

## 低変態温度溶接材料を用いて製作した溶接継手の疲労強度

名古屋大学 学生会員 ○益井駿介 正会員 判治剛 フェロー会員 館石和雄 正会員 清水優  
川田工業 正会員 津山忠久 正会員 小谷祐樹 MK エンジニアリング 正会員 竹淵敏郎

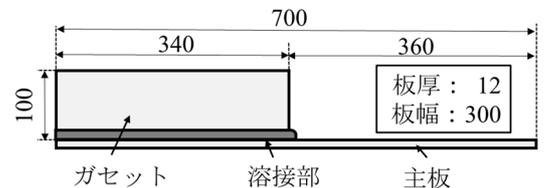
**1. 研究の目的** 本研究では、残留応力を低減できる低変態温度溶接材料（以下、LTT 溶材）により製作した溶接継手の疲労強度を明らかにすることを目的とする。対象とした溶接継手は、鋼橋の代表的な継手のうち、疲労強度の低い面外ガセット溶接継手と、鋼床版の U リブとデッキプレートの接合部でみられる片面すみ肉溶接継手である。前者からは止端き裂が、後者からはルートき裂が発生する継手である。

**2. 試験体** 各試験体の形状を図-1 に示す。面外ガセット溶接継手には鋼材強度の異なる 2 種類の鋼板（SM400A, SM570Q）を用いた。溶接材料には、各鋼材に対する一般的な溶材と 2 種類の LTT 溶材を用いた。LTT 溶材の化学成分を表-1 に示す。Mn が多く添加されている LTT 溶材（以下、LTT-Mn）と、Ni が多く添加され、LTT-Mn よりも変態点が高い LTT 溶材（以下、

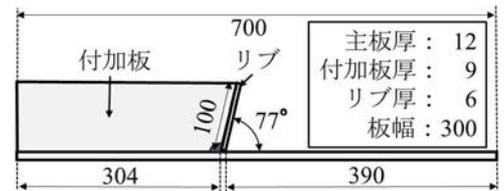
LTT-Ni）を用いた。片面すみ肉溶接継手では、U リブと横リブの交差部を想定し、横リブを模した付加板も溶接した。U リブウェブを想定したリブを LTT-Mn にて溶接した後、普通溶材を用いて付加板を取り付けた。リブのすみ肉溶接の溶込み量はリブ厚の 75%以上とした。付加板の溶接入熱量は鋼床版の実施工における U リブ-横リブ溶接時のそれとあわせ、付加板の溶接による LTT 溶接部への再入熱の影響を確認した。

比較のため、普通溶材にて製作した片面すみ肉溶接継手も用意した。各試験体の溶接条件を表-2 示す。試験体は、シールドガスに CO<sub>2</sub> を用いた垂直多関節式溶接ロボット（DAIHEN FD-V6）による自動溶接により製作した。本試験に用いた 8 種類の試験体を表-3 にまとめる。

**3. 溶接形状計測** 面外ガセット溶接継手のまわし溶接部における断面マクロ写真を図-2 に示す。LTT-Mn の溶接部の形状は普通溶材とほぼ同様であるが、LTT-Ni の溶接部には比較的大きな凹凸がみられた。レプリカ法により計測した溶接形状を表-4 と表-5 に示す。表中には、各計測結果（サンプル数：48 以上）の平均値と標準偏差（括弧内の値）を示している。LTT-Mn では普通溶材に近い溶接形状が得られているが、LTT-Ni では、他の溶材に比べて止端半径が若干小さく、止端角が大きい傾向を確認できる。



(a) 面外ガセット溶接継手



(b) 片面すみ肉溶接継手

図-1 試験体の形状 (単位: mm)

表-1 LTT 溶材の化学成分 (単位: %)

溶接材料	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
	× 10 <sup>-2</sup>			× 10 <sup>-3</sup>		× 10 <sup>-2</sup>			× 10 <sup>-3</sup>	
LTT-Mn	3	42	460	8	7	1	—	2	10	10
LTT-Ni	4	32	36	8	4	15	1187	—	—	—

