

高張力鋼の繰返しひずみ特性

奥 村 敏 恵^{*}
堀 川 浩 甫^{**}
斎 藤 達 郎^{***}

1. はじめに

最近、構造物の大型化に伴ないその軽量化が要求されている。これに従い使用鋼材も従来の S S 材、S M 材よりも強度の高い高張力鋼の採用が増加している。

これら高張力鋼は引張強度が高いばかりでなく、いわゆる降伏比も大きいので降伏点を基準として設計応力を考える慣用設計法のもとでは、大変有利な構造材料として、長大橋などにさかんに使用される傾向にある。

しかし構造物の安全性は降伏点の大きさだけによって決まるものではなく、構造物の終局状態を考えたとき伸び能力の問題、ひずみエネルギーの吸収能力の問題など、降伏点を越えた後のひずみ特性も問題とされなければならない。

これと密接な関係にあると考えられる疲労について考えてみると、高張力鋼の疲労強度は引張強度や降伏点が上昇している割合にくらべると、決して向上していないことが指摘されており、溶接等により応力に攪乱がある場合には、軟鋼より疲労強度が劣る場合もあって、高張力鋼の利用上の大きな問題の一つとなっている。

橋梁用鋼材として近年繁用されている 60 キロ級高張力鋼においても、その構造部材としての疲労特性が知悉されているとは云い難く、そのため現状ではその使用がかなり制限されており、これら高張力鋼の疲労特性を探求することが要望されている。

高張力鋼の一般的なひずみ特性を知るために、また疲労現象の一端を捉える意味で繰返し応力を受けた 60 キロ級高張力鋼のひずみ特性を調べた。

疲労過程における機械的性質の変化については、すでに炭素鋼などについてとり扱われておる。すなわち硬度、降伏点などの上昇、衝撃値の低下および弾性率の変化などが起るとされている。^{*}

本実験では高応力の繰返しをうける 60 キロ高張力鋼においても同様なことが成立つか、また応力集中や、残留応力、あるいは溶接入熱による熱影響などによってどのような影響を及ぼされるかについて調査した。

^{*} E. Schmid: Z. Metallkunde 20(1928). 69. E. P. Bullen, A. K. Head.

W. A. Wood: Proc. Roy Soc, London A216(1953) 332;

浅川勇吉: 金属の研究 8(1931), 221;

T. Yokobori: J. Phys Soc, Japan 7(1952) 48 etc.

^{*} 工博・東京大学工学部

^{**} 工修・東京大学大学院

^{***} 八幡製鉄株式会社

さらにまた、著者等^{*}は先に疲労に関する理論的考察をするにあたって、疲労の原因として切欠または内部欠陥の周辺における応力集中による塑性流動と、これの繰返しひずみ载荷による加工硬化を考え、加工硬化の大きさを、塑性ひずみの大きさに比例し、繰返し回数に対して指数函数的に漸近、収束するという仮定

$$\sigma = \{ E_0 + (E - E_0) (1 - e^{-Bn}) \} \varepsilon_p + \sigma_y$$

を設けたが、この仮定の妥当性も併せて検討した。

2. 実験概要

1. 供試体

本実験に使用した鋼材は、60キロ調質高張力鋼WEL-TEN60(板厚12.5mm)であり、その化学組成および機械的性質をオ1表およびオ2表に示す。

オ1表 化学組成 (%)

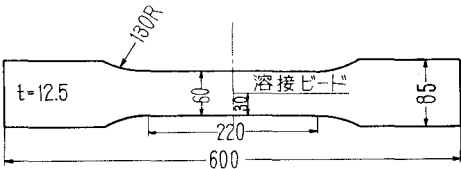
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	V
0.14	0.44	1.19	0.022	0.013	0.01	0.21	0.08

