

衝撃振動法による現地大型鉄筋コンクリート構造物の厚さの計測

伊藤建設(株) 正会員 岩野 聡史
 (株)大本組 正会員 関根 浩次
 東海大学 正会員 極壇 邦夫

1. はじめに

コンクリート構造物の安全性が問われ、厚さ測定、劣化診断などの施工後の維持管理が要求されている。本研究では、鋼球打撃で発生する弾性波動を解析する衝撃振動法により、非破壊的に鉄筋コンクリート構造物の厚さを計測する研究をしている¹⁾。鋼球で打撃すると表面劣化の影響を受けずに弾性波動を与えられること、基本振動数は数 kHz であるため粗骨材・鉄筋の影響が小さいことから、現地構造物での測定に衝撃振動法を採用している。今回は厚さ 80cm、200cm、250cm の現地構造物を測定した。弾性波動は線形的な減衰波動と言えるので、厚さ 100cm 以上を往復した弾性振動は振幅が微弱となる。そこで、減衰しても弾性波動の周期性は保持されことに着目し、自己相関関数を用いる解析方法を考案したので報告する。

2. 測定方法

測定した構造物の概要を図 1 に示す。U 型擁壁の底版 200cm とボックスカルバートの底版 250cm との中仕切壁 80cm で測定した。測定状況は、表面にセンサー (ENDEVCO : 2225、測定振動数 : 20kHz、共振振動数 : 90kHz) を貼付け、10cm 離れた点を質量 1790g の鋼球で打撃する。発生した振動をセンサーで検知し、A/D 変換 (12bit) で記録する。サンプリングクロックは 10 マイクロ秒、データ数は 512 個である。

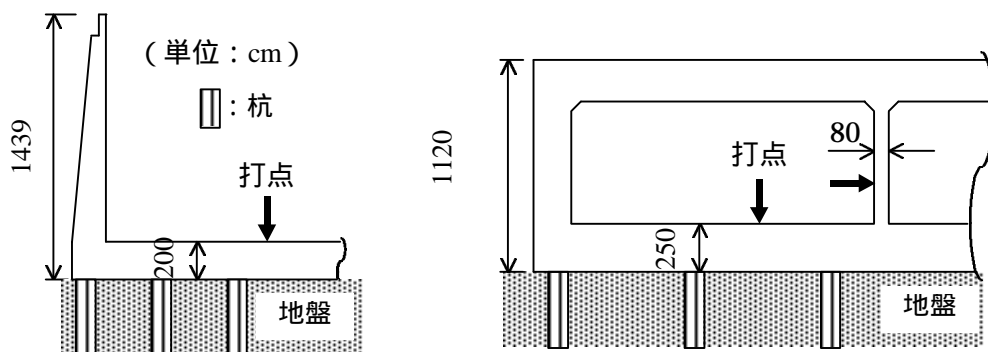


図 1 測定構造物 U型擁壁 (左図) ボックスカルバート (右図)

3. 従来の解析方法での問題点

図 2 に測定波形と測定波形の FFT 結果を示す。FFT 結果では、全測定物とも振動数 2kHz 付近で最大となり、反射波速度 V_p を 3800m/s と仮定し、厚さを $D = V_p / (2 \times F_{max}) \dots$ (式 1) により計算すると、U 型擁壁底版 (実寸 200cm) では 113cm、ボックスカルバート底版 (250cm) では 119cm と大きく異なった。鋼球打撃

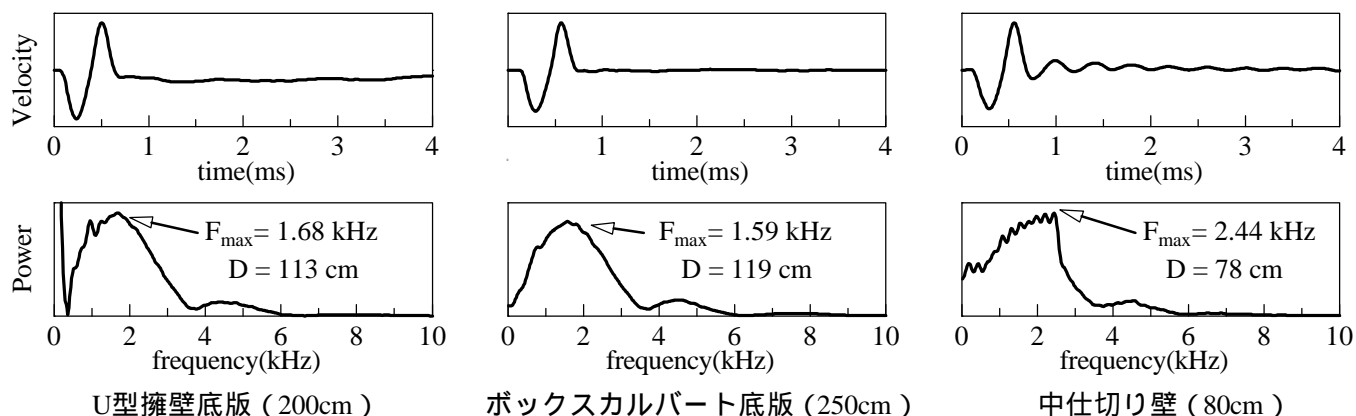


図 2 測定波形 (上図) と測定波形のFFT結果 (下図)

キーワード : 非破壊検査、鉄筋コンクリート構造物、厚さ計測、衝撃振動法、自己相関関数

連絡先 : 〒143-0015 東京都大田区大森西 1-19-1 TEL 03-5762-2058 FAX 03-3765-5190 E-mail siwano@itoken.co.jp

