

凹円弧歯形をもつ鼓形ウォーム歯車 Hourglass-worm Drives with Concave Arc Tooth Profile

景 浦 敬 次 郎* 内 田 昭 就*

内 容 梗 概

コンウォーム歯車のような性能をもち、しかも製作組立の容易なものを作る目的で、円弧歯形をもつ鼓形ウォームとはすば平歯車とを組合せたウォーム歯車について研究した。

インボリュート歯形をもつ鼓形ウォームとはすば平歯車とを組合せたウォーム歯車は、組立に誤差があると、歯当りは必ずウォームの端部に来て、その際はすば平歯車の運動に断続あるいは干渉などの不都合を伴う。我々は組立誤差に見合うはすば平歯車の微小変位を解析的に取扱うことによつて、このことが理論上不可避であることを明らかにした。

鼓形ウォームとはすば平歯車を組合せたウォーム歯車はウォームホブを必要としないなど小型量産のウォーム歯車としては多くの長所を有するにもかかわらず、今日一般に使用されないのは、上述の欠点に依るものであると考え、我々は適当に設計された凹円弧歯形を提案し、前と同様にして解析した結果、中心距離がつまつた場合およびはすば平歯車とその回転方向と逆にずれた場合には片当りを起さず、その際はすば平歯車の運動もまた連続であつて干渉をも伴わぬことを理論的に示した。

円弧歯形とインボリュート歯形を比較して実用試験を行つたところ、円弧歯形は極めて優秀な成績を示し、理論的解析を裏付けするとともに、高い信頼性を有することを確認し得たので、実用化の第一歩として、攪拌式小型電気洗濯機の減速歯車として採用し、性能を著しく向上させることが出来た。

〔I〕 緒 言

今日一部に使用されている鼓形ウォームとはすば平歯車とを組合せたウォーム歯車はインボリュート歯形をもつており、小形量産のウォーム歯車として種々の長所をもっているが、欠点として組立誤差があると歯当りは必ずウォームの端部に来る。この片当りのため歯車としての性能を低下させ、ひいては磨耗を早めることにもなる。そのためにはすば平歯車には高級な材料を使用しなければならない。また小形機器に使用される場合需要家において分解手入が行われることも予想せねばならず、この時における歯車の組立は最良の状態を期待し得ないから、組立誤差があつても片当りを起さない、すなわち組立精度に対する感度の鈍い歯車が望ましい。

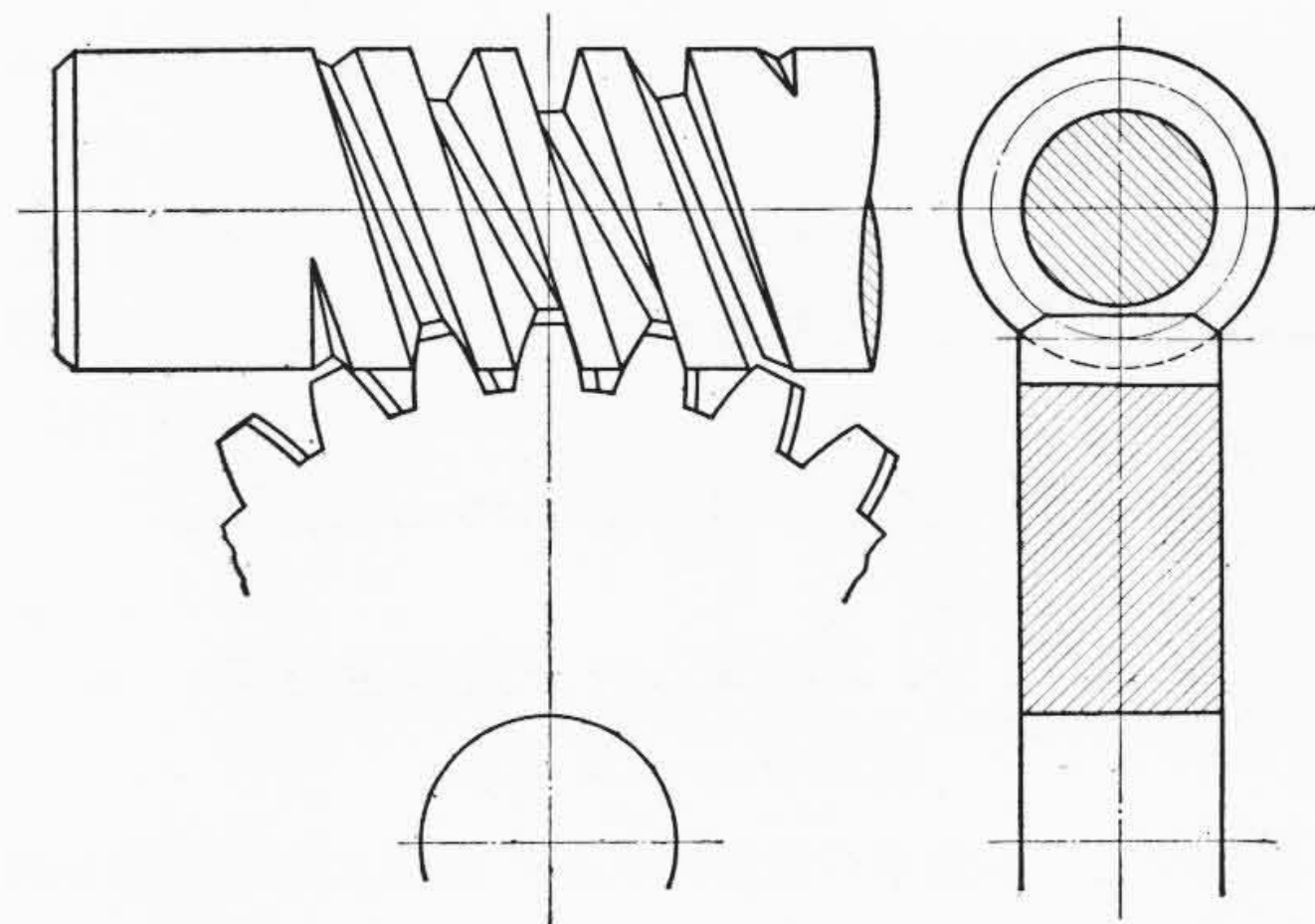
こゝに筆者等は適当に設計された凹円弧歯形を提案し、これによれば若干の組立誤差があつても片当りを起さないことを理論的に明らかにすることが出来た。

なお実用試験の結果も極めて優秀な成績を収め、現在小型電気機用として実用化され、大きな効果を挙げている。以下その大要を紹介する。

〔II〕 鼓形ウォームとはすば平歯車との組合せ

鼓形ウォームとはすば平歯車との組合せを第1図に示す。ウォームは鼓形であつて、切刃がはすば平歯車の歯形を表わしている歯車型カッタにより成形される。この場合真の歯形の嚙合作用はないのであつて、特殊なカムと考えた方が適切なものである。

* 日立製作所多賀工場



第1図 鼓形ウォームとはすば平歯車の組合せ
Fig. 1. Pair of Hourglass Worm and Helical Gear

(1) 本歯車の特長

(i) はすば平歯車の工作が容易である。通常のウォーム歯車では小形の場合、ウォームホイールを歯切するホブが小さくなり、切削能率、寿命がはなはだしく低下し、場合によつては実用にならない。また中心距離を一定に保つには、セレーテッドホブのごときものを使用しなければならないが、これは量産には適しない方法である。はすば平歯車ではこの心配がいらぬ。

(ii) ウォームは歯車型カッタにより簡単に切削される。なお同時に3枚以上の刃で切削するから切削能率が良い。

(iii) はすば平歯車の軸方向に対するウォームの位

置が、普通型ウォームのごとく限定されず自由であり、軸間の角度にも余裕があるのでギヤケースの工作が楽である。ウォームの軸方向の位置はスラストベアリングで調整すれば良いので組立も通常のウォームに比して簡単である。

(iv) 普通型ウォームでは小形になると前述のごとくウォームホブによる歯切が実用にならなくなる。ホイールをはずば平歯車としてネジ歯車の形にすれば、歯切は容易であるが、歯は点接触となり、許容負荷、耐磨耗度が著しく低下する。

本歯車は線接触をするので、この点非常に有利である。

(2) 本歯車の欠点

(i) ウォーム切削用カッタの寿命が短い。成形式カッタであるから、カッタの再研磨により歯形が崩れ使用範囲が狭い。

(ii) 組立で当りが出し難い。組立誤差があると歯当りがウォームの端に来て片当りとなる。

(iii) はずば平歯車の軸方向への接触線の移動範囲が狭く、その結果接触域が狭いので、普通型ウォームに比して耐磨耗性が劣る。

上述のごとく、本歯車は小型量産のウォーム歯車としては好適と考えられるにもかゝらず、現在動力伝達用としてほとんど使用されていないのは、その欠点、特に(2)の(ii)が大きな理由ではないかと思われる。

〔III〕 インボリュート歯形をもつ 鼓形ウォーム歯車

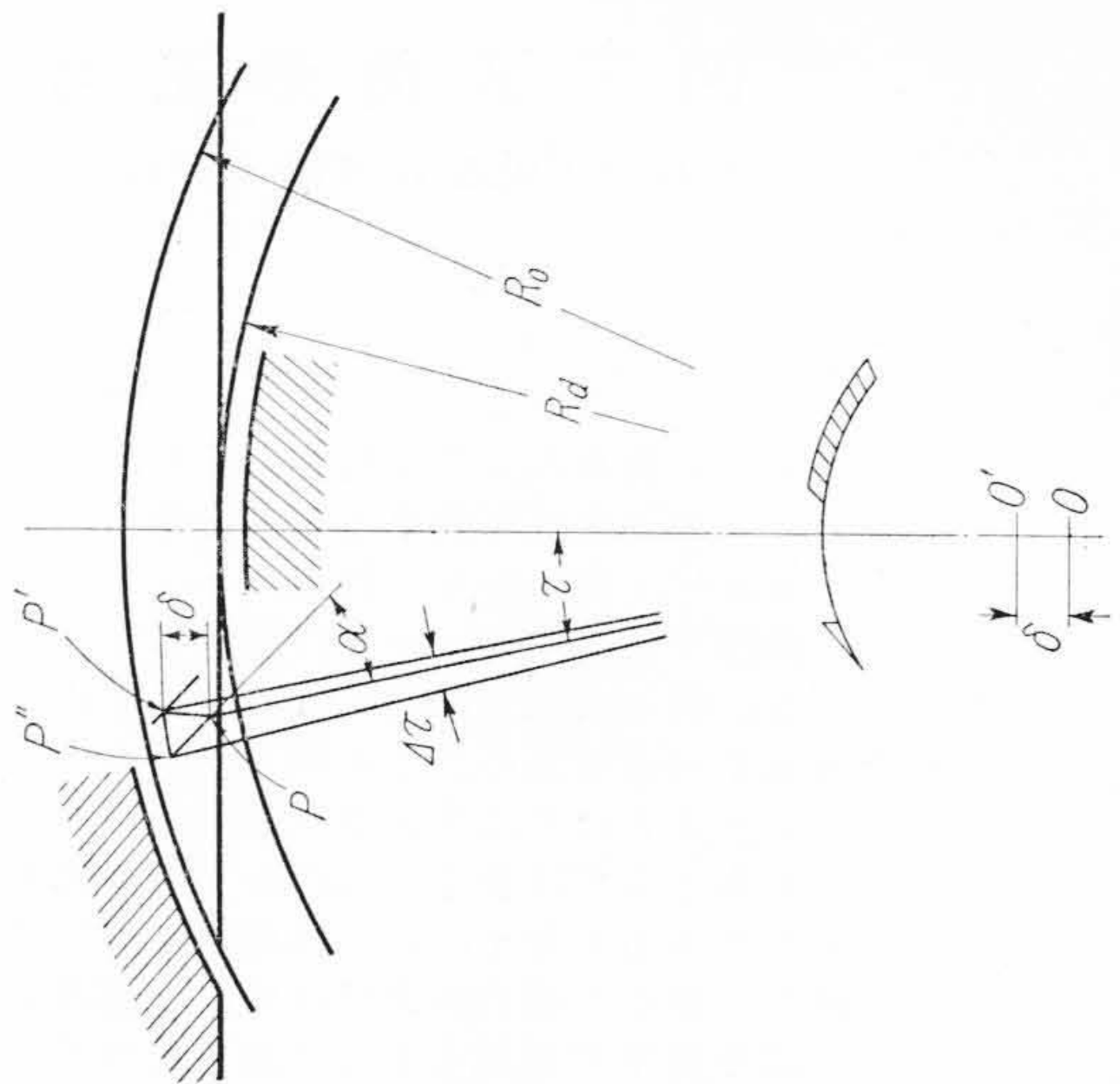
鼓形ウォーム歯車の歯形は任意の曲線または直線を選ぶが、最も多く使用されているのはインボリュート歯形のものであつて、これについては新莊氏の研究⁽¹⁾および石田氏⁽²⁾の実験が報告されている。筆者らも当初インボリュート歯形を使用し、はずば平歯車の材料に高級なものを使用すれば良好な成績を得ることを確認したが、片当りの問題は解決するに到らなかった。

組立誤差がある場合、歯車中心間の距離が変わっても、はずば平歯車がウォームの軸方向にずれても、いずれも当りはウォームの端部に来る。コーンウォームについては宮崎氏の研究⁽³⁾がある。我々はインボリュートの場合につきこれを解析的に取扱つてみた。本章では一例として中心距離のつまつた場合を説明する。

