

衝擊に對する合金鋼の二三の性質

其の一、衝擊屈曲試験に於ける力—變形曲線

(日本鐵鋼協會 第8回講演大會講演)

室井嘉治馬

SOME PROPERTIES OF SEVERAL ALLOY STEELS AGAINST IMPACT

PART I.

FORCE-DEFORMATION CURVES IN IMPACT BENDING TEST.

SYNOPSIS:- The toughness of steel is usually measured by impact test, and the work done in breaking the specimen of a definite form is expressed as impact value. However, thanks to the effort made by several investigators since 1926, the work done may, in addition, be shown as force-deformation diagram, if necessary. According to this diagram, it may be inferred that, even with two specimens of the same impact value, one may have a comparatively great maximum force with a correspondingly little ultimate deformation, and the other, vice versa. Such an analytical consideration of the impact value is very important in the choice of materials. From this point of view, the forcedeformation curves of several alloy steels in differently heat-treated conditions were obtained in the present investigation.

The chief conclusions arrived at are as follows.: 1) Great impact values were generally combined with great ultimate deformations, but, for a definite impact value, there were considerable differences in the value of ultimate deformation. 2) While the impact value was comparatively little, the maximum force increased generally with it, but when the impact value became greater, the maximum force decreased with it. Similar to the previous case, for a definite impact value, the maximum force greatly differed. 3) The steel marked No. 6 in this note, when hardened and tempered properly, gave a very different form of the forcedeformation curve from those of the other steels of almost the same impact value, its maximum force being especially great. 4) No general relation was found between the maximum force and the Brinell hardness-number, but with those specimens of the same impact value greater than about 10kg-m as measured in this test, these two quantities appeared to vary jointly in the same sense.

1. 緒言

各種機械殊に兵器の進歩に伴ひ益強靱な鋼を要求する様になつた。強靱特殊鋼として現今ニッケルクローム鋼を初め種々の鋼が用ひられてゐるが、其の靱性の測定には一般に衝擊試験が用ひられ、一定形状の試験片を打ち折る際に費される仕事を衝擊値として表はしてゐる。然るに 1926 年頃以來衝擊試験の際の力—變形曲線を求める研究

が時々報告せられる様になり¹⁾、衝擊試験成績を單に衝擊値として表はさず、曲線圖として表はす

¹⁾ F. Körber and H. A. Storp, Mitt. K. W. I. Eisenf., Bd. 8, 1926, p. 127.

山田良之助、東北帝國大學理科報告、Series I, Vol. XVII, No. 7, p. 1179, 1923.

壽時富哉、東北帝國大學理科報告、Series I, Vol. XIX, No. 1, p. 1, 1930.

W. Schwinning and K. Mathaes, V. D. I. Bd. 73, 1929, p. 321.

渡邊俊平、理化學研究所彙報、第八輯 第九號、1929, p. 735.

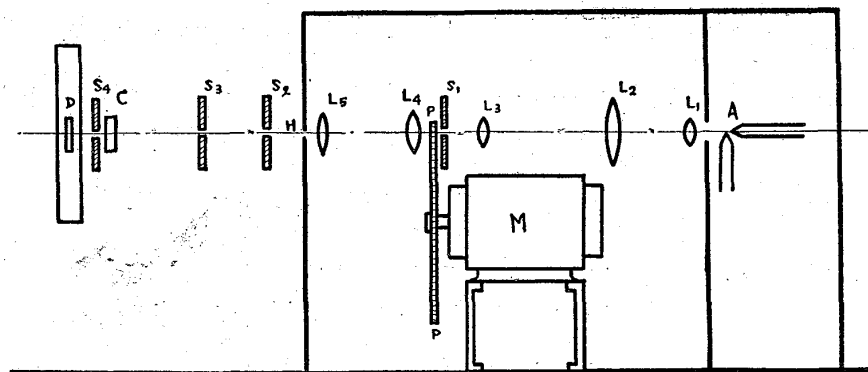
ことが出来る様になつた。此の曲線圖に依れば衝撃値が同一であつても、力が大きくて變形の少ない材料もあらうし、又其の反對の材料もあり得るわけである。而して斯くの如く衝撃値を解析して考へることは材料の選擇上大に注意すべき事柄である。例へば同一の衝撃値の鋼ならば多くの用途に對しては變形は小さくとも力の大きいものがよく、又常溫で急激に加工されるべき材料としては力は少くとも變形の多い材料がよいと思はれる。

此見地により本研究に於ては數種の合金鋼の各種熱處理狀態に就て其の力-變形曲線を求めた。

2. 實驗方法

1. 一般説明：—實驗裝置の要は第1圖A及B (Aは正面圖、Bは平面圖)の通である。A

第1圖 A



由に調節出来る様になつてゐる。 L_1, L_2, L_3, L_4 及 L_5 は普通の凸レンズ、 C は圓柱形レンズ、 D は寫眞の乾板を保持する枠である。 $A, L_1, L_2, L_3, S_1, P, L_4, L_5$ を一つの箱中に收め、 A から出た光線は箱にある小孔 H 以外に於ては外部に出ない様に遮斷する。猶此の箱の中には弧燈の左側に一つの隔壁があつて散光を遮る様にしてある。今電動器を一定の速度で回轉し A に電弧を飛ばせれば、 A から出た光線は L_1, L_2, L_3, S_1 を通じて P を照らす。而して電動器の回轉のために此の光線は一定時間毎に圓板上のスリットを通じて左方に進む。 P を通過した光線は更に L_4, L_5 及箱の小孔 H を通りて箱外に出で更にスリット S_2 及 S_3 によつて方向を正しくし、 C によつてなるべく細くされた像を D 中の乾板上に結ぶ様にする。乾

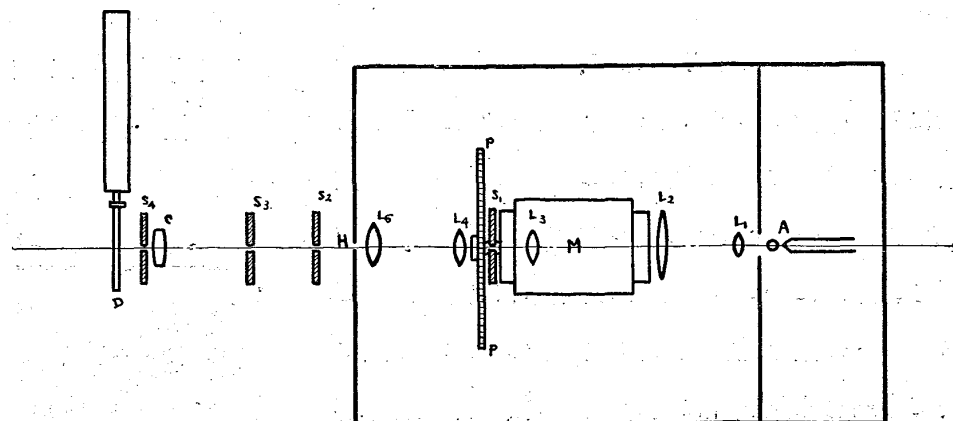
板枠 D は手札形の縦半分即ち $108 \times 41 \text{mm}^2$ の乾板を入れ得るものでアルミニウム鑄物で作リシャルピー衝撃試験機のハンマーの衝撃抗張試験片を取付ける處に取附けた。

電動器の回轉數は出来る限

第1圖 B

は弧燈で兩極の距離は時計仕掛により其の燒耗と

共に調節される。 M は電動器で其の側にはアルミニウム鑄物製の圓板 PP が取付けられ此の圓板の周圍には幅 1mm のスリットが半径方向に等距離に切つてあつて其の數は全周に 124 個ある。

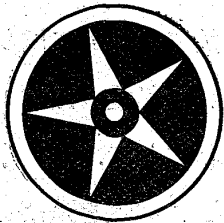


S_1, S_2, S_3 及 S_4 もスリットで S_2 及 S_3 の幅は自

り一定なことを必要とするから、直流分捲電動器

を用ひ電源として二次電池を使用した。回轉數を定めるには回轉圓板上に星形の模様を畫き（第2圖参照）これを100ボルト、50サイクル電源の

第2圖 ネオンランプ光で照らし希望



回轉附近で回轉中の圓板上に星形の靜止せる如く見ゆる様に電源を調整した。

かかる時には次の式より圓

板の回轉數は常に毎分1,200回轉である。

$$n = 120 f/a$$

こゝで

n = 1分間の回轉數

f = 周波數（この場合は50）

a = 星形の角の數即ち此の場合は5

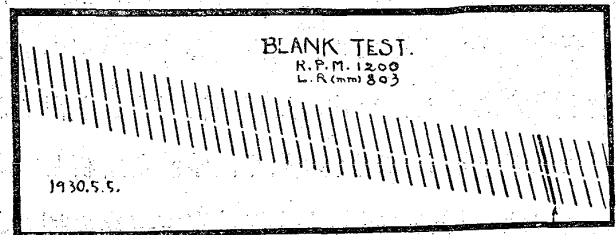
ネオンランプの電源は普通の電燈の電源であるけれども電流の周波數50は比較的確實であり、これの増減が1%以上にならないことを周波計により確めた。

吾々の實驗では圓板上のスリットの數は124で電動器の廻轉を毎分1,200回としたから、圓板上のスリットの像は

$$\frac{60}{1,200 \times 124} = \frac{1}{2480} \text{ 秒}$$

毎にD上に現れるわけである。故に若しハンマーが一定速度で運動するならば、第3圖の如く乾板上には等距離にスリットの像が現れなければならない。第3圖に於て右方にある不規則な一本の像は乾板を取付けハンマーを振る前に豫め試験片を置き、靜かにハンマーを下げ試験片に接した所でスリットの像を乾板上に寫したもので、第4圖に於ても同じく試験片にハンマーの接した位置を寫し取つてある。かくして後試験片なしの試験即ち

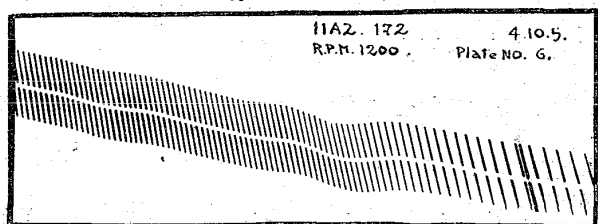
第3圖



ハンマーの速度を測定せんとするときは試験片を取り去り、又實際試験片を試験するにはそのままハンマーを定位置まで上げて落下した。かくすれば前者に於ては第3圖、後者に於ては第4圖の如きスリットの像が現れる。試験片にハンマーの接せる位置に相當したスリットの像はハンマー（重心）が最低位置即ちハンマーの速度の最大な位置を示し、又試験片のあるときはそれを衝撃し始めた位置を示して居る。實際の場合に試験片なしの試験を行へば後述の如くハンマーが最低位置附近を通過するときは一定速度で乾板上には等距離の像が出来ると考へてよい。〔(2)参照〕然るに試験片があればスリット像は第4圖の如くハンマーが試験片に接する前までは一定速度であるが試験片にあたれば運動を阻止せられ、従つて像間の距離が短くなる。實際の場合に之等の像は平行ではなく大體に於て像の出来る點を通る垂直線上方に向つて居る。故に各像間の距離を測る便宜上スリット S_4 に於て光線を横に遮斷して第3及第4圖の如く各遮像を二つに分けた。

