

圧延機用合成樹脂軸受の摩耗特性

Abrasive Property of the Plastic Bearing Used for Rolling-Mill

横山 亮次* 沢 宣 敏*

Ryoji Yokoyama

Nobutoshi Sawa

内 容 梗 概

圧延機用に使用するフェノール樹脂、フラン樹脂軸受は、金属軸受に比べて軽く、機械的強度にすぐれているほか水を潤滑に使用することができるという利点を有しているので、広く実用に供されている。

使用に際して最も重要なことは、これらの特性のほか、使用時間に伴う摩耗量が少ないことであってこの性質は軸受それ自身が低摩擦係数を有していることのほか、潤滑に使用する水量が適切であるとか、回転軸面の粗さが適切であるとかというように使用条件を熟知してその使用をはかることが緊要であるので、これらの点について検討した。その結果フェノール樹脂製軸受、フラン樹脂製軸受はいずれも使用する樹脂が耐摩耗性にすぐれており、補強材によってもその性質の低下しないことを明らかにするとともに、鉄鋼圧延作業時軸受摩耗を少なくするためには給水量、軸面粗さの管理も十分おこなう必要があることが明らかとなった。

1. 緒 言

高速低荷重または低速高荷重の軸受材質には砲金、バビット、カーボン、各種合成樹脂類がそれぞれの用途に応じて使用されている。

これらのうちで、合成樹脂製軸受は軸との順応性が良く摩擦係数が少ないため、金属軸受より寿命が長くまた耐衝撃性であって振動などの吸収がよいため、その需要は年々増加している。

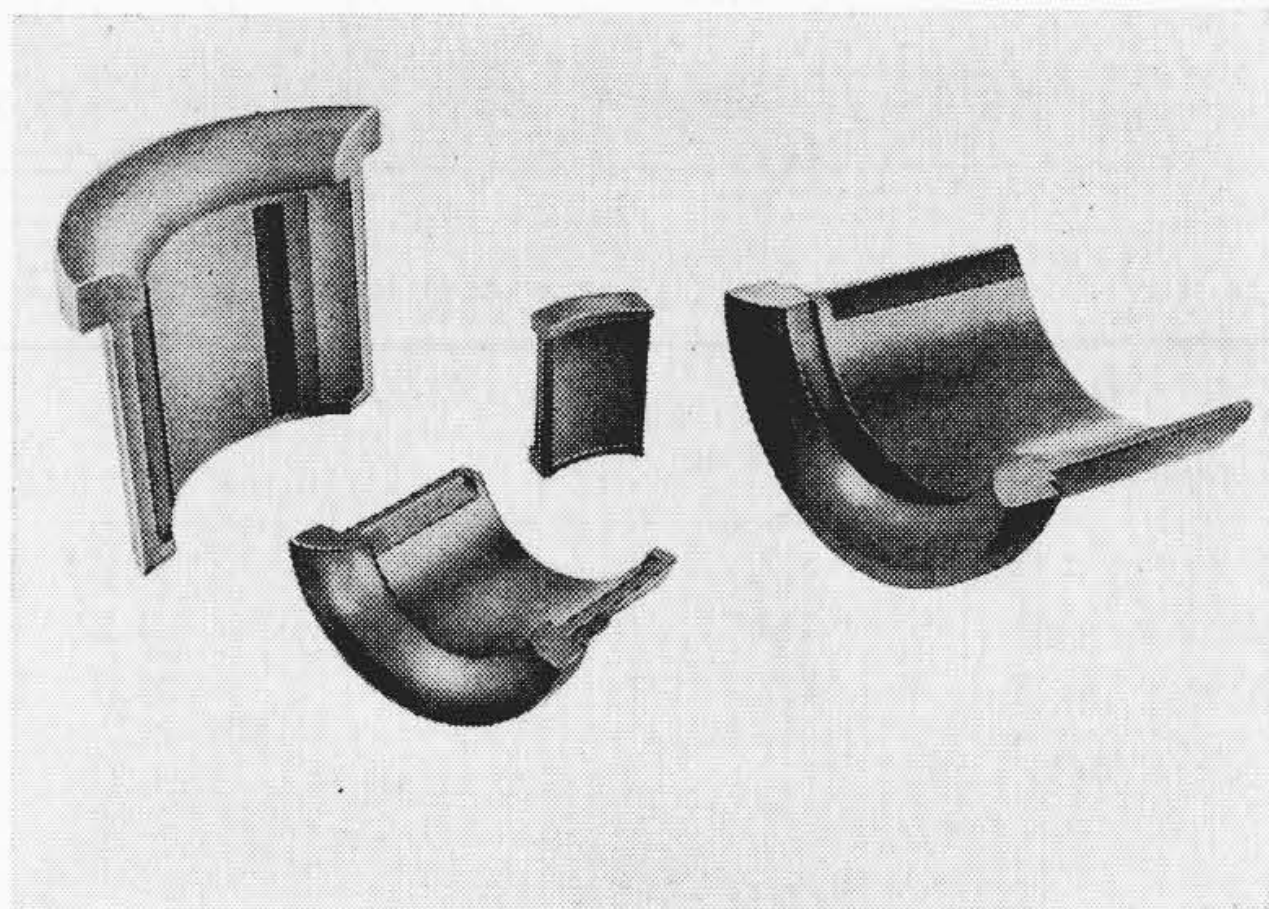
合成樹脂製軸受には有機質または無機質繊維を補強材として併用するものと、これらを併用しないものがあり、前者にはフェノール樹脂、フラン樹脂、後者にはナイロン、テフロン等々をあげることができるが、機械的強度を大きく要求されるときには、主として前者が用いられている。

合成樹脂製軸受に要求される性能のひとつには、機械的強度のほか、使用に際して摩耗量が少なく、摩擦係数の小さなことが最も重要視されている。本報告では日立製作所で多年にわたり圧延機用として製造してきた帆布基材フェノール樹脂製軸受（スタンドライト軸受と呼び軽荷重用に使用）、帆布基材フラン樹脂製軸受（ヒタフラン軸受と呼び重荷重用に使用）について、その耐摩耗性をやや詳細に述べるとともに、設計上および使用上注意しなければならない二、三の項目を明らかにしてその参考とした。

2. 製 造 法

フェノール樹脂およびフラン樹脂製軸受（以下それぞれスタンドライト軸受、ヒタフラン軸受と略す）はいずれも適度の強度を有する帆布類にそれぞれの樹脂を含浸させ、最適の強度を示す樹脂付着量としたものを予備乾

* 日立製作所多賀工場



第1図 スタンドライト軸受

燥し、所望の大きさに切断して金型内に充填し、一定の成型条件で加熱加圧して製造するものであって、その形状は第1図に示すようにいろいろである。

3. 特 性

鉄鋼圧延作業時に軸受に加わる荷重は、圧延条件によって色々であるが⁽¹⁾、通常は $10 \sim 300 \text{ kg/cm}^2$ であるといわれているので圧延用軸受には補強効果の大きな帆布類が使用されている。本文で述べる軸受は第1表に示すように上述の荷重に耐える機械的強度を有しているほか次に示すようなすぐれた特長を有している。

- (1) 耐摩耗性で焼付の性質がない。
- (2) 水を潤滑剤として使用することができるので、潤滑法は安価である。
- (3) 摩擦係数が小さいので第2表に示すように電力消費量が少なくてすむ。
- (4) 第3表に示すように軽くて取扱いが便利である。
- (5) 第1表に示すように弾性率が少ないため、衝撃

第1表 合成樹脂軸受の機械的強度

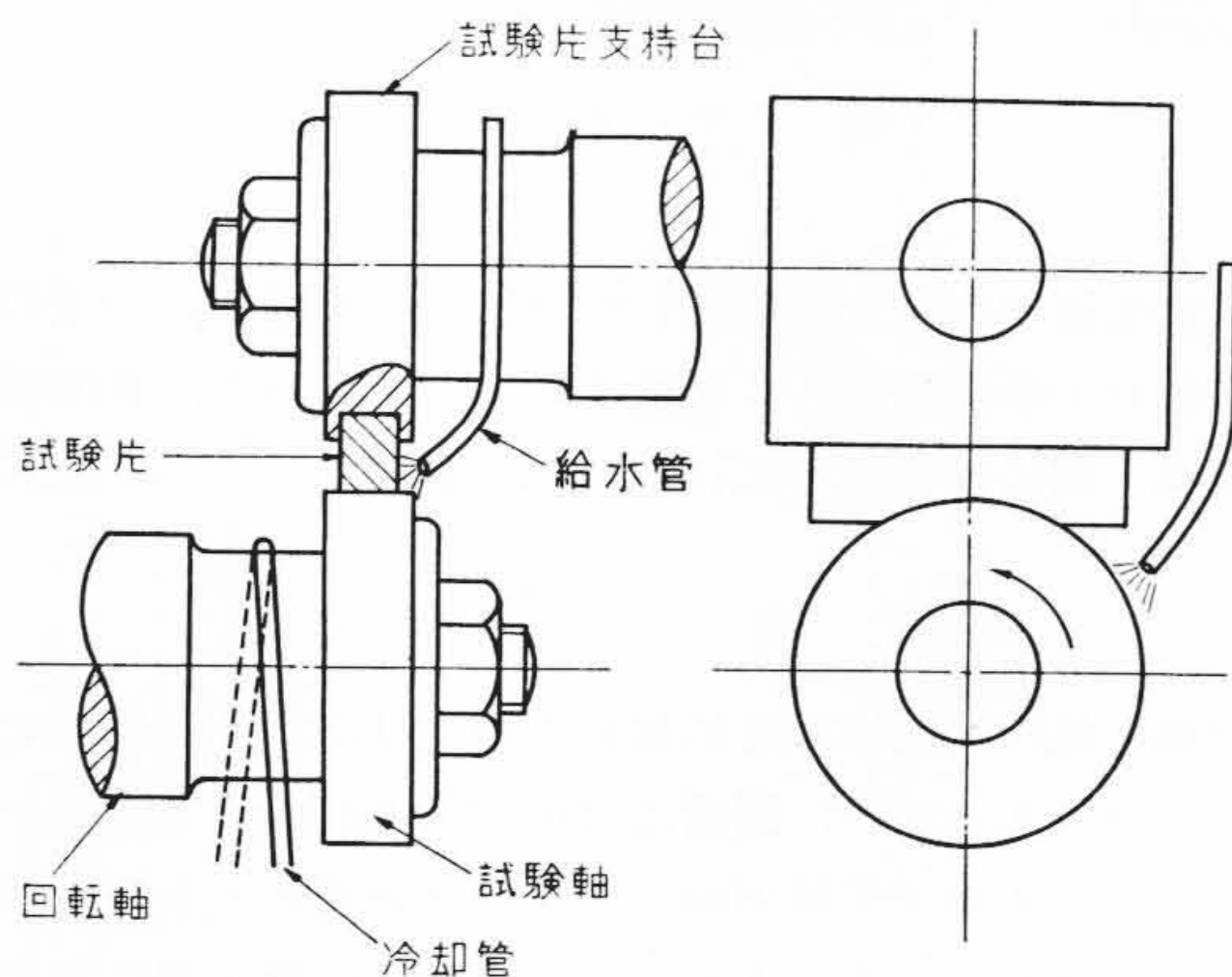
項目 試料単位	比重	圧縮強さ kg/mm ²	劈開強さ kg	硬度 ブリネル	衝撃強さ kg-cm/cm ²	曲げ強さ kg/mm ²	弾性率 kg/cm ²
スタンドライト軸受(積層品)	1.353	28.2	1,090	15.0	25.0	11.0	108,000
スタンドライト軸受(チップ品)	1.337	26.0	740	15.0	20.0	6.0	—
ヒタフラン軸受(積層品)	1.386	26.0	840	16.0	30.0	12.0	—
ヒタフラン軸受(チップ品)	1.384	23.0	730	18.0	22.0	5.0	—

第2表 電力節減量

圧延製品	パビット軸受使用当時の平均原単位 (kWh/t)	仕上スタンドにスタンドライト軸受を使用したときの原単位 (kWh/t)	仕上二番スタンドにスタンドライト軸受を使用したときの原単位 (kWh/t)	仕上二番中スタンドにスタンドライト軸受を使用したときの原単位 (kWh/t)	節減率 (%)
アングル 65×65×6	150	127.5	92.5	—	39
アングル 65×65×6	123	—	83	70	43
アングル 75×75×6	110	87	75	—	32.5

第3表 スタンドライト軸受と金属軸受の重量比較

軸受 ロール機別	スタンドライト軸受 (kg)	砲金, パビット軸受	
		砲金 (kg)	パビット (kg)
小形粗ロール機	5.7	12	37.5
小形仕上ロール機	1.9	3	4.5
中形ロール機	7.1	18	59.0

