

投稿論文(和文)
PAPERS

側方に静的荷重を受けたガセット継手の疲労強度

山田健太郎¹・岡戸直樹²・田中寿志³・近藤明雅⁴

¹正会員 Ph.D. 名古屋大学教授 工学部土木工学科 (〒464-01 名古屋市千種区不老町)

²学生会員 名古屋大学大学院博士課程前期在学中 (〒464-01 名古屋市千種区不老町)

³正会員 工修 (財) 鉄道総合技術研究所 (〒185 国分寺市光町2-8-38)

⁴正会員 工博 名城大学助教授 理工学部土木工学科 (〒468 名古屋市天白区塩釜口)

長さ 200mm の面内ガセット溶接継手を用いて、ガセットに静的な引張および圧縮の横方向力を導入して疲労試験を行った。実験は、溶接したままの試験体、残留応力を除去した試験体、最初に1回過荷重を付加した試験体について行った。溶接したままの試験体は、横方向力の影響が見られなかったが、残留応力を除去した試験体では、圧縮の横方向力によって疲労寿命が延びる結果となった。また、一般に疲労寿命の向上をもたらすと言われる過荷重の効果は、引張の横方向力を導入することによって減少した。これらの試験結果は、弾塑性有限要素解析で得られた応力分布によって、説明することができた。

Key Words : fatigue test, welded gusset, biaxial force, overload

1. はじめに

鋼構造物では部材の構成あるいは補強の目的で、各種の付加物、例えばガセットやカバープレートなどが溶接されている。このような溶接継手では、継手形状や溶接止端に起因する応力集中により、繰返し荷重を受けると、疲労が問題となる場合があり、これまで1軸方向の荷重による疲労試験が行われてきた^{1)~4)}。実構造物では、溶接継手に作用する力は1つではなく、複雑な応力状態を示すことがある。例えば橋梁では、主桁と横桁、あるいは横桁と縦桁の取り合い部にみられるように、2軸方向に応力が作用している場合がある。そこで、本研究では、その最も単純な場合として、面内ガセット溶接継手を用いてガセットに静的な引張および圧縮の横方向力を導入して疲労試験を行い、側方応力が疲労強度に及ぼす影響を検討した。実験は、①溶接したまま(as-welded)の試験体、②残留応力を除去した(stress-relieved)試験体、および③最初に1回の過荷重を付加した後に側方応力(overloaded)を与えた試験体について実施し、これらの応力状態での横方向力の疲労強度に及ぼす影響を検討した。

2. 疲労試験体および疲労試験方法

(1) 疲労試験体の製作

試験体に用いた供試鋼材は、板厚 9mm の普通構造用鋼 JIS SM490A であり、その化学的成分および機械的性質を表-1に示す。鋼材は幅 200mm の電炉広幅平鋼である。また、試験体の形状と寸法は図-1に示す。この試験体は 9 × 200 × 900mm の主板の両側に、9 × 350 × 200mm のガセットが溶接されたものである。ガセットの溶接は、まず、完全溶込み形開先溶接を施した。開先を取って、突合せ溶接をした後に、裏面をガウジングして裏溶接を行った。裏溶接の際に、ガセット端にまわしすみ肉溶接を施した。なお、溶接止端部は仕上げしていない。

一部の試験体は、横方向力が作用したときの残留応力の影響を調べるため、応力除去焼きなましを行った。これは、600℃に加熱された炉中に試験体を1時間放置し、その後約15時間かけて室温まで炉冷することによって行った。

(2) 残留応力分布の測定

溶接したままの試験体(as-welded)と残留応力除去した試験体(stress-relieved)の主板の長さ方向の

表-1 SM 490A の化学的組成および機械的性質

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cu (%)	Ni (%)	Cr (%)	降伏応力 (MPa)	引張応力 (MPa)	伸び (%)
0.168	0.142	1.21	0.024	0.015	0.06	0.05	0.10	394	561	26.0

