(昭和 14 年 4 月 2 日 造船協會講演會に於て講演)

鋼材の捩りに就て

正員 工學士 澤田 正雄*

Abstract.

On the Torsion of Mild Steel Bars with the Sections of Curved-sided Regular Triangle.

By M. Sawada, *Kogakusi, Member.*

This paper describes the torsion test results and plastic characteristics of mild steel bars (C=0.053, Si=0.015, P=0.007, S=0.002%) with five different sections including a circle, three kinds of curved-sided regular triangle and a regular triangle. These triangles inscribe to a base circle of 10mm radius, the boundary shapes of which are obtained by computing from the following equation:—

$$K(R_b^3 \cos 3\theta - 1) + 1 - R_b^2 = 0,$$

where K is a profile constant.

Two sets of these test pieces were finished with accuracy only by the hands of skilful workman, using the special profile gauges, and were ground and lapped like a mirror surface. One set was broken by twisting. The other was only twisted until the elastic limit and further again twisted after thirty one months to ascertain the time effect upon the strength.

According to the test results, there were found two modes of a characteristic curve of torque-angle diagram during the yielding of material from an elastic range to a plastic. Along with the gradual change in section from a circle to a regular triangle, the curvature of the characteristic curve becomes larger, which means the gradual increase of the maximum shearing stress induced on the middle point of a curved-side. To a strange matter, there happened some irregular plottings on the torque-angle diagrams, the reason of which will be necessary to seek for.

The results brought us the following linear relation:—

$$Q_p = 0.78 Q',$$

$$Q' = 0.342 (Q_{\max} - 500),$$

where Q_p = the moment in elastic limit in kg.cm,

Q' = the constant moment in plastic range in kg.cm,

$Q_{\max}$ = the maximum breaking moment in kg.cm.

Number of twisting until breaking varied also with the sectional area and the fractures were almost plane. The average values of modulus of rigidity for the same test pieces were as follows:—

Test No	Value of G in kg/cm ²
1	7.79×10^5
2	7.96×10^5 after 31 months

* 大阪商船株式會社工務課技師。

The circular bar in the second test indicated the very high value of $11.98 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$, which was not included in the above figure. These facts will be taken as the time effect upon the strength of bars.

The stress ratio of $\widehat{\sigma}_{\max}$ at elastic limit to $\widehat{\sigma}'_{\max}$ (constant) in plastic range varies from 1.33 to 2.3 according to the gradual change of section from a circle to a regular triangle. As the true torque at elastic limit, however, was really lower than the constant torque in plastic range, the true stress ratio varies from 1.068 to 1.733. The torque formula used in this calculation was verified as reliable by these tests.

1. は し が き

軟鋼丸棒の捩りの実験的研究に関する論文は既に多数発表されて居る。然し其他の断面形を持つ柱體、特に多角形断面柱體の捩り特性の実験に関しては餘り発表されて居ない様である。只中西不二夫⁽¹⁾及津村利光⁽²⁾の兩氏の論文が見受けられる。前者は圓形、正方形及矩形の断面柱體の一般特性を調べ更に降伏應力の解析的研究迄進めて居る。後者は圓形、正三角形、正方形、正六角形及正八角形の断面柱體の特性等を明かにして居る。

筆者は茲に圓形より正三角形に至る曲邊正三角形の一系統の断面柱體に就き、弾性限界以内の捩り及捩切り試験の結果から得た特性を述べると共に、断面變化の降伏應力、捩切りモーメント等に及ぼす影響、彈塑兩性領域の異常性を研究し又時効現象の一端をも調べて置いた。

實驗に用いた測定器及捩り試験機は大阪帝國大學工學部及大阪府立工業獎勵館のものを借用した。

2. 試 験 片 の 製 作

[1°] 試験片の断面形と基準寸法

曲邊正三角形の断面を持つ柱體の捩り應力函数⁽³⁾は次式で示される。

$$\Psi = k(r^3 \cos 3\theta - a^3) + a^2 - r^2 \dots\dots\dots (1)$$

$$= a^2 [K(R^3 \cos 3\theta - 1) + 1 - R^2] \dots\dots\dots (1_1)$$

茲に a = 基準圓の半径、 r = 中心よりの距離

$K = ak$ = 断面係數、 $R = r/a$

半径 a なる圓に内接する曲邊正三角形を考へるから

$$0 \leq K \leq 2/3$$

即ち $a=1$ に置くと $R=r$ 従つて $K=k$ となる。只 $K=0$ は圓形を又 $K=2/3$ は正三角形を與へる。

問題の断面形は $\Psi=0$ と置いて $R_b=r_b/a$ に関する次の 3 次方程式を解いて定める事は出来る。

$$K(R_b^3 \cos 3\theta - 1) + 1 - R_b^2 = 0 \dots\dots\dots (1_2)$$

實際 (1₂) を解いて r_b の値を求めることは相當面倒であるから、 $\cos 3\theta$ の θ に種々の値を代入し、

(1) 降伏内力の限界に就て： 機械學會論文集 第 2 卷 第 6 號 昭和 11-2

(2) 正多角形の切斷面を有する軸の捩れに就て： 同會誌 第 37 卷 第 206 號 昭和 9-6

正多角形の斷面を有する軸の捩れに就て： 同會論文集 第 1 卷 第 2 號 昭和 10-5

(3) 澤田正雄： 機械學會論文集 第 1 卷 第 1 號 昭和 10-2

圖式解法を併用すると甚正確に r_b の値を求める事が出来る。第 1 表は $a=1$ と置き $k=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$ 及 0.6 に對し角 $\Delta\theta=2^\circ$ 毎の r_b の値を示して居る。圓形 ($k=0$) 及び正三角形 ($k=$

第 1 表

中心より周邊に到る距離 ($\Delta\theta=2^\circ$ 毎の r)

θ°	$k=0.1$	$k=0.2$	$k=0.3$	$k=0.4$	$k=0.5$	$k=0.6$
0	10 000,000	10 000,000	10 000,000	10 000,000	10 000,000	10 000,000
2	9 996,775	9 992,22	9 985,15	9 972,83	9 946,34	9 851,57
4	9 987,18	9 969,07	9 941,42	9 894,42	9 800,32	9 521,82
6	9 971,424	9 931,72	9 871,51	9 772,815	9 585,39	9 147,99
8	9 949,812	9 880,675	9 779,02	9 618,698	9 337,21	8 782,22
10	9 929,765	9 817,90	9 668,635	9 442,78	9 075,94	8 441,14
12	9 890,81	9 745,57	9 552,77	9 254,83	8 815,37	8 128,15
14	9 854,53	9 665,425	9 412,19	9 032,13	8 563,58	7 842,84
16	9 814,58	9 579,33	9 274,33	8 870,225	8 324,75	7 583,49
18	9 771,605	9 489,25	9 134,55	8 682,75	8 100,85	7 347,87
20	9 726,285	9 396,65	8 995,46	8 502,54	7 892,45	7 133,82
22	9 679,28	9 303,23	8 859,124	8 331,75	7 699,525	7 939,42
24	9 631,23	9 210,22	8 727,075	8 169,42	7 521,65	6 767,27
26	9 582,78	9 118,85	8 600,48	8 017,78	7 358,14	6 602,20
28	9 534,46	9 029,88	8 480,125	7 873,68	7 203,16	6 457,68
30	9 486,833	8 944,272	8 366,600	7 745,966	7 071,068	6 324,554
32	9 441,39	8 862,54	8 260,31	7 625,39	6 946,07	6 208,76
34	9 395,51	8 785,26	8 161,45	7 514,78	6 832,57	6 096,92
36	9 352,64	8 712,815	8 070,205	7 413,71	6 729,77	5 999,68
38	9 312,115	8 645,47	7 986,57	7 322,14	6 637,33	5 912,40
40	9 274,24	8 583,49	7 910,425	7 239,52	6 554,25	5 834,42
42	9 239,274	8 527,12	7 841,95	7 165,83	6 470,83	5 765,53
44	9 207,43	8 476,41	7 780,975	7 100,64	6 417,80	5 704,93
46	9 179,35	8 431,59	7 727,39	7 043,59	6 359,515	5 652,31
48	9 153,93	8 392,48	7 678,59	6 992,02	6 311,22	5 607,31
50	9 132,57	8 359,55	7 642,25	6 953,62	6 270,80	5 569,74
52	9 114,925	8 332,46	7 610,48	6 920,26	6 238,00	5 539,33
54	9 101,30	8 311,38	7 585,83	6 894,42	6 212,70	5 515,76
56	9 091,225	8 296,32	7 568,285	6 876,06	6 194,70	5 499,06
58	9 085,27	8 287,30	7 557,77	6 865,12	6 183,89	5 489,17
60	9 083,27	8 283,88	7 554,28	6 861,40	6 180,38	5 485,82

$2/3$ は容易に求められる。之等を圖示すると第 1 圖の通りになる。

今回の實驗に用ゐたのは $k=0, 0.2, 0.4, 0.6$ 及び $2/3$ の 5 通りの断面柱體で其基準半径は何れも 10 耗であつた。第 2 圖に示す様な直径 20 耗の圓形断面の鋼材試験片から正三角形を削り出すのは左程困難ではないが、断面係數 k が 0.2, 0.4 及び 0.6 の様な曲邊正三角形柱體を所定寸法通り決めて正確に削り出す事は到底望まれない状態である。そこで出来る丈所定寸法に近い寸法の試験片を得る事に甚だ苦心を要した處であつた。

[2°] 試験片の製作

試験片の製作に先立ち断面形の正確を期する必要上断面ゲージの製作方を日本エヤーブレーキ株式會社に依頼した。基準半径 100 耗の曲邊正三角形断面

第 1 圖 断面形 $a=10$ 耗

第 2 圖 試験片寸法 (耗單位)

第 3 圖 A

第 3 圖 B

第 3 圖 C

圖 A($k=0.2$), B($k=0.4$) 及び C($k=0.6$) の3種類を用意した。同社では之を模範型とし、精密な研磨機に掛けて其 1/10 寸法の曲邊及角隅のゲージ 2 箇宛 3 組と別に 1 箇のゲージ臺枠とを製作した。第 3 圖は其の製品の寫眞である。ゲージは厚さ 10 耗、外周半径 40 耗、扒角 120° の扇形鋼製片で内周を所定の曲邊及び角隅型に削り、焼入れ及研磨仕上げを施したものである。又第 4 圖は臺枠寸法を示して居る。出来上り精度は大體 0.01 耗以下の程度であつた。

