

I-19

繰返応力を受ける欠陥突合せ溶接部の破壊進展解析

北見工大 正員 山崎 智之
北見工大 正員 大島 俊之
㈱構造技研 曳地 正和

北見工大 正員 菅原 登
北見工大 学生員 久恒 雅人

1. まえがき

構造部材が使用中に受ける荷重は自重のような持続荷重と、時間とともに変化する変動荷重に分けられる。変動荷重の問題一つとして繰返応力を受けることによる破断強度の低下（疲労強度）があげられる。これまで筆者等は切欠きを有する鋼材に対し引張試験（静的荷重）を行い、鋼材が破断するまでの塑性領域や塑性変形と超音波探傷試験より得られる画像データとの関係について研究してきた。¹⁾

本研究では溶接内部の欠陥が繰返応力を受けることにより、欠陥形状の変化や合体した欠陥の進展等を追跡したものである。しかし、載荷装置の故障により鋼材が破断まで至らず、実験の継続が不可能なことから本文においては実験方法並びに途中経過の報告とする。

2. 繰返応力試験及び超音波探傷試験

供試体は一般構造用鋼材 SS400（同種実測、降伏強さ 3400kgf/cm^2 、引張強さ 4500kgf/cm^2 ）を使用し、供試体形状は図1の様に長さ300mm、幅80mm、厚さ6mmで、長さ方向中央部に溶接を施し、両側端面にV型切欠き（角度 60° 、深さ20mm）を設けたものとした。また、溶接内部に欠陥が含まれるようにするため、溶接は三層に分けて行い、二層目の溶接時にアーク溶接の電圧を下げてブローホール状の欠陥が入るようにした。

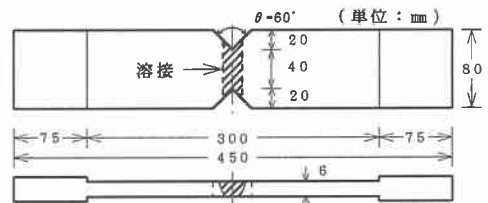


図1 突合せ溶接を行った供試体

(1) 繰返応力試験

載荷装置は繰返し載荷プログラム装置が付属している万能試験機（レンジ50tf）を使用し、本試験による繰返荷重は次のように設定した。

- ①繰返し荷重振幅 : 引張荷重1～5 tf
- ②繰返し載荷スピード : 1時間に約300回

荷重振幅の最小荷重は万能試験機の治具が挟むだけのものであり、載荷の精度として $\pm 200\text{kgf}$ のずれが生じるため1tfとした。最大荷重は同形状の供試体（溶接なし）において1～7tfの荷重振幅で約12000回の繰返し荷重で破断したこと、また同供試体（溶接欠陥あり）で引張試験を行った場合6.5tfで切欠き先端や溶接欠陥上に大きな塑性変形をおこし（約8tfで破断）超音波の入反射に影響を及ぼしたことから最大を5tfとした。載荷スピードは使用した万能試験機における繰返し載荷プログラム装置の状態と載荷の精度との関係から決定した。

本実験は繰返し載荷数8000回以降で万能試験機の繰返し載荷プログラム装置が故障したため、供試体が破断し、装置の修理に時間が掛かることより載荷回数8000回迄のデータで考察する。

Fracture Propagation Analysis of Notched Butt Joint under Cyclic Loading

by Tomoyuki YAMAZAKI, Noboru SUGAWARA, Toshiyuki OSHIMA, Masato HISATSUNE, Masakazu HIKICHI

