

鐵と鋼

第六年 第十號

大正九年十月二十五日發行

ブリネル硬度試験に關する研究

杉山 金作

(一) 目的

一般にブリネル硬度試験に於ては一つの鋼球により試験材料を壓迫しその表面に生せる球痕の直徑を測定し表により定められたる硬度數を求め材料の硬度を比較するものにして次の關係式にて表はさる。

$$H = \frac{P}{\pi D h} \dots\dots\dots (1)$$

但し H = ブリネル硬度數

P = 靜荷重(克)

D = 鋼球の徑(毫米)

h = 球痕の深さ(毫米)

而して d = 球痕の幅(毫米)とせば

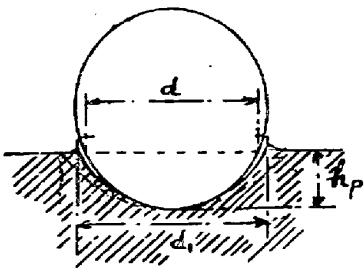
$$d = 2\sqrt{h(D-h)} \quad \text{或は} \quad h = \frac{1}{2}(D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

即ち硬度數は荷重 P を球痕の表面積 $\pi D h$ にて除したるもの換言せば單位表面積に於ける壓力なり此の方法に於ては一度壓迫せる材料の荷重を去り取り出して球痕の幅 d を測定せるものにして負荷の状態にありては材料の永久變形を受くる外更に彈性變形を生せること明かなり本研究に於ては硬度の測定をなすに當り荷重時に於ける鋼球の壓入せる深さを求め其際生ずる永久變形の外、彈性變形、鋼球の歪形による修正量實驗裝置よる來るもの(を)を測定し更に一定荷重に達してより變形

量の變化即ち硬度試験に於けるタイムエフエクトを求め荷重に必要な時間を決定し其間に生ずる球痕の深さの變化量を求む而して此れ等の測定を各種の荷重に於て行ひ荷重と諸變形量其の他のものとの關係を求め更に以上の測定により得たる結果を緊張試験の成績と比較し兩者の間に存する諸關係を求む。

(二) 試験の方法

荷重はブリネル硬度試験機に於けるバランスウェイトにより最大荷重3,000珎迄とし100珎500珎に相當する二種の分銅を用ふ、材料の受くる變形量を永久變形、彈性變形の二種に分ち以下に述ぶる装置により測定す、之れ等の變形量は鋼球か初め試料とポイントコンタクトにある時を零とし壓入せる深さを以て表はさる而して其の測定方法の概要次の如し先づ壓搾唧筒の働挺を上下し漸次壓力を高め所要の荷重に達しバランスウェイトの浮上り釣合ふと同時に秒時計を發動せしめ五秒時毎に變形量を測定しタイムエフエクトの無くなりたる後リリースバルブを開き壓力零に近きたる時バルブを閉ち鋼球か僅小なる壓力により球痕内に壓著せる時壓入せる深さを測定し之れを永久變形量(E_p)とす。今一定荷重量に達したる時に壓入せる深さを E_0 、タイムエフエクト無くなりたる時の深さを E_1 とせば E_p はタイムエフエクトによる變形量の増加を表はすへし、而して E_0 は荷重下に於ける永久變形、彈性變形、及び鋼球の彈性變形による修正量(本研究に用ひたる測定装置のため含まるゝものにして以下に述ぶる装置により修正量を求め修正を行ふ)の總和にして今修正量を E_1 とせば $E_p - E_1$ は壓迫荷重を加へられたる材料の受くる永久彈性兩變形量の和として求めらる從て $E_p - E_1 = E_0$ とせば之れ即ち本研究に於て彈性變形と稱するものなり試験の結果鋼球の歪形による修正量 E_1 は小なるも硬き材料に於てはその永久變形量小なるため其の影響著し又材料の特



質として球痕の周圍に多少の盛り上りを生ずるため普通に行はるゝ方法即ち球痕の幅を測定する場合圖示の如く PVQ となり硬度數を求むるに當り不正確なる點あるも本研究に於ては直接 P を測定せるを以て以上の缺點を補ひ得へし此等の變形量を測定するに次の裝置を用ふ。

(三)實驗裝置

1. 變形量測定裝置

(イ)構造第一、二圖 (ロ)作用並に測定法(第四圖)

2. 鋼球の變形による修正量測定裝置

(イ)構造第三圖 (ロ)作用並に測定法 (ハ)修正方法

1. 變形量測定裝置

(イ)構造 第一圖は本研究に於て變形量を測定するため考案せる一種のオプチカルレベル裝置にして C 、 D はプリンネル硬度試験機の一部にして C は荷重を傳ふる唧子鐸にしてその下部に B なる鋼球を有す H 及 K は試験片を支ふる臺にして角螺子により上下し得るものなり D は試験片 A を入るゝに足る内徑を有し止螺 F により A に固定さる D の一部にして水平に突出せる A の先端に上向せる鏡座を有し E なる反射鏡を裝備す又 I なる平面硝子片を貼付け反射鏡架 E の二脚を支ふ E は第二圖に示す如く一端に鋼球を入るゝ矩形の孔を有し他端に水平面と G をなして下向せる鏡座を有する一種の鏡架にして中間の二脚を I 上に置き G なる小錘により兩脚の尖端を支點とし矩形孔を鋼球面に壓着せしむること第一圖に示すか如し、矩形孔はその上面に於て m, n なる寸法を有し m は鋼球の直徑より小にして又 E なる小錘なり但し m, n はその差極めて小にして鋼球の直徑に近きものなり従て小錘 G により鋼球に壓着せらるゝときは ac, bd なる二邊と接するか ac, bd の外更に ad, bc 二邊の内何れかの一邊と接すること明かなり従て $(E-E)$ を充分小にするときは常に ac, bd 線の中

4
點に近き一點に於て接せしめ得べく且つ ac, bd は製作上少くとも其附近に於て平行に近く作り得べきを以て ac, bd の中點 ef に近き所にて測定せる平均距離を m とし ef 中點 o と二脚の尖端を結ぶ直線 op との水平距離 $op = l$ とせは l は鏡架 E の作働水平距離として充分精密に測定し得へし但し二脚 op は能ふ限り $gh/bd/ac$ なる様作られ尖端 i は面 (abc) 内に含まれ xx なる水平面を爲すを理想とす DE に於ける鏡座は夫々水平面と四十五度に近き傾きを以て上、下向し反射鏡 M_1, M_2 は略直角をなして相對す。

(ロ)作用及び測定法

本裝置に於て反射鏡二個を用ひたるは實驗中裝置全體か荷重其他の原因により上下動をなし又は傾けられ變位するもスケール上の讀みに誤差を生ずることなく此種の誤差を完全に消滅せしめ得る爲めにして硬度試験機の如く荷重を傳ふる唧子鉸及び試験片を受くる臺の一部にナツクルジョイントを有し壓迫の際生ずる無理を除けるものにおいて特に其必要を感じ次に略圖第四圖により鏡架 E の作用を説明すへし圖に於て鏡架の支點なる硝子面を xx にて表はし鋼球 o か荷重により移動せる方向を xy とせは小くとも各荷重に於て xx, xy は或る一定の方向をとり兩者の間の角度も亦一定なるへし今 o を以て無荷重の時の鋼球の位置 o' を以て荷重時に於ける位置 AB は鏡架の矩形孔 OD はその脚を示すものとし説明を簡單にするため $AB//xx, xx \perp xy$ にして鋼球は全く變形せざるものと假定す尙 $A'B'C'D'$ は荷重時に於ける鏡架の位置を示す。

今 R = 鋼球の半径

$r = 0$ を中心とし線 AB に切する小圓の半径

e = 小圓と AB との切點 P より xx に至る垂直距離

$h = 0o'$ = 荷重による鋼球の移動量

1 = PC = 鏡架の作動水平距離(但し AB ⊥ DC とす)

∠PDE = β. ∠P'D'E = α, ∠EFB' = θ. PD = d

とせは次の關係式を得

$$\theta = \alpha + \beta \quad GO' = r \cos \theta \quad EO' = h - r - e$$

$$\therefore EG = h - r(1 - \cos \theta) - e \quad \sin \alpha = \frac{h - r(1 - \cos \theta) - e}{d}, \quad \sin \beta = \frac{e}{d}, \quad \cos \beta = \frac{1}{d}$$

而して $\sin \alpha = \sin(\theta - \beta) = \sin \theta \cos \beta - \sin \beta \cos \theta$

$$\therefore \frac{h - r(1 - \cos \theta) - e}{d} = \frac{1}{d} \sin \theta - \frac{e}{d} \cos \theta$$

或は $h - r(1 - \cos \theta) - e = \sin \theta - e \cos \theta$

$$\therefore h = (r + e)(1 - \cos \theta) + \sin \theta \dots \dots \dots (1)$$

(1)式に於てθは鋼球が0よりe'に移動せるため鏡架の傾ける角度にして即ち反射鏡E'及びH'間の角度の變化量なるを以て第一圖に於てPを入射光線Sを反射光線とし反射鏡よりスケール迄の距離をLθなる傾きによる讀差をHとせはθの小なる間は $\theta = \frac{H}{2L}$ にて表はさる。

従て此の値を(1)式に代入し

$$h = (r + e)(1 - \cos \frac{H}{2L}) + \sin \frac{H}{2L} \dots \dots \dots (2)$$

を得。

さてAB=DEを鋼球の直径に近かしむればrは相當小なるものなりeは第一圖に示せる如くA,B,Dを一直線上にあらしむる様作らるゝにより殆んど零に近きものとなる且つθは小なる角度にして

H は L に比し充分小なるを以て(2)式に於ける $(1 - \cos \frac{H}{2L})$ は又極めて小なる値なるべく且 $\sin \frac{H}{2L}$ なるにより(2)式の第一項は吾人の實驗精度に於て省略せられ $h = \frac{HL}{2L} \dots \dots \dots (3)$

の如く簡略せらる。(3)式は鋼球の移動量 h を求むる算式にして普通のオブチカルレハの算式と同じものなり h は既に述べたる如く鏡架の矩形孔の中心と二脚との間の水平距離にして充分精密に測定せらる而して此の場合鋼球の變形無きものとせば h は鋼球が金属材料に壓入せられたる眞の深さを表はすへし然るに實際に於て鋼球は荷重により變形さるゝを以て今鋼球が均質にして完

全なる球狀を有し上下二平面間にありて壓迫さるゝものとせば其の變形は縦軸に就きて對稱的のものにして圖の如く鋼球の變形のみにより鏡架の傾きを變すへし從て荷重時に於ては

$$h = (h_1 + h_2 + h_3) + (鋼球の永久變形) + (鋼球の變形による修正量)$$

或は $h = h_1 + h_2 + h_3$ なる形にて表はさる。

2. 鋼球の變形による修正量測定裝置

(イ)構造(第三圖)

圖に於て K, L はブリッネル硬度試験機の一部を示す B は鋼球 A は試験片 C は試験片を支ふる臺にして A は中心に約一耗の小孔を有し F なる針を通す F は上端平かにして下部に於て D に固定せられ發條 G により鋼球 B の下面に壓着せらる D は十字形に交れる骨を有し一端に I なるアームを有す此の骨は臺 C の上部に作られたる十字形の溝にゆゑく嵌合す I は其の屈曲部上面に硝子片 N を有し反射鏡架 E の二脚を支ふ又 M なる反射鏡を有し M と略直角を以て相對す。

