

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

デジタル画像で鉄道コンクリート構造物の劣化を予測する

鉄道コンクリート構造物は、その多くが高度成長期に建設され、経年は平均で50年を超えています。一方で、労働人口の減少や維持管理コストを縮減するための効率的な維持管理がもとめられています。効率的な維持管理を行うためには、できるだけ簡易な調査で、コンクリート構造物の将来の性能を精度よく予測し、計画的に修繕を行う必要があります。デジタル技術の進歩は、このようなニーズに応えることが期待されています。ここでは、デジタル画像を用いて、コンクリート構造物の劣化を予測する取り組みについて紹介します。



田所 敏弥
Toshiya Tadokoro
構造物技術研究部
コンクリート構造研究室長



西尾 壮平
Sohei Nishio
材料技術研究部
コンクリート材料研究室
主任研究員



渡辺 健
Ken Watanabe
構造物技術研究部
コンクリート構造研究室
主任研究員



轟 俊太郎
Shuntaro Todoroki
構造物技術研究部
コンクリート構造研究室
主任研究員

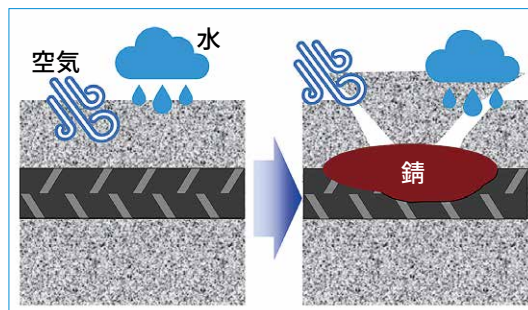
はじめに

コンクリート構造物の維持管理では、検査において、ひび割れや鉄筋の腐食などの変状の有無、進行性を把握し、健全度を判定します。そして、詳細な検査が必要な場合は、変状原因の推定と予測に基づく精度の高い健全度の判定を行います。前者が2年ごとに実施する全般検査、後者が個別検査になります。

現在の構造物の状態から将来の性能を予測する個別検査の精度向上は、計画的な修繕を可能にし、維持管理コストの縮減が期待できます。将来のコンクリート構造物の性能の予測には、将来の鉄筋の腐食状態を精度よく予測する必要があります。しかし、そのためには、大掛かりな調査が必要となり

ます。そこで、構造物表面の画像から、コンクリートや鉄筋の状態を把握し、将来の構造物の性能を予測する取り組みを行っています。

コンクリート中の鉄筋は、表面からの水や空気の浸透により腐食します。鉄筋は、腐食生成物である錆の膨張圧により、コンクリートにひび割れを発生させ、かぶり(☞参照)部分のコンクリートをはく落させます(図1)。鉄筋の腐食やコンクリートのはく落は、公衆災害だけではなく、構造物の耐力や剛性を低下させるおそれがあります。このような構造物の劣化を現在の状態から、予測する技術にデジタル画像が活用されています。ここでは、①鉄筋腐食に影響するコンクリートの品質を調べる技術、②構造物の状態を知る手



☞ かぶり

鉄筋からコンクリート表面までの距離。コンクリート構造物の耐久性を高めるためには、決められたかぶりを確保する必要があります。コンクリートの品質や環境に応じて、確保すべきかぶり(☞)が定められています。

