

局所荷重を受ける周面単純支持された傾斜機能厚板の変形特性

大分工業高等専門学校	学生会員	○喜久山世航
東海旅客鉄道株式会社	正会員	石田風人
大分工業高等専門学校	正会員	名木野晴暢
豊橋技術科学大学	非会員	足立忠晴

1. まえがき

「空間的に一つの機能から他の機能へと連続的または階段的に変化する一体の材料」と定義されている傾斜機能材料は、我が国で開発された不均質な複合材料である。傾斜機能材料は複合材料としての性質を有し、積層複合材料で問題となる結合界面が存在しないため、第三の土木材料としての活用が期待できると考える。しかし、傾斜機能材料は比較的新しい材料であり、熱応力緩和を目的として開発された背景もあって建設材料として活用された事例がない。また、現在の設計技術は鋼材やコンクリートなどの等質・等方な材料を中心として構築されているため、現状の設計指針をそのまま適用することができない。したがって、土木構造物の主要部材に傾斜機能材料を適用するためには、傾斜機能材料からなる構造部材の力学的挙動(静的挙動、動的挙動、破壊挙動)を把握することが不可欠になる。

石田ら^{1), 2)}は傾斜機能材料からなる板部材(傾斜機能厚板)の静力学的挙動の解明を目的とし、その第一歩として、全面等分布荷重を受ける傾斜機能厚板の静力学的特性と材料の不均質性の関係を三次元弾性論に基づく Fourier 解析により明らかにした。本論文では研究目的達成のための第二段階の検討として、局所荷重を受ける傾斜機能厚板の変形特性に与える縦弾性係数の不均質性と荷重載荷幅の影響を明らかにする。

2. 解析モデル

図-1 に、局所荷重を受ける傾斜機能厚板と直交座標系を示す。ここで、 a, b, h は、それぞれ、矩形板の長さ、幅、厚さであり、 u, v, w は、それぞれ、 x, y, z 方向の変位成分である。周面単純支持された傾斜機能厚板は微小変形かつ線形弾性であるとし、三次元弾性論に基づいて解析する。また、板上面に作用する局所荷重は荷重載荷幅 $2c \times 2d$ である部分等分布荷重 q_0 とする。

材料の不均質性は板厚方向のみに依存するものとし、本研究では縦弾性係数 $E(z)$ を次のように仮定する^{1), 2)}。

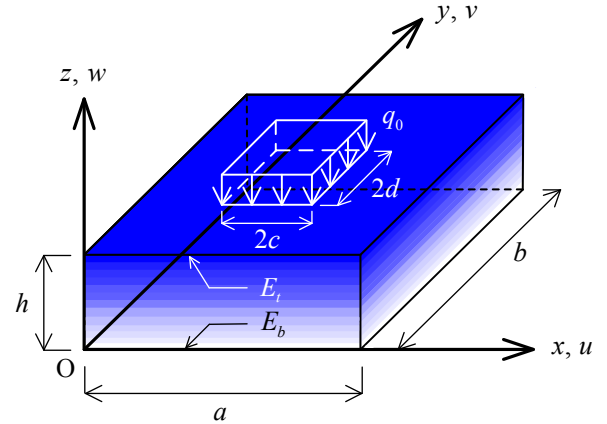


図-1 局所荷重を受ける傾斜機能厚板と直交座標系

$$E(z) = E_b \exp \{p(z/h)\}, \quad p = \ln(E_t/E_b) \quad (1)$$

ただし、 E_b と E_t は、それぞれ、板の下面および上面の縦弾性係数であり、 p は縦弾性係数比 E_t/E_b による材料の不均質性を表すパラメータである。なお、ポアソン比 ν は一定分布を仮定する。