鏡架 E は既に述べたるものと全く同一のものを用ふ C は中心に針 F の下部に入るべき小孔を有

しガイドを爲す又外部にピツチの小なる螺絲を刻み發條調整金Hを螺入す尙上面に互に直角に交る溝を有すること前述の如し。

(ロ)作用並に測定法第三圖

前記の如き構造を有するを以て鋼球Bを試験片Aの小孔上に置き荷重により壓入せしむるときはFDを経てI及び反射鏡 M_1 は鋼球の壓下せられたるだけ押し下げらる。

此の場合針FはACの小孔と間隙少く常に一定の關係を以て嵌合し且つ押し下げらるゝ量も小なるを以てDI M_1 等は一定の方向に移動す從てI上に支へらるゝ鏡架Eも鋼球Bが完全なる球面を有し荷重により變形せざるものとせばDI等の動きたると同一の方向に動かさるに過ぎずして全裝置は一定方向に平行移動を爲すのみなるを以て反射鏡 M_1 M_2 間の角度は不變なり然るに鋼球は荷重により變形する爲め鏡架Eは傾けられ M_1 及び M_2 間の角度は變せらる即ち荷重に伴ふ鋼球の變形により生ずるスケール上の讀差 h として求めらるへしこゝに注意を要するは實際の硬度試験に於ては試験片に小孔を有せざるを以て斯くして求めたる修正量は多少狀況を異にせるやの感あるも荷重下に於ける鋼球の變形による修正量は他の變形量に比し極めて小なるものに過ぎず而も小孔は球痕の表面積に比し小なるものにして之あるか爲め鋼球の變形を異にすることありとするも本研究に於ける測定範圍に於ては影響なき程度のものなり。

(ハ)修正方法

以上の測定法により得らるゝ修正量は荷重の大小使用せる鋼球の種類試験材料の性質等により異なる實驗の結果試料の種類により生ずる差異は極めて小にして本研究に於ては考に入るゝ程度に達せざるを以て二三種の材料につき測定せる結果の平均値を採る尙鋼球は外徑 ϕ 耗にして實驗中終始同一のものを使用し各荷重に對する修正曲線圖(第十一圖)を求め之れにより修正を行ふ。

(四) 倍率

以上の装置に於て測定するに倍率 200. を採りスケール上の目盛り $\frac{1}{10}$ 耗を容易に判讀し得るに

より各種變形量は $\frac{1}{2000}$ 耗迄測定せらる。

尙スケールの距離及び鏡架の寸法により倍率を適當に定め得へく若し硬度數をスケール上に目盛り置かは直ちに硬度を求め得へし。

(五) 實驗により直接求め得る諸關係

(イ) 荷重と諸變形量との關係

(ロ) 各荷重に於て變形量に及ぼすタイムエフエクト

(イ) 荷重と諸變形量との關係

一個の試験片をとり之れに荷重し各荷重に於ける變形量を求むるときは荷重と變形量との間に存する次の關係を求め得へし。

(i) 荷重に對する總和變形 (ii) 荷重に對する永久變形 (iii) 荷重に對する彈性變形

(ロ) 各荷重に於て變形量に及ぼすタイムエフエクト

一定荷重に達してより五秒時毎に變形量を測定するときは變形量の増加の状況を明かにし得へし而して四回同し讀みを繰り返したる時は已に變形量一定の値に達し最早タイムエフエクト無きものとして止む之の方法により次の諸關係を得へし。

(i) 毎五秒時に於ける變形量の増加の状況

(ii) 各荷重に對する變形量の結局の増加量

(iii) 各荷重に於てタイムエフエクトの無くなる迄に要する時間

(六) 試験材料

試験材料として次の八種を用ふ。

低炭素鋼 ニッケルクローム鋼 工具鋼 満俺青銅
 * 青銅 * 黄銅 銅 * アルミニウム

* 印は鑄造せるままのもの其の他は鍛錬せるもの

以上の試験材料につき緊張試験の結果次の如し。

試験鋸寸法(13.5耗の径150耗の標點距離)

種 類	弾性限 延/平方耗	緊張力 延/平方耗	延伸度%	弾性係數 延/平方耗
低炭素鋼	27.3	40.2	34	18.6 × 10 ³
ニッケルクローム鋼	36.8	61.8	31	23.2 × 10 ³
工具鋼	71.7	76.2	24	—
マンガン青銅	71.6	76.3	25	18.5 × 10 ³
満俺青銅	27.1	36.4	2	9.49 × 10 ³
黄銅	6.4	16.3	25	—
青銅	23.2	23.5	30	—
アルミニウム	3.2	9.2	2	6.51 × 10 ³

(七) 實驗成績

實驗の結果得たる成績は第五乃至十一圖に示すか如し。

但し硬度試験に於ては各材料につき夫々三個の試料を用ひ得たる結果の平均値を求む試験片寸法は径20耗高さ20耗の圓柱にして兩端面を精密に仕上ぐ。

圖中に用ひたる記號次の如し。

H = 荷重時に於ける變形量の總和(修正量を含む)

H_p = 永久變形量

h_0 = 彈性變形量

$h - h_0 = h_p + h_e$ = 永久並に彈性兩變形量の和

h_p = 鋼球の變形による修正量

Δh = タンムエフエクトによる變形の増加量

P = 壓迫靜荷重

t = 荷重 P を作用せしむる時間

T = タンムエフエクトの無くなる迄の荷重時間

ΔH = T に於ける荷重の變形増加量

而して第五圖は低炭素鋼について各荷重に於ける變形量を測定せるものにして他種材料についても類似の曲線を得たり第六圖乃至八圖は之を示すものとす第十一圖は修正量を h_p を求めたるもの第九圖及十圖は荷重に對する Δh , ΔH , t 及び T の關係を求めたるものなり。

以上の曲線圖に就て考ふるに第六圖に示すか如く硬度試験に於ては適當なる範圍の荷重に對して荷重と永久變形量との間に略々直線的關係を有し $H = \frac{P}{\pi D h_p}$ なるものと見らるへし即ち硬度低き材料に對しては P の小なる時此の關係成立し硬度高きものは比較的廣き範圍の荷重に於て成り立つとも硬度と共に P も又相當大なるを要す以上の關係は普通ブリネル試験に於て硬度低きものは $P = 500$ 庇高きものは $P = 3000$ 庇に於て測定するものとして大體指示さる、次に彈性變形曲線圖第七圖に就て見るに一般に荷重小なる間は永久變形小なるため比較的彈性變形の増加率大にして荷重の増すとともに永久變形の増加するため彈性變形の増加率著しく減し硬度低き銅、黃銅、アルミニウム等に於ては殆んど増加せざるのみか終に幾分減少する傾きあり之は荷重とともに永久變形量増大するため平均荷重(單位表面積に於ける)の増加の割合少きこと及び變形により冷鍛度の増加

せる結果と見らるへし従て一般に永久變形大なるものは彈性變形小にして永久變形小なるものは彈性變形大なる結果を示す。

荷重時に於ける變形量の増大の状況は第九圖に於て求めらる然れともブリンネル試験機に於てはハンドポンプにより壓力の低下を少しつゝ補ふ結果終始一定の荷重を與ふる事困難なるも大體に於て荷重一定と考えらるへし従てT及び△は一定荷重のみによるるときより多少大なる値を示すへきも實際ブリンネル試験機に於て硬度を求むる實用上の目的に對しては之れにて充分なるへし即ち第十圖に於て硬度低き材料はタイムエフエクト著しく△及びT共に大なり之れに反し硬度高き材料にありてはタイムエフエクト小なり但しアルミニウムは例外の現象を呈す一般にT曲線と△曲線とは略々平行の關係を有しT大なれば△も大なり。

(八)實驗の結果より求め得らるゝ諸關係

(イ)荷重と硬度數との關係

$$\text{今 } H_1 = \frac{P}{\pi D h_1}$$

$$H_2 = \frac{P}{\pi D(h_2 + h_0)}$$

但し鋼球の變形は小なるを以てDは一定にしてD=10とす。

$$H_3 = \frac{P}{\pi D h_3}$$

H_1, H_2, H_3 は各變形量を用ひて求めらるゝ硬度數にして H_1, H_2 は荷重時に於けるもの△は無荷重の時に於けるものに相當す H_1 は修正を與へざる變形量に相當するものにして△との間に幾何の差異あるやを比較せんかため求めたるものなり△は『荷重時に於ける硬度數』とも稱すへきものにして鋼球の變形を考へに入れざる時は $\pi D(h_2 + h_0)$ なる表面積にて荷重を受くへきを以て單位表面積に於ける平均壓迫荷重を表はす△は從來の硬度試験に於て求むる硬度數に相當するものにして球痕

の幅の代りに直接深さを測定して得たる點異なるのみなり。

第十二圖は低炭素鋼について之れ等の硬度數を表はす曲線圖にして一般に H_1 及 H_2 曲線圖は略々平行なる關係を保ち H_1 は裝置のため入り来る修正量 E を含むため H_1 より稍小なる値を示す H_2 は H_1 と其の傾きを異にす第十三乃至十五圖は夫々各種材料につき硬度數を比較せる曲線圖にして一般に荷重 500 庇以下に於ては硬度數の變化大にして一定なる値を得難く硬度 100 以下のものを除き略々一定なる硬度數を求むるためには少くとも荷重 500 庇以上を要する事明かなり。

$$(a) \quad P \text{ と } M = \frac{H_2}{h_2} = \frac{P}{\pi D(h_1 + h_2)} \text{ との關係}$$

已に述べたる如く $H_2 = \frac{P}{\pi D(h_1 + h_2)}$ は材料の單位表面積に受くる平均荷重を表はすを以て之れによりて生ずる彈性變形 h_2 との間に緊張(又は壓縮)試験に於ける荷重及ひ彈性伸張(又は壓縮)の關係即ち彈性係數に類似の事實存するやを試むるために $K = \frac{H_2}{h_2}$ を求め之れを P に對する曲線圖として第十六圖を得、圖に於て $P=500$ 庇以上の場合はずへて荷重の増加と共に M は漸減し $P=1,000$ 庇以上に於ては各點は略々一直線上に横はり而も各線略々平行せるも硬度増すと共に稍其の傾き(横軸に對し)を増す傾向あり即ち硬度試験に於て求めたる M の値は荷重 P に對して彈性係數 E の如く一定なる能はず之は主として緊張試験に於ては單位面積に於ける荷重及ひ變形量か斷面各部に於て略一樣なるに比し硬度試験に於ては球面にて荷重を受くるため球痕の大小により單位表面積に於ける平均荷重及ひ彈性變形量共に其の趣を異にせるためにして球痕を生ずる荷重 P により M の價も夫々異なるは明かなり。

(ハ)彈性係數 E と M との關係

今 $K = \frac{H_2}{M} \dots (1)$ と置き第十六圖により $P=1200$ 庇—3000庇に於ける十種荷重に對する M の價を

圖上に求め彈性係數E(緊張試験により測定せるもの)を除しkの値を算出せは別表一の如し。
 之れにより曲線圖を求め第十七圖を得へし圖に於て直線Eは各種材料に對するkの平均値によ
 り得たる曲線にして圖上に於て此等曲線の内ヨリ最も偏するものを各荷重につきて求め之れを
 正負の符號により表はすものとせは別表に示す如し。

(表 一)

$k = \frac{E}{M}$ の 値 但し P=1200-3000 磅						
種 類 E 係數平方 荷 重 磅	ニッケル クロム 鋼	低炭素 鋼	マンガン 鋼	燐 青 銅	アル ミ ニ ウム	kの平均値
1200	23.2 × 10 ³	18.6 × 10 ³	13.5 × 10 ³	9.49 × 10 ³	6.5 × 10 ³	3.55 × 10 ³
1400	3.84 × 10 ³	3.51 × 10 ³	3.38 × 10 ³	3.28 × 10 ³	3.72 × 10 ³	3.73 "
1600	3.98 "	2.66 "	3.56 "	3.52 "	3.95 "	3.90 "
1800	4.08 "	3.80 "	3.76 "	3.80 "	4.06 "	4.05 "
2000	4.22 "	3.95 "	3.92 "	4.03 "	4.12 "	4.19 "
2200	4.35 "	4.08 "	4.09 "	4.22 "	4.20 "	4.31 "
2400	4.50 "	4.23 "	4.23 "	4.32 "	4.26 "	4.43 "
2600	4.63 "	4.43 "	4.38 "	4.40 "	4.33 "	4.56 "
2800	4.78 "	4.59 "	4.50 "	4.52 "	4.40 "	4.75 "
3000	4.93 "	4.77 "	4.66 "	4.62 "	—	4.95 "
	5.15 "	5.03 "	4.78 "	4.75 "	—	