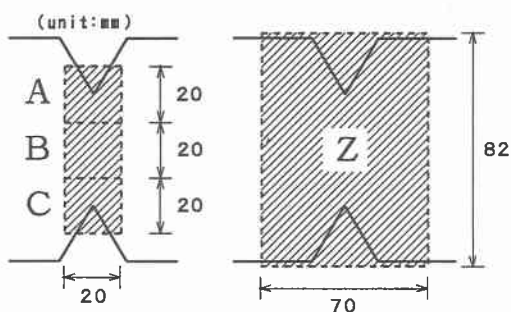


図2 探傷範囲

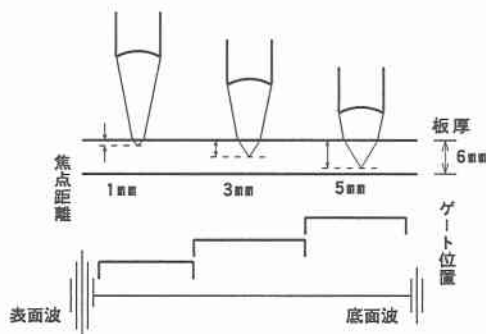


図3 焦点距離とゲート位置

(2) 超音波探傷試験

超音波探傷試験には超音波探傷映像装置（日立建機社製、AT5000）¹⁾を使用し、探触子は水浸用焦点型垂直探触子25MHz（水中焦点距離50mm）を用いた。探傷試験は(1)の繰返し载荷数1000回毎に試験を行い探傷画像（Cスコープ画像）を得た。

探傷範囲は図2の様にA、B、C、Zの斜線を引いた4種類の範囲とした。

- A : 供試体中心より20mm上方を中心とした縦横20×20mm, 走査ピッチ0.05mm
- B : 供試体中心を中心とした縦横20×20mm, 走査ピッチ0.05mm
- C : 供試体中心より20mm下方を中心とした縦横20×20mm, 走査ピッチ0.05mm
- Z : 供試体中心を中心とした縦横82×70mm, 走査ピッチ0.2mm

A、B、Cは狭い範囲を精度良く探傷したもので、Zは応力集中部及び切欠きを含む広い範囲を探傷したものである。

探傷画像は供試体の表面エコー、底面エコー及び欠陥の界面エコーによる画像を得た。特に、界面エコーによる画像は界面の位置と焦点距離が異なることにより界面エコー強度も異なるため、焦点距離の異なる3種類の探傷画像を得た。焦点距離の分類は供試体の厚さ（6mm）を三等分してそれぞれの中央に焦点を合わせ、焦点距離の深さは供試体表面より1mm、3mm、5mmとし、エコー選択幅（ゲート）も厚さの三等分とした（図3）。

3. 探傷画像の考察

①表面エコーによる画像（図4 探傷範囲Z）

中心の+字印は探傷範囲を固定するためにつけたものである。繰返し载荷回数の増加に伴い、探傷範囲全体に極小な黒点が現れ徐々に黒点が鮮明になってきている。また、切欠き先端を結ぶ溶接部分と思われる箇所が現れてきている。しかし、切欠き先端の形状には全く変化はない。

黒点や溶接線の明瞭化は繰返し载荷の影響ではなく、探傷試験は水浸法で行っており鋼材中に存在する inclusion（介在物）や溶接材と母材表面

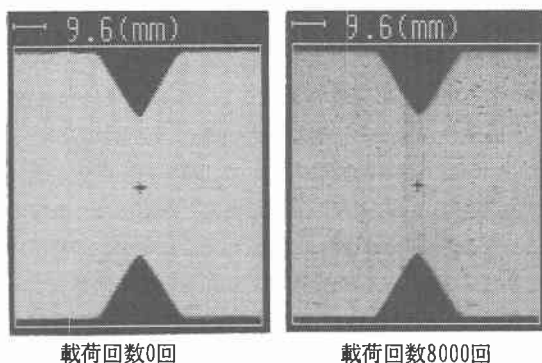


図4 表面エコーの画像（探傷範囲Z）

の腐食の違いにより明瞭化したものと考えられる。これらは、ある程度肉眼でも確認できる。

②底面エコーによる画像（図5 探傷範囲Z）

切欠き先端を結ぶ溶接部分に黒い影が現れており、これらは溶接内部の欠陥により超音波が屈折しエコーが無い部分である。しかし、欠陥の形状はこの様に帯状に連なったものではなく、個々のものは球状に近いものでありその数が多いため影が重なり帯状につながった様に現れている。

