

鐵 と 鋼 第十八年 第十一號

昭和七年十一月二十五日發行

論 說

炭素並に滿俺の壓延鋼材に及ぼす材質的影響

(日本鐵鋼協會 第9回講演大會講演)

城 正 俊

ON THE INFLUENCE OF CARBON AND MANGANESE OF THE BASIC OPEN-HEARTH STEEL UPON THE MECHANICAL TESTING OF STEELS.

Masatoshi Jo.

SYNOPSIS:- In view of the fact that recent specifications of steel seem to specify in generally not only mechanical properties but also chemical compositions of steel; Author researched in practically the effect of carbon and manganese upon the mechanical testing of our basic open-hearth steel as rolled. The results of the present investigation may be summarized as follows.

The effect of manganese on the physical properties of steel increases in proportionately to carbon content.

The relations between chemical compositions and physical properties of our basic open-hearth steel as rolled are able to express by the following empirical formulas.

$$T = 0.36C + 0.06C Mn + 0.02Mn + 32$$

$$\epsilon = 380/C - 0.0022C Mn + 17.6$$

$$B = 1.1C + 0.018C Mn + 0.04Mn + 86$$

$$T \approx 0.35B$$

where, T=Tensile Strength in kg/mm^2

ϵ =Elongation in % for G.L. 50_{mm} dia of Specimen 14_{mm}

B=Brinell Hardness Number

C=Carbon Content in % $\times 100$

Mn=Manganese Content in % $\times 100$

内 容 目 次

- I 緒 言 II 調査研究方法 III 滿俺含有量が鋼の抗張力に及ぼす影響 IV 炭素及滿俺含有量と抗張力との關係の實驗式誘導 V 滿俺含有量が鋼の延伸率に及ぼす影響 VI 炭素及滿俺含有量と延伸率との關係の實驗式誘導 VII 炭素及滿俺含有量を加減して抗張力を一定したときの延伸率の比較 VIII 滿俺含有量が鋼のブリネル硬度に及ぼす影響 IX 炭素及滿俺含有量とブリネル硬度數との關係の實驗式誘導 X 鋼の抗張力とブリネル硬度との關係 XI 結 論

I. 緒 言

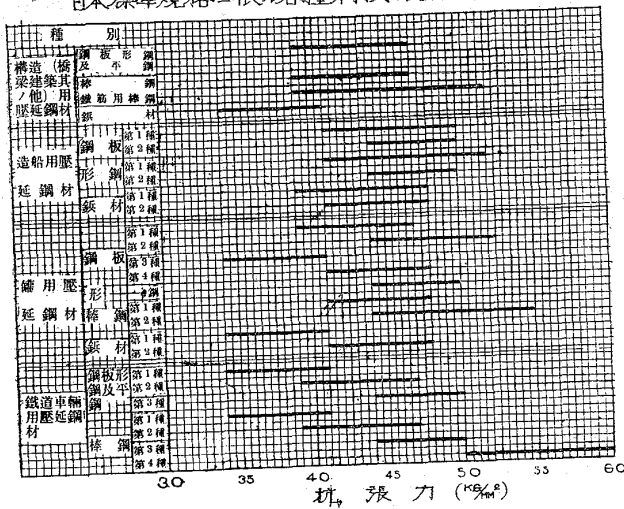
鋼中に於ける炭素及滿俺含有量が壓延後の鋼材の機械的諸性質の上に如何なる影響を與えるものであるかを實際的に調査して置くことは實地作業に携はるものゝために必要なることであるのみならず鋼材に對する規格を吟味する上にも亦有意義なことゝ思はれる。

今試みに現在の日本標準規格に規定せられてゐる各種鋼材に對する抗張力の規格範圍を見るにA圖に示すが如く大體に於て抗張力 40~50 kg/mm^2 の範圍内に止まるものが多いが尙詳細に検討すれば鋼材の使用目的の異なるに従つて夫々相異なる

範圍の抗張力を規定してゐる（延伸率も同様に夫々相異なる値を規定せられてゐる）従つて之種鋼材の製作に當つては壓延鋼材をして種類を異にする毎に夫々相異なる範圍の抗張力並に延伸率（規格範圍）を出さしむるが如き手段を講せねばならない現状である。

A 圖

日本標準規格に依る各種鋼材の抗張力範圍



現在我が製鐵所に於ては製品の種類又は其の鋼質が比較的廣範圍に亘つて居る關係上最近の記録を蒐集して聊か斯業の參考に供したいと思ひ著者は茲に以下記する方法に依つて先づ我が鹽基性平爐鋼中に於ける滿俺の影響を調査し更に炭素及滿俺含有量と壓延鋼材の機械的諸性質との關係を考究することにした。

II. 調査研究方法

本研究は昭和2年以降最近に到る間我が鹽基性平爐に於て製鋼し壓延したる各種鋼材の中8,300餘熔鋼(charge)に就きその分析成分と機械試驗成績とを一々調査し之に基き鋼中に於ける滿俺の影響を調査研究せるものである、而してその調査方法を示せば次の通りである。

(イ) 調査範圍は昭和2年以降現在に到る迄の

間の我が鹽基性平爐鋼材の中、炭素含有量0.20%~0.70%のものの中規格品として壓延したる各種鋼材である。

(ロ) 調査熔鋼數は8,329熔鋼に及び取扱試驗片數は10,212本に達した。

(ハ) 試驗片を採取せる製品の形狀は主として條鋼に限定し試驗片の形狀は専ら日本標準規格第4號試驗片に依つたのであるが、鋼質の關係上其の他のものに就いて調査したのものもある、但し延伸率に關する調査は全部標準規格第4號試驗片に限定した。

(ニ) 試驗成績は凡て壓延儘のものゝみに就き調査し熱處理を施行したるものは全部之れを除外した。

(ホ) 同一熔鋼に屬するもので試驗片數2箇以上に亘つたものが多數に上つたが之等は平均値を以つて其の熔鋼の試驗成績とした。

(ヘ) 分析成分は殆ど全部製鋼分析(ladle analysis)に依つた、但し必要に應じ試驗片の一端を分析したのものもあるが其の數は比較的少ない。

(ト) 炭素及滿俺以外の他の元素の影響は之れを無視したのであるが全試料を通じ磷、硫黄共に0.03%内外、硅素0.20%以下のものである。

(チ) 製品に對する壓延仕上温度の高低、加工状態又は製品の寸度の大小に依る影響或は鋼の時效に依る影響等は實驗の性質上凡て考慮外に置いたが全體を通じ先づ以つて普通の壓延作業状態の下に於ける試驗成績と見做して差支無い。

即ち今回の研究は所謂學究的實驗報告とは稍々

その趣を異にし言はゞ實際的立場に立脚したる一種の統計に基く研究であるが取扱熔鋼数の多いこと、試験片の数が多數に上つてゐること、が特徴であり従つて最後に現はれて來るところの平均値は比較的正確なものであると思はれる。

III. 満俺含有量が鋼の抗張力に及ぼす影響

炭素含有量 0.20%~0.70% の範圍に於て先づ炭素含有量の相等しきものを集め之れに就き満俺含有量と抗張力との關係を求めれば附表第1の如くなる、而して同表に示す各炭素量毎の熔鋼數は其の炭素量に對する調査熔鋼數である、又一定炭素量のもの、中満俺含有量の相等しいものが多數熔鋼あつたが之等は抗張力の平均値を出して其の成分のものを代表せしめた、即ち表中○印は5~9熔鋼の平均抗張力を示し●印は10~50熔鋼の平均抗張力を示してゐる。

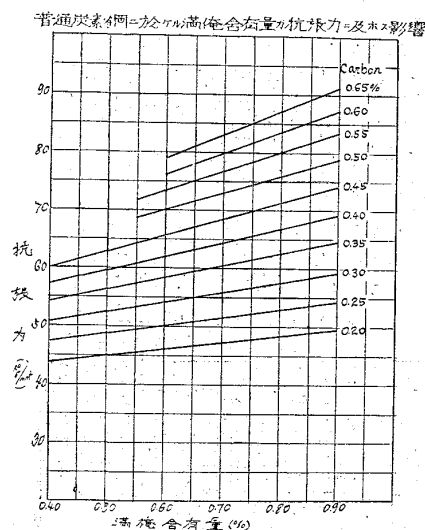
偕て附表第1を見るに各炭素量に於ける満俺含有量と抗張力との關係は何れも直線的に満俺量の増加するに連れて抗張力も漸次増加してゐることが判る、尙炭素含有量 0.22~0.35% の間に於て満俺量 0.40%~1.70% に至る範圍内のものも總て直線的に増加して居ることも見逃されない。

今最小自乗法に依つて各炭素量に於ける満俺含有量と抗張力との關係を示す平均直線を求めれば何れも附表第1の如き右上りの直線となる、而して各炭素量毎に示せる $\tan\theta$ の値は即ち之の傾斜度であつて此の表に於ける $\tan\theta$ の値は要するに満俺 0.01% 毎に増加する抗張力に外ならない、例へば炭素 0.50% の時に於て $\tan\theta$ の値は 0.3 であるから炭素 0.5% のものに在つては満俺 0.01% を増加する毎に抗張力に於て 0.3kgf

mm² を増加することゝなる。

次に炭素含有量 0.20%~0.70% の範圍に於て $\tan\theta$ の値 (満俺 0.01% 毎に増加する抗張力) の變化を求めれば第1表及第1圖の如く炭素含有量の低いものよりも高いもの程 $\tan\theta$ の値 (第1圖の傾斜) は漸次増加してゐることを知るのであ

