

## 共振現象を利用したコンクリート内部の欠陥評価手法

岐阜大学 ○浅野雅則, 鎌田敏郎, 六郷恵哲, 豊田剛司  
昭和コンクリート工業 児玉一郎

## 1. はじめに

コンクリートの内部欠陥を評価する場合、打撃点直下の欠陥を検出対象とした場合には、たわみ共振現象および縦波共振現象が利用できる。しかしながら、鉄筋のかぶり程度の深さに存在する欠陥を評価する場合における両現象の関係や適用性については、必ずしも明確にされているわけではない。

そこで本研究では、コンクリート表面から比較的浅い位置に存在する欠陥を対象として、インパクト・エコー法により欠陥評価を行った。検討に際しては、周波数分布における欠陥深さに相当する縦波共振周波数の存在に着目するとともに、コンクリートに入力する弾性波の周波数特性の影響についても検討した。

また、各欠陥深さのケースについて、たわみ共振周波数と縦波共振周波数の関係を考察し、鉄筋のかぶり付近に存在する欠陥を評価する場合において適用が有効と考えられる現象を明確にした。

## 2. 実験概要

## 2.1 供試体

本研究では、写真-1 に示すような、1.95m×1.95m×0.2mの鉄筋コンクリート供試体(W/C:0.5)を作製した。供試体の内部には人工欠陥（スチレンボード）を配置した。欠陥直径は10, 15, 20, 30 および 50cm であり、欠陥深さは、3, 5, 7, 10 および 17cm である。なお本研究で用いた供試体の弾性波伝播速度は4300m/s である。各欠陥深さと同じコンクリート板厚に相当する縦波共振周波数は、以下の式<sup>1)</sup>により、3cm の場合：71.7kHz, 5cm：43kHz, 7cm:30.7kHz, 10cm:21.5kHz および 17cm:12.6kHz と求められる。

$$f_i = V/2d \quad (1)$$

ここで、 $f_i$ ：縦波共振周波数、 $V$ ：弾性波速度、 $d$ ：欠陥深さである。

## 2.2 弾性波計測

弾性波の計測には、コニカル型高感度変位センサを用いた。このセンサは、1MHz までの周波数範囲において、ほぼフラットな応答特性を有するものである<sup>2)</sup>。打撃には、インパクト（写真-2 参照）を用いた。本研究では、インパクトの先端部の鋼球直径を変化させることにより入力周波数を変化させた。鋼球径と入力周波数の間には、以下の関係がある<sup>1)</sup>。

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

ここで、 $T_C$ ：接触時間、 $D$ ：鋼球の直径、 $f_{max}$ ：上限周



写真-1 供試体

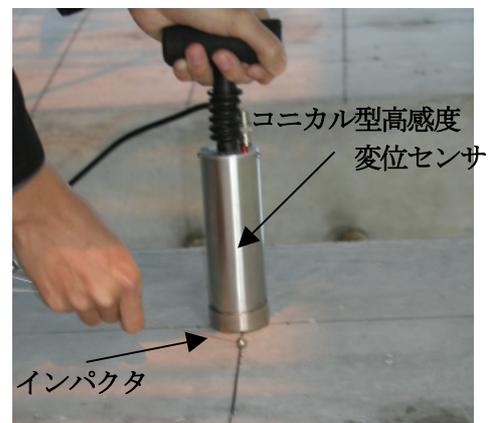


写真-2 計測状況

波数である。

打撃位置は、欠陥中央部とし、センサを打撃位置から5cm 離れた位置に設置して計測を行った。計測におけるサンプリングタイムは1μsec (Nyquist 周波数：0.5MHz) とした。センサにより受振された波形はA/D 変換器を通してパソコン上に記録した。記録されたデジタル波形に対してFFTにより周波数分布を求めた。

## 3. 実験結果および考察

## 3.1 欠陥深さの違いと縦波共振周波数の関係

各欠陥深さにおいて得られた波形と周波数分布を、欠陥直径30cm の場合について図-1 に示す。なお、打撃は、先端直径4mm のインパクトにより行った。この場合、入力される弾性波の上限周波数は、式(2)により計算すると約72.3kHz となり、各欠陥深さに相当する縦波共振周波数を満足している。

各深さにおける波形を比較すると、欠陥深さ3cm の場合は、長周期の現象が混在している。7 および 10cm の場合は、短い周期の現象が初期に見られるものの、全体的な傾向として長周期の現象が支配的である。17cm の場合では、初期の段階（1msec 程度まで）は周期の短い現象

キーワード：非破壊検査, インパクト・エコー法, たわみ共振現象, 縦波共振現象, 欠陥評価

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

が見られるものの、それ以降になると比較的長周期の現象が見られる。

次に周波数分布では、たわみ共振周波数と考えられるピークは、欠陥深さに関係なく、いずれのケースにおいても明瞭に出現することがわかる。一方、縦波共振現象に起因するピークは、欠陥深さ3cmでは全く見られなかった。欠陥深さ7, 10cmでは、ピークとしてわずかに確認できるものの、たわみ共振周波数の成分に比べて極めて小さいことが示された。以上の結果より、欠陥深さ10cm以下の欠陥を評価する場合、たわみ共振現象に起因するピークに着目することが有効であるものと考えられる。一方、欠陥深さ17cmでは、縦波共振現象に起因するピークが、たわみ共振現象に起因するピークと比較して成分は同程度で周波数分布上に出現した。このような傾向から考察すると、欠陥深さ17cm以上の場合、縦波共振現象に起因するピークに着目することも有効であるものと考えられる。