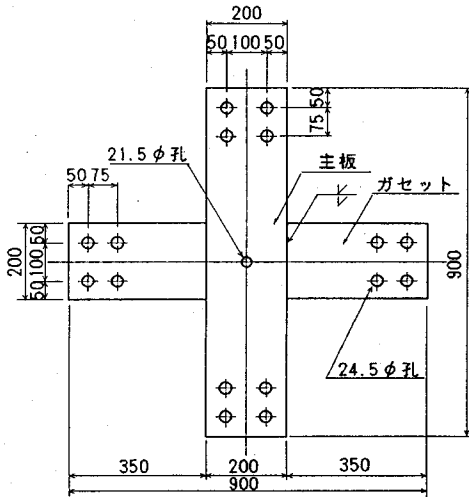


図-1 試験体の形状と寸法

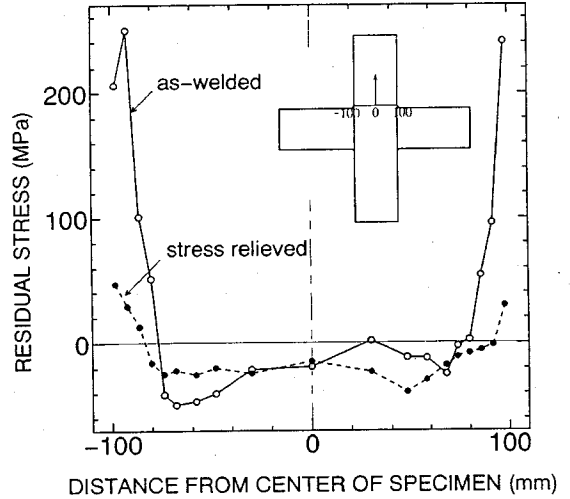


図-2 残留応力分布

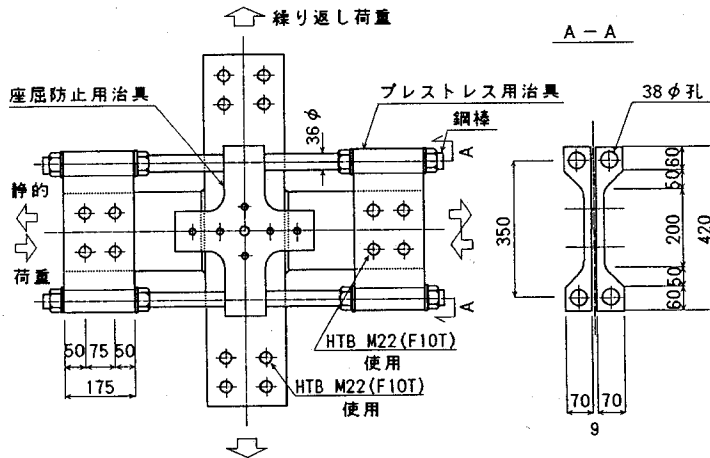


図-3 横方向力導入用治具

残留応力を、ゲージ長1mmのひずみゲージを用いて、切断法によって測定した。その残留応力の測定結果を図-2に示す。溶接したままの試験体では、溶接止端近傍で材料の降伏点(394MPa)の約60%に相当する、250MPa程度の引張残留応力が発生している。一方、残留応力除去した試験体では、応力除去焼きなましによってこの部分の残留応力が40MPa程度に低減された。前者の試験体と比べると、溶接止端付近の残留応力は1/6程度になった。

(3)横方向力の導入方法と疲労試験方法

横方向力の導入には、図-3に示す治具を用いた。この治具を、ボルトによって試験体のガセットに取り付け、治具の鋼棒に取り付けられている内側のナットを締めることによってガセットに引張力を、外側のナットを締めることによって圧縮力を導入した。横方向力の大きさは、引張、圧縮ともに98MPaとし、ガセットの両面に貼付したひずみゲージによって横方向力の大きさを調整した。

疲労試験は、アムスラー型万能疲労試験機（容量100tf）を使用し、毎分約270回の繰り返し速度の一定振幅荷重で実施した。最小荷重は3tfとした。試験体には、溶接止端部とそこから10mm離れた位置に直径0.04mmφのウレメット被覆銅線を貼付した。銅線を貼付した位置に疲労き裂が発生、進展するとこれらの銅線が切れ、試験機が停止する。ここでは、溶接止端部に貼付した銅線が切れるまでの荷重の繰り返し数を疲労き裂発生寿命 N_c とし、溶接止端部から10mm離れた所に貼付した銅線が切れるまでの荷重の繰り返し数を破断寿命 N_f とした。

(4) 過荷重

実構造物では、各部材に変動荷重が作用する。そのため、変動荷重下での疲労挙動の検討が必要となってくるが、ここでは、その最も単純化された過荷重の影響を検討する。一般に、応力集中部をもつ試験体に引張の過荷重を加えると、疲労寿命が向上することが知られている⁵⁾。この向上効果は、過荷重の大きさ、載荷時期、回数などによっても変わるが、過荷重によって応力集中部が塑性変形をおこし、そこに圧縮残留応力が付加され、疲労に影響を与える引張側の応力が低減されることによって起こると考えられている。そこで、ガセット溶接継手の疲労寿命に与える過荷重の影響と横方向力の関係を検討するため、過荷重を付加した疲労試験も行った。

実験は、まず試験体に過荷重を静的に載荷し、それを除荷した後、98MPaに相当する引張の横方向力を導入して疲労試験を行った。また、比較のため、過荷重を付加した1軸の疲労試験も行った。疲労試験の応力範囲は59MPa一定として、下限荷重を3tfとした。過荷重の大きさは、過荷重比(σ_{ol}/σ_{max})が2となるような荷重を付加した。ここで、 σ_{ol} は過荷重による応力を、 σ_{max} は疲労試験における最大応力を表す。今回は、溶接したままの試験体と残留応力除去した試験体について、過荷重を付加した試験を行った。

(5) 試験体の名称

試験体には、次のような記号を付した。すなわち、
 G：ガセット継手で溶接したまま
 GR：ガセット継手で残留応力除去焼きなましをしたもの
 O：過荷重を導入したもの
 T：側方に引張力を導入したもの
 C：側方に圧縮力を導入したものをそれぞれ示す。

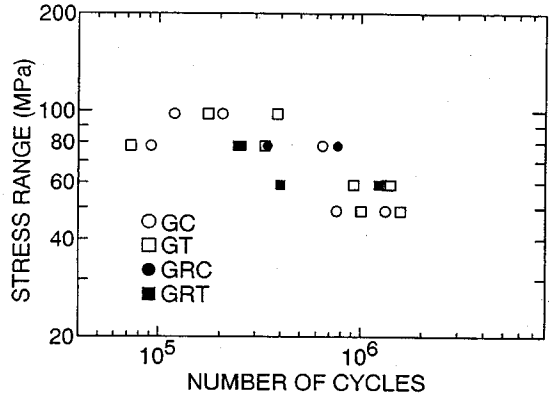


図-4 S-Nc線図

3. 疲労試験結果

(1) 疲労き裂の発生、進展状況

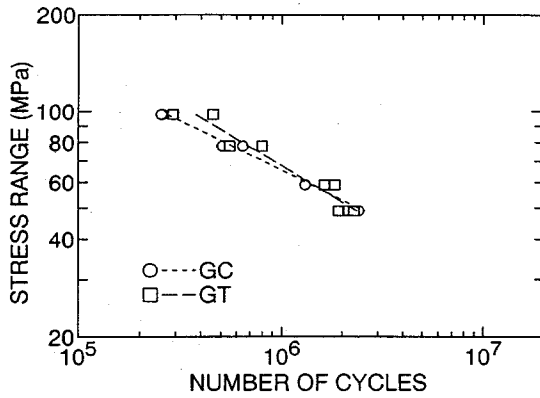
き裂の発生、進展状況を観察するために、ガセットの溶接止端に貼付した銅線が切れた時に、ビーチマーク試験およびダイマーキングを行い、破面に痕跡を残した。疲労き裂はすべてガセット端のまわし溶接止端より発生し、主板の板幅方向に進展した。破面観察によると、溶接止端に貼付された銅線が切れたときの初期き裂長 a_c は、2.1～7.7mmとなった。今回検出された初期き裂長は、過去の実験値と比べて少し大きい³⁾。これは、銅線の貼付位置とき裂が発生した位置との不一致、または銅線の溶接止端への密着性の欠如などが原因として考えられる。また、ビーチマークおよびダイマークが確認できない試験体がいくつかみられた。これは、銅線が切れたときにはまだき裂が発生していなかったか、き裂が小さくて明確な痕跡が残せなかったものと考えられる。き裂形状は、1/4楕円き裂、半楕円き裂、板厚貫通き裂が観察された。

