

I-101

波形解析を応用した溶接部欠陥の検出精度向上

北見工業大学	学生員	佐藤 孝英
北見工業大学	正 員	山崎 智之
(株)釧路製作所		山田 剛
(株)日本製鋼所		田中 秀秋
北見工業大学	正 員	大島 俊之
北見工業大学	正 員	三上 修一

1. はじめに

溶接の際の局部的で急激な熱変化のために、溶接部には様々な欠陥がもたらされる。溶接部の欠陥は形状の欠陥としてアンダーカット、オーバーラップ、内部的欠陥としてブローホールやスラグ巻込み、ルート割れ等があげられこれら欠陥に対して様々な非破壊検査法が試みられている。また、溶接時に発生した欠陥ばかりでなく、鋼構造物としての長期使用による疲労亀裂等の損傷が発生することがある。しかし、疲労亀裂はそのシャープな形状のため超音波の散乱が小さく、評価が困難なケースが多い。^{1), 2), 3)}

著書らはこれまで、溶接部欠陥(ブローホールをモデル化したドリルホール)の超音波探傷試験を行い、画像解析、波形解析を行って欠陥を精度良く検出する方法などを発表してきた。^{4), 5), 6)}本研究では、ブローホール、スラグ巻込みそして疲労亀裂に対して実験を行い、各欠陥からの反射波形に注目して波形解析を行うことによって溶接部の詳細な評価を行うことを目的としている。

2. 超音波探傷試験

2.1 実験概要

実験に用いた測定システムは図1に示すような超音波探傷映像装置(水浸式)と波形解析を行うデジタル・ストレージ・オシロスコープ(DSO)、波形記録用のパーソナルコンピュータから構成される。このシステム内の自動探触子走査装置は直交座標型3軸スキャナーで最小走査ピッチは0.05mmまで可能である。実験に用いた探触子は水浸式焦点型垂直探触子で周波数は5MHz、10MHz、25MHz、焦点距離は40mm、50mm、80mmがあり溶接部の形状等を考慮して各欠陥に適した探触子を用いている。⁷⁾DSOは超音波探傷映像装置から送られてくる反射波形を取り込み、サンプルレート500MSample/sec、垂直軸の分解能10ビット、垂直軸の周波数帯域300MHz、高速フーリエ変換(FFT)計算機能を有する高速波形処理が可能な装置であり、その後パソコンにデータとして記録される。

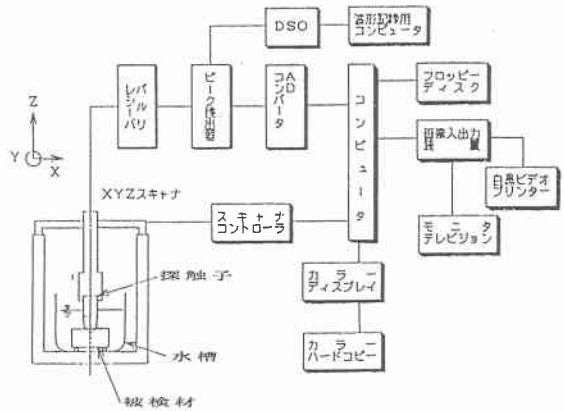


図1 測定システム

2.2 供試体

実験に用いた供試体は図2に示すような台形断面Uリブ鋼床版と図3(a), (b)に示すような溶接継手で、

Improvement of Inspection Accuracy of Defect in Welding by Waveform Analysis

by Takahide SATO, Tomoyuki YAMAZAKI, Tsuyoshi YAMADA, Hideaki TANAKA, Toshiyuki OSHIMA and Shuichi MIKAMI

図2の供試体1は溶接部にブローホールとスラグ巻込みの2種類の欠陥を設けている。デッキプレート部は400mm×150mmで厚さは11.8mmで、縦リブの厚さは6mmである。また、左側の溶接部は開先溶接（グループ溶接）、右側の溶接部は開先のない隅肉溶接となっている。図3の供試体2（300mm×50mm）は溶接部の両側内部に長さ10mm、幅0.5mm、深さ3mmのスリットを設けている。この供試体は疲労亀裂の探傷試験に用いる。