此の像の遮斷點とハンマーの吊點との距離を便宜上遮斷半徑と命名する。本實驗に於ては遮斷半

第4圖



$$\sin\phi = \frac{\overline{HF'}}{\overline{OH}} = \frac{3.07}{693.0} = 0.00443$$

$$\therefore \phi = 15' 24''$$

ハ、新しき重心による吸収エネルギーの計算: 一前に述べた様にハンマーに取棒及乾板をつけると重心は G から H に移動する。此の新しい重心によつて吸収エネルギーを計算しやう。今

$$P = \text{ハンマー丈の重量} = 22.56 \text{ kg}$$

$$w = \text{取棒と乾板との重量} = 0.264 \text{ kg}$$

$$h = \text{ハンマーの吊點から重心 H 迄の距離} \\ = 693.0 \text{ mm}$$

$$a = \text{指針で表はされる振子の落下角度 (即ち古き重心による)} \\ = 156^\circ 58' (\text{一定})$$

$$\beta = \text{指針で表はされる振子の反撥角度}$$

$$\alpha_1 = \text{振子の落下角度の眞値 (新しき重心による)}$$

$$\beta_1 = \text{振子の反撥角度の眞値 (同上)}$$

とする。然る時は第6圖により

$$\alpha_1 = \alpha + \phi = 156^\circ 58' + 15' 24'' = 157^\circ 13' 24''$$

$$\beta = \beta_1 + \phi$$

又振子の摩擦によるエネルギーの損失は既に検定により次の通求められてゐる。

$$\pi_1 = \text{衝撃前の摩擦損失} = 0.0230 \text{ kgm (一定)}$$

$$\pi_2 = \text{衝撃後の摩擦損失}$$

然る時は

最初の位置のエネルギー

$$= (P+w)h(1-\cos\alpha_1) \\ = (22.56+0.264) \times 0.693 \times (1-\cos 157^\circ 13' 24'') \\ = 30.4 \text{ kgm}$$

而して振子の反撥角指度が β の時は

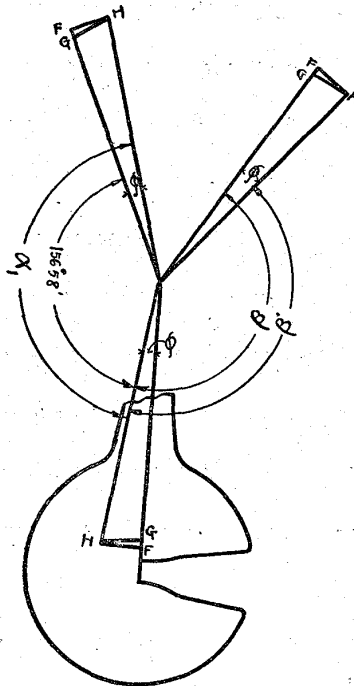
最後の位置のエネルギー

$$= (P+w)h(1-\cos\beta_1)$$

$$\therefore \text{吸収エネルギー} E_a = 30.4 - 22.82 \times 0.693$$

$$(1-\cos\beta_1) - (\pi_1 + \pi_2 + \tau) \dots\dots\dots (1)$$

第 6 圖



(1) 式中の τ は破斷試験片が投棄せらるゝに要するエネルギーであつて之を計算すれば次の通である。振子の反撥角指度が β の時眞の反撥角度は β_1 であるから反撥高 $= h(1-\cos\beta_1)$ 故に試験片を折つたすぐ後のハンマーの速度 (回轉半径の端に於ける) v_2 は次の式から計算出来る。

$$v_2 = \sqrt{2 \times 980h(1-\cos\beta_1)}$$

而して振子の吊點から衝撃双迄の距離は 750 mm, 回轉半径は 732 mm であるから v_2 に相當する衝撃双の速度は次の通である。

$$v_2 = \frac{750}{732} \times \sqrt{2 \times 9.80 \times 0.693(1-\cos\beta_1)}$$

而して試験片の重量 $p = 41.422 \text{ g}$ なる故

$$\tau = \frac{1}{2} \cdot \frac{p}{g} v_2^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{p}{g} \times \left(\frac{0.750}{0.732}\right)^2 \times \{2 \times 9.80h(1-\cos\beta_1)\} \\ = 0.0414 \times \left(\frac{0.750}{0.732}\right)^2 \times 0.693(1-\cos\beta_1) \text{ kgm} \\ = 0.0301(\cos\beta_1) \text{ kgm}$$

β_1 が最大の時は

$$\beta_1 = \alpha_1 = 157^\circ 13' 24''$$

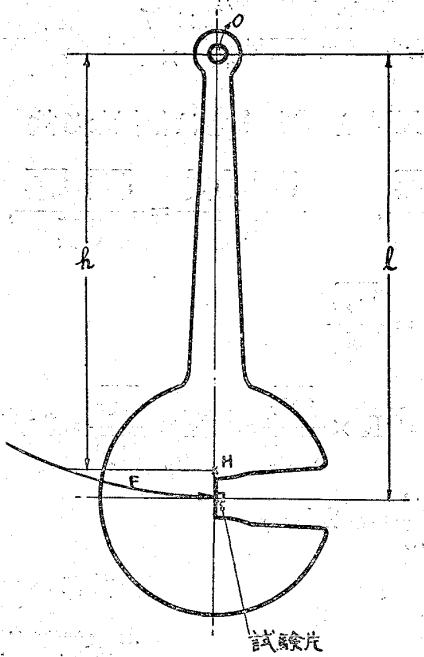
又ハンマーが最低位置より 3.27mm 上昇した時
即ち乾板棒の左端に光線が當れる時のハンマーの
衝撃中心の速度は

$$v_2 = \sqrt{2gh_2} = \sqrt{2 \times 9.80 \times 1.3270} \\ = 5.100 \text{ m/sec}$$

之により本装置乾板棒の大きさの程度に於てはハン
マーの速度は一定と見做してよい。

ホ、試験片と衝撃ハンマーとの間に作用する
力：—各時間に於て試験片と衝撃ハンマーとの

第 9 圖



間に作用す
る力は次の
様にして求
められる。
衝撃を與へ
るハンマー
の運動は振
子運動であ
るから其の
運動の方程
式は次の様
になる(第
9圖参照)

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + Fl + Mgh \sin \theta = 0 \dots (2)$$

茲に

F = 試験片とハンマーとの間の力、

I = 吊点 O の周りのハンマーの慣性能率、

$\frac{d^2\theta}{dt^2}$ = ハンマーの角加速度、

l = 吊点 O より試験片 A に至る距離
(750 mm)、

M = ハンマーの質量 (22.82 kg)、

h = 吊点 O より重心 H の距離 (693 mm)、

θ = ハンマーと垂直線との傾斜角、

吾々は力の重力単位を用ふることゝすれば (2)
式は次の如くなる。

$$F = \frac{I d^2\theta}{g l dt^2} - \frac{Mh}{l} \sin \theta \text{ kg} \dots (3)$$

(3) 式に於て I はハンマーの振動周期 (T) を
測れば

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Mgh}} \dots (4)$$

により求められる。実験により

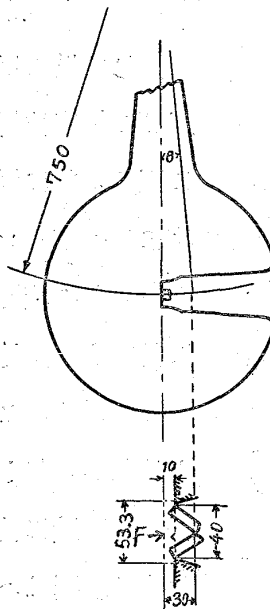
$$T = 1.763 \text{ sec}$$

而して (4) 式より

$$I = \frac{T^2 Mgh}{4\pi^2} = \frac{1.763^2 \times 22.82 \times 9.80 \times 0.693}{4\pi^2} \\ = 12.20 \text{ kgm}^2$$

$\frac{d^2\theta}{dt^2}$ は此の実験装置により求められる。

第 10 圖



各時間に於ける θ も本
実験より求められるが本
実験に於ける θ の最大値
即ちハンマーが試験片に
接触し始めた位置より試
験片のハンマーに対する
抗力のなくなる位置に至
るハンマーの振れは作圖
により第 10 圖の如きも
のとすれば

$$\sin \theta = \frac{30}{750} = 0.04$$

であるから

$$\frac{Mh}{l} \sin \theta \text{ の最大値} = \frac{0.04 \times 693 \times 22.82}{750} \\ = 0.844 \text{ kg}$$

である。實際に於て $\frac{Mh \sin \theta}{l}$ は $\frac{I}{gl} \frac{d^2\theta}{dt^2}$ に比し
甚だ小さいから此の実験に於てはこれを省略し
た。

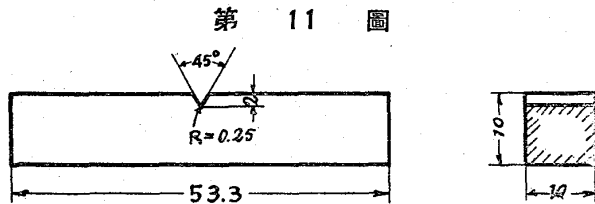
3. 試験材料

試験用材料は 8 種で其の化学成分は第 1 表の通りである。

第 1 表 試験材料の化学成分

鋼 No.	材質	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Ni %	Cr %
1	不銹鋼 A	0.38	0.51	0.25	0.015	0.011	7.60	16.72
2	不銹鋼 B	0.20	0.16	0.12	0.015	0.009	1.35	12.83
3	ニッケルクロム鋼 A	0.33	0.20	0.49	0.019	0.011	3.26	0.70
4	ニッケルクロム鋼 B	0.35	0.26	0.44	0.011	0.011	4.13	0.97
5	ニッケルクロム鋼 C	0.45	0.32	0.35	0.013	0.015	4.12	1.80
6	—	—	—	—	—	—	—	—
7	高マンガン鋼	1.18	0.20	13.12	0.030	0.020	—	—
8	高ニッケル鋼	0.28	0.16	0.78	0.021	0.010	31.02	—

各材料は 13 mm 角に鍛錬したものであつて、之を長さ 55 mm に切り全部を 90° に 30 分加熱し大氣中に冷却して標準化した。更に各鋼種に應じ夫々第 2 表の如く熱処理し、それから第 11 圖の如き衝撃試験片を削成した。但し高マンガン鋼はグラインダーで仕上げた。



第 2 表 試験材料の熱処理

鋼 No.	材質	熱処理
1	不銹鋼 A	1,100°, 1 時間加熱水中冷却
2	不銹鋼 B	900° 1 時間加熱油冷後 400°, 500°, 600°, 700° に 1 時間加熱油冷
3	ニッケルクロム鋼 A	850° 1 時間加熱油冷後 400°, 500°, 600°, 650° に 1 時間加熱油冷
4	ニッケルクロム鋼 B	同上
5	ニッケルクロム鋼 C	同上
6	S G 鋼	同上
7	高マンガン鋼	標準化の儘のもの及更に 1,100°, 1 時間加熱水冷
8	高ニッケル鋼	同上

