(昭和 39 年 5 月造船協会春季講演会において講演)

船体用鋼板の疲労強度について

正員 山口 勇 男* 正員 寺 田 泰 治*
正員 新 田 顕*

On the Fatigue Strength of Structural Steels for Ships

by Isao Yamaguchi, *Member*
Yasuharu Terada, *Member*
and Akira Nitta, *Member*

Summary

This paper deals with the results of the fatigue tests on four kinds of structural steels for ships, including ordinary mild steels and high strength steels. Main objective of this research is to investigate the influence of notch and welding on the fatigue strength of the steels. The following conclusions were obtained from the experimental results.

1) In the case of pulsating tension tests, the S-N curves converge approximately toward the tensile strength of steels (almost parallel to the N-axis at stresses higher than 90 per cent of the tensile strength), where no significant difference was found in the fatigue strength between notched or welded specimens and plain specimens. In general, the low cycle fatigue strength of steels is governed by their tensile strength.

2) When the maximum stress is lower than 90 per cent of the tensile strength of steel, either notched or welded specimens showed lower strength than the plain specimens. It was also found that the significant decrease of the fatigue strength in highly stress-concentrated specimens appeared in comparatively shorter life than that of less stress-concentrated specimens.

3) The fatigue strength of plain specimens is approximately proportional to the tensile strength of the material.

4) In the case of notched specimens, the fatigue strength for a large number of cycles is not proportional to the tensile strength of steels. The difference of the endurance limit between mild steels and high steels is not so pronounced as in the case of plain specimens. This tendency becomes remarkable in sharply notched specimens.

5) Except in the case of heat-treated high strength steels, no significant influence of the metallurgical change on the fatigue strength of steels was observed, and therefore it is considered that the decrease in the fatigue strength of the welded specimens is mainly caused by stress concentration i. e. geometrical effect of the weld metals. On the other hand, welded joints of a heat-treated high strength steel showed considerable decrease of the fatigue strength as influenced by both metallurgical and geometrical defects due to welding.

6) Butt-welded joints by manual welding indicated higher fatigue strength than automatically welded specimens because of the difference in the form of the reinforcement.

1 緒 言

従来、船体構造部材の強度を検討する場合、静的な破断強度あるいは座屈強度を主体と考え疲労強度について

原稿受付 昭和 38 年 12 月 18 日

* 日本海事協会技術研究所

は重点がおかれなかつた。最近、高張力鋼を船体主構造に使用する気運が高まり、その問題点として、高張力鋼の疲労強度が検討されはじめた。

疲労の問題は、主として機械関係技術者の間で検討されてきて、試験片の形状も機械部材を対象とし、試験方法も回転曲げあるいは繰返し振りなどに関するものが多く、これらの研究は、疲労限を求めることに重点がおかれていた。

一方、船体構造部材においては、前記機械部材と異なり、引張り圧縮あるいは曲げの繰返しを受ける場合が多く、また、使用時においても機械仕上げを行なうことはほとんどなく、ショットブラストをかけたままの状態あるいは溶接したままの状態で繰返し荷重をうけるので、今まで公表された試験結果をそのまま船体構造部材設計の資料にすることは困難な場合が多い。

著者等は船体構造部材の疲労強度に関する基礎的資料を得るため、軟鋼および高張力鋼の数種の鋼種について、平滑材、切欠材および溶接継手試験片の引張り疲労試験を行ない、高張力鋼と軟鋼との比較、切欠の影響および溶接継手の幾何学的形状の影響について検討した。

本論文は、これらの実験結果の概要を報告し、船体構造部材の疲労強度を推定するための基礎資料を提供しようとするものである。

2 試験片の種類および試験方法

今回試験した疲労試験の種類は、船体構造部材に使用される状態での疲労強度を調査するための“溶接試験

Fig.1 Forms and Dimensions of Welded Specimens

Table 1 Chemical Composition and Tensile Properties (Mill Sheet Data)

Steels	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Mo %	V %	Yield Point kg/mm ²	Tensile Strength kg/mm ²	Elongation GL=200mm %
SS41	—	—	—	0.013	0.024	—	—	27	46	30
SM41	0.13	0.12	1.10	0.021	0.035	—	—	30	47	33
H.T.50	0.16	0.52	1.20	0.016	0.021	—	—	35	53	28
H.T.60*	0.14	0.43	1.16	0.018	0.016	0.25	0.05	50	61	15

* H.T.60 steel has been quenched and tempered.