2.3 実験方法

図4のように供試体を水中に沈め、超音波探傷映像装置によって超音波を垂直に入射し、反射波形をオシロスコープ上で確認しながらブローホールとスラグ巻込みの平面画像Cスコープをとる。Cスコープ上に現れた欠陥の各点における波形をDSOに取り込んだ後、FFT演算処理を行いその結果を記録していった。波形の測定点はデッキプレート底面部、欠陥端部および欠陥中央部である。図3の供試体の方は、スリット先端部から亀裂が生じるように、まず荷重試験機によって引張り、圧縮を繰り返しかけ(30万回, 荷重サイクル 10Hz)その後Uリブ供試体の場合と同じように超音波による実験を行った。

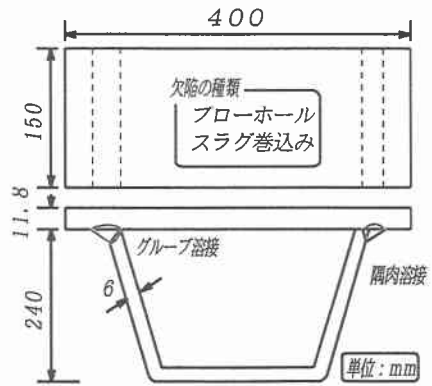


図2 供試体1

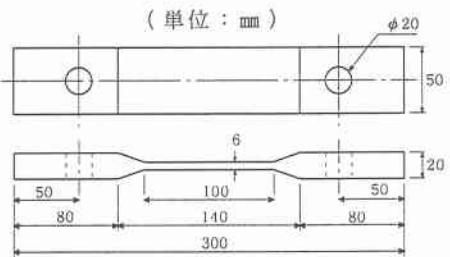


図3(a) 供試体2 全体形状

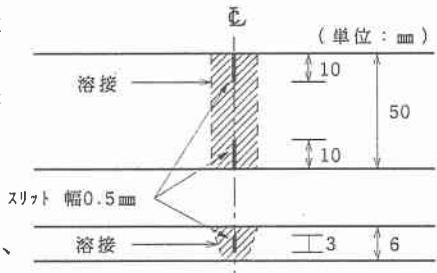


図3(b) 供試体2 溶接部形状

3. 波形解析

3.1 測定波形

図5(a), (b)に各欠陥のCスコープ画像、図6(a), (b)に各欠陥の測定波形を示す。ここでは探触子は周波数10MHz、焦点距離80mmのものを使用した。図5の測定位置番号は図6の波形番号とそれぞれ対応している。図5(a)よりブローホールが丸く表示されているのがわかる。そのブローホールの端部と中央部の波形がそれぞれ図6(a)②、③-Aである。またスラグ巻込みの画像が図5(b)でその欠陥の端部と中央部の波形がそれぞれ図6(b)②、③-Bである。縦軸は振幅を表し、横軸は時間(μs)を示し、測定データ数4096点、サンプリング間隔1.25nsecである。Cスコープ画像は供試体からの反射波(底面波、界面波)を取り入れて、その波形の最大振幅から基準電圧と相対的に表した256階調のデータであり、振幅が大きいほど明るく表示される。実際の欠陥寸法を正確には判定できないがCスコープ画像によると、ブローホールはその生成時の特徴から丸い円状に現れ、スラグ巻込みの場合はそれと対称的に細長く溶接線に沿った形で現れていることがわかる。両側の白い部分は底面である。次に測定波形に着目すると底面からの反射波①-Aと比較してブローホール端部からの反射波②-Aは速い時間に現れていることから、この欠陥は底面より上、つまり溶接のデッキプレートへの溶け込みの境界部付近にまで達していることがわかる。多少の波の乱れも認められる。4.5 μs あたりの波はその時間から隅肉面か

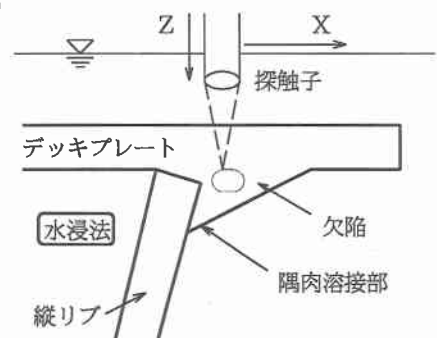


図4 探傷状況

らの反射波である。欠陥中央部③-Aにおいては、底面波①-Aと類似した形の安定した波が現れている。スラグ巻き込みの場合は欠陥端部②-Bでは波の幅の広い反射波が現れている。欠陥中央部③-Bはブローホールの場合と似たような波が現れている。欠陥の深さ方向の位置は、底面波と隅肉面からの反射波との時間的關係から欠陥は溶接部のほぼ中央に位置していることがわかる。