第1圖



る、此の事實は即ち満俺含有量が鋼の抗張力の上に及ぼす影響は低炭素鋼の場合よりも高炭素鋼の場合に於て大なることを意味して居る。

第1表

各炭素量に於ける満俺含有量が抗張力に及ぼす影響

炭素含有量%	附表第1に示す $\tan\theta$ の値	満俺 0.01% 毎に増加する抗張力 kg/mm ²	満俺 0.10% 毎に増加する抗張力 kg/mm ²
0.20	0.12	0.12	1.2
0.25	0.15	0.15	1.5
0.30	0.18	0.18	1.8
0.35	0.21	0.21	2.1
0.40	0.24	0.24	2.4
0.45	0.27	0.27	2.7
0.50	0.30	0.30	3.0
0.55	0.33	0.33	3.3
0.60	0.36	0.36	3.6
0.65	0.39	0.39	3.9
0.70	0.42	0.42	4.2

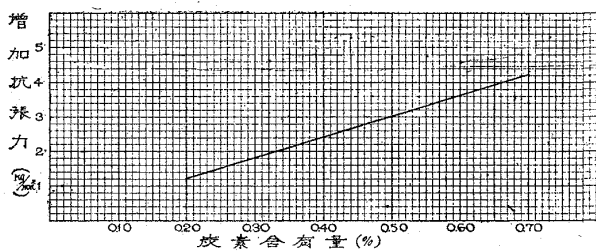
備考 試験片は何れも熱處理を施さない壓延儘の状態のものである。

第2圖は各炭素量に對し満俺 0.10% 毎を増加したるときに、増加する抗張力を示せるものであつて縦軸は増加抗張力を示す、而して圖に見るが如く炭素含有量と増加抗張力との關係は極めて規則的な直線で示され然も増加抗張力は炭素含有量に對し一定の比を以つて増加してゐることが判

るのである、而して今回の研究結果に依れば満俺 0.10% が抗張力の上に及ぼす影響は炭素含有量 0.20%~0.70% の範圍に於て 1.2~4.2 kg/mm² となりその平均値を求むれば 2.1 kg/mm² となる、今之の値と過去の實驗者に依つて發表せられたる値とを比較して見ると第 2 表の如くである。

第 2 圖 各炭素量に對する Mn, 0.10% 増加に依る 抗張力増加狀況

Jo	1.2~4.2 kg/mm ² (Carbon 0.20~0.70 % as rolled) average 2.1 kg/mm ²
Nevill and Cain	0.63~1.75 kg/mm ²
Ledebur	2.5 kg/mm ² average
Campbell	0.9~1.75 kg/mm ²
Brinell	3.0 kg/mm ²
Webster	1.25 kg/mm ²
Long	1.50 kg/mm ²
濱住	0.9~2.43 kg/mm ² below C. 0.4% (Normalized)



第 2 表

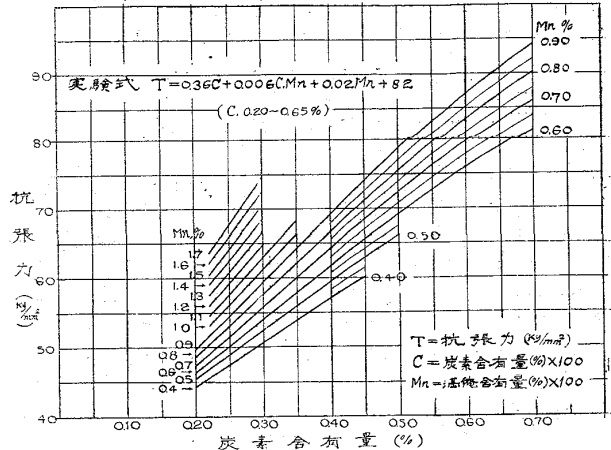
各實驗者に依つて發表せられたる満俺 0.1% が鋼の 抗張力に及ぼす影響の比較

著者	満俺 0.10% 毎に増加する抗張力 kg/mm ²	備考
Jo	1.2~4.4 平均 2.1	炭素含有量 0.20~0.70% の壓延儘の鹽基性平爐鋼
Neville and Cain	0.63~1.75	average
Brinell	3.0	average
Campbell	0.9~1.75	average
Ledebur	2.5	average
Webster	1.25	
Lang	1.50	
Hamazumi	0.9~2.43	炭素含有量 0.40% 以下 (Normalized)

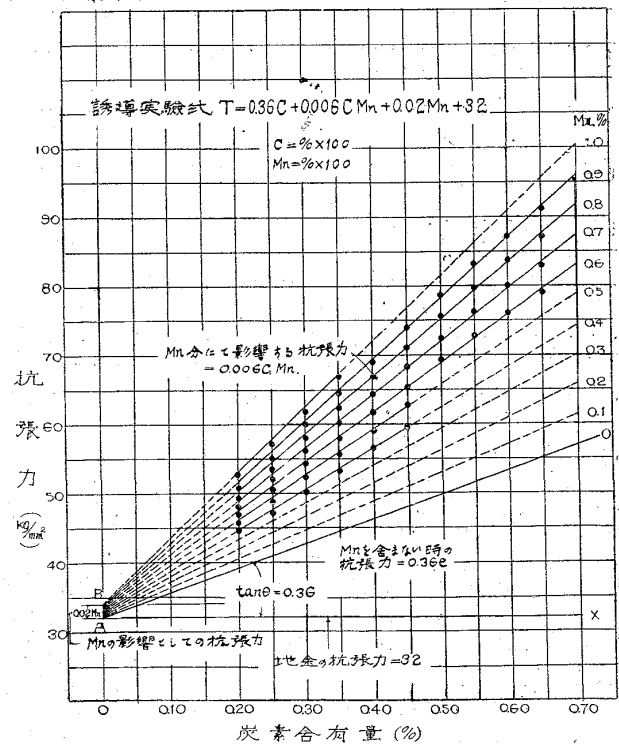
而して今回の研究に依れば満俺の影響は炭素含有量に比例して増加するところであるから満俺の影響を單に平均値だけで表はすことは妥當であるまい、尙ほ備考にあるが如く本研究は熱處理を施さないものである。

第 3 圖は鋼の炭素及満俺含有量と抗張力との關係を示せるものでも附表第 1 を 1 表に纏めたものである、圖に見るが如く同一炭素量のもので

第 3 圖 普通炭素鋼に於ける炭素及満俺含有量と抗張力との關係



第 4 圖 炭素及満俺含有量と抗張力との關係、実験式誘導に關する圖解



満俺含有量に依つて抗張力に相違を來し然も其の程度は炭素量の多くなるに連れて次第に甚しいことが判る、例へば炭素含有量 0.50% のときに於て満俺 0.60% の抗張力は約 69 kg/mm² なるに反し満俺 0.90% のときは約 79 kg/mm² であり之の間約 10 kg/mm² の相違を示してゐる、従つて鋼の

抗張力を表はす場合に炭素含有量のみ基礎を置いてゐる各種實驗公式は實地作業の場合参考となすに不便が尠くない。

備考

炭素含有量のみによつて抗張力を現はさんとする實驗式には次の如きものがある。

$T = \text{抗張力 } kg/mm^2 \quad C = \text{炭素含有量 } (\%)$

發表者	實驗公式	備考
Thurston	$T = 42.3 + 49.4C$	Minimum values, Unannealed steel
"	$T = 35.3 + 42.3C$	" Annealed steel
Sauveur	$T = 35.2 + 63.3C$	Annealed steel
Salom	$T = 31.7 + 70.5C$	Average values
Merriman	$T = 31.6 + 63.3C$	
Deshayes	$T = 30.1 + 18.1C + 36.1C^2$	
Bauschinger	$T = 43.6(1 + C^2)$	Besemer steel
Weyrauch	$T = 44.2(1 + C)$	Minimum values

殊に炭素含有量 0.40% 以上のものに對する満俺の影響は比較的大であつて炭素含有量 0.60% に於て満俺 0.10% 毎に約 4 kg/mm² の相違を來して居るから之種高炭素の普通鋼に對する實驗式には必ず満俺の影響を考慮に入れねばならぬと思ふのは當然のことである。

IV. 炭素及満俺含有量と抗張力との關係の實驗式誘導

第3圖を見るに各炭素量に對し満俺を一定にしたる場合の抗張力は炭素含有量の増加するに連れて漸次増加し其の増加狀況は圖の如き微かな曲線を呈してゐるが炭素含有量 0.20~0.65% の範圍に於ては先づ大體に於て直線的に増加して居るものと見做し得る。

第4圖は炭素及満俺含有量と抗張力との關係を求めんとする實驗公式誘導に關する解説圖である。圖中●印は第3圖の値であつて之れを一定満俺量毎に結ぶと大體に於て何れも直線上に落ちる而して満俺 0.60% 0.70% 0.80% 0.90% の4直線の間隔は満俺 0.10% 毎に増加する抗張力の

