

## 論文

太径チェーンの大気および海水中における  
疲労強度の推定鈴木信一\*・征矢勇夫\*<sup>2</sup>・横田彦二郎\*・関口 進\*Estimation of Fatigue Strength of Large Diameter Chain in Air and  
Sea-water

Nobukazu SUZUKI, Isao SOYA, Hikojiro YOKOTA and Susumu SEKIGUCHI

## Synopsis :

It takes long time for fatigue test on an actual chain and the test is very difficult for large chains such as 100 mm over in diameter. This paper describes the relationship between the fatigue strength of an actual chain and those of the specimens cut out of the chain.

The fatigue failure of a chain often occurs at the toe of stud-weld or at the corner of indentation produced by the stud other than the bend part of the link. In these cases, the fatigue strength of the chains was lower than that of the chains failed at the bend part. Moreover, it was found that the fatigue strength of the chain even failed at the bend part in air was lower than that estimated from the result of small specimens, because of the effects of decarburizing and roughness of the chain surface.

In the artificial sea water, the fatigue strength of chains was rather close to that estimated from the results of small specimens. It is considered that this is due to the fact that the condition of the surface of chains and specimens becomes similar for the two cases by corrosion. Consequently, it is concluded that the result of small specimens may be applied to estimate the fatigue strength of chains in the sea-water.

**Key words :** chain ; fatigue ; corrosion ; low alloy steel ; welding.

## 1. 緒 言

太径のチェーンは、現在船舶や海底油田掘削用リグの係留に多く使用されている。今後、海洋における石油生産施設、波力発電施設、洋上空間利用のための大型浮体構造物等の係留に太径チェーンが使用されるようになるであろう。その場合、船舶のように一時的な係留ではなく、もつと長時間の係留になり、太径チェーンの疲労寿命が従来以上に重要になってくる。

チェーンの疲労データは、幾つか報告されている<sup>1)~7)</sup>。しかし、これらのデータは、チェーン径が40 mmφ程度のもものが多く、太い場合でも70 mmφである。現在、海底油田掘削用リグの係留に76 mmφのチェーンが多く使用されているが、これらのリグも大型化の方向にあり、係留チェーンも太径のものが必要になる。しかも長期係留用チェーンでは、100 mmφを超えるチェーンが必要になってくるであろう。しかし、100 mmφを超える太

径チェーンの疲労データはまだない。また、そのようなデータを要求しても、非常に能力の大きな試験機を必要とし、十分なデータを得ることは困難である。

このような背景から、太径チェーンの疲労強度をチェーンリンクから切り出した試験片の疲労強度から推定する方法が望まれる。しかし、すでに報告されている文献等のチェーンの疲労データを収集し、検討した報告<sup>6)</sup>によると、データのばらつきがかなり大きい。また、それらの疲労試験におけるチェーンリンクの破断位置が一定していない<sup>6)</sup>。これが、多くの疲労データを収集した場合に、ばらつきを大きくする原因の一つと考えられる。すなわち、この破断位置の違いはチェーンに引張荷重が負荷されたとき、チェーンリンク内に生じる最大応力の発生箇所およびその大きさが一定していないことを意味しており、スタッドの当たり具合などチェーンの製造条件に起因していることが考えられる。したがって、太径チェーンの疲労強度をチェーンリンクから切り出し

昭和61年6月6日受付 (Received June 6, 1986)

\* 新日本製鉄(株)厚板・条鋼研究センター (Plate, Bar, Shape & Wire Rod Research Lab., Nippon Steel Corp., 5-10-1 Fuchinobe Sagamihara 229)

\*<sup>2</sup> 新日本製鉄(株)厚板・条鋼研究センター 工博(Plate, Bar, Shape & Wire Rod Research Lab., Nippon Steel Corp.)

た試験片の疲労強度から推定するためには、これらチェーンの応力状態と疲労強度におよぼす影響因子を明らかにしなければならない。

本研究では、チェーンリンクから切り出した試験片の疲労強度を求めるとともに、チェーンの疲労強度におよぼす耐力試験荷重負荷、スタッドの有無およびスタッド溶接法の影響を調べた。そして、チェーン材とチェーンとの疲労強度の相関性を検討し、太径チェーンの疲労強度を推定する場合の問題点について考察した。

## 2. 供試材および実験方法

供試チェーンは、JIS F 3303 に規定されているスタッド付きの 34 と 76 mmφ の 3 種 (G. 3) および 32 と 76 mmφ の 4 種 (G. 4: 仮称) で、これらチェーン素材の化学成分を Table 1 に示す。また、これらチェーンの種別、公称径別の熱処理条件および各チェーンリンクから切り出した JIS 14 号試験片による引張性質を Table 2 に示す。

G. 3 および G. 4 チェーン材の大气中、ASTM 規定の人工海水中における疲労強度を求めするために、G. 3-34 mmφ、G. 4-32 mmφ の各チェーンリンクの母材と溶接部から Fig. 1 に示す形状の疲労試験片を切り出し、疲労試験を行った。試験片は、平滑丸棒と先端半径を 3 通りに変えた円周切欠付丸棒であり、それらの応力集中係数  $K_t$  は 1~8.4 の範囲にある。繰返し速度は大气中の場合 1800 cpm, 人工海水中の場合 10 cpm とし、いずれの場合も下限応力は 0.6 kgf/mm<sup>2</sup> で、ほぼ完全片振り引張りの条件とした。

Table 1. Chemical compositions of steel bars for chains.

