

コンクリート構造物 II-4

衝撃弾性波法における動的 FEM 解析による  
空洞探査の適用範囲の検討

Disputation of range of cavity survey by dynamic FEM analysis  
in impact elastic wave method

○首藤 浩一 伊藤建設(株) 極檀 邦夫 東海大学  
KOUICHI SHUTOU Ito Construction KUNIO GOKUDAN Tokai Univ.  
岩野 聡史 伊藤建設(株) 境 友昭 アップライト・リサーチ(株)  
SATOSHI IWANO Ito Construction TOMOAKI SAKAI Applied Research

概要

衝撃弾性波法では、コンクリート内部に空洞が存在する場合、弾性波が内部欠陥とコンクリート表面とで多重反射する性質を用いて内部欠陥を探査する方法がある。しかし、この方法では、欠陥深さが深く、断面積の小さい場合には探査が難しくなることが予想される。そこで検出限界を把握するため、欠陥深さおよび断面積を変化させて動的 FEM 解析を行い、本法の適用範囲を検討した。その結果、欠陥部では健全部とは異なる振動が観測され、欠陥位置は探査できるが深さは特定の条件しか観測されない結果となった。

キーワード：衝撃弾性波法、動的 FEM 解析、シミュレーション

1. はじめに

衝撃弾性波法による空洞探査には衝撃弾性波の入力面と空洞での多重反射により、空洞深さを求める方法がある。しかし、衝撃弾性波は入力点より半球状に伝搬していくため、空洞深さが深く、断面積が小さい場合では探査が難しくなると予想される。そこで検出限界を把握するため、欠陥深さおよび断面積を変化させ、動的 FEM 解析を行い、測定シミュレーションにより、本法の適用範囲を検討した。

2. 解析方法

今回、解析で用いたモデルの概要を図 1 に示す。このモデルは幅 1000mm、高さ 400mm とし、奥行きは今回、2次元と仮定し、40mm とした。コンクリートのヤング率は  $3.6 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ 、ポアソン比は 0.20、質量密度は  $2400 \text{ kg/m}^3$  とする。欠陥深さによる検討では、幅 150mm、高さ 20mm のモデル欠陥を入力表面から 50mm、100mm、150mm、200mm、250mm、300mm と変化させた。欠陥断面積による検討では、深さ 200mm にモデル欠陥を入れ、幅を 50mm、100mm と変化させた。衝撃荷重は 1N とし、欠陥中心に断続的に  $100 \mu \text{ sec}$  の半波正弦波を入力し、加重点近傍の加速度を出力する。なお、このモデルの弾性波速度  $V_p$  はヤング率  $E$ 、ポアソン比  $\nu$ 、質量密度  $\rho$  の関係式(式 1)より約 4000m/s である。

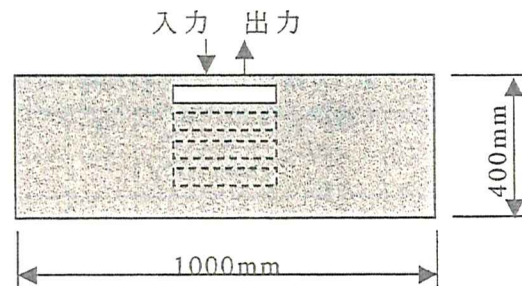


図 1 解析モデル概要

$$V_p = \frac{\sqrt{E(1-\nu)}}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)} \dots \dots \text{式 (1)}$$

### 3. シミュレーション結果

#### 3.1 欠陥の深さ変化

シミュレーションをし、出力した波形と、その波形の振動数解析結果を図 2 に示す。健全モデルでは 4.96kHz が卓越した。弾性波速度 4000m/s より反射深さ  $D$  は  $D=Vp/2f$ …式 (2) から、403mm となり、健全の厚さと一致している。

欠陥モデル深さ 50mm、100mm、150mm、200mm では卓越した振動数が 3kHz 程度となり、式 (2) より、反射深さは 600mm 以上となり、欠陥モデルの深さとは一致しない。出力波形をみると、周期が長く、減衰も少ないことから曲げ振動が生じていると考えられる。

