

炭素鋼材の抗張力と製鋼方針

(昭和2年11月5日日本鐵鋼協會第3回講演大會講演)

深 田 辨 三

On the Relation between the tensile Strength of carbon Steels and the Steel making. By Benzō, Fukata. Kōgakushi; The Specification of forged or rolled carbon steels differs in detail in countries or by authorities and is trouble for steel makers. The present writer studied these relations. Notwithstanding the real strength of the carbon steel is unknown, there are some changes in it, and happens sometimes disagreement between the specification and the maker.

Hence he assumed formulae for the calculation of the tensile strength (the main mechanical property of steel) of an ideal carbon steel, based on the mean strength of the pure iron got by four authorities Neville-Cain, Yensen, Escard and Gaellens.

In the same manner, he assumed the mean increasing value in tensile strength of the pure iron by carbon, manganese or silicon per 0.01 % of each. In this way he got the following formulae.

$$32.0 + 70.3C + 15M = A \text{ kg/m.m.}^2$$

$$20.2 + 44.6C + 9.4M = B \text{ t/cm}^2$$

Where C and M denote the percentage of C and Mn in the steel. As the amount of silicon in common carbon steels is not so vary, it will be able to assume 0.2% and the assumption used in the writer's formulae.

The calculated tensile strength of a carbon steel with the same chemical composition from the formulae given by Campbell, Darby, some works and some preactical data is less than that of the ideal value got from the above formulae, and differs from each other in degree.

This discrepancy must be attributed to some defects of an actual steel, though the actual one has the same chemical composition with the ideal one.

By his Experience in the open-hearth steel works, some progress in the manufacturing steels have been made to let the tensile strength of the steel having the same composition with the ideal steel approaches to that of the ideal steel during some ten years past. Therefore the present writer wants to offer these two formulae A and B denote the tensile strength of the forged or rolled ideal carbon steel in the present knowledge.

This might be the ideal condition to be attained by any process of steel making.

The difference between that ideal value and those of steels indicates the skilfulness of the steel making art.

At any rate in the actual work the steel meeting is first of all, as the making of ingots occupies the greater part of the work.

When an ingot is made, it is limited to very narrow range to modify some properties of it by heat or mechanical treatment.

緒 言

一般工業用各種の鋼材に對しては各用途特有の強さや性質を要求する爲に種々の製法で之を供給する。而し同一の製法でも地方乃至工場により又同一工場でもその爐の僻により終始一貫同一製品を出す事は難事である。各工場には特有の經驗を有する者があつて他の容易に凌駕出来ない差がある事がある。

大正某年某種軍艦に使用せらるゝ軸用素材(徑 20 吋)としてニッケルクロウム鋼 14 噸鋼塊で之を 2 本製造して某造船所に納入した。所が、その加工の途中疵を生じ先方の要求でその検査に立會ふた。不良となり代品を納入したのであるがその疵部を縦斷して Sulphur Print を取りたるに豫期した如く疵口の周圍は少し離れた所より遙に立派でその邊には些の偏析もなく硫黄等は反つて少く況んや鑄鋼當時の氣孔の痕跡すら全然ない。且つ上下端は(疵口の)互にその出入が相合する様な状態で鋼塊の疵即ち Secondary Pipe でなく無理に引切られた様に見受けたことがある。當時先方では電氣爐製 6 噸鋼塊で製作する豫定で實施したが規格通りの強さが出ず何回かの後上記の注文となつたと。此の如き問題は往々あることで電氣爐鋼必ずしも良好ならず平爐鋼も電氣爐鋼以上の好成績を示す事は珍くない(代品は同様 6 噸鋼塊製)。

一般に論ずれば製法の性質から言へば坩堝爐鋼が最上は電氣爐鋼、酸性平爐鋼、鹽基性平爐鋼、轉爐鋼となるが製造中の經驗特別優秀の技能等によりて必ずしも之が絶対でない事は注意すべきである。鋼材の規格は大體此の大勢を基にして實地問題を對稱として定めたもので純學術的のものではないから時に變遷がある。故に規格は工業の進歩に應じて定むべきである。然るに各種の注文を受くる製鋼所としては各々に對して別々の鋼塊を用意する事は許されない事があるから工場特有の規格を設けて或る範圍の成分を有する鋼塊を以て之にあてる必要がある。

吾々が注文に應じて製鋼する場合に毎度問題になるのは『一體鋼の眞の強さ如何』と云ふことである。そこに工場と見積係と炭素量に就て意見の異なる事がある。理想的鋼があるならば之を推定して之に到達する様に努力してこそ有意義の効果を納める事が出来る。

工場にては日々經驗を積んで進歩するから製品にも現はれる。著者は平爐の經驗によりて之等に関する點を論じ製鋼の方針を示そうと思ふ。之に依りて製品の改善に一步を進むる事が出来れば幸甚の至りである。

I. 炭素鋼材の規格

今日我國にある各種鋼材の規格は何れも歐米にその範を取りしものでその間に差異がある。所が最近必要に迫られて工業品規格統一調査會で決定されたものが今後行はるゝ事と思ふ。之等の規格中最も問題になるのは主として鋼材の抗張力と伸びとであるが殊に前者が重きをなす。尙ほ他の彈性限硬さ断面收縮率其他の機械的諸性質に就て研究するならば或種の目的に對しては抗張力のみでは不充分のものもあらう。之等諸性質を比較するならば必ずしも目的に一致しない事もあるかも知れないが今

