コンクリート構造物の品質確保のための データベースの活用

田村隆弘^{*1}・細田 暁^{*2}・二宮 純^{*3}・中村秀明^{*4}

概 要 コンクリート工学において解明すべき課題は、部材の安全性に関連した問題から耐久性に関連した問題に至るまで多岐にわたり、これらの問題の多くが実験による観察とデータの分析によって解決される。そして、そこではテーマに応じて因果関係を解明するための適切な分析手法を見出す必要がある。近年、IT の進化によって大量のデータを扱うことが出るようになった。また、実構造物をモニタリングする技術も研究が進んでいる。しかし、大切なのは、いかにしてこれらを活用するかである。本稿では、コンクリート工学におけるデータベースの活用について既往の研究を例にとって紹介し、特に構造物の品質確保の問題のための統計的手法について概説する。

キーワード：データベース、データマイニング、実構造物、品質確保、ひび割れ、統計的手法

1. はじめに

医学界において原因不明の疫病を防止する学問に「疫学」がある。19 世紀のロンドンにおいて数十万人もの死者を出した当時原因不明の疫病コレラを解決したのは疫学であり、そこで大きな貢献をしたのが統計学であった。以後、原因不明の難病に対して、科学的根拠に基づく統計データの分析によって解決策を見出そうとする統計学は、医学界において大きな役割を果たし続けている¹⁾。

近年、IT の進化により大容量のデータの管理、分析が容易な時代となり“ビッグデータ”、“データマイニング”といった言葉もよく耳にするが、要は大量のデータを統計解析し、法則性を見出して難問を解決しようというものである。ここで言う法則性とは、因果関係と換言できるが、統計学は、医学や工学のみならず政治、経済、教育、犯罪といった人間心理に関わる問題から、未開の自然現象や生物生態の解明まで、多様な問題の因果関係の解明に貢献している。

もちろん、大量のデータを処理する統計学的手法は、例えば、人口関連の問題で使われるサンプリング調査や、生物生態の解明に用いられるランダム実験（iPS 細胞の発見もこの手法に分類されるであろう）のように、テーマに応じてさまざまであり、適切に選択する必要がある。

コンクリート工学においても、解明すべき課題は、部材の安全性に関連した問題から耐久性に関連した問題に至るまで多岐にわたり、これらの問題の多く（ほとんどと言っても良いかもしれない）が実験による観察とデー

タの分析によって解決される。そして、そこでは、やはりテーマに応じて因果関係を解明するための適切な分析手法を見出す必要がある。

本稿では、コンクリート工学におけるデータベースの活用について既往の研究を例に紹介し、特に構造物の品質確保の問題のための統計的手法について概説する。

2. コンクリートの各種問題に対する数値解析的アプローチと統計処理的アプローチ

コンクリート構造物の設計では、まず耐震性能等の安全性と耐久性を照査する。照査基準の根拠は、実構造物での実績や実験結果に基づくことが多いが、数多くのコンクリートの安全性に関連した研究の中で、例えば「せん断問題」を取り上げると、そこでは、多くの研究者が実験した結果に基づく統計的な分析と有限要素法等による解析的なアプローチを行いながら設計式を作り上げている。現在、土木学会コンクリート標準示方書で示されているせん断耐力算定式は、岡村、檜貝らによる統計的な分析結果²⁾を基礎として二羽がこれに修正を加えることで精度を高めている³⁾。これは、建築分野において荒川によって現在のせん断強度評価式の原型が構築されていったときにも同様に、国内外の数多くのデータを分析して提案式の評価を行っている⁴⁾。

一方、耐久性の問題で「ひび割れ問題」を取り上げると、（コンクリートのひび割れ問題も多様であるが）例えば角田による「曲げひび割れ幅算定式の実用的計算方法」の提案は、最大ひび割れ間隔とかぶりの関係について多くの実験データをもとに誘導している⁵⁾。あるいは、「水和熱による温度ひび割れ」の関連についても、例えば溝渕らの重回帰解析によって特定の範囲にある構造物のひび割れ指数を簡易評価する方法⁶⁾や、日本建築学会の解析データの統計的な分析に基づいたチャートを用い