図1 コンクリート構造物の劣化



図2 コンクリート品質の散水試験

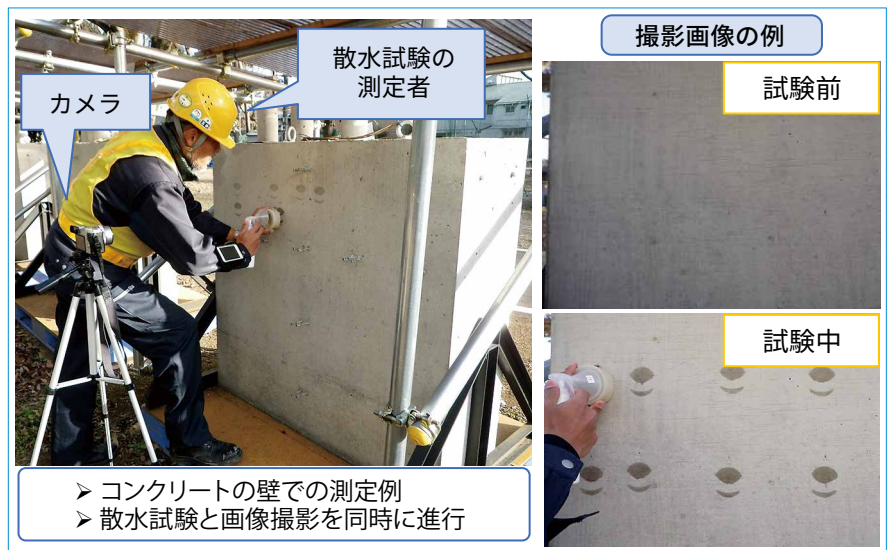


図3 デジタル技術を活用した散水試験の検証実験

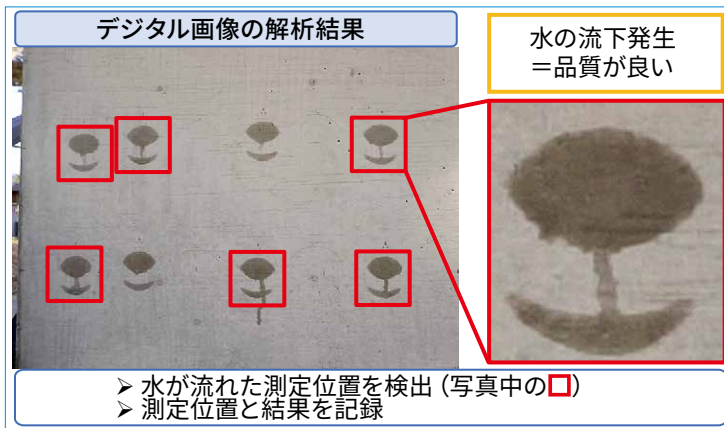


図4 散水試験の画像解析例

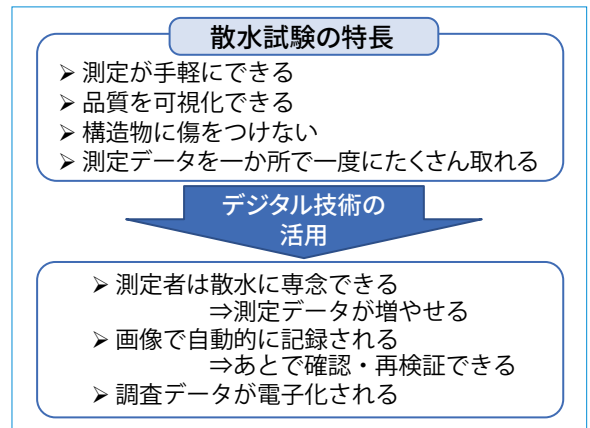


図5 デジタル技術を活用した散水試験のメリット

がかりであるひび割れ幅を高精度で把握する技術、③ひび割れ発生後のはく落状況から、鉄筋腐食の進行を予測する技術を紹介します。

デジタル画像でコンクリートの品質を調べる

コンクリート構造物においてコンクリートは、内部の鉄筋を腐食から保護するために、一定の品質が求められます(☞参照)。このような、構造物の劣

☞ コンクリートの品質

「品質」という言葉にはいろいろな意味がありますが、ここではコンクリートの水分浸透抵抗性という性質を指しています。品質の劣るコンクリートでは水分が浸透しやすく、内部の鉄筋の腐食やコンクリートの材料劣化を生じやすいと考えられています。

化に影響するコンクリートの品質をデジタル画像で調べる方法を紹介します。

コンクリートの品質を実際の構造物で測定する方法のひとつに散水試験¹⁾があります。散水試験では、コンクリートの表面に一定量の水をかけます。水は品質のよいコンクリートではあまり吸い込まれないため、表面を流れ落ちていきます。水が流れるかどうかを測定者が目視で確認して、品質を評価するという方法がコンクリート品質の散水試験です(図2)。測定者が目視で手軽に品質を見ることができるという点は、散水試験の大きな特長のひとつです。一方で、目視による評価は、デジタル画像の取得と解析技術に置き換えることが可能です。そこで、散水試験とデジタル画像を組み合わせた新しい技術を検討しています(図3)。画像を解

析することにより、コンクリートの品質の優劣が画像内で可視化されます(図4)。

散水試験は、構造物に傷を付けずに、一度に10箇所ほどで測定ができるという特長があります。デジタル画像などの技術と組み合わせることで、さらに広範囲を一度に調査でき、結果は画像で記録され、調査データをリアルタイムに転送、共有することも可能となります(図5)。

