

金属材料技術研究所

太田昭彦[○], 廻 俊夫, 前田芳夫
西島 敏, 中村治方

1. 緒言 溶接構造物が曝される負荷は時間と共に不規則に変動することが一般的である。しかし、その構成要素である溶接継手の疲れ強さは、応力比0の定荷重振幅試験によって評価されてきた。そして、定振幅試験結果から変動荷重下の寿命を予測する手段としてマイナー則が用いられている。しかし、長寿命域の予測寿命は危険側の推定となることがあるため、疲労限以下の荷重繰返しによっても疲労損傷が累積するとして疲労限以下のS-N線を修正した修正マイナー則が提案されている。一方、疲れき裂伝播特性の一指標に下限界値があるが、変動荷重下では定振幅試験によって得た下限界値以下でもき裂が伝播することがあり変動荷重下の疲労限と同様な現象となっている。しかし、き裂伝播に対する下限界値は、応力比が増大するに伴って低下するが、応力比がある極限より1に近い場合は応力比によらず一定となり、また、変動荷重下でも下限界値以下の伝播は生じないことが示されている¹⁾。S-N特性については、極限の応力比条件として最大応力が材料の降伏強さに一致した状況が考えられ、高い引張残留応力の存在を想定した設計概念とも整合性のある溶接継手の疲れ強さ評価法として提案されている²⁾。

本報では、最大応力を材料の降伏強さに一致させた極限の応力比状態によるS-N特性が、き裂伝播特性と同様に変動荷重下に於ても安全側の評価となるか否かを実験的に検討した結果を述べる。

2. 実験方法 実験に用いた供試材は、素材板厚20mmの圧力容器用鋼板SPV50鋼及び溶接構造用圧延鋼板SM50B鋼である。この母材及び溶接材料の諸性質を表1及び表2に示す。溶接試験板は溶接線が圧延方向に直角になるように表3に示す溶接条件によって製作した。疲れ試験片は図1に示す形状とした。疲れ試験は荷重容量300kN～1.5MNの油圧式疲れ試験機により実施した。変動荷重波形としては、最も単純な二

表1. 供試材の化学成分

材料名		成分元素量 (質量%)									
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	
SPV50	母材	0.12	0.28	1.22	0.019	0.004	0.02	0.02	0.11	0.03	
	溶接金属	0.075	0.32	1.56	0.002	0.009	0.027	0.040	0.38	0.008	
SM50B	母材	0.166	0.33	1.45	0.021	0.011	0.01	0.01	0.01	0.026	
	溶接金属	0.08	0.58	0.92	0.013	0.008					

表2. 供試材の機械的性質

材料名		引張試験			シャルピー 吸収エネルギー (J)
		降伏強さ(N/mm ²)	引張強さ(N/mm ²)	伸び(%)	
SPV50	母材	579	628	40	289/-10°C
	溶接金属	623	688	25	98/-5°C
	溶接継手		648		
SM50B	母材	485	570	32	182/0°C
	溶接金属	397	534	31	187/0°C
	溶接継手		536		

表3. 溶接施工条件

材料名	SPV50	SM50B
溶接法	サブマージアーク溶接	リブ十字溶接
溶接長(mm)	1500	500
溶接材料	溶融形, 20x200mm, φ4.8	低水素, 05016 ^{φ4}
溶接姿勢	下向	下向
溶接電流(A)	660	180
運轉速度(cm/min)	30	16~25
溶接電圧(V)	34	23~26
入熱量(kJ/cm)	45	9.9~17.6
予熱温度(°C)	150	None
再乾燥温度	150°C/1h	350°C/1h
バス間温度(°C)	150	60~150

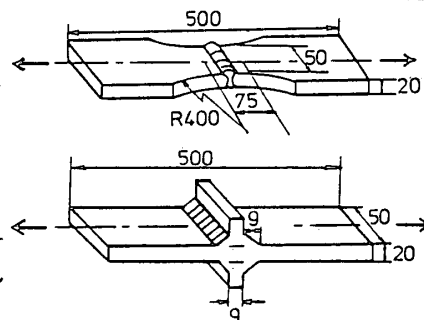


図1. 試験片形状

段多重試験を行った。荷重波形パターンは図2(a)に示すように大振幅と小振幅の比を2とし、最大応力 σ_{max} が降伏強さ σ_y に等しくなるようにした。このように $\sigma_{max} = \sigma_y$ とした試験を以後最大応力基準試験と称する。試験環境は室温大気である。