繰返し载荷回数の増加に伴う変化は見られず、载荷回数1000回と8000回を比較しても欠陥形状の変化はあまり見られない。

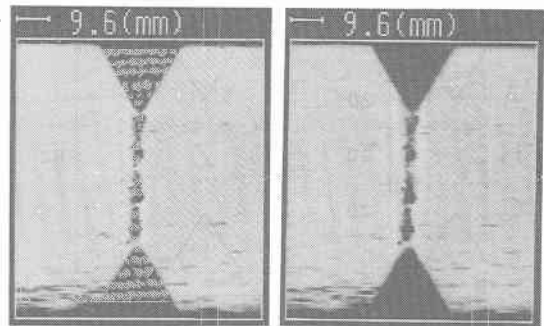


図5 底面エコーの画像（探傷範囲Z）

③底面エコーによる画像（図6 探傷範囲A）

図6は底面エコーにおける詳細画像で、繰返し载荷数0回、3000回、8000回目の探傷画像である。0回と8000回の画像は全体的に3000回目より暗く、欠陥部分の影もわずかに広がっている様に見られる。しかし、他の回数と比較すると個々の画像における画像全体の濃淡や欠陥の影の広さは多少異なるが、载荷回数の増加に伴う統一的な変化はみられない。これは探傷範囲B、Cにおいても同様である。

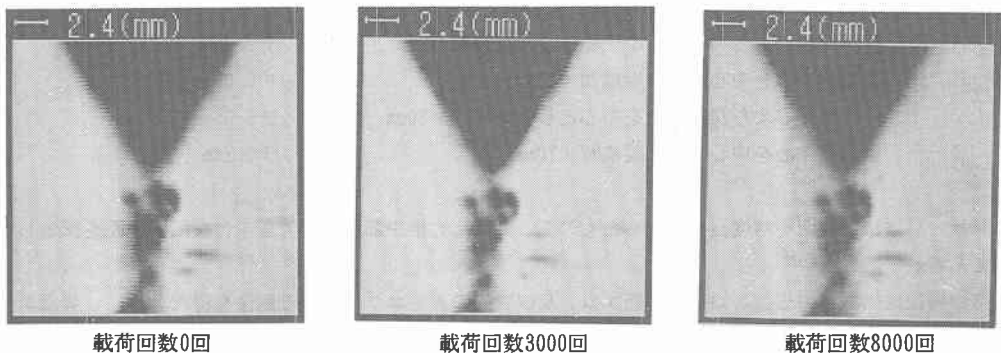


図6 底面エコーの画像（探傷範囲A）

④界面エコーによる画像（図7 探傷範囲A 焦点距離3mm）

画像の中心ラインに見られるほぼ円形の輝点の集まりが溶接欠陥の平面位置や形状を現している。

焦点距離3mmの画像において左から25mm下から16mmの一番大きな輝点に着目すると载荷前（载荷0回目）では画像は全体的なブレにより他の輝点と重なって変形して見える。4000回目と6000回目では少し小さくなっている。その他の回数ではほぼ同じ大きさ、形状をしている。また、载荷0回目と载荷7000回目の画像で左から26mm下から20mmの位置に小さい輝点が見られるが、その他の画像には現れていない。他の小さく、薄い輝点についても個々の回数において比較すると多少の違いは見られる。

焦点距離1mmの画像の場合ほとんど輝点はなく欠陥の界面が無いことが判る。また、焦点距離5mmの画像には中心から外れた横長の輝点が見られるが、これは材料底面付近に存在する深いinclusionからの反射と考えられる。また、探傷範囲B、Cにおいても同様な傾向である。

界面エコー画像全体から考察すると欠陥個々の平面位置や形状をある程度あらわしており、欠陥の位置する深さは鋼材表面から3~5mmの付近に多く分布していることがわかる（焦点距離や超音波の反射位置から）。また、载荷回数の違いによりわずかな変化が見られるが、繰返し载荷数の増加による統一的な変化は見ら