Table 2 Welding Conditions

Steels	Kind of Joint	Automatic Welding		Manual Weld.	Edge Preparation	Current Amp.	Voltage Volt	Travel Speed mm/min
		Core Wire	Composition	Electrode				
SS 41	Butt Joint	#43 3/16φ	G50, I2xI50		60°V Groove	700 (800)	32 (34)	450
SM 41		#43 3/16φ	G50, I2xI50				32 (34)	
H.T.50		#36 3/16φ	G80, 20xD				33 (35)	
H.T.60		#40 3/16φ	G80, 20xD				33 (35)	
SS 41	Butt Joint			D430I, 4φ	60°V Groove	160 (150)	30	300
H.T.60				D60I6, 4φ		140~150		
SM 41	Cross Joint			D430I, 4φ (D4320, 6.4φ)	45° Groove (Full Penetration)	160 (290)	30 (28)	300 (200)
H.T.60				D6026, 4φ (5φ)		150 (200)	25 (27)	230
SM 41				D4320, 6.4φ	Square Edge (Ordinary Fillet Weld)	280	28	200
H.T.60				D6026, 5φ		200	27	230

Notes: Numbers in bracket indicate the value for welding at reverse side.

片”と、溶接継手の幾何学的形状の影響を調査するため厚板から切り出して作製した“切り出し試験片”とに大別される。

“溶接試験片”は、板厚 10mm の鋼板の両面にショットブラストをかけ、Fig.1 に示す寸法に仕上げたものである。

SS 41……母材，バット継手（自動および手溶接），切欠材

SM 41……母材，バット継手（自動溶接のみ），十字継手

HT 50……母材，バット継手（自動溶接のみ）

HT 60……母材，バット継手（自動および手溶接），十字継手，切欠材

バット継手においては、溶接のままのものおよび余盛部を機械仕上げして除去したもの、十字継手においては、開先をとつてとけこみを完全にしたものおよび開先がなくとけこみのほとんどないもの、切欠材では、5mm の半円切欠のあるもの（U ノッチ）と切欠底半径 0.25mm の 60°V 切欠のあるもの（V ノッチ）とについて試験を行なった。

バット継手の余盛の大きさは、自動溶接と手溶接とではかなり異なり、自動溶接では、余盛の幅は 18~21mm 余盛部の板厚は 16.0~17.6mm、手溶接では、幅が 10~15mm 板厚は 12.0~16.5mm であった。また、十字継手においては、脚長は 10mm を標準としたが、実際の試験片の脚長は 9~11mm であった。

Fig.2 Forms and Dimensions of Solid Specimens

使用した鋼材の化学成分および機械的諸性質をミルシートより引用して Table 1 に示す。また、バット継手および十字継手の溶接条件を Table 2 に示す。

“切り出し試験片”は、Fig.2 に示すように、厚さ 40mm の板から切り出して、溶接継手の模型を作つたものである。Xグループは、開先のある場合の十字継手の幾何学的形状の影響を調査したもので、X-4 が実際の継手にもつとも近い。YおよびZグループは、バット継手の余盛の大きさの影響を調査したもので、Yグループは、余盛の幅を一定にして余盛部の板厚を種々変えたもの、Zグループは、余盛の幅と高さとの比を一定にして余盛の幅を種々変えたもので、実際のバット継手と対比すると、Y-2 および Y-3 が自動溶接の継手に相当し、Z-2 および Z-3 が手溶接の継手に相当する。なお、“切り出し試験片”に使用した鋼種は SM 41 である。

疲労試験においては、アムスラー製パルセーターと東京衡機製低繰返し装置とを次の基準で使用した。すなわち、破断までの繰返し数が約 10^4 回以下と予測される場合は低繰返し装置（繰返し速度 12~18 c. p. m）を使用し、 10^4 と 2×10^5 の間の場合はパルセーターを毎分 260 回の繰返し速度で使用し、 2×10^5 以上の繰返し数が予想される場合は、毎分 520 回の繰返し速度で使用した。

