きりとは認められなかった。ただし、第 4 報で論議するが、リボン状ではなくて単なる付着物が工具逃げ面に存在することは、時に観察された。

(4) セラミックバイトでは超硬バイトに比べて金属材料との溶着性が少ないという事実によって、逃げ面凝着現象がセラミックバイトで認められないことをある程度説明できるわけであるが、本報では超硬バイトの場合と関連して酸化膜説によって説明を試みた。

セラミックでは超硬に比べて熱伝導率が小さいために高温になるから凝着現象が起らないのではないかという点については、単にこれだけの理由ならば、超硬バイトで凝着現象の起ると同程度の温度に達するセラミックバイトの削り速度域 (超硬バイトの場合より低速側と考えられる) では逃げ面凝着が起ってもよいわけで、やはり酸化膜説のほうが説明しやすいと考えられる。

539. 432:621. 992. 7

転造条件が転造ねじの疲れ強さに及ぼす影響*

(第 2 報, 転造 V みぞ付試験片の回転曲げ疲れ強さ)

吉 本 勇**

The Effect of the Thread Rolling Conditions on the Fatigue Strength of the Rolled Screw Threads (2nd Report, Rotating Bending Fatigue Strength of the Specimens with Rolled V Groove)

by Isamu YOSHIMOTO

In order to clarify the effect of rolling conditions on the fatigue strength of the rolled screw threads, the V grooves were rolled on the cylindrical specimens and the rotating bending fatigue tests were carried out on these specimens. For this purpose the simple rolling attachment was designed and manufactured. The rolling pressure in the case where the V grooves were rolled by this attachment, was measured. This rolling process was analysed, and compared with the process of thread rolling. In the experiment the rolling conditions of the V groove were changed by varying the number of revolutions of the specimen during rolling process. The specimen materials were medium carbon steel cold worked and Cr-Mo steel quenched and tempered. As a result it was found that the endurance limits of the specimens with the rolled V groove were 2.5~2.8 times higher than those of the specimens with the cut V groove. Statistical analysis has shown that there exists a definite relationship between the rolling condition and the endurance limit.

1. 緒 言

第 1 報⁽¹⁾においては転造ねじの疲れ強さに関する従来の研究を解析し、転造ねじの疲れ強さはそのねじが転造されたときの条件に影響されるのではないかということを経験した。次に転造条件をどのように表現すればよいかということについて考察を行ない、転造条件を転造の始めからねじ山が完成するまでの素材のころがり数および転造圧力曲線の形式によって表現することを提案した。

転造ねじの疲れ強さにはボルト、ナットの精度とか締付け力の大きさなどが大きな影響を及ぼすので、考察を簡単にするため本報では丸棒に V みぞを転造し、これを試験片として回転曲げ疲れ試験を行なうことにした。V みぞを転造する際の条件をいろいろ変えることに對し、本報では転造圧力曲線の形式を一定にし、転造中の試験片のころがり数だけを変化させることにした。

転造 V みぞ付試験片の回転曲げ疲れ強さについては川田・中沢⁽²⁾の研究があるが、川田らの研究における V みぞの転造条件は現在使用されているねじ転造の条件とかなりかけはなれている。ここに報告する研究では現在使用されているねじ転造の条件に對する範圍

* 昭和 36 年 4 月 4 日 第 38 期通常総会講演会において論文講演として講演, 原稿受付 昭和 35 年 11 月 30 日。

** 正員, 東京工業大学精密工学研究所 (東京都目黒区大岡山 1)。

内で V みぞの転造条件を変化させて試験片を製作した。また転造装置についても川田らの研究に使用されたものより簡単で、しかも同じ装置により転造圧力曲線の形式も容易に変化させることができるものを使用した。

2. 実験計画

疲れ試験片の材料としては第1表に示す2種類の材料を用意した。第1表には材料の化学成分、熱処理のほかにかたさおよび引張試験の結果も記されている。JIS B 1122 (1956) “ボルト・ナットの検査” の参考によると冷間引抜きされた S35C は中強度用ボルト材料であり、調質された SCM3 は高強度用ボルト材料である。またアメリカでは SAE がボルト用材料の等級を規定しており⁽³⁾、冷間加工された半硬鋼は3級 (grade 3)、調質された合金鋼は7または8級となっている。ここにとりあげた2種類の鋼は強度が問題とされるボルトの材料として代表的なものと考えてさしつかえないようである。

使用した疲れ試験機は片持回転曲げ形式で、試験片の回転数は 1500 rpm である。疲れ試験片の形状を第1図に示す。(a) は平滑試験片、(b) は V みぞ付試験片を示す。いずれも A の部分をコレットでつかんで回転させ、B の部分に荷重がかかる。V みぞの部分はバイトで切削した場合を示しており、転造した場合には後に述べるようにくぼみの両側にもり上がりを生ずる。V みぞのサイズはユニファイ並目ねじ 3/8—16 のねじみぞに対応する。

