

I-18

閉リブ鋼床版隅肉溶接部の内部欠陥の画像解析

北見工業大学	学生員	佐藤 孝英
北見工業大学	正 員	大島 俊之
北見工業大学	正 員	三上 修一
(株)釧路製作所		山田 剛
(株)釧路製作所		杉江 豊

1. はじめに

近年、構造物の安全性、信頼性の保持、向上のために品質管理がより重要視され、かつその精度向上が必要とされてきている。そのために様々な非破壊検査が行われるのが一般的であり、その中で超音波を用いた検査法は扱い易さの面から非常に有効な検査法ではあるが、エコー波形解析を用いているため得られる結果にある程度の不明確さを含んでいる場合が少なくない。また、客観性に関してもまだ充分なものとは言えない。本研究では、閉リブ鋼床版隅肉溶接部の欠陥をモデル化し、超音波探傷映像装置を用いて画像解析、及び超音波波形解析を行い、欠陥検出精度の向上と画像処理による可視化の有効性について検討を行った。

2. 実験概要

(1) 実験装置

本研究に際して実験に用いた計測システムは、図1に示すような超音波探傷映像装置(AT5000、日立建機社製)と超音波波形解析装置である。この超音波探傷映像装置は、超音波探傷器、自動走査装置、データ処理装置、画像処理装置から構成される。超音波探傷器の探触子には水浸式垂直型探触子を用い、供試体の厚さなどを考慮して周波数10MHz、焦点距離は80mmのものとした。自動走査装置には、直交座標型3軸スキャナー(最小走査ピッチ0.05mm)を用い、画像処理装置はBスコープとCスコープによる強度データ、路程データ

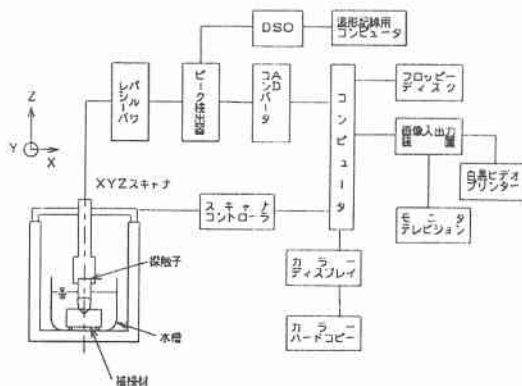


図1 測定システム

の表示が可能である。路程データは表面波の受信位置からゲートの立ち下がりまでの時間を基準として、反射波がどの位置に存在するかを相対的に表した256階調のデータである。超音波波形解析装置は、デジタル・ストレージ・オシロスコープ(DSO)と波形記録用のパソコンから構成される。DSOはサンプルレート500MSample/sec、垂直軸の分解能10ビット、垂直軸の周波数帯域300MHz、FFT(高速フーリエ変換)計算機能を有する、高速波形処理が可能な装置である。

(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)の鋼床版¹⁾の溶接部にドリルホールを設けたものである。左側の溶接部は開先隅肉溶接(以下、グループ溶接という)、右側は開先のない隅肉溶接(以下、隅肉溶接という)になっており板厚はデッキプレートが12mm、閉断面縦リブは6mm、またドリルホ

Image Analysis of Internal Defect in Fillet Joint of Steel Floor Deck with Closed Form Rib
by Takahide SATOH, Toshiyuki OSHIMA, Shuichi MIKAMI, Tuyoshi YAMADA and Yutaka SUGIE

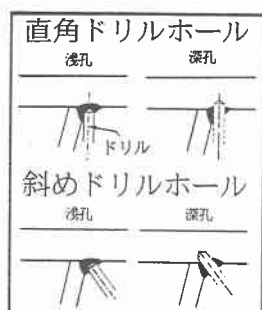
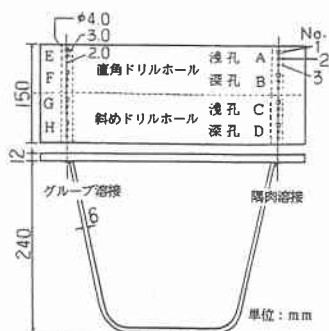


図2 供試体

ールの大きさは $\phi 2.0\text{mm}$ 、 3.0mm 、 4.0mm の3種類で、デッキプレートに対して直角方向に穿孔したもの（直角ドリルホール）と 45° の方向のもの（斜めドリルホール）とがあり、さらにそれぞれ深さの浅いもの（浅孔）と深いもの（深孔）とがある。ここでは、 $\phi 4.0\text{mm}$ の直角ドリルホール浅孔を欠陥A-1と呼ぶことにする。どのドリルホールも下から上へ向かって穿孔しており、そのホールの入り口は塞がずにそのままにしている。

