

直交異方性板の衝撃応答特性

大同工業大学 正員 ○近藤 八重 , 大同工業大学 正員 水澤 富作

1. はじめに ジョイントを通過する車両や落下物による衝撃応答は、衝撃音や打撃音を発生し、社会的な問題になっている。このような衝撃音の制御や抑制のためには、板の衝撃応答特性を明らかにする必要がある。特に衝撃音問題では、短時間に衝撃力を受ける板の非定常な応答（初期応答）を知ることが重要になる。また、最近では建設用材として木材を扱うことが多くなってきているが、通常等方性板として取り扱う場合が多い。しかし、木材は強い異方性と粘弾性の性質を有し、また含水率や温度によっても材料特性値が大きく変化する。これまでに、木質異方性板の振動解析や動的応答解析に関する研究はいくつか報告されている¹⁾。しかし、異方性板の衝撃応答問題を扱った研究は少なく、その詳細は明らかではない。本文では、Fig.1 に示す周辺単純支持された直交異方性 Mindlin 板の初期応答特性に着目した弾性衝撃応答解析を行い、曲げ波の伝播（位相面）に与える衝撃荷重モデルや接触時間および弾性係数の変動の影響について検討した。

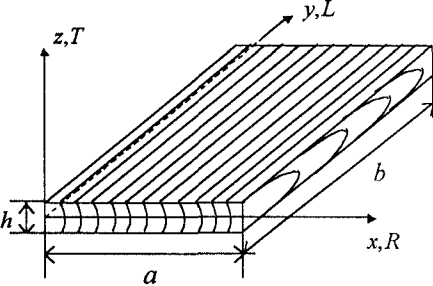


Fig.1 直交異方性板と座標系

2. 解析仮定 ここでは、直交異方性 Mindlin 板理論と固有モード展開法を用いて、以下の解析仮定に基づき式の定式化を行う²⁾。1)板の減衰は考慮しない、2)板は等厚とする。面外荷重を受ける直交異方性 Mindlin 板の運動方程式は、一般化座標 $T_{mn}(t)$ を用いて次式で与えられる。

$d^2T_{mn}(t)/dt^2 + \omega_{mn}^2 T_{mn}(t) = Q_{mn}(t)$... (1)

ここで、 ω_{mn} は円振動数である。変位と速度がゼロの初期条件より、固有モード展開法を用いて解は次式で与えられる。 $T_{mn}(t) = (1/\omega_{mn}) \int_0^t Q_{mn}(\tau) \cdot \sin(t-\tau) d\tau$... (2)

ここで、 $Q_{mn}(t)$ はノルム J_{mn} を用いて次式で表される。

$Q_{mn}(t) = \iint q W_{mn} dx dy / J_{mn}$... (3) ここでノルム J_{mn} は、

$J_{mn} = \iint \{ (\phi x_{mn})^2 I + (\phi y_{mn})^2 I + (W_{mn})^2 \rho h \} dx dy$... (4)

で表され、 $q = \bar{q}(x, y) F(t)$ である。ただし ρ は密度 h は板厚である。衝撃荷重関数 $F(t)$ は、Fig.2 に示す正弦波荷重およびステップ荷重で仮定した。

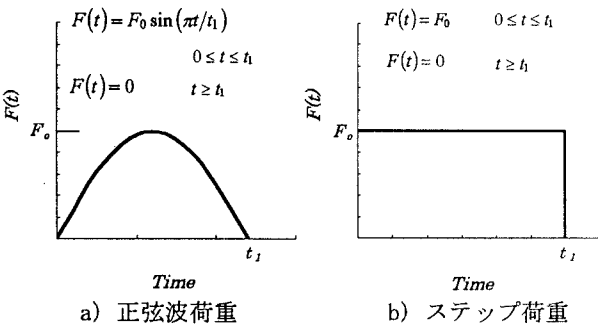


Fig.2 衝撃荷重モデル

3. 数値計算例

周辺単純支持された異方性 Mindlin 板の初期衝撃応答特性に着目し、曲げ波の伝播(位相面)に与える影響を以下の項目について検討した。なお数値計算には、Table.1 に示すシトカスプルー材の材料特性値を用いた。

I) 衝撃荷重モデルの影響 Fig.3 は、正弦波荷重とステップ荷重の集中荷重が板の中央点に作用したときの中央点での変位応答曲線である。ここで、荷重の大きさ F_0 は、板質量 $\times 9.8(N)$ であり、接触時間 t_1 は、0.01sec と仮定している。これより、正弦波荷重を受けた板の変位応答は、除荷後、直ちに定常応答を示しているが、ステップ荷重をかけた場合の変位応答は、高次の振動モードを含む複雑な性状を示している。

Table.1 材料特性値¹⁾

比重	ヤング率 [GPa]			せん断弾性率 [GPa]			ポアソン比	
	E_L	E_R	E_T	G_{LR}	G_{LT}	G_{RT}	ν_{LR}	ν_{LT}
0.39	11.57	0.902	0.500	0.755	0.716	0.033	0.37	0.47

以下の数値計算では、接触問題で用いられる正弦波荷重を用いた結果について示す。

II) 変位応答に与える接触時間の影響 Fig.4 は、板の変位応答に与える接触時間 t_1 の影響を示している。ここで、 $t_1 = 0.0218 \text{ sec}$, 0.0137 sec はそれぞれ板の 1 次と 2 次の周波数から求めた値であり、 $t_1 = 0.017 \text{ sec}$ は、先

