

透過縦弾性波速度によるコンクリート構造物の内部空洞探査

(株)コサカ技研 正会員 ○鈴木 章紘
 (株)コサカ技研 小原 久敏
 (株)コサカ技研 田村 泰弘
 iTECS 技術協会 正会員 極檀 邦夫

1. はじめに

大規模コンクリート構造物の施工時に表面にジャンカが観測されることがある。施工監理者は内部にもジャンカあるいは空洞の存在を危惧し非破壊試験による調査が要請されることがある。厚さが2メートル程度までなら衝撃弾性波は表面と反射面で反射を繰り返すので、その多重反射波を解析して内部のジャンカ、空洞などを探査する方法が採用される。しかし、調査対象が十数メートルの大型構造物では多重反射波による解析は不可能である。

大型の模型供試体を作成し、内部に発泡スチロールを埋設し疑似空洞とした。供試体側面をハンマーで叩き反対側面に加速度計を設置し、透過縦弾性波速度を計測・解析した。透過縦弾性波速度の低速度線を抽出し、4側面からの重複低速度線の交点と、埋設された発泡スチロールの位置は一致した。

2. 透過縦弾性波速度による内部空洞の測定

透過縦弾性波が遅くなるのは内部の空洞が原因と仮定した。低速度線が交差する点に欠陥があると推定する方法は医学のCTスキャナの簡易版と考えられる。CTスキャナとは、被検査体内にX線を全方向から透過し、その透過率をデータ処理してCT断層画像図として表示する。本実験では、X線の代わりに透過縦弾性波を用いる。図-1は、測定方法の考え方を説明するため、模式的な例として、検査する物体の断面が $3 \times 3=9$ 個のブロックからできているとする。その一つひとつのブロックに弾性波速度を減少させる要素(数値)があるものとする。しかし、外からはブロックごとの要素(数値)は分からない。方向を決めて弾性波を入力すると、その通過したブロック要素の合計を知ることができる。

図-1ではX2に弾性波速度を減少させる欠陥があると仮定する。a1方向からの弾性波速度は、中央に位置する欠陥X2によって3900m/sに速度低下した。a2、a3方向の弾性波速度は、欠陥が無いので4000m/sの速度である。c2方向では、打撃面表層に欠陥X2があるため強い影響を受けて弾性波速度は、3800m/sと大

きな速度低下となる。打撃点の近傍に欠陥があると弾性波速度の減少は大きくなる。d2方向では、伝播距離の長い部分に欠陥X2があるため欠陥の影響は弱まり弾性波速度は、3950m/sと速度低下は小さくなる。1方向の弾性波速度の減少からはどの位置に欠陥があるか特定することはできないが、4方向あると欠陥部分は低速度線の交点として決定できると考えた。

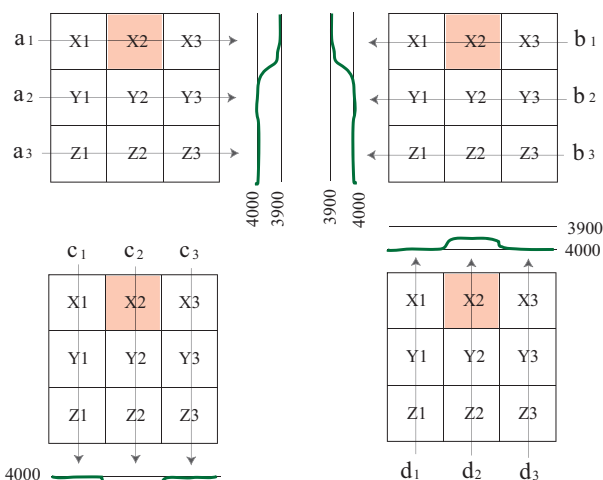


図-1 4側面からの透過縦弾性波速度と空洞検出

3. 実験内容

測定装置は、衝撃弾性波法(iTECS法)のiTECS-503を使用した。サンプリングレートは0.5マイクロ秒、加速度計付きのハンマーで打撃し、加速度計はPCB352C66を使用した。模型コンクリート供試体のサイズは、160cm × 160cm × 30cm、直径20cm厚さ2cmの発泡スチロールを側面から40cm内側に、深さ15cm(中央)に埋設した(図-4参照)。

ハンマーは入力波長を変えるため4種類使用したが今回は軽量ハンマーの結果を報告する。透過縦弾性波速度の実験順序は次のとおりである。

(1) 供試体側面に、発泡スチロールの中心を通る高さに合わせて測定線を描き25mm間隔の測点を東西南北の側面に設ける。(2) 4側面すべてについて、ハンマーで打撃し、反対面で受信して透過縦弾性波速度を計測する。(3) 側面ごとに透過縦弾性波低速度線(低速度線)を統計的に4分位(25%)で抽出する。(4) 低速度線から東西方向ならびに南北方向で重複する複低

