

### 空洞供試体を用いた弾性波速度の比較

東洋計測リサーチ 正会員 ○川島 恵多  
 東洋計測リサーチ 正会員 山下 健太郎  
 iTECS 技術協会 正会員 極檀 邦夫

#### 1. まえがき

コンクリート構造物を破壊試験で調査する場合、はじめに長距離弾性波速度を測定し、おおよその健全度を評価し、弾性波速度が明らかに遅い部位は不具合があると推測されるので、その範囲を詳細調査する順序が望ましいと思われる。詳細調査には、多重反射波速度による厚さ測定や透過 P 波速度を利用する弾性波トモグラフィが有効である。

長距離弾性波速度の測定は、透過 P 波速度あるいは表面弾性波速度を、厚さは多重反射波速度を用いるが、同一の構造物を測定しても3者はかなり違う事がある。

本文は、空洞を設けた大型 RC 構造物を供試体として空洞の無い健全部の透過 P 波速度、多重反射 P 波速度(厚さスペクトルから算出)、表面波 P 波速度の比較、空洞の影響を受けた透過 P 波速度、多重反射 P 波速度を比較したので報告する。

#### 2. 測定内容

空洞供試体は、PC 実験用に製作したもので長さ 11300mm、断面は縦 500mm、横 1000mm、縦 500mm に 250mm の正方形の孔が貫通している。呼び強度は不明であるが高強度と推定される。測定点は中央付近の 2m を選択した(写真-1)。

多重反射波による厚さ測定は、孔の影響も調べるため横 1000mm を厚さとし、側面に 10cm 間隔に 21 点、上端から 5cm を 1kg の鋼球ハンマーで打撃し、上端から 20cm に加速度計を設置した。

透過 P 波速度は、上端から 15cm の白丸位置で測点間隔 10cm をインパクトハンマーで打撃し、サンプリングレートは 0.1 マイクロ秒とした。写真 1 の白丸をハンマーで打撃し、背面の同位置に加速度計を設置した。表面縦弾性波速度は、測定方向は斜めとしダイトランハンマーを使用し、10cm 間隔に 100cm まで測定した。

透過 P 波速度  $V_P$  は

$$V_P = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (1)$$

で表され、E は縦弾性係数、 $\rho$  は密度、 $\nu$  はポアソ

ン比である。透過 P 波速度はコンクリートの内部を透過するのでポアソン比は有効であるが、表面弾性波速度は、自由境界面に接するためポアソン比の有効度は検討を要する。



写真-1 空洞供試体

#### 多重反射波による厚さ測定について

測定装置は、(社)iTECS 協会推奨の iTECS-6 を使用した。加速度計 PCB352C66 で測定した加速度を数値積分して速度に変換し、自己回帰モデルによって自己相関速度波形を得て周期を明確にする。最大エントロピー法により厚さスペクトルを求め、健全な場合は最大スペクトルと実際の厚さと一致する。欠陥の大小や周期の変動を調べるにはスペクトログラムを使う。多数点を線上に測定して厚さスペクトルを並べて表示するマルチライン、などを総合して検討する<sup>1)</sup>。

板状構造物で多重反射が成立するとき、多重反射波速度を  $V_P$ 、共振周波数  $f_0$  とすると厚さ  $D$  は、式(2)で得られる。

$$D = \frac{V_P}{2f_0} \quad (2)$$

#### 3. 測定結果と検討

##### 3-1. 透過 P 波速度

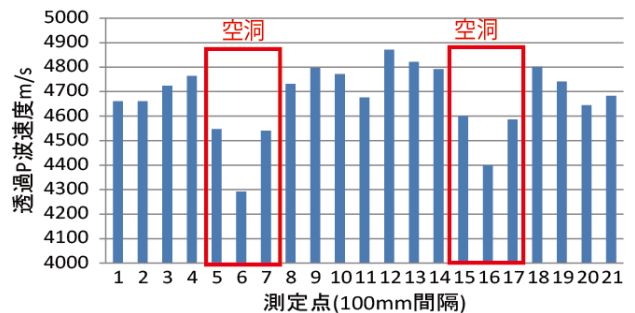


図-1 透過 P 波速度

キーワード 空洞供試体, 透過 P 波速度, 厚さスペクトル, 多重反射波速度, 表面 P 波速度,  
 連絡先 〒 300-2635 つくば市東光台 1-6-6 東洋計測リサーチ TEL 029-848-0065 Email kawashima@tkres.co.jp

図-1に透過P波速度のヒストグラムを示した。弾性波が空洞を横切る測点No.5～No.7とNo.15～No.17の透過P波速度は遅くなっている。空洞の幅は25cmで、空洞の中央、端部から12.5cmを通るNo.6の透過P波速度が最も遅く、端部から2.5cmのNo.5とNo.7は空洞のない部位の影響も受けてやや遅い速度である。空洞がない部位7.5cmでは空洞の影響はない。空洞が無い部位の平均透過P波速度は4720m/s、空洞中央部の平均透過P波速度は4470m/sと約5%遅くなっている。透過P波速度は、弾性波の波頭が到達した時間から算出するため高速であることと、空洞から少し離れると空洞の影響を受けない速度となる。したがって空洞の有無を正確に測定できる。