4. 實驗成績

1. 一般:—實驗成績の一般は第 12 乃至 19 圖の通である。各圖に於て横軸には試験片の變形即ち試験片とハンマーとの接觸點の移動を、縦軸

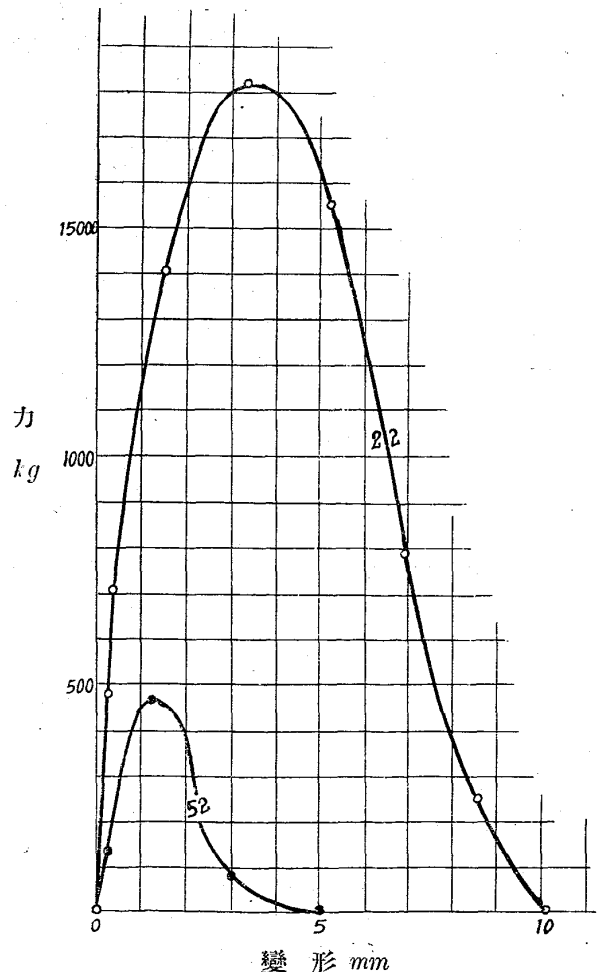
にはハンマーと試験片との間に作用する力を採つてある。

第 12 圖は不銹鋼 A (C 0.38%、Ni 7.60%、Cr 16.70%) の熱処理の異つたもの二種類に対する成績である。今曲線 22 に就いて説明すれば力が零から 700 kg 邊迄は力と變形との關係は直線的である。之れから力が増せば曲線は變形の軸の方に曲り、遂に變形の量 3.3 mm に於いて最大力 1,820 kg に達し、之から先は變形の増加と共に力を減じ、遂に結尾變形 10.1 mm に於て力は零となり試験片は切斷せられた。而して衝撃値はハンマ

第 12 圖 鋼 No. 1

(C 0.38%、Ni 7.60%、Cr 16.72%)

曲線	衝撃値 (角度より)	熱処理
52	1.08	900°C 空冷
22	14.04	{ 900°C 空冷 1,100°C 水冷



一の反撥角度より 14.04 kgm と求められた。此の値は本鋼の衝撃値として意外に低い。之は Si 含有量の多い爲か或は $1,100^\circ\text{C}$ に熱した時間が長すぎた爲かと思はれる。

第 13 圖は不銹鋼 B ($C 0.20\%$ 、 $Ni 1.35\%$ 、 $Cr 12.83\%$) の成績で曲線 23, 24, 25, 26. 及び 27 は夫々第 2 表記載の如く標準化の儘のもの及び焼入後 400° 、 500° 、 600° 、及 700° に焼戻したものである。焼戻温度 600° 以下のものは曲線の面積小さく従つて衝撃値低く 700° に焼戻したものが最大力も結局變形も大きくて衝撃値も亦

大きい。

第 14 圖はニッケルクロム鋼 A の成績で曲線 28, 29, 30, 31 及 32 は標準化の儘のもの及焼入後 400° 乃至 650° に焼戻したものである。焼入焼戻したものは焼戻温度の高くなると共に最大力も結局變形も衝撃値も増してゐる。又標準化したもの、曲線は焼戻温度 400° のものと 500° のものととの中間に在る。

第 15 圖は第 14 圖のものより Ni 及 Cr の含有量の稍高いニッケルクロム鋼の成績である。此の場合には標準化したものが最大力も結局變形も

第 13 圖 鋼 No. 2

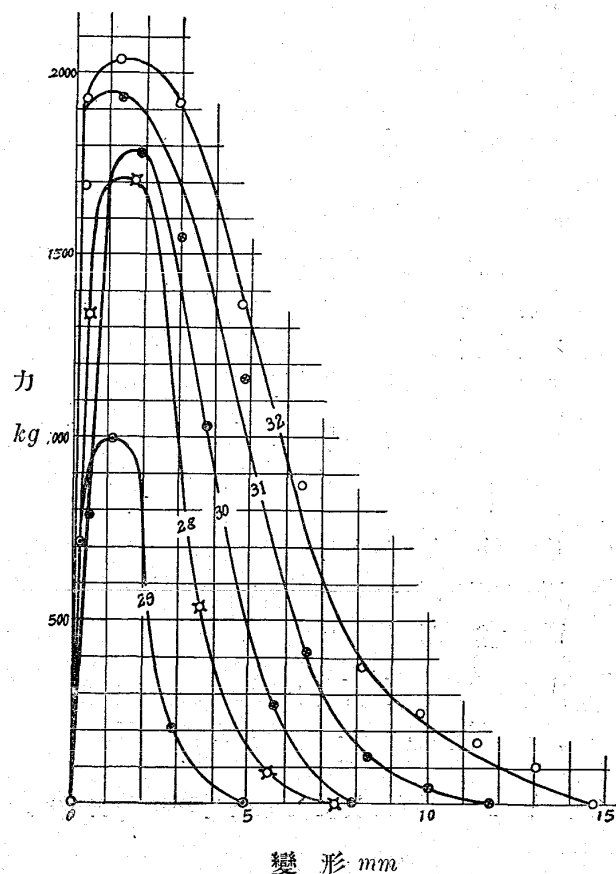
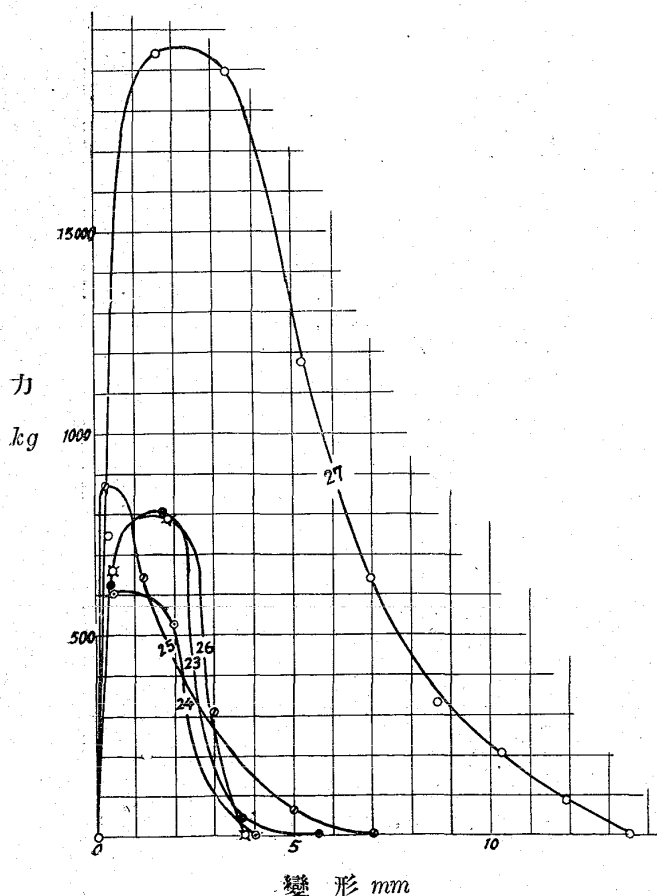
($C 0.20\%$ 、 $Ni 1.35\%$ 、 $Cr 12.83\%$)

曲線	衝撃値 (角度より)	熱 處 理		
23	1.94	900°C 空冷		
24	1.36	900°C 空冷	900°C 焼入	400°C 焼戻
25	1.57	"	"	500°C "
26	2.27	"	"	600°C "
27	12.33	"	"	700°C "

第 14 圖 鋼 No. 3

($C 0.33\%$ 、 $Ni 3.62\%$ 、 $Cr 0.70\%$)

曲線	衝撃値 (角度より)	熱 處 理		
28	5.52	900°C 空冷		
29	2.32	900°C 空冷	850°C 焼入	400°C 焼戻
30	6.79	"	"	500°C "
31	10.75	"	"	600°C "
32	12.88	"	"	650°C "



衝擊値も他のものより小さい。而して焼入焼戻したものは焼戻温度 600° に至る迄は最大力、結局變形及衝擊値が順次増し、650° に焼戻したものは結局變形及衝擊値は増してゐるが最大力は 500° 又は 600° に焼戻したのより小さい。

有量の高いニッケルクロム鋼の成績である。此の場合には第 14 及 15 圖の場合より一般に結局變形及衝擊値小く 650° に焼戻したもの(曲線 42)は第 15 圖の 600° に焼戻したもの(曲線 36)より更に高い最大力を有つて居る。