Grade	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Al
G. 3	0.31	0.25	1.82	0.025	0.020	—	—	—	0.033
G. 4*	0.21	0.26	1.56	0.021	0.005	0.75	0.99	0.45	0.035

\* "G. 4": Grade 4, is a tentative name of chains with the tensile strength over 100 kgf/mm<sup>2</sup>

Table 2. Mechanical properties of various chains.

Grade	Diameter (mm)	Heat treatment	Location	Tensile strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	Yield strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	Elongation (G. L.=70 mm) (%)	Reduction of area (%)
G. 3	34	900°C W. Q. 560°C T.	Base Weld	73.0	52.6	25.4	69.4
				71.2	50.4	17.0	58.2
G. 3	76	920°C A. C.	Base Weld	72.6	41.3	23.5	60.3
				71.1	40.8	16.5	57.3
G. 4	32	950°C W. Q. 580°C T.	Base Weld	103.9	98.6	19.8	64.5
				103.0	95.5	15.6	55.5
G. 4	76	1000°C W. Q. 600°C T.	Base Weld	105.3	97.2	18.2	63.5
				105.2	97.7	12.4	53.3

疲労試験に供したチェーンの種類と試験条件を Table 3 に示す。なお、下限応力はいずれの場合も 2 kgf/mm<sup>2</sup> とした。これらのチェーンは通常の工程で製造されたもので、耐力試験荷重を負荷したものを疲労試験に供した。一部、耐力試験荷重負荷の影響をみるために、耐力試験荷重を負荷しないものも試験した。各チェーンの耐力試験荷重は G. 3-34, 76 mmφ チェーンがそれぞれ 66.8, 307 tf で、G. 4-32, 76 mmφ チェーンがそれぞれ 84.9, 438 tf である。一般に、スタッドの溶接法は、Fig. 2 に示す 3 通りがある。これら溶接法の影響をみるために、G. 4-32 mmφ チェーンを用いて、この溶接法を変えた試験をした。さらに、この溶接をしないものおよびスタッドを取り除いたチェーンについても試験した。

チェーンの疲労試験は 3 リンクのチェーンを用い、両

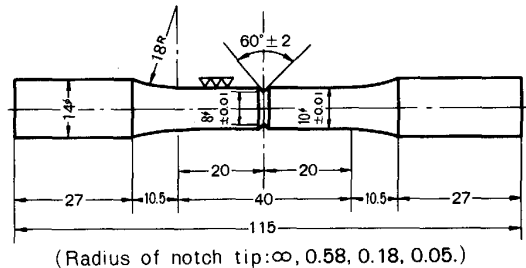


Fig. 1. Size of round bar specimen for fatigue test.

Table 3. Diameter and thermal history of chains used in fatigue test and test conditions.

Grade	Diameter	Heat treatment	Fatigue test condition	
			Environment	Frequency
G. 3	34 mm	900°C W. Q. 560°C T.	In air	500 cpm
			In synthetic sea water	300 cpm 10 cpm
	76 mm	920°C A. C.	In Air	500 cpm
G. 4	32 mm	950°C W. Q. 580°C T.	In air	500 cpm

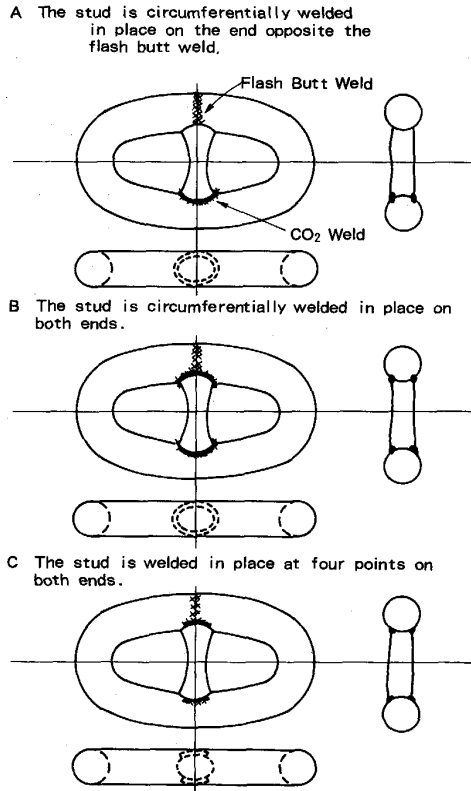


Fig. 2. Types of stud welding.

