

# 衝撃振動法による現地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

鉄筋コンクリート構造物を鋼球で打撃し、弾性波振動を解析して厚さを非破壊的に計測する方法の研究をしている<sup>1)</sup>。超音波法での発信信号と比較して、衝撃による弾性波の基本振動数は数 kHz であるので波長が長くなる。そのため、粗骨材・鉄筋の影響は微少で波動の減衰も小さい。超音波法では測定が難しいとされる 100cm を超える現地の大型鉄筋コンクリート構造物を対象として、パワースペクトルと同価といえる自己相関関数ならびに相互相関関数を解析し、厚い RC 板の計測法を考案する目的で実験した。

## 2. 測定方法

測定した逆 T 型擁壁の概要を図 1 に示す。厚さ 130cm の側壁と 170cm の底版で測定した。測定状況は図 2 に示すように、表面に 3 つのセンサー P1、P2、P3 (ENDEVCO ; 2225、測定 f ; 20kHz、共振 f ; 90kHz) を 30cm 間隔で貼付け、直線上で P1 より 10cm 離れた点を質量 1080g、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 変換装置 (12bit) で記録する。サンプリングクロックは 4 マイクロ秒と 10 マイクロ秒である。

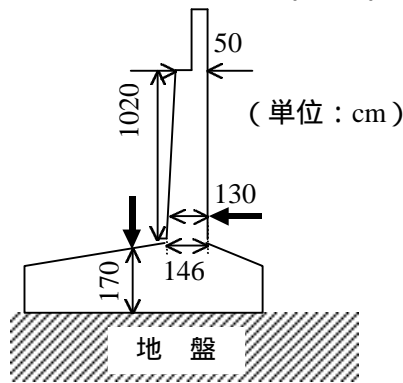


図 1 逆 T 型擁壁 (断面図)

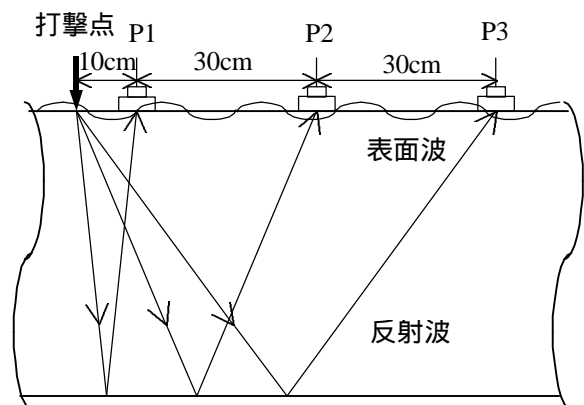
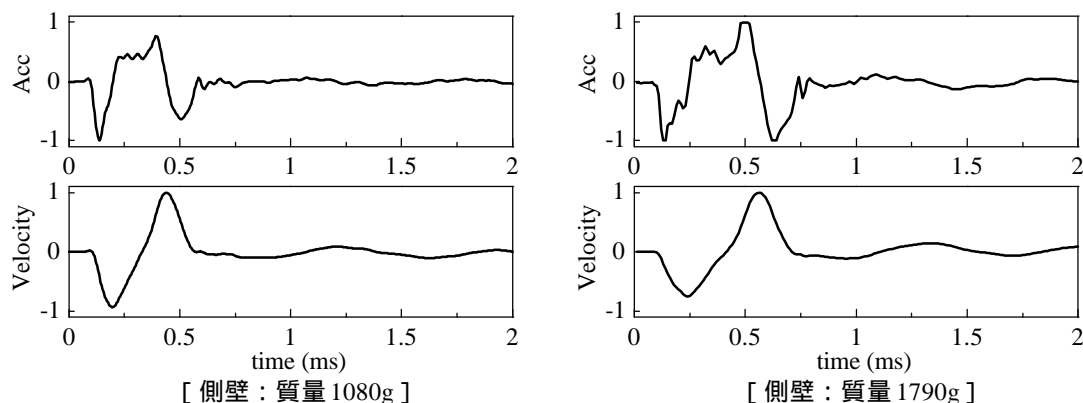


図 2 測定状況

## 3. 測定結果

図 3 に側壁を打撃した時の P1 の加速度波形とそれを積分して求めた速度波形を示す。速度波形では、両質量とも初期部分に正弦波に近い振動が発生し、ほぼ一周期後に振動は減衰している。初期部分の周期は質量 1080g で約 0.5ms、1790g で約 0.6ms と鋼球質量により変化している。振動は表面を伝播する表面波と内部を伝播する反射波の複合弾性波であり、表面波の周期は打撃する鋼球の質量により決まり、反射波は厚さによって決まる。これから初期部分はほとんどが表面波であることが分かる。厚さの計測に必要な反射波は、後



[側壁：質量 1080g]

[側壁：質量 1790g]

図 3 加速度波形 (上图) と速度波形 (下图)

キーワード：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、相互相関関数

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

半部分に到達していると予測されるが、振動は減衰しているので、FFTによるパワースペクトルから反射波を抽出することは困難である。

発生した振動の反射波が往復し表面に到達すると、打撃時の振動と同じ振動が再び発生すると考えられる。この性質を利用して反射波の到達時間を計測するため自己相関関数を利用する。自己相関関数は、振動  $y(t)$  と、ある時間遅れ  $\tau$  での振動  $y(t+\tau)$  を標準化して比較し、類似度を計算するものである。反射波の到達により打撃時と同じ振動が発生すれば、その時間での相関係数は大きくなると考えられる。逆に言えば、相関係数の大きくなる時間が反射波の到達時間である。また、この解析方法では比較の際に、 $y(t)$  と  $y(t+\tau)$  を標準化するので、図3に示したように振動が減衰していても影響は受けない。

