

鐵 と 鋼 第二十二年 第九號

昭和十一年九月二十五日發行

論 說

鍛 鍊 の 機 構 に 關 する 模 型 實 験

(第 3 回工學大會講演)

原 於 菟 雄*

MODEL EXPERIMENT CONCERNING TO THE MECHANISM OF FORGING.

Otowo Hara.

SYNOPSIS:—With the use of clay ingot, the mechanism of hydraulic forging and upsetting has been investigated. The results are as follows:—

(1) In general, the inner deformation of ingot is varied according to the width of anvil and its penetration, the deformation of center (Δd) being represented by the following equation.

$$\Delta d = a \log L/D + b h/D + C$$

where, D =diameter of ingot L =width of anvil h =depth of penetration a, b, c =constants

(2) In the upsetting, it is found that the inner deformation of ingot has the transition point at the ratio $D/H=0.7$ where D and H are diameter and height of ingot to be upset respectively.

I. 緒 言

鍛鍊の主要な目的は所要の形状に成形するばかりでなく、鑄造時の粗大な結晶粒をレファインし鋼質を改善することである。鋼塊が大となるに従ひ内部の結晶粒は益々粗く且、不純物の析出に依り結晶粒界は甚だ脆弱となる。之を改善するには適當なる熱処理も必要なく可からざることであるが、鍛鍊に依り機械的變形を與へ鋼地を均整にし熱処理を容易ならしむることがより重要な様に思はれる、殊に大型鋼塊の實體鍛鍊の場合に生ずる割疵、白點等の缺陷は概ね偏析部近傍に發生して居り、該偏析部は材質的に最悪の個所であるため、鍛鍊を特に効かせる可きであるが事實は表面附近に比較して遙かに劣るのである。

鍛鍊の効果即ち鋼塊内部の變形が金敷の形状及押込量の差異に依つて影響されるものであることは既によく知られて居るところであるが、其の定量的な關係に就ては殆んど研究されることなく、從來の研究は主として鋼肉の流れ(flow)及鍛鍊係數と材力との關係を知るに止まつて居たやうに思はれる。而して此の鍛鍊係數と材力との關係に就て

も研究者に依り意見が相違し、或る人は鍛鍊係數 1/2 までは縦横兩方向ともに材力を向上し夫以上鍛鍊すれば縦方向は良好となるが横方向は悪くなると云ひ、又或る者は鍛鍊係數 1/3 までは縦横兩方向共によくなると述べ、又或る者は白點等の缺陷を除去するには成る可く鍛鍊係數を大にし 1/5 位にするのが良いと述べて居り、果して幾何の鍛鍊係數なる時に最良の材力を示すか明らかでない。此の如く鍛鍊係數に對し種々なる意見の生れた原因は、其の研究に使用した鋼塊の大きさ及鍛鍊機の大小即ち金敷の形状及押込量の差異を無視したことに基因するものと思はれる。從來云はれて居る所の鍛鍊係數は單に鍛鍊後の斷面積に對する原鋼塊斷面積の比である。若しも鍛鍊に依り斷面各部が一樣に變形を受けるものであるならば、其の斷面積を以て鍛鍊係數何程と云ひ得るのであるが此の如き場合は極めて稀であり、殆ど有り得ないことで、一般には各部分に於ける變形は著しく異つて居るものである。故に眞の鍛鍊係數とは鋼塊内各部の變形量を以て表す可き鍛鍊後の斷面積を以て直ちに鍛鍊係數を云々することなく、其の斷面に於ける鍛鍊係數の分布を考慮しなければならない。而して鋼塊内各部の變形量は鋼塊の大きさ及金敷の形状並に押込量に依り著しく影響されるものであり、之等の關係を悉知することは

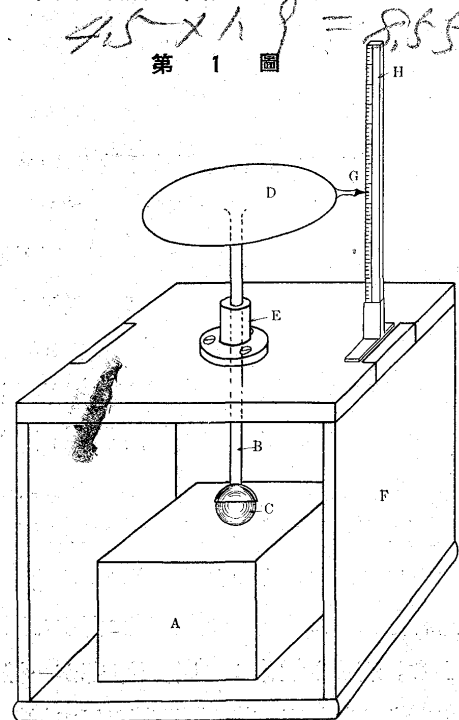
* 日本製鋼所室蘭工場

實際に鍛錬作業を行ふ上に於て緊要なことであるが、不幸にして今日まで餘り問題にされなかつたのである。依て著者は水壓鍛錬による、鋼塊内部の變形機構を探る可く、高温に加熱された鋼材と略同様な性質を有する油粘土を用いて鋼塊の模型を作り、其の大きさ、金敷の幅及押込量を夫々異ならしめて實驗した。然る後粘土塊内の各部に於ける變形量及變形の到達する深さを測定し、變形の分布を探ね、併せて之等全因子を一式に含む實驗關係式を導いた。

又鋼塊の加熱が一樣でなく、内外部の硬さに相違を生じた場合を假想して、粘土塊の内外部の硬さを異ならしめ、之に就て金敷の形狀及押込量が内部の變形に如何なる影響を及ぼすかを研究し、次いで据込鍛錬の場合に於ける内部の變形を種々なる寸法比の圓柱狀粘土塊に就て研究した。

II. 實驗方法

本實驗に使用した粘土は伊太利製彫刻用暗黄色の油粘土で、之に黒鉛の微粉末を混入して黒色となし暗黄及黒の二



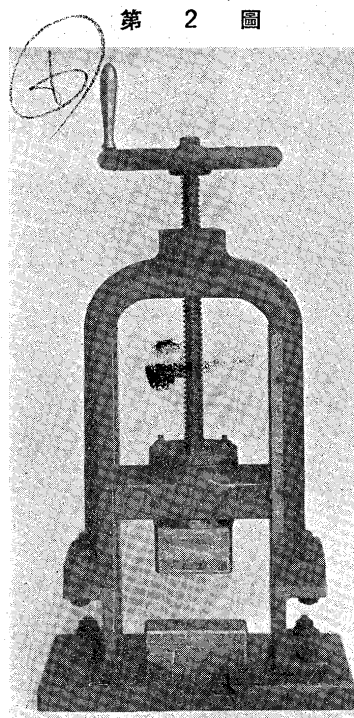
色を用いた。而して粘土原態は相當に硬く且之に黒鉛を混入すれば一層硬さを増すためワゼリンを加へて軟かにした。又硬さを一樣にするため第1圖に示す如き装置を以て硬度を測定した同圖に於てAは硬度を測らんとする粘土塊、Bは一端に直径15 mm のベヤリングボールCを附屬し、他端に重錘を載せる盤Dを有するプランジャー、Eは臺Fに固定したBの滑り案内である。Bの動きはDに固着せる指針Gと尺度Hとに依て測定する。

本器を以て硬度を測るには、BをAに軽く載せた時の指針の位置を読み、次にD上に重錘を載せて變位した時の位置を読む。即ち一定重錘に對して一定の變位をなす場

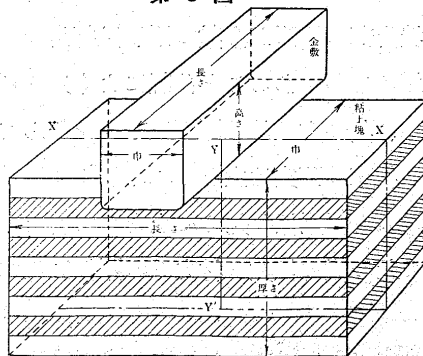
合の硬度を有する粘土塊を作り、之を用ふることにした。而して本實驗に於ては主に重錘 3kg に對して變位 4.2mm のものを使用した。

上記の硬度を有する、暗黄及黒色の粘土を以て夫々厚さ約 5mm の板を壓延し、兩者を交互に重ねて粘土塊とした而して粘土は之を捏ねて板になす場合、體温によつて軟くなり且熱の傳導が悪いため製作直後の硬さと數日間經過後の硬さに可成りの相違を生ずるものである。依て本實驗に於ては粘土塊製作後重錘を載せ、常温に約 10 日間放置し、然る後實驗に供した。此の様にすれば常に略同様の硬さを有する粘土塊を得ることが出来る。實驗に使用した粘土塊の大きさは大略厚さ 70mm、幅 60mm、長さ 120mm の角柱である。