(表 二)

P	kの平均値	最 大 差	% に 対 して
1200	3.55 × 10 ³	正 0.25 × 10 ³ 負 0.32 × 10 ³	正 7.03 負 9.0
1400	3.73 "	正 0.24 " 負 0.18 "	正 6.42 負 4.83

1600	3.90	〃	0.22	〃	0.14	〃	5.64	3.58
1800	4.05	〃	0.20	〃	0.14	〃	4.93	2.47
2000	4.19	〃	0.19	〃	0.08	〃	4.53	1.91
2200	4.31	〃	0.18	〃	0.07	〃	4.18	1.62
2400	4.43	〃	0.16	〃	0.14	〃	3.61	3.16
2600	4.56	〃	0.16	〃	0.25	〃	3.50	5.48
2800	4.75	〃	0.18	〃	0.12	〃	3.78	2.52
3000	4.93	〃	0.21	〃	0.15	〃	4.25	3.03

依りて表二に示す如き誤差の範圍に於て彈性係數を求むるものとせは直線 m より

$$k = 5.6P \times 10^{-4} + 2.88 \dots \dots \dots (2)$$

なる關係式を得。

即ち係數 k の平均値を表はす式にして之を(1)式に代入せは

$$E = (5.6 \times 10^{-4}P + 2.88)M \dots \dots \dots (3) \text{となる。}$$

然るに

$$M = \frac{P}{\pi D(l_p + h_e)h_e} = \frac{H_e}{h_e} \text{ なるにより}$$

$$E = \frac{(5.6 \times 10^{-4}P + 2.88)H_e}{h_e} \dots \dots \dots (4)$$

$$\text{又は } E = \frac{1.78P^2 + 9160P}{(l_p + h_e)h_e} \times 15^{-5} \dots \dots \dots (5)$$

但し E = 彈性係數(廷/平方耗)

として表はさる。

即ち(4)(5)は硬度試験に於て荷重に對する彈性及び永久變形量を測定しその材料の彈性係數を求むる算式なり。

今前式によりて得らるゝ彈性係數を實測せる結果と比較せは次表の如し。

彈性係數(E)廷/平方耗 (表 三)

種 類	彈性試驗により 測定せるもの	算式(5)より求め たるもの但しP=2000廷	差	%
低 炭 鋼	18.6×10^3	18.1×10^3	-0.5×10^3	-2.68
ニッケルクロム鋼	23.2×10^3	21.2×10^3	-2.0×10^3	-8.6
マンガン青銅	13.5×10^3	13.6×10^3	$+0.1 \times 10^3$	+0.74
磷 青 銅	9.49×10^3	9.1×10^3	-0.39×10^3	-4.10
アルミニウム	6.5×10^3	6.4×10^3	-0.1×10^3	-1.54

又Eの實測値なきもの工具鋼、黃銅及び銅につきて計算せる價次の如し。

工 具 鋼

$$E(P=2000\text{廷})$$

$$26.8 \times 10^3 \text{ 廷/平方耗}$$

黃銅(P=1000の時)

$$7.2 \times 10^3$$

銅

$$12.3 \times 10^3$$

(三)緊張力(B)と硬度數H₃(又は永久變形D_p)との關係

今

$$B = \text{緊張力(廷/平方耗)} \quad H_3 = \frac{P}{\pi D h_p} = \text{硬度數}$$

h_p = 球痕(永久變形)の深さ(耗)とす。

本研究に於て得たる結果により之れ等三者の間の關係を求めんとす、先づ第十五圖に於てBとH₃との間の曲線圖を見るに各材料共P=1000—1800廷の間に於てH₃の値略々一定なり即ちP=10000, 1000, 1400, 1600, 1800廷の場合に於ける硬度數を擧ぐれば次表の如し。

硬度數(H₃)の値 (表 四)

種 類	P=1000, 廷 の時	1200, の時	1400, の時	1600, の時	1800, の時	平均値
アルミニウム	54	56	57	57	57	56
銅	113	111	110	108	106	110

鐵	青	銅	135	135	136	137	139	136
低炭素鋼			149	149	149	148	150	149
ニッケルクロム鋼			207	208	207	208	204	207
マンガン青銅			236	238	241	242	241	210

依りて今各材料につき H_u の平均値を求め之れと緊張試験に於て得たる緊張力とを比較せは

(表五)

種類	緊張力 延/平方	H_u 平均値 但し $P=1000-1800$ 延
アルミニウム	9.2	56
銅	23.5	110
鐵	36.4	136
低炭素鋼	40.2	149
ニッケルクロム鋼	61.8	207
マンガン青銅	76.3	240

今之れ等の價を曲線圖にて表はせは第十八圖に示す如くにして P と H_u の間には略々直線的の關係あり。

從て之の直線を以て P 、 H_u 間の關係曲線とせは次の關係式を得。

$$B = 0.357 H_u - 12.4 \dots \dots \dots (6)$$

$$\text{又は} \quad B = 0.0114 \frac{P}{h_p} - 12.4 \dots \dots \dots (7)$$

但し鋼球の徑 $D=10$ 毫米を用ふるものとす。

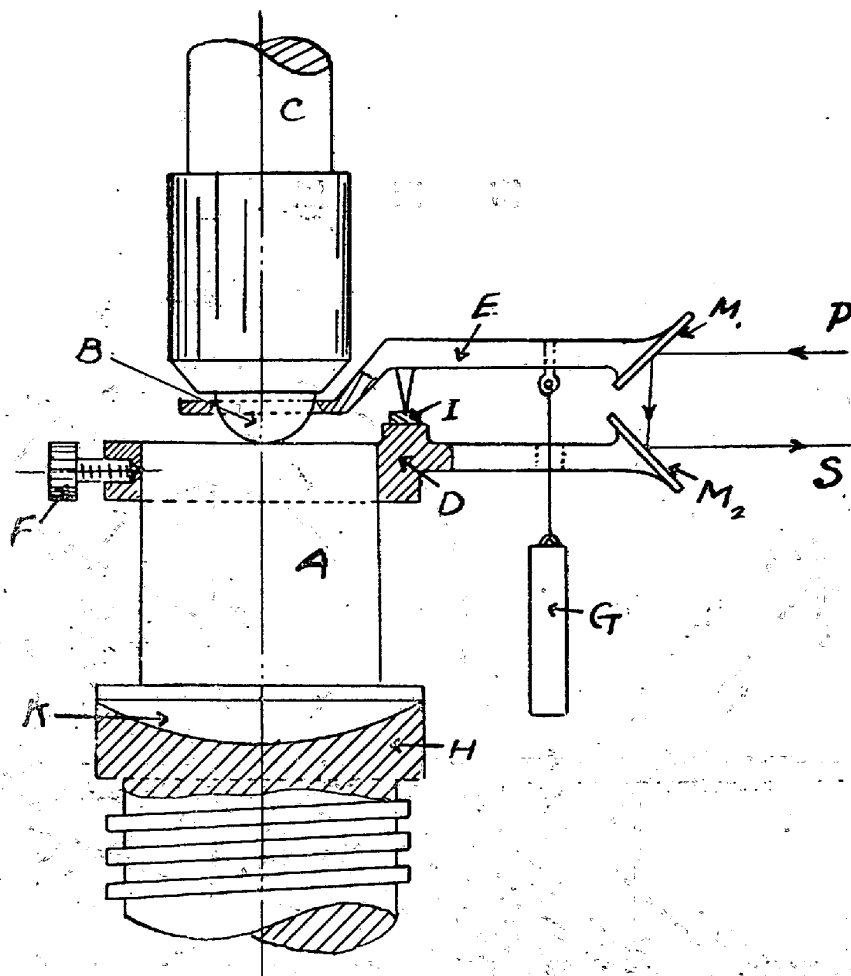
即ち(6)式は硬度數(H_u)と緊張力(B)との間の關係式にして

$$H_u = 56 - 240$$

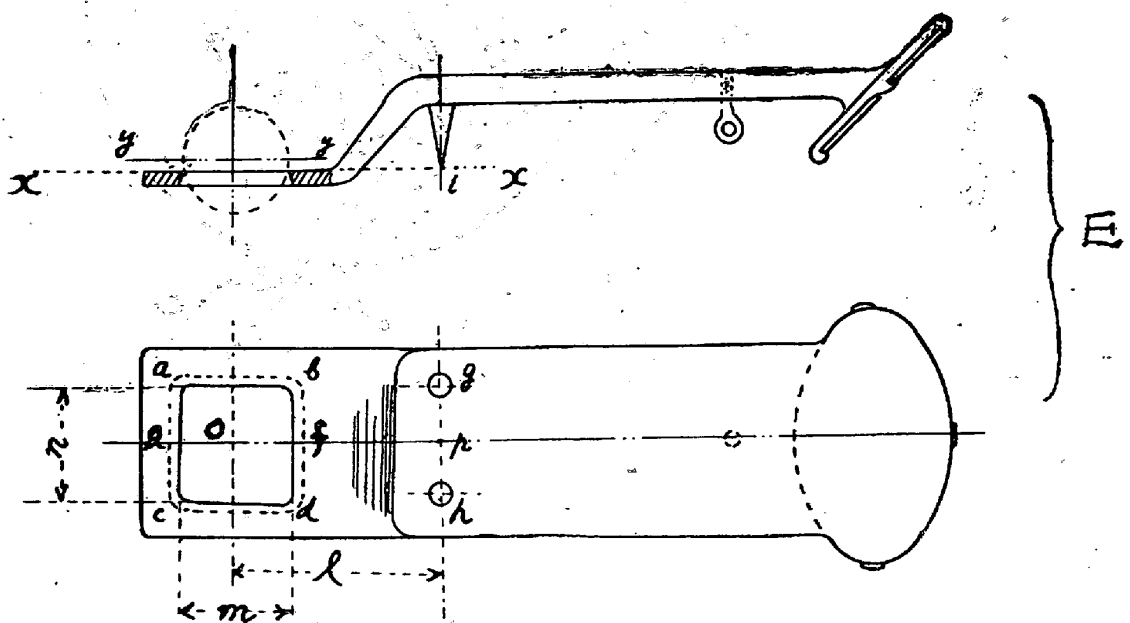
$B = 9.2 - 76.3$ 延/平方毫米の間に於て求め得たるものなるを以て此の範圍内に於て成立

