

第1回 外観検査

講座部会*

1. 新講座開設について

第44巻までのFEM解析に続き、第45巻において、コンクリート構造物の補修・補強に関する講座を開設し、そのなかで、劣化要因や劣化メカニズム、それらに対する補修・補強技術を解説致しました。その後、それに続くシリーズを検討するなかで、検査技術、とりわけ、非破壊検査技術に特化した講座の開設を望む声が多く、改めてコンクリート構造物を診断するうえで欠かすことのできない非破壊検査技術（一部、微破壊を含む）を、新講座のテーマとして取り上げ、現時点で使用されている検査手法、および実用レベルにある検査手法を12回程度で解説することと致しました。コンクリート構造に関して、今後ますます重要となっていくと思われる検査技術について、タイトルのとおり“よくわかる”内容に致したいと思っておりますので、宜しくお願いします。

1.1 各号の内容について

各号では、検査目的をタイトルとして、その目的に使用する検査手法を解説する形式と致します。以下にその内訳（予定）の10タイトルを示します。内容的に多い場合は分割掲載としますので、12回程度の連載になると考えております。

- ① 外観検査
 - ・ 目視検査、デジタルカメラ
- ② コンクリート圧縮強度
 - ・ コンクリートコア強度測定、反発硬度法、局部破壊試験
- ③ ひび割れ・剥離・空洞
 - ・ サーモグラフィ、弾性波、電磁波レーダ
 - ・ アコースティック・エミッション（ひび割れ、PC鋼材破断）、弾性波（グラウト充填確認）
- ④ コンクリートの配合
 - ・ 微細構造、化学成分、配合推定、走査電子顕微鏡（SEM）、電子線マイクロアナライザ（EPMA）
- ⑤ PC構造物で使用される長期計測手法
 - ・ PC鋼材張力測定：EMセンサ等
 - ・ 支承・制震装置等の最大変位計測：ピークセンサ
 - ・ コンクリートの応力変化：スロットストレス
- ⑥ 鉄筋・かぶり厚さ・埋設物
 - ・ 電磁誘導、電磁波レーダ、X線

- ⑦ 鉄筋腐食
 - ・ 中性化深さ（はつり法・コア法・ドリル法）、塩化物イオン含有量、鉄筋腐食量
 - ・ 自然電位、分極抵抗、電気抵抗
- ⑧ アルカリシリカ反応（ASR）
 - ・ アルカリ量、骨材のアルカリシリカ反応性、アルカリシリカゲル、残存膨張量
- ⑨ 比較的新しい測定技術
 - ・ CCDカメラによる非接触形状測定
 - ・ レーザスキャナ（3Dレーザ）
 - ・ 光ファイバを用いた歪測定
- ⑩ 非破壊検査技術の展望

本号では、外観検査を取り扱いますが、本題に入る前に国内におけるPC橋梁（道路橋）の現状を説明し、エンジニア一人一人が診断技術を習得することの必要性を感じて頂きたいと思っております。

2. 道路橋の現状について

図-1に示した円グラフは平成12年度に実施された道路施設現況検査における橋梁の分布状況を示したものです。図にあるのは橋長15m以上のものを示しておりますが、橋梁数147,000橋、橋梁延長9,300kmを超えており、膨大な社会資本ストックを抱えていることが理解できます。本書をお読みのエンジニアが対応する構造物は、橋梁にかぎらないとは思いますが、橋梁だけを見てもこれだけの診断対象が存在するわけです。当然のことながら、コンクリー

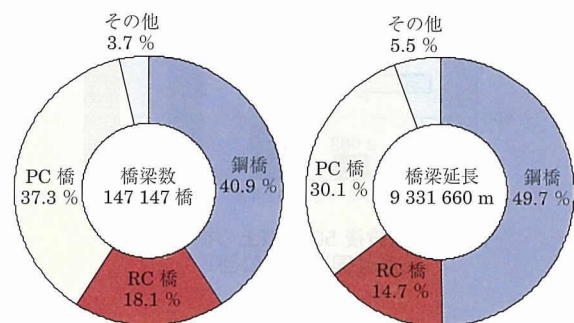


図-1 道路橋の現状（平成12年度現在）

*執筆：今村 晃久

Akihisa IMAMURA：ドーピー建設工業(株) 技術部長 博士(工学)