オ2表 機械的性質

降伏点 (Kg/mm ²)	引張強さ (Kg/mm ²)	伸び (%)	衝撃値 at 0°C (Kg-m/cm ²)
52	62	37	8.8

2. 試験方法および試験片

まず供試体からJIS 1号引張試験片を機械加工により切出した。試験片側面は研磨してあるが、表面は黒皮つきのままとしている。溶接入熱の影響あるいは溶接ビード端部における応力集中ないし残留応力の影響を調べるため、これら試験片を二組にわけ、一つは加工したまま、他の一つはその表裏に溶接ビードをおいて試験している(オ1図)。溶接ビードは、溶接棒⑤YL-60(径4mm)を用いメー



オ1図 繰返し試験片

オ3表 溶接条件

溶接層数	電圧	電流	通電時間
1層	200V	170A	60秒

カー指定の溶接条件(オ3表)で手溶接により溶接した。

これら二組の試験片について次の要領で片振り繰返し载荷試験を行なっている。

試験機はアムスラー型100トン万能試験機を用いた。载荷に際して、その繰返しによる試験片の発

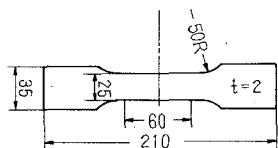
^{*}奥村、堀川：疲労亀裂の発生と伝播の機構について(土木学会論文集投稿)

熱を防止するため、毎分1サイクルの载荷速度となるよう油圧バルブを手動により操作している。

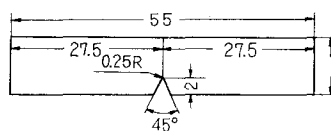
载荷応力としては、最近各方面でとりあげられている高応力疲労の問題を加味して、その最大応力を決定した。すなわち、オ2表を参照して、降伏点直下の応力 (50 kg/mm^2)、降伏点直上の応力 (55 kg/mm^2) および引張強さ直下の応力 (60 kg/mm^2) の三段階を採用した。また、除荷時に試験片がチャックより外れるのを防ぐため、最小荷重として約 0.5 kg/mm^2 の応力を残しており、この応力と上記の最大応力との間で応力サイクルを形成させた。

この応力サイクルの繰返し過程における試験片の機械的性質の変化を調べるため、各応力サイクルを1, 3, 10, 30, 100回繰返した後この試験片を再加工した。

試験片の再加工に際し、厚さ 2 mm まで研削研磨してJIS 5号引張試験片を、また同様にしてJIS 4号衝撃試験片を作成した(オ2図、オ3図)。これらを用いてS-S曲線、衝撃値および繰返し回数



オ2図 JIS 5号引張試験片



オ3図 JIS 4号衝撃試験片

間の比較検討を行なった。

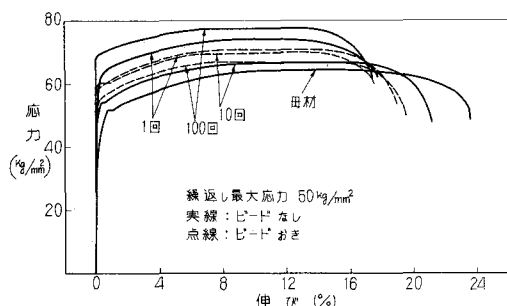
S-S曲線はTOM10000 S形万能引張圧縮試験を用い、標点間距離として 50 mm を選んでいる。衝撃値はシャルピー衝撃試験機(荷重 30 kg)を用い室温において試験している。また、カタサはビッカース硬度計(荷重 10 kg)を使用して測定している。

3. 実験結果

本実験は目下継続中であるが、現在までにえられた結果を以下に示す。

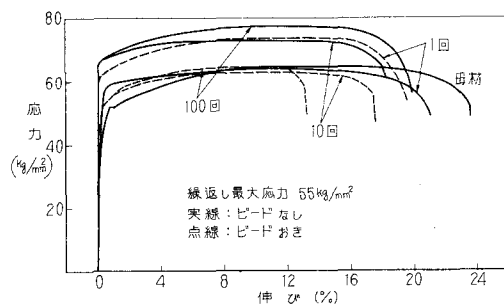
オ4図は、各最大応力ごとに、繰返し数の変化によるS-S曲線の変化の例を示している。これらの図より0.2%耐力、引張強さなどを読みとり、更に衝撃値、カタサの測定値をとりまとめて示すとオ4表のようになる。ここにおいて、各値は試験片三本についての平均値である。

