

平板の動的応答特性を利用した非破壊検査手法に関する基礎的研究

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
 東海大学大学院 学生会員 山口 幸

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的な一次的検査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試みるものである。

研究手法としてはまず、劣化損傷部を仮定した円形の異種材料領域(定式化上任意形状可能)を有する薄肉平板の基本的な波動伝播特性を境界要素法による数値解析により明らかにする。次に、この波動伝播特性を利用した劣化損傷部の評価検知手法を具体的に提案し、その有用性を数値的および実験的に検証したものである。

平板の動的問題の定式化^{1), 2)}

等方、均質で様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、 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。

数値計算結果

実際の非破壊検査手法を想定した数値実験モデルとして、図-1に示すような、無限平板の任意点に板剛性の異なる円形の劣化損傷部と仮定した異種材料領域が存在する無限平板を仮定する。ここでは便宜上円形の異種材料領域(本解析では直径 $a=10\text{mm}$)の中心に直交座標系の原点を置いた。また使用した材料物性値は鋼製平板(SS400)を想定した値にした。次に、図中に示すような配置で波源 w 、計測点 m_1 、 m_2 の相対位置を固定し、各々同時に y 軸方向に平行移動する方法で劣化損傷部の検知を考えた。

数値実験結果としては、計測位置 f_1/a 、 f_2/a が y 軸方向に平行移動に平行移動する軌跡とする側線 Y を a で無次元化した y/a と、定常状態における波動散乱場のたわみ振幅 $|u|$ と入射波のたわみ振幅 $|u_i|$ の比、応答比 $|u/u_i|$ を求めた。その応答比の分布形状の特性より劣化損傷部の検知を定性的に試みることとした。

数値解析パラメータとしては、 Kr (無限平板の板剛性 K_1 と異種材料領域の板剛性 K_2 との比 K_2/K_1)、入射波波数 λ を a で無次元化した $a\lambda$ 、波源位置 s を a で無次元化した s/a 、無次元化計測位置 f_1/a 、 f_2/a とした。

図-1の数値実験モデルでの代表的な計算結果としてたわみの応答比の応答分布を図-2に示す。図より f_1/a (反射側)、 f_2/a (透過側)とも劣化損傷部に近づくにつれ応答比が小

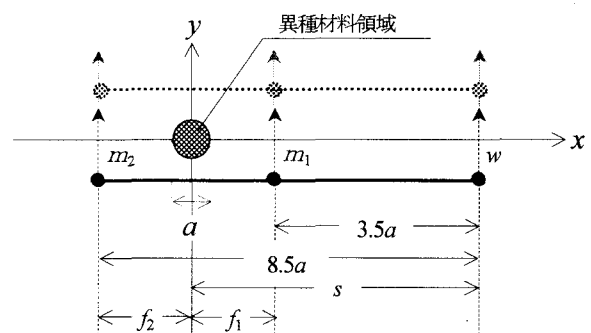


図-1 実際の非破壊検査法を想定した数値実験モデル

さくなっており、劣化損傷部中心付近で最小値を示していることがわかる。

模型実験

模型実験として、実際の非破壊検査手法を想定し劣化損傷部の検知を試みる。実験装置を写真-1に示す。振動波源としては小型振動モータ(約180Hz)、たわみの測定は非接触のレーザー変位計(最高分解能 $0.05\mu\text{m}$)を用いた。また平板の端部からの反射を防ぐために平板の外周に衝撃吸収材を設置した。なお、本論文では劣化損傷部を有する平板の波動特性の基本的現象を把握しやすくするために板剛性比を $Kr=0$ (空隙)とした。実験に用いた劣化損傷部を有する平板の寸法等を図-3に示す。実験結果として、図-4に健全な平板(劣化損傷部無し)と異種材料領域を有する平板とのたわみ振幅の比較を示す。図-4より f_1/a , f_2/a とも健全な平板のたわみ振幅の方が、劣化損傷部を有する平板のたわみ振幅より大きくなっていることがわかり、数値実験と同様の傾向が確認できた。

結論

- (1) 劣化損傷等を有する平板の波動伝播特性を数値実験的及び模型実験により確認することが出来た。
- (2) 本研究で得られた結果を利用することにより、平板内に存在する劣化損傷等を検知可能と考えられる。

