

## 打撃音の周波数特性に着目したコンクリート表層部の欠陥評価手法

岐阜大学 正会員 ○鎌田敏郎

学生員 浅野雅則

正会員 六郷恵哲

昭和コンクリート工業 正会員 遠藤友紀雄

表-1 打撃条件

ケース	鋼球直径 (mm)	接触時間 $T_C$ ( $\mu$ s)	上限周波数 $f_{max}$ (kHz)
①	9.53	40.98	30.5
②	19.05	81.92	15.3
③	30.16	129.7	9.63

## 1. はじめに

打音法における欠陥評価のためのパラメータの適用性の検討として、著者らは、直径 30mm の鋼球を落下させることにより打撃を行った実験において、打撃音の最大振幅値が欠陥の寸法や深さと良い相関を持つことを明らかにしている<sup>1)</sup>。一方、この実験において、周波数分布に着目した実験を行ったところ、欠陥の影響によりピーク成分の大きさに変化はみられるものの、ピーク周波数自体に明確な変化は認められなかった。

そこで本研究では、打撃音における周波数特性の欠陥評価への適用性を検討するため、鋼球直径をさらに小さくし、入力する弾性波の周波数範囲を広くした条件を加えて検討を行った。そして、鋼球直径の違いが打撃音の周波数特性に与える影響を確認するとともに、欠陥の存在が周波数分布におよぼす影響について検討した。さらに、欠陥がある場合に出現するピーク周波数の発生要因を明らかにするため、加速度計による表面振動計測もあわせて行った。

## 2. 実験概要

本実験では、内部に円盤状の人工欠陥（スチレンボード、厚さ：0.5cm）を埋設したコンクリート床板供試体（W/C：0.5、長さ：400cm、幅：200cm、板厚：20cm）を作製した。この寸法であれば、側面からの弾性波の反射の影響はほとんどないものと考えられる。人工欠陥は、直径が 5、10、15、20、30 および 50cm であり、表面からの深さはそれぞれ 3、10 および 17cm である。なお欠陥を配置しない箇所を「健全部」とした。

打撃は、鋼球を高さ 10cm の位置から落下させることにより行った。鋼球直径（以降、球径とする）を、表-1 に示すように 3 ケースとして条件を変えて実験を行った。なお、表-1 中の接触時間  $T_C$  (sec) および上限周波数  $f_{max}$  (Hz) は、既往の研究<sup>2)</sup>を参考にしてそれぞれ式(1)および式(2)により求めた。ここで、 $D$  は鋼球の直径 (m) である。

$$T_C = 0.0043D \quad (1), \quad f_{max} = 1.25/T_C \quad (2)$$

打撃位置は人工欠陥の中央部とした。また供試体は厚さ 20cm の砂層上に設置した。

打撃音の計測にはコンデンサマイクロフォン（周波数範囲：0～30kHz）を、表面振動の計測には加速度計（周波数範囲：0～45kHz）を用いた。マイクロフォンおよび加速度計で受振された波形は、それぞれアンプを介し

A/D 変換器を通してパソコンに記録した。その後 FFT により周波数分布を求めた。なお、マイクロフォンは打撃点より水平方向に 7.5cm、鉛直上方向に 10cm の位置に配置した。加速度計は、打撃点より水平方向に 7.5cm の位置に配置した。計測状況を写真-1 に示す。

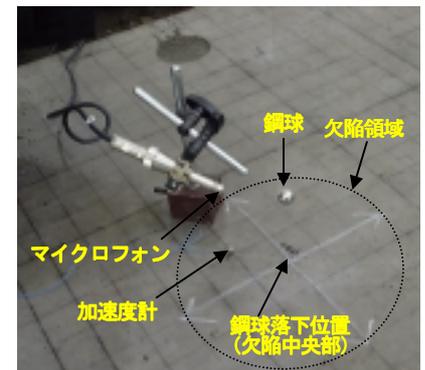


写真-1 計測状況

## 3. 実験結果および考察

図-1 に、各球径ごとの健全部における周波数分布を打撃音と表面振動の両方について示す。これらの図によれば、球径が小さいほど、周波数成分はより高い周波数領域まで存在することがわかる。これは、表-1 に示した入力条件における上限周波数と対応しているものと考えられる。表面振動では、ケース①およびケース②の両方において、11kHz 付近に明確なピークが出現している。これは、(3)式により計算される板厚 ( $T=20$ cm) に相当する縦波共振周波数 ( $f_T=11.25$ kHz) であると考えられる。

