

報告 コンクリート構造物の劣化診断における非破壊検査の適用に関する研究

恒國 光義^{*1}・加藤 佳孝^{*2}・魚本 健人^{*3}

要旨：コンクリート構造物の維持管理における点検では、赤外線法、打音法、電磁波レーダ、などの様々な非破壊検査方法が利用されるようになっている。しかしながら、それぞれの非破壊検査方法は測定原理や測定方法に特徴があり、得られる情報や測定結果に違いがある。そのため、点検内容に応じて複数の非破壊試験方法を組み合わせた効率のよい点検方法が必要になるものと考えられる。本報告では、内部結果などを模擬した供試体や実構造物に関するこれまでの検査結果をもとに、各種の非破壊検査方法の適用性に関する検討を行った。

キーワード：劣化診断, 非破壊検査, 維持管理

1. はじめに

コンクリート標準示方書「維持管理編」¹⁾では、コンクリート構造物の点検を、初期点検、日常点検、定期点検、臨時点検および詳細点検に分類している。初期・日常・定期点検などでは、コンクリート構造物の状態を全般的に把握できる目視および打音法、赤外線法などによる点検が主体となっている。これに対して、詳細点検は、日常点検などにおいて構造物の劣化や性能低下に関する詳細資料が必要と判断された場合に局所的に実施されるもので、目視、打音法、赤外線法以外の電磁波レーダ法や超音波法などの非破壊検査が適用されることが多い。

しかしながら、各種の非破壊検査方法をいつ、どのような方法で実施し、どの程度の精度でコンクリート構造物の劣化や変状などを把握することができるのかは必ずしも明確ではない。

そこで、本研究では、剥離、ひび割れ、内部空洞などのコンクリート構造物に生じる欠陥を模擬して作製した供試体や、実構造物を対象に各種の非破壊検査を行い、コンクリート構造物の点検内容や点検に要求されるレベルに応じた

効率的な非破壊検査方法について検討を行っているものである。

2. モデル供試体を用いた非破壊検査²⁾

2.1 モデル供試体の概要

各種非破壊検査の精度を検討することを目的として、検査精度を明確に表現できる欠陥を模擬したモデル供試体を作製した。実際の詳細点検を想定し、欠陥の平面的な位置情報はすでに明確となっており、詳細点検の範囲が予め決定されている状況として、モデル供試体は測定範囲が 1m^2 となるように表-1に示す9モデルとした。なお、表中に示すアピール A モデル I～III は、「A」の形状をした内部空洞が存在する供試体である。モデル供試体の例としてとしてアピール A モデル I の概要を図-1に示す。また、供試体に用いたコンクリートの配合は通常のコンクリート構造物に適用されるものを想定して表-2のように定めた。コンクリートの圧縮強度は 33.5MPa (28日)、弾性係数は 44000MPa であった。

*1 東電設計(株) 技術開発本部 土木技術部 (正会員)

*2 東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター講師 博(工) (正会員)

*3 東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター教授 工博 (正会員)

表-1 非破壊検査に用いたモデル供試体

No.	モデル供試体	詳細
1	剥離モデル	200×500×1mm(深さ200mm, 40mm) 200×500×5mm(深さ20mm, 40mm)
2	版厚モデル	版厚100mm, 200mm, 300mm, 400mm
3	ジャンカモデル	大きさ100×100mm, 300×300mm
4	ひび割れモデル	44.4°, 58.7° (深さ200mm)
5	PCグラウトモデル	プラスチック・金属製シース(φ50)
6	圧接モデル	10-D32
7	アピールAモデルⅠ	水平(深さ100mm)
8	アピールAモデルⅡ	一方向に15°で傾斜
9	アピールAモデルⅢ	一方向に15°, 直行方向に45°で傾斜

