

高振動数で起振可能なアクチュエータを用いた鋼板の損傷検出に関する基礎的検討

九州大学大学院 学生会員 小野達也 九州大学工学研究院 正会員 古川愛子
九州大学工学研究院 フェロー 大塚久哲

1. はじめに

構造物が地震動を受けた場合、短期間でその健全度を確認する必要がある。損傷が目視できる場合はよいが、目視できない箇所については、その健全性の判断を簡易に行える手法が望まれている。損傷によって構造物の振動特性が変化することは広く知られており、振動特性の変化を利用した損傷検出手法は近年盛んに研究が行われている¹⁾。構造物のスケールに対して非常に小さな損傷は、超音波探査検査のような高い振動数を扱う手法が有名であるが、探傷可能なエリアが非常に狭いので、構造物全体の健全度が即座に判断できない。また、微動計測のような低い振動数では小さな損傷を検出することができないため実用には至っていない。そこで、本研究では“超音波よりは高くないが微動よりは高い振動数”で構造物を起振することで、“小さな損傷の検出と計測の効率化”を同時に実現できるのではないかと考えた。そこで数キロヘルツで起振可能なアクチュエータを自作し、鋼板の振動実験を行い、亀裂を検出可能であるか検証を行った。また、本研究と同程度の高振動数を扱う手法には打音検査がある。本研究では、制御可能なアクチュエータによる鋼板の振動とシャープペンシルの芯を折った衝撃による振動が、損傷によってどの程度変化するかを比較することで、アクチュエータを用いることの有用性を検証した。

2. 損傷の有無を判定するための指標

一般に構造物を伝播する弾性波はさまざまな周波数成分を含んでおり、必ずしも顕著に卓越する振動数が観測されるわけではない。そこで、本研究では、制御可能なアクチュエータを独自開発することで一定の振動数で振動させ、健全時と損傷時の周波数特性の変化をフーリエ振幅および位相の変化から調べた。

3. 高振動数で起振可能なアクチュエータ

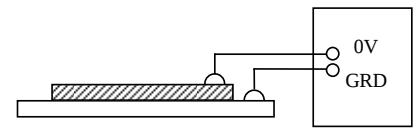
(1) 加振器の試作

本研究では、逆圧電効果を利用した圧電型アクチュエータのコントローラ部を開発する。逆圧電効果とは、電圧を付加すると圧電素子自体が変形して力を発生する現象である。市販のアクチュエータでは、本研究で想定する数キロヘルツの起振を行うことが難しい。そこで、アクチュエータのコントローラを安価なマイクロコンピュータ (AVR) 用いて独自開発した。具体的には、圧電素子に加える電圧を制御する電子回路を設計し、AVR で回路を制御するプログラムを作成した。図-1 に作成したアクチュエータ、図-2 に加振部の構造を示す。加振部は直径 2cm の円形で厚さが 1mm 程度で、微小な起振力を想定している。

4. 実験概要

(1) 供試体

供試体は縦30cm、横30cm、厚さ3.2mmの鋼板で、損傷時に関しては、中央から右側7.5cmの位置に2通りの穴を開けた。写真-1(a)に供試体の全体図、写真-1(b)に損傷部の拡大図、表-1に損傷ケースを示す。設置については、鋼板を伝播する弾性波のみを対象とするような理想に近い状態にするため、四隅に発泡スチロールを敷き、その上に供試体を置いた²⁾。

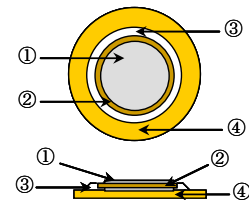


(a) 電圧を付加しないとき



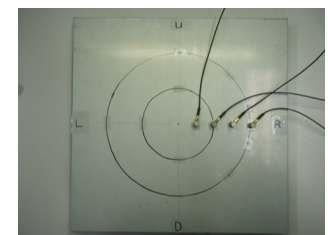
(b) 電圧を付加したとき

図-1 作成したアクチュエータの概要

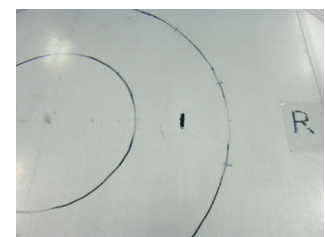


- ①電極（銀）
- ②圧電セラミック薄板
- ③接着剤
- ④金属板（黄銅板、ステンレス板）

図-2 加振部（圧電素子）の構造



(a) 全体図



(b) 損傷部拡大図

写真-1 供試体

表-1 損傷ケース

	幅(mm)	長さ(mm)
損傷(damaged)1	2	10
損傷(damaged)2	2	50

(2) 加振方法

鋼板の中央部をシャーペンの芯を折ることによる衝撃（芯圧折）と、本研究で作成したアクチュエータにより3通りの振動数（5.5, 5.9, 6.1kHz）で振動させる計4通りで振動させた。振動数は圧電振動板の周波数特性より、出力の高い6kHz前後の振動数を選択した。

(3) 計測

図-2に示すように鋼板中央から右側に2.5, 5.0, 7.5, 10.0cmの位置に計4個の加速度センサを設置し、それぞれch1, ch2, ch3, ch4と呼ぶこととする。ケース毎に5回ずつ計測を行った。結果の値としては5回の平均の値とした。

