

耐疲労鋼十字溶接継手の疲労強度

新日本技研(株)	正会員	○徳力	健
法政大学	正会員	森	猛
住友金属工業(株)		誉田	登
(株)横河住金ブリッジ		中村	宏

1. はじめに

鋼素材の疲労強度は鋼材の静的強度に強く依存するものの、溶接継手の疲労強度は鋼材の種類に依存しないことが知られている。現在、いくつかの鉄鋼メーカーで疲労強度の高い鋼材の開発が行われている。その一つに耐疲労鋼（FCA 鋼）がある。FCA 鋼は、疲労き裂進展も遅延させる鋼材として開発されたものであり、その効果は素材レベルと船殻構造を模擬したモデル等で確認されている。

昨年度の切欠き材を用いた疲労試験により、FCA 鋼はき裂発生寿命に対して効果があることが確認された。また、筆者らは疲労き裂進展試験により、高い引張残留応力場にある FCA 鋼のき裂進展速度は従来鋼と同じであることを確認している。

本研究では、溶接部の疲労き裂の発生過程に着目して、溶接のままの十字溶接継手（AW, As-Welded）と溶接止端部を仕上げた十字溶接継手（TG, Toe-Grinding）の疲労試験を行い、FCA 鋼と従来鋼の疲労強度の比較、および AW と TG の疲労強度の比較を行い、十字溶接継手の疲労強度に対する FCA 鋼の疲労強度改善効果について検討する。

2. 疲労試験

(1) 試験体

供試鋼材は板厚 12mm の FCA 鋼（SM490Y-FCA：降伏点 433N/mm^2 、引張強さ 591N/mm^2 、伸び 17%）と従来鋼（SM490Y： 416N/mm^2 、 549N/mm^2 、27%）の 2 種類である。試験体は、荷重非伝達型十字溶接継手である。図 1 に試験体の形状と寸法を示す。いずれの鋼材を用いた場合にも、溶接方法はソリッドタイプのワイヤを用いた CO_2 溶接であり、溶接条件は、電流 180A、電圧 20~22V、速度 20cm/min としている。AW 試験体の溶接止端半径は約 1mm、TG 試験体の溶接止端半径は約 5mm で、AW 試験体、TG 試験体とも、FCA 鋼と従来鋼で溶接形状は同じである。写真 1 に AW 試験体、写真 2 に TG 試験体の溶接部の外観を示す。

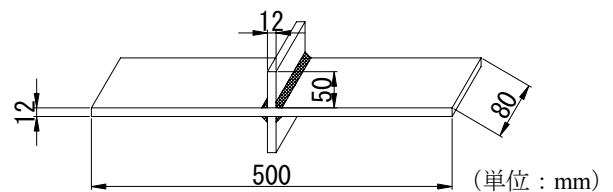


図 1 試験体の形状と寸法



写真 1 AW 試験体



写真 2 TG 試験体

(2) 試験方法

疲労試験には動的能力 500kN の電気油圧サーボ式多目的大型材料試験装置を用い、下限荷重を 10kN(下限応力 10.4N/mm^2)とした片振り引張繰返し荷重下で行った。応力範囲は AW 試験体で 110, 130, 160, 200N/mm^2 、TG 試験体で 200, 220, 240, 270N/mm^2 である。荷重波形は正弦波、繰返し速度は 8~14Hz とした。写真 3 に疲労試験の状況を示す。



写真 3 疲労試験状況

キーワード 耐疲労鋼, 疲労試験, 十字溶接継手, 止端仕上げ, 疲労強度

連絡先 〒105-0014 東京都港区芝 2-1-23 新日本技研(株) 東京支社設計部 TEL 03-3453-4321

(3) 試験結果

AW 試験体と TG 試験体の疲労き裂発生部の状況を写真 4 と写真 5 に示す。AW 試験体の破壊起点は、FCA 鋼と従来鋼どちらも、溶接金属と熱影響部の境界の溶接止端部であった。TG 試験体の破壊起点は、FCA 鋼と従来鋼どちらも熱影響部から少し離れた溶接金属部である。

AW 試験体の疲労試験結果を図 2 に、TG 試験体の疲労試験結果を図 3 に示す。図中の赤線は FCA 鋼、黒線は従来鋼の疲労寿命に対する応力範囲の回帰直線を示している。その際、未破断データは回帰解析に含めていない。また、図中には日本鋼構造協会の「鋼構造物の疲労設計指針・同解説」に示されている強度等級 B～E の設計 $\Delta\sigma$ - N 関係も示している。この指針では AW に対して E 等級, TG に対して D 等級と規定しているが、ここで得られた結果はすべてこの規定を満たしている。図 2 に示すように、応力範囲 $130 \sim 200 \text{ N/mm}^2$ の領域における AW 試験体の疲労寿命は、従来鋼に比べて FCA 鋼の方が若干ではあるが長くなっている。また、応力範囲 110 N/mm^2 では、従来鋼を用いた試験体は 2 体とも破断したのに対し、FCA 鋼を用いた試験体では 2000 万回の荷重繰返しによっても未破断となっている。この結果は、FCA 鋼の疲労限が従来鋼に比べて高いことを示している。