速度線を選出する。(5) 東西と南北の複低速度線が交差した点を内部空洞候補とし検討する。

4 実験結果および考察

4.1 透過縦弾性波速度の横断分布とヒストグラム

図-2 に、西面と南面からの透過縦弾性波速度を測点ごとに示した。透過縦弾性波速度は、西面をハンマーで打撃し東面に加速度計を手で押し付けて測定した数値である。

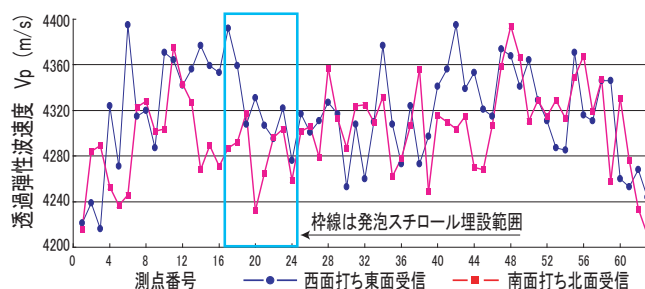


図-2 透過縦弾性波速度の横断分布

西面と南面に共通して側面近傍の番号 1-5 と 59-63 は弾性波速度が低下している。これは側面近傍に空洞あるいは欠陥が存在するためではなく、弾性波がコンクリート内部を伝播するとき、弾性波の応力変形が拘束されるか否かに依存することが原因と考えられる。いわゆる棒状弾性体と半無限弾性体の縦弾性波速度と同様である。発泡スチロールの埋設された範囲の弾性波速度は低下しているが速度の横断分布図から発泡スチロールの範囲を特定することは困難にみえる。

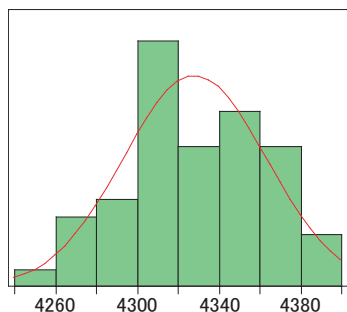


図-3 南面打撃北面受信のヒストグラム

図-3 は南面打撃北面受信の透過縦弾性波速度のヒストグラムである。側面の両端を 5 点ずつ除去し 53 点で計算した。平均値 4328m/s、標準偏差 35m/s、中央値 4322m/s、下位 4 分位 (25%) 4308m/s である。低速度のシキイ値として下位 4 分位 4308m/s を採用した。通常の場合のシキイ値は、このような値を採用しないが、供試体を製作するとき発泡スチロールの破損を心配してバイブレータの締固めを減らした所、微小空隙がかなり存在することが他の測定結果から分かったのでシキイ値を変更した。

4.2 複低速度線の交点と発泡スチロール

東西南北の側面ごとに測定した透過縦弾性波から、4 分位をシキイ値として低速度線を抽出した。低速度

線の本数は、西面、東面、南面を打撃したとき 12 測線、北面が 14 測線となった。さらに、東西で重複する複低速度線は 4 測線、南北で重複した複低速度線は 6 測線である。

内部に空洞が存在するなら、東面と西面の両方および南面と北面の両方が低速度線となるはずで、側面片側だけが低速度線の場合は、表面の影響や打撃のバラツキを考慮して断定できないと判断した。

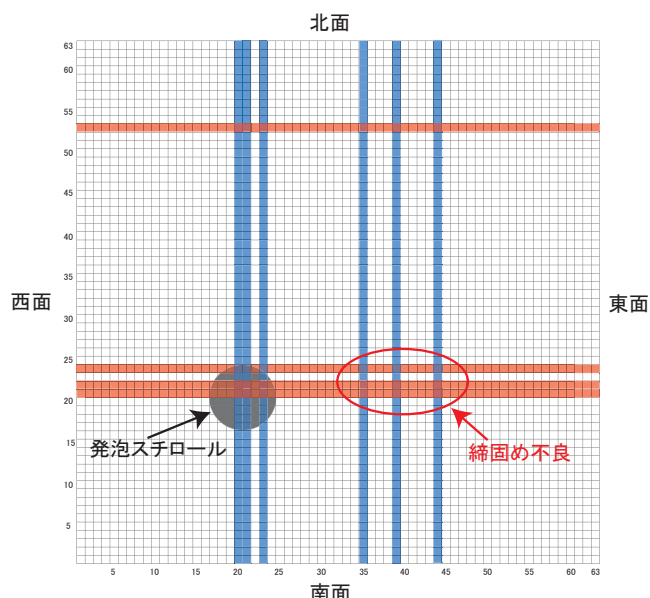


図-4 複透過縦弾性波低速度線と発泡スチロール

図-4 に東面西面で重複した複東西低速度線を赤色で、南面北面で重複した複南北低速度線を青色で示した。東西方向と南北方向の交点は埋設した発泡スチロールの位置とほとんど一致している。立方体の構造物や円形に近い橋脚の構造物の健全性は透過縦弾性波による調査が実施されているが異なる方向からできるだけ多数測定して低速度線の交点を検討する方法は実用的と思われる。発泡スチロールの他の部分でも東西南北の交点が観測されているが、これは締固め不良による微小空洞の影響と推測される。厚さが 30 メートルを超えるコンクリートでも透過縦弾性波速度は測定できるので大型の実構造物を対象に検証する計画である。

5. まとめ

発泡スチロールを埋設した模型供試体を用いて側面から透過縦弾性波速度を測定した。統計学的にシキイ値を定め低速度線を抽出し、重複する複東西低速度線および複南北低速度線を選出する。

東西南北の複低速度線の交点と発泡スチロールとはほとんど一致しているので、複低速度線の交点に空洞が存在するという仮説は有効であると考えられる。締固め不良による微小空洞の範囲も推定できると考えられるので検証実験をおこなう予定である。