

# 非破壊試験によるコンクリート品質、厚さ、鉄筋の計測に関する研究

## その4 弾性波法による測定方法について

NDT Measurement of Qualities, Thickness, Diameter and Cover of Bars in RC Members  
Part4 Introduction of Measurement Method by Elastic Wave Method

伊藤建設(株) 岩野 聡史  
アプライドリサーチ(株) 境 友昭

### 概 要

鋼球打撃により発生する弾性波を接着したセンサーで受信して、鉄筋コンクリートの厚さを計測する弾性波法を紹介する。受信振動は、表面を伝搬する表面波と内部に伝搬して多重反射する反射波の合成振動であり、反射波の振動数から厚さは推定される。単純に合成振動のパワースペクトルを求める方法は表面波の影響を受け、正しい値が得られない場合がある。反射波の振動数を抽出する解析方法は色々と考えられるが、本文では初期波形を基準とする自己相関関数を用いて反射波振動数を求める方法について述べる。厚さ 10cm ~ 250cm の供試体を用いて厚さを計算した結果、平均誤差は 4.2%であった。

キーワード：コンクリート厚さ測定、弾性波法、鋼球打撃、自己相関関数

### 1. まえがき

コンクリート板を鋼球で打撃すると表面を伝搬する表面波と内部を多重反射する弾性波が発生する。両者の合成振動をコンクリートにセンサーを接着して測定する。鋼球打撃法では、表面が劣化しているトンネル等のコンクリート構造物でも特別の表面処理をせずに信号を発信・受信できる特長がある。

### 2. 測定方法

測定状況を図1に示す。コンクリート表面を直径 8mm ~ 76mm の鋼球で打撃し、発生した弾性波を 50mm 離れた点のセンサーで受信する。合成振動から反射波を抽出できれば、厚さは  $D = V_p / 2f_0$  ( $V_p$ : 反射波速度、 $f_0$ : 反射波振動数) により計算できる。供試体は、厚さが 17 ~ 28cm とくさび状に変化する RC 板、厚さ 10, 20, 40, 60cm の RC 板、および長さ 120, 220, 250cm の長手方向である。

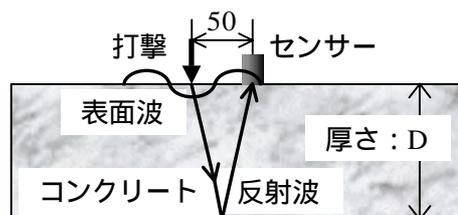


図1 測定状況

測定状況を図1に示す。コンクリート表面を直径 8mm ~ 76mm の鋼球で打撃し、発生した弾性波を 50mm 離れた点のセンサーで受信する。合成振動から反射波を抽出できれば、厚さは  $D = V_p / 2f_0$  ( $V_p$ : 反射波速度、 $f_0$ : 反射波振動数) により計算できる。供試体は、厚さが 17 ~ 28cm とくさび状に変化する RC 板、厚さ 10, 20, 40, 60cm の RC 板、および長さ 120, 220, 250cm の長手方向である。

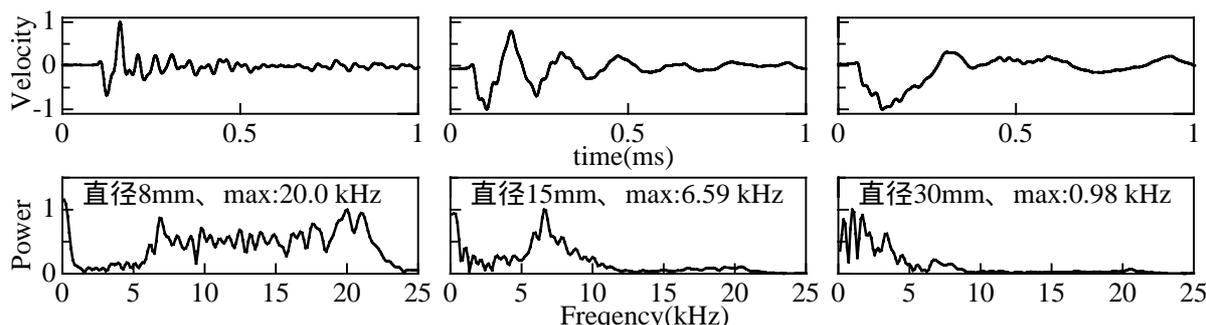


図2 各鋼球直径での速度波形(上図)とパワースペクトル(下図)