ト製の床版を有していれば、鋼橋もわれわれの対応すべき構造物と考えなければなりません。

では、今後どの程度の橋梁に対する対応が必要になるのでしょうか。塩害等の明白な劣化・損傷要因下にある橋梁は別として、一般的に50年が経過した橋梁に対しては十分な対応が必要になると仮定してみることに致します。図-2に直轄国道と4公団の管理する橋梁に関して、経年数と橋梁数の関係を示します。図-2、図-3からおわかり頂けると思いますが、高度成長期に建設された橋梁の多くは、20年後には新設後50年を経過することになり、その橋梁数は現在の約10倍にもなります。現在においても、それなりに橋梁診断のニーズは増えたと感じている方は多いと思いますが、これからは指数関数的に対象橋梁が増えていくこととなります。もちろん、コンクリート構造物は橋梁だけではありませんし、橋梁についても都道府県、市町村発注分を含めれば、膨大な数のコンクリート構造物をケアしなければならないことが、容易に想像できると思います。

われわれコンクリート構造物に携わるエンジニアは、これら多くのコンクリート構造物の健全度を検査・診断していかなくてはなりません。そのためには、確実に信頼の効率的な検査技術の習得が不可欠なのです。

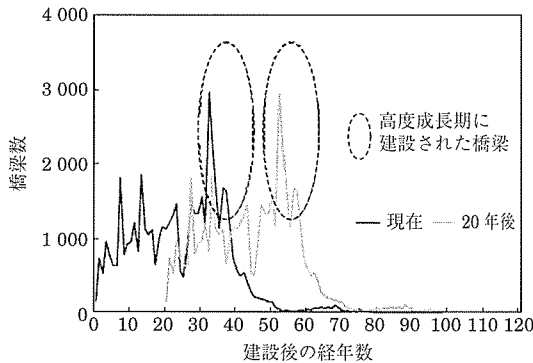


図-2 橋梁の経年別分布状況（直轄国道+4公団）

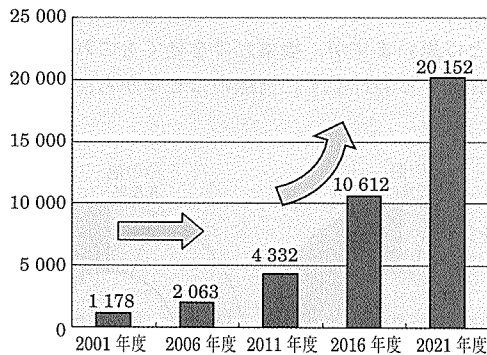


図-3 建設後50年以上の橋梁の推移（直轄国道+4公団）

3. 外観検査について

3.1 目視検査

コンクリートの劣化が進行すると、その表面に損傷が顕

在化することが多いため、目視により得られる情報は多く、また本検査はすべての検査に先立ち必ず実施される検査であることから、もっとも重要な検査と考えられています。

本来、目視検査は非破壊検査には含まれませんが、構造物の診断に際して必ず実施される点と、打音検査やデジタルカメラを用いたひび割れ検査を紹介するうえで、欠かせないものと考え、本講座の最初の非破壊検査として取り上げることにしました。

3.1.1 適用範囲

目視検査は損傷状況に応じた詳細な検査の必要性を含むさまざまな診断を行ううえで必要不可欠な検査です。目視検査で確認することが可能な損傷例を表-1に示しますが、本検査で得られる情報は非常に多く、この他にも構造物がおかれている環境や、損傷に対応した劣化要因を把握することが可能です。また、ハンマ等による打音検査を併用することで、見えにくい空洞等の損傷を確認することができます。

表-1 目視で確認可能な損傷

損傷の種類
ひび割れ
浮き、剥離、剥落
鉄筋露出、錆汁の溶出
豆板、遊離石灰、変色、補修跡
漏水、滞水
変形、沈下、移動、傾斜

3.1.2 検査方法

目視検査の大まかな流れを図-4に示しました。検査は原則として、コンクリート表面に可能なかぎり接近して、入念に観察する必要がありますが、日常点検などの場合、または、現地の制約条件の関係から近接で目視できない場合には、双眼鏡等を用いた遠望目視による検査を行ない

