみると沈みひび割れは著しい変化が見られなかったが、表面気泡は 2010 年以降において、砂すじはシステム導入前後で顕著に変化している傾向が見られた。

表-3 に各グループにおける 3 項目の評価点の変動係数を示す。なお、施工の行いにくい端部などで著しく点数が下がる傾向がないかを分析したが、特にそのような傾向は見られなかったため、すべてのデータから変動係数を算出した。3 項目の変動係数は 2010 年以降のリフトで低下しており、特に表面気泡の項目で顕著である。

2010 年以降のリフト (グループ 3) において、沈みひび割れ、表面気泡、砂すじの評価点が向上し、変動係数が小さく抑えられていた結果が得られた。

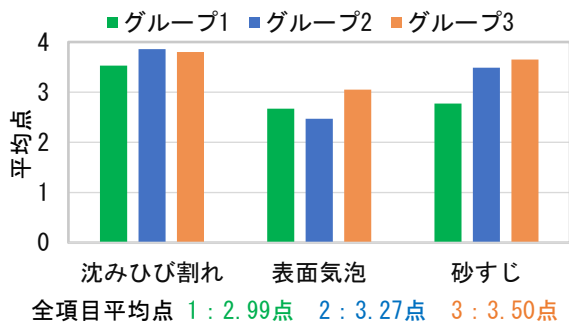


図-7 目視評価法の点数

表-3 目視評価法の点数の変動係数

	グループ1	グループ2	グループ3
沈みひび割れ	0.11	0.07	0.06
表面気泡	0.16	0.18	0.10
砂すじ	0.16	0.12	0.07
平均値	0.14	0.12	0.08

(2) テストハンマー試験

テストハンマー強度 F は基準反発度 R_0 よりコンクリート標準示方書 [規準編] ¹³⁾ に示される次式にて算出した。なお、基準反発度は測定値からの補正を行っていない。

$$F(N/mm^2) = -18.0 + 1.27 \times R_0 \quad (1)$$

表-4 に各グループの実構物の計測結果から得られたテストハンマー強度と、「コンクリート施工記録」に記載された圧縮強度、および両者の比を示した。圧縮強度は、対象としているリフトの「コンクリート施工記録」に記載されている材齢 28 日に行われた圧縮強度の試験結果である。なお、グループ 1 は圧縮強度のデータは得られなかった。また、圧密等の影響でリフトの下部の方が上部よりも強度が高くなることが報告されているが³⁾、本研究においては、高さ方向の範囲が狭いためかそのような傾向は確認されなかったため、計測した全てのデータから平均値を求めた。

圧縮強度に関する追加調査として、本研究で温度応力解析を行った橋台を対象として呼び強度と材齢 28 日の圧縮強度を調べた。これは、同じ呼び強度であっても配合が時期や工場の違いにより異なり、圧縮強度が異なると考えられるためである。表-5 に示すように、2009 年以前と比べて、2010 年以降で工場から出荷されるコンクリートの方が圧縮強度と呼び強度の強度値の比はやや小さくなった。

以上を踏まえて、調査結果を考察する。テストハンマー強度は、グループ 1 と比較して、グループ 2 と 3 は明らかに高い値を示した。材齢 28 日の圧縮強度との比を見ると、2010 年以降に向上していることが分かった。2009 年以前と比べて、2010 年以降では、生コンクリートの強度が向上したのではなく、施工の質が向上し、表層品質が向上したことが、テストハンマー強度からも観察されたとと言える。本研究の調査の範囲にて、強度の比による比較では、構造物中の圧縮強度は施工の改善により 2010 年以降のリフトは 2009 年以前の 1.12 倍 (表-4 中の 1.13/1.01) になっている。テストハンマー試験との直接的な関係は示せていないが、構造物中の引張強度も同様に向上している可能性が高い。

参考までに、図-3 にて、2009 年以前の構造物群の曲線と 2010 年以降の構造物群の曲線が重なるためには、2010 年以降の構造物群の引張強度をひび割れ制御指針に従って算出される引張強度の 1.22 倍にする必要があった。

表-4 テストハンマー強度と試験強度の関係

	グループ1	グループ2	グループ3
A: テストハンマー強度(N/mm ²)	27.4	35.8	38.1
B: 試験強度(N/mm ²)	-	35.4	33.7
比 (A/B)	-	1.01	1.13

表-5 工場から出荷されるコンクリートの強度の変化

	2009年以前	2010年以降
試験強度/呼び強度の平均値	1.32	1.26
変動係数	0.095	0.063

表-6 に各グループのテストハンマー試験の計測値の変動係数を示す。グループ1 とグループ2 は同じ値を示し、グループ3 では小さい変動係数を示した。

2 章において、ひび割れ発生確率曲線を作成する際に設定した変動係数が、2009 年以前の曲線よりも、2010 年以降の曲線の方で小さい値となったが、この裏付けとなる調査結果が得られたものと考えている。