表-2 試験体の溶接条件

継手形状	面外ガセット溶接継手			片面すみ肉溶接継手	
	普通溶材	LTT-Mn	LTT-Ni	普通溶材	LTT-Mn
溶接材料	普通溶材	LTT-Mn	LTT-Ni	普通溶材	LTT-Mn
電流(A)	185~270	180~245	200~270	285	250
電圧(V)	24~29.5	24~30	20~26	26.5	28
速度(mm/min)	350	350	350	400	370
入熱量(J/mm)	761~1356	741~1260	686~1203	1133	1135
予熱温度(°C)	—	50	50	—	50

表-3 各試験体の名称

名称	鋼材	溶接材料	継手形状
G400-C	SM400A	普通溶材	面外 ガセット
G400-M		LTT-Mn	
G400-N		LTT-Ni	
G570-C	SM570Q	普通溶材	
G570-M		LTT-Mn	
G570-N		LTT-Ni	
S400-C	SM400A	普通溶材	片面 すみ肉
S400-M		LTT-Mn	



(a) G400-C



(b) G400-M



(c) G400-N

図-2 断面マクロ

キーワード 低変態温度溶接材料, 疲労強度向上, 面外ガセット溶接継手, 片面すみ肉溶接継手, 残留応力  
連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL: 052-789-4620

4. 残留応力計測 面外ガセット溶接

継手のまわし溶接近傍の残留応力を X 線回折法により計測した。長手方向の残留応力分布を図-3 に示す。図中のプロットは計測値の平均と標準偏差を表している。図より、普通溶材では引張の、LTT 溶材では圧縮の残留応力が止端部に導入されていることがわかる。また、LTT 溶材間での違いはほとんどみられない。

表-4 面外ガセット溶接継手の溶接形状計測結果

試験体	G400-C	G400-M	G400-N	G570-C	G570-M	G570-N
ガセット側脚長 (mm)	8.63 (0.47)	7.93 (0.26)	8.25 (0.39)	7.88 (0.31)	8.22 (0.44)	8.25 (0.30)
主板側脚長 (mm)	10.1 (0.30)	9.86 (0.19)	9.26 (0.33)	9.10 (0.36)	9.58 (0.43)	9.00 (0.30)
止端角 (度)	62.6 (4.0)	64.3 (4.4)	97.8 (4.7)	68.7 (5.9)	60.6 (5.2)	87.8 (4.1)
止端半径 (mm)	0.66 (0.20)	0.61 (0.21)	0.40 (0.14)	0.85 (0.27)	0.51 (0.21)	0.44 (0.10)

5. 疲労試験 疲労試験には振動式板

曲げ疲労試験機<sup>2)</sup>を用い、き裂発生位置の応力比をゼロとして载荷した。主板表面には、図-4 に示すようにひずみゲージを貼付し、試験中、1 万回ごとにひずみを記録した。面外ガセット溶接継手の疲労寿命は、溶接止端から発生したき裂が主板に約 10mm 進展したときの繰返し回数  $N_{10}$  と定義した。また片面すみ肉溶接継手では、ルートからのき裂発生を目認できないため、溶接部近傍のき裂検知用ゲージのひずみ変動範囲が初期値から 5% 変化したときの繰返し回数  $N_5$  を疲労寿命と定義した<sup>2), 3)</sup>。

表-5 片面すみ肉溶接継手の計測結果

試験体	S400-C	S400-M
リップ側脚長 (mm)	7.18 (0.20)	7.05 (0.18)
主板側脚長 (mm)	4.18 (0.19)	4.31 (0.24)
止端角 (度)	69.0 (4.2)	68.3 (4.1)
止端半径 (mm)	0.62 (0.17)	0.75 (0.17)

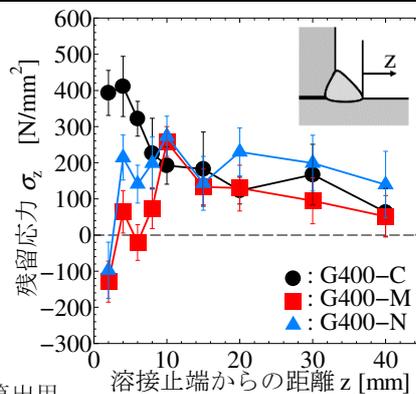
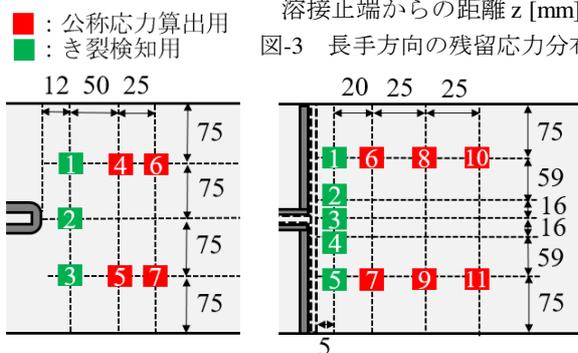