れず、欠陥同士の結合も確認は出来なかった。これらのことから欠陥個々のわずかな変化が繰り返し載荷によるものか、実験装置の設定上（焦点位置及びゲートの設定、探傷に使用した水の違いによる画像濃淡の）の誤差によるものかは明確に判断できない。

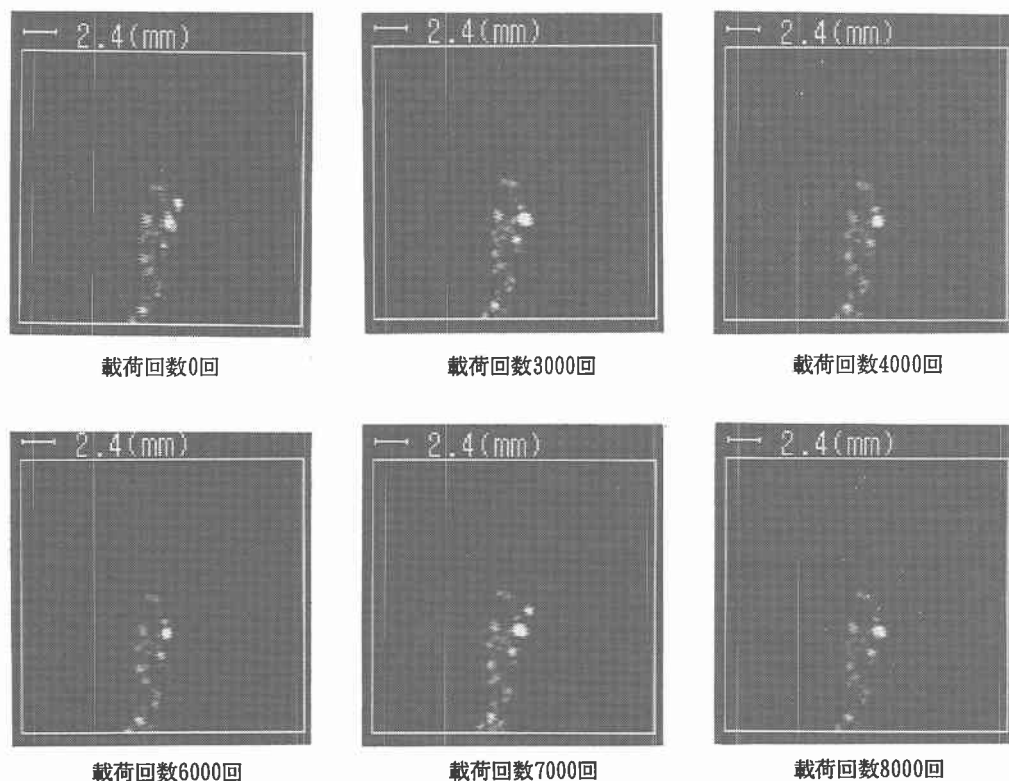


図7 界面エコーによる画像（探傷範囲A 焦点距離3mm）

4. あとがき

今回の実験の目的は、鋼材溶接部の欠陥が繰返し荷重を受けてどのように破壊に至るかに着眼して超音波探傷映像装置を用いて欠陥や供試体の形状等を追跡してきた。しかし、繰返し載荷数8000回以降に載荷装置の故障により実験は中断し鋼材が破断するまでのデータが得られなかった。

載荷回数8000回までの画像データからは大きな変化は見られず、界面エコー画像において欠陥のわずかな変化が見られる程度で、繰返し載荷の影響が明瞭には見られなかった。これは繰返し載荷回数が8000回では少なかったことや荷重振幅が1～5tfと振幅が小さすぎたため大きな塑性変形が起きなかったこと、また超音波探傷試験の設定誤差により判別が困難であったことが上げられ、今後の課題である。

最後に、本実験に協力いただいた北見工業大学の浦 浩志君、藤原 伸君の両名に深く感謝いたします。また、本研究は文部省科学研究費一般研究C（代表者大島俊之）の一部として行った。

参考文献

- 1) 菅原、三上、山崎、大島: 波形解析を応用した超音波探傷法の微小欠陥検出精度向上に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 38A, 1992