### 3. 測定結果

厚さ 30cm の RC 板を直径 8, 15, 30mm の鋼球で打撃した時の速度波形とパワースペクトルを図 2 に示す。速度波形の周期は打撃する鋼球の直径が大きくなると長くなり、パワースペクトルの最大振動数は直径 8mm : 20.0kHz、15mm : 6.59kHz、30mm : 0.98kHz と変化した。このように合成振動は表面波の影響を強く受ける。表面波の振動数は、鋼球とコンクリートのヤング率、密度、ポアソン比が既知であると、ヘルツの理論によって鋼球直径に比例することが明らかにされている。一方、反射波の振動数は板の上端下端を往復する多重反射に起因するので厚さによって決まる。観測した弾性波の振動は、鋼球直径に比例して変化する表面波と板の厚さに比例する固有の多重反射波とが合成した振動である。すなわち、合成振動は、鋼球質量に比例するエネルギーの大きい表面波に、コンクリートの厚さに起因する小さい多重反射波が混合したものである。これはコンクリートを小さいハンマーと大きいハンマーで打撃すると高音低音と違って聞こえることでも分かる。

さて、反射波は減衰するものの、系が線形であることから波形情報が保持される。すなわち、表面波と同じ周波数成分を持つ波形が弾性波としてコンクリート底面で反射し再度表面に到達することになる。従って、反射波の往復時間（反射波の振動数）と表面波の振動数が一致している場合、振動の初期部分を基準とした自己相関関数は反射波の到達で大きくなる。しかし、両者の振動数が一致しない場合、反射波が往復しても、反射波が保有する弾性波と表面波との波形が一致せず、相関係数は高くなる。

各鋼球直径で自己相関関数を求めた結果を図 3 に示す。直径 8mm では、相関係数は 0.3 程度と大きくなる。直径 30mm では、鋼球とコンクリートが接触している間に反射波が戻ってくるため周期が長くなる。直径 15mm では、周期一定で相関係数も大きいので反射波の振動数と一致した鋼球と判断できる。この自己相関関数を FFT し、反射波の振動数を求めると 6.84kHz となる。反射波速度を 4000m/s と仮定して厚さを計算すると実寸 30cm に対して、29.2cm と良く一致した結果となった。

実寸法と計算値を比較した結果を図 4 に示す。誤差の平均値は 4.2% であった。

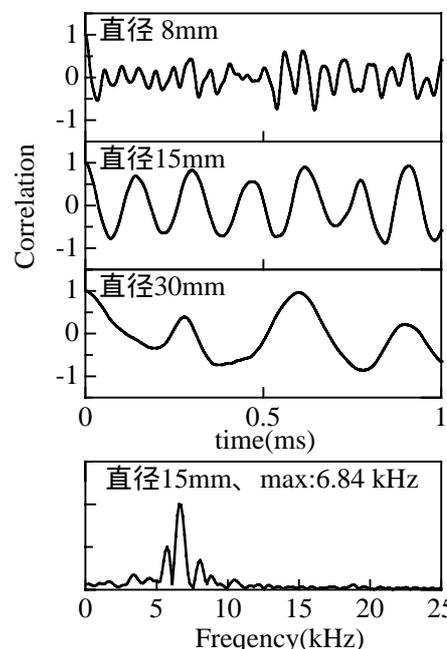


図 3 自己相関関数とスペクトル

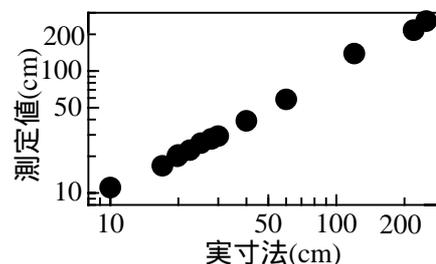


図 4 測定値と実寸法との比較

### 4. まとめ

鋼球打撃による弾性波法は、弾性波の発信受信が容易であるので、現地コンクリートの測定に有利である。しかし、鋼球質量の影響を考慮しないと厚さの測定が間違える場合がある。自己相関法により厚さを測定した結果、平均誤差は 4.2% となった。

最後に、本研究に際しご指導いただいた東海大学助教授 極檀邦夫先生に感謝します。