第2図のごとく中心距離が δ だけつまつた場合、歯形上の点 P は P' に移り、そこで干渉を避けるためさらに変位して P'' に来る。

$$\widehat{P'P''} = \delta (\cos \tau \cdot \tan \alpha + \sin \tau)$$

こゝに τ : P 点の原点よりの回転角



第2図 中心距離がつまつた場合
Fig. 2. Effect of Shortened Center Distance

α : P 点の圧力角

P 点の半径 R とし $\widehat{P'P''}$ の中心角 $\Delta\tau$ を変位角と呼ぶとすると

$$\Delta\tau = \frac{\delta}{R} (\cos \tau \cdot \tan \alpha + \sin \tau)$$

$\Delta\tau$ は干渉を避けるために変位すべき角度であるから、 $\Delta\tau$ の大きいところが当ることになる。

ウォームの歯先に P がある場合は

$$R = \frac{R_d}{\cos \tau} \dots\dots\dots (1)$$

$$\begin{aligned} \Delta\tau &= \frac{\delta}{R_d} (\cos^2 \tau \cdot \tan \alpha + \sin \tau \cdot \cos \tau) \\ &= \frac{\delta}{R_d} h(\tau) \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

$$\text{たゞし } h(\tau) = \cos \tau (\cos \tau \cdot \tan \alpha + \sin \tau) \dots\dots (3)$$

R_d : はずば平歯車の刻み円半径よりウォームのアデンダムを引いた長さ

はずば平歯車の歯先に P がある場合は

$$\begin{aligned} \Delta\tau &= \frac{\delta}{R_0} (\cos \tau_0 \cdot \tan \alpha_0 + \sin \tau_0) \\ &= \frac{\delta}{R_d} \cdot \frac{R_d}{R_0} (\cos \tau_0 \cdot \tan \alpha_0 + \sin \tau_0) \dots\dots (4) \end{aligned}$$

こゝに τ_0 などは、はずば平歯車歯先の値である。

今特に τ_0 をウォーム歯先の回転角 τ なる場合のその歯形の歯先の回転角とすると τ_0 は τ の函数となる。すなわち

$$h_0(\tau) = \frac{R_d}{R_0} (\cos \tau_0 \cdot \tan \alpha_0 + \sin \tau_0) \dots\dots (5)$$

かくして $h(\tau)$, $h_0(\tau)$ より歯当りの位置を知ることが出来る。

(1) 歯当りの検討

(2) および(4)式において α , τ_0 は次式で与えられる。

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{R_b}{R_d} \cos \tau \right) \dots \dots \dots (6)$$

$$\tau_0 = \tau - \text{inv } \alpha + \text{inv } \alpha_0 \dots \dots \dots (7)$$

こゝに R_b : インボリュート基礎円の半径

かくして $h(\tau)$, $h_0(\tau)$ を例につき計算し、回転角と変位角との関係を示すと第3図のごとくなる。

ある回転角 τ について考えると $h_0(\tau)$ が $h(\tau)$ より常に大きいから、一つの歯形についてははすば平歯車の歯先のみが当る。また $h_0(\tau)$ については回転角が大きい程 $h_0(\tau)$ が大きく、したがって $\Delta\tau$ も大きいからウォームの端部が最も当ることは明らかである。

(2) はすば平歯車の遅速現象

中心距離がつまつて片当りを生じると、はすば平歯車は等速運動をなしえなくなり、断続した遅速運動をするようになる。今歯当りははすば平歯車の歯先に来るからこゝだけを考えればよい。第4図にはすば平歯車歯先の回転角と変位角との関係を示す。 $h'(\tau_0)$ は $h_0(\tau)$ を τ_0 の函数と考えたものである。ある歯が噛合を終つてウォームの端Aにある時、その次の歯は1ピッチ遅れてBにある。

その時Bではウォームとはすば平歯車との間に

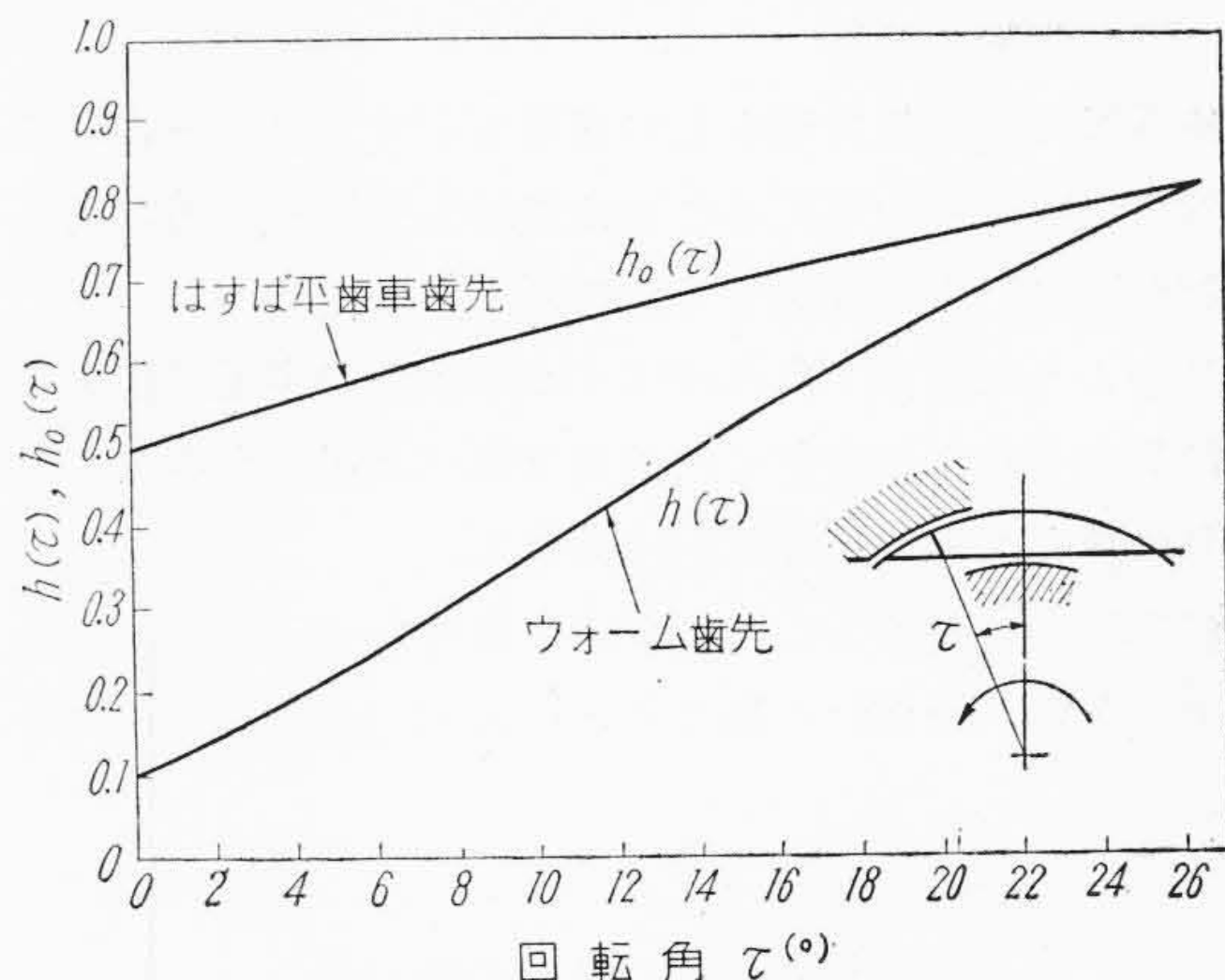
$$\Delta\tau_A - \Delta\tau_B = \frac{\delta}{R_d} \{h'(\tau_{0A}) - h'(\tau_{0B})\} \dots \dots (8)$$

だけ間隙がある。Aのはすば平歯車の歯先はウォームの外周に接触したまゝ回転運動は停止し、ウォームがBで間隙をうめ噛合を開始するまで停止している。Bで噛合が始まると $\Delta\tau_A - \Delta\tau_B$ に相応する角加速度を受けてAに到り、前述の運動をくり返す。かゝる性質は歯車としてはまことに好ましくない性質であるが、インボリュート歯形を用いている限り改善することは出来ない。(2), (4) 式に明らかなごとく、圧力角が大きい程 $\Delta\tau$ は大きいのであるが、インボリュート歯形では、はすば平歯車の歯先で圧力角が最大で、歯元で最小であるからこの性質は当然である。

これが丁度逆になつた歯形であれば、この性質が改善されるのではないかと考えられ、凹曲線の歯形に着目した。凹曲線歯形をもつ鼓形ウォームとはすば平歯車とを組合せた歯車装置(特許申請中)は全く前例がなく、その性質も全然不明であつて、今後の開発にまつものである。

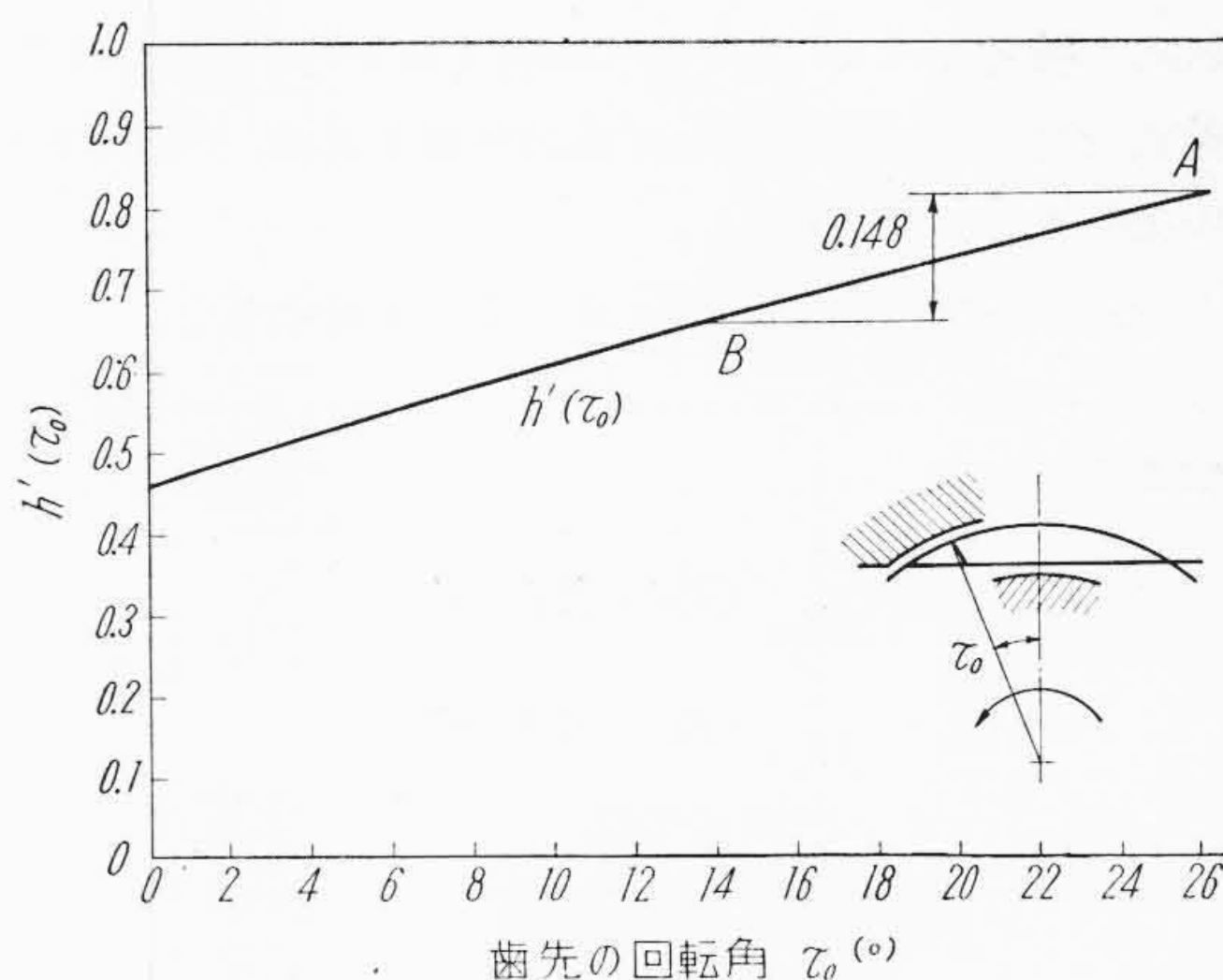
〔IV〕 凹円弧歯形をもつ鼓形ウォーム歯車

凹曲線歯形の一例として凹円弧歯形を取りあげ、その設計および噛合性能を調べてみた。歯形曲線として円弧を選んだのは、はすば平歯車の設計および歯切工具の設計に際し、数学的取扱いに便利である以外には意味をもたない。



