

高強度鋼溶接継手部の疲労強度向上～特に低温層変態溶接棒による付加溶接

東京工業大学 正会員 穴見 健吾 東京工業大学 フェロー 三木 千寿

1. はじめに

近年、鋼橋の合理化の観点から高強度鋼の適用に関する研究が多く行われているが、使用鋼材を高強度化するに伴い、疲労強度が設計上問題となることが報告されている。面外ガセット継手を例に挙げ、疲労試験結果を整理すると溶接継手部の疲労強度は図-1 のようになる。すなわち、小型継手試験体と比較して、桁試験体では寸法効果により大きく疲労強度が低下し、また小型継手試験体で見られなかった鋼材強度依存性が、桁試験体となると鋼材強度逆依存性が見られる。従って、溶接鋼橋に高強度鋼を用いる場合には、溶接継手部の疲労強度を向上させることが不可欠となる。主要部材に付加された面外付加物溶接継手には、一次応力的にはウェブ - フランジの首溶接より大きな応力が作用することはないため、このような面外付加物溶接継手の簡易的な疲労強度向上目標は首溶接の JSSC - D 等級ということになる。面外付加物溶接継手止端部の疲労強度を向上させるためには、止端部の応力集中を軽減し、圧縮残留応力を導入することが効果的である。このような効果を目的として、多くの疲労強度向上法、特に止端部処理法が検討されているが、ここでは近年開発された低温層変態溶接棒を用いた付加溶接について検討を行うとともに、これまで検討した止端部処理法の効果について、その効果の鋼材強度、及び継手寸法依存性について検討する。

2. 試験体

本研究では小型継手試験体(図-2)及び桁試験体を用いた。母材は、JIS-SM570 と試作した 900MPa 級の高強度鋼(降伏点 967MPa 引張強度 970MPa)を用いた。検討した止端部処理法は TIG 処理、グラインダー処理、ハンマーピーニング処理及び 3 種類の低温層変態溶接棒 C15N、C13N (Ms/Mf:250/50) N19 (400/300) を用いた付加溶接(経済性及び疲労亀裂発生位置を考慮して廻し溶接部にのみ処理)である。

図-3 に各処理を施した試験体の母材表面で測定した長手方向残留応力分布を示す。止端部、またはピーニング処理部(X=0)の測定は、止端部、処理部を歪みゲージの大きさだけ軽くグラインダー処理を施した後に歪みゲージを貼付している。低温層変態溶接棒及びハンマーピーニング処理により圧縮残留応力が導入されているが、特に、C15N、ハンマーピーニング処理による導入効果が大きいことが分かる。

図-4 に各処理を施した試験体の止端部形状及び溶接脚長を測定し、それを用いて解析モデルを作成し、応力集中の低減効果を検討した結果を示す。各処理により応力集中が低減されていることが分かる。TIG 処理、ハンマーピーニング処理では止端部改良により、付加溶接では止端部改良及び不等脚化によるものと言える。この不等脚化の効果を検討した一例を図-5 に示す。C15N 試験体の場合、