3-2. 厚さマルチラインと多重反射波速度

図-2は、1kgの鋼球ハンマー(入力波長約190cm)での厚さスペクトルを21点並べた厚さマルチラインである。空洞と空洞の周辺では実際の厚さ100cmよりも厚いスペクトル1190mm～1270mmとなっている。厚さマルチラインでは、大まかには空洞を推定できるが虚像が現れ約2倍である。

空洞の測点5～7に対してマルチラインでは4～8、空洞の測点15～17に対してマルチラインでは13～19と、空洞がない部分でも空洞と同様の厚さスペクトルとなっている。弾性波が空洞を回折すると仮定して計算しても虚像の厚さスペクトルにはならない。

この原因の一つとして、10ミリ秒間に球状に拡散する弾性波の伝搬距離は約36mとなり、コンクリートの厚さ1メートルを18回往復したデータをスペクトル解析する。弾性波の拡散伝搬と空洞による複合作用を考えた数値解析・実験による検証は今後の課題である。

多重反射波による厚さ測定で内部空洞を推定すると、実物の空洞よりも幅広い空洞となり、いわゆる虚像が現れるので実物と違うことが多い。ところが透過P波速度は図1に示すように実物空洞と弾性波速度で推定した空洞とほぼ一致する。

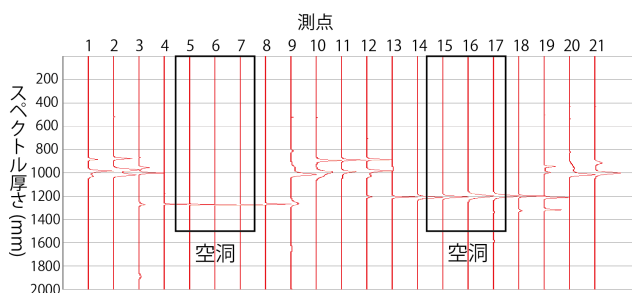


図-2 厚さマルチライン

図3の多重反射波速度は、厚さの計算式(2)から算出した。供試体の厚さDは100cmと既知であり、固

有周波数はMEM解析で確定するので、多重反射波速度 $V_P$ を計算した。空洞のない健全な部位の多重反射波速度は4380m/sである。空洞を横切る5～7の多重反射波速度は3465m/sである。

弾性波速度は(1)式に示すように、弾性係数÷密度の平方根である。空洞があるとき、密度よりも弾性係数が大きく低下しないと弾性波速度は遅くならない。厚さ測定のハンマー波長約190cmに対し、空洞の大きさは25cm角なので、コンクリート内部の空隙と同様に働くと仮定する事はできないだろうか。今後、実験し検証する予定である。

国土交通省の非破壊試験による強度測定要領に従って表面弾性波速度を測定したところ、4684m/sを得た。空洞のない部位での多重反射P波速度は4380m/s、透過P波速度は4740m/sであった。参考のために、1130cmの透過P波速度を測定したら4705m/sを得た。

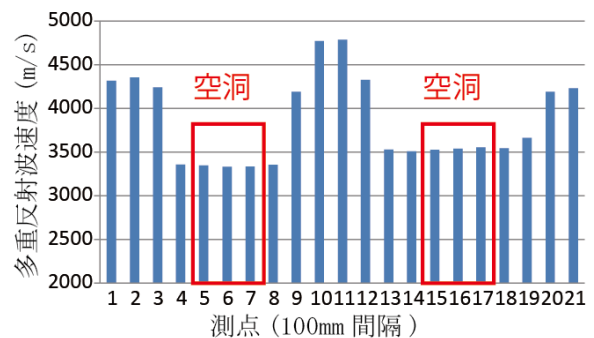


図-3 多重反射波速度

4. まとめ

(1) 空洞が無い部位の透過P波速度は4720m/s、空洞では4470m/sと約5%遅くなる。コンクリートの空洞幅は透過P波速度をヒストグラムと比較すると、透過P波速度の遅い範囲と空洞と一致した。透過P波速度は内部を通過するのでポアソン比が有効なことから、速い速度が観測された。

(2) 厚さスペクトルおよび多重反射波速度は、実際の空洞よりも広い範囲を空洞(虚像)と表示するので注意が必要である。

(3) 多重反射波速度は、空洞のない部位は4380m/s、空洞を横切る部位と周辺でも3465m/sとなり、空洞の虚像が出現する。表面弾性波速度は4684m/sとなり、多重反射波速度より速く、透過P波速度よりも遅い。これは、測定した大型PC構造物による影響だと思われる。

参考文献

1) 極檀邦夫, 境友昭, 山下健太郎; コンクリート構造物内部欠陥の検知への衝撃弾性波の適用性, コンクリート構造物への非破壊検査の展開 論文集 (Vol.2), pp487-492, 2006.8