すへし今上式により B を計算し實測によりて得たる結果と比較せは次の如し。

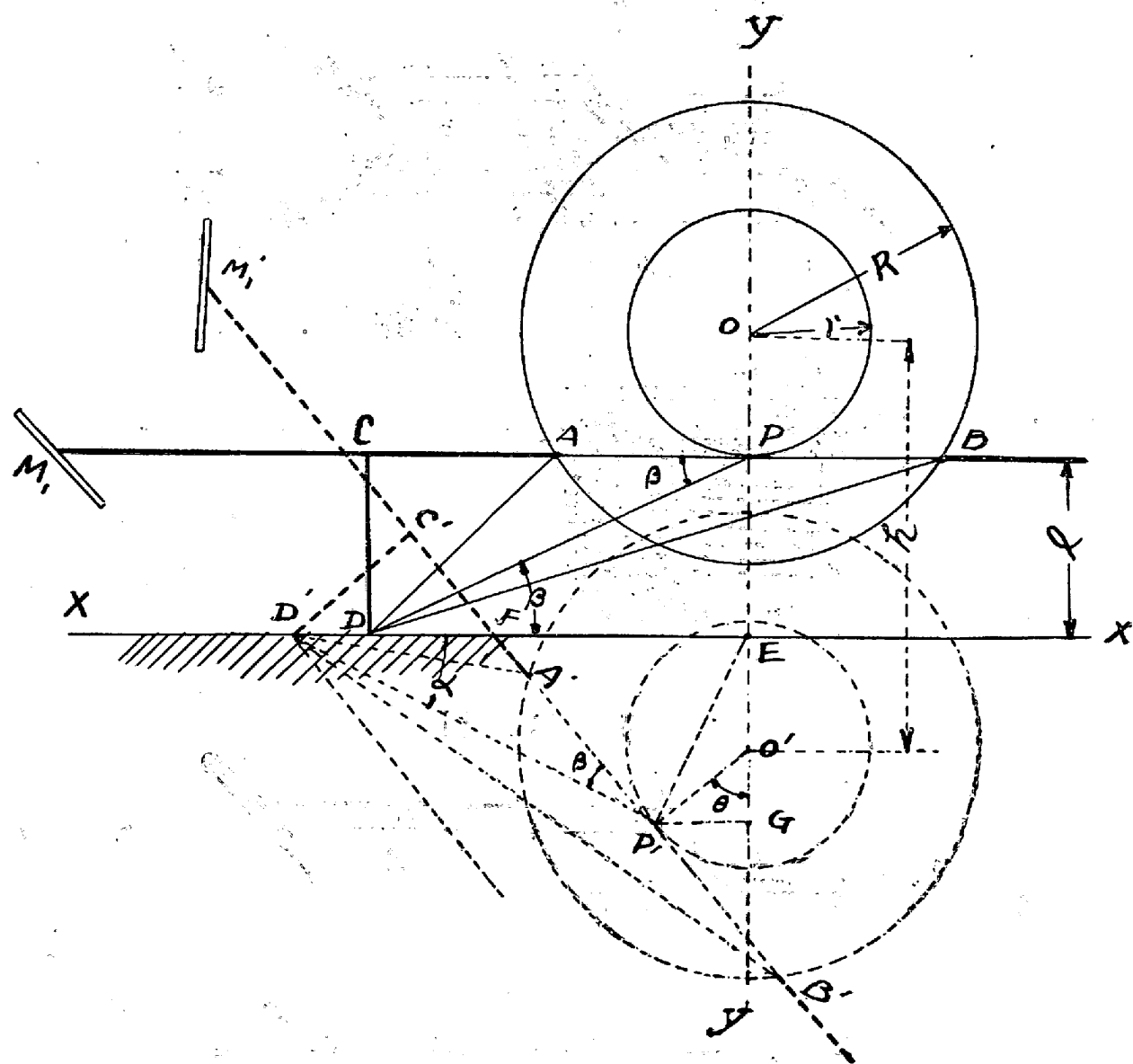
第一圖



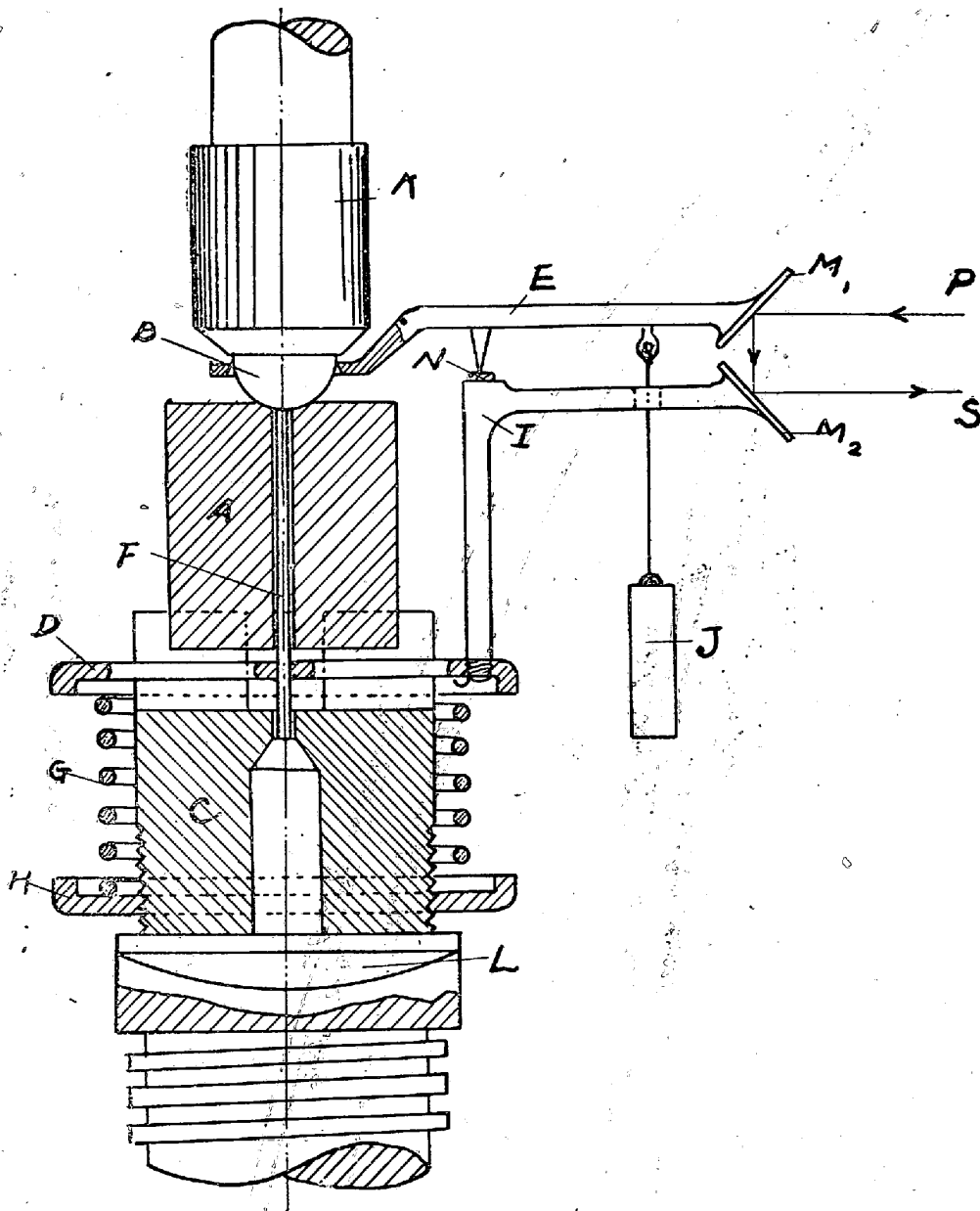
第二圖



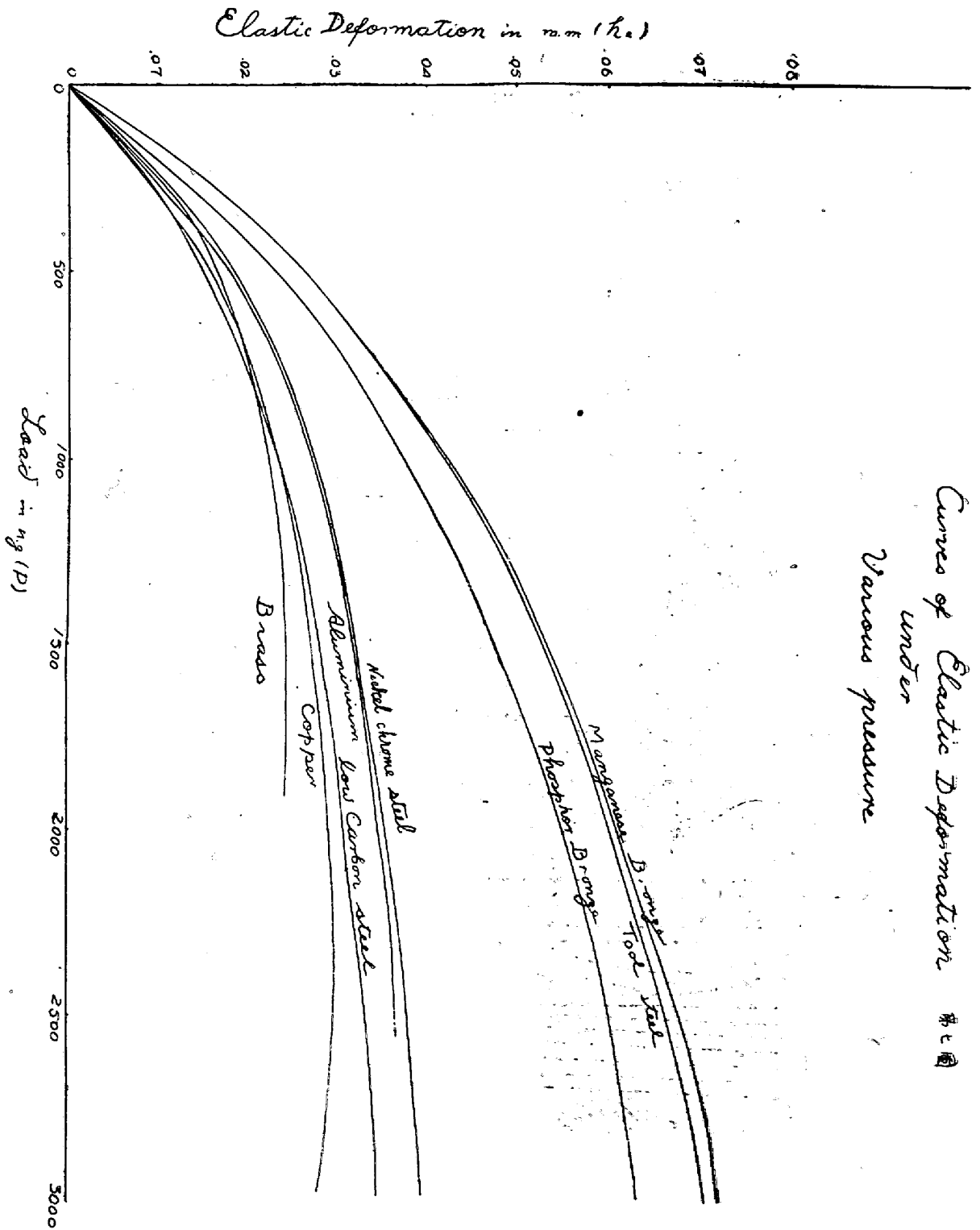
第四圖