金敷は木材を以て製作し其の幅を 10, 15, 20, 25, 30, 40 及 50mm の 7 種とし、高さ及長さを總て同様に 30 及 100mm とした。而して押し方は第 2 圖の装置を用ゐ、



第 2 圖



第 3 圖の如く粘土塊の中央に金敷を置き、第 2 圖の上部ハンドルを廻しつゝ、靜的に所要量だけ押した。然る後粘土塊を第 3 圖 XX' 線に沿うて縦斷し金敷のあたつた個所の中心線 YY' に沿うて變形量を探ねたのである。

實際の場合に於て大鋼塊は主に八角型であり且下金敷は一般にヤゲンと呼ばれて居る V 狀金敷を用ふるのが普通である。此の如くな

して實驗することは單に複雑にするのみで所期の目的を達し難い。依て此處では据込實驗の場合にのみ圓柱狀粘土塊を、其の



$$7.5 \times 20 = 150$$

他の場合には上述の如き角柱粘土塊を用ひ、且金敷は上下共に平型とした。

III. 実験の種類

本実験を通常鍛錬と据込鍛錬との二種に大別し、通常鍛錬の場合に就ては次の3種類の実験を行つた。

(1) 通常鍛錬

- i) 硬さ一様なる粘土塊を片側より押した場合
- ii) 硬さ一様なる粘土塊を両側より押した場合
- iii) 内外部の硬さ一様ならざる粘土塊を両側より押した場合

(2) 据込鍛錬 硬さ一様なる圓柱状粘土塊を据込みたる場合

IV. 実験結果

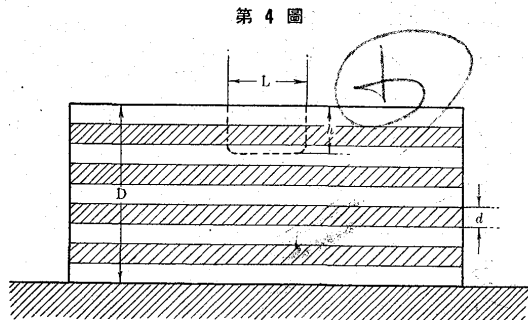
本文に於て使用する主な記號を次に示す。

粘土塊の厚さ D 、粘土塊各層の厚さ d 、粘土塊各層の變形後の厚さ d' 、金敷の幅 L 、押込量 h 、据込量 q 、

(1) 通常鍛錬

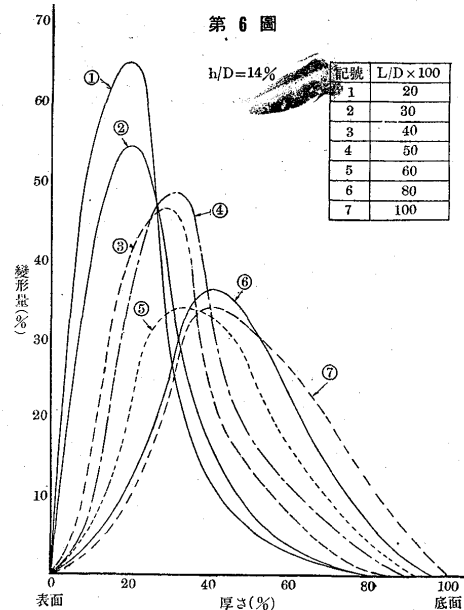
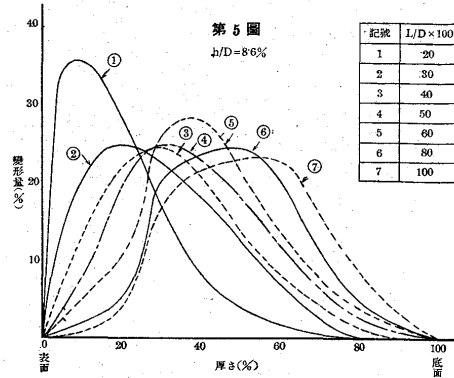
- i) 硬さ一様なる粘土塊を片側より押した場合

第4圖に示す如く粘土塊の下面を粘土塊より大なる金敷



に載せ、上面に金敷をあてて押した場合である。

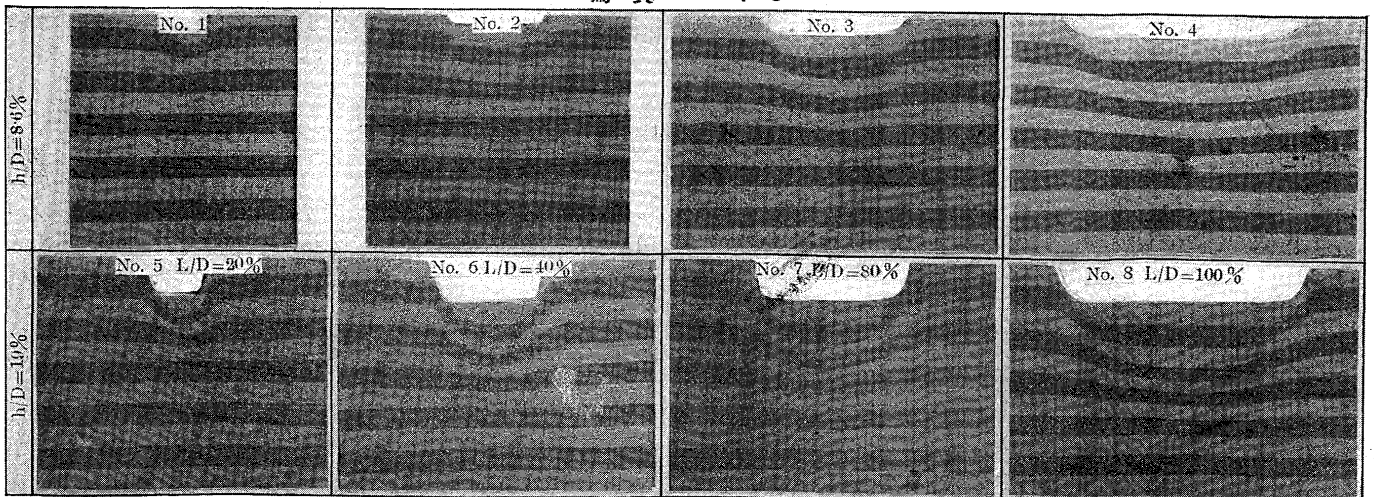
厚さ $D=50\text{mm}$ のものに就き、押込量 h と D との比 h/D を約 8.6, 14, 19 及 26% の4種とし、各 h/D に對して金敷の幅 L と D との比 L/D を 20, 30, 40, 50, 60, 80 及 100% の7種に分ち實驗した。實驗結果の一例として $h/D=8.6\%$ 及 $h/D=19\%$ の場合の縦斷面を示せば、夫々寫眞 No.1~No.4 及 No.5~No.8 の如くなる。