(2) 疲労き裂発生寿命 N_c

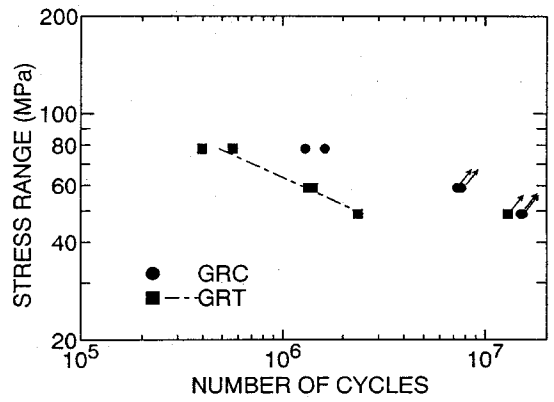
疲労き裂発生寿命 N_c は、ここではガセットの溶接止端部に貼付した銅線が切断されたときの荷重の繰り返し数である。図-4に N_c が明確に得られたデータのS-Nc線図を示す。 N_c は、試験体毎にかなりのばらつきがみられた。このばらつきは、初期き裂長 a_c にばらつきがあったことによると思われる。後述するように、 N_f に関しては、ばらつきは比較的小さい。

(3) 破断寿命 N_f

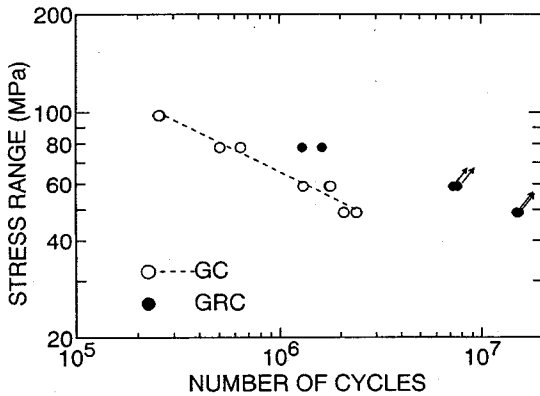
破断寿命 N_f は、溶接止端部から10mm離れたと



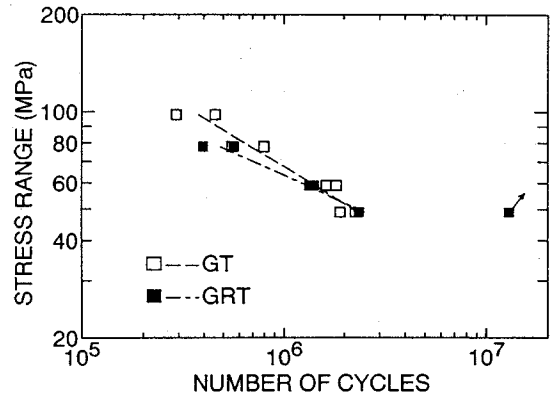
(a)溶接したままの試験体



(b)残留応力除去した試験体



(c)横方向力圧縮



(d)横方向力引張

図-5 S-Nr線図

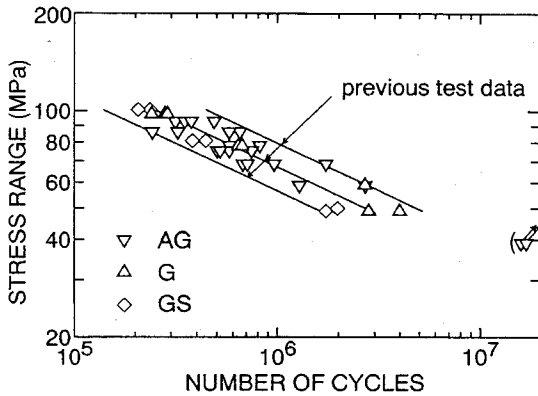
ころに貼付した銅線が切断されたときの荷重の繰り返し数とした。今回の疲労試験の結果より得られたS-Nr線図を図-5に示す。図-5(a)の溶接したままの試験体では、応力範囲の高い方でGCの方がGTに比べて少し短寿命側にある。低応力範囲ではGTとGCはほとんど同じ破断寿命となった。そのため、両者の回帰直線には傾きの差がみられるが、横方向力が圧縮か引張かによる破断寿命の差はあまりみられない。図-5(b)に示すように残留応力除去した試験体では、横方向力が圧縮のGRCは、応力範囲が59MPa以下では破断しなかった。一方、横方向力が引張のGRTは、応力範囲が49MPaの一体だけ破断しなかった。そのGRTの破断しなかった一体を除いて両者を比較すると、圧縮の横方向力を導入した方が破断寿命が長くなった。

図-5(c)の、圧縮の横方向力を加えた状態での残留応力の有無の影響をみると、残留応力除去による破断寿命の向上効果がみられる。また疲労限もGRCは59MPa以上となり、残留応力による疲労限の改善もみられる。一方、図-5(d)に示す引張の横

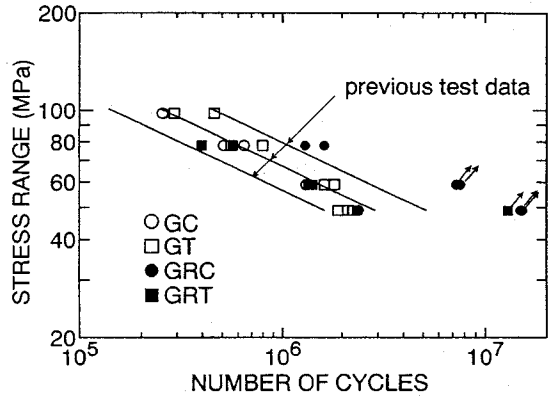
方向力を加えた状態では、GRTの破断しなかった試験体1体を除くと、残留応力の有無が破断寿命へ及ぼす影響は小さい。