表-2 モデル供試体のコンクリートの配合

W/C (%)	S/a (%)	単位量				
		W	C	S	G	Ad
55.8	45.4	164	294	821	1029	0.735

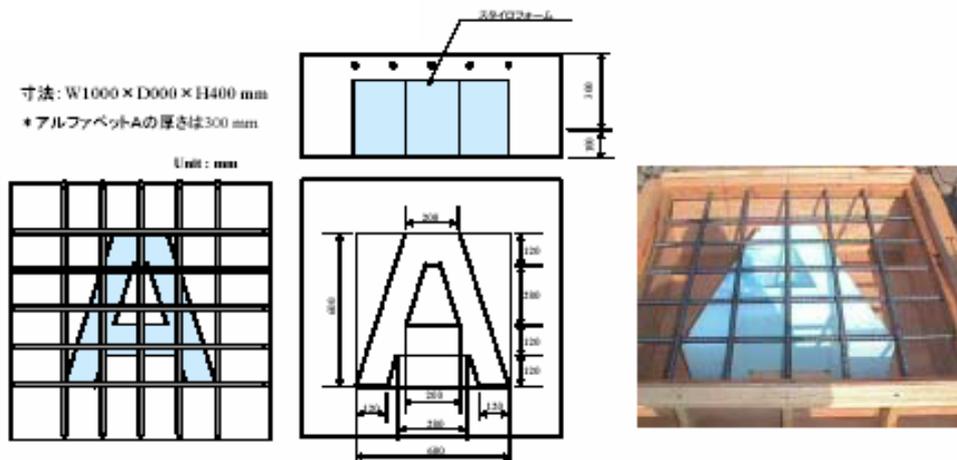


図-1 モデル供試体の例（アピールAモデルⅠの概要と作製状況）

2.2 モデル供試体へ適用した非破壊試験

作製したモデル供試体とそれぞれの供試体へ適用した非破壊試験の一覧を表-3に示す。

非破壊試験としては、赤外線法、打音法、衝撃弾性波法、PIT法、超音波法、電磁波レーダ法、中性子線法を用いた。

赤外線法については、加熱装置で強制的に加熱するアクティブ法、日射を利用するパッシブ法をそれぞれ用いた。また、超音波法については、欠陥に応じて反射法、直角回折法、伝播時間法、反射法を欠陥に応じて適宜使い分けて適用している。

表-3 モデル供試体へ適用した非破壊検査

	剥離	版厚	ジャンカ	ひび割れ	PCグラウト	圧接	アピールA I	アピールA II	アピールA III
赤外線法	○	○	○	○	○	○	○	○	○
打音法	○	○	○	○	—	—	○	○	○
衝撃弾性波法	○	○	—	○	—	—	○	○	○
PIT法	○	○	—	○	—	○	—	—	—
超音波法	—	○	○	○	○	—	○	○	—
電磁波レーダ法	○	○	○	○	○	○	○	○	○
中性子線法	—	○	—	—	○	—	—	—	—

2.3 モデル供試体の非破壊試験結果

以下では、アピールAモデルIを例として、適用した非破壊検査の測定結果の概要について示す。

アピールAモデルIに適用した非破壊検査手法は、赤外線法、打音法、衝撃弾性波法、超音波法であり、それぞれの手法で得られた結果を図-2に示す。なお、赤外線法では、強制加熱装置を用いて一定時間（40分とした）加熱後、測

定を行うアクティブ法と、日射を利用して測定を行うパッシブ法を適用した。さらに、パッシブ法では、温度が最大となる時刻（13時とした）のデータから温度の低い時間（10時）のデータを減算処理した場合と、解析評価を行わずある時間の計測データのみを用いた場合についての結果を図示している。