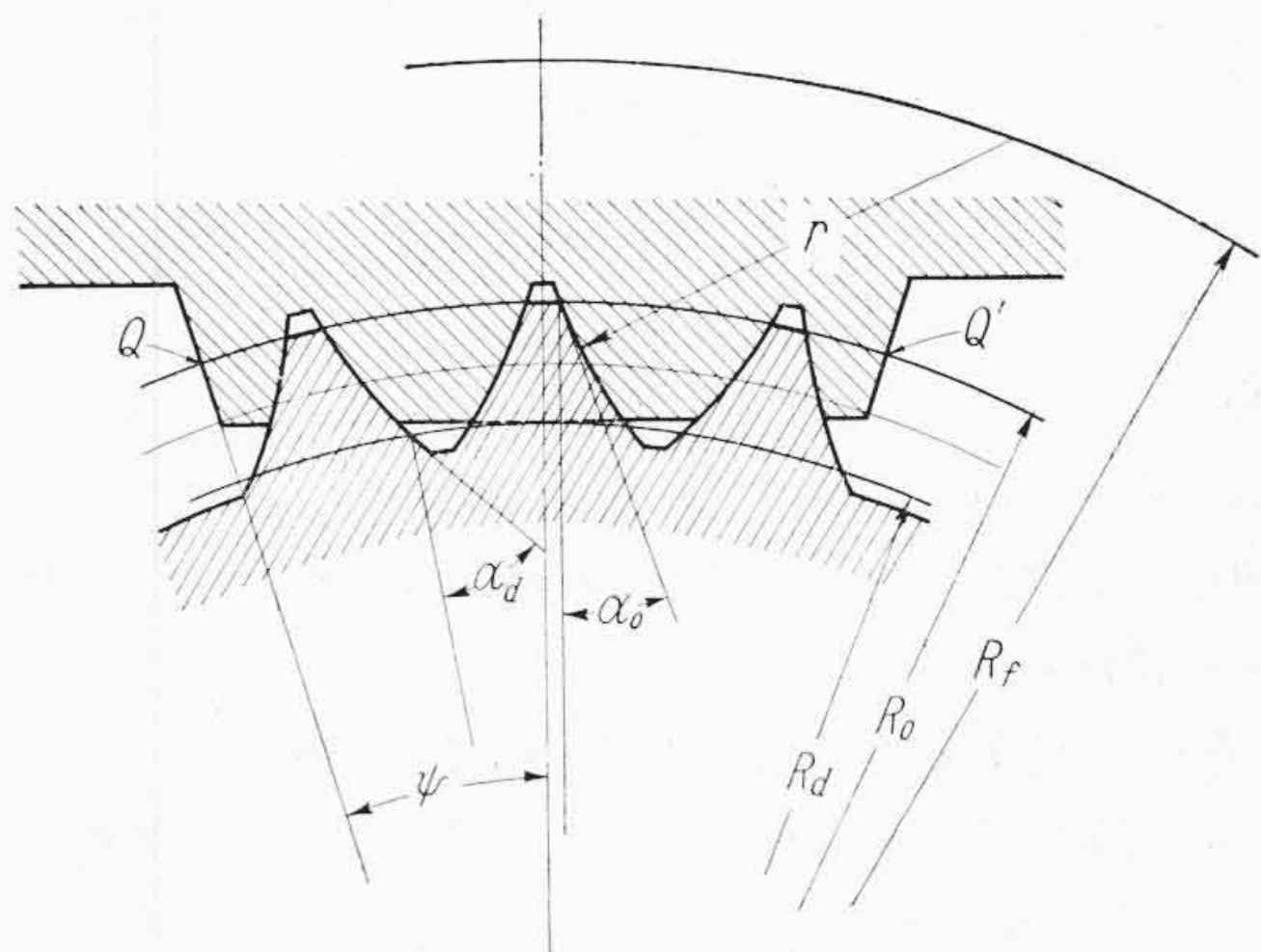
第3図 回転角と変位角との関係 (インボリュート歯形の場合)

Fig. 3. Relation between Angular Rotation and Angular Displacement (Case of Involute Tooth)



第4図 歯先の回転角と変位角との関係 (インボリュート歯形の場合)

Fig. 4. Relation between Angular Rotation and Angular Displacement at the Top of Helical Gear (Case of Involute Tooth)



第5図 凹円弧歯形
Fig. 5. Concave Arc Tooth Profile

(1) 歯形的设计

第5図に凹円弧歯形をもつ歯車を示す。ウォームに必要以上の噛合長を与えることは設計を困難にするので、両端を図のごとく切除してある。

このような歯形であればはずば平歯車の歯元の圧力角が歯先のそれより大きく、前章で述べた歯先左端での片当りの緩和が期待出来るわけである。

歯形決定の条件としてつぎの2条件を考えた。

中心距離がつまつた場合ウォームの左端で当らぬこと。

$$\alpha_d \geq \alpha_0 + \phi \quad \dots\dots\dots (9)$$

ここに α_d : はずば平歯車歯元の圧力角

$$\phi = \frac{m\pi}{Z_g}$$

m : 噛合率

Z_g : はずば平歯車の歯数

(9) 式によればQ点で当らずQ'点で当ることが期待される。接触点はQ'より左に移動するから、これだけでは確実でなく実際に計算して検討を要するが、ほぼ(9)式を条件式としてよい。

ウォーム右端においてアンダーカットせぬこと。

$$\alpha_0 \geq \phi \quad \dots\dots\dots (10)$$

第5図より

$$\sin \alpha_d = \frac{1}{2R_d r} (R_f^2 - R_d^2 - r^2)$$

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{2R_0 r} (R_f^2 - R_0^2 - r^2)$$

ここに r : 円弧の半径

R_f : 円弧の中心半径

$$\alpha_0 = \phi$$

とおき、(10) 式より

$$R_f^2 - R_0^2 - r^2 \geq 2R_0 r \sin\left(\frac{m\pi}{Z_g}\right) \quad \dots\dots\dots (11)$$

(9) 式より

$$R_f^2 - R_d^2 - r^2 \geq 2R_d r \sin\left(\frac{2m\pi}{Z_g}\right) \quad \dots\dots\dots (12)$$

(11), (12) 式より

$$r_{\max} = \frac{R_0^2 - R_d^2}{2 \sin\left(\frac{m\pi}{Z_g}\right) \left\{ 2R_d \cos\left(\frac{m\pi}{Z_g}\right) - R_0 \right\}} \quad \dots\dots\dots (13)$$

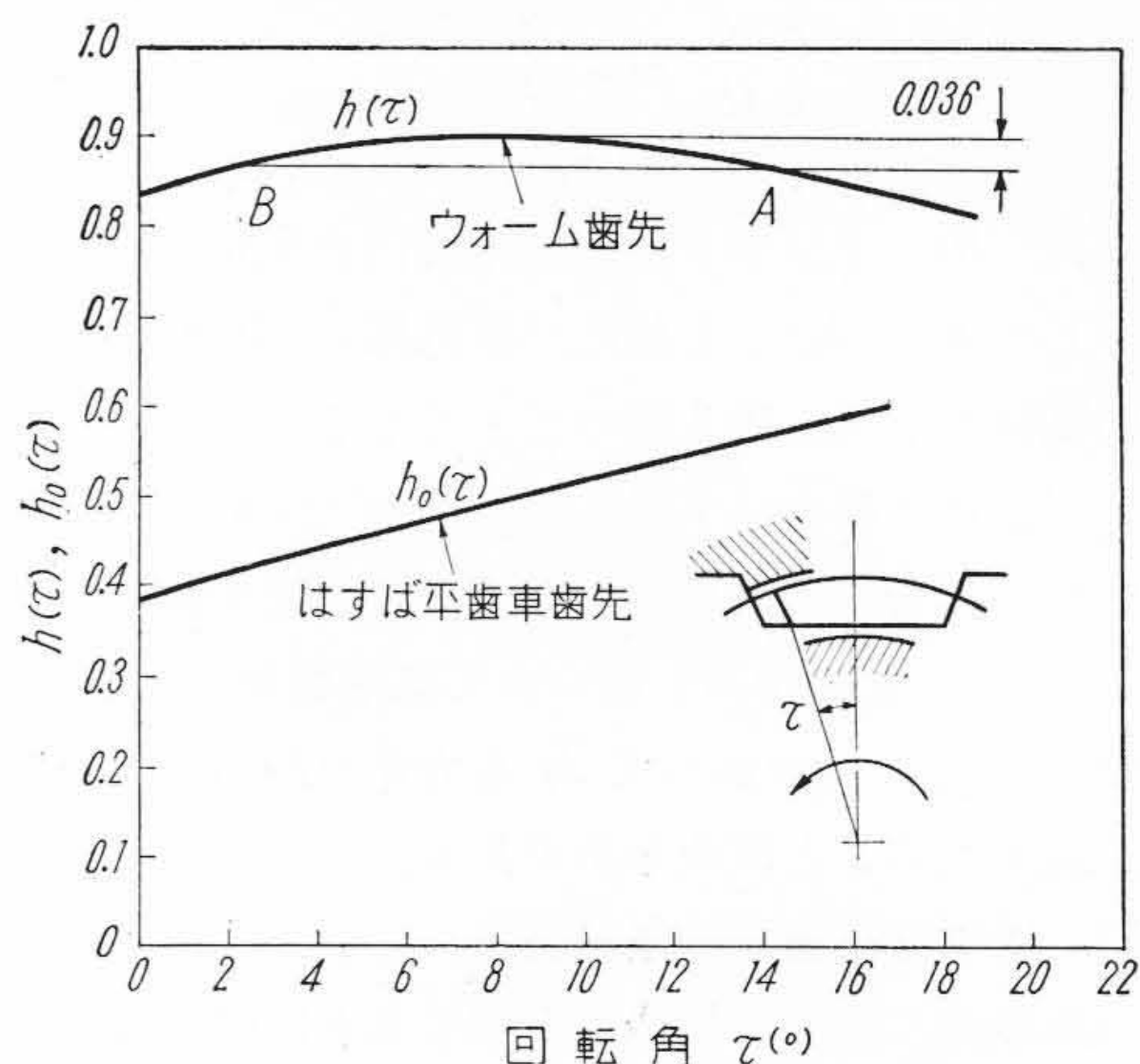
R_0, R_d, Z_g, m が決まれば歯形が求まる。

以上により歯形を設計したものゝ歯当り特性は実際の数値につき計算してみなければ明確には判らない。つぎにその詳細を検討してみる。

(2) 中心距離がつまつた場合の歯当り特性

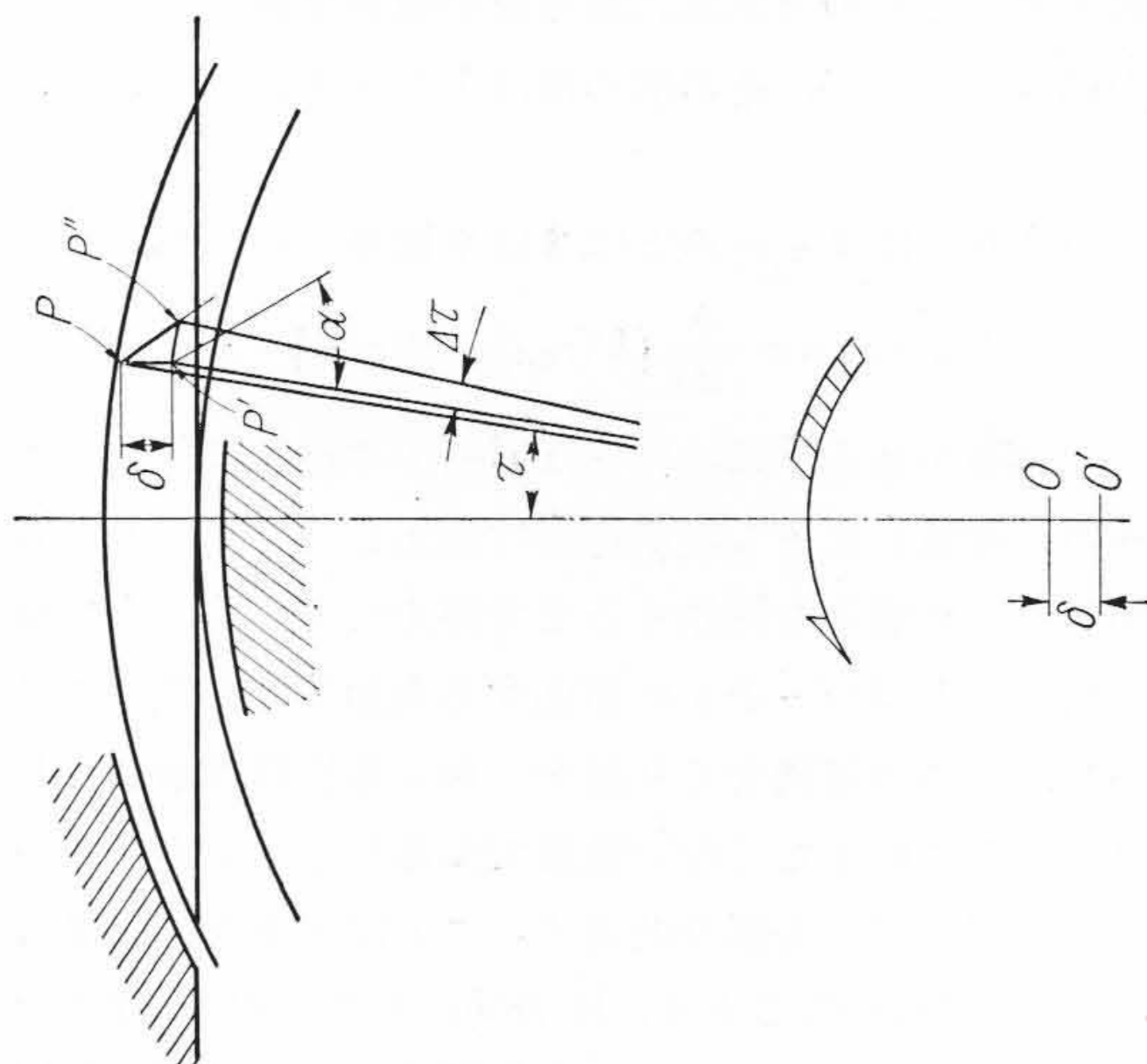
中心距離が δ だけつまつた場合〔III〕と同様に考えて(6), (7) 式の代りに

$$\alpha = \sin^{-1} \frac{R_f^2 - R^2 - r^2}{2Rr} \quad \dots\dots\dots (14)$$



第6図 回転角と変位角との関係
(凹円弧歯形の場合)

Fig. 6. Relation between Angular Rotation and Angular Displacement
(Case of Concave Arc Tooth)



第7図 中心距離が延びた場合
Fig. 7. Effect of Extending of Center Distance

$$\tau_0 = \tau - \cos^{-1} \frac{R_f^2 + R^2 - r^2}{2R R_f} + \cos^{-1} \frac{R_f^2 + R_0^2 - r^2}{2R_0 R_f} \quad \dots\dots\dots (15)$$

(1), (3), (5) 式から $h(\tau), h_0(\tau)$ を前と同じ例について計算し、回転角と変位角との関係を表わすと第6図のようになる。

ある回転角 τ については、常に $h(\tau)$ は $h_0(\tau)$ より大きいから、常にウォームの歯先が当る。また $h(\tau)$ は $\tau=8^\circ$ で最大となるから、ウォームの端と中心線との中央や中心線よりのところが最も強く当り、ウォームの端部は絶対に当らない。