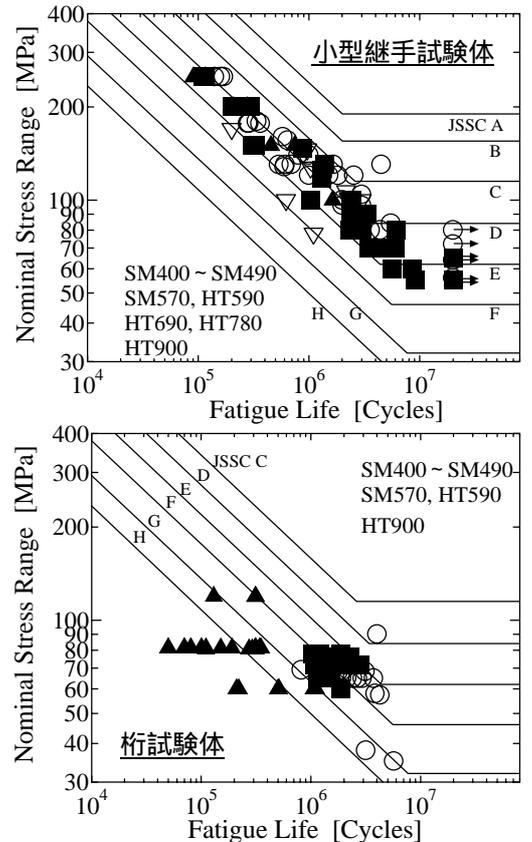


図-1 面外ガセット継手の疲労特性

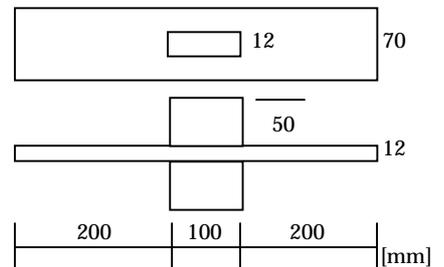


図-2 面外ガセット継手試験体

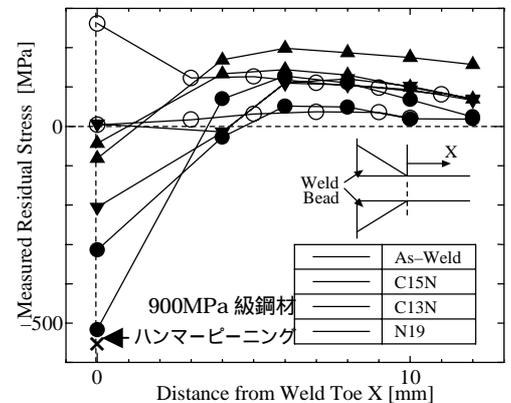


図-2 長手応力測定結果

その応力集中低減効果は主に止端部形状が若干改善されていることに依るが、不等脚化の効果も現れていることが分かる。

3. 疲労試験結果

図-6 に試験結果を示す。

< 低温層変態溶接棒による付加溶接 >

低温層変態溶接棒を用いた付加溶接の処理効果は TIG 処理、ハンマーピーニング処理同様に、各処理により疲労強度が向上しており、特に、C15N の効果が最も大きいことが分かる。疲労強度向上効果には、向上効果に応力範囲依存性が見られているが、C13N、C15N では N19 よりも大きな応力範囲依存性が見られている。これは、各溶接棒の変態温度 (Ms/Mf) の差異に一致した傾向といえる。処理効果は

TIG < N19 < C13N < C15N < ハンマーピーニング

であったが、向上目標に指定した JSSC-D 等級は十分に満足する手法であるといえる。また桁試験体においては、ハンマーピーニング処理同様、疲労亀裂の発生が見られず、現在のところ E 等級を満足している。

< 鋼材強度・継手寸法依存性 > 表-2 に疲労試験結果を S-N 線図上で傾き 3 で最小二乗法により求めた 200 万回疲労強度及び溶接まま試験体との 200 万回疲労強度の比を示す。各止端部処理による疲労強度向上効果に明瞭な鋼材強度依存性及び継手寸法依存性が見うけられていないことが分かる。TIG 処理では、両鋼種の小型継手試験体、桁試験体ともに JSSC の 1 等級程度の疲労強度向上効果であり、継手試験体では目標の D 等級を満足していたが、桁試験体では D 等級を満たすために必ずしも十分な手法ではないことが分かる。グラインダー処理でも JSSC の 1 等級程度であり、TIG 処理と同様であった。但し、グラインダー処理では、疲労強度向上のばらつきが多く、また疲労亀裂の多くが処理により残った欠陥等より発生していた。一方ハンマーピーニング処理では、全ての試験体で処理部からの疲労亀裂の発生はなく、十分な疲労強度向上手法であるといえ、桁試験体でも十分な効果が得られる可能性のある手法であるといえる。低温層変態溶接棒では、上述したように、両サイズの試験体ともにハンマーピーニング同様に十分な処理効果が得られる可能性があるといえる。

