

I - A26 低変態温度溶接棒による付加溶接の 900MPa 級高強度鋼溶接継手への適用

東京工業大学 学生会員 水ノ上 俊雄
東京工業大学 正会員 穴見 健吾

東京工業大学 学生会員 樋口 嘉剛
東京工業大学 フェロー 三木 千壽

1. はじめに

鋼橋製作における合理化の一つの手法として、鋼材の高強度化が挙げられる。しかしながら高強度鋼溶接継手部の疲労強度には、“鋼材強度非依存性”や大型試験体では“鋼材強度逆依存性”があることが報告されている。そのため高強度鋼の強度の高さを有効利用するためには、溶接継手部の疲労強度を向上させる必要がある。本研究では、これまで鋼橋に用いられたことのない 900MPa 級高強度鋼 (表-1) を用いた溶接継手部の止端部処理による疲労強度向上法について検討を行った。

2. 試験体、および疲労試験の概要

本研究で対象とした溶接継手形式は面外ガセット継手である。試験体形状を図-1 (継手試験体)、および図-2 (桁試験体) に示す。面外ガセットの溶接には、溶接ルート部からの疲労亀裂の発生を防止することを目的として、図-3 に示すように開先を 2mm 残して部分溶け込み溶接を施した。本研究で対象とした向上手法は、溶接残留応力を低減させ、圧縮残留応力を導入することを目的として溶接時の冷却過程における相変態温度を下げた 3 種類の低変態温度溶接棒を用いた付加溶接である。付加溶接の概略を図-4 に示す。表-2 に溶接棒、低変態温度溶接棒の化学成分、および溶接条件を示す。疲労試験は、継手試験体では繰り返し引張荷重、桁試験体では繰り返し 4 点曲げ荷重により、ともに応力比をほぼ 0 で行った。

表-1: 使用鋼材の機械的性質

降伏点	967 [MPa]
引張強度	970 [MPa]
伸び	23 [%]

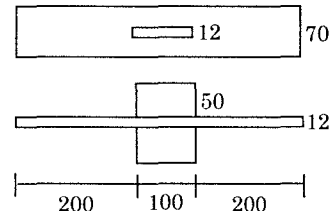


図-1: 継手試験体の形状

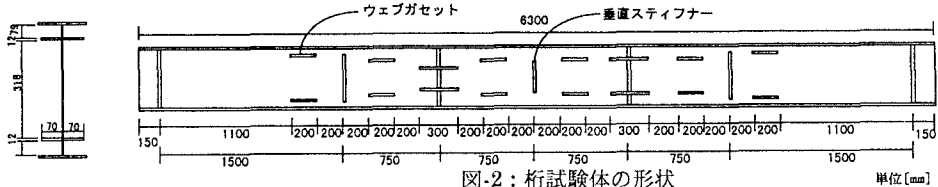


図-2: 桁試験体の形状

単位 [mm]

表-2: 溶接材料の化学成分

	溶接材料	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N	O	Mo
本溶接	YM-80C	0.07	0.77	1.74	0.01	0.008	2.52	—	—	—	0.52
低変態温度溶接棒	C15N	0.029	0.15	0.19	0.022	0.007	7.07	15.66	0.0321	0.1019	—
	C13N	0.024	0.15	0.19	0.023	0.006	8.9	12.98	0.0351	0.1056	—
	N19	0.055	0.17	0.25	0.007	0.004	10.02	—	0.0101	0.0386	—

3. 疲労試験結果、および疲労強度向上メカニズム

図-5 に継手試験体の疲労試験結果 (破断寿命) を示す。同図には、昨年度行った Hammer Peening 処理、TIG 処理試験体の疲労試験結果と併せて示している。3 種類の低変態温度溶接棒を用いた付加溶接により疲労強度が大きく向上している。しかし、向上効果には応力範囲依存性が見られ、特に、本研究の

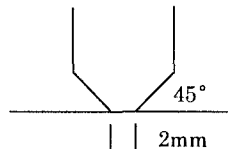


図-3: 開先形状

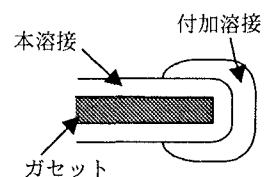


図-4: 付加溶接形状

低応力範囲(200MPa 以下)での向上効果が大きく、ルート部から破壊した試験体もあるのに対して、高応力範囲(300MPa 程度)では、疲労強度向上効果は JSSC の 0~2 等級弱程度であった。図-6 に桁試験体の疲労試験

キーワード: 900MPa 級高強度鋼, 溶接継手, 疲労強度向上法, 低変態温度溶接棒

〒152-0034 東京都目黒区大岡山 2-12-1 (TEL: 03-5734-2596)

