

## 大物鍛鋼品の機械的性質に関する二、三の考察

## Consideration on the Mechanical Properties of Large-sized Forged Steel Products

武市彦四郎\*

## 内 容 梗 概

大物鍛鋼品の機械的性質におよぼす因子は多いが、そのうちからもつとも重要な役割を果たすとおもわれる鍛造比、偏析および熱処理の3つの因子をとりあげ、自家製品の実績と内外諸文献を参考として、若干の考察を行った。

鍛造比の影響については古くから発表されている小鋼片を用いた調査結果とほとんど同様の結果を示した。すなわち抗張力、降伏点は鍛造比によつて変化せず、軸方向靱性値は2~4で飽和し、以後あまり変化せず、直角方向のそれは4以上ではかえつて低下する。

偏析の影響はもちろんその強弱の程度により大差があるが、一般にクラックをともしない場合はあまり悪影響はなく、適切な熱処理を施すことにより機械的性質は向上し、偏析部の靱性値の改善もある程度可能である。しかしクラックの共存する場合は機械的性質の低下が大であり、使用の可否については十分な検討を要する。

熱処理の影響については上述のように偏析部の材質改善に効果があり、常に適切な熱処理を施すことが大切である。一般の炭素鋼シャフト材にあつては一段焼鈍法よりも焼準-焼戻し法を採用することがのぞましい。他方特殊鋼品はそれぞれの成分に応じた焼入-焼戻し法を採用すべきことはもちろんである。

## 〔I〕 緒 言

鋼塊にはその熔解、造塊作業時の諸条件から考えて各種偏析、微小空隙などの存在が不可避であり、このため鋼塊内部の性状は不均一であり、しかして鋼塊重量が大なるほど不均一性ははなはだしい。

しかしこの不均一性は加工過程において加熱、鍛造、熱処理などによつて改善され、ある程度の均一化は期待されるがそれには限度があり、大物鍛鋼品の場合ある程度不均一性はまぬがれない。

したがつて鍛鋼品の機械的性質は原鋼塊の性状いかんによりほぼ決定づけられるとも考えられるが、一方均一化におよぼす加工効果もまた重要な役割をはたすものである。

本報告は大物鍛鋼品の機械的性質におよぼす各種因子について究明することがその目的であるが、特殊な場合をのぞいて単に材力試験によつてえられた結果のみから各種因子の影響を明確に把握することはきわめて困難である。すなわち大物品になるほど同種の製品の場合でもえられる機械的性質は千差万別であり、ますます困難さが増すが、できるだけ数多くのデータを集録整理することによつてその傾向を掴むことは可能であろうと考える。

一般に鍛鋼品の機械的性質におよぼす鍛造比の影響についてはもつとも多く論ぜられており、我国におけるこの方面の論文<sup>(1)~(6)</sup>も多い。しかしこれらの諸論文はすべて3t以下の小型鋼塊より鍛造した小鋼片について論ぜられたものであつて、単に鍛造比の影響のみについて

知るには十分ではあるが、大物鍛鋼品の場合にはその機械的性質を左右する因子はまことに多いのでしかく簡単には論ぜられない。

従来大鋼塊より鍛造したものについて系統的に調査した報告は少なく、我国においてはわずかに中村氏<sup>(7)</sup>が17および18t鋼塊を鍛造比1.5~10に鍛造したときの内外の機械的性質について報告されたものがある程度であり、外国でもこの種の発表は少なく筆者の知る限りではW. Coupette<sup>(8)</sup>が12および100t鋼塊を鍛造比2~10に鍛造し、鍛造比と偏析の影響を調査したもの、およびE. Maurer<sup>(9)</sup>などが炭素鋼と特殊鋼4種の45および100t鋼塊を鍛造比2~5に鍛造し、鍛造比、熱処理法、偏析などの影響について調査したものがあるにすぎない。

これら諸報告の結果からは必ずしも一致した結論を導きだすことはできないが、鍛鋼品の機械的性質の変化についてあらましの傾向を掴むことができる。

筆者はおもに上記諸論文に述べられているデータを参考とし、また手許にある自家製品についてのデータを整理し、もつて大物鍛鋼品の機械的性質におよぼす諸因子の影響についてある程度の結論をえようと試みた。

しかし結果としてえられた機械的性質には一般に上述したような諸因子が重なり合つて影響してくるので、それらからある一つの因子のみの影響を知ることは困難な場合が多い。このため利用したデータは必ず製造条件が判然としたもので結果の検討が十分行われうるものみに限定し、導きだされる結論に大きな誤ちのないように心掛けたしだいである。

本報告では機械的性質におよぼす因子は大別して鍛造比と鍛造法(特に据込鍛造の効果)、偏析(ゴースト、介

\* 日立製作所日立工場水戸分工場



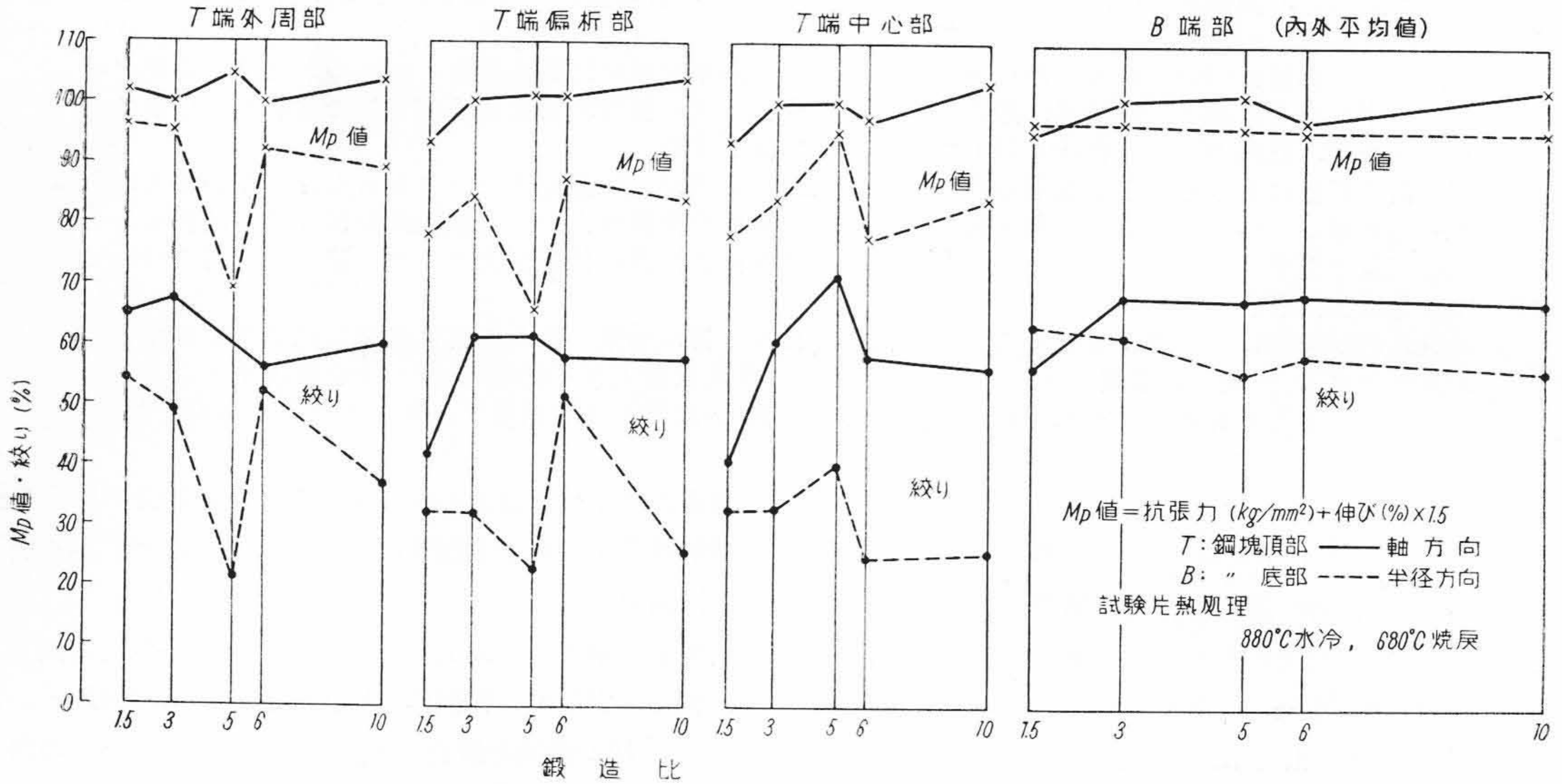
在物，未鍛着材料欠陥などの影響) および熱処理 (特に質量効果) をとりあげ，それぞれ具体的な例をあげて考察した。

本報告が少しでも製造者にとっては鍛鋼品の機械的性質の改善に役立つことができ，また設計者，使用者などに対しては鍛鋼品に関する認識を深め，適切な使用という面で参考になるところがあれば筆者の幸いである。

