

SIBIE 法における衝撃入力装置の定量的特性評価

熊本大学大学院自然科学研究科 学生会員 ○園田崇博

熊本大学大学院自然科学研究科 学生会員 山田雅彦

熊本大学大学院自然科学研究科 フェロー会員 大津政康

1. 序論

本研究では、半無限弾性体に瞬間的に作用する集中力に対する波動である Lamb 解の周波数スペクトルと半無限弾性体を模した供試体を用いた実験によって得られた周波数スペクトルとの逆合成積から SIBIE 法において用いられるアルミ飛翔体および大きさの異なる 2 種類の鋼球を用いた衝撃入力の定量的評価を行った。

2. Lamb の問題¹⁾

2.1 衝撃応答

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。

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

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(1)は周波数領域の合成積として次のように表される。

$$U(f) = LG^H(f) \cdot DF(f) \quad (2)$$

$f(y, t)$ 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。

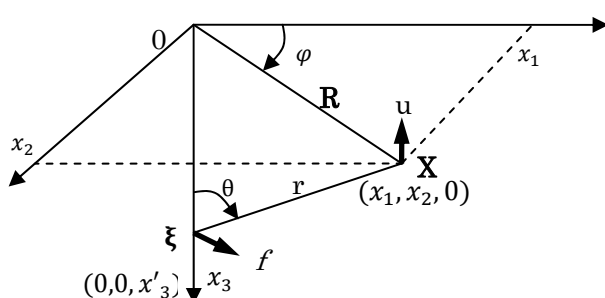


図-1 Lamb 解の座標

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。

$$F(f) = \frac{D^2 F(f)}{(i2\pi f)^2} \quad (3)$$

2.2 Lamb 解

半無限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。図-1 のように半無限弾性体の自由表面を $x_1 - x_2$ 平面とし、弾性体内部に向かって、 x_3 軸をとる。半無限弾性体に対するグリーン関数 G を用いれば、時刻 t による表面上での点 x での変位は、次のようになる。

$$u(x, t) = G^H(x, y, t) * f(y, t) \quad (4)$$

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。

$$u(x, t) = G^H(x, y, t) * \frac{df}{dt}(y, t) \quad (5)$$

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²⁾を解いて求めた。これらを用いて衝撃力の周波数成分 $F(f)$ 、および波形 $f(t)$ を求めた。

3. 実験概要

Lamb 解に基づいて衝撃力を評価するにあたり、図-2 の $400\text{mm} \times 400\text{mm} \times 100\text{mm}$ の直方体供試体にてインパクトエコー法を用いて速度波形を計測した。衝撃入力

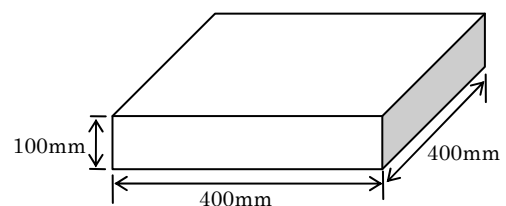


図-2 直方体供試体

キーワード 弾性波, FFT, インパクトエコー法, Lamb 解, SIBIE

連絡先 〒860-8555 熊本県熊本市黒髪2丁目39-1 国立大学法人熊本大学 TEL 096-342-3542

は供試体上部中央にて、アルミ飛翔体および直径 8mm ルスおよび内部パルスモデル化として、それぞれ入力と同一表面上および底面にて行った。

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 $V(f)$ 、 $LG_H(f)$ を以下の式に代入し $D^2F(f)$ を求め、積分することにより $F(f)$ を得た。

$$V(f) = LG(f) \cdot D^2F(f) \quad (6)$$

また、 $F(f)$ をフーリエ逆変換することにより、衝撃力の時間関数である $f(t)$ を得た。

4. 実験結果及び考察

4.1 衝撃力の周波数スペクトル

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-3, 4 に示す。アルミ飛翔体、直径 8mm および 20mm の鋼球の 3 つの入力の持つ周波数スペクトルはそれぞれ 0~40kHz、0~40kHz、0~15kHz 程度であった。アルミ飛翔体および直径 8mm の鋼球は比較的幅広い周波数帯を持っており、アルミ飛翔体は直径 8mm の鋼球に比べて振幅が大きいことが確認された。これまでに SIBIE 解析において計測される波形には 40kHz 以上の周波数成分が多く含まれているが、今回の結果を考慮するとセンサの特性の影響が含まれていることなどが考えられる。