(3) はずば平歯車の遅速現象

第6図において、ある歯がAにある時、つぎの歯は1

ピッチ遅れてBにある。A, Bにおいて $h(\tau)$ すなわち $\Delta\tau$ が一致した時、噛合はBにある次の歯に円滑に移るわけである。このようにしてインボリュート歯形において見られたはずば平歯車の回転停止のごとき断続運動がなく、噛合の移動は連続的である。角加速度の変化も同様に連続的であつて、かつその大きさもインボリュート歯形の場合より遥かに小さく、本例ではわずかに1/4に過ぎない。これは凹円弧歯形の特長の一つである。

〔V〕 中心距離が延びた場合の歯当り特性

第7図のごとく中心距離が δ だけ延びた場合、歯形上の点PはP'に移り、ウォームとはずば平歯車の間にP'P''の間隙が出る。

$$P'P'' = \delta(\cos \tau \cdot \tan \alpha - \sin \tau) \dots\dots\dots (16)$$

(III) と同様にして、変位角 $\Delta\tau$ は、ウォームの歯先にPがある時は

$$\begin{aligned} \Delta\tau &= \frac{\delta}{R_d} (\cos^2 \tau \cdot \tan \alpha - \sin \tau \cdot \cos \tau) \\ &= \frac{\delta}{R_d} h(\tau) \dots\dots\dots (17) \end{aligned}$$

$$\text{ただし } h(\tau) = \cos \tau (\cos \tau \cdot \tan \alpha - \sin \tau) \dots (18)$$

またははずば平歯車の歯先にPがある時は

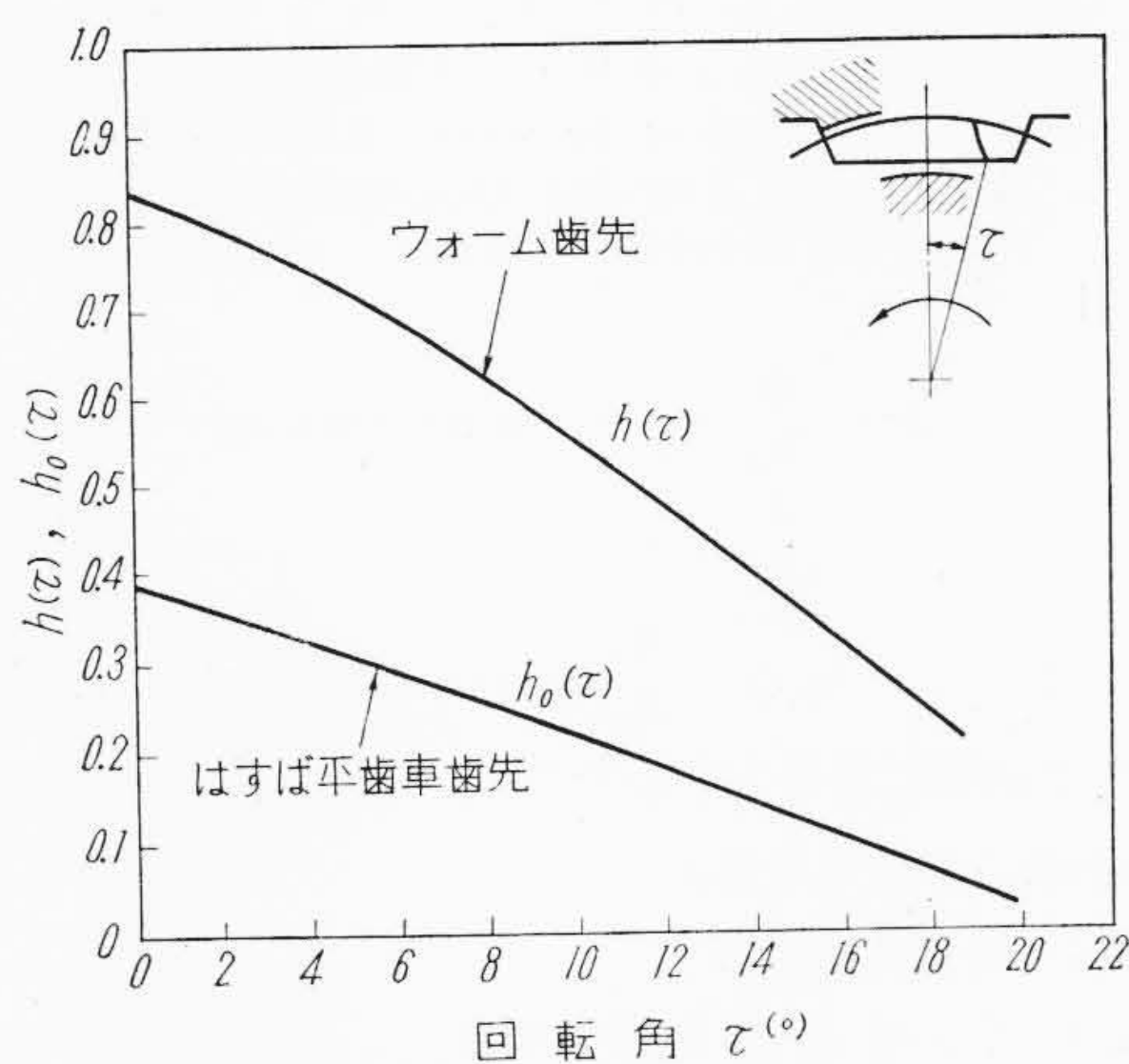
$$\begin{aligned} \Delta\tau &= \frac{\delta}{R_0} (\cos \tau_0 \cdot \tan \alpha_0 - \sin \tau_0) \\ &= \frac{\delta}{R_d} h_0(\tau) \dots\dots\dots (19) \end{aligned}$$

$$\text{ただし } h_0(\tau) = \frac{R_d}{R_0} (\cos \tau_0 \cdot \tan \alpha_0 - \sin \tau_0) \dots (20)$$

$\Delta\tau$ は間隙に見合う中心角であるから、 $\Delta\tau$ の小なるところが当ることになる。

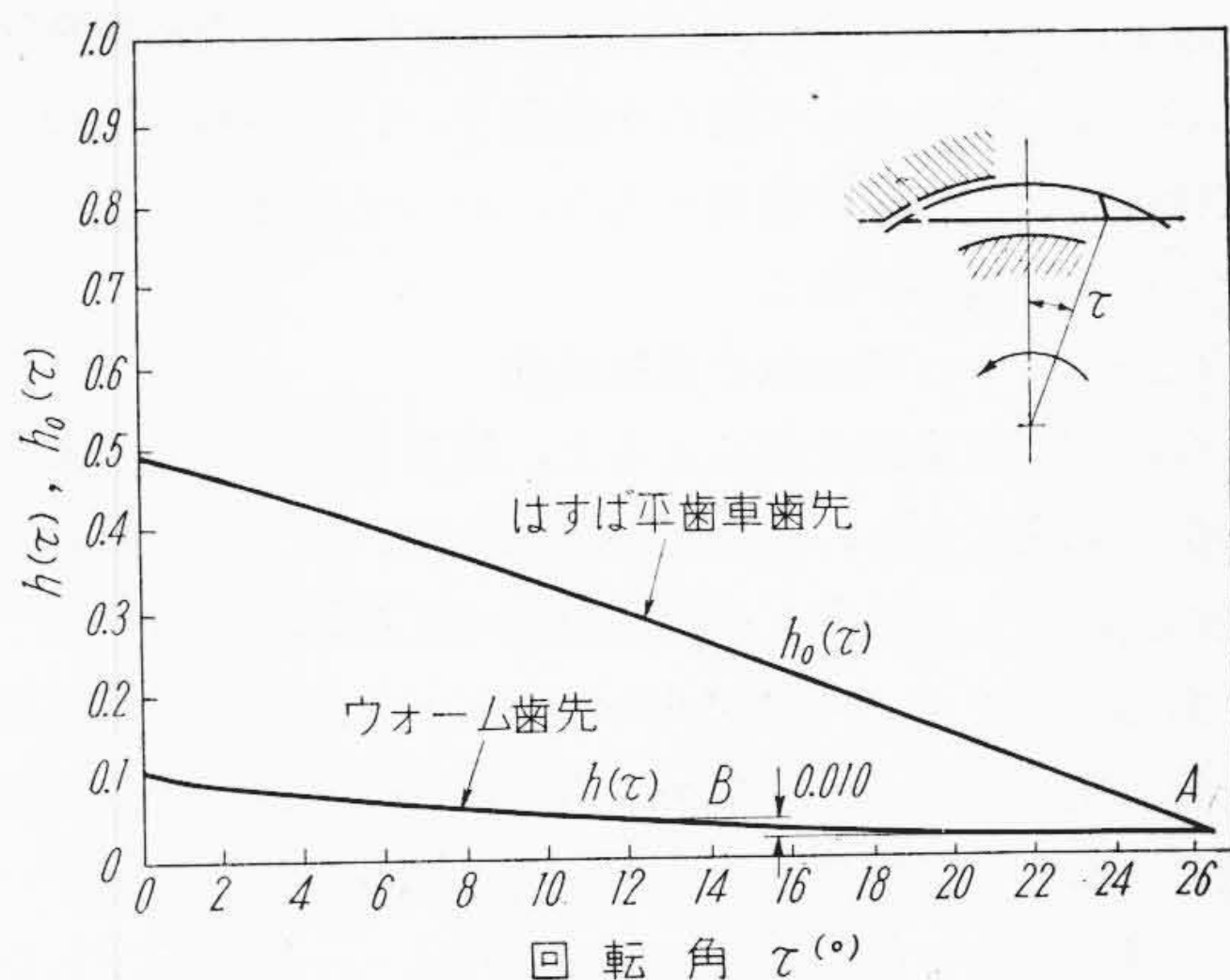
(1) 歯当りの検討

(a) インボリュート歯形の場合



第9図 回転角と変位角との関係 (凹円弧歯形の場合)

Fig. 9. Relation between Angular Rotation and Angular Displacement (Case of Concave Arc Tooth)



第8図 回転角と変位角との関係 (インボリュート歯形の場合)

Fig. 8. Relation between Angular Rotation and Angular Displacement (Case of Involute Tooth)

(20) 式における τ_0 は次式で与えられる。

$$\tau_0 = \tau + \text{inv } \alpha - \text{inv } \alpha_0 \dots\dots\dots (21)$$

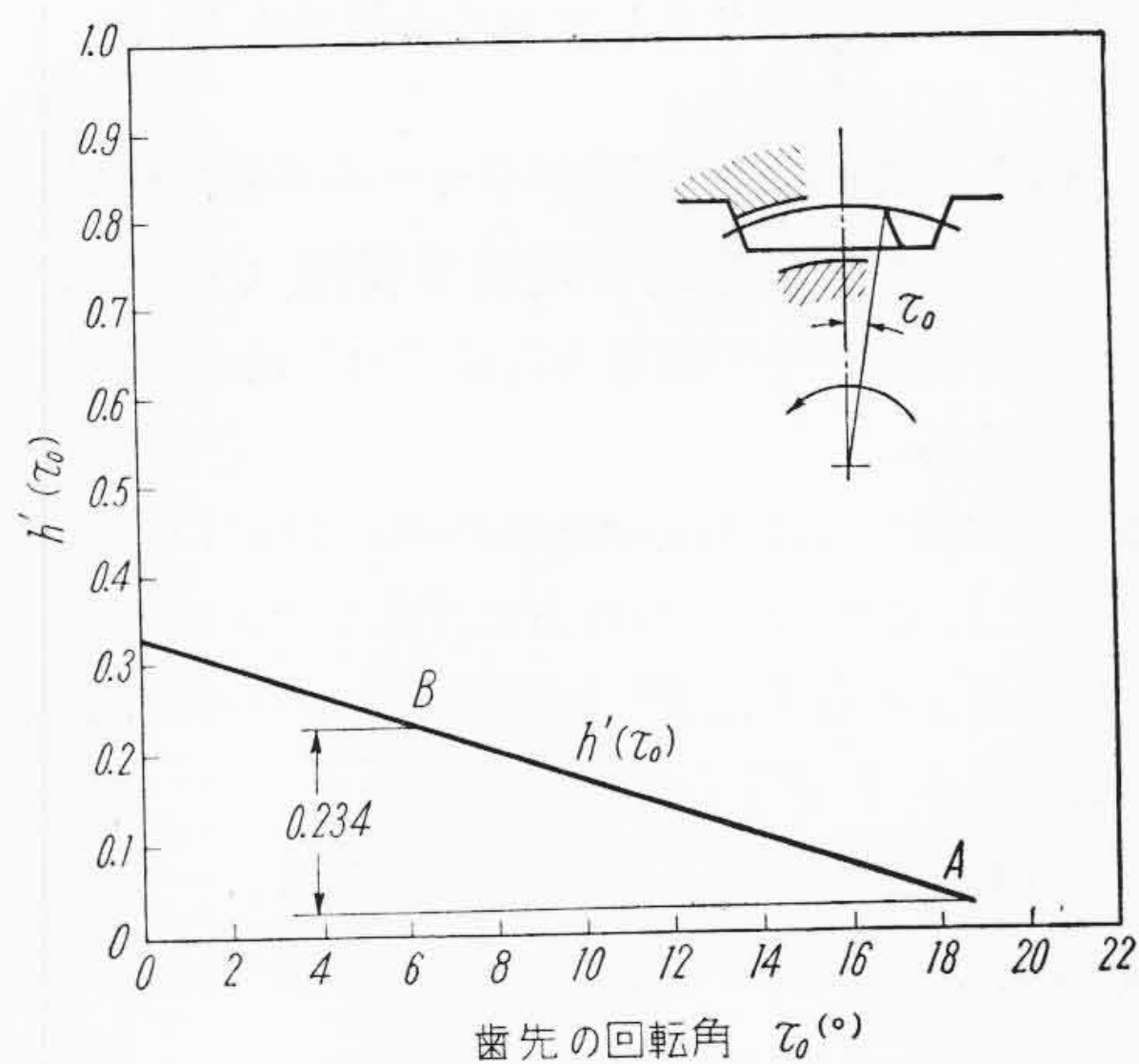
(1), (6), (21)の各式を用いて $h(\tau)$, $h_0(\tau)$ を計算し、回転角と変位角との関係を求めて第8図に示した。