オ4表を図に示すとオ5図のようになる。



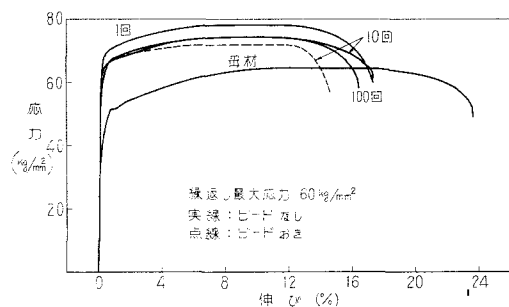
第4図 (a)

繰返し数によるS-S曲線の変化
(最大応力 50 kg/mm^2)



(b)

繰返し数によるS-S曲線の変化
(最大応力 55 kg/mm^2)



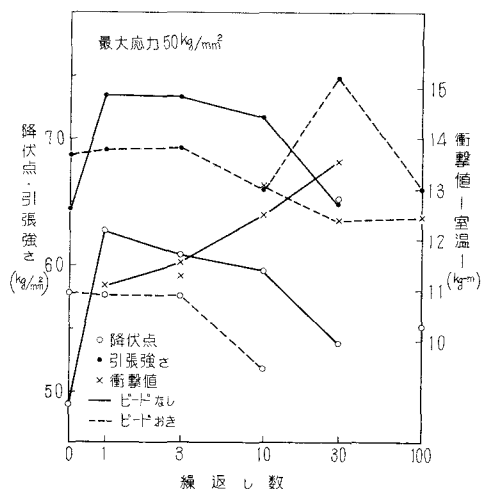
(c)

繰返し数によるS-S曲線の変化
(最大応力 60 kg/mm^2)

表 4

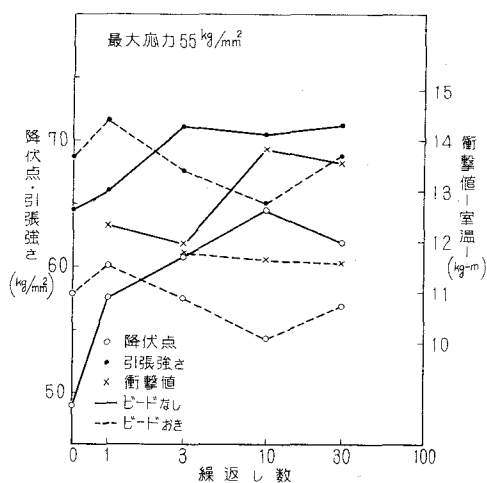
試験片	繰返し 最大応力	繰返し 回数	0.2% 耐力	引張強さ	破断強さ	伸び	接線 弾性率	衝撃値 (室温)	カタサ
	kg/mm^2		kg/mm^2	kg/mm^2	kg/mm^2	%		kg-m	
溶接 ビード なし	0	0	49.0	64.5	52.7	23.2	44		
	50	1	62.7	73.4	62.7	14.8	21	11.1	
		3	60.8	73.3	58.1	18.7	26	11.5	
		10	59.6	71.7	61.9	17.1	20	12.5	
		30	53.8	64.8	53.0	19.0	27	13.5	
		100							
	55	1	57.5	66.0	54.6	20.5	28	12.3	
		3	60.9	71.1	53.6	17.8	22	12.0	
		10	64.5	70.5	59.2	19.7	22	13.8	
		30	61.9	71.2	55.4	22.0	21	13.6	
		100							
	60	1	62.5	74.8	58.9	17.7	16	11.5	
		3	65.2	69.9	54.4	20.3	10	12.4	
		10	62.3	69.5	58.6	19.6	13	13.1	
		30	63.7	71.6	57.8	16.5	17	11.5	
		100	64.2	72.1	55.1	18.4	21	13.2	
溶接 ビード あき	0	0	57.9	68.7	54.8		26		
	50	1	57.6	69.1	53.7	19.1	25		
		3	57.6	69.3	59.3	17.0	28	11.3	
		10	51.8	66.0	52.1	19.4	28	13.0	
		30	65.0	74.8	56.4	17.3	31	12.4	
		100	55.1	66.0	54.0	17.7	27	12.4	
	55	1	60.1	71.6	55.4	18.3	31		
		3	57.5	67.6	58.3	17.0	21	11.8	
		10	54.3	65.1	58.8	17.7	31	11.6	
		30	56.9	68.8	54.0	21.2	22	11.6	
		100							
	60	1							
		3	59.0	67.5	58.0	18.5	19	12.8	
		10	62.7	70.5	55.5	16.1	29	12.0	
		30	62.0	71.2	53.4	20.8	25	12.6	
		100							