第4圖 ゲージ台枠

そこで試験片の製作方を精機工業所に依頼した。C=0.053, $S_1=0.015$, $P=0.067$, $S=0.052\%$ の低炭素極軟鋼材を選び、丸棒から 11 箇の試験材を切り取り、約 850° にて焼鈍を施した上第 2 圖寸法の通りの圓形断面の試験片として仕上げた。出来る丈加工中の歪みを生せぬ様に慎重を期し研磨機に依らず、専ら優秀な熟練工の丹念なる仕上げに依

第5圖 2,3

第5圖 4,5

第5圖 6,7

第5圖 8,9

つて遂に第5圖に示す通りのものを作り上げた。此の工作中前記ゲージの外普通の精密ゲージをも併用した。具表面は皆ホーニク程度の磨き方で鏡の様に光つて居つた。其の出来栄は第 2 及び第 4 表の通りであつた。第 11 號片を除いて他は何れも基準寸法よりも小さく、第 6-B 及び 7-C 號片に於ては 0.155~0.165 耗の誤差を生じて居るのは比較

第5圖 10,11

的大きい。之等の断面形の高さ(断面の底邊と頂點との距離)は何れも 4~5 箇所で測つた 3 つの高さの平均値である。初めての企てであつたが手仕上げとしては可なり良好な出来栄であつた。

3. 實 驗

[1°] 實 驗 装 置

概要は第 6 圖に示す様な装置に依つた。試験片は標點の 2 點に於て夫々鏡取付用環狀枠 R, R を 3 本の螺子止め栓で締付けて居る。鏡 M は環狀枠 R に固定して居て、之れより 1,000 耗隔つた所に置いた圓弧狀の度盛尺 S から来る光線を反射して望遠鏡 T を通じて眼 E に入る。度盛りは 10^{-3} ラヂアン單位で読み、2 箇の度盛り尺の最初の読み s_1 及び s_2 と振られた時の読み s_1' 及び s_2' との差の差 $(s_2' - s_2) - (s_1' - s_1)$ の $1/2$ を取つて振れ角とする。

第 6 圖 試験装置

鏡取付枠を螺子止め栓で締付ける際一様に螺子を廻さないと、枠は試験片の軸に垂直な平面内に落着かないで傾いて來ることとなる。そこで枠を大體試験片に取付けた後、定盤に垂直に立て罫書器を使つて 2 つの枠が軸に垂直な平面に落着いて居るや否やを確め、

更に螺子止め枠を締付直して調整を行つた。此の取付調整は熟練を要し、片締めは禁物である。又試験片の曲面に穿つた刻點小孔に栓の尖端が具合よく嵌込む様にする事は肝要である。勿論小孔は曲面に垂直な方向に且軸に垂直な平面内にある様に穿たねばならない。更に之等は假令へ満足な位置にあつても試験片が如何様に振られても孔底と止め栓の尖端とが點接觸を保ち得る様な螺子締方を施さねばならない。斯様にして鏡取付調整の上試験片を靜に試験機の差込み孔に兩耳を差込み、最後に望遠鏡の調整を行つた。

[2°] 剛性係數測定試験 (第 1 回試験)

本試験では第 3, 5-A, 7-B, 9-C 及び 11 號の試験片の 5 本に就いて行つた。(昭和 10 年 12 月 29 日より同 30 日迄)。試験片は第 2 表の通りの出來榮えであつた。

第 2 表 試験片實測値

試験片 番 號	斷面係數 h	實測平均高さ h' 耗	理 論 高 さ h 耗	高さの誤差 $h-h'$ 耗	換算基準圓半徑 a' 耗	標點間距離 l 耗
3	0	19.975	20.000,00	+0.025	9.987,5	50.33
5-A	0.2	18.173	18.283,88	+0.110,88	9.931	50.189
7-B	0.4	16.696	16.861,40	+0.165,4	9.901,9	50.284
9 C	0.6	15.396	15.485,82	+0.089,82	9.942,1	50.342
11	2/3	15.03	15.000,00	-0.03	10.02	49.939

試験機の手柄を出来る丈徐々に廻し乍ら荷重を加へた。何れも斷面形に應じ彈性限界より低い荷重 1,675, 1,150, 750, 450 及び 350 瓦纏迄夫々進んで再び荷重を漸減して行つた。斷面が圓形より正三角形になるに伴れ荷重の増し方を漸減した。各試験は約 40~50 分間を要した。

其性能は第 7 圖に示す通りであつた。
第 3 號片以外は上り線と下り線とは一致して居ない。之は恐らく試験片の兩耳に於ける間隙、鏡取付枠の取付方、小孔の穿ち方等の影響を受けて居るものと思はれる。

此の性能線圖と後で掲げた公式とから剛性係数を算出して見ると第 3 表の通りになる。其の平均値は $7.794,1 \times 10^5$ 珎/珎² で

第 3 表
第 1 回 試験
(G は $10^5 \times$ 珎/珎² 單位)

試験片 番 號	剛 性 係 數 $G/10^5$
3	7.861,1
5-A	7.786,6
7-B	7.383,1
9-C	7.843,6
11	8.096,1
平 均	7.794,1

第 7 圖

ある。特に第 7-B 號片の値 $7.383,1 \times 10^5$ 珎/珎² は餘りに低かつた。即ち平均値に比し約 5% 少ない。其他は大體 3.7% 以内の變動である。此の鋼材の眞の値は當然第 3 號片(圓形斷面)の値を取る可きである。只第 7-B 號片の値が餘りに低かつたのは遺憾である。

[3] 捩 切 り 試 験

本試験は第 2, 4-A, 6-B, 8-C 及び 10 號試験片に就いて捩切り試験を行つた。(昭和 10 年 12 月 26 日より同 30 日迄)。試験片の出來榮えは第 4 表に示す通りである。

第 4 表 捩 切 試 験 片 實 測 値

試験片 番 號	斷面係數 I	實測平均高さ h' 耗	理 論 高 さ h 耗	高さの誤差 $h-h'$ 耗	換算基準圓半徑 a' 耗	標點間距離 l 耗
2	0	19.990,81	20.000,00	+0.009,19	9.995,405	49.82
4-A	0.2	18.169,60	18.283,88	+0.114,28	9.937,497	49.89
6-B	0.4	16.706,30	16.861,40	+0.155,10	9.908,01	49.931
8-C	0.6	15.415,23	15.485,82	+0.070,59	9.954,267	50.041
10	2/3	14.987,30	15.000,00	+0.012,70	9.991,53	49.762

弾性限界迄は普通の通りの荷重の掛け方で進んだ。弾性限界を超した頃から慎重を期し小刻みに目盛を読み、極徐々に手柄を廻して行つた。降伏領域に可なり這入つてから荷重を掛けて暫く放置し、荷

第 8 圖 第 2 号試験片 円形の場合

第 9 圖 第 4 号試験片 曲辺三角形 (A) の場合

第 10 圖 第 6 号試験片 曲辺三角形 (B) の場合

第 11 圖 第 8 号試験片 曲辺三角形 (C) の場合

第 12 圖 第 10 号試験片 正三角形の場合

重が自然に減じて安定するを待ち、再び荷重を掛けて行く事を繰返した。荷重を掛けて歪みが停止する迄 8~19 分間を要した。大抵十數回之を繰返して行くと安定荷重は少しく上昇して來た。即ち降伏領域以後では少しく荷重を増し、荷重を掛けてから約 1 分間放置した。目盛尺で目盛が測り難くなる迄目盛尺を使ひ、其の以後は専ら目盛板の目盛に頼つた。

降伏領域に這入つて暫く經つと、試験片の表面殊に曲邊の中央部の光澤は次第に減少し、捻回が進むに伴れ表面全體の光澤は無くなつて來た。其の頃から表面は稍粗くなつて梨地肌を呈して來て最後の捩切り近くでは著しく粗荒な表面となつて來た。之等の試験で荷重を掛け始めて捩切る迄約 3~5.5 時間を要した。

第 8, 9, 10, 11 及び 12 圖は直径 80 耗の表示筒に紙を捲付けて鉛筆で描かせた特性曲線圖である。之れに依ると大體斷面形狀が降伏モーメント、最大モーメント、捻回数等に及ぼす影響が窺はれるであらう。降伏領域以後に於ける荷重の描く道程が略々解かる。

第 13 圖 2, 4, 6

第 13 圖 8, 10

第 13 圖は捩切られた試験片の寫眞である。其切斷點は第 4-A 號片のみ中央部に起つて居るが、他は中央より離れた所に起つて居る。且つ切斷部の太さは第 8-C 及 10 號片の如く角隅の鋭い斷面體では細くなつて居る事が明瞭に解かる。切斷面は大體に於て平坦であつて、斷面周邊でぎざぎざのあるものや切斷面の少しく傾いて居るものもあつた。特に丸い丘狀の切斷面を有つて居なかつた。

第 5 表は此の試験中の降伏及び最高モーメント、捩切り所要時間及び捩切り捻回数を示して居る。

第 5 表 捩 切 り 試 験 成 績

試 験 片 番 號	降 伏 モーメント (kgf)	捩切モーメント(kgf)			降伏より捩切り 迄の時間(分)	捩切り迄の 捻回数	捩 切 り 點 中央より(耗)
		最 高	最高安定	最後最高			
2	2,500	7,700	7,350	7,800	82.5	4.15	29
4-A	1,725	5,670	5,325	5,670	204	4.57	1
6-B	1,125	3,850	3,590	3,890	288	3.84	23
8-C	640	2,370	2,250	2,400	281	3.23	29.5
10	490	1,900	1,810	1,925	131	3.42	25.5