*1 たむら・たかひろ／徳山工業高等専門学校土木建築工学科 教授（正会員）

*2 ほそだ・あきら／横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院 准教授（正会員）

*3 にのみや・まこと／山口県土木建築部審議監（正会員）

*4 なかむら・ひであき／山口大学大学院理工学研究科 教授（正会員）

写真-1 阪神大震災で倒壊した高速道路橋脚のせん断破壊

写真-2 東日本大震災による大型防波堤の崩壊

たびひ割れ幅の誘導方法⁷⁾など、さまざまな統計的分析が行われている。また最近では、パーソナルコンピュータを用いてコンクリート構造物のひび割れを解決しようとする研究も加速しているが、当然、精度の高い実用的なソフトは、数値シミュレーション実験の結果を多くの実際の現象と比較しながら開発されている。

設計で用いられる式の誘導や数値解析ソフトのための構成則の決定に用いられるデータの多くは、整備された実験環境のもとで目的としたパラメータ以外は同一の条件で行われた実験によって得られる。しかしながら、寸法効果の研究結果は、実験室での縮小した供試体での結果をそれよりサイズの大きな実構造物に当てはめることは危

険であることを示している。また、複雑な環境要因にさらされ、材料物性や施工精度にばらつきがある実構造物を理想化された実験室での結果で判断することは、少なからずリスクを含んでいる。したがって、設計式には自ずと(場合によっては過大な)安全係数が付与されている。

それでもなおかつ、阪神大震災で高速道路のビルツ形式の高架橋がせん断破壊した衝撃は今なお記憶に新しく、「破壊する時は、曲げ破壊させる」という鉄筋コンクリートの基本の大切さを往事の写真が教えるところは大きい(写真-1)。また、東日本大震災でも大津波によってコンクリートの防波堤が無残な崩壊の姿をさらした(写真-2)。いずれの構造物の崩壊も、大きな被害に繋がったことは言うまでもない。コンクリート構造物に求められること、それは、まず崩壊しないことである。橋脚はたとえ傾いても倒れないこと、橋桁を落とさないこと。防波堤は、たとえその上を水が越えることはあっても崩壊しないこと、である。これにより、被害を幾分かでも抑えることが出来たとすれば、少なくともコンクリート構造物の信頼性は保たれるであろう。

3. コンクリート構造物のためのデータベースの活用

3.1 コンクリート構造の解明のためのデータマイニング

先にも述べたように、コンクリート構造物の問題は多様であり、その解決にデータベースを活用する場合の手法もさまざまであるが、ここでは、一般的な単回帰分析、重回帰分析、そして、ニューラルネットワークによる分析について述べる。

(1) 一般的な単回帰分析

基本的な単回帰分析では、「現象」と「原因」の因果関係を、1対1で回帰させる。したがって、現象に対してその影響を調べようとする要因以外の条件を同一にした実験室での実験結果をもとに分析する場合、作業は単純である。また、データの多い少ないにかかわらず簡単なグラフ表示により傾向が明らかになればこれ以上の分析を必要としない便利さがある。

Practical Use of Databases to Ensure the Quality of Concrete Structures

By T. Tamura, A. Hosoda, M. Ninomiya and H. Nakamura

Concrete Journal, Vol.52, No.4, pp.309~315, Apr. 2014

Synopsis The issues to be solved in the field of concrete engineering are extremely diverse, ranging from issues related to the safety of structural members to durability related issues, and many of these issues are solved through experimental observation and data analysis. Further, the elucidation of issues requires the determination of appropriate analysis methods to determine causal relationships according to the theme at hand. In recent years, advances in information technology have made it possible to handle huge amounts of data. Moreover, research on technologies to monitor existing structures is also making progress. However, an important point is how these various advances are utilized. This paper introduces cases of existing research on the use of databases in the field of concrete engineering, with a particular focus on statistical techniques for ensuring the quality of structures.

Keywords : database, data mining, existing structures, quality assurance, cracks, statistical method

図-1 鉄筋コンクリート梁のせん断耐力とせん断スパン比の関係

図-2 ひび割れに関連したさまざまな要因

図-3 最小ひび割れ指数の3次元モデルによる解析値と重回帰分析による推定値の比較（壁状構造物；壁厚1mを超えるもの）

例えば、前述の岡村、檜貝らによるせん断耐力算定式の誘導では、鉄筋比に関する項 β_p 、有効高さに関する項 β_d 、軸方向力に関する項 β_n 、コンクリート強度に関する項 f_{v0} 、そして、せん断スパン比の影響をそれぞれ単回帰分析で確認し、これらの影響を統合する式を誘導している²⁾。