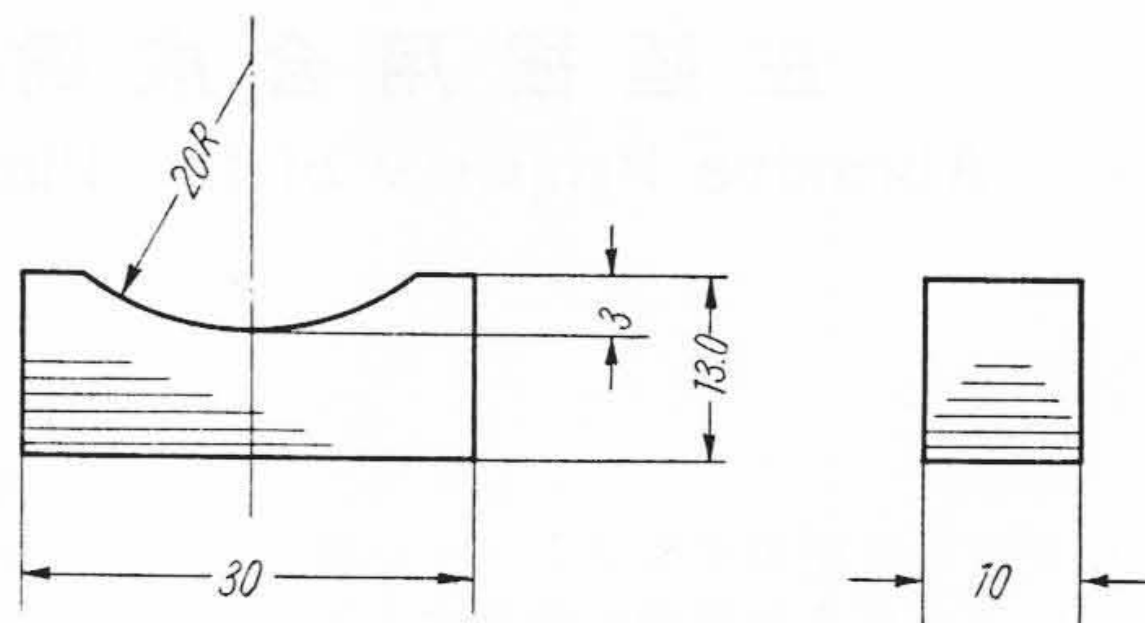


第2図 軸受摩耗試験装置

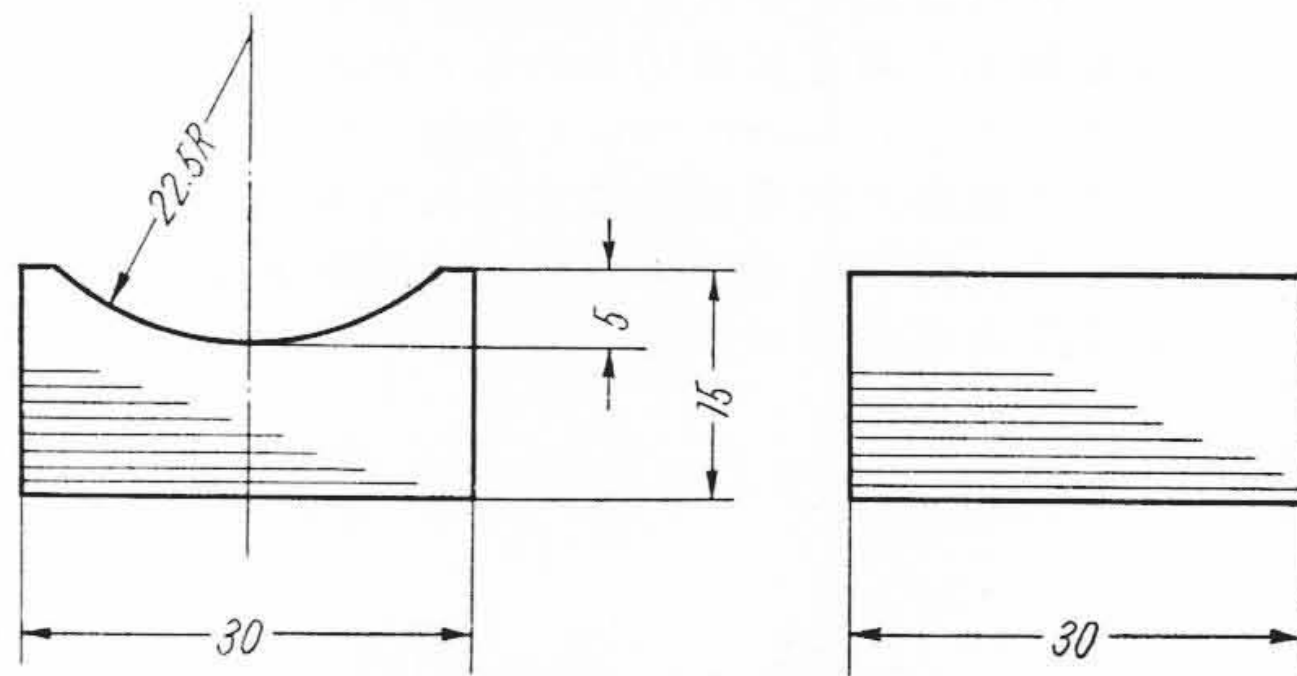
荷重を受けても、割れや永久変形が生じない。

- (6) 摩耗屑による軸および軸受面の損傷がない。
- (7) 成型加工が容易であるため多量生産に適する。
- (8) ヒタフラン軸受は特に耐薬品性が良い。

なお使用上注意しなければならないことは、金属材料に比べて高温に耐える性質が少ないから、潤滑作用が悪くそのため軸受が焼けるような現象が生ずると、急激に温度上昇するため炭化現象を誘発するおそれがあるの

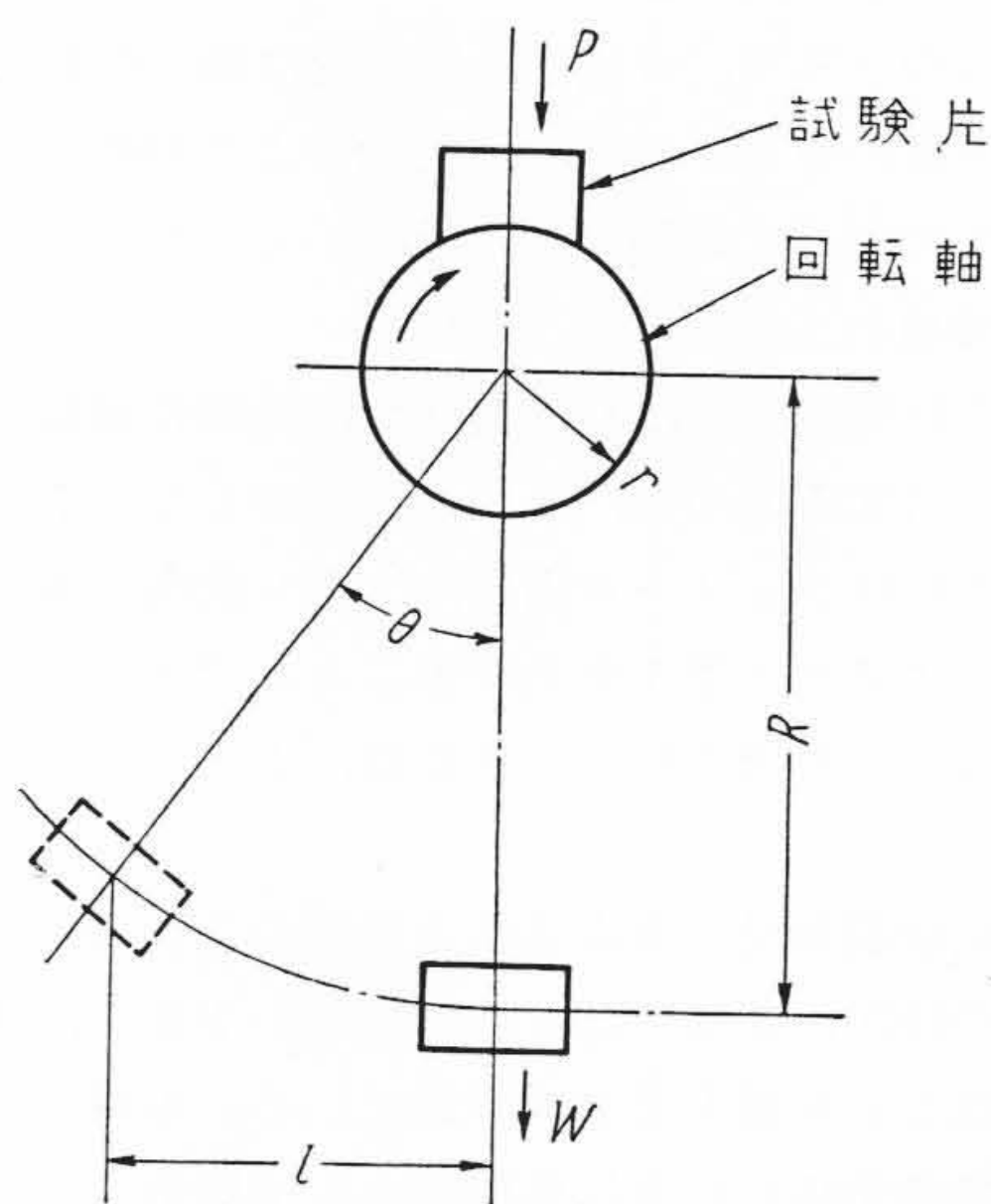


軽荷重用試験片



重荷重用試験片

第3図 試験片サイズ



第4図 試験中の錘の振れ角度

で、この点は嚴重に注意しなければならない。

4. 摩擦係数と摩耗量

摩擦係数と摩耗量の測定には第2図に示す装置⁽²⁾⁽³⁾を用い、第3図の形状に仕上げた試験片を用いた。

いま第4図で試験片に荷重をかけて試験軸を回転させると、錘は回転方向に振れはじめその後時間とともに一定の値を示すようになる。この振れの角度は試験片の有する摩擦係数(μ)によってそれぞれ異なるから、振れの角度を読みとることによって(1)式より容易に摩擦係数を求めることができる⁽⁴⁾。

$$\mu = \frac{WR}{Pr} \cdot \sin \theta \dots\dots\dots (1)$$

ここに P : 荷重 (kg/cm²)
 r : 試験軸の半径 (cm)
 W : 錘重量 (kg)
 R : 試験軸と錘間の距離 (cm)
 θ : 振れの角度
 l : 錘の変位

摩耗量はいわゆる見かけの摩耗量であって、その表示は試験終了後に生ずる試験片中心部の高さの減少寸法であらわした。

なお潤滑は水潤滑とし、注水と排水との温度差は常に20～25℃におさえた。

5. 各種軸受の摩擦係数と摩耗量

第4表に示す試験条件のうち荷重を20 kg/cm²として各種軸受について求めた値を第5表に示した。

表に示すように本文で述べる軸受は金属性軸受に比べ

第4表 摩 耗 試 験 条 件

項 目	単 位	軽 荷 重	重 荷 重
荷 重	(kg/cm ²)	20	50
回 転 数	(rpm)	80	420
周 速	(m/min)	10.0	59.3
給 水 量	(cc/min)	100	250
軸 径	(φ mm)	40	45
試 験 時 間	(h)	24	8

第5表 各材料の摩擦係数および摩耗量

樹 脂 名	基 材 名	荷重 20kg/cm ² 24 時 間 試 験		備 考
		摩耗寸法 (mm)	摩擦係数 (μ)	
フェノール樹脂	カナキン	2.91	0.194	帆布へ銅線5%入
フェノール樹脂	11号帆布	2.12	0.197	
フェノール樹脂	4号帆布	0.31	0.281	
フェノール樹脂	4号帆布	1.95	0.263	
フェノール樹脂	10号帆布	1.43	0.160	
フ ラ ン 樹 脂	カナキン	0.10	0.144	
フ ラ ン 樹 脂	10号帆布	0.56	0.125	
セ ル ロ イ ド		0.33	0.195	
ナ イ ロ ン		0.22	0.190	無潤滑
ナ イ ロ ン		3.50	0.403	
鋳 鉄 ⁽⁵⁾		—	0.330	スピンドル油潤滑
真 鍮 ⁽⁵⁾		—	0.255	スピンドル油潤滑
軟 鋼 ⁽⁵⁾		—	0.347	スピンドル油潤滑

※1. 回転軸は炭素工具鋼7種を使用す
 2. 潤滑は水を使用す

第6表 軸受1mm摩耗あたりの圧延トン数

軸 受	ヒタフラン軸受	スタンドライト軸受
軸受の単位荷重		
25(kg/cm ²)	2,000～2,500(t)	1,800～2,200(t)
50	2,800～3,500	—
75	3,100～4,000	—
100	3,600～4,400	—

て摩擦係数が少なく摩耗量も少ない。またスタンドライト軸受とヒタフラン軸受とを比べれば、後者の方が耐摩耗性であって重荷重用としての特性を有していることがわかる。

セルロイドは良好な摩耗特性を示しており、通常耐摩耗性といわれているナイロンはいわゆる「ヤケ」の現象を伴いかなり大きな摩擦係数を示し、摩耗量も大きい。このような現象からみてもナイロンは荷重の加わるようなところには使用しない方がよさそうである。

本文で述べる軸受は熱硬化性の樹脂を用いているため耐熱性にすぐれているので、多少の温度上昇があっても潤滑不良にともなう「ヤケ」の現象が生じさえしなければ長時間の使用に耐える性質を有している。