表示筒から取つた捻回数は大體驅動絲索の迂りを受けて居るから眞の捻回数よりも小さい。又捩切りの最後最高モーメントと降伏モーメントとの比は夫々 3.12, 3.28, 3.46, 3.75 及び 3.93 であつて、横斷面積の減少するに反し上昇して居る事が解かる。又第 14 圖は降伏及び最高モーメントを圖示したもので、之等の値が斷面積と或る一定の關係のある事も更に一層能く解かるであらう。

目盛尺で読み得る範圍内の記録から性能曲線を引いて見ると第 15 圖の通りになる。之れに依ると第 2 號片に於ては見掛けの第 1 次降伏モーメント 2,600 𪔐𪔐 (φ=11.05×10⁻³ ラジアン) に對し降伏モーメントは 2,500 𪔐𪔐である。従つて第 1 次降伏は甚だ急激であるから傾斜は急である様に見える。然し實際は第 1 次降伏點 (Q=2,600, φ=11.05×10⁻³) の起る前に既に Q=2,500 で φ=11.55×10⁻³ を示して居つた。本片では完全降伏領域と考へられるのは Δφ=15.5-13.3=2.2 ラジアン×10⁻³ であつて、非常に短かい方である。第 4-A 號片では全然圓柱材と異り弾性限界から降伏する状態は稍、緩かであつて、小さい丸味の曲線から平坦な降伏領域へ進行して居る。之は注意すべき點である。降伏モーメントは 1,725 𪔐𪔐であつて、完全降伏領域は Δφ=76.15-12.75=63.4 ラジアン×10⁻³ であつて甚だ長い。特性曲線から外れて居る採點は荷重を掛け始めた點であつて、之等の點と安定點とを夫々連ねると鋸齒状となるであらう。第 6-B 號片では更に徐々に弾性限界から降伏領域へ甚だ滑かに丸味の曲線を辿つて進行して居る。降伏モーメントは 1,125 𪔐𪔐である。完全降伏領域は Δφ=95.75-26.95=68.8 ラジアン×10⁻³ であつて更に長くなつて居る。弾性限界は約 900 𪔐𪔐 (φ=10.5×10⁻³) である。第 8-C 號片及び 10 號片では全く緩かな丸味の曲線を辿つて完全降伏領域へ進行して居る。

第 14 圖

第 6 表
捩 切 り 試 験

(G は 10⁵ × 𪔐/𪔐² 單位)

試 験 片 番 號	剛 性 係 數 G/10 ⁵
2	7.860,5
4-A	7.794,7
6-B	7.804,1
8-C	7.827,2
10	7.818,2
平 均	7.800,9

第15圖

第16圖は弾性限界迄の性能を示したもので、此の圖から剛性係数を算出すると第6表の通りになる。其平均値は第1回試験と極く近似して $7.800,9 \times 10^5$ 珎/珎² であり、又各片の値は餘り變動が少なかつた。第2號片は $7.86,5 \times 10^5$ 珎/珎² を示して居るから、第1回試験の第3號片と殆ど同値と云つて宜しい。従つて之等の圓柱體の平均値を眞の剛性係數と見做して宜しい。

[4] 剛性係數測定試験(第2回試験)

既に第1回試験を行つた第3, 5-A, 7-B, 9-C 及び 11 號試験片に就て約2年7箇月後(昭和13年7月15日より同19日迄)に再試験を行つた。之は材料の時効現象を調べる爲であつた。

第17圖の線圖は試験片の性能を示して居る。然し第1回試験と異り第3號片を2,200珎珎迄又第5-A號片を1,700珎珎迄荷重を掛けて荷重を逆に漸減した。之等の荷重點では既に降伏し始めて居たから、下り線は全然上り線とは平行せず、最初荷重を減するや歪みは少しく減じ、暫く上り線と略々平行して下り、更に屈折して居る。第3號片は此の屈折後再び上り線と略々平行して下つて居るが、第5號片は彎曲して下つて居る。完全降伏領域から荷重を取去れば斯様な變態性能を表はさない。又捩切り試験に用ゐた第2號片では $Q=2,200$ に對し $\phi=9.05 \times 10^{-3}$ の歪みであるのに、第3號片では同じモーメントに對し $\phi=6.5 \times 10^{-3}$ の歪みしか達して居ない。又第4-A號片では $Q=1,700$ に對し $\phi=12.5 \times 10^{-3}$ であつて、第5-A號片では同じモーメントに對し $\phi=11.8 \times 10^{-3}$ である。従つて歪みは同じモーメントに對して少くなつて居る。之れは矢張り注意すべき事である。第

7-B, 9-C 及び 11 號片は共に第 1 回の試験の性能と異り上り線と下り線とは殆ど相重なつて居る。

第 17 圖の線圖から剛性係数を計算すると第 7 表の通りとなる。茲が目立つのは第 3 號片の値が第 1 回試験の値よりも 52.5% も上昇して居る事である。此の値を除き他の 4 片の平均値を探ると 7.96×10^5 斤/厘² であつて、第 1 回の平均値よりも 2.13% の上昇を示して居る。尤も第 1 回試験時期の平均室温が 12.6°C であつたに對し、本試験時期の平均室温は 29.4°C であつた。然し此の位の温度變化で剛性係数が平均値として 2.13% の増加を來たしたのは不思議である。寧ろ測定裝置が温度の影響を受けて斯かる結果を來したと考へられない事はないが、第 3 號片と云ひ又第 7-C 號片と云ひ剛性係数が上昇して居る事實に鑑み、恐らく時效影響を受けて居る事と考へられる。第 3 號片の如きは恐らく最初の材質標準化に缺陷があつたのではないかと思はれる。

第17圖

第7表
第2回試験(G は $10^9 \times \text{廷/輝}^2$ 単位)

試験片 番 號	剛 性 係 數 $G/10^9$
3	11.982,2
5-A	7.792,3
7-B	8.082,5
9-C	7.907,2
11	8.057,9
平 均	7.959,98

4. 基 礎 計 算

[1°] 基 礎 公 式⁽⁴⁾

l : 標點間の距離、 ϕ : 此の標點間の捩れ角、従つて $\phi/l = \tau$: 単位長さの捩れ角、 G : 剛性係數と置くと應力は次の通りになる。

$$\widehat{z\theta} = a\tau G \left[R - \frac{3}{2}KR^2 \cos 3\theta \right] \dots\dots\dots (2)$$

$$\widehat{zr} = a\tau G \left[-\frac{3}{2}KR^2 \sin 3\theta \right] \dots\dots\dots (2_1)$$

今此の式から周邊上の $\widehat{z\theta}$ 及び $\widehat{zr}$ の値並に極軸即ち x 軸に沿う $\widehat{z\theta}$ の値を算出すると第 18, 19 及び 20 圖の通りになる。 x 軸に沿う $\widehat{z\theta}$ の値として圓形断面では直線的に外周から中心に近づくに伴

(4) 澤田正雄: 機械學會論文集 第1巻 第1號 昭和10-2

れて減少するに反し、曲邊正三角形及正三角形断面では何れも曲線的で殊に正三角形断面では曲りが甚だしい。

次にトルク即ちモーメントを求めると

$$Q = \frac{3}{5} a^4 \tau G \int_0^{\pi/3} \left[3(1-K)R_b^2 - \frac{1}{2}R_b^4 \right] d\theta \dots\dots\dots(2_2)$$

$$= \frac{3\pi}{5 \times 180^\circ} a^4 \tau G \int_{0^\circ}^{60^\circ} \left[3(1-K)R_b^2 - \frac{1}{2}R_b^4 \right] d\theta^\circ \dots\dots\dots(2_3)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{3\pi}{40m} a^4 \tau G \left\{ 3(1-K) \left[3 \sum_{m=0}^m R_{bm}^2 - \left(\sum_{s=0}^{3s=m} R_{bs}^2 + R_{b0}^2 + R_{bm}^2 \right) \right] \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{2} \left[3 \sum_{m=0}^m R_{bm}^4 - \left(\sum_{s=0}^{3s=m} R_{bs}^4 + R_{b0}^4 + R_{bm}^4 \right) \right] \right\} \dots\dots\dots(2_4) \end{aligned}$$

第 18 圖 周辺上の $\widehat{Z\theta}/\alpha\tau G$ の値

第 19 圖 周辺上の $-\widehat{Z\gamma}/\alpha\tau G$ の値

第 20 圖

但 $\theta = 180^\circ \theta / \pi$, $m = 3s$; $s = 0, 1, 3, \dots$

今假りに $m = 30$, $\Delta\theta = 2^\circ$ と置くと (24) は次の形になる。

$$Q \doteq \frac{\pi}{400} a^4 \tau G \left[3(1-K)(3\xi_1 - \eta_1) - \frac{1}{2}(3\xi_2 - \eta_2) \right] \dots\dots\dots (25)$$

$$\doteq a^4 \tau G \left[\frac{\pi}{400} f \right] \dots\dots\dots (26)$$

茲に $f = \xi - \frac{1}{2}\xi'$, $\xi = 3(1-K)(3\xi_1 - \eta_1)$, $\xi' = 3\xi_2 - \eta_2$

$$\xi_1 = \sum_{m=0}^m R_{bm}^o, \quad \eta_1 = \sum_{s=0}^{3s=m} R_{b3s}^2 + R_{b0}^2 + R_{bm}^2$$

$$\xi_2 = \sum_{m=0}^m R_{bm}^4, \quad \eta_2 = \sum_{s=0}^{3s=m} R_{b3s}^4 + R_{b0}^4 + R_{bm}^4$$

又圓形ならば $Q = a^4 \tau G [\pi/2]$

正三角形ならば $Q = a^4 \tau G [9\sqrt{3}/80]$

曲邊の中點 $\theta = 60^\circ$ に起る最大剪斷應力は

$$\widehat{z\theta}_{\max} = a \tau G \left[R_o + \frac{3}{2} K R_o^2 \right] \dots\dots\dots (27)$$

但 $R_o = [R_b]_{\theta=\pi/3}$ であるから、(26) と組合はすれば

$$Q \doteq a^3 \widehat{z\theta}_{\max} \left[\frac{\pi}{400} f \right]_i \left[R_o + \frac{3}{2} K R_o^2 \right] \dots\dots\dots (28)$$

