

実橋床版における各種非破壊試験の適用性に関する研究

A study on applicability of various non-destructive testing methods for reinforced concrete slab in service load bridge

友清 剛*・魚本 健人**

Takeshi TOMOKIYO and Taketo UOMOTO

1. はじめに

コンクリート構造物の欠陥検出や点検を目的とした非破壊検査には超音波法や赤外線法など様々な手法が検討されている。しかしながら、各試験法には一長一短があるため信頼性の高い評価を行うためにはそれらを併用して実施する必要があると考えられる。

そこで本研究では、基礎データを得るため現在供用中の道路橋床版に対して各種非破壊試験を実施し、実構造物における各検査法の適用性について検討した。

2. 実験概要

実験は供用後約 28 年経過した道路高架橋 A 橋の鉄筋コンクリート床版で行った。この高架橋は供用の 8 年後に床版補強として増設桁工法による縦桁増設が実施されている。実験の対象にした格間（主桁と横桁で仕切られた範囲）は橋軸方向に連続した格間 A と B の 2 格間とした。図 1、2 に対象となった格間の損傷状況、断面図を示した。格間 A は遊離石灰が広がっている部分がみられ比較的損傷が多い箇所写真点検によると、「補修する必要があるが緊急補修を要しない」と判定されている。一方、格間 B は、「損傷があり、その程度を記録にとどめておく必要がある場合」と判定され、格間 A の方が損傷度が大きいとされている。また、床版の構造は上面部において増設桁の右側半分のほとんどが中央分離帯で、左側が車両の通行する部分となっている。

これら 2 つの格間に対して AE 法、赤外線法、打音法、自然電位法、レーダ法、デジタルスチルカメラによる撮影を実施した。

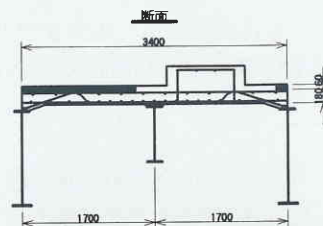


図 1 格間 A



図 2 格間 B

* (財)首都高速道路技術センター

** 東京大学国際・産学共同研究センター

3. 実験方法

3.1 デジタルスチルカメラ

高架下から130万画素デジタルカメラにより1格間の床版について8分割になるように撮影し、画像を合成して1格間の写真を作成した。

3.2 AE法

図3に示すように床版下面に増設桁を挟むように1格間2個、合計4個のAEセンサー(CH1~CH4)を取付けて車両通行下で約2時間計測を行った。CH1, 3(奇数チャンネル)は車両通行側, CH2, 4(偶数チャンネル)は中央分離帯に設置した。

3.3 赤外線法

赤外線法は、対象格間の直下(床版までの高さ約8m)に赤外線カメラを設置し、1時間毎の撮影を一昼夜(24時間)連続で行った。

3.4 打音法

図3に示すような400mm×500mmの格子状に設けた測定点に対してインパルスハンマーにより打撃して、その近傍に設置したマイクにより打撃音を記録した。

3.5 自然電位法

打音法と同様に200mm×200mmの格子状の測定点で自然電位の測定を行った。

3.6 レーダ法

1GHzの電磁波レーダ装置を使用し、配筋および劣化の状況を調査することを目的とした。

4. 結果および考察

4.1 AE法

図4に全計測期間中に検出された各チャンネル毎の(a)AEヒット総数、および(b)AEエネルギー値を示す。検出されたヒット数は、CH1, 3, 4ではほぼ等しいが、CH2ではこれより50%程度大きな値を示した。また、CH2, 4ではAEエネルギーが 10^6 程度であるが、CH1では 2.6×10^7 , CH3で 3.0×10^7 であった。このように、奇数チャンネル(車両通行側)は偶数チャンネル(中央分離帯側)に比べ、10倍以上大きなAEエネルギーを検出している。これは、偶数チャンネルは車両通行で生じた活荷重の影響が小さい中央分離帯直下に設置されたため、主として構造物全体の振動など間接的な原因で発生したAEを検出しているのに対し、奇数チャンネルは車両が通行する部分に設置されているので、車両通行で生じた活荷重に起因するAEを検出しているためと考えられる。また、格間Aに取付けられたCH3と格間Bに取付けられたCH1のエネルギー値を比べると、同様の活荷重下にもかかわらず、Aの方がBに比べ約15%程度