各試験片とも最低荷重 1t（公称応力 2 kg/mm^2 ）とし、1t と最大荷重の間で繰返し引張り荷重を加えた。休日を除いて終日連続運転を行ない、破断しないものは 2×10^6 の繰返し数で実験を中止した。

3 試験結果の概要

疲労試験に先立つて静的引張り試験を行ない、各試験片の破断応力を調査した。その結果を Table 3 に示す。表の値は、最高荷重を板の断面積（切欠材においては切欠部の断面積その他は平滑部の断面積）で除した値である。また、SM 41 の開先のない十字継手では、すみ肉が破断したので、上記値の他に、すみ肉部の破断応力（最大荷重をすみ肉喉部の断面積で除した値）をも併記した。上記十字継手を除いた他の十字継手試験片および余盛のあるバット継手試験片においては、不連続部では破断せず、平滑部がくびれて破断し、破断応力は母材に比して少し高い値を示している。また、切欠材においても、母材より高い値を示している。

つぎに、各試験片の S-N 曲線を Fig.3~Fig.9 に示す。Fig.3~Fig.6 は“溶接試験片”の結果を鋼種別に整理したもの、Fig.7~Fig.9 は“切り出し試験片”の結果をグループ別に整理したものである。横軸は破断までの繰返し数、縦軸は最大公称応力をそれぞれ対数目盛で示している。開先のない十字継手では、すべてすみ肉が

Table 3 Tensile Strength of Specimens (Static Test)

A) Welded Specimen (kg/mm^2)

Kinds of Specimen Kinds of Steel	Mother Metal (Plain)	Butt Joint				Cross Joint		Notched Specimen	
		Machined		As-Welded		Edge finished	Edge un-finished	U-notched	V-notched
		Auto. Weld.	Manual Weld.	Auto. Weld.	Manual Weld.				
SS 41	42.1	44.3	45.3	45.7	45.2			47.1	42.2
SM 41	44.3	47.4		46.6		44.5	42.7 (31.4)		
HT 50	53.4	53.8		54.5					
HT 60	60.6	61.4	62.5	62.9	65.3	63.7	63.3	72.8	69.5

() : Stress in Bead

B) Solid Specimen (kg/mm^2)

X- Group					Y- Group				Z- Group	
X-1	X-2	X-3	X-4	X-5	Y-2	Y-3	Y-4	Y-5	Z-2	Z-3
43.2	43.8	43.8	44.4	44.6	44.2	43.5	43.4	44.5	44.7	44.6

疲労破壊したが、他の試験片と比較のため、縦軸は平滑部の公称応力で示されている。縦軸の値に 0.7 を乗ずると、開先のない十字継手のすみ肉部の応力の概略値を得ることができる。

“溶接試験片”では、平滑材を除いて、すべて不連続部が疲労破壊し、応力の低い試験片ほど塑性変形が少く、典型的な疲労破面を呈している。一般に、バット継手や十字継手のように溶接を行なつた試験片は、母材や切欠材に比べて、実験結果のパラッキが大きかった。これは、余盛の大きさおよび形状の不揃や脚長の不揃によるものと考えられる。また、公称応力が降伏応力以上の高応力領域では、実験結果のパラッキが比較的少く、これは高応力により塑性流れを生じ、試験片の局部的な切欠（試験片の仕上りの不揃や溶接による微視的欠陥）が消されたためと考えられる。

“切り出し試験片”においては、高応力領域における試験を数多く行ない、その挙動を知ることができた。公称応力が約 40kg/mm^2 （破断応力の 90~93%）以上の高応力領域においては、S-N 曲線の傾斜は非常に小さくほとんど横軸に平行である。また、この領域においては、試験片の形状の相違による差は少く、むしろ、不連続部材の方が平滑材より少し高い疲労強度を示している。破断の様相は、静的引張り試験と同様に、不連続部からは破断しないで、平滑部からくびれを起こして破断し、不連続部にクラックを生じたものもあつたが、ここからは破断しなかつた。公称応力が約 40kg/mm^2 以下になると、S-N 曲線は折れ曲り、形状の相違による差が顕著となり、破断の様相も上記引張り型破断とは異なり、不連続部からクラックが入り、これが繰返しをうけて進展し、不連続部から破断した。Y-3 試験片の破断後の写真を Fig.10 に示す。写真は左より静的試験で破断したもの（破断応力 43kg/mm^2 ）、2 番目は 1000 回の繰返しで破断し引張り型破断のもの（応力 41kg/mm^2 ）、3 番目は 20,000 回の繰返しで不連続部が破断したが平滑部が少しくびれているもの（応力 38kg/mm^2 ）、右端は 10^6 回の繰返し数で破

