

衝撃弾性波法による空洞のかぶり厚さの推定

土谷組 正会員 秋松 和正
 土谷組 正会員 土谷 勝彦
 iTECS 技術協会 正会員 極 檀 邦夫

1. まえがき

コンクリート板の空洞上部のかぶり厚さを衝撃弾性波によって推定する基礎的実験を行った。実構造物では、浮き・剥離や内部に空洞がある場合を想定している。

実験を単純にするため、供試体に埋設する発泡スチロールの大きさを $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ に固定してかぶり厚さだけを変えた。かぶり厚さが薄いと鋼球打撃によってたわみ振動が生じるが、厚くなると音響インピーダンスの異なる境界面で反射する多重反射波が卓越すると考えられる。

実験内容は次のとおりである。1) たわみ振動と多重反射振動を比較するため速度波形を並べる。2) 鋼球接触時間とかぶり厚さの関係を調べる。3) 衝撃弾性波から最大エントロピー法で固有周波数を求めてスペクトログラムで厚さを得る。4) 厚さの等高線図を描く。5) 鋼球接触時間の等高線図を描く。6) 弾性屈折波によりかぶり厚さを推定する。

2. 供試体と測定方法

供試体の大きさは、 $1700 \times 1700 \times 200\text{mm}$ で、設計強度は 24MPa である。疑似空洞には、発泡スチロール $200 \times 200 \times 20\text{mm}$ を埋設した。かぶり厚さは、20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160mm とした。測定点は、10cm メッシュを記して、表面 256 点、背面 256 点である。弾性波速度は、表面弾性波速度と、供試体を加速度計で挟み、透過弾性波速度も測定した。

衝撃弾性波は、コンクリート表面を鋼球 16mm で叩き、約 5cm 離れた点に加速度計を手で押しつけて測定した。測定器は、2ch 仕様で、サンプリングクロック $0.5\mu\text{s}$ 、サンプリング数 5000/ch を使用した。弾性屈折波の測定は、かぶり厚さ 12cm までは、空洞部分の中心から等間隔に 1cm 刻みに加速度計と鋼球をずらして測定した。

3. 測定結果および解析

3-1 かぶり厚さと速度波形

かぶり厚さが 20mm から 160mm までと、表面の空洞のない厚さ 200mm の点および背面の厚さ 200mm の点の弾性波速度を図-1 に示す。

図-1 から、かぶり厚さが薄いと振幅周期ともに大きく、厚くなると振幅周期が小さくなる傾向がわか

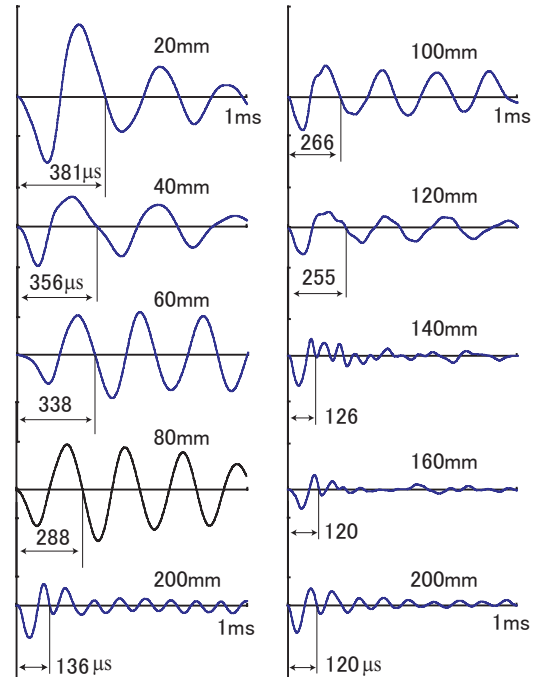


図-1 かぶり厚さと速度波形

る。厚さが薄い場合、かぶり厚さが 40mm では約 3Hz、100mm では 4KHz となって、厚くなると周波数が増加する傾向を示す。打撃直後の最初の周期を鋼球接触時間とみなして、図に記入した。下向きの波形は鋼球がコンクリートを押し続けている時間で、上向き波形はコンクリートが鋼球を押し戻して復元している時間である。

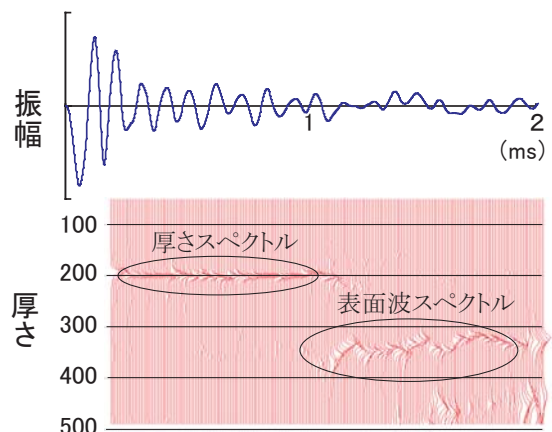


図-2 弾性波速度と周波数分布

図-2 は、上部に加速度を数値積分して求めた速度波形を、下部にスペクトログラムを示した。固有周波数は、最大エントロピー法 (MEM) によって求めた。スペクトログラムは、弾性波 (速度波形) が時間経過

によってどのように変化しているかを見るために、単位長さ1ミリ秒のデータを $30\mu\text{s}$ 間隔にずらしたものである。縦軸は厚さで、厚さ D を式 $D = \frac{V_p}{2f}$ より計算した。打撃直後は、厚さ方向の多重反射波が支配しているが、時間が経過すると供試体端部で反射してきた表面波の影響が見られる。