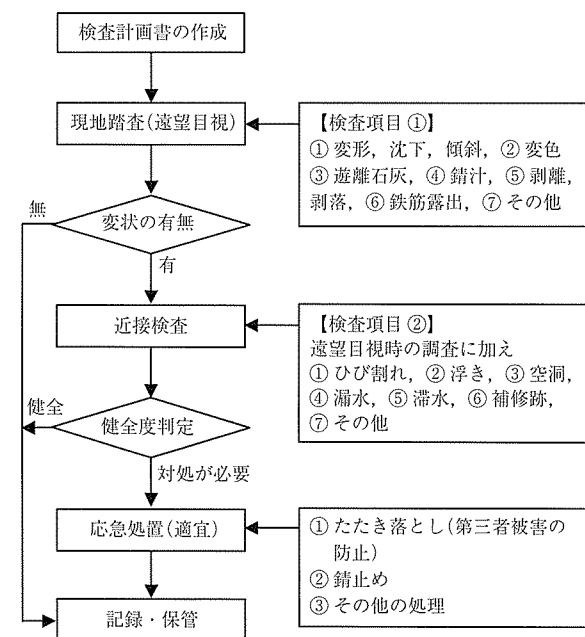


図-4 目視検査のフロー

す。ただし、この場合でも、変状が確認された場合には、足場等の設備を用いて近接検査を実施しなければなりません。

近接検査を行う際には、コンクリート表面を清掃したうえで照明設備等により、観察箇所をできるだけ明るい状態にする必要があります。本検査における検査項目は、図-4の検査項目①、②に示したとおりで、実際の検査にあたっては損傷の位置、範囲および、状況等を計測・記録する簡易な測定器具やカメラと、浮き、剥離を確認するハンマを携帯しなければなりません。検査項目の中でもとくにひび割れについては、コンクリート構造物の耐久性を左右する可能性が高いので、後の発生原因特定のために、入念に発生位置や形態を把握するとともに、ひび割れの長さや幅をスケール等で計測し、写真を撮るとともにスケッチするのが良いでしょう。アルカリ骨材反応や内部の鋼材腐食などがある場合には、ひび割れ部位が膨れ上がっていたり、段差ができていたりすることがあるため、触れることにより、それらの状態に異常があれば、メモを取っておく必要があります。

また、目視検査をする際にハンマーなどを用いた打音検査を併用することにより、コンクリート表面の浮き、剥離、空洞の有無をある程度把握することができます。表-2に打音法による状況判断の一例を示します。この打音検査の結果、剥落の危険性があると判断された場合は、検査時にできるだけ叩き落しておくことで、第三者被害を未然に防ぐことができます。

表-2 打音検査による状況判断の目安

打音の結果	音種	損傷
キンキン・コンコンといった清音を発し、反発感がある。	(清音)	健全
ドン、ドスドス等の鈍い音がする。	(濁音)	劣化、空洞
ポコ、ベコベコ等の薄さを感じる音がする。	(清音)	浮き、剥離

3.1.3 目視検査の評価

先に記したように、本検査はすべての検査に先立って行うもので、最終的診断を下すためのものではありません。表-3に旧建設省の「橋梁点検要領(案)」に記されている判断区分を示しますが、目視検査とは、以下の項目を評価することが目的だといってもよいと思います。

- ① 緊急対策の必要性
- ② 損傷原因の推定
- ③ 損傷原因を確定するための検査の必要性

表-3 判定区分に基づく一般的な状況

判定区分	一般的な状況
I	損傷が著しく、交通の安全確保の支障となる恐れがある。
II	損傷が著しく、詳細検査を実施して補修するかどうかの検討を行う必要がある。
III	損傷が認められ、追跡検査を行う必要がある。
IV	損傷が認められ、その程度を記録する必要がある。
問題なし	損傷は認められない。

④ コンクリート内部の損傷状況を把握するための検査の必要性

3.2 デジタルカメラ

先に説明したように、維持管理を効果的に進めるうえで、目視検査は構造物の劣化現象の発見や状況認識をする重要な役割を果たしています。しかし、今後検査診断が必要となるコンクリート構造物はさらに増え、新規構造物や現状は健全である構造物に対しての予防保全の必要性を考慮すれば、従来の目視を主体とした手法では効率面のみならずデータ管理や運用の観点からも効果的な手段とは成り得ません。そこで、デジタルカメラの高画素化および、コンピュータの処理速度の高速化が急速に進む背景のもと、デジタルカメラで撮影したデジタル画像を用いてその劣化状態を記録・判断する方法が一般化しつつあります。

当初はデータ管理やモニタ上での視認性の良さから利用され始めましたが、最近ではさまざまなアプリケーションを用いてひび割れの認識や測定、スケッチの作成など非常に高度な処理が可能になっております。今後ますます進化する可能性をもった分野ですが、それだけにデジタル画像の概念を理解することが重要です。