V みぞの転造条件としては緒言のところで述べたように転造中の試験片のころがり数 ν_0 を変化させる。転造圧力曲線の形式は後で述べるように圧力上昇形にする。 ν_0 は前報で調べたように現在使用されているねじ転造の方式では 3~70 くらいの範囲に変化する。ここでは ν_0 がほぼ 10, 20, 40 に等しくなるように3つの水準を選ぶことにした。

疲れ試験にはいろいろな方法が提案されているが、得られた結果を統計的に処理するのに便利のように筆者⁽⁴⁾⁽⁵⁾が提案した方法を用いることにして平滑試験片

の場合を除いては1シリーズで 10~20 本の疲れ試験片を用意した。

結局取りあげた因子は試験片の材料および転造中の試験片のころがり数で、それぞれ A および B と呼ぶ。水準の数は A では 2, B では 3 である。A₁ は S35C, A₂ は SCM3 を示し、B₁, B₂, B₃ はそれぞれ $\nu_0=10, 20, 40$ に対応する。疲れ試験はまず平滑試験片ならびに切削 V みぞ付試験片について行なった。次に転造 V みぞ付試験片について因子 B の影響を調べた。以上のいずれの場合にも因子 A は二とおりに変化させた。

3. V みぞの転造

この研究では V みぞの転造が重要な項目なので、なるべく詳しくその方法を述べ、V みぞの転造条件とねじの転造条件との対応について考察する。

3.1 転造装置 川田らの研究⁽²⁾では試験片を旋盤に取付けて回転し、これに3個のローラをほぼ一定の圧力で押付けて V みぞを転造した。ここに報告する研究では第2図に示すような2個のローラを用いる簡単な転造装置を製作した。第2図(a)において①はローラ、②は軸受、③はフレームで、④の部分の旋盤の刃物台に取付ける。ローラの直径は 42.5 mm、ローラの中心距離は 50 mm である。第2図(b)の写真

第1図 疲れ試験片の形状

第1表 疲れ試験片の素材

材 質	素材の状態	化 学 成 分							熱 処 理	か た さ	引 張 試 験 の 結 果			
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo			引張強さ kg/mm ²	降伏点 kg/mm ²	伸 び %	収 縮 %
S35C	25φ みがき丸棒	0.33	0.29	0.67	0.023	0.012	—	—	受入のまま	H _R B 87	60.4		23	50
SCM3	25φ 黒皮丸棒	0.35	0.30	0.73	0.014	0.010	1.06	0.18	焼入れ 850°C油冷 焼もどし 600°C水冷	H _R C 28	97.7	90.5	18	63

において A は試験片、B は転造装置である。第 1 図に示す試験片の A の部分を旋盤のチャックでくわえて回転させ、転造装置を取付けた刃物台を自動送りにより試験片に接近させて V みぞを転造する。第 3 図にそのようすを略図的に示す。(a) が転造始めで (b) が転造終りの状態である。実際にはフレームの弾性変形および素材とローラの接触部の弾性変形により (b) よりももっと転造装置が送られた状態で転造を終る。第 4 図はこの装置により転造された V みぞの拡大写真である。くぼみの両側にもり上がりが見られる。また図中のねじ山の形状は古い JES に規定されたメートルねじの基本山形で、V みぞの角度および谷の丸みを調べるために使用したものである。V みぞにあてがわれているねじ山の谷の丸み半径は 0.22 mm である。

3.2 転造圧力の測定 V みぞの転造過程を知るた

①: ローラ, ②: 軸受, ③: フレーム, ④: 支持部
a, b: 抵抗線ひずみ計をはった位置
(a)

(b)

第 2 図 V みぞ転造装置

(a) 転造始め (b) 転造終り

第 3 図 転造のようす

めに転造圧力を測定した。第 2 図 (a) に示すようにフレームの a および b の位置に抵抗線ひずみ計をはりつけ、これによってローラにかかる転造圧力 P を測定した。両方のフレームの a および b の位置にひずみ計をはり、これらをホイートストン・ブリッジ回路の四辺に入れた。ひずみ計の抵抗変化は電圧の変化に変換され、これを増幅してペン書きオシログラフを用いて記録する。第 2 図 (b) において C がひずみ計のメータである。ペン書きオシログラフはこの写真には見られない。較正は第 5 図のようにして行なった。転造装置からローラをはずして第 5 図に示すような板を取

第 4 図 転造された V みぞの拡大写真

第 5 図 転造圧力較正装置

第 6 図 転造圧力の較正結果

付け、上の板は較正装置の固定部に取付け、下の板にレバーを通して荷重を作用させる。レバー比は 10 である。このようにしてフレームに作用する荷重とひずみ計のメータの読みとを比較して第 6 図のような結果が得られた。この結果はひずみ計のはってある位置におけるひずみを初等的な曲げの理論式を用いて計算した値とほぼ一致している。

