

低温相変態溶接棒による溶接ルート部の疲労強度向上

芝浦工業大学 学生会員 ○落合 良介・武 佑志
 芝浦工業大学 正会員 穴見 健吾

1. はじめに

溶接ルート部から発生・進展するき裂は、表面で発見された時には溶接内部で大きく進展している場合もあり、防止しなければならないき裂である。従来、溶接継手部の疲労強度向上法は多く研究されているが、ルート部の形状を改善させること以外にルート部の疲労強度を直接向上させる方法はない。そこで本研究では、圧縮残留応力導入を目的とした低温相変態溶接棒(以下 LTT)を用い、ルート部の疲労強度の向上を試みた。ルート部から発生するき裂には、図 1 に示す主板に進展する Type-A と、溶接金属内部に進展する Type-B が考えられるが、本研究では、この 2 つの疲労挙動を再現する試験手法により検討を行った。

2. 試験体及び試験条件

図 2 に本研究で用いた片面すみ肉溶接継手試験体を示す。疲労試験のセットアップを図-3 に示す。実験 A は 4 点曲げ試験で、溶接ルート部から主板にき裂が進展する Type-A き裂、実験 B は片持ち梁形式の载荷で、溶接金属にき裂が進展していく Type-B き裂を再現することを目的としている。供試鋼材や溶接材料の情報を表-1 にまとめる。本研究では LTT との比較のために普通溶材を用いた試験体も製作している。溶接ギャップは 0 とし、試験体製作時の溶接後のひずみ矯正は行っていない。

3. 疲労試験結果

表-2 に疲労試験結果を各試験体の溶接ビード形状と併せて示す。

3-1. 4 点曲げ疲労試験結果(実験 A)

疲労き裂は普通溶材で製作した AF 試験体のみ発生しており、LTT を用いた AL 試験体ではき裂の発生は見られなかった。図-4 に AF 試験体に発生した疲労き裂と破面を示す。疲労き裂はルート部から発生し、主板に進展している。なお、この試験体では、ルート部近傍のひずみ挙動や残留応力の測定のため、溶接金属を若干切削している。図-5 にひずみゲージを用いて測定した主板の公称応力範囲で整理した S-N 線図を示す。LTT を用いた AL 試験体は AF 試験体より 1 等級程度の疲労強度向上が見られたが、今後より長寿命の疲労試験を行う必要がある。

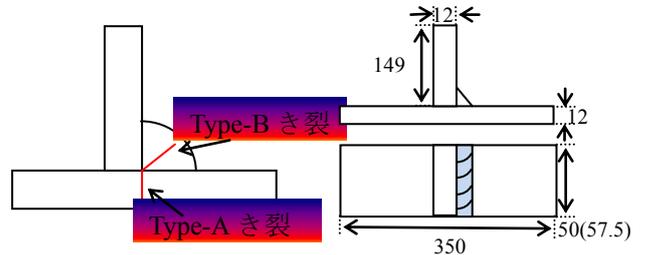


図-1 ルート破壊 図-2 試験体寸法(SM490)[mm]

表-1 供試鋼材や溶接材量の情報

供試鋼材	溶接材料
実験 A : SM400A (降伏点 276MPa)	LTT : N19 (Ms/Mf:400/300°C)
実験 B : SM490Y (降伏点 468MPa)	比較用の普通溶材 : MX-Z200

