

I-20

隅肉溶接部内部の微小欠陥による超音波散乱のシミュレーション

北見工業大学	学生員	久恒 雅人
北見工業大学	正 員	三上 修一
北見工業大学	正 員	山崎 智之
北見工業大学	正 員	菅原 登
北見工業大学	正 員	大島 俊之

1. まえがき

隅肉溶接やかど溶接部中のブローホールからの疲労亀裂の進展を追跡する研究はこれまでもいくつか行われている。^{5), 6)} また鋼床版においてはトラフリブとデッキプレートの溶接や縦リブと横リブの結合など隅肉溶接が多く用いられているが、これらの溶接に関する追跡システムの開発は必要なものとなってきた。しかしこれらの溶接箇所は超音波のプロブが近づきにくく、精度の良い探傷のためには今後種々の工夫を必要としている。

本研究では、この隅肉溶接部の超音波による非破壊検査を支援するため、隅肉溶接内の微小欠陥による超音波の散乱挙動をシミュレーションして、有用な情報を取り出すための着目事項を数値解析により検討する。本論文は別途発表する鋼床版についての超音波実験と関連した一連の研究の成果である。

2. 欠陥を有する隅肉溶接部の応力波動伝播のシミュレーション

本研究では別途実施している隅肉溶接部の超音波探像実験をモデル化し、図1に示すような溶接内部の診断を支援するための総合構造解析プログラムMARCによるシミュレーションを行っている。

(1) 計算条件

対象とした構造は図2に示すような形状であり、デッキプレート厚さ11mm、溶接サイズ5mm、リブプレート厚5.5mmである。入射波の幅は実験において焦点型のプログラムを使用しているので、デッキプレート表面における超音波の収束状況を推定して2.3mmとした。要素分割は図2のように8節点4角

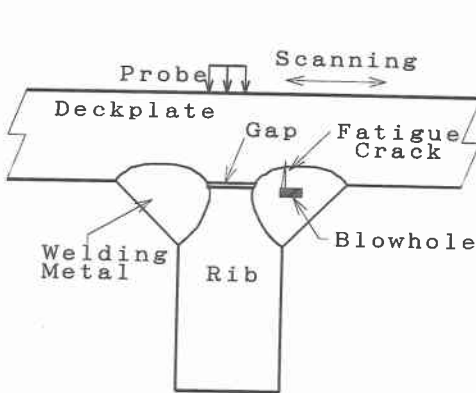
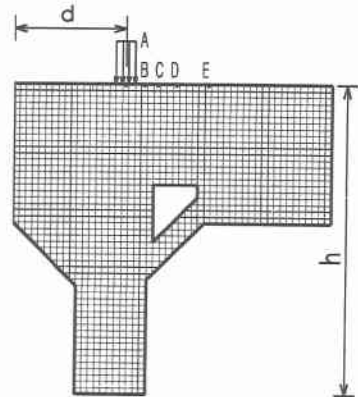


図1 隅肉溶接のモデル化


図2 $\phi 4.0$ ドリルホールモデル

Simulation of Ultrasonic Scattering due to Internal Small Defect in Fillet Joint

by Masato HISATSUNE, Shuichi MIKAMI, Tomoyuki YAMAZAKI, Noboru SUGAWARA and Toshiyuki OSHIMA

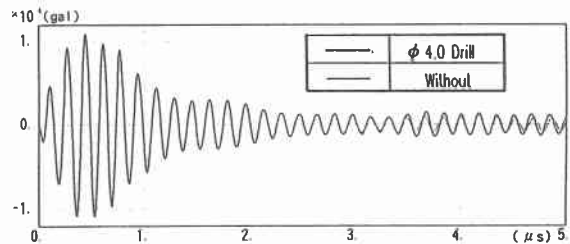
形要素と3角形要素を組み合わせで使用している。図に示した白抜き領域は実験で用いているブローホールをモデル化した埋め込みドリルホールを意味する。ここではこのドリルホールの直径として $\phi 4.0\text{mm}$ 、 2.5mm 、 1.5mm の3種類を用いている。材料定数としては、弾性係数 $2.1 \times 10^7 \text{tf/m}^2$ 、ポアソン比 0.30 、質量 0.801tf/m^3 、このとき、鋼材中の音速は縦波 5900m/s 、横波 3230m/s となる。要素分割については、プローブの共振周波数 5MHz を想定すると縦波波長 1.18mm 、横波波長 0.64mm となるので、要素長を 0.25mm とした。材料減衰については、今回は考慮せず、エネルギー逸散による減衰 (Attenuation) のみを考慮した。入射波の波形は