3. 傾斜機能厚板の基礎方程式と境界条件

三次元弾性論に基づく傾斜機能厚板の基礎方程式は、次のように表される^{1), 2)}。

$$\begin{aligned} (\mu_b + G_b) \frac{\partial e}{\partial x} + G_b \left\{ \nabla^2 u + \left(\frac{p}{h} \right) \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right\} &= 0, \\ (\mu_b + G_b) \frac{\partial e}{\partial y} + G_b \left\{ \nabla^2 v + \left(\frac{p}{h} \right) \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right\} &= 0, \\ (\mu_b + G_b) \frac{\partial e}{\partial z} + G_b \left\{ \nabla^2 w + 2 \left(\frac{p}{h} \right) \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right) \right\} + \left(\frac{p}{h} \right) \mu_b e &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\mu_b = \frac{E_b \nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}, \quad G_b = \frac{E_b}{2(1+\nu)}. \quad (3)$$

ただし、 e は体積ひずみである。また、厚板の周面と上下面での境界条件は、次式で与えられる^{1), 2)}。

$$v = w = 0, \quad \sigma_x = 0 \quad (x=0, \quad x=a). \quad (4)$$

$$u = w = 0, \quad \sigma_y = 0 \quad (y=0, \quad y=b). \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \sigma_z &= 0, \quad \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0 \quad (z=0), \\ \sigma_z &= -q_0, \quad \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0 \quad (z=h). \end{aligned} \quad (6)$$