は暫くおきて炭素鋼材の抗張力に就て考へる。

(1) 日本標準規格 大正 13 年 3 月 27 日同調査會で決定した事項中鍛鋼品に関するもの次の如し(a)。鍛鋼品の成分中磷、硫黄の制限次の如し(b)。

| a 抗張試験 | | | b 化學分析 | | | |
|--------|-------------------------------|---------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|--------|
| 第 1 種 | 抗張力 kg/mm ² (T/□") | 甲 乙 | | 酸性爐 | 鹽基性爐 | |
| | | 2 | 34~40(21.6~25.4) | 抗張力と伸の 1.5 倍との和 90 以上 | 抗張力と伸の 1.5 倍との和 90 以上 | 磷 |
| 3 | 39~45(24.8~28.6) | 硫黄 | 0.050% | | | 0.050% |
| 4 | 44~50(28.0~32.0) | 但し許容範圍 +2kg~-1.5kg | | | | |
| 5 | 49~55(31.1~34.9) | | | | | |
| 6 | 54以上60未満(34.3~38.1) | 抗張力と伸の 1.5 倍との和90以上 | | | | |
| 6 | 60以上70未満(38.1~44.5) | | | | | |

(2) 海軍省造船機關材料試験規格

| 名稱 | 抗張力kg/mm ² (T/□") | 伸% | 名稱 | 抗張力kg/mm ² (T/□") | 伸% |
|-------------|------------------------------|--------------|-------------|-------------------------------|----|
| 1 軟鋼板横纖維 | 44~50(28~32) | 16%18% | 4 防禦用ニッケル鋼板 | 57~63(36~40) | |
| 山形鋼材縱" | (推進軸打物も此の規格による) | 20% | 5 軟鋼及ニッケル鋼 | ニッケル鋼 57(36)以上 軟鋼 44(28)以上 | |
| 鋼鑄物、普通 | 41~50(26~32) | 15%10% | 6 丸棒鋼角棒鋼平鋼 | 41~50(26~32) | |
| " 高級 | " " | 25% | 7 鉄用丸棒 | | |
| タービン心棒 | 54~60(34~38) | 23%(3% Ni-鋼) | (イ)軟鋼のもの | 41~50(26~32) | |
| " 翼車 | 54~63(34~40) | " | (ロ)高張力鋼のもの | 54~60(34~38) | |
| 2 鋼板横纖維 | 58~68(37~43) | | (ハ)特製堅質鋼のもの | 58~68(37~43) | |
| 山形材縱纖維 | " | | (ニ)ニッケルのもの | 57~63(36~40) | |
| 3 高張力鋼板及山形材 | 54~60(34~38) | | 9 鋼製支柱管 | 38(24)以上 (以下省略) | |

但し T/□" となり居るものより kg/mm² に換算した。

以上は野村造兵少佐より得たる材料及び大貫氏著機械工學寶典(大正9年5月)による。

(3) 八幡製鐵所製品の鋼質 (平爐鋼と轉爐鋼)

| 鋼質番號 | 抗張力 kg/mm ² | 製品の鋼質表 | | 燒入 | 鍛合 | 屈曲 | |
|-------|------------------------|--------|----|----|----|----|---|
| | | 最低 | 延伸 | | | | |
| No. 1 | | T/□" | A% | | | | |
| 極軟鋼 | < 38 | < 24 | 25 | 20 | 否 | 良 | 良 |
| 2 軟鋼 | 38~44 | 24~28 | 22 | 18 | 否 | 良 | 良 |
| 3 半軟鋼 | 44~50 | 28~32 | 20 | 16 | 否 | 良 | 可 |
| 4 半硬鋼 | 50~60 | 32~38 | 15 | 12 | 可 | 否 | 可 |
| 5 硬鋼 | 60~70 | 38~45 | 12 | 9 | 良 | 否 | 否 |
| 6 最高鋼 | > 70 | > 45 | 8 | 6 | 良 | 否 | 否 |

備考

- A は製品の寸法丸角鋼 13 mm 以上、形鋼 8 mm 以上及板厚 8 mm 以上のもの、最低延伸を示す。
B は製品の寸法丸角鋼 13 mm 未満形鋼、厚 8 mm 未満及鋼板厚 8 mm 未満のもの、最低延伸を示す。但し丸角 10 mm 未満形鋼及鋼板は厚 6 mm 未満のものに對しては強弱試験を行はず。
- 用途、極軟鋼、リベット材、蹄鐵材、鋼線材、軟鋼、リベット材、建築材橋梁材汽罐材、半軟鋼、造船材、建築材橋梁材汽罐材、板、半硬鋼、建築材、シャフト材、硬鋼、シャ

フト材、普通工具用材、最高鋼、普通工具用材

但し大正 14 年の同所目録による。

以上の外我國の各官廳で現在採用して居る規格其他に就ては井口氏が詳論して居るから省略する。その中或種では最低の抗張力、延伸率及断面收縮率を定め同時に抗張力で或定數を除したものを inverse ratio として之によりて算出したものが實測値より常に大きな事を條件として居るもの、又は最低値は同様であるがその上に抗張力と延伸率との和が常に或る定數を超過する様に規定したものがあつた。

II. 鋼材の抗張力に及す炭素、滿俺、珪素の關係

製鋼法の差が必ずしも鋼質の良否を決定する材料とならない實例は始に示した如くであるが或規格にありては製法で數値に差のあるものや製法を指定したものがあつた。同じ平爐鋼でも一般に酸性鋼が鹽基性鋼に優る様に思はれて居るが多くの研究結果によると餘り明な區別が認められない様である。實際製鋼してみると工場によりて差のあるは勿論同一工場内の同一爐でも常に一樣でない。同一爐を二組の職工に交替してやらせてみると各組特有の結果が製品に現はれるのであるから嚴密に云ふとその優劣の決定は六ヶ敷い。而し大體としてみれば製法の特長を充分發揮する事が出来れば相當優良品が得られる。その上で鋼中に含有される元素特有の効果を確めることを得れば鋼の性質を明にすることが出来よう。