(4)過去の実験結果および疲労設計基準との比較

図-6(a)には、過去の1軸疲労試験による破断寿命をプロットし、これらの試験結果すべての平均値と、平均値±2s (s:標準偏差)の回帰直線を実線で示した。過去の試験結果としては、山田・酒井ら¹⁾が行った面内ガセット溶接継手の引張疲労試験(G)、酒井・松井ら²⁾によるI型断面桁の引張フランジに溶接されたガセットの曲げ疲労試験(AG)、山田・重富³⁾による長寿命域での引張疲労試験(G)、および桁による曲げ疲労試験(AG)、また、山田・森野ら⁴⁾によるサンドイッチ制振鋼板を主板に用いた引張疲労試験(GS)の結果である。これらはすべて、10×50×200mmのガセットが溶接されたものである。また、材質は、サンドイッチ制振鋼板が普通構造用鋼SM400A、それ以外がSM490Aである。サンドイッチ制振鋼板の主板は、



(a)過去の試験結果の平均値と上下限值



(b)今回の試験結果との比較

図-6 過去の1軸疲労試験結果との比較

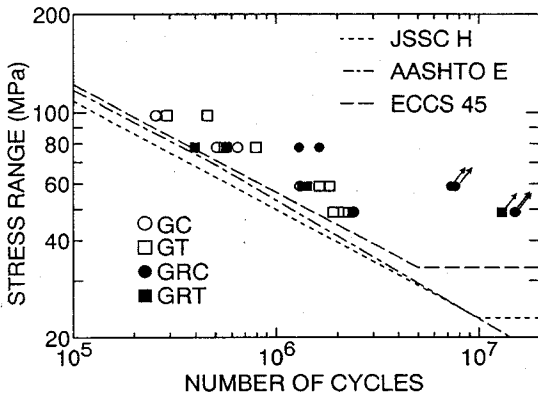
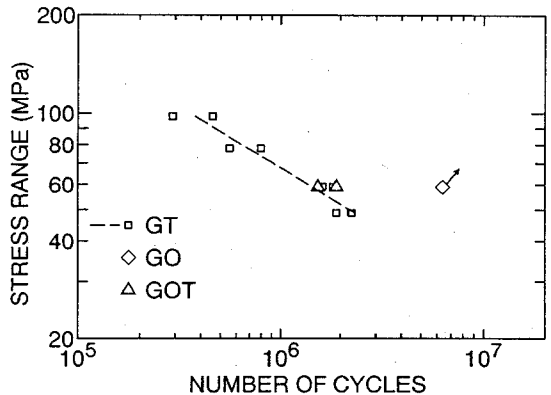
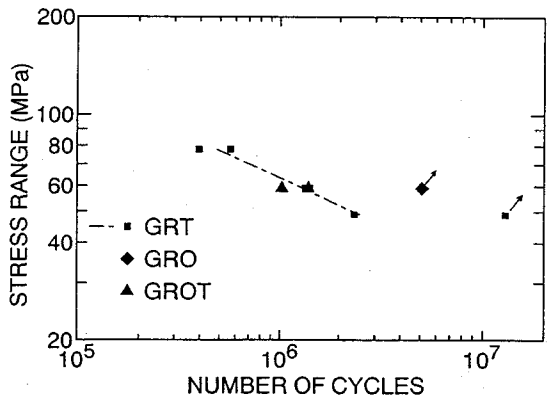


図-7 疲労設計基準との比較



(a)溶接したままの試験体



(b)残留応力除去した試験体

図-8 過荷重を付加した疲労試験のS-N線図

板厚 5mm の鋼板 2枚を、粘弾性樹脂（厚さ 0.3mm）で貼り合わせたものである。図-6(b)では、これらの1軸の疲労試験結果と、今回行った横方向力を受けた疲労試験結果と比較した。GC, GT, GRT 試験体のデータは、高応力範囲で多少のばらつきがみられるものの、過去の試験結果の上下限值内にある。一方、GRCは過去の試験結果と比べても破断寿命が長くなっている。残留応力が小さく、かつ横方向に圧縮応力が作用している状態では破断寿命は延びるが、それ以外の場合では1軸の疲労試験結果と同程度の寿命が得られ、横方向力による破断寿命の低減はみられない。

図-7では今回の疲労試験の破断寿命と鋼構造協会疲労設計指針（JSSC）、欧州鋼構造連合疲労設計指針（ECCS）⁸²、米国のAASHTO⁷⁷、のこの溶接継手形状の疲労設計基準と比較した。今回行われた横方向力を受けるガセット継手の疲労寿命は、これらの疲労強度等級をすべて満足し、横方向力を無視した1軸の疲労試験で得られた疲労寿命を適用で

きる。

(5)過荷重を付加した疲労試験結果

図-8(a)は溶接したままの試験体に過荷重を付加した試験体の破断寿命とGTの結果を示した。これ

を見ると、GOは650万回近くでも破断しなかったのに対して、GOTは200万回未滿で破断している。GTと比べると、GOは明らかに寿命が延びているのに対し、GOTは大きな差はない。GTは、先に述べたように、過去のガセット溶接継手の1軸の疲労強度と同程度の疲労強度を示すことから、GOでは過荷重によって疲労強度が向上したことが分かる。一方、GOTでは、引張の横方向力を入れることによって、過荷重による疲労強度の向上効果を打ち消し、過荷重を加えていないGTと同程度の疲労寿命を示した。

図-8(b)は、残留応力除去した試験体に過荷重を与えたもののS-Nr線図である。ここでは、GRTの結果を示した。残留応力除去した試験体でも、横方向力を導入せずに過荷重を付加したGROは500万回近くでも破断しなかったのに対し、過荷重を付加してから引張の横方向力を入れたGROTは150万回未滿で破断している。GRTと比べると、GROは過荷重による疲労寿命の向上効果が見られる。しかし、GROTとGRTには大きな疲労寿命の差が見られず、引張の横方向力によって過荷重の疲労寿命の向上効果を打ち消す結果となった。