之等の寫眞を觀るに同一押込量に對し、金敷の幅の小なる時は金敷直下の淺い層に強い變形を與へ金敷の幅の大となるに従ひ變形の到達する深さを増す。

次に粘土塊の縦斷面で、金敷のあたつた個所の中心線(第3圖 YY'線)に

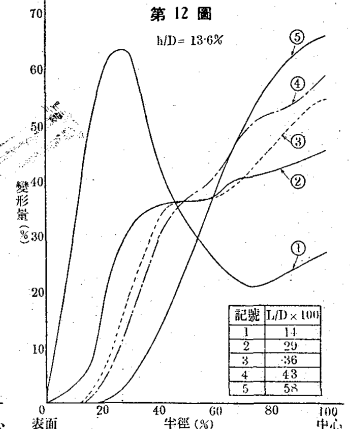
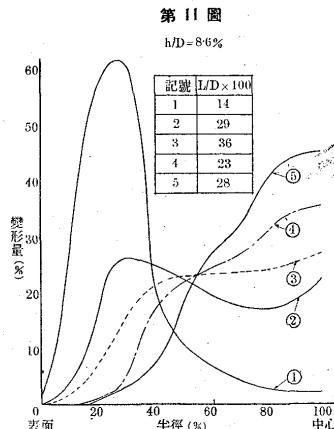
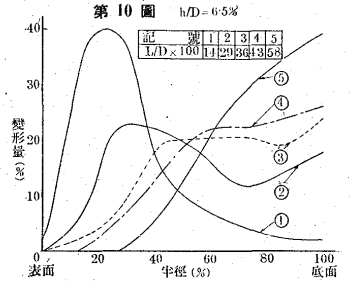
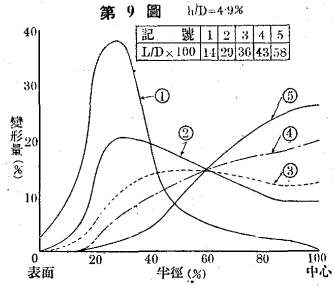
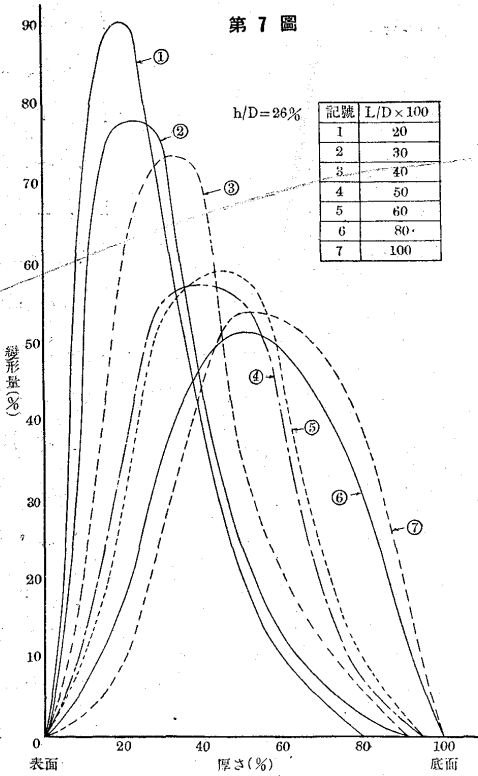
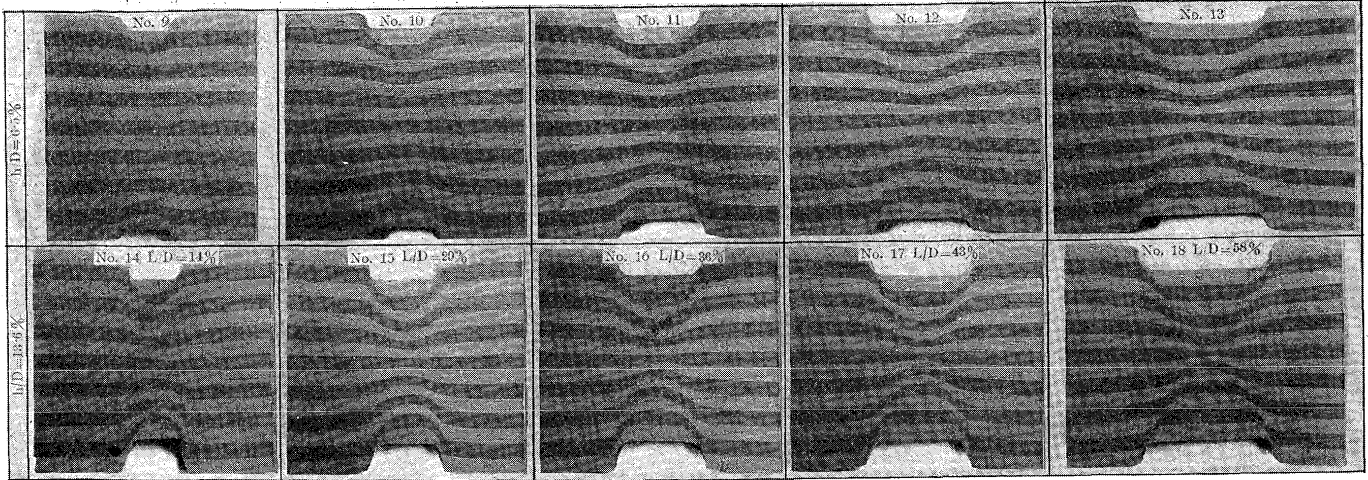
寫眞 No. 1~8



$$5.7 \times 2.1 = 11.97$$

20 x 5.6 = 11.2 主

寫眞 No. 9~10

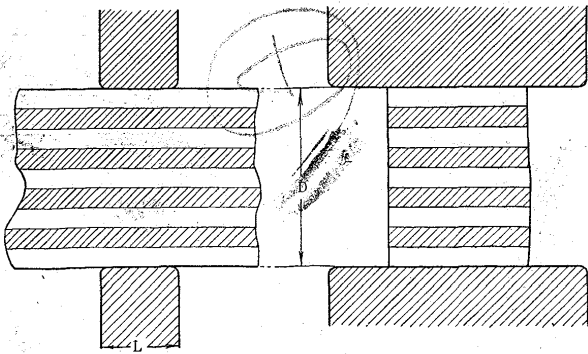


3.1 x 2.8 = 8.68

で表はされる百分比である。此の變形量を各層に就て求め之と粘土塊の厚さとの關係を 8.6, 14 及 26% の h/D に就て圖示すれば、第5圖~第7圖のやうになる。

之等の圖表から粘土塊内部に於ける變形の状態を觀察するに、何れも金敷の接する面には殆んど變形が起つて居ない。而して金敷の幅の小なる場合は、粘土塊の表面附近に著しい變形を起し、内部に進むに従ひ小となる。然るに金敷の幅が大となれば其の變形は表面附近で小さく、内部に於て大となる。要するに金敷の幅が相違すれば、同一押込量に對しても内部に於ける變形量の分布に著しい差を生じ幅の大なるものは小なるものに比較し、同一變形量の到達する深さを大にする。

第8圖



沿うて各層の變形量を測定した。此處に言ふ變形量とは各層の變形前及變形後の厚さを夫々 d 及 d' とすれば

$$\Delta d = (d - d') / d \times 100$$

$$1.2 \times 5.6 = 6.72$$



寫眞 No. 19~23



ii) 硬さ一様なる粘土塊を兩側より押した場合 實際作業の場合に相應し、第8圖に示す如く粘土塊の上下兩面を同一幅の金敷で押した場合である。

D=70mm のものに就き、押込量 h と D との比 h/D を 4.9, 6.5, 8.6 及 13.6% の4種とし、各 h/D に對して L/D を 14, 29, 36, 43 及 58% の5種に分けて實驗した、實驗結果の一例として h/D=6.5% 及 h/D=13.6% の場合を示せば夫々寫眞 No. 9~No.13 及 No. 14~No.18 の如くなる。

次に粘土塊半徑(粘土塊厚さの1/2であるが簡單に之を半徑と呼ぶ)と其の各部分に於ける變形量との關係を各 h/D に就て求むれば、第9圖~第12圖のやうになる。

之等の圖表を觀るに、内部の變形は片側から押した場合と略同様の傾向を示し、金敷の幅の小なるものは押込量を可成り高めても粘土塊の表面附近を著しく變形するのみで中心部近傍には餘り變形を及ぼさない。然るに金敷の幅が大となるにつれて、表面附近の變形は漸次小となり、中心部近傍の變形は大となる。尙金敷の幅及押込量と粘土塊半徑の各部に於ける變形量との關係を詳細に知るため、金敷の幅 L/D を一定にし、粘土塊半徑と押込量 h/D とを底に、變形量を高さにとつた立體圖を作れば、寫眞No.19~No.23 の如くなる。寫眞に於ける等高線は變形量 10% 毎に區劃したものである。

之等の寫眞を觀るに、各 L/D に就て押込量 h/D を大にすれば變形量を増すが、變形する位置は殆んど金敷の幅 L/D によつて支配されて居る。即ち金敷の幅の小なるもの例へば L/D=14% (寫眞 No.19) の場合には押込量を可成り大にしても、表面より半徑の約 2/5 附近が著しく變形されるので、残りの 3/5 は餘り變形されない。然るに金敷の幅の大なるもの例へば L/D=58% (寫眞 No.23) の場合には押込量の大小に拘らず表面附近を殆んど變形することなく、中心部近傍を變形する。即ち變形の範圍及變形量は金敷の幅によつて著しく影響されることが知られる。

此處に云ふ變形量とは一般に云はれて居る所の鍛錬係數に相當するものである。故に實際作業に於ても鋼塊に適當なる金敷を使用しなければ單に表面のみを鍛錬し、内部を鍛錬し得ない場合が起り得るのである。依て斷面各部に於ける變形量、換言すれば鍛錬係數の分布を考慮しなければ、鍛錬の充分なる効果を果し得ないことになる。概して健全なる小鋼塊は金敷の幅の小なるもので鍛錬しても甚だしい缺陷を生じないが、偏析の著しい大鋼塊に於ては内部の鍛錬を特に效かせるべく、可及的大なる幅の金敷を使用すべきであると推察される。