の値の中間値を用いた。図より、接触時間が短いほど、接触時間内の初期応答が大きな値を示す。しかしながら、接触時間を板の周波数と一致させて求めた値にすると、除荷後の残留振動の振幅が大きく増幅される。その値は、高次の周波数から求めた接触時間ほど、大きな値を示していることがわかる。このように、衝撃荷重を受ける場合には、接触時間が板の周波数に依存するので、残留振動の振幅の大きさを制御するためには、衝撃荷重の接触時間と板の周波数特性を正確に求める必要がある。

Ⅲ) 弾性係数 E_y の変動の影響 Fig.5には、正方形板の中央点での速度及び加速度応答曲線に与える弾性係数 E_y の変動の影響について示す。ここで、 E_y の値を0.75, 1, 1.25倍と変化させ、 t_1 は、0.01secと仮定した。これより、 E_y の値の変動が音圧と関係する板の速度応答や加速度応答に大きな影響を与えている。特に、弾性係数 E_y が低減すると、初期応答の最大値が増大し、また残留振動の振幅も大きくなる。

Ⅳ) 曲げ波の伝播と位相面 Fig.6は、衝撃荷重を受ける板の各時刻での曲げ波の伝播と位相面を示す。ここで、 t_1 は、0.01secと仮定している。これより曲げ波は、載荷直後、弾性係数の小さい方向(R方向)に伝播する。時刻の経過とともに弾性係数の大きい方向(L方向)へ伝播し、楕円状の位相面に移行する。

4. 考察

- 1) 衝撃応答は、衝撃荷重の接触時間や弾性係数の変動などにより大きな影響を受ける。
- 2) 直交異方性板の曲げ波の位相面は、弾性係数の大きい方向へ楕円状になる。

今後、これら結果を基に衝撃音の特性について検討を行っていきたい。

参考文献 1)例えば、近藤他：日本木材学会中部支部大会講演要旨集,22-23,(2000). 2)水澤：土木学会中部支部研究発表概要集,55-56,(1993).

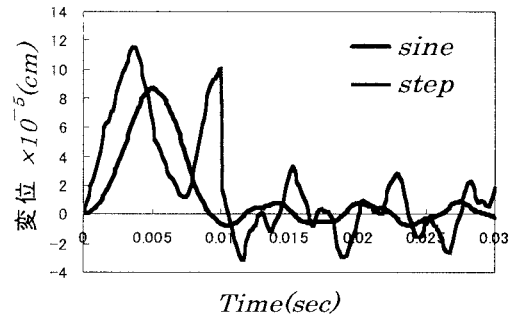


Fig. 3 変位応答曲線に与える荷重モデルの影響

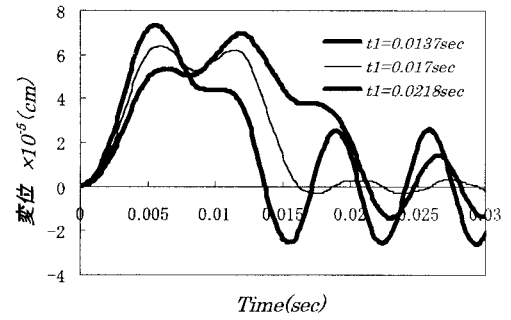


Fig. 4 変位応答に与える接触時間の影響

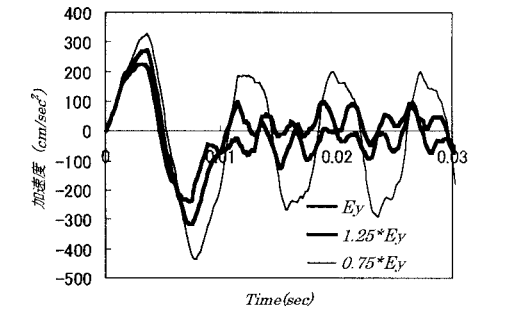
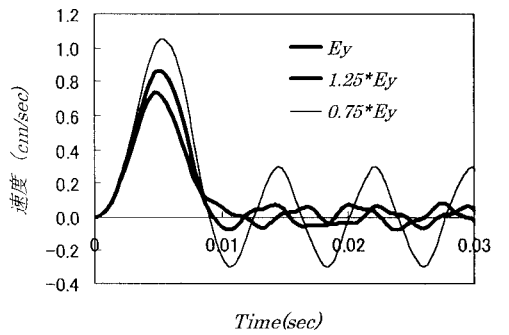


Fig. 5 板中央点における速度及び加速度応答曲線に与える E_y の変動の影響

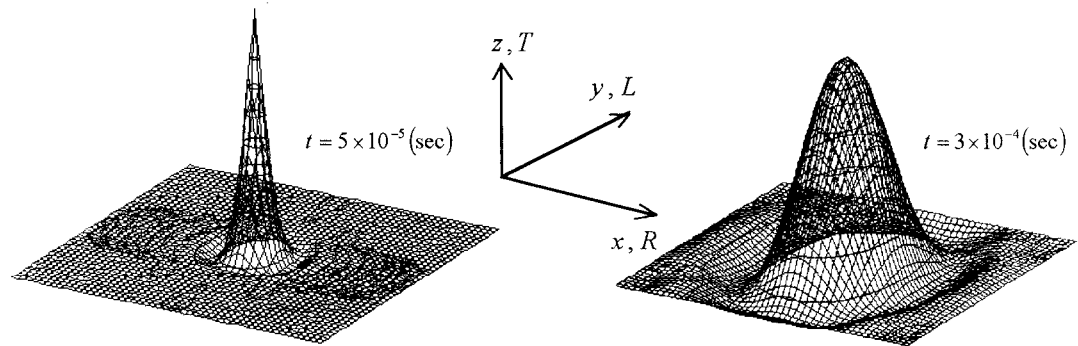


Fig.6 正弦波荷重($t_1 = 0.01\text{sec}$)を受ける直交異方性板の各時刻での曲げ波の伝播性状と位相面