Fig. 3 S-N Curves for Steel SS 41

Fig. 4 S-N Curves for Steel SM 41

Fig. 5 S-N Curves for Steel HT 50

Fig. 6 S-N Curves for Steel HT 60

Fig.7 S-N Curves for Solid Specimens (X-Group)

Fig.8 S-N Curves for Solid Specimens (Y-Group)

Fig.9 S-N Curves of Solid Specimens (Z-Group)

Fig.10 Photograph of Ruptured Specimens(Y-3)

断したもの（応力 19 kg/mm^2 ）を示す。

以上の高応力領域における挙動は一般的に云えることで、Benhamの論文⁽¹⁾にもこのような結果が示されている。また、“溶接試験片”においても同様な傾向があらわれている。すなわち、パット継手試験片および十字継手試験片（開先なし）においては、応力がさほど高くなかったため、前記のような引張り型破断はおこさなかったが、Table 3の静的破断応力値を用いてS-N曲線を描くと、Fig.3～Fig.6に示すように、 10^4 の繰返し数附近でS-N曲線は折れ曲っている。もう少し高い応力の試験を行なうと、引張り型破断をおこすものと考えられる。また切欠材においても、S-N曲線は繰返し数 $10^3 \sim 10^4$ で折れ曲っている。この折れ曲る位置は、応力集中の大きいものほど早く、たとえば、Vノッチ試験片の場合は繰返し数 2×10^3 、Uノッチ、パット継手（自動溶接）および十字継手（開先あり）の各試験片の場合は約 10^4 、平滑材の場合は繰返し数約 5×10^4 である。

4 試験結果の検討

4.1 軟鋼と高張力鋼との比較

母材の試験結果は比較的バラツキが少なく、良好な結果を示した。各鋼板の疲労限附近 (2×10^6) の強度を抗張力と比較するとTable 4のようになる。Table 4および前に示したS-N曲線からわかるように、母材の平滑試験片においては、抗張力の増加に伴い、疲労強度も比例的に増加する。

つぎに、母材と余盛部を除去したパット継手試験片とを比較するとFig.11のようになる。図において、●印は母材、○印はパット継手試験片の試験結果を示す。この両者の比較は、溶接による材質の変化が疲労強度に及ぼす影響を示すものである。パット継手は、余盛部を除去しても母材の強度より弱くなるとの実験結果⁽²⁾も発表されているが、著者等の実験においては、HT 60を除いた他の鋼種についてはこのような低下は認められず、母材と同等あるいはそれ以上の強度を示した。これらの鋼種の試験片においては、溶着部およびボンド附近で破

Table 4 Comparison between Fatigue Limit and Tensile Strength (Mother Metal)

Kinds of Steel	SS41	SM41	HT50	HT60
Fatigue Limit σ_f (kg/mm ²)	26.5	28.0	34.0	40.0
Tensile Strength σ_b (kg/mm ²)	42.1	44.3	53.4	60.6
σ_f/σ_b	0.63	0.63	0.64	0.66

Fig. 11 Comparison of Fatigue Strength between Mother Metal and Butt Joint (Machined) Specimens

欠材の疲労限で除した値)を求める算式を与えているが、この算式の中には材料の抗張力による係数があり、同じ形状の試験片でも、抗張力が大きくなると切欠係数も大きくなっている。また、Lipson 等⁽⁶⁾は機械部材の回転曲げの試験結果を基として、応力集中係数と切欠き係数との関係を Fig. 13 のように焼鈍鋼と調質鋼について2本の曲線で与えている。著者等の実験結果を Fig. 13 にプロットし、Lipson 等の与えた曲線と比較すると、かなり良好な一致を示す。このように、切欠材においては、抗張力に比例した疲労限を示さず、軟鋼と高張