此の式は弾性限界即ち降伏領域に將に移らうとする點迄明かに應用出来る。然るに材質が完全塑性を呈する降伏領域ではトルクは一定であるにも不拘捩れ角のみが進展する。即ち剪斷應力は一定の値を取ると考へられる。然し曲邊多角形の様な斷面では曲邊の中點に起る最大剪斷應力が此の降伏領域を支配し、斷面全體が全部こり現象を起して完全塑性となる迄は此の値が一定であると假に考へることとすると、降伏領域に於けるトルクは次の様に書き改められる。

$$Q' \cong 2a^3 \widehat{z\theta}'_{\max} \int_0^{\pi/3} R_b^3 d\theta \dots\dots\dots (29)$$

$$\cong \frac{\pi}{90^\circ} a^3 \widehat{z\theta}'_{\max} \int_{0^\circ}^{60^\circ} R_b^3 d\theta^\circ \dots\dots\dots (2_{10})$$

$$\doteq \frac{\pi}{4m} a^3 \widehat{z\theta}'_{\max} [3\xi_3 - \eta] \dots\dots\dots (2_{11})$$

茲に $m = 3s$, $s = 0, 1, 2, 3, \dots$

$$\xi_3 = \sum_{m=0}^m R_{bm}^3, \quad \eta_3 = \sum_{s=0}^{3s=m} R_{b3s}^3 + R_{b0}^3 + R_{bm}^3$$

前と同様に $m=30$ と置くと

$$Q' \doteq a^3 \widehat{z\theta'}_{\max} \left[\frac{\pi}{120} f' \right] \dots\dots\dots (2_{12})$$

$$\doteq a^4 \tau G f' f'' \dots\dots\dots (2_{13})$$

但

$$f' = 3\xi_3 - \eta_3, \quad f'' = \frac{\pi}{120} \left[R_c + \frac{3}{2} K R_c^2 \right]$$

又圓形ならば

$$Q' = \frac{2\pi}{3} a^3 \widehat{z\theta'}_{\max}$$

正三角形ならば

$$Q' = \frac{1}{4} \left[\sqrt{3} - \frac{1}{2} \lambda g(2 - \sqrt{3}) \right] a^3 \widehat{z\theta'}_{\max}$$

(2₁₃) は (2₁₂) とは本来降伏理論から言ふと同一意義でない。圓柱や特殊材質の多角形断面柱體に對して使はれる場合がある。

第 8 表 $k=0.2$ の場合

θ°	r	r^2	r^4	r^3	θ°	r	r^2	r^4	r^3
0	1.000,000,0	1.000,000,0	1.000,000,0	1.000,000,0	32	.886,254	.785,446,2	.616,925,5	.696,104,8
2	.999,222	.998,444,7	.996,891,9	.997,668,0	34	.878,526	.771,807,9	.595,687,4	.678,053,3
4	.996,907	.993,823,4	.987,684,7	.990,749,2	36	.871,281,5	.759,129,0	.576,276,6	.661,413,7
6	.993,172	.983,390,7	.972,966,6	.979,656,0	38	.864,547	.747,441,5	.558,668,8	.646,198,3
8	.988,067,5	.976,177,5	.953,117,6	.964,627,8	40	.858,349	.736,763,3	.542,820,3	.632,400,1
10	.981,790	.963,911,4	.929,125,4	.946,358,7	計		3.800,587,9	2.896,378,6	3.314,170,2
計		5.918,747,7	5.839,786,2	5.879,059,7	42	.852,712	.727,117,8	.537,241,5	.620,022,1
					44	.847,641	.718,495,0	.516,235,2	.609,057,0
12	.974,557	.949,761,4	.902,049,2	.925,596,8	46	.843,159	.710,917,2	.505,403,2	.599,416,1
14	.966,542,5	.934,204,0	.872,737,6	.902,948,2	48	.839,248	.704,337,5	.496,912,0	.591,114,0
16	.957,933	.917,636,0	.842,055,6	.879,033,8	50	.835,955	.698,820,8	.488,350,4	.584,182,7
18	.948,925	.900,458,8	.810,825,7	.854,467,8	計		3.559,688,3	2.534,142,3	3.003,791,9
20	.939,665	.882,970,2	.779,636,2	.829,696,0	52	.833,246	.694,298,8	.482,050,8	.578,521,5
計		4.585,030,4	4.207,304,3	4.391,742,6	54	.831,138	.690,790,6	.477,191,7	.574,142,4
					56	.829,632	.688,288,9	.473,741,6	.571,026,4
22	.930,323	.865,501,0	.749,092,0	.805,155,5	58	.828,730	.686,793,5	.471,685,3	.569,166,4
24	.921,022	.848,281,6	.719,581,5	.781,285,9	60	.828,388	.686,226,6	.470,907,1	.568,421,0
26	.911,885	.831,534,4	.691,449,3	.758,263,9	計		3.446,398,4	2.375,576,5	2.861,277,7
28	.902,988	.815,280,3	.664,682,0	.736,140,1	合計		25.471,050,0	21.311,992,7	23.246,429,3
30	.894,427	.800,000,0	.640,000,0	.715,541,8	η		10.738,720,6	9.064,859,0	9.840.082.5
計		4.160,597,3	3.464,804,8	3.796,387,2					

横斷面積は次式の通りになる。

$$S = \frac{\pi}{80} a^2 (3\xi_1 - \eta_1) \dots\dots\dots (2_{14})$$

但 ξ_1 及 η_1 は (2₅) と同一である。

[2] トルクの近似積分……数値計算

さてトルク及び應力を算出するには公式 (2₆), (2₇), (2₈), (2₁₂) 等を使へば宜しい。第 1 表に示す周邊に到る半径の値から、例へば第 8, 9 及び 10 表の通り $k=0.2, 0.4$ 及び 0.6 の場合 r^2, r^3 及び r^4 の値を求め置き、次に第 11 表の通りにして積分値の表を作つて置くと、第 12 表の通りトルク及び應力式の係数の値も容易に得られる。

實際問題として単位長さの捩れ角 τ は測定捩れ角 ϕ (ラジアン) を標點間距離 l (糧) で割つた商である。又基準半径 a を 1 糧に採つてあるから實測の断面高さ h' から該當外接圓の半径 a' は次の通り求めた。

即ち断面の相似性を假定すると

第 9 表 $k=0.4$ の場合

θ°	r	r^2	r^4	r^3	θ°	r	r^2	r^4	r^3
0	1.000,000,0	1.000,000,0	1.000,000,0	1.000,000,0	32	.762,539	.581,492,3	.338,133,3	.443,420,7
2	.997,283	.994,573,2	.989,176,2	.991,871,0	34	.751,478	.564,719,0	.318,907,5	.424,373,8
4	.989,442	.978,995,7	.958,432,7	.968,659,4	36	.741,371	.549,631,0	.302,094,2	.407,480,5
6	.977,281,5	.950,690,6	.903,812,6	.926,955,3	38	.732,214	.536,137,5	.287,443,4	.392,567,5
8	.961,860,8	.925,193,7	.855,961,8	.889,916,1	40	.723,952	.524,106,6	.274,687,7	.379,428,0
10	.944,278	.891,661,0	.795,059,4	.841,976,0	計		2.756,036,4	1.521,276,1	2.047,270,5
計		5.741,114,2	5.502,442,7	5.619,377,8	42	.716,583	.513,491,1	.263,673,2	.367,959,1
					44	.710,064	.504,190,7	.254,208,2	.358,007,6
12	.925,483	.856,518,6	.733,624,0	.792,693,2	46	.704,359	.496,121,7	.246,136,7	.349,447,8
14	.906,213	.821,222,0	.674,405,5	.744,202,0	48	.699,202	.488,883,2	.239,006,9	.341,828,1
16	.870,225	.786,808,9	.619,068,3	.699,917,4	50	.695,362	.483,528,2	.233,799,5	.336,227,1
18	.868,275	.753,901,5	.568,367,4	.654,593,7	計		2.486,214,9	1.236,824,5	1.753,469,7
20	.850,254	.722,931,7	.522,680,1	.614,675,3	52	.692,026	.478,900,0	.229,345,1	.331,418,6
計		3.941,382,7	3.118,145,3	3.506,081,6	54	.689,442	.475,327,5	.225,936,2	.327,709,8
					56	.687,606	.472,802,1	.223,541,8	.325,101,3
22	.833,175	.694,180,5	.481,886,5	.578,373,7	58	.686,512	.471,298,8	.222,122,6	.323,552,4
24	.816,942	.637,857,1	.446,033,2	.545,202,0	60	.686,140	.470,788,0	.221,641,3	.323,026,4
26	.801,78	.642,847,7	.413,253,3	.515,421,2	計		2.369,116,4	1.122,587,0	1.630,808,5
28	.787,368	.619,941,8	.384,327,9	.488,119,9	合計		20.518,741,7	14.586,776,5	17,148,883,0
30	.774,596,6	.600,000,0	.360,000,0	.464,758,1	7		8.797,876,6	6.485,830,3	7.544,632,6
計		3.224,827,1	2.085,500,9	2.591,874,9					

$$\begin{aligned}
 \text{基準高さ} \quad h &= a + r_c = a(1 + R_c) = 1 + R_c \quad \text{但} \quad a=1 \text{ 種} \\
 \text{茲に} \quad r_c &= [r_b]_{\theta=\pi/3} \\
 \text{實測高さ} \quad h' &= a' + r_c' = a'(1 + R_c) \quad \therefore \quad R_c = r_c/a = r_c'/a' \quad (\text{假説}) \\
 &\therefore \quad a' \geq a (=1)
 \end{aligned}$$

従つて断面係数 K も亦修正を施す可きである。 $a=1$ ならば $K=ak$ であるから、 $K=k$ となる。故問題はないが、公式 (2c) を半径 a' の断面體に應用するに當り、 $a'k=K$ と考へ、 $K=0.2, 0.4, 0.6$ 及び $2/3$ と置いて第 12 表を其儘實測値の計算に應用すれば甚だ便利である。従つて此の場合眞の断面係数は逆に次の通り書き改める可きである。

$$k = K/a'$$

斯様な考へからして實測高さから假想基準半径 a' を算出した。實測數値からトルクや應力式の係數を算出すると第 13 表の通りとなる。尙ほ第 12 表の理論係數を圖示すると第 21 圖の通りになる。曾て (2₁₁) から正三角形の断面に就き Q' の係數を算出したが、 $\Delta\theta=2^\circ$ 毎に採つた場合の係數値は嚴

