

反発起動单相誘導電動機のトルク特性

Torque Characteristic of Repulsion-Start Single-Phase Induction Motor

園 山 裕* 蓮 池 公 紀*
Yutaka Sonoyama Kiminori Hasuike

内 容 梗 概

反発起動单相誘導電動機は、起動特性がすぐれているため、单相電源で大きな起動トルクを必要とする各種の用途に広く使用されている。一般に反発電動機のトルク特性は、直巻特性を示すものと考えられているが、実際の製品について詳細に検討してみると、従来の算式による計算値より起動トルクは小さく、むしろ加速トルクが増大するような傾向がある。しかもこれらのトルク特性は、刷子と整流子の状態その他の諸条件によって著しく異なる。

これらの原因について理論的考察と種々実験を行って検討した結果、刷子が整流子片にまたがることによって生ずる短絡電流による影響が大きいことを明らかにし、さらに、これらの改善策としては、多重巻の採用が有効であることを示した。

1. 緒 言

单相誘導電動機には、種々の方式のものがあるが、このうち反発起動式は特に起動特性がすぐれているため、大きな起動トルクを必要とする各種の用途に広く使用されている。

反発起動单相誘導電動機の起動ならびに加速中のトルクは、反発電動機の数値トルク特性で一般に直巻特性を示すのが普通と考えられる。しかし、実際に各種の電動機について詳細に検討してみると、起動時にはトルクが小さく、ある範囲内では、速度が上昇するとむしろトルクが大きくなる傾向がある。しかもこれらのトルク特性は、刷子と整流子の接触状態などで変ってくる。

反発起動单相誘導電動機は起動トルクの大きいことを特長とするが、上記の傾向がはなはだしい場合には起動トルクは著しく害される。トルク特性が変化することとしては、刷子角度および刷子と整流子の関係位置の変動などが考えられるが、これらのみでは直巻特性にならないことの証明が困難である。しかし刷子と整流子の接触状態の違いにより速度トルク特性曲線の形状が著しく異なることから、短絡電流によるトルクの影響が大きいと考えられる。そこで主としてこの点についての理論的考察と実験を行ってその状況を明らかにし、さらにこれに対する改善策についても検討した。

2. 従来のトルク特性

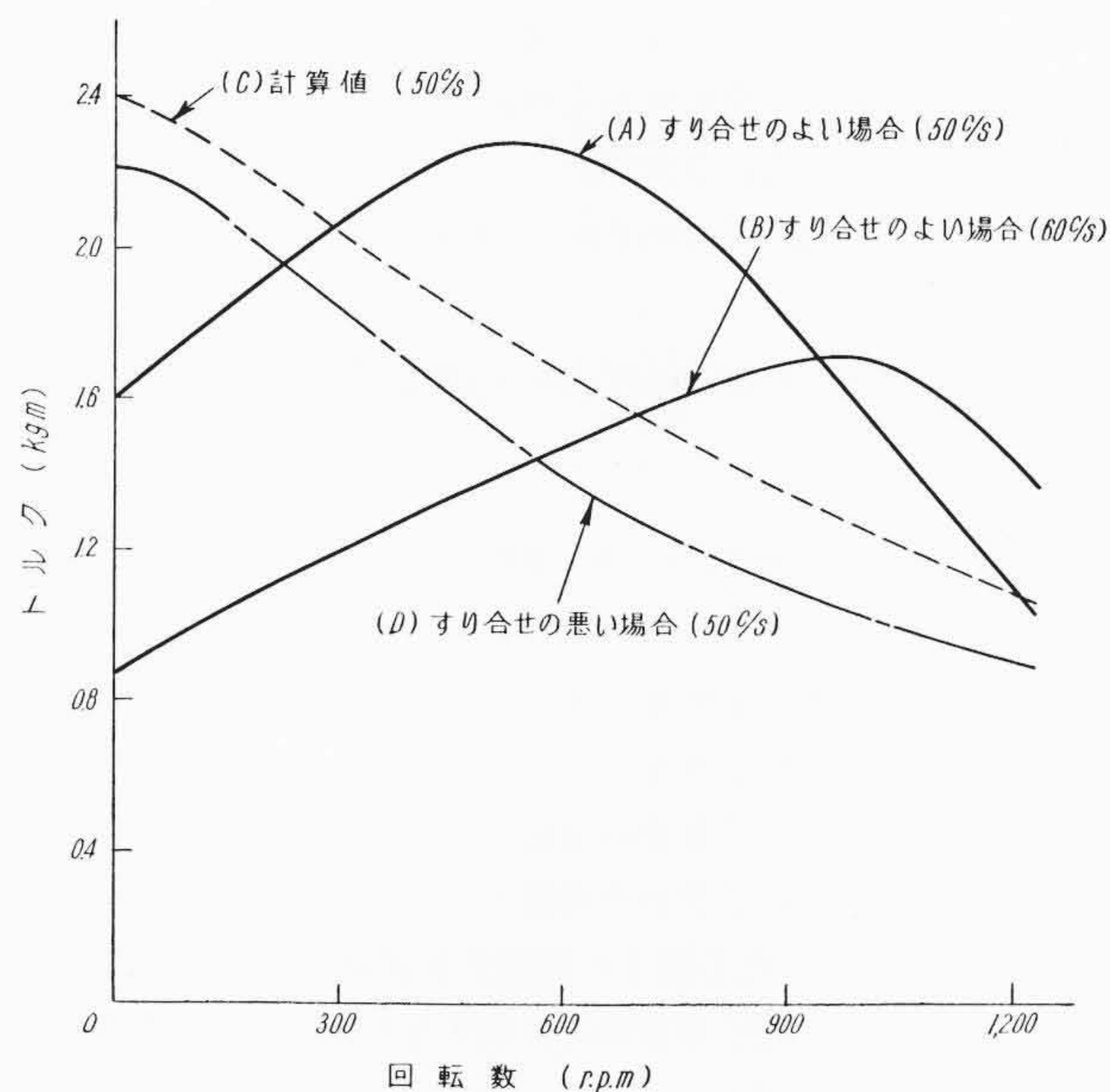
反発起動单相誘導電動機は反発電動機として起動し、同期速度の70～80%程度で回転