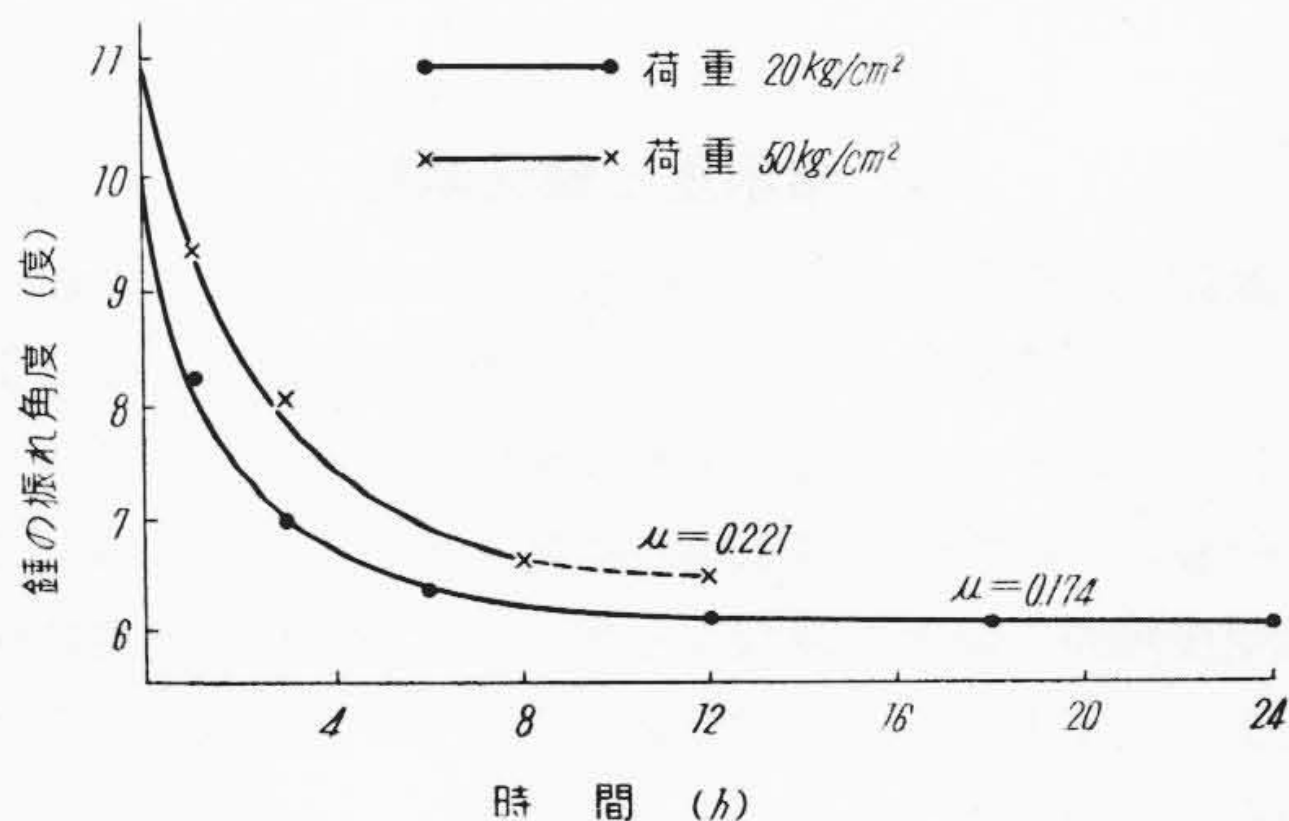
スタンドライト軸受のこのような長所は、フェノール樹脂そのものの摩擦係数が小さいためであって、この摩擦係数は有機質補強材によって著しく影響を受けないためであろう。

第5図は、フェノール樹脂純樹脂成型品について、第2図に示す装置を用いて求めた錘の振れ角度と測定時間の関係である。図に示すように、振れ角度はおよそ8時間で一定値に到達している。この一定値に到達したときの振れ角度から(1)式を用いて求めた摩擦係数の値を図中に示した。

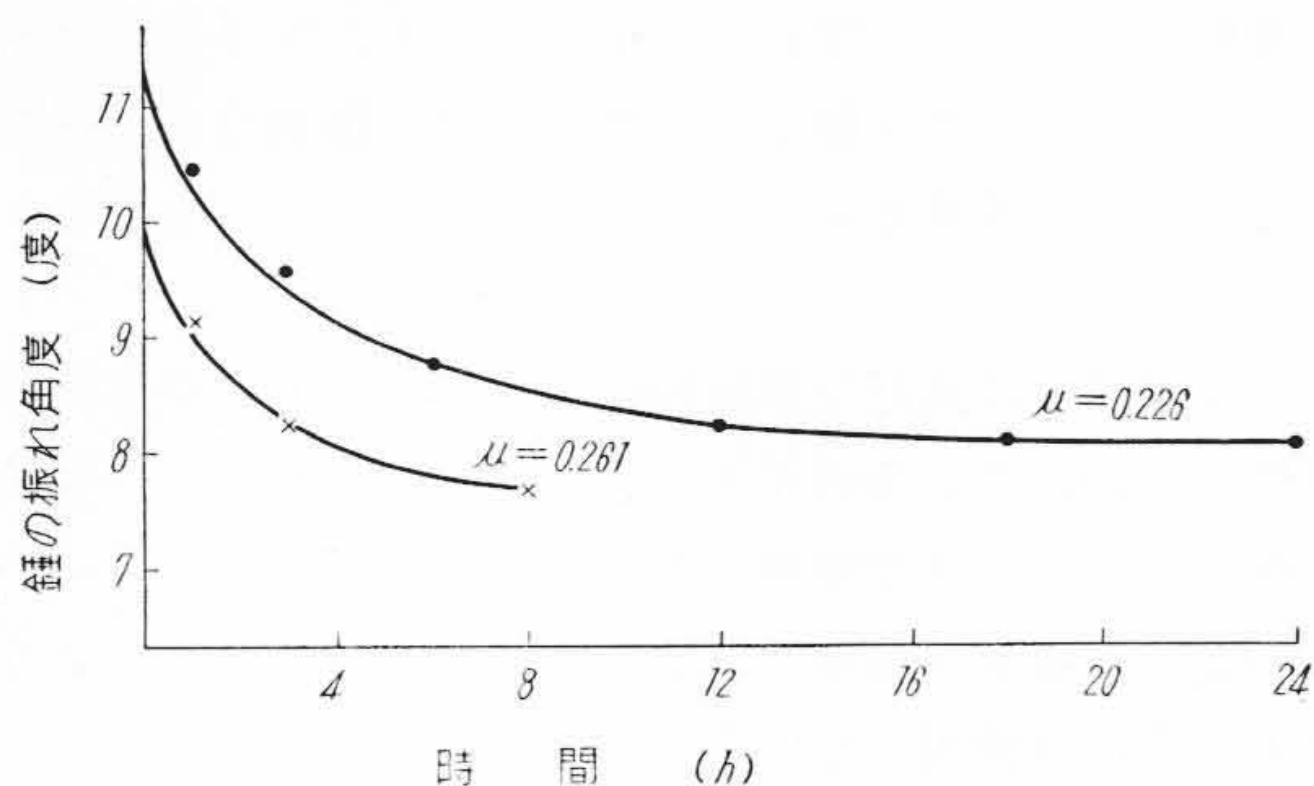
第6～11図は木粉基材、紙基材、帆布基材の成型品およびスタンドライト軸受、ヒタフラン軸受について求めた振れ角度である。図中に示す摩擦係数を見てもわかるようにこの値は第5図に示す値とほぼ同一かまたはいくぶん低い値を示している。したがって、フェノール樹脂の耐摩耗特性は基材の影響をうけていないことがわかる。

なおヒタフラン純樹脂についてはその摩擦係数は求めているが、フェノール樹脂と同様の現象が得られるものと思われる。

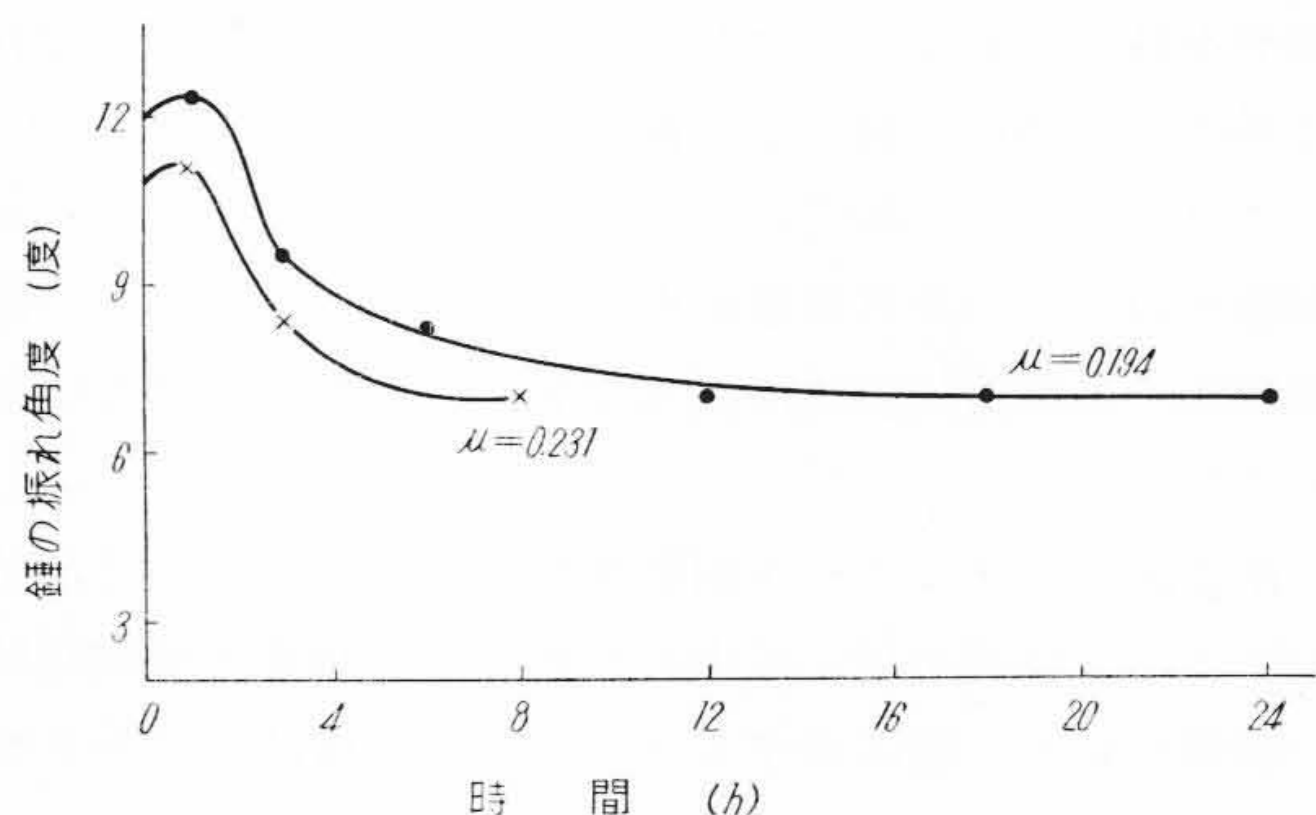
材質的にこのようにすぐれた軸受でも使用条件またはその設計が適切でないときは異常摩耗の生ずるおそれがある。



