

低温相変態溶接棒を用いた付加ビード工法による疲労強度向上

芝浦工業大学 学生会員 ○齋藤 史弥 穴見 健吾
 施工技術総合研究所 小野 秀一 宇田 陽亮
 宮地エンジニアリング(株) 澁谷 敦

1. 研究背景

低温相変態溶接棒（以下 LTT）を使用することで、溶接継手部に圧縮残留応力を導入し、溶接継手部の疲労強度を向上させることが知られている。この LTT の疲労強度向上手法としての研究は、主部材側溶接止端部から発生するき裂を対象としたものがほとんどである。実橋梁においては、主部材側、付加部材側の両止端部から疲労き裂が発生しているが、付加部材側き裂に対する LTT の適用性は明らかにされていない。そこで本検討では、荷重伝達型溶接十字継手の付加部材側溶接止端部に着目し、LTT を用いた付加溶接による疲労強度向上効果を疲労試験及び応力解析を用いて検討した。

2. 試験体設計

図-1 に本検討で用いた荷重伝達型溶接十字継手試験体を示す。使用鋼材及びその機械的性質を表-1 に示す。付加溶接に用いた LTT の化学成分を表-2 に示す。製作手順として、中板と主板の溶接は、ルート部からの疲労き裂発生防止を目的として、主板②、主板①の順で、完全溶け込み溶接により取りつけた。また図-2 に示すように、LTT 試験体は主板①こば面から、30mm の範囲に LTT を用いた付加溶接を施した。

またき裂発生位置を主板①こば面に特定することを目的に、主板②の幅と比較して、主板①の幅を小さくした。この中板表裏の主板幅の差異による主板①こば面の応力集中の影響を、FEM 解析ソフト Marc により検討した。図-3 に解析モデルを示す。図-4 に解析により求めた、主板②の幅を変化させた場合の主板①こば面の止端部応力を示す。なおグラフの縦軸は応力抽出位置の長手方向応力を主板①の公称応力で除したものである。主板②幅の増大に伴い、止端部応力が高くなっていることがわかる。本研究で製作した主板幅は、疲労試験機のチャック幅の制約のため 120mm としたが、主板幅の差異がない場合と比べ、止端部応力は 1.47 倍であり、き裂の発生点を特定出来るものと考えられる。

表-1 鋼材の機械的性質

鋼材	降伏強度	引張強さ	伸び
SM490YA	417MPa	551MPa	22%

表-2 LTT(SM-10N)の化学成分[重量%]

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni
0.04	0.3	0.45	0.005	0.005	0.25	10.1