断したものより、溶接部とは関係のない母材平行部で破断した試験片が多かった。HT 50 の試験結果において、 1.3×10^5 附近のバット継手試験片がかなり低い値を示しているが、この二つの試験片はボンドより破断しているため、溶接の欠陥によるものと考えられる。一方、HT 60 のバット継手試験片は、母材の約 80% まで強度が低下し、HT 50 のバット継手試験片とはほぼ同等の強度を示している。また、破断箇所も溶着部およびボンド附近に限定され、溶接部とは無関係な母材平行部で破断したものはなかった。HT 60 は調質鋼であるため、溶接の熱により、鋼材熱処理の効果が消失したのではないと思われる。なお、先般行なわれた日本造船研究協会の回転曲げ疲労試験においても、著者等の結果と同様に、SM 41・HT 50 の両鋼種は母材と同等の強度を有し、HT 60 および HT 80 の両調質鋼においては、溶接継手(余盛なし)の強度が低下することが報告されている⁽³⁾。

つぎに、切欠材の試験結果を比較すると、Fig. 12 のようになる。Uノッチ試験片においては、HT 60 が全般的に高い疲労強度を示しており、繰返し数 2×10^6 附近の強度を平滑母材と比較すると、軟鋼では約 60%、高張力鋼では約 50% の強度を示している。一方、Vノッチ試験片を比較すると、比較的応力の高い領域では、高張力鋼が高い強度を示しているが、繰返し数 2×10^6 附近では、両者ほとんど同等の強度となつている。一般に、平滑母材においては、抗張力に比例した疲労限を示すが、切欠材においては、抗張力に比例した強度を示さず、高張力鋼が比較的弱い結果を示すといわれている。たとえば、日本機械学会⁽⁴⁾においては、切欠係数(平滑材の疲労限を切

* UノッチおよびVノッチ試験片の応力集中係数は、参考文献(5)(6)の図表から求めたものである。

Fig. 12 Fatigue Strength of Notched Specimens

前節で説明したように、調質鋼を除く他の鋼種においては、溶接による材質の変化が疲労強度に及ぼす影響は認められず、溶接継手の疲労強度の低下は、その継手形状の応力集中によることが判明した。また、HT 60 の

力鋼との差が少なくなる。この傾向は切欠きが鋭いものほど大きい。

溶接継手においては、熱影響による疲労強度の低下および溶接継手形状の応力集中による疲労強度の低下の諸性質が重り合つて、HT 60 と軟鋼との疲労強度の差は少なくなっている。たとえば、Fig. 3 から明らかのように、軟鋼における余盛付バット継手（自動溶接）はUノッチ試験片とほぼ同等の強度を示しているが、HT 60 においては、Uノッチ試験片よりかなり低下し（Fig. 6 参照）、熱影響による疲労強度の低下を示している。

4.2 溶接継手の幾何学的形状の影響

Fig. 13 Relationship between the Fatigue and the Theoretical Stress-Concentration Factors

ような調質鋼においては、上記継手形状の影響と溶接熱による材質の変化の影響とが重り合つて、疲労強度がかなり低下することが明らかになった。本節においては、“切り出し試験片”の結果と実際に溶接した“溶接試験片”の結果とを比較し、溶接継手の幾何学的形状が疲労強度に及ぼす影響について検討する。

