弾性波法によるコンクリート表層部のひび割れ検出手法に関する基礎検討

首都大学東京 正会員 〇大野健太郎 非会員 佐藤佑亮 首都大学東京 正会員 宇治公隆 正会員 上野敦

1. はじめに

既設コンクリート構造物の維持管理に際し、対象構造物の健全性診断は, その後の補修、補強にとって重要である。本研究では、弾性波法を用いて、 コンクリート表層部のひび割れを簡易かつ定量的に診断するための基礎検討 を行った. 供用中の構造物では、計測対象部材へのアプローチが 1 面のみに 限定されることを想定し、本研究では弾性波の入力点と検出点を1面のみに 限定し、コンクリート表層部の欠陥検出性能を検討した.

2. 実験概要

2.1 人工欠陥を埋設した供試体

供試体は、粗骨材の最大寸法 20mm, W/C=58%, 目標スランプおよび空気 量をそれぞれ 8.0cm, 4.5%としたコンクリートであり, 図-1 に示すように供 試体打設面に人工欠陥を埋設した. 供試体は, 材齢 28 日まで湿潤養生を行 い、その後、実験時のコンクリート中の水分量が一定とみなすために、実験 室内に約2カ月間保管した. なお, 材齢28日におけるコンクリートの圧縮 強度は 37.9N/mm², 弾性係数は 26.7kN/mm²である. また, 表-1 に各供試体 に埋設した人工欠陥の詳細を示す.人工欠陥は、ポリエチレンフォーム材で あり、各供試体の長軸方向に対して全て同じ位置に埋設した.

2.2 曲げひび割れを導入した供試体

2.1 で示した供試体と同一配合の角柱供試体 (100×100×400mm) を 作製し、健全状態において 2.3 で示す弾性波伝播特性を取得後, 4 点曲 げ試験にて図-2に示すようにひび割れを導入し、弾性波法の適用性を 検討した.

2.3 弾性波の励起

弾性波の測定では、図-1、図-2 に示すセンサ位置で、1 チャンネル(以下、#1) 直近でシャープペンシル芯圧折法により弾性波を励起した.ここで、弾性波の検 出では、センサ特性に依存して検出される弾性波特性が異なる. 本研究では、 60kHz および 150kHz に共振点をもつ共振型 AE センサ (R60, R150 と称する) と周波数応答が比較的平坦な広帯域型 AE センサ(WB と称する)を使用し、セ ンサ特性と欠陥検出性能の比較を行った.また,表-2に欠陥検出の指標となる伝 播特性と算出方法を示す.

3. 実験結果および考察

3.1 人工欠陥を埋設した供試体

図-3 に、供試体 No.1 で得られた弾性波伝播特性結果を示す. まず、弾性波速 度において、対象とした弾性波は P波とし、検出信号の到達時間を自動検出法¹⁾ により決定した. 共振型センサでは, 人工欠陥直後で弾性波速度が低下し, その

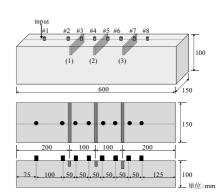


図-1 供試体寸法とセンサ配置方法

表-1 人工欠陥の詳細

	(mm)	人工欠陥 (b×w×h)		
\rightarrow \leftarrow	供試体	欠陥1	欠陥2	欠陥3
$h \mid \mid$	No.1	3×150×10	3×150×10	3×150×20
	No.2	3×150×20	3×150×20	3×150×30
b w		2 .20 20	2 .20 20	2 120 30

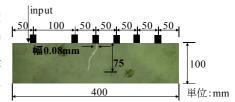


図-2 ひび割れの詳細とセンサ配置

表-2 指標の特性および算出方法

指標	特性	算出方法	
弾性波速度	欠陥部を迂回し伝播するため, 弾性波速度は低下する	隣り合うセンサ間の距離とそれらのセンサ で検出された到達時間差から算出した	
卓越周波数		検出した弾性波に高速フーリエ変換を適 用し、そのピーク周波数を指標とした	
振幅減衰率		各センサにおける最大振幅値を入力信号 である#1の最大振幅値で正規化した	

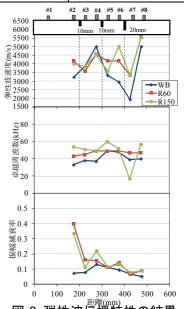


図-3 弾性波伝播特性の結果

弾性波法、ひび割れ検出、弾性波速度、卓越周波数、振幅減衰率 連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 TEL: 042-677-2775

後速度が増加する.これは、人工欠陥直後のセンサで得られる弾性波の伝播経路が 欠陥部を迂回するため大きくなるが、弾性波速度算定に使用した距離はセンサ間の 直線距離であるため、算出される速度が見掛け上低くなったと考えられる.一方、 広帯域型センサでは、そのような傾向は確認されなかった.供試体 No.2 においても 同様の結果を得たことから、弾性波速度を欠陥検出の指標とする場合、共振型セン サによる弾性波の検出が適当であることが示された.

