

# 衝撃弾性波法による柱状矩形断面の空洞測定

東海大学 学生員 鈴木 克利  
 東海大学 正会員 極檀 邦夫  
 アプライドリサーチ 正会員 境 友昭  
 伊藤建設技術研究所 正会員 岩野 聡史

## 1. まえがき

衝撃弾性波法は、波動が計測表面と反射面との間で多重反射することを前提とし、波動の伝搬速度とその周期から厚さなどを測定する方法である。しかし、矩形断面の柱状構造物では内部欠陥があったとしても測定面との間での多重反射が生じるか疑問であると同時に、比較的指向性の弱い波動を利用して複雑な反射面を持つ柱状体の、内部欠陥の位置を決定するのが困難である。

今回は、衝撃弾性波法による柱状コンクリート構造物の内部欠陥の探査を目的として、1つの孔を持つ正方形コンクリート板を用いて、縦弾性波速度の測定、MEM スペクトログラムによる解析を行い検討した。

## 2. 供試体と測定方法

供試体の概要を図-1に示す。供試体は500 × 500 × 150mmのコンクリート板を用い、孔は直径80mmでコアカッタによってあけた。測定点は各側面のコンクリート端から25mm間隔で19点設置した。測定は測定点を挟むように25mm離れた点に打撃点と加速度センサー(PCB352C66)を配置した。また、打撃には直径16mmの鋼球を使用し、加速度センサーはコンクリート面に対して垂直に取り付けた。弾性波速度の測定には、2個の加速度センサーを用いて供試体を挟み、弾性波の伝搬時間差を測定する透過方式を用いた。鋼球打撃によって発生した弾性波振動をサンプリングクロック1マイクロ秒、データ数8192個で記録し、弾性波の多重反射からの厚さ・内部欠陥の解析には最大エントロピー法(MEM)を用いた。

## 3. 測定結果および考察

図-2に測定結果を図化したものを示す。弾性波を用いた厚さ $D$ は、多重反射の固有振動数 $f$ をMEMにより得て、 $D = \frac{V_p}{2f}$ によって計算した。孔をあける前の上側および左側の厚さ $D$ は、コンクリート中央部では約500mm、端部で測定厚さが約560mmと中央部に比べて厚くなっている。孔をあけた後は、上側の孔の直上にあたる測定点 $U9$ では厚さが

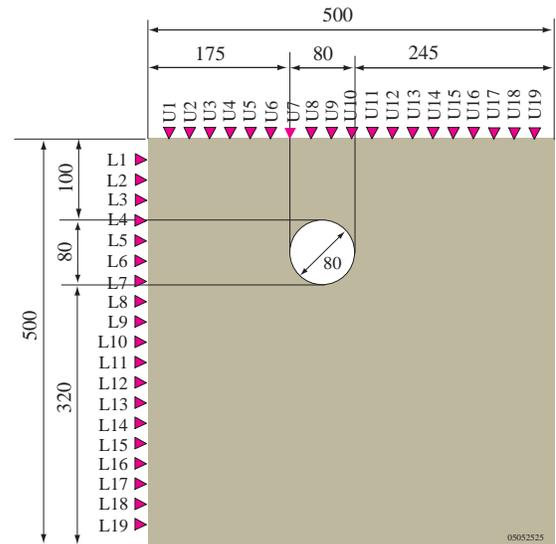


図-1 供試体と測定点

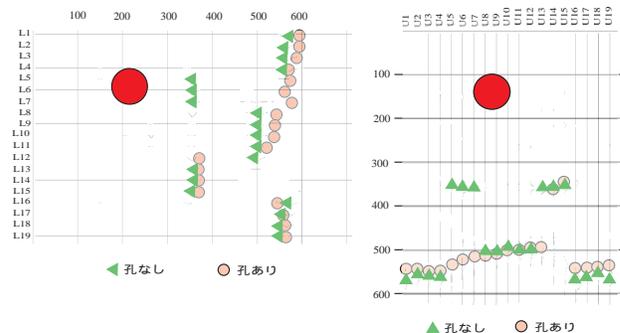


図-2 測定結果 (左と上からの厚さ)

約520mm。左側の孔の直上にあたる測定点 $L5$ では570mmとなった。

### 3.1 弾性波速度の比較

孔をあける前の測定結果からコンクリート端部で測定厚さが厚く測定されることから測定点によって弾性波速度に変化していると推測された。図に孔をあける前後で弾性波の伝搬速度分布の変化を示す。孔をあける前の弾性波の伝搬速度分布からコンクリートの端部では中央部に比べて伝搬速度が遅くなっていることがわかる。端部では片側が自由端のため拘束が弱く変形しやすいため弾性波の伝搬は棒に近似している。一方、中央部での弾性波の伝搬は拘束されたコンクリート中を伝搬すると仮定できる。周知のように、棒を伝搬する波の速度は $\sqrt{E/\rho}$ 、板の弾性体内を伝搬す