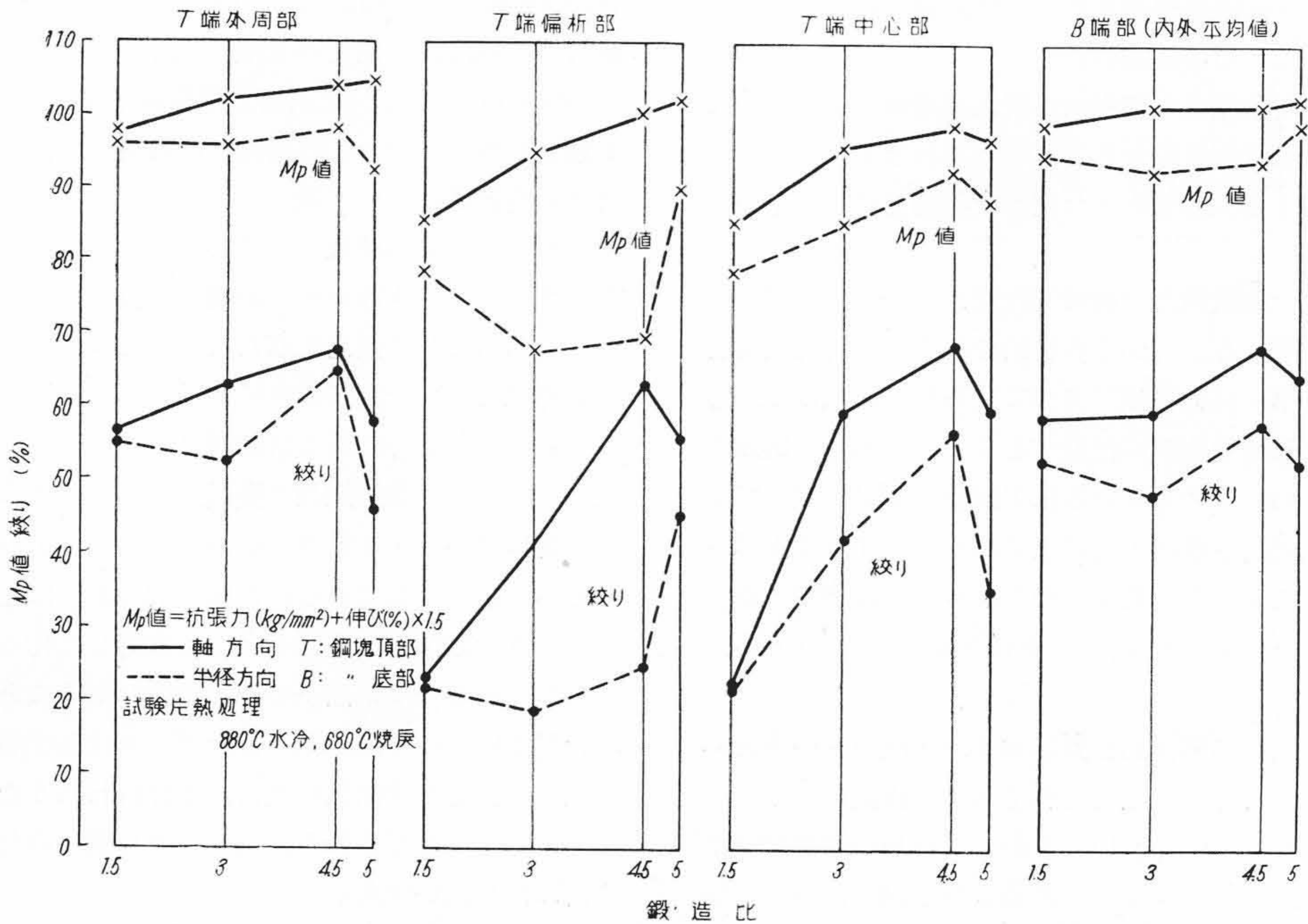
〔II〕 機械的性質におよぼす鍛造比の影響

上述したように機械的性質と鍛造比の関係はしばしば論ぜられることで，各種鍛鋼品規格にも必ず一定の規定があつて，通常鍛造比 3~4 以上に鍛造すべきことが明示されている。

なるほどある鍛鋼品を製作しようとする場合，まず使



第1図 鍛造比と機械的性質の関係 (18 t 鋼塊) (中村道方)  
Fig. 1. Relation between Forging Ratio and Mechanical Properties (18 t Ingot) (Nakamura)



第2図 鍛造比と機械的性質の関係 (17 t 鋼塊) (中村道方)  
Fig. 2. Relation between Forging Ratio and Mechanical Properties (17 t Ingot) (Nakamura)



用鋼塊の大きさ、鍛造工程を立案し、鍛造比がいくらになるかを算出して、その製品に適した加工効果があたえられるか否かを検討するのが通常であるが、果して鍛造比を規定することが鍛鋼品の機械的性質を保証するためにどれだけの意味があるかを再検討してみることにした。説明の順序としてまず前記諸文献の概要を再録し参考とする。

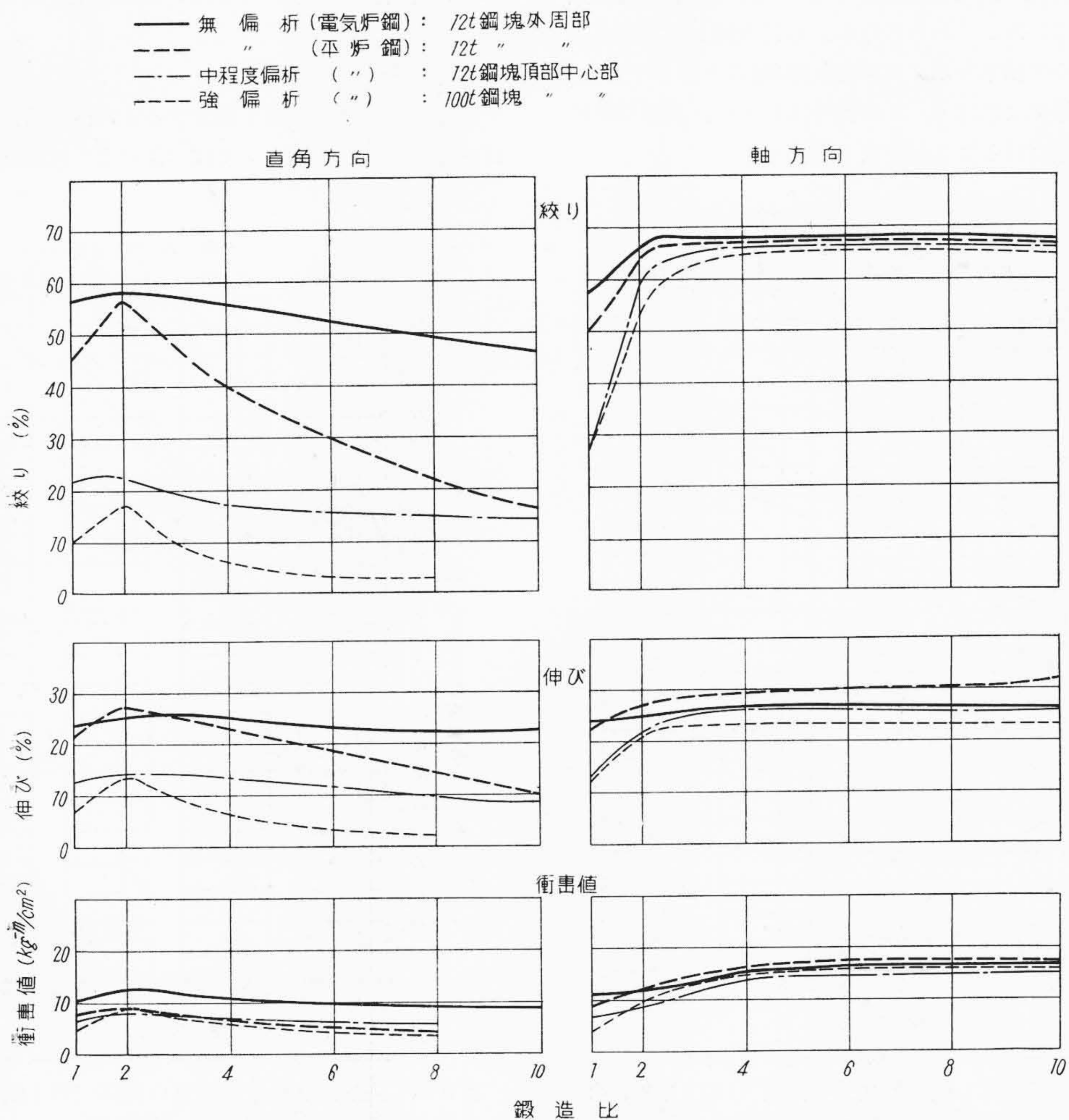
(1) 中村氏の報告<sup>(7)</sup>

C 0.25% 内外の炭素鋼の 17 および 18 t 鋼塊を用い(両鋼塊とも直径に比し高さの低いいわゆるズングリ型の形状のもの、したがって同一重量のほかの鋼塊に比し内部偏析は大きいと考えられる)、前者は鍛造比を 1.5, 3, 5, 6 および 10 に、後者は同じく 1.5, 3, 4.5 および 5 に鍛造したものについて、鋼塊の頂部および底部における内外の機械的性質すなわち  $M_p$  値 (= 抗張力 (kg/mm<sup>2</sup>) + 伸

び (%) × 1.5) ならびに絞りが鍛造比によつてどう変化するかをしらべ、第 1 図、第 2 図に示すような結果をえた。

これからわかるようにいずれも鍛造比との間に顕著な関係は見出せなかつたが、大体の傾向として鍛造比 3 までは改善されるがそれ以上では飽和すると考えられる。特に偏析度の大である頂部側においては韌性値 (以下韌性値とは伸び、絞りおよび衝撃値を意味するものである) の変動がはなはだしく、鍛造比の影響はきわめて少い。

このように大物鍛鋼品の機械的性質は鋼塊の先天性が大きく影響し、特に炭素鋼にあつては C および P の偏析は大きなフェライトの分離を生じ、ために機械的性質の方向性を大にし、直角方向の韌性値の低下を生ぜしめる。偏析の悪影響は熱処理時に変態点を急冷することによりある程度の改善はできるが、鍛造加工効果の影響はきわめて少いと結論づけている。



第 3 図 偏析度のことなる鋼の機械的性質におよぼす鍛造比の影響 (Coupette)  
Fig. 3. Effect of Forging Ratio on Mechanical Properties of Various Segregated Steel (Coupette)



(2) W. Coupette の報告<sup>(8)</sup>

12 および100 t 鋼塊から偏析度のことなる試料を採取し、鍛造比2~10に鍛造したときの機械的性質の変化を調査した結果は第3図のとおりで、これからつぎの結論をえている。

軸方向の伸び、絞り、は鍛造比2で、また衝撃値は鍛造比4ではほぼ飽和値に達する。一方直角方向のそれらは偏析の程度により大差あり、偏析度が大なるほど鍛造比の増加に反比例して靱性値の低下は大となる。すなわち偏析の大なるものの場合、過度の鍛造加工はかえって総体的な材質を劣化せしめることとなる。

(3) E. Maurer 等の報告<sup>(9)</sup>

供試材として炭素鋼, Mn 鋼, Ni 鋼およびNi-Cr-Mo鋼の45および100 t 鋼塊を鍛造比2, 3および5に鍛造したものを、低温焼鈍, 焼準一焼戻しおよび油中焼入一焼戻しの3種の熱処理を施した場合の内外の機械的性質をしらべている。これらのなかから代表例として油中焼入したものの結果を示すと第4図, 第5図のとおりである。

この結果によれば1, 2の例外はあるが、大体つぎのように結論づけることができるであろう。

軸方向の靱性値はおおむね鍛造比3で飽和するが、直角方向のそれは鍛造比2以上ではかえって低下する。しかし焼入性のよい Ni-Cr-Mo 鋼では熱処理効果のため鍛造比の影響が認めがたくなり、鍛造比5までの結果では方向性は少なくなっている。