これらの現象の解析については、次章でその想定されるメカニズムとともに示す。

4. ガセット端の局部応力解析

(1)有限要素法による応力解析

き裂の発生、進展に影響する溶接止端部近傍の応力状態を、汎用有限要素解析プログラムMARCを用いて弾塑性解析した。解析モデルは、対称性を考慮して、図-9に示す平面応力の1/4モデルとした。溶接部は、溶接脚長10mm、止端角 $\theta = 45^\circ$ 、止端半径 $\rho = 0.0\text{mm}$ を仮定した。また、解析では残留応力を考慮していない。

弾塑性解析では、材料は完全弾塑性と仮定し、降伏応力を400MPaとした。GCとGTは、横方向に98MPa相当の圧縮または引張の横方向力を導入してから、縦方向に114MPaに相当する最大荷重を載荷し、その後、16MPaに相当する最小荷重まで除荷した。Gは、横方向力を導入せずに最大荷重と最小荷重を載荷した。

過荷重を付加した状態の弾塑性解析は、引張の横方向力を導入したGOTと横方向力を導入していないGOについて解析した。GOTは、まず縦方向に150MPaに相当する過荷重を加え、それを除荷してから横方向に98MPa相当の横方向力を導入した。さらに、縦方向に75MPaに相当する最大荷重を加

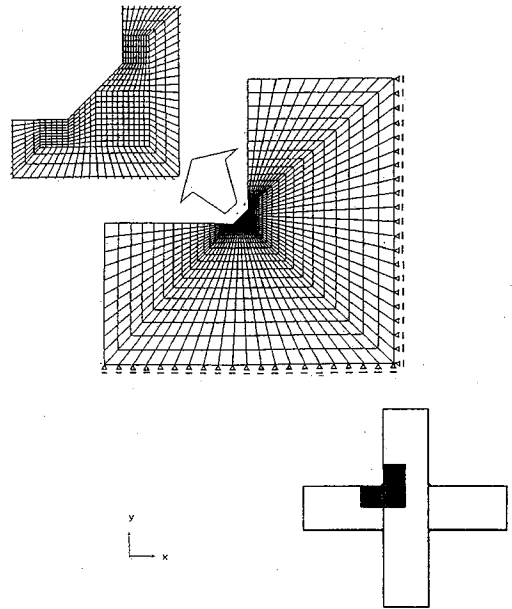


図-9 解析モデルの要素分割図

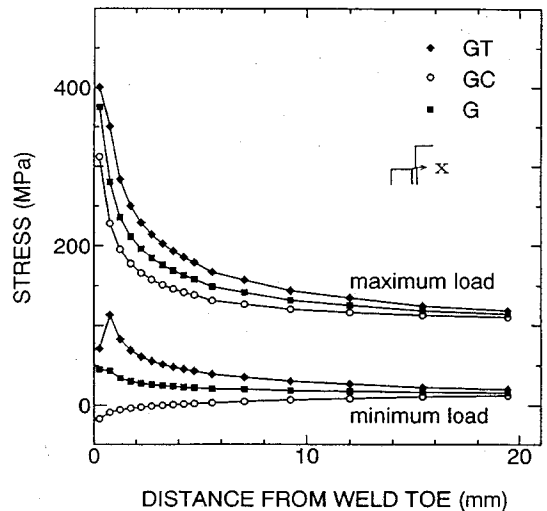


図-10 弾塑性解析結果

え、その後、16MPaに相当する最小荷重まで除荷した。GOは、過荷重の載荷と除荷のみを行ったものである。

(2)ガセット端の応力分布の解析結果

図-10に解析結果より得られた溶接止端近傍の応力分布を示す。解析では溶接止端部の主応力も調べたが、主応力は試験体の縦方向の応力と大きさ、方向がほぼ同じであり、本論文ではガセット端を結んだ線の主板縦方向の応力分布と比較することとした。縦軸は試験体の縦方向の応力を、横軸は溶接止端か

らの距離である。最大荷重を載荷したときの応力分布は、どのタイプについても溶接止端部で高い応力集中がみられる。横方向力を導入していないGについて応力集中係数 K_t を計算すると、溶接止端から 0.25mm 離れたところで $K_t=3.4$ であった。GT では引張の横方向力を導入したため、この部分の応力がさらに高くなり、一部は塑性降伏した。一方、GC は圧縮の横方向力のため、G と比べると止端部の応力が約 70MPa 低減されている。

最小荷重のときの溶接止端部近傍の応力は、横方向力が引張の場合は、引張側に、また横方向力が圧縮の場合は、圧縮側にずれている。GC では、この影響で溶接止端部近傍で圧縮の応力を示す。どのタイプも溶接止端部近傍の応力範囲は約 330MPa である。しかし、圧縮側の応力は疲労き裂の発生、進展に寄与しないと考えると、GC の引張側の応力範囲は、最小荷重のときの圧縮の応力分だけ低減され、溶接止端部近傍では G や GT より応力範囲が小さくなる。

上記の解析では残留応力を考慮していない。そのため、解析結果は残留応力除去を行なった試験体の応力状態を示している。この試験体では圧縮の横方向力を導入することによって、応力比が小さくなるとともに、引張側の応力範囲が小さくなったため、疲労寿命が延びると考えられる。また、引張の横方向力を入れた GT は溶接止端部では G と似たような応力状態となり、同程度の疲労寿命が得られたと考えられる。溶接したままの試験体では溶接止端部に引張残留応力があり、横荷重によってこの値が上下するようなことがあっても圧縮側には入らない。また、引張荷重を与えることによって溶接止端では、引張荷重と残留応力が重畳して降伏するが、この部分の応力振幅は残留応力除去した場合と同じとなる。したがって、溶接止端部に高い引張残留応力がある場合には疲労寿命に変化がない。

(3) 過荷重を付加した場合の応力分布

過荷重を付加したときの弾塑性応力解析の結果を図-11、図-12に示す。図-11は横方向力が入っていないGOの応力分布、図-12は引張の横方向力を導入したGOTの応力分布である。図に記した番号は、荷重を載荷した順序を示している。GOでは、過荷重を載荷すると①のように溶接止端部近傍で降伏が生じ、除荷したときには②のように約90MPaの圧縮残留応力が生じる。この状態で疲労試験の最大荷重を加えると、この圧縮残留応力のために③のように溶接止端部の引張応力が低減され、最小荷重では④のようになる。すなわち、過荷重によって溶接止

