

薄肉平板の動的応答特性を利用した欠陥検知法に関する基礎的研究

東海大学大学院

学生会員 ○山口 幸

東海大学大学院

学生会員 草加 英之

東海大学海洋学部

正会員 川上 哲太郎

1. はじめに

本研究は、薄肉鋼製部材を対象に、その健全性を非破壊検査により評価するための簡便の手法の開発を目的として、薄肉部材内に存在する劣化損傷部(表面からは目視できない裏面側に存在する腐食部や、表面塗装などで覆われている欠陥など)を、部材表面を伝播する波動の散乱状態の可視化により検出することを考え、実際の非破壊手法への実用化を図るために数値解析的検証を行ったものである。

2. 平板の動的問題の定式化^{1), 2)}

等方、均質で一樣な厚さの線形弾性薄肉平板の時間調和振動に関する運動方程式は、次の様に表せる。

$$(\Delta^2 - \lambda^4)u(\mathbf{X}) = (\Delta - \lambda^2)(\Delta + \lambda^2)u(\mathbf{X}) = \frac{p(\mathbf{x})}{K} \quad \dots(1)$$

ここに、 Δ はラプラシアン、 $\mathbf{u}$ はたわみベクトル、 p は単位面積当たりの垂直荷重を表す。また、 ρ を密度、 h を平板の厚さ、 ν をポアソン比、 E をヤング率、角周波数 ω として、板合成 K および波数 λ は次式により与えられる。

$$K = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad \dots(2) \quad \lambda^4 = \frac{\omega^2 \rho h}{K} \quad \dots(3)$$

解析における領域を、劣化損傷部と仮定した異種材料領域(内部領域)と異種材料領域と同形状の孔を有する無限平板(外部領域)と定義する。この時、内部領域と外部領域は共通の境界を有するものとする。

内部及び外部領域に対して、各々(1)式が定義され、さらに各領域において、基本解と Green の公式により積分方程式が定式化される。次に各領域に対して定式化された積分方程式を極限操作により境界積分方程式に変換する。各領域に対する境界積分方程式を離散化し、数値積分を行い、各領域共通の境界上にて接続条件を導入することにより、異種材料領域を有する薄肉平板の動的問題に対する連立一次方程式が得られる。最終的には、得られた連立一時方程式を数値的に解き、境界上の物理量

が得られる。さらに得られた境界上の物理量を積分方程式に代入することにより、各領域の任意点の物理量を求めることができる。

3. 数値計算結果

まず本研究では、図-1 に示すような無限平板内に板剛性の異なる円形の異種材料領域($a=2\text{mm}$)と設定する。板剛性比($K_r=K_2/K_1$)と入射波波数 λ をパラメータとし、波動散乱場におけるたわみの応答比 $|u/u_i|$ から異種材料領域を有する薄肉平板の波動伝播特性の把握を試みる。

次に図-1 に示す、入射波波長 L を a で無次元化した L/a と $|u/u_i|$ の関係を、図-2 に示す。ここで u_i は無限平板内に異種材料領域がない場合の入射波のたわみ振幅を表し、 ℓ_f/a は無次元化した計測点位置を表す。

図-2 より、 L/a が大きいほど $|u/u_i|$ の値が小さくなっていること、 K_r の違いによる $|u/u_i|$ の差異が顕著になっていることがわかる。また K_r の違いによる $|u/u_i|$ の値を見てみると、 K_r の値が大きいほど $|u/u_i|$ の値も大きくなっている。

次に実際の欠陥検知を想定した解析モデルを図-3 に示す。異種材料領域の中心の座標を c とし、波源、測点 (f_1, f_2) を一定間隔に固定し、 y 軸に平行移動する形で欠陥の検知を試みる。

図-4 に、図-3 での計測点、波源が平行移動した場合のたわみ振幅の応答分布を各ケースについて示す。反射側である図-4 の(a)より、 $\lambda=0.3$ 以下では、異種材料領域中心付近で反射波が表れていることがわかる。また透過側である図-4 の(b)では、異種材料領域中心付近でたわみ振幅の小さい区間が顕著になっており、特に欠陥部中心位置でもっとも小さい値を示している。この特徴から本手法によって欠陥部の中心位置は推定可能であると考えられる。また λ が大きくなるにつれ、たわみ振幅の小さい範囲が狭くなるが、欠陥部の代表寸法や形状などを正確に同定するにはいたらないと考えられる。

図-4(b)と(c)を K_r の違いで比較してみた結果、 K_r の大きい(c)の方(K_r が 1.0 に近いほうが劣化損傷度は低い)

キーワード 薄肉平板、動的応答、欠陥検知、境界要素法

連絡先 〒424-8610 静岡県静岡市清水折戸 3-20-1 東海大学海洋学部 Tel 0543-34-0411

がたわみ振幅が大きい、劣化損傷度を評価できるほど有意な差は認められなかった。

次に図 - 4(b),(d),(e)を c の座標で比較してみると計測点が異種材料領域により近いほどたわみ振幅の小さい範囲の分布形状が鋭く下に伸びている。

4. 結論

①本研究で示した検知手法では、比較的低い周波数振動でも、平板内に存在する劣化損傷部の位置を同定できることがわかった。

②低い周波数振動では、劣化損傷部の正確な寸法や形状および、劣化損傷度の判断は困難である。

5. 参考文献

- 1) Kitahara Michihiro : Applications of boundary integral equation methods to eigenvalue problems of elastodynamics and thin, 京都大学学位論文, pp. 207~231, 1984.
- 2) 川上哲太郎, 小倉洋一 : 欠陥を有する薄肉平板の非破壊評価に関する基礎的研究, 東海大学紀要海洋学部 第53号, pp. 45~59, 2002

