

発泡埋設スラブ供試体の衝撃弾性波法による測定

オリジナル設計 正会員 大関 安信
 オリジナル設計 正会員 山内比呂士
 iTECS 技術協会 正会員 極 檀 邦夫

1. まえがき

衝撃弾性波法において、構造物内部の欠陥が多重反射の周期から求めた弾性波速度や、厚さ方向に透過する弾性波速度を低下させることがこれまでの研究により明らかとなっている。本研究は、コンクリート供試体内に内部欠陥にみだてて埋設した発泡スチロール（以下発泡）が、多重反射から求めた弾性波速度、供試体表面での弾性波速度及び供試体内を透過する弾性波速度に及ぼす影響について考察をおこなった結果を報告する。

2. 測定内容

発泡埋設供試体は、一般的なスラブ配筋の高さ2000mm、幅2500mm、厚さ400mmの鉄筋コンクリートである。コンクリートの均質性を確保するため、鉛直に立てて施工し、2003年に打設した。設計基準強度は27MPaである。写真-1に示すように、右端から500mm 下端から500mmに500×500×50mmの発泡が深さ300mm（かぶり厚さ300mm）に埋設されている。

衝撃弾性波の多重反射による厚さ測定は、10cmメッシュで水平方向は20点（200cm）、鉛直方向は15点（150cm）とした。表面縦弾性波（表面P波）の測定は、発泡を横断するように斜線とし、センサーから20cm間隔に240cmまで測定した。ハンマー質量の影響を調べるため、付属ハンマ（5グラム）、鋼球直径100mmハンマ（110グラム）、CTSハンマ（190グラム）の3種類を用いた。

透過縦弾性波（透過P波）の測定は、センサーを表面P波と同じ点に固定し、背面側をハンマーで打撃した。ハンマーは鋼球直径100mmハンマー、CTSハンマーの2種類とした。発泡埋設供試体を写真-1に示す。

多重反射波による厚さ測定について

測定装置は（社）iTECS技術協会推奨の多機能型iTECS-6を使用した。厚さ測定の基本は、多重反射成立が条件であるが、コンクリートは、複合物質であるので多重反射にはノイズが含まれる。

iTECS-6は、加速度を数値積分して速度に変換し、最大エントロピー法（MEM）で自己相関速度波形を求

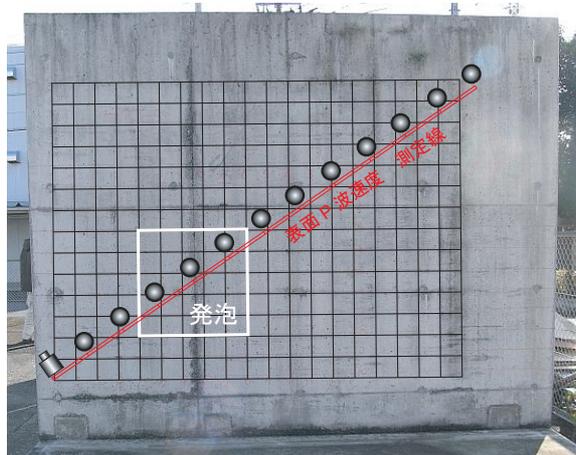


写真-1 発泡埋設供試体

め周期を明確にした。速度MEMによる厚さスペクトル、スペクトログラム、マルチライン、フーリエ解析による厚さスペクトルなどを総合して厚さを検討した。

多重反射が成立するとき、厚さを D 、P波速度を V_P 、共振周波数 f_o とすると

$$T = \frac{V_P}{2f_o} \quad (1)$$

厚さ測定のセンサーの加速度計PCBC66の性能は、共振周波数35KHzで、サンプリングクロック10μ秒、測定時間10msに設定した。ハンマーは、鋼球直径20mm（約40グラム）を取り付けた。

はりのたわみ振動について

かぶり厚さ300mmに埋設した発泡部位では、直径20mmハンマーで打撃すると板のたわみ振動が発生すると仮定した。はりのたわみ振動式は、固有振動数を f 、長さ l 、ヤング係数 E 、断面2次モーメント I 、密度 ρ 、断面積 A とすると

$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \quad (2)$$

曲げ剛性を2倍にしても固有振動数は1.4倍にしかならない。長さが半分になると固有振動数は4倍になり影響が大きい。

キーワード 発泡埋設、多重反射波、厚さ、表面P波速度、透過P波速度

連絡先 新宿区新小川町1-1 飯田橋MFビル オリジナル設計株式会社 TEL 03-5261-9600 Email oozeki - a731@oec_solution.co.jp

表面 P 波速度と透過 P 波速度について

深さ 300mm の埋設発泡は空洞と等価であるので、弾性波速度は低下すると予想される。表面 P 波速度と透過 P 波速度に対する影響度合いを測定し検討する。

3. 測定結果と検討

3-1. 多重反射波による厚さ測定

図-1 に速度波形を示した。

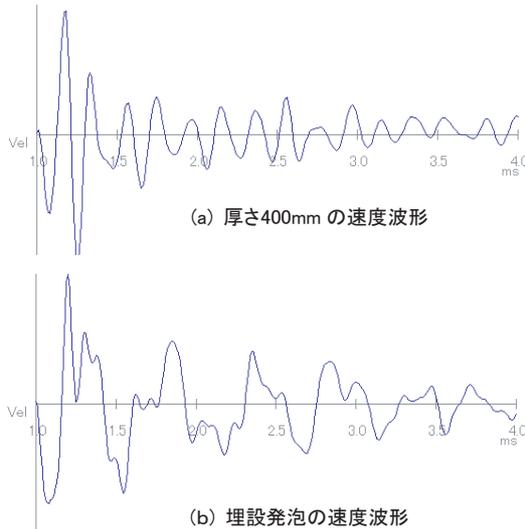


図-1 正常部位と発泡部位の速度波形

(a) は厚さ 400mm の部位，(b) は埋設発泡のほぼ中央部位である。埋設発泡の速度波形は，周期が長く振幅も大きいので多重反射波ではなく，たわみ振動が発生していることが分かる。たわみ振動が生じている場合は，多重反射の式 (1) で厚さを計算すると実寸 400mm に比較して 890mm と過大な厚さになる。