ある回転角 τ について考えると $h(\tau)$ は常に $h_0(\tau)$ より小さい。すなわち一つの歯形については常にウォームの歯先が当る。また τ の大なる程 $h(\tau)$ すなわち $\Delta\tau$ が小さいから、ウォームの端部が当ることになる。

(b) 凹円弧歯形の場合

(20) 式における τ_0 は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \tau_0 &= \tau + \cos^{-1} \frac{R_f^2 + R^2 - r^2}{2R R_f} \\ &\quad - \cos^{-1} \frac{R_f^2 + R_0^2 - r^2}{2R_0 R_f} \dots\dots\dots (22) \end{aligned}$$



第10図 歯先の回転角と変位角との関係 (凹円弧歯形の場合)

Fig. 10. Relation between Angular Rotation and Angular Displacement at the Top of Helical Gear (Case of Concave Arc Tooth)

前と同様にして変位角と回転角との関係を求め第9図に示した。図によつて明らかな通り、一つの歯形についてははすば平歯車の歯先が当り、かつ τ の増加とともにウォームの端部が当る。

(2) はすば平歯車の遅速現象

今、凹円弧歯形を例にとると、歯当りははすば平歯車の歯先に来るから、そこだけを考えて、はすば平歯車歯先の回転角と変位角との関係を求めて第10図に示す。

ある歯がウォームの端Aから1ピッチ回転してBに来た時、次の歯がAにさしかゝる。はすば平歯車はBで接触しており、正規の回転角より $\frac{\delta}{R_d} h'(\tau_{0B})$ だけ遅れている。Aで噛合を開始するための遅れは $\frac{\delta}{R_d} h'(\tau_{0A})$ であるから、ウォームとはすば平歯車とは

$$\Delta\tau_B - \Delta\tau_A = \frac{\delta}{R_d} \{h'(\tau_{0B}) - h'(\tau_{0A})\}$$

だけ喰違つていて、噛合に入ることが出来ない。

実際にはウォームの端は面取りしてあるから、はすば平歯車はBにある歯で駆動されつゝウォームの溝に入つて行き、面取り部と接触し、ついで面取り部を滑りながら、その時の喰違い量に相応する急激な角加速度を受けて喰違い量を取戻し、新しい歯の噛合が始まる。そして歯はBに到る間に減速し再び遅れを生じる。

インボリュート歯形の場合もウォームの歯先について同様に考えればよい。第8図にその結果を示す。

以上中心距離が延びた場合の歯当り、および運動性能を考察したが、いずれもウォームの端部で当り、かつ噛合の開始に先立つて急激なる角加速度を受ける。これ等はいずれも歯車の性質上極めて好ましくないことであるから、中心距離を延ばすことは絶対に避けなければならない。また使用中の不測の事態をも考えてウォームの端部は必ず相当の面取りをしておく必要がある。

〔VI〕 はすば平歯車がウォームの軸方向にずれた場合の歯当り特性 (その 1)

はすば平歯車はその回転方向にずれた場合の歯当り特性を考察する。

第11図においてはすば平歯車の中心OがO'に移つたとする。これはウォームが右方にずれたのと同様である。その時歯形上の点PはP'に移り、ウォームとはすば平歯車との間にP'P''の間隙が出来る。

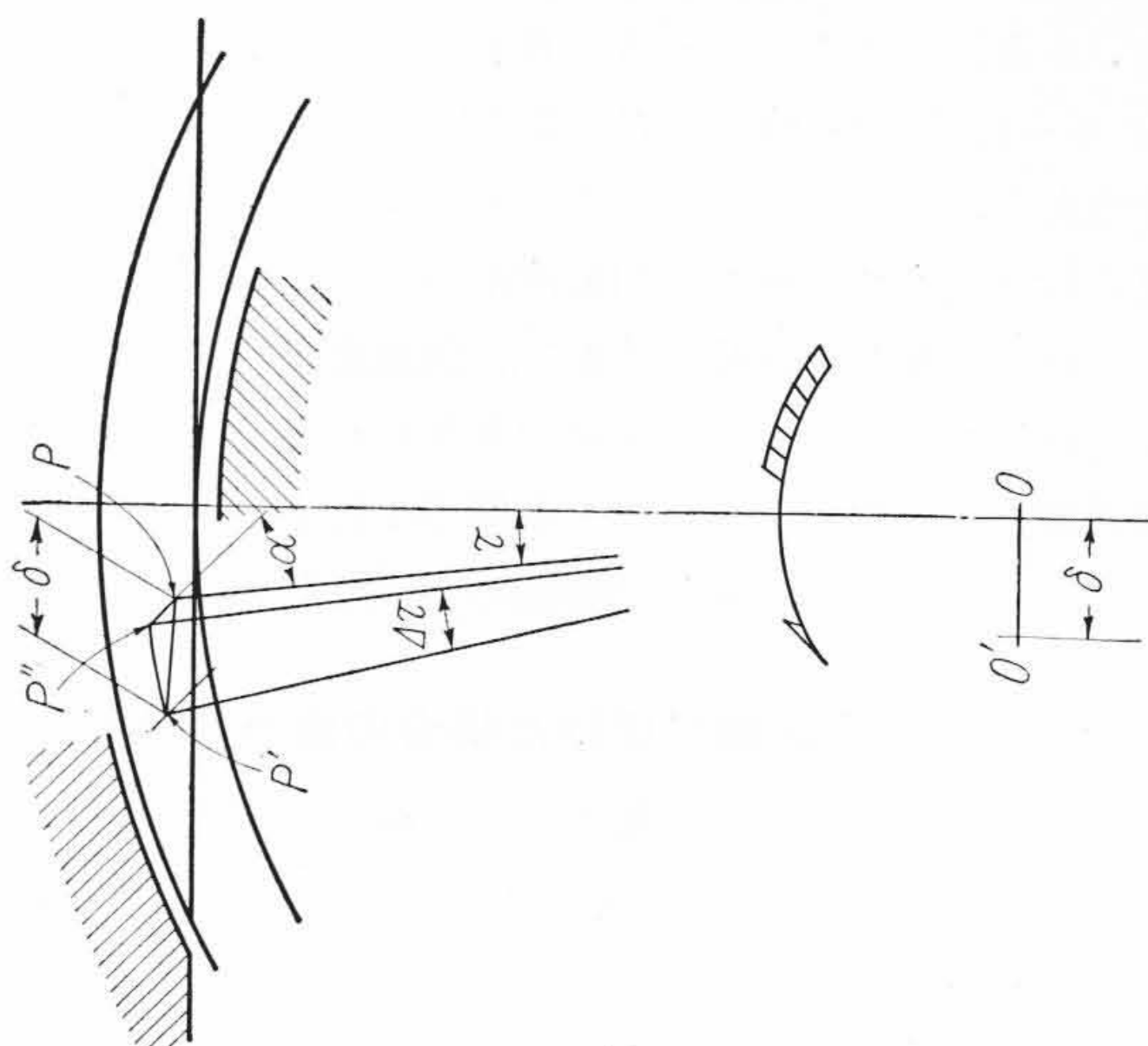
$$P'P'' = \delta(\cos \tau - \sin \tau \cdot \tan \alpha) \dots \dots \dots (23)$$

前と同様にして、ウォームの歯先にPがある時は

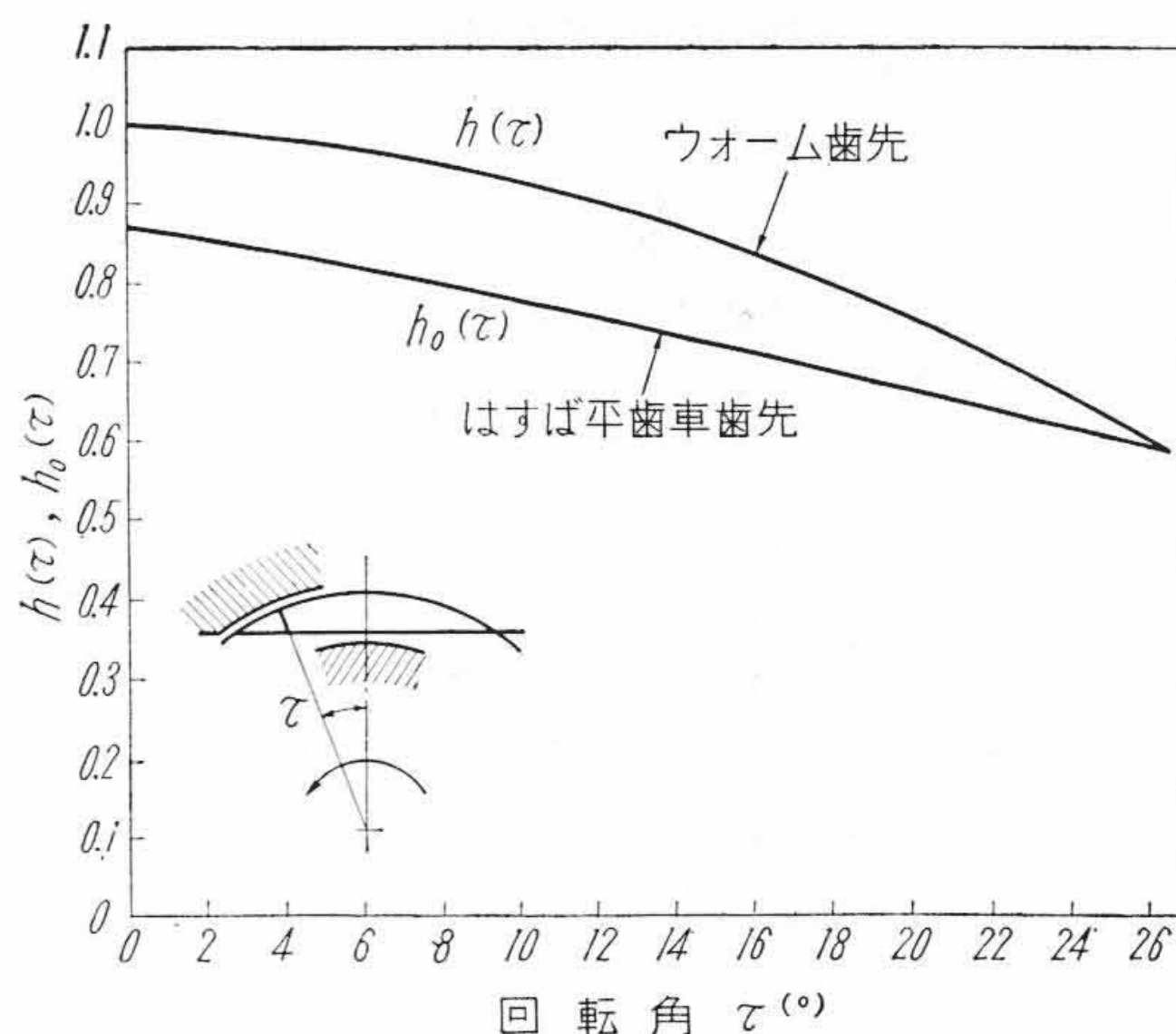
$$\begin{aligned} \Delta\tau &= \frac{\delta}{R_d} (\cos^2 \tau - \sin \tau \cdot \cos \tau \cdot \tan \alpha) \\ &= \frac{\delta}{R_d} h(\tau) \dots \dots \dots (24) \end{aligned}$$

$$\text{たゞし } h(\tau) = \cos \tau (\cos \tau - \sin \tau \cdot \tan \alpha) \dots (25)$$

またはすば平歯車の歯先にPがある時は



第11図 はすば平歯車が回転方向にずれた場合
Fig. 11. Effect of Setting Error to the Rotational Direction of Helical Gear



第12図 回転角と変位角との関係
(インボリュート歯形の場合)

Fig. 12. Relation between Angular Rotation and Angular Displacement
(Case of Involute Tooth)

$$\begin{aligned} \Delta\tau &= \frac{\delta}{R_0} (\cos \tau_0 - \sin \tau_0 \cdot \tan \alpha_0) \\ &= \frac{\delta}{R_d} h_0(\tau) \dots \dots \dots (26) \end{aligned}$$

$$\text{たゞし } h_0(\tau) = \frac{R_d}{R_0} (\cos \tau - \sin \tau \cdot \tan \alpha) \dots (27)$$