第 10 表 $k=0.6$ の場合

θ°	r	r^2	r^4	r^3	θ°	r	r^2	r^4	r^3
0	1 000,000,0	1 000,000,0	1 000,000,0	1 000,000 0	32	620,876	385,499 4	148,609,8	239,351,3
2	985,157	970,534,4	941,937,4	956,129,0	34	609,692	371,724,3	138,179,0	226,637,4
4	952,182	906,650,6	822,015,4	863,296,6	36	599,968	359,961,7	129,572,4	215,965,4
6	914,799	836,857,4	700,330,1	765,556,2	38	591,240	349,564,7	122,195,5	206,671,9
8	878,222	771,274,0	594,863,3	677,349,6	40	583,442	340,404,5	115,875,2	198,606,4
10	844,114	712,528,3	507,696,7	601,455,3	計		1 807,154,6	654,431,9	1 087,232,4
計		5 197,844,7	4 566,842,9	4 863,786,7	42	576,553	332,413 5	110,498,7	191,654,0
					44	570,493	325,462,2	105,925,6	185,673,9
12	812,815	660,668,1	436 482,5	527,028 6	46	565,231	319,486,1	102,091,7	180,583,5
14	784,284	615,101,3	378,349,4	482,414,0	48	560,731	314,395,6	98,844,7	176,284,8
16	758,349	575,093,1	330,732,1	436,111,3	50	556,974	310,220,0	96,236,4	172,784,4
18	734,787	539,914,7	291,507,9	393,723,4	計		1 601,977,4	513,597,1	996,980,6
20	713,382	508,913,7	258,993 2	363,049,3	52	553,933	306,841,8	94,151,9	169,969,9
計		2 899,690,9	1 696,065,1	2 215,627,1	54	551,576	304,236,0	92,559,6	167,809,2
					56	549,906	302,396,6	91,443,4	166,289,6
22	693,942	481,555,5	231,895,7	334,171,6	58	548,917	301,309,7	90,787,6	165,394,0
24	676,727	457,459,3	209,726,8	309 913,5	60	548,582	300,942,3	90,566,2	165,091,5
26	660,220	435,890,5	190,000,5	287,783,6	計		1 514,726,4	459,508,7	834,554,2
28	645,768	417,016,2	173,902,1	269,295,1	合計		15 213,815,5	8 855,970,8	11 362,027,0
30	632,455,4	400,000,0	160,000,0	252,982,2	7		6 808,290,9	4 410,655,1	5 344,100,3
計		2 192,421,5	965,525,1	1 454,146,0					

第 11 表 近似積分値表

	$k=0.1 \quad h=2^\circ$			$k=0.2 \quad h=2^\circ$		
	r^2	r^4	r^3	r^2	r^4	r^3
ξ	28-101,328,7	25-615,550,8	26-802,997,5	25-471,050,0	21-311,992,7	23-246,429,3
3ξ	84-303,986,1	76-846,652,4	80-408,992,5	76-413,150,0	63-935,978,1	69-739,287,9
η	11-799,780,6	10-771,401,5	11-265,884,0	10-738,720,6	9-064,859,0	9-840,082,5
$3\xi-\eta$	72-504,205,5	66-075,250,9	69-143,118,5	65-674,429,4	54-871,119,1	59-899,205,4
ζ	195-761,374,85			157-618,630,56		
$\frac{1}{2}\zeta'$	33-037,625,45	33-037,625,45		27-435,559,55	27-435,559,55	
$\xi-\frac{1}{2}\zeta'$	162-723,729,40			130-183,071,01		
	$k=0.3 \quad h=2^\circ$			$k=0.4 \quad h=2^\circ$		
	r^2	r^4	r^3	r^2	r^4	r^3
ξ	22-982,139,2	17-735,030,9	20-088,248,2	20-518,741,7	14-586,776,5	17-188,883,0
3ξ	68-946,417,6	53-205,092,7	60-264,844,6	61-556,225,1	43-760,329,5	51-446,649,0
η	9-755,677,7	7-681,090,4	8-605,517,8	8-797,876,6	6-485,830,3	7-574,632,0
$3\xi-\eta$	59-090,739,9	45-524,002,3	51-559,323,8	52-758,348,5	37-274,499,2	43-872,016,4
ζ	124-090,553,79			94-965,027,3		
$\frac{1}{2}\zeta'$	22-762,001,15	22-762,001,15		18-637,249,6	18-637,249,6	
$\xi-\frac{1}{2}\zeta'$	101-328,552,64			76-327,777,7		
	$k=0.5 \quad h=2^\circ$			$k=0.6 \quad h=2^\circ$		
	r^2	r^4	r^3	r^2	r^4	r^3
ξ	17-988,691,5	11-705,654,0	14-447,595,7	15-213,815,5	8-855,970,8	11-362,027,0
3ξ	53-966,074,5	35-116,962,0	43-341,887,1	45-641,446,5	26-537,912,4	34-086,081,0
η	7-837,742,6	5-428,684,0	6-415,534,7	6-808,290,9	4-410,655,1	5-344,100,3
$3\xi-\eta$	46-128,331,9	29-688,278,0	36-926,352,4	38-833,155,6	22-157,257,3	28-741,980,7
ζ	69-192,497,85			46-599,986,72		
$\frac{1}{2}\zeta'$	14-844,139,0	14-844,139,0		11-078,618, 5	11-078,628,65	
$\xi-\frac{1}{2}\zeta'$	54-348,358,85			35,421,158,07		
	$k=2/3$					
			$r^3, h=2^\circ$			$r^3, h=1^\circ$
ξ			9-136,169,8			17-609,077,3
3ξ			27-408,509,4			52-827,231,9
η			4-585,763,1			7-542,068,8
$3\xi-\eta$			22-822,746,3			45-285,163,1
			22-822,746,3			22-642,581,55

第 12 表 理論トルク及應力の諸係数の関係値

k	f	$Q/a^4\tau G$	$\frac{z\theta_{\max}}{a\tau G}$	$\frac{Q/a^3}{z\theta_{\max}}$	f'	$Q'/a^4\tau_e G$	$\frac{Q'/a^3}{z\theta'_{\max}}$
0	200 000,000	1 570,796,3	1 000,000,0	1 570,796,3	80 000,000,0	2 094,351,0	2 094,351
0.1	162 723,729	1 277,881,8	1 032,085,7	1 238,145,0	69 143,118,5	1 868,203,6	1 810,125
0.2	130 183,071	1 022,455,5	1 034,256,0	0 988,590,3	59 899,205,4	1 621,842,2	1 568,125
0.3	101 328,553	0 795,832,6	1 012,230,2	0 786,217,0	51 559,326,8	1 366,221,2	1 349,792
0.4	76 327,778	0 599,477,0	0 968,752,8	0 618,813,4	43 872,016,4	1 112,653,8	1 148,546
0.5	54 348,359	0 426 851,0	0 904,516,4	0 471,917,4	36 926,352,4	0 874,404,4	0 966,709
0.6	35 421,158	0 278,197,1	0 819,430,1	0 339,500,5	28 741,980,7	0 616,578,1	0 752,447
2/3	24 810,526	0 194,855,7	0 750,000,0	0 259,807,3	22 827,857,2	0 448,224,0	0 597,619

正な公式から求めた値に比し 0.811% 少なかった。従つて圓形及び正三角形以外の曲邊正三角形の斷面形に對して 10% 以下の誤差は本質的に存在するものと考へられるであらう。

5. 試験結果の綜合的考察

[1] 弾性領域の性質

扱切り、第 1 回及び第 2 回試験結果から剛性係数を概論する前に、同一試験片に就いて行つた 2 回の性能線圖を重ねて見ると第 22 圖の通りになる。又第 14 表に示す係数の表を通覧すると、第 3 號片の第 2 回試験結果を除外した總平均値は $7 818,3 \times 10^5$ 又各試験の平均値は 大々 $7 800,9 \times 10^5$, $7 794 \times 10^5$ 及 $7 96 \times 10^5$ 珎/珎² であるから、第 2 回の平均値は總平均値に比し 1.8% 多く、又第 1 回の平均値に比し 2.13% 多く、扱切り試験の平均値に比し 2.08% 多い事となる。

第 21 圖

斷面形狀が圓又は直線から成立して居ない場合、之を正確な寸法に仕上げる事は到底望まれない。假令へ正確に近い寸法に仕上げられても、測定鏡取付枠を正確に且如何様に扱られても絶対に狂はぬ

第 13 表 實測トルク及應力の諸係数の關係値

試験片 番 號	K	α'^4	$Q/\tau G$	$\frac{z\theta_{\max}}{\tau G}$	$Q/z\theta_{\max}$	$Q'/\tau_e G$	$Q'/z\theta'_{\max}$
2	0	0.998,103,3	1.567,817,0	0.999,540,5	1.568,537,7	2.090,378,6	2.091,465,2
3	0	0.995,009,4	1.562,957,0	0.998,750,0	1.564,191,3	2.083,898,9	2.086,507,1
4-A	0.2	0.975,235,3	0.997,134,4	1.027,791,6	0.970,990,1	1.581,675,6	1.537,442,2
5-A	0.2	0.975,822,4	0.997,734,9	1.027,947,0	0.970,639,3	1.582,628,6	1.538,019,2
6-B	0.4	0.963,709,4	0.577,721,6	0.959,841,2	0.601,892,9	1.079,378,9	1.117,140,3
7-B	0.4	0.961,323,2	0.576,289,4	0.959,249,3	0.600,770,2	1.069,620,1	1.115,035,0
8-C	0.6	0.981,833,3	0.272,243,8	0.812,557,1	0.335,044,4	0.605,376,9	0.742,170,6
9-C	0.6	0.977,041,3	0.270,834,0	0.813,877,4	0.332,770,0	0.602,642,3	0.738,701,1
10	2/3	0.996,616,9	0.194,196,9	0.749,364,8	0.259,148,6	0.446,707,6	0.594,588,7
11	2/3	1.008,024,0	0.196,419,2	0.751,500,0	0.261,363,5	0.451,820,5	0.601,211,9