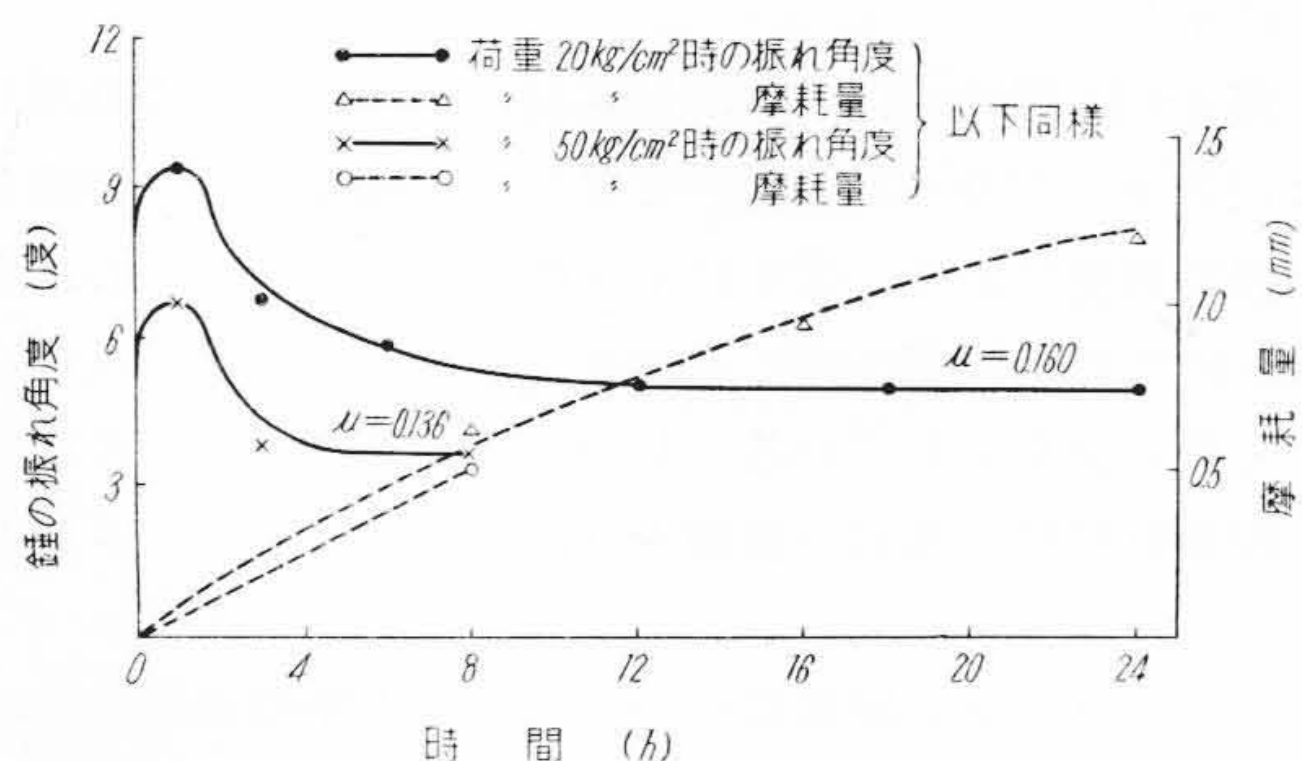
第5図 フェノール純樹脂成型品の錘の振れ角度



第6図 木粉基材成型品の錘の振れ角度



第7図 紙基材成型品の錘の振れ角度



第8図 スタンドライト軸受(積層成型品)の錘の振れ角度と摩耗量

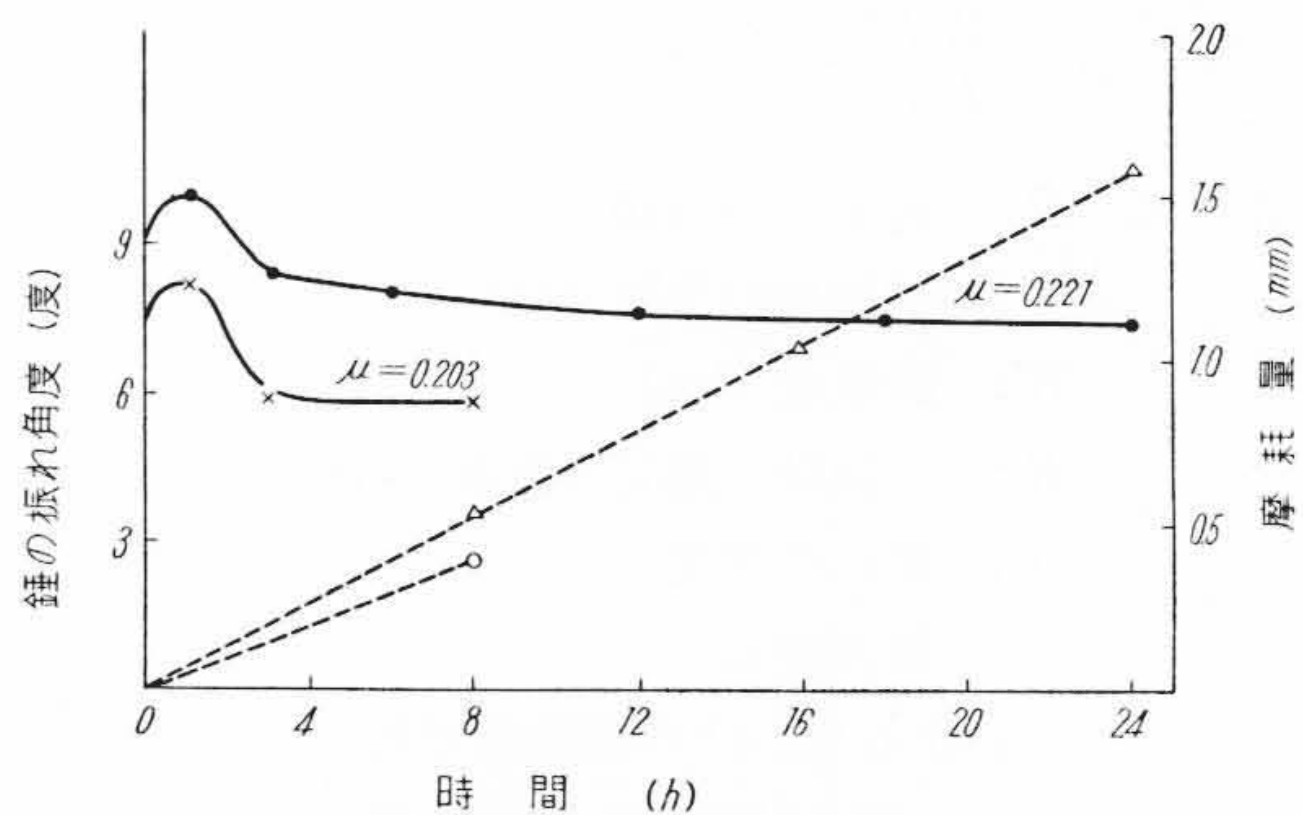
あるので使用上最も重要と考えられる給水量、軸面あらし、軸受形状そのほかについて以下述べてみたいとおもう。

6. 給水量と軸受摩耗

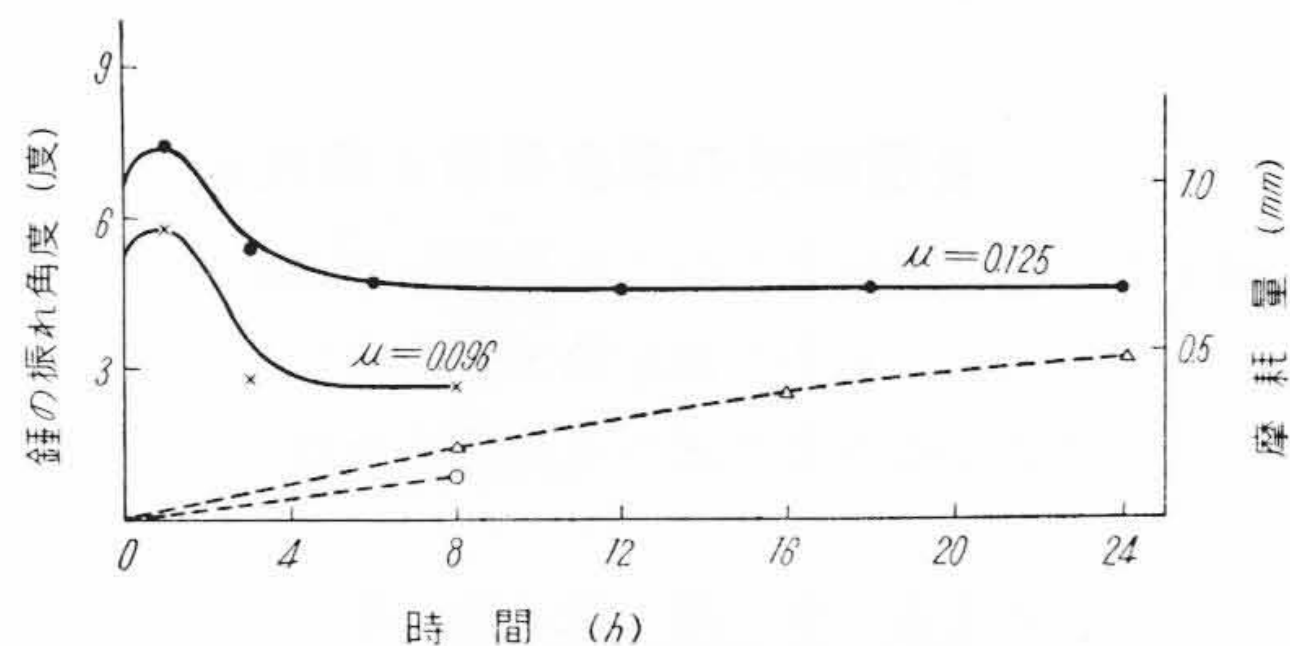
鉄鋼圧延作業の際には、給水を能率的に行うことによって、その潤滑効果をたかめて軸受の摩耗が生じないようにすることは、使用上重要な操作である。

一般に、給水作業は圧延時に発生する熱を吸収して軸受接触面の温度を給水する水の温度とほぼ同温度に保つようにすることが必要であって、その量は次式から求めることができる。

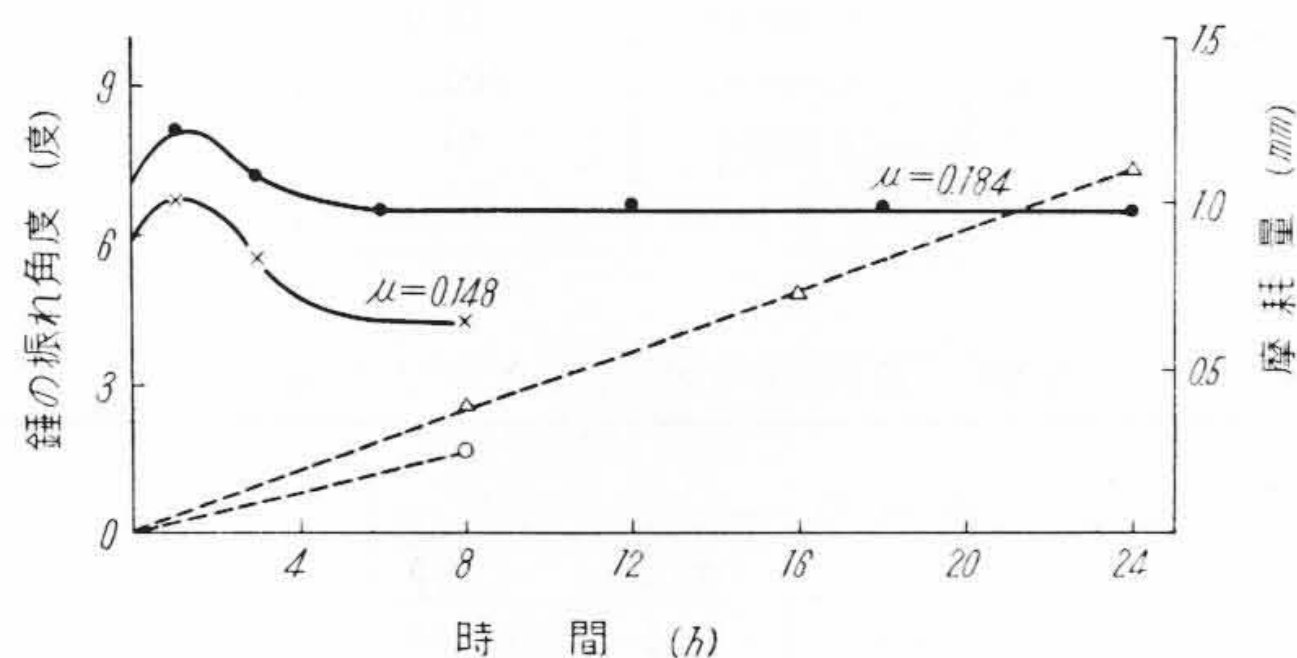
いま給水量を Q (l/min) とし、回転摩耗による発熱量



第9図 スタンドライト軸受(チップ成型品)の錘の振れ角度と摩耗量



第10図 ヒタフラン軸受(積層成型品)の錘の振れ角度と摩耗量



第11図 ヒタフラン軸受(チップ成型品)の錘の振れ角度と摩耗量

(kcal) を H とすれば、これらの間には一般に(2)式の関係が得られている⁽⁶⁾。

$$Q = \frac{H}{T_1 - T_2} \dots \dots \dots (2)$$

ここに T_1 : 排水の温度 (°C)

T_2 : 給水の温度 (°C)

(2)式に示す H は回転軸の周速と摩擦力との積すなわち回転に伴う仕事量であって(3)式から求めることができる。

$$H = 0.00234 \pi D N \cdot F \dots \dots \dots (3)$$

ここに 0.00234 は 1 kg-m の仕事量に相当する発熱量で kcal 単位で表わしたものの。

π : 円周率

N : 回転軸の1分間の回転数

D : 回転軸の直径 (cm)

F : 摩擦力

(3)式に示す摩擦力は(4)式に示す関係にあるから、
軸受

$$F = D \cdot L \cdot p \cdot \mu \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに

L : 回転軸 (軸受接触部) の長さ (cm)

p : 単位面積あたりの圧力 (kg/cm^2)

の摩擦係数が既知のときは、その値を容易に求めることができる。また回転軸の周速 $\pi \cdot D \cdot N$ は試験条件によって定まるものであるから、 $\pi DN = V$ として (3) 式を簡易化してこれらの値を (2) 式に代入すれば、給水量 Q は (5) 式で表わされる。

$$Q = \frac{0.00234 VF}{T_1 - T_2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

