

--- 応力比の影響 ---

九州大学

北九州工試

佐世保高専

正 西谷 弘信

正○田中 洋征 正 藤崎 渉

正 藤村 顕世

1 緒言

疲労き裂の発生伝ばに関する研究によれば、平均応力はき裂の発生に及ぼす影響は小さく、き裂の進展に及ぼす影響が大きい。このため、分岐点（き裂が停留するか否かの限界）における切欠き半径 ρ_0 の値が平均応力の依存性を示す。著者らの一人は7:3黄銅の丸棒の軸疲労において、平均応力が負側に移動すると ρ_0 の値が大きくなり、き裂強さ σ_{w2} が上昇することを明かにしている⁽¹⁾。一方、溶接継手の疲労強度と平均応力の関係についてはいくつかの報告があるが^(2~4)、上記に述べた ρ_0 の値の観点から溶接継手の疲労強度と応力比との関係を議論した報告はないようである。

一般に溶接継手の余盛止端部には鋭い切欠きが存在する場合が多く、その疲労限度には停留き裂が観察される⁽⁵⁾⁽⁶⁾。このような場合の継手の疲労限度はき裂強さ σ_{w2} であり、それは ρ_0 の値に支配されるので、溶接継手の疲労限度と平均応力との関係は ρ_0 の値から評価できることになる。

本研究は、以上のことを考慮して、炭素鋼と高張力鋼の曲げ疲労強度の鋼種による差異と応力比の影響をき裂の停留現象から検討した。更に、前報で行った⁽⁶⁾溶接継手の疲労強度を改善するためになされたTIG処理の有効性の鋼種による差異についても同様の検討を行った。

2 材料、試験片及び実験方法

使用した材料は一般構造用圧延鋼材SS41と高張力鋼HT80である。機械的性質を表1に示す。

表1 使用材料の機械的性質

Steels	σ_y MPa	σ_b MPa	δ %
SS41	284	421	30
HT80	823	882	35

図1に疲労試験片の形状と寸法を示す。

疲労試験片としては、切欠き材の基本的性質を求めるための切欠き試験片と溶接継手の疲労強度を求めるための溶接試験片とを用いた。

切欠き試験片は板厚と切欠き深さ一定のもとで切欠

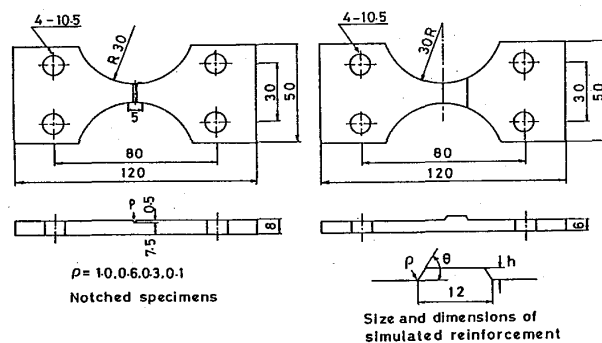


図1 疲労試験片の形状と寸法

き半径を種々変えている。

溶接試験片は模擬溶接試験片と実際の溶接継手である。前者の試験片は直形0.2mmの黄銅系ワイヤーを用いてワイヤー放電加工機によって作製した。余盛止端部の切欠き半径 ρ は0.2mm程度である。後者の試験片は溶接のままのもの、余盛削除のもの及びTIG処理したものとの三系列である。

すべての試験片は残留応力の影響を除くため、試験片製作後SS41は650℃でHT80は580℃でそれぞれ一時間の焼きなましを行った。

模擬溶接試験片は応力比 $R = -\infty$, -1 及び 0 で、溶接試験片は応力比 $R = -1$ と 0 のもとで試験した。試験機は島津製TB-10B形で負加形式は面内曲げである。

