

コンクリートの欠陥評価における打音法のパラメータの感度に関する考察

岐阜大学 学生員 ○浅野雅則

岐阜大学 正会員 鎌田敏郎, 国枝 稔, 六郷恵哲

1. はじめに

打音法は、実務では鉄道トンネルの覆工コンクリート部分の点検に用いられた事例¹⁾が報告されている。しかしながらこの点検では、異常箇所の判定を「濁音」の有無のみによって行っており、評価は全く定性的である。一方、打音法を定量化手法とするための研究としては、評価パラメータとして受振音の周波数分布を用いた検討²⁾や振幅値を用いた評価³⁾が行われているが、いずれも欠陥の定量評価にまでは至っていない。また、欠陥と打音法における評価パラメータとの関係も明らかにされていない。そこで本研究では、打音法によりコンクリート内部欠陥の寸法や表面からの深さを定量的に把握する手法として、「打音特性値」として受振音の最大振幅値および周波数分布を用いる評価方法の検討を行う。さらに、2次元 FEM による数値解析を実施し、打音特性値と欠陥情報の関係について解析的な検討も加えた。

2. 実験概要

2.1 供試体

本研究では、コンクリート内部欠陥の評価を目的として、図 - 1 に示すような内部に円盤状の人工欠陥（スチレンボード、厚さ 0.5cm）を設置した 60×60×20cm の直方体の供試体（W/C：56%，s/a：47%）を作製した。人工欠陥の直径は、3，5，10，15，20cm であり、設置深さは、それぞれ 3，5，7，10cm である。

2.2 打音計測

打撃による放射音の測定には、マイクロフォンを用いた。用いたマイクロフォンは、20Hz～30kHz までの周波数帯域において、フラットな感度を有するものである。マイクロフォンで受振された波形は、騒音ユニットを介し、高速波形収集システムによりパソコンに記録した。その後受振波形に対し FFT 処理を行い周波数分布を求めた。なお打撃方法は、鋼球落下にて行った。計測概略を図 - 2 に示す。

3. FEM 解析概要

本研究では、汎用 FEM 解析コード（LS-DYNA）を用いて解析的に検討を加えた。図 - 3 に示すように、対象としたモデルは平面応力状態とし、コンクリートを弾性体（密度： $2.3 \times 10^{-6} \text{g/cm}^3$ ，弾性係数：42GPa，ポアソン比：0.2），砂層を剛体として扱った。なお、弾性体と剛体の境界面は接触のみを考慮した。荷重は、図 - 3 中に示すような波形で入力し、コンクリート中央部に作用させた。なお、荷重の継続時間 T_c は次式⁴⁾により求めた。

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

ここで、 D は鋼球の直径(m)である。(1)式より、解析で用いた荷重の継続時間は $120 \mu\text{s}$ とした。また、鋼球落下によりコンクリートに与えられる荷重 F_{max} は次式⁵⁾により求めた。

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

ここで、 m ， h および g はそれぞれ、鋼球の質量 (kg)，鋼球落下高さ (m) および重力加速度 (m/s^2) である。本解析では、 F_{max} を 1.5kN とした。

4. 結果および考察

図 - 4 に、欠陥の表面からの深さごとに、欠陥直径と最大振幅値比との関係を実験および解析のそれぞれについて示す。ここで最大振幅値比とは、欠陥なしの場合において計測された値に対す

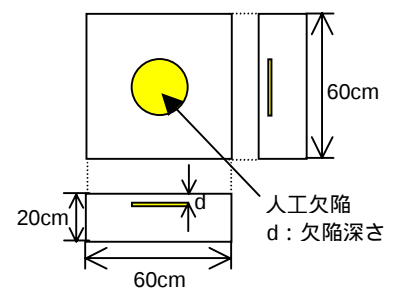


図 - 1 供試体

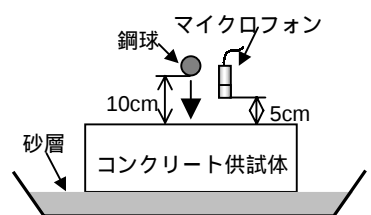


図 - 2 供試体の設置状況

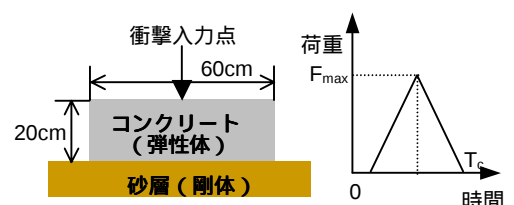


図 - 3 解析モデルおよび入力波形

キーワード：非破壊検査、打音法、人工欠陥、最大振幅値、周波数分布

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

る比率として定義した。なお、解析は欠陥直径 3cm および 15cm の場合も併せて示した。この図によれば、実験値および解析値ともに欠陥深さ 3、5 および 7cm では、欠陥直径が大きくなるに従い最大振幅値比が大きくなるという傾向は一致しており、深さが浅いほど、その関係は明確であった。これは、欠陥直径が大きくなるにつれて欠陥より上側のコンクリート部が拘束される領域がより小さくなるため、深さが同一の場合においては欠陥寸法が小さい場合と比較して大きな振幅が発生しやすくなるためであると考えられる。一方、欠陥深さが 10cm では、欠陥なしの場合との差が小さく、欠陥直径が 20cm の場合でも評価が困難であった。これは、欠陥深さがある大きさ以上になると、欠陥上側コンクリート部の厚さの増大にともなう剛性の増加の影響が大きく、欠陥直径の違いが剛性変化に与える影響は少なくなるためと考えられる。

