

豊田中央研究所

森 信行  
藤本 正男  
青山 威恒

1. まえがき さきに、単純なスポット溶接継手試験片につき、種々の荷重下で疲労試験を行ない、試験結果を継手の応力状況に基づく危険部位の公称応力で整理すると、溶接部の疲労強度は継手形式、荷重種別に関係なくほぼ同等の値となることを示した<sup>1),2)</sup>。今回は、次の段階として、構造継手におけるスポット溶接部の疲労強度と単純な試験片の強度<sup>3)</sup>から推定する可能性を明らかにする目的で、ハット断面材のスポット溶接による継手に曲げ荷重が作用するときの疲労試験を行なった。そして、スポット溶接部の有効幅を有限要素解析結果<sup>4)</sup>から求めることにより、試験結果を公称応力で整理し、単純な1点スポット溶接継手試験片の疲労強度との関連につき考察した。

表1. 鋼板の化学成分(%)と機械的性質

C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu
0.05	<0.01	0.25	0.010	0.016	0.017	0.028

	$\sigma_{50}$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{50}$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_b$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\phi$ (%)	Hv
圧延	21.3	20.9	31.0	48.7	110
通角	21.8	21.7	31.2	48.7	

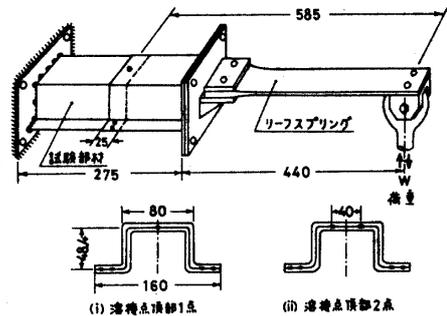


図1. 試験部材と試験方法

表2. スポット溶接条件

加圧力	溶接電流	溶接時間	電極チップ先端径
370 kg	10000 A	16 ~	6 mm

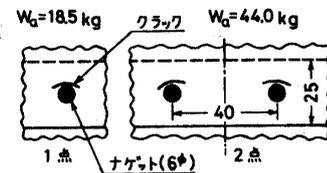


図2. 試験後のクラック状況

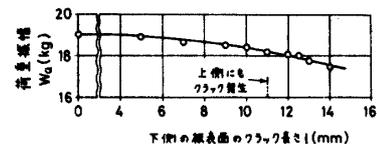


図3. クラック進展中の荷重振幅の変化

2. 試験部材と試験方法 試験部材は厚さ1.6mmの冷延鋼板(SPCC)から作製した。その化学成分と機械的性質を表1に示す。図1には、試験部材の構成と試験方法を示した。継手部は、ハット断面材を2本重ねてスポット溶接したもので、頂部の溶接点数は1点と2点の2種がある。スポット溶接条件を表2に示す。部材の一端を固定し、他端にリーフスプリングを取付け、その先端に繰返し荷重Wを加えて、両振りの条件で疲労試験を行なう。試験周波数は20Hzとした。

3. 試験結果 継手部の破壊は、当然のことながら、部材頂部のスポット点に生ずる。クラックは、図2に示すように、頂部の板表面上のナゲット端近傍に生じて、板幅方向へ進展した。図4には、試験中のクラック長さとの繰返し数の関係の一例を示す。クラック長さが10mm以上になると、荷重Wの減少割合が大きくなるため(図3)、破断繰返し数Nfは板表面上の上下いずれかのクラック長さが10mmに達したときの繰返し数で定義する。図5に、ナゲット中心軸線上、中心から5mmの位置に貼付したゲージによるひずみ振幅の変化状況を示す。ひずみ振幅は破断繰返し数Nfの7割程度の繰返し数から急激に変化した。なお、クラックが発生しない場合には、ひずみ振幅はほとんど変化しなかった。繰返し数がNf

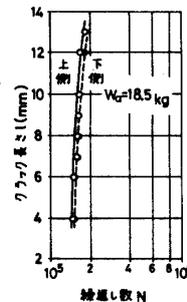


図4. クラック進展状況

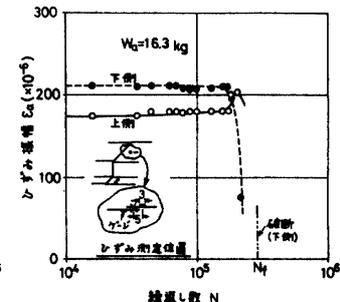


図5. ひずみ振幅の変化

の約1割のときのひずみ振幅 $\epsilon_a$ と破断繰返し数 $N_f$ の関係を頂部1点の場合について図6に、荷重振幅 $W_a$ と破断繰返し数 $N_f$ の関係を図7に示す。図6には、参考のため、単純な1点継手試験片の結果も記入した。 $\epsilon_a \sim N_f$ 関係は $W_a \sim N_f$ 関係に比べて実験点のばらつきがかなり大きい。これは、疲労クラックが内面から発生するのに対し、ゲージ接着面が外表面であることと、ナゲット端近傍では表面の応力勾配が急であることなどによると思われる。

4. 考察

ハット断面材継手の疲労試験結果を公称応力で整理して、さきの単純な1点スポット溶接継手試験片の疲労強度との関連を調査する。まず、荷重 $W$ をスポット点1点あたりのせん断力 $F$ に換算すると、今回の場合、モーメントの釣合い(図1参照)から、(1)式のようになる。一方、せん断力 $F$ を受け

$$W \times 585 = nF \times 48.4 \quad F = 12.1nW \quad n: \text{頂部の溶接点数} \quad (1)$$