端のリンクを試験機にピンで連結して行つた。人工海水中の試験は中央のリンクが人工海水に漬かるようにセルを設け、そのセル内を人工海水が循環するようにして行つた。使用した試験機は、細径チェーンが100tのローゼンハウゼン型で、太径チェーンが200tの電気油圧サーボ型である。

### 3. 実験結果

#### 3.1 チェーン材の疲労強度

Fig. 3 および Fig. 4 は、それぞれ G. 3 および G. 4 チェーンの母材およびフラッシュ溶接部の大気中の S-N 曲線を示す。G. 3 の母材の平滑試験片による疲労限界は、 $50 \text{ kgf/mm}^2$  で、G. 4 のそれは  $76 \text{ kgf/mm}^2$  である。切欠試験片において、応力集中係数  $K_t$  が大きくなるほど、いずれの場合も疲労限界は低下している。溶接部の疲労破壊はすべて溶接部で起こっており、その疲労限界は、平滑試験片において母材より若干低下しているが、切欠試験片では母材とほとんど差がない。

Fig. 5 および Fig. 6 は、それぞれ G. 3 および G. 4 チェーンの母材およびフラッシュ溶接部の人工海水中の S-N 曲線を示す。人工海水中には、 $10^6$  回を超えても疲労限界が認められないので、 $10^6$  回における疲労強度のみみると、母材の平滑試験片は G. 3, G. 4 とともに  $24$

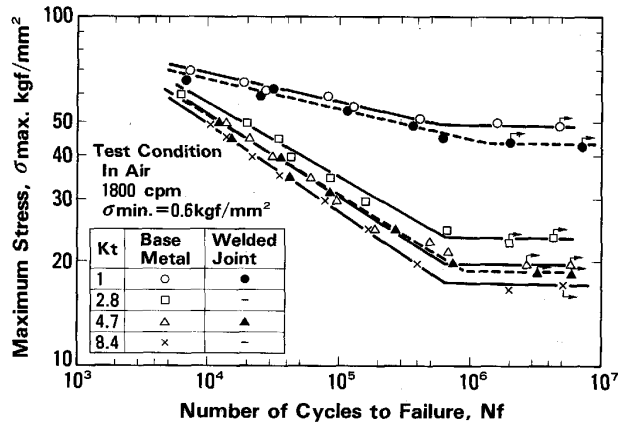


Fig. 3. S-N diagrams. Round bar specimens cut out of G.3 chain.

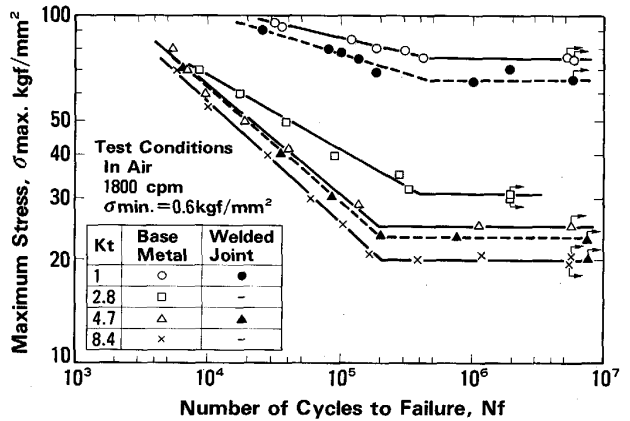


Fig. 4. S-N diagrams. Round bar specimens cut out of G.4 chain.

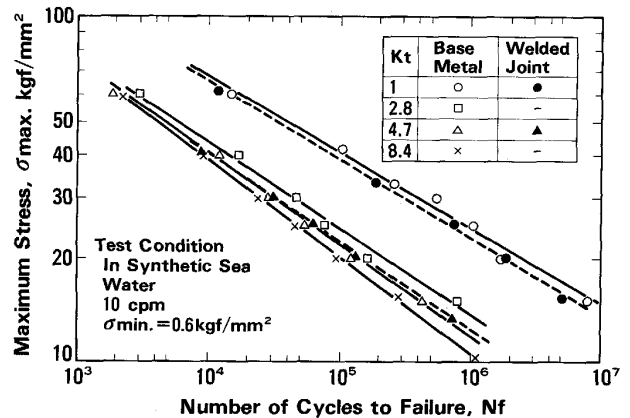


Fig. 5. S-N diagrams of corrosion fatigue tests. Round bar specimens cut out of G.3 chain.

$\text{kgf/mm}^2$  である。大気中の疲労限界は、引張強さに依存しているが、人工海水中の  $10^6$  回疲労強度は引張強さに依存しない。これは鋼において一般による見られる現象である<sup>8)</sup>。切欠係数 (Fatigue notch factor)  $\beta$  と  $K_t$  と

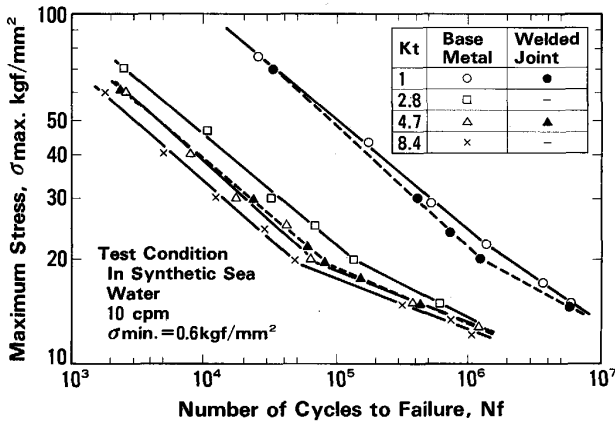


Fig. 6. S-N diagrams of corrosion fatigue tests. Round bar specimens cut out of G.4 chain.