$$f_v = f_{v0} (0.75 + 1.4d/a) (1 + \beta_p + \beta_d) \quad (1)$$

$$f_{v0} = 0.20f'_c \quad (f_{v0} \text{ and } f'_c \text{ in MPa})$$

$$\beta_p = \sqrt{p_w} - 1 \quad p_w \leq 3.0\% \quad (p_w \text{ in MPa})$$

$$\beta_p = d^{-1/4} - 1 \quad d \leq 1.0 \text{ m} \quad (d \text{ in m})$$

ここで、図-1 は筆者がせん断スパン比 (a/d) 項について実験を行った結果で、実験におけるせん断耐力 τ_{test}

とせん断スパン比 a/d を単回帰している。図から a/d が 2.5~4.0 の範囲では、式 (1) は実験結果を良く表現していることが確認できる。 $(a/d < 2.5$ の範囲については、筆者の行った実験の範囲で実験式 (β_{d2}) を提案した⁸⁾。)

式 (1) は、その後、二羽によってさらにブラッシュアップされて、昭和 61 年制定コンクリート標準示方書 [設計編] に採用されるに至り、近年のコンクリート構造物の安全性確保に大きく寄与している。

(2) 重回帰分析

重回帰分析では、例えば図-2 に示すひび割れ問題のように現象に対する要因が多岐にわたる場合に、個々の要因の現象に対する影響の大きさを考慮しながら定式化を行う。すなわち、一つの現象に対して影響のある要因が多いために実験結果を特定のパラメータだけに着目してグラフにするとばらつきが出てしまう場合に、各要因の現象に対する影響度を考慮しながら、ある程度の誤差の範囲で予測式を作る手法である。

例えば、溝渕は、温度ひび割れの予測において、ひび割れに比較的強く影響を与える（考慮すべき）パラメータを以下のように挙げて、それぞれの影響について単回帰分析したのちに重回帰分析により最小ひび割れ指数等の簡易評価式を示している⁶⁾。

- ・施工条件；外気温 (T_a)
- ・部材の寸法；解析対象となる部材の厚さ (D)、長さ (L)、高さ (H)
- ・使用材料；セメントの種類；終局断熱温度上昇量 (Q_∞)
- ・配合；水セメント比、単位セメント量、混和材料の種別と使用料
- ・上昇速度に関する定数 (α^β)
- ・部材表面からの放熱条件 (H_R)
- ・引張強度 (f_t)
- ・拘束条件；対象となる部材のヤング係数； E_c と拘束体のヤング係数； E_r の比 (E_c/E_r)

壁状構造物の最小ひび割れ指数の簡易評価式は、

$$\begin{aligned} I_{cr} = & -1.93 \times 10^{-2} T_a - 2.80 \times 10^{-3} D - 1.17 \times 10^{-2} Q_\infty \\ & + 1.55 \times 10^{-2} \alpha^\beta + 8.72 \times 10^{-2} \log_{10}(H_R) + 0.476 f_t \\ & - 0.165 \log_{10}(L/H) + 0.224 \log_{10}(E_c/E_r) - 0.285 \end{aligned} \quad (2)$$

そして、溝渕はこの簡易評価式を用いた分析結果と 3 次元モデルによる解析値を比較することで、評価式の有効性を示している (図-3)。

この式を用いてこれから新設する部材について考えるときには、そのデータがその式の誘導に使用したデータの範囲にある場合は、その式の持っている誤差の範囲で適用できることになる。しかし、新たなデータがその式の誘導に使用されたデータの範囲外にある場合には、適用性について再度検証が必要となる。

図-4 ひび割れの有無と関連要素を結びつけるネットワーク

表-1 入力項目

	データ項目	データ内容
1	打設時期	3, 4, 5月 : 0.5 6, 7, 8月 : 1 9, 10, 11月 : 0.5 12, 1, 2月 : 0
2	セメントの種類	高炉 B 種 : 1 普通 : 0.9 早強 : 0.8 低熱 : 0.1 中庸熱 : 0.2
3	膨張材	使用 : 0.5 不使用 : 1
4	AE 減水剤	使用 : 0.2 不使用 : 1
5	補強材料	アラミド : 0.2 ガラス : 0.5 ファイバ : 0.8 不使用 : 1
6	リフト高さ (m)	~1.0 : 0 1.3 : 0.3 1.6 : 0.5 2.1 : 0.8 2.5 ~ : 1
7	部材の厚さ (m)	~1.0 : 0 1.3 : 0.5 1.4 ~ : 1
8	部材の幅 (m)	~4.0 : 0 5.2 : 0.3 7.1 ~ : 0.5 8.0 : 0.8 10.0 ~ : 1
9	鉄筋比 (%)	~0.1 : 1 0.2 : 0.5 0.3 ~ : 0
10	打設間隔 (日)	~7 : 0 10 : 0.5 15 : 0.9 20 ~ : 1
11	ひび割れの有無 出力 1	無 : 0 有 : 1

