板ばねの形状効果について

松 本 久 雄* 鎌 田 薫*

FORM EFFECT OF LEAF SPRING

Hisao Matsumoto and Kaoru Kamata

In this report, we studied the effect of the lowering the stress concentration of the hole of center bolt by the change of the hole form of the leaf spring. In the bending fatigue limit, $\alpha_k > \beta_k$, and η_k is not constant, where $\eta_k = (\beta_k - 1) / (\alpha_k - 1)$, α_k : stress concentration factor by the calculation of the elasticity theory and β_k : stress concentration factor by the fatigue test. Next, we experimented the effect of the lowering the stress concentration of the hole of center bolt by changing the section form of the leaf spring. The form of Jeep Type is not good in this test.

Si-Mn steel used is, one as rolled (polished), and the other after quenched and tempered (sandpaper-finishing). 12 test pieces were selected.

I 緒 論

最近自動車板ばねの故障統計に表れた破損の夥しいものに、ばね板のセンターボルト孔からの破断がある。比較的丸棒についての曲げ疲労に関する切欠、形状効果の研究は多いが板状試験片の切欠、形状効果の研究は少い。吾々は現在自動車に主として用いられている Si-Mn 鋼種を選んで、その両振曲げ疲労に及ぼす形状効果の実験を行つたので報告する。

II 実験計畫と方法

第1表に示す試料を用い第1図に示す抗張力試験を行

第1表 成 分

成分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
SUP6	0.70	1.53	0.63	0.019	0.011	0.09	0.08

第2表 熱処理条件と機械的性質

	焼 入	焼 戻	硬 度 R_c	σ_s kg/mm ²	σ_B kg/mm ²	伸 %	備 考
素 材 (A)	—	—	24~27	65~70	107~108	15	引張試験片は第1図参照
焼入焼戻 (B)	850°C10分 保持, 鹽浴, 油冷	530~550°C45分 保持, マツフル炉 室冷	40~43	110~115	128.5~133.5	7~11	〃

つた。その際熱処理条件及び機械的性質は第2表に示す通りである。此の様な材料を使い第2図に示す中央円孔楕円孔、ダボ及び各種断面形状を変化せるものの各種の振曲げ疲労限をシエック型曲げ両用試験機で、素

第1図 引張試験片

材のままのもの、焼入焼戻せるものの二種類に就いて求めた。素材のままでは奇麗な様なパーライト組織を示し、焼入焼戻せるものでは様なソルバイト組織のものであつた。試験片の面はシエパー仕上の後研磨、焼戻後は紙錆で丁寧に仕上げた。試験片の精度は各図に附記してある。

III 実験結果とその考察

疲労試験の結果を図示すると、素材のままのものは第3~4図、焼入焼戻したものは第5~6図の如くである。図は縦軸に応力、横軸に荷重繰返数をとつてあるが、応力の値はセンターボルト孔の中心を通る断面について算出することを建前とし、断面が変化しているものでも凡て第2図に示す No. 2 の形状を有するものとして計算

した。それ故 No. 6 ~ No. 11 の如き、断面を有するものでは中立軸のずれているものもあるし、断面係数の異

* 工業技術廳機械試験所

第2図 疲労試験片

第3図 素材のままの疲労曲線（中心孔の影響）

第4図 素材のまま疲労曲線（断面形状の影響）

第5図 焼入焼戻鋼の疲労曲線（中心孔の影響）

第6図 焼入焼戻鋼の疲労曲線（断面形状の影響）

ついているものもあるわけであるが一応これを不問にして No. 2 の如き形状のものに対し、等しい曲げモーメントが働いた場合どの様な疲れ強さに相異がくるかを見たわけである。この結果については No. 1～No. 5 までのセンターボルト孔の形状のみを変化した場合と、No. 6～No. 11 の断面変化した場合の二つに分けて考察しよう。

1. センターボルト孔の影響について。

板に円、楕円孔をあけた場合、曲げモーメントが板に垂直方向に働く場合についての計算は板が四方に無限の場合、中山氏¹⁾によつて計算されている。今此の値と第3図第5図の場合を比較すると第7図の如くなる。此処で α_k は弾性力学による計算の応力集中係数であつて、縦軸は切欠のつた場合の強さを切欠のつかない

