

ガイド波を用いた新しい鋼構造診断手法

Non-destructive Diagnosis of Steel Structure Using Guided Waves

○榊原 淳一 山田 知秀

JUNICHI SAKAKIBARA TOMOHIDE YAMADA

JFE シビル株式会社

JFE Civil Engineering & Construction Corp.

概 要

周波数を正確に制御した擬似ランダム波を用いたガイド波による鋼構造診断手法を開発・現場実証試験を行った。本手法は、クレーンランウェイガーダーのフランジ長手方向の両端に設置した振動子と受信子を用いて、①クレーンの操業を止めることなく、②ガセットプレートなどの付属物や塗料・埃の影響を受けず、③任意のタイミングで、④フランジ長 10 数 m 間の亀裂の有無を探知できる、という特長を持つ。

キーワード (非破壊検査、表面きず、連続波法、表面波法、鋼構造)

1. まえがき

大型鋼構造物において定期的な点検を行うことは、構造物の疲労破壊などに起因する事故を未然に防ぐためには重要なことである。現状では超音波探傷、磁粉探傷や目視点検が主な手法である。しかし、これらの手法は構造物に接近して試験を行う必要があり定期的な点検を行うことが難しい場合が多い。例えば、製鉄所などで用いられるクレーンランウェイガーダー(以降、CRG と記す)を点検する場合には、①クレーンの操業を停止する必要がある、②高所にあるため仮設足場などを設置する必要がある、③他の設備との干渉や CRG の向きにより目視できない場合がある、といった問題がある。

筆者らは擬似ランダム波を用いた地盤調査技術を開発し、さらにこの計測手法を鋼構造物に応用するための研究を行ってきた¹⁾。本報告では表面波の一種であるガイド波を用いることで、①クレーンの操業を止めず、②仮設足場を必要とせず、③計測は対象物に接近せず(地上で行う)、④その場で結果判定が可能、という新しい鋼構造物非破壊診断手法の開発とその実験結果について述べる。

2. 計測原理と開発課題

ガイド波は「実体波である縦波と横波が境界条件を満たすように材料を伝播した結果、見かけ上得られる波」であり、伝搬

亀裂があるとガイド波の伝播に影響を与える

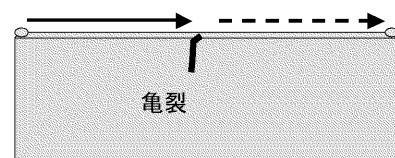


図 1 計測原理

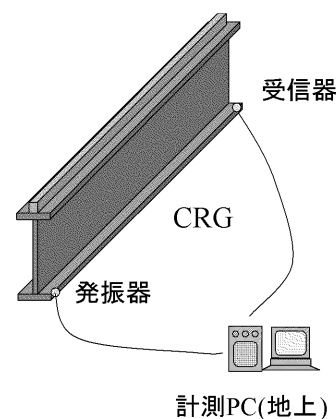


図 2 計測方法概念図

現象が複雑であるため取扱いが難しい面もあるが、エネルギーの散逸が少なく遠方まで伝搬するという大きなメリットを有している²⁾。図1および図2に本手法の計測原理と計測概念を示す。フランジ側面から発生した亀裂がガイド波の伝播に影響を与えることを利用し、到達時間や受信音圧の変化から亀裂の有無を判定する。このためにCRG(H鋼)の両端のフランジ側面(コバ)にセンサーを設置し、「フランジ面内に適切な周波数の縦波と横波を伝播させることでフランジ側面に励起されたガイド波」を計測する。本開発では作業中のCRGの点検を目的としているため、①探知可能な亀裂長、②ガセットプレートなどの付属構造物の影響、③工場騒音の影響、について検討を進めながら計測装置の開発製作および実験を行った。

3. 擬似ランダム波とは

擬似ランダム波はパルス圧縮³⁾と呼ばれる信号増幅方法の一つである。連続波を用いることにより送信するエネルギーを時間軸上に分散させているため、パルス波に比べて送信信号全体のエネルギーを大きくすることができる⁴⁾。図3に擬似ランダム波の例として、発振波(a)、受信波(b)、発振波と受信波の相関計算後の波形(c)を示した。図3(b)の受信波には発振波の3倍の大きさのホワイトノイズ付加と、発振波に対して75ドットの時間遅延を行っている。相関関数のピーク値となる時間(図3(c)では75ドット付近の極大値)は擬似ランダム波の到達時間であり、ピーク値の大きさは到達波の持つ受信エネルギーと考えてよいので、これにより媒体を伝播してきた波の到達時間とエネルギー量を得ることができる。図3から受信波(図3(b))ではホワイトノイズに隠れて信号が判別できないが、相関計算後の波形(図3(c))ではパルス圧縮の効果により明瞭な信号を得られていることが分る。この効果により、「クレーンの作業を止めずに計測する」ことが可能となる。