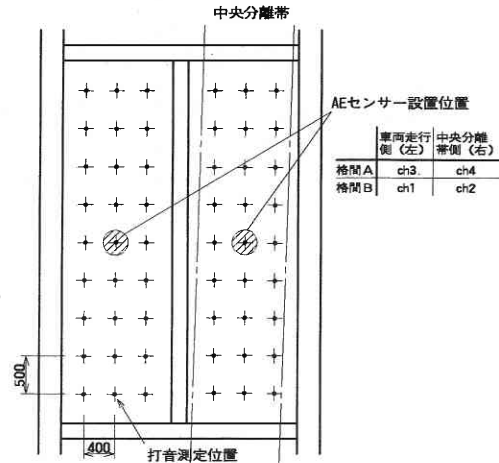


図3 AEセンサー設置位置および打音測定位置

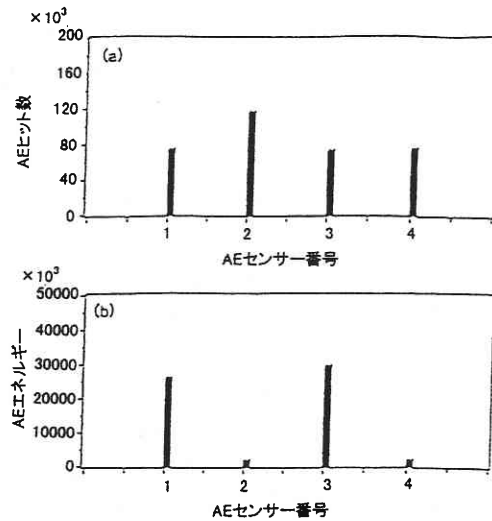


図4 各チャンネル毎の(a)AEヒット総数および(b)AEエネルギー総数

大きな検出値を示した。この検出されたAEエネルギーの差は、各格間における損傷程度の違い(「格間Aの方が損傷度が大きい)に起因しているものと考えられる。

4.2 赤外線法

図5に格間Aの赤外線法による画像において、1. 健全部, 2. 漏水部, 3. 中央分離帯直下部, 4. 内部欠陥があると思われる部分の4点に着目して、これらの点の温度の経時変化を示す。また、図6に格間A全体の赤外線画像の経時変化を示す。これより、目視でも確認できる遊離石灰部で低温領域が確認できた。また、遊離石灰等の欠陥が目視では確認できない点4(内部欠陥があると思われる部分)の部分では図6⑤、⑥で周辺部より低い温度が検出され、さらに図5からも健全部との差が最大 1.0°C であることから内部欠陥の可能性があると考えられる。

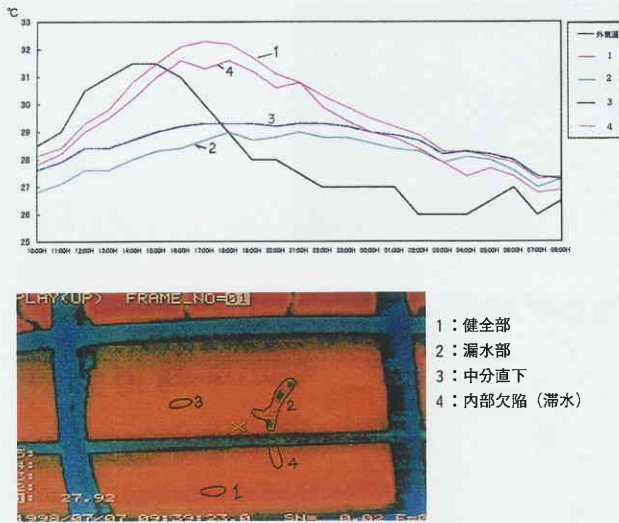


図5 床版の定点温度の経時変化

4.3 打音法

格間 A, B で測定された代表的な打撃音の波形を図 7 に示す。B と比較して A の波形は振幅値が大きく周波数の長い波が多く含まれていることがわかる。

一般に、疲労損傷を受けた床版は剛性が低下するため、振幅が大きくなると考えられる。そこで、測定結果から得られた振幅比（入力であるインパルスハンマーの振幅と出力である打撃音の振幅との比）を等高線図にしたものを図 8 に示す。これより格間 A は格間 B よりも全体的に振幅値が大きく損傷度が大きいと考えられる。