$$f(t) = A \cdot \sin f_0 t \cdot \sin f_a t \quad (1)$$

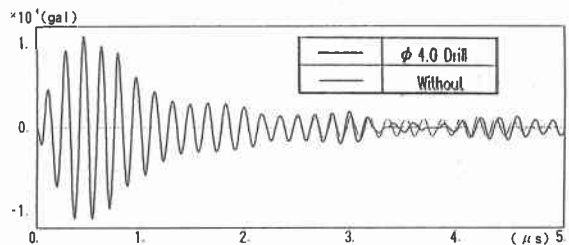
の形状とし、実験での入射波形を参考として $f_0 = 0.667\text{MHz}$ 、 $f_a = 5.34\text{MHz}$ とした。ただし、 A は任意の入力振幅である。これにより入射波としては4波分入射されることとなる。入射波の継続時間は $0.75\mu\text{s}$ であり、時間ステップは $0.01\mu\text{s}$ となっている。

(2) 計算結果

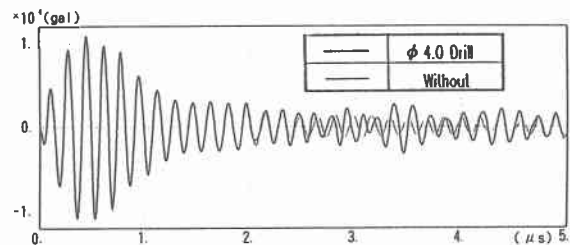
図3は図2のように部材上面を水平方向にプローブがScanningする時のA、B、C、D、E点の5箇所における受信波の計算結果の比較である。実験システムでは1プローブの入出力方式をとっているので入射波と反射波の受信点は同一である。図中太い実線は $\phi 4.0\text{mm}$ のドリルホールがある場合の鉛直方向加速度の結果、細い実線はドリルホールがない場合の結果である。プローブが欠陥の真上に来るにつれて反射波の到達が早く、欠陥の影響が明瞭に見られる。数値計算結果は $\phi 2.5\text{mm}$ 、 $\phi 1.5\text{mm}$ のドリルホールに対しても同様に得られている。次に図4 (a)、(b)には以上のようにして得られた $\phi 2.5$ のドリルホールの場合の加速度応答をベクトル化した結果を示している。図4 (a)は経過時間が $0.95\mu\text{s} \sim 1.20\mu\text{s}$ の場合、図4 (b)は経過時間が $1.55\mu\text{s} \sim 1.80\mu\text{s}$ までの結果である。これらの結果を図3の横軸の経過時間と対比させて見ると材料内部の応力波動の散乱状況が確認できる。すなわち応力波動が $1.20\mu\text{s}$ あたりで欠陥コーナー部に到達した後、 $1.80\mu\text{s}$ では欠陥上縁からの強い反射波が上方方向に向かっている状況が確認できる。著者らは