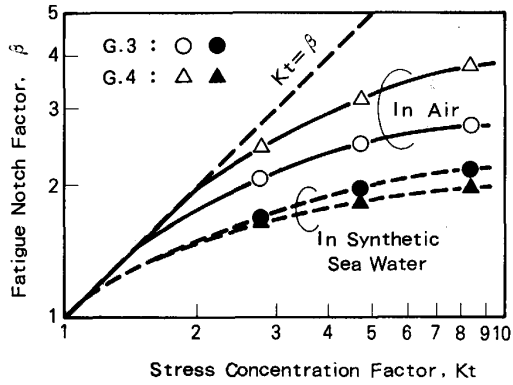


Fig. 7. Relationship between stress concentration factor and fatigue notch factor.

の関係を Fig. 7 に示す。ただし、 $\beta$ は

$$\beta = \frac{\text{平滑試験片による } 10^6 \text{ 回における疲労強度}}{\text{切欠試験片による } 10^6 \text{ 回における疲労強度}}$$

である。

Fig. 7 から切欠きによる疲労強度の低下の割合は、両環境下において  $Kt$  の増加とともに減少することがわかる。これは、 $Kt$  が約 2 以上になると、疲労試験荷重において、切欠先端で塑性変形が生じ、切欠効果が緩和されることを意味している。G. 3 の母材は、強度が低いので、G. 4 より小さい  $Kt$  で  $Kt=\beta$  の破線からずれてくる。

一方、人工海水中疲労強度におよぼす  $Kt$  の影響は、大気中疲労強度におよぼす  $Kt$  の影響より小さい。その影響の大きさは両鋼種間でほとんど差がない。

### 3.2 チェーンの疲労強度

Fig. 8 は、タイプ C のスタッド溶接をした G. 3 チェーンの S-N 曲線におよぼすチェーン径、耐力試験荷重およびスタッド有無の影響を示す。76 mmφ

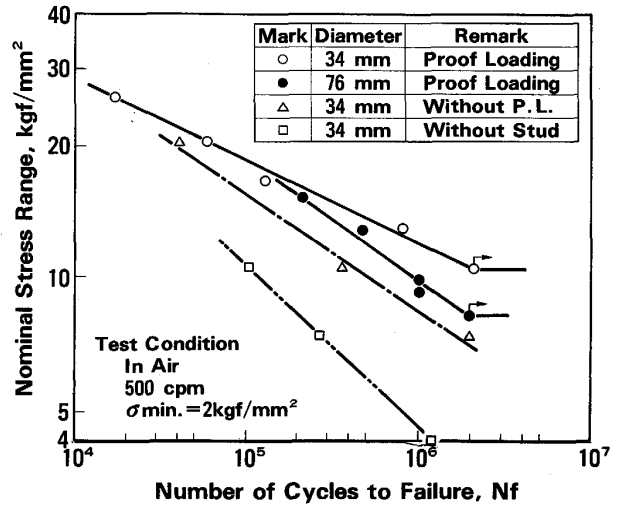


Fig. 8. Effects of chain diameter, proof loading and stud on S-N diagrams of G.3 chain (stud welding: C type).

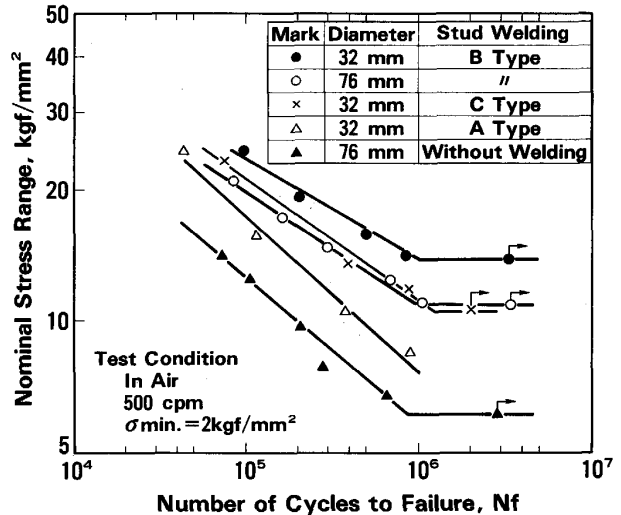


Fig. 9. S-N diagrams of G.4 chains with different types of stud welding. These chains are with proof loading.