3 実験結果と考察

3-1 切欠き材の疲労特性

図2にSS41切欠き材の疲労限度の相対値 σ_{w1}/σ_{w0} , σ_{w2}/σ_{w0} と応力集中係数 α との関係を示す。

図3(a)に $R = -1$ (b)に $R = 0$ におけるSS41とHT80切欠き材の疲労限度の相対値 σ_{w1}/σ_{w0} , σ_{w2}/σ_{w0} と α との関係を示す (σ_{w0} は板厚8mmの平滑材の疲労限度)。

疲労限度 σ_{w1} , σ_{w2} の決定は 10^7 を基準とした。

σ_{w1} はき裂発生に基づく疲労限度であり、 σ_{w2} は停留き裂が存在する範囲での破断しない最大応力に基づく疲労限度である。

図2及び図3(a), (b)よりわかることを列挙次の通りである。

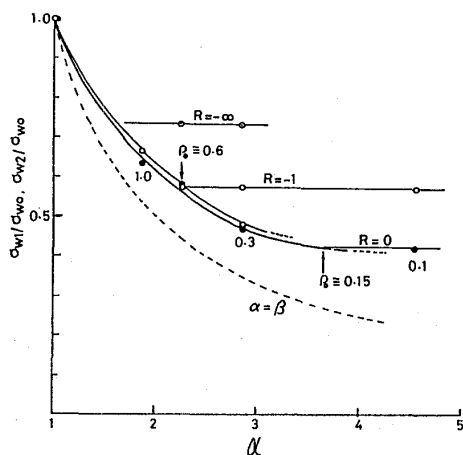
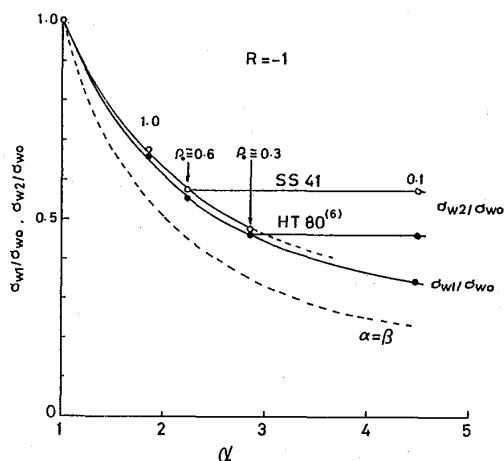
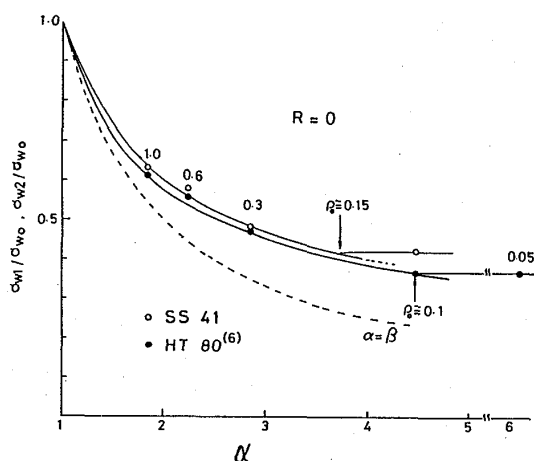


図2 SS41切欠材の疲労限度の相対値 σ_{W1}/σ_{W0} , σ_{W2}/σ_{W0} と α との関係
($R = -\infty$ の σ_{W0} は推定値を用いた)



(a) $R = -1$



(b) $R = 0$

図3 SS41とHT80切欠き材の疲労限度の相対値 σ_{W1}/σ_{W0} , σ_{W2}/σ_{W0} と α との関係

(1) 切欠き半径が分岐点におけるそれよりも小さい場合、破断限度は σ_{W2} で決まり、それは板厚や切欠き深さ一定のもとでは応力集中係数に無関係にほぼ一定となる⁽⁷⁾⁽⁸⁾。