まず、バット継手の余盛の形状の影響について述べる。この影響を調査するため、“切り出し試験片”YおよびZグループの実験を行ない、その結果はすでに Fig. 8 および Fig. 9 に示した。Yグループの試験結果 Fig. 8 からわかるように、余盛の幅を一定にしてその高さを変えた場合は、余盛の高さが増すに従つて疲労強度は低下するが、ある高さ以上になるとその影響はほぼ一定になる。これは、母材と余盛との傾斜角が疲労強度に影響するもので、この角度がある程度以上になると、応力状態がほとんど同じようになるものと考えられる。また、Zグループにおいて、傾斜角を一定にして余盛の幅を変えて実験したが、Fig. 9 に示すように、余盛の幅の影響は顕著ではなかった。実際の溶接継手においては、Fig. 3 および Fig. 6 に示されるように、自動溶接のバット継手は手溶接のバット継手に比べて疲労強度がかなり低下している。自動溶接の余盛の幅は平均 20mm、余盛部の板厚は平均 17mm、手溶接の余盛の幅は平均 13mm、余盛部の板厚は平均 14mm であつて、余盛の形状を円弧と考えると、両者の傾斜角はそれぞれ 38° および 34° となり、あまり違わない。しかし、実際の継手の形状は Fig. 14 に示すように、余盛の形状は円弧とかなり異なり、自動溶接の方は余盛の中央部が円弧より扁平な形状を呈し、手溶接の方は自動溶接に比べて傾斜角がかなりゆるやかであつて、この形状の相違が疲労強度を向上さ

せた大きな要因と考えられる。“切り出し試験片”のYグループと実際に自動溶接したバット継手 (SM 41) との疲労強度を比較すると、Fig. 15 のようになる。前にも述べたように、余盛の形状を円弧と考えると、実際の自動溶接の継手は Y-2 あるいは Y-3 に近いが、余盛の中央部が扁平であるため、その傾斜角はかなり大きく、疲労強度も Y-2 および Y-3 よりむしろ Y-4 および Y-5 に近くなったものと考えられる。以上のように、余盛のある場合のバット継手の疲労強度は、余盛の形状により大きく影響され、また、余盛の形状の不揃いのため、実験結果のバラツキも大きい。

つぎに十字継手試験片の結果について検討する。十字継手の形状の影響を調査するため、“切り出し試験片”Xグループの実験を行ない、その結果はすでに Fig. 7 示した。この結果からわかるように、X-2 試験片は他の試験片に比べて非常に高い疲労強度を示している。参考文献(5)の図表から X-2 試験片の応力集中係数を求めると 1.1 であり、一方、実験結果から求めた切欠係数も同様の値を示しているので、期待どおりの強度を示したといえる。将来、深とけこみの溶接技術が発達して開先をとらないで完全なとけこみが得られ、継手の形状が X-2 試験片のようになだらかな形の溶接ができるようになれば、疲労強度は飛躍的に向上するものと思われる。X-4 および X-5 試験片は開先をとって溶接した実際の十字継手の

Fig. 14 Photograph of Butt Joint Specimens

Fig. 15 Comparison of Fatigue Strength between Welded Specimens and Solid Specimens (Butt-Joint)

Fig. 16 Comparison of Fatigue Strength between Welded Specimens and Solid Specimens (Cross-Joint)

Fig. 17 Photograph of Cross Joint Specimens

形に近いものであるが、両者の疲労強度はほとんど同じであつた。開先をとって溶接した実際の十字継手 (SM 41) と X-4 および X-5 試験片との比較を Fig. 16 に示す。実際の溶接継手の方が“切り出し試験片”の X-4 および X-5 に比べて多少強い疲労強度を示している。溶接継手の溶着部附近は、Fig. 17 の A 点のように急に折れ曲らないで少し丸味を帯びているので、このため疲労強度が少し向上したものと考えられる。

また、開先をとらない十字継手では、すべてすみ肉から疲労破壊しているので、この実験は溶着金属の疲労強度を調査したことになる。Fig. 4 および Fig. 6 のように、母材の最高応力を縦軸にプロットした場合、すみ肉

Fig. 18 Comparison of Fatigue strength between Butt Joint Specimens and Cross Joint Specimens

の脚長の大小によりその強度は異なるが、今回の試験片の脚長をおおの測定したところ、大体標準値 10mm に近かつたので、前述のような整理を行なつた。すみ肉の脚長が大きくなると、Fig. 17 の B 点の応力は A 点の応力より小さくなり、すみ肉は破断しないで、母材部 A 点附近から破断し、開先をとつた試験片と同様の結果になるはずであるが、今回の実験では、脚長を一定にして実験したので、上述の限界脚長を見出すことはできなかった。脚長を変えた場合の影響については、著者等も実験を行っているので、別の機会に報告できると思う。