3. 実験結果及び考察 得られた

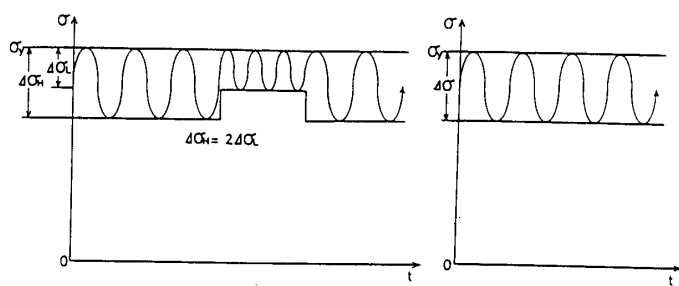
S-N線図を図3に示す。図中の曲線は、応力比を一定にした結果を、白抜きのプロットは一定振幅の、黒塗りのプロットは二段多重の最大応力基準試験の結果を示す。白抜きのプロットは対応する継手に対する曲線に比べて寿命が長くなるほど下側に位置する。これは、従来の試験法で求めたS-N特性に比べて $\sigma_{max} = \sigma_y$ という極限の応力比条件でのS-N特性が長寿命側で劣下することを意味している。なお、 $R=0$ に対する低下の程度は、SPV50 突合せ継手に比べSM50B リブ十字継手の方が軽微である。両者の違いは、溶接止端部近傍の引張残留応力が後者でより大きいためであろう。

次に二段多重試験と一定振幅試験の結果、黒塗りと白抜きのプロットを比較する。なお、黒塗りプロットに当っては縦軸に $\Delta\sigma_H$ を、横軸に $N_f = N_{Hf} \{ \sum N_H / N_{Hf} + \sum N_L / N_{Lf} \}$ をとった。但し、リブ十字継手についての横軸の計算では便宜上 $\sum N_L / N_{Lf} = 0$ とした。いずれの継手についても黒塗りと白抜きのプロットの差異は顕著でなく、修正マイナーのように疲労限以下にも右下りの線を想定する必要はないようである。

溶接構造物の対疲労設計規格³⁾では、熱変形拘束などに起因して溶接部には材料の降伏強さに等しい引張残留応力が存在するという基本概念に基づいて設計応力が定められており、変動荷重に対しては修正マイナー則が導入されている。しかし、設計応力の決定は主として $R=0$ の試験片によるデータによりなされている。以上のこと並びに本報の結果からすると、 $R=0$ の一定振幅試験で求めた疲労限以下の応力繰返しが疲労損傷に寄与しているように見えたのは、むしろ溶接残留応力による応力比効果が実構造物の疲労破壊の主因となっているようであって、最大応力基準試験によって得たデータにより設計応力を設定すれば、変動荷重下に於ても最大応力基準一定振幅試験で求めた疲労限を採用しても破壊が生じない可能性がある。

謝辞：本研究を行うに当り、金材技研疲れデータシート検討会オ2分科会の協力を得たことに謝意を表します。

文献 1) A. OHTA, T. KONNO and S. NISHIJIMA, Engng. Fracture Mech. Vol. 21 (1985) 521-528. 2) 太田前田西島, 中村, 溶接学会全国大会講演前刷集, 36(85-4) 318-319. 3) BS5400 Part 10, British Standards Institution (1980) 1-53



(a) 二段多重 (b) 一定振幅
図2. 最大応力基準試験

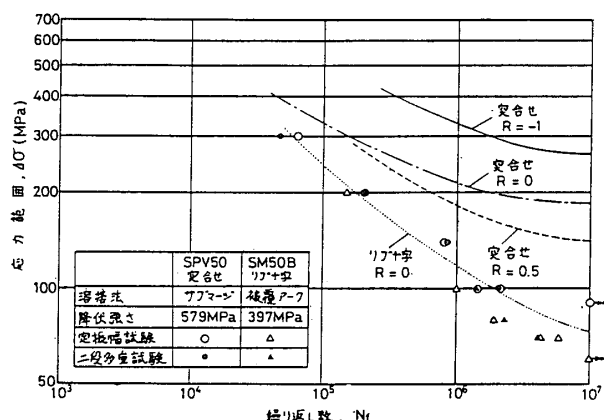


図3. S-N線図