4.4 画像の重ね合せの検討

格間 A の増設桁より右側部分における測定結果の画像の重ね合せについて検討する。

図 9 にデジタルカメラで撮影した写真（原画像）とパソコン上でひび割れのトレースを行った画像（ひび割れ図）およびレーダで調査した配筋図を重ね合せた画像を示す。また、図 9 の原画像+ひび割れ図と 1 時間毎に撮影した赤外線画像のうち、ある時点のものを合成した画像を図 10 に示す。同様に原画像+ひび割れ図と自然電位法の測定結果から作成した等高線画像、原画像+ひび割れ図と打音の等高線図を重ね合せた画像をそれぞれ図 11, 12 に示す。ひび割れのトレース図では、およそ 0.1 mm 程度以上のひび割れをパソコン上でトレースしたもので、赤線の部分はひび割れ幅が比較的大きい部分である。

図 9 における配筋図で黄色線の部分は鉄筋を示す映像の変化が認められた部分で、この部分でコンクリートに変状があるか、水が滞留していると推定される。図 10 より、赤外線法での低温部は遊離石灰のひび割れ幅が大きい部分において検出されていることがわかる。また、図 11 の自然電位法で

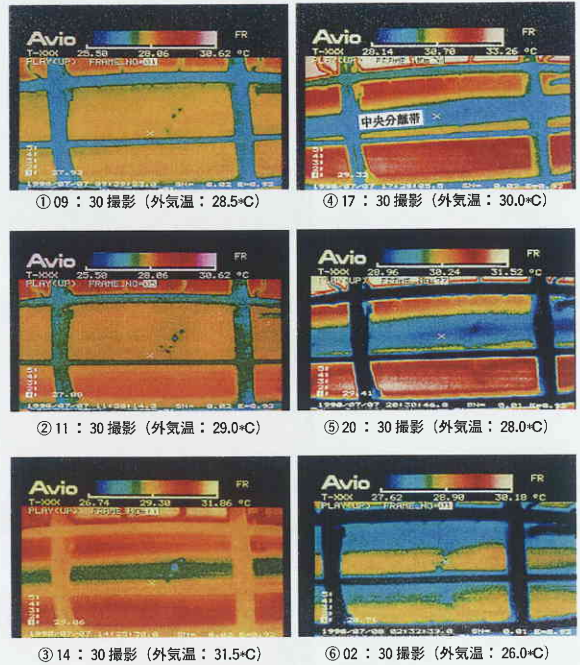


図6 赤外線画像の経時変化

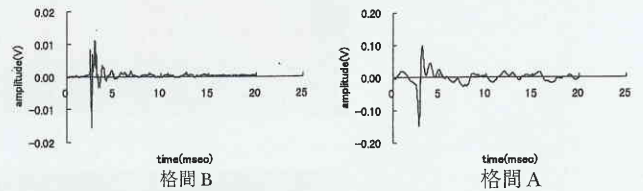


図7 代表的な打撃音の波形

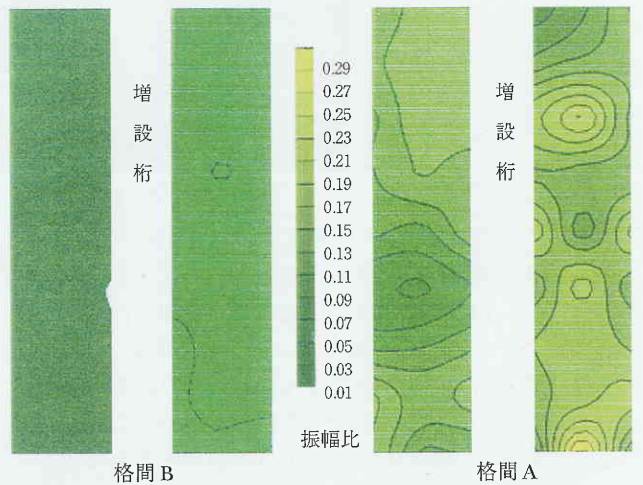


図8 打撃音振幅比の等高線図

は電位が卑な値を示す部分とひび割れ幅の大きい部分、遊離石灰部がほぼ一致しており、鉄筋の腐食が考えられる。一方、図 12 の打音との重ね合せをみると、振幅値の高い部分と遊離石灰との関係はあまり見られず、表面の性状では確認

