

SIBIE 法における弾性波入力装置の小型化に関する研究

熊本大学工学部社会環境工学科
富士ピー・エス
日本工営
熊本大学大学院自然科学研究科

学生会員 ○永井 勇輔
正会員 山田 雅彦
正会員 園田 崇博
フェロー会員 大津 政康

1. はじめに

ポストテンション方式のプレストレストコンクリート（以下、PC とする）構造物において、PC グラウトの充填不良は、PC 鋼材の腐食・破断を招き、構造物の耐久性の低下をもたらす原因となるため、変状が発生する前に明らかにすることが必要となる。

そこで現在、PC グラウト未充填部を検出する方法として、非破壊検査法の一つである SIBIE (Stack Imaging of spectral amplitudes Based on Impact Echo)¹⁾を研究・開発し、作業空間が狭隘な現場にも対応するため弾性波入力装置の小型化を行っている。本研究では従来の弾性波入力装置の問題点を明らかにし、装置の小型化・性能の向上を図った結果を報告する。

2. Lamb 解²⁾を用いた衝撃スペクトルの導出

動弾性問題において、時間に関してデルタ関数的に作用する力に対するグリーン関数を $G(x, y, z)$ 、点 y に作用する集中力を $f(y, t)$ とすると、表面上での点 x での変位 $u(x, t)$ は、次のように表される。

$$u(x, t) = G(x, y, t) * f(y, t) \quad (1)$$

上式の G は時間に関してデルタ関数的に作用する力に対するものであり、それを以下では G^H とし、その場合の表面上の点 x での変位 $u(x, t)$ は次のようになる。

$$u(x, t) = G^H(x, y, t) * \frac{df}{dt}(y, t) \quad (2)$$

これらを周波数領域で考え、 $u(x, t)$ 、 $G^H(x, y, t)$ 、 $df/dt(y, t)$ のフーリエ変換後をそれぞれ $U(f)$ 、 $LG(f)$ 、 $DF(f)$ とすると、式(2)は周波数領域の合成積として次のように表される。

$$U(f) = LG^H(f) \cdot DF(f) \quad (3)$$

$f(y, t)$ が完全なステップ関数であり $df/dt(y, t)$ がデルタ関数的に完全なインパルスの場合、 $DF(f)$ は一定となる。その場合には、変位波形のフーリエ変換 $U(f)$ は、半無限体のインパルス応答の $LG(f)$ と同等になり、 $U(f)$

は弾性波の伝播経路の情報のみからなる。

このとき式(3)を微分することで得られる衝撃力の周波数成分 $D^2F(f)$ は、周波数領域の逆合成積として次式のように表される。

$$D^2F(f) = \frac{V(f)}{LG(f)} \quad (4)$$

また、衝撃力の周波数スペクトルは上の式から導出される次の式によって求められる。

$$F(f) = \frac{D^2F(f)}{(i2\pi f)^2} \quad (5)$$

本研究においては、板状のコンクリート供試体を半無限弾性体とみなし、これに衝撃力を与える実験を行い波形を計測し、インパルス応答である G^H は、数値解析により Lamb の問題を解いて求めた。これらを用いて衝撃力の周波数成分 $F(f)$ を求めた。

3. 従来の入力装置

これまでの SIBIE による PC グラウト未充填の評価には、写真-1 に示すような長さ 17mm 径 8mm のアルミ飛翔体を、写真-2 の入力装置により空気圧 0.05MPa で発射し、検査対象に衝撃を与え弾性波入力を行っていた。アルミ飛翔体による入力は、鋼球より幅広い周波数成分を持ち、十分な振幅が得られるとされている³⁾。従来の衝撃入力による周波数スペクトル $F(f)$ を図-1 に示す。