著者の一人の研究によれば分岐点では切欠き半径が板厚や切欠き深さに無関係に一定の値 ρ_s となる⁽⁷⁾⁽⁸⁾。

ρ_s の値は材料と応力比によって決まる定数である。

(2) SS41 平滑材の疲労限度 σ_w は $R = -1$ で 210 MPa, $R = 0$ で 190 MPa と平均応力が正になってもそれほど低下しないが、切欠き材の疲労限度 σ_{W2} は $R = -1$ で 120 MPa, $R = 0$ で 80 MPa であり、平均応力が正になることにより大きく低下する。これは σ_{W2} が ρ_s の値に支配され、 ρ_s の値が $R = -1$ でほぼ 0.6mm, $R = 0$ でほぼ 0.15mm と小さくなるためである。HT80 では ρ_s の値は $R = -1$ でほぼ 0.3mm, $R = 0$ でほぼ 0.1mm である⁽⁸⁾。

(2) 切欠き感度の材質依存性は σ_{W1}/σ_{W0} , σ_{W2}/σ_{W0} と α との関係で評価するのが合理的である。 σ_{W1}/σ_{W0} , σ_{W2}/σ_{W0} が同一形状の切欠き試験片においてほぼ同じ値をとるなら、疲労における切欠き感度の鋼種による差異はないといえる。

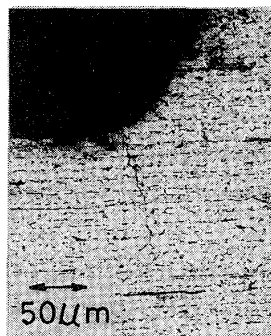
$R = -1$ では、SS41 と HT80 鋼の σ_{W1}/σ_{W0} の差は少ないようである。 σ_{W2}/σ_{W0} の差は大きい。これは σ_{W2}/σ_{W0} を支配しているのが ρ_s の値であることに基づいている。 ρ_s の値は HT80 の方が SS41 よりも小さいため、HT80 の σ_{W2}/σ_{W0} は SS41 のそれよりも小さく切欠きに敏感である。

$R = 0$ では、両鋼の σ_{W1}/σ_{W0} の差は $R = -1$ と同様小さいようである。 σ_{W2}/σ_{W0} の差は $R = -1$ における差よりも小さいようである。

3-2 模擬溶接継手の疲労強度

図4に模擬溶接試験片と実際の突合せ溶接継手において観察された停留き裂の例を示す。

このような停留き裂の観察からわかるように、溶接継手の疲労限度はき裂長さ σ_{W2} で決まる場合が多い。

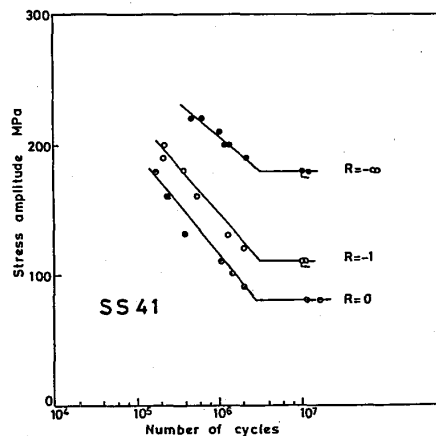


Simulated welded joint

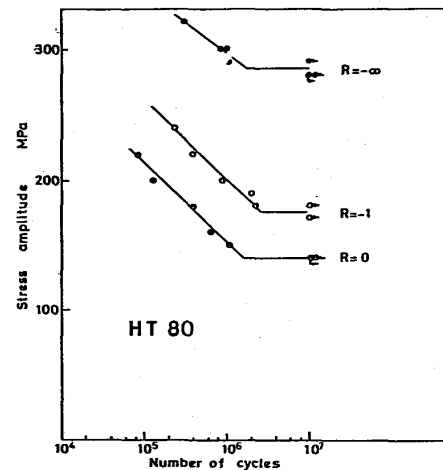


Actual as-welded joint

図4 停留き裂の写真



(a)



