

打撃音の共振周波数に着目したコンクリート内部欠陥の評価手法

岐阜大学 学生員 浅野雅則

正会員 鎌田敏郎，六郷恵哲

昭和コンクリート工業 非会員 児玉一郎

1. はじめに

打音法によるコンクリート内部の欠陥評手法に関する検討において、ピーク周波数に着目することが欠陥の平面的な大きさの評価に有効であることが、著者らの既往の研究¹⁾により示されている。しかしながらこの検討では、欠陥の深さが3および10cmのみに限られており、欠陥の深さの影響を評価するまでには至っていない。また、実験における現象の解釈のためには、数値解析的な検討も必要であるものと考えられる。

そこで本研究では、ピーク周波数の欠陥評価への適用性に関する検討を行った。実験に加えてFEM解析を行い、現象に対する考察を加えた。また、ピーク周波数と欠陥の直径および深さとの関係を詳細に検討した。

2. 実験および解析概要

2.1 供試体

本研究では、長さ195cm、幅195cm、厚さ20cmの鉄筋コンクリート版供試体(W/C:50%)を用いた。内部には円盤状の人工欠陥(発泡スチロール板、厚さ5mm)が埋設されている。欠陥深さは、3、5、7および10cmであり、欠陥直径はそれぞれの深さについて10、15、20、30および50cmである。

2.2 弾性波入力および受振方法

弾性波の入力は、鋼球を高さ10cmからコンクリート表面に落下させることにより行った。用いた鋼球は直径19.05mmである。

打撃音の受振には、コンデンサマイクロフォン(周波数範囲:20Hz~30kHz)を用いた。マイクロフォンにより受振された波形は、AD変換器を介しパソコン上に記録した。その後FFTにより周波数分布を求めた。マイクロフォンは、打撃点(鋼球落下位置)より水平方向に5cm離れた位置において鉛直上方10cmの位置にそれぞれ設置した。計測状況を写真-1に示す。

2.3 FEM解析

FEM解析では、欠陥上側コンクリート部が衝撃荷重を受けたときの挙動を把握する目的で、図-1に示すような3次元モデルを用いて検討を行った。モデルは、簡単のために、欠陥上側コンクリート部を円盤としてモデル化した。モデルは弾性体(弾性係数:40GPa、密度:2.3g/cm³、ポアソン比:0.2)とし、境界条件として底辺におけるx、y、z方向の変位を固定した。

衝撃荷重は、円盤中央部に作用させた。荷重は図-2に示すような波形で節点荷重として入力した。図中にお

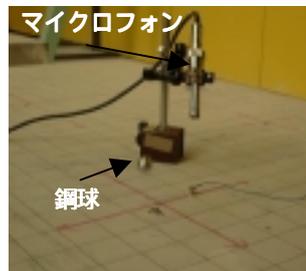


写真-1 計測状況

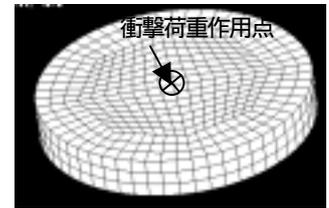


図-1 解析モデル

いて、荷重の継続時間 T_c (sec)は次式²⁾により決定した。ここで、 D は鋼球の直径(m)である。本研究では $T_c=80\mu\text{sec}$ を用いた。

$$T_c = 0.0043D \quad (1)$$

また、荷重の最大値 F_{max} は次式³⁾により求めた。ここで、 m 、 g および h は、それぞれ鋼球の質量(kg)、重力加速度(m/s^2)および落下高さ(m)である。本研究では $F_{max}=0.88\text{kN}$ とした。

$$F_{max} = m(2gh)^{0.5}/0.637 T_c \quad (2)$$

解析では、円盤の直径を実験条件と合わせて10、15、20、30および50cmとし、円盤の厚さを3、5、7および10cmとして解析を行った。解析の計算時間間隔は $10\mu\text{s}$ とした。波形出力点は、実験条件を考慮して荷重作用点より5cm離れた位置とした。また出力された波形に対しFFTにより周波数分布を求めた。

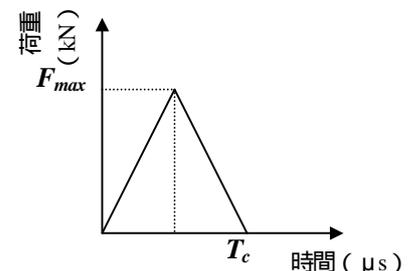


図-2 入力波形

3. 実験および解析結果

実験およびFEM解析にて得られた波形を、図-3および図-4にそれぞれ示す。解析結果は、実験値と比較すると周期等の特性をおよそ再現しているものと考えられる。欠陥深さが大きくなった場合、波形における周期が短くなっていることも、実験と解析ともに同様の傾向である。

次に、周波数分布を図-5および図-6にそれぞれ示す。これらの図によると、各欠陥深さにおいて実験および解析におけるピーク周波数はほぼ一致していることがわかる。また、欠陥深さが大きくなった場合、波形の場

キーワード：非破壊検査，打音法，周波数分布，FEM解析，人工欠陥

連絡先：〒501-1193 岐阜市柳戸1-1 岐阜大学工学部社会基盤工学科 TEL：058-293-2437

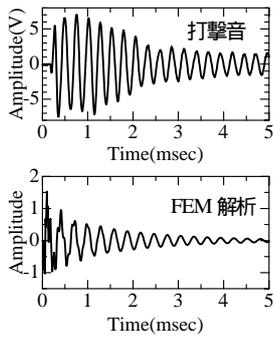


図-3 受振波形

(直径20cm, 深さ3cm)