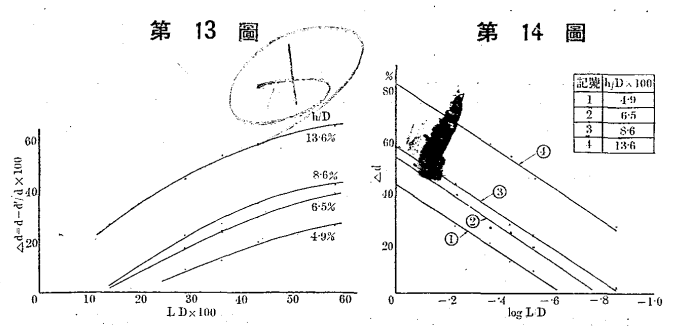
次に上記の實驗結果を更に検討し、中心部に於ける變形量が金敷の幅及押込量によつて如何やうに影響されるかを探ね、之等全因子を一式に含む實驗式を求めてみる。

第9圖~第12圖に就て中心部に於ける變形量 Δd を求めれば第1表のやうになる。

第 1 表 $\Delta d = (d-d')/d \times 100$

L/D × 100	h/D × 100			
	4.9	6.5	8.6	13.6
14	5	2.0	2.5	27.0
29	9.0	17.5	22.6	45.5
39	12.5	24.0	27.2	54.5
43	20.0	26.0	35.7	59.0
58	26.5	39.0	43.0	66.0

同表に就て Δd と L/D との關係を圖示すれば第13圖のやうになり對數曲線で表はされる。



依て Δd と $\log L/D$ との關係を示せば第14圖となり結局各 h/D に就て

$$\Delta d = a \log L/D + b \dots \dots \dots (1)$$

なる關係式が成立する。此處に a 及 b は h/D によつて定まる數値で、第 14 圖より之を求むれば第 2 表のやうになる。

第 2 表

h/D × 100	4.9	6.5	8.6	13.6
a	66.3	66.7	68.3	66.7
b	43.2	54.0	59.0	83.0

即ち a は各 h/D に就て大略 67 であり、b は次式で表はされる。

$$b = 22.5 + 4.45(h/D)$$

故に (1) 式を書き直して

$$\Delta d = 67 \log L/D + 4.45 h/D + 22.5 \dots (2)$$

となる。此處に Δd は % を以て表される數値である。

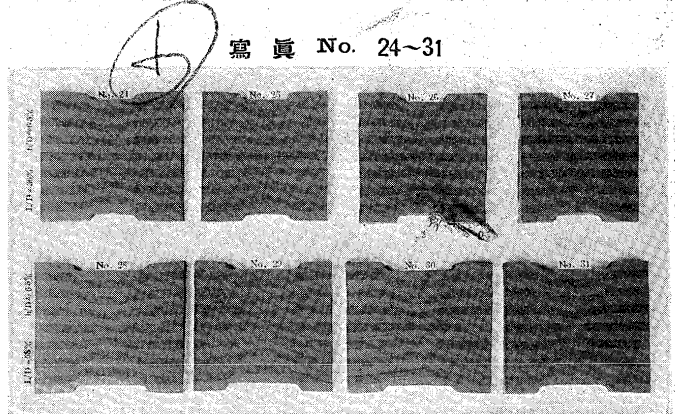
即ち中心部の變形は押込量に比例し、且金敷の幅には對數的に比例することが知られる。而して押込量を高めれば上記關係式により中心部の變形量を增大するが、實際作業に於てはカブリを生ずるため著しく高めることは不都合である。故に大型鋼塊の中心部近傍を充分に鍛鍊せんとするには、金敷の幅の大なるものを使用すべきことが肯かれる

iii) 硬さ一様ならざる粘土塊を兩側より押した場合 以上述べ來たつた實驗は、總て粘土塊の硬さを一様にした場合であるが、此處では内部の硬さを外部に比較して硬くした場合に就て述べる。蓋し鋼塊は夫自身の偏析に因り、或は鍛鍊前の加熱が充分ならざること因て、内外部の硬さに差を生ずることがある。此の如き場合の鋼塊内部の變形を知らんとするものである。

此處に用いた粘土塊は次の 5 種類である。

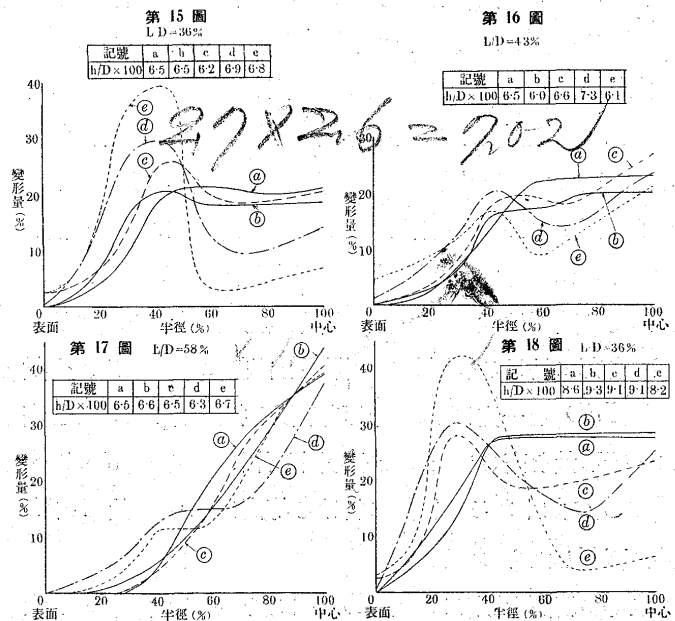
(a) 内外部を一様に軟くした場合 (b) 内外部を一様に硬くした場合 (c) 中心より半径の 20% を硬くし残りを軟くした場合 (d) 中心より半径の 33% を硬くし残りを軟くした場合 (e) 中心より半径の 47% を硬くし残りを軟くした場合 (c), (d) 及 (e) の軟き部分を (a) と同様にし、硬き部分を (b) と同様にした。而して (a) 及 (b) の硬さは第 1 圖の装置を用ひ、重錘 3kg に對して夫々 4.2mm 及 3.1mm の變位をなしたものである。(a) に就ては先に硬さを一様にして兩側より押した場合の結果を用ふることにし、此處では (b), (c), (d) 及 (e) に就き、L/D を 36, 43 及 58% の 3 種とし h/D を各 L/D に就て約 6.5 及 9% として實驗した。實驗結果の一例として (b), (c), (d) 及 (e) の h/D = 6.5% の場合を示せば L/D = 36% に就て寫眞 No. 24~No. 27, L/D = 58% に

就ては寫眞 No. 28~No. 31 の如くなる。



之等の寫眞を觀るに、硬さ一様にして硬い (b) の場合は前項の場合と同様の傾向を示して居るが (c), (d) 及 (e) の内外部の硬さに相違のあるものは、硬軟の境目附近に於て變形が急に小となつて居る。

尙粘土塊内部の變形を詳しく知るため h/D = 6.5% の場合の半径と其の各部分に於ける變形量とを各 L/D に就て求め圖示すれば、第 15 圖~第 17 圖となり h/D = 9% L/D = 36% の場合を示せば第 18 圖となる。



之等の圖に就て説明する。第 15 圖 (h/D = 6.5%, L/D = 36%) を觀るに、(a), (b) は夫々内外部の硬さ一様にして、前者は軟く、後者は硬い場合であるが、各部分に於ける變形は略同様である。即ち硬さに相違があつても、内外部一様であるならば其の變形は同様に行はれることが知られる。次に (c), (d) 及 (e) は夫々中心より半径の 20%, 33% 及 47% が硬く、残部が軟い場合であり、其の變形量曲線は (a) 及 (b) に比較して可成り趣を異にし、相當に大きな極大及極小を作つて居る。而して極大値は硬

い部分の多くなるに従つて大となり、且其の位置は表面に近づく。極小は主として、軟い部分と相接する硬い部分に起り、其の値は硬い部分の多くなるにつれて小となる。

第16圖 ($h/D=6.5\%$, $L/D=43\%$) に於ても内外部の硬さ一樣なる (a) 及 (b) は同様の變形を示して居るが、内外部の硬さ一樣ならざる (c), (d) 及 (e) は第15圖のときと可成り異つて居る。即ちまだ極大及極小を作るが、其の値は何れも小となり、(a) 及 (b) に接近して来る。

第17圖 ($h/D=6.5\%$, $L/D=58\%$) は前の実験に比較し押込量は同様であるが、金敷の幅を大にした場合である。此の場合に於て内外部の硬さ一樣ならざるものの中硬い部分の最小なる (c) は (a) 及 (b) の硬さ一樣なるものと殆んど同様な變形をなし、硬い部分の大なる (d) 及 (e) は極大及極小を作ることなく、(a) 及 (b) に可成り近づいて居る。