様に取付ける事は甚だ難事である。従つて曲邊正三角形の斷面柱體の試験結果として幾分の誤差や數値の變動は當然ある可きである。然し今回の實驗では其差異は案外少なかつた方である。

同一長さの試験片に横孔を穿つたり、縦溝を掘つて試験したのとは異り、今回の試験片の様な斷面形では其の剛性係数は決して斷面形狀から來る影響を受けないで略々一定値となる可きである。只斷面寸法の誤差、算出公式の誤差、測定裝置及測定器の誤差、測定者の目盛讀取の誤差、溫度差の影響等の存在する事は勿論であるが、之等も出來る丈注意して置けば結果も段々確實なものとなる。

同一試験片を約 2 年 7 箇月

第 14 表 剛性係数 (G は $10^5 \times$ 珎/珎² 単位)

試験片 番 号	断面係数 K	換算断面係数 $k = K/a'$	捩切試験片 $G/10^5$	第 1 回試験 $G/10^5$	第 2 回試験 $G/10^5$	G の平均値 $G/10^5$
2 3	0 0	0 0	7-860,5	7-861,1	(11-982,2)	
4-A 5-A	0.2 0.2	0.201,257,9 0.201,227,5	7-794,7	7-786,6	7-792,3	7-789,5
6-B 7-B	0.4 0.4	0.403,713,8 0.403,096,0	7-804,1	7-383,1	8-082,5	7-732,8
8-C 9-C	0.6 0.6	0.602,756,6 0.603,494,2	7-827,2	7-843,6	7-907,2	7-875,4
10 11	2/3 2/3	0.667,231,8 0.665,336,0	7-818,2	8-096,1	8-057,9	8-077,0
G の平均値			7-800,9	7-794,1	7-959,98	7-868,7
總 平 均 値			7-818,3			

後に再試験を行つた結果、第 1 回の結果と大に異つて居る點のあつたのは案外であつた。殊に第 3 號片の剛性係数が第 1 回の時よりも約 52.5% も増大して居る事や、第 7-B 號片が約 9.5% も増して居る事や、又第 2 回の平均値が第 3 號片を除いても第 1 回の平均値に比して 2.13% も多くなつて居る事は奇異な現象である。尤も第 2 回試験の室温が第 1 回試験の時よりも $29.4^\circ - 12.6^\circ = 16.8^\circ \text{C}$ 上昇して居た事は測定装置に幾分の影響を與へて居たであらうが、剛性係数が逆に上昇して居るのは更に奇異である。之等の事實から判定すると矢張り時效影響に依るものと思はれる。第 3 號片の如きは材質の標準化に缺陷があつたのではないかと思はれる。

上述の通り剛性係数は断面形の簡単なものでないとか全く正確に求められない。此の種の鋼材の剛性係数としては圓形柱體の試験片第 2 及び 3 號片から得た平均値 $7.860,8 \times 10^5$ 珎/珎² を採れば無難であらう。今此の平均 G と各試験片の實測 G とを採つてトルクや應力を算出すると第 15 表の通りとなる。此の表の値から各試験片の實測 G に依るトルク線と圓柱から得た平均 G に依る理論トルク線とを描いて見ると、後で掲げた第 26 圖の通りとなる。従つて理論トルク公式は實驗結果に徴して確實であることが立證出来る譯である。

[2°] 捩切る迄の性質一般

此の試験で既に剛性係数、降伏及最高モーメント、捩切り捻回数等の關係が明かとなつた。

最初鏡の様に光つて居つた試験片の表面が捩られて行くに伴れ、曲邊の中央部で全長に亘つて光澤を失ひ始め、捻回が進むに従ひ梨地肌となり、全面に此の現象が廣がつて行く事は明かに最大剪斷應力の誘起に依る材質の迂り現象の起つて居る事を示して居る。即ち此の種の断面柱體では迂りは全長

第15表 實測トルク及應力結果

試験片 番 號	斷 面 係 數		$Q/\tau \times 10^5$		$\widehat{\alpha\theta_{\max}}/\tau$		$Q'/\tau_c \times 10^5$	
	K	k	實 測 G	平 均 G	實 測 G	平 均 G	實 測 G	平 均 G
2	0	0	12,323,826	12,324,296	7,084,888	7,084,918	16,431,808	16,442,435
3	0	0	12,286,561	12,286,092	7,851,234	7,850,914	16,381,738	16,381,112
3	0	0	16,857,044		10,741,871		22,475,587	
4-A	0.2	201,258	7,772,344	7,838,374	8,011,307	8,069,264	12,569,260	12,433,036
5-A	0.2	201,228	7,784,358	7,858,716	8,068,531	8,136,380	12,323,043	12,440,727
5-A	0.2	201,228	7,820,400		7,999,804		12,332,128	
6-B	0.4	403,714	4,507,597	4,540,463	7,490,697	7,545,120	8,423,721	8,484,922
7-B	0.4	403,096	4,253,773	4,530,096	7,082,186	7,540,467	7,897,059	8,408,070
7-B	0.4	403,096	4,657,871		7,753,152		8,645,226	
8-C	0.6	602,757	2,130,922	2,140,054	6,360,063	6,387,349	4,738,418	4,758,747
9-C	0.6	603,494	2,128,305	2,128,972	6,383,704	6,397,728	4,726,867	4,737,251
9-C	0.6	603,494	2,141,539		6,435,491		4,765,213	
10	2.3	667,232	1,438,850	1,526,542	5,783,747	5,890,607	3,447,779	3,511,479
11	2.3	665,336	1,586,291	1,544,012	6,084,182	5,907,391	3,657,961	3,551,670.5
11	2.3	665,336	1,582,728		6,055,519		3,640,729	

注意 實測 G は各試験片の G の値を用ひて算出した結果である。

平均 G は圓形斷面柱の平均 G の値を用ひて算出したものである。

に亘つて一様に曲邊の中點から起つて次第に隣りの點へ進展して行つた事を示して居る。圓形柱體では表面全體が一様に光澤を失ひ始め、段々梨地肌となつて行つた。此の現象は圓形よりも正三角形へと斷面形が瘠せて行くに伴れ段々早く起つて居る。又捩切り捻回数も之れに應じて段々減少して居る。即ち圓に内接する曲邊正三角形の横斷面積は段々小さくなるから、同一トルクを受けて斷面積の小さくなる程曲邊の中點に起る最大剪應力は早く且強く利いて來て塑性から流性へと早く移り、從つて捩切られ易くなる。切斷點は必ずしも長さの中央とは限らない。流性領域で切れさうな所は早く瘠せて來る。丸味の多い斷面柱體では仲々瘠せて來なかつた。全く瘠せないで切れた。切斷面は概して平坦であつた。表面に近い所では捩れ皺の影響を受けて幾分ぎざぎざの生じて居るものもあつた。切斷面は圓柱片を除いて軸に直角であつたし、軸心は曲つて居なかつた。之等は捩り理論と一致し又

流性領域に於ける特性として迂り方向にのみ分子は移動し、之れに直角な軸方向に移動しない理論と能く一致して居る譯である。

第8圖から第12圖までの線圖を通覽すると流性領域では荷重を加へた瞬間から歪みが増し、荷重の急に降下して安定する有様が明かに見受けられる。即ち荷重を加へると急に斜に上り、次に極緩かな傾きの直線に沿うて上昇し、前の安定荷重より稍、高い安定點へ向つて急に降下して居る。従つて此の直線部分では略、一樣の速さを以つて材質の迂り現象を起し、迂りか停止すると同時に荷重は幾分降下して安定することとなる。次の迂りを起させるには前に加へた荷重より更に高い荷重を掛けねばならない。之れが流性領域に於ける迂りと降伏領域に於ける迂りと異つて居る點である。降伏領域では加へる荷重の大きさが一定であつても差支へがないが、其の安定荷重は常に一定である。又荷重を掛けても相當長い時間放置して置かないと迂り始めない。即ち迂り始める時の摩擦抵抗は相當大きいと云はねばならない。之に反し流性領域では荷重を掛けても早く迂るから時間は掛らない。實驗では約1分間の間隔を置いた位である。此の意味から降伏領域は流動體と固體との中間體の性能を持つ事とならう。降伏領域の初期は弾性を多分に有つて居るから迂りは起り難くもあり、起れば急激的である。流性領域に於ける荷重點の辿る道跡から考へると矢張り略、同様の道跡を完全降伏領域に於ても描かれて居るのではないかと思はれる。只迂る量は少くて逆に時間を相當長く要するのが異つて居る。(第27圖は此の間の消息を想像して描いたものである)。

降伏モーメント Q' と捩切り最大最後モーメント $Q_{\max}$ との間に次の様な 1 次線的關係があつた。

$$Q' = 0.342 (Q_{\max} - 500) \dots \dots \dots (3)$$

[3°] 弾性限界より降伏領域の終る迄の性質

第15圖の特性曲線に就いて言ふと、第2號片は尖つた山形の頂點から急に下り、澁み状態から愈、安定な降伏領域に進んで居る。第4-A 號片では弾性直線から急に曲つて降伏領域に這入つて居る。第6-B、8-C 及び 10 號片では段々と緩かな曲線に沿うて一定モーメントの状態となつて居る。即ち特性曲線は斷面が丸味の減少する程段々と滑かに且緩かに曲ることとなる。且又降伏領域も段々長くなつて居る。

第 16 表 降伏モーメントと剪斷應力の値

試験片 番 號	降伏モーメント		$\widehat{z\theta}_{\max}$		$\widehat{z\theta}'_{\max}$		$\widehat{z\theta}_{\max}/\widehat{z\theta}'_{\max}$		$\widehat{z\theta}_{\max}/\widehat{z\theta}'_{\max}$		誤 差
	砵 糧	%	砵/耗 ²	%	砵/耗 ²	%	實測比	%	理論比	%	
2	2,500	100	15.958,4	100	11.950,4	100	1.334,7	100	1.333,3	100	+ 0.105,0
4-A	1,750	70	18.022,8	113	11.382,5	95.4	1.583,4	118.5	1.586,5	118.7	- 0.195,5
6-B	1,125	45	18.691,0	117	10.070,4	84.3	1.853,0	139	1.856,0	139	0
8-C	640	25.6	19.101,3	119.7	8.623,4	72.2	2.215,1	166	2.216,3	166	- 0.057,5
10	490	19.6	18.908,1	118.3	8.241,0	68.9	2.303,1	172.5	2.300,2	172.5	+ 0.123,3