により発生する振動は、表面を伝播する表面波と内部に伝播する反射波が混合したものである。図2の速度波形によると、厚さに関係無く、初期波形は同一の周期約 0.6ms の正弦波である。これから、初期波形は鋼球質量により周期が決まる表面波と言える。また、反射波が混入する後半の波形では、減衰が大きく振幅が微弱である。従って、測定波形を単純にフーリエ変換する方法では、エネルギーの大きい初期波形（表面波）の影響を受け、厚さ測定に必要な反射波を抽出することは困難である。

4. 自己相関関数を用いた測定方法及び測定結果

反射波は線形的な減衰振動と言えるので、エネルギーは微弱となるが初期波形の周期性を保持しながら内部に伝播する。従って底面・表面では、反射波が到達した時間では初期振動と同じ周期性の振動が観測されると考えられる（図3）。そこで、ある時間差 τ について、振動の初期区間 $y(t)$ と 後の区間 $y(t+\tau)$ 、両者の振幅を標準化によりほぼ一致させ、相関係数を求めると（自己相関関数）、反射波が到達した時間では類似度を示す相関係数が極大となる。逆に言えば、相関係数が極大となる時間差 τ_0 が反射波の到達時間となる。

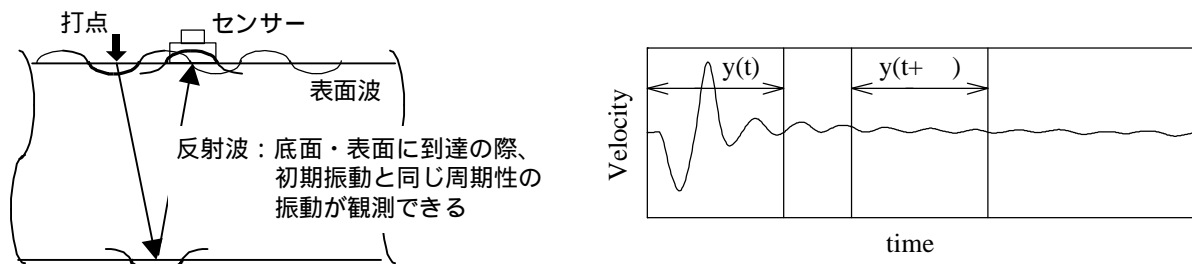


図3 発生振動の模式図（左図）と自己相関関数の求め方（右図）

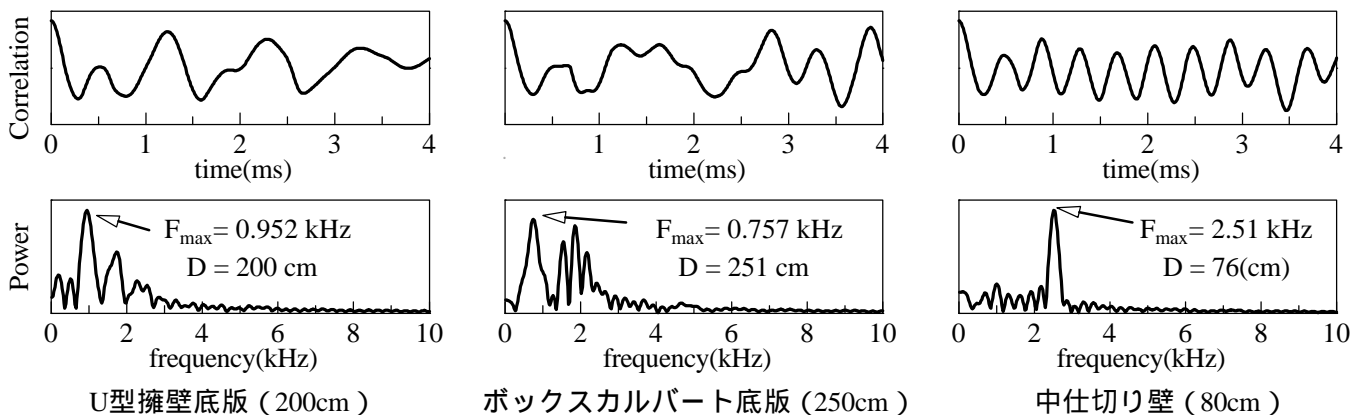


図4 自己相関関数（上図）と自己相関関数のFFT結果（下図）

自己相関関数を求めた結果を図4上に示す。U型擁壁底版では約 1.2ms 秒後に極大となった。この時間が前述の通り反射波が到達した時間である。その後、自己相関関数は約 2.3、3.3ms と周期的に極大となっている。これから、反射波はコンクリート内部で多重反射を繰り返していることが分かる。この自己相関関数波形をFFTすると、多重反射波の往復時間を正確に求めることができる。図4下にFFT結果を示す。U型擁壁底版（実寸 200cm）では振動数 0.952kHz の時に最大となり、（式1）で厚さ D を計算すると $D = 200\text{cm}$ となり、実寸と一致した。ボックスカルバート底版（250cm）では、 $F_{max} = 0.757\text{kHz}$ より 251cm、中仕切壁（80cm）では $F_{max} = 2.51\text{kHz}$ より 76cm と非常に良く一致した結果となった。

5. まとめ

測定結果を総括すると、衝撃弾性波は線形的な減衰振動である。従って、測定波形を単純にFFTする従来の解析方法では、初期波形が重視されるので厚さ 80cm 以上での測定は困難である。自己相関関数を用いた解析方法は、反射波の線形性が保持されていれば、波形が大きく減衰していても初期波形と後半の測定波形との類似度を比較して、周期性を抽出できる方法である。この方法による結果は、実寸 200cm で測定値 200cm、実寸 250cm で 251cm、実寸 80cm で 76cm と非常に良く一致した。