(3) 実験方法

実験方法は、超音波探傷映像装置により被検体からの反射波形をオシロスコープ上で確認しながら、ゲート（解析範囲）を表面波直後と隅肉面からの反射波（以下、隅肉面波と表現する）の間に設定し、内部欠陥を真上からみたような平面的な画像処理（Cスコープ）と波形解析を行う。また、平面的なCスコープに対して断面的な画像処理（Bスコープ）も行う。これについては後にワークステーション（WS）上でデータ処理を行い3次元化している。波形解析はゲート内の波形をDSOに取り込み、FFT演算処理をし、パソコンによってデータは記録される。このデータについてもWSにより波形の3次元画像表示を行っている。

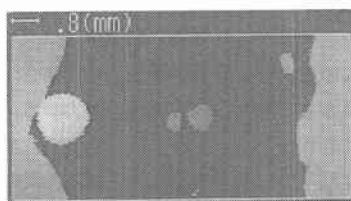
3. 画像処理

超音波探傷映像装置により得られた欠陥A-1（ $\phi 4.0\text{mm}$ ）のCスコープによる強度データと路程データを図3-(a)、(b)に示す。強度データについては反射波の振幅が大きいところは明るくなり、振幅が小さいところでは暗くなる。つまりこれにより欠陥の位置を把握することができる。一方、路程データは深さの関係を明暗で表示している。これらの図では欠陥のサイズは約2mm程度となっている。また、同じく欠陥A-1のBスコープ3次元画像を図4-

(a)、(b)に示す。これは欠陥A-1付近の断面画像（Bスコープ）を数十回、位置をずらしながらとったものを一つの三次元物体として表示させたものである。どの部分が何を表しているかは図5を参照されたい。この三次元処理にはWSと可視化ソフトウェアのAVS（Application Visualization System）を用いた。図4-(a)は各点のデータ値をカラーに変換し、3Dテクスチャマッピング処理を行い、欠陥周辺部及びデッキプレートの表面、底面部を判別できるようなデータから任意の値を抽出し等値面を作成し、他の部分については半透明処理を行って同時に表示させ、それぞれの位置関係を明瞭にした。また図4-(b)は図4-(a)と同様に等値面を表示



(a) 強度データ



(b) 路程データ

図3 超音波探傷画像

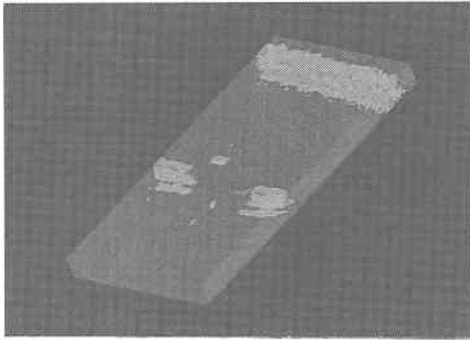


図4-(a) 3次元画像 (テクスチャマッピング処理)

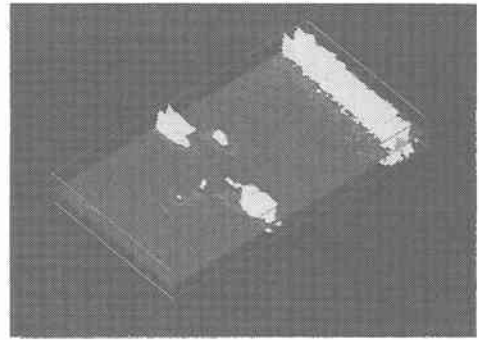


図4-(b) 3次元画像 (欠陥中央部の断面画像を表示)

し、さらに欠陥中央部の断面のみを抽出した。これにより隅肉面の形状も確認できる。WS上ではこの2つの画像をあらゆる角度に回転、拡大、縮小して検討することが出来る。これらの画像によると、欠陥（ドリルホール）の先端が、デッキプレート内部まで入り込んでいることがわかる。またドリルホール入口付近からも反射波がかえってきており、ドリルホールの先端と入口との位置関係から欠陥A-1は多少傾いてしまっていることも確認できる。ここでは、隅肉溶接部のドリルホールについて取り上げたが、グループ溶接部についても同様に画像処理を行い比較を行ったが両者における画像上の違いはみられなかった。しかし、ホールの傾きや深さの違いに関してはこの3次元化によって顕著にあらわれる。