値で之の値は第2圖に示す値と同一である。

今満俺 0.60% の直線から各炭素量に就き第2圖に示すところの値を以つて満俺を 0.10% づつ遞減して行くときは抗張力は點線によつて示すが如く漸次低下しつゝ遂に満俺零の處に於て直線 OA が得られる、之の OA 直線は即ち満俺を含まないときの各炭素量に對する抗張力を表はしてゐると見做し得る、而して直線 OA は A × (炭素含有量) に對し一定の比を持つて居るから鋼が、満俺を含まないときの炭素の影響に依る抗張力は $\tan\theta \times C$ (炭素含有量) になる、而して $\tan\theta$ の値は第4圖に依り 0.36 となるから

満俺を含まないとき増加する抗張力 (kg/mm²)
 $= 0.36C \dots\dots\dots (1)$

$C = \text{炭素含有量 } (\%) \times 100$

に依り表はすことが出来る。

即ち之のことは炭素 0.10% 毎に抗張力 3.6 kg/mm² を増加することを意味するのであつて之の値は過去の實驗者の値¹⁾より若干低く出てゐるが満俺を全然含まない場合の炭素の影響としては之の程度のものが至當であらう²⁾。

次に第4圖に示すところの満俺を一定にしたる場合の抗張力を示す直線 (満俺 0.90% 0.80% 0.70% 0.60% …… の直線) は満俺の影響を表はして居る。而して圖に見るが如く一定満俺量の抗張力に及ぼす影響は炭素含有量の増加するに連れて直線的に増加して居り又一定炭素量の下に於

¹⁾ as the effect of each 0.10% Carbon Sauveur 7.0kg/mm² Stead 6.0kg/mm² Webster 5.6kg/mm² Campbell 5.4kg/mm² Merriman 4.6kg/mm²

²⁾ 鐵が満俺を含まずして單に炭素のみと作用するときの抗張力とは結局セメントタイト (Fe₃C) の抗張力に外ならない、而してセメントタイトの抗張力 3.5kg/mm² (Sauveur による) が眞ならば今回の研究の値に類似して居ることとなる。

ては滿俺量 0.10% 増加毎に一定の値を以つて抗張力の増加を來してゐる、而して第 2 圖に依り滿俺 0.10% 毎に増加する抗張力は炭素含有量に對し一定の比を以つて増加して居るから各炭素量に對し滿俺 0.10% を増加せしむることにより増加する抗張力は $\tan\theta \times C$ (炭素含有量) となり第 2 圖より $\tan\theta$ の値は 0.06 となるから

鋼中に於ける滿俺分にて影響さるゝ抗張力 (kg/mm²) } = 0.006C Mn (2)

C = 炭素含有量 (%) × 100 Mn = 滿俺含有量 (%) × 100

に依り表はすことが出来る

次に炭素含有量が零になつた場合を第 4 圖により考へて見るに上下 2 線の延長より推定して結局圖中 AB の値は即ち 1.0% の滿俺の鋼 (但し炭素零の場合として) の抗張力に及ぼす影響を表はすものと考へて宜い、而して此の數値は圖に依り抗張力 2 kg/mm² を示してゐるから滿俺 0.10% に對しては 0.2 kg/mm² の平均値が得られる、從つて

滿俺の影響としての抗張力 (kg/mm²)

= 0.02Mn (3)

Mn = 滿俺含有量 (%) × 100 となる

尙第 4 圖により容易に推定し得べきは

地金の抗張力 = 32 kg/mm² (4)

である、而して此の値は過去の實驗者に依つて發表せられてゐる純鐵の抗張力¹⁾ よりも僅かに高く出てゐるが恐らく之れは磷、硫黃、硅素、銅其の他の不純物と且つ壓延時の歪^歪を受けて居るので之等の影響であらうと思はれる。

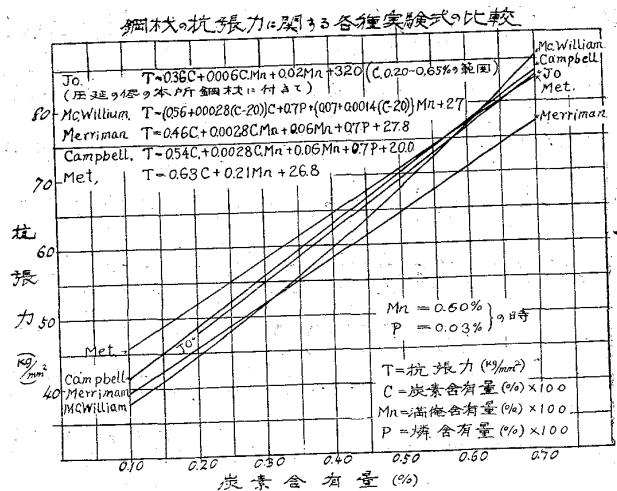
¹⁾ Physical Properties of Pure Iron
 Nevielle 29.2—29.5 kg/mm² Escard 29.5 kg/mm²
 Yeusen 24.9—29.2 kg/mm² Geollen 30.3 kg/mm²
 以上の平均値 = 29.5 kg/mm²

依つて上記 (1)(2)(3)(4) の式より結局炭素及滿俺の鋼に及ぼす抗張力の變化は次の實驗式に依つて表はすことが出来る。

T = 0.36C + 0.006CMn + 0.02Mn + 32;
 T = 抗張力 kg/mm², C = 炭素含有量 (%) × 100
 Mn = 滿俺含有量 (%) × 100;

尙上式の適用範圍は炭素含有量 0.20% ~ 0.65% の壓延儘の鹽基性平爐鋼であつて滿俺含有量は 0.40% ~ 1.50% 迄には適用し得るものと思はれる、今參考として夫々の實驗者に依つて發表せられてゐる之種實驗公式と今回の研究に依つて得たる夫れとを比較して見ると第 3 表及第 5 圖の如くなる。

第 5 圖



第 3 表 鋼の抗張力算出に關する實驗公式の比較

發表者	實驗公式
Jo	T = 0.36C + 0.006CMn + 0.02Mn + 32
Merriman	T = 0.46C + 0.0028CMn + 0.06Mn + 0.7P + 27.8
Met,	T = 0.63C + 0.21Mn + 26.8
Campbell	T = 0.54C + 0.0028CMn + 0.06Mn + 0.7P + 29
McWilliam	T = {0.56 + 0.0028(C-20)}C + 0.7P + {0.07 + 0.0014(C-20)}Mn + 27

備考 1. Merriman 氏と Campbell 氏との式は係數に共通したところがあるが之れは前者の式は後者の式から誘導した所謂變形式なるがためである。
 2. 式中 T = 抗張力 kg/mm² C = 炭素含有量 (%) × 100 Mn = 滿俺含有量 (%) × 100
 P = 磷含有量 (%) × 100

V. 滿俺含有量が延伸率の上
に及ぼす影響

滿俺含有量が鋼の靱性即ち延伸率の上に如何なる影響を與えるものであるかに就ては未だ此の方面に於ける文獻も少く従つて興味ある問題であらう。

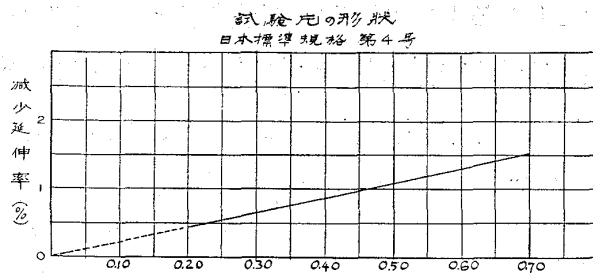
凡そ鋼材の延伸率は同一熱處理乃至同一成分の下に於ても (イ) 試験片の形狀に依りて異なること (ロ) 同一形狀のものでも標點距離に依つて著しい相違を生ずること (ハ) 鋼材に對する加工程度乃至絞度の如何に左右せらるゝこと (ニ) 壓延仕上温度の高低に影響せらるゝこと (ホ) 鋼の時效の影響を受くること等に依つて其の成績に甚しい不同を生ずるものであるから従つて之が比較研究も非常に困難を伴ふ處である、然るに今回の調査研究は先づ試験片の形狀を一定にし日本標準規格第4號試験片 (試験片の直径 14mm、標點距離 50mm) のみに就き調査し然も調査せる試験片數が極めて多數に上つた關係上其の平均値として現はれて來たところを基礎とした最後の綜合成績は上記諸缺點を或る程度に相殺して比較的正確なる調査成績が得られた、但し此處に斷つて置く事は壓延鋼材の實績上の参考にすることを主眼とせし故に試験片の熱處理をなさず又時効等よりの影響を考慮外に置いて居ることである。

附表第2は即ち滿俺含有量が鋼の延伸率の上に及ぼす影響を調査せるものであつて其の方法は凡て抗張力の場合と同一方法に依つたものである。

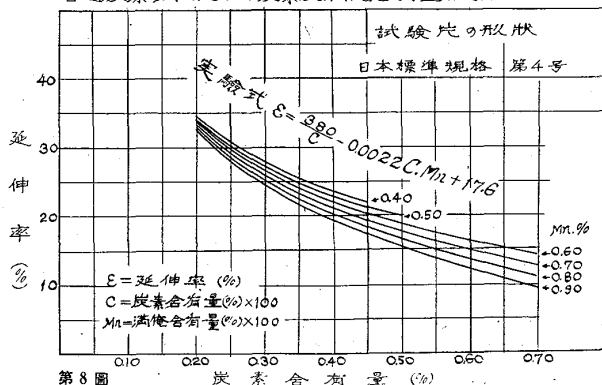
偕て附表第2を見るに一定炭素量の下に於いては滿俺含有量と延伸率との關係は滿俺含有量の増加するに連れて延伸率は次第に低下して居ることが明白である、今最小自乘法に依つて滿俺含有量