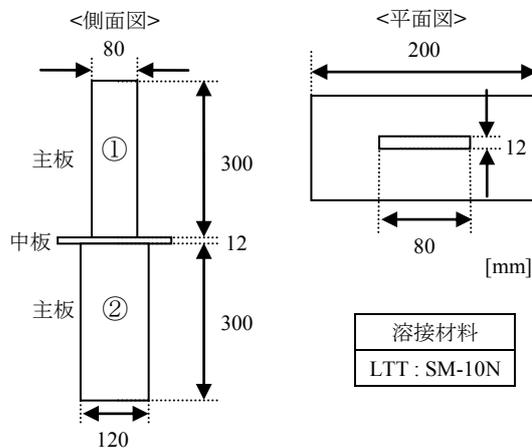


図-1 試験体寸法及び溶接材料

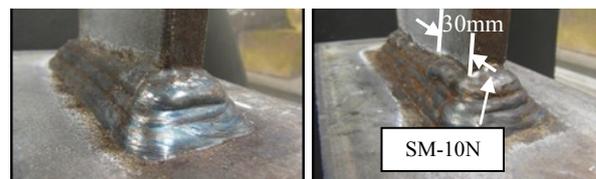


図-2 付加溶接位置と溶接ビード近傍

1/2model ポアソン比 : 0.3
 ヤング率 : 205000N/mm² 最小メッシュ : 0.5×0.5mm

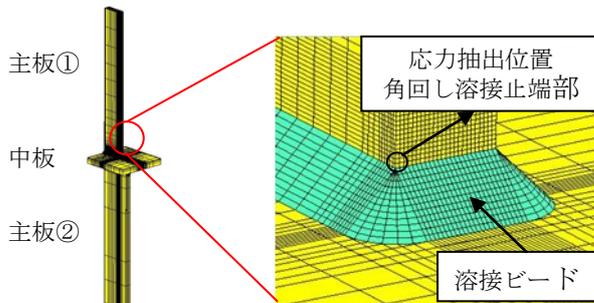


図-3 FEM 解析モデル

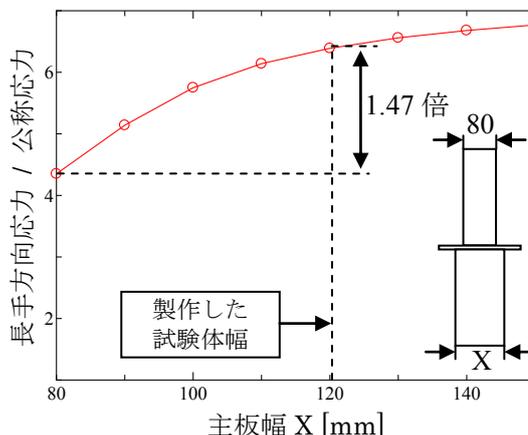


図-4 ガセット幅の差異による応力集中

3. 疲労試験

疲労試験は、軸方向引張荷重を繰り返し载荷し、载荷速度は 8Hz で行った。なお疲労試験は部材が破断した段階で終了とした。図-5 に主板①の公称応力範囲で整理した試験結果を示す。同図に JSSC の疲労強度等級を併記した。図中の c 印は、主板②側から破断しており、付加溶接箇所の疲労強度はプロット位置よりも高いと考えられる。荷重伝達型十字継手の疲労強度等級は、完全溶け込み溶接で止端非仕上げの場合 E 等級であり、As-weld 試験体も E 等級あたりに分布していた。

一方 LTT 試験体では C 等級以上に分布しており、2 等級程度の疲労強度向上効果が得られた。従来、圧縮残留応力の導入を目的とした疲労強度向上手法は、作用応力範囲が高い場合、残留応力が再分配され、疲労強度向上効果が小さくなる。データ数は少ないものの、本疲労試験の範囲内では、作用応力範囲に影響を受けず、疲労強度は向上していた。図-6 に疲労破面の例を示す。As-weld 試験体では全て主板①角部で破断したが、LTT 試験体では付加溶接終始端部からも破断していた。付加溶接終始端部から破断した試験体を除き、両試験体で破面形状の差異は見られなかった。

4. 溶接止端部の応力集中

LTT による疲労強度向上効果が、圧縮残留応力と付加溶接による応力集中低減効果のどちらから得られているか検討するために、止端部の応力解析を行った。回し溶接部の形状を印象材を用いて型取りし、溶接脚長、止端半径 ρ 、止端角 θ を測定した。結果を図-7 に示す。かじりのない止端部位置を empty、かじりのある止端部位置を solid で表記した。As-weld 試験体と比較して、LTT 試験体ではかじりが多く計測されていることがわかる。かじりの有無を除き、両試験体ともにほぼ同じ分布であるが、LTT 試験体が As-weld 試験体よりも若干止端半径が小さい結果であった。測定した止端部形状を取り込んだ解析モデルを作成し、各パラメータの応力集中への影響を検討した。影響因子としては不等脚化及び止端部形状による差異が考えられ、それぞれの効果を分離するために、脚長を As-weld 試験体、止端部形状を LTT 試験体の測定平均値とした解析モデルも併せて作成した。なお、かじり位置では止端半径が大きく測定されるため、解析条件に用いた平均値から除いている。解析結果を図-8 に示す。同図に脚長及び止端形状の解析条件、止端部近傍の解析モデルを示す。同脚長条件では LTT 試験体の ρ が若干小さいため、As-weld 試験体よりも応力集中が高いことがわかる。また脚長の増加による応力集中低減効果はほとんどなく、As-weld 試験体と比べ LTT 試験体の応力集中が若干高い結果であった。しかし LTT 試験体では、2 等級程度の疲労強度向上効果が得られたために、本試験体における疲労強度向上効果は圧縮残留応力による影響が強いと考えられる。