さて捩切り試験の際に得た降伏モーメントの値を公式 (2₈) 及び (2₁₂) に代入して最大剪断應力 $\widehat{z\theta}_{\max}$ 及び降伏領域中の一定剪断應力 $\widehat{z\theta}'_{\max}$ 竝に應力比 $\widehat{z\theta}_{\max}/\widehat{z\theta}'_{\max}$ を算出すると、第 16 表の通りになる。之に依ると應力比は圓形から正三角形に横断面積の減少するに従ひ、1.335 から 2.303 迄増加して居る。此の比は理論値と比較すると殆ど一致して居る。

第 17 表 断面積

断面係数 k	理論面積		試験片 番 號	實測面積	
	平方糎	%		平方糎	%
0	3,141,592	100	2	3,138,706	100
0.1	2,847,237	90.6			
0.2	2,579,029	82.1	4-A	2,547,892	81.1
0.3	2,320,488	73.9			
0.4	2,071,816	65.9	6-B	2,033,874	64.6
0.5	1,811,455	57.7			
0.6	1,524,974	48.5	8-C	1,511,053	48.1
2/3	1,299,038	41.4	10	1,296,838	41.3

第 2 號片の此の比の値は從來發表されて居る値と大差ない。

次に横斷面積を公式 (2₁₄) から求めると第 17 表が得られる。斷面係數 K や面積比 S/S_0 を基準に採りトルク、應力及び應力比の百分比を圖示すると第 23, 24 及び 25 圖が得られる。之等の表及び圖表から降伏モーメント、最大剪斷應力、降伏領域中の一定剪斷應力及び應力比が斷面係數或は斷面積に依り如何に變化を受けるかが一層明瞭となつて来る。モーメント比 Q'/Q'_0 は大體面積比 S/S_0 に比例することが容易に解る。

[4^c] 降伏領域の再吟味

(i) 降伏過程の學說

第 15 圖の特性曲線を通覽すると、降伏領域の初めの部分の特性曲線は山形と丸味ある曲線との 2 種類ある様に見える。従つて降伏荷重は前者では第 1 次降伏點と見られる荷重より低く、後者では之れより高くなる。

一般に圓柱の軟鋼材の捩り特性曲線では彈性直線の終點に山形の出来るのは普通で、特殊な鋼材では平坦な水平線となることもある。中西博士⁽⁵⁾や湯淺博士⁽⁶⁾の學說に依ると、比較的急に荷重を彈性限で受けると、何處かの横斷面で彈性的安定が破れ材質は急に迂り始めるから急に捩れを生じ荷重は急に降る。次に荷重を加へると隣の横斷面に又第 2 次迂りを起して安定する。之を繰返して行くから迂り層は順次軸方向に發生する。従つて之等の安定荷重點を連ねると殆ど水平線となつて来る。之を第 1 種の迂り⁽⁷⁾と名付ける。尤も之れは材質に依つても異なる。或種の材質では横斷面から見て放射狀に楔形迂り層の發生する場合には、第 1 次降伏點から急激に荷重が降つて最後の降伏荷重に達せず、次の荷重の加はるや、同一の横斷面から見て放射狀迂り層の隣りに又新たな迂り層が發生し、其の安定荷重點は前の安定荷重點より下つて来る。従つて之等の安定荷重點を連ねると曲線となり、遂に一定の安定荷重に達する。之を第 2 種の迂り⁽⁸⁾と名付ける。然るに正方形や矩形の様な斷面柱體では斷面の中點に作用する最大剪斷應力が著しく影響し、此の中點線（各斷面周邊の中點を結ぶ直線）に沿ふて楔狀の迂り層を發生し、次に兩側に迂り層は進展するから此等の安定荷重點を連ねると特性線は急に彈性直線から傾いて来る。全周に互り迂りが續いて發生すると特性線は平坦になつて来る。矩形斷面形では長邊と短邊とで起る迂りの順位は違つて居るから特性曲線として角張つて来る。之を第 3 種の迂り⁽⁹⁾と名付ける。

今回の捩切り試験片は極軟鋼であり、表面を鏡の様に磨いてあつた爲めか、圓柱に於てさへ特性曲線は彈性直線から曲線的に外れ出して居つた。従つて純然たる第 2 種迂りでなかつた様である。即ち第 2 號片（圓形）では全長に互り第 2 種迂りを最初緩漫に起し、次に第 2 種迂りを急に起した様に見える。然し第 1 次降伏點と考へられて居る點からは漸次曲線は降下して遂に完全降伏に這入つて居る

(5) 前掲

(6) 機械學會論文集 第 1 卷 第 4 號 昭和 10-10

(7), (8), (9) 迂り方の種類は内部的迂り發生の様式を指して居て、迂つた時の特性曲線の形狀を意味して居ない。

ことは確實である。曲邊正三角形や正三角形断面體では疑もなく第3種に起して居ることは明かである。而も特性曲線が曲線的に曲つて居て、断面曲邊の曲り方に相應する丸味を逆比例的に表はして居る事は注意すべきである。

(ii) 降伏曲線の再吟味

弾性限界から降伏し始める状態を圖上で更に詳しく調べる事にしよう。第15圖の捩れ角を擴大し且記録探點を順次に連ねて見ると第26圖の通りになる。之れに依ると第2號片では $Q=2,000$,

$\tau=1.6224 \times 10^{-3}$ で既に弾性直線から外れ始め、荷重の増すに伴って曲線的に上昇して居る。點 1 ($Q=2,400, \tau=0.0640 \times 10^{-3}$)、點 2 ($Q=2,500, \tau=2.3150 \times 10^{-3}$)、點 3 ($Q=2,600, \tau=2.2146 \times 10^{-3}$) から急に點 4 ($Q=2,530, \tau=2.6261 \times 10^{-3}$) へと下り一時激んで點 7 ($Q'=2,500, \tau=2.6662 \times 10^{-3}$) で漸く完全降伏領域に進入して居る。従つて點 3 は何等比例限界でもなければ又弾性直線の終點でもない。即ち一種の異常な性質を帯びた降伏點である。點 6 も亦同様異常な點である。測定鏡取付枠の止め栓の尖端が落着きが悪い爲め接觸點で狂つたのではないかと思はれる疑もあるが、さうでは無いらしい。

第 4-A 號片では既に $Q=1,335$ で弾性直線から外れ曲線的に上昇し點 1 ($Q=1,700, \tau=2.4494 \times 10^{-3}$) から點 2 ($Q=1,800, \tau=3.5618 \times 10^{-3}$) へ荷重を加へた處 8 分間の読みは點 3 ($Q=1,725, \tau=2.3993 \times 10^{-3}$) であつた。而も此の試験片の降伏荷重は $Q'=1,725$ である。點 3 も亦異常な點である。

第 6-B 號片では略、 $Q=900, \tau=3.0360 \times 10^{-3}$ で降伏し始め、點 1 ($Q=1,000, \tau=3.3378 \times 10^{-3}$) で相當降伏して居るにも不拘、荷重 $Q=1,100$ を掛けた處振れ角は逆に戻つて點 2 ($\tau=3.0374 \times 10^{-3}$) に落着いて居る。

第 8-C 號片では $Q=500, \tau=2.3828 \times 10^{-3}$ で丁度降伏し始め、點 1 ($Q=450, \tau=3.3761 \times 10^{-3}$) から點 2 ($Q=475, \tau=3.366 \times 10^{-3}$) で異常曲線を示して居る。

線圖では荷重を掛け始めた點を結ばないで安定した點のみを連ねて居る。安定點の外に異常な點が存在して居る場合、此の採點の順序に依り安定點と異常な點とを結ぶ中點を通る様に曲線を描いて居る。若し安定點のみを採つて點線で示す様に曲線を引けば、第 2 號片の場合も特性曲線として他の試験片の特性曲線と餘り變らないものとならう。只此場合断面周邊の曲り方に反して逆に特性曲線は圓滑になる。即ち曲邊よりも直線邊を持つ断面形に對しては降伏し始めると緩かな且滑かな曲線を描つて降伏領域に這入ることを示して居る。

要之最初降伏特性曲線が 3 種類ある様に見えたが、再吟味に依り 2 種類の曲線であることが明かとなつた。更に之を標準化して示すと第 27 圖の A 型

第 27 圖

は圓柱體の又 ⑥ 型は曲邊正三角形及び正三角形の柱體の降伏特性曲線である。何れも降伏の初期では曲つて居る。前者では第 2 種の迂りに極近い迂りを起し、後者では第 3 種の迂りを起したものである。ただ前者では降伏モーメントより高い荷重で異常な反撥點を有し、後者では降伏モーメントに相等しいか或は稍、低い荷重の異常な反撥點を残して居る。

[5] 彈塑混性領域の性質

(i) 異常な曲線

眞の彈性限界から完全塑性領域の始點（此の點は明瞭ではないが特性曲線から推定される）迄の領域は混性領域である。此の領域の初めの部分は矢張り彈性が餘程利いて居る。荷重に對する内部的迂りの安定は確實でなく多分に不安定を持つて居る。材質が部分的に迂り始めて居るが未だ大部分（軸心に近い部分又は曲邊の中點から離れた部分）は彈性的に安定荷重に抵抗し乍ら釣合つた状態にある。此の際稍、急に而も高い荷重を受けると迂りを起すどころか却つて逆に戻る異常な結果を得た。第 2 號片の點 3 や第 6-B 號片の點 2 は之れに相當すると考へられる。然し相當降伏が進んだ時期で高い荷重を加へても迂りは徐々に進行し、丁度安定の状態に達しようとする。之れと同時に荷重も降下する。此の瞬間に此の異常なる結果が見られた。第 4-A 號片の點 3 に相當する。而も落着いた點の荷重は降伏モーメントに等しいか或は之れより低い。これらの異常なる結果に就いては尙研究を要する。