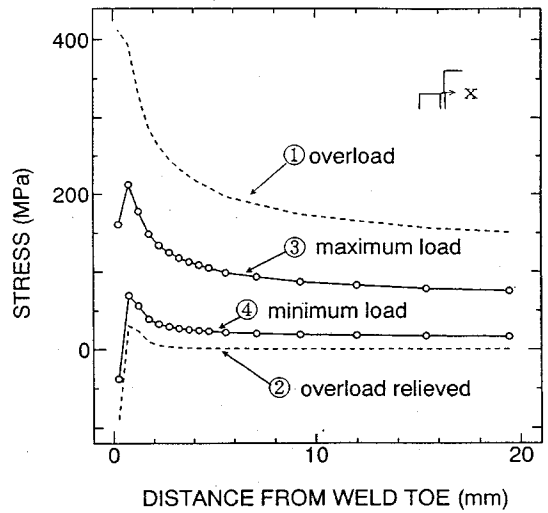


図-11 過荷重を付加した解析結果 (GO)

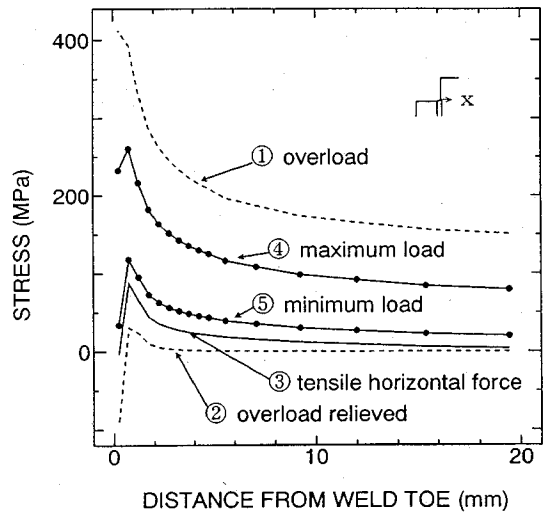
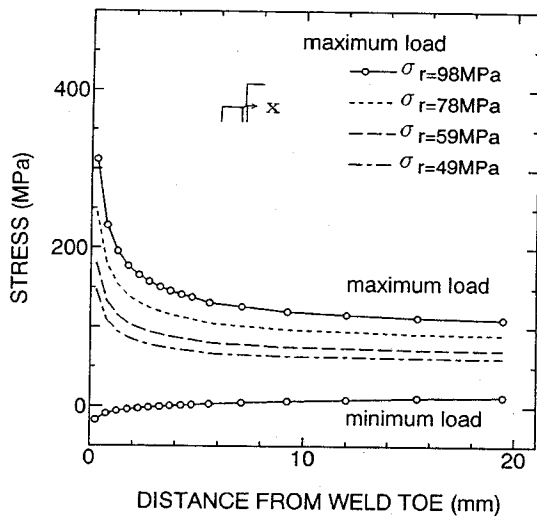


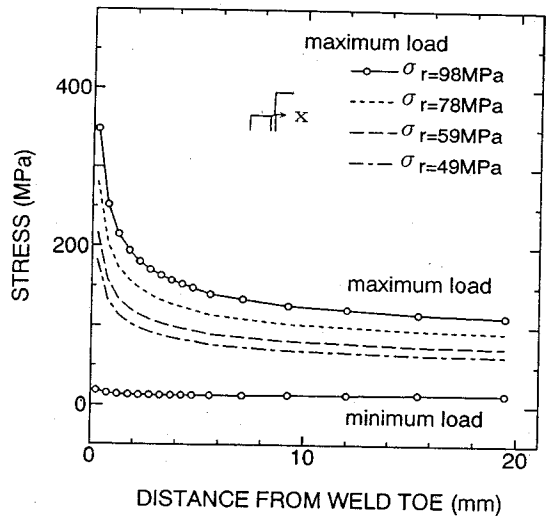
図-12 過荷重を付加した解析結果 (GOT)

端部に生じる圧縮残留応力が、溶接止端部の引張側の応力範囲を低減させる。この効果が、過荷重を付加しないときの破断寿命より寿命を向上させると考えられる。

GOTでは、①過荷重を付加し、それを②除荷するまではGOと同じである。この状態で引張の横方向力を導入すると、③のように圧縮残留応力が打ち消され、溶接止端部での応力が0MPa程度に戻った。その状態で、疲労試験での最大荷重④および最小荷重⑤を載荷するため、溶接止端部の引張応力の低減はあるものの、最小荷重では溶接止端部でも引張の応力となった。過荷重を付加した後に引張の横方向力を導入することによって、過荷重による圧縮残留応力を打ち消す。このことが、過荷重による疲労寿



(a) 横方向圧縮 98MPa



(b) 横方向力圧縮 49MPa

図-13 横方向力圧縮の時の各応力範囲における応力分布

命の向上効果が、引張の横方向力を与えた場合に現れない理由と考えられる。

溶接止端に引張残留応力がある場合も、過荷重を与えることによって溶接止端部で降伏する。この後除荷する場合、止端部の応力は残留応力除去した場合と同じ値となる。そのため、残留応力がある場合も残留応力除去した場合と同様な疲労寿命となる。

(4) 応力状態からみた疲労寿命の推定

残留応力が無い状態で弾塑性応力解析を行なった結果、圧縮応力 98MPa に相当する横方向力を導入した GC のみ、溶接止端部の引張側の有効応力範囲が減少し、疲労寿命が向上することが予想できた。そこで、溶接残留応力がない場合で、圧縮応力 98MPa に相当する横方向力を導入したときの疲労寿命を、溶接止端部の応力分布から推定してみた。なお、引張残留応力がある場合は、前述のような理由で横方向力の影響がないと考えられる。