第 16 圖は第 15 圖のものよりも C 及 Cr の含

第 16 圖 鋼 No. 5

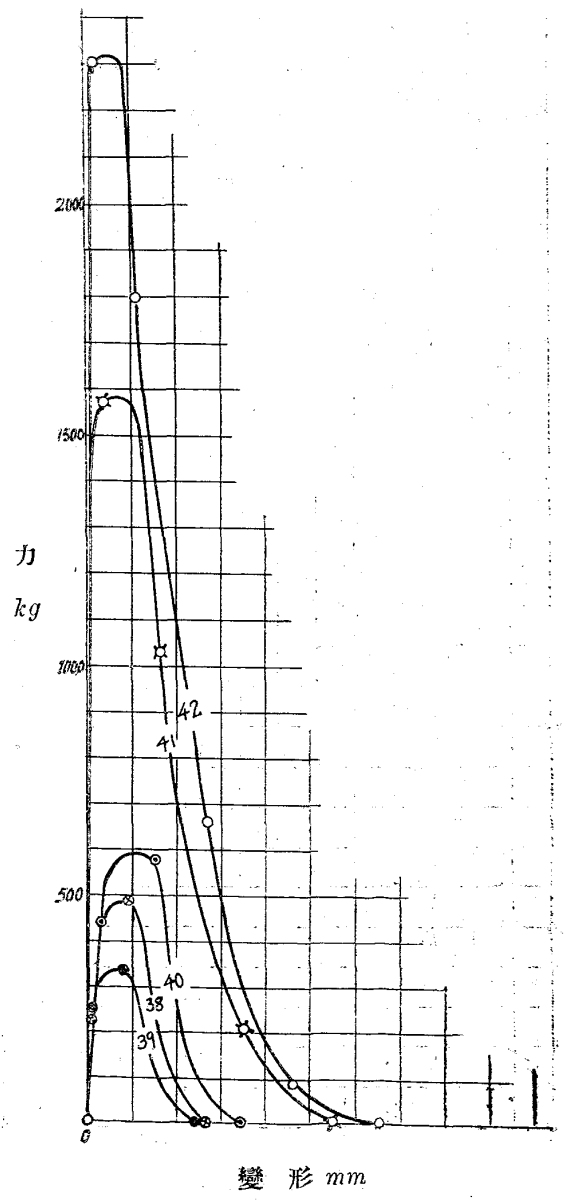
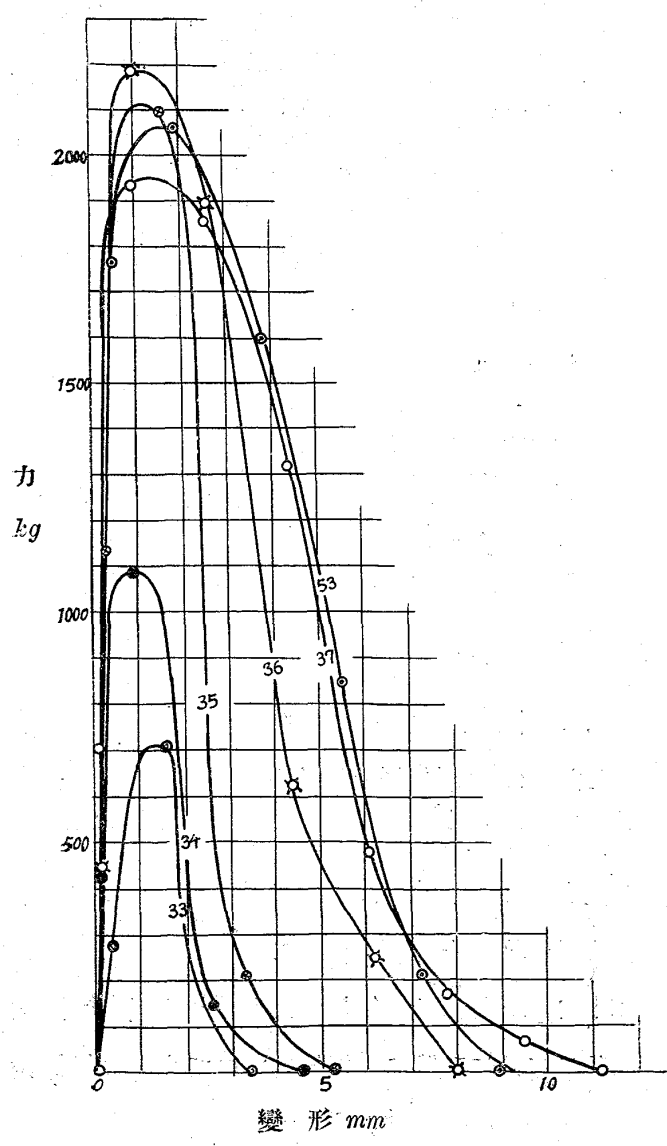
第 15 圖 鋼 No. 4

(C 0.35%, Ni 4.13%, Cr 0.97%)

曲線	衝擊値 (角度より)	燒 處 理
33	1.33	900°C 空冷
34	2.22	900°C 空冷 850°C 焼入 400°C 焼戻
35	4.94	" " 500°C "
36	8.41	" " 600°C "
37	10.48	" " 650°C "
53	10.81	" " 650°C "

(C 0.45%, Ni 4.12%, Cr 1.80%)

曲線	衝擊値 (角度より)	熱 處 理
38	1.46	900°C 空冷
39	1.08	900°C 空冷 850°C 焼入 400°C 焼戻
40	1.15	" " 500°C "
41	3.35	" " 600°C "
42	5.50	" " 650°C "

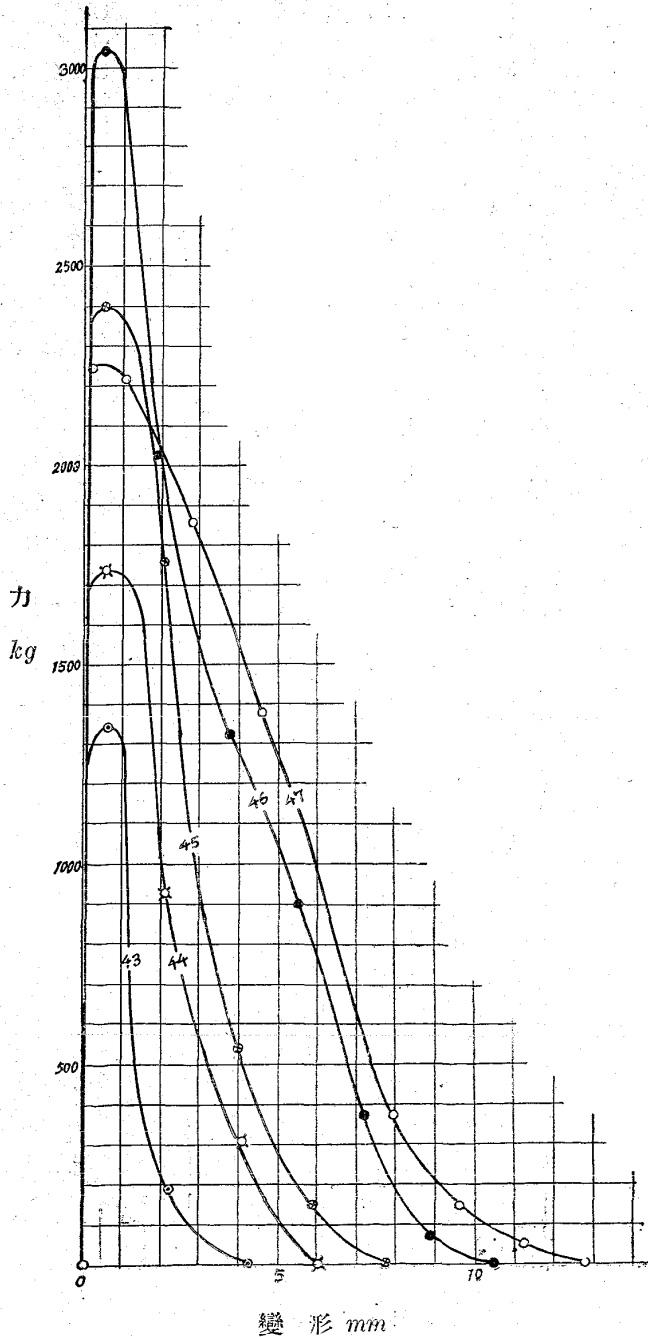


第 17 圖は鋼 No. 6 の成績で此の場合に第 15 圖に於ける如く焼戻温度 650° のものが 500° 又は 600° のものより最大力が小さい。而して焼戻温度 600° のもの、最大力は 3,000 kg 以上で且其

の衝撃値は焼戻温度 650° のものに比し左程低くない。

第 17 圖 鋼 No. 6

曲線	衝撃値 (角度より)	熱 處 理
43	2.39	900°C 空冷
44	4.59	900°C 空冷 850°C 焼入 400°C 焼戻
45	6.05	" " 500°C "
46	12.14	" " 600°C "
47	13.02	" " 656°C "

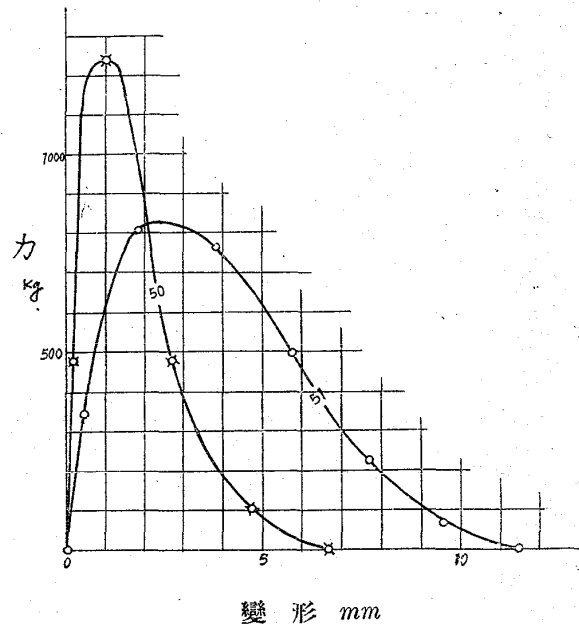


第 18 圖は高マンガン鋼の成績で標準化したもの(曲線 50)は 1,100°C より水中急冷したもの(曲線 51)より最大力は高いが結局變形及衝撃値は小さい。此處に求めた衝撃値は高マンガン鋼の成績としては案外に低いし又其の破断面も宜しくないから此の試験材料に獨特の缺點があつたものと思はれる。

第 18 圖 鋼 No. 7

(C 1.18%, Mn 13.12%)

曲線	衝撃値 (角度より)	熱 處 理
50	3.06	900°C 空冷
51	5.25	" 1,100°C 水冷

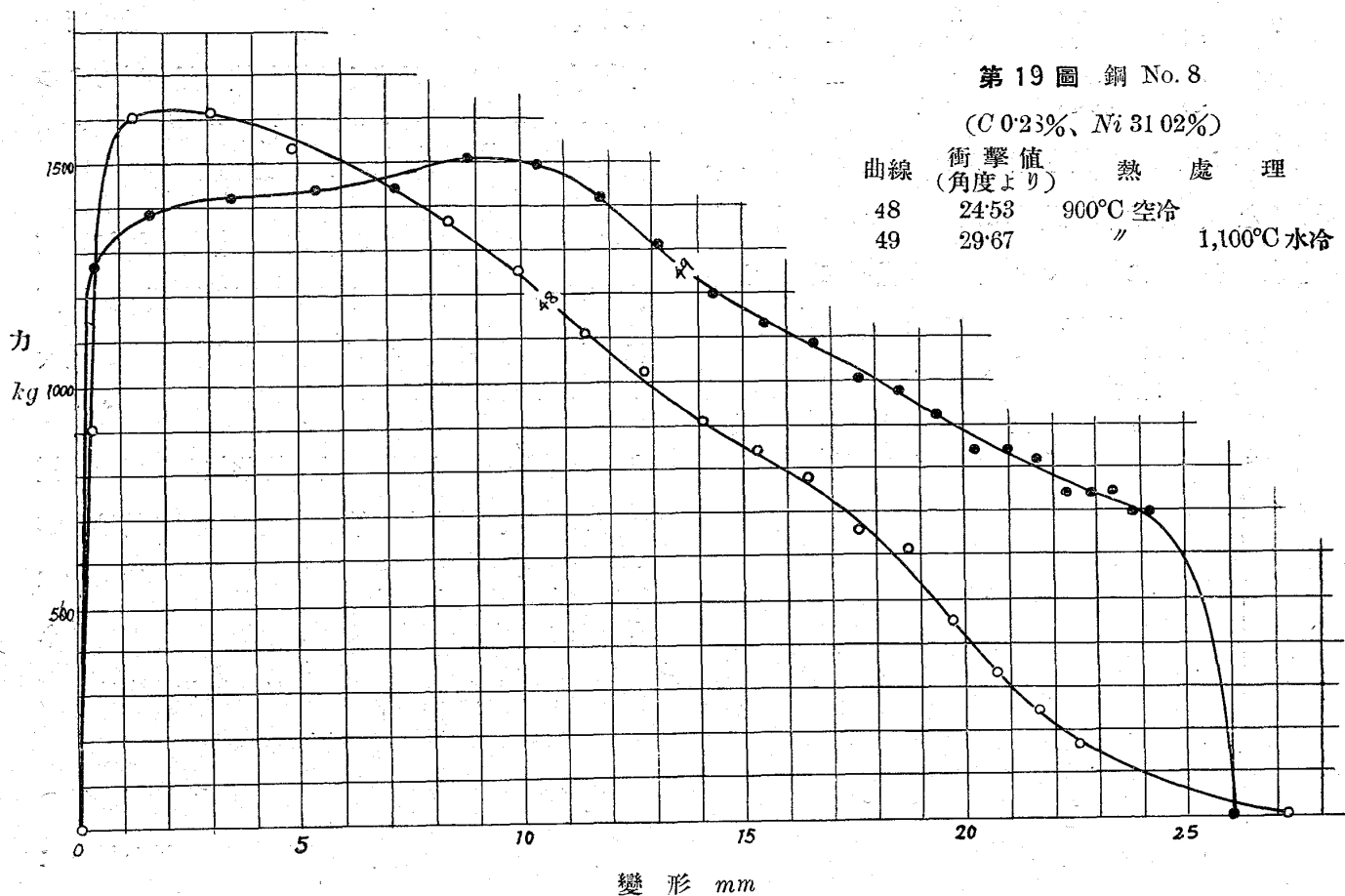


第 19 圖は高ニッケル鋼の成績で最大力は標準化したもの(曲線 48)が 1,100°C から水中急冷したもの(曲線 49)より高い。結局變形も標準化したものの方が稍大になつて居るが之等の試験片は本試験機で起り得る最大の變形即ち約 30 mm (2 のホ参照)に近い結局變形を持つて居り、兩試験片は二片に破斷されて居ないので之等の結局變形の比較は出來ない。