3.2.1 機器について

使用するデジタルカメラの選定にあたり、考慮すべき点について簡単に述べます。

先に記しましたように、便利な点が多いデジタルカメラですが、欠点としては、従来のカメラと比べて機構が非常に複雑なために高価な製品が多いこと、および暗い場所での撮影時にノイズが出やすいことなどがあげられます。多くの普及型デジタルカメラで撮像素子として使われているのが、CCDと呼ばれる素子で、デジタルカメラの基本性能はこのCCDと光学レンズに大きく依存します。CCDは画素と呼ばれる小さな素子が集まってできています。200万画素とか400万画素というのは、CCDを構成する画素数のことを表しております。画素数が多ければ同じ面積を撮影したときの解像度が高くなります。1m角のコンクリート表面を撮影した時、2000×2000画素(400万画素)のデジタル分解能は0.5mmで、1000×1000画素(100万画素)のデジタル分解能は1.0mmとなります。3008×1980画素のデジタルカメラ*で撮影した場合の撮影画角と認識可能なひび割れ幅の関係を図-5に示します。

したがって、ひび割れの検査を想定した場合には、より

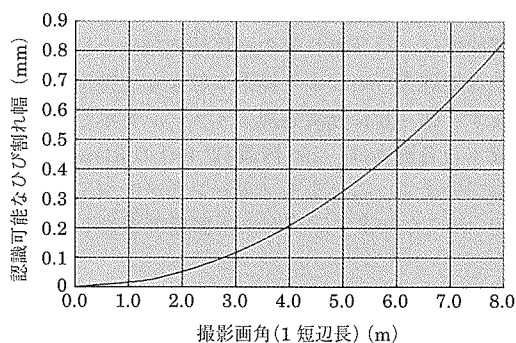


図-5 撮影画角と認識可能なひび割れ幅の関係

画素数の多いカメラが有利で、CCD 自体については一画素あたりの面積**が大きい方が、より感度が良い（光の情報をより多く取り込むことができる）ことになります。また、光学レンズについてはF値***の小さい（明るい）レンズ（画角が同じなら大きなレンズがより明るい）を使用するのが望ましいといえます。

3.2.2 デジタルカメラを使った処理

デジタルカメラを使用しても、検査としては基本的に目視検査の範疇に入るため、ここではデジタルカメラを使って処理できる機能の一例を紹介したいと思います****。

1) 補正機能

代表的補正機能としては、あおり補正と曲率補正があります。あおり補正機能は、図-6のように斜めから対象物を撮影した画像を正対視した画像に変換する機能です。また、「収差補正」により広角レンズを使用した時に起きる収差を除去することができます。これらの機能により歪のない平面画像が得られます。その他に「曲率補正」という機能では、シールドトンネルの内壁のような曲率を有する壁面の撮影画像を平面図に展開することができます。

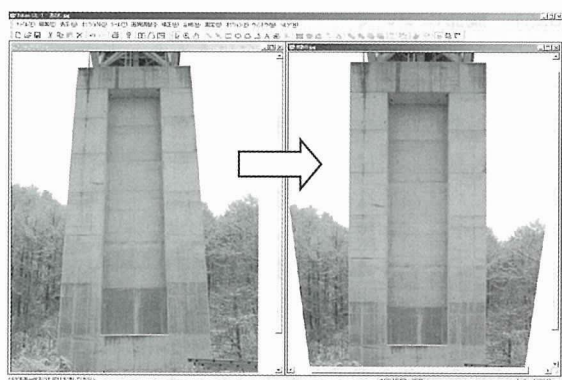


図-6 あおり補正機能

2) 合成機能

2枚の画像を左右または上下に合成することができます。画像合成にあたっては、それぞれの画像上に重複する2箇所の共通点が必要となります。診断対象面を分割して撮影すればより解像度の高い画像を得ることができ、合成した診断対象画像からより細かいひび割れや損傷情報を得ることが可能になります。図-7は4分割で撮影した画像を一つに合成した例です。