欠陥直径が 3cm（解析値）の場合は、欠陥深さが浅い場合でも、欠陥なしの場合との差がほとんど認められない。これは、鋼球落下により入力される弾性波の波長に対して、対象とする欠陥寸法が小さいためであると考えられる。これらの結果より、本研究の範囲内においては、一般の鉄筋コンクリート構造物のかぶり程度の深さまでであれば、最大振幅値によって直径 5cm 程度以上の欠陥の大きさを把握することが可能と考えられる。

次に、欠陥直径と周波数分布の関係について検討した。図 - 5 に、欠陥なしの場合(a)と、直径が 5cm(b)および 10cm(c)で深さが 5cm の場合における周波数分布を示す。これによれば、欠陥がある場合は、図中に矢印で示す高周波のピークがより卓越する傾向にある。さらに欠陥直径が大きいほど、この高周波のピークが強調されることがわかる。これは、欠陥直径が大きいほど、弾性波の反射に寄与する面積が大きくなり、その結果、供試体上面と欠陥上面との間を往復する波の成分が多くなり、高周波成分が増えるためと考えられる。

5. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- (1) 欠陥の大きさおよび深さは打音特性値に影響を与え、欠陥寸法が大きいほどまた深さが浅いほど最大振幅値は大きくなり、周波数では高周波成分が卓越する傾向にあることが明らかとなった。
- (2) 打音特性値として最大振幅値および周波数分布を用いることにより、欠陥の大きさおよび深さの相対評価が可能であった。

謝辞

本研究の一部は、(財)前田記念工学振興財団の援助を受けて行った。ここに記して謝意を表する。

【参考文献】

- 1) 日経コンストラクション, 日経 BP 社, No.240, pp.44-45, 1999.9
- 2) 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, 東京大学学位論文, 1997
- 3) 伊東良浩, 木村宋稔, 湯山茂徳, 李王旺: 柱水平交番載荷における AE/UT 法および打音法による柱の損傷進行の評価, 構造物の診断に関するシンポジウム論文集, 土木学会, pp.145-150, 1998
- 4) M. J. Sansalone and W. B. Streett: Impact-Echo, Bullbrier Press, Ithaca, N.Y., 1997
- 5) 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.679-684, 1992

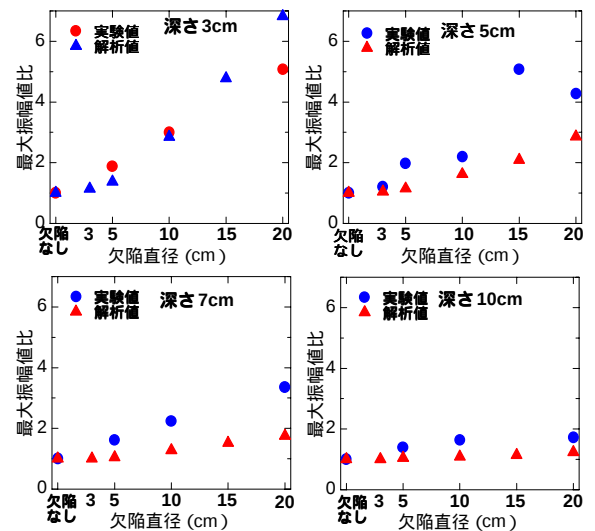


図 - 4 欠陥直径と最大振幅値比

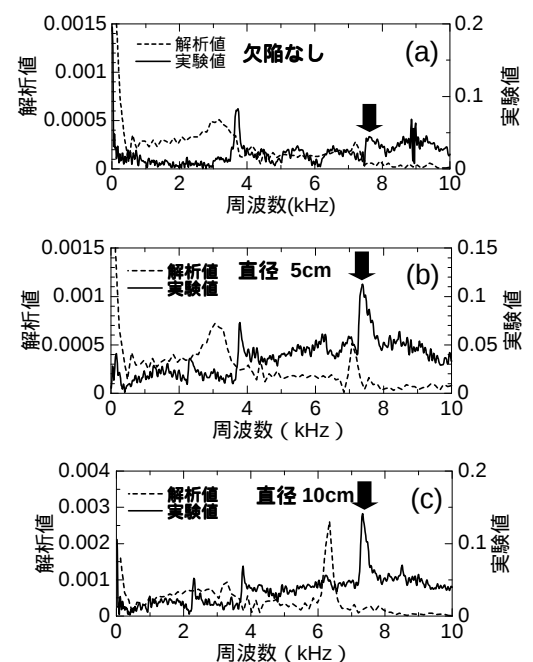


図 - 5 周波数分布
(欠陥深さ5cm)