(a) A点



(b) B点



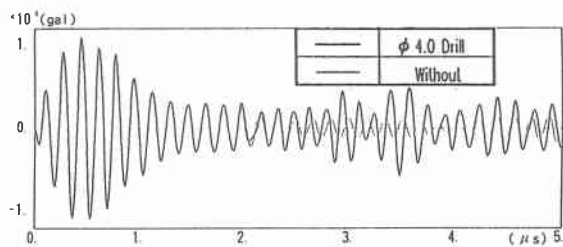
(c) C点

図3 プローブのスキャンによる反射波の変化

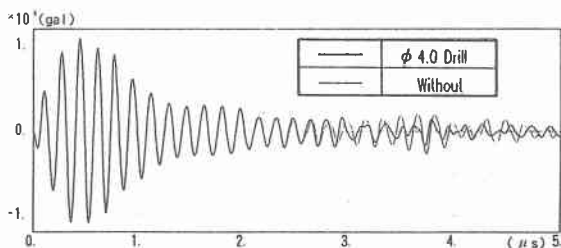
これらのベクトル表示とは別にSVA (Scientific Visual Analysis) によって同様の隅肉溶接部の応力波動問題を画像処理(カラー表示)して表現した結果を発表している。²⁾この場合は欠陥のある場合とない場合の応答結果の差を求めこれを可視化したもので、欠陥のみの影響がどのように伝播していくかが求められた。本論文のベクトル表示の結果は散乱の方向性や振幅分布などが明らかとなり、カラー表示とは違った新しい知見が得られる。⁷⁾

3. まとめ

本研究では隅肉溶接部の疲労亀裂進展を追跡するための超音波試験をモデル化したシミュレーションを実施した。数値計算は北見工大情報処理センターのCONVEY3440上のMARC

