

# 衝撃弾性波法による厚さ測定でのコンクリート背面の影響

伊藤建設(株) 正会員 首藤浩一  
東海大学 正会員 極檀邦夫  
アプライドリサーチ(株) 正会員 境 友昭  
伊藤建設(株) 正会員 岩野聡史

## 1. 目的

衝撃弾性波法による厚さ測定において背面に地盤等が密着している場合、音響インピーダンスがコンクリートに近似していると、縦弾性波は背面の物質に透過し、周波数変化を生じる。このため、厚さに固有の多重反射周波数を特定することが難しく、周波数スペクトルから計算した厚さは厚く測定される。そこでコンクリート背面状況を変化させて、実測の結果と動的 FEM 解析によるシミュレーションを行った。

## 2. 実験方法

### 2.1 衝撃弾性波による供試体実験

図1に測定状況の模式図、写真1に測定状況を示す。寸法、縦1800、横900、高さ300mmのコンクリート供試体を水槽に沈めて測定を行った。供試体は水に沈めていない状態と供試体の底面が水深300mmとなるように水深を変化させた。測定位置は供試体の中央とし、入力は打撃鋼球15mmでコンクリート表面を打撃し、受信は入力点の近傍に加速度計を手で押さえて測定を行った。測定データは、サンプリングクロック2μsec、データ数は5000個である。周波数解析は、測定した加速度波形を数値積分し、速度波形にする。この速度波形の自己相関関数を求め、求めた数値にFFTを行う。このときの周波数 $f_0$ と縦弾性波の多重反射による弾性波速度測定結果 $V_p$ から式1により測定厚さ $D$ を求める。



写真1 測定状況

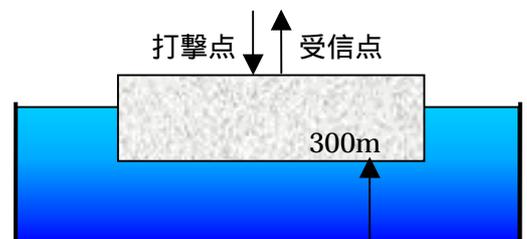


図1 測定状況の模式図

### 2.2 動的 FEM 解析によるシミュレーション

動的 FEM 解析によるモデルは現象を単純にするため2次元と考え、高さ300mm、横900mm、厚さ20mmとした。コンクリート供試体背面が空気に接するモデルは、節点数2208個、要素数1350個、材料特性はヤング率 $E$ を $3.56 \times 10^{10}$  N/m<sup>2</sup>、質量密度を2452 kg/m<sup>3</sup>、ポアソン比を0.2とした。コンクリート供試体背面が水に接するモデルは、節点数4370個、要素数2700個、水のヤング率 $E$ は、水中での音速 $V_p$ 約1500m/s、質量密度1000kg/m<sup>3</sup>から、式2より $E=2.5 \times 10^9$  N/m<sup>2</sup>と算出した。衝撃荷重は1Nとし、100μsecの半端正弦波を入力した。入力位置は実測と同様にモデル中央とし、波形の出力は入力点の近傍とした。FEM解析による波形の出力間隔は10μsecで、出力データ数は1024個とした。出力した波形を2.1と同様に周波数解析を行い、式1より測定厚さ $D$ を求め、実測値と比較する。

$$D = \frac{V_p}{2 \cdot f_0} \dots \dots \dots (式1)$$

### 3. 測定結果

#### 3.1 実測の測定結果

実測および動的 FEM 解析を行った結果を図 3 に示す。

この供試体の弾性波速度は縦弾性波の多重反射から 3800m/s となり、厚さ 300mm を示す周波数は 6.3 kHz となる。周波数スペクトルをみると、供試体背面に水がない場合には、厚さを示す 6.25kHz 付近の周波数が卓越している。ところが供試体背面が水に接すると、厚さを示す周波数成分よりも低い周波数成分に変化している。これは鋼球打撃により内部を伝搬する縦弾性波が供試体が水と接しているとコンクリートと水の音響インピーダンスの割合によって水に透過し、音響的な複合作用が生成されるためではないかと推測される。