第19圖 鋼 No. 8

(C 0.23%、N₂ 31.02%)

曲線	衝擊値 (角度より)	熱處理
48	24.53	900°C 空冷
49	29.67	" 1,100°C 水冷



第17圖に求めた鋼 No. 6 の焼戻温度 600° のもの、曲線が特に高い最大力を有することは他の諸曲線に比して頗る特異の事であるから、其の成績の確實度を試験するため更に同一材料を同一熱處理した試験片を作り同様に試験した。第20圖に其の試験結果を第17圖の曲線46と共に示してある。實驗装置の性質上同一の變形の時の力の値を求めることが不可能の爲に兩曲線が完全に一致はしないが他の試験片より特に高い最大力を有つことは確められた。

ロ、力—變形曲線の面積及ハンマーの反撥角度より求めた兩衝擊値の比較：—前述の諸曲線と横軸との間の面積は試験片を破斷するに要した仕事を表はすが此の面積をプランメーターで測定して求めた衝擊値とハンマーの反撥角度から直接求めた衝擊値とを比較すれば第3表の通である。

第3表 曲線の面積及ハンマーの反撥

角度より求めた衝擊値の比較

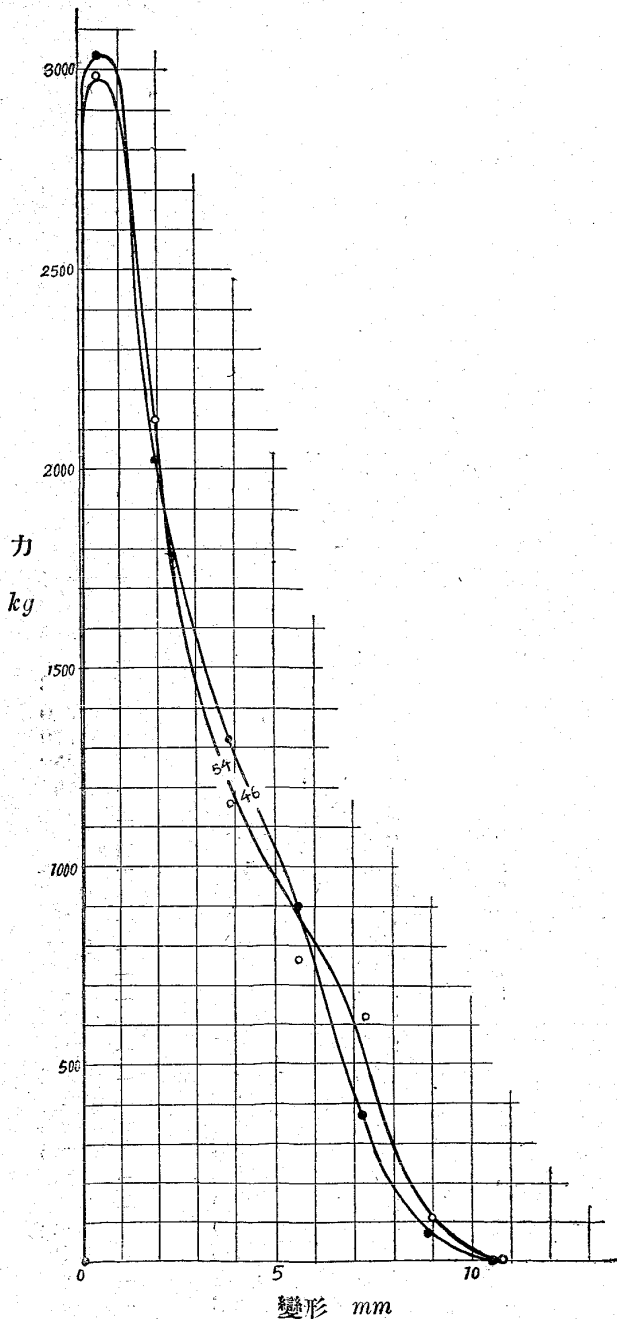
鋼 No	曲線番號	面積による 衝擊値 (M) kgm	反撥角度に よる衝擊値 (K) kgm	$\frac{M-K}{K}$ %
1	52	0.95	1.08	- 12.00
	22	10.81	14.04	- 23.00
	23	1.96	1.94	1.03
2	24	1.39	1.36	2.20
	25	2.02	1.57	28.70
	26	2.19	2.27	- 3.52
	27	11.89	12.33	- 3.58
3	28	5.23	5.52	- 4.35
	29	2.22	2.32	- 4.32
	30	6.52	6.79	- 3.98
	31	9.79	10.75	- 8.93
4	32	12.47	12.88	- 3.18
	33	1.17	1.33	- 12.00
	34	2.09	2.22	- 5.86
	35	4.87	4.94	- 1.42
	36	8.28	8.41	- 1.55
	37	9.87	10.48	- 5.82
	38	0.72	1.46	- 50.70
5	39	0.46	1.08	- 57.40
	40	1.10	1.15	- 4.35
	41	3.45	3.35	2.99
	42	4.78	5.50	- 13.10
6	43	2.01	2.39	- 15.90
	44	4.68	4.59	1.96
	45	7.22	6.05	19.40
	46	11.69	12.14	- 3.71
	47	12.45	13.02	- 4.38

7	50	3.12	3.06	-	1.96
	51	4.78	5.25	-	8.95
8	48	24.34	24.53	-	0.78
	49	30.49	29.67	-	2.76

本表に依れば兩衝擊値の差は相等著しいものが少くない。之は本實驗法に於てハンマーの加速度を求めするためにハンマーの速度を曲線に表はす時

第 20 圖 鋼 No. 6

曲線	衝擊値 (角度より)	熱 處 理		
46	12.14	900°C 空冷	850°C 焼入	600°C 焼戻
54	11.84	"	"	"



に多くの誤差が入るものと思はれる。又此の百分率誤差の甚しいのは多くは衝擊値の低い時であつて止むを得ない。併し全體として此の誤差があつても種々の考察には影響を及ぼさない。

ハ、熱處理が衝擊値、最大力及結局變形に及ぼす影響：——第 21 乃至 25 圖は第 13 乃至 17 圖に示した諸鋼に就いて熱處理により衝擊値、最大力及結局變形が如何に變化するかを示したものである。結局變形は大體に於て衝擊値と平行して變つてゐるが、最大力は第 23 及 25 圖に於けるが如く必ずしも衝擊値と相平行しない事を注意すべきである。之等の圖には又各衝擊試験片のブリネル硬度を示したが之は大體に於て衝擊値或は結局變形と相反對して増減してゐる。

ニ、衝擊値約 12 kgm のものゝ力-變形曲線の比較：——第 12 乃至 19 圖の實驗成績を見るに高ニッケル鋼の衝擊値は 25 kgm 以上になつてゐるが所謂強靱特殊鋼を適當に焼入焼戻したものゝ衝擊値は 12 kgm 附近である。今此の種類のものゝ力-變形曲線を比較したものが第 26 圖である。本圖に於て曲線 27 と 32 とは大體同様の形状を取り曲線 47 は稍異り曲線 46 は最も異つて居る。即ち之等 4 曲線は衝擊値はいづれも 12 kgm 位であるが曲線 46 は他のものより最大力は著しく高いが結局變形は少い。故に此の試験方法により衝擊値を二つの因子即ち最大力と結局變形とに分析して考へ得るから、靜的抗張試験成績及衝擊値が同一の鋼でも一層適材を適處に使用することが出来る。前述の通曲線 46 のやうな鋼が單に機械的性質より見れば多くの用途に特に砲身材料として適當ではないかと思はれる。併し此處に注意すべきことは此の成績は衝擊屈曲試験のものであるが

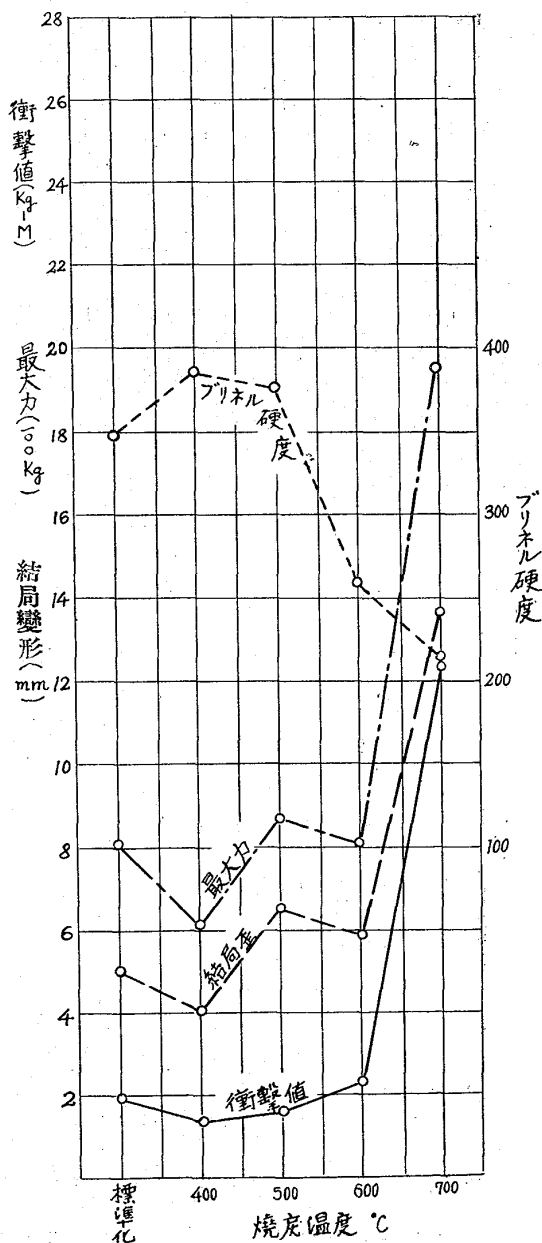
多くの用途に對しては衝擊抗張試験に於て此の様な曲線を求めることが必要と思はれるので只今其の實驗を施行中である。