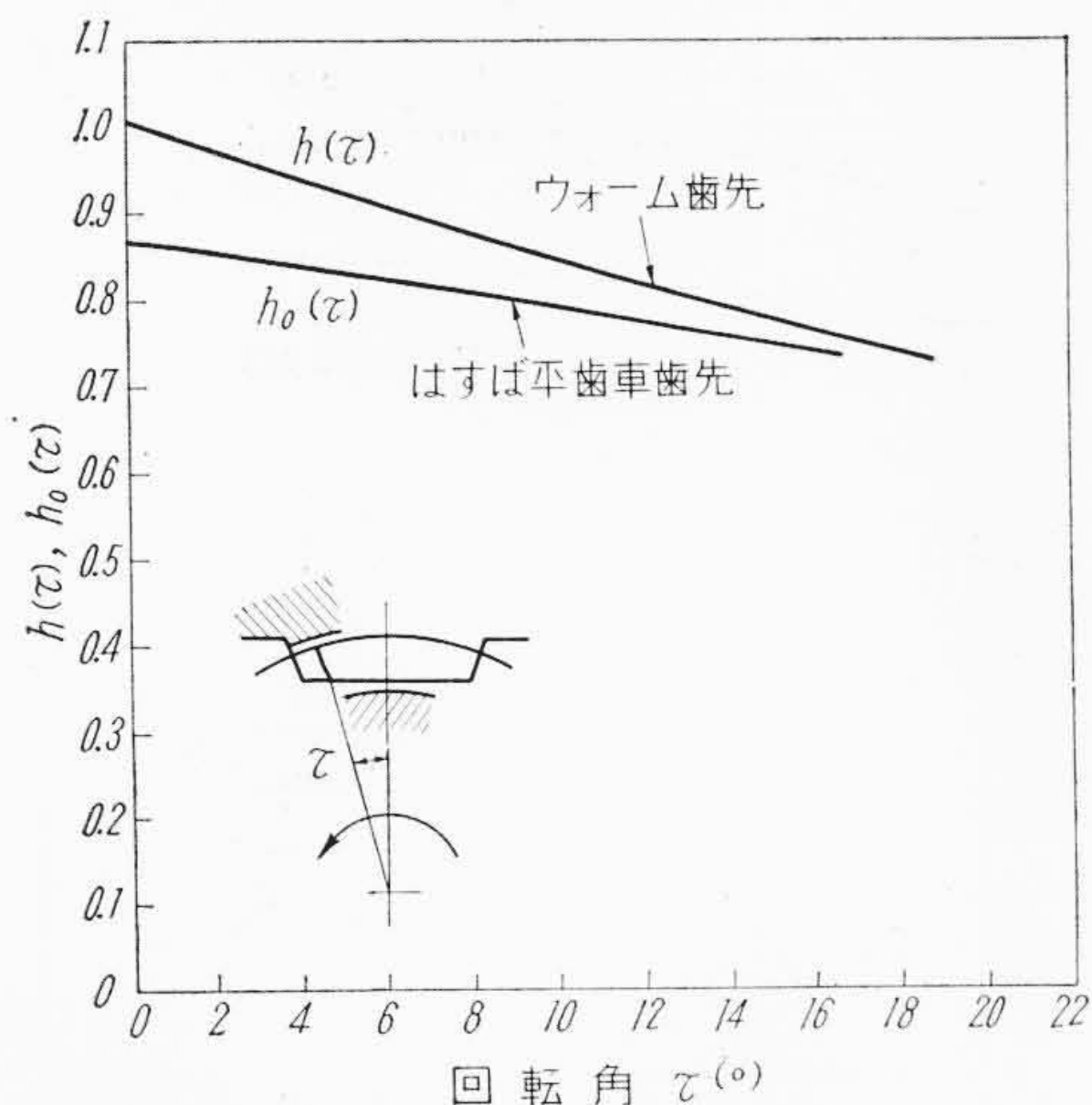
$\Delta\tau$ は間隙に見合う中心角であるから、 $\Delta\tau$ の小なるところが当ることになる。

(1) 歯当りの検討

(a) インボリュート歯形の場合

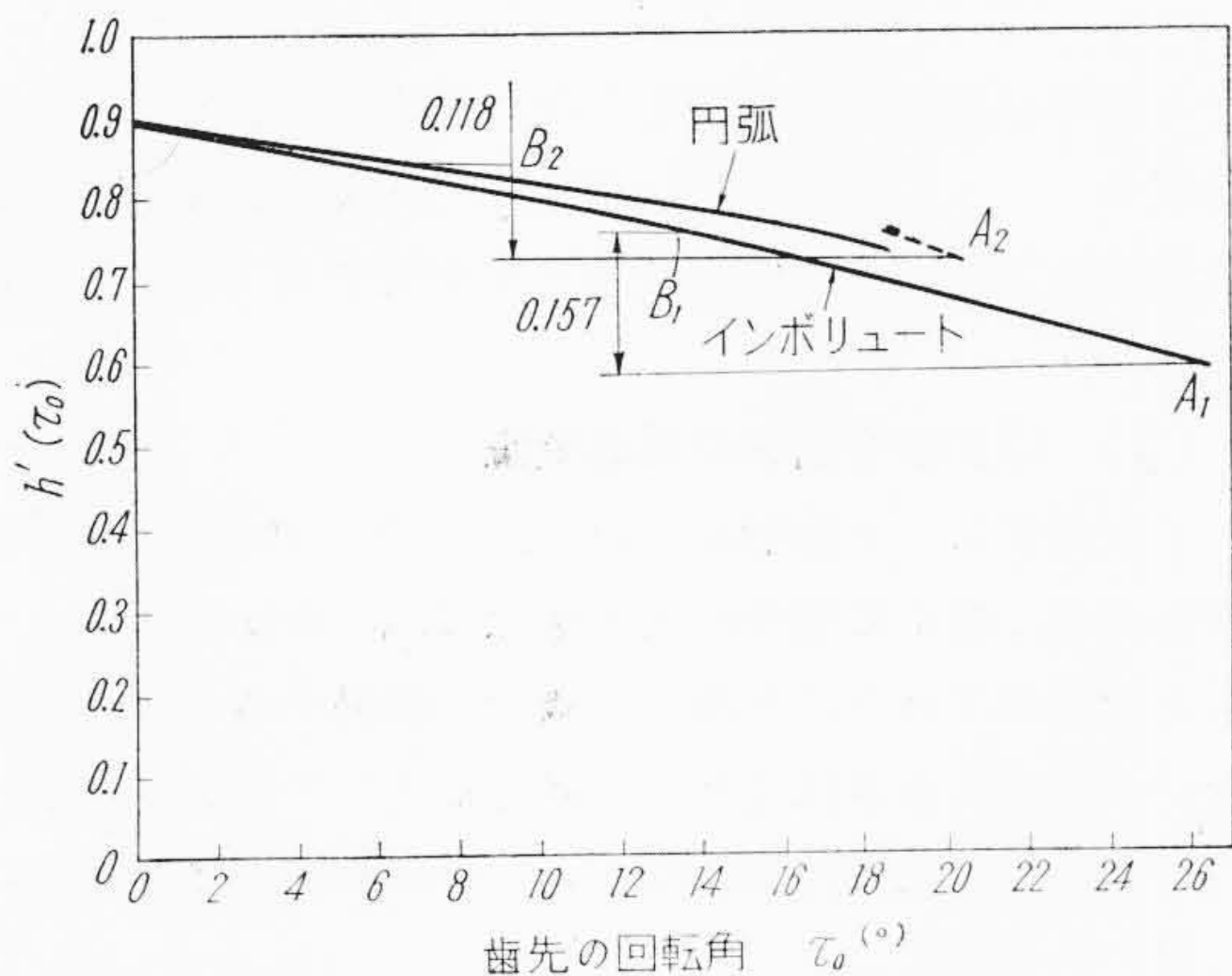
(27) 式における τ_0 は(7)式で与えられる。変位角と回転角との関係を第12図に示す。

図によつて明らかな通り、一つの歯形についてははすば平歯車の歯先が当り、また τ の増加とともに $\Delta\tau$ が減



第13図 回転角と変位角との関係
(凹円弧歯形の場合)

Fig. 13. Relation between Angular Rotation and Angular Displacement
(Case of Concave Arc Tooth)



第14図 歯先の回転角と変位角との関係
Fig. 14. Relation between Angular Rotation and Angular Displacement at the Top of Helical Gear

少して、当りがウォームの端部に來ることがわかる。

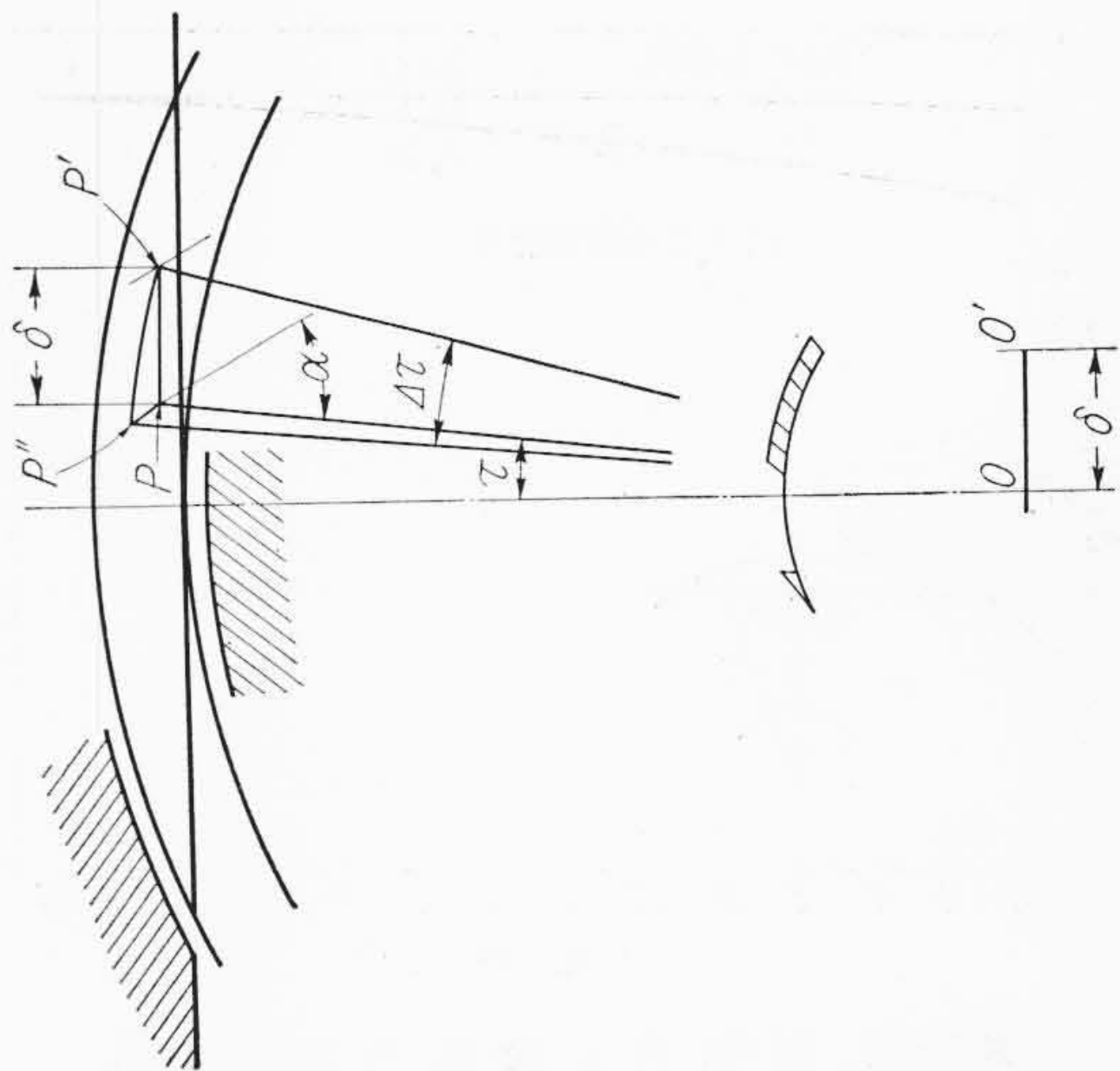
(b) 凹円弧歯形の場合

(27) 式における τ_0 は (15) 式で与えられる。変位角と回転角との関係を第13図に示す。

この場合も一つの歯形についてははすば平歯車の歯先が当り、かつ τ の増加とともに $\Delta\tau$ が減少して当りはウォームの端部に來る。なおこの場合ははすば平歯車の歯先が接触を終つた後、当りは歯面に沿つてウォームの歯先に向つて移動し、最大回転角に到つてウォームの歯先が当る。

(2) はすば平歯車の遅速現象

いずれの歯形もはすば平歯車の歯先で当るので、こゝ



第15図 はすば平歯車が回転力向と逆にずれた場合

Fig. 15. Effect of Setting Error to the Opposite Side of the Rotational Direction of Helical Gear

だけを考えればよい。はすば平歯車歯先の回転角と変位角との関係を第14図に示す。〔III〕の場合と同様に B における間隙と A における間隙との差

$$\Delta\tau_B - \Delta\tau_A = \frac{\delta}{R_d} \{h'(\tau_{0B}) - h'(\tau_{0A})\}$$

をウォームがうめるまで、はすば平歯車は回転を停止し、断続した遅速運動を行う。またその際 $\Delta\tau_B - \Delta\tau_A$ に相応する急激な角加速度をうける。凹円弧歯形では、ウォームの端で、当りがウォームの歯先に來るので、その点が A になる。

前述のごとく、はすば平歯車はその回転方向にずれた場合はいずれもウォームの端部で当り、はすば平歯車は断続した遅速運動を行う。これ等は歯車の性質上好ましくないのであるが、スラスト軸受が磨耗した場合この状態になるので、その影響を避けることは出来ない。スラスト軸受の同一の磨耗量に対して生ずる遅速量は、本例の場合凹円弧歯形はインボリュート歯形の 75% であるから、磨耗に対して前者はその影響を受けることが少いといえる。

