

熊本大学大学院 学生会員 渡辺 健
熊本大学工学部 正会員 大津 政康

はじめに

コンクリート構造物の弾性波法の一つにインパクトエコー法¹⁾がある。インパクトエコー法は、現在トンネルの欠陥調査において広く行われている打音法に類似した手法で、衝撃力を作用させることにより弾性波を入力し、センサにより検出した弾性波の周波数スペクトルのピーク周波数から内部欠陥の位置を判断する。このとき得られた周波数スペクトルは、理論的には計測器・衝撃力・コンクリート構造物のそれぞれの周波数スペクトルの合成積である。よって外力を作用させる衝撃力の周波数成分が、検出される弾性波の周波数スペクトルに大きな影響を与える。そこで本研究では、衝撃力の周波数成分を決定する手法の開発を試みた。

1. 実験概要

半無限弾性体に瞬間的に作用する集中力により発生する弾性波動は、Lamb の問題として古くから知られている。そこで、半無限弾性体のモデルとして $250 \times 250 \times 50\text{mm}$ のコンクリート供試体を作成した。予備試験の結果、P 波の伝播速度 v_p は 4348m/s であり、ポアソン比は 0.2 であった。供試体の配合を表-1 に示す。

この供試体に鋼球 2 種類・アルミ飛翔体・インパルスハンマーにより 4 種類の衝撃力を入力し、入力された弾性波を加速度計により検出した。また計測波形を FFT 処理することにより周波数スペクトルを求めた。実験の概要を図-1 に、使用した衝撃力を表-2 に示す。

ここで鋼球による衝撃入力では、次式で与えられる接触時間 T_c が周波数成分を決定する²⁾。

$$T_c = [5.97 \{ \rho (\delta_p + \delta_s) \}^{0.4} R] / H \quad (1)$$

$$\delta_p = (1 - \nu_p^2) / (\pi E_p), \quad \delta_s = (1 - \nu_s^2) / (\pi E_s)$$

ρ は鋼球の密度 (kg/m^3)、 R は鋼球の半径 (m)、

H は落下高さ (m)、 ν_p と E_p は落下面材料のポアソン比と弾性係数 (Pa)、 ν_s と E_s は鋼球のポアソン比と弾性係数 (Pa) である。この場合接触時間 T_c の衝撃力に対して入力周波数の上限として

$$f_{\max} = 1.25 / T_c \quad (2)$$

が導かれる。直径 4.8mm、11mm の鋼球を使用した場合、上限周波数は予備試験及び式(1)、(2)よりそれぞれ 44kHz、19kHz であった。

表-1 コンクリートの配合表

最大粒径 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	W (kg/m^3)	C (kg/m^3)	S (kg/m^3)	G (kg/m^3)
10	50	48	172	344	830	1021

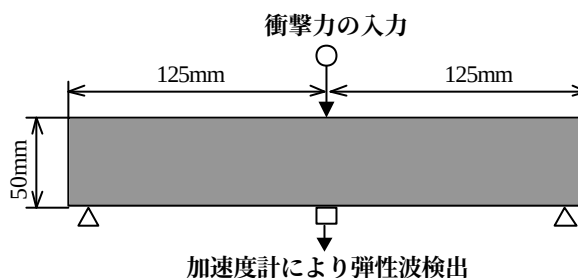


図-1 衝撃力の入力実験の概要

表-2 実験に使用した衝撃力の種類

衝撃力	概要
鋼球 2 種類	直径 4.8mm、直径 11mm
アルミ飛翔体	直径 10mm、長さ 20mm
インパルスハンマー	PCB PIEZOTRONICS 社製

キーワード：インパクトエコー法、衝撃力、周波数スペクトル、Lamb 解、逆合成積

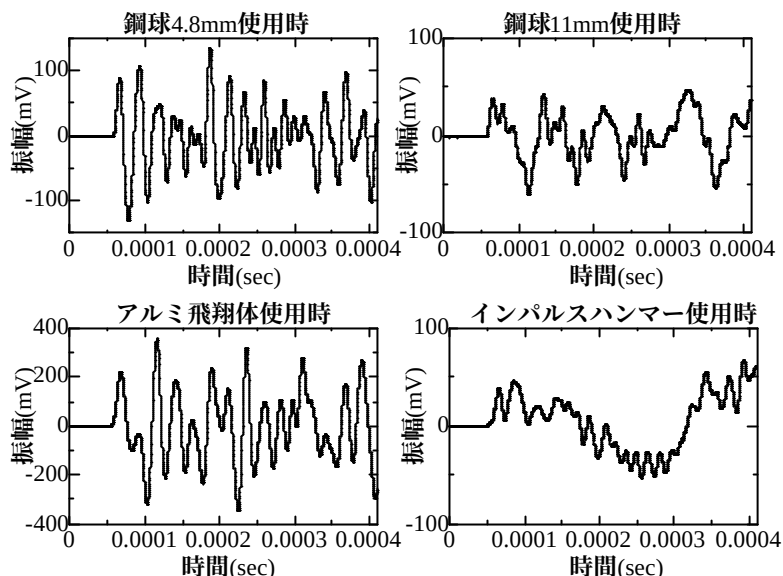
〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1 電話：096-342-3542 FAX：066-342-3507