と延伸率との關係を示す平均直線を求めれば何れも同表に見るが如き右下りの直線となる、表中各炭素量毎に示す $\tan\theta$ の値は即ち之の傾斜度であつて之の $\tan\theta$ の値は要するに滿俺 0.01% 毎に減少する延伸率に外ならない、今全炭素量のものに就き $\tan\theta$ の値を見ると第4表の如く炭素含有量の増加するに従ひその値も亦増大して居る、之の事實は即ち滿俺含有量が延伸率に及ぼす影響は抗張力の場合と同様に低炭素の場合よりも高炭素の場合に於て甚しいことを示してゐる。

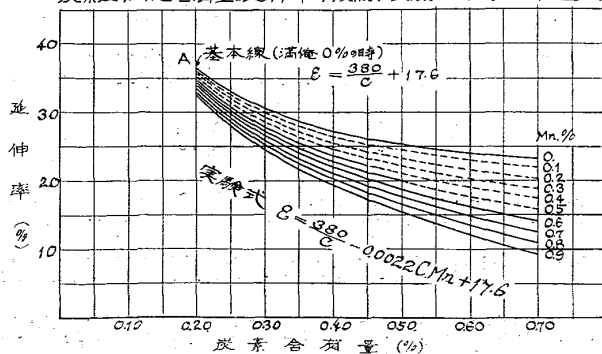
第6圖 各炭素量に對する Mn, 0.10% 増加に依る延伸率減少狀況



第7圖 普通炭素鋼に於ける炭素及滿俺含有量と延伸率の關係



第8圖 炭素及滿俺含有量と延伸率の關係の實驗式誘導に關する圖解



第4表 滿僂含有量が延伸率の上に及ぼす影響

試験片の形状=日本標準規格第4號 {直徑 14mm
G.L. 50mm

炭素含有量 %	附表第2に示す tanθ の値	滿僂 0.01% 毎に減少する延伸率 %	滿僂 0.10% 毎に減少する延伸率 %
0.20	0.05	0.05	0.5
0.25	0.06	0.06	0.6
0.30	0.07	0.07	0.7
0.35	0.08	0.08	0.8
0.40	0.09	0.09	0.9
0.45	0.10	0.10	1.0
0.50	0.11	0.11	1.1
0.55	0.12	0.12	1.2
0.60	0.13	0.13	1.3
0.65	0.14	0.14	1.4
0.70	0.15	0.15	1.5

備考 試験片は何れも熱處理を施さない壓延儘の状態のものである。

第6圖は各炭素量のものに滿僂 0.10% 毎を増加せしむるときに減少する延伸率を示せるもので縦軸は減少延伸率を示す、而して各炭素量に對する減少延伸率は附表第2に示すところの tanθ の10倍即ち tanθ × 10 に等しい、圖に見るが如く炭素含有量と減少延伸率との關係は極めて規則的な直線で示され減少延伸率は炭素含有量に對し一定の比を以つて増大してゐることが判る。

第7圖は附表第2を1表に纏めたものであつて普通炭素鋼の炭素及滿僂含有量と延伸率との關係を示せるものである。之れを見るに滿僂を一定にしたる場合の延伸率は炭素含有量の減少するに従ひ増加して居るが其の増加狀況は圖の如く曲線を以て示されてゐる。

VI. 炭素及滿僂含有量と延伸率との關係の實驗式誘導

第8圖は延伸率に關する實驗公式誘導の解説圖である。圖中實線を以つて示す曲線は第7圖の延伸曲線である、而して滿僂 0.90%, 0.80%, 0.70%, 0.60% の4曲線を見るに何れも同一炭素量の

下に於ける延伸率は滿僂 0.10% 増加毎に一定の割合を以つて減少してゐる、而して此の減少値は第6圖の値と同一である。

今滿僂 0.60% の曲線から滿僂 0.10% づゝ遞減して行くときは點線の如き延伸曲線を呈しつゝ、延伸率は漸次増加し滿僂零% に到つて遂に曲線 OA が得られる、即ち之の延伸曲線 OA は滿僂を含まないときの延伸率を表はしてゐると見做し得る、而して之の OA 曲線を見るに延伸率は炭素含有量の増加するに従ひ双曲線的に減少してゐることが窺はれるのであるから之の曲線の實驗式は次の如くなる。

$$\epsilon = 380/C + 17.6 \dots \dots \dots (1)$$

ε = 滿僂を含まないときの延伸率 %

$$C = \text{炭素含有量 (\%)} \times 100$$

次に第5圖に示すが如く 0.10% の滿僂含有量が延伸率の上に及ぼす影響は炭素含有量に比例して直線的に減少してゐるから同圖より

$$\begin{aligned} \text{滿僂 0.01\% 毎に減少する延伸率 (\%)} \\ = \tan \theta C = 0.022C \end{aligned}$$

となり従つて

$$\begin{aligned} \text{滿僂の存在に依つて減少する延伸率 (\%)} \\ = 0.0022CMn \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

$$C = \text{炭素含有量 (\%)} \times 100 \quad Mn = \text{滿僂含有量 (\%)} \times 100$$

に依り表はすことを得べく依つて(1)(2)の式より鋼の延伸率は次の實驗式に依り言ひ表はすことが出来る。

$$\epsilon = 380/C - 0.0022CMn + 17.6$$

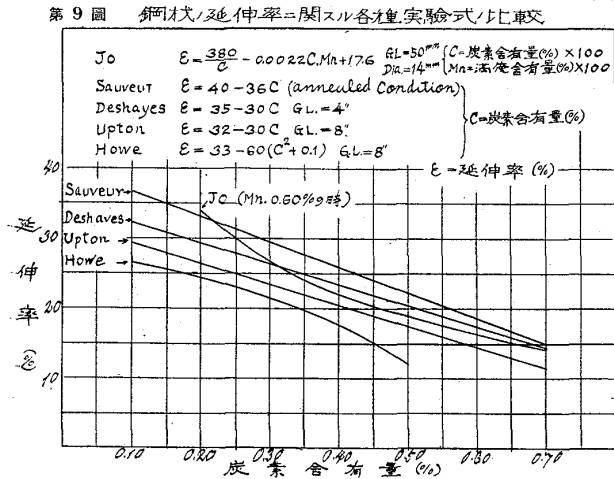
$$\epsilon = \text{延伸率 (\%)} \quad C = \text{炭素含有量 (\%)} \times 100$$

$$Mn = \text{滿僂含有量 (\%)} \times 100$$

但し上式の適用範圍は炭素含有量 0.20% ~ 0.7

0% の壓延儘の鹽基性平爐鋼であつて満俺含有量は 0.40%~0.90% の範圍内に限られる。

第5表及第9圖は鋼材の化學成分と延伸率との關係を示す實驗公式の中の代表的のものを拾つて今回の研究結果得たる上記の實驗式と比較したものである、但し試験片の形狀は各實驗者に依つて異なつて居るから比較成績に正確を期し難いが參考のために掲げてゐる程度である。



第5表 鋼の延伸率算出に關する各實驗式の比較

發表者	實驗公式	備考
Jo	$\epsilon = \frac{380}{C} - 0.0022CMn + 17.6$	G. L. 50mm 直徑 14mm Carbon 0.20%~0.70%
Howe	$\epsilon = 33 - 60(C^2 + 0.1)$	G.L. 8" Carbon 0.5%以下
Howe	$\epsilon = 12 - 11.9\sqrt{C - 0.5}$	G.L. 8" Carbon 0.5%以上
Deshayers	$\epsilon = 35 - 30C$	G.L. 4"
Upton	$\epsilon = 32 - 20C$	G.L. 8" 直徑0.8"
摘要	$\epsilon = \text{延伸率}(\%)$ $C = \text{炭素含有量}(\%)$	
	但し Jo 式 = $(\%) \times 100$ $Mn = \text{満俺含有量}(\%) \times 100$	

VII. 炭素及満俺含有量を加減して抗張力を一定にしたときの延伸率比較

上述の如く炭素及満俺含有量は共に鋼の抗張力並に延伸率の上に影響を及ぼすものであるが今之

の炭素及満俺を適當に加減して抗張力を一定にした場合の延伸率を考へて見やう。

第3圖に見るが如く炭素 0.51%, 満俺 0.90% のときと炭素 0.67%, 満俺 0.60% のときは兩者共に其の抗張力は 80 kg/mm² を示してゐるが其の延伸率は第7圖に依り前者は 15.2% 後者は 14.6% であり其の差約 0.6% となる、即ち之の事實は一定の抗張力を出さんとする場合には高炭素低満俺よりも低炭素高満俺の方が普通鋼材としての靱性を増加せしむるやうに思はれる、殊に炭素含有量 0.3% 以下に於ける延伸率は第7圖の如く急激に増加してゐるから此の範圍のものに比較的少量の満俺を入れて抗張力を増加せしめてもその増加の割合に延伸率は減せない筈であつて即ち靱りさを減せずして強さを増すの結果を招來し得ることとなる、蓋し炭素含有量 0.20%~0.35% 満俺含有量概ね 1.3%~2.0% の範圍にある超高張力鋼 Medium Manganese Steel 等が抗張力高きに不拘靱性を失はぬ優秀なる良鋼材として特殊の使用に供せられんとする情勢にあることも實に之の點を狙つて居るところである、第6表は第3圖及第7圖より得たる値であつて高炭素低満俺よりも低炭素高満俺の方が靱性に富んでゐることを示してゐる。