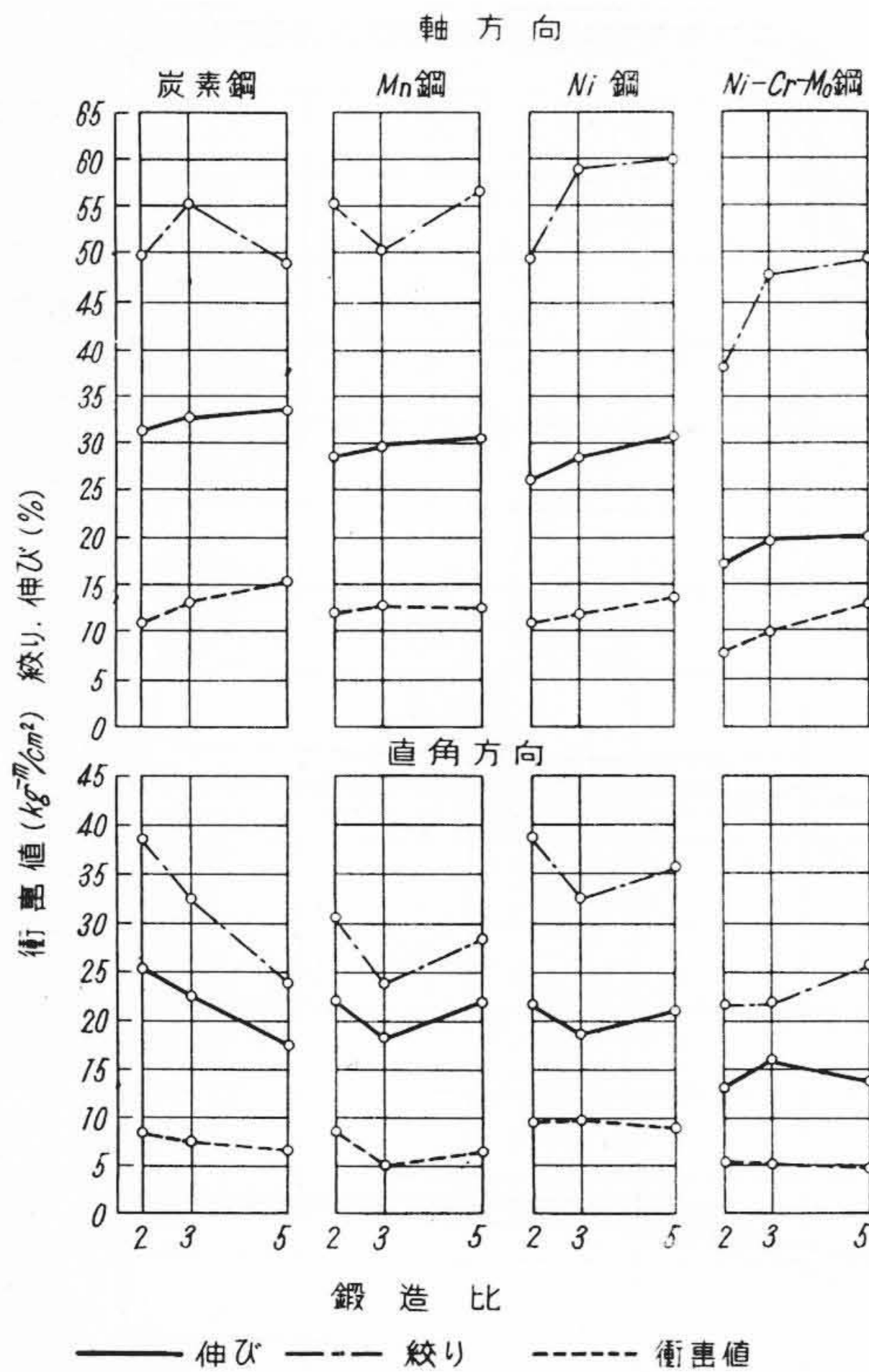
(4) 泉氏の報告<sup>(10)</sup>

SF 50, 35 t 鋼塊の頂部側中心部より試料を採取し、鍛造比2~16に鍛造し、偏析度の大きい場合の鍛造比と機械的性質の関係をしらべ第6図に示すような結果をえた。

これによると軸方向の靱性値は鍛造比2~4で飽和値に達し、直角方向のそれは鍛造比4以上になるとかえって低下する。これは前述の W. Coupette の結果ともほぼ一致することで鍛造比4内外のときが機械的性質の方向性がもつとも少なく、均一な値がえられ、過度の鍛造加工は方向性を増すのでまづい結果を生ずることをあらわしている。

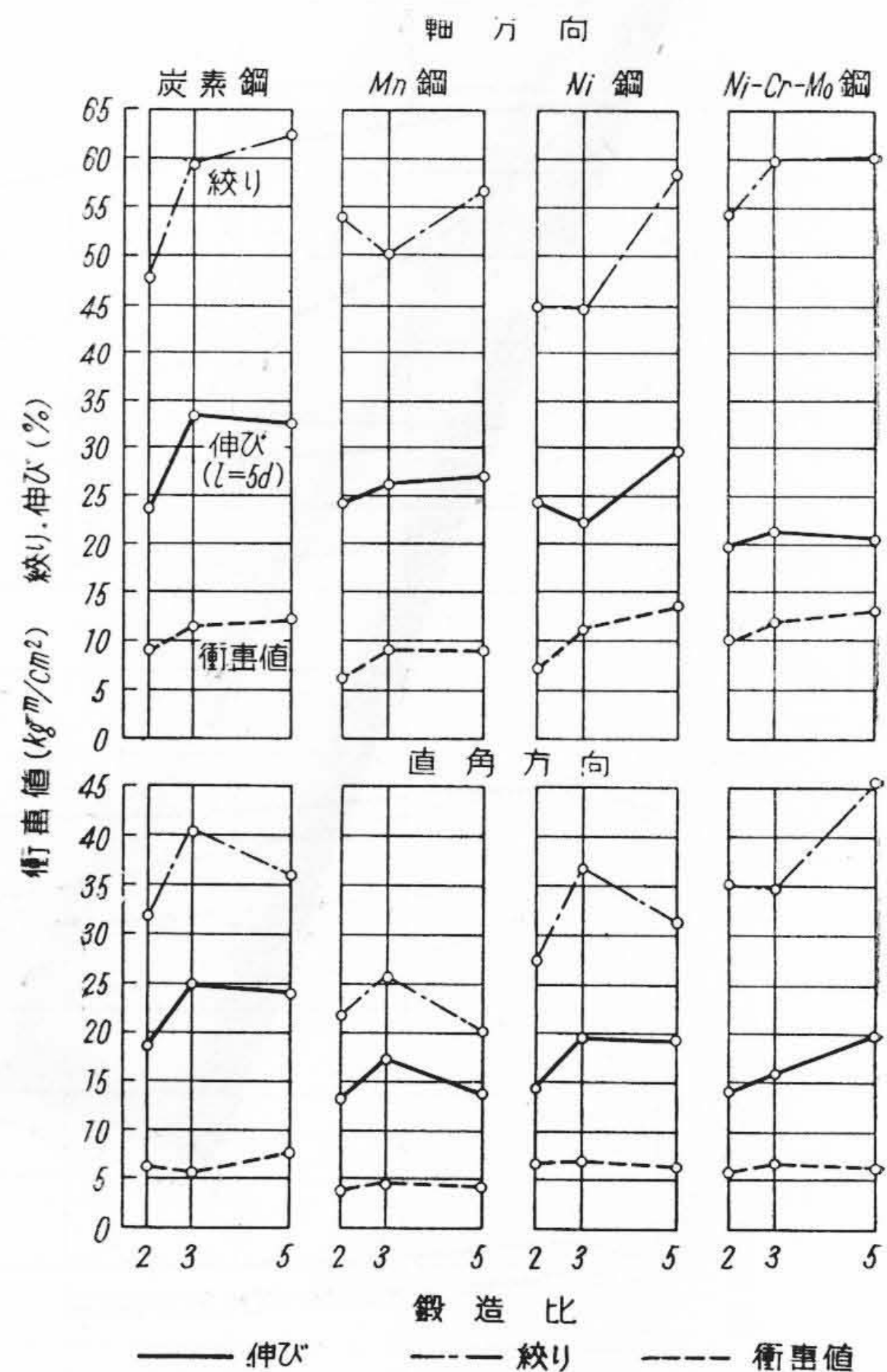
(5) 考 察

以上諸研究者の結果を総合すると、機械的性質におよぼす鍛造比の影響についてはつぎのように結論づけるこ



第4図 鍛造比と機械的性質の関係 (100 t 鋼塊, 油冷したもの平均値) (E. Maurer)

Fig. 4. Relation between Forging Ratio and Mechanical Properties (100 t Ingot, Mean Values of Oil Quenched Test Pieces) (E. Maurer)



第5図 鍛造比と機械的性質の関係 (45 t 鋼塊, 油冷したもの平均値) (E. Maurer)

Fig. 5. Relation between Forging Ratio and Mechanical Properties (45 t Ingot, Mean Values of Oil Quenched Test Pieces) (E. Maurer)



とができる。

(1) 抗張力、降伏点は鍛造比によつて変化しない。

このことは上記諸論文の概要のなかで触れなかつたが、内外いずれの研究とも同様の結果をえているので説明を省略した。

(2) 軸方向の靱性値は鍛造比2~4で飽和値に達する。

(3) 直角方向の靱性値は鍛造比2の結果を求めて低下する。特に絞りの低下は顕著である。したがつて鍛造比4以上の鍛造加工は直角方向の靱性値の高きほどがのぞまれるものの場合には極力避けなければならない。