モデル深さ 250mm では 7.99kHz が卓越し、式 (2) より反射深さは 250mm となり、欠陥モデルの深さと一致する。しかし、モデル深さ 50~200mm で見られた曲げ振動による 3kHz 程度の振動数も観測されている。さらにモデル深さ 300mm では 3.46kHz, 5.60kHz, 7.51kHz が卓越した。モデル深さ 300mm での多重反射による振動数は 6.67kHz となることから、欠陥での反射による振動数は観測されていないことになる。また、ここでも曲げ振動による 3kHz 程度の振動数も観測された。

以上から幅 150mm、高さ 20mm の欠陥が存在する場合には、どの欠陥深さにおいても、健全部とは異なる振動数が観測され、欠陥の有無は判断できる。しかし、欠陥深さ 250mm 以外では、深さの特定は困難であると言える。また、深さ 250mm、300mm での 3kHz 程度の振動数については、欠陥背面とコンクリート底面間で発生した曲げ振動が観測されたと考えられる。

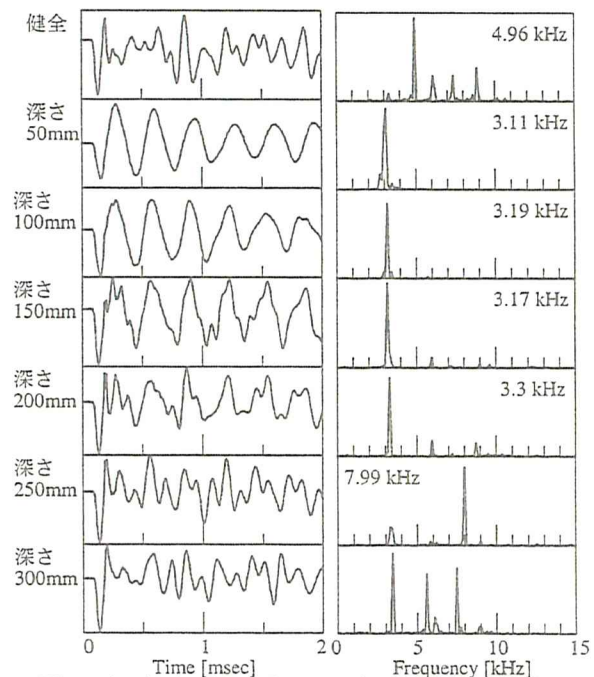


図 2 各出力波形とその振動数解析結果

#### 3.2 欠陥断面積の変化

欠陥断面積を 50mm、100mm に変化させ、同様にシミュレーションを行い、出力波形と振動数解析結果を図 3 に示す。欠陥幅 100mm では 3.93kHz が卓越し、反射深さ  $D$  は 508mm となる。欠陥幅 50mm では 4.56kHz が卓越し、反射深さ  $D$  は 438mm となった。両者とも 3.1 に示した、健全部での結果とは異なるが、欠陥深さでの振動数は見られなかった。幅 100mm の場合は曲げ振動が発生した結果で、幅 50mm では衝撃弾性波が欠陥を迂回し、伝搬経路が長くなった結果であると考えられる。

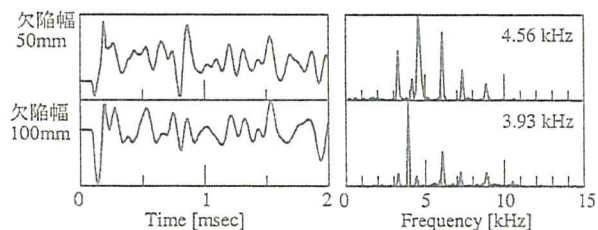


図 3 モデル深さ 200mm での欠陥幅変化

### 4. まとめ

欠陥深さ、断面積を変え、FEM 解析によるシミュレーションを行った。その結果、欠陥部では健全部と異なる振動数が観測されるが、欠陥部での多重反射による振動は曲げ振動、欠陥を迂回する振動の影響により特定の条件の場合にしか、測定されないことが分かった。