次に第18圖 ($h/D=9\%$, $L/D=36\%$) を觀るに、之は第15圖の場合に較べて押込量を大にしたのみである。而して (a)~(d) の各變形量曲線は第15圖と略同様の傾向を示し、單に變形量を異にして居るに過ぎない。

以上の結果を要約すれば次の如くなる、本質の確さが異なつても、其の硬さが内外共に一樣であるならば、同一の h/D 及 L/D に對しては略同様の變形を起す。然しながら内外部の硬さ一樣ならざる場合には變形量に極大及極小を作り、其の傾向は金敷の幅の小なるもの程著しい。金敷

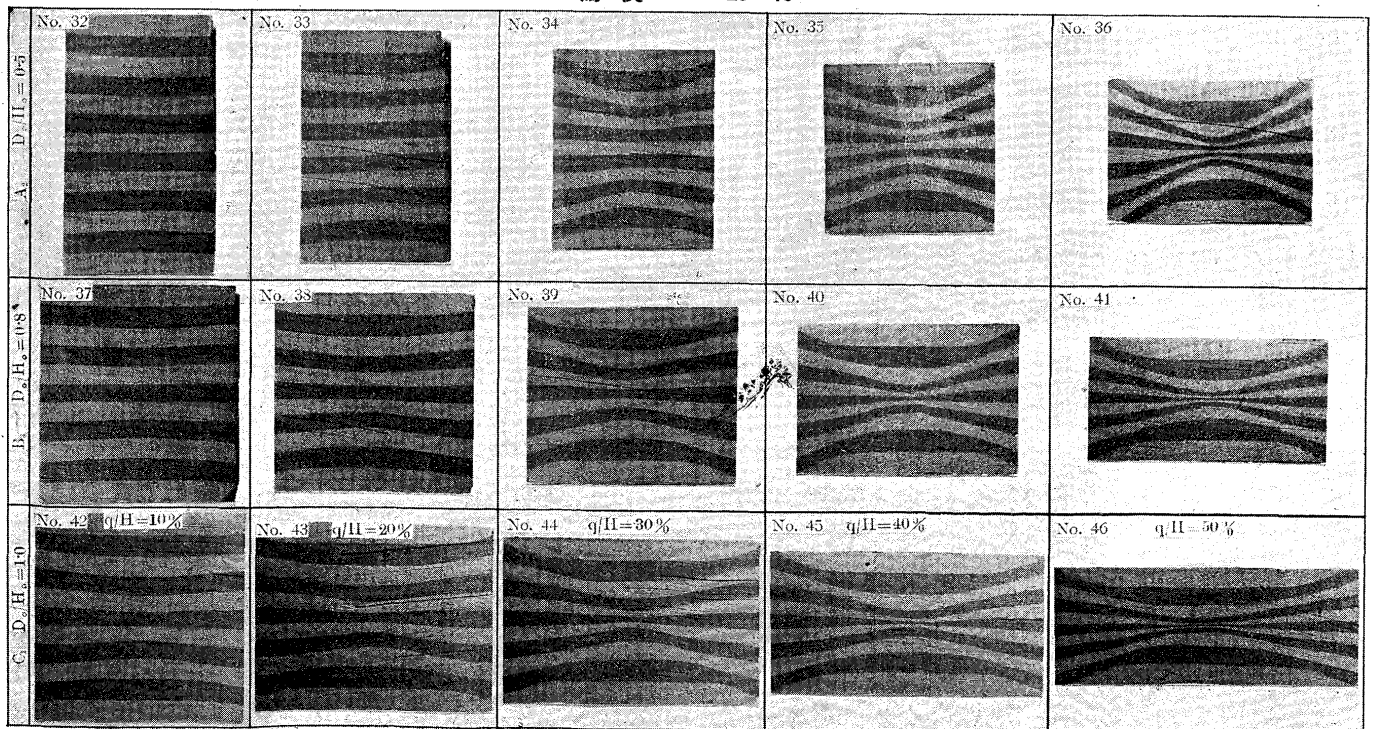
の幅が大となるに従つて極大及極小は漸次消滅し、内外部の硬さ一樣なる場合の變形に近づいて来る。故に實際作業に於て鍛錬前の加熱が充分でなく内外部の硬さに相違を來たすやうなことがあると想像し、而も鍛錬を内部にまで效かせんとするならば、金敷の幅の可及的大なるものを用ふべきことが容易に首肯される。

(2) 据込鍛錬 硬さ一樣なる圓柱狀粘土塊を据込みたる場合、製品の所要寸法及鍛錬の都合によつて長さに比較し直径の大なる場合が屢々ある。此のやうな場合には一般に鋼塊を長軸方向に据込んで直径を大ならしめる。此の場合に於ける鋼塊内部の變形を觀察するため、硬さ一樣にして、直径及高さを第3表に示す如く異ならしめた15種の圓柱狀粘土塊を作り、其の各につき据込量を10, 20, 30, 40及50%の5種に分けて實驗した。此處に据込量とは原粘土塊の高さを H_0 、据込後の高さを H とすれば $(H_0-H)/H_0 \times 100$ で表はされる百分比である。本文に於ては $H_0-H=q$ で表はす。

第3表

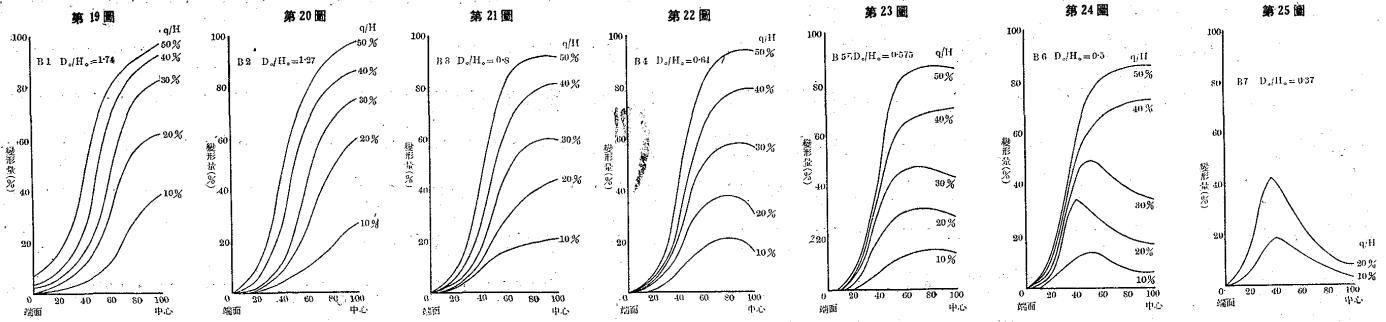
記號	直径 (D ₀)	高さ (H ₀)	D ₀ /H ₀	記號	直径 (D ₀)	高さ (H ₀)	D ₀ /H ₀
A ₁	30 mm	50 mm	.6	B ₆	40 mm	80 mm	.5
A ₂	"	60	.5	B ₇	"	106.3	.37
A ₃	"	69.7	.43	C ₁	50	50	1.0
B ₁	40	23	1.74	C ₂	"	60	.83
B ₂	"	31.5	1.27	C ₃	"	70	.715
B ₃	"	50	.8	C ₄	"	80	.625
B ₄	"	62.5	.64	C ₅	"	87	.575
B ₅	"	69.6	.575				

寫眞 No. 23~46



5.7 x 3.0 = 17.1

5.7 x 1.3 = 7.41



實驗結果の一例として A₂, B₃ 及 C₁ の縦断面の寫眞を示せば A₂ は No.32~No.36, B₃ は No.37~No.41, C₁ は No.42~No.46 の如くなる。

之等の寫眞を觀るに、何れも据込量を増すに従つて内部の變形を大にする。又同一据込量に對しては、原粘土塊の直径と高さの比 D₀/H₀ の大なるもの程變形が著しい。

次に粘土塊内部の變形を考察するため、圓柱の中心線に沿ひ、加壓端面より中心に至る各層の變形量を求めた。此處に一例として B₁~B₇ の變形量曲線を示せば第 19 圖~第 25 圖の如くなる。

之等の圖表を觀るに、何れも据込量の大きくなるに従ひ變形量を増して居るが、端面より中心までの各部分に於ける變形量は D₀/H₀ によつて異なつて居る。即ち圖表に就て説明すれば B₁, B₂ 及 B₃ は各据込量に對して、端面より中心まで順次變形量を増して居るが、その他の場合は何れも据込量約 30% までは變形量曲線に極大を作り 40% 及 50% となれば最早極大を作らない。此の理由を考察するに當り、先づ次の 3 項目に就て記述する。