参考文献

- 1) Kitahara Michihiro : Applications of boundaryintegral 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, 草加英之 (2005): 薄肉平板の動的応答特性を利用した劣化損傷部検知法に関する数値解析的検証, 応用力学論文集, vol.8, pp.207-214

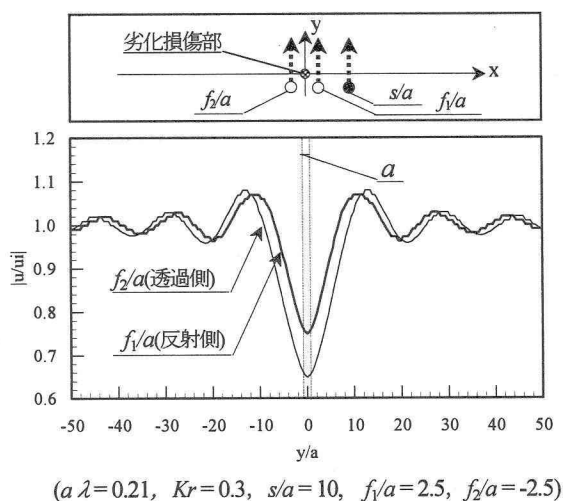


図-2 たわみの応答比 $|u|/u_i$ の応答分布

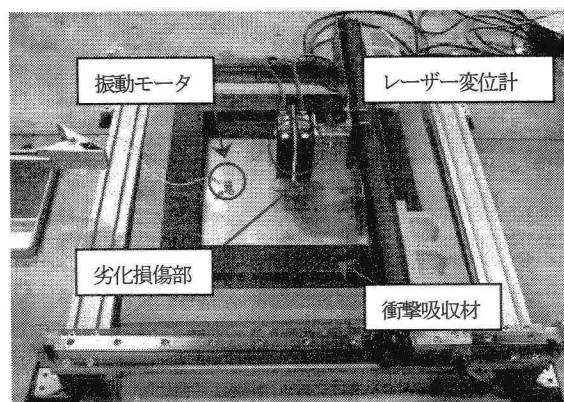


写真-1 実験装置

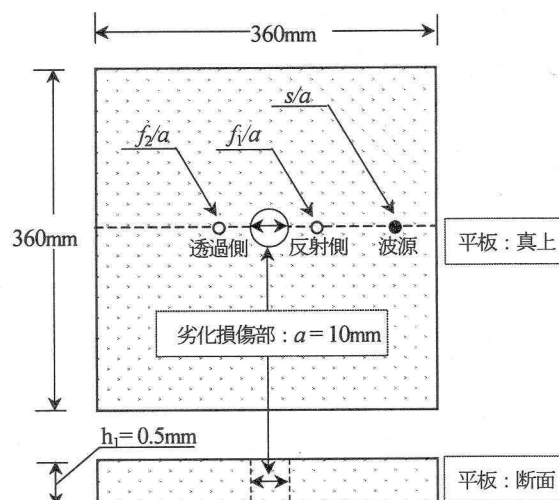


図-3 模型実験での平板の寸法及び計測位置

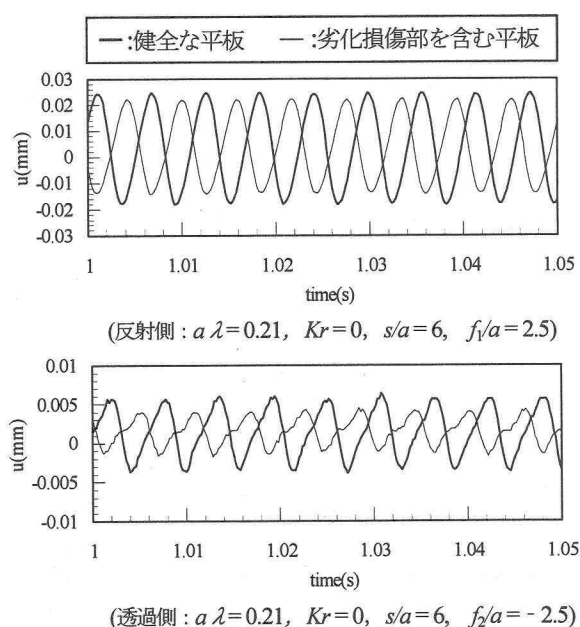


図-4 たわみ振幅の比較