ホ、衝擊値、最大力及結局變形間の關係：——
第 12 乃至 19 圖に示したすべての力-變形曲線の

最大力、結局變形及衝擊値の内二つづいの關係を求めたものが第 27, 28 及 29 圖である。いづれの圖に於ても各點は不規則に配列して居るが大體曲線 AB と CD との間に入れて考へることが出来る。第 27 圖に依れば衝擊値が増せば大體に於

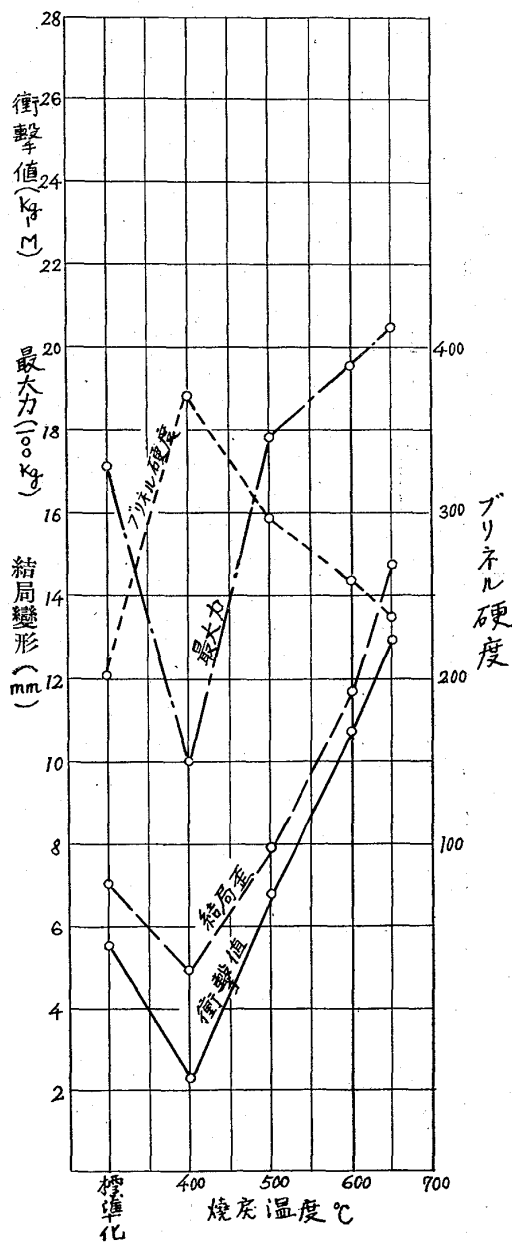
第 21 圖 鋼 No. 2

(C 0.20%, Ni 1.35%, Cr 12.83%)



第 22 圖 鋼 No. 3

(C 0.33%, Ni 3.26%, Cr 0.70%)

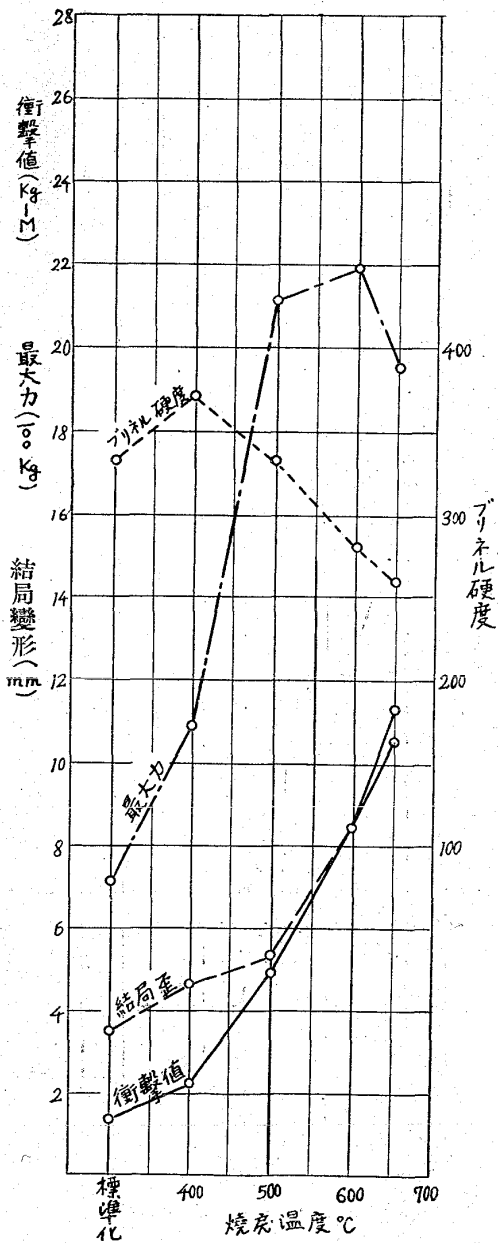


て結局變形も増加するが同一衝撃値に對する結局變形の差違が甚だ大きいことを注意せねばならぬ。又第 28 圖に於ても同一の衝撃値に對し最大力が大に變ることを示して居る。大體に於て衝撃値の少い間は最大力は衝撃値と共に増加し、衝撃

値が大となれば却つて減少する。前項(=)に於て述べた様に衝撃値が同一でも最大力や結局變形が大に變ることが材料の用途を考へる上に大切なことである。第 29 圖に示す最大力と結局變形との關係も最大力と衝撃値との關係に似てゐる。

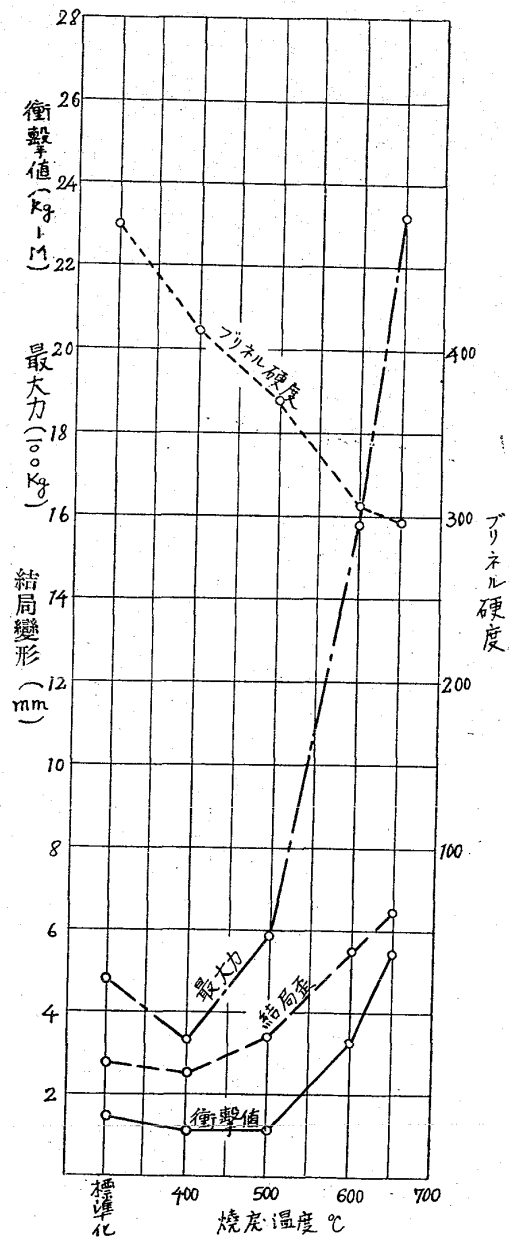
第 23 圖 鋼 No. 4

(C 0.35%, Ni 4.13%, Cr 0.97%)



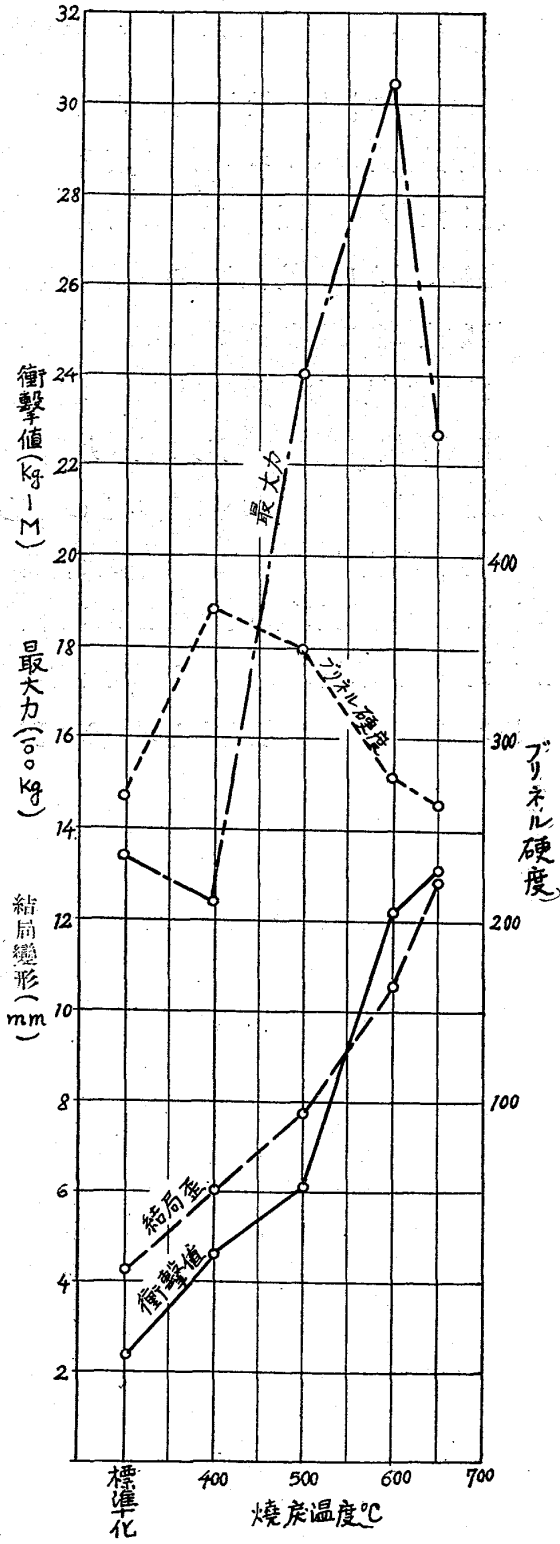
第 24 圖 鋼 No. 5

(C 0.45%, Ni 4.12%, Cr 1.80%)