- (i) 据込量と D/H の變化 (ii) 据込量と中央層の變形 (iii) 据込と剪斷

(i) 据込量と D/H の變化

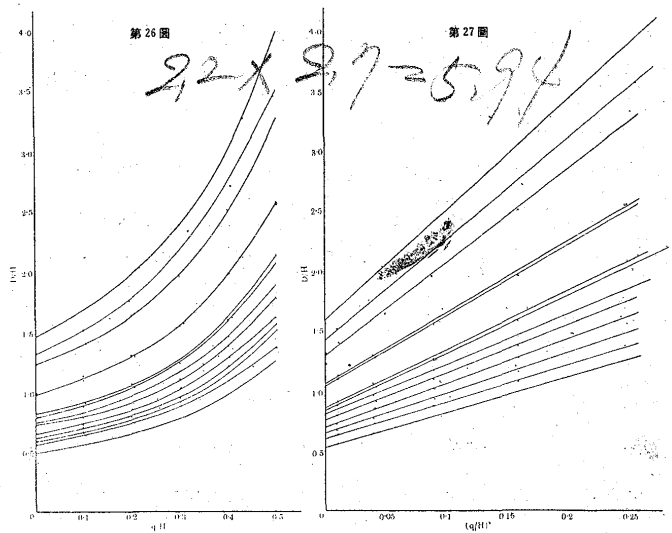
据込を行へば、其の量の増すに従つて高さは減じ直径は大となる、故に据込量と D/H の變化との關係を探ねるた

第 4 表

記號	直径 (D ₀)	高さ (H ₀)	D ₀ /H ₀	記號	直径 (D ₀)	高さ (H ₀)	D ₀ /H ₀
3~1	30mm	20.5mm	1.46	4~4	40mm	61.6mm	.65
3~2	"	31	.97	4~5	"	71	.56
3~3	"	41	.73	5~1	50"	40.4	1.237
3~4	"	51	.59	5~2	"	51	.98
3~5	"	61.5	.49	5~3	"	61	.82
4~1	40"	30.3	1.32	5~4	"	71	.74
4~2	"	41	.976	5~5	"	81.5	.614
4~3	"	51	.78				

め、第 4 表に示すやうな圓柱狀粘土塊を用ひ、其の各に就て、約 10% 毎に 50% まで順次据込量を増し、其の都度金敷に當てる兩端面の平均直径を測定した。測定方法は極めて簡單で、粘土塊を白紙の上に垂直に立たしめればよい、

斯くすれば粘土塊の輪廓は紙上に明瞭に残るため、之より容易に平均直径を測定することが出来る。此の如くして兩端面の平均直径を求め、其の時の D/H と据込量 q/H との關係を示せば第 26 圖のやうな拋物線となる。



本文に於ては圓柱の直径と高さとの比を、据込まざる場合に於て D₀/H₀, 据込によつて變化するやうな一般の場合に D/H を用ふ、第 26 圖より D/H と q/H との關係式を求めため、D/H と (q/H)² との關係を圖示すれば第 27 圖の如くなる。即ち各試料に就て次の關係式が成立する。

$$D/H = a(q/H)^2 + b \dots \dots \dots (3)$$

此處に a 及 b は定數であり、之を第 27 圖より求めれば第 5 表の如くなり。

第 5 表

號記	D ₀ /H ₀	a	b	記號	D ₀ /H ₀	a	b
3~1	1.46	1.6	.915	4~4	.65	.70	.367
3~2	.97	1.07	.587	4~5	.56	.605	.307
3~3	.73	.81	.415	5~1	1.24	1.31	.76
3~4	.59	.65	.337	5~2	.98	1.05	.582
3~5	.49	.53	.295	5~3	.82	.86	.505
4~1	1.32	1.43	.835	5~4	.74	.76	.395
4~2	.97	1.07	.587	5~5	.61	.65	.337
4~3	.78	.84	.495				

結局 $a = 6.6(D_0/H_0) - 0.5$ $b = 1.075(D_0/H_0)$ を得る。依て (3) 式を書き直して

$$D/H = 1.075(D_0/H_0) + \{6.6(D_0/H_0) - 0.5\} (q/H)^2 \dots\dots\dots (4)$$

となり、之より据込による端面の變化を計出することが出来る。

曩に第 19 圖～第 25 圖の端面より中心部までの變形量曲線に於て、或るものは或る据込量まで極大を作り、夫以上の据込量となれば極大を作ることなく、又或るものは据込量の大小に拘らず常に極大を作らないことを見出した。此の如く極大を生じたり、又生じなかつたりする原因を考へるに、極大を作らなかつたもの即ち B₁, B₂ 及 B₃ は何れも D₀/H₀ は 0.8 以上であり、其の他の極大を作るものは何れも約 0.7 以下であつた。即ち變形量曲線に表はれる極大は、据込による D/H の變化と据込量 q/H に関係することが明らかである。依て此處に求めた D/H と q/H との関係曲線(第 26 圖)と曩に求めた變形量曲線(第 19 圖～第 25 圖)とを比較對照するに D/H の 0.7 以下なるものは、之を据込んで D/H ≐ 0.8 となるまでは極大を作り夫以上となれば極大を作らないことが知られる。例示すれば B₄ (D₀/H₀ = 0.64) 及 B₅ (D₀/H₀ = 0.5) の如く、夫々据込量 20% 及 30% までは極大を作るが其の据込量に相當するときの D/H は第 26 圖により夫々 0.82 及 0.78 である。即ち D/H が約 0.8 を境とし之以上となれば最早極大を作らないのである。

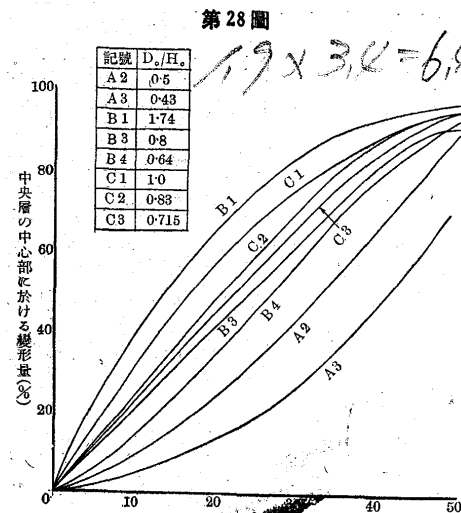
(ii) 据込量と中央層の變形 次に各 D₀/H₀ の粘土塊を据込んだ場合、据込量が中央層の中心部(以下簡単に中心部と呼ぶ)の變形に如何なる影響を及ぼすかを探ねてみる。

第 6 表 中央層の中心部の變形量(%)

記號	D ₀ /H ₀	据込量 q/H × 100				
		10%	20%	30%	40%	50%
A ₁	6	14.5	26.5	52.0	70.0	90.0
A ₂	5	9.0	24.3	41.5	70.0	89.0
A ₃	43	3.2	13.0	23.0	50.0	69.5
B ₁	174	39.	63.	83.5	93.5	97.5
B ₂	127	26.5	60.	75.5	86.	97.
B ₃	8	20.3	44.	59.	81.0	91.7
B ₄	64	15.6	30.5	56.5	79.0	93.5
B ₅	57	14.0	28.0	43.5	70.	85.0
B ₆	5	6.0	17.0	34.5	73.0	86.
B ₇	37	3.0	8.5	—	—	—
C ₁	1.0	31.0	57.5	73.5	88.0	96.0
C ₂	83	22.	46.5	72.	89.5	95.5
C ₃	715	23.6	44.	65.	84.	95.5
C ₄	625	13.	34.5	53.	77.0	95.4
C ₅	575	10.	25.5	41.	71.	91.5

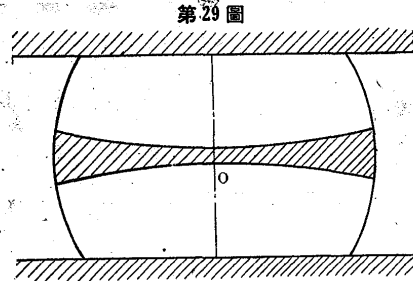
各粘土塊の各据込量に對して求めた中心部の變形量は第 6 表の如くなり、同表から A₂, A₃, B₁, B₃, B₄, C₁, C₂