筆者らの実験においては、 $T_1 - T_2 \div 25^\circ\text{C}$ であるので、
以下の実験においては (6) 式から給水量を求めた。

$$Q = 0.0000936 V \cdot F \quad \dots\dots\dots (6)$$

いま第4表に示す試験条件を用いたときのスタンドライト軸受、ヒタフラン軸受の摩擦係数はそれぞれ 0.160, 0.125 であるからそのときの給水量を (6) 式から求めると 1,200 cc/min, 920 cc/min となるが、実験に用いた試験片は第3図に示すように回転摩耗をうける接触面積が、計算式の誘導のさいに用いた面積のほぼ $1/5$ に相当している。また第2図に示す回転軸には少量の注水量で冷却効果をあげるため、軸内面に通水している。この冷却効果は注水と排水との温度差が 40°C のときにこれを $20 \sim 25^\circ\text{C}$ とする効果があるから、これら二つの要素を取り入

れるときにはその給水量は 150 cc/min, 100 cc/min で十分ということになる。第12図はこの給水量を基準として摩耗量と給水量との関係を求めたものであって図に示すように給水量が計算量より少なく、潤滑効果が失われると摩耗量は急激に増加していることがわかる。したがって鉄鋼圧延作業を行うには適量の給水作業を施すことが必要であって軸受の異常摩耗をさけるためにこの作業は緊要な工程の一つである。

7. 軸面の粗さと軸受の摩耗

合成樹脂軸受を使用するに際しては、これと接触する回転軸面の粗さもまた管理項目の一つとしてあげられている。

第13図は回転軸の材質を炭素工具鋼第7種とし、第4表に示す条件で摩耗試験を行ったときの摩擦係数、摩耗量と軸面粗さとの関係である。

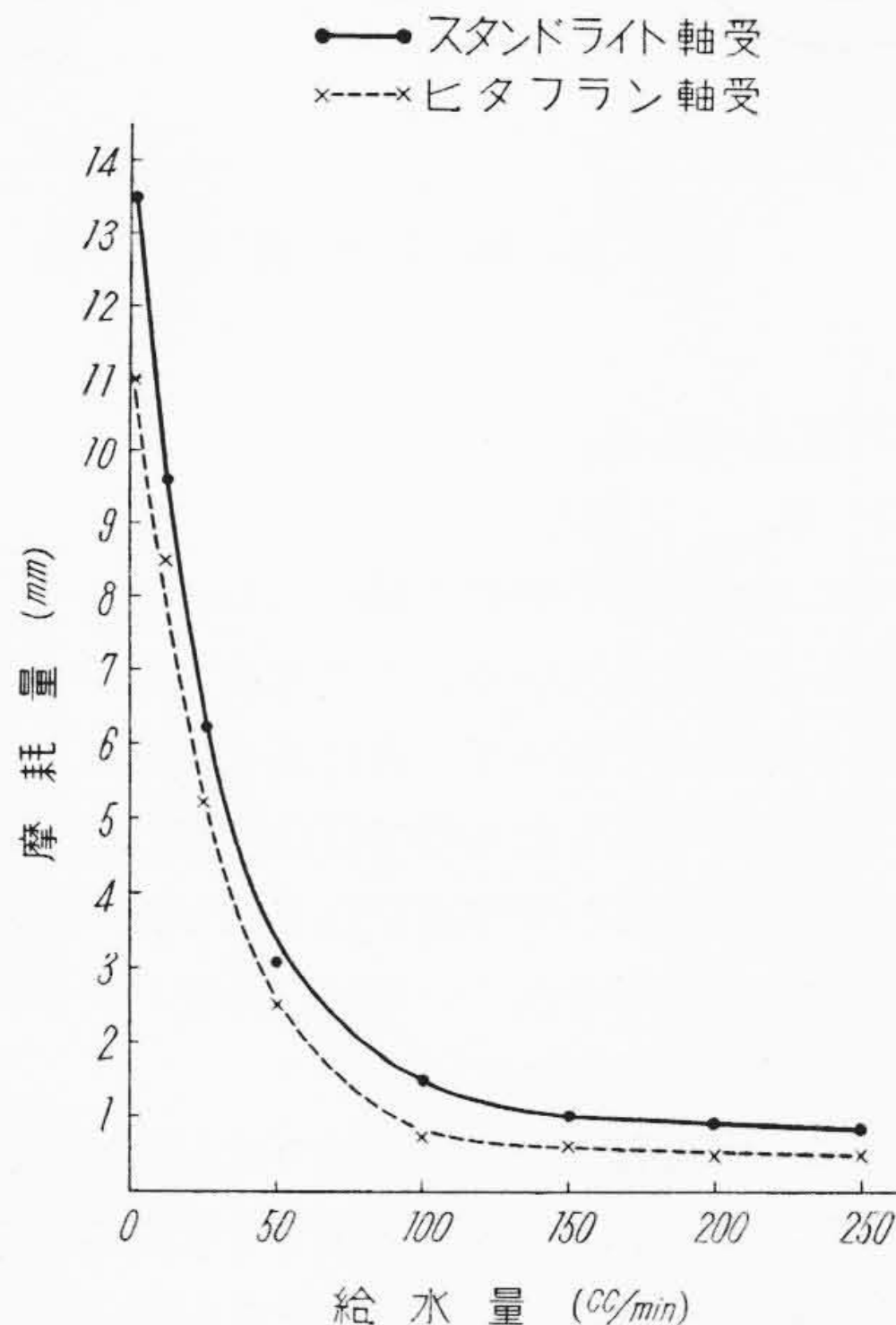
摩擦係数、摩耗量は図に示すように軸面粗さが低減するにつれて減少し、およそ 1~2 ミクロンで一定値となっていることがわかる。

このような現象は第14図に示すように軸面粗さが 3 ミクロン以上のときは、回転摩耗によって軸面それ自身の粗さが低減してくることからみてもわかるように、軸受と回転軸面が正常接触を行わないためであろう。

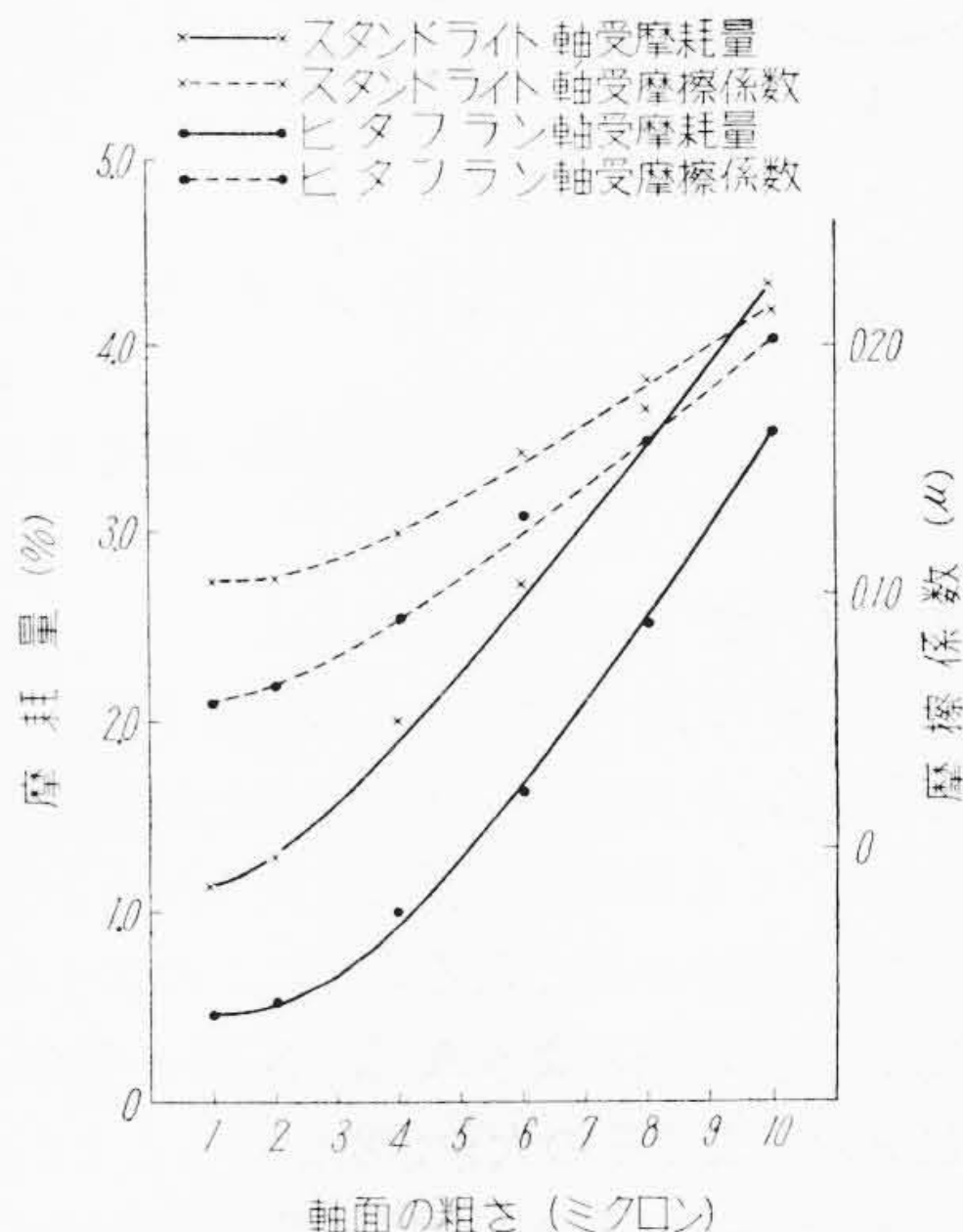
筆者らが行ったこのような実験から軸受と接触する回転軸面は少なくとも 3 ミクロン以下に仕上げる必要である。