チェーンの疲労限は  $8 \text{ kgf/mm}^2$  で、34 mmφチェーンの  $11 \text{ kgf/mm}^2$  より、約  $3 \text{ kgf/mm}^2$  低い。また、通常行われている耐力試験荷重を負荷しなかつた 34 mmφチェーンの疲労限は  $7 \text{ kgf/mm}^2$  で、耐力試験荷重を負荷したチェーンの疲労限より、約  $4 \text{ kgf/mm}^2$  低い。さらに、スタッドのないチェーンの場合、 $10^6$  回における疲労強度で比較すると、それはスタッドの正常なチェーンの約 1/3 になる。

Fig. 9 は、G. 4 チェーンにおいて、スタッドの溶接法およびチェーン径が S-N 曲線におよぼす影響を示したものである。スタッドの溶接法は、タイプ B がもつと

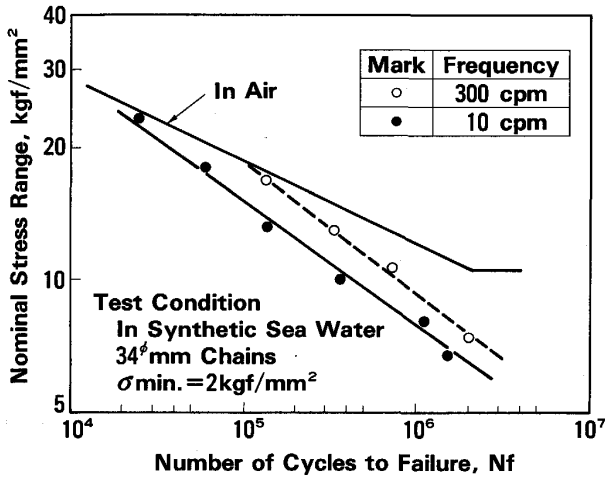


Fig. 10. Comparison between S-N diagram of G.3 chain in air and that in synthetic sea water. These chains are with proof loading.

も良く、タイプAは悪い。タイプCは両者の中間である。溶接しない場合は、タイプAより、さらに低い疲労限を示す。一方、チェーン径の影響はG.3チェーンの場合と同様、32mmφと76mmφとでは疲労限に約3kgf/mm<sup>2</sup>差がある。

Fig. 10は、タイプCの溶接をしたG.3チェーンの人工海水中における疲労試験の結果を示す。10<sup>6</sup>回における疲労強度をみると、繰返し速度が300cpmのとき、約9kgf/mm<sup>2</sup>であるのに対し、10cpmでは約8kgf/mm<sup>2</sup>で、繰返し速度が遅くなると疲労強度は低下する。この値は、大気中の500cpmの10<sup>6</sup>回における疲労強度に比べると約4kgf/mm<sup>2</sup>低い。

#### 4. 考 察

以上の実験結果から、チェーンの大気中疲労強度は耐力試験荷重負荷およびスタッドの溶接法の影響の大きいことがわかった。特にスタッドの無い場合、疲労強度の低下が著しい。

チェーン製造工程において、スタッドは棒鋼を熱間曲げ加工し、フラッシュ溶接した後、まだ赤熱状態のときにリンク中央に挿入し、リンクを両側から押し縮めて固定される。しかし、チェーンはその後に熱処理をするので、そのときにスタッドが緩み、そのままでは使用中に脱落してしまう。それを防止するために、通常スタッドとリンクとをFig. 2に示した三つのタイプの溶接法で溶接している。しかし、この溶接をしてはならないと規定されたチェーン<sup>9)</sup>もある。この溶接の有無および方法によつてチェーンの疲労強度が異なることはFig. 9に示した。その原因を明らかにするために、疲労試験した

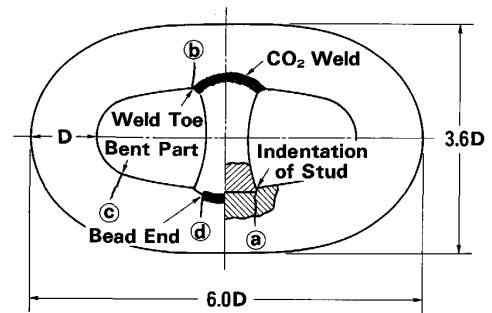


Fig. 11. Locations of fatigue failure.

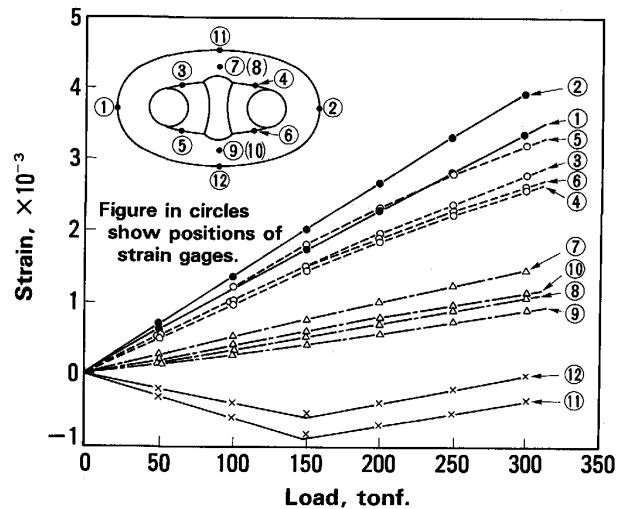


Fig. 12. Static load vs. local strain curves in 96mmφ chain-link.