転造圧力の測定記録の一例を第 7 図に示す。縦軸は転造圧力で横軸は試験片のころがり数である。つまり試験片が 1 回転するごとにタイム・マークが記される。この例では試験片の材料は SCM3 で、転造装置の自動送りの速さは 0.25 mm/rev である。

3・3 転造過程の解析 2 個のローラを用いる転造装置によってねじを転造する際の圧力に関する解析はすでに山本・吉本⁽⁶⁾によって行なわれた。この場合の転造圧力曲線は第 1 報で考察した圧力上昇形に相当する。しかし V みぞの転造とねじの転造とは全く同じであるとは考えられないので、V みぞ転造の場合の圧力について解析を行ない実験の結果と比較してみることとする。またこの理論的考察からローラが試験片にくいこんでゆく過程を求めることができる。

ねじ転造圧力の理論については山本⁽⁷⁾の説と井上⁽⁸⁾の説とがある。転造圧力がローラと試験片との接触面積に比例するという基本的な考え方については両者は一致しているが、接触面積の計算方法について違っている。ここでは山本の説に従って計算をすすめる。

転造圧力を P 、ローラと試験片との接触面積を A とすれば次の式がなりたつ。

$$P = HA \quad \dots\dots\dots (1)$$

この式における H を試験片の材料の V みぞ転造における変形抵抗と呼ぶことにする。 A を求めるにはローラと試験片との接触状態を知ることが必要である。第 8 図にローラと試験片との接触の状態を示す。第 8 図 (a) は V みぞにおける軸直角の断面を示す。この方向の接触の長さを b とする。この図における X-X 断面を第 8 図 (b) に示す。ローラの先端は丸みをおびているが計算を簡単にするためくぼみの部分を台形と考える。またくぼみの両側のもり上がりの部分を直角三角形と仮定する。第 4 図からわかるように今問題としている材料ではこの仮定がほぼ満足される。くぼみの部分ともり上がりの部分の体積が等しいという条件を (b) 図における I の部分の面積が II, III の部分の面積の和に等しいという条件に置換えるとローラが試験片にくいこんだ深さ x と、軸を含む断面における接触長さ y との間には次の関係がある。

$$y = (2/\sqrt{3})[a + x + (1/2)\sqrt{2ax + x^2}] \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし a は第 8 図 (b) に示すような長さである。次に第 8 図 (a) において上のローラを取り除き、上方から試験片を見ると第 8 図 (c) が得られる。斜線を施した台形の面積が (1) 式の A に相当する。したがって A は次式で表わされる。

$$A = (1/2)[y(\nu) + y(\nu - 0.5)]b \quad \dots\dots\dots (3)$$

ただし ν は転造始めからの試験片のころがり数で、 $y(\nu)$ は転造始めから試験片が ν 回転したときの y の値をさす。また b は次の式で求められる。

$$b = \sqrt{\frac{x(\nu) - x(\nu - 0.5)}{(1/D) + (1/d_k)}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし D はローラの外径、 d_k は試験片の V みぞ部

試験片の材質: SCM3 調質, 転造装置の送り: 0.25 mm/rev

第 7 図 V みぞの転造圧力の測定記録の例

第 8 図 ローラと試験片との接触の状態

分の素材径である。(3), (4) 式を (1) 式に代入すれば次の式が得られる。

$$P = \frac{1}{2} H [y(\nu) + y(\nu - 0.5)] \sqrt{\frac{x(\nu) - x(\nu - 0.5)}{(1/D) + (1/d_k)}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

(2) 式と (5) 式のなかには P , x , y , ν という 4 変数が含まれている。これらの間にもう一つ関係式があれば $P-\nu$ または $x-\nu$ の関係を求めることができる。この関係式は次のようにして求められる。

第 9 図 (a) は転造始めにおけるローラと試験片との関係を示す。第 3 図の (a) から (b) になるまでの試験片のころがり数を ν_0 , 転造装置の送りの速さを試験片 1 回転につき f とすると $\overline{EF}$ の長さは $f\nu_0$ に等しい。二つのローラの中心距離を C とすれば、直角三角形 O_1EF において次の関係が成り立つ。

$$\left(\frac{D}{2} + \frac{d_k}{2}\right)^2 = \left(\frac{C}{2}\right)^2 + (f\nu_0)^2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

また第 9 図 (a) の状態から試験片が ν 回転したときのローラと試験片との関係を第 9 図 (b) に、V みぞのもり上がりのようすを第 9 図 (c) に示す。(b) 図における直角三角形 O_1EF について次の関係が成り立つ。

$$\left(\frac{D}{2} + \frac{d_k - 2x}{2}\right)^2 = \left(\frac{C + sP}{2}\right)^2 + [f(\nu_0 - \nu)]^2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

(6), (7) 式から次の関係が得られる。

$$\nu_0 = (1/2f) \sqrt{(D + d_k + C)(D + d_k - C)} \quad \dots\dots (8)$$

$$x + \frac{C}{D + d_k} \frac{s}{2} P = \frac{f^2}{D + d_k} \nu (2\nu_0 - \nu) \quad \dots\dots\dots (9)$$