8. 軸受設計上の諸問題

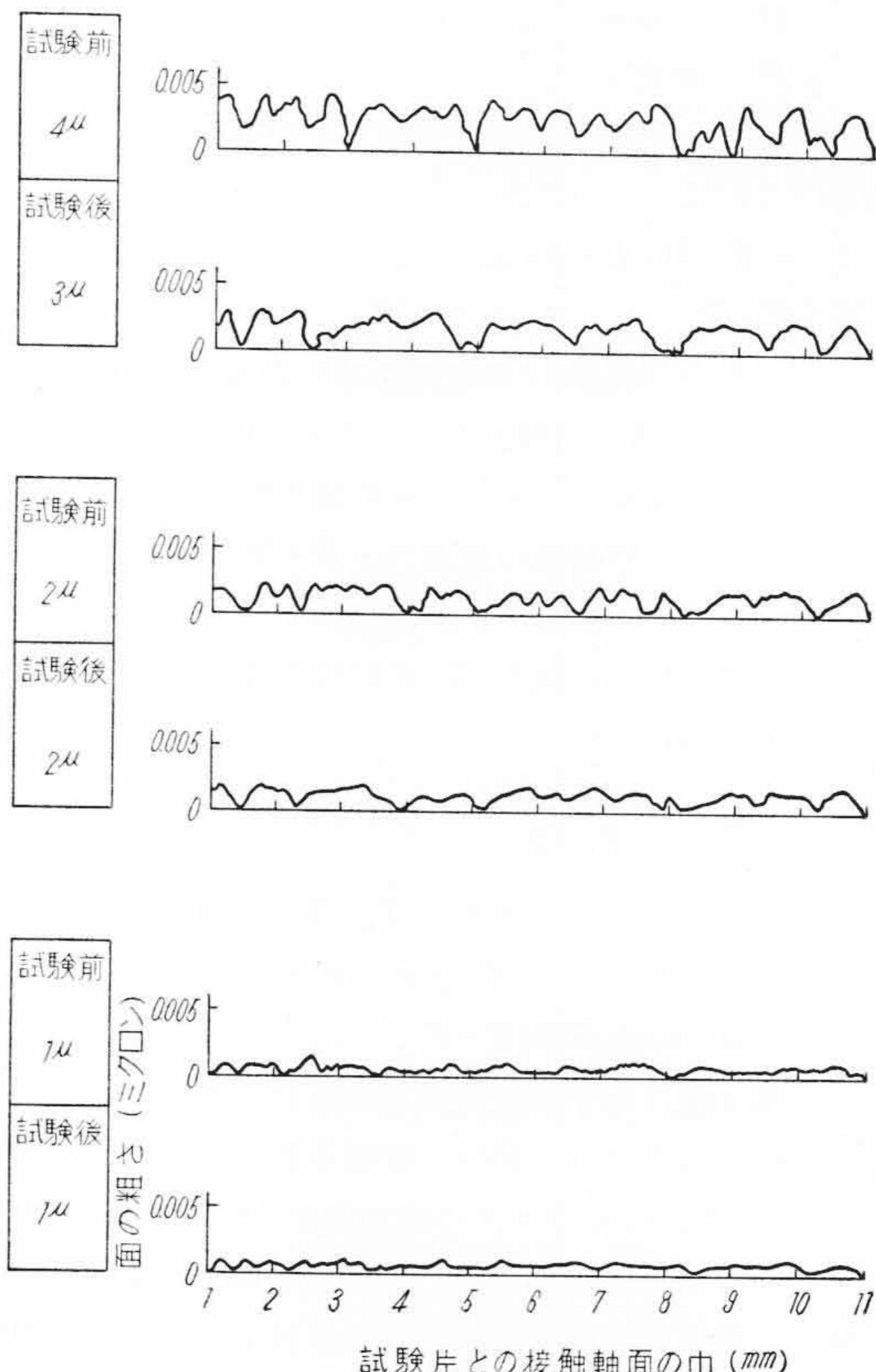
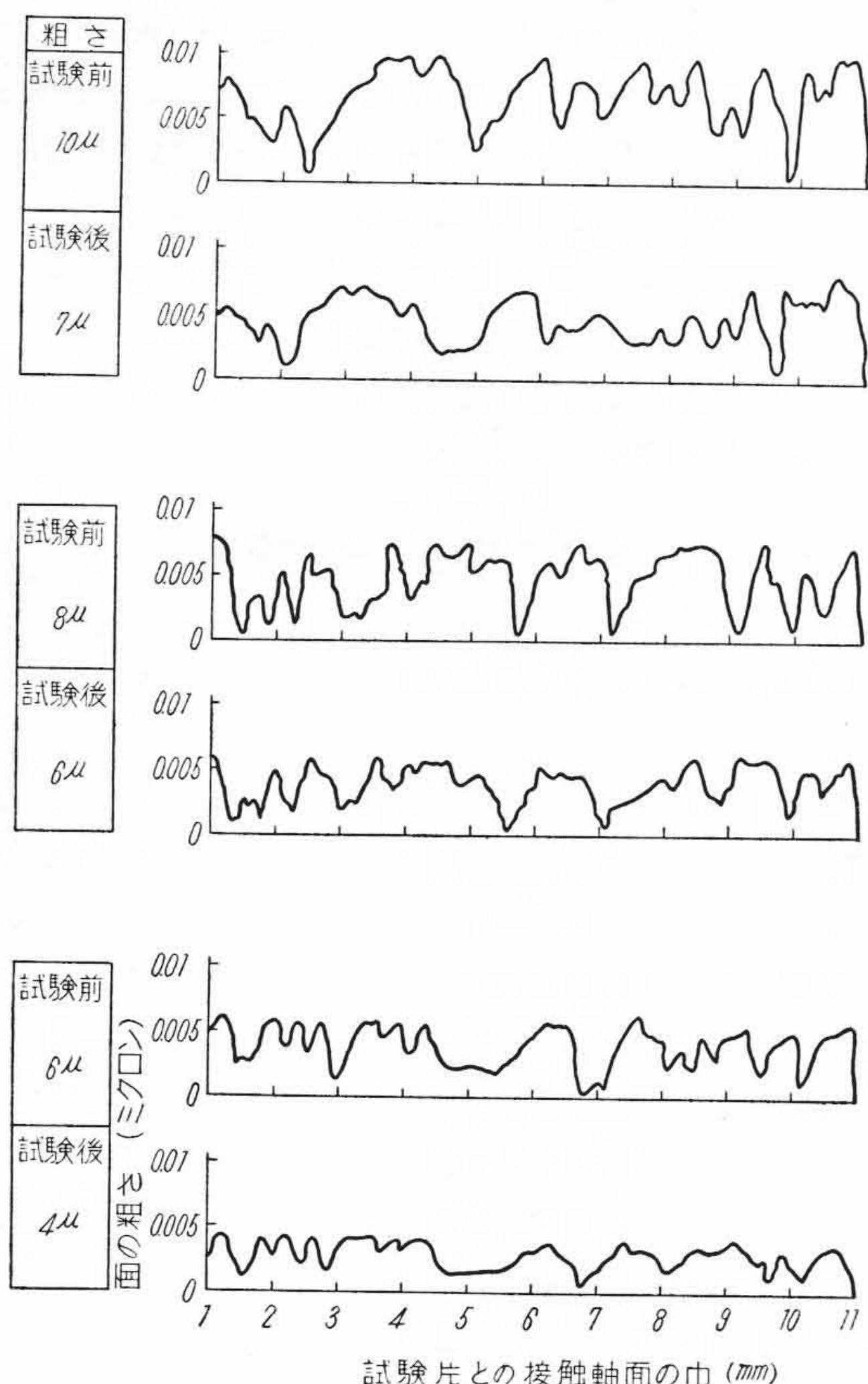
合成樹脂製軸受の設計に際しては一定寸法以上に摩耗したときに軸受が廃品となることを考慮して材質のほか



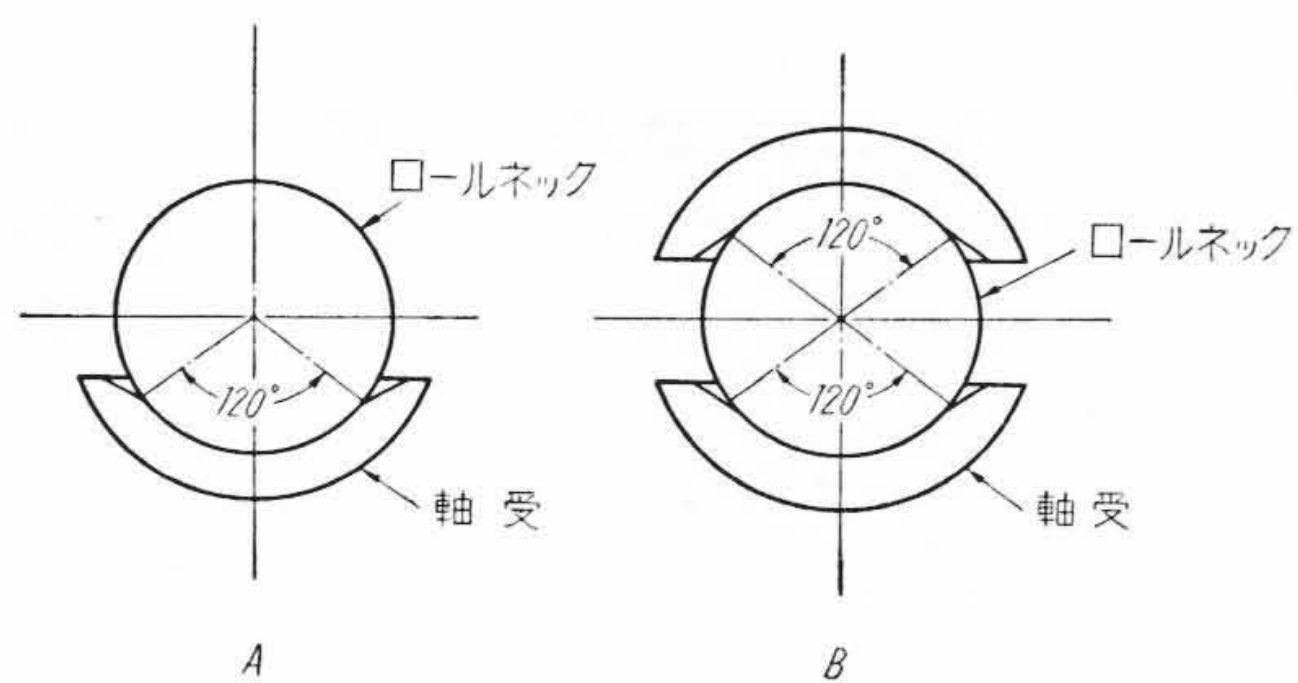
第12図 給水量と摩耗の関係



第13図 軸面の粗さと軸受摩耗量の関係



第14図 軸面の粗さ

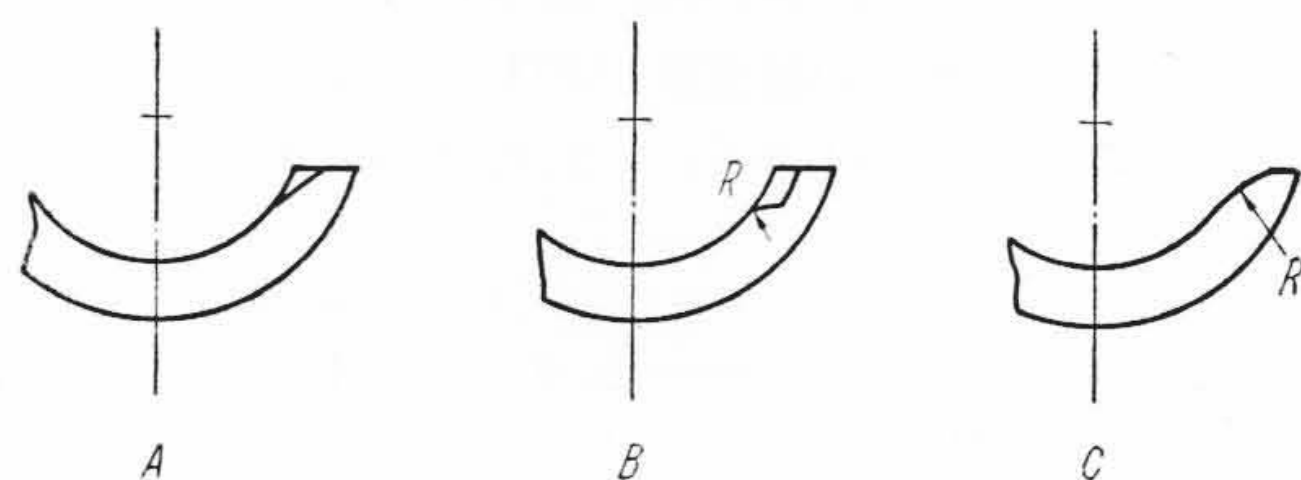


第15図 軸受の大きさ

に使用に適する形状を定めて長期使用に耐えるようにする必要がある。

8.1 大きさ

軸受は通常第15図に示すように軸面下部に使用する場合と軸面上、下部に使用する場合とがあるが、いずれの場合においても軸面が軸受で包蔵されるように設計するときは冷却効率が悪くなるので、このような設計はさけて放冷が容易になるようA図、B図とも中心角が120度程度となるようその大きさを定めることが推奨されている。したがってAの場合は軸受と接触している軸面は全円周の約1/3、Bの場合は約2/3であるから冷却は比