チェーンリンクの破断位置を調べた。

その結果はFig. 11に示すa~dの位置に限られた。特に、低試験荷重域において、スタッドの溶接法と破断位置との間に特定の関係がみられた。すなわち、スタッドを溶接しない場合およびタイプAの溶接をした場合の破断位置はほとんどがaであった。タイプBの溶接の場合はcがほとんどである。タイプCの溶接の場合はcが多いが、dもaもある。これらは、チェーンに引張荷重を負荷したとき、チェーンリンク内の最大引張応力の発生位置がスタッドの溶接法によつて異なるためと考えられる。

そこで、タイプAのスタッド溶接をしたチェーンについて、引張荷重が負荷されたときのチェーンリンク内の歪み分布を測定した。ここではストレインゲージの貼付が容易なように95mmφの大きなG.4チェーンを用いた。この測定は、このチェーンの耐力試験荷重に相当する657tfを負荷した後でストレインゲージを貼り、350tfまでの載荷と除荷を測定値が安定するまで繰り返し

行った。

Fig. 12 にストレインゲージの貼付位置および荷重と各ゲージで測定した歪みとの関係を示す。チェーンリンクの頂点に位置する②および①の歪みがつとも大きく、ついで“バンド部”といわれている位置の⑤, ③, ⑥, ④が高く, ⑦, ⑩, ⑧, ⑨は, 公称歪み (300 tf で  $10^{-3}$ ) にほぼ等しい。そして, バンド部の歪みは公称歪みの約 3 倍(以下, この比の最大値をチェーンの形状係数  $K$  という) の値を示している。この  $K$  は, 過去の測定値<sup>10)</sup> あるいは理論計算値<sup>2)</sup> によると, 3.5~3.8 である。この理論計算値と Fig. 12 の結果との相違は, バンド部のゲージの貼付位置が最大値を示す位置からずれていることに原因するものと考えられる。⑫および⑪は, 圧縮歪みである。特に, 150 tf までは, 明らかにリンクの幅が縮むように変形していることがわかる。これは, スタッドとリンクの間にすきまがあつて, 引張荷重が 150 tf までスタッドが機能しなかつたためである。引張荷重 150 tf 以上では, スタッドが機能し, ⑫, ⑪の歪みに変化がみられる。さらに, スタッドの機能を確認するために, スタッドを中央で切断して, 同様の測定をした。その結果を Fig. 13 に示す。この場合, ⑫および⑪の圧縮歪みは 300 tf までも直線的に増加し, 引張歪みは⑬の位置がつとも大きい。そして, バンド部の歪みも全体に大きくなつている。

スタッドが機能しなければ, Fig. 13 でわかるように, リンク内側の中央に大きな曲げ応力が生じる。しかも, ほとんどの場合リンク内側には, Fig. 11 に示したス

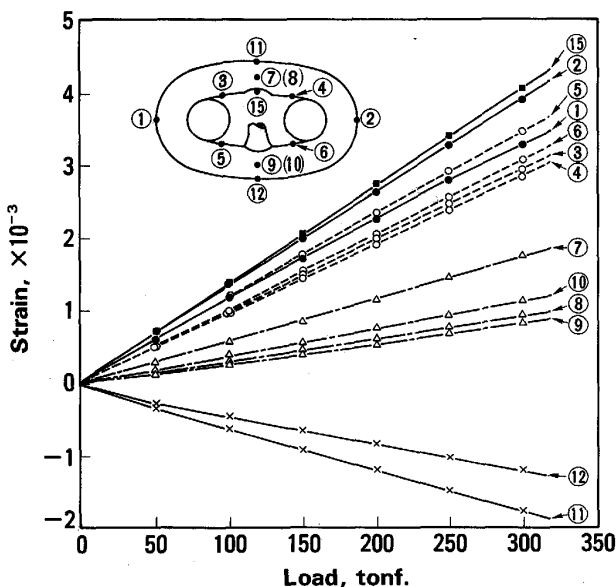


Fig. 13. Static load vs. local strain curves in 96 mmφ chain-link cut off stud.

