

I-7

固体表面近傍のクラックにより生じる散乱波の解析

○東北大学大学院 学生員 志賀みゆき
 東北大学大学院 正 員 山田真幸
 東北大学大学院 正 員 北原道弘

1. はじめに

本論文では、クラッド鋼界面に存在するクラックのような構造物の表面近傍に存在するクラックを対象として、既に得られている数値解析結果を基にこれを実験的に検証するための計測技術を構築する。

対象とする先行研究¹⁾は、クラッド鋼を対象としてその異種材料界面に存在するクラックによる散乱振幅を数値解析から求めたものである。そこでは、境界要素法(BEM)による数値解析結果と梁や薄板の固有振動現象との類似点を見出して、薄層界面クラック長の近似推定式を提案するに至っているが、数値解析による検討に終始し、実験的な検証はなされていない。ここでの数値解析結果が対象とした現象について、計測上の問題点は計測に適したセンサーが存在しないことであり、本研究では著者らが中心となって開発してきた光干渉型マイクロセンサー²⁾(以下、小型センサー)を利用することを提案する。

2. 固体表面近傍のクラックによる散乱波

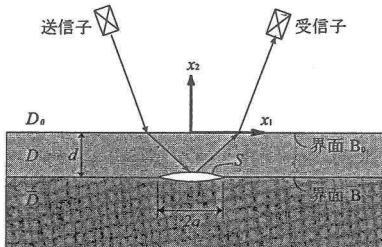


図-1 異種材料界面に存在するクラック S

本節では、地崎らによる既往の研究¹⁾における数値解析結果とそれが示す現象をまとめ、実際の計測における問題点を述べる。

超音波水浸法を用いて散乱波の計測を行うことを想定して図-1のような2次元の解析対象を設定する。固体の上側領域 D_0 は水であり、領域 D と $\bar{D}$ は固体である。また、固体界面 B_1 上に存在するクラック S の長さは $2a$ 、上部の薄層領域 D の厚さは d である。解析にはBEMを用い、クラックの開口変位を求め、さらにそれによって生じる水中の散乱圧力場を求める。数値解析の結果得られるのは、水中の距離減衰や周波数に依存した減衰を除いた界面上のクラックによって生じる散乱圧力場の振幅であり、これを散乱振幅と呼ぶ。

このモデルを用いて数値解析を行った結果を図-2に示す。固体 D にはステンレスを、下側の固体 $\bar{D}$ に

は鋼を選んだ。水中の縦波波数 ak_F を横軸に取り、固体表面に垂直に入射する入射波に対して同じ方向で得られる散乱振幅の絶対値 $|\Omega_F|$ を無次元化したものを7通りの d/a についてプロットしている。この図から、 d の厚さを固定して考えると、クラック長 $2a$ が大きいほど散乱振幅のピークに対応した周波数は低くなっていることが分かる。文献¹⁾では、この現象と梁や薄

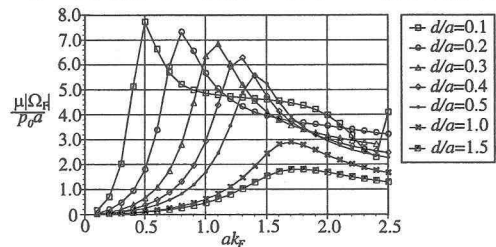


図-2 水-ステンレス-鋼構造での散乱振幅

板の固有振動現象の類似点に着目し、それらの固有振動数と薄層に励起される振動の周波数との比較から、上層の厚さ d とクラック長 $2a$ の比が約 $1/10$ 程度以下のときに適用できる次のようなクラック長の近似推定式を導出している。

$$2a = \sqrt{\frac{\beta c_b}{4\sqrt{3}\pi} \frac{d}{f_{\text{peak}}}} \quad (1)$$

ここで、 a はクラック半分の長さ、 $c_b = \sqrt{E/\rho}$ (E : ヤング率、 ρ : 単位体積当たりの質量)、 d は薄層の厚さ、 f_{peak} は計測によって得る散乱振幅がピークを持つ周波数である。また、 β は近似に用いる理論によって異なる係数であり、梁理論の場合には $\beta = 22.373$ 、薄板理論の場合には $\beta = 22.4/\sqrt{1-\nu^2}$ となる。ここで ν は薄層の材料の Poisson 比である。

ここで数値的に示した現象を土木構造物、なかでも鋼構造物の表面近傍に存在するクラックの定量化に利用することを考え、図-1における領域 D と $\bar{D}$ を金属材料と想定し、クラックが表面から数 mm の深さにあるものとする。数値解析から予想される f_{peak} は 50kHz 以下の低周波数を含む。すなわちこの場合、数値的に示した現象を実際に再現するには、微細な薄層の振動を妨げずに計測可能で、また低周波数域の振動を検出できるセンサーが必要である。そこで本研究では、これらの2つの要求を同時に満たすセンサーとして、著者らにより開発が進められてきた光干渉型マイクロセンサー(小型センサー)に着目する。