3-2 厚さの等高線

図-3 にスペクトログラムから求めた厚さの等高線分布を示す。

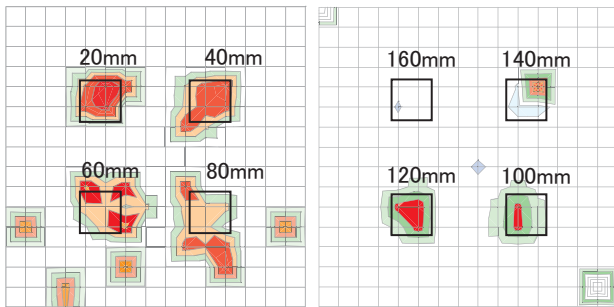


図-3 厚さの等高線

空洞上部のかぶり厚さが 20mm から 140mm までは、実寸よりもすべて厚くなった。図-1 の速度波形を見てわかるとおり、たわみ振動の周波数が多重反射波の周波数よりも低振動になるためである。かぶり厚さ 160mm の計算厚さの平均値は 172mm となった。測定すると空洞部分では弾性波速度が遅くなる。空洞のない速い弾性波速度で厚さを計算しているので少し厚目になっている。図-1 でも多重反射波の様子が認められる。

3-3 鋼球接触時間の等高線

図-4 に鋼球接触時間の等高線分布を示す。

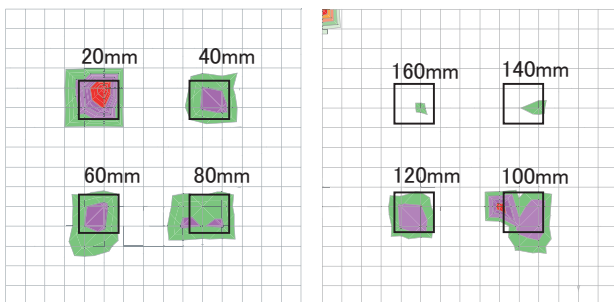


図-4 鋼球接触時間の等高線

等高線を見ると鋼球接触時間の長い領域とかぶりの薄い部分とはほぼ一致している。空洞周辺では、空洞の影響によりやや長時間のところもある。

かぶり厚さと鋼球接触時間との関係は、かぶり厚さ 20mm : 接触時間 $503\mu\text{s}$, 40mm : $315\mu\text{s}$, 60mm : $311\mu\text{s}$, 80mm : $293\mu\text{s}$, 100mm : $272\mu\text{s}$, 120mm : $271\mu\text{s}$, 140mm : $173\mu\text{s}$, 160mm : $157\mu\text{s}$ となった。かぶり厚さが 140mm を超えると、たわみ振動の影響よりも多重反射波の影響が大きいようである。

3-4 屈折波によるかぶり厚さの推定

かぶり厚さが薄いときはたわみ振動が発生するので、多重反射波の計算式では、空洞部分のかぶり厚さを求めることができない。

そこで、物理探査に用いられている屈折波を適用してみた。鋼球打撃による弾性波がコンクリートに入射して音響インピーダンスの境界面で反射する場合を考える。このときの屈折法則は、光線の屈折におけるスネルの法則と類似である。

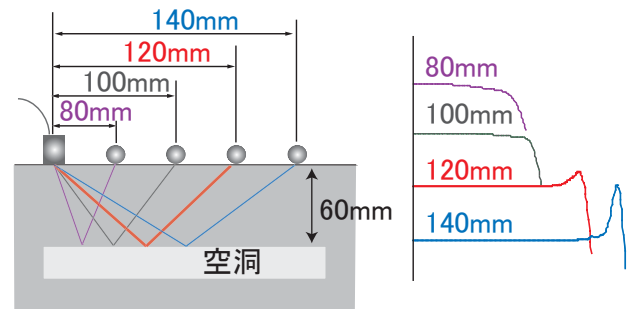


図-5 弾性屈折波によるかぶり厚さ

図-5 にかぶり厚さ 60mm の測定例を示す。鋼球と加速度計の距離が 80mm のときは下向き波形、100mm も下向き波形、120mm は上向き波形、160mm も上向き波形となっている。超音波法でひび割れ深さを測定する方法に直角回折法があるが、かぶり厚さの弾性屈折波も類似していた。このデータでは、120mm で反転しているので、かぶり厚さは 60mm になる。他のかぶり厚さの測定結果は、実寸 20mm : 測定 20mm , 実 40mm : 測 50mm , 実 80mm : 測 70mm , 実 100mm : 測 70mm , 実 120mm : 測 50mm , となった。

4. まとめ

疑似空洞として 20cm 角の発泡スチロールを埋設した。空洞上部のかぶり厚さを 20mm 間隔に 20mm から 160mm まで変えた。薄いときたわみ振動が、厚いとき多重反射波が卓越すると想定した実験結果をまとめると次のとおりである。

1. かぶり厚さ 120mm まではたわみ振動が卓越した。140mm 以上では多重反射波が卓越した。厚さを多重反射波の計算式で求めると、たわみ振動では実寸よりも厚くなった。
2. 空洞上部のかぶり厚さの薄いところでは、鋼球接触時間は 140mm までは空洞のない部分に比較すると長時間になった。厚さが薄くなると鋼球接触時間が長くなる関係がわかった。
3. 弾性屈折波からかぶり厚さを求めたところ、かぶり厚さが 80mm 程度まではおおむね一致した結果を得たが、100mm を超えると誤差が大きくなった。今後検討する予定である。