### 3.2 入力周波数の違いの検討

図-2に、欠陥深さおよび直径を一定とし、インパクト先端の直径を3.0, 4.0, 8.0, 12.8mmと変化させた場合の周波数分布を示す。この4種類の鋼球で入力される弾性波の上限周波数は、式(2)より、96.9, 72.7, 36.3, 22.7(kHz)であり、いずれも欠陥深さ10cmに相当する縦波共振周波数(21.5kHz)を満足している。図-2から、打撃に用いる鋼球径が小さいほど、縦波共振現象に起因するピークが明瞭に現れた。縦波共振現象に起因するピークを利用して欠陥評価を行う場合、縦波共振周波数を大幅に上回る入力をする場合によっては必要であると考えられる。しかしながら、いずれのケースにおいても縦波共振現象に起因するピークの成分は、たわみ共振現象に起因するピークに比べて十分小さいものであり、このことから、本実験の実験条件の範囲の欠陥評価には、たわみ共振現象が有効であることが示された。

### 4. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- 1) 欠陥深さが10cm以下の場合、欠陥深さに相当する縦波共振周波数を十分に満足する打撃条件を用いた場合でも、理論式から求められる縦波共振周波数は明確には確認できないことがわかった。
- 2) たわみ共振周波数は、1)の欠陥深さの範囲では縦波共振周波数と比較して極めて大きな成分を有しており、卓越した現象であると考えられる。このため、欠陥深さ10cm以下の欠陥を評価する場合には、たわみ共振現象に着目することが有効である。一方、深さ17cmの欠陥を評価する場合には、これに加えて縦波共振現象に着目することも有効である。
- 3) 縦波共振現象に起因するピークは、鋼球径が小さいほど明瞭に現れることが明らかとなった。

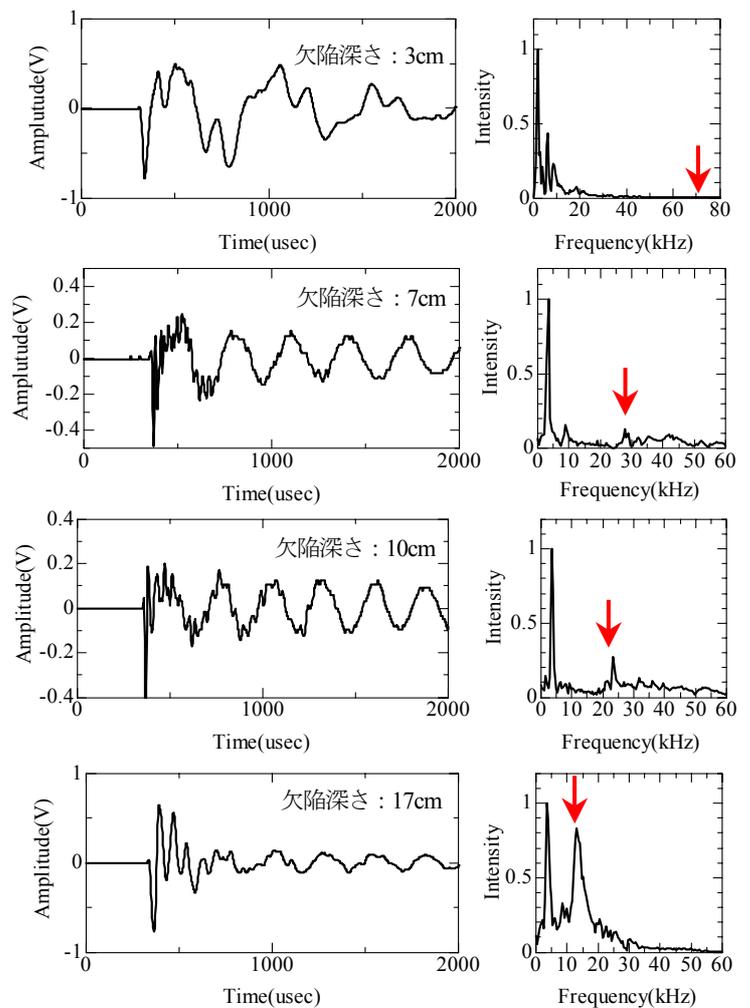


図-1 波形および周波数分布

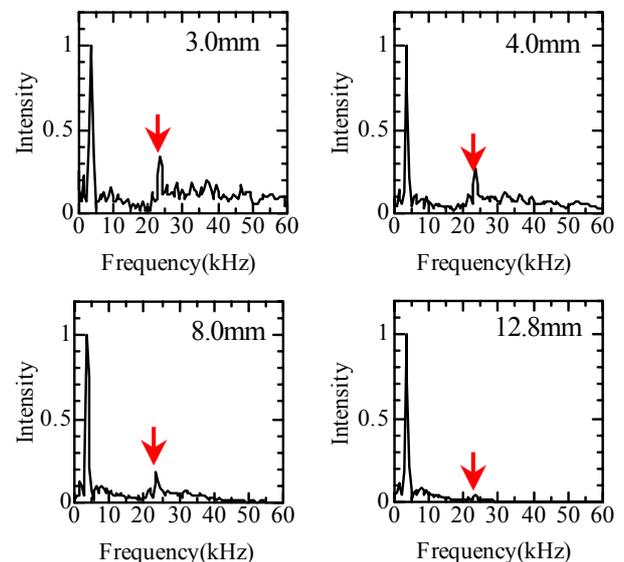


図-2 入力周波数が異なる場合の周波数分布  
(欠陥直径 30cm, 深さ 10cm)

### 参考文献

- 1) Sansalone, M. and Streett, W. B. : *Impact Echo*, Bullbrier Press, Ithaca, NY and Jersey Shore, PA, 1997
- 2) Thomas M. Proctor, Jr : *SOME DETAILS ON THE NBS CONICAL TRANSDUCER*, Journal of Acoustic Emission, Vol.1, No.3, pp.173-178, 1982