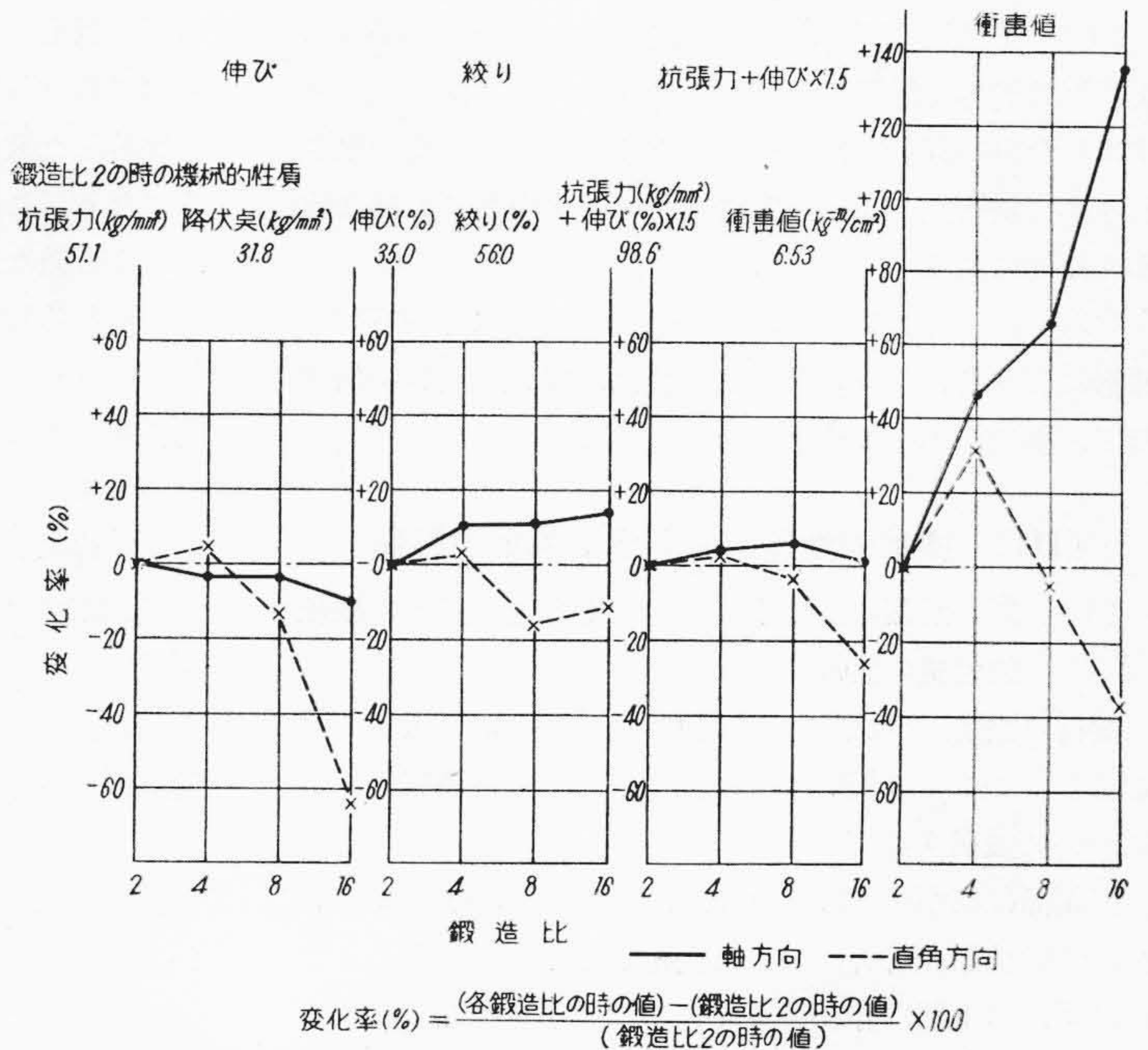
このように靱性値改善は鍛造比に関係のあることであるが、両者の間には直線的な比例関係はなく、

軸方向の値は大体鍛造比4以上では不変であると考えられる。これは現行慣例による鍛造比が

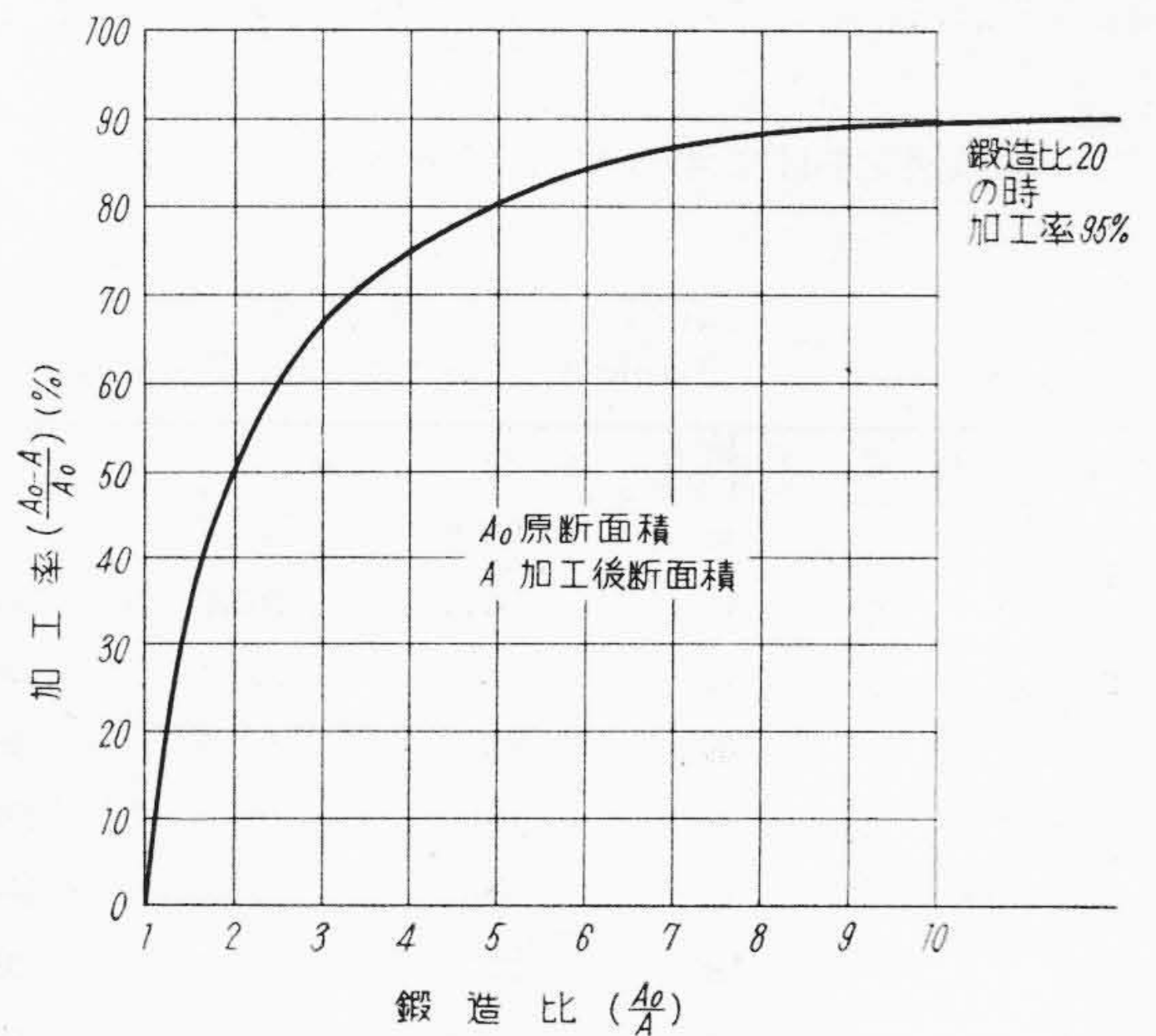
鍛造加工効果を適確に表わしていないためであり、そこで筆者は鍛伸作業の加工効果を示す尺度として、 $\frac{A_0}{A}$  (ここに  $A_0$  は原断面積、 $A$  は加工後の断面積を示す) で示される鍛造比のかわりに  $\frac{A_0 - A}{A_0}$  (かりに加工率と名付ける) を用いることを試みてみた。第7図は鍛造比と加工率との関係を示す曲線であるが、これは前述の軸方向靱性値と鍛造比との関係を示す曲線に相似した傾向を示しており、このことは加工率と靱性値がほぼ直線的な関係を有していることを物語るものである。したがつて加工効果をあらわすためには鍛造比よりも加工率を用いた方がより妥当であると考えられるが、混同を避けるため本報告では現行慣例を尊重して鍛造比を用いることとした。

とにかく上記の結論によれば、各種鍛鋼品規格のうちに鍛造比3~4以上と規定されていることは理論的に根拠のあることにはなるが、製品の種類によっては特に直角方向の靱性値の高いことを要求されるものも多く、このような場合はむしろ過度の加工を避けるために鍛造比の制限を設けた方がよいことにもなる。

さて直角方向の靱性値の特に高いことを要求される製品たとえばタービンロータシャフト、クランクシャフト、型用鋼などのようなものにあつては機械的性質の方向性を少なくするため、使用鋼塊の大きさを極力小さくし、据込鍛造を附加することが推奨される。



第6図 鍛造比と機械的性質との関係 (SF 50, 35 t 鋼塊) (泉 八郎)  
 Fig. 6. Relation between Forging Ratio and Mechanical Properties (SF 50, 35 t Ingot) (Izumi)



第7図 鍛造比と加工率との関係  
 Fig. 7. Relation between Forging Ratio and Deformed Percentage

据込鍛造の効果について発表された論文はほとんどなく、わづかに一例としてつぎに述べる河合氏らの発表<sup>(11)</sup>を知るのみである。

河合氏らは 20 t 電気炉で熔製した 200 および 400 kg 鋼塊を試料とし、据込比2までの据込効果について調査し、つぎのように述べている。



(1) 据込比 1.5, 2 の据込鍛造のみを行つた場合および据込鍛伸を併用した場合の機械的性質は据込比の増すにしたがい直角方向の伸び, 絞りが改善され均一化されるが, 据込比 1.5 と 2 ではその差異少なく, ほぼ飽和の傾向にある。

(2) 据込比を 2 とし, 据込鍛伸を 2 ~ 3 回繰返し, 原形に復させたときの機械的性質は, 繰返し回数を増すほど, 靱性値がやゝ低下する。

〔III〕 機械的性質におよぼす偏析の影響

(1) 同一断面におけるゴースト部と健全部との機械的性質の比較

偏析の機構, 性状などの詳細については別の機会に譲るとしてここでは偏析特に輪状ゴースト部の機械的性質について説明する。

鍛鋼品は切削中しばしば表面にゴースト線があらわれ, 時に使用の可否について問題となることがある。これはゴースト部に存在する介在物や微小空隙などにより機械的性質が健全部に比べて劣下しており, これが使用中の破壊の原因になるかも知れないとの懸念に基づくものであるが, ゴースト部の機械的性質は偏析の程度により差があるので, その都度十分な検討を加えた上で判定しなければ, いたずらに廃却品を多くすることとなる。

