

打音法の周波数応答を用いたコンクリート内部の欠陥検出手法の検討

奥村組 正会員 ○川口昇平
奥村組 正会員 東 邦和
奥村組 正会員 廣中哲也

1. はじめに

打音法はコンクリート内を伝わる弾性波を利用して欠陥の有無を判定する非破壊検査手法である。検査対象物との接触が瞬間的なため、計測が簡便で迅速なことが特長である。本研究では、弾性波の共振現象による周波数応答に着目した測定方法¹⁾により、供試体の欠陥形状（欠陥寸法および深さ）を推定するために行った試験結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 試験体

図-1に試験体形状、表-1に欠陥サイズとかぶりの組合せを示す。側面にかぶり 25～300mm、サイズ 100mm～500mm の空洞を模擬した欠陥（厚さ 10mm の発泡スチロール）のある供試体を作製し、打音の測定を行った。

2.2 打音測定方法

打撃音の測定は、φ20mmの鋼球ハンマーをソレノイドコイルにより一定の力（鉛直横向き 200N）で打撃を加える自動打撃装置と打撃音を収録するマイクロフォンおよび周波数解析する装置を用いて行った。打撃位置は欠陥寸法に応じ、欠陥部の中心付近に対して行った。また、マイクロフォンの周波数帯域は 40～10000Hz である。

図-2に弾性波の伝播モデルを示す。打撃により発生した弾性波は、コンクリート表面からの音とコンクリート内部からの音としてマイクロフォンに集音される。検査部が健全な場合は、主にコンクリート表面からの反射音であり、空洞等の欠陥がある場合は、表面からの反射音と欠陥上部の板構造の共振による音となる²⁾。

3. 実験結果

3.1 エネルギー値による判定法

表-2に欠陥条件とエネルギー値を示す。エネルギー値は、マイクロフォンで収録された打撃音の 2/100 秒間の周波数解析から求まるスペクトル強度の合計値とした。健全部のエネルギー値は、入力打撃力を鉛直横向き 2000N と一定にした場合でもコンクリート表面の乾燥、汚れ、気泡や骨材の有無および劣化状態等により

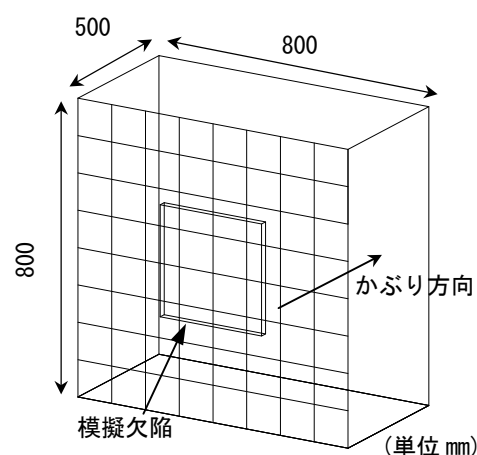


図-1 供試体形状

表-1 欠陥サイズとかぶりの組合せ

かぶり 欠陥サイズ	25mm	50mm	75mm	100mm	150mm	200mm	250mm	300mm
100×100mm	○	○		○	○	○		
150×150mm	○		○	○	○	○	○	
200×200mm			○	○	○	○	○	
300×300mm					○	○	○	
500×500mm						○		○

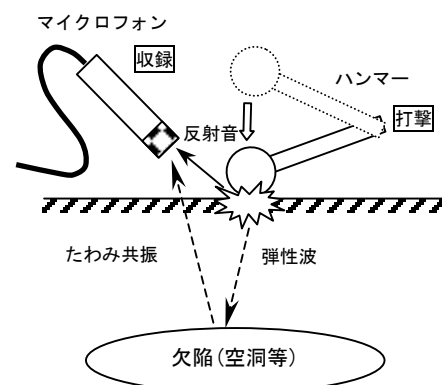


図-2 弾性波の伝播モデル

キーワード：打音法、共振現象、周波数応答、周波数解析、欠陥

連絡先 : 〒300-2612 茨城県つくば市大砂 387 ㈱奥村組技術研究所 TEL029-865-1521 FAX029-865-0782

平均エネルギー値の 0.5～1.5 倍程度のばらつきを生じた。そこで、健全部平均エネルギー値の 2 倍の 1800mV を欠陥の判定値とした。その結果、かぶり 50mm 以下の場合に欠陥サイズ 100mm 以上、かぶり 100mm の場合で欠陥サイズ 150mm 以上を検出可能であった。また、今回の入力打撃力では、エネルギー値の深さ方向の減衰が非常に大きいため、かぶり 150mm 以上で欠陥の検出および欠陥形状の推定は難しいことが分かる。