(3) ニューラルネットワーク

ニューラルネットワークとは、人間の脳神経回路網を数学的にモデル化し、人間の頭脳の動き、記憶や判断、認識等をコンピュータ上で行わせようとするものである。多数のセルを配置し、セル間のデジタル信号のやりとりを用いて処理を行う。ここで、筆者らがこのニューラルネットワークにより温度ひび割れの予測を試みたことについて簡単に紹介する⁹⁾。解析に使用したデータは、山口県が公表しているコンクリート打設管理記録のデータベース¹⁰⁾の中から橋台たて壁のデータ約 120 個のデータを抜粋した。図-4 に示すような 3 層からなる階層型ニューラルネットワークを用いると、入力された値は各セルを通る間にセルごとに設定された結合係数が掛け合わされ、出力される値が決まる。

入力層に入力するデータは 0 ~ 1 の範囲の数値に変換する必要があるため、表-1 に示すようにデータを作成した。ひび割れ有無の判定基準は、出力値が 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 のそれぞれをボーダーとして、それ未満を“無：

図-5 判定基準と正答率の関係⁹⁾

0”，それ以上を“有：1”として出力させ、解析の精度（正答率）については、一度学習させたデータを推論させるという手法で確認した。図-5 は、学習結果の判定基準と正答率の関係を示している。ここでは、ひび割れ幅の判定に、打設間隔を参照するか否かで精度がどの程度変わるかも確認している。判定基準は 0.7 を基準にした場合が最も正答率が高くなる結果となったが、打設間隔を参照するといずれも正答率 80% を超えることが確認できる。

3.2 新設構造物の品質確保のためのデータベースの活用

新設されるコンクリート構造物に要求される品質の中で、安全性（耐震性）については、建設の現場においてコンクリートの強度や鉄筋の配置が設計値を満たしていることを現認することで確保する。一方、耐久性の確認作業については、竣工検査の段階での“有害ひび割れ発生の有無”と“出来ばえ”の評価に留まっている。

近年、耐久性への影響は、ひび割れよりもむしろ表層（かぶり）の品質の方が大きいことが指摘され、この表層品質を評価する技術の研究開発が行われている¹¹⁾。しかし一方で、局所的なひび割れによって構造物全体の耐久性がどれほど低下するのかを評価することは困難であるが、ひび割れを防ごうとする努力が表層品質を良好にすることに繋がっているといった研究報告もなされている¹²⁾。

ともあれ、建設現場では許容ひび割れ幅を超える有害なひび割れへの対策に苦慮している現状がある。コストミニマムで許容ひび割れ幅の範囲にひび割れの幅を抑制するということは、容易なことではない。

(1) データベースを活用したひび割れ抑制システム（山口県の事例紹介）

山口県が、平成 17 年からこの問題に産官学共同で取り組み、一つのシステムを構築することで有害なひび割れの発生を大幅に減少させることに成功していることは、既に本誌でも紹介されている¹³⁾。その仕組みの中で、中心的な役割をしているものの一つに、コンクリート打設管理記録のデータベースとその分析がある。

現在、山口県とJCI 中国支部では、この打設管理記録のデータベースをさらに高度化し、ひび割れのみならず、

図-6 鉄筋比とひび割れ幅の関係¹⁴⁾

図-7 山口県のデータベースにあるひび割れの実績値と解析値の比較¹⁵⁾

図-8 ひび割れ発生状況（対策不要と判断したケース）¹⁷⁾

図-9 ひび割れ発生状況（対策必要と判断したケース）¹⁷⁾

コンクリート構造物の品質確保につなげる研究を進めている。以下、簡単に紹介する。

例えば橋台でもさまざまなひび割れ対策が考えられるが、山口県ではコスト面から検討を重ね、まず鉄筋による対策を検討する。既に、コンクリート内部に配置した鉄筋によってひび割れが分散されて、ひび割れ幅が小さなものになることは広く知られているが、図-6に示されるように、山口県のデータベースからも鉄筋量が増加するに従ってひび割れ幅が小さくなる傾向を確認することができる¹⁴⁾。しかし、この図の中で同じ鉄筋比でもひび割れ幅にばらつきが出ているように、ひび割れ幅には鉄筋比以外のさまざまな要因が影響している。したがって、構造物を新設する際にどれほどの鉄筋を配置すべきかについて様々な観点から検討しなければならないが、その際に参照するのがコンクリート打設管理記録のデータベースである¹⁰⁾。