タッドを挿入したときの凹みがあり, その凹み周辺の段差のところに大きな応力集中が生じる<sup>11)</sup>。チェーンの  $10^6$  回近傍の疲労荷重は引張破断荷重の 10~20% であり, この程度の疲労荷重ではスタッドとリンクとのすきまがわずかなものであつてもスタッドが機能せず, 上記のような応力集中が起こる。スタッドの溶接をしない場合やタイプ A の溶接の場合にこのような現象が生じ, その結果, Fig. 11 に示した②で疲労破断が起こる。

タイプ C の溶接の場合, 一応スタッドの両端がリンクに溶接されているが, その溶接は部分溶接であり, のど厚も十分でないため, 溶着金属によるリンクの変形拘束力が弱く, ②で破断することがあり, また, 溶接ビードの始端部あるいは終端部の形状が悪い場合は④で破断することもある。タイプ B の溶接の場合は, ③で多く破断するが, 溶接トウ⑥で破断することもある。溶接トウを起点とする疲労破壊は鋼構造物の隅肉溶接部にも見られ<sup>12)</sup>, 丁寧な溶接あるいは適切な止端処理をすれば, これは著しく減少する。

Fig. 8 において, あらかじめ耐力試験荷重を負荷しておくこと, チェーンの疲労強度が高くなることを示した。この理由として, チェーンを耐力試験荷重まで引張ると, リンクが塑性変形してスタッドの機能が向上することあるいはバンド部が部分的に塑性変形して荷重を除荷したときに, そこに圧縮残留応力の生じることが考えられる。

以上述べてきたように, スタッドが十分に機能しているチェーンリンクの疲労破断位置は, 本来③であつて, このようなチェーンの疲労強度がつとも高い値を示す。以下, ③で破断するように造られたチェーンの疲労強度の推定について考察する。

チェーン材の疲労強度とチェーンの疲労強度との関係を見るために, あらかじめ耐力試験荷重を負荷し, かつバンド部③で疲労破断したときのデータをもとに, チェーンの  $10^6$  回における疲労強度を求め, それに対

Table 4. Comparison of fatigue strength of chains with that of specimens cut out of chains.

Grade	Diameter	Environment	Fatigue strength at $10^6$		
			Specimen*, S	Chain, C	S/C
G. 3	34 mm	Air	50 kgf/mm <sup>2</sup>	12 kgf/mm <sup>2</sup>	4.2
		Synthetic sea water	24 kgf/mm <sup>2</sup>	8 kgf/mm <sup>2</sup>	3.0
	76 mm	Air	—	10 kgf/mm <sup>2</sup>	—
G. 4	32 mm	Air	76 kgf/mm <sup>2</sup>	14 kgf/mm <sup>2</sup>	5.4
		Synthetic sea water	24 kgf/mm <sup>2</sup>	—	—
	76 mm	Air	—	11 kgf/mm <sup>2</sup>	—

\* Specimens without notch

応するチェーン材の平滑試験片の疲労強度と比較し、Table 4 に示す。ただし、大気中の疲労試験における繰返し速度はチェーンと平滑試験片とで異なっているが、この影響は無視できると考えた。また、ここで平滑試験片の疲労強度を比較の対象にしたのは、チェーンのバンド部から疲労クラックが発生するとき、その部分の応力勾配は切欠試験片より平滑試験片のそれに近いからである。

チェーン材の  $10^6$  回における疲労強度  $S$  とチェーンの  $10^6$  回における疲労強度  $C$  との比  $S/C$  は、大気中の場合、4.2 と 5.4 に対し、人工海水中の場合、3.0 である。理論的なチェーンの疲労強度は、リンク内の最大引張応力および応力勾配によつて決まる。チェーンにある大きさの試験荷重を負荷したときの公称応力を  $C_m$  とすると、リンク内の最大応力は  $K C_m$  となる。一方、このチェーン材は応力  $S$  で疲労破壊するので、応力勾配の影響を無視すれば、チェーンは  $C_m = S/K$  で疲労破壊すると考えられる。しかし、チェーンは公称応力  $C$  で疲労破壊し、実際には  $C \neq C_m$  である。すなわち、 $K$  と  $S/C$  の関係は Fig. 7 における  $Kt$  と  $\beta$  の関係と同等である。 $K$  は 3.5~3.8 であるから、大気中および人工海水中の  $S/C$  とも Fig. 7 から予想される値より大きい。これは応力集中および環境の影響を考察しても、なお  $C$  が理論値より小さいことを意味している。

ここで応力勾配の影響を考察する。一般に、最大引張応力が同じであつて、応力勾配に差のあるとき、勾配の小さいほど、疲労強度は低くなると言われている<sup>13)</sup>。本実験においても、34 と 76 mm $\phi$ -G. 3 および 32 と 76 mm $\phi$ -G. 4 チェーンの径による疲労強度の差は、それぞれ 2 と 3 kgf/mm<sup>2</sup> で、いずれも 76 mm $\phi$  チェーンの方が低い。これはいわゆる寸法効果によるものであつて、その原因は応力勾配の差にあると考えられる。76 mm $\phi$  チェーンに比較して、疲労強度が高い 34 および 32 mm $\phi$  チェーンにおいてさえ、大気中の  $S/C$  は  $K$  より大きな値になつている。このように応力勾配の影響を考慮しても、 $C$  が理論値より小さい原因は説明できない。

この原因として、 $S$  と  $C$  を求めた試験片の表面状態の差が考えられる。すなわち、チェーンは表面の脱炭あるいは表面の細かい凹凸による疲労強度の低下が考えられる。試験したチェーンの表面脱炭の程度を調べるために、表面近傍の硬さ分布を測定した。その結果を Fig. 14 に示す。いずれのチェーンも脱炭による表面層の硬さの低下が認められる。また、チェーンの表面肌は、熱処理後、酸化スケールを取るための軽いショットプラス