ローラの中心距離は転造圧力に比例して大きくなるものと仮定し、その比例定数を s とする。(2), (5), (9) 式から $P-\nu$ または $x-\nu$ の関係を求めることができる。この階差方程式を解く際の初期条件は次のとおりである。

$$\nu = 0 \text{ のとき } P = 0, x = 0 \quad \dots\dots\dots (10)$$

この方程式の解法は筆者⁽⁹⁾が以前に平形ダイス式ねじ転造盤における転造圧力を求める際に用いた方法と同じであるのでここに述べることは省略する。

第 7 図に示した例についてこの計算を行なった結果を第 10 図に示す。実線で示す曲線が計算値で、プロットが第 7 図から求めた試験片 2 回転ごとの P の値である。両者はかなりよく一致している。計算値を求める際に使用した数値は次のとおりである。 $a = 0.23$ mm, $D = 42.60$ mm, $d_k = 8.50$ mm, $C = 50.06$ mm, $f = 0.25$ mm/rev. 残りの H と s との求め方が問題である。 H を求めるにはまずねじ転造における変形抵抗を調べてみた。山本⁽⁷⁾の研究によると調質された SCM 3 に相当する材料の変形抵抗の値は 600~700 kg/mm² である。また山本⁽⁷⁾の研究によると差速式ねじ転造盤において s の値を変化させても転造圧力の最大値はほとんど変化しない。そこで (2), (5), (9) 式において $s = 0$ とおき、 H を 400, 500, 600 kg/mm² と変化させて $P-\nu$ の変化を求め、 P の最大値を実験における最大値と比較した。 $H = 400$ kg/mm² のとき両者がほぼ一致するので、この値を用いることにした。ねじ転造の場合にくらべかなり低い値である。 $s = 0$ においてるので曲線全体の形は実験値とかなりずれている。次に s の値は転造装置のフレームの単位荷重当りの弾性変形量 s_1 とローラと試験片との接触部の単位荷重当りの弾性変形量 s_2 との和に等しい。 s_1 はフレームの形状がきわめて単純であるので簡単な計算から求められる。また s_2 は山本ほか 3 名⁽¹⁰⁾の研究から計算できる。これらの計算から s の値として 1.11×10^{-3} mm/kg という値が得られた。これらの数値を使用して $P-\nu$ の関係を求めたのであるが、この計算から $x-\nu$ の関係も求められる。その結果を第 11 図に示す。横軸が ν , 縦軸が x である。 ν_0 以後では x はほとんど変化しない。つまり転造は ν_0 までにほぼ完了すると考えてさしつかえない。第 10 図および第 11 図からこの転造方式は第 1 報に報告した転造圧力曲線の

第 9 図 ローラが試験片にくいこんでゆく状態

分類のうち圧力上昇形に属することがわかる。(8)式からわかるように転造装置の送りの量 f を変化させることにより ν_0 を変化させることができる。また転造装置の送りを一様にしないで簡単な変化を与えることにより転造圧力曲線を別の形式にすることができる。この転造圧力曲線を変化させることについては次報で報告する。

4. 疲れ試験の結果ならびにその考察

実験計画のところで述べたようにまず平滑試験片ならびにバイトにより切削したVみぞ付試験片の疲れ試験が行われた。これらの疲れ試験の結果は筆者⁽⁶⁾の提案した疲れ試験法の実験例としてすでに詳しく報告したので、ここではその結果だけを第2表に示す。表のなかの記号は次のとおりである。 μ は耐久限度の平均値、 σ は耐久限度の標準偏差である。ここで耐久限度と呼ぶ値は厳密には繰返し数 $N=10^7$ または $\log N=7$ に対する時間強度である。 $\hat{\mu}$, $\hat{\sigma}$ はそれぞれ μ , σ の推定値である。 $\hat{\sigma}$ は $S\text{-}\log N$ 曲線が右下がりの直線に近い部分の実験結果から推定した値、 $\hat{\mu}$ は4~8本の試験片について Staircase 法を用いて求めた値である。 ν は $\hat{\sigma}$ に対する自由度で、 n_e は $\hat{\mu}$ に対する有効反覆数⁽¹¹⁾である。 $\hat{\sigma}$, $\hat{\mu}$ を求めるのに使用した試験片の数をそれぞれ n_1 , n_2 とすれば、 ν および n_e は次式で表わされる。

$$\nu = n_1 - 2, \quad n_e = n_2 / 2 \quad \dots\dots\dots (11)$$

第2表 平滑試験片および切削Vみぞ付試験片の耐久限度

μ, σ の単位 kg/mm ²						
試験片の種類		$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$	ν	n_e	μ の95%信頼限界
平 滑	S35C	27.4	0.64	32	4	26.8~28.0
	SCM3	47.6	1.38	29	4	46.2~49.0
切 削 Vみぞ付	S35C	13.7	0.71	6	2	12.5~14.9
	SCM3	22.6	2.37	8	2	18.7~26.5