擬似ランダム波のもう一つの特長は、単一周波数の正弦波をベースとした場合、自己相関関数がこの周波数に依存した波長のパルス波となることである⁵⁾。図4は発振波の周波数を6kHz、11kHz、20kHz、39kHzとして計測した際の相関関数計算後の波形を示しているが、発振周波数に対応した波長を得られていることが分る。これにより「フランジ面内に適切な周波数の縦波と横波を伝播させる」ことが可能となる。

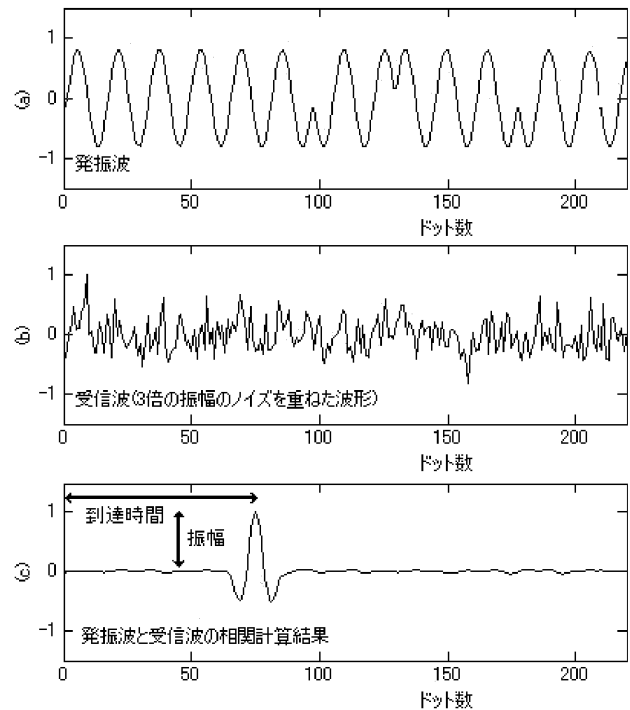


図3 擬似ランダム波の例(数値計算結果)

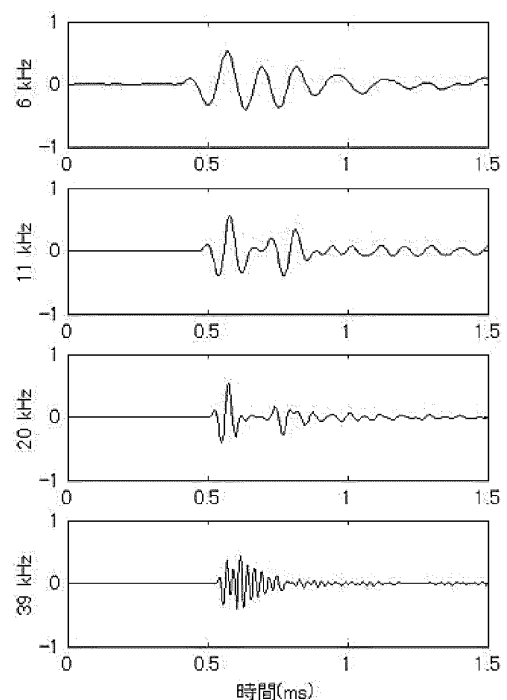


図4 発振周波数の異なる相関計算後の波形

4. 実験概要

計測装置は圧電セラミックス製の発振器と受信器、信号作成器兼データロガー、発振信号および受信信号増幅器で構成されている。

実験は3段階に分けて行った。まず、亀裂に対する感度とガセットプレートなどの影響を把握する目的で、長さ2m、幅と厚みが400mm、10mmの鉄板に、長さ10mmから100mmの模擬亀裂(亀裂幅は5mm)を作成して亀裂長感度試験を実施した(図5)。また、同じ寸法の鉄板に付属物を想定した長さ50mmから200mmのプレートを設置して付属物の影響試験を実施した(図6)。

次に実物大実験として長さ15mのCRG(フランジ巾と厚みは440mmと20mm)を用いて、亀裂長200mmの模擬亀裂を作成し亀裂のないフランジ面との比較を行った。計測状況を図7に示す。