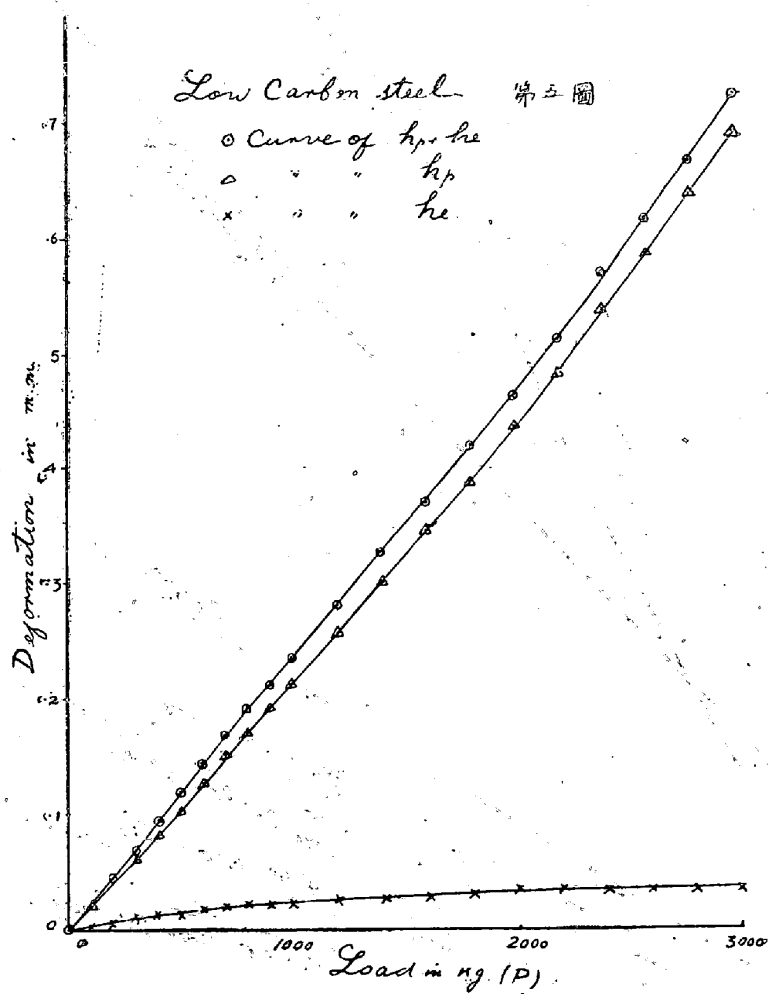


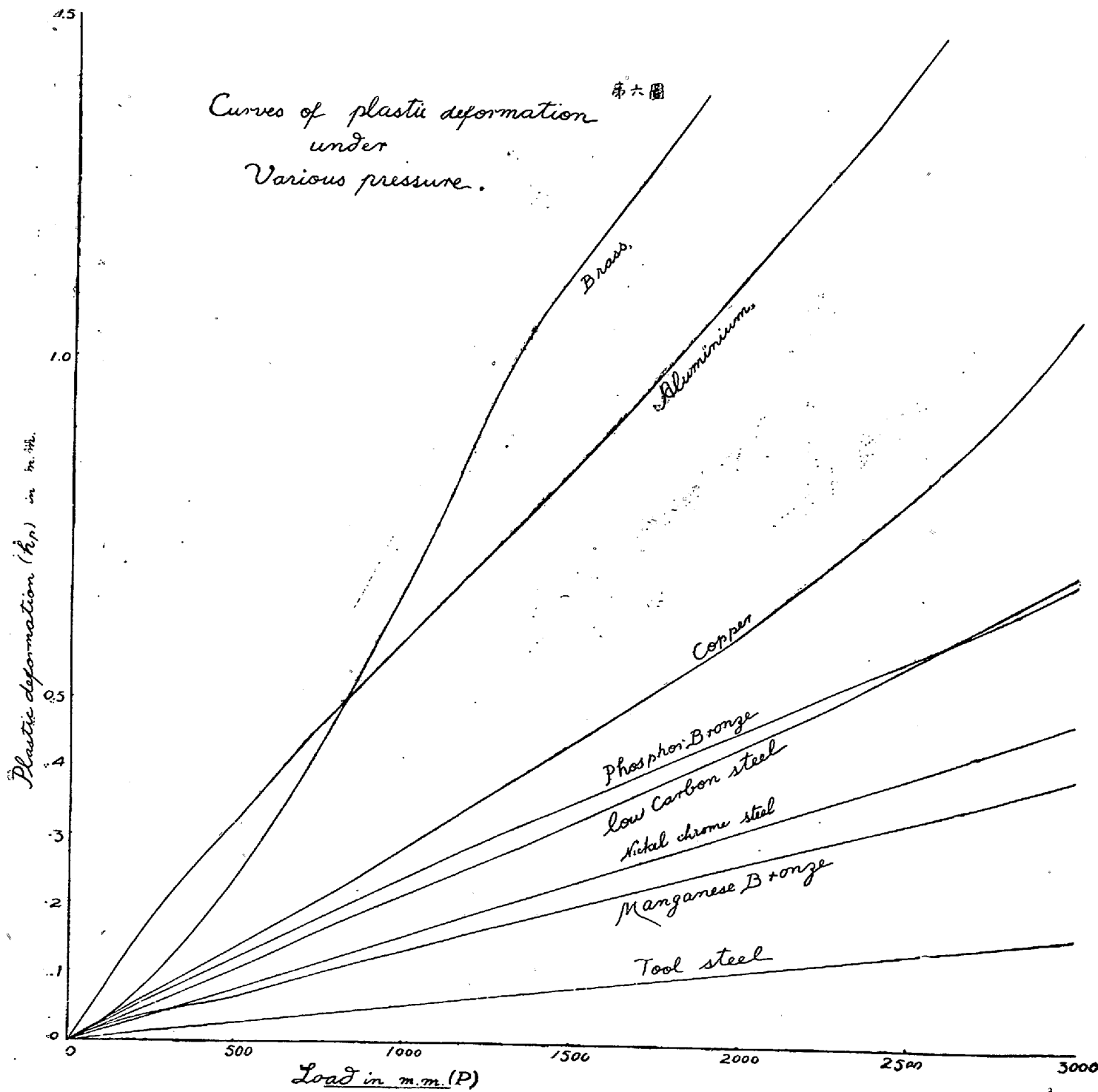
第三圖



Curves of Elastic Deformation under
Various pressure 第七圖

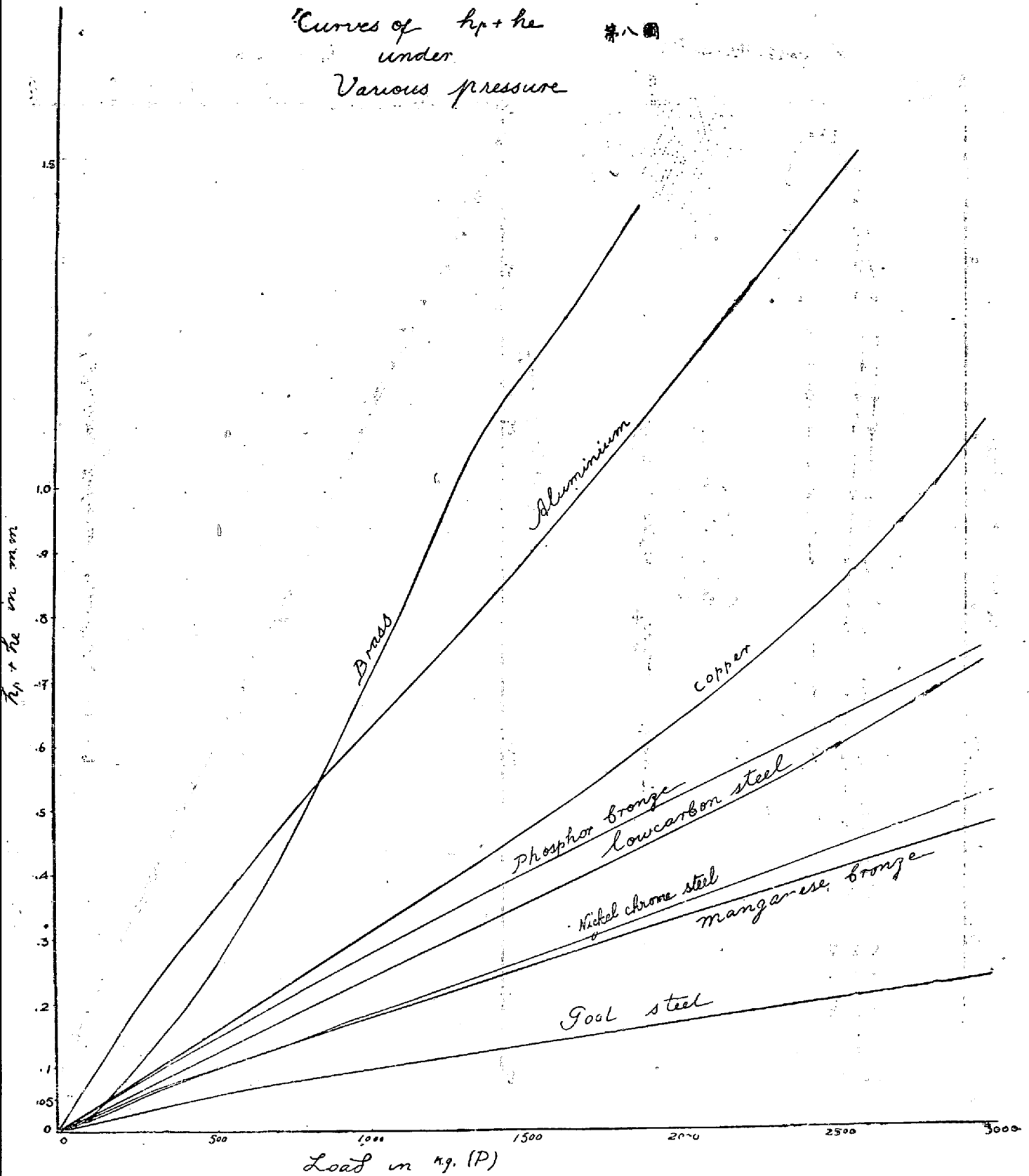