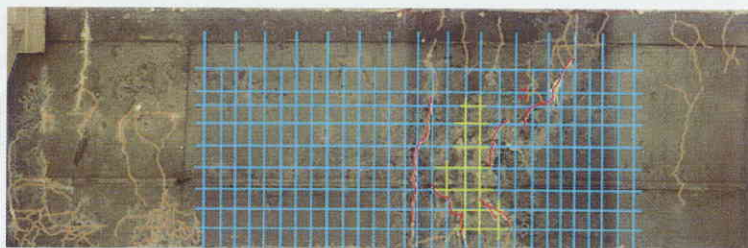
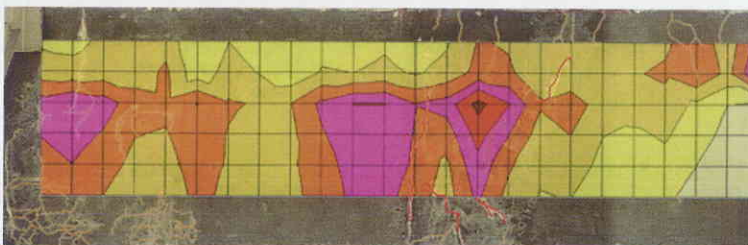


図 9 重ね合せ図 (原画像+ひび割れ+配筋図)



図 10 重ね合せ図 (原画像+ひび割れ+赤外線)



電位 (mV)	
□	150 ~ 250
□	50 ~ 150
□	-50 ~ 50
□	-150 ~ -50
■	-250 ~ -150
■	-350 ~ -250
■	-450 ~ -350
■	-550 ~ -450

図 11 重ね合せ図 (原画像+ひび割れ+自然電位)

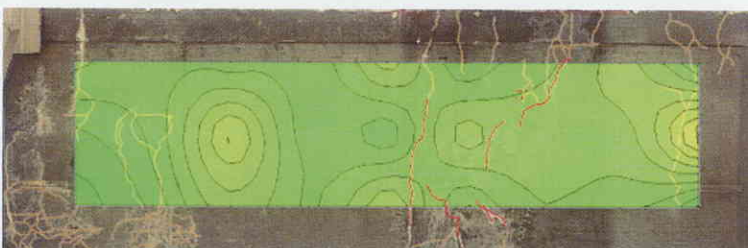


図 12 重ね合せ図 (原画像+ひび割れ+打音)

できない内部の損傷の情報を含んでいると考えられる。

床版の損傷度は、ひび割れや遊離石灰などの表面性状だけではなく、内部空洞や鉄筋の腐食等、目視点検だけでは判断できない欠陥の有無などからも判断する必要があり、このような複数の非破壊試験を用いることは非常に有効であり、測定結果の画像を重ね合わせる等の方法をとることにより信頼性の高い評価が行えるのではないかと考えられる。

5. ま と め

本研究では現在供用中の道路橋鉄筋コンクリート床版に対して各種非破壊検査を実施した。その結果、測定結果の画像を重ね合せ、いくつかの試験法を併用することで信頼性の高い評価ができる可能性があることを示すことができた。また、

AE法と打音法においては写真点検結果と同じように格間Aが損傷度が高く、Bが比較的健全であるとの結果であった。

謝 辞

本研究の実験は(財)生産技術研究奨励会「コンクリート構造物の劣化診断に関する研究委員会」(委員長 魚本健人教授)において実施したものであり、ご協力頂きました委員諸氏ならびに関係各位に深く感謝致します。また、データを御提供頂きました佐藤工業(株)伊東良浩氏、三協(株)佐藤登氏、畑野達郎氏、日本フィジカルアコースティクス(株)湯山茂徳氏、リテックエンジニアリング(株)新井淳一氏、コマツエンジニアリング(株)吉村明彦氏、日本X線検査(株)加藤潔氏に感謝の意を表します。(1999年8月10日受理)