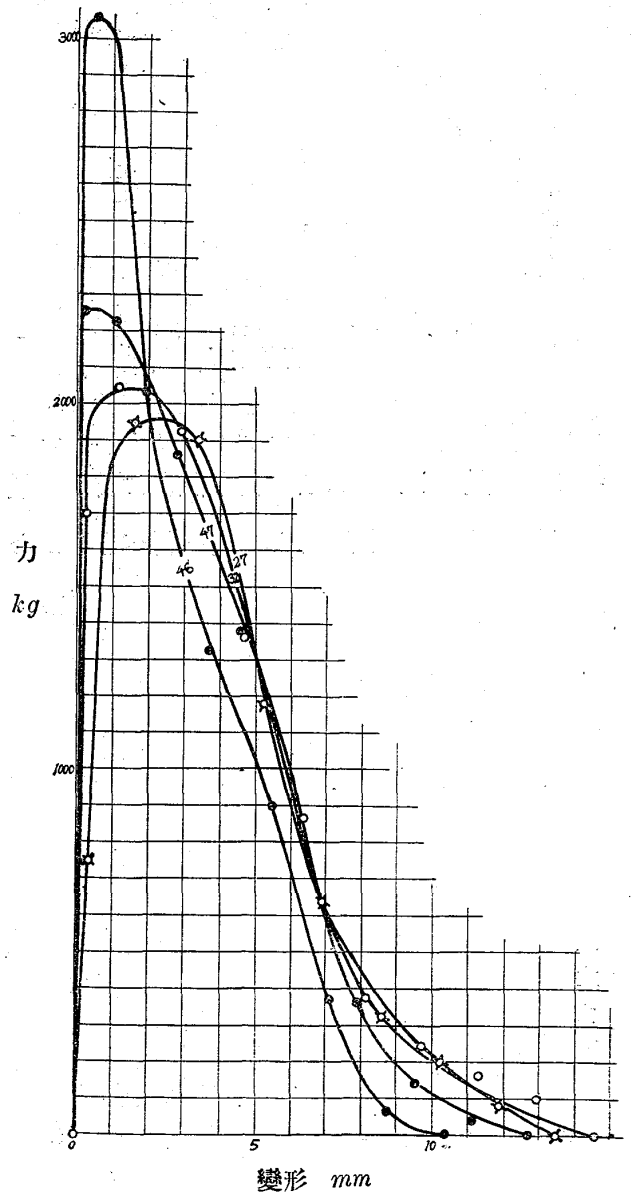
第 25 圖

鋼 No. 6

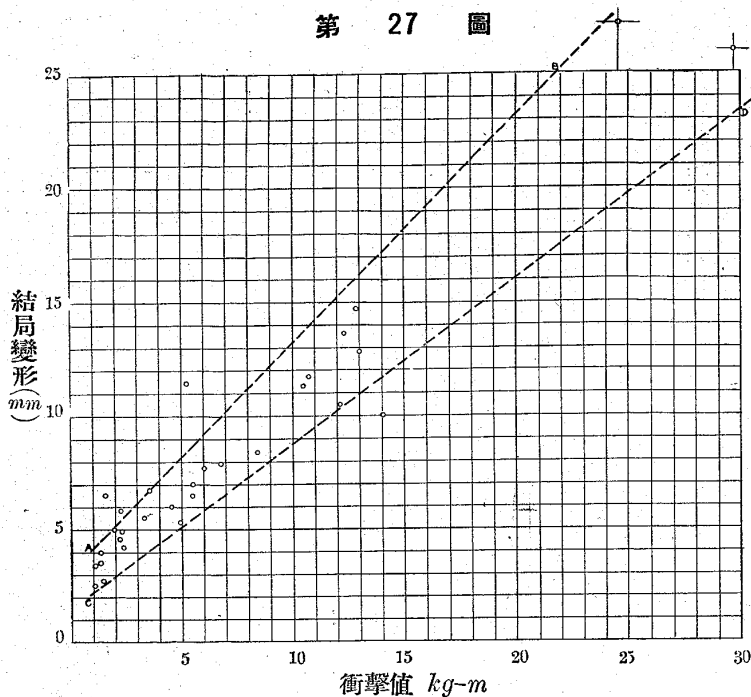


第 26 圖

鋼番號	衝擊值 (角度より)	熱 處 理
27	12'33	900°C 空冷 900°C 焼入 700°C 焼戻
32	12'88	" 850°C 焼入 650°C "
46	12'14	" " 600°C "
47	13'03	" " 650°C "



第 27 圖



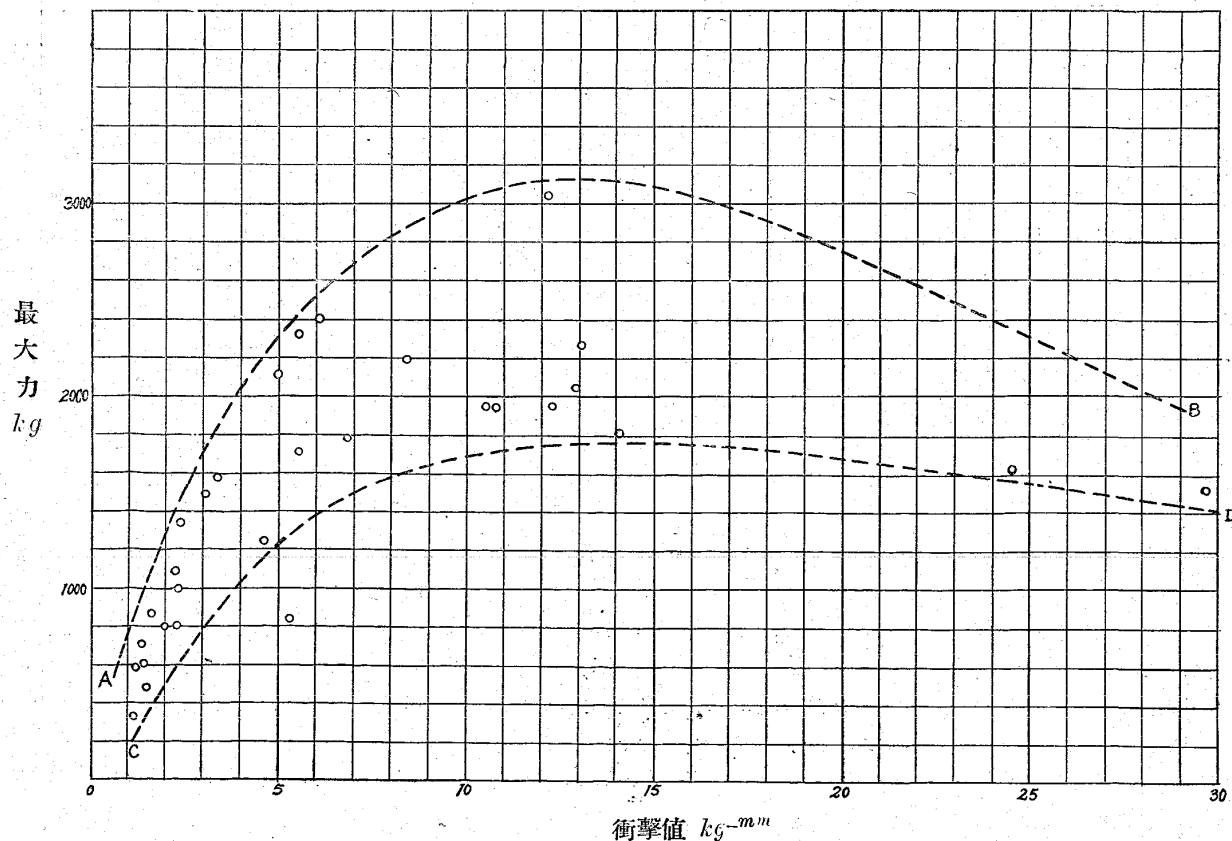
かつた。併し此の力-變形曲線を普通の工場で求めることは容易でない。若し何か容易に測定し得べき性質と最大力との間に簡単な関係があれば實用上甚だ便利である。

故に吾々は先づ最も簡単な方法として各衝擊試験片のブリネル硬度と最大力とを比較した。第 30 圖が即ち其の結果である。各點に記入した數字は其の成績に相當する衝擊値である。各點は甚だ不規則に散布して居るが最大力 1,500 kg 以下のものは大抵衝擊値が低い。而して最大力 1,500kg 以上の範圍にも衝擊値の低いものもあるが、衝擊値 10 kgm 以上のものは皆此の範圍に含まれる。今衝擊値の等高線をひけば圖のようになる。而して衝擊値 10 kgm 以上の様な高い衝擊値のものに就て考ふれば最大力とブリネル硬度と

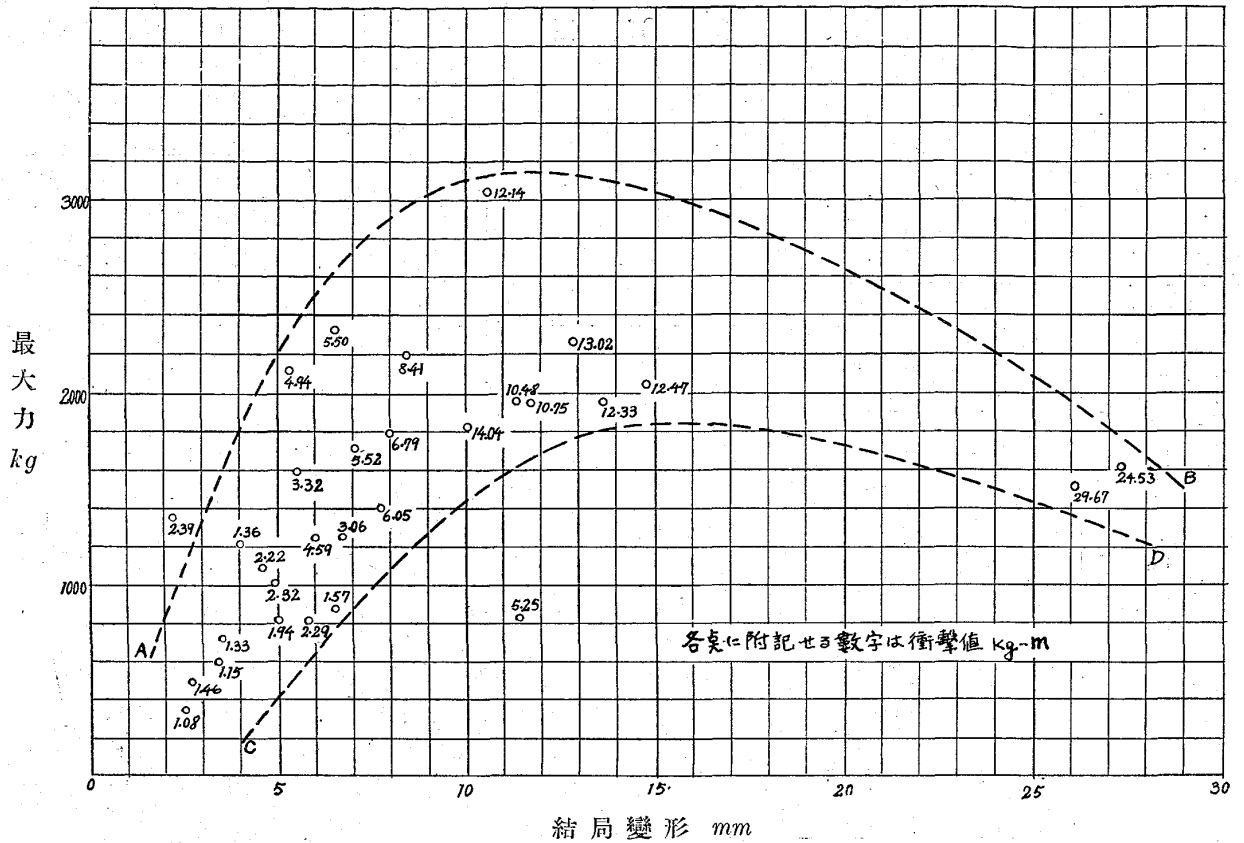
へ、ブリネル硬度と最大力との關係：—前に (=) に於て説明した處により衝擊試験に於ける最大力が材質比較の一因子として考へ得べき事がわ