5. 結果と考察

(1) 芯圧折の伝播時間

図-3(a)に各ケースの伝播時間と距離の関係をch1（2.5cm）を基準として示す。損傷時では、損傷により波の到達時間に差が生じ、損傷より後方ch4への波の到達時間が遅くなると予想したが、どのケースでも大きな差は見られなかった。

(2) 芯圧折による応答のフーリエスペクトル

図-3(b)(c)に健全時と損傷1のフーリエスペクトルを比較する。計測ごとにばらつきは見られたが、健全時に比べ、損傷1, 2の場合では約10kHz以上の高振動数の振幅が小さくなっていた。これは、短波長を有する波が損傷部にトラップされて伝播されにくくなるためと考えられるが、計測ごとに与えた外力が一定ではなく、伝播した波の周波数成分が異なるので芯圧折で損傷の有無を判断するのは困難である。

(3) アクチュエータによる応答のフーリエスペクトル

起振振動数における加速度応答のフーリエ振幅を求め、ch1を基準としたフーリエ振幅比に変換し、健全時と損傷時で比較した。例として図-4に6.1kHzの結果を示す。5回の計測ごとの形状はほぼ一致したのに対し、損傷の有無により形状に明らかな違いが生じた。特に損傷2のケースでは大きな差が見られた。しかし、損傷の位置だけでなく全体の形状が変化しているため、グラフの形状だけから損傷の詳細な位置までは特定できない。

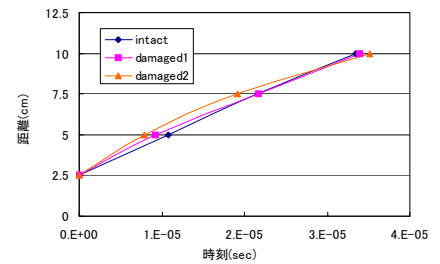
(4) アクチュエータによる応答のフーリエ位相差

起振振動数におけるフーリエ位相を求め、ch1との差を求め、健全時と損傷時で比較したところ（図-5）、損傷時には明らかに形状に違いが生じた。

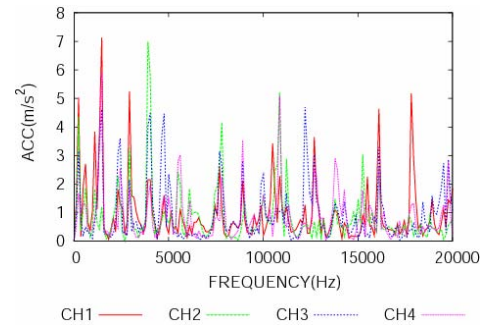
6. まとめ

芯圧折による測定では、波の到達時間に有意な差はみられなかった。また、健全時に比べ、損傷時の高振動数の振幅が小さくなったが、外力を一定にすることが困難なため、芯圧折により損傷の有無を判断するのは困難であることがわかった。アクチュエータで振動させた場合、健全時と損傷時では、フーリエ振幅および位相差が各地点で異なり、損傷による有意な差を確認できた。損傷の位置を特定するには、有限要素法や境界要素法などを用いた逆解析が必要であると考えられる。

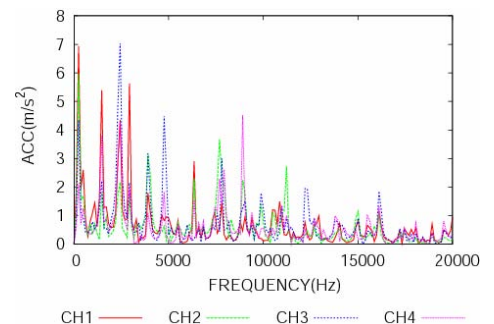
参考文献 1) Doebling W, R. et al., Damage Identification and Health Monitoring of Structural and Mechanical Systems from Changes in their Vibration Characteristics: a Literature Review. Los Alamos National Laboratory 1996. 2) 盛川仁, 他: 地震直後対応としての鋼構造物における亀裂の簡易な存否判定のための基礎的検討, 応用力学論文集, Vol.10, 2007.8.



(a) 伝播時間と距離の関係



(b) フーリエ振幅（健全）



(c) フーリエ振幅（損傷1）

図-3 芯圧折による鋼板の応答

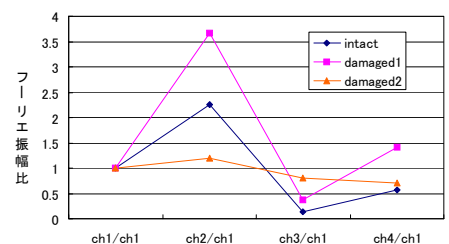


図-4 フーリエ振幅比（6.1kHz）

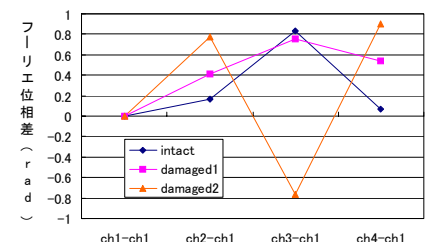


図-5 フーリエ位相差（6.1kHz）