第6表 炭素及満俺含有量を加減して抗張力を一定にした場合の延伸率比較 (第3圖及第6圖参照)

抗張力 kg/mm ²	炭素含有 量 %	満俺含有 量 %	延伸率 %
80	0.51	0.90	15.2
	0.67	0.60	14.6
70	0.42	0.85	19.0
	0.51	0.60	18.6
60	0.31	0.90	24.0
	0.45	0.40	22.3
50	0.21	0.85	32.0
	0.29	0.40	28.5

備考 表中の數値は何れも第3圖及第6圖より取つたものである。

VIII. 満俺含有量が鋼のブリネル

硬度の上に及ぼす影響

満俺含有量が鋼の抗張力並に延伸率の上に及ぼす影響に就ては上述せるところであるが以下ブリネル硬度數の上に如何なる影響を與えるものであるかを攻究して見よう。

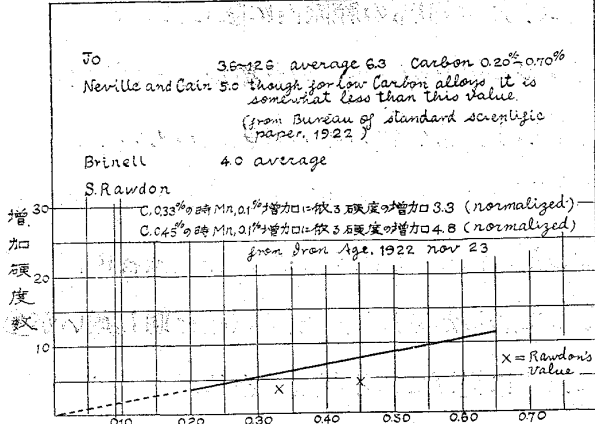
(イ) 使用試験機：一徑球10mm、荷重 3,000kg のブリネル硬度試験機に依り施行した。

(ロ) 試料並に硬度測定位置：一抗張試験片の一端を研磨しその研磨面に就き測定した、従つて硬度測定方向は壓延方向に直角となる、又抗張試験片の製作に當つては製品の表皮を削除してゐるから硬度試験を施したる箇所は壓延加工中に生したる謂所脱炭部分の如きは或る程度迄除去せられて居る筈である。

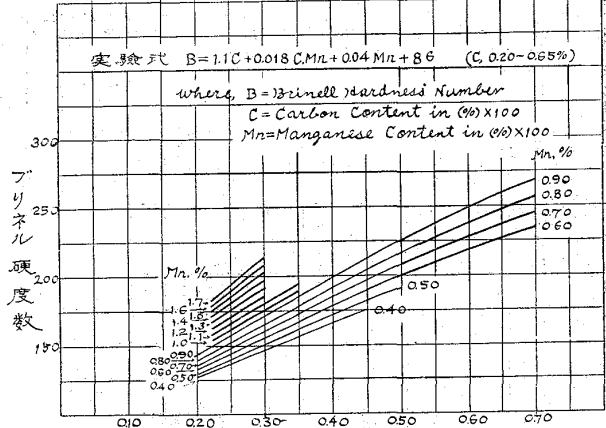
(ハ) 調査方法：一調査方法は凡て抗張力及延伸率の場合と同様であつて其の結果は附表第3の通りである。

偕て附表第3を見るに満俺含有量がブリネル硬度の上に及ぼす影響は抗張力の場合と同じ現象を呈して居る、即ち満俺含有量と硬度との關係を示す平均直線は何れも右上りにして居り従つて表中示す $\tan\theta$ の値は満俺 0.01% 毎に増加するブリネル硬度數に外ならない、今全炭素量のものに就き $\tan\theta$ の値を見ると第7表の如く炭素含有量の増加するに連れて $\tan\theta$ の値も亦漸次増加してゐる之の事實は即ちブリネル硬度の上に及ぼす満俺の影響は低炭素の場合よりも高炭素の場合に於て著しいことを意味する。

第10圖 各炭素量に對する Mn. 0.10% 増加に依るブリネル硬度増加狀況



第11圖 炭素含有量(%) 普通炭素鋼に於ける炭素及満俺含有量とブリネル硬度との關係



第12圖 炭素及満俺含有量とブリネル硬度との關係の實驗式を導き出したる圖解

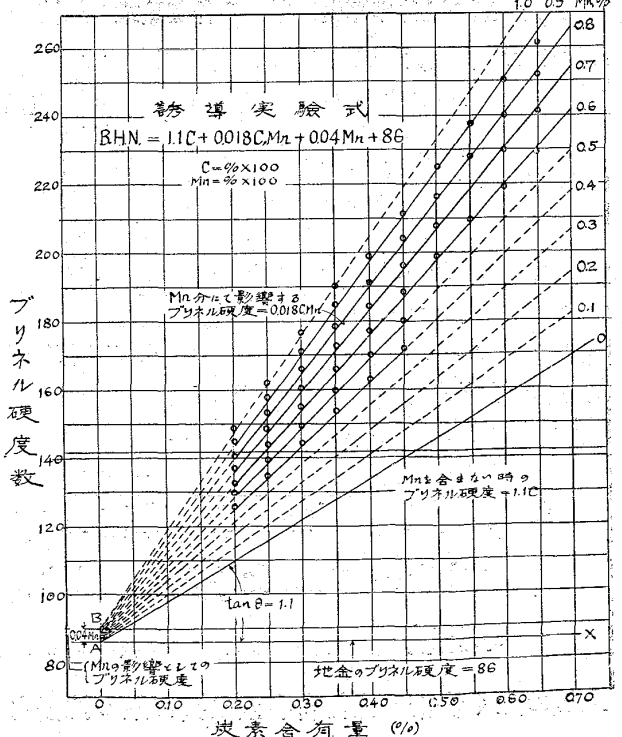


表 7 第 満俺含有量がブリネル硬度の上に及ぼす影響

炭素含有量 %	附表第 3 に示す tanθ の値	満俺 0.01% 毎に増加する硬度數	満俺 0.10% 毎に増加する硬度數
0.20	0.36	0.36	3.6
0.25	0.45	0.45	4.5
0.30	0.54	0.54	5.4
0.35	0.63	0.63	6.3
0.40	0.72	0.72	7.2
0.45	0.81	0.81	8.1
0.50	0.90	0.90	9.0
0.55	0.99	0.99	9.9
0.60	1.08	1.08	10.8
0.65	1.17	1.17	11.7
0.70	1.26	1.26	12.6

備考 試験片は何れも熱處理を施さない壓延儘の状態のものである。

第 10 圖は各炭素含有量のものに満俺 0.10% 毎を増加するとき増加するブリネル硬度數を示せるもので各炭素量に對する増加硬度數は附表第 3 の tanθ 値の 10 倍に等しい、圖に見るが如く兩者の關係は極めて規則的なる直線で示され増加硬度數は炭素含有量に對し一定の比を以つて増加してゐる。

第 8 表は今回の研究に依つて得たる満俺 0.10% 毎に増加するブリネル硬度數と過去の實驗者に依り發表せられてゐる値との比較である。

第 8 表 各實驗者に依り發表せられたる満俺含有量が鋼のブリネル硬度の上に及ぼす影響

著者	満俺 0.10% 毎に増加するブリネル硬度數	備考
Jo	3.6~12.6	Carbon 0.20%~0.70% For Basic Open-hearth Steel as rolled.
Neville and Cain	5.0	Average. Though for low carbon alloys it is somewhat less than this value.
Brinell	4.0	Average
S. Rawdon	3.3 for 0.33% Carbon 4.8 for 0.45% Carbon	Normalized

第 11 圖は附表第 3 を 1 表に纏めたものであつて圖に見るが如く満俺を一定にしたる場合の硬度數は炭素含有量の増加するに従ひ漸次増加し其の増加狀況は圖の如く微かな曲線を呈してゐるが炭素 0.20%~0.65% の範圍に於ては先づ直線的

に増加して居ると見做し得る、又同一炭素量の下に在つても満俺含有量に依つてその硬度數に相違を來し然も之の相違程度は低炭素より高炭素に到るに従つて次第に増加して居ることが判る。