(ii) 荷重降下線の性質

翻つて第 17 圖を見ると第 2 回試験の第 3 及び 5-A 號片の下り線は上り線と平行して居ない。第 5-A 號片は曲邊に起る最大剪斷應力の影響を多分に受けて居るから第 3 號片の下り線とは少しく異つて居る。第 2 號片では初めは上り線と平行して居たものが、屈折して再び上り線に平行して下つて居る。第 5-A 號片では此の屈折部分が長く最後に再び上り線と略、平行して居る。従つて混性領域で荷重を下げて行くと下り線と上り線とは相平行せずして少しく變則的となる。完全塑性領域では全く上り線に平行して下るのが普通である様である。斯様にして混性状態にある點から荷重を取去ると完全彈性領域の歪みと混性領域中に存在する彈性歪みとは消失し、遂に塑性歪みのみが永久歪みとして取残されることとなる。第 28 圖で更に標準化して圖示すると此

の関係は自ら明かとなるであら

第 28 圖

う。只混性領域ではトルクと歪みとの関係は複雑な曲線式で表さねばならないが、其の最も単純な場合に次の関係ある事は容易に了解出来るであらう。

$$Q' - Q_p = \phi(\tau_{ea} - \tau_p)^{1/n} \dots\dots\dots (3_1)$$

茲に ϕ = 係数、 n = 曲線 pq の曲りを表はす次數、 τ_{ea} = 曲線 pq 上の點に於ける歪み (a 點)、 τ_p = 弾性限界點 p に於ける歪み。

(ii) 弾性限界及完全降伏點のトルク及應力

第 26 圖で求めた弾性限界を連ねると一種の曲線が得られる。此の點のモーメント Q_p は大體降伏モーメント Q' と 1 次線的關係がある。

$$Q_p = 0.78 Q' \dots\dots\dots (3_2)$$

(3) の關係を使ふと

$$Q_p = 0.266,8 (Q_{\max} - 500) \dots\dots\dots (3_3)$$

即ち弾性限界のトルクは最大捩切りトルクと 1 次線的關係があることとなる。従つて弾性限界のトルクから降伏トルクや最大捩切りトルクが推定出来ることとなる。勿論材質が異れば (3₂) や (3₃) の係数や恒数は自ら變つて來るであらう。

更に Q_p の値から應力 $\widehat{z\theta}_{\max}$, $\widehat{z\theta}'_{\max}$ 及び應力比 $\widehat{z\theta}_{\max}/\widehat{z\theta}'_{\max}$ を求めると第 18 表が得られる。應力比は第 16 表と大に異つて居る。又斷面係数 K や斷面積比 S/S_0 を基準にしてトルク、應力及び

第 18 表 モーメント及應力の値

試験片 番 號	弾 性 限 Q_p		弾 性 限 $\widehat{z\theta}_{\max}$		降 伏 界 Q'		降 伏 界 $\widehat{z\theta}'_{\max}$		$\widehat{z\theta}_{\max}/\widehat{z\theta}'_{\max}$	
	珪 粒	%	珪/粒 ²	%	珪粒	%	珪/粒 ²	%	比	%
2	2,000	100	12.750,7	100	2,500	100	11.950,4	100	1.067,9	100
4-A	1,335	66.8	13.749,9	107.8	1,725	69	11.382,5	95.3	1.207,9	113
6-B	885	44.3	14.703,6	115.2	1,125	45	10.070,4	83.6	1.460,0	136.7
8-C	500	25	14.922,7	117	640	25.4	8.623,4	72.2	1.729,3	162
10	375	18.8	14.470,5	113.3	490	19.6	8.241.0	69	1.755,9	164.3

應力比を圖示すると第 29 及び 30 圖の通りになる。トルク比 Q_p/Q_0 と Q'/Q_0 とは殆ど相重なつて居る。

6. む す び

上述の事柄を要約して結論を述べると次の通りである。

1. 今回試験に供した極軟鋼材は大體 7.86×10^5 珪/粒² の剛性係数のものであつた。
2. 試験片の斷面形が簡單でなかつたから曲邊型ゲージを使用し、熟練工に依つて手仕上げとした。出來榮えは良好であつた。
3. 同一試験片に就いて第 1 回試験の時よりも 2 年 7 箇月後に行つた第 2 回試験の剛性係数の平

均値は約 2% 上昇して居た。第 2 號片（圓形斷面）の値は第 2 回試験では第 1 回の時よりも 52.5% も増大して居たから平均値に加へて居ない。従つて時効影響があると思はれる。

第 29 圖

第 30 圖

4. 振切り試験結果に依ると降伏モーメント Q' 、最大振切りモーメント $Q_{\max}$ 及び振切る迄の捻回数は大體斷面積の大なるに連れ段々増加する。且 Q' と $Q_{\max}$ との關係は次の通りであつた。

$$Q' = 0.342 (Q_{\max} - 500)$$

5. 材質の降伏し始める時の Q - τ 特性曲線は曲線であつた。此の曲線は圓形から正三角形に斷面形が漸變するに連れ、段々曲りが緩かであつた。圓柱體では恐らく第 2 種の又曲邊正三角形柱體では第 3 種のにりを起した様に思はれる。曲邊の中點で起る最大剪斷應力の影響は曲邊が直線に近づく程大である。
6. 彈塑混性領域の初期では荷重増加するに拘らず振りの戻る異常結果を得た。その原因は何に依るかは尙研究を要する。圓柱體では降伏荷重(一定)より高い荷重で異常結果を生じ、曲邊正三角形柱體では之れに等しいか或は稍、低い荷重で起つて居る。
7. 最大剪斷應力 $\widehat{\theta}_{\max}$ と降伏中一定な剪斷應力 $\widehat{\theta}'_{\max}$ との比は圓形より正三角形斷面に移るに連れ 1.335 から 2.3 まで漸増して居る。更に眞の彈性限の $\widehat{\theta}_{\max}$ を探れば此の比は 1.068 から 1.733 迄の値になつた。又彈性限トルク Q_p と降伏領域中のトルク Q' との間に次の關係

があつた。

$$Q_p = 0.8' Q$$

8. 曲邊正三角形断面柱體のトルク算出公式中に試験鋼材の標準鋼性係数を當嵌めた値と試験結果と殆ど一致して居る。

終りに臨み實驗中指導を賜つた大阪帝國大學工學部の中原教授及び實驗中助力を得た大阪府立工業獎勵館の藤井脩三君に厚く感謝する。
(昭和 13 年 9 月 26 日)

討 論

○座長(井口常雄君) 唯今の御講演に對し御質問なり御意見なりがあらば、どうぞ御述べを願ひます。

○寺澤一雄君 torque-shearing strain curve につきまして、第 1 種の滑りが起れば flat になり、第 2 種の滑りが起ると曲線的に降つて後平坦となり、第 3 種の滑りが起ると fair curve になると書いてゐますが、第 1 種でも $\widehat{z\theta}_{\max}/\widehat{z\theta'}_{\max}$ の ratio を考へると fair になります。第 1 種の滑りの時でも自分の計算では圖の様な形は幾らでも出て來ます。澤田さんがやられた時には断面を切つて見られたのですか。

○澤田正雄君 test piece が仲々手に這入りませんからやつて見ませんでした。elastic-limit を一寸超したものは切つて了ふのは惜しいから其のまゝ残してあります。

○寺澤一雄君 第 18 表では $\widehat{z\theta}_{\max}/\widehat{z\theta'}_{\max}$ の比が 1 とは異なつた値を取つてゐます。従つて、これより特性曲線は迂りのやり方だけでなく、この方からも説明出来るのではないかと考へられます。圓以外の断面について計算することは大變厄介だが、それについてやられたら plasticity の方で参考になるのではないかと思います。もう一つは今の第 18 表で $\widehat{z\theta'}_{\max}$ は断面の形で違つてゐますが、今迄の實驗では幾分違ふには違ふですが、それは loading speed によるもので、其の他の factor ではさう影響は無いと云ふ事になつてゐて、中西さん等の機械學會での發表では殆ど違つてゐないと思ひます。こゝでは大分違つてゐますが、これはどう云ふ理由ですか御考へになりましたか。

○澤田正雄君 理由と言つては無く、斯うなつたから斯う書いた迄の事です。一樣にならねばならないと云ふのもどうかと思はれます。

○寺澤一雄君 さうですか。これは今迄と違つた形を用ひたから斯うなつたと云ふのは面白いと思ひまして其の理由がわかれれば大變面白いと思ひます。

○澤田正雄君 周邊が圓形から段々直線に變つて來て居る爲めの影響もあらうかと思はれます。今後機會がありましたら更に考へて見たいと思ひます。

○研野作一君 試料は pure iron に近いに拘らず、普通表示されてゐる $8.3 \sim 8.4 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ に比して小さく、相當の差を示して居りますが、此の點は他に何か理由があるのですか。又は試験裝置

に G の値が下る様な缺陷でもあるのではないのでしょうか。鋼の場合でも焼鈍したものは殆ど C の含有量に無關係に上記の値を示し、焼入れしたときに 7.8 位に下つて居ります。

○澤田正雄君 C の含有量の少ないのを選びましたのは大變面倒な断面を削り易い様にと思つて特に軟い材料を選びました。その爲に G が普通の値より下つてゐると思ひます。試験装置の缺陷は全然ありませぬ。

○座長(井口常雄君) 他に誰方が御發言がなければ私から一言御禮を申し上げます。澤田君は造船協會其他にも色々數學的な論文を出して居られます。その中の數式を使つて此の度は實驗をなされました。斯の如き断面が實際の構造物に使はれるかどうかは解りませんが大變面白いと思ひます。先程寺澤君と講演者との間に色々御話のありました様に、elastic limit, yielding point に關する學說を調べる點については大變有益な實驗であると思ひます。斯る學說については未だ研究の餘地が多く、plasticity には議論の餘地が多くあります時、斯る特殊な形によつて或る事柄を調べられた事はその方面に利すること多いと思ひます。斯る事に對し御研究された講演者に對し皆様と共に拍手を以て感謝致し度いと存じます。(一同拍手)