μ : 耐久限度の平均値, σ : 耐久限度の標準偏差, $\hat{\mu}$: μ の推定値
 $\hat{\sigma}$: σ の推定値, ν : $\hat{\sigma}$ に対する自由度, n_e : $\hat{\mu}$ に対する有効反覆数

第10図 Vみぞの転造圧力—計算値と実験値との比較

μ の信頼度 $(1-\alpha) \times 100\%$ の信頼限界は次式で与えられる。

$$\hat{\mu} - t_{\alpha} \hat{\sigma} / \sqrt{n_e} < \mu < \hat{\mu} + t_{\alpha} \hat{\sigma} / \sqrt{n_e} \quad \dots\dots\dots (12)$$

ただし t_{α} は次の式で与えられるから t 分布の表から容易に求めることができる。

$$\alpha = 2 \int_{t_{\alpha}}^{\infty} \frac{\Gamma\left(\frac{\nu+1}{2}\right)}{\sqrt{\pi\nu} \Gamma(\nu/2)} \left(1 + \frac{t^2}{\nu}\right)^{-(\nu+2)/2} dt \quad \dots\dots\dots (13)$$

また切削Vみぞ付試験片の切欠き係数 β についての計算結果を第3表に示す。 $\hat{\beta}$ は β の推定値で β の 95% 信頼限界の求め方はすでに詳しく報告した⁽⁶⁾。

Vみぞの転造は前節に述べたような方法で行なった。転造条件としては ν_0 だけを変化させ、転造圧力曲線の形式は一定とした。転造装置の送りは $f=0.11, 0.25, 0.47 \text{ mm/rev}$ の3種類に変化させた。(8)式を用いて ν_0 を計算すると次のようになる。 $\nu_0=47.8, 21.0, 11.2$ 。これらはそれぞれ実験計画のところで述べた転造条件 B_3, B_2, B_1 に相当する。試験片の材質 A および転造条件 B の六つの組合せに対する $S\text{-}\log N$ 曲線を第12図に示す。これらの図に引かれている右下がりの直線は最小二乗法により求めたものである。これから時間強度の標準偏差の推定値を求めると第4表のようになる。第2表では $\hat{\sigma}$ について A_1 と A_2 とでかなりの差がみとめられるが、第4表では大差ないようである。Bartlettの方法⁽¹²⁾により分散の一樣性を検定すると第5表に示すようにこれらの分散は一樣であることが認められた。第5表において Q および l は次式で表わされる。

第3表 切削Vみぞ付試験片の切欠き係数

	$\hat{\beta}$	β の 95% 信頼限界
S35C	2.00	1.82~2.18
SCM3	2.10	1.74~2.46

第11図 試験片へのローラのくいこみのようす(計算値)—第10図に対応

$$\left. \begin{aligned} Q &= \nu \ln \hat{\sigma}^2 - \sum_{i=1}^k \nu_i \ln \hat{\sigma}_i^2, \\ l &= 1 + \frac{1}{3(k-1)} \left[\sum_{i=1}^k \frac{1}{\nu_i} - \frac{1}{\nu} \right] \\ \nu &= \sum_{i=1}^k \nu_i, \quad \hat{\sigma}^2 = \sum_{i=1}^k \nu_i \hat{\sigma}_i^2 / \nu \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (14)$$

$\hat{\sigma}_i^2 (i=1, 2, \dots, k)$ はここでは A および B の六つの組合せに対する時間強度の分散の推定値, ν_i は $\hat{\sigma}_i^2$ に対する自由度である. Q/l がほぼ自由度 $(k-1)$ なる

第 4 表 転造 V みぞ付試験片の時間強度の標準偏差

		$\hat{\sigma}$ の単位: kg/mm ²		
		B ₁	B ₂	B ₃
A ₁	$\hat{\sigma}$	0.45	1.21	0.54
	ν	3	6	3
A ₂	$\hat{\sigma}$	1.31	0.77	0.33
	ν	2	4	3

ν : $\hat{\sigma}$ に対する自由度

第 5 表 転造 V みぞ付試験片の時間強度の分散に対する一様性の検定

$\hat{\sigma}$ の単位: kg/mm ²					
<i>i</i>	AB	$\hat{\sigma}_i^2$	ν_i	$\nu_i \hat{\sigma}_i^2$	$\nu_i \log \hat{\sigma}_i^2$
1	A ₁ B ₁	0.20	3	0.60	3.900
2	A ₁ B ₂	1.46	6	8.76	0.987
3	A ₁ B ₃	0.29	3	0.87	2.386
4	A ₂ B ₁	1.72	2	3.44	0.470
5	A ₂ B ₂	0.59	4	2.36	1.081
6	A ₂ B ₃	0.11	3	0.33	3.123
計	—	—	21	16.36	-6.057

$\hat{\sigma} = \sqrt{16.36/21} = 0.881$, $\nu = 21$, $Q/l = 7.72$,
 $\chi^2 = (\alpha = 0.05, \nu = 5) = 11.1$

χ^2 分布に従うということから $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$ という仮説を検定する.