超音波法では $5\mu\text{sec}$ の矩形波を印加し、100kHzの周波数帯で計測を行った。

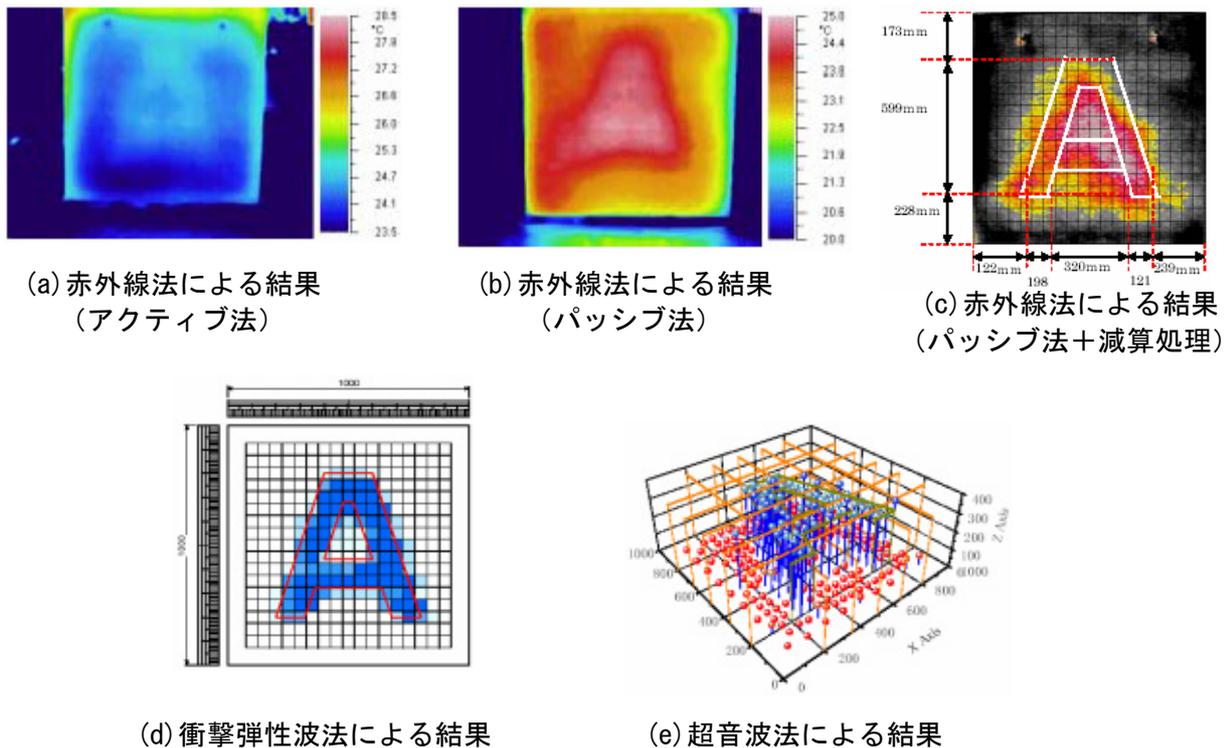


図-2 アピールAモデルIに適用した非破壊試験結果

各非破壊検査から得られた情報についてまとめたものを表-4に示す。赤外線法では、内部空洞の形状「A」の輪郭のみの検出となるが、その他の方法では空洞の形状だけでなく、それが存在する深さも同時に検出することができ、表

中にはその深さの測定誤差も示している。なお、実際の空洞の深さは表面から100mmの位置にある。超音波法では深さの測定精度は高くなるが、鉄筋の影響を受けやすいという測定上の特性がある。

表-4 アピールAモデルIの検査結果の概要

非破壊検査手法	得られる情報	備考
赤外線法	輪郭	
打音法	輪郭+深さ(50%)	
衝撃弾性波法	輪郭+深さ(29%)	
超音波法	輪郭+深さ(5%)	鉄筋上のデータが悪い

3. 壁高欄を用いた非破壊検査^{3), 4), 5)}

3.1 壁高欄の概要

対象構造物は、1977年に建設された道路橋の壁高欄であり、24年間供用された後、道路橋の増設工事に伴って撤去されたものである。検査の対象とした壁高欄の概要を図-3、表-5に示す。