元來鋼の抗張力に最も重大な關係あるものは炭素、滿俺、珪素の三元素で之に依りて殆んど支配される。その前二者の鐵に及す影響を明示したのは Neville & Cain 兩氏の研究で、純鐵を基にして之に炭素量を一定にして滿俺量を種々に變更したもの、及滿俺量を一定にして炭素量を變化したものととの兩系の試料で研究したのである。

(1) 純鐵の性質

上兩氏は今日の科學程度で得られる最も純粹な試料を真空電氣爐でとかして製作したる標準試料 (2" × 357") で材料の機械的試験をした。Yensen 氏は 1½" × 0.3" の試料で、其他夫々特有の純鐵で研究したもので、中で眞に近いと信するものを集めると次の如し。

純鐵の性質の表 (1)

| 實驗者 | Neville | Yensen | Escard | Goellens | 平均 |
|-------------|----------------|----------------|--------|----------|--------|
| 抗張力 (lb/□") | 41,700; 42,000 | 35,500; 41,600 | 42,000 | 43,000 | 41,700 |
| 延伸率 (%) | 40; 41 | 51.8 | 40.3 | 47.0 | 44 |
| ブリネル硬度 | 70 | | | | 70 |
| 断面收縮率 (%) | 80; 85 | 87.4 | | 80 | 81.4 |

之等の平均値を以て純鐵の性質とすれば今日吾々の知り得る數値中最も眞に近いものと思ふ。之で次の如く標準を定める。

| | | | |
|-----|--|------------|-----------|
| 抗張力 | 41,700 lbs/□" or 29.3 kg/m.m ² or 18.6 T/□" | | |
| 延伸率 | 44% | ブリネル硬度數 70 | 断面收縮率 81% |

(2) 純鐵に及す炭素量と滿俺量との效果

之は昔から論ぜられて居るが就中 Arnold 氏⁽³⁾の論文以來多くの研究⁽⁴⁾がある。又 Harbord 氏はその著書⁽⁵⁾中に Arnold 氏の數値と自分の研究結果を比較して居る。何れも夫々精密測定の結果と信ずるが多少差のある所をみるとその試料や實驗の差ではあるまいか。之等の中主なる結果は次の如し。

抗張力増加割合 (lb/□") 表 (2)

| 實驗者 | 炭素 | 滿俺 | 鋼の製法及範圍 | 實驗者 | 炭素 | 滿俺 | 鋼の製法及範圍 |
|----------|-----------|---------|--------------------------|----------------|-----------|---------|-------------|
| Stadeler | — | 149~284 | 鹽基性平爐 0.3~0.7%Mn | 同氏其後研究 | 950~1,025 | — | — |
| Lang | — | 220 | 電氣爐 3.0%Mn迄 | Canningham | 1,000 | — | — |
| Webster | 800 | — | 鹽基性平爐 0.07~0.18%C | Deshayes | — | 255~285 | Mn < 0.5% |
| | 782~1,054 | — | 0.1~0.4%C | Harbord等 | 800~1,000 | — | 低炭素鋼 |
| | 1,000 | — | 酸性轉爐 | Galewood | 420~665 | — | — |
| | — | 240 | 0.2%Mn迄 | Howe | 665~1,000 | 197 | 低炭素鋼 |
| | — | 170 | 0.34~0.57%Mn | Stead | 900 | — | — |
| | — | 100 | 以上不變 0.5%Mn | Neville & Cain | 875 | 90 | Mn 無 |
| Campbell | 1,210 | — | 酸性平爐 | | 885 | — | Mn 0.15~0.3 |
| | 950 | 85 | 鹽基性平爐 | | 900 | — | 0.31~0.59 |
| 同氏其後研究 | 1,000 | 80~400 | 酸性平爐 Mn < 0.6; C 0.1~0.5 | | 915 | 230 | 0.7%C迄 |
| | 770 | 130~250 | 鹽基性平爐 — | | 965 | — | 1.01~1.35 |
| Brinell | 1,032 | 197 | 鹽基性平爐 0.8%C迄 | | 1,150 | — | 1.36~1.55 |
| Nead | 1,000 | — | " 0.14~0.7%C | 此平均 | 1,000 | — | — |
| Arnold | 860 | — | — | | | | |

但し C とあるは炭素 0.01% 増加に附抗張力増加數
Mn " 滿俺 0.01% " " "

扱滿俺の鐵に對する效果の研究中或者の結果では途中下るのがあるが Neville 氏のは初めから效果が出て居る。氏の説明によると 0.35%Mn 迄は脫酸劑として働くので MnO となり之が結晶粒の境に生ずる爲であるが、氏の研究では此の如き作用の必要なき純鐵であるからその效果が始めから表れて居ると。

以上氏によりて發表された數値の中餘りに一般のものより少なきものを省略して平均を求め之を以て標準の炭素及滿俺每 0.01% の抗張力 (lb/□") 増加數とすれば次の様である。

| | | |
|----|----------------|-------------|
| 炭素 | 每 0.01% の抗張力増加 | 1,000 lb/□" |
| 滿俺 | " " | 210 |

尤も滿俺含有量が鋼の抗張力を増す效果は以上の研究結果で明な如く炭素との共同效果で炭素量を増す程一定量の滿俺が鋼の抗張力を増す割合が増大するのである。一般に炭素鋼材として使用されるものの中に含有される滿俺量は先づ 0.65%~0.35% 位であるからその間では滿俺の效果は一定とみて大差なきものと信ずる。

(3) 純鐵に及す珪素量の效果

Baker 氏⁽⁶⁾の研究によると鐵の抗張力は 4%Si 迄は増加する事が確められた。その中標準化した試

料の成績曲線を見ると 0~1.0%Si 迄の抗張力増加状態は直線であるから次の如くして珪素 0.01%に對する抗張力を算出した(原文の表 III 及 圖 1 による)。