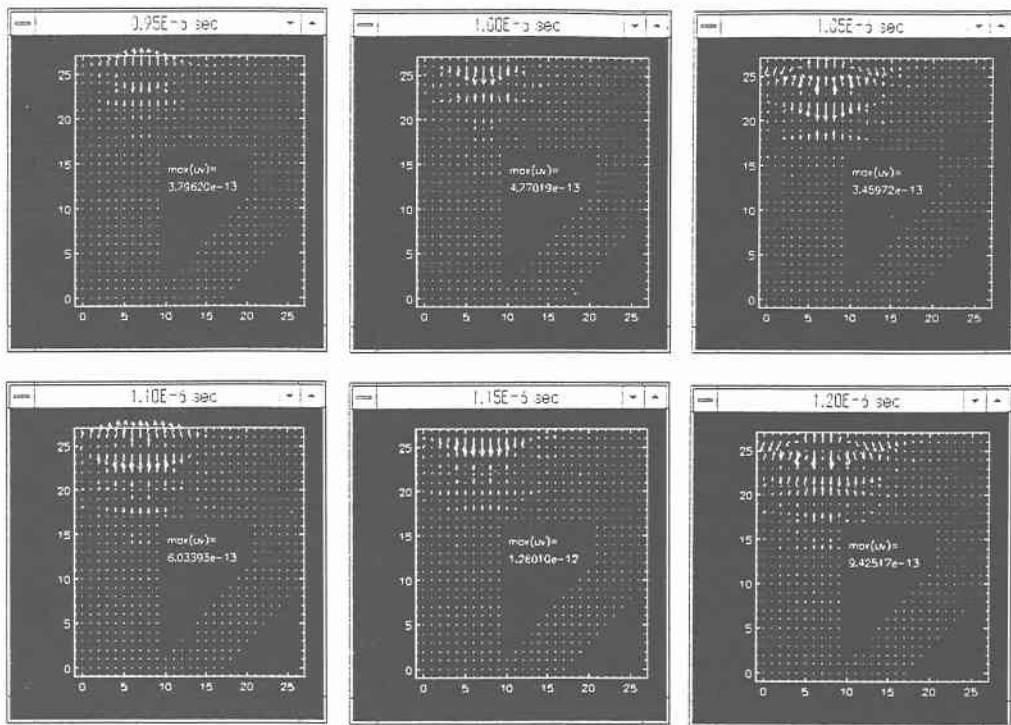


(d) D点



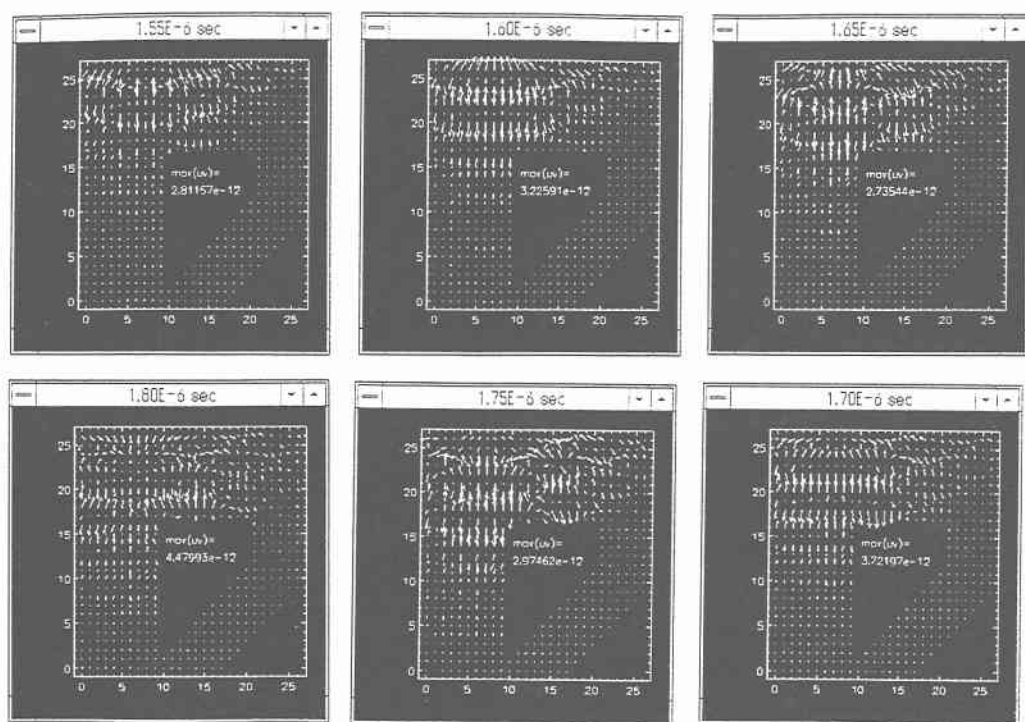
(e) E点

図3 プローブのスキャンによる反射波の変化(つづき)



(a) 0.95μs~1.2μs

図4 加速度応答のベクトル化 (φ2.5ドリルホール)



(b) $1.55\mu s \sim 1.8\mu s$

図4 加速度応答のベクトル化 ($\phi 2.5$ ドリルホール)

を利用したが、総節点数が4700点以上となり1件の処理時間が9時間を越える状況であった。

追記

本論文の第一著者久恒真人君は、平成6年12月24日25歳の若さで急逝した。本論文は同君の生前の研究成果を用いてとりまとめたものである。同君は北見工科大学の優秀な学生であり、将来を嘱望された有意な青年であったのでその死に愛惜の念を禁じ得ない。ここに同君のご冥福をお祈りいたします。

参考文献

- 1) 久恒他：超音波試験による溶接欠陥検出精度の評価，土木学会北海道支部論文報告集，第50巻，1994。
- 2) 菅原他：欠陥を有する隅肉溶接部の応力波動伝播の解析，土木学会北海道支部論文報告集，第50巻，1994。
- 3) 菅原他：欠陥を有する部材中の応力波動伝播のVisual Simulation，土木学会第48回年次学術講演会概要集，1993。
- 4) 土木学会：鋼床版の疲労，鋼構造シリーズ4，1990。
- 5) 飯島他：補剛トラス部材溶接継手の疲労亀裂検出に関する実験，土木学会論文集，第410号/I-12（報告），1989。
- 6) K.Sakamoto et al.: Estimation of Fatigue Crack Growth by Ultrasonic Imaging Method, 土木学会論文集, Vol. 2, No. 2, 1985。
- 7) 三木他：超音波パルスエコー法の数値シミュレーション，構造工学論文集，Vol. 37A，1991。