表-6 テストハンマー計測値の変動係数

	グループ1	グループ2	グループ3
変動係数	0.065	0.065	0.048

5. まとめ

本研究により得られた知見は以下のとおりである。

- 山口県の品質確保システムにおいて 2007 年以降に建設された橋台のリフトに対して温度応力解析を行い、ひび割れ発生確率曲線を作成すると、引張強度と引張応力の変動係数が 19% となった。既往の研究で入念な施工を行った場合の変動係数は 15% とされており、山口県の構造物は施工の基本事項が遵守されていることを鑑みると、変動係数の値は大きいものとなった。
- 2009 年以前の構造物群と 2010 年以降の構造物群と分けて 2 本の曲線を作成すると、2009 年以前の構造物の曲線の変動係数は 15%、2010 年以降の構造物の曲線の変動係数は 12.5% となった。さらに同じひび割れ指数で比較すると 2010 年以降の構造物の曲線の方が、発生確率が低くなり、これは施工の質の向上により、構造物中のコンクリートの引張強度の向上が要因の一つであると考えた。
- 施工状況把握チェックシートの集計結果を活用し、条件別に複数のひび割れ発生確率曲線を作成すると、2010 年以降の施工の改善指示がなかったリフトでひび割れ発生確率が低くなった。2010 年を境に各現場で施工の基本事項遵守に対する意識が向上した結果であると考えられる。
- 実構造物にて目視評価法とテストハンマー試験を実施した結果、システム開始前、システムが導入されて以降の 2009 年以前、2010 年以降と時間が経過するにつれて、目視評価の結果とテストハンマー強度が向上する傾向が確認された。さらに両者のばらつきが小さくなっていることが分かった。この結果より、2010 年以降の構造物群の曲線が 2009 年以前の構造物群の曲線よりもひび割れ発生確率が低減するのは構造物中の引張強度の向上によるもので、変動係数が小さくなるのは構造物中の品質のばらつきが低減されたことによると考えた。

謝辞

本研究を実施するにあたり、山口県建設技術センターの皆様にご協力いただきました。ここに深謝の意を表します。

参考文献

- 土木学会コンクリート委員会, コンクリート標準示方書改訂小委員会:2022 年制定コンクリート標準示方書 [設計編], 土木学会, 2023
- 土木学会コンクリート委員会, コンクリート標準示方書改訂小委員会:2022 年制定コンクリート標準示方書 改訂資料, 土木学会, pp.121-126, 2023
- 芦澤良一, 溝渕利明: 温度ひび割れに影響を及ぼす要因に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, pp.1085-1090, 2020
- 山口県土木建築部技術管理課ホームページ (コンクリート構造物品質確保ガイド 2021) : <https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/soshiki/127/23395.htm> (閲覧日: 2024 年 1 月 5 日)
- (一財) 山口県建設技術センターコンクリート施工記録データ : <https://www.yama-ctc.or.jp/concrete-hinshitu-kakuho> (閲覧日: 2024 年 1 月 5 日)
- 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, 2016
- 金津努, 溝渕利明, 佐藤良一, 十河茂幸: 3 次元 FEM に基づく温度ひび割れ発生確率分布の提案, コンクリート工学年次論文集, Vol. 31, No.1, pp.1549-1554, 2009
- 土木学会コンクリート委員会, コンクリート標準示方書改訂小委員会: 平成 11 年版コンクリート標準示方書 (施工編) - 耐久性照査型 - 改訂資料, pp.43-48, 2000
- 大野又稔, 細田暁: 山口県の実構造物のデータベースの温度応力解析による分析, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1288-1293, 2012
- 細田暁, 吉田悠人: 山口県のコンクリート施工記録により作成した温度ひび割れ発生確率曲線の形状に影響する要因の分析, 土木学会論文集 E2, Vol.79, No.12, 2023
- 森岡弘道, 二宮純, 細田暁, 田村隆弘: 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り組み, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1327-1332, 2013
- 細田暁, 坂田昇, 渡邊賢三, 佐藤和徳: 目視評価法を活用したコンクリート構造物の品質確保の取り組み, コンクリート工学, Vol.54, No.10, pp.1005-1014, 2016
- 土木学会コンクリート委員会, コンクリート標準示方書改訂小委員会:2018 年制定コンクリート標準示方書 [規準編], 土木学会, pp.364-367, 2018