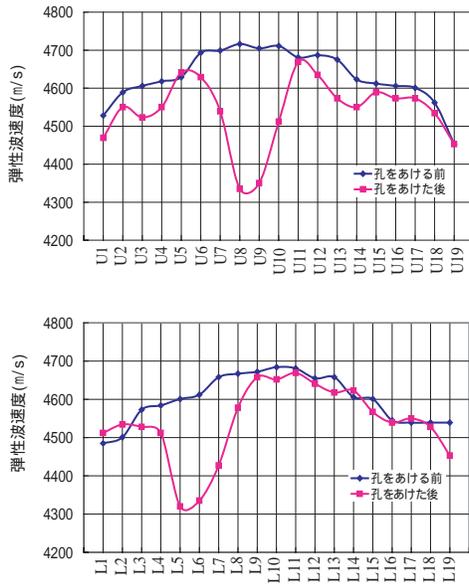


図-3 弾性波速度の測定結果

る波の速度は  $\sqrt{E(1-\nu)/\rho(1+\nu)(1-2\nu)}$  で表される。ここで、 $E$ :弾性係数、 $\rho$ :密度、 $\nu$ :ポアソン比である。コンクリートのポアソン比  $\nu=0.2$  とし棒と板を伝搬する波の速度を比較すると棒に対して板を伝搬する速度は 1.05 倍となる。上側、左側の端部と中央部の速度比は約 1.05 倍、約 1.04 倍となり、端部と中央部との拘束条件の違いにより伝搬速度が変化することが理解できる。中央部の速度を基準とすると、端部では厚く計算される。次に孔をあける前後で比較する。上側の孔の直上にある測定点  $U8$  では孔をあける前の伝搬速度が  $4716\text{m/s}$  であるのに対し、その後は  $4335\text{m/s}$  となる。また、左側の孔の直上にある測定点  $L5$  ではあける前が  $4601\text{m/s}$  であるのに対し、その後では、 $4320\text{m/s}$  と孔の直上にある測定点で弾性波の伝搬速度が遅くなっている。孔をあけるとヤング率が低下すると推測されるが、弾性波速度の公式でもヤング率の低下により伝搬速度が遅くなることがわかる。

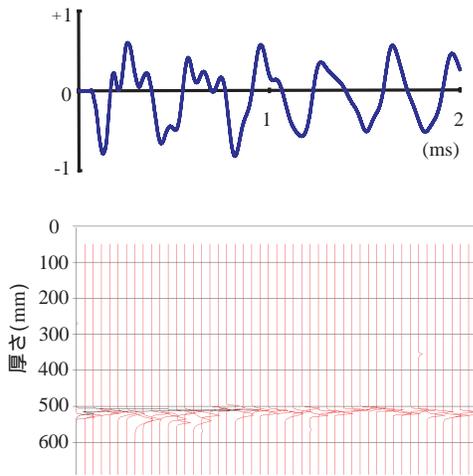


図-4 上側  $U9$  測定点のスペクトログラム

### 3.2 速度波形および MEM スペクトログラムの比較

上側の孔の直上にあたる測定点  $U9$  の速度波形および MEM スペクトログラムを図-4に示す。 $U9$  では約  $520\text{mm}$  スペクトルが集中し孔による影響は少ないと思われる。しかし、速度波形の減衰が緩やかであること、コンクリート表面から孔までの距離が  $100\text{mm}$  と厚さが薄いことからたわみ振動(曲げ振動)が発生したと推測される。左側の孔の直下にあたる測定点  $L5$  の速度波形および MEM スペクトログラムを図-5に示す。測定結果から孔をあける前にくらべ後では測定厚さが  $570\text{mm}$  と厚く測定される。 $L5$  ではコンクリート表面から  $175\text{mm}$  に孔が位置しており、孔とコンクリート表面間で数回の反射が発生すると予想されるがスペクトログラムからは孔の位置までの情報が確認できない。孔によって弾性波速度が遅くなることと孔を弾性波が回折して多重反射することによって厚さが厚く測定されたと考えられる。

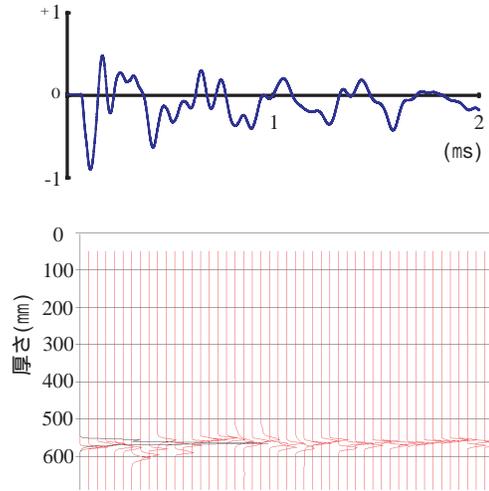


図-5 左側  $L5$  測定点(孔直上)のスペクトログラム

### 4. まとめ

コンクリート板に直径  $80\text{mm}$  の孔をあけて弾性波を解析した結果、次のことがわかった。

- (1) コンクリートの端部と中央部では、ポアソン比の拘束条件のため弾性波速度が違ふと考えられる。端部の弾性波速度は遅くなるので、中央部の速度を基準とすると計算上は厚くなる。
- (2) 板の両端で挟んで測定した弾性波の伝搬速度は孔の部分に対応して明瞭に低下しているため、孔のような欠陥部分を検知することは容易である。
- (3) 孔のかぶり厚さが  $100\text{mm}$  の場合 ( $U9$ )、速度波形の減衰、周期などを検討するとたわみ振動が発生していると思われる。
- (4) 孔のかぶり厚さが  $175\text{mm}$  の場合 ( $L5$ )、孔による弾性波速度の低下と弾性波の回折により厚さが厚く計算される。

### 参考文献

- 1) 極檀邦夫, 境友昭 衝撃弾性波法によるコンクリート空洞検知への適用性, 土木学会, 第 57 回年次学術講演会講演概要集, 2002.9.