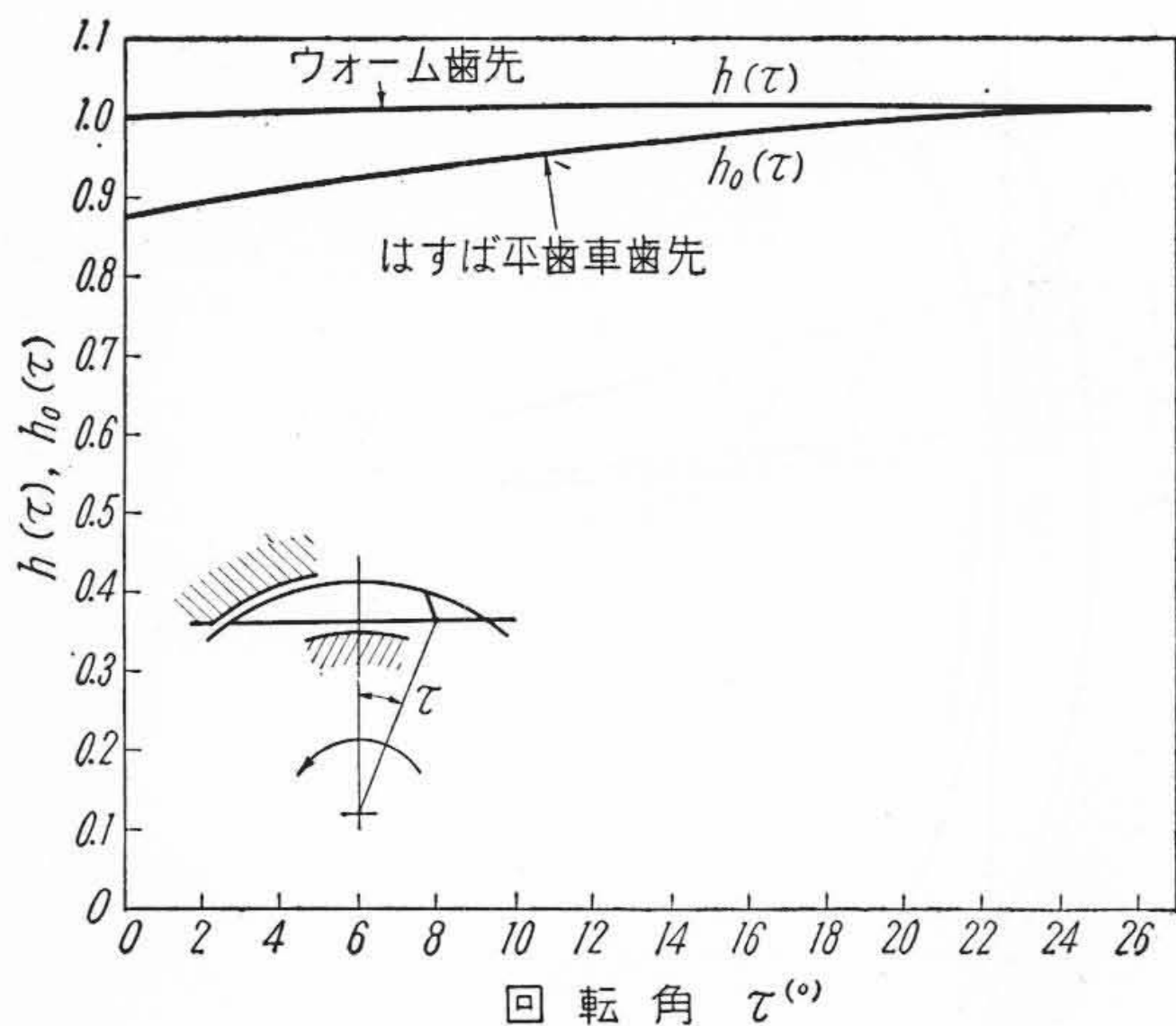
〔VII〕 はすば平歯車がウォームの軸方向にずれた場合の歯当り特性 (その 2)

はすば平歯車はその回転方向と逆にずれた場合の歯当り特性を考察する。

第15図において、はすば平歯車の中心 O が O' に移つたとする。これはウォームが左方にずれたのと同様である。

〔III〕, 〔VI〕と同様に考えて、はすば平歯車の歯は干渉を避けるため P' より P'' に移る。

$$\Delta\tau = \frac{\delta}{R_d} (\cos \tau + \sin \tau \cdot \tan \alpha) \dots\dots\dots (28)$$



第16図 回転角と変位角との関係
(インボリュート歯形の場合)

Fig. 16. Relation between Angular Rotation and Angular Displacement
(Case of Involute Tooth)

ウォームの歯先にPがある時は

$$\begin{aligned} \Delta\tau &= \frac{\delta}{R_d} (\cos^2\tau + \sin\tau \cdot \cos\tau \cdot \tan\alpha) \\ &= \frac{\delta}{R_d} h(\tau) \dots\dots\dots (29) \end{aligned}$$

$$\text{ただし } h(\tau) = \cos\tau (\cos\tau + \sin\tau \cdot \tan\alpha) \dots (30)$$

はすば平歯車の歯先にPがある時は

$$\begin{aligned} \Delta\tau &= \frac{\delta}{R_0} (\cos\tau_0 + \sin\tau_0 \cdot \tan\alpha_0) \\ &= \frac{\delta}{R_d} h_0(\tau) \dots\dots\dots (31) \end{aligned}$$

$$\text{ただし } h_0(\tau) = \frac{R_d}{R_0} (\cos\tau_0 + \sin\tau_0 \cdot \tan\alpha_0) \dots (32)$$

$\Delta\tau$ は干渉を避けるために変位すべき角度であるから、 $\Delta\tau$ の大きいところが当ることになる。

(1) 歯当りの検討

(a) インボリュート歯形の場合

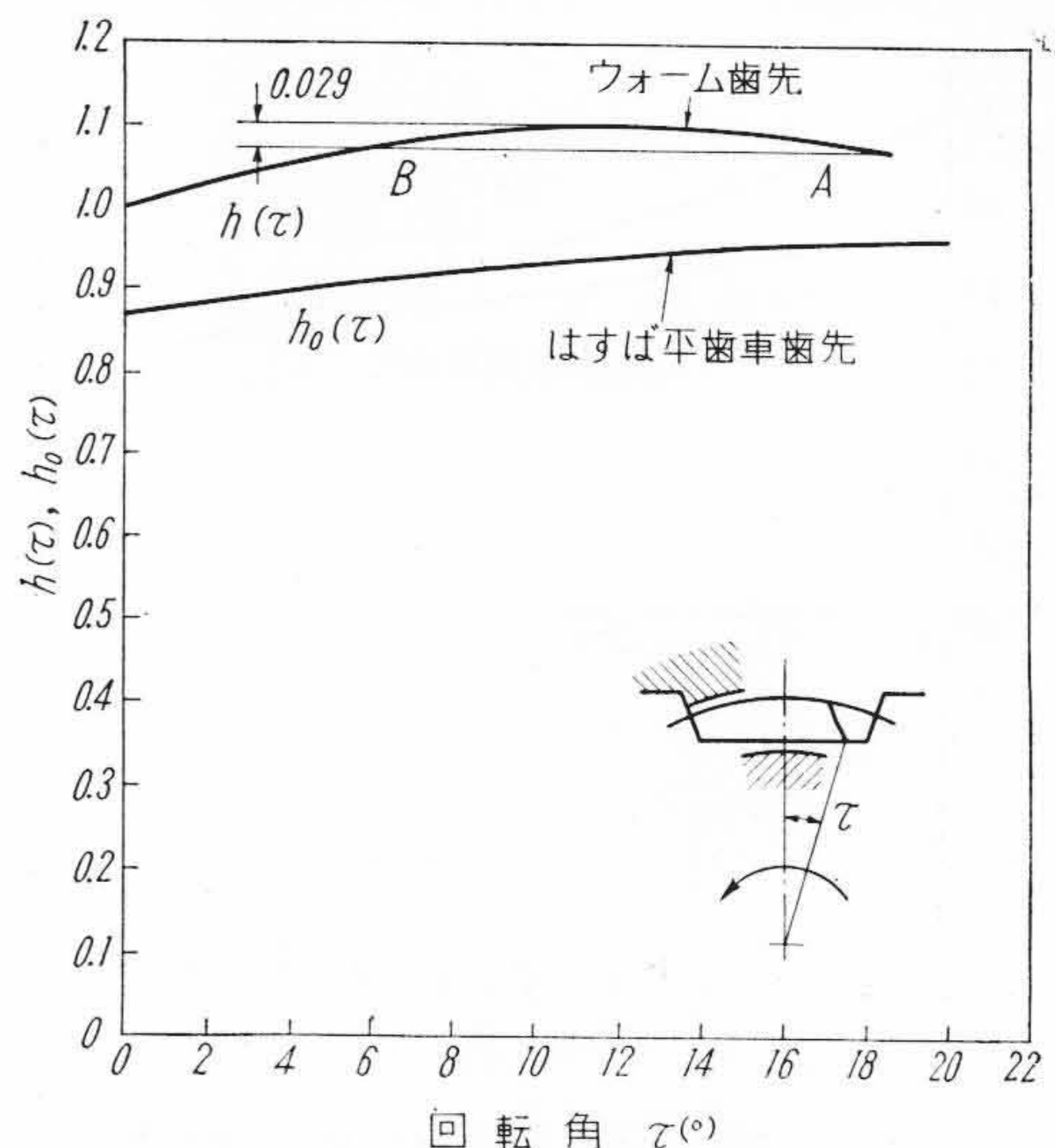
(32) 式における τ_0 は (21) 式で与えられる。変位角と回転角との関係を第16図に示す。

一つの歯形については、常にウォームの歯先が当る。 τ の増加とともに $\Delta\tau$ は僅かながら増加し片当りの傾向がある。

(b) 凹円弧歯形の場合

(32) 式における τ_0 は (22) 式で与えられる。変位角と回転角との関係を第17図に示す。

一つの歯形については、常にウォームの歯先が当る。またウォームの歯先については、ウォームの端と中心線との中央や端寄りのところで $\Delta\tau$ は最大となるので、この点が最も強く当ることになり、ウォームの端部では当らない。すなわち、この場合と〔IV〕の中心距離のつまつた場合とをあわせて考えることによつて、凹円弧歯形をもつ鼓形ウォームとはすば平歯車とを組合せたウォ



第17図 回転角と変位角との関係
(凹円弧歯形の場合)

Fig. 17. Relation between Angular Rotation and Angular Displacement
(Case of Concave Arc Tooth)

ーム歯車は絶対に片当りをしないように組立てることが出来る。こゝに従来のインボリュート歯形を使用した場合の大なる欠点であつた片当りを克服することが出来た。

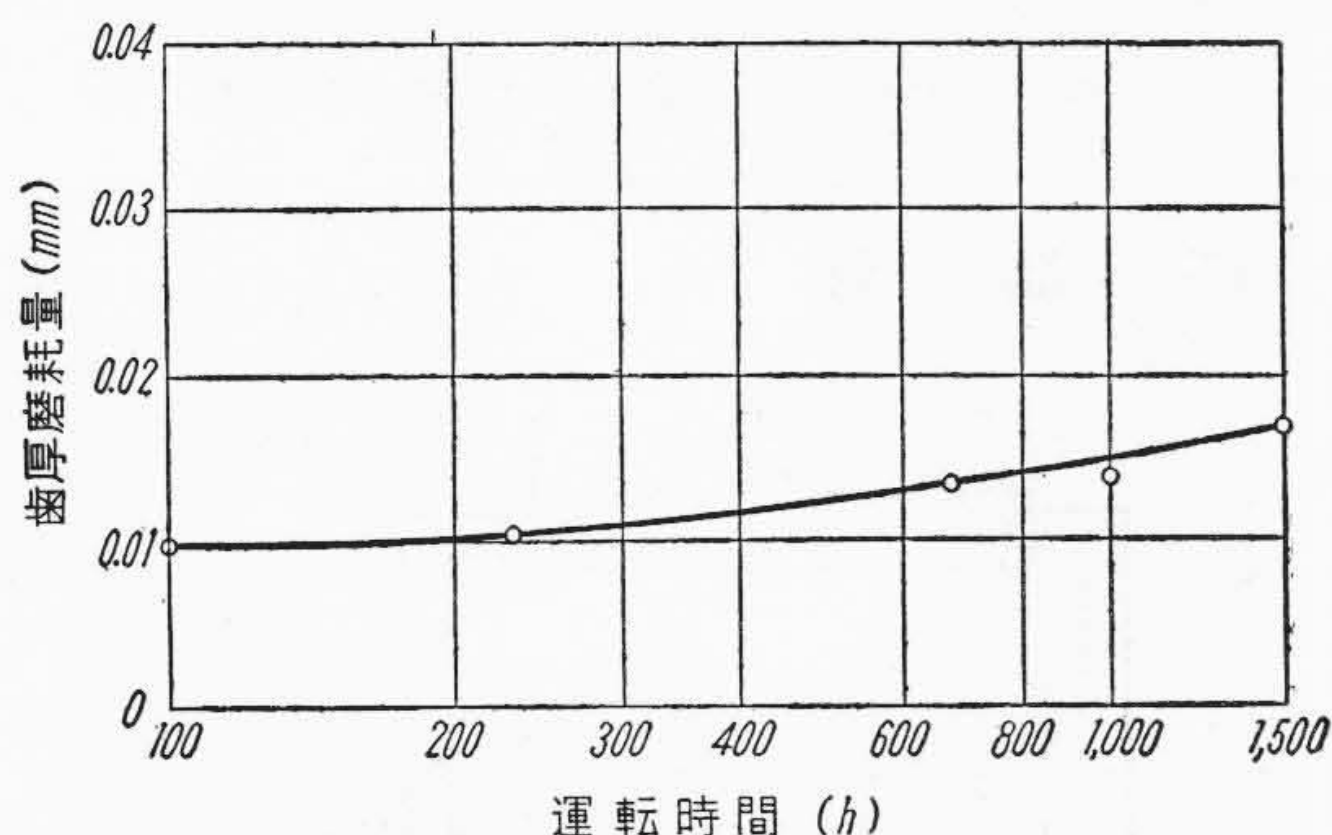
(2) はすば平歯車の遅速現象

インボリュート歯形については、〔V〕の場合と同様であつて、新たに噛合に入る歯は $\Delta\tau_A - \Delta\tau_B$ だけウォームと喰違つており、干渉して噛合を継続することが出来ない。その大きさは〔V〕の場合に比して著しく小さいのであるが、使用の初期において磨耗を進行させるものと思われる。

凹円弧歯形の場合は、前者と異つて、喰違い、はすば平歯車への急激な加速などは全然起らない。すなわち1ピッチ隔てて $\Delta\tau$ の一致した2点A, Bが存在し、Bで噛合を終つた時、次の歯は既にウォームの溝に入つており、Aで滑らかに接触を始める。角加速度の変化も同様に連続的である。インボリュート歯形が如何なる場合にもはすば平歯車の運動の断続、あるいは干渉などの欠点を有するのに対し、円弧歯形は中心距離のつまつた場合とともに はすば平歯車の運動が連続的となる。これもまた円弧歯形の大なる特長であるといえる。