各値は3ヶの平均値を示す。



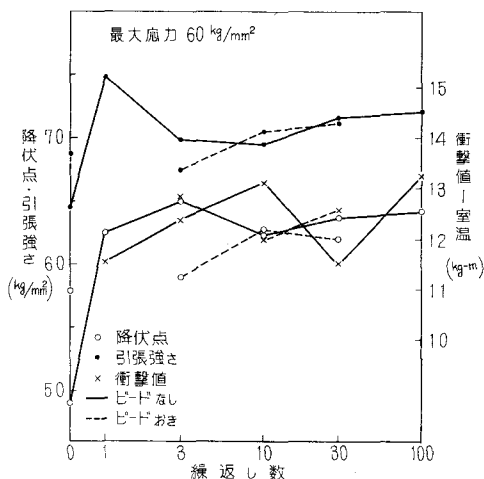
第5図 (a)

繰返し数による機械的性質の変化
(最大応力 50 kg/mm²)



(b)

繰返し数による機械的性質の変化
(最大応力 55 kg/mm²)



(c)

繰返し数による機械的性質の変化
(最大応力 60 kg/mm²)

4. 結果の検討

1. S-S曲線：オ4図およびオ5図よりわかるように、溶接ビードのあるなしにかかわらずこのような大きな応力を一度でもうけると試験材の性質は大きく変化するといえる。

これをくわしくみると、試験片の種類および加えた応力の大きさによって、その性質の変化の傾向が異なっていることが認められる。

第5図によれば、溶接ビードのない試験片については、加えた最大応力が供試材の降伏点応力をこえた場合と、それ以下の応力の場合とではその傾向を異にしている。すなわち降伏点応力以下の応力を繰返し载荷した場合、

0.2%耐力ならびに引張強さともに繰返し数の増加にしたがい低下する傾向を示している。しかし、降伏点応力をこえた応力を繰返し载荷した場合では、これとほぼ逆の傾向を示している。

一方、溶接ビードをおいた試験片ではこれらの傾向をほとんど認めることができない。これは溶接による入熱の影響が顕著であるため、応力の繰返し载荷による影響がかくれてしまったものと考えられる。

また、母材のS-S曲線における降伏点の踊り場の終端部に対応する点の接線弾性係数を各試験片について求めるとオ4表に示すとおりになる。この場合においても、応力の繰返し载荷前後において大きな差違を示している。しかし、それは加える応力の大きさおよび繰返し数には関係していないようである。また、溶接ビードをおくことによってこの値は低減するが、この試験片に応力を繰返し载荷しても、もはやその値にはあまり変化は起っていない。

さらに伸び特性について見ると、試験片ごとのばらつきが大きく、応力および繰返し数にはほとんど

関係していない。

ロ．衝撃値：オ 5 図によれば、衝撃値は応力の大きさによらず、その繰返し数の増加とともに上昇する傾向を示している。

3. 結 論

上記の結果をみると、繰返し载荷応力の大きさが材料の降伏点応力をこえるか否かによって、その繰返し数と S—S 曲線との関係はだいぶ性質を異にするようである。

しかしながら、先きに「はじめに」にのべた諸氏の研究結果と幾分異なる結果を示したのは、試験材；実験方法（とくに载荷応力）などの違いに影響されたものと思われるが、今後更に検討を加える必要があろう。

さらに加工硬化と塑性ひずみの関係については、さきに述べた仮定式とは異なる結果がえられている。しかし、この種の問題については、より精度を高めた実験により確認することが必要であろう。