第 5 表から転造 V みぞ付試験片の時間強度の分散の一様性が認められたので (14) 式で計算される $\hat{\sigma}$ の値すなわち 0.88 kg/mm² をこれらの試験片の時間強度の標準偏差に対する推定値と考えてよい. その自由度は $\nu = 21$ である.

第 12 図に $\hat{\mu}$ として示してある S の値は A および B の各組合せに対し 4 本ずつの試験片について Staircase 法により $\log N = 6.5$ に対する時間強度を求めた値である. これらの値を表示すれば第 6 表のようになる. 第 12 図からわかるようにこれらの S - $\log N$ 曲線は $\log N = 6.5$ の付近ではほとんど $\log N$ 軸に平行と考えられるので $\log N = 6.5$ に対する時間強度を耐久限度と考えてもさしつかえないように思われる. 第 6 表と第 2 表とを比較すると転造 V みぞ付試験片の耐久限度は切削 V みぞ付試験片のそれよりはるかに高く, 平滑試験片のそれよりも高いことがわかる. 第 7 表はこれらの耐久限度の比を計算した結果で, 転造 V みぞ付試験片の耐久限度は切削 V みぞ付試験片の耐久限度の

第 6 表 A, B の組合せに対し Staircase 法により求めた時間強度 ($\log N = 6.5$)

単位: kg/mm ²			
	B ₁	B ₂	B ₃
A ₁	36.7	35.5	33.7
A ₂	61.1	62.3	58.8

第 12 図 転造 V みぞ付試験片の S - $\log N$ 曲線

2.5~2.8 倍であり、平滑試験片の耐久限度の 1.2~1.3 倍である。

第 6 表をみると試験片の材質による影響は著しく大きく、転造条件によってわずかに変化することはわかるが、転造条件による差が有意であるかどうかは統計的検定が必要である。これには第 6 表に対し分散分析を行なえばよいが、この場合は時間強度の分散が第 5 表のようにわかっているのだから通常の分散分析とは少し異なった計算方法を用いる。この計算方法を次に説明する。

説明を簡単にするため因子 T だけを考える。ふつうの測定値、たとえば引張強さのような場合は $T_i (i=1, 2, \dots, p)$ に対し繰返し数を r とすれば、 $Y_{ij} (i=1, 2, \dots, p; j=1, 2, \dots, r)$ という rp 個の測定値がえられる。因子 T による二乗和 SST および実験誤差による二乗和 SSE は次式により計算される⁽¹⁸⁾。

$$\left. \begin{aligned} SST &= \frac{1}{r} \sum_{i=1}^p \left(\sum_{j=1}^r Y_{ij} \right)^2 - \frac{1}{rp} \left(\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^r Y_{ij} \right)^2 \\ SSE &= \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 - \frac{1}{r} \sum_{i=1}^p \left(\sum_{j=1}^r Y_{ij} \right)^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

次にそれぞれの平均二乗 MST および s^2 を次式により計算し $F = MST/s^2$ により T_i 間に有意差があるかどうかを検定する。

$$MST = SST/(p-1), \quad s^2 = SSE/p(r-1) \dots\dots\dots (16)$$

ところが第 6 表の結果は $\frac{1}{r} \sum_{j=1}^r Y_{ij}$ の値を表わしており、個々の Y_{ij} は不明である。また s^2 は第 5 表から別に求められている。 $\frac{1}{r} \sum_{j=1}^r Y_{ij} = Y_i$ とすれば(15)式の SST は次のようになる。

$$SST = r \left[\sum_{i=1}^p Y_i^2 - \frac{1}{p} \left(\sum_{i=1}^p Y_i \right)^2 \right] \dots\dots\dots (17)$$

第 7 表 転造 V みぞ付試験片の $\log N = 6.5$ に対する時間強度と平滑試験片および切削 V みぞ付試験片の耐久限度との比

		B ₁	B ₂	B ₃
A ₁	平滑試験片に対し	1.34	1.30	1.23
	切削 V みぞ付試験片に対し	2.68	2.59	2.46
A ₂	平滑試験片に対し	1.28	1.31	1.23
	切削 V みぞ付試験片に対し	2.70	2.76	2.60

第 8 表 第 6 表に対する分散分析

要 因	自 由 度	SS	MS	F
A	1	970.28	970.28	2.500**
B	2	9.36	4.68	12.0**
A×B	2	1.53	0.76	1.95
誤 差	21	—	0.39	—

** 1% で有意

したがって F は次のように変形される。

$$F = \frac{MST}{s^2} = \frac{\left[\sum_{i=1}^p Y_i^2 - \frac{1}{p} \left(\sum_{i=1}^p Y_i \right)^2 \right]}{s^2/r} \dots\dots\dots (18)$$