最後に操業の影響を把握するために現場実証実験を実施した。別途実施した超音波探傷により亀裂の有無と長さが分っている4台のCRGを用いクレーン走行中に計測を行った。

5. 実験結果および考察

まず、亀裂長感度試験の結果を図8に示す。上から亀裂長0mm、10mm、15mm、50mm、100mmの受信波形を示している。図中、理論計算から求めたガイド波の到達時間を矢印で示してある。横軸は時間(ミリ秒)、発振周波数は30kHzであった。

同図から亀裂長が15mmを越えるとガイド波の振幅が小さくなっていることが判る。次に、付属物の影響試験結果を図9に示す。上からプレート長0mm、50mm、100mm、200mmの受信波形を示している。図内の矢印、横軸、発振周波数は亀裂長感度試験と同じである。同図からプレートの有無はガイド波の伝播には影響を与えていないことが判る。

次に実物大試験の結果を図10に示す。上から発振周波数30kHzの亀裂無しと亀裂長200mm、発振周波数10kHzの亀裂無しと亀裂長200mmの受

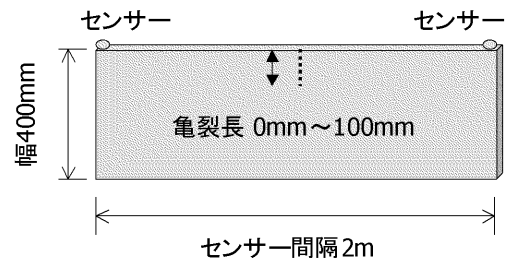


図5 亀裂長感度試験

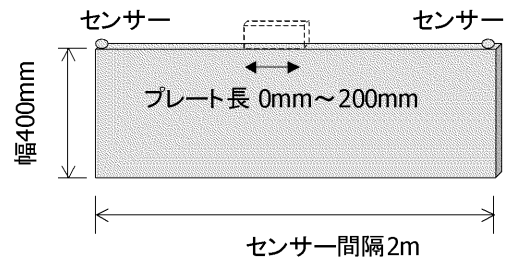


図6 付属物の影響試験

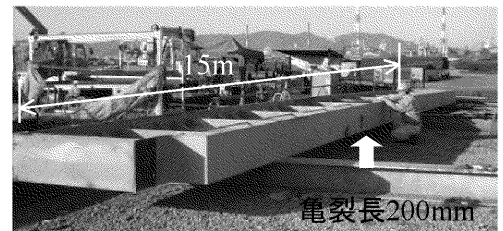


図7 実物大実験の様子

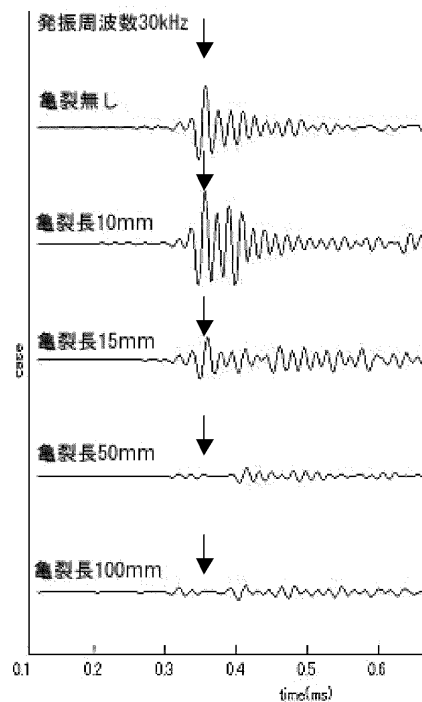


図8 亀裂長感度試験結果

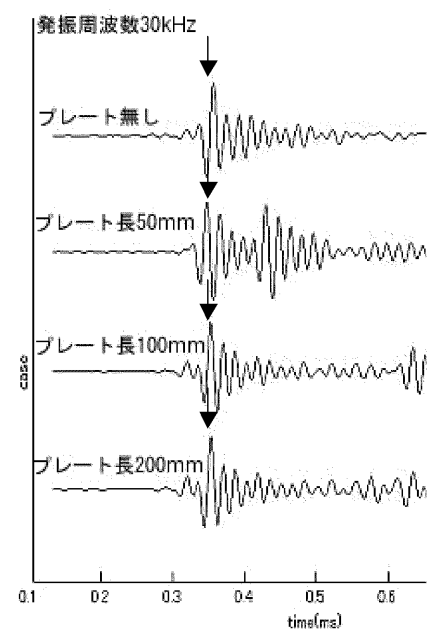


図9 付属物の影響試験結果

信波形を示している。この結果から、発振周波数 30kHz で亀裂のない場合にはガイド波が明瞭に確認できるが亀裂のある場合には明瞭ではないことがわかる。また、発振周波数 10kHz の時には亀裂の有無に関わらずガイド波は明瞭ではなく、この場合では発振周波数 10kHz が適切な周波数ではないことがわかる。