図-3 長手方向の残留応力分布

6. ひずみ計測結果

片面すみ肉溶接継手における試験中の応力範囲の変化の例を図-5 に示す。ルートき裂の発生により、交差部に近い 3 番ゲージの値が減少し始め、き裂の進展に伴って 4 番、2 番の値が順に変化する。また、それに伴う応力の再配分により 1 番と 5 番の値が増加することが確認できる。また、公称応力範囲も徐々に増加している。



(a) 面外ガセット溶接継手 (b) 片面すみ肉溶接継手  
図-4 ひずみゲージ貼付け位置 (単位: mm)

7. 疲労試験結果

等価応力範囲で整理した疲労試験結果を図-6、図-7 に示す。面外ガセット溶接継手では、LTT 溶材の疲労強度は普通溶材のそれとほぼ同程度であり、また、LTT 溶材の違いによる疲労強度の差もみられなかった。これは、継手の応力集中が高く、LTT 溶材による圧縮残留応力の大きさが十分ではなかった可能性が推察される。片面すみ肉溶接継手では、LTT 溶材の結果は普通溶材のそれより上方に位置し、LTT 溶材による疲労強度の向上がみられた。この傾向は低応力範囲の領域で顕著である。これは、LTT 溶材による縦板のない片面すみ肉溶接継手と同様<sup>3)</sup>であり、LTT 溶接部への再入熱の影響はみられない。一方で、過去の結果<sup>3)</sup>に比べて疲労強度が大幅に低いが、これは縦板を設置したことによる応力集中の増加に起因するものと考えられる。

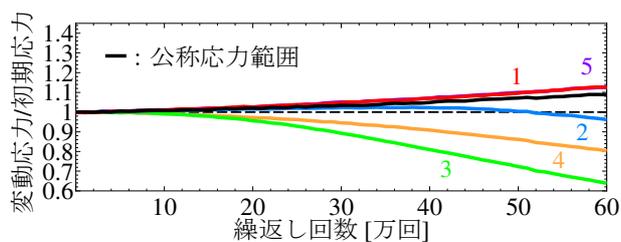


図-5 疲労試験中の応力範囲の変化

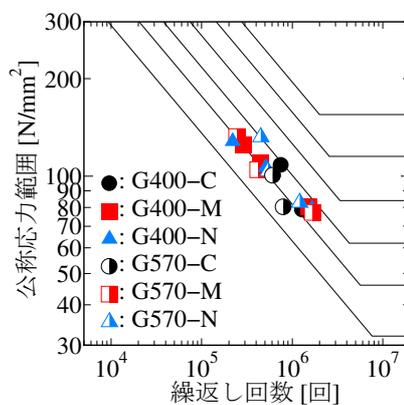


図-6  $N_{10}$

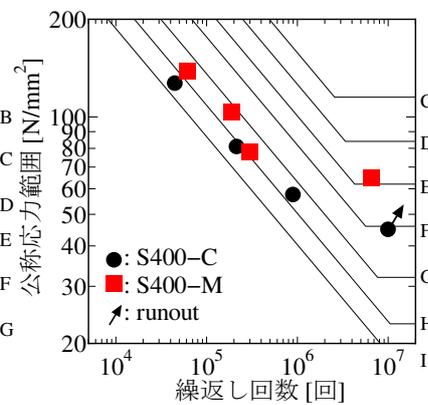


図-7  $N_5$

参考文献

1) 前田ら:溶接学会全国大会講演概要, Vol.64, pp.138-139, 1999. 2) 山田ら:構造工学論文集, Vol.54A, pp.675-684, 2008. 3) 判治ら:構造工学論文集, Vol.66A, pp.607-616, 2020.