圍に含まれる。今衝擊値の等高線をひけば圖のようになる。而して衝擊値 10 kgm 以上の様な高い衝擊値のものに就て考ふれば最大力とブリネル硬度と

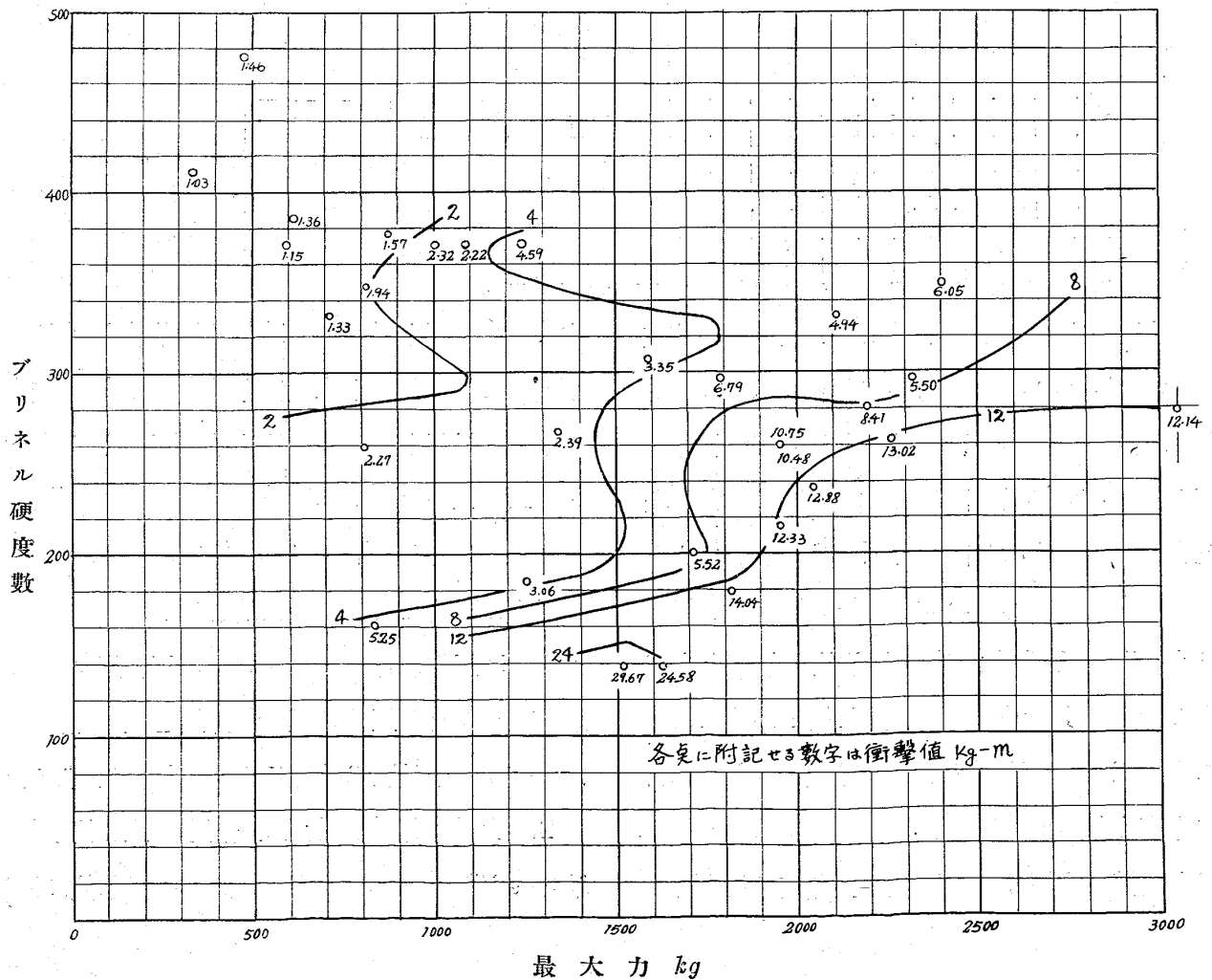
第 28 圖



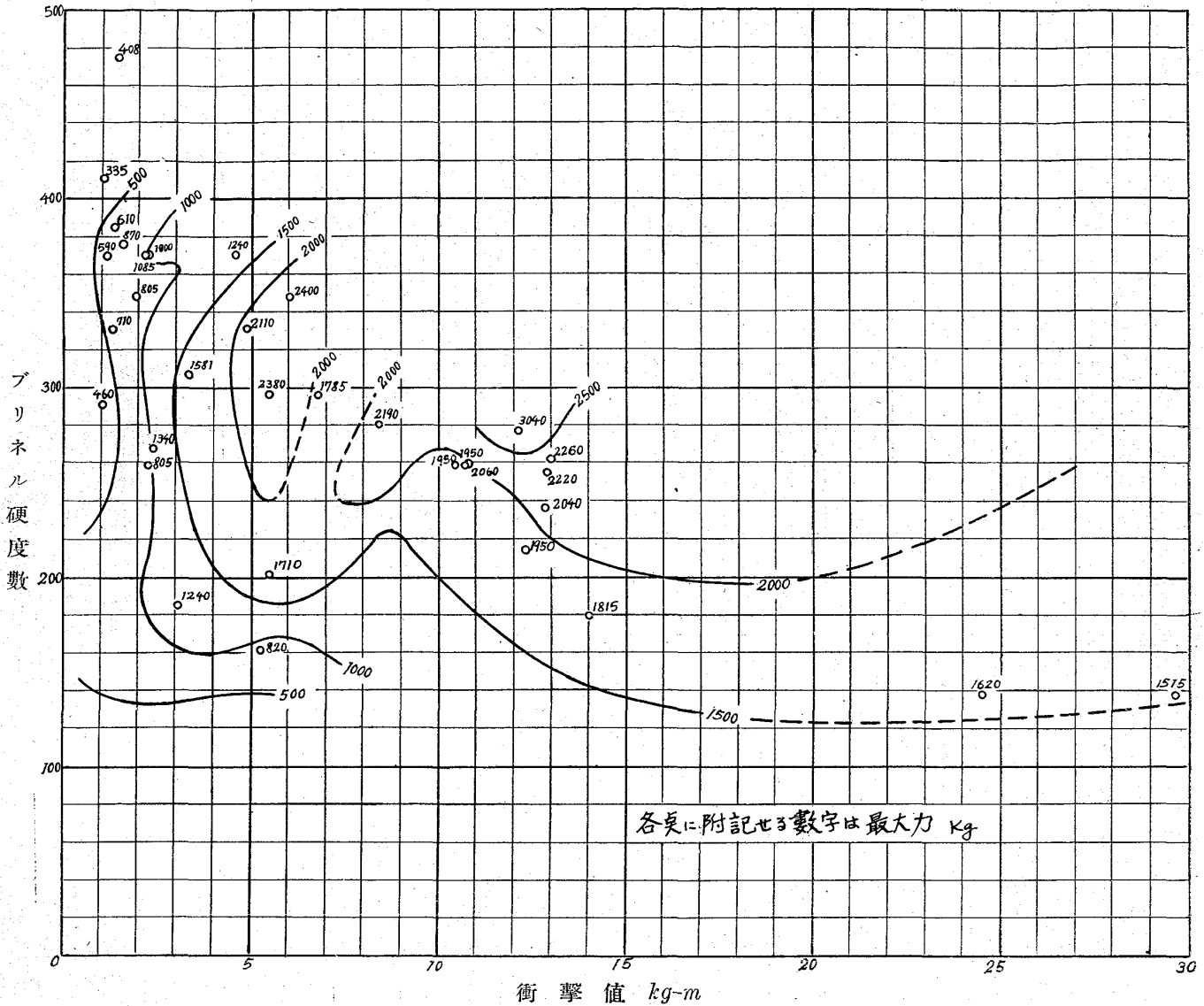
第 29 圖



第 30 圖



第 31 圖



各点に附記せる數字は最大力 kg

は大體相共に増減して居る。第 31 圖は各衝擊値試験片のブリネル硬度と衝擊値と最大力との關係を衝擊値軸とブリネル硬度軸を含む平面に投影して示したもので各點に記入した數字は最大力を表はし曲線は最大力の等高線を示してゐる。ブリネル硬度の著しく高いものは衝擊値も最大力も低くブリネル硬度 300 位の處に衝擊値も最大力も高いものが存在する様である。衝擊値 12~13 kgm 間にある五つの點はブリネル硬度の高いものが最大力も高くなつてゐる。

力の高い材料を希望する時には衝擊値とブリネル硬度との高い材料を求め衝擊値が高くても結局變形の大きい材料を求めるには衝擊値が高くてもブリネル硬度の低い材料を求めればよいことになる。

5. 結 論

以上の研究により次の結論を得。

1. 不銹鋼、ニッケルクローム鋼、高マンガン鋼、高ニッケル鋼等 8 種の特種鋼を種々熱處理したものと、衝擊試験に於ける力-變形曲線を求めた。
2. 力-變形曲線に於ける結局變形は衝擊値が増せば大體に於て増加するが同一の衝擊値に對し

以上の様な次第であるから衝擊値が高く且最大

結局變形は可なりの差違がある。

3. 力-變形曲線の最大力は衝撃値の少い間は大體に於て衝撃値と共に増加し衝撃値が大となれば却つて減少する。此の場合にも同一の衝撃値に對し最大力には可なりの差違がある。

4. 衝撃値が殆ど同一であつても最大力が大きくて結尾變形の少い材料もあるし、又其の反對の材料もある。故に力-變形曲線を求むることにより衝撃値を最大力と結局變形とに分析して考へ得るから、靜的抗張試験成績及衝撃値が同一の鋼でも一層適材を適所に使用することが出来る。

5. 本試験の供試鋼の内で鋼 No. 6 を 850° で焼入れ 600°C で焼戻したものは他の強靱特殊鋼より特に異つた力-變形曲線を與へ最大力が甚だ大きくて、此の種の鋼から或は砲身材料として適當なものが造り得られるかも知れず更に此の方面に研究の必要を認めた。

6. 衝撃試験の最大力とブリネル硬度とを比較するに全體としては何等特別の關係を認められないが、衝撃値が 10 kgm 以上と云ふ様な高いものに就いて考ふれば最大力とブリネル硬度とは大體相並んで増減する。

猶本試験成績と各種靜的試験成績との關係及衝

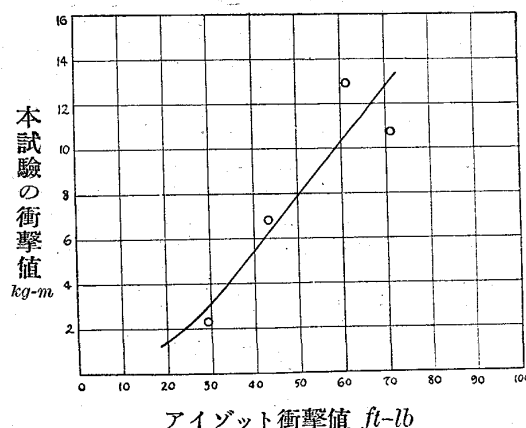
撃抗張試験に於ける同様の成績に關しては他日發表したいと思ふ。

終りに臨み本報告の發表を認許せられた海軍當局、力の計算に有益な助言を與へられた工學士松山武秀君及著者を助けて實驗の實施に當られた八代陽七君に滿腔の謝意を表する。

附 録

本研究に使用した衝撃試験機はシャルピー式であつて、之に使用した試験片の切込は其の影響を著しくするためにアイゾット式試験片の切込と同形にした。依つてアイゾット式の衝撃値と本試験

第 32 圖



の衝撃値との大略の關係を示せば第 32 圖の通りである。

(終)