ここに数例をあげてゴースト部の機械的性質について

述べ, 判定の資料とする。詳細なデータは省略し, 同一断面におけるゴースト部と健全部との材力値を%をもつて比較した数値を取りまとめた結果を示すと第1表のようになる。これによれば軸方向, 直角方向の両者の間にほとんど差なく, わかかにゴースト部の靱性値の低下が認められる程度であり, 40t 鋼塊までのものには単純なるゴーストが抗張, 衝撃試験によつてえられた機械的性質におよぼす影響ははなはだ軽微であるといふことができる。

また繰返し応力に対するゴーストの影響を調べるため小野式回転曲げ疲労試験機による疲労限を求めた結果は裏川氏<sup>(13)</sup>によれば軸および直角方向ともゴースト部と健全部には差はなく, 吉田氏<sup>(14)</sup>もゴースト部と健全部の比は97%を示し両者の差のないことを報告している。このほか Ni 系特殊鋼について調査した渡辺氏<sup>(15)</sup>によればゴースト部/健全部の比は 88~95% であると述べている。

しかし以上の諸報告では試験片の採取法, 寸法などに幾分不合理な点が考えられ, ゴースト部の性質を表わしているとは解しがたい。また従来に改善されたゴースト部の試験方法としておきよ<sup>(16)</sup>と述べる宇留野式繰返し屈曲試験機によるものが採用される。これに用いられる試験片は厚さ 2 mm の小薄片なるため調査しようとするゴースト部から十分果敢に偏析性状を有するものが採取できる利点があり通常の試験方法にくらべてより

第 1 表 大物鍛鋼品の輪状ゴースト部の機械的性質  
Table 1. Mechanical Properties of Ghost Zone of Large Forgings

No.	究 研 者	試験片採取方向	抗 張 力	降 伏 点	伸 び	絞 り	曲 げ 強 度	供 試 材
1	(12) 深井	軸	104.0	103.3	91.3	89.7	82.6	SF 50, 38 t 鋼塊 推進軸 鍛造比 6.6, 試料径 385 mm
		軸	97.0	102.7	102.0	103.0	97.3	
2	(13) 裏川, 小出	軸	99.8	102.0	90.8	82.9	82.6	SF 50, 40 t 鋼塊 クランクアーム, 鍛造比 4.3~7.6
		軸	102.7	101.0	98.5	98.8	95.0	
3	(14) 吉田, 竹中	軸	100.0	104.0	107.8	106.1	85.0	SF 45, 20 t 鋼塊, クランクシャフト 鍛造比 16, 試料径 340 mm
		軸	99.4	98.5	104.8	116.5	71.8	
		軸	101.0	95.5	98.5	101.8	87.4	
		軸	100.6	101.0	99.1	99.7	89.3	
4	(12) 深井	直角(切線)	105.0	108.5	99.0	83.4	82.6	No.1 に同じ
		直角(切線)	102.8	102.8	84.5	89.2	108.8	
5	(13) 裏川, 小出	直角(切線)	99.7	99.6	79.5	83.0	87.8	No.2 に同じ
6	(14) 吉田, 竹中	直角(切線)	100.0	101.6	105.0	107.5	116.0	No. 3 に同じ
		直角(切線)	97.7	100.0	108.3	116.0	105.0	
		直角(切線)	98.0	98.0	106.8	106.0	73.5	
		直角(切線)	100.5	98.2	91.7	108.2	79.5	
平均		直角(切線)	100.6	101.2	96.4	99.0	93.3	

(注) 表中の数値は  $\frac{\text{ゴースト部の機械的性質}}{\text{健全部の機械的性質}} \times 100 (\%)$  を示す。



よくゴースト部の性状を示しうると考えられる。試験結果は繰返し屈曲により切断するまでの繰返し回数をもつてあらわすもので、宇留野氏<sup>(16)</sup>が求めた結果の一例を示すと、Ni-Cr 鋼シャフト材のゴースト部は健全部に比し 46~70% となっており、前述の小野式回転曲げ疲労試験の結果よりも低い値を示している。また小薄片による試験ではゴースト部の繰返し応力に耐える程度は健全部の約1/2~2/3となつている。

しかし上記の値はいずれもゴースト部にクラックをともなわなないものの場合であり、機械的性質の劣下は軽微であるが、大物鍛鋼品の場合ややもするとクラックをともなつたゴースト欠陥が現出することがある。このような欠陥は表面にあらわれたときはもちろん切削中に切粉が切れるので容易に発見できるし、また内在するものは超音波探傷によつて発見することができる。ところでクラックをともなうゴースト部の機械的性質はもちろんクラックの程度（特に大きさ、方向など）により大差があるので普遍的な数値を求めることはできないが、一例として大内田氏<sup>(15)</sup>がゴーストクラックの生じたある種の炭素鋼鍛鋼品の各部より試料を採取して試験片に含まれるクラックの大きさ、方向を種々かえた場合の疲労限を求めた結果をみると、健全部に比べて 94~56% となつている。これを前述のクラックをともなわなないゴースト部の数値と比較するといちじるしい差があり、最悪の場合は1/2位までになることがわかる。

(2) 鋼塊の大きさと機械的性質

製造条件が同一であるとすれば鋼塊が大なるほど偏析が大となるのが当然で、したがつて大鋼塊を使用した鍛鋼品ほど内部の靱性値が低いことが予想される。

(i) 特殊鋼 (Ni-Mo-V 鋼) ロータシャフトの例

20および35 t 鋼塊より鍛造した Ni-Mo-V 鋼製ロータシャフト（直径はいずれも約 900mm）のディスク部内外の機械的性質を調査し、20 t 鋼塊を使用したものの値を100としたときの35 t 鋼塊使用のものの値を比較してみると第2表のようになり、両者の抗張力をほぼ同一としたときの靱性値は後者の方が低い。

しかし両者の製造条件に差があるので、上表の値が偏析の差のみによるとは断言できないことはもちろんで、ほかに鍛造効果の大小についても考慮を払わねばならないが、これは量的に把握することは不可能であり内容を複雑化するのみであるから、こゝでは一応偏析の影響による差であるとしたが、この推論にあまり間違いはないと考える。

(ii) O. Krifka の報告<sup>(17)</sup>

C 0.30, Mn 0.70, Cr 0.75, Mo 0.27, Ni 2.00% の 18 および34 t 鋼塊からいずれも 800mm 径に鍛造したものを

第2表 鋼塊の大きさと機械的性質の関係  
Table 2. Relation between Ingot Size and Mechanical Properties

材力諸元	$\frac{35\text{ tの値}}{20\text{ tの値}} \times 100$ (%)	熱 処 理
抗 張 力	100	850°C 空 冷 焼 入
降 伏 点	97~98	
伸 び	88~100	
絞 り	72~100	670°C 炉 中 冷 却
衝 撃 値	75~80	

第3表 鋼塊の大きさと機械的性質（内外靱性値）の関係

Table 3. Relation between Ingot Size and Mechanical Properties (Toughness of Inner and Outer Zone)

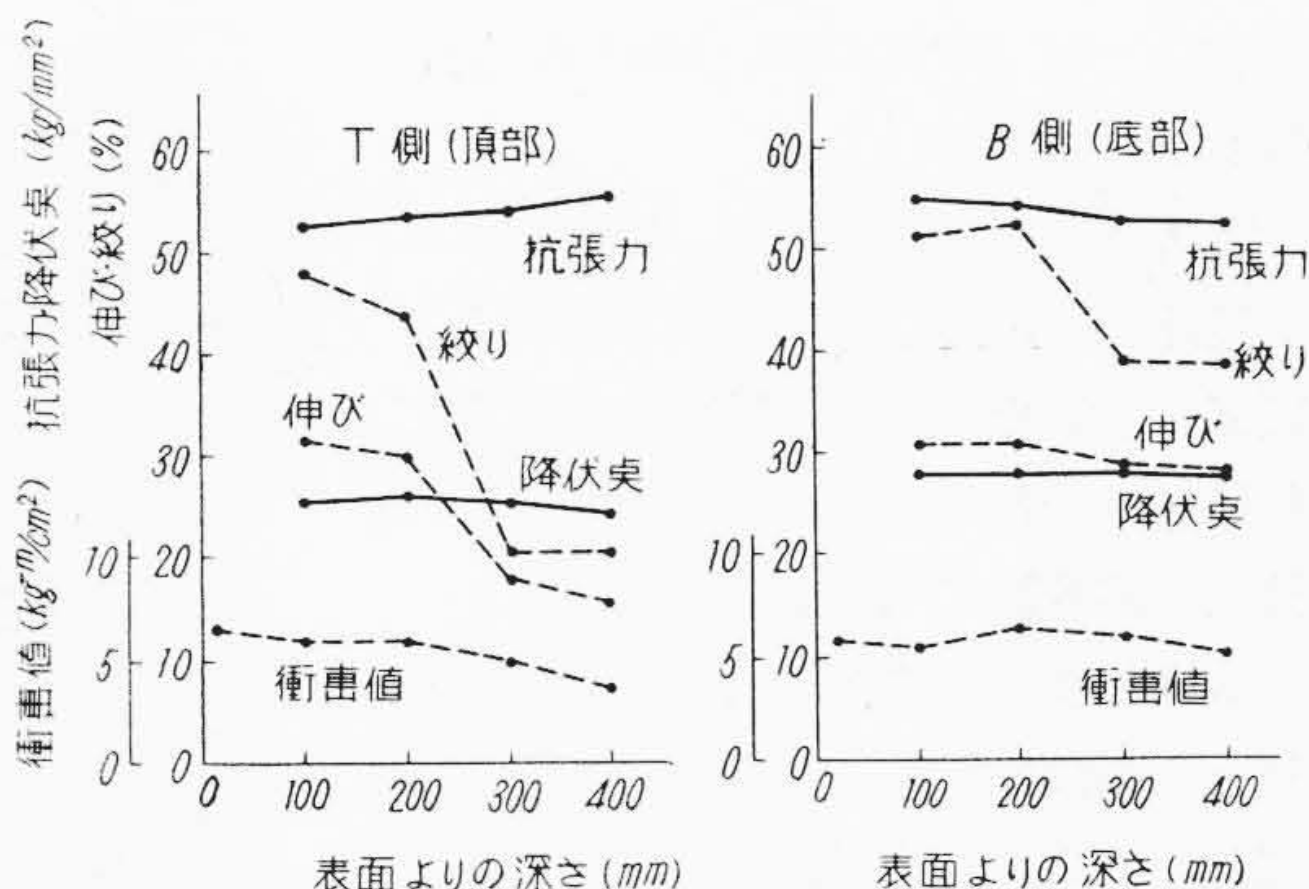
	試料位置	$\frac{34\text{ tの値}}{18\text{ tの値}} \times 100$ (%)	熱 処 理
伸 び	外 周	87	900°B 2重焼準
	中 心	78	
絞 り	外 周	87	680°B 焼 戻
	中 心	63	