IX 炭素及満俺含有量とブリネル硬度數との關係の實驗式誘導

第 12 圖は炭素及満俺含有量とブリネル硬度數との關係を求めんとする實驗公式誘導に關する解説圖である、而して其の方法は全く抗張力の實驗式誘導の場合と同様であるが以下大略の説明を加へて見やう、同圖に於て直線 OA は満俺を含まないときの各炭素量に對するブリネル硬度數と見做し得るところであるから

$$\left. \begin{array}{l} \text{満俺を含まないと} \\ \text{き炭素によりて増} \\ \text{加するブリネル硬} \\ \text{度數} \end{array} \right\} = \tan\theta C = 1.1C \dots (1)$$

$$\tan\theta = \text{第 11 圖より } 1.1 \text{ となる}$$

$$C = \text{炭素含有量}(\%) \times 100$$

となる、即ち之の式は満俺零の場合に於て炭素 0.10% 毎にブリネル硬度數 11 を増すことを意味してゐる。¹⁾

次に第 10 圖に見るが如く各炭素量に對し満俺 0.10% 毎を増加せしむることに依り増加するブリネル硬度數は $\tan\theta \times C$ (炭素含有量) となり $\tan\theta$ の値は同圖より 0.18 となるから

$$\left. \begin{array}{l} \text{鋼中に於ける満} \\ \text{俺分の影響する} \\ \text{ブリネル硬度數} \end{array} \right\} = 0.018C Mn \dots (1)$$

$$C = \text{炭素含有量}(\%) \times 100$$

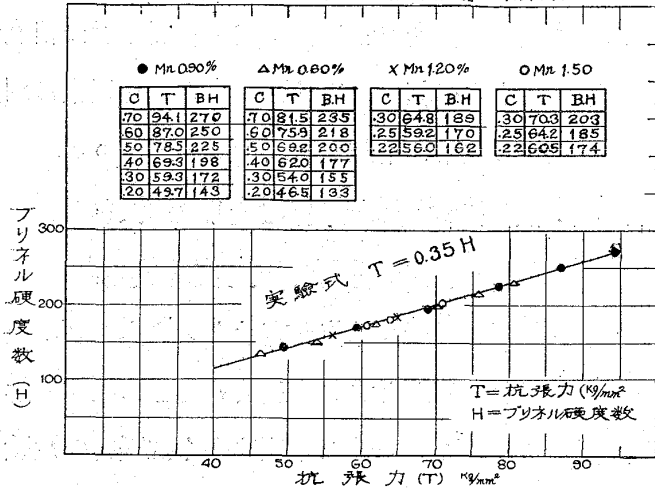
$$Mn = \text{満俺含有量}(\%) \times 100$$

に依つて表はすことが出来る。

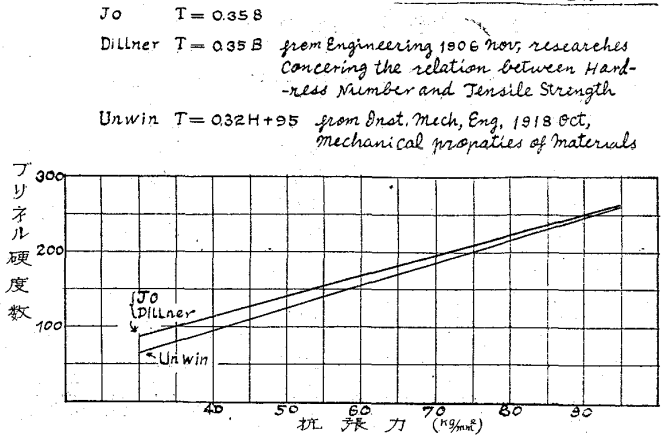
次に第 12 圖より炭素含有量零の場合に於て満俺 0%~1.0% の範圍で硬度數 4 (圖中 AB の値)

¹⁾ Brinell は Carbon 0.10% 毎に硬度數 19 を増すと言つてゐる。

第13圖 抗張力とブリネル硬度数との關係



第14圖 抗張力とブリネル硬度数との關係ノ實驗式ノ比較



を呈して居るから満俺 0.10%毎に對しては 0.4 の平均値が得られる、従つて

$$\left. \begin{array}{l} \text{満俺の影響と} \\ \text{してのブリネ} \\ \text{ル硬度数} \end{array} \right\} = 0.04Mn \dots\dots\dots (3)$$

$Mn = \text{満俺含有量}(\%) \times 100$ となる

又圖中直線AXは抗張力の場合と同様に地金のブリネル硬度と見做し得べきものである、而して圖に依り

$$\text{地金のブリネル硬度数} = 86 \dots\dots\dots (4)$$

となる。1)

従つて上記(1)(2)(3)(4)式より結局ブリネル硬度数は次の實驗式に依つて表はすことが出来る

$$B = 1.1C + 0.018C Mn + 0.04Mn + 86$$

B = ブリネル硬度数, C = 炭素含有量(%) × 100

Mn = 満俺含有量(%) × 100

X. 抗張力とブリネル硬度数との關係

鋼の抗張力とブリネル硬度数との關係に就ては既に多くの實驗者(Ast, Breuil, Brinell, Charpy, Dillner, Unwin, Le Chatelier, etc.)に依つて研究發表せられてゐるが特に Dillner

及 Unwin 兩氏は次の如き簡單なる式で兩者の關係を表はして居る。

$$\text{Dillner } T = 0.35B \quad T = \text{抗張力 } kg/mm^2$$

B = ブリネル硬度数

$$\text{Unwin } T = 0.2H + 6 \quad T = \text{抗張力 } T/\sigma''$$

H = ブリネル硬度数

而して今回の研究に依る抗張力とブリネル硬度数との關係は第9表及第13圖の如くであつて、第13圖に見るが如く兩者の關係は簡單なる直線で表はすことが出来る、今此の直線に就き實驗式を求むれば

$$T = 0.35B \quad T = \text{抗張力 } kg/mm^2$$

B = ブリネル硬度数

となり此の式は Dillner 氏の研究と全く相一致する結果となる。

第9表 鋼の抗張力とブリネル硬度数との關係

炭素含有量%	満俺含有量%	抗張力 kg/mm^2	ブリネル硬度数	第12圖に示す符號	備考
0.70	0.60	81.5	235		
0.60	"	75.9	218		
0.50	"	69.2	200	△	
0.40	"	62.0	177		
0.30	"	54.0	155		
0.20	"	46.5	133		
0.70	0.90	94.1	270		
0.60	"	87.0	250		
0.50	"	78.5	235		
0.40	"	69.3	198	●	
0.30	"	59.3	172		
0.20	"	49.7	143		

1) Nevielle 氏は pure Iron の B.H.N. を 70 と發表して居り、今回の研究の 86 は之れに比し少々高く出て居るが之は恐らく抗張力の場合と同様の意味であらう。

0.30	1.20	64.8	186	
0.25	"	59.2	170	+
0.22	"	56.0	162	
0.30	1.50	70.3	203	
0.25	"	64.2	185	○
0.22	"	60.5	174	

表中の数値は何れも第 3 圖及第 10 圖より取つた値である。

之れに依りて見るに鋼の抗張力とブリネル硬度數との間には常に密接な關係があることが判る、従つて兩者の中其の一つが判れば他の値を導き出す可能性を意味する、第 14 圖は抗張力とブリネル硬度との關係の實驗式の比較である。

XI. 結 論

之れを要するに鹽基性平爐鋼に於ける滿俺含有量が鋼の物理的性質の上に及ぼす影響は相當大であつて然も其の影響程度は炭素含有量の多くなる

に従ひ増加するものであることを知る、従つて鋼質の區分乃至等級吟味に際しては炭素滿俺兩成分の含有量に就て研究するは勿論なるも炭素含有量 0.40%以上の比較的高炭素鋼の場合に於て特に其の必要を痛感するものである、而して本論文を以下の如く結ぶ。

- (1) 普通鋼中に於ける滿俺の影響は炭素含有量の増加するに従ひて益々増加する。
- (2) 鋼の炭素及滿俺含有量と抗張力延伸率及ブリネル硬度數との間には比較的簡單なる實驗式が成立する。
- (3) 一定の抗張力を出す場合には高炭素低滿俺鋼よりも低炭素高滿俺鋼の方が靱性に富んでゐる。

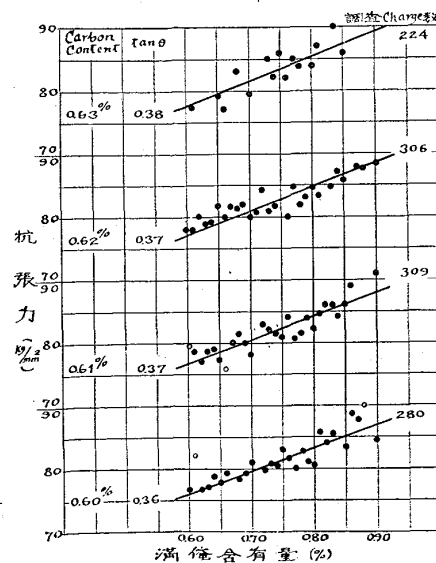
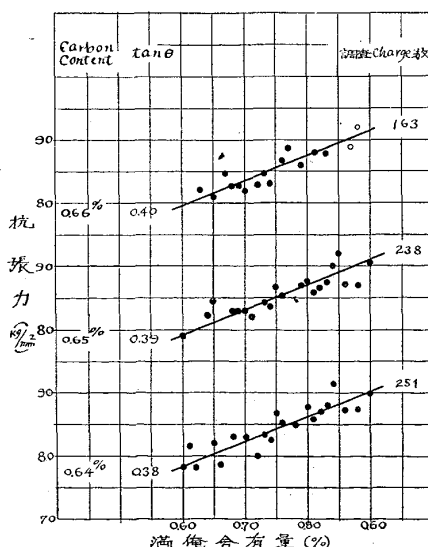
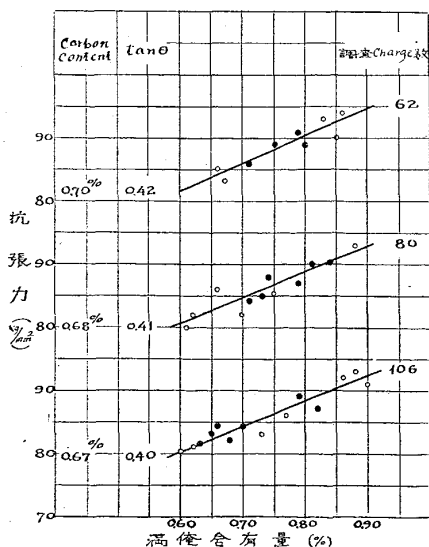
附表第 1