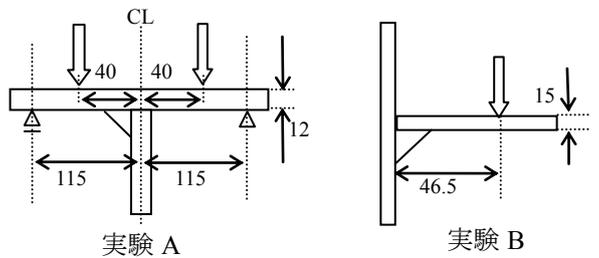


図-3 疲労試験のセットアップ

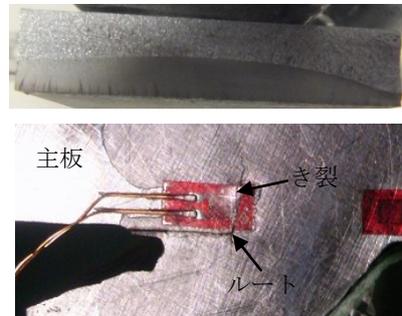


図-4 試験体 AF-1 に発生した疲労亀裂

表-2 疲労試験結果のまとめ

	L1	L2	S	公称応力範囲	疲労寿命	ENS 範囲
AL-1	6.8	6.7	4.7	178.8	502.2 ↑	567.8
AL-2	6.2	7.9	4.4	170.9	467.2 ↑	551.8
AF-1	8.5	9.1	6.0	180.6	191.7	576.8
AF-2	8.9	9.3	6.3	218.7	46.6	716.5
BL-1	7.5	7.1	5.0	132.8	357.4 ↑	261.8
				243.6	30.0	480.0
BL-2	7.4	7.3	5.2	209.5	61.9	428.8
BL-3	7.2	7.0	5.0	227.7	192.9	456.3
BF-1	7.5	6.4	4.6	263.7	319.1 ↑	466.0
BF-2	6.2	7.3	4.4	288.2	117.8	497.8
	mm	mm	mm	MPa	万回	MPa

L1 : 主板側の脚長、L2 : 付加板側の脚長
 ENS:エフェクティブノッチストレス
 ↑ : 未破断を示す
 (BL-1 試験体は 357 万回载荷後荷重を増大)

3-2. 片持ち梁形式疲労試験結果(実験 B)

実験 B では、LTT を用いた BL 試験体、普通溶材を用いた BF 試験体ともに、ルート部からき裂が発生し、溶接金属内部に進展した。図-6 に BL 試験体に発生した疲労き裂とその破面を示す。片持ち梁形式疲労試験結果を図-7 に

示す。ここでは、のど断面を展開した展開断面を用いて計算したルート部の曲げ応力範囲を縦軸に用いている。LTT を用いた BL 試験体は BF 試験体よりも疲労強度が同等程度以下にプロットされており、LTT は、溶接金属を進展するような Type-B き裂に対しては効果が得られない結果となった。これは、溶接冷却時、低温で LTT が膨張する際、本試験体ではその Type-B き裂直角方向の膨張を拘束する効果が小さい為、十分な圧縮残留応力が導入できていない可能性もあり、今後検討する必要がある。

4. エフェクティブノッチストレス (ENS) 法による整理

LTT を用いた試験体と普通溶材を用いた試験体の疲労試験結果の差異の原因を検討するために、ここでは、汎用有限要素解析ソフト Marc を用いて、各試験体の溶接ビード部を忠実にモデル化し、溶接ルート部のエフェクティブノッチストレス範囲 (以下 ENS) で疲労試験結果の評価を行う。図-8 には、ENS を用いる為に、不溶着部先端に半径 1mm の仮想円孔を設けた FEM モデルを示す。本研究では、ENS として仮想円孔まわりの最大の最大主応力を用いている。図-9 はこの解析により求めた ENS で疲労試験結果を整理したものである。図中には、この手法を用いる時の疲労強度等級である IIW-FAT225 の疲労強度等級も併せて示している。LTT を用いた AL 試験体、普通溶材を用いた AF, BF 試験体、LTT を用いた BL 試験体の順に疲労強度等級が大きい。ENS 法では、溶接残留応力の影響を考慮することはできないが、応力集中の影響を考慮することが可能と考えられ、ここに示される疲労強度の差異は溶接残留応力の影響である可能性がある。残留応力の測定や溶接ギャップを設けた試験体を用いた更なる検討が必要であると考えられるが、本研究のように 1 パスで LTT を施す片面すみ肉溶接の圧縮残留応力の導入効果は、Type-A の亀裂に対して大きく見られるが、溶接金属に亀裂が進展する Type-B に対してはほとんど効果が見られないという結果となった。