先に紹介した有限要素法による数値解析や重回帰分析でひび割れ発生確率やひび割れ幅を予測することは可能であるが、実は、山口県の構造物におけるひび割れ発生状況をこれらの解析によって逆解析した時の精度はそれほど高いとは言えないという報告もある^{14), 15)}（図-7）。それは、実構造物の特有の環境条件や部材の拘束条件を、理想化あるいは単純化した解析で表現することが難しいことを示している。

図-7は、マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008のひび割れ幅算定式を用いて、温度応力解析の結果から予測したひび割れ幅と、山口県の構造物の最大ひび割れ幅の実測値を示したものである。指針のひび割れ幅算定式の根拠となったデータは、図中で1対1の直線の周囲に分布しているが、実構造物のデータは必ずしもそうではない。予測値に比べて実構造物のひび割れ幅が小さいものが多いのは、山口県のひび割れ抑制対策の効果であるとも考えられるが、今後、ひび割れ幅算定式の精度向上にもこれらのデータが活用されるであろう¹⁶⁾。

このため、現在山口県の技術者は、打設管理記録という実際の構造物で得られたデータで作ったデータベースを様々な角度から（例えば、鉄筋比とひび割れ幅や、打設間隔とひび割れ幅等で）回帰分析して、対策（例えば、鉄筋量）を決定する方法をとっている。この方法は、確かに手間が掛かるが、実は、必要な対策を見出すだけでなく、技術者の技術力を向上させる効果を生み出している。つまり、すぐに答えが出るツールよりも、コンクリートの性質を理解するために、あえて、担当技術者が考えながら答え（対策）を導く仕組みを選択している。手順の詳細な紹介については、紙面の都合上別の機会に譲るが、この仕組みの導入のきっかけとなったのがシステム導入前の試験施工時のデータである。図-8と図-9は、平成17年から平成20年の試験（試行）施工期間でのひび割れ発生状況を示し、図-8は、事前の判

図-10 ひび割れ発生状況¹⁸⁾

図-11 新設構造物の品質確保のためのリレーショナルデータベースの構築¹⁹⁾

断で「対策は不要」と判断した場合、図-9は、「対策が必要」と判断した場合のひび割れ発生状況を示している¹⁷⁾。「対策は不要」と判断した場合のひび割れ発生率が減少しており、このことはひび割れ発生に対する「事前の判断力」が向上していることを示している。一方で「対策が必要」とした場合も、ひび割れは減少しているが、まだ、完全にひび割れを抑えきれていない場合も少なくない。そして、図-10は、システムを導入してから平成23年度までのひび割れ対策対象構造物のひび割れ発生状況を示す。年々ひび割れ発生率が減少し、最近では、対策対象とした構造物においてはほとんど有害なひび割れを発生させていない状況にある¹⁸⁾。

(2) データベースシステムの高度化

現在、山口県とJCI中国支部の「打設管理記録に基づくコンクリート構造物の品質確保に関する研究委員会」では、共同でデータベースの高度化を検討している。現在のデータベースは、Excelで管理し、分析しているが、今後データが増えると専用のデータベースソフトでないと扱えなくなることを予想して準備している。新たなデータベースシステムの開発は、以下に示すように3段階の仕組みで行う(図-11)¹⁹⁾。

第1段階：現在のExcel形式のデータベースをリレーショナルデータベースに置き換え

第2段階：柔軟なデータ項目に対応できるようXMLデータベースへの拡張

第3段階：蓄積されたデータベースを解析するデータ

マイニングシステムの整備

データベースの収集という意味では、現在は山口県といった限られた地域でのデータとなっているが、国土交通省山口河川事務所、JR西日本、そして、群馬県といった他の機関でもデータ収集の試行が行われている¹⁰⁾。いつの日か、全国の構造物データを集積したデータベースを取り扱うシステムが構築される日が来るかもしれない。

4. おわりに

コンクリート工学におけるデータベースの活用について概説するとともに、特にコンクリート構造物の品質確保のための統計的手法の活用について紹介した。

「科学の方法は観察と実験による」とは、フランスの数学者アンリ・ポアンカレ(1854-1912)の著書に出てくる言葉であるが、現代のコンクリート構造物の問題に当てはめれば、「コンクリート工学は、実際の構造物の観察と研究室での再現実験、そして、データ分析による」といったところであろうか。