及 C₃ の中心部の變形量と据込量との關係を圖示すれば第 28 圖のやうになる。即ち D₀/H₀ の小なるもの例へば A₂ 及 A₃ は q/H の増加するに伴ひ初めは徐々に變形量を増し q/H の大となるに従つて急になる。然るに D₀/H₀ の大なるもの例へば B₁ 及 C₁ は之と相反し q/H の小なるときに急に變形量を増し q/H の大となるにつれて徐々になる。尙又 D₀/H₀ ≐ 0.7 附近では据込量約 40% まで殆んど直線的に變形量を増して居る。即ち D₀/H₀ ≐ 0.7 を境界として變形の



界として變形の模様は異つて居るのである。

以上中央層の中心部に就て、其の變形量に及ぼす D₀/H₀ と据込量との影響を記述したが、次に粘土塊断面の中央層が中心より半径方向に於て如何なる變形を起すかを探ねてみる。

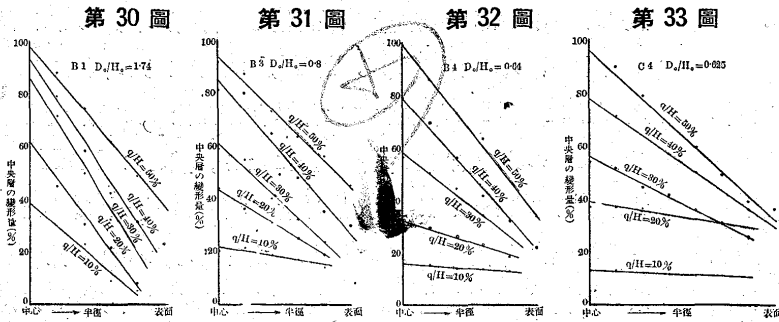


断面の寫眞に觀る如く、中央層は第 29 圖のやうな撥状を呈して居る。依て中心を 0 とし之より半径方向に 5mm 毎に其の部分の變形量を測定した。其の結果の一例として B₁, B₃, B₄ 及 C₄ の場合を示せば夫々第 30 圖～第 33 圖となる。

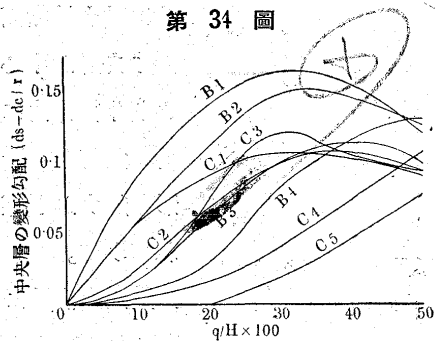
第 7 表 中央層の變形勾配 (ds-dc)/r

記號	q/H × 100				
	10%	20%	30%	40%	50%
B ₁	0875	137	162	154	12
B ₂	055	104	147	145	125
B ₃	0175	0613	095	116	0987
B ₄	0088	03	0813	115	129
B ₅	01	0138	0388	0738	106
C ₁	0575	0926	105	101	09
C ₂	025	0688	0976	106	0938
C ₃	0187	0738	120	105	093
C ₄	0045	0167	050	070	0912
C ₅	0	0	0175	0525	0737

之等の圖に觀る如く中央層の變形は各 D₀/H₀ 及 q/H に就て、中心より表面に向ひ殆んど直線的に減少して居るこ



とが判る。而して各直線の半径軸となす勾配は、結局其の据込量に對して、中心より表面に至る中央層の變形勾配を示すものである。即ち据込後に於ける中央層の表面及中心部の厚さを夫々 ds 及 dc とし、半径を r とすれば、變形勾配は $(ds-dc)/r$ で表はされる數値である。而して此の勾配の小なるものは、表面と中心部の變形が略同様なることを示し、勾配の大なるものは中心部の變形が表面の夫に比較して大なることを表すものである。今 $B_1 \sim B_5$ 及 $C_1 \sim C_5$ に就て上記變形勾配を求めれば第7表のやうになり、之を圖示すれば第34圖の如くなる。



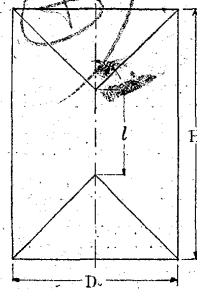
同圖に於て B_1, B_2, B_3, C_1, C_2 及 C_3 の如く D_0/H_0 の 0.7 以上の場合には、据込量 30~40% までは据込量を増すに従つて變形勾配を増大し、夫以上では減小する。然るに B_4, B_5, C_4 及 C_5 の如く D_0/H_0 の 0.667 以下の場合には、据込量の増加に伴つて漸次變形勾配を増して居る。即ち $D_0/H_0 = 0.7$ を境とし、之より大なるものは先づ中心部を變形して後表面を變形するが、之より小なるものは 0.7 に達するまで、中心部と表面とを略同様に變形し、約 0.7 に達するに及んで中心部の變形を急に大ならしめるのである。

要するに之まで述べ來たつた如く、端面より中心部までの變形量曲線に極大を作る場合は D/H が 0.7 以下であり、之以上となれば最早極大を作らないこと及中央層の中心部に於ける變形が $D_0/H_0 = 0.7$ を境にして相異つて居ることと併せ考へるとき、据込を行ふ場合には一般に $D/H = 0.7$ を境界として内部の變形に相異つた影響を及ぼすものであることが推察される。而して其の理由は、各種の D/H に就て其の底面と最大剪斷應力面とのなす角度

が變化することに因るもの如く考へられる。依て次に最大剪斷應力面に就て考察してみる。

(iii) 据込と剪斷 圓柱を其の軸方向に壓縮した場合の實驗は鐵、銅、パラフィン及セメント等に就て研究されて居る。此の場合に於ては一般に第35圖に示す如く端面を底とする圓錐を生じ、此の圓錐を以て其の他の部分を變形し、最大剪斷應力面で剪斷を起すものである。而して此の最大剪斷應力面と中心軸とのなす角を ϕ とすれば ϕ は試料の直徑と高さとに依て變化するものであり、H. Meyer と F. Nehl¹⁾ は D_0/H_0 の種々異つた鐵の圓柱に就て壓縮試験を行ひ、荷重變形曲線に折點(Wendepunkt)を生じた時の ϕ を測定した。其の結果を第8表に示す。

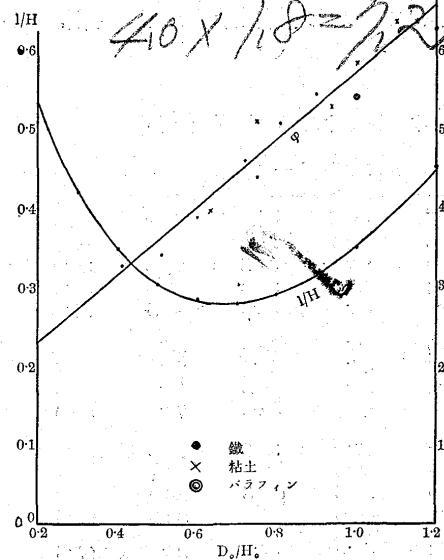
第35圖



第8表

D_0	H_0	D_0/H_0	ϕ
18 mm	15 mm	1.2	62° 40'
"	20	.9	54° 38'
"	25	.72	46° 10'
"	30	.60	38° 53'
"	35	.51	34° 14'
"	22	.82	51° 52'
"	44	.41	32° 40'
30	40	.75	43° 53'

第36圖



次に粘土塊の縦断面に就て明瞭に剪斷されて居る場合及 Nadai²⁾ がパラフィンに就て測定した結果を示せば第9表のやうになる。

第8表及第9表の圖示すれば第36圖 (ϕ) の如くなり、 ϕ は D_0/H_0 の 0.4~1.2 の範圍に於て D_0/H_0 と直

1) St. u. Ei. 1925. S. 1961~1972

2) A. Nadai: — Der bildsame Zustand der Werkstoffe

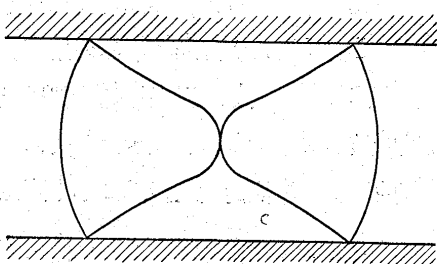
第 9 表

D_0/H_0	63	75	94	111	115	110
φ	40°	51°	52°8'	63°8'	63°7'	54°
材質	粘土	"	"	"	"	パラフィン

線的に比例する。

次に据込によつて最も變形される個所を考へるに、夫は中心軸に沿ふ兩圓錐の頂部間である。此の部分の長さを l とし、之と高さとの比 l/H が D_0/H_0 と如何なる關係にあるかを探ねてみる。此處に l なる長さは、圓錐の側面と中心線に沿うて縦斷した面との交り即ち最大剪斷線が直線であると假定したがために生じた數値である。實際には D_0/H_0 の小なる間は直線であらうとも D_0/H_0 が大となり或る限度を越えれば直線とはならず、第 37 圖に示す如く