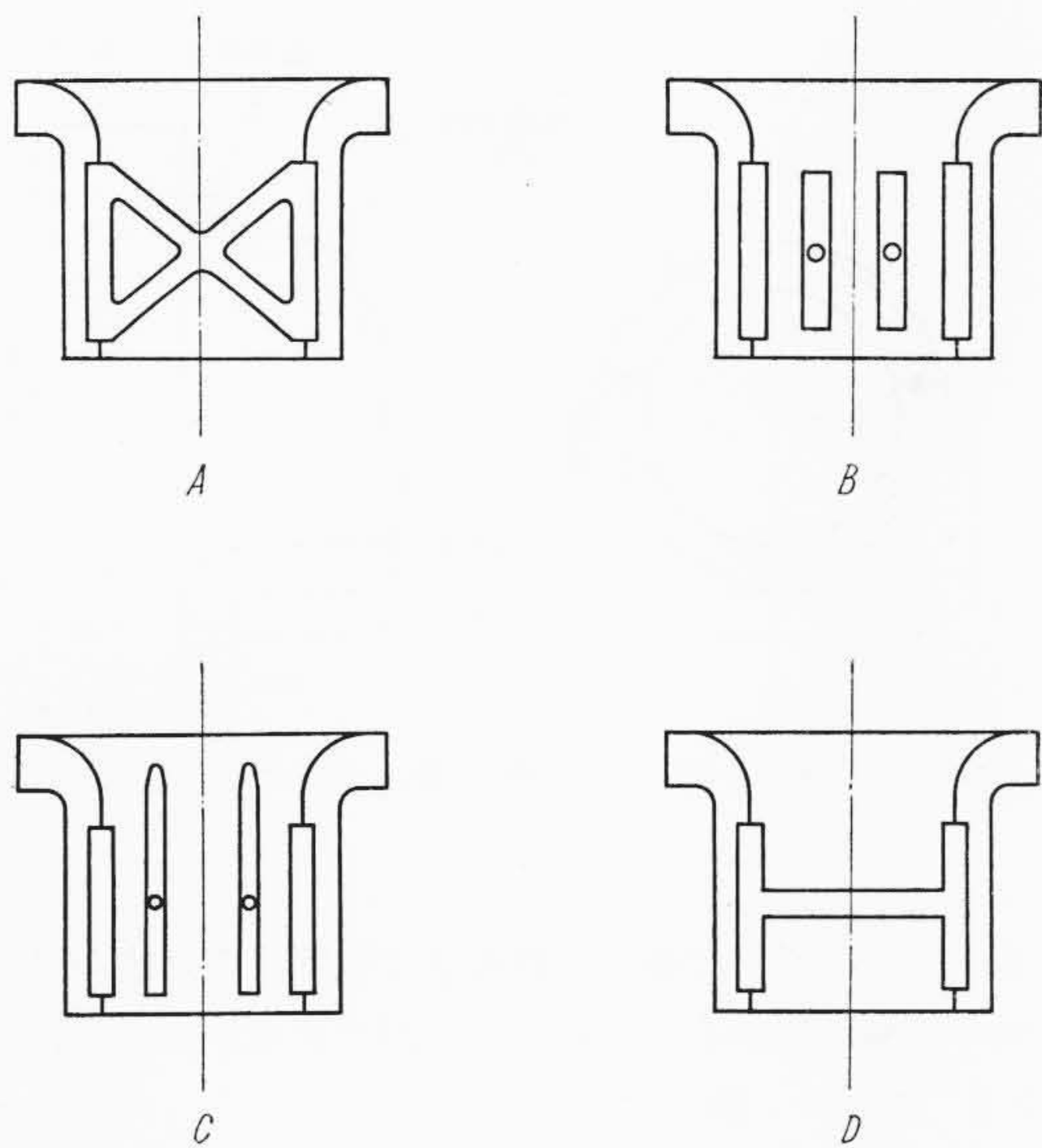
第16図 軸受水溝の形状

較的に容易である。

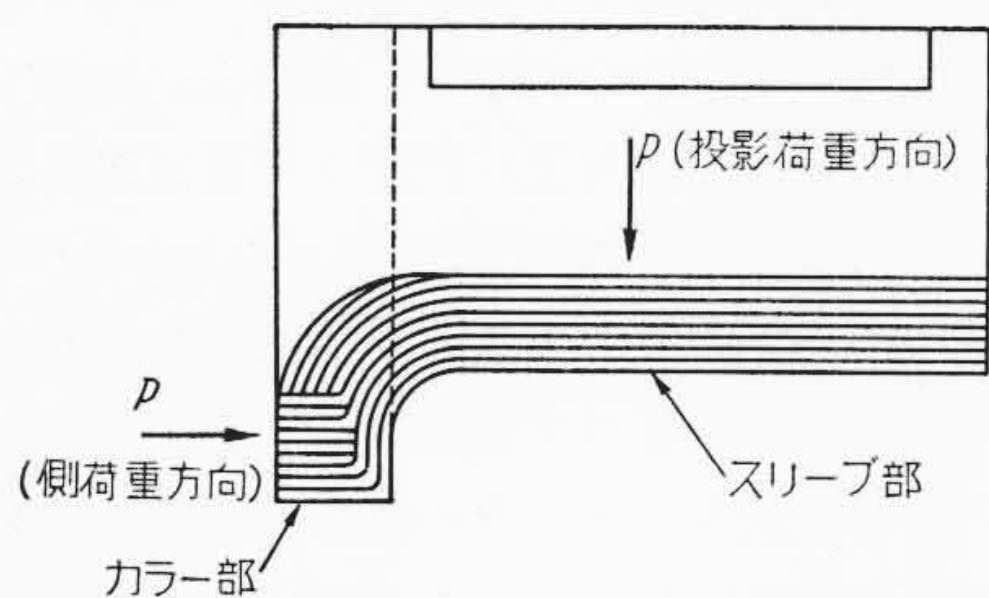
8.2 水溝

軸受には潤滑水の供給と軸の冷却効率をよくするために水溝がつけられている。この水溝の形状は第16図に示すようなものであって、Aは最も簡単なものである。Bは水溜りを考慮したものでCは端部に円形の面取りをして冷却水を誘導しやすくしたものであって、一般的にはAの形状が使用されているが、軸受の大きいときにはB図の形状も採用されている。

B図に示す水溝は一部水溜りの役を果していることになるので、使用中冷却水が切れても水膜のなくなることがなく冷却効果および潤滑は良好である。なお、この場合第17図に示すように軸受中央部にさらに水溝および



第17図 軸受中溝の形状



第18図 軸受に使用してある材料の積層形状

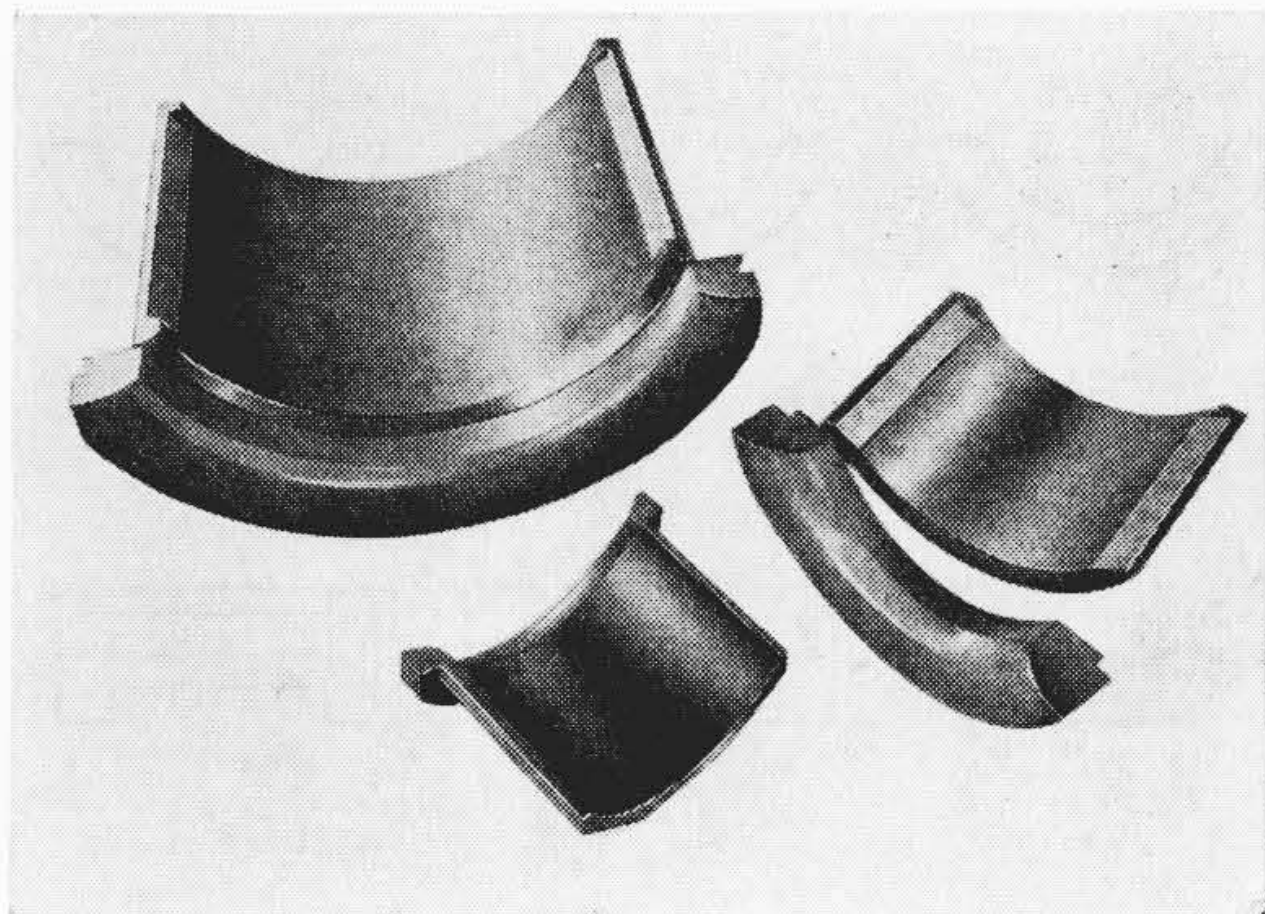
注水孔をつけることがある。

AはX形溝とし軸受底部まで水の回りを考慮したものであり、Cはネック部へ水が回るように考慮したものである。またB、Cのように鞍（軸受受台）との接触面から軸受の孔を通して給水する方法もあって、これらのうち実験的に求められた結果からみるとB、Cが最良の潤滑と冷却効果を示している。したがって、水溝をつける場合には用途、給水設備などを考慮して定めるべきである。

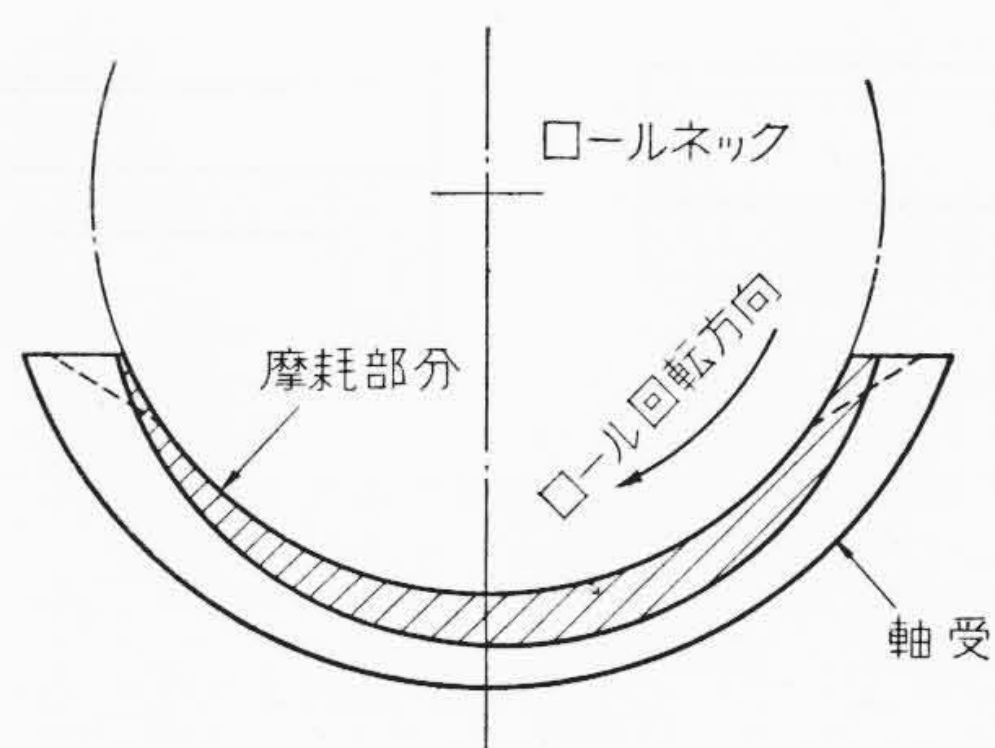
8.3 本体の分割

積層成型品の沿層方向（層に平行）の摩耗量は直層方向の摩耗量に比べて約2～2.5倍も大きいといわれているので⁽⁷⁾、第18図に示す形状で得られる軸受の場合には沿層方向に相当するカラー部の摩耗が早いため、直層方向に相当するスリーブ部の使用が可能であるにもかかわらず使用不能となり軸受を廃棄するようなことがある。

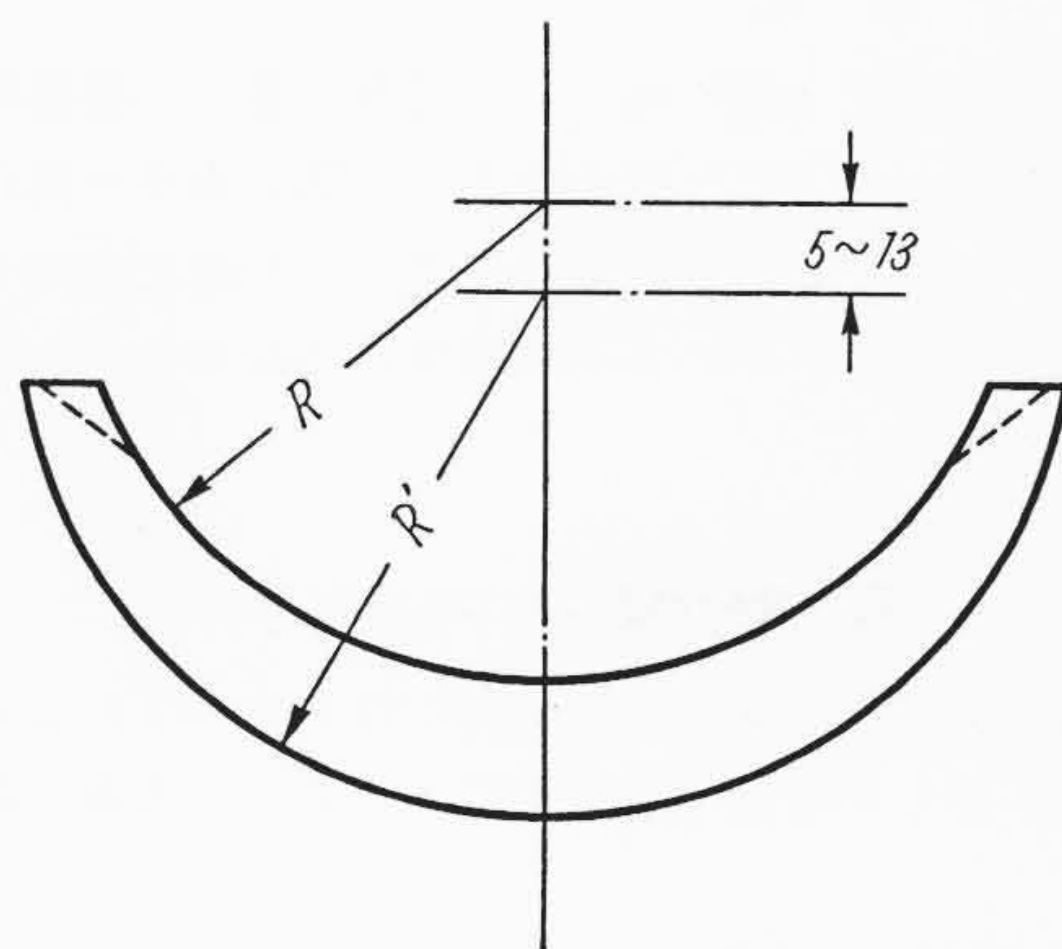
このような場合には、第19図に示すようにカラー部とスリーブを分割して別々に製作し、カラー部が使用不能になったときはその部分のみを取り換えるようにすれ