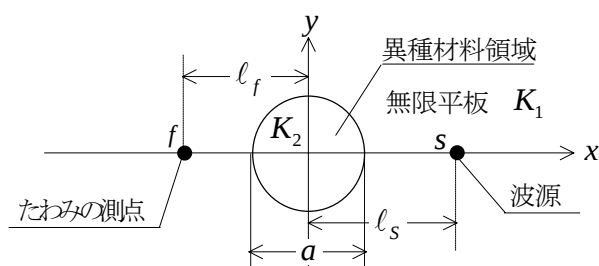
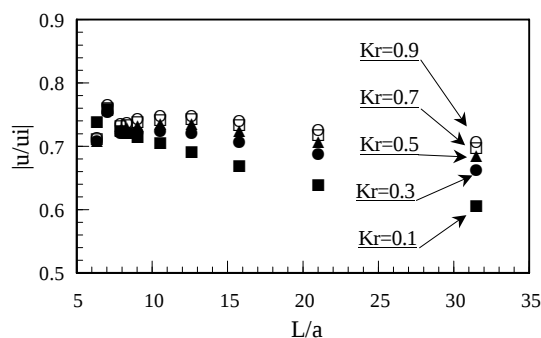


図 - 1 数値解析モデル



($L/a=5\sim 32$ は $\lambda=0.5\sim 0.1$, 2000~80Hz)

図 - 2 L/a と応答比の関係 ($\ell_f/a=2.5$)

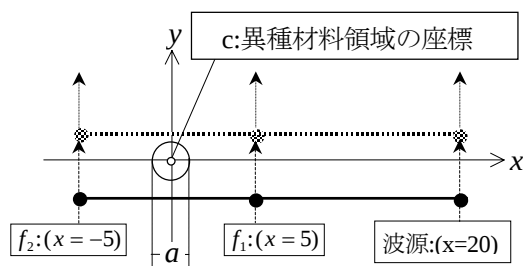


図 - 3 実際の欠陥検知を想定したモデル

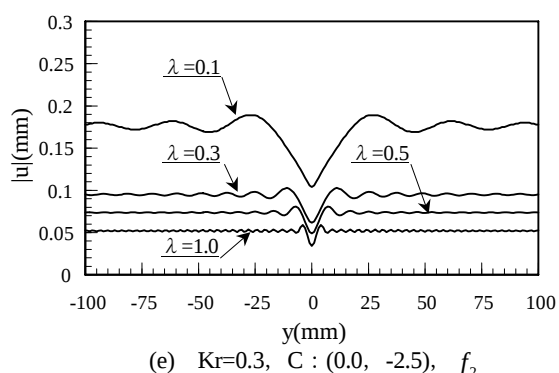
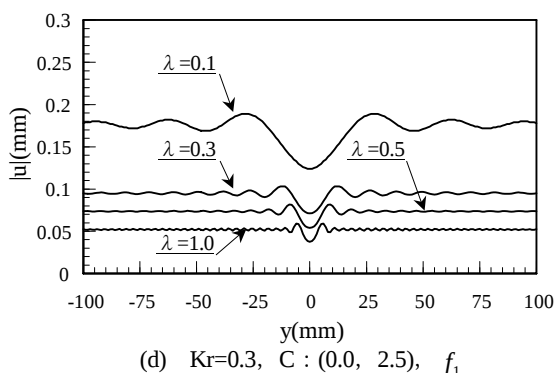
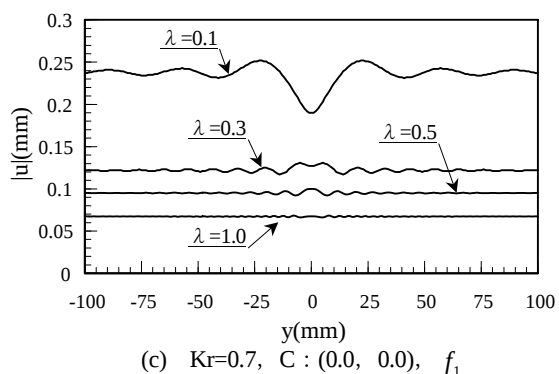
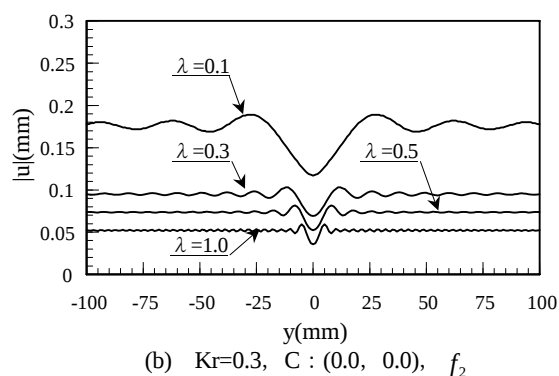
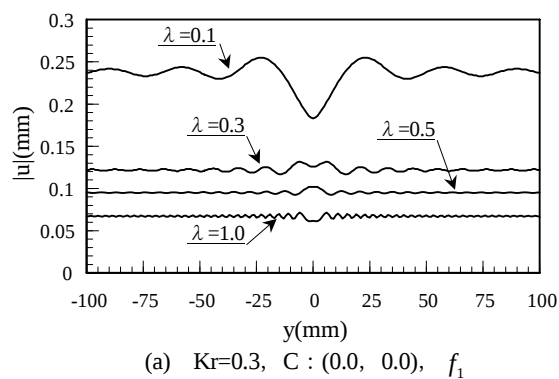


図 - 4 各ケースにおけるたわみ振幅の応答分布