しかしながらこの入力装置の問題点として、装置が大がかりであること、測定点が多い場合は測定時間を要することの 2 点が挙げられていた。



写真-1 アルミ飛翔体



写真-2 従来の入力装置

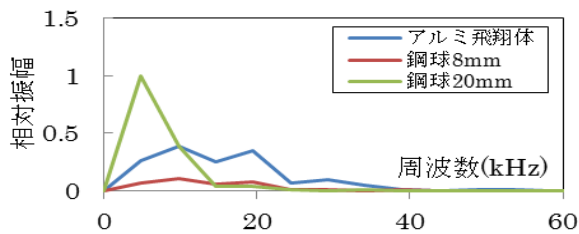


図-1 従来の入力装置の周波数スペクトル

4. 実験・解析概要

現場仕様に向けて持ち運びが容易であるように、小型のバネ式の弾性波入力装置を開発した(写真-3)。また、アルミ飛翔体より高周波かつ振幅が大きいと期待されるチタン飛翔体(写真-4)を使用し、比較を行った。Lamb 解に基づいて衝撃力を評価するにあたり、直方体供試体(400mm×400mm×100mm)にてインパクトエコー法⁴⁾でレーザー振動計を用いて速度波形 $v(t)$ を計測した。衝撃入力は供試体上部中央にて、バネの復元力を利用した図-2の寸法のアルミ飛翔体およびチタン飛翔体を用いて行った。検出は図-3に示すように、反対面の底面にて行った。得られた速度波形 $v(t)$ およびLambの問題によって得られるLamb 解 $G^H(t)$ をFFT処理することによって求められる $V(f)$ 、 $LG_H(f)$ を式(4)に代入し $D^2F(f)$ を求め、積分することにより $F(f)$ を得た。



写真-3 バネの復元力を利用した衝撃入力装置

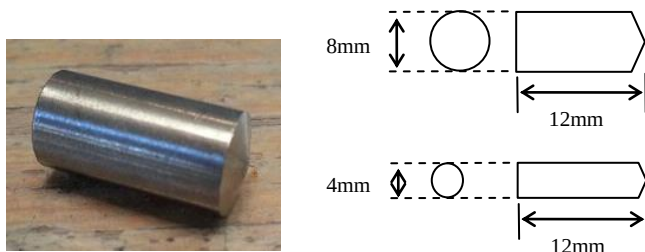


写真-4 チタン飛翔体

図-2 飛翔体寸法

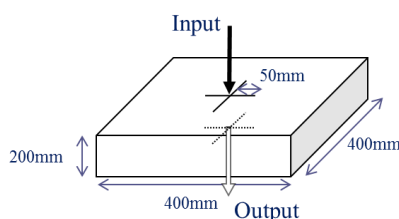


図-3 解析モデル

5. 実験結果および考察

レーザー振動計で得られた計測波形 $v(t)$ をFFT処理して求めた $V(f)$ 及びLamb 解 $LG^H(f)$ を用いて得られた周波数スペクトル $F(f)$ を図-4に示す。

アルミ 4mm と 8mm およびチタン 4mm と 8mm の周波数スペクトルはそれぞれ 0~10kHz, 0~20kHz, 0~20kHz, 0~30kHz 程度である。チタン飛翔体 8mm はアルミ飛翔体 4mm と 8mm に比べて幅広い周波数領域を持っており、振幅が大きいことが確認された。従来の入力装置の周波数スペクトル(図-1)と比較すると、空気圧を用いて入力を行っていたアルミ飛翔体に比べ、バネの復元力を用いたチタン飛翔体の 8mm は十分幅広い周波数領域を持ち、振幅が大きいことが確認された。

また、従来の入力装置よりも小型化された、バネの復元力を利用した衝撃入力装置を用いることで、測定時間が短縮し、測定効率の向上を図ることができた。

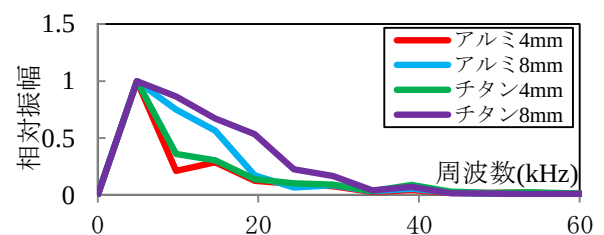


図-4 衝撃入力装置の周波数スペクトル

6. 参考文献

- 1) Masayasu Ohtsu and Takeshi Watanabe : Stack imaging of spectral amplitudes based on impact-echo for flaw detection, NDT & E International, Vol.35, No.3, pp.189-196, 2002.
- 2) Lamb, H. : On the Propagation of Tremors over the Surface of an Elastic Solid, Phil. Trans. Roy. Soc. London, ser. A, Vol.203, pp.1-42, 1904
- 3) 園田崇博, 山田雅彦, 大津政康 : インパクトエコー法における衝撃入力の定量的評価法の開発, コンクリート建造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集 11 巻 pp247-254, 2011
- 4) Mary J. Sansalone, & William B. Streett : Impact-echo, Ithaca, N.Y., Bullbrier Press, 1997