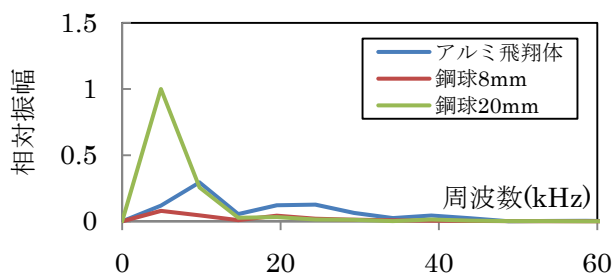


図-3 衝撃入力の周波数スペクトル (Surface)

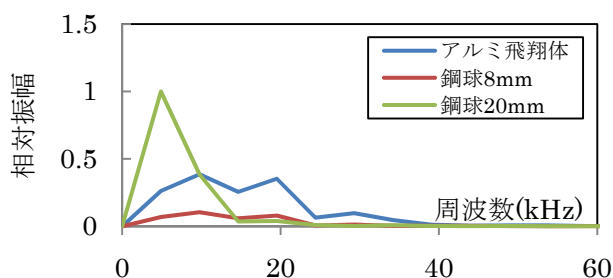


図-4 衝撃入力の周波数スペクトル (Buried)

4.2 衝撃力

鋼球による衝撃力の周波数スペクトル $F(f)$ をフーリエ逆変換して求めた衝撃力 $f(t)$ および式(7)で表される鋼球の接触時間用いた半波長 sine 波によって表される近似波形との比較を図-5 に示す。

$$T_c = \frac{0.0043D}{H^{0.1}} \quad (7)$$

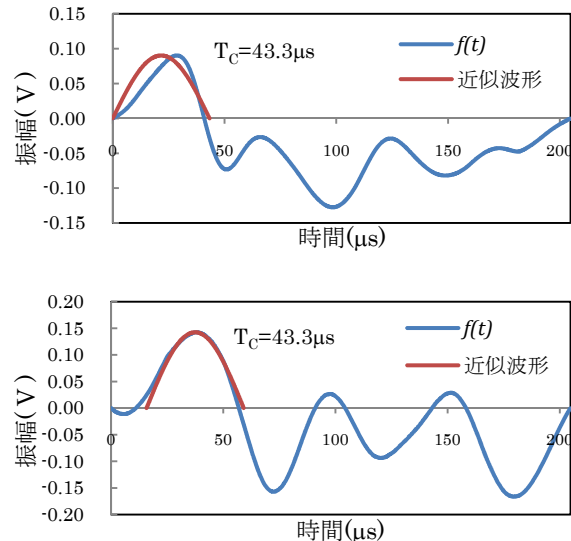


図-5 衝撃力 $f(t)$ と近似波形

すべての場合において $f(t)$ の波形と近似波形がほぼ一致しており、鋼球落下の場合の式(7)の近似式としての妥当性が確認された。

5. 結論

本研究では、Lamb 解を用いて衝撃入力の評価を行い、衝撃力の周波数スペクトル $F(f)$ に関して、アルミ飛翔体は 3 種類の衝撃入力の中で最も幅広い周波数を含んでおり、振幅も大きく、欠陥検出に適していることが明らかとなった。また、実際の入力波形の決定も可能となった。

6. 参考文献

1. Lamb, H. : On the Propagation of Tremors over the Surface of an Elastic Solid, Phil. Trans. Roy. Soc. London, ser. A, Vol203, pp.1-42, 1904
2. Pekeris, C. : The Seismic Surface Pulse, Nat Acad. Sci., 41, pp.469-480, 1955.