2. 解析手法

本実験で計測した波形の周波数スペクトルは計測器・衝撃力・供試体のもつ周波数スペクトルの合成積である。そこで、半無限弾性体に対する内部パルスの Lamb 解³⁾を求め、実験より得られた周波数スペクトルを逆合成積することにした。この場合に、計測波形の周波数スペクトルを $F(f)$ 、衝撃力の周波数スペクトルを $I(f)$ 、Lam 解による周波数スペクトルを $L(f)$ とすれば、

$$I(f)=F(f)/L(f) \quad (3)$$

と、入力スペクトルは周波数領域の逆合成積で表すことができる。

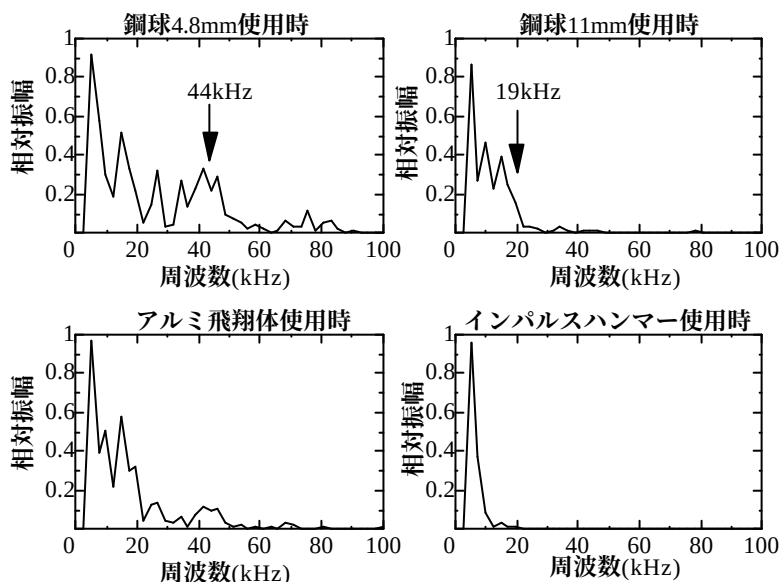


図－2 計測波形

3. 結果及び考察

実験により得られた計測波形を図－2 に示す。2 種類の鋼球を使用した波形を比較すると、直径が小さい 4.8mm の方が周期が短く、高い周波数成分を持っていることがうかがえる。アルミ飛翔体では、鋼球 4.8mm の結果と同程度の周期をもっており、周波数成分もほぼ同様であると考えられる。インパルスハンマーでは、短い周期と長い周期が混在している。

次に逆合成積した周波数スペクトルを図－3 に示す。鋼球 4.8mm での結果では、図より上限周波数が 40～50kHz 程度であり、鋼球 11mm では上限周波数が 20kHz 程度であった。これは図中の矢印で示す式(1)、(2)より求めた値とほぼ一致しており、衝撃力



図－3 周波数スペクトル

の周波数成分を逆合成積により解析する手法の有効性が確認された。また、アルミ飛翔体の結果では上限周波数が 30～40kHz 程度、インパルスハンマーの結果では 10kHz 程度の周波数成分を持つことが明らかとなった。これより衝撃力の違いが周波数成分に大きく影響することが確認できた。インパクトエコー法では、共振周波数 f_r の検出が対象であるので、衝撃力の周波数成分が f_r をカバーしていなければ検出不能である。それゆえ、衝撃力の選定は重要であると考えられ、その特性決定の手法が開発できたと考えられる。

参考文献

- 1) Sansalone, M.J. and Streett, W.B. : Impact-Echo, Bullbrier Press, Ithaca, N.Y. ,1997
- 2) 白鳥雅也、松貝勇、岡村雄樹：軽い衝撃を受けるコンクリート部材の応答解析、コンクリート工学年次論文集、Vol.14、pp.679-684、1992.6
- 3) 丹羽義次、小林昭一、大津政康：アコースティック・エミッションの発生機構に関する考察、土木学会論文報告集、No.314、pp125-136、1981.10