(18)式から第 6 表のような形のときは Y_i を個々の測定値と考えてふつうの分散分析のように計算をすすめる s^2/r を実験誤差の平均二乗として検定を行なえばよいことがわかる。

第 6 表の結果に対しこのような考え方を用いて分散分析を行なった結果を第 8 表に示す。表中誤差の MS は第 5 表から得られた $\hat{\sigma}^2$ を第 6 表のおおのの測定値の有効反覆数 2 でわって求めたものである。第 8 表から転造 V みぞ付試験片の耐久限度は V みぞを転造するときの試験片のころがり数 ν_0 によりわずかにあるが有意差のあることがわかる。 ν_0 と転造 V みぞ付試験片の疲れ強さとの関係を第 13 図に示す。図中に矢印で示された範囲はそれぞれの疲れ強さの平均値の 95% 信頼限界を示す。この図によれば転造 V みぞ付試験片の疲れ強さは S35C では転造中の試験片のころがり数 ν_0 の小さいほど大きく、SCM3 では $\nu_0 = 20$ の付近に最大値があるように思われる。しかし第 8 表の結果ではこれらの傾向が材料によって差があるとはいえない。

5. 結 言

この報告における成果を要約すれば次のようになる。

(1) 冷間引抜きされた S35C および調質された SCM3 の 2 種類の材料の丸棒に V みぞを転造し、これを試験片として回転曲げ疲れ試験を行なった。この試

第 13 図 転造 V みぞ付試験片の疲れ強さと ν_0 との関係

試験片を製作するため 2 個のローラを用いる簡単な転造装置を製作した。

(2) この転造装置によって V みぞを転造する際の転造圧力を測定し、この測定結果に対し解析を行なった。計算値は測定値とよく一致した。この解析から V みぞの転造条件とねじの転造条件との対応が明らかになった。

(3) V みぞ付試験片の転造条件は転造中の試験片のころがり数だけを変化させ、転造圧力曲線の形式は一定にした。疲れ試験の結果 V みぞ付試験片の耐久限度は切削 V みぞ付試験片の耐久限度の 2.5~2.8 倍で、転造条件によりわずかに変化することがわかった。転造条件による差はわずかであるが統計的解析の結果有意であることが確かめられた。

(4) 疲れ強さは数本の試験片を用いる Staircase 法により求めた。得られた結果を統計的に解析する方法について検討した。

この研究に貴重な御教示を賜った東京工業大学精

密工学研究所の山本晃博士、実験に御援助をいただいた同研究所の豊山晃氏、林国一氏ならびに実験装置、試験片の製作を担当された同研究所付属工場の各位に感謝の意を表する。

文 献

- (1) 吉本, 機械学会論文集, **26**, 169 (昭 35-9), 1 298.
- (2) 川田, 中沢, 機械学会論文集, **19**, 87 (昭 28-11), 38.
- (3) *ASME Handbook, Metal Engineering-Design*, (1953), 176, McGraw-Hill.
- (4) 吉本, 機械学会論文集, **26**, 167 (昭 35-7), 918.
- (5) 吉本, 機械学会論文集, **27**, 179 (昭 36-7), 1 057.
- (6) 山本, 吉本, 第 35 期通常総会講演会前刷, 講演番号 222 (昭 33-4).
- (7) 山本, 東京工業大学学報, Ser. A, No. 1 (昭 32), 1.
- (8) 井上, 機械学会誌, **62**, 489 (昭 34-10), 1457.
- (9) 吉本, 機械学会論文集, **25**, 150 (昭 34-2), 87.
- (10) 山本ほか 3 名, 機械学会論文集, **26**, 166 (昭 35-6), 813.
- (11) 田口, 実験計画法, 下巻 (昭 33), 699, 丸善.
- (12) R. L. Anderson & T. A. Bancroft, *Statistical theory in research*, (1952), 141, McGraw-Hill.
- (13) (12) の 230 ページ.

討

〔質問〕 疲れ試験に実験計画法に基いた統計処理を適用し、転造 V みぞの疲れ限度に影響する因子を解析された点に敬意を表します。なお下記の点についてうかがいたい。

(1) 第 10 図によると転造荷重 P は計画ころがり数 ν_0 (21 回) の約 1/2 ではほぼ最高値に達し、転造完了 (21 回) まで最高荷重が継続しているが、 $\nu_0=10$ および $\nu_0=40$ の場合には、この関係 (最高荷重およびそれが継続する回数) はどうなっているか。

この実験の結果は加工度 (転造比 1/8.5) が一定でころがり数 ν_0 が変化しているが、最高圧力は 3 種類のころがり数に対して異なっているのではないか。いいかえれば第 13 図の実験結果は最高荷重で整理するとどうなるか。

(2) 転造部の断面内部ではころがり数の違いによってかたさの変化曲線に差があるのでないか。それが疲れ試験結果の違いに表われているのではないか。

(3) ころがり数が多い場合にみぞ底にはく離現象はなかったか。私達の実験では強加工で多数のころがりを与えるとみぞ底がはく離し荒れはだになったが、しかし疲れ限度は上昇していた場合があった。この点はどうか。