まず、横方向力を圧縮 98MPa とした場合、疲労試験で用いた荷重それぞれの場合の応力分布を計算し、図-13(a)に示す。また、圧縮の横方向力を 49MPa としたときも同様な計算を行い、図-13(b)に示す。49MPa 相当の圧縮の横方向力を導入したときは、最小荷重のときの溶接止端部近傍の応力が引張側にあるため、引張側にある応力範囲の減少がみられず、疲労寿命は向上しないと考えられる。

そこで、98MPa 相当の横方向圧縮力を導入したときの、溶接止端部の応力範囲に占める引張側の応力範囲の割合から、公称応力の引張側の応力範囲を計算した。その応力範囲を用いて、98MPa 相当の

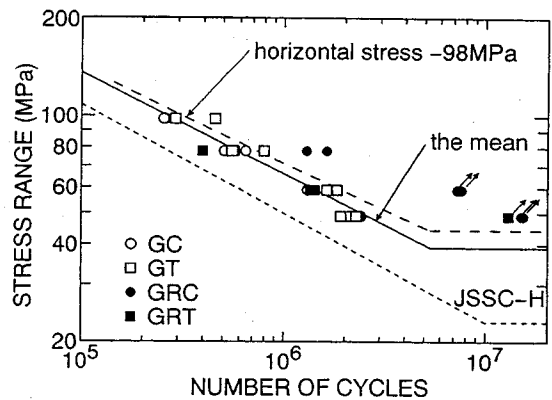
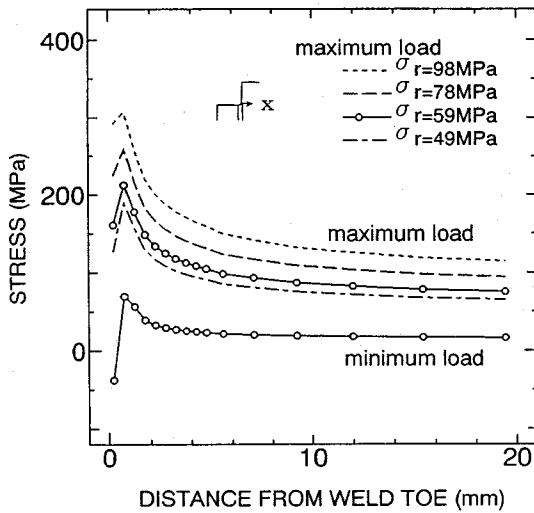
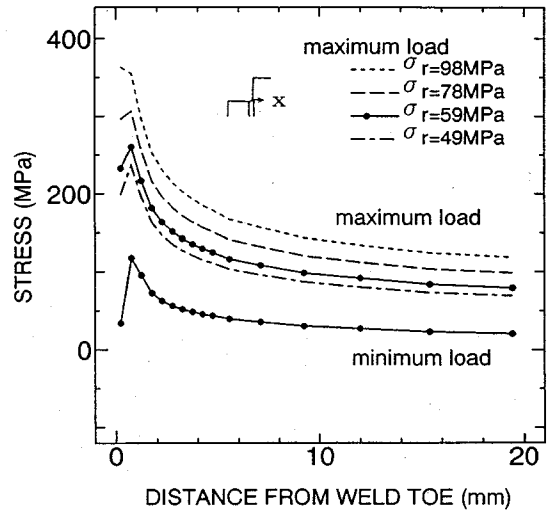


図-14 横方向力圧縮の時の疲労寿命の推定値

横方向圧縮力を導入したときの S-N 線図を、ガセット溶接継手（ガセット長 200mm）の疲労寿命の平均値を基準に推定した。この平均値は、過去の 1 軸疲労試験の実験データと、今回の疲労試験において疲労寿命が延びた GRC、GO、GRO を除く実験データの平均値であり、疲労限は山田・重富³⁾の試験結果を用いて $\sigma_r = 39.2\text{MPa}$ と仮定した。図-14 にその平均値と、98MPa 相当の圧縮の横方向力を導入したときの推定 S-N 線図を示す。推定 S-N 線図は、応力範囲が小さくなるほど疲労寿命が延びる結果となり、疲労限は $\sigma_r = 44.4\text{MPa}$ となった。疲労試験結果と比べると、残留応力を除去した GRC より短い疲労寿命を推定していることになり、推定 S-N 線図は必ずしも試験結果をうまく表していない。溶接止端近傍の応力分布の違いだけでなく、その部分のき裂進展も残留応力分布の影響を受



(a) 横方向力導入せず



(b) 横方向力引張 98MPa

図-15 過荷重を付加したときの各応力範囲における応力分布

けると思われるが、この解析については今後の課題としたい。

同様に、150MPa 相当の過荷重を付加したときの疲労寿命を推定してみた。弾塑性応力解析の結果を図-15(a)と図-15(b)に示す。GO は過荷重による圧縮残留応力によって、溶接止端部近傍の有効応力範囲が低減しているが、GOT は有効応力範囲の低減はみられない。そこで、150MPa 相当の過荷重を付加した GO の S-N 線図を先ほどと同様な計算方法で推定し、図-16に推定 S-N 線図として示す。推定 S-N 線図の疲労限は $\sigma_r=50.4\text{MPa}$ である。今回行った疲労試験結果では、横方向力を導入しなかった GO および GRO は $\sigma_r=59\text{MPa}$ で破断しなかった。

5. まとめ

本研究では長さ 200mm の面内ガセット溶接継手を用い、溶接したままの試験体と残留応力を除去した試験体について、引張および圧縮の横方向力を入れて引張疲労試験を行った。また、過荷重を付加した状態で同様な引張疲労試験を行い、横方向力が疲労寿命に及ぼす影響を実験的に把握した。さらに、有限要素法による応力解析を行い、疲労試験時の溶接止端近傍の応力分布を求めた。これらより得られた結果を以下に示す。

1) 溶接止端に貼付した 0.04mm ϕ のウレメット銅線が切れたときの初期き裂長は 2.1 ~ 7.7mm にばらつき、その時のき裂形状は 1/4 楕円き裂、半楕円き裂、板厚貫通き裂が見られた。