実測した速度波形では、コンクリート供試体背面に水がないときに比べ、供試体背面に水が密着している場合は、周期が長くなり(周波数は 6.25kHz から 4.36kHz と低下する)、減衰も大きくなっている。背面が水に接していると、縦弾性波が透過波として水に伝搬するため、ノイズの様な高振動成分が吸収されて、減衰も大きくなり、複合作用が生じることで縦弾性波の周期が長くなると考えられる。

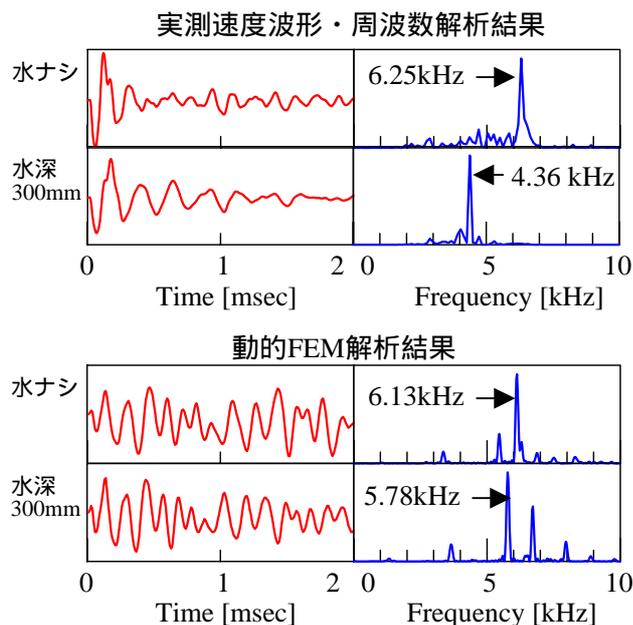


図 3 実測および動的 FEM 解析結果

#### 3.2 動的 FEM 解析による測定結果について

2.2 の材料特性から逆算した弾性波速度は、コンクリート供試体が 3810m/s、水が 1581m/s となる。この弾性波速度とモデル厚さ 300mm から式 1 より、厚さを示す周波数は 6.35kHz となる。動的 FEM 解析結果による周波数は、コンクリートモデルのみの場合、6.13kHz となり、式 1 から測定厚さは 310mm となり、モデル厚さと一致した。

コンクリートモデル背面に水モデルがある場合の周波数は、実測と同様に厚さを示す 6kHz 付近よりも低い周波数成分が観測された。図 4 に示すようにコンクリートモデルと水モデルとの境界で透過波が発生し、実測と同様に背面の水の影響を受け、周波数が低下しているが、実測ほど周波数の低下がみられない。出力した速度波形の減衰に着目すると、コンクリートモデル背面に水モデルの有無で違いがみられない。これは、今回は 2 次元モデルで計算したので水への透過による影響が現れにくくなっていると推測される。

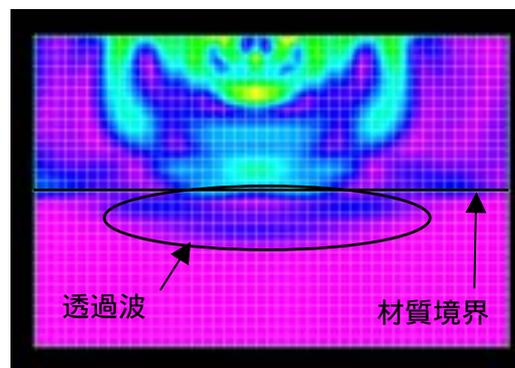


図 4 動的 FEM 解析による縦弾性波の挙動

### 4. まとめ

衝撃弾性波法による厚さ測定において、背面が水に密着している状態で測定および動的 FEM 解析を行った。背面に水がない場合は、実測と動的 FEM 解析結果は実際厚さと一致した。背面に水がある場合では、実測と動的 FEM 解析結果は、周波数低下の傾向はみられるが、動的 FEM 解析のモデルを 2 次元と計算したため、透過波による速度波形の周期・減衰が大きく、ノイズがなくなる等の影響は出なかった。

実際に現場等で測定を行う場合は、測定された波形の周期、減衰ズ等を他の測点と比較を行い、測定された厚さを吟味する必要があると考えられる。