珪素 毎 0.01%機械的強さ表 (3)

| 珪素量 % | 0.024 | 平均 | 1.020 | 平均 | 兩平均の差 | |
|----------|----------------|-------|----------------|-------|--------|-------------|
| | | | | | 0.996 | 每 0.01%Si |
| 抗張力 T/□" | 22.41 22.71 | 22.56 | 30.66 30.69 | 30.62 | 8.06 | 0.084(T/□") |
| 延伸率 % | 42.5 43.5 | 43.0 | 35.5 35.5 | 35.5 | 7.5 | — |
| 断面收縮率% | 66.3 67.7 | 67.0 | 67.0 66.6 | 66.8 | (67.0) | — |

又 Turner 氏が軟鋼に就て珪素の影響を研究した結果の中 0.18%C の鋼の抗張力は次の如し。

軟鋼の強さ表 (4)

| 試料別 | C | Si | Mn | P | S | 抗張力 T/□" | 率 |
|-----------|------------|-------|-------|-------|-------|----------|-----------|
| (5) | 0.18 | 0.102 | 0.662 | 0.066 | 0.028 | 33.57 | |
| (8) | 0.18 | 0.217 | 0.642 | 0.076 | 0.028 | 34.70 | |
| (11) | 0.18 | 0.504 | 0.455 | 0.121 | 0.094 | 36.72 | |
| 差 (5)~(8) | — | 0.145 | | | | 1.13 | 0.080 |
| (5)~(8) | — | 0.402 | | | | 3.15 | 0.0783 |
| (8)~(11) | — | 0.257 | | | | 2.02 | 0.0786 |
| 平均 | 0.01%Si に附 | | | | | | 0.079T/□" |

但し率とあるは毎 0.01%Si に附抗張力増加率

次に Baker 氏 Turner 氏の平均値を求め 0.08T/□" とする。

之等の外燐、硫黄、銅が鋼材に對し夫々効果を及すが前述の 3 元素に比すれば微量であるから之等の數値に餘り大なる影響はないものと思ふ。以上の結果を集めると次の如し。

| 種別 | 抗張力 lb/□" | or | kg/m.m ² | or | T/□" |
|----|-----------|----|---------------------|----|--------|
| 純鐵 | 41,700 | | 29,300 | | 18,600 |
| 炭素 | 1,000 | | 0.703 | | 0.446 |
| 滿俺 | 210 | | 0.150 | | 0.094 |
| 珪素 | 179 | | 0.130 | | 0.080 |

III. 鋼材抗張力の算出式

今日ある鋼材抗張力の算出式を見ると大抵炭素のみを考へて居るが前述の如く滿俺の影響が明にされた以上之を省略する事は出來ない。殊にその効果が炭素のその 20%以上の値を示す事は注意に値する。珪素の効果が Baker, Turner 兩氏の研究によると何れも 20 年以上前に發表されてありながら餘り大差なく殆んど一致して居る事は實に貴重なる事項である。即ち珪素も少くとも 1.0%迄は殆んど滿俺に近い効果を鋼に及すのである。而し吾人が鋼材として使用する場合には普通 0.2%Si 前後で大差がないから之を算式の中に入れる繁を避けて 0.2%とし計算して定數の中に入れ 著者は理想的炭素鋼材の抗張力に次の算式を與へる。

$$32.0 + 70.3C + 15M = A \text{ kg/m.m}^2$$

$$23.2 + 44.6C + 9.4M = B \text{ T/□"}'$$

但し CM は夫々炭素及満俺の%を示す。

今日ある抗張力の算式中次の數種に就て考へてみよう。

抗張力算式表 (5)

| 作 者 | 算 出 式 | 單 位 |
|------------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| (1) Campbell (1903) ⁽⁸⁾ | 酸性鋼 I; 40,000+1,000C+1,000P+xM | lb/□" |
| (2) Campbell (1903) ⁽⁹⁾ | 鹽基性鋼 II; 41,500+770C+1,000P+yM | lb/□" |
| (3) Darby (1917) | I; 51C+16 | T/□" |
| " | II; 80.33C+25.2 | kg/m.m ² |
| (4) 某製鋼所検査 (1924) | 21.5+41.0C | T/□" |
| (5) " 工場 (") | I; 17.0+60.0C (C 0.15~0.28) | " |
| " | II; 22.0+42.0C (C 0.28~0.50) | " |
| (6) 著 者 (1926) | I; 20.2+44.6C+9.4M | " |
| " | II; 32.0+70.3C+15.0M | kg/m.m ² |