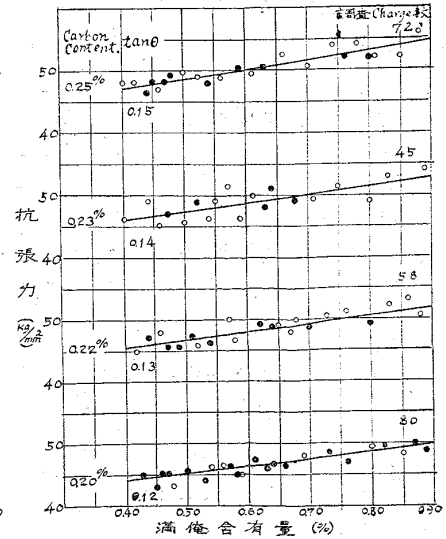
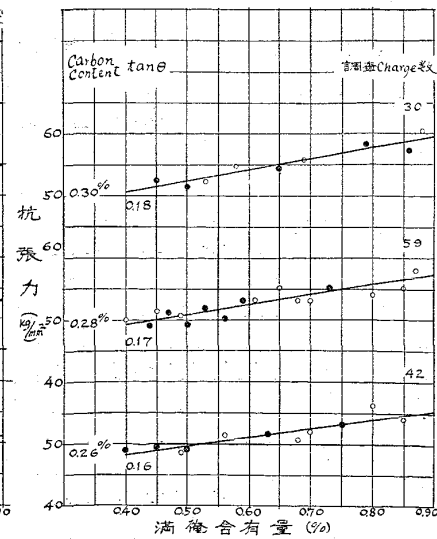
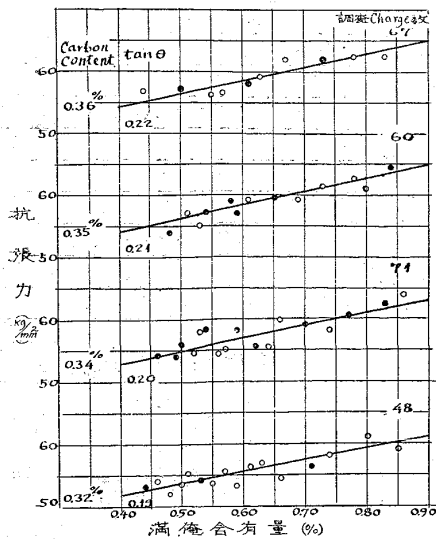
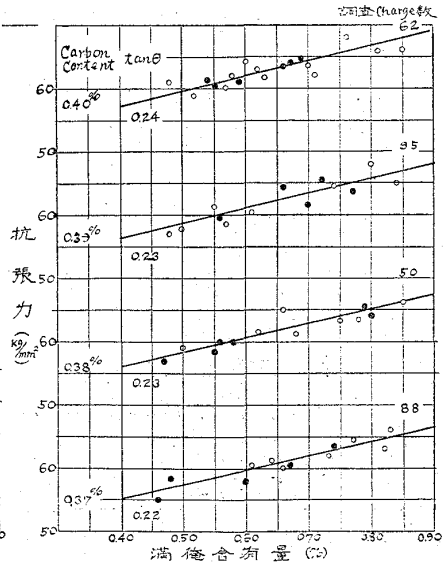
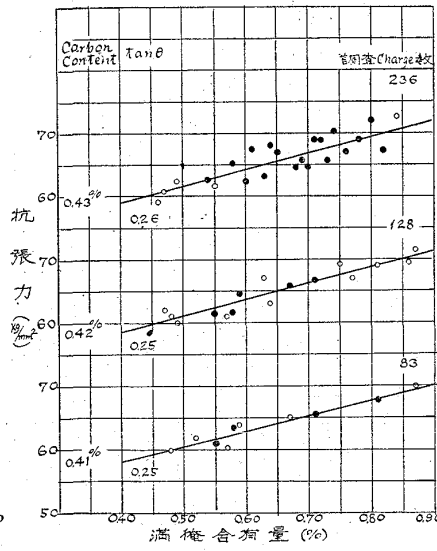
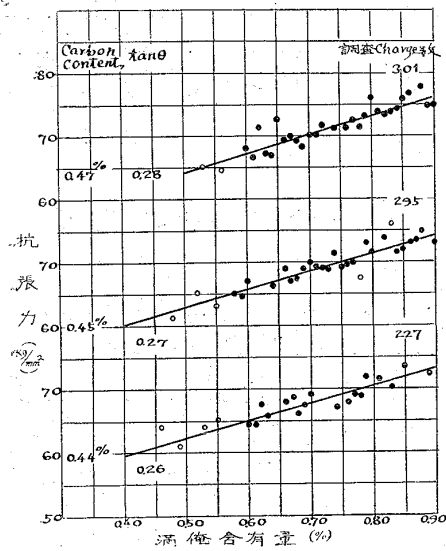
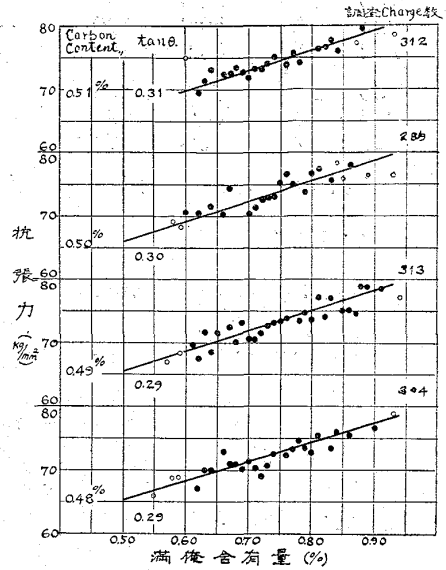
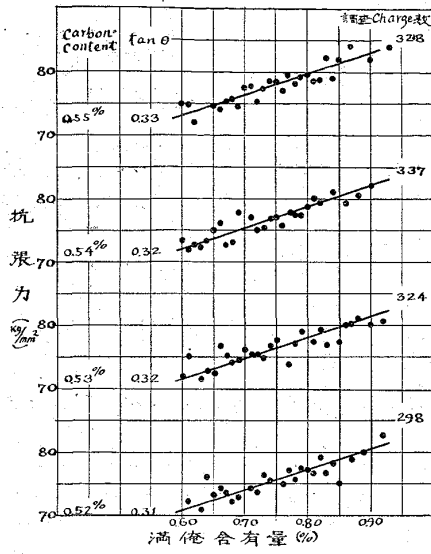
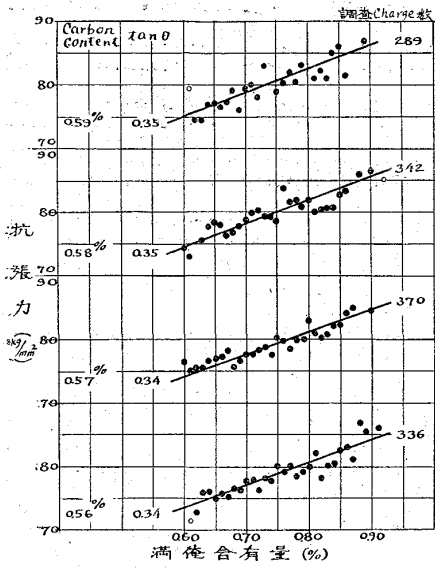
滿俺含有量が抗張力に及ぼす影響。

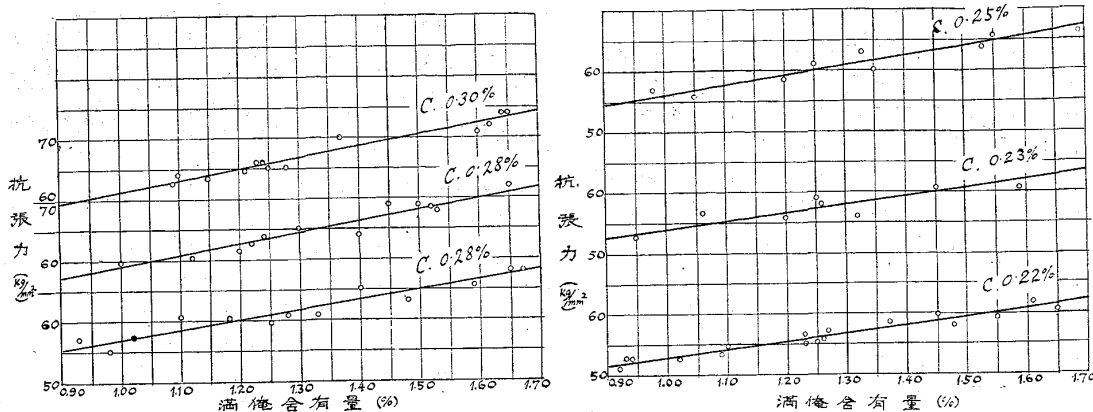
調査方法

1. 分析は凡て製鋼分析に依る、但し必要に應じ試験片の一端を分析したるものあり。
2. 表中○印は試験片 5~9 個の平均、●印は 10~50 個の平均を示す。

3. 各炭素量毎に示せる Charge 數は其の炭素量に對する調査 Charge 數を示す。
4. 表中 $\tan\theta$ の値は Mn, 0.01% 増加に依る抗張力の増加値を示せるものなり。
5. 抗張力増加狀況を示せる平均線は何れも最少自乗法に依り求めたるものなり。