$$f_T = V/2T \quad (3)$$

一方、打撃音においては、これに対応するピークは得られていない。これにより、本実験の範囲内においては、上限周波数が十分に高い打撃条件を用いたとしても、打撃音にはコンクリート中における 20cm 程度の距離での縦波共振現象は感知されないことが明らかとなった。またケース③では、打撃音はもとより表面振動においても、板厚に相当する縦波共振は現れていない。これは打撃条件としての上限周波数が縦波共振周波数よりも低いことによるものと考えられる。

図-2 に、各球径ごとの周波数分布をケース①および②

キーワード：非破壊検査, 打音法, 周波数分布, たわみ共振, 人工欠陥

連絡先：〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学工学部土木工学科 TEL/FAX : 058-293-2470

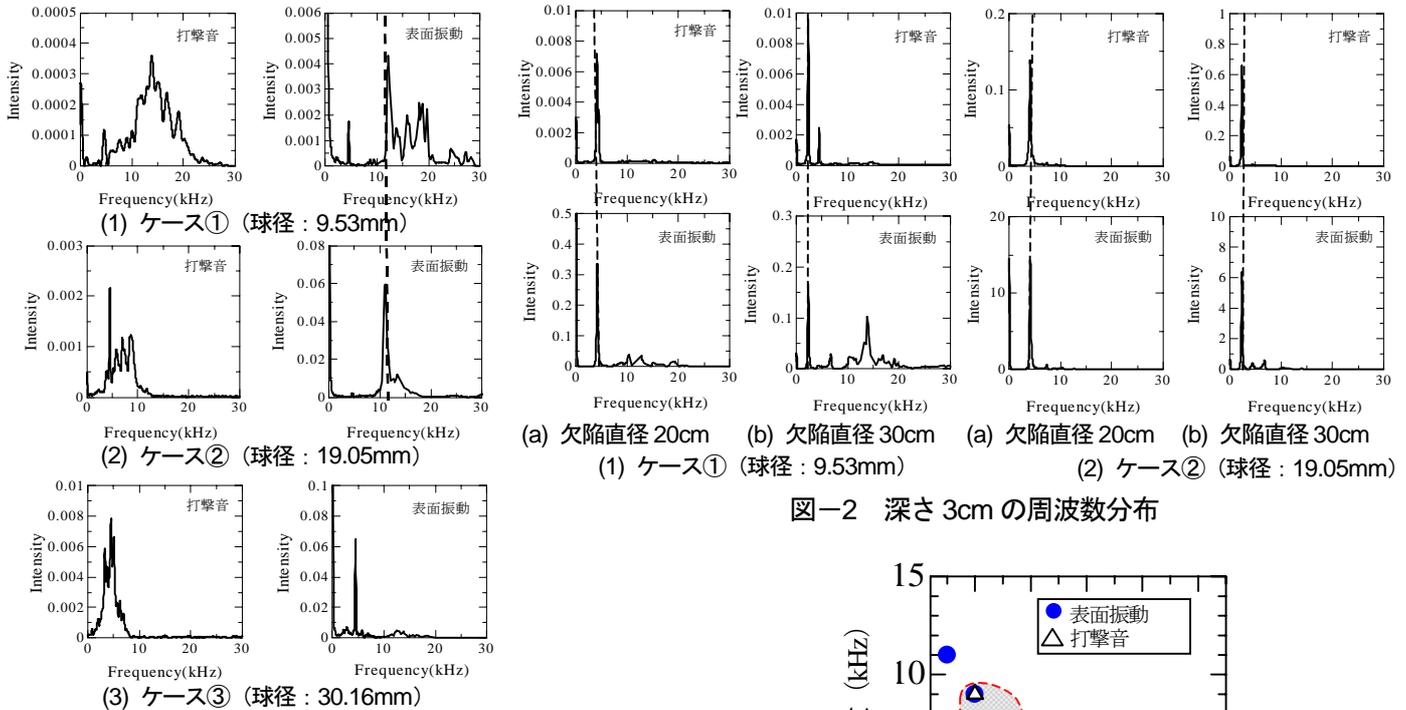


図-1 健全部における周波数分布

の欠陥直径 20 および 30cm の場合について示す。これらの図によれば、いずれの周波数分布においても、健全部のもの（図-1）と比較すると、明らかに分布形状は異なっており、いずれも明確なピークを有している。また、ケース①および②ともに打撃音と表面振動で同様の傾向を示している。さらに、欠陥直径が大きいくほど、スペクトルピークが低い周波数領域へ移動しているのがわかる。これらの結果により、欠陥の存在によって供試体内部に共振現象が励起され、これが打撃音の周波数分布においてもスペクトルピークとして出現したものと考えられる。

板の曲げ振動においては、板厚が一定の場合、板の面積が大きくなるにしたがって、曲げ共振周波数は低下する<sup>3)</sup>ことが知られている。ここで見られたスペクトルピークのシフト現象より、スペクトルのピーク成分は、欠陥上側のコンクリート部のたわみ共振によるものと考えられる。