(中 沢 一)

〔回答〕 (1) 第 10 図は試験片の材質が SCM3 で $\nu_0=20$ の場合の転造圧力の計算値と実験値とを示して

論

いる。これに $\nu_0=10$ および $\nu_0=40$ の場合の転造圧力曲線を書入れると付図 1 のようになる。いずれも曲線が計算値でプロットが実験値である。最高圧力は $\nu_0=10$ のとき 170 kg, $\nu_0=20$ のとき 120 kg, $\nu_0=40$ のとき 90 kg となっている。試験片の材質が S35C のときの最高圧力は SCM3 に比べだいたい 60% くらいになる。第 13 図の横軸は B_1 , B_2 , B_3 となるに従って圧力が低くなる。

(2) 転造部における断面内部のかたさ分布は次報で報告する予定であるが、とりあえず S35C について測定した結果を付図 2 に示す。軸を含む断面において V みぞの谷底から軸と直角に中心までマイクロビッカースかたさ計で測定した。谷底から 0.1 mm のところから 0.2 mm の間隔で測定した。荷重は 200 g で圧こんの対角線長さはほぼ 40μ である。中心に近い部分は転造の影響をほとんど受けていないであろうと考え 0.4 mm の間隔で測定し、その平均値を图中に示した。

付図 1 ν_0 の変化による転造圧力曲線の変化

谷底の付近でかたさ上昇がみとめられ、 $\nu_0=10$ のときは他の場合にくらべかたさ上昇の程度が大きいようである。かたさ分布曲線と疲れ強さとの関係についてはもう少し詳しく調べて次の機会に報告する。

付図 2 転造した後のかたさ分布

(3) みぞ底のはく離現象はみとめられなかった。実験の範囲では転造条件の影響はあまり大きくない。はく離現象のおこる場合も含まれるほど転造条件を変えるべきであったかも知れない。

【質問】 疲れ試験のやり方に統計的手法を適用されたことには敬意を表しますが、欲をいえば次の点をもう少しつっこんでいただきたいものです。

(1) 転造条件の差による疲れ限度をみていられるわけであるが、転造の仕方に対する外見的取扱ひの方のほかに、転造したあとあるいは疲れ試験したあのかたさ変化、顕微鏡組織、残留応力等をしらべられ、なぜ疲れ限度が上昇したかについて少し言及していただければと思う。

(2) ねじは使用するとき曲げで使うこともあるが、主として引張りの予荷重を与えた引張圧縮疲れをうける使い方が多いと思う。その場合、このような回転曲げの資料からきめた転造の条件が引張圧縮にもそのまま適用できるかどうか疑問であるが、その点に対する考え方をうかがいたい。(中村 宏)

【回答】 (1) 転造したあのかたさ分布については中沢氏の御質問のときお答えした。その他の御指摘の点についてはこれからできるだけ調べてみるつもりである。

(2) ボルトに曲げ応力が付加的に作用することはあるがやはり引張りの疲れ強さが問題である。転造Vみぞ付試験片の回転曲げ疲れ試験は予備実験のつもりで行なったもので、これからねじ継手の疲れ試験を行なう予定である。

通産省・合成樹脂成形加工業の現状発表

通産省ではこのほど合成樹脂成形加工業の現状と問題点についてまとめた。

これによると合成樹脂加工業者は零細企業が多く、設備の老朽化、過当競争による利潤の低下が目立っている。

このため合理化資金の供給、経営の合理化などが必要であり、業界全体の問題として統計資料の整備、調査、研究を推進すべきであるとしている。

さて、わが国の合成樹脂工業は戦後めざましい発展をみせており、現在数量では世界第3位にランクされるまでに成長している。

しかし、この著しく発展している合成樹脂工業も原料樹脂の生産は比較的大規模な企業が行なっているが、成形加工分野は中小企業、しかも零細企業が圧倒的に多い。

企業の現状 企業数および従業員数＝合成樹脂成形加工業は成形方法によって圧縮成形、射出成形、押

出成形、圧延加工、積層成形、中空成形、真空成形などに分類され、これら成形業者は全国で約5000である。そして圧縮成形と射出成形は3000で、全体の60%を占めている。

従業員は関係プラスチック団体に参加している企業の平均は1社40名であるが、アウトサイダは25名程度と推定され、企業の従業員は全体で約8万人である。

企業の97%は中小企業で、しかも従業員30人以下が大部分である。そして残りの3%の大企業は電機メーカーや車両メーカーの兼業とされている。

昭和35年度の生産状況は圧縮成形による加工が6万174t、射出成形によるもの5万1848tで、これを金額にしてみると262億円となる。

なお組織化の状況は全国組織として日本プラスチック成型工業連合会、日本射出成型工業連合会の団体がある。(服部敏夫)