〔VIII〕 実用試験および応用

首題の新ウォーム歯車は理論上良好なる成績をあげ得るものと期待されたので、その成績を確認するとともにその実用化を図る目的をもつて実用試験を行つた。すなわち攪拌式小型電気洗濯機の減速歯車に本歯車を応用し



第18図 凹円弧歯形の磨耗試験
Fig. 18. Wear Test of Helical Gear with Concave Arc Tooth Profile

て実際の負荷のもとに寿命試験を実施した。はすば平歯車の材質は鋳鉄で、その中央断面刻み円上の歯厚磨耗量と運転時間との関係を第18図に示す。これで明らかなごとく、鋳鉄のごとく廉価な材料を使用したにもかかわらず歯形の磨耗は非常に僅少で、インボリュート歯形で高級な材料を使用した場合よりも遥かに良好であり、円弧歯形の優秀なることを立証している。

以上の結果歯形改善の効果が明白であり、かつ製品として優秀なことが判明したので、実用化の第一歩として前述の攪拌式小型電気洗濯機の減速歯車として採用しその性能を著しく向上させ得た。

〔IX〕 結 言

鼓形ウォームとはすば平歯車とを組合せた歯車装置において、インボリュート歯形を有するものは、いかなる組立誤差に対しても必ず片当りを起し、その際はすば平歯車の運動に断続あるいは干渉の不都合を伴う。

筆者などの考案した円弧歯形をもつものは、中心距離がつまつた場合およびはすば平歯車とその回転方向と逆にずれた場合とには片当りを起さず、その際はすば平歯車の運動もまた連続的であつて、干渉を伴わぬことを理論的に示した。

また実用試験を行つた結果、その優秀性が立証された。この型式の歯車は種々の特長をもっており、本研究によりその大きな欠点が克服出来たので、今後各方面に応用すべく計画中である。

参 考 文 献

- (1) 新莊：機械学会九州支部講演会前刷（昭 28-3）
その他一般的には
E. Buckingham; Analytical Mechanics of Gears (1949)
- (2) 石田：機械学会名古屋大会講演会前刷（昭 29-10）
- (3) 宮崎：機械学会九州支部講演会前刷（昭 28-3）



特 許 の 紹 介



特 許 第 217216 号

小 林 喜 八 郎 ・ 塩 川 博

制 動 機

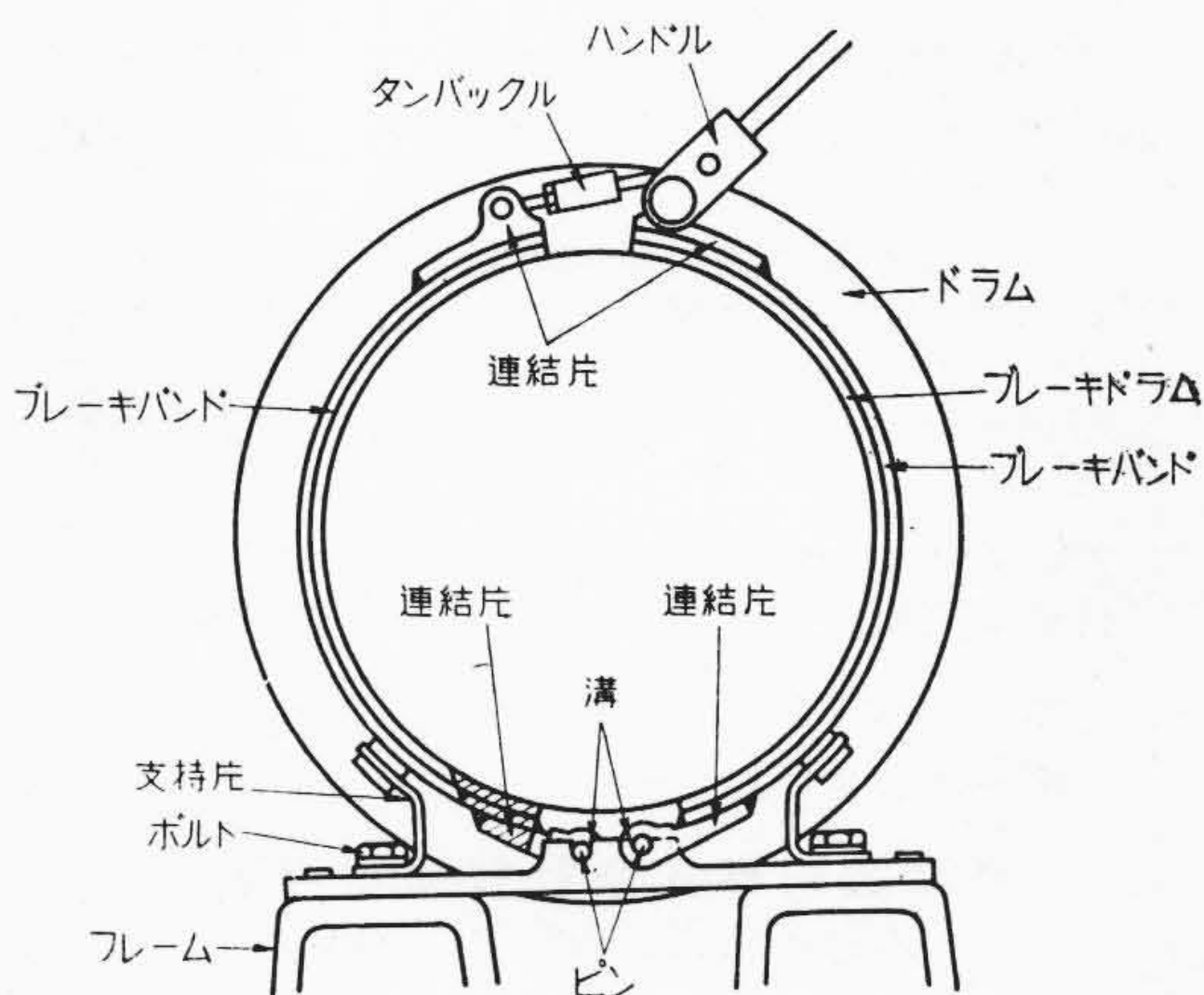
このブレーキは主として小形巻上機に適するもので、以下述べる構造から成る。

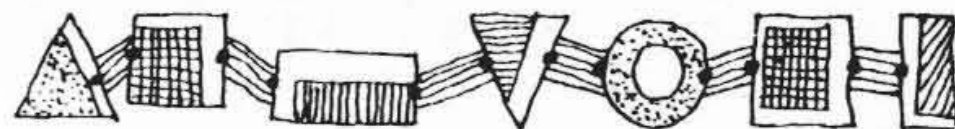
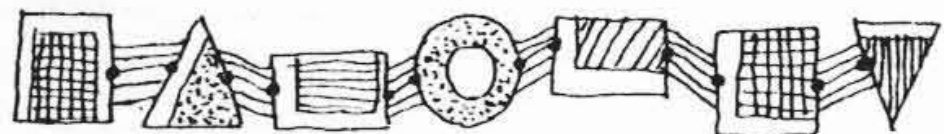
対称形の2つのブレーキバンドの上下端にそれぞれ連結片を固着し、上部連結片はハンドルに連結し、下部連結片はそれに嵌入したピンを支持板に設けた断面弧状の溝に嵌合させることにより支持する。支持板は支持片と共にボルトでフレームに固定する。

このブレーキは次のような特長がある。

- (1) 両ブレーキバンドは共通品を使用することができ、ブレーキドラムに対する両ブレーキバンドの接触角が同一になり、ロープの上巻下巻に対し均一に作用する。
- (2) 分解組立が容易である。

(富田)





蛍 光 灯 点 灯 装 置

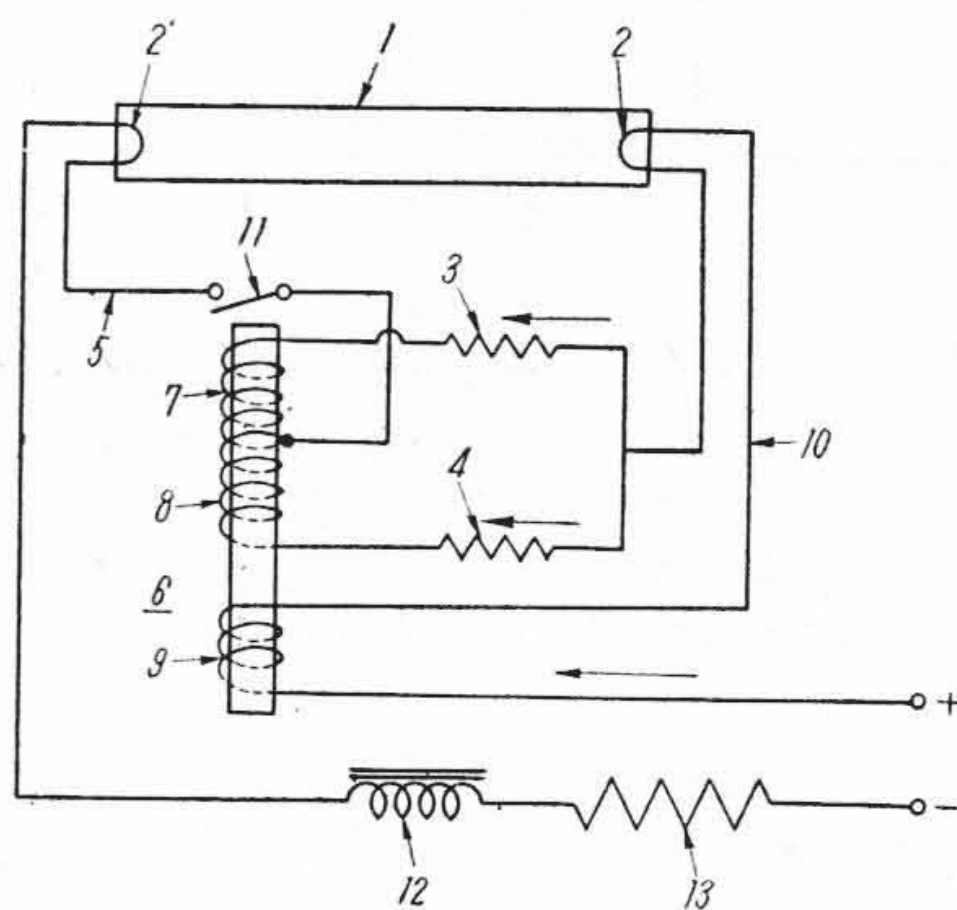
本案は主として直流用に適する蛍光灯点灯装置に関するもので、図において、1は蛍光灯、2、2'はその電極、3、4は電極予熱回路5に並列に接続された抵抗体で、抵抗体3は抵抗体4よりも温度係数の大きいものを使用する。

6は差動継電器で、その2箇のコイル7、8はそれぞれ抵抗体3、4と直列に電極予熱回路に接続し、他の1箇のコイル9は主放電回路10に接続し、コイル7の起磁力の方向とコイル8、9の起磁力の方向は互に反対にしてある。

11は継電器接点、12はチョークコイル、13は安定抵抗である。

接点11は常時閉じているので、電源の投入と同時に電極予熱回路に電流が流れ始め、その通電初期には抵抗体3の抵抗値が低いためこれを通る電流が大で、コイル7に生ずる起磁力とコイル8、9に生ずる起磁力が互に打消され合成起磁力が零となつて継電器6はすぐには動作しない。

やがて抵抗体3の抵抗値の増加によりこれを通る電流が減少し、反対に抵抗体4を通る電流が増加して来るので、コイル7の起磁力とコイル8、9の起磁力の間に差が生じ、電極2、2'が適当に予熱されたとき継電器6が



第1図

動作して接点11を開き蛍光灯を点灯させる。

点灯中はコイル9に流れるランプ電流によつて継電器は作動状態に保たれる。

この装置は以上のように簡単な構造で低電圧でも容易に点灯し得ると共に、電圧上昇時にも誤動作をする恐れなく、また抵抗体3、4の両方の電流変化を利用したため継電器の感度良好で、±20%程度の広範囲の電圧変動に対しても確実に動作する特長を有しているので、車輛用蛍光灯の直流点灯装置として好適のものといえる。

(坂本)

日 立 造 船 技 報

Vol. 17

No. 2

目 次

- | | |
|--|------------------------|
| ◎高張力鋼の工作法に関する研究..... | 中井 恒男
国広 敏之
安藤 見 |
| リベット締めにおけるリベット穴 | |
| ◎付近の温度分布ならびにリベット...
さら角度と締付力の関係について | 西牧 興
田口 正雄 |
| ◎冷凍工船の冷凍および防熱装置に...
ついて | 下川 寛人 |
| ◎ひずみ取作業の際の加熱冷却条件...
が鋼材に及ぼす影響 | 中井 恒男
国広 敏之
安藤 見 |
| ◎船舶用軽金属のリベット継手の研...
究 | 木下 昌雄
広渡 智雪
田中 宏 |
| ◎250トン圧縮および曲げ試験機の...
性能調査研究 | 西牧 興 |

本誌につきましての御照会は下記発行所へ
御願致します。

日立造船株式会社技術研究所
大阪市此花区桜島北之町60

日 立

Vol. 18

No. 6

目 次

- ◎電 気 と 私
- ◎ソフトクリームの出来るまで
- ◎新しい照明器具 (1)
- ◎誰でも出来る配管工事
- ◎季節の料理 (1)
- ◎明日への道標 (東名古屋照光配電盤)
- ◎ショールーム (日立扇風機)
- ◎モートルと生活 (2)
- ◎空 気 調 和 の 話
- ◎テレビ塔から東京見物
- ◎電 線 読 本 (4)
- ◎日 立 だ よ り

誌代 1ヵ月 ¥60 (〒12)

日 立 評 論 社

東京都千代田区丸の内1ノ4 (新丸の内ビルディング7階)