次に、図-3 の卓越周波数では、R60、R150 および WB でそれぞれ差があることがわかり、これはセンサの共振周波数によるものであると推察される。また、供試体 No.2 の結果も同様であり、卓越周波数による欠陥検出は、困難であるといえる。振幅減衰率の検討では、共振型センサにおいて、人工欠陥直後で振幅減衰率が減少し、欠陥直前のセンサ位置では、距離減衰による振幅値の低下が卓越する結果となった。一方、広帯域型センサでは、そのような傾向は確認されなかった。供試体 No.2 においても同様の結果を得たことから、振幅減衰率を欠陥検出の指標とする場合、共振型センサによる弾性波の検出が適当であるといえる。さらに、R60 および R150 では、R150 の方が欠陥に対する感度が優れていることがわかった。

3.2 曲げひび割れにおける本手法の適用性

図-4, 図-5 および図-6 に角柱供試体のひび割れ導入前後で得られた弾性波速度,卓越周波数,および振幅減衰率を示す.弾性波速度では,全センサにおいて,人工 欠陥の結果と同様にひび割れによる影響が現れている.卓越周波数においては,人 工欠陥の結果と同様にひび割れ検出は困難である.ひび割れ導入後の振幅減衰率では,R150とWBで人工欠陥の結果と同様にひび割れ部分では振幅減衰率が減少しているが,ひび割れ導入前においても同様の傾向がみられ,ひび割れが振幅減衰率に与える影響は小さい.これは,ひび割れ幅が小さく,ひび割れ面が部分的に接触していることに起因する¹⁾.また,人工欠陥の結果を考慮すると,曲げひび割れの方が人工欠陥よりもひび割れ幅が小さく,ひび割れ深さは深い.このことから,弾性波速度の低下の程度は,ひび割れ幅よりもひび割れ深さの影響が卓越すると考えられ,曲げひび割れにおいては、R150による弾性波速度を欠陥検出に適用することが有効と考えられる.

4. まとめ

各センサと各伝播特性の評価を表-3 に示す。本研究の範囲内では、共振型センサを適用し、欠陥検出の指標として弾性波速度を適用することで、効果的な欠陥検出の可能性が示された。ただし、本研究では、小型供試体による欠陥検出の検討を行

い、弾性波速度では P 波速度を指標とした. 実構造物への適用にあたっては、高周波成分の減衰が著しく、弾性波エネルギーの減少も大きい大型供試体での検討および微小な欠陥への検討が今後の課題となる.

9500 (a) 健全 --60R 7500 **→**150R 6500 5500 4500 3500 1500 9500 (b) ひび割れ導入後 8500 হ্ন 7500 6500 4500 憲 3500 2500 200 距離(mm) 図-4 弾性波速度 **→**WB (a) 健全 《周波数(kHz) --60R <u>→150R</u> (b) ひび割れ導入後 図-5 卓越周波数 (a) 健全 -150R ₩ 0.4 0.3 (b) ひび割れ導入後 份 0.7 例 0.6 型 0.5 0.4

表-3 伝播特性のまとめ

図-6 振幅減衰率

伝播特性適用センサ	弾性波速度	周波数特性	振幅減衰率
R60 (共振型)	0	×	Δ
R150 (共振型)	0	×	0
WB (広帯域型)	Δ	×	Δ

謝辞

本研究は、科学研究費補助金(若手研究(B)課題番号:23760408)の助成を受けたものである.

参考文献

- 1) 大野健太郎, 下薗晋一郎, 沢田陽佑, 大津政康: AE 波初動部の自動読み取りの開発による SiGMA 解析の改良, 非破壊検査, Vol.57, No.11, pp.531-536, 2008.11
- 2) 岡村雄樹, 檜貝勇: コンクリート中における弾性波の伝播特性に関する基礎研究, 山梨大学工学部研究報告, 第 40 号, pp.141-148, 1989.12