第4表 鋼塊の大きさと機械的性質（靱性値の内外差）の関係

Table 4. Relation between Ingot Size and Mechanical Properties (Difference of Toughness Values at Inner and Outer Zone)

	18 t 鋼 塊	34 t 鋼 塊
伸 び	69.6	61.5
絞 り	59.3	42.3

(注) 表中の数値は  $\frac{\text{中心部の値}}{\text{外周部の値}} \times 100$  (%) を示す。

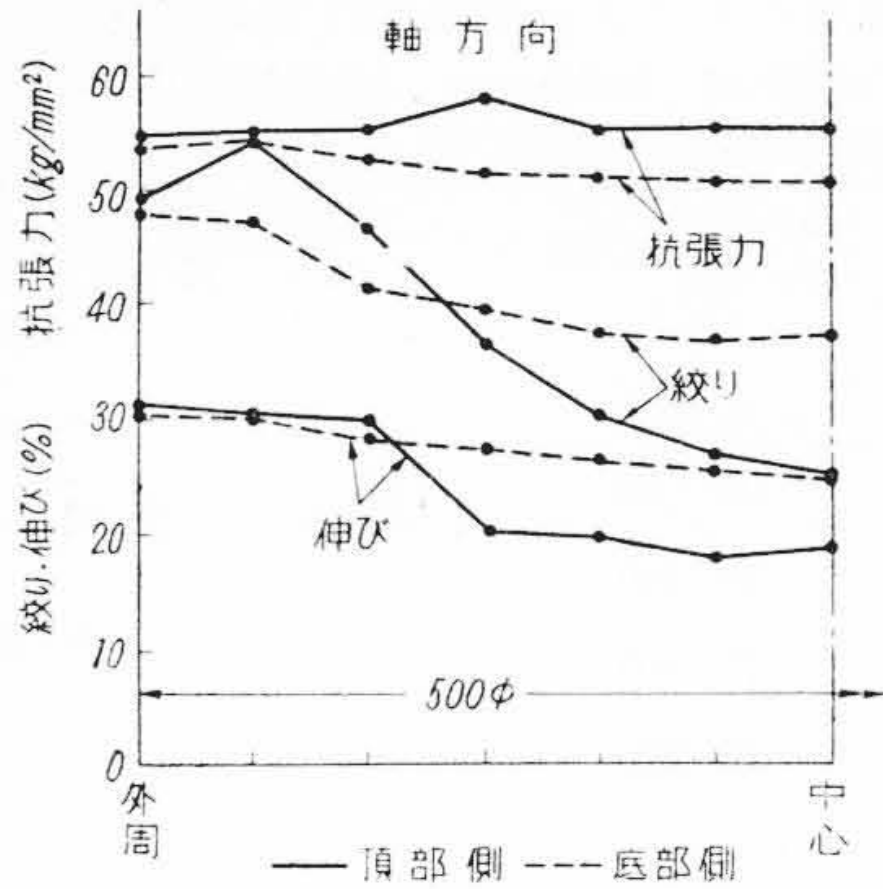


第8図 同一鋼塊の T, B 両端部における内部機械的性質の比較

Fig. 8. Comparison of Mechanical Properties in Top and Bottom Parts of the Same Ingot

試料とし、半径方向内外の機械的性質を求めた結果を参考とし、両者の抗張力がほぼひとしいときの靱性値を比





第9図 同一鋼塊のT, B両端部における内外の機械的性質の比較  
Fig. 9. Comparison of Mechanical Properties in Top and Bottom Parts of the Same Ingot

較すると第3表のようになり, 18t鋼塊の方が良好である。

またそれぞれの内外差について求めると第4表のようになり, 18t鋼塊の方が内外差が少いことがわかる。

(3) 同一鋼塊の頂部および底部の機械的性質

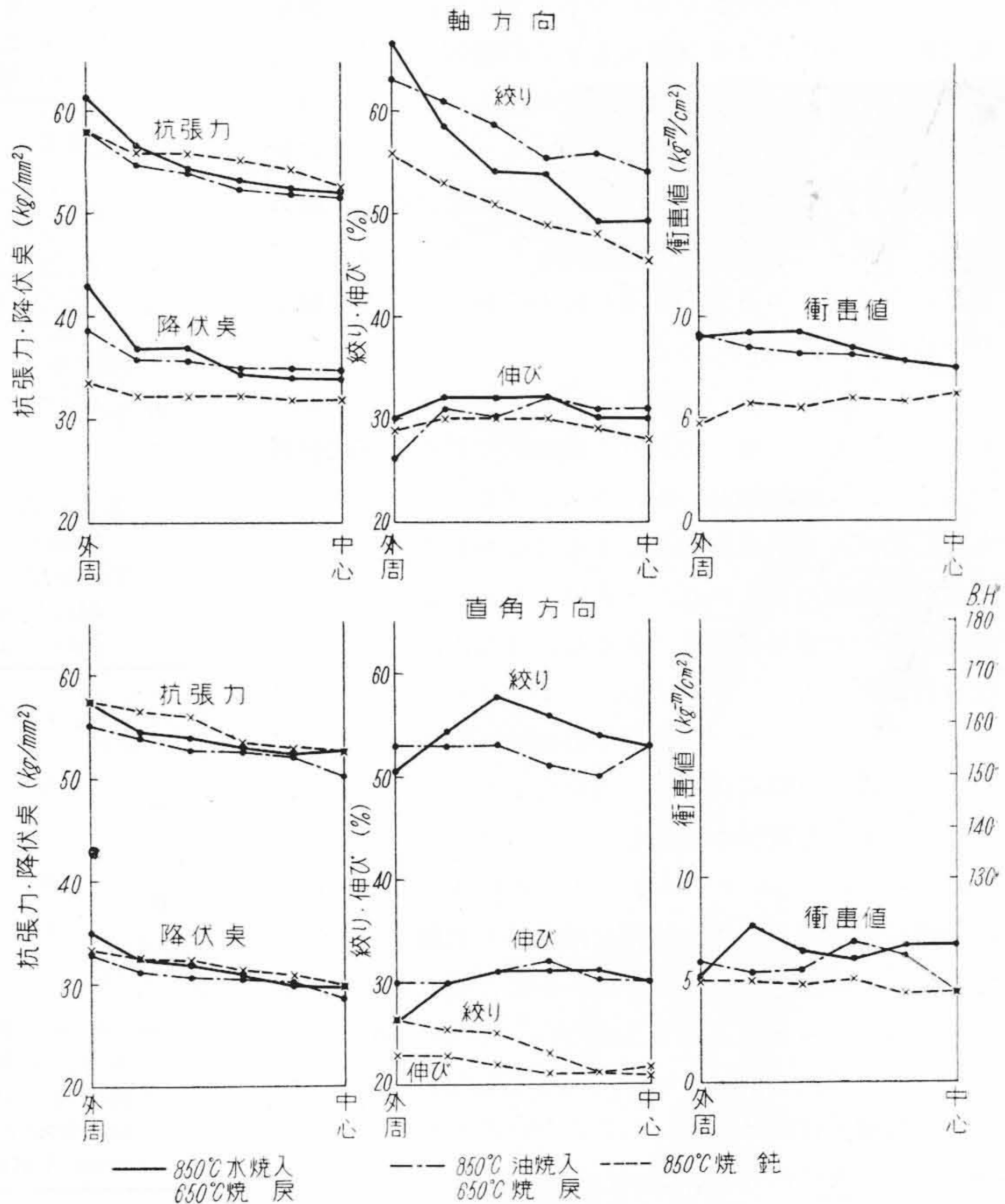
鋼塊内部の偏析は凝固機構より考えて当然頂部側になるにしたがつて強くなり, そのため両端部の機械的性質を比較すると前者の方が劣ることは容易に予想されるところである。