構造物の劣化の予測精度を向上するためにはコンクリートの品質の違いを把握しておくことが有効ですが、鉄道構造物のように規模の大きなコンクリートの品質を調べることは簡単ではありません。ここで紹介したような方法を用いることで、コンクリートの品質に関する情報を、より手軽に得ることができると考えられます。

デジタル画像でひび割れ幅を高精度で把握する

近接目視が困難なコンクリート構造物を効率よく調査するためには、デジタル画像からひび割れを計測する手法が有効です。

図6 (a) に、高さ約7mの桁式高架橋の桁下面を対象に計測した例を示します。一眼レフデジタルカメラと三脚を用いて撮影し、撮影した画像の明るさを表す輝度情報を用いて、あるしきい値を境に、2値化(白黒画像化)することで、ひび割れなどを抽出する方法です。

一般に、構造物を撮影した画像(図6 (b))では、画像上でしきい値を一律に定めると、日陰にあるひび割れをうまく抽出することができません(図6 (c))。そこで、日向や日陰など、明るさに応じてしきい値を定めることで、ムラがなく抽出することができます(図6 (d))。ただし、抽出した情報

には、ひび割れのほかに、コンクリート表面の汚れなどが含まれています。そこで、ひび割れの細長いといった形状に着目して、ひび割れを特定します(図6 (e))。この特定された領域や輝度情報を用いると、ひび割れの長さやひび割れ幅も算出することができます。

高所作業車を用いてメジャーで計測した点(図6 (f))のうち、本手法で計測できた点の検出率を図6 (g)に示します。ここで、対象とした3600×1800mmの範囲を1枚の画像に収めた場合、1画素あたりの分解能は1.05mm、4枚の画像で収めた場合、分解能0.35mmとなります。撮影枚数の増加により計測精度は向上しますが、一方で作業時間も増加しますので、検査の目的に応じて、分解能(撮影枚数)を設定することになります。例えば、図6 (g)に示すように、分解能が1.05mmの場合でも、全般検査でもとめられている0.3mm以上の幅を有するひび割れを、ほぼ全