表-5 壁高欄の概要

設計基準強度	30MPa
使用セメント	普通ポルトランドセメント
粗骨材最大寸法	25mm
空気量	4±1%
鉄筋	D13
かぶり	30mm



図-3 壁高欄の外観と側面形状

3.2 適用した非破壊試験

壁高欄を対象として表-6に示す非破壊検査を実施した。本検討では、これらの非破壊検査の他に、はつり（鉄筋の位置および腐食状況の確認）、コア採取（ひび割れ分布状況およびコア強度の確認）などの破壊検査も行い、各非破壊検査結果との関係を照査することでその適用性を検討した。

表-6 壁高欄に適用した非破壊検査

非破壊検査	検出対象
電磁波レーダ法	鉄筋間隔 かぶり厚
超音波法 衝撃弾性波法	ひび割れ深さ
打音法	浮き, 剥離, 空洞など
赤外線法	浮き, 空洞, ひび割れ
シュミットハンマー	圧縮強度
自然電位法	鉄筋腐食度

3.3 非破壊試験結果

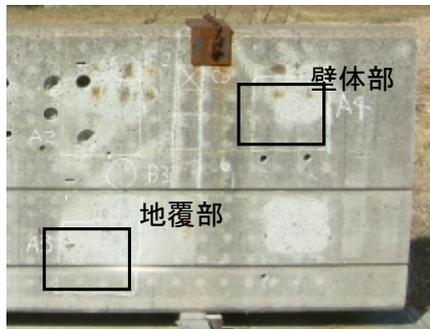
検査の対象とした壁高欄が設置されていた道路橋は、海岸線から約1.5kmに位置し、1日約61,000台の交通量であったが、壁高欄自体にはひび割れ以外に欠陥が殆どないことが非破壊検査および破壊検査から明らかとなった。このため、浮き、剥離、空洞の検出を目的とした打音法、赤外線法では適用性を十分に検討できるようなデータを得ることができなかった。

したがって、以下では、鉄筋間隔およびかぶり厚の計測を目的とした電磁波レーダ法、ひび割れ深さの計測のための超音波法と衝撃弾性波法、およびひび割れ存在の検出を目的とした赤外線法について、それぞれの非破壊検査で得られた結果の概要を述べる。

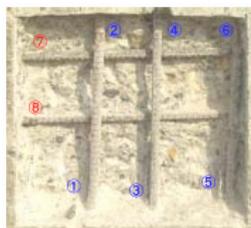
(1) 電磁波レーダ法

電磁波レーダ法は、アンテナ中心周波数が830MHz～1.5GHzのものを用いた。鉄筋間隔の検査において、図-4に示す壁体部分では実際と検査結果が整合するものであったが、配筋が複雑となっている地覆部では、個々の鉄筋を分解することは不可能であった。

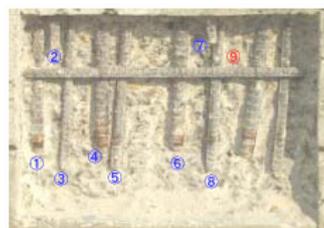
同手法によるかぶり厚の検出結果を図-5に示す。かぶりの測定誤差の平均値は周波数830MHzの場合5.5mm、周波数1.0GHzで4.0mm、1.5GHzで1.7mmと、高いアンテナ中心周波数を使用するほど誤差が減少する傾向がとまった。