しかし、実験室では、ほぼ同様の供試体を揃えて比較実験できるとしても、実構造物の場合には、例えば設計仕様は同じであっても構造物を取り巻く環境条件などから二つとして全く同じ構造物はない。そうした意味でも、構造物のデータを残しておくことが大切である。そして、蓄積したデータを活用することが大切である。活用方法は、次に造る構造物のため、解析技術の精度向上のため、そして、技術の伝承のためなど、いろいろと考えられる。

近年、IT技術の進化もあり実構造物レベルでの計測実験や長期にわたるモニタリングが多く実施されるようになってきた。そこでも、より多くの精度のよいデータの蓄積と、データマイニングツールの開発が鍵となる。人の命を守る医学で力を発揮した統計学を、社会を守るコンクリート工学で活用する時代である。今、この国では、東日本大震災からの復興と2020年の東京オリンピックに向けた建設工事が喫緊の課題である。前回の東京オリンピック開催が高度成長を促したことは良いとしても、その当時のコンクリート構造物の耐久性が現在日本各地の問題となっていることはしっかり反省しなくてはならない。多くの構造物を建設する時が、多くのデータを集めるチャンスでもあることは言うまでもない。

参考文献

- 1) 西内 啓：統計学が最強の学問である，p.10，ダイヤモンド社，2013.1
- 2) H. Okamura and T. Higai：Proposed design equation for shear strength of reinforced concrete beams without web reinforcement, Proceedings of JSCE, No.300, pp.131-141, 1980. 8
- 3) 二羽淳一郎・山田一字・横沢和夫・岡村 甫：せん断補強鉄筋を用いないRCはりのせん断強度式の再評価，土木学会論文集，第372号/V-5，pp.167-176，1986. 8
- 4) 荒川 卓：鉄筋コンクリートばりの許容せん断応力度とせん断補強について一実験結果による再検討一，コンクリートジャーナル，Vol.8，No.7，pp.11-20，1970. 7
- 5) 角田典史雄：鉄筋コンクリートの最大ひび割れ幅，コンクリート

- ジャーナル, Vol.8, No.9, pp.1~10, 1970. 9
- 6) 溝渕利明：温度ひび割れ指数の簡易評価式，マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008, 参考資料 4, pp.126~136, 2008. 11
- 7) 日本建築学会：マスコンクリートの温度ひび割れ制御設計・施工指針（案）・同解説, pp.73~99, 2008. 2
- 8) 田村隆弘・重松恒美・原 隆・中野修治：軸方向引張り力を受ける RC 梁のせん断耐力に関する実験的研究, コンクリート工学論文集, 第 2 巻, 第 2 号, pp.153~160, 1991. 7
- 9) 稲津貴和子・田村隆弘・中村秀明：ニューラルネットワークを用いたひび割れ発生予測に関する研究, 土木学会中国支部研究発表会, 62 巻, V-36, 2010. 5
- 10) 岡山建設技術センター：<http://www.yama-ctc.or.jp/data/index.html>
- 11) 土木学会：構造物表面のコンクリートの品質と耐久性検証システム研究小委員会（335 委員会）成果報告書およびシンポジウム講演概要集, コンクリート技術シリーズ, No.80, 2008. 4
- 12) 林 和彦・細田 暁：表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質の評価方法に関する基礎的研究, 土木学会論文集 E2, Vol.69, No.1, pp.82~97, 2013. 3
- 13) 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制御システム」について, コンクリート工学, Vol.49, No.5, pp.91~95, 2011. 5
- 14) 稲津貴和子・田村隆弘・澤村修司：山口県のコンクリート工事に関するデータベースを用いたひび割れ幅に関する統計的評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, CD-ROM, 2011. 7
- 15) 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
- 16) 田村隆弘ほか：委員会報告 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, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.22~30, 2013
- 17) Takahiro TAMURA：The Quality Secure System of The Concrete Structure Utilized The Past Construction Data, Proceedings of The 8th International Symposium on Social Management Systems SSMS 2012, 2012. 5
- 18) 田村隆弘・国重典宏・森岡弘道：山口県官学共同研究報告書, pp.6~27, 2012. 8
- 19) 中村秀明：新たなデータベースシステムの提案, 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, pp.61~65, 日本コンクリート工学会, 2013. 9
-