つぎに2つの例をあげて頂部側偏析の影響を示す。

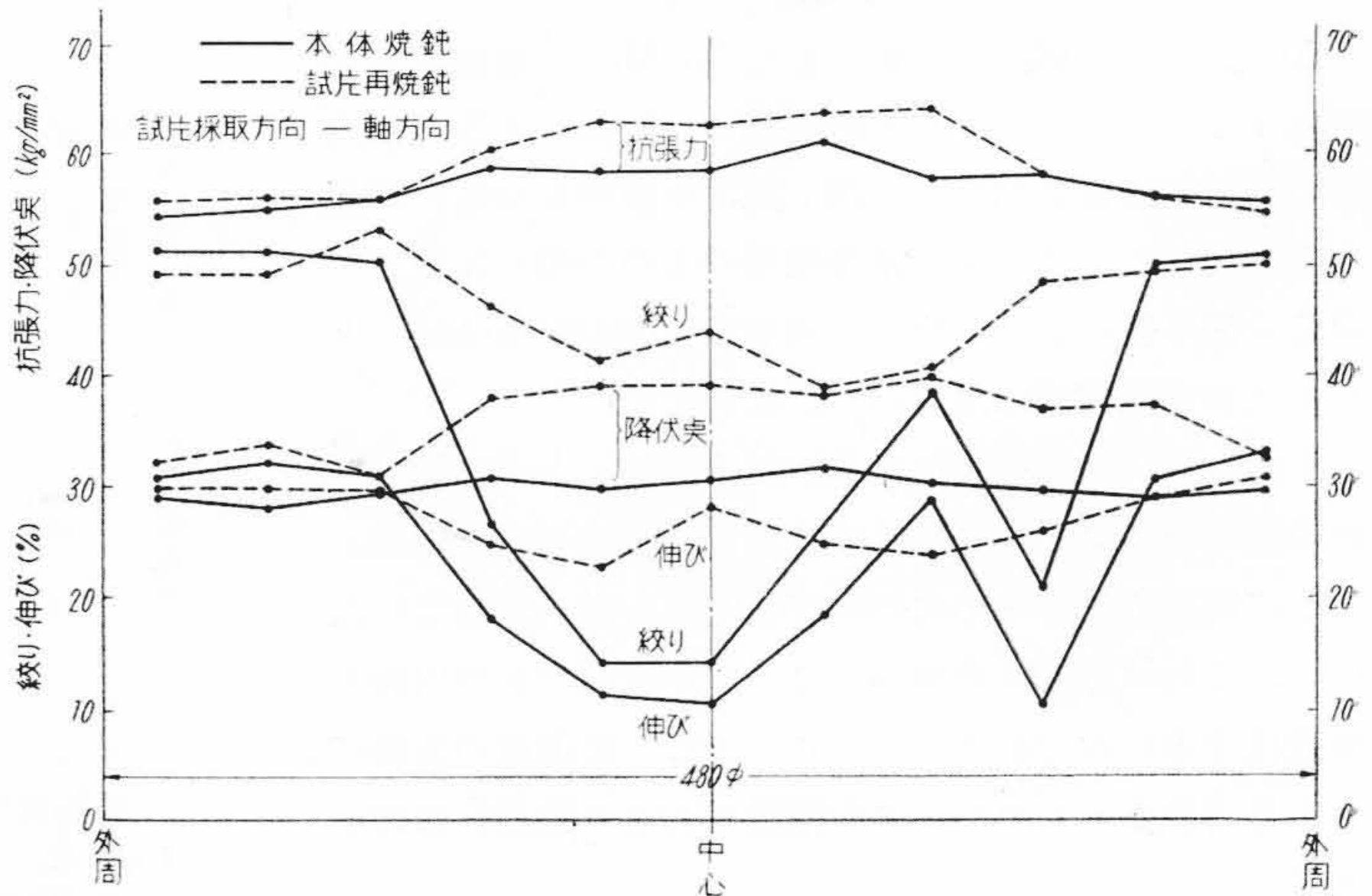
(i) SF 55 (C 0.34, Mn 0.63%), 61t鋼塊の例

鍛造比 1.5 (1.6) — ( ) 内数字は据込比—に鍛造したものの頂部および底部より切線方向に試験片を採取して(試験片採取部径 1,600mm) しらべた結果を第8図に示す。

試験片採取部の鍛造加工は鍛伸と据込とがほぼ同じ程度であり, したがって加工により方向性を増したとは考えられないので, 中心部附近の靱性値の低下は鋼塊内部の偏析によるものであると考えることができる。中心部における頂部側の伸びは底部側の約 57%, 頂部側の絞りは底部側の約 55% であり, 相当低い値を示している。



第10図 炭素鋼の機械的性質改善におよぼす各種熱処理法の効果 (泉八郎)  
Fig. 10. Effect of Heat-Treatment on Improvement of Mechanical Properties of Carbon Steel (Izumi)



第11図 機械的性質の改善におよぼす再焼鈍の影響 (泉八郎)  
Fig. 11. Effect of Re-Annealing on Improvement of Mechanical Properties (Izumi)



(ii) SF 55 (C 0.33, Mn 0.56%), 35 t 鋼塊の例  
鍛造比 2.2 に鍛造したものの頂部および底部両端より軸方向に試験片を採取して (試験片採取部径 500mm) 調査した結果を第 9 図に示す。

外周部の機械的性質は両者ほとんど差はないが、頂部側中心部の靱性値が低く、外周部の値にくらべ伸びは約 58%, 絞りは約 50% となっている。

(4) 考 察

機械的性質におよぼす偏析の影響はその程度により差があり、通常鋼塊の大なるものほど偏析が大であり、かつ鋼塊底部よりは頂部になるにしたがつて偏析度は大となり、靱性値は低下する。しかしこれらの影響の程度は主として鋼塊自体の性状に左右されることが強い。

前掲の第 1 表に示したものは試験片の採取方法、寸法などに多少不合理と考えられる点もあり、ゴースト部の機械的性質は日常筆者がしばしば体験する大物鍛鋼品内部の試験値よりも少しく良すぎるきらいがあり、真にゴースト部の性質を求めたと考えがたい点もあるが、宇留野、大内田両氏らの数値も考え合せると一般に単なるゴーストのみの場合はおおむね実用上さしつかえないものと考えられる。しかしゴースト部にクラックの共存するものは相当いちじるしい材力の低下があり、しかも使用中にクラックの進展も起りうると考えられるので、その採否には発生位置をも考慮して十分な検討がなされねばならない。

[IV] 機械的性質におよぼす熱処理の影響

鍛鋼品機械的性質の不均一性の主原因の一つとしての偏析については今までたびたび論じてきたが、中村氏<sup>(7)</sup>も前記報告中で偏析の悪影響は熱処理することによりある程度改善が可能であると述べており、E. Maurer などの結果をみても焼入性の良好な特殊鋼にあつては偏析部の材力低下は軽微であることがうかがえる。

本項は鍛鋼品熱処理の基礎理論を述べようとするものではなく、同一試料について熱処理法を変えた場合の機

械的性質の変化を述べ、熱処理の効果について論じようとするものである。

(1) 泉氏の報告<sup>(18)~(19)</sup>

(i) SF 55 (C 0.32, Mn 0.56%), 20 t 鋼塊の例<sup>(18)</sup>

SF 55, 20 t 鋼塊の底部側より径 350mm の試料を採取し、焼鈍、油焼入—焼戻しおよび水焼入—焼戻しを行つて内外の機械的性質の変化を調査した結果を第 10 図に示す。

いずれの場合も抗張力をほぼ同一にしたときの値を比較すると、焼入—焼戻しを行うことにより、軸方向では

(イ) 降伏点が約 3 kg/mm<sup>2</sup> 向上し、

(ロ) 絞りは 5~10%, 伸び 2~3% は向上し、

(ハ) 衝撃値は約 5 kg-m/cm<sup>2</sup> 向上する。

また直角方向では

(イ) 降伏点は大差なく、

(ロ) 絞りはいちじるしく向上する。すなわち焼鈍時

20~25% であつたものが、平均 53% にまで向上し、

(ハ) 伸びは 20~22% のものが約 30% まで向上し、

(ニ) 衝撃値もやゝ向上し、平均 1.5 kg-m/cm<sup>2</sup> 程度

改善される。

このように炭素鋼でも焼入—焼戻しを施して、変態域を急冷することにより、内部の材質がいちじるしく向上し、偏析の影響によると考えられる靱性値の低下も相当に改善されることがわかる。しかし炭素鋼の場合焼入性が低く、質量効果が大であるから上記の効果は製品の直径によつて大きな制限があり、ここにはその一例をあげたにすぎない。

(ii) SF 55 (C 0.33, Mn 0.56%), 35 t 鋼塊の例<sup>(19)</sup>

SF 55, 35 t 鋼塊の底部側より径 480mm の試料を採取し、本体焼鈍後試験片を切出し、さらに再焼鈍することによる機械的性質の変化を調査した。

この結果は第 11 図に示すように、本体焼鈍後の値は中心部附近の伸び、絞りは非常に低いが、これらは試験片切出し後 30mm 角で再焼鈍することによつていちじるしく改善され、ほとんど内外差がない程度まで向上する

第 5 表 熱処理 (焼準と油中焼入) と機械的性質の関係  
Table 5. Relation between Heat-Treatment (Normalizing and Oil-Quenching) and Mechanical Properties

No.	熱 処 理	試 料 位 置	抗 張 力 (kg/mm <sup>2</sup> )	降 伏 点 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 び (%)	絞 り (%)
1	880°C 2重焼準 580°C 焼戻	外 周	57.9	36.8	13.4	15.4
		中 心	62.7	35.7	10.0	—
		中心/外周 (%)	108.3	97.0	74.7	—
2	860°C 油中焼入 650°C 焼戻	外 周	64.4	38.2	19.2	33.0
		中 心	56.7	33.7	9.6	15.0
		中心/外周 (%)	88.1	88.2	50.0	45.5



第6表 熱処理と機械的性質の関係(質量効果)  
Table 6. Relation Between Heat-Treatment and Mechanical Properties (Mass Effect)

No.	熱処理	試料位置	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	絞り (%)
3	本体処理 860°C 油中焼入 650°C 焼戻	外周	62.1	35.7	20.0	42.0
		中心	59.2	35.0	8.0	17.0
		中心/外周(%)	95.3	98.0	40.0	40.5
4	試験片処理(寸法 1 1/4") 860°C 油中焼入 650°C 焼戻	外周	60.8	36.9	23.6	43.8
		中心	60.5	35.7	14.0	20.8
		中心/外周(%)	99.5	96.8	20.8	47.5

ことがわかる。

中心部附近の靱性値の低下は鋼塊中心部の偏析によるもので、本体焼鈍のみでは大きなフェライトの析出が不可避であり、かつ介在物の共存をとまなうものであり、再焼鈍により組織が完全に微細化することにより改善されたものとおもわれる。

(2) O. Krifka の報告<sup>(17)</sup>

C 0.30, Mn 0.70, Cr 0.50, Ni 0.50% の径 580mm の試料につき、焼準と油焼入—焼戻しを行つたときの機械的性質を求め、第5表のような結果をえた。

本鋼種はあまり焼入性はよくなく、質量効果は比較的大であるから、油焼入したものも中心部の靱性値の向上はほとんどなく、ただ外周部の伸びが 43%、絞りが 114% 改善されており、かえつて内外差が大となつている。

また同一試料につき試験片切出し後熱処理したものの値を求め、質量効果について調査した結果を第6表に示す。両者の抗張力はほぼ同一と見做されるが、この場合外周部の靱性値は両者あまり差がなく、偏析が大きいと考えられる中心部のそれは小片で熱処理することにより第7表に示すように大いに改善されている。

(3) 特殊鋼 (Ni-Cr-Mo-V 鋼) による実験例

Ni-Cr-Mo-V 鋼 (C 0.30, Ni 1.65, Cr 0.80, Mo 0.35, V 0.12%), 25 t 鋼塊より径 737mm の試料を採り、本体熱処理後試験片を切出し、さらに再熱処理を施すことによる内外材質の改善の程度を調査した。