第7図

場合の強さで除した値である。Kuntze²⁾の特殊鋼の結果と比較すると稍切欠効果は敏速である。一般に津村博士、福井博士³⁾によれば

$$\alpha_k < \beta_k \dots \dots \dots (1)$$

にして第3表に比較すれば実験結果は概ねこれを満足している。Si-Mn鋼が素材のままのパーライト組織のものは焼入、焼戻のソルバイト組織のものに比べて、疲労による切欠感受性に富んでいる事が此の図から明らかに知られる。Dubbel⁴⁾によると独逸で通常使用されているばね鋼では

$$\eta_k = \frac{\beta_k - 1}{\alpha_k - 1} \dots \dots \dots (2)$$

とおくと η_k は略一定で $\sigma_B = 110 \text{ kg/mm}^2$ に対して 0.95 ~ 1 の値になると云われている。そこで第3表の結果をこれによつて整理して見ると第8図の如くなる。つまり素材のままのパーライト組織では切欠が鋭くなる程 η_k が大きいという結果となつて、SUP6 程度のばね鋼では完全な焼入焼戻が必要であることは疲れ強さを高めるという丈でなく、切欠感受性を低めるという意味でも重要である。

亦 η_k は此の実験結果では一定とおく事は一寸困難と

第 3 表

	$\sigma_K \text{ kg/mm}^2$		α_k	β_k		$\eta_k = \frac{\beta_k - 1}{\alpha_k - 1}$	
	素材	焼入 焼戻		素材	焼入 焼戻	素材	焼入 焼戻
No 2	20	34	1.84	2	1.16	1.19	0.19
No 3	31	36.5	1.58	1.29	1.08	0.5	0.13
No 4	35	39	1.45	1.14	1.01	0.31	0.02
No 5	24.5	35		1.63	1.13		
No 6	35	27		1.14	1.46		
No 7	26	34		1.54	1.16		
No 8	23	32		1.74	1.23		
No 9	28	40		1.43	0.99		
No 10	23	32		1.74	1.23		
No 11	16	26		2.5	1.52		

	$\sigma_B \text{ kg/mm}^2$	
	素材	焼入 焼戻
No 1	40	39.5

第8図

思われる。設計について注意を要する。又此の結果では円孔より楕円孔を選んだ方がよい事を示している。Dubbel は

$$\beta_k = \{1 + (\alpha_k - 1)\eta_k\} O_k \dots \dots \dots (3)$$

とおいて、 O_k を表面感受係数と呼んでいる。これによれば O_k は、ばね鋼では圧延肌故 1.3 ~ 2.5 位になっている。吾々の実験では研磨若しくは研磨面に近いから $O_k = 1$ とおけたわけであるが、実際の設計をなすに当つては此の考慮が必要である。No. 5 は圧延方向に小さい切欠半径を附して、どの位、応力の擴散を行うかを確めたのであるが、 β_k は素材で 1.63、焼入焼戻で 1.13 になつて割合効果のある事が確められた。

2. 断面形状を変化した場合

A. センター、ダボの影響……板ばねではセンターボルト孔にセンターボルトを通して重ねる方法の他にダボ合せを行う方法がある。No. 6 の実験はこれの疲労に及ぼす影響を確めたのである。素材のままではダボを冷間プレスで作つたので疲労限は約 1.7 倍に上つているが、焼入焼戻では、此の効果が消滅し、ただ形状の相異なる効果となつて約 1.3 分の 1 になつている。岩田氏⁵⁾の考えによれば α_k に相当するものは 1.75 に見積れるが、実験結果 β_k は素材で 1.14、焼入焼戻で 1.46 になつていて (1) 式の関係を満足しているが破面は凸起部を起点とせず、ダボと板との堺目から始つている。楕円孔を採用すれば、ダボより寧ろセンターボルト法の方が有利となる様である。

B. 圧延面を外に凹にとる効果について……SAE の新しい規格及び吾々の一部主張によつて作られた日本規格では板ばねには、ゆるい凹面をつけてある。これが疲労に及ぼす効果を調べる事は、今後のばね設計にとつて重要な意義がある。No. 7, No. 8, No. 9 は規格に近い所から凹面の程度を上げしうつたものであるが、 β_k の値は各々素材で 1.54, 1.74, 1.43、焼入焼戻で 1.16, 1.23, 0.99 となつていて、センターボルト孔の応力集中を軽減する側にある事は板ばねの接触を良好にする効果の他にセンターボルト孔の応力集中を軽減するという意味のある事がわかつたのである。