開先のある十字継手と自動溶接のバット継手とは大体同等の疲労強度を示し、この両者を比較すると Fig. 18 のようになる。図からわかるように、この関係は、“切り出し試験片”や軟鋼および高張力鋼においても同じである。Fig. 13 の切欠係数と応力集中係数との関係から、これらバット継手（自動溶接）および十字継手（開先あり）の応力集中係数を推定すると、約 3.0 の値となる。同様に、手溶接のバット継手の応力集中係数は約 2.0 と推定される。

5 結 言

以上実験結果の概略について説明した。今回行なつた実験はかなり広範囲にわたるものであるが、個々の試験においては試験片の数が少なく、そのため、定量的な結論を導くことは困難な場合もあるが、4種の鋼種の片振れ引張り疲労試験結果より次の結論を得た。

- 1) 片振れ引張り疲労試験においては、最大応力が抗張力の約 90% 以上の高応力領域の S-N 曲線は、傾斜が非常にゆるやかである。この領域においては、切欠材や溶接継手などの応力集中部材でも平滑材と同等あるいは同等以上の強さを示し、抗張力が強度の主因となつている。また、溶接継手試験片は静的引張り試験と同様な引張り型破断を示す。
- 2) 最大応力が抗張力の約 90% 以下になると、S-N 曲線は折れ曲り、切欠材および溶接継手などの不連続部材は平滑材に比べて疲労強度が低下し、破断の様相も疲労型破断となる。この折れ曲る点は、応力集中の大きいものほど早く、V ノッチ試験片では 10^3 、U ノッチ試験片および溶接継手試験片では 10^4 、平滑材では 5×10^4 程度の繰返し数である。
- 3) 平滑母材においては S-N 曲線的全領域で抗張力に比例した強度を示す。
- 4) 切欠材の低応力領域では、母材の抗張力に比例した強度を示さず、軟鋼と高張力鋼との差が少なくなる。この傾向は切欠の鋭い場合ほど顕著である。
- 5) 調質鋼を除いた他の鋼種においては、溶接熱による材質の変化が疲労強度に及ぼす影響は認められない。ゆえに、調質鋼以外の鋼種の溶接継手の疲労強度の低下は、溶接継手の幾何学的形状による影響が主因と考えられる。調質鋼の溶接継手は溶接熱による材質の変化および継手の形状の影響が重なり合つて、かなり強度が低下する。
- 6) 余盛付バット継手においては、自動溶接のものより手溶接のものの方が一般に強い疲労強度を示す。これは余盛の形状によるものと考えられる。

著者等の実験結果から上述の基礎的結論を得た。船体構造部材の疲労強度を推定するには、多くの基礎的実験と同時に、実物に近い模型（たとえば肘板や桁など）での疲労試験を行なう必要があり、これらの実物試験について、軟鋼および高張力鋼の諸性質をさらに詳細に究明する必要がある。

高張力鋼を船体に使用する場合は、軟鋼で建造された船に比べて、使用応力がかかなり高くなることが予想されるので、不連続部附近の設計工作には細心の注意が必要であろう。

本実験に際し、試験片の製作などに協力された日本鋼管株式会社関係各位に感謝の意を表します。また、本実験は、約2年間昼夜の別なく連続運転して行ない、この間、日本海事協会技術研究所全員の協力を得て完成したもので、ここに、志波所長はじめ職員各位に感謝の辞を述べます。

参 考 文 献

- 1) P.P.Benham: "Fatigue of Metals Caused by a Relatively Few Cycle of High Load or Strain Amplitude" Metallurgical Reviews Vol.3 No.11 (1958)
 - 2) たとえば、造船協会電気溶接研究委員会“溶接継手の疲労強度”造船協会誌 No.293 (1951) に引用されている外国の実験例
 - 3) 日本造船研究協会: “昭和 37 年度実施研究成果概要” 日本造船研究協会 (1963)
 - 4) 日本機械学会編: “金属材料疲れ強さの設計資料” 日本機械学会 (1961)
 - 5) C.Lipson, G.C.Noll, L.S.Clock: “Stress and Strength of Manufactured Parts” McGraw-Hill (1950)
 - 6) R.E.Peterson: “Stress Concentration Design Factors” John Wiley & Sons. (1953)
-