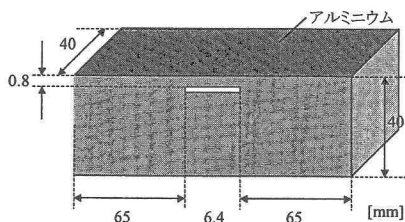


図-3 アルミニウム製供試体

3. 小型センサーを用いた薄層の振動現象の計測

前節で示した数値解析結果により示されるクラック上の薄層の振動現象について、小型センサーを用い、表面近傍にクラックを有する供試体に対して計測実験を行って、数値解析結果の検証を行う。

ここでは、予め式(1)において適当な f_{peak} の値を定めておき、これに合わせて固体表面からクラックまでの距離 d やクラック長 $2a$ 等の値を決定した。設計した供試体の概要を図-3に示す。なお供試体は計4つ製作したが、ここでは紙面の都合上一つの供試体についてのみ示す。

3.1 計測方法

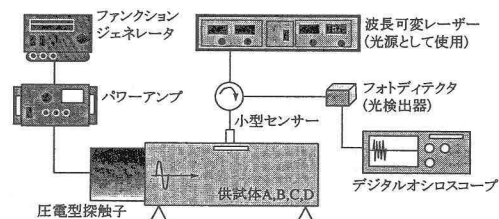


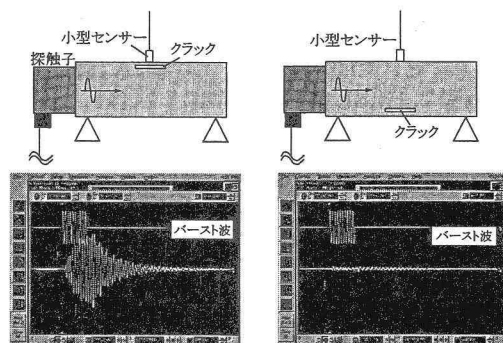
図-4 計測系の構成

設計した供試体を用いてクラックによる散乱波を計測し、散乱振幅がピークを持つ周波数(式(1)における f_{peak})を求めることを考える。この計測系の構成を図-4に示す。ここに示すように、供試体の側面に探触子を接触させ、クラック上の薄層の上には小型センサーを設置する。ファンクションジェネレータを用いて 30~150kHz のバースト波 (10 周期の正弦波) を 10kHz 間隔で駆動し、パワーアンプにより増幅したものを探触子により超音波に変換して送信する。ここで比較のため、同じ供試体において小型センサーをクラック上の薄層の上に直接設置した場合とクラックがない面上に小型センサーを設置した場合とで、二種類の計測を行う。

小型センサーによる受信波形の例を図-5に示す。この図から、受信波形は小型センサーの設置場所によって大きく異なる結果となることが分かる。これをフーリエ変換し、周波数域の波形を見ることで計測データを評価する。

3.2 計測結果

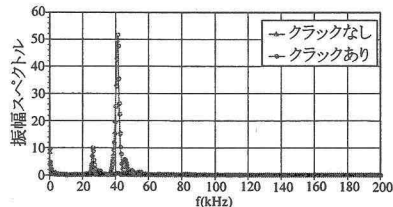
計測結果の一例を図-6に示す。この図から、クラック上部に置いた小型センサーが受信した波形の周波



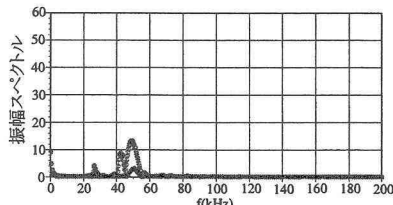
(a)クラック上にセンサーを置いたときの受信波形(上側の波形)

(b)クラックのない場所にセンサーを置いたときの受信波形(下側の波形)

図-5 小型センサーとクラックの位置関係による二種類の計測



(a)40kHzのバースト波を送信した場合



(b)50kHzのバースト波を送信した場合

図-6 結果の一例

数特性を見ると、何も無い面に置いたときのものと比較してある周波数付近で振幅スペクトルが非常に大きな値を持つことが分かる。ここで、供試体の寸法に合わせた数値解析モデルを設定して解析した結果 $f_{peak} = 60\text{kHz}$ となるが、振幅スペクトルのピークに対応する周波数は図-3の供試体の場合 40kHzであった。差はあるものの近い値となることから、探触子から送信された超音波によってクラック上の薄層に何らかの振動が励起されていると考えられる。すなわち、今回の計測によって地崎らによる数値解析結果により示された振動現象が実際にも存在していることが確認できたと言える。

参考文献

- 1) 地崎剛史: 薄層界面クラック長の推定法に関する基礎的研究, 東北大学工学部土木工学科卒業論文, 1998.
- 2) 志賀みゆき, 山田真幸, 北原道弘, 鈴木学, 新妻弘明: 光干渉型マイクロセンサの開発と受信波形特性, 応用力学論文集, Vol.6, pp.1025-1032, 2003.