結果（亀裂発生寿命：表面亀裂長さが 10mm）を示す。溶接ままの継手部の疲労強度は、JSSC の H 等級をも下回る結果が得られており、溶接ままの継手試験体と比較して非常に低い疲労強度となっており、いわゆる“寸法効果”が大きく見受けられる。現在疲労試験を継続中であるが、3 種類の低変態温度溶接棒による付加溶接、および Hammer Peening を施した溶接部では疲労亀裂の発生は見られておらず、継手試験体の場合と同様、大きな疲労強度向上効果が得られる可能性がある。

次に低変態温度溶接棒を用いた付加溶接による疲労強度向上メカニズムを止端部近傍の残留応力、および応力集中の低減効果から検討した。図-7 に切断法により測定した廻し溶接止端部から 2mm 位置での残留応力の板厚方向分布を示す。測定位置が異なることもあり測定結果は Hammer Peening より小さいが、低変態温度溶接棒を用いることにより、止端部近傍に圧縮残留応力が導入されていることが分かる。この圧縮残留応力が、低変態温度溶接棒を用いた付加溶接によって疲労強度が向上する大きな要因であり、応力範囲依存性が現れる原因であるとも言える。

図-8 に FEM 解析により求めた継手試験体の溶接止端部位置での応力集中の板厚方向分布を示す。本解析では止端部局所形状を測定し、FEM モデルに適用した。桁試験体では、まずシェルモデルにより全体解析を行い、次にガセット近傍（継手試験体とほぼ同範囲）をソリッド要素によりモデル化し、全体解析の解析結果を詳細モデルの境界条件として計算した。3 種類の低変態温度溶接棒を用いて付加溶接を施すことにより、溶接止端部における応力集中が大きく低下していることが分かる。これは、止端部形状が滑らかになること、および付加溶接による溶接脚長の不等脚になっていることが原因である。すなわち、低変態温度溶接棒を廻し溶接部にのみ付加溶接することにより、①止端部に圧縮残留応力が導入できる、②応力集中を低減できる効果により、疲労強度が大きく向上できる可能性があると言える。

4. 寸法効果の応力集中による検討

図-9 は、溶接まま継手部について、継手試験体（Case-1）、桁試験体の FEM 解析結果（Case-2）、および桁試験体の詳細解析で上下の境界に与えた強制変位を取り除いたモデル（Case-3）の解析結果を示している。Case-1 と Case-3 は、形状はほぼ同等であり、両者の応力集中分布は似通った分布

をしているのに対して、桁試験体モデル Case-2 は応力集中が非常に大きくなっている。このように、桁試験体など継手形状が大型化することにより構造的な拘束が増加し、溶接止端部における応力集中が上昇することが、継手試験体と比べて桁試験体の疲労強度が大きく低下した主要原因であると言える。

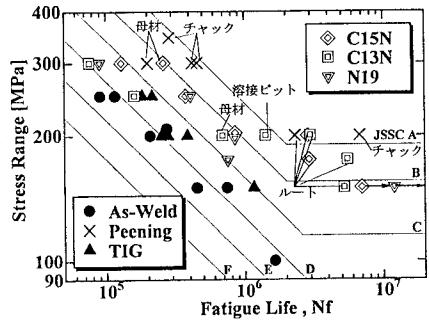


図-5：破断寿命（継手試験体）

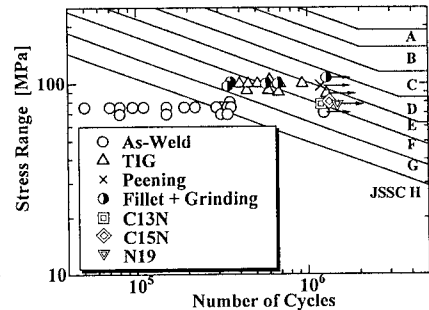


図-6：亀裂発生寿命（桁試験体）

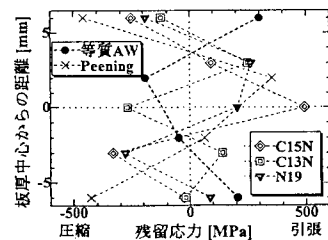


図-7：残留応力測定結果

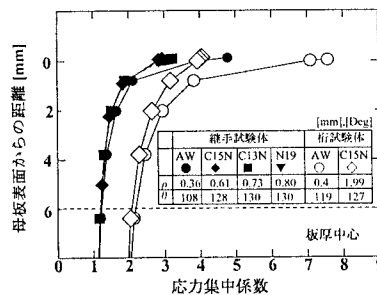


図-8：FEM 解析結果

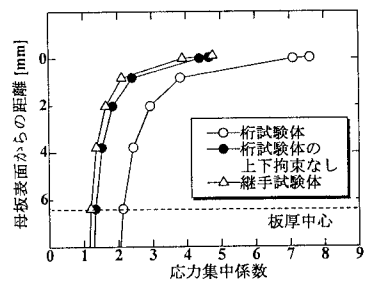


図-9：FEM 解析結果