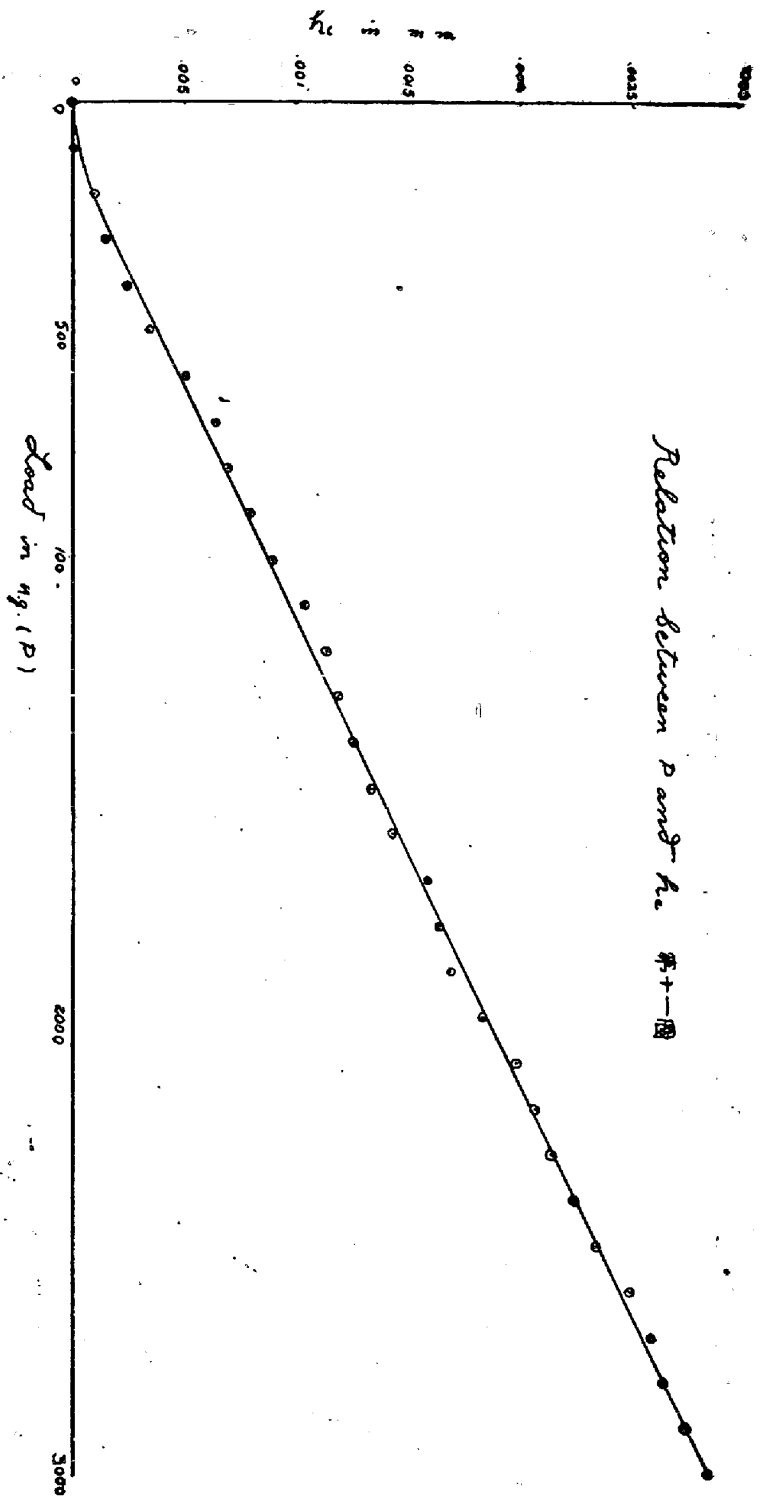


Curves of $h_p + h_e$
under
Various pressure

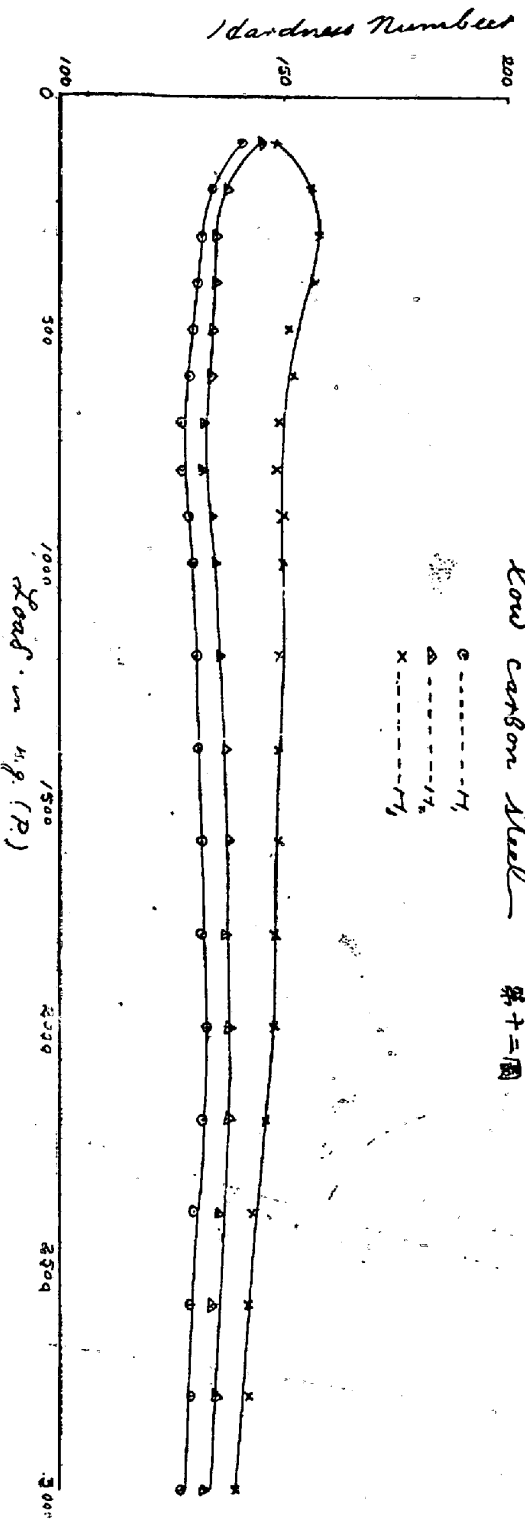
第八圖

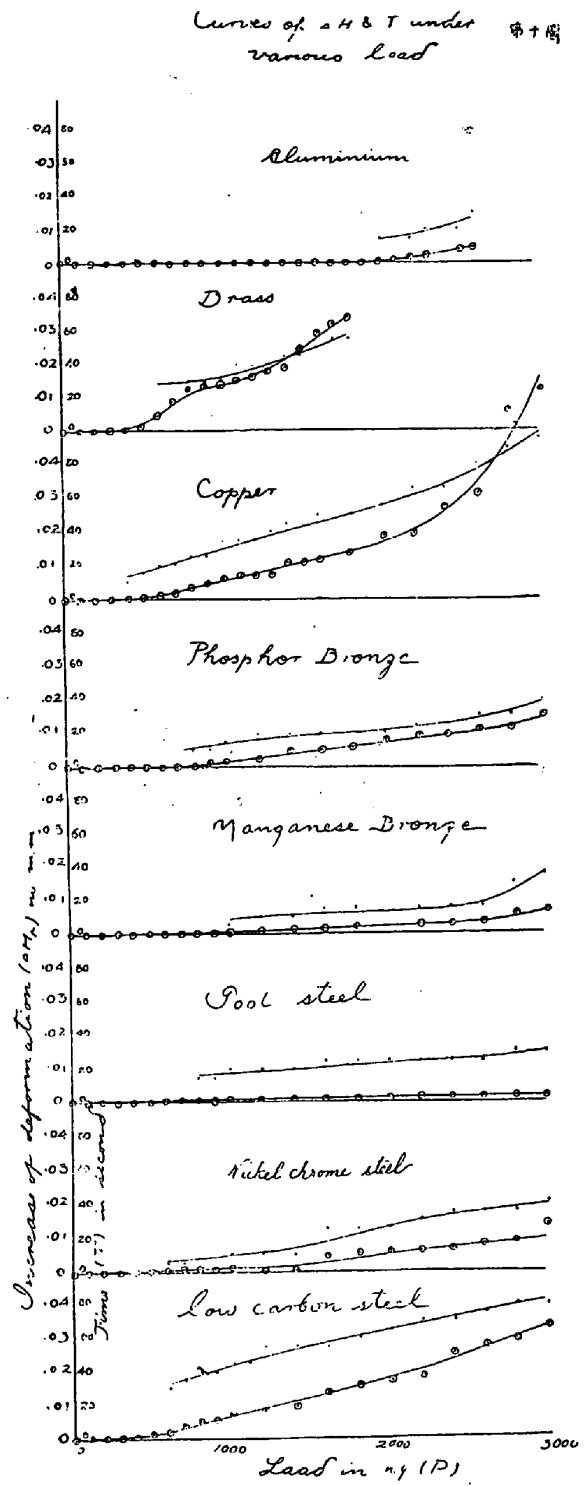
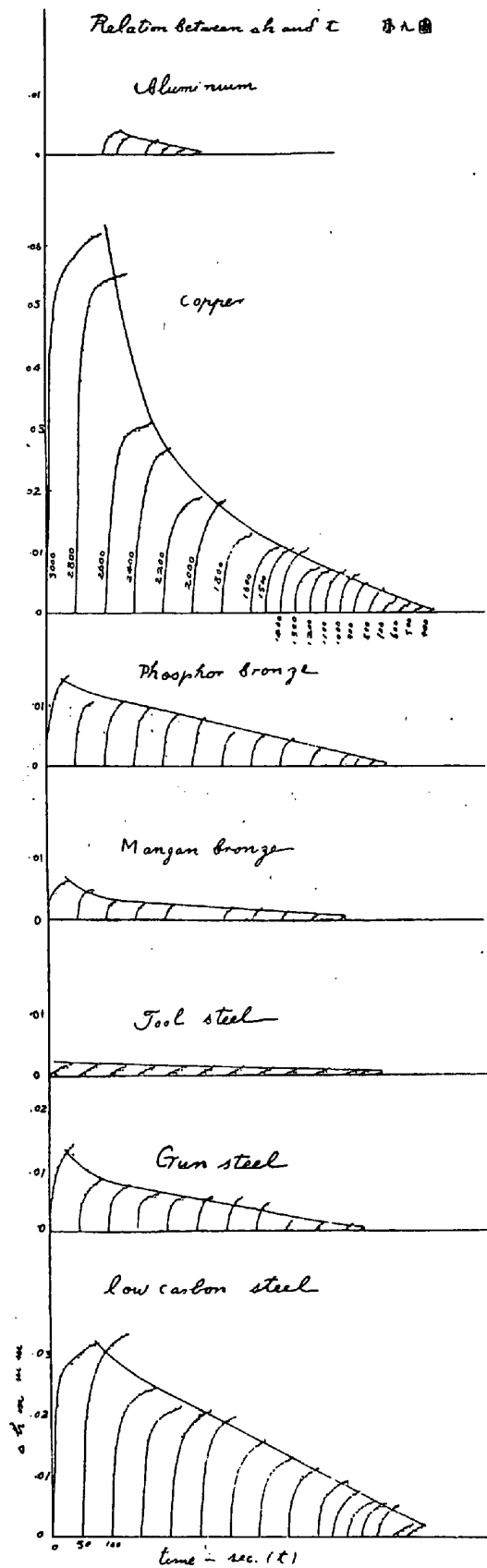