最後に現場実証実験の結果を図 9 に示す。同図から操業の影響を受けることなく計測できていることが分る。また、亀裂のない CRG に対して亀裂 35mm で約 10dB の減少、亀裂 70mm で約 40dB の音圧減少が確認できており、亀裂の長さに関して音圧が減少していることが分る。

6. まとめ

以下に本研究の成果をまとめる。

(1)CRG の亀裂の有無や大きさに依存したガイド波の振幅の変化を把握することができた。

(2)ガセットプレート等の付属物の影響はほとんど見られない。

(3)発振周波数が適切でないときガイド波は明瞭ではなくなるため発振周波数を正確に制御する必要がある。

(4)クレーン走行による騒音の影響を受けずに計測を行うことができた。

今後は亀裂長と受信振幅の関係を明らかにすると共に、計測機器の軽量化や耐久性強化を進め、早急な現場投入を実現するべく開発を進めていきたい。

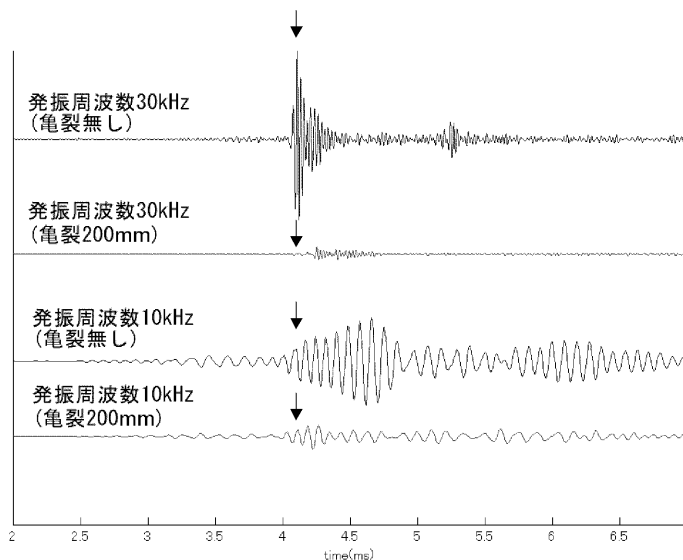


図 8 実物大実験結果

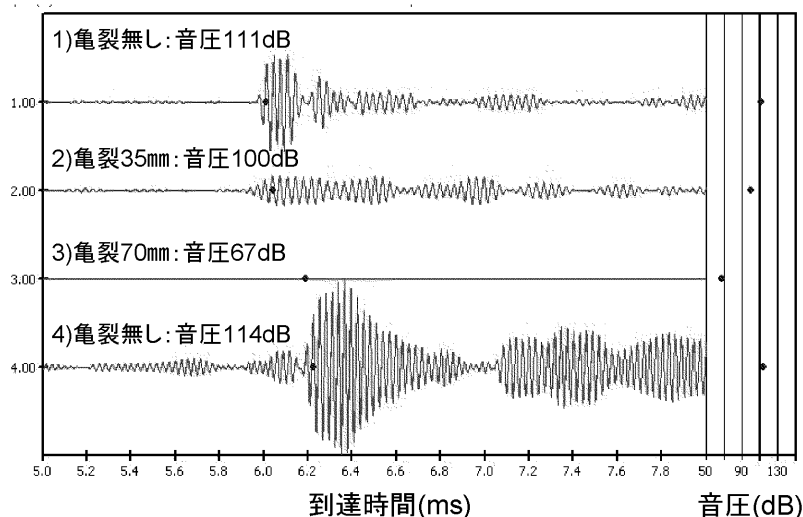


図 9 現場実証実験結果

参考文献

- 1) 榊原淳一 他, 音響トモグラフィを用いた構造物設備診断技術, JFE 技報, No. 11 (2006), pp. 50-pp. 55
- 2) 西野秀郎, 非破壊計測のためのガイド波の基礎と展望, 非破壊検査 第 52 巻 12 号 (2003), pp. 654-pp. 661
- 3) Skolnik, M. : Radar/ Handbooks 2nd Edition, McGraw-Hill Inc., Chapter 10, 1970
- 4) 問山清和, 林高弘, 神谷庄司, 改良型パルス圧縮方法によるガイド信号の高分解能化, 超音波テクノ, No. 9-10, pp. 12-16, 2006
- 5) Cunningham, A.B. : Some alternate vibrator signals, Geophysics, 44, pp.1901-1921, 1979