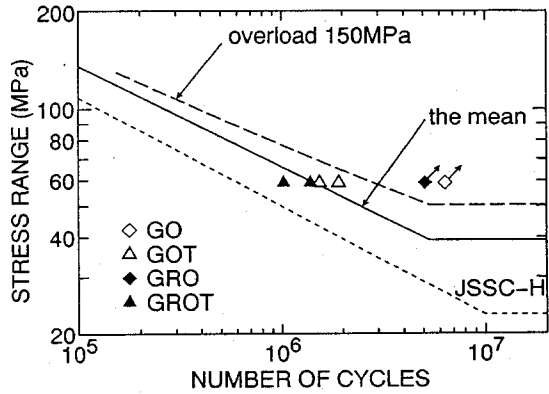


図-16 過荷重を付加したときの疲労寿命の推定値

- 2) 横方向力を受ける疲労試験では、応力除去焼きなましを行った試験体に 98MPa 相当の圧縮の横方向力を入れたときのみ、疲労寿命が長くなった。また、それ以外のものは、過去の同種の 1 軸の疲労試験結果と同程度の疲労寿命となった。
- 3) 過荷重を付加した疲労試験では、残留応力の大きさにかかわらず、横方向力を導入しないときは破断寿命が向上が見られた。しかし、過荷重を付加して 98MPa 相当の引張の横方向力を導入すると、横方向力が過荷重の向上効果を打ち消した。
- 4) 残留応力の無い状態で行った弾塑性応力解析によって得られた溶接止端部の縦方向の応力は、引張の横方向力を入れることによって大きく、圧縮の横方向力によって小さくなった。また、98MPa 相当の圧縮の横方向力を入れたときのみ、き裂の発生および進展に有効な引張側の応力範

困が小さくなった。

- 5) 過荷重が付加されたときの応力解析結果では、98MPa 相当の引張の横方向力を入れることによって、過荷重による溶接止端部の圧縮残留応力が打ち消された。横方向力を入れない場合では、圧縮残留応力の影響で引張側の応力範囲が小さくなった。
- 6) 横方向力によるガセット継手の疲労寿命の変化については、溶接止端近傍の応力状態を調べることによって理解できる。一般的に、溶接止端部の応力範囲の一部が圧縮領域に入る場合に疲労寿命が長くなる。溶接止端部に溶接による引張残留応力がある場合には、横方向力の付加によって応力が圧縮側に移行しなければ、疲労寿命は向上しない。

謝辞：本実験を進めるにあたり、名城大学工学部岡村知範氏（現・瀧上工業）、大富崇氏（現・近代設計）、勝本浩次氏（現・矢作建設）、木下進氏（現・吉川建設）、名古屋大学工学部貝沼重信助手、酒井吉永氏（当時博士課程後期課程、トピー工業）には大変な御協力を頂いた。また、試験体の製作はトピー工業(株)豊橋製造所をお願いした。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 山田健太郎, 酒井吉永, 菊池洋一: ガセットを溶接した引張部材の疲れ強さとストップホールの効果, 土木学会論文報告集, 第341号, pp. 129-136, 1984.
- 2) 酒井吉永, 松井鋭一, 山田健太郎, 近藤明雅: き裂の突合せ溶接補修とその疲れ挙動, 構造工学論文集, Vol. 33A, pp. 411-420, 1987.
- 3) 山田健太郎, 重富寿: 長寿命域での低荷重振幅疲れ

試験, 構造工学論文集, Vol. 35A, pp. 961-968, 1989.

- 4) 山田健太郎, 森野真之, 聖生守雄, 安波博道: サンドイッチ制振鋼板溶接継手の疲労特性, 土木学会論文集, 第489号, pp. 147-156, 1994.
- 5) 三ツ木幸子, 大野貴史, 山田健太郎: 過荷重を受けた応力集中のある部材の疲れ挙動, 土木学会論文集, 第368号/1-5, pp. 293-300, 1986.
- 6) 日本鋼構造協会: 鋼構造物の疲労設計指針. 同解説, 技報堂, 1993.
- 7) The American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO): Standard Specification for Highway Bridge, 1992.
- 8) Committee TC6 (Fatigue), Recommendations for fatigue design of steel structures: European Convention for Constructional Steelwork (ECCS), No.43, 1985.
- 9) 田中寿志: 二軸応力を受ける面内ガセット溶接継手の疲労挙動, 平成5年度名古屋大学工学部土木工学科卒業論文, pp. 34・1-34・27.
- 10) Yamada, K., Sakai, Y., Kondo, A. and Kikuchi, Y.: Weld Repair of Cracked Beams and Residual Fatigue Life, Proc. of JSCE, No.374, pp.373-382, 1986.
- 11) Abtahi, A., Albrecht, P. and Irwin, G. R.: Fatigue of Periodically Overloaded Stiffener Detail, Proc. of ASCE, Vol.102, No.ST11, pp.2103-2119, 1976.
- 12) 大野貴史, 石黒幸文, 山田健太郎, 青木尚夫: 応力集中部材の残留応力場における疲れき裂進展挙動, 構造工学論文集, Vol. 34A, pp. 459-468, 1988.
- 13) 山田健太郎, 三ツ木幸子, 近藤明雅: ガセット溶接部材の疲れ強さと設計基準, 構造工学論文集, Vol. 32A, pp. 25-33, 1986.

(1995.6.14 受付)

FATIGUE STRENGTH OF TENSILE PLATE WITH SIDE GUSSETS SUBJECTED TO STATIC TRANSVERSE LOAD

Kentaro YAMADA, Naoki OKADO, Hisashi TANAKA and Akimasa KONDO

Fatigue tests were carried out on 35 tensile plates with in-plane welded gussets of 200mm in length, with static tensile or compressive force applied to the gussets in horizontal direction. The specimens were tested in as-welded, stress relieved and overloaded conditions. The test results showed that the biaxial static forces had little effect on fatigue life, when the specimens were tested in as-welded condition. However, the compressive horizontal force prolonged the fatigue life of stress relieved specimens. The beneficial effect of overloads was diminished, when the tensile horizontal force was applied. These results were partly explained by stresses near the gusset ends computed by elasto-plastic finite element analysis.