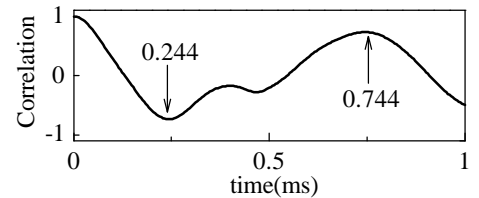
図4に図3の速度波形の自己相関関数を求めた結果を示す。相関係数が最小となる時間は、質量1080gでは約0.25ms、1790gでは0.33msと各鋼球質量での表面波の半周期分である。これは振動の前半部分は表面波で半周期後に位相が反転することを示している。係数が最大となる時間は質量に関係なく約0.74msと一致した。この時間が、鋼球質量に関係なく厚さによって決まる反射波の到達時間である。

図5に側壁を質量1080gで打撃した時のP1の速度波形と、測定点P1、P2、P3の速度波形との自己・相互相関関数を求めた結果を示す。最初のピーク時間は0、0.160、0.312msと大きく変化するが、第2ピークは0.744、0.764、0.812msとあまり変化しない。表面波と反射波の経路長を比較すると、表面波の経路長はP1=10cm、P2=40cm、P3=70cmとなる。一方、反射波の経路長は  $\sqrt{l^2 + 4d^2}$  ( $l$ : 測定点、 $d$ : 厚さ) であり、P1=260cm、P2=263cm、P3=269cmとあまり変わらず、表面波と比較して反射波では測定点による到達時間の変化は小さい。これから、第2ピークは反射波の到達時間を示していることが分かる。次に解析時間を長くした図6では、第2、3、4ピークでの時間は反射波の経路長に対応しているので、これらは複数回内部で往復した反射波の到達時間である。従って、反射波は第2、3、4ピークで反射を繰り返す多重反射波であることが分かる。

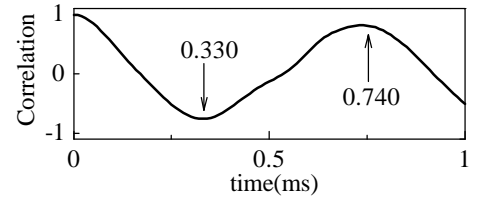
反射波の到達時間  $T_p$  が求めると厚さ  $d$  は反射波速度  $V_p$  を用いて  $d = \sqrt{V_p^2 \cdot T_p^2 - l^2} / 2$  で計算できる。質量1080gの場合、P1で  $l = 0.1$  m、 $T_p = 7.44 \times 10^{-4}$  s となり、反射波速度を3800m/sと仮定すると側壁では  $d = 141$  cm (実寸130cm)、底版ではP1で  $T_p = 9.8 \times 10^{-4}$  s となり、 $d = 186$  cm (実寸170cm) となった。

#### 4. まとめ

著者らが提案した50cm以下のRC板を対象とするパワースペクトルの平均化と位相差により板の共振振動数を求める衝撃振動法の適用は難しい。現地の厚い鉄筋コンクリート擁壁では振動の減衰が大きいが、各時間での振動を標準化する自己・相互相関関数を用いた解析により減衰の影響を軽減でき、衝撃振動から反射波を抽出できた。厚さの計測誤差は、実寸130cmの側壁で141cm、170cmの底版で186cmである。今後は、多重反射での時間差を検討し、反射波速度と厚さを同時に計測できる方法を検討する計画である。



質量1080g [側壁]



質量1790g [側壁]

図4 自己相関関数

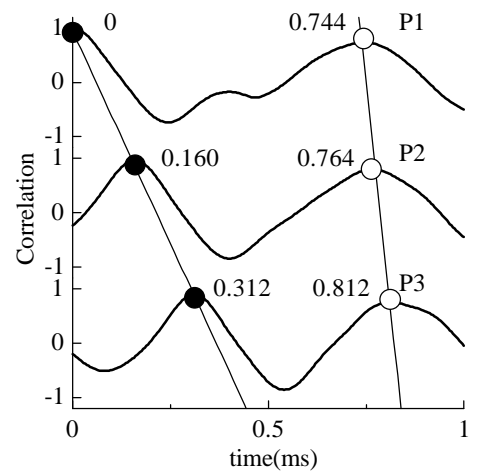


図5 各測定点でのピーク時間比較 [側壁: 質量1080g、0~1ms]

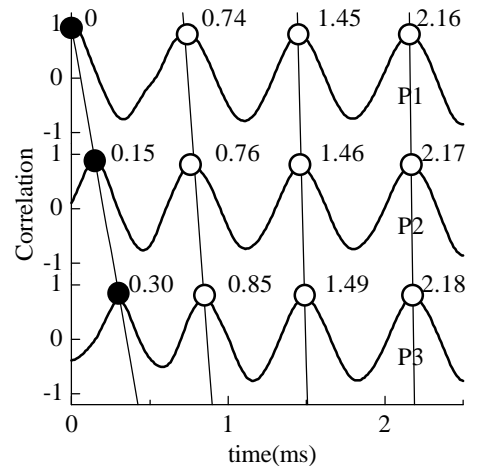


図6 各測定点でのピーク時間比較 [側壁: 質量1790g、0~2.5ms]