Relation between P and h_c 第十一圖



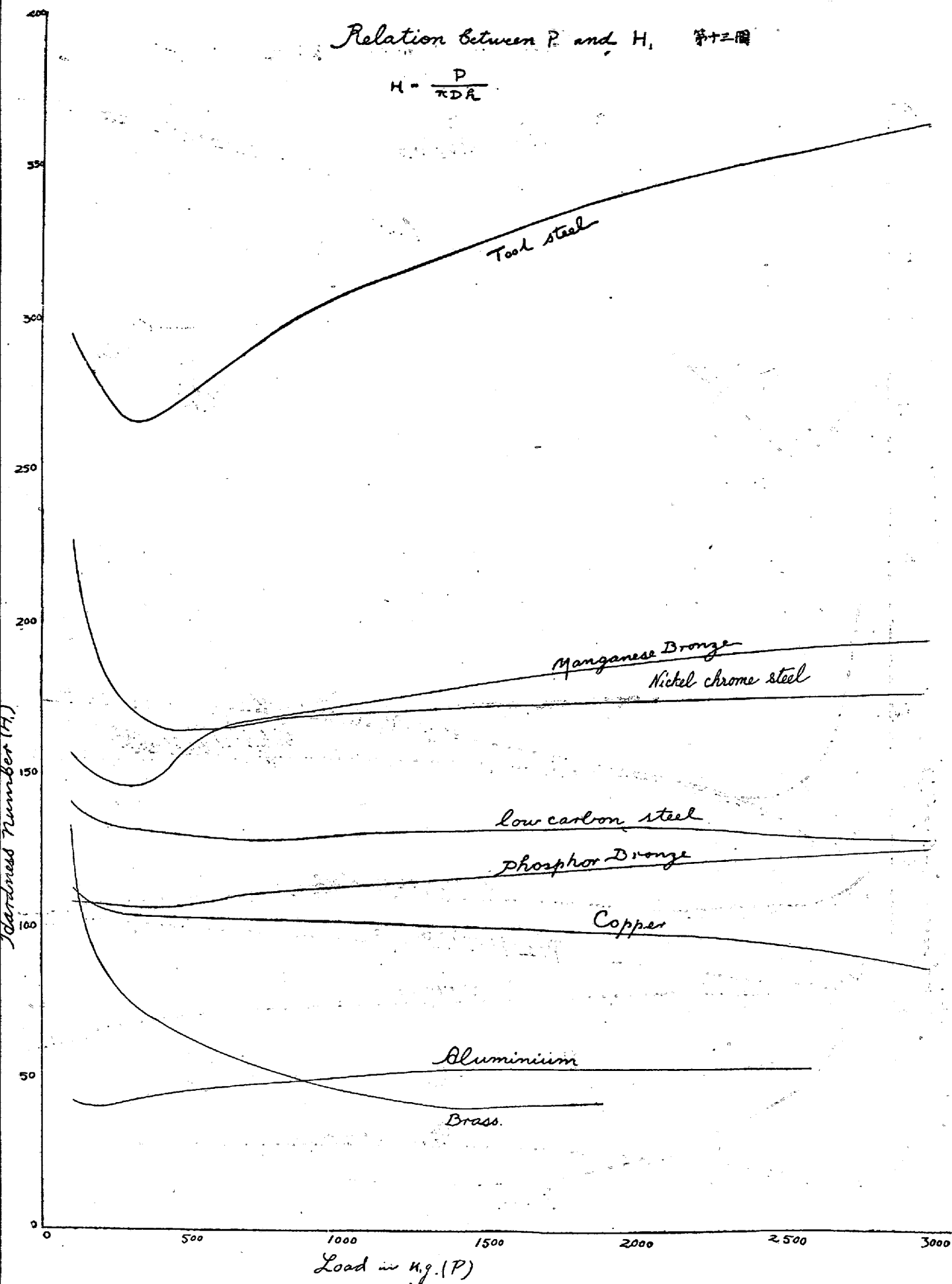
Low carbon steel 第十二圖





Relation between P and H, 第十三圖

$$H = \frac{P}{\pi D A}$$

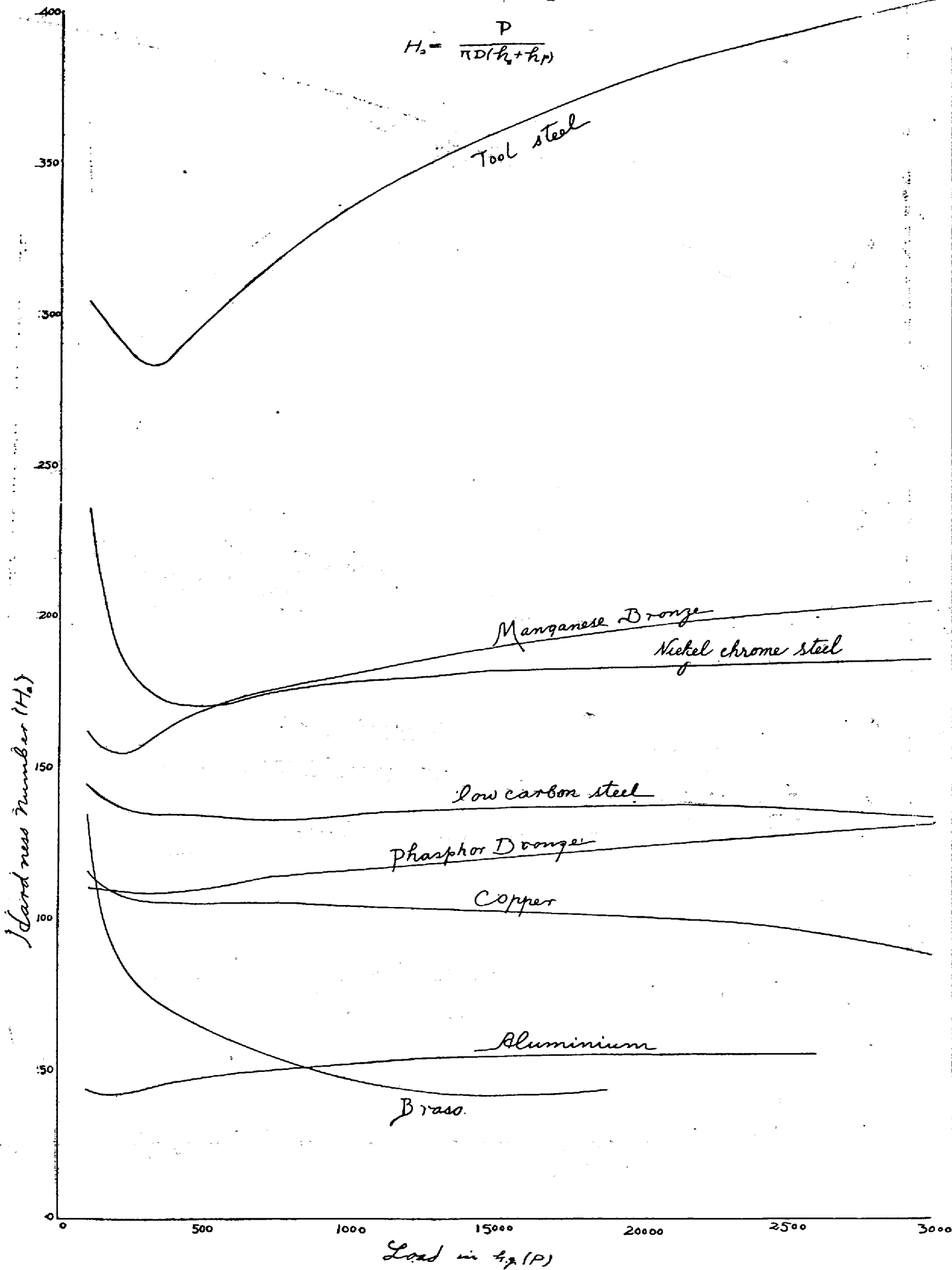


Relation between

第十四圖

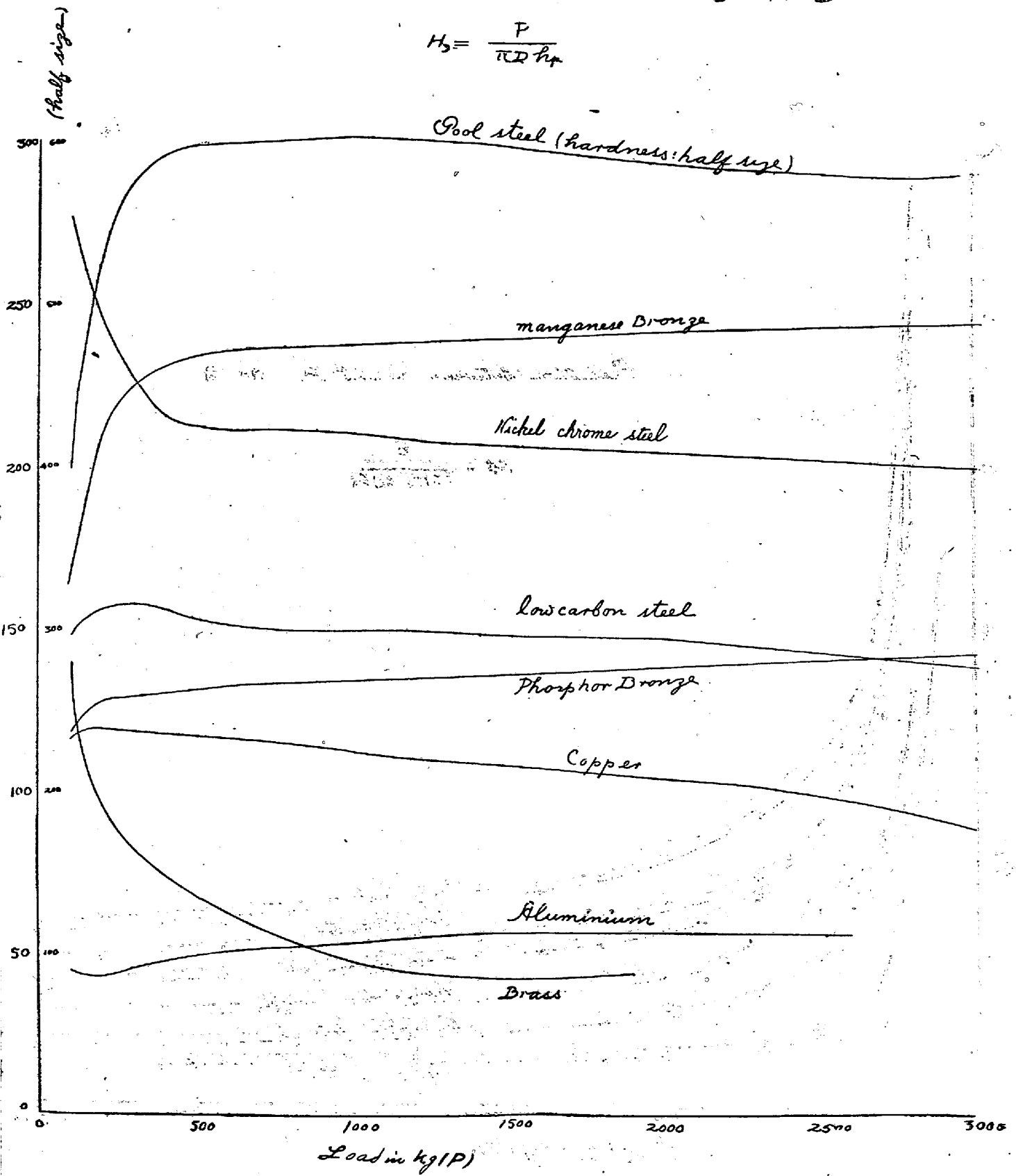
P and H_z

$$H_z = \frac{P}{\pi D(h_z + h_p)}$$



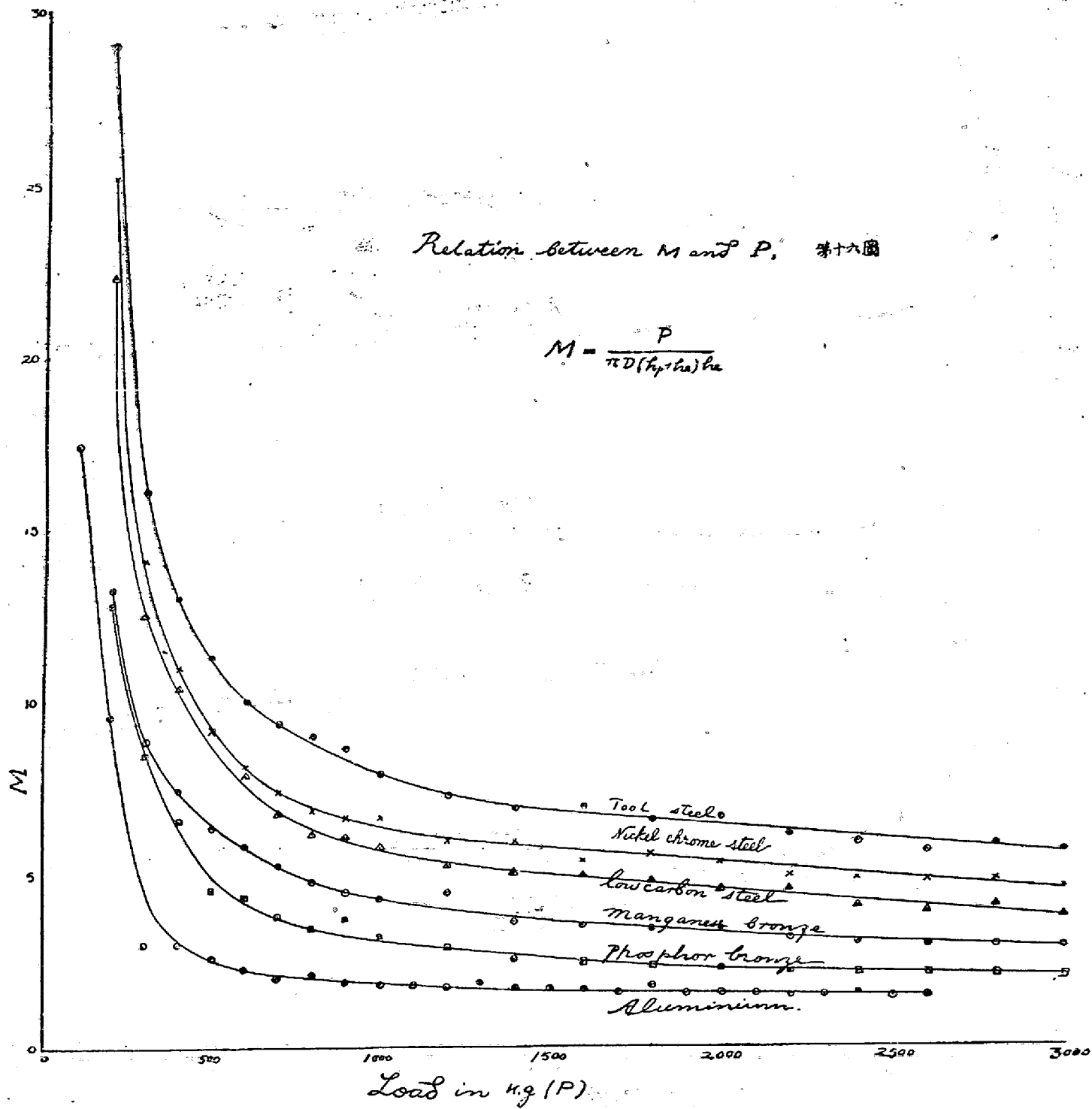
Relation between P and H₃ 第十五圖

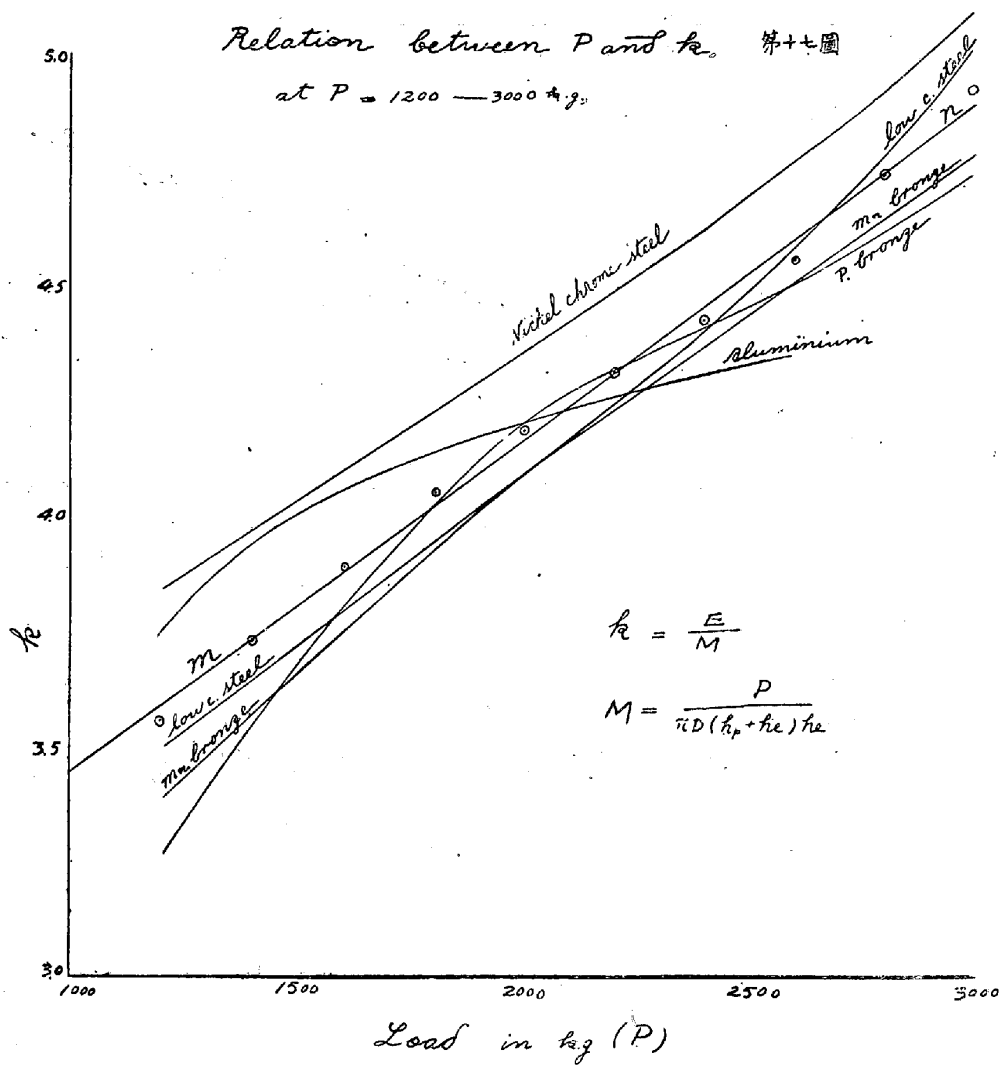
$$H_3 = \frac{P}{\pi D h_f}$$



Relation between M and P , 第十九圖

$$M = \frac{P}{\pi D (f_p + f_a) l_a}$$

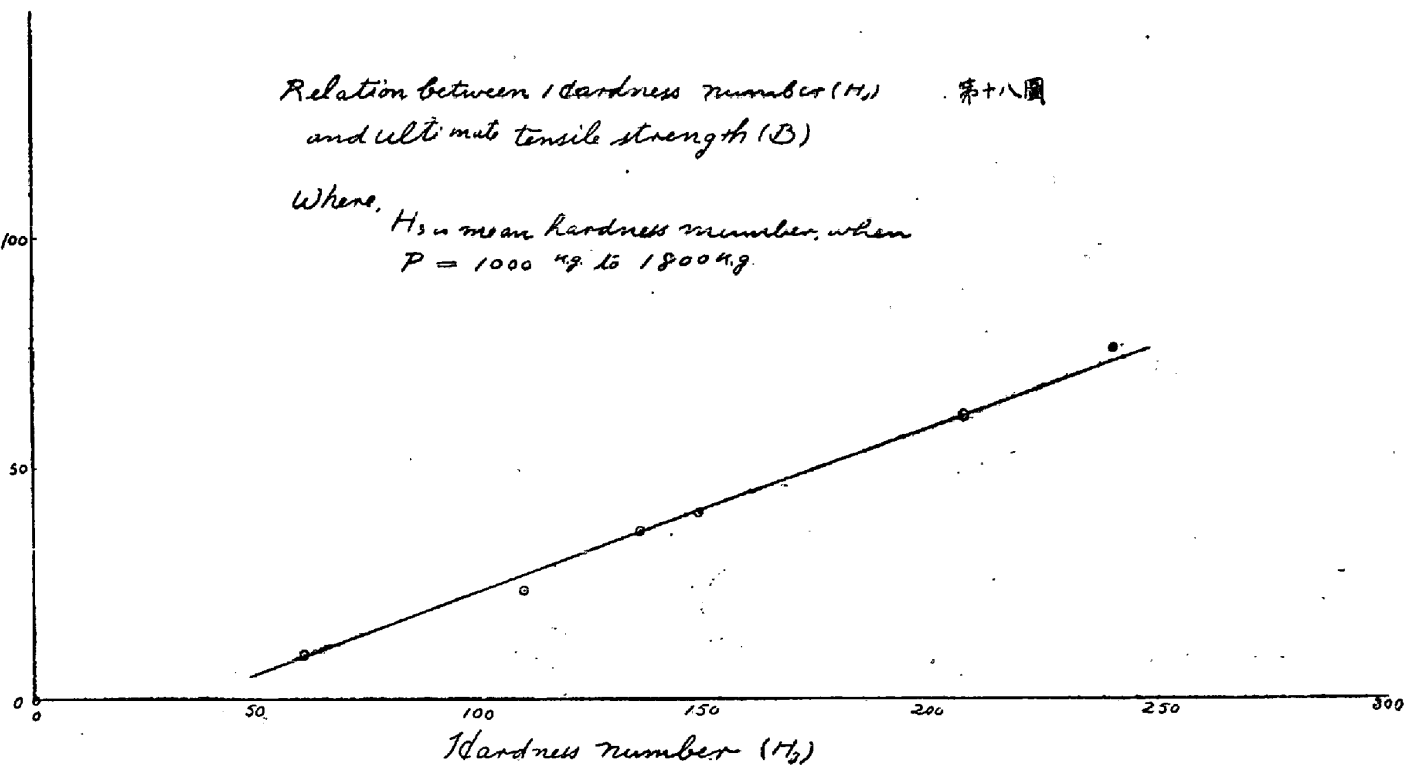




Ultimate tensile strength in kg/mm² (B)

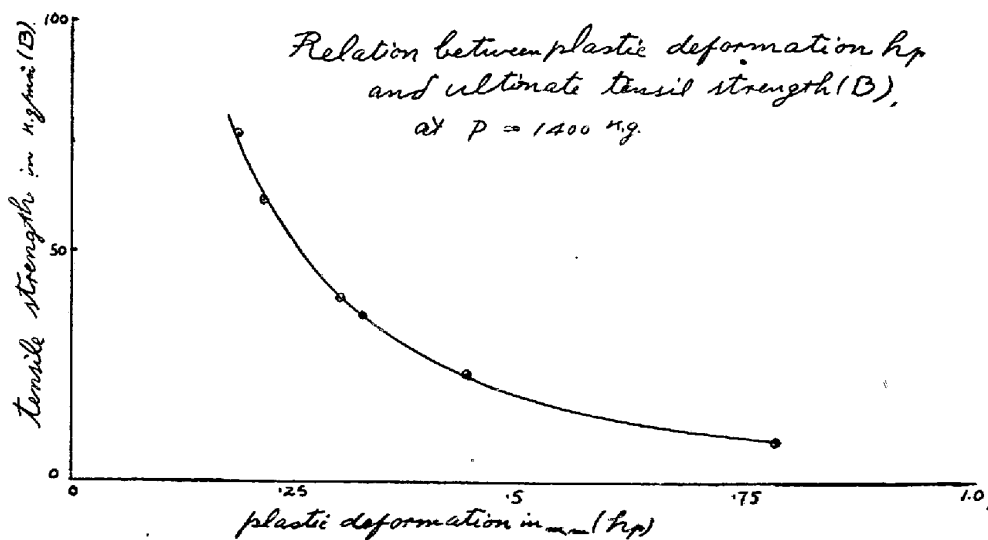
Relation between hardness number (H_s) and ultimate tensile strength (B) 第十八圖

Where, H_s is mean hardness number, when $P = 1000$ kg to 1800 kg.



Tensile strength in kg/mm² (B)

Relation between plastic deformation k_p and ultimate tensile strength (B), at $P = 1400$ kg. 第十九圖



但しHは前記のP=1000-1800延間の平均値を用いたものとする。

緊張力(B)の値延/平方耗 (表 六)

種 類	實 測 値	計 算 値 (6)式による	差 延/平方耗	%
アルミニウム	9.2	7.6	-1.6	-17.4
銅	23.5	26.9	+3.4	+10.1
炭 素 鋼	36.4	36.2	-0.2	-0.5
低 炭 鋼	40.2	40.8	+0.6	+1.45
ニッケルクローム鋼	61.8	61.6	-0.2	-0.32