謝辞：本研究は科学研究費基盤研究(C)(課題番号 13243767・研究者代表：穴見健吾)の一環として行われました。

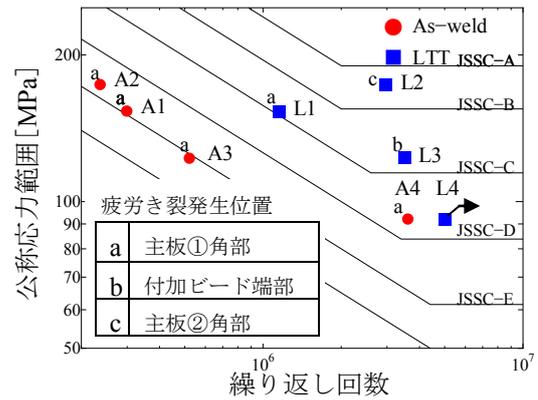


図-5 疲労試験結果

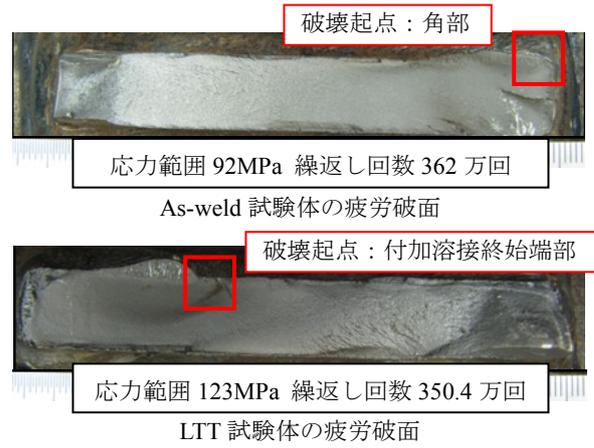


図-6 疲労破面の例

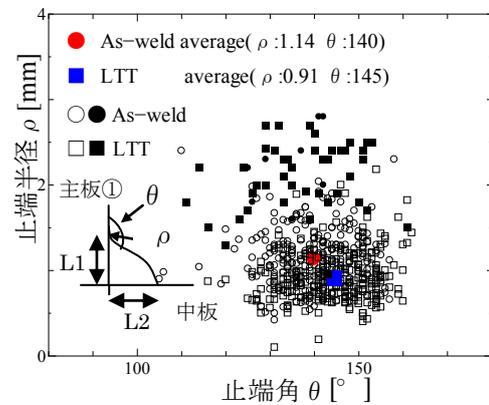


図-7 止端部形状測定結果

[mm,°]	(L1,L2) [mm]	
(ρ, θ)	(14,13)	(17,13)
(0.91,145)	□	LTT ■
(1.14,140)	As-weld ●	

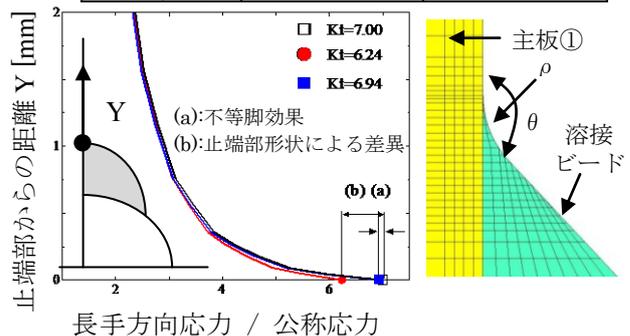


図-8 不等脚化の止端部応力への影響