但し式中 C, M, P は夫々炭素, 満俺, 燐の%を示す。

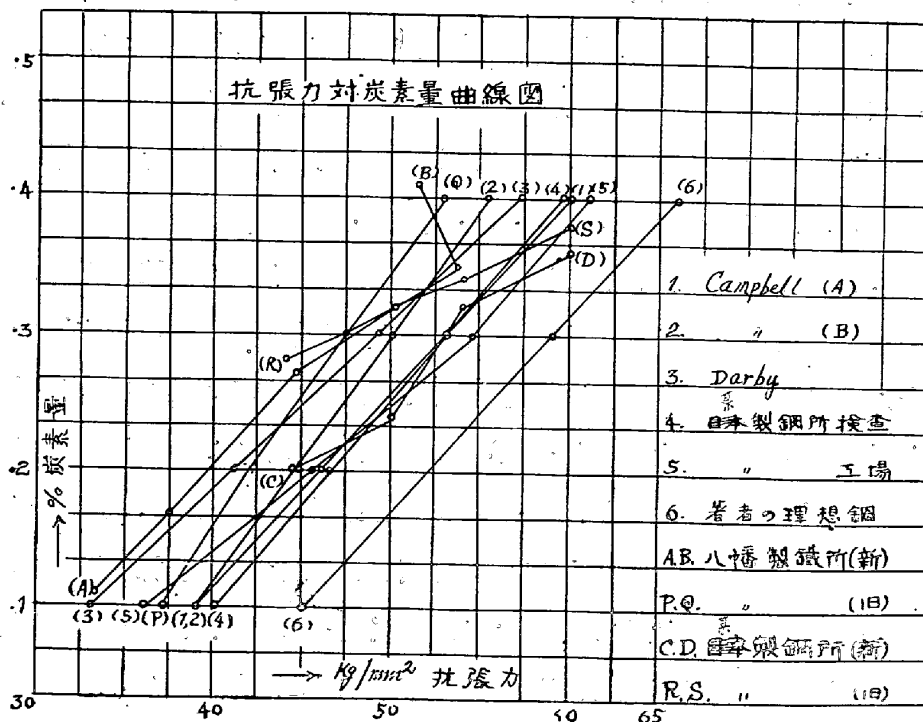
以上の外に鋼の組織の方から算出する方法もある。之によれば亞共析鋼ではその主要組織たるパーライトとフェライトの%で其抗張力を計算する。パーライトは 88kg/m.m², フェライトは 35kg/m.m² の抗張力であるから

$$\text{鋼の抗張力} = \frac{35F+88P}{100} = \text{kg/m.m}^2 \quad \text{となる。}$$

註 { F, P は夫々フェライト及パーライトの%を示す。
此の式は實用上は不便である。

之等の算式から次の如き分析を有する鋼材の抗張力を計算してみよう。鋼質 Si 0.2%, Mn 0.4%, P 及 S 0.05%, 之を共通にして C 0.1, 0.2, 0.3, 0.4% の4種。

但し(5)式は 0.1~0.2%C は前記の I, 0.3 及 0.4%C は II による。之を曲線圖に示せば次の如し。



炭素量(%)と抗張力(kg/m.m²)表(6)

| 式別 | 0.1C | 0.2C | 0.3C | 0.4C |
|-----|------|------|------|------|
| (1) | 38.9 | 45.9 | 53.0 | 60.0 |
| (2) | 39.3 | 44.7 | 50.1 | 55.6 |
| (3) | 33.0 | 41.2 | 49.3 | 57.3 |
| (4) | 40.3 | 46.8 | 53.2 | 59.7 |
| (5) | 35.2 | 45.6 | 54.5 | 61.1 |
| (6) | 45.0 | 52.0 | 59.1 | 66.1 |

IV. 抗張力對炭素量の曲線に就て

著者の算式(6)は純鐵にその基礎を置いて之に對する炭素、滿俺及珪素の影響を加へたもので今日著者が知り得る所では理想的の鋼の抗張力とする事が出来る。

故に他の何れの算式より求めた値より最も高い値を示して居るのは當然である。その中(1)と(4)とは殆んど一致して居る。(1)と(2)とは同一人の式で(2)の鹽基性鋼の方が低く表はれて居るが、之は又滿俺の影響が0.2%Cと0.3%Cの鋼とで抗張力の定數 xy に非常に差のある事にもよる。(3)は(6)より最も遠く(1)、(4)は最も接近して居る。(5)式は2つの式を結合したので屈曲して居るが高炭素となると(6)に近づいて居る。

又(PQ)は八幡製鐵所の⁽¹⁰⁾古い數値、(AB)はその⁽¹¹⁾新しい數値を示し、(CD)は某製鋼所の新しい例(大正9年以後)、(RS)は古い値(大正5年前)を示して居る。その中(AB)と(CD)は屈曲して居る。大體を通覽すると(3)、(AB)、(PQ)と(1)、(4)、(5)、(CD)、(RS)と二組に集り(2)は中間ではあるがより前組に近い。之等から考へると前組は鹽基性鋼の壓延したものの成績を示すのではあるまいか。後組は酸性鋼の鍛鍊材の抗張力を現すのではあるまいかとも考へられる。而し後組中(1)以外の成績は酸鹽兩性平爐鋼の主として水壓鍛鍊材の成績であるから必ずしもそうでない。前組の八幡の例は主として鹽基性平爐鋼の壓延材の成績と思ふし、(3)も大體同様の材料から得たものとすれば上の推測は或程度の眞相がありはせぬか。果して然りとすれば鍛鍊材と壓延材との加工の差が抗張力に表はるゝのではあるまいか。

こゝで考へる事は鋼材製造の道程、鋼塊と製品との横斷面積の比即ち鍛鍊係數乃至壓延率との關係である。精鍊、脱酸等の鋼塊となる迄の道程の差、炭素量と加熱溫度殊に仕上溫度の如何が非常に鋼材の性質に關係する。加工の方で水壓又は蒸汽槌鍛鋼と壓延とで多少の差あるべく夫等の鍛鍊係數壓延率の如何が又影響するので全部を統一しなければ正確に論ぜられない事になる。故に箇々の算式が採用される範圍が制限される事になるが、大體一般の炭素鋼材の抗張力は先づ標準化したものに就て考へるのであるからその取扱方はこの程度と考へておく。又試料の大きさ、採取位置即ち鋼材に平行か否か、試験機で外力の加へ方の遲速等で差を生ずる。かく考へると時代、場所、人を異にした各式を比較するとも無意味との感もあるが大勢は比較出来る。何れも理想鋼に比して可なりの間隔がある。