高 炭 素 鋼	76.3	73.4	-2.9	-3.8

又(7)式はP及びh_pを知て緊張力Bを求める公式にして今P=1400延の場合に於ける永久變形h_pにより算出せる結果次の如し。

緊張力(B)の値延/平方耗 (表 七)

種 類	h _p 但しP=1400延	實 測 値	計 算 値 (7)式による
アルミニウム	7.860	9.2	7.9
銅	40.40	23.5	26.9
炭 素 鋼	32.85	36.4	36.2
低 炭 鋼	30.00	40.2	40.8
ニッケルクローム鋼	21.50	61.8	61.6
高 炭 素 鋼	18.55	76.3	73.6

即ち前記の兩式にて得たるBの價は全く近似せるを見る依てP=1400延と(7)式に代入せば

$$B = \frac{15.96}{h_p} - 12.4 \dots\dots\dots (8)$$

となりて一種の拋物線を表はす式となる從てP=1400延のときに於けるBとh_pとの曲線圖を求むれば第十九圖の如く拋物曲線を得へし但しB、h_p共に實測によるものとす斯くの如くB、H、h_p等の間の關係曲線圖を求め置くときは逆に硬度試験の結果により緊張試験に於ける緊張力を略々推定し

18
得るものなり但し第六表及第七表に於て見るか如く硬度數及緊張力が一定の制限内に於て成立するものにして硬度低き場合は其の誤差比較的大なるは免れざる所なりとす。(完)

日本刀の地鐵に關する資料(承前)

太田 熊太郎

(二)

地鐵に關する事柄は以上に止めて次ぎに刃色地色に關することを述べやうと思ふ、これも最初に一言して置いた如く地鐵といふことゝ地色、刃色などいふことゝは要するに名稱上の區分に過ぎないので實質上には殆んど同一の事を論じてゐるものと見て差支なからうと信ずる。

撰刀記に地鐵の上々のものといふのは板目、柃目など地肌に關係はない、又地鐵の色によつて作の高下を分くるといふ説があるけれどもこれは拭ひの入れかたによつて薄くも濃くもなるから此の關係をよく見た上でなくては一概に斷言し難いことである、しかし、色の濃いのは概して鐵質が堅くて良いものではないと稱して居る、然るに刀劔雜話といふ書に後世になつて拭ひといふことが行はれてから奸曲な研師は拭ひに種々の術を施して人を欺くことがある、しかし、拭ひの入れかたによつて鐵色の精色を失ふことはない、傳法を専ら正しく仕立てたならば拭ひに害はないものであるといふ、これに依つて見れば、故意に術策を施したものでなければ拭ひは本來の鐵色を覆ふものではないやうに思はれる、要するに、地刃の鐵色を以て地鐵の善惡を判斷することは古來多く行はれて居ることである。

刀劔會誌第四十號所載解紛記(三木吉右衛門傳書)に