謝辞：本研究では科学研究費補助金基盤研究 B (課題番号 22360174: 研究代表者魚本健人) の一環として行った。また試験体製作には、大阪大学糟谷教授、宮地エンジニアリング(株)渋谷氏にご協力頂いた。

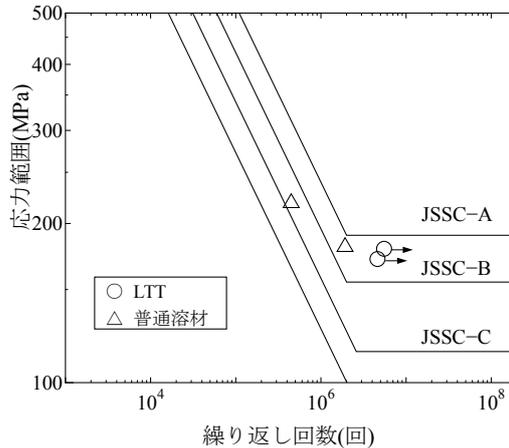


図-5 4点曲げ疲労試験 S-N 線図

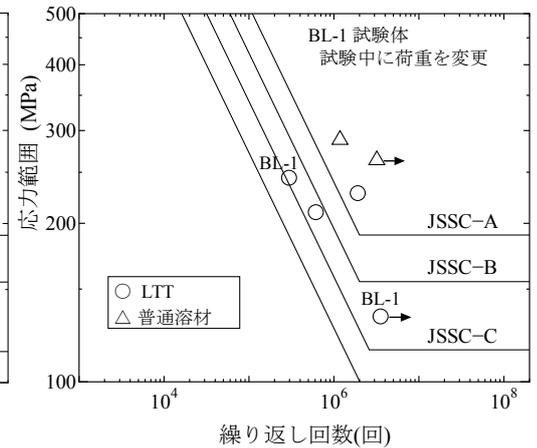


図-7 片持ち梁形式疲労試験 S-N 線図

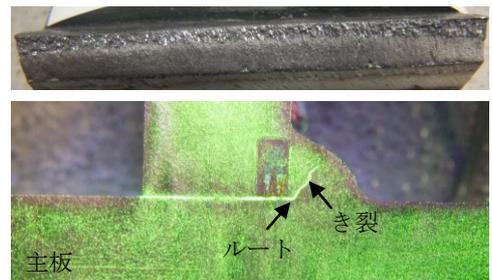


図-6 試験体 BL-2 に発生した疲労亀裂

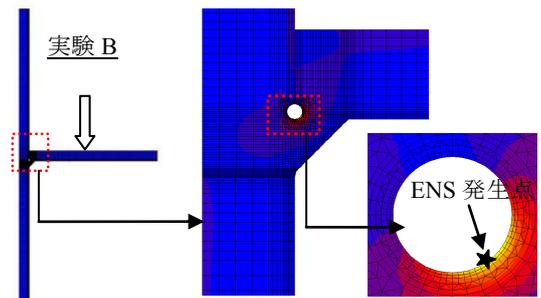


図-8 仮想円孔まわりの最大主応力分布 (ENS: エフェクティブノッチストレス)

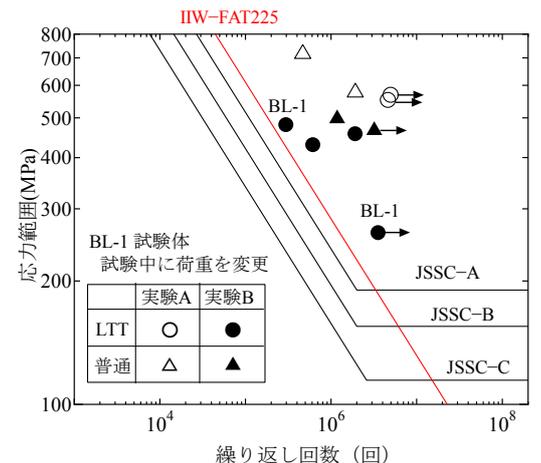


図-9 ENS 範囲で整理した S-N 線図