TG 試験体については、FCA 鋼と従来鋼どちらも AW 試験体に比べて疲労寿命にバラツキは大きいものの、溶接止端部の仕上げによる高い疲労強度改善効果は認められる。回帰直線から求めた各試験体の 200 万回疲労強度は、FCA 鋼 AW で 138.3 N/mm^2 , TG で 233.0 N/mm^2 , 従来鋼 AW で 132.8 N/mm^2 , TG で 239.7 N/mm^2 である。しかし、FCA 鋼と従来鋼の疲労強度に顕著な違いは認められない。これは、写真 5 に示したように、疲労破壊起点が従来鋼、耐疲労鋼とも溶接金属であったためと考えられる。

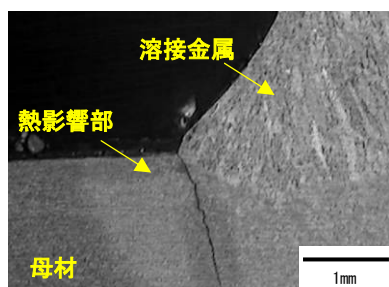


写真 4 AW 試験体の疲労き裂

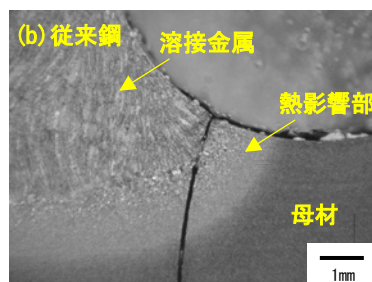
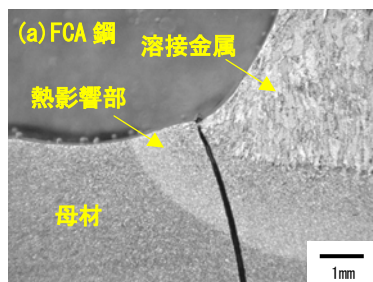


写真 5 TG 試験体の疲労き裂

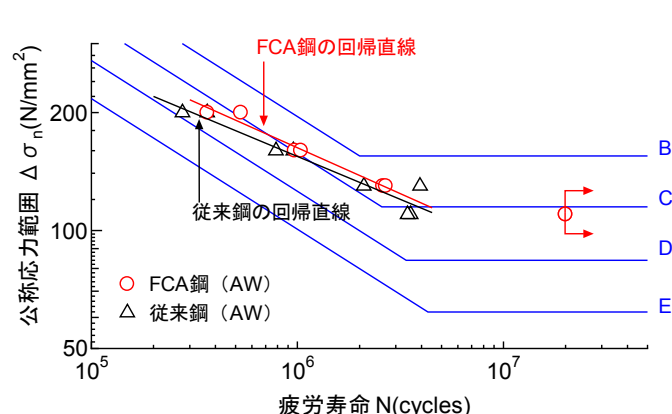


図 2 AW 試験体の疲労試験結果

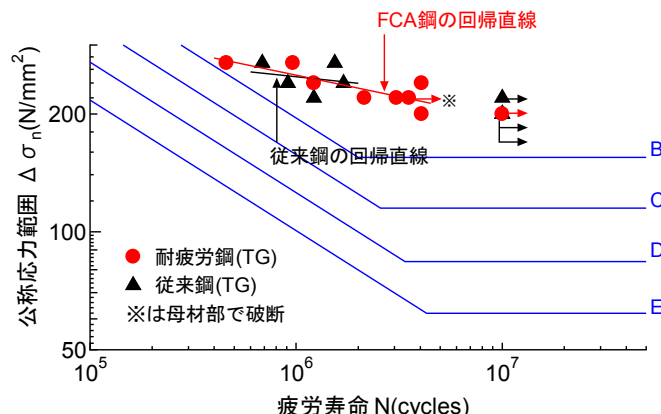


図 3 TG 試験体の疲労試験結果

3. まとめ

- (1) 有限寿命域における FCA 鋼溶接のまま試験体の疲労強度は、従来鋼溶接のまま試験体よりも若干ではあるが高い。また、FCA 鋼の疲労限は従来鋼に比べて高い。
- (2) 溶接止端部を仕上げることによって FCA 鋼と従来鋼の疲労強度は改善されるが、疲労き裂の起点は、いずれも溶接金属となり、本試験の範囲では、仕上げた継手の疲労強度は FCA 鋼と従来鋼で顕著な相違は認められなかった。