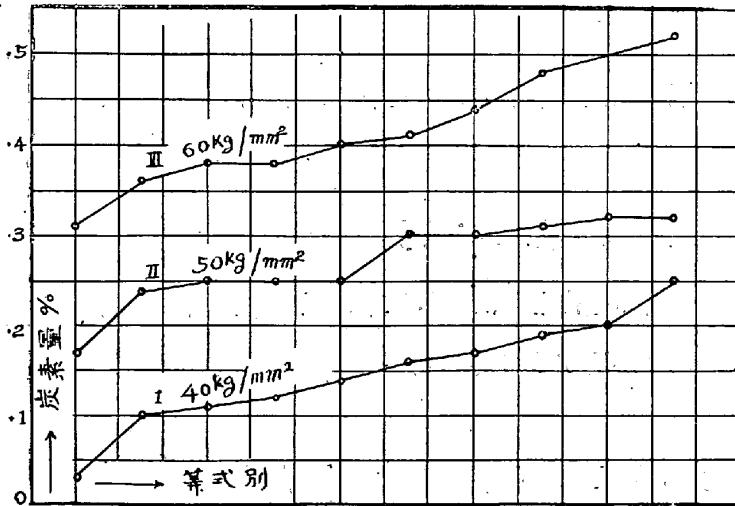
V. 抗張力と炭素量の選定

前述の如く各種の規格を見ると夫々要求する抗張力に差があるから、製鋼所に於て之等の製品に對して別々の鋼材を用うる事は萬全の策であるが止むなく自信ある鋼塊を使用して製品率を定める事になる。この製鋼には工場による習慣があるが二様に考へられる。

- (1) 使用目的を定めて製鋼するもの
- (2) 出來た鋼塊によりて目的を定むるもの

一般に熔鋼爐を主とすれば概して優良品が得られる。爐況によりては止むなく目的外のものとなる事が少くない。之を無理に目的の製品にするのは不自然の結果を來し化學成分は叶ふても機械的試験で不合格になり易い。(1)も(2)も結局は程度問題ではあるが信用に重きを置けば(2)にするがよい。而し期限、量を考へ入れると(1)の方が従業員の研究心に訴て有效な事がある。鋼材として重に取扱はれるのは半軟鋼と半硬鋼とで、各種の規格を通じて大體第3と第4に屬する。抗張力から云ふと $40\sim 50\text{kg/mm}^2$ と $50\sim 60\text{kg/mm}^2$ 就中前者が廣く用ゐられる即ち各國の例をみると (kg/mm^2)、

| 種類 | 日 | 英 | 米 | 獨 | 佛 |
|-----|---------|-----------|-----------|---------|-------|
| 半軟鋼 | (39~45) | 39.4~50.4 | 42.2~49.2 | (37~46) | 40~50 |
| | 44~50 | | | 44~50 | |
| 半硬鋼 | (49~55) | 44.1~63 | 52.8~54.5 | 50~60 | 50~60 |
| | 54~60 | | | | |



但し小数點下第二位以下は四捨五入又()中の中のものであるが附記した。

之等に対する炭素量を理想鋼の線圖から求むれば 0.03~0.17% C; 0.17~0.31% C の鋼に當る、其他の式の線圖から同様求めその理想鋼に對する値を最左端となし各之に近い數値順にして曲線圖に示せば左の如し。

抗張力と炭素量の表 (7)

| 種類 | 半軟鋼の炭素量 抗張力(40~50) | 半硬鋼の炭素量 抗張力(50~60) | 種類 | 半軟鋼の炭素量 抗張力(40~50) | 半硬鋼の炭素量 抗張力(50~60) |
|-----|-----------------------|-----------------------|------|-----------------------|-----------------------|
| (1) | 0.11~0.25 | 0.25~0.40 | (AB) | 0.20~0.32 | 0.32~0 |
| (2) | 0.12~0.30 | 0.30~0.48 | (PQ) | 0.16~0.30 | 0.30~0.52 |
| (3) | 0.19~0.31 | 0.31~0.44 | (CD) | 0.17~0.24 | 0.24~0.36 |
| (4) | 0.10~0.25 | 0.25~0.41 | (RS) | 0.25~0.32 | 0.32~0.38 |
| (5) | 0.14~0.25 | 0.25~0.38 | 平均 | 0.16~0.28 | 0.28~0.42 |
| (6) | 0.03~0.17 | 0.17~0.31 | | | |

但し平均には理想鋼を入れず。

VI. 一定抗張力に対する炭素量變化曲線に就て

之によりてみると一定の抗張力を出す爲に必要な炭素量が理想鋼に比して如何に變化あるか知られる。次に曲線に表れた要領を述べる。

(1) 曲線 II が 3 種中最も變化が少ない。0.17% C に對して 0.24~0.32% C である。之は一般に熔鋼に際して割合困難少く一樣の製鋼が出来る事と加工の場合熱の高低の變化が餘り鋭敏に關係しないから何れの所でも餘り差のない物が出来る爲と思はれる。

(2) 曲線 I は大體曲線 III と類似の形の傾向を示すが共に II より變化が甚しい。I の方は低炭素となる程脱酸の困難な事が察せられるが加工時の温度の關係は少ない。

(3) 曲線 III になると理想鋼の 0.31% C に對して 0.36~0.52% C でその變化が一段と多い。之は、第一、爐で此の邊の鋼塊の製造は非常に困難がある事實、第二、加工前後殊に仕上温度冷却速度等が益々抗張力に影響する事實が如實に現はれて居る。技術の差が甚しい所が知れる。

(4) 3 種の曲線を通じて表 (7) と對照してみると同一工場乃至同一の算式による數値でも抗張力對炭素量の變化が不規則である。之は前述の (1) (2) (3) の事實で一種製鋼成績乃至工場の特長と短所とを示すとも見られる。斯く比較すると理想鋼に對する差の多いもの程改善の餘地あるものと察せられる。前記鍛鍊鋼と壓延鋼、酸性鋼と鹽基性鋼との差があるものとしてもその各々に就ても亦多少差のある事が察せられる。