(b)

図5 模擬溶接試験片のS-N曲線

き裂強さ σ_{w2} は分岐点における切欠き半径 ρ_0 の値に支配されるので、溶接継手の疲労限度や切欠き感度を議論する際には ρ_0 の値が重要である。

図5(a), (b)にSS41とHT80模擬溶接試験片のS-N曲線を示す。

図4及び図5よりわかることは次の通りである。

(1) $R=-\infty$ での溶接継手の疲労限度はSS41で180 MPa, HT80で285 MPaである。 $R=-1$ ではそれぞれの値は110, 175 MPaであるので平均応力が負になると疲労限度は大幅に上昇する。この現象は ρ_0 の値が平均応力に依存し、平均応力が零から負になると、 ρ_0 の値が大きくなることから説明できる。

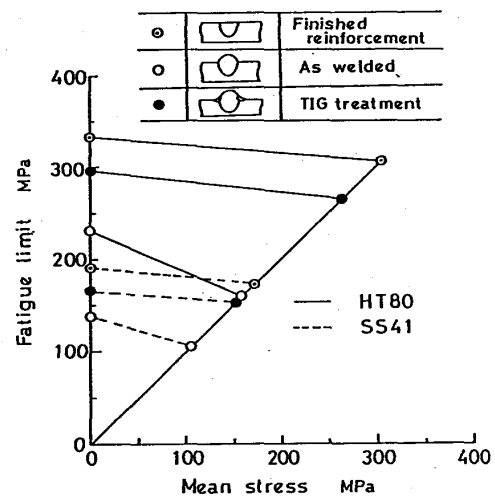
(2) $R=0$ では疲労限度はSS41で80, HT80で140 MPaと低くなる。余盛止端部の切欠き半径はほぼ0.2mmであるので両鋼の ρ_0 の値よりも大きい。このような場合の疲労限度は σ_{w1} であり、それは応力集中係数に支配されるので ρ が小さいほど低下する。

3-3 TIG処理された溶接継手の疲労強度

溶接継手の応力集中係数に及ぼす余盛角 θ の影響は止端部の切欠き半径が小さい範囲では、その影響は大きく、切欠き半径が大きくなるとその影響は小さくなる^(9~11)。実際の溶接継手の余盛止端部をTIG処理すると止端部の切欠き半径が大きくなり、かつ余盛り角 θ が小さくなる(例えばHT80溶接継手で ρ が1.1mm($>\rho_0$), θ は30.4が16.2になる⁽⁶⁾)ので継手の疲労強度が向上する。

SS41とHT80溶接継手の余盛止端部をTIG処理し、 $R=-1$ と $R=0$ のもとで行った結果を図6に示す。

余盛止端部をTIG処理すると両鋼の継手の疲労強度

図6 TIG処理した継手の疲労限度と平均応力との関係
(試験片は実際の溶接継手)

は大きく上昇する。その有効性は、鋼種ではSS41よりもHT80において大きく、応力比では $R=-1$ におけるよりも $R=0$ において大きい。これらの現象も両鋼の分岐点における切欠き半径 ρ_0 の値の大小関係から説明できる。

参考文献

- (1) 西谷, 岡坂, 機論, 39, 49, (1968)
- (2) W. H. Munce, W. R. C., 1964,
- (3) 二瓶・ほか2名, 溶接学会誌, 45-2(1976), 136
- (4) 宇佐見, 材料, 35, 452(1986)
- (5) 西谷・ほか2名, 溶接学会論文集, 2-1(昭59) 160-165.
- (6) 西谷・ほか2名, 機論, 51-462(昭60), 421.
- (7) 西谷, 機論, 34-259(昭43), 371.
- (8) 西谷, 材料, 26-282(昭52), 296
- (9) W.W. Sanders, et al., W.J.12(1965), 49s-55s