この結果は第12図に示すが、再熱処理前後の抗張力をほぼ同一としたときの伸び、絞りの改善割合を表示すると第8表のようになり、内部の改善率は相当いちじるしい。

(4) 考 察

大物鍛鋼品では偏析による組織の不均一のために機械的性質は不均一となり、内部靱性値の低下をみるので、十分な鍛造加工効果をあたえるべきことはもちろんであるが、適切な熱処理を施すことによりある程度の改善が期待できる。もつとも簡単な方法としてはいわゆる一段焼鈍法として変態点上より徐冷する方法が多く採用され

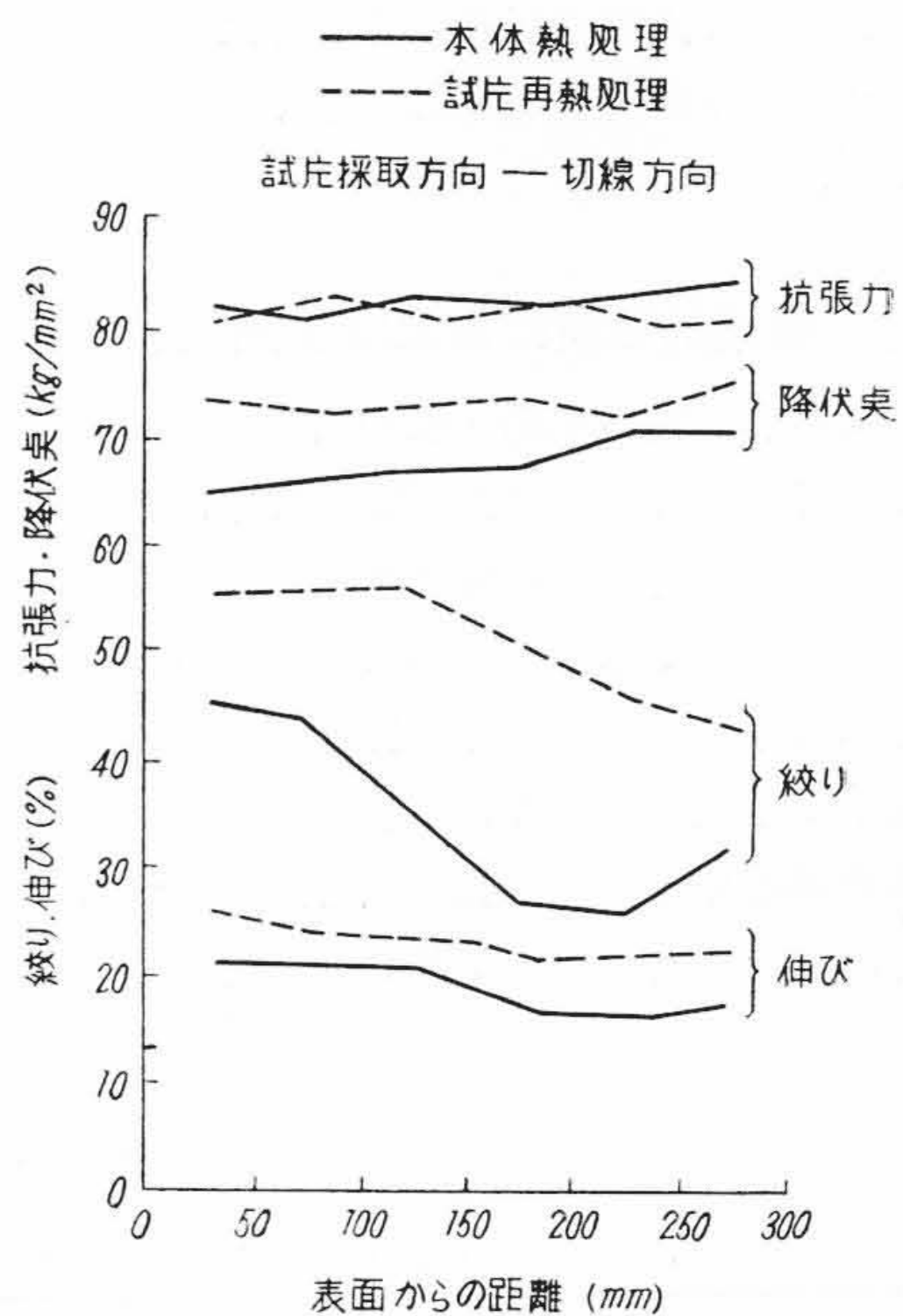
第7表 熱処理と機械的性質の関係  
(試験片処理による靱性値の改善)

Table 7. Relation Between Heat-Treatment and Mechanical Properties (Improvement of Toughness Values by Heat-Treatment in Small Size T.P.)

	試料位置	改善率 (%)
伸び	外周	18.0
	中心	75.0
絞り	外周	4.3
	中心	22.4

(注) 改善率 (%)

$$= \frac{(\text{試験片処理時の値}) - (\text{本体処理時の値})}{(\text{本体処理時の値})} \times 100$$



第12図 機械的性質の改善におよぼす試験法再熱処理の影響

Fig. 12. Influence of Re-Heat-Treatment on Improvement of Mechanical Properties

るが、この方法では中心部附近の冷却速度が小なるためフェライトの析出が大きく十分偏析部の組織の改善ができない。改善策としては焼準—焼戻し法(焼準—低温焼



第 8 表 熱処理と機械的性質の関係  
(試験片再熱処理による靱性値の改善)

Table 8. Relation Between Heat-Treatment and Mechanical Properties (Improvement of Toughness Values by T.P. Re-Heat-Treatment)

表面からの距離 (mm)	改 善 率 (%)	
	伸 び	絞 り
25	29.8	18.2
75	29.0	15.1
140	54.0	20.0
205	96.2	35.8
255	81.4	45.4
305	39.6	29.2

(注) 改善率 (%)  

$$= \frac{(\text{試験片再熱処理後の値}) - (\text{本体処理時の値})}{(\text{本体処理時の値})} \times 100$$

鈍法ともいう) があり、さらに液体冷媒を使用する焼入一焼戻し法があるが、これら各種の熱処理法のいずれを選ぶかは製品の成分、形状などを考慮して適宜決定すべきであろう。

筆者は一般の炭素鋼シャフト材にあつては直径およそ 200mm 以上のものでは焼準一焼戻し法を採用すべきであり、300mm 以上のものでは例外なく焼準一焼戻し法をとるべきであると考えている。

他方特殊鋼にあつてはそれぞれ成分に応じた焼入一焼戻し法を行うべきは当然であるが、最近の傾向として大物ロータシャフトのような重要品にあつては、合金元素を十分配合して焼入性をよくし、液体冷媒を使用せず空冷焼入を行うことにより内外均一な熱処理効果をあたえ均質なものをうる方法が採用されるようになってきている。

### 〔V〕 結 言

以上大物鍛鋼品の機械的性質におよぼす鍛造比、偏析および熱処理の 3 つの因子につき紙面のゆるす範囲内でできるだけ多くの実例をあげて説明をしたが、なお十分意をつくさない点も多い。しかしおおよその傾向については諒解がえられたものと考えられる。

大物品になるほど機械的性質の不均一性が増すので、上記諸因子の影響を考慮に入れて適切な製造方案をたて、できるだけ均質に近い製品がえられるように心掛けねばならない。

各因子についての結論は各項ごとに述べたので詳細は省略するが、最良の機械的性質をうるための加工手段としてつぎのような諸項目を満足せしめるような方案をたてることがのぞましい。

- (1) 機械的性質の方向性を少なくするため鍛造比は 4 内外とすること。
- (2) 特に直角方向の靱性値の高いことをのぞむものにあつては、据込鍛造を附加するのがよい。たゞしこの場合据込比とその前後の実体鍛造比とのかね合いには注意を要する。

(3) できるだけ偏析の悪影響を少なくするため重量の点で可能な範囲でなるべく小さい鋼塊を使用するのがよい。

(4) 炭素鋼でも重要品は水または油焼入一焼戻しを施すとよい。また少なくとも径の大きいもの、形状複雑なものなどにあつては単に一段焼鈍だけでなく、焼準一焼戻しを施すことがのぞましい。

(5) 特殊鋼では成分に応じて適切な焼入法を採用すべきはもちろんであるが、最近では大物ロータシャフトのような重要品は焼入性のよい鋼種をえらび、空冷焼入法を採用する方法が推奨される。

終りに臨み本報告をまとめるに当り引用した諸文献の筆者に深甚の謝意を表するとともに、発表を許可された日立工場水戸分工場幹部に対し深厚なる敬意を表す。

### 参 考 文 献

- (1) 石原善雄, 永沢清: 鉄と鋼17巻 (昭 6) P615~625
- (2) 伊丹栄一郎: 鉄と鋼33巻 (昭 22) 8号附録 P7~23
- (3) 菊田多利男, 森靖: 日立評論 21巻 (昭 13) P723~733  
 菊田多利男, 森靖: 日立評論 22巻 (昭 14) P281~289  
 菊田多利男, 森靖: 日立評論 22巻 (昭 14) P345~349
- (4) 錦織清治 他: 日本金属学会誌 2巻 (昭 13) P568~578
- (5) 斎藤省三: 鉄と鋼 10巻 (大 13) P542~554
- (6) 沖信次: 鉄と鋼 6巻 (大 9) P160~167
- (7) 中村道方: 鉄と鋼 19巻 (昭 8) P697~728
- (8) W. Coupette: St. und Ei. 61 (1941) S1013~1022  
 W. Coupette: St. und Ei. 61 (1941) S1036~1042
- (9) E. Maurer und H. Korschan: St und Ei. 53 (1933) S209~215  
 E. Maurer und H. Korschan: St und Ei. 53 (1933) S243~251  
 E. Maurer und H. Korschan: St und Ei. 53 (1933) S271~281  
 E. Maurer und H. Gummert: St. und Ei. 54 (1934) S1281~1289
- (10) 泉八郎: 日立工場作業資料 (昭 13)
- (11) 河合正吉 他: 三菱製鋼技術雑報 No. 24 (昭 26)
- (12) 深井清治: 日立工場研究報告 83号 (昭 25)
- (13) 裏川康一, 小出光重: 神戸製鋼 2巻2号 (昭 27) P53~60
- (14) 吉田豊, 竹中正一: 日立造船技報 13巻4号 (昭 27) P1~9
- (15) 大内田久: 日立研究所研究報告 1629号 (昭 29)
- (16) 宇留野四平: 鍛造テキスト (工場作業資料)
- (17) O. Krifka: St. und Ei. 74 (1954) S760~768
- (18) 泉八郎: 日立工場作業資料 (昭 14)
- (19) 泉八郎: 日立工場作業資料 (昭 14)