C. 断面変化の影響……鉄道車輛のばねや外国車のばねには No. 10 の如き形状のばねが採用されているがこれが両振りの疲労にどの程度効果を及ぼすか、特にセンターボルト孔の応力集中をどの程度擴散するかを事実を見た。 β_k は素材で 1.74、焼入焼戻で 1.23 となつていて応力集中擴散効果のある事が確められた。No. 11 は

最近ジープ車に採用されている型であるが、これの両振疲労に及ぼす効果を確かめたが余り両振疲労に効果のない事がわかった。

D. 板ばねの重量軽減の方法として断面変化の効果。板ばねの等しい曲げモーメントに対する抵抗が等しくて断面積が小さくなれば撓み量は大体増加すると考えてよいので断面積を減少する事は同じ振動数のばねを設計する時はスパンを短くする事が出来、ばね下重量の軽減という大きな目的を満足させる事が出来る。第9図にNo. 7~No. 11の断面形状のものについて、各疲労限 σ_{KBW} を各断面積Areaで除した値の比較があげてある。No. 2の此の値に比べて高ければ強度の点を含めて有利と云えるわけだが、これではNo. 9, No. 8は完全に有利、No. 10, No. 7には見込のあることがわかった。No. 11は両振り疲労に対しては有利でない事は此の図からも明らかである。

3. 疲労断面の形態について、

西原氏⁶⁾等は疲労破断面の研究を行つて曲げ疲労では貝殻状の破面が生ずる事を示しているが、貝殻状破面の起点となる所に応力集中があつた事は事実である。吾々の実験した凡ての断面についての破断の略図を第10図に示すと形状から想像される個所に応力集中が見られた。中西氏⁷⁾は最近、分離が行われる現象には必ず引張応力が働いていなければならぬ事を述べているが応力集中の個所の分

第9図

第10図

第11図

離強さが疲労によつて低下して分離が行われるや此の切欠によつて他の部分に割れが進展すると考えられる。吾々はセンターボルト孔に於ける $\alpha_k=1$ を組つて

第11図の如き形状の試験片の疲労試験を行つた所、焼入焼戻で $\beta_k=1.02$ 、素材で $\beta_k=1.29$ となつて一様な板状試験片に比べて低下する事がわかった。その破面を同図に示してあるが起点が各断面の角部にある事がわかり此れが原因ではないかと考えられる。つまり角部には応力集中があつて、これを増加したから疲労限が低下したと考えるのである。此の点については今後の研究によつて更に明らかにしたい。

IV 結 論

1. センターボルトの応力集中の軽減の効果を探索し両振り曲げ疲労では $\alpha_k > \beta_k$ であつて η_k は一定でなく

A. 孔の形状を変化する方法としては楕円孔が有利である。圧延方向に小さい丸い切欠を附する事もよい。

B. 断面を変化しても応力集中を軽減する事が出来る。

2. 規格に採用された断面形状では、センターボルト孔を附した場合、センターボルト孔の切欠効果を軽減する方向にある。

3. ジープ型断面は両振り曲げ疲労では有利でない。

4. ダボも応力集中の原因で比較的疲れ強さの低下は大きい。

最後に試料を提供されたトヨタ自動車株式会社に感謝し、同社石原康正氏、都築謙寛氏に深い謝意を述べる次第である。

(発表 機械試験所報 4巻5号)

- 1) 中山岩蔵；日本機械学会誌(昭2) 109
- 2) Kuntze "Handbuch der Metallphysik," 1 (1940)
- 3) 津村利光；日本機械学会誌 45, 301号(昭17)260~
福井伸二；日本機械学会誌 277
- 4) Dubbel "Taschenbuch" 544
- 5) 岩田有共；車輛用ばね, 6
- 6) 西原, 桜井；日本機械学会論文集2 (昭11) 9-436
- 7) 中西不二夫；日本機械学会誌 昭25 春期大会発表