表－2 欠陥条件とエネルギー値

被り 欠陥寸法	25mm	50mm	75mm	100mm	150mm	200mm	250mm	300mm
100×100mm	9501	1686		1300	956	1343		
150×150mm	10252		2895	1918	1193	1100	1338	
200×200mm		1916	1842	1902	1070	1514	1585	
300×300mm					1237	1580	1390	
500×500mm						1358		1243

単位mV

*) 色の範囲が検知可能な範囲

表－3 たわみ共振による固有周波数の計算値と実測値

被り 欠陥寸法	25mm	50mm	75mm	100mm	150mm	200mm	250mm	300mm
50×50mm	34.4	68.9	103.4	137.9	206.8	275.7	344.7	413.6
100×100mm	8.6 (7.3)	17.2 (8.6)	25.8	49.2 (－)	51.7 (－)	68.9 (－)	86.2	103.4
150×150mm	3.9 (4.4)	7.6	11.5 (4.8)	15.3 (4.8)	23.0 (－)	30.7 (－)	38.3	46.0
200×200mm	2.2	4.3 (3.9)	6.4 (6.1)	8.6 (5.0)	13.0	17.2 (5.0)	21.6 (5.0)	25.8
300×300mm	1.0	1.9	2.9	3.9	5.7 (3.0)	7.6 (－)	9.6 (4.3)	11.5
500×500mm	0.4	0.7	1.1	1.4	2.1	2.8 (5.0)	3.5	4.1

単位kHz

*) 上段：計算値。下段カッコ内：実測値

3.2 周波数スペクトルによる判定法

周波数スペクトルによる判定では、打撃部で生じる固有のスペクトル強度を生じた周波数に着目して判定した。表－3 にたわみ共振を生じる周波数の計算値（上段）と計測時に特有のスペクトル強度を生じた周波数（下段カッコ内太字）を示す。この固有のスペクトル強度を生じた周波数は、主に表面と欠陥に挟まれた部材のたわみ共振により生じていると考えられる。そこで、たわみ共振を生じる周波数を周辺固定条件で有限長平板の一次固有周波数 $f_{0,fix}$ の式－1 で求め、計測値と比較した³⁾。計測結果よりかぶり 250mm の欠陥サイズ 200mm 以上で固有の周波数が検出され、欠陥の判定が可能であった。また、実測の固有周波数は 3～8.6 kHz と大きな変化がなく、かぶりが増加するにしたがって計算値との差が大きくなっている。これは、入力打撃力が小さいことに起因すると考えられる。

$$f_{0,fix} = \frac{\pi}{4\sqrt{3}} \left(\frac{2.25}{a^2} + \frac{1.4}{b^2} \right) \left(\frac{E}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} h \quad (\text{式－1})$$

ここに

- a：短辺長(m)
- b：長辺長(m)
- h：平板厚(m)
- E：ヤング係数(N/m²)
- ρ：密度(kg/m³)

4. まとめ

以下に周波数応答を用いた打音法の実験結果についてまとめる。

- ①エネルギー値による判定では、かぶり 100mm で欠陥サイズ 150mm 以上を検出可能であり、かぶり 150mm 以上での欠陥の検出および形状の推定はできなかった。
- ②周波数スペクトルによる判定では、かぶり 250mm で欠陥サイズ 200mm のたわみ共振による固有周波数を検出しすることができた。

【参考文献】

- 1) 川口昇平、東邦和、廣中哲也：打音法によるコンクリート内部の欠陥検出手法の検討、土木学会年次学術講演会第5部、pp.25-26、2007.9
- 2) 社団法人土木学会編：弾性波法によるコンクリートの非破壊検査に関する委員会報告およびシンポジウム論文集、2004.8
- 3) 社団法人日本音響材料協会編：騒音・振動対策ハンドブック、技報堂、1982.2