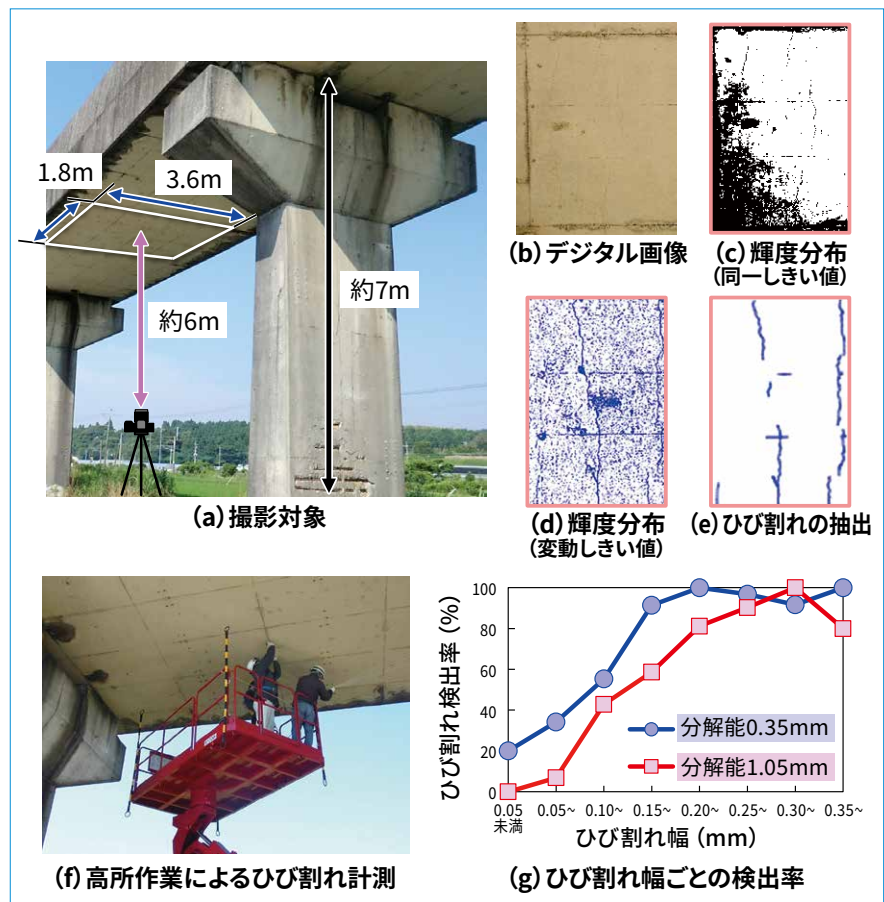


図6 コンクリート橋りょうのひび割れ抽出

数検出できていることとなります。

メジャーによる計測では、高所作業の準備や計測者と記録者など対象範囲だけで、2名の作業員でも約5時間を要しました。一方、画像による計測では、1名の作業員でも約1時間で済みます。さらには、画像計測により、ひび割れの幅や座標などの情報をデジタル化できるため、維持管理などに活用しやすい情報として整理、記録することも可能です。

デジタル画像で鉄筋腐食の進行を予測する

コンクリート構造物における鉄筋腐食は、コンクリートのはく落や構造物の性能の低下を引き起こします。そのため、鉄筋腐食の進行を予測することが重要となります。

鉄筋腐食の進行を予測することは、構造物表面から観察できないコンクリート中の鉄筋の状態をとらえること

となり、容易ではありません。この鉄筋腐食の進行をデジタル画像で予測する方法を紹介します。

紹介する方法では、鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)コンクリート構造物²⁾に示される鉄筋腐食の進行およびそれによっても生じるひび割れやはく落を予測するモデルを用います(図7)。このモデルは、腐食発生後の腐食の程度である腐食深さを予測し、さらに、ひび割れ時の腐食深さやはく落時の腐食深さから、ひび割れやはく落が発生する時期を予測します。鉄筋腐食の進行する速さである腐食速度は、コンクリートの品質や構造物の環境など構造物の実態によって異なります。そのため、コンクリートのはつり出しによって鉄筋の腐食状態を調査し、その実態を基に腐食速度を修正する必要があります。

紹介する方法³⁾では、構造物の実態に応じた腐食速度は、撮影した画像

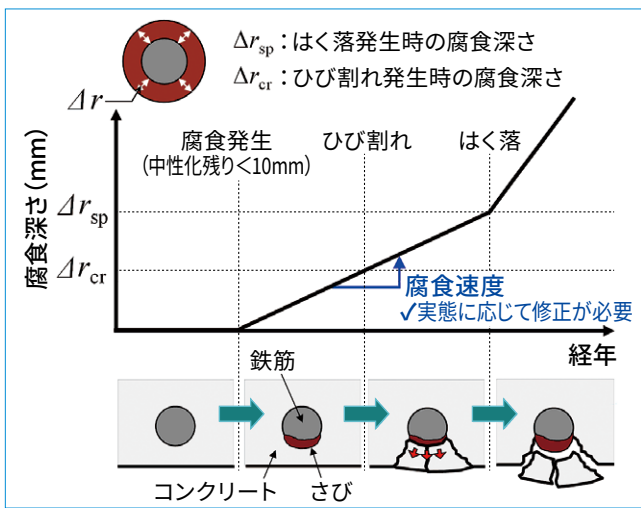


図7 鉄筋腐食や腐食による変状の予測モデル²⁾
(中性化による腐食)