(5) 要するに各算式はそれの採用される鋼の成績を示すものでそれと理想鋼との差の大小がその程度であると考へる事が出来る。

VII. 製鋼作業の改善が抗張力に及ぶ影響

平爐製鋼法の進歩改善が果して抗張力に如何なる變化を及ぼすか以下に過去の經驗の一端を述べてみる。之等は必ずしも著者の經驗が全部ではないが要するに其の從事した工場の實例で主として鍛鍊工場調査の數値による。

大正 4~5 年 (1915—1916) 頃迄は抗張力 47.3 及び 63kg/mm² (30, 40T/□) の鋼材としては炭素量 0.3% 及 0.4% が使用された。熔鋼作業の改善に伴ひ次第に抗張力はその最上限を超過する様になり前者に對して 0.24% C 炭素鋼が使用され更に大正 7 年 (1918) 末には同じ要求に對しては 0.2% C で充分目的に叶ふに至れる歴史がある。その頃の算式は次の如し。

$$\text{抗張力} = 20.5 + 50C \text{ T/□}''$$

即ち 0.2% C で 48kg/m.m² 30.5 T/□'' の力が出て居る。

所が過敏歐洲の戰亂當時異狀な製鋼所の注文に對しては勢ひ大量生産が主、品質従の傾向となり一時材質が遷下した事が明に結果に現れ一旦進歩した製鋼術が下り、先に示した算式(5)の(I)及(II)を

案出して鋼材の選定方針として来た。之によると 0.2% C で 45.6 kg/m.m² (29 T/□") の抗張力である。又次の如き事實がある。

彈丸材は最硬質の鋼で分析の指定ありし關係上初めは酸性鋼を使用し後に鹽基性鋼も使用した。所が陸軍と海軍とではその範圍に多少差異がある。實際製鋼に際し 0.5% C 以上の硬鋼の製造は非常に困難である。その調節には殊に鹽基性爐で多く失敗した。漸く鋼塊が規定成分に出来ても機械的試験が鍛造後容易に通らず廢却となつたものは非常の數量に達した。而も熱處理で改善されるものは僅である。規定の抗張力に對して炭素は 0.65% が極限であるのに 0.67% C 位の鋼を止むなく使用した事がある。然るに炭素量は平爐作業の熟練するに伴ひて次第に下り、終り頃には 0.43% C の鋼塊を使用しても規定の抗張力其他が出る程に進歩した事がある。之は全く熱處理の爲でなく平爐に於ける作業が上達して脱酸、湯の鎮靜其他が進歩したのが主因と信ずる。而して所謂理想鋼に近づく事が察せられる。

次に (ロイド造船) 規格に對して炭素量の變化の模様を表示する。

規格と炭素量の變化表 (8)

| 年 度 | 抗張力 44~50kg/m.m ² | 抗張力 54~60kg/m.m ² |
|----------|------------------------------|------------------------------|
| 大正 5 年 前 | 標準炭素量 0.28~0.32% | 0.34~0.38% |
| " 後 | 0.24~0.28% | 0.32~0.36% |
| " 8 年 | 0.18~0.22% | 0.28~0.32% |
| " 9 年後 | 0.20~0.24% | 0.32~0.36% |

然るに大戰後平靜に復すると共に次第に鋼質が優良に向ひたる事實は表 (8) の如し。

而して此の抗張力が果して如何なる範圍に起る可きかに就て研究すれば鋼塊鑄造の方針が定まる。

大正 5 年研究係で前後 17~19ヶ月間の實際製品の成績中炭素量 0.24% 及 0.28% の試験合格率を調査した所は次の如し。

0.24% C 炭素鋼試験合格率表 (9)

| 抗張力 T/□" | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 |
|----------|------|-----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|------|
| 合格率 % | 0.67 | 2.0 | 7.0 | 23.9 | 32.5 | 27.3 | 9.3 | 2.7 | 1.3 | 0.67 |

0.28% C 炭素鋼合格率表 (10)

| 抗張力 T/□" | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 |
|----------|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| 合格率 % | 0.7 | 1.4 | 4.1 | 10.3 | 25.8 | 31.5 | 17.8 | 7.0 | 2.0 | 0.7 |

以上表 (9), (10) によれば 0.24% C 鋼の抗張力は 26~35, 0.28% C 鋼のは 28~37 T/□" 即ち 41~55 及 44~58.3 kg/m.m² の間にある事が知れる。而も前者にありては 45.7~49.0 後者にては 50.5~53.5 (29~31, 32~34 T/□") kg/m.m² の抗張力が主なる事を示すのである。

之等の結果を次表 (11) と對照すれば大正 4~5 年のものと 6~7 年の製品に於ける消長を見ることが出来る。何れによるも 0.24% C 邊の鋼の抗張力が一致して居るのに反して高炭素鋼程その差が大きくなり製鋼の困難なる所以を示して居る。之は先の抗張力對炭素量の曲線にも表はれたる傾向でよく事實と一致して居る。

此の如き關係を各製鋼所に於て調査しある抗張力に對する炭素量の範圍を決定すれば自然製品率乃至不良品の割合等が豫定出来る。例へば 50kg/m.m² の製品に對して 0.24%C の鋼を用うれば 50% は確實に合格する。而してその抗張力の差は僅に $\pm 0.8\text{kg/m.m}^2$ ($\pm 0.5\text{T}/\text{cm}^2$) と云ふことになる。