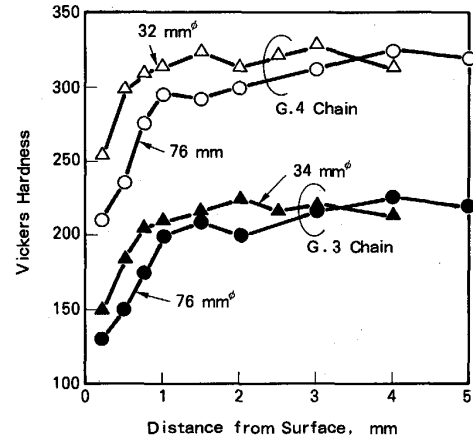


Fig. 14. Hardness distribution near the surface of various chains.

トをしたままのものであるから、表面には細かい凹凸がある。これらのために  $C$  が理論値より小さく、大気中の  $S/C$  が  $K$  より大きな値となつたものと考えられる。

一方、人工海水中の場合は、 $S/C$  が 3 で、 $K$  より小さい。これは、Table 4 に示した G. 3-34 mm $\phi$  チェーンにおける大気中疲労強度に対する人工海水中疲労強度の度合いが試験片で約 1/2、チェーンで 1/3 と両者で異なるためである。この理由として、切出し平滑試験片は腐食によつて疲労強度が著しく低下するのに対し、チェーンはもともと表面状態が悪く、腐食による疲労強度の新たな低下の小さいことが考えられる。

もし、両者が長期間海水中に置かれ、それらの表面状態が同じになるとすれば、両者の疲労強度は単に応力条件で関係づけることができる。すなわち、 $K$  が 3~4 のチェーンでは、海水中の  $S/C$  はこの  $K$  に近い値となるが、 $K$  を超えることはない。したがつて、海水中における太径チェーンの  $10^6$  回の疲労強度  $C$  は、切出し平滑試験片の 10 cpm における同繰返し数の人工海水中疲労強度  $S$  から、次式により安全側の推定ができると考えられる。

$$C = S/K$$

この推定式の精度についてはさらに実験が必要であるが、疲労試験の困難な太径チェーンの海水中疲労強度はこの式で一応推定できるであろう。

## 5. 結 言

実物では容易に試験できないような太径チェーンの疲労強度をチェーン材の疲労強度から推定することの可能性を検討するために、チェーンから切り出した試験片の疲労強度とチェーンの疲労強度との関係を調べた。得られた結果の要点は次のとおりである。

1) 大気中疲労強度に対する人工海水中疲労強度の低下の度合いは、G. 3 チェーン材より G. 4 チェーン材の方が大きく、人工海水中疲労強度は両者同じである。

2) チェーン材の疲労強度におよぼす切欠きの影響は大気中より人工海水中の方が小さい。

3) チェーンは製造条件、特にスタッドの溶接方法によつて疲労破断位置が異なり、疲労強度も変わる。

4) スタッドの両端を全周溶接したチェーンは、理論的に最大応力の生じる“バンド部”で疲労破断し、その他の位置で破断するものより高い疲労強度を示す。

5) チェーンの疲労強度を切出し試験片の疲労強度から推定する場合、チェーンの製造条件を考慮しなければならない。

6) チェーンの疲労強度は、大気中の場合、切出し試験片の疲労強度から力学的に推定される強度より低く、人工海水中の場合は反対に高い値になる。

本研究を進めるにあつて、浜中製鎖工業(株)浜中社長、新田取締役、福島課長に御協力いただいたことに感

謝いたします。

## 文 献

- 1) G. de LAVAL: OTC paper No. 1503 (1971)
- 2) I. CELANDER: OTC paper No. 1578 (1972)
- 3) 川面武雄, 岡田昭寿, 林 久男, 田中義久: 船舶技術研究所発表講演集 (1975), p. 194
- 4) 関口 進, 石井伸幸, 高島弘教, 鈴木進一, 横川孝男: 鉄と鋼, **63** (1977), S307
- 5) L. C. van HELVOIRT: OTC paper No. 4179 (1982)
- 6) 第 179 研究部会報告書 (日本造船研究協会編) (1982), p. 253
- 7) 第 187 研究部会報告書 (日本造船研究協会編) (1983), p. 182
- 8) 石黒隆義, 轟 理一, 関口 進: 鉄と鋼, **65** (1979), A197
- 9) Det Norske Veritas, Mobile Offshore Units, Part 3 Chapter 2 Section 5 (1985)
- 10) 係留研究委員会資料 MA-5=1 (日本海事協会編) (1981)
- 11) 鈴木信一, 征矢勇夫: 鉄と鋼, **73** (1987), p. 2275
- 12) 高島弘教: 第 84・85 回西山記念技術講座 (日本鉄鋼協会編) (1982), p. 137
- 13) 西田正孝: 応力集中 (1967), p. 72 [森北出版]