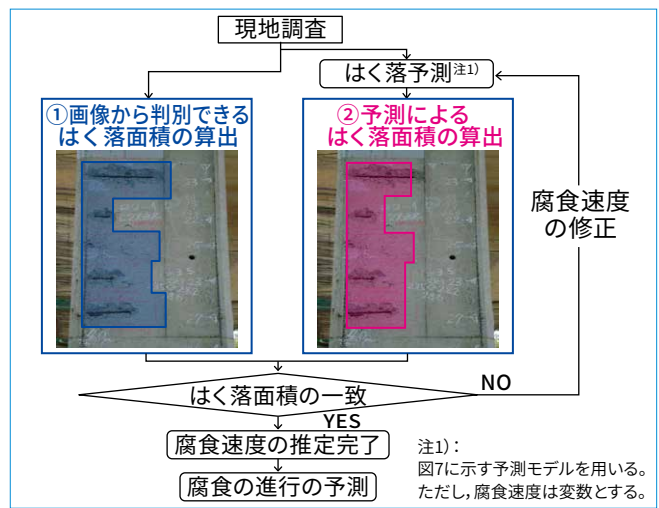


図8 画像を用いたはく落予測フロー³⁾

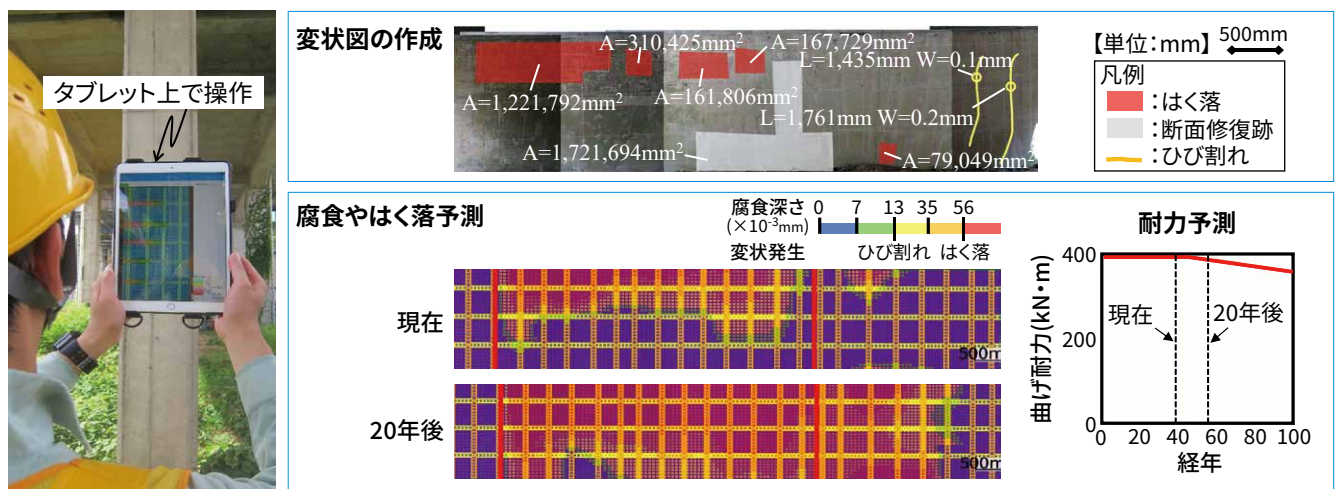


図9 タブレットを用いた検査支援アプリ

から判別できるはく落面積 (図8の①) と予測によるはく落面積 (図8の②) を比較し、それらが整合するように推定します。この結果、はつり出しを必要とせず、個別検査における一般的な調査項目である、写真撮影、かぶり測定などで、実態に即した鉄筋腐食の進行が予測できます。

また、近年、現場業務へのタブレットの普及にあわせて、タブレット上の操作で、変状図の作成を行うとともに、紹介した方法を用いて腐食速度を自動計算し、鉄筋腐食やはく落予測、さらに耐力予測を行う機能を組み込んだアプリを開発しています (図9)。これにより、タブレット上でのタッチタップなど簡易な操作によって、はく落範囲やかぶりなどを入力することができ、

はく落の面積やひび割れの長さなどが自動で計算できます。また、撮影した画像上に、任意経年の鉄筋腐食の程度やはく落範囲、耐力の低下などの予測値を可視化できます。予測に必要な計算時間は数秒ですので、これらの機能により現地調査時に将来の鉄筋腐食やはく落の発生予測の結果などを知ることができます。

紹介した方法により、個別検査が省力化され、将来の鉄筋腐食の進行、はく落の発生時期や範囲、耐力の低下程度などを踏まえた計画的な修繕が可能になると考えられます。

おわりに

デジタル画像を用いたコンクリート構造物の劣化の予測について紹介しま

した。今後、さらなる進歩が予想されるデジタル技術を構造物の維持管理に活用することによって、維持管理の省力化やコスト縮減が期待できます。今後も、維持管理の現場業務に役立つ技術を提供できるよう技術開発を進めていきたいと考えています。 [RRR]

文献

- 1) 西尾壮平：コンクリートの品質を診断する, RRR, Vol.74, No.2, pp.20-23, 2017
- 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説 (構造物編) コンクリート構造物, 丸善出版, pp.222-233, 2007
- 3) 角野拓真, 轟俊太郎, 松下将士, 田所敏弥：目視情報に基づく実RC構造物のはく落予測ツールの開発, 鉄道工学シンポジウム論文集, Vol.22, pp.131-138, 2018