ート表面のひび割れは画像処理ソフトのエッジ強調処理等により図-9のようにひび割れが鮮明化されコンピュータのモニタ上で鮮明に認識可能となります。

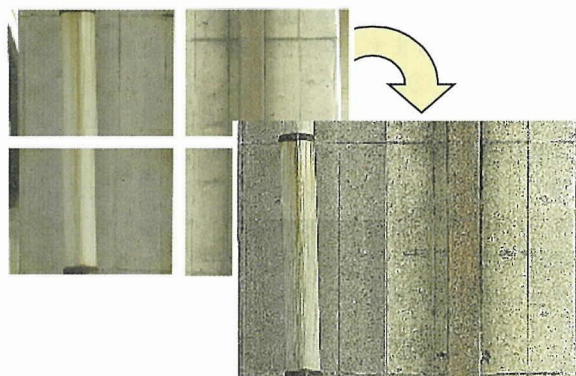


図-7 合成機能



図-8 ひび割れの強調処理イメージ

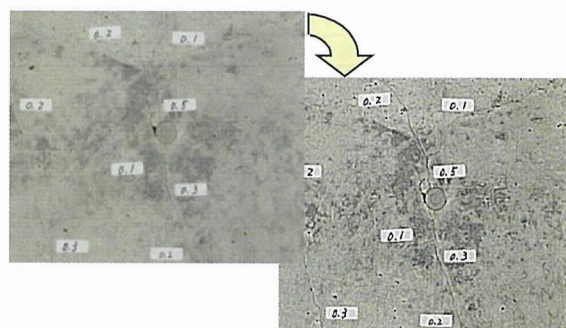


図-9 特徴抽出機能

3) 特徴抽出機能

本機能では、ひび割れ等の損傷部の抽出を目的としたエッジ強調処理を行い、より細かな線などを抽出することができます。図-8に強調処理のイメージを示します。画像を構成する各画素は、256階調(2⁸ bit)のRGB三原色で構成されています。これをモノトーンイメージで示したのが中段の(b)になります。デジタル画像で撮影したコンクリ

4) 計測機能

デジタル画像上でひび割れ、剥離等の損傷部をマウスでなぞることで、図-10のような損傷スケッチ図の作成とトレース部の計測作業が同時に行えます。あらかじめ、画像上の任意の4点に対し座標を設定すれば、その座標データに従いトレースした部分の長さやひび割れ幅が計算され、

* (株)ニコンDIX（データ提供：株式会社ニコンシステム）

** CCDのサイズは、対角線の長さで表現されます。サイズが小さいほど機器を小型に設計できますが、1画素の面積は小さくなるので光を集めづらくなります。

*** F値は 焦点距離÷有効口径で求めることができ、数字が小さくなるほど明るいと判断できます。

**** (株)ニコンシステムのアプリケーションGS-1を用いた例を紹介しております。

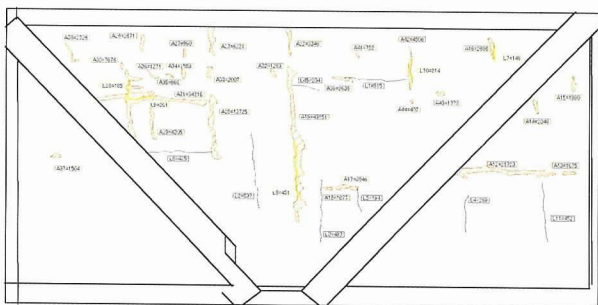


図 - 10 ひび割れトレース

算出された各データの集計結果を得ることができます。計測の精度は利用する画像の解像度に依存します。画像を構成する画素数が多ければ分解能が上がり、計測精度は向上します。

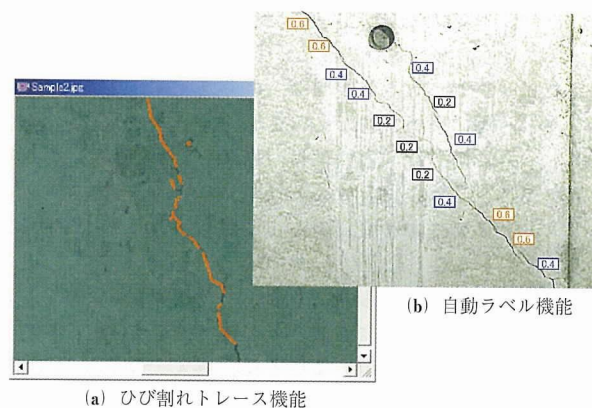
その他に、自動ひび割れトレース機能(図 - 11 (a))や、ひび割れ幅を計算シラベルとして表示する機能(図 - 11 (b))が実用化されております。

3.2.3 今後の展開

従来のコンクリート構造物の点検では、検査対象面にチョーキングし、撮影をした写真から損傷図などを作成するという非常に手間のかかる作業をしていましたが、デジタルカメラを活用することで、それらが効率的になるばか

りでなく、作業の大半が事務所作業になるという大きなメリットが生まれます。今後はより高精細化が進むとともに、赤外線画像による撮影や、ロボット化といった取組みが実用化してきます。ITの進歩による恩恵をもっとも受ける分野ですので、エンジニアはその活用方法を積極的に提案していく必要があるでしょう。

次号は、コンクリートの圧縮強度を計測する非破壊検査を解説致します。ご期待下さい。



(a) ひび割れトレース機能

(b) 自動ラベル機能

図 - 11 ひび割れ抽出機能

【2004年11月15日受付】



刊行物案内

PC 橋架設工法 2002年版

頒布価格：会員特価 4 000 円（送料 400 円）

：非会員特価 4 800 円（送料 400 円）

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会