炭素量と抗張力範圍の表 (I)

| 調査所別 差 T/cm ² | 研究係 | | 工場 | | |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0.24%C | 0.28%C | 0.24%C | 0.28%C | 0.30%C |
| -5.5 | | 0.35 | | | |
| -4.5 | 0.67 | 1.04 | | | |
| -3.5 | 2.00 | 2.73 | | | 0.90 |
| -2.5 | 7.00 | 7.18 | | | 1.80 |
| -1.5 | 23.93 | 18.04 | 39.20 | 12.5 | 21.85 |
| ±0.5 | 32.47 | 28.66 | 50.00 | 53.0 | 21.85 |
| +1.5 | 27.34 | 24.68 | 3.60 | 37.5 | 12.75 |
| +2.5 | 9.29 | 12.43 | 3.60 | | 19.10 |
| +3.5 | 2.66 | 4.54 | 3.60 | | 19.50 |
| +4.5 | 1.33 | 1.36 | | | 7.25 |
| +5.5 | 0.67 | 0.34 | | | |
| 平均抗張力 T/cm ² | 30.0 | 32.5 | 31.8 | 32.6 | 35.7 |
| " kg/m.m ² | 47.3 | 51.2 | 50.1 | 51.4 | 56.3 |

故に著者は算式 A 及 B を理想的炭素鋼材抗張力算出式として之を提議する。

VIII. 炭素量決定と製鋼方針—結言

凡ての製鋼法を通じてその方針は先に述べたる著者の所謂理想鋼に到達せむとするにある。

此の目的に對して方針の要領は次の如し。

- (1) 各製鋼所はその製品に關して如何なる炭素量を有する鋼が如何なる抗張力其他の機械的性質を有するかを定める。且つ自信ある範圍を定める。
- (2) 規定の強さを有する鋼材が最も多く得らるゝ炭素量を研究して置くこと。
- (3) その強さの鋼材が如何なる範圍の炭素量又は滿俺量の間にあるかを研究する。
- (4) 注文規格と許容範圍を前の (1) (2) (3) と對稱して炭素量を定める。次に合格率を定むれば如何なる鋼塊を鑄造すべきか明になる。

以上は皆現在實行して居ることを述べたので珍らしいことではない。而し依然熔鋼爐の成績が主で之に従て他の事項を決すべく不自然の要求は結局不經濟に終ることを自らの經驗上主張する。即ち一旦鋼塊となるならば其後の加工熱處理の影響は僅少である。鋼塊が出来れば善惡共に全工程の 80% は決定するものと思ふ。故にそれが不良ならば早く見極をつけて製鋼し直すのが結局より經濟的である。而も所謂分析成績だけ見て良否を決する前に熔鋼當事者の素直な言に聽き多少化學成分は豫期に反しても爐況から鑄鋼完了迄自信ある操作であるならばその言に信頼するのが安全である。(了)

〔註〕

- (1) 井口:水曜會誌第 5 卷第 1 號 p. 3~12.

- (2) R. P. Neville & J. R. Cain: Scientific Papers, Bureau of Standards No. 453(1922) No. 464(1923)
 (3) J. O. Arnold: Journ. Iron & Steel Inst. 1894 i p. 107.
 (4) 註 (3) 参照
 (5) F. W. Harbord: The metallurgy of Steel 1916. p. 346~351.
 (6) T. Baker: Journ. Iron & Steel. Inst. 1903 ii p. 312.
 (7) Turner: 註 (5). p. 366.
 (8) Campbell: The Manufacture & Property of Iron & Steel p. 391.
 (9) Darby: Engineering April 6, 1917 p. 2320.
 (10) 俵: 鐵と鋼 p. 300(初版・1909). 1000 箇の鹽基性平爐鋼の平均。
 (11) 城: 製鐵所研究報告 No. IV. (3). (1924) 平爐鋼の成績中 ABCD 4 種の數値で夫々 28°, 12°, 31°, 29° (C) に於ける値。

鋼塊に於る偏析の研究 (VI)

(大正十五年九月二十二日日本鐵鋼協會講演會講演)

蒔 田 宗 次

第一三章 輪狀幽痕の生因

鋼塊の外層なる柱晶層盡き續いて其の内方の粒晶層は輪條幽痕圈となる、現今の鑄成法にては避くべからざる幽痕なり。

此の種の幽痕は大鋼塊の内方に潜在するを以て鋼成材の形狀及用途に依りては、全體の材力に及ぼす影響輕微なるべしといへども、其の濃淡消長は鋼材の品位に關すること大なるものとす。

然るに其の生因につきては、未だ確認せられたる學說なし、著者は本問題に遭遇し之に向つて爲したる諸種の觀察を綜合して其の生因に解釋を試みたり。

第一〇四節 生因諸說

茲に輪條幽痕と稱するは 1907 年 J. E. Stead 氏が The rings of independent spots^{※1} と稱せるものに當る。氏は其の生成につきて假説^{※1}を立てたり、即鋼殼の内壁に於ける純晶と不純液との間に生じたる氣泡は其の瓦斯壓力に依り附近の不純液を搾出す作用をなす。而して氣泡の遁れ去るや其の跡に不純偏析物填充するに依りて生ずるものとせり。之は氣泡跡填充説にして、此の説は輪條幽痕の斑點が鋼塊の横断面にて輪狀に配列することを説明し得れども、此の幽痕が縦に線條をなすことにつきての詳細なる説明に言及することなし。且つ氣泡跡を填充することに依りて生じたる幽痕は本題の輪條幽痕と其の形象を異にせり(第一一六節)。

A. W. & H. Brearley 氏等は其の著書中に此の種の幽痕の生因を説明して曰く、鋼殼の内面に接

※1 Iron and Steel Inst. 1907, iii. P. 456.

※2 A. W. & H. Brearley: Ingot and Ingot mould. 1918. P. 165.