第19図 カラー部とスリーブ部を分割した軸受



第20図 軸受の摩耗形状



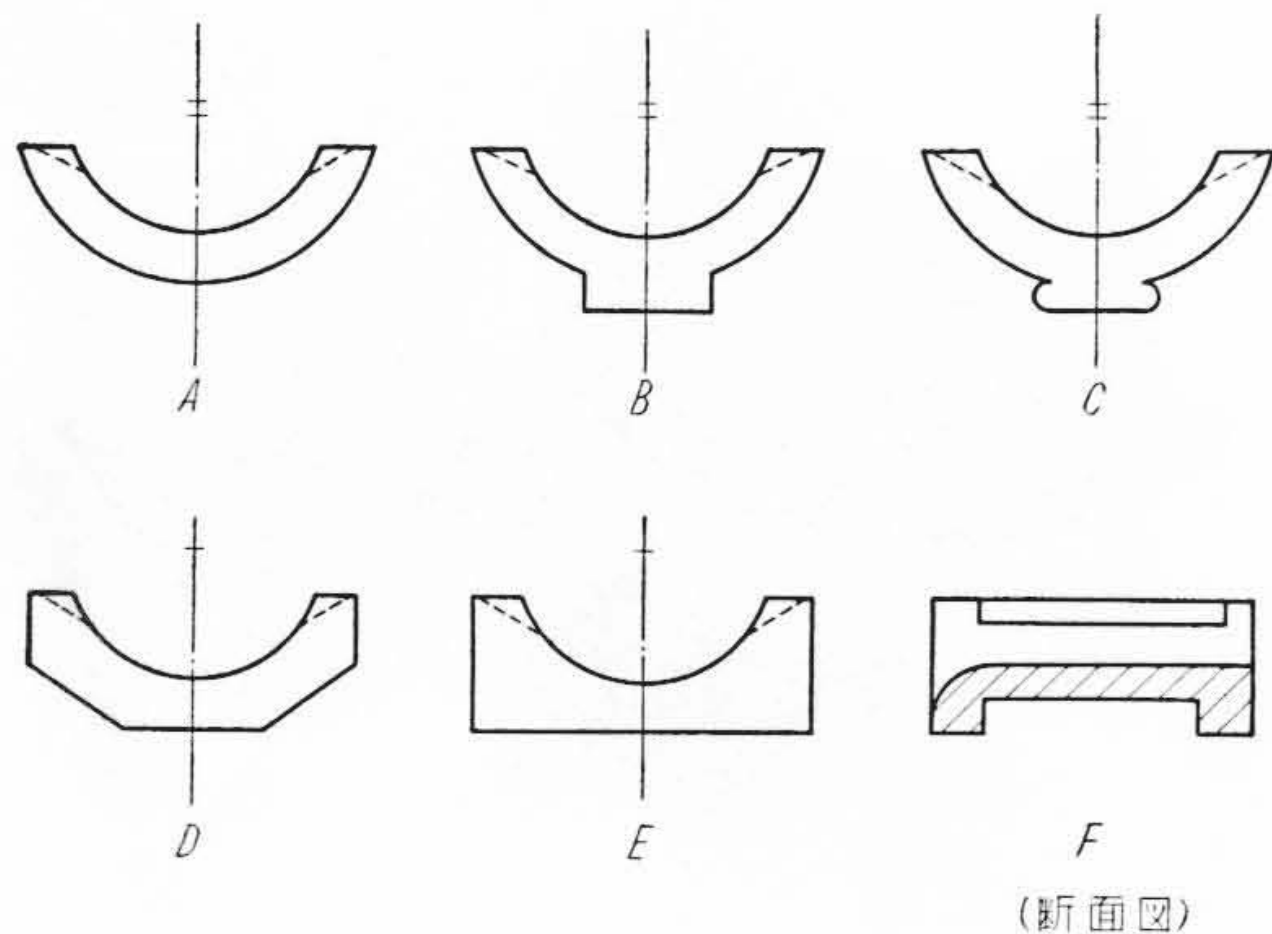
第21図 偏肉にした軸受の形状

ば経済的である。使用の条件に応じてこのような軸受も選択の対称の一つにとりあげることは重要である。

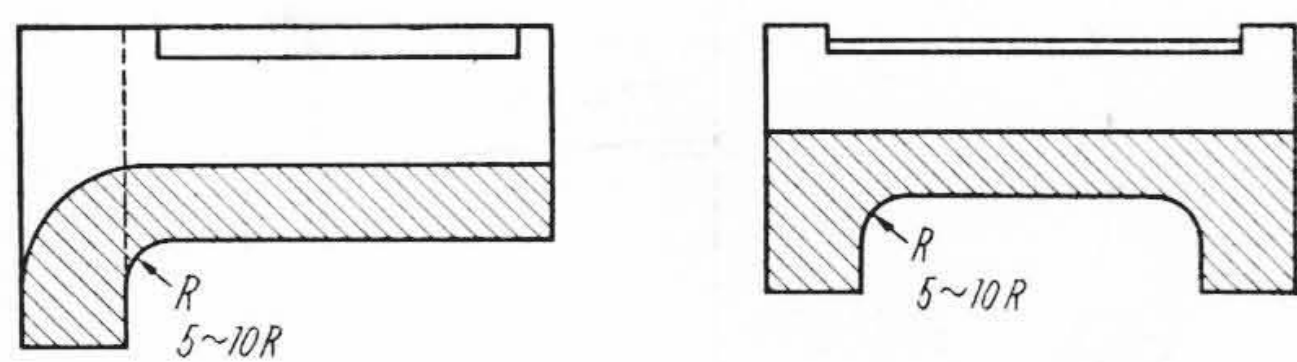
8.4 肉厚

合成樹脂軸受は第20図に示す斜線部の摩耗が大きく、側面の摩耗はあまり大きくないので設計にあたっては均一な肉厚形状の軸受はできるだけさけて第21図に示すように偏肉形状に製作することが必要である。この場合偏肉厚みは圧延荷重によっていくぶん異にする必要がある。

また、軸受は鞍に取り付ける方法の違いによって第22



第22図 軸受の形状



第23図 補強の面取りをした軸受

図に示すようないろいろの形状が使用されているのであるが、E、Fの形状は肉肉が多くなり経済的でないので、できるだけ使用をさけるべきである。

8.5 その他

軸受を使用する際に軸とのなじみが悪く、衝撃荷重が間歇的に加わるような場合にスリー部とカラー部の境からヒビわれの発生が見られるので、この現象を防ぐため第23図に示すように5~10程度の面取りをすることも必要である。

9. 軸受使用上の注意事項

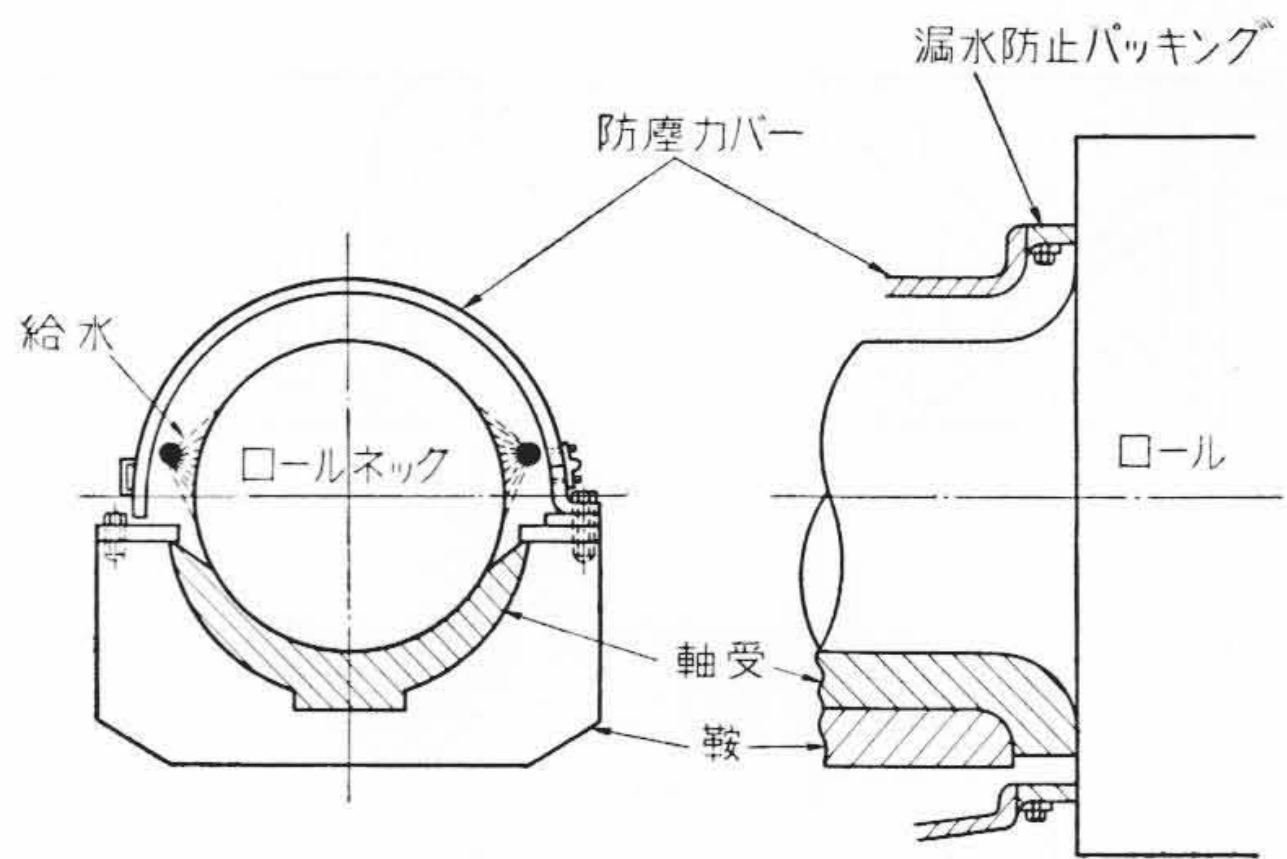
合成樹脂軸受を使用する場合には上述のほかなお二、三実状に即して取扱上、下記に示すような考慮が必要である。

9.1 取付上の注意

合成樹脂軸受は成型後多少の変形が考えられる。なじみ性が良好であるため鞍との多少のあたりは支障ないが、無理の嵌込みは異状摩耗や割れを生ずる原因となりロールの破損なども考えられる。それゆえ取付上無理がないよう調査し、ロール芯と軸受の中心線が一致するように取り付けるべきである。

9.2 防塵装置

軸の研磨は完全に行われ、清水を給水してもスケールやダストなどの硬い異物が軸受面にはいった場合、軸面は疵付き軸受の摩耗は速くなる。特に製鉄用圧延機では下ロールに異物はいりやすいから第24図に示すように簡単なカバーを付けることが必要である。



第24図 防塵装置例

またこのカバーで軸受の鏝部まで包蔵すると水がロール面や製品にかかるのを防ぐことができる。

9.3 防 銹

ロール軸面の腐蝕が原因して軸面が荒れ軸受の寿命が短くなることがあるから、運転休止のときは油かグリースを塗り軸面を防銹する必要がある。本文で述べる耐摩耗特性を有する材料を使用し、設計上、使用上、色々の注意をするときには軸受の圧延トン数は第6表に示すようになる。このトン数は、砲金、バビットそのほか金属性軸受に比べて非常に大きく経済的にすぐれた長所を有しているといえることができる。

これらの油やグリースは次の運転において潤滑剤として決してマイナスにならないことは実験により明らかである。

10. 結 言

フェノール樹脂、フラン樹脂軸受は鉄鋼圧延作業に広く用いられている。その特性は本文で述べたようにすぐれたものであって、その形状と使用条件が適切なきは摩耗量が少なく、長時間の使用に耐える性質を有している。このような特性を有しているためフェノール樹脂、フラン樹脂軸受は鉄鋼圧延作業のほか炭車メタル、そのほか一般用機械類の軸受としても広く使用される傾向にあるので、本文で述べた内容が今後その使用の増加に役立てば幸いである。

終りに実験に協力した黒沢勝君に深謝する。

参 考 文 献

- (1) 大野： 軸受 (1945)
- (2) 磯野，石田： 日立評論 35, 593 (昭28-3)
- (3) 田辺： 日立評論 23, 635 (昭15-12)
- (4) 水村： 軸受の負荷理論 (1943)
- (5) 川崎： オイルレスベアリング (1955)
- (6) Engineering Plastic A. M. I. A. E. (1946)
- (7) ドイツ Jaroslow (軸受文献)