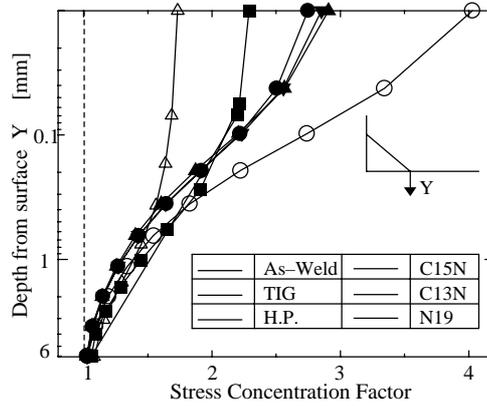


図-4 解析結果 (900MPa 級鋼材)

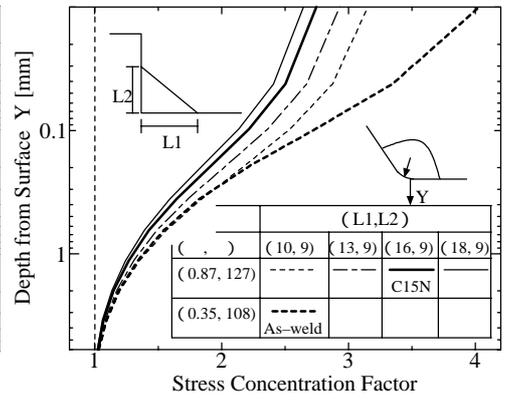


図-5 解析結果(900MPa 級鋼材)

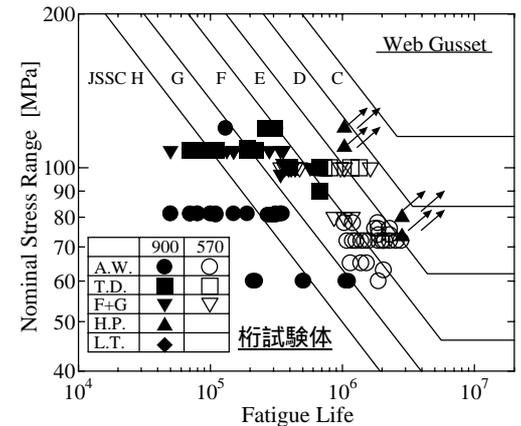
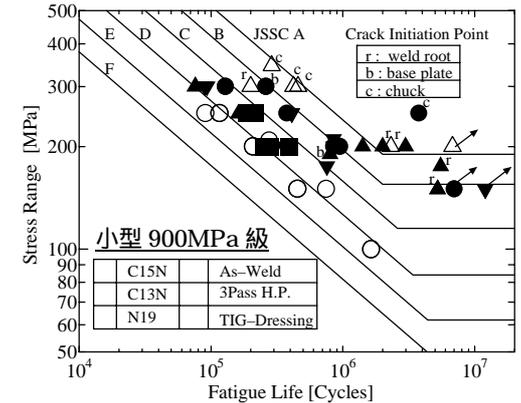
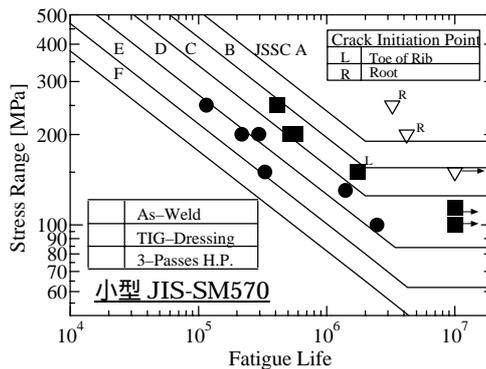


図-6 疲労試験結果

表-1 疲労強度向上効果のまとめ

		溶接まま	TIG 処理	H.P.:3pass	グラインダー	付加溶接
小型	SM570:200万	100.4MPa	137.5MPa	亀裂発生なし		
	向上効果	-----	1.37	3 クラス以上		
継手	900MPa:200万	97.0MPa	109.2MPa	亀裂発生なし		応力範囲依存性、亀裂発生位置が多様のため特定不可。十分な効果
	向上効果	-----	1.13	2~3 クラス以上		
桁試験体	SM570:200万	67.6MPa	78.6MPa		65.4MPa	
	向上効果	-----	1.16		0.98	
	900MPa:200万	35.6MPa	46.0MPa	亀裂発生なし	51.3MPa	亀裂発生なし
	向上効果	-----	1.29	2~3 クラス以上	1.44	2~3 クラス以上