図-2 に厚さ測定 300 点の分布を示した。

364	466	382	378	420	390	402	310	418	308	444	380	444	322	326	358	328	382	420	378		
384	382	364	380	356	390	378	378	418	384	382	382	382	378	390	364	382	382	382	390		
384	404	378	380	380	380	380	376	390	390	382	380	380	380	396	390	390	298	378	380	382	
384	276	382	382	386	386	386	384	386	386	384	384	386	384	388	388	386	386	382	382		
396	286	386	384	390	386	400	396	390	396	386	386	386	386	386	386	386	386	386	382	382	
418	402	338	388	388	402	396	396	388	396	386	386	386	386	386	386	386	384	396	384	392	370
442	416	276	374	402	286	248	402	246	396	396	396	396	400	394	396	396	396	394	394	394	
442	416	334	376	534	470	472	470	374	382	390	394	396	396	396	396	396	396	396	396	394	
414	396	352	530	630	704	704	704	482	412	382	394	396	396	386	388	386	394	392	392	392	
416	402	334	530	674	980	980	974	670	454	386	386	386	386	386	386	386	386	386	382	382	
438	440	356	480	676	980	980	984	672	390	388	370	386	394	382	384	386	388	382	382	382	
384	442	358	358	622	982	984	842	520	464	390	390	396	392	390	394	392	386	394	384	384	
384	406	252	424	468	468	464	468	406	430	388	384	396	388	388	390	390	396	382	382	380	
434	380	380	376	424	286	376	376	308	384	382	386	386	386	386	386	386	386	382	382	378	
414	252	454	378	378	382	382	378	384	386	388	388	386	386	388	388	386	384	382	382	382	

図-2 厚さの分布

厚さ測定値の平均値は 416mm，標準偏差は 114mm である。平均値が厚い方にずれるのは，発泡部位が過大な厚さとなるためである。平均値 + 標準偏差 = 530mm 以上の厚さの点に着色した。発泡部位はほぼ対応しているので，かぶり厚さ 300mm の内部空洞は探査可能であることが判明した。

3-2. 表面 P 波速度と透過 P 波速度

表面 P 波速度は質量の異なる 3 種類のハンマーを用いたが，4134m/s-4145m/s，相関係数は 0.999 と等しい数値であった。

2 種類のハンマーの透過 P 波速度は，4006m/s-4030m/s，相関係数は 0.998-0.999 となった。透過 P 波速度は表面 P 波速度よりもやや遅い。

埋設発泡の影響は，表面 P 波速度では認められなかった。透過 P 波速度は，発泡を通過する 3 点にだけ影響が認められた。距離と伝搬距離をプロットすると回帰直線から少しずれていて，距離に換算した影響度合いは約 3% であった。

残差 = 測定値 - 回帰式予測値で求め，残差と伝搬距離の関係を図 3 に示した。四角は表面 P 波速度の残差，丸が透過 P 波速度の残差である。楕円の線で囲まれた点が発泡を通過したもので，3cm-4cm 程度距離に影響することが分かる。

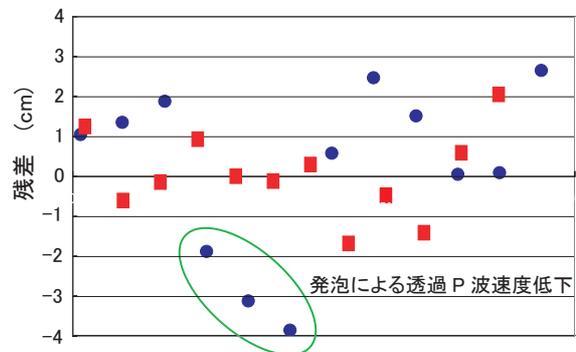


図-3 表面 P 波速度と透過 P 波速度の残差

4. まとめ

発泡埋設スラブ供試体を衝撃弾性波法 (iTECS 法) によって多重反射による厚さ測定，表面 P 波速度，透過 P 波速度を測定した。主なる結果を列記する。

1. 深さ 300mm に埋設された発泡供試体 500 × 500 × 50mm は直径 20mm の鋼球ハンマーで打撃すると，300mm の厚さでもたわみ振動が発生し過大な厚さとなった。平均値 + 標準偏差以上 (530mm) を閾値とすると 25 点中 20 点，80% が適中している。

2. 厚さ 400mm の速度波形と発泡埋設部位の速度波形は明らかに異なっている。発泡中心の波形は，たわみ振動が顕著で，発泡周辺はやや小さくなっている。

3. 表面 P 波速度は，埋設発泡の影響は認められなかった。ハンマーの質量の影響もほとんど無いことが分かった。240cm まで測定したが，距離が長くなると波形の減衰が大きくなりノイズが混入し読み取りが困難になった。

4. 透過 P 波速度は，埋設発泡の影響を受けて，発泡を通過する測点は約 3% 遅くなる。影響を受ける測点から内部空洞の大まかな位置は推定できるが，正確には弾性波速度 CT を適用する必要がある。