る単純な1点継手試験片の場合、溶接端内面の公称応力 $\sigma_{na}$ は、断面平均引張応力 $\sigma_t$ と偏心曲げ応力 $\sigma_b$ の和で表せる。<sup>1), 3)</sup>ハット断

$$\sigma_{na} = \sigma_t + \sigma_b = F/(bt) + (Ft/2)/(bt^3/6) = 4F/(bt) \quad (2)$$

面材継手の場合は、継手試験片と形状が異なるので、その形状の違いを修正するために、有効幅を用いて次のように公称応力

$$\sigma_{na} = 4F/(bet) \quad (3)$$

を表す。有効幅 $be$ は、板の重なりによるoffsetの効果を含まない“平面モデル”によるFEM計算結果(図8)より求めた。以上の結果をまとめて表3に示す。(3)式から求めたハット断面材継手の公称応力～破断繰返し数線図を図9, 10に示す。部材頂部1点の場合は、継手試験片(応力比2/3の部分片振り試験結果を、 $\sigma_T = 92 \text{ kg/mm}^2$ とした耐久限度線図により両振りに換算)に比べて時間強度線の傾きが多少緩くなっているが、その差は小さい。(部材継手の方が偏心引張りによる曲げの影響が少なく、ナゲット端近傍の塑性領域が生じ易いことと関係しているかも知れない)また、耐久限はよく一致している。

頂部2点の場合は、時間強度線の傾きがよく一致している。しかし、耐久限が下方に移行した。これは、2点の場合、荷重分担が不均一になり易く、特に低荷重域でその影響が現われたのではないかと思われる。

1) 青山 藤本, 材料, 24, 326 (1975).  
 参考文献 (2) " , 材料, 22, 572 (1973).  
 (3) AOYAMA, S., FUJIMOTO, M., Proceedings of the 20th Japan Congress of Material Research (1977), 48.  
 (4) 青山 藤本, 自協会講演会前刷集, 722, 321 (1977).

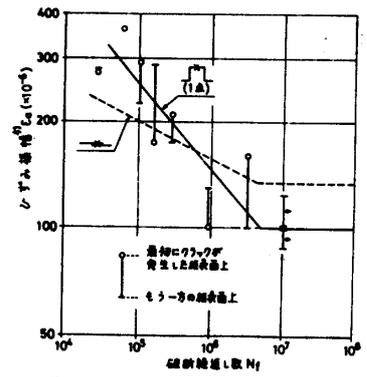


図6. ひずみ振幅～破断繰返し数

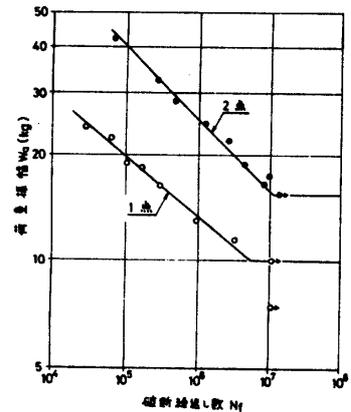


図7. 荷重振幅～破断繰返し数

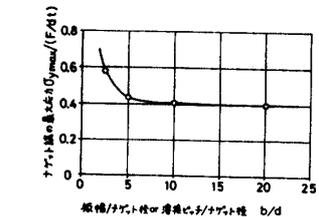


図8. FEM計算結果<sup>4)</sup>

表3. 有効幅と公称応力

継手の種類	b/d	$\sigma_{max}/F$ (MPa)	有効幅 $be$	公称応力 $\sigma_{na} = \frac{4F}{bet}$
継手試験片(標準)	$\frac{30}{6} = 5$	0.44	30 mm	$0.0833F$
ハット断面材継手(1点)	$\frac{80}{6} = 13.3$	0.41	$30 \times \frac{0.44}{0.41} = 32.2$	$0.0778F$
ハット断面材継手(2点)	$\frac{40}{6} = 6.7$	0.43	$30 \times \frac{0.44}{0.43} = 30.7$	$0.0814F$

(注) d: ナゲット径 b: 縦横の距離 t: 板厚 F: スポット点1点あたりのせん断力

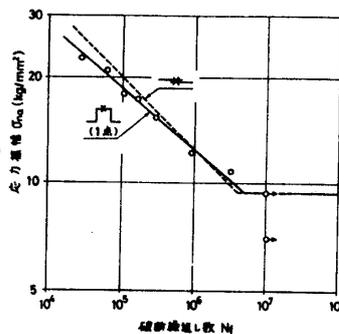


図9. 応力振幅～破断繰返し数 (ハット断面材継手(1点))

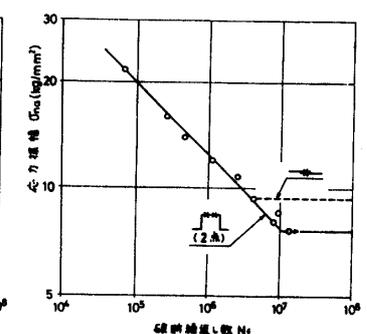


図10. 応力振幅～破断繰返し数 (ハット断面材継手(2点))