第 37 圖



先づ中心部近傍で曲線となり、尙 D_0/H_0 が大となつて板のやうになればサイコロイドになると考へられて居る¹⁾。然しながら此處では簡単に直線であるとして考察を進めることにした、然るときは第 35 圖に於て

$$l/H = 1 - D_0/H_0 \cot \varphi$$

となり、各 D_0/H_0 に就て其の時の φ を第 36 圖 (φ) より求めれば l/H を計出することが出来る。其の結果を圖示すれば第 36 圖 (l/H) となる。即ち l/H 曲線は $D_0/H_0 = 0.7$ で極小を作り、且其の點は $\varphi = 45^\circ$ に對應して居ることが判る。

此處に l/H に極小を作る理由を簡単に述べる。圓柱を据込む場合に、若しも壓縮方向の内力のみがあるとすれば D/H の小なるもの程 l は大であり、 D/H の大となるに従つて減小し、 D/H の或る値に於て遂に零となり、尙 D/H を大にしても零であるべき筈である。然るに此處では l は零にならず或る極小値を有す。而も或る D_0/H_0 以上となれば却て l/H を増大して居るのである。此の原因は曩に述べた如く最大剪斷線を直線と看做したこと、並に D_0/H_0 の相違に基く横方向内力の大小に因るものである。即ち D_0/H_0 が大となれば横方向内力は増大し、最大剪斷線と壓縮方向とのなす角度を大にする。因て見掛上の長さ l は H の小となる割合に減小しない。従て l/H としては却て

増大し、 D_0/H_0 の或る値に於て極小を作つたものと看做される。而して極小を作る時の角度 φ は約 45° であり、横方向内力が皆無なるときの理論的最大剪斷應力面で剪斷されたことになるのである。

V. 總 括

高温に加熱された鋼材と略同様な性質を有する油粘土を用ひ、水壓鍛錬の場合に、金敷の幅及押込量が鋼塊内部の變形に如何なる影響を及ぼすかを、内外部の硬さ一様なるもの及一様ならざるものに就て研究し、次で据込鍛錬の場合に於ける据込量と内部の變形との關係を研究した。之等の實驗結果を總括すれば次のやうになる。

(i) 内外部の硬さ一様なる粘土塊に就て實驗した結果金敷の幅の小なるものは、表面附近を著しく變形して中心部を餘り變形しない。然るに金敷の幅が大となれば表面附近を殆んど變形することなく内部を大いに變形する。鋼塊の直徑を D 、金敷の幅を L 、押込量を h とし中心部に於ける變形量を Δd とすれば、之等の關係は

$$\Delta d = a \log L/D + b h/D + c$$

で表はされる。此處に a, b, c は實驗に依て求むべき定數で、本實驗に於て之を求めた。

(ii) 鍛錬前の加熱が不充分で、鋼塊の内部が外部に比較し硬いやうな場合に於ける内部の變形は、金敷の幅の大小によつて甚だしく影響される。而して金敷の幅の大なるに従ひ硬さの相違による變形の差異を僅小にし、良好なる結果を齎す。

(iii) 水壓鍛錬の場合に於て、内部の變形に最も著しい影響を及ぼす因子は金敷の幅である。

(iv) 故に荒地鍛錬(又は赤材鍛錬)の如く鋼塊の直徑未だ大なる時に、鋼塊の不良部分であるところの偏析部近傍を充分に鍛錬せんとするには、鋼塊直徑の約 40~50% の幅を有する金敷で鍛錬し、鍛錬が進み鋼塊の直徑が小となるに及べば、金敷の幅を小ならしめ鋼塊直徑の約 30~40% の幅を有するもので鍛錬すべきものと思はれる。

(v) 要するに内部の變形は内外部の硬さが相等しくとも、常に一樣に行はれるものではない。従て變形量の分布を考察し、場合々々によつて最も適當した幅の金敷を用ひ鍛錬すべきである。

(vi) 硬さ一様にして、直徑及高さの種々異なつた圓柱狀粘土塊を 10% 毎に 50% まで据込み、据込量と直徑

¹⁾ A. Nadai:— 前掲

及高さとの關係を求めた。直径を D 、高さを H 、据込量を q とすれば、之等の關係は

$$D/H = a(q/H)^2 + b$$

なる拋物線で表すことが出来る。此處に a 及 b は實驗によつて定まる定數であり、之を求めた。

(vii) $D/H < 0.7$ なるときは $D/H \doteq 0.8$ となるまで、据込に依る内部の變形量曲線に極大を作り $D/H > 0.7$ となるに及んで最早極大を作らない。

(viii) 中央層の中心部に於ける變形並に其の中心より表面に至る變形勾配は $D_0/H_0 \doteq 0.7$ なるときに据込量約 40% まで据込量に略比例する。 $D_0/H_0 < 0.7$ なるときは据込量の小なる間は小であるが $D_0/H_0 > 0.7$ となれば之と反對に据込量の小なる間大である。

(ix) $D_0/H_0 \doteq 0.7$ なるときの最大剪斷應力面と壓縮方向とのなす角は約 45° である。

(x) 要するに据込鍛錬の場合に於ける内部の變形は $D/H \doteq 0.7$ を境にして相違して居る。而して鋼塊内部に可及的一様な變形を起さしめるには $D_0/H_0 < 0.7$ のものを約 0.7 まで据込み、夫以上は据込まざる方可である。若

しも $D_0/H_0 > 0.7$ のものを据込むならば 30% 以上の据込量を與へる可きものと考へる。

本實驗に基いて得た結果が鋼塊鍛錬の場合と嚴密に一致するものとは言ひ得ない。然しながら今日まで鋼塊に就て調査した結果によれば、殆んど両者が同様な變形を起して居ることを知つた。故に本實驗結果が正確に鋼塊鍛錬の場合と一致しなくとも鋼塊鍛錬の機構を知る一指針となることを確信して居る。

尙實際問題として最も緊要なことは、割疵を融着し、結晶粒をレフアインするには、鋼塊内部に何程の變形を起さしめるべきかを知ることである。其の爲に Ni 鋼 8 匁鋼塊炭素鋼 3 匁鋼塊及 $Ni-Cr$ 鋼 10 匁鋼塊コアに就て目下實物實驗中である。

終りに臨み本研究の發表を許可せられたる株式會社日本製鋼所並に本研究の遂行に當り絶えず御懇篤なる御指導、御鞭撻を賜つた水谷叔彦博士並に室蘭工場長打越光保氏及改良課長黒川慶次郎氏に謹みて感謝の意を表すると共に、實驗を援助された加藤勘司君其の他實驗室諸氏に厚く謝意を表す。

酸性平爐鋼のサンド並に白點に就て

(日本鐵鋼協會第 15 回講演大會講演)

小林 佐三郎*

INVESTIGATIONS ON THE SILICATE INCLUSION AND FLAKES OF ACID-OPEN-HEARTH STEEL

Sasaburo Kobayashi.

SYNOPSIS:—

(A) Silicate inclusion.

1) The author investigated on the silicate inclusion of steel from melt to ingot by Dickenson method. 2) Silicate are diminished when the slag composition is higher acidic and the oxygen contents of molten steel is small. 3) Also, silicates are decreased by the use of $Si-Mn$ and $Fe-Ti$ as deoxidiser. 4) Addition of $Fe-Mn$ during the boiling period is effective for diminution of silicate. 5) Generally, silicates of ingot show maximum value at inside of the bottom and outside of the top. 6) Large Mn -silicate remains in ingot when the addition of Mn is too much

(B) Flakes.

1) Existence of flakes can be detected by deep etching with alcoholic solution of HNO_3 . 2) Segregations, cracks and low-silica-silicates of ingot give much effect on the formation of flakes. 3) Forged steels in which flakes appear, have partially martensitic structure caused by segregation of alloying elements. 4) Slow cooling after forging is most effective for prevention of flakes.

第 1. サンドに就て

I. 緒言 特殊鋼材に現出し易い砂疵(サンド)と白點は鋼材の二大缺陷として今後益々研究さるべき問題であ

* 日本製鋼所室蘭工場

るが著者が此の2問題を酸性平爐鋼に對して調査した二、三の結果を記述する。

サンドとは鋼中に含まれて居る Si , Al , Mn , Fe , Ca , Mg 等の酸化物が單獨又は結合して存在するものを指し此等が集積して鋼材に現出すれば肉眼的砂疵となり微細なる