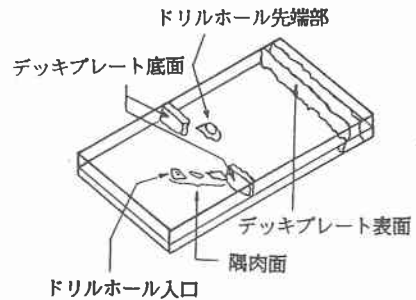


図5 3次元画像説明図

4. 波形解析

前節と同様に欠陥A-1について測定波形を図6に示す。測定波形は、上から順に欠陥の左側から欠陥に近づいたときの界面波と底面波と隅肉面からの反射波の振幅の変化を示した図である。縦軸は振幅を表している。横軸は時間(μs)を示し、測定データ数4096点である。また左側についている数字(①~⑩)は、波形を測定した位置を示し、図7の図中の数字にそれぞれ対応する。図7は、測定波形から界面波と底面波、隅肉部からの反射波のそれぞれの最大値を求め、界面の最大エコー高さ(B_o)と底面波の最大エコー高さ(B_a)と隅肉面波の最大エコー高さ(B_s)を基準底面波(B_{a0} : 測定底面波形の最大値)で規準化した。^{2),3)}また横軸は探触子の移動距離を示す。実際の欠陥のサイズは $\phi 4.0$ mmであるが図7では B_o/B_{a0} 線と B_a/B_{a0} 線との交点間の距離から約3 mmぐらいとなる。また、測定波形の3次元画像処理をWS上でSVA (Scientific Visual Analysis) ソフトのPV-WAVEを用いて行った(図8)。波形を測定位置の順に並べ、軸の原点側が図3-

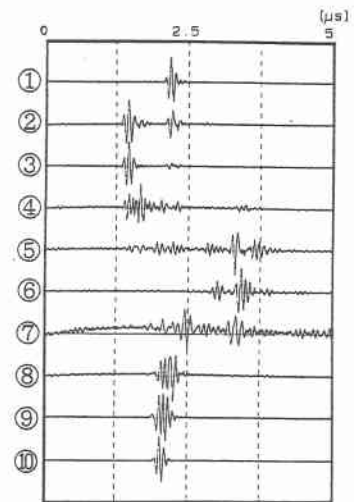


図6 測定波形

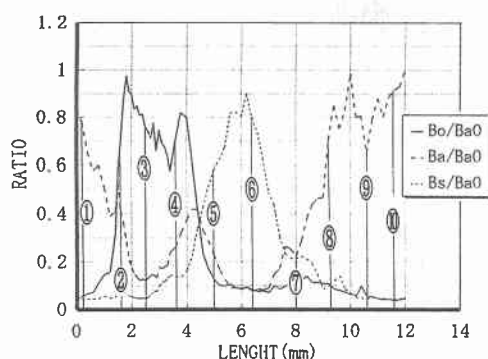


図7 エコー高さ包絡線

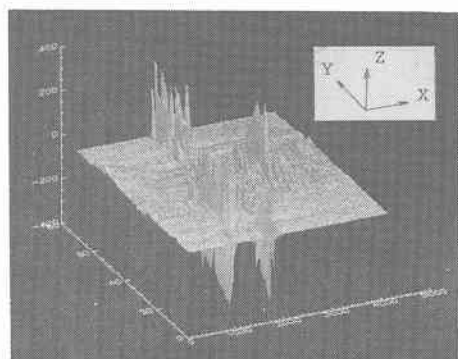


図8 測定波形の3次元画像

(a)の左側と一致し、X軸方向を経過時間、Y軸方向を測定移動距離、Z軸方向を振幅として隠線処理とシェーディング処理によって表示した。これによると、底面波よりも界面波（欠陥の先端部からの反射波）の方が先にあらわれておりこの図形からもホールがデッキプレート内部に達していることがわかる。そして、ホールの傾き具合や隅肉の形状も判断することが出来る。（前節の画像と同様にワークステーション上で回転、拡大、縮小して検討することが可能である。）

5. 結論

超音波探傷映像装置とワークステーションによる3次元画像処理を使用することにより、閉リブ鋼床版の溶接部に作製したドリルホールの位置や傾き、寸法など欠陥検出精度の向上と可視化の有用性について検討を行った。以下に本研究で検討を行った内容を結論としてまとめる。

- 1) 欠陥の寸法をCスコープの情報から得るよりも、波形解析によってより実際に近い値を求めることが可能である。しかしまだ実際の大きさより小さく判定されるので改良の余地がある。
- 2) 測定波形の3次元画像表示により、欠陥周辺部の界面波、底面波、隅肉面波の状況を判断することが出来る。
- 3) 断面画像の3次元化を行うことで、より実際のイメージに近いものを表現し、的確な判断をする上での重要な情報とすることが出来る。

欠陥などを多角的に判断する際、実験や解析により情報量は多く、そして複雑になっていきそのままでは3次元的位置関係なども判断しにくくなる。しかし、可視化を行うことによってそれらのデータをより単純にしかも明瞭に表現し、的確な判断への足掛かりになると考える。

本研究は、文部省科学研究費一般研究（C）（研究代表者大島俊之）の一部として行ったものである。

参考文献

- 1) 土木学会編：鋼床版の疲労、1990.9
- 2) 三上修一、杉浦伸哉、大島俊之、菅原 登：疑似欠陥を有する鋼材中を伝播する超音波の波形解析、土木学会北海道支部論文報告集、第49号、平成5年2月、pp129-132.
- 3) 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, pp103-112, 1994.10