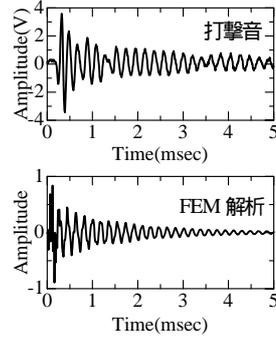


図-4 受振波形

(直径20cm, 深さ7cm)

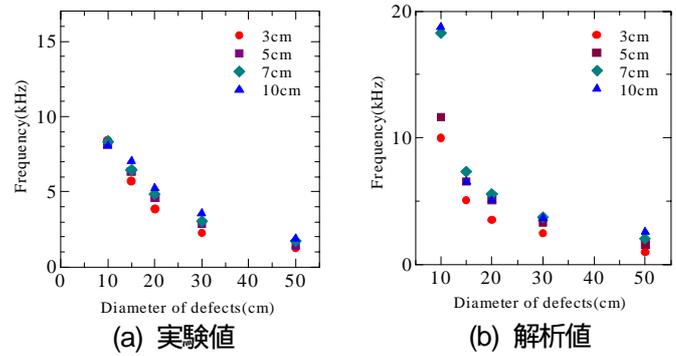
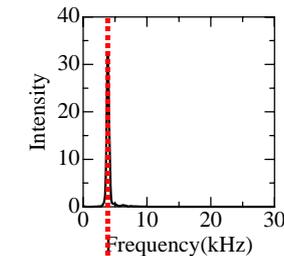
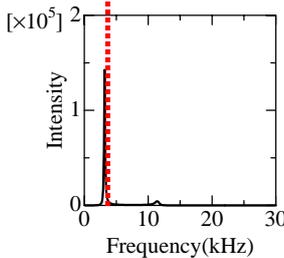


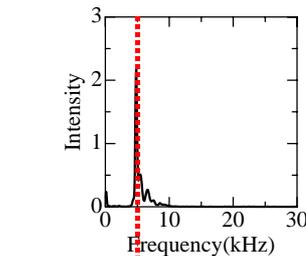
図-7 相関図



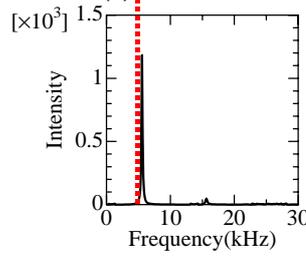
(a) 打撃音



(b) FEM 解析

図-5 周波数分布
(直径20cm, 深さ3cm)

(a) 打撃音



(b) FEM 解析

図-6 周波数分布
(直径20cm, 深さ7cm)

合においてみられた周期の変化が、周波数におけるピーク周波数の変化として明確に現れている。板状部材におけるたわみ共振現象の場合、同一欠陥直径であれば厚さが大きくなると共振周波数が大きくなる⁴⁾ことが知られており、この場合に対象としている現象はたわみ共振現象であると考えられる。次に、すべての欠陥のケースにおいて得られたピーク周波数と欠陥直径との関係を図-7に実験および解析それぞれの場合について示す。

これらの図によれば、実験値と解析値両方とも、欠陥直径が大きくなるとピーク周波数は徐々に小さくなる傾向がみられる。また、欠陥深さが3~7cmにおいては、直径10cmの欠陥の場合を除いて欠陥深さが大きくなるほど、ピーク周波数が高くなることも共通している。一方、欠陥深さが10cmの場合は、欠陥直径10, 30および50cmの場合を除いて、ピーク周波数は欠陥深さ7cmの場合よりも小さな値を示した。深さ10cmの場合は、解析におけるモデルでは、実験現象を把握するには適していない可能性があるため、より実験の条件に近い解析モデルを用いる必要があるものと考えられる。

周波数分布を欠陥評価パラメータとして捉えた場合、ピーク周波数は、欠陥の平面的な広がりに対して感度の高いパラメータであると推察できる。この傾向をより明確にするため、図-8に深さを固定した場合の欠陥直径

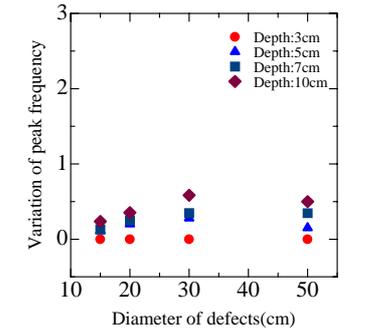
に対するピーク周波数の変化を示す。図-8からわかるように、欠陥深さの変動率は、欠陥直径の違いによって大きな差はなく、ピーク周波数に与える欠陥深さの影響は小さいことがわかる。したがって、欠陥の深さの違いによらず、ピーク周波数を用いた欠陥直径の評価が可能であるものと推察できる。

4. まとめ

- (1) 実験と解析における波形および周波数分布のピーク周波数はほぼ一致した。実験における現象はたわみ共振現象であることが、解析結果からも明らかとなった。
- (2) 欠陥直径とピーク周波数の関係より、ピーク周波数は欠陥深さよりも、欠陥直径に対する感度が高いパラメータであることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 浅野雅則, 鎌田敏郎, 六郷恵哲, 遠藤友紀雄: コンクリート打撃音の周波数特性とその欠陥評価への適用, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.1545-1550, 2002
- 2) M.J.Sansalone and W.B. Streett: Impact-Echo, Bullbrier Press, Ithaca, N.Y., 1997
- 3) 白鳥雅也, 桧貝勇, 岡村雄樹: 軽い衝撃荷重を受けるコンクリート部材の応答解析, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.14, No.1, pp.379-684, 1992
- 4) 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

図-8 ピーク周波数の変動率
(実験値)