本研究では Fourier 解析を用いて、傾斜機能厚板の

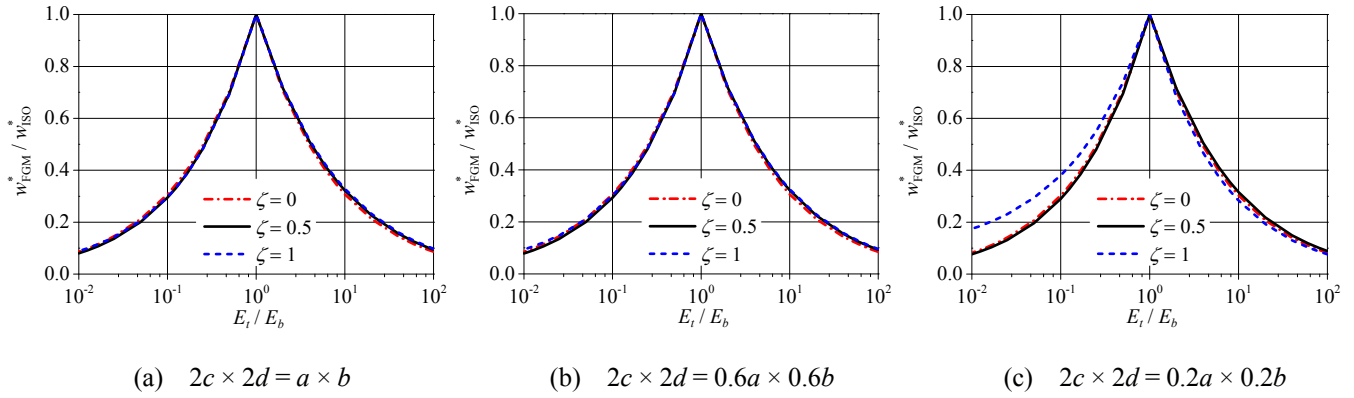


図-2 傾斜機能厚板の面外変位比に与える縦弾性係数比と荷重載荷幅の影響： $h/a = 0.3$

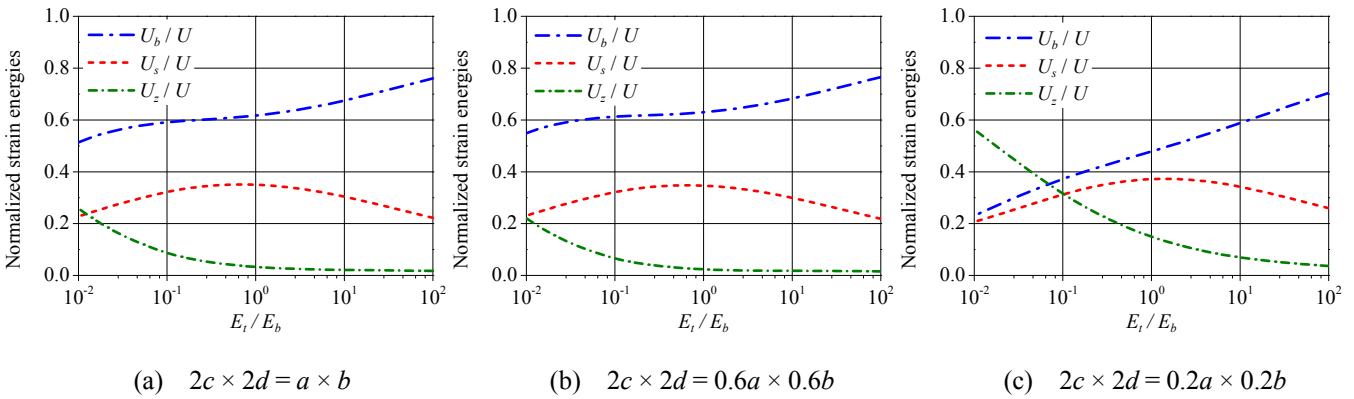


図-3 傾斜機能厚板の正規化されたひずみエネルギー成分に与える縦弾性係数比と荷重載荷幅の影響： $h/a = 0.3$

解析解を導出している^{1),2)}。

4. 理論解析および考察

数値実験では板厚比 $h/a = 0.3$ 、辺長比 $b/a = 1$ およびポアソン比 $\nu = 0.3$ を用いた。また、局所荷重は板中央に作用するものとし、その荷重載荷幅 $2c \times 2d$ は $a \times b$ (全面等分布荷重)、 $0.6a \times 0.6b$ 、 $0.2a \times 0.2b$ に設定した。

傾斜機能厚板の板中央の面外変位比 $w_{\text{FGM}}^* / w_{\text{ISO}}^*$ に与える縦弾性係数比 E_t / E_b と荷重載荷幅 $2c \times 2d$ の影響を図-2 に示す。ここで、 w_{FGM}^* は傾斜機能厚板の面外変位、 w_{ISO}^* は等質・等方な厚板($E_t / E_b = 1$)の面外変位であり、 $\zeta = z/h$ である。これより、局所荷重を受ける傾斜機能厚板は板上面と板下面の縦弾性係数を入れ替えても、等質・等方な厚板よりも面外変位を低減することができる。しかし、板上面の縦弾性係数を板下面の縦弾性係数よりも低くした傾斜機能厚板の面外変位は荷重載荷幅の影響を受け、板下面と中央面よりも大きな面外変位が板上面で生じる。

図-3 は、傾斜機能厚板の正規化されたひずみエネルギー成分 U_b / U 、 U_s / U 、 U_z / U に与える縦弾性係数比 E_t / E_b と荷重載荷幅 $2c \times 2d$ の影響を示したものである。

ここで、 U は全ひずみエネルギー、 U_b は曲げ変形に関するエネルギー、 U_s は面外せん断変形に関するエネルギーであり、 U_z は面外伸縮変形に関するエネルギーである。これより、荷重載荷幅が小さくなると、板上面の縦弾性係数を板下面の縦弾性係数よりも低くした傾斜機能厚板は曲げ変形よりも面外伸縮変形が支配的になる。しかし、等質・等方な厚板は曲げ変形が支配的である。よって、面外荷重が作用する板上面に高い縦弾性係数を配せば、傾斜機能厚板は等質・等方な厚板よりも優れた変形特性を発揮する。

5. あとがき

本論文では、局所荷重を受ける傾斜機能厚板の変形特性に与える縦弾性係数比と荷重載荷幅の影響を明らかにした。

参考文献

- 1) 石田ら：土木学会西部支部 研究発表会講演概要集 (CD-ROM), I-18, pp.35-36, 2013.
- 2) 石田ら：土木学会第 68 年次学術講演会講演概要集 (DVD-ROM), I-535, pp.1069-1070, 2013.