(a) はつり箇所



(b) 壁体部



(c) 地覆部

図-4 壁高欄のはつり個所の配筋状況

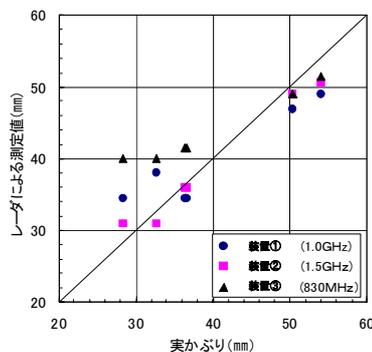
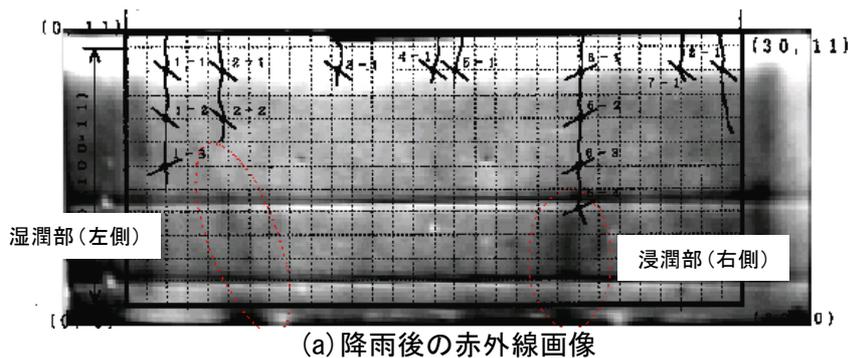


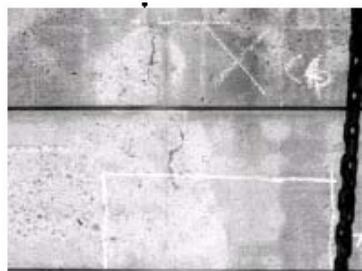
図-5 実かぶりと測定かぶりの関係

(2) 超音波法と衝撃弾性波法

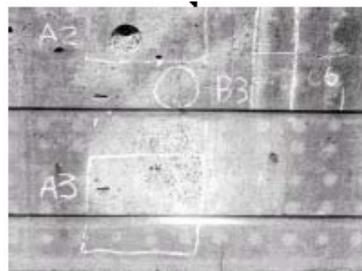
ひび割れ深さの検出を目的として、直角回折波法による超音波法、および伝播時間法による衝撃弾



(a) 降雨後の赤外線画像



(b) 表面研磨で検出されたひびひび割れ
(左側湿潤部)



(c) 表面研磨で検出されたひびひび割れ
(右側湿潤部)

図-7 降雨後の湿潤部と表面研磨で検出されたひび割れ

4. おわりに

本稿では、「コンクリート構造物の劣化診断に関する研究委員会」（東京大学生産技術研究所，（財）生産技術研究奨励会，東海旅客鉄道（株），（株）コンステック，佐藤工業（株），（財）鉄道総合技術研究所，（株）日立製作所，（株）熊谷組，富士物産（株），東亜建設工業（株），住重試験検査（株），（株）大林組，NEC三栄（株），日本X線検査（株），三協（株），日本工営（株），（株）東横エルメス，基礎地盤コンサルタント（株），石川播磨重工業（株），リテックエンジニアリング（株），（株）間組，ジェイアール東海コンサルタント（株），（株）フジタ，日本アビオニクス（株），日本フィジカルアコースティクス，太平洋セメント（株），（株）建設企画コンサルタント，（財）首都高速道路技術センター）で実施した検討結果を記述した。

モデル供試体を用いた非破壊検査結果については，今後，各欠陥の測定精度の定量的な評価を進める予定である。さらに，供試体や実構造物の結果などを踏まえて，点検・調査，予測・診断，補修・補強工法の選定に至るまでの一連の流れの構築を行っていくことを考えている。

今後も結果が得られ次第，引き続き報告する計画である。

参考文献

- 1) コンクリート標準示方書〔維持管理編〕，土木学会，2001.
- 2) コンクリート構造物の劣化診断に関する研究委員会 報告書（詳細点検編），東京大学生産技術研究所，（財）生産技術研究奨励会，2003.3.
- 3) コンクリート構造物の劣化診断に関する研究委員会 報告書（劣化診断編），東京大学生産技術研究所，（財）生産技術研究奨励会，2003.3.
- 4) 渡部聡子，魚本健人：非破壊検査による24年供用した鉄筋コンクリート壁高欄の調査，コンクリート工学年次論文集，Vol.24, No.1, 2002.
- 5) 魚本健人，加藤佳孝，非破壊検査研究会：コンクリート構造物の検査・診断—非破壊検査ガイドブック—，理工図書，2003.