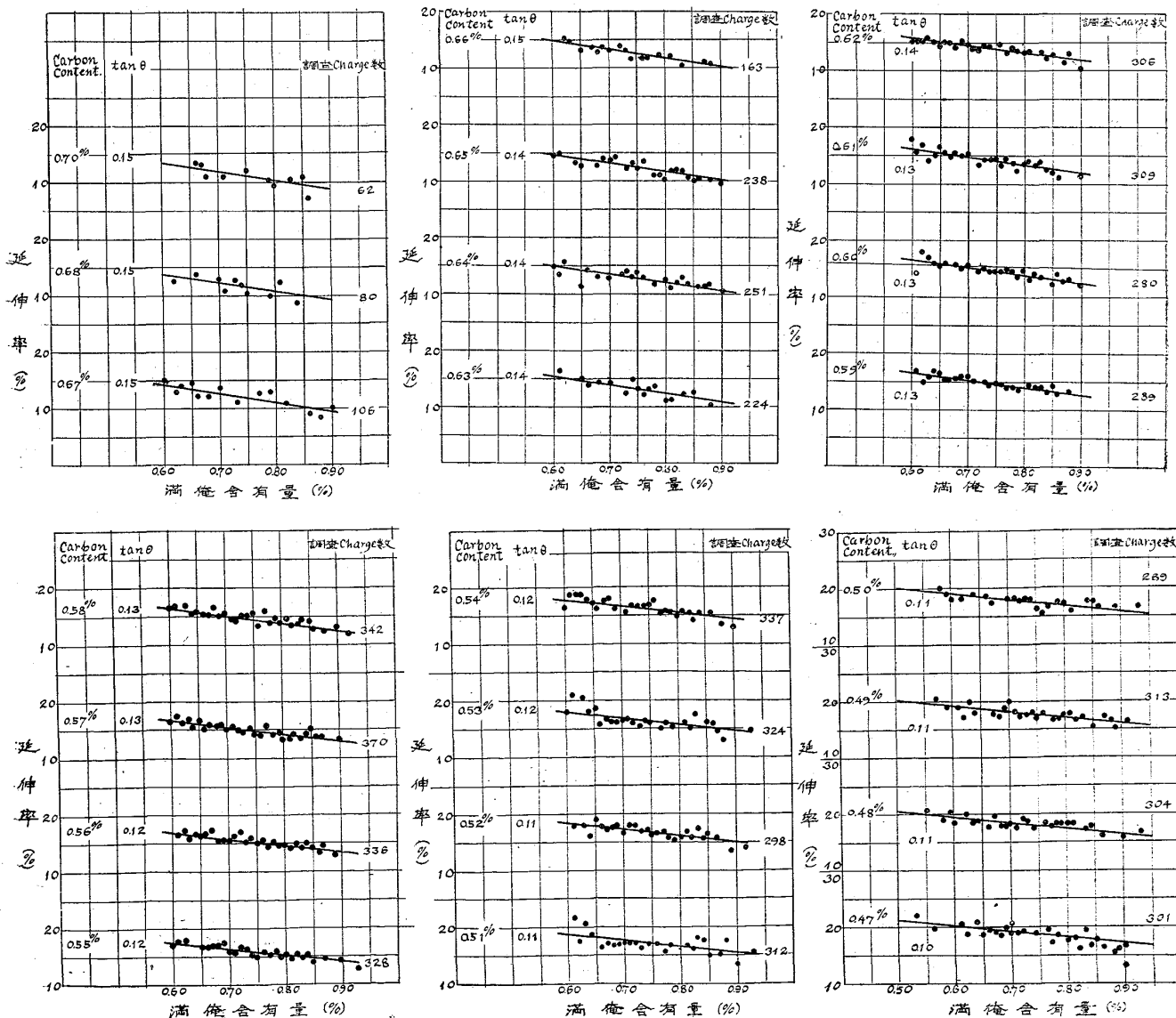


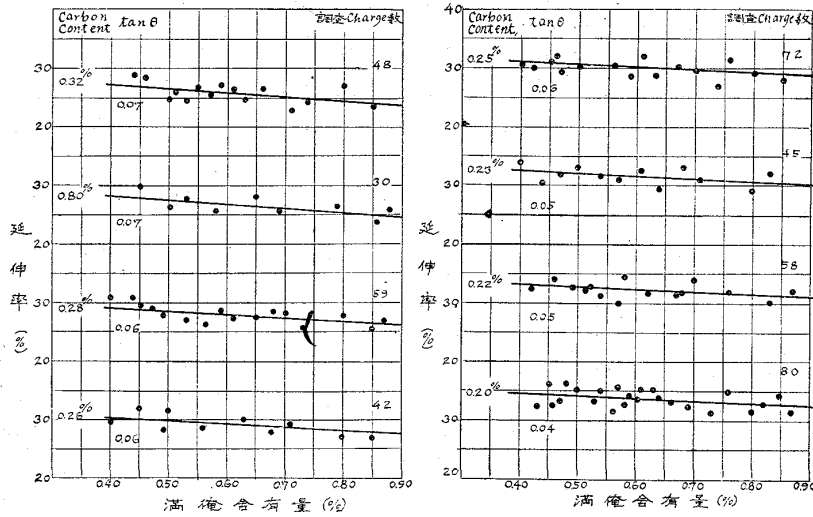
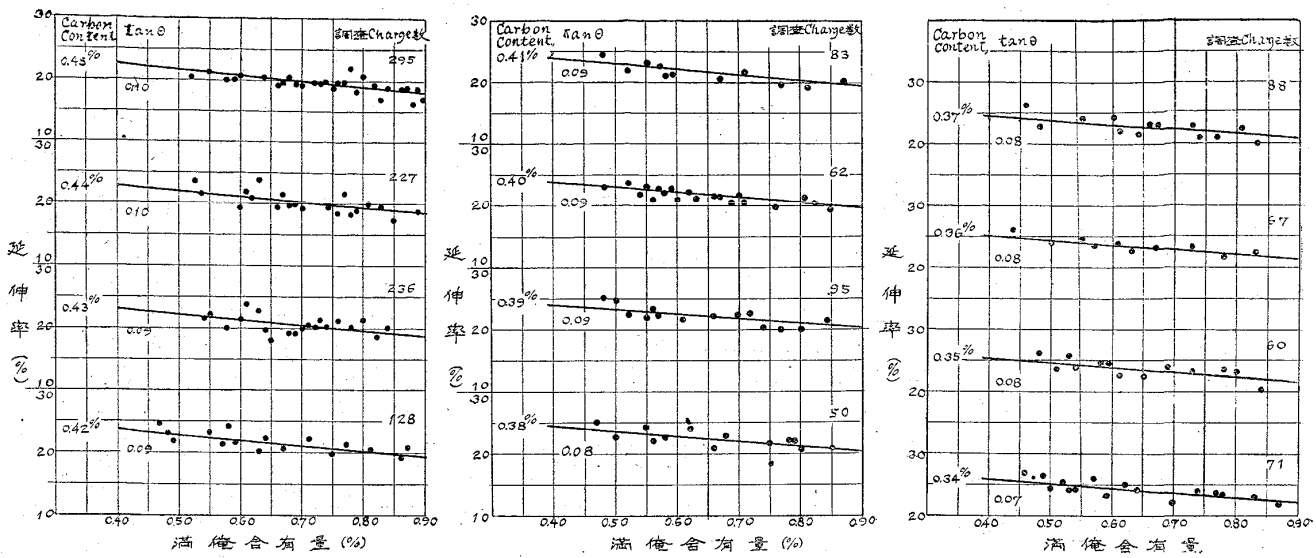


附表第2 満俺含有量が延伸率に及ぼす影響

調査方法

1. 分析は凡て製鋼分析に依る、但し必要に應じ試験片の一端を分析したるものあり。
2. 試験片の形状は日本標準規格第4號に依る。標點距離=50mm. 直徑14mm.
3. 各炭素量毎に示せる Charge 數は其の炭素量に對する調査 Charge 數を示す。
4. 表中 ● 印は試験片數 5~50 個の平均を示す
5. 表中 tanθ の値は Mn 0.01% 増加に依る延伸率減少値を示す。
6. 延伸率減少狀況を示せる平均線は何れも最少自乘法に依り求めたるものなり。





附表第3 滿庵含有量がブリネル硬度に及ぼす影響 調査方法

1. 分析は凡て製鋼分析に依る、但し必要に應じ試験片の一端を分析したるものあり。
2. 各炭素量毎に示せる Charge 数は其の炭素量に對する調査 Charge 数を示す。

3. 表中●印は試験片數 5~50 個の平均を示す。
4. 表中 tanθ の値は Mn, 0.01% 増加に依るブリネル硬度の増加値を示す。
5. ブリネル硬度増加狀況を示せる平均線は何れも最少自乗法に依り求めたるものなり。