図-3 に、周波数分布に現れたピーク周波数を、欠陥直径と対応させて、打撃音および表面振動の両方について示した。ここではケース②について示してある。この図によれば、欠陥直径が大きくなるにしたがってピーク周波数は低い方へ移動することがわかる。この図において、図中の網掛け部分が、打撃音と表面振動の両方の特性が一致する領域であり、この範囲において打撃音のピーク周波数により欠陥の評価が可能であると考えられる。

#### 4. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- (1) 本実験の範囲内では、鋼球直径が小さい場合、健全部においては打撃音と表面振動の周波数分布は大きく異なることがわかった。これは、この条件下においては、打撃音の周波数特性に、板厚に相当する縦

図-2 深さ 3cm の周波数分布

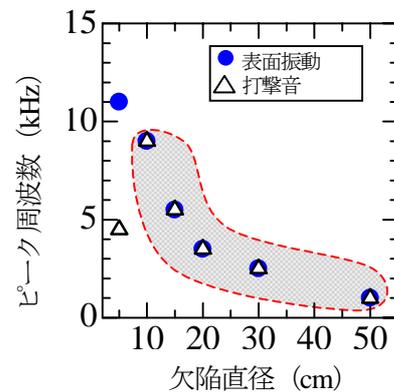


図-3 ピーク周波数（深さ 3cm：ケース②）

波共振現象による成分が含まれないためと考えられる。

- (2) 欠陥深さが一定であっても欠陥直径が大きくなるとともにピーク周波数は低くなる傾向を示した。これから、このピークは縦波共振によるものではなくたわみ共振に支配されるものであると考えられる。
- (3) 本研究の範囲内では、欠陥深さ 3cm の場合は、ピーク周波数と欠陥直径の相関図を用いることによって、欠陥の大きさを把握することが可能である。

#### 謝辞

本実験の実施に当たり、(株)オーデックスより援助を受けた。記して謝意を表す。

#### 参考文献

- (1) 浅野雅則, 鎌田敏郎, 国枝稔, 六郷恵哲: コンクリート内部欠陥の寸法および深さと打音特性値との定量的関係, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, pp.589-594, 2001
- (2) M. J. Sansalone and W. B. Streett: Impact Echo, Bullbrier Press, Ithaca, N. Y., 1997
- (3) たとえば, 伊東良浩: 打音法によるコンクリート構造物の非破壊検査に関する研究, 東京大学博士論文, p.12, 1997