3.2 FFT演算による周波数特性

図7(a),(b)は図6の測定波形のそれぞれのFFT演算結果を表示している。図中の番号は図6の番号のとそれぞれ対応している。縦軸は各々の最大値で基準化し、横軸は周波数で30MHzまで表示している。解析周波数間隔は0.195MHzである。どちらの欠陥も底面波のスペクトル波形との形状の差は顕著である。図6の波形からはブローホールとスラグ巻き込みとの差はほとんど見られなかったが、スペクトル波形ブローホール③-Aとスラグ巻き込み③-Bと比較するとその形状が異なっていることがわかる。さらに詳しく調べるために、各フーリエスペクトル波形のピーク間隔 Δf を求めるとブローホール $\Delta f=0.391$ 、スラグ巻き込み $\Delta f=0.781$ のようになりブローホールの方がその間隔が狭いことがわかる。これはブローホールとスラグ巻き込みとの欠陥の形状の違い(ブローホールは球形に近い)、欠陥より時間的に遅い波の反射状況の違いが原因として考えられる。

また欠陥の寸法の測定法としては、著者らがこれまで発表してきた測定波形から各最大振幅を割り出し、エコー高さ包絡線(各反射波の振幅比の変化)を作成することによりその判定は可能である。^{4), 5), 6)}

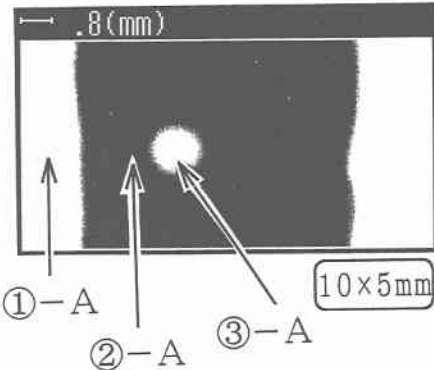


図5(a) ブローホール平面画像

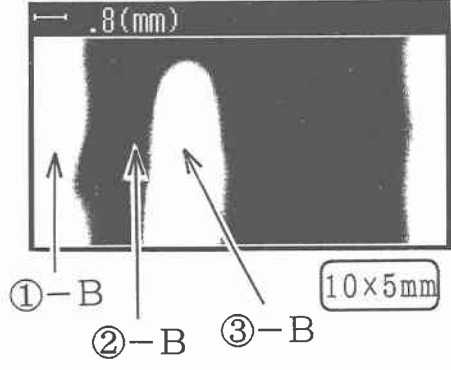


図5(b) スラグ巻き込み平面画像

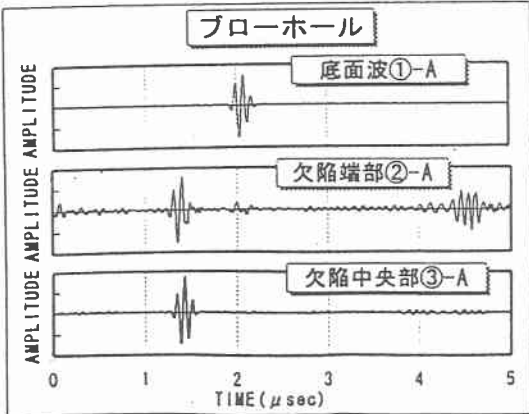


図6(a) 測定波形

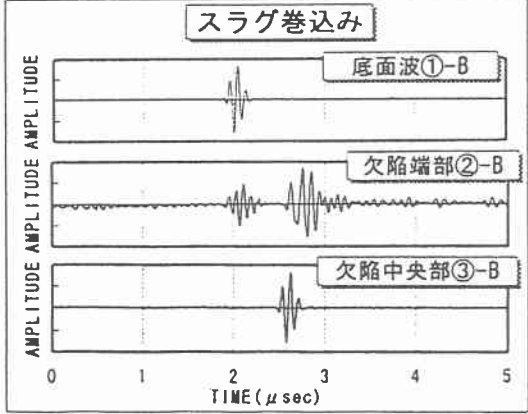


図6(b) 測定波形

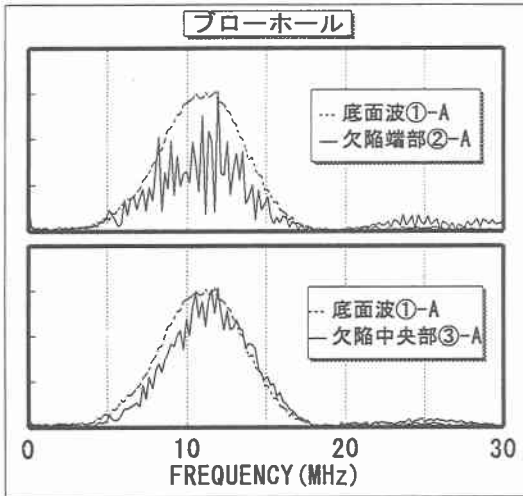


図7 (a) スペクトル波形

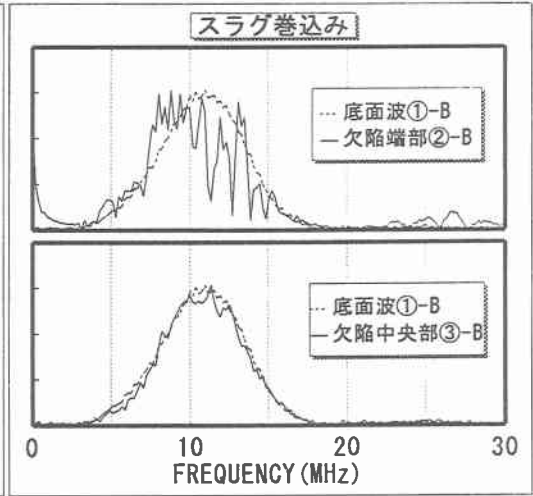


図7 (b) スペクトル波形

4. まとめ

溶接部の主要な欠陥、ブローホールとスラグ巻き込みについて波形解析を行った。各反射波の時間差から欠陥の位置を把握することができるが、各欠陥の特徴を見つけることは難しいことからFFT演算を行って得られたスペクトル波形の比較を行った。その結果、ある程度の特徴を見いだすことができた。しかし、今回の実験のような単独のブローホールの場合はよいが、複数のブローホールが密集して存在している場合は解析はより複雑になる。割れのような平面的な欠陥に対して、ブローホールのような立体的な欠陥はその形状寸法は別としても、それ自体では余り問題にはならないが、それが存在する部分の作用応力が欠陥を拡大して破壊に進展するような場合は特に注目すべき欠陥となる。また疲労亀裂に関しても現在超音波探傷試験を行っている。

本研究においては疲労試験に関して日本製鋼所室蘭製作所技術研究所の小野信市氏に大変お世話になりました。深く感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 日本非破壊検査協会、210・202小委員会WG：端部エコーハンドブック
- 2) 土木学会編：鋼床版の疲労、鋼構造シリーズ4、1990. 9.
- 3) 日本鋼構造協会編：鋼構造物の疲労設計指針・同解説、1993. 4.
- 4) 三上修一、大島俊之、菅原 登、山崎智之：エコー波形の詳細解析による超音波探傷法の欠陥検出の定量的評価、土木学会論文集、No. 501/I-29, pp. 103-112, 1994. 10.
- 5) 佐藤孝英、Muhammad S. RAHMAN、山田 剛、大島俊之、三上修一：Uリブ鋼床版の隅肉溶接部の定量的非破壊検査、土木学会第50回年次学術講演会概要集、第I部、pp. 292-293, 1995. 9.
- 6) 大島俊之、三上修一、山崎智之、佐藤孝英、山田 剛：超音波による隅肉溶接部の定量的非破壊評価、鋼構造年次論文報告集、第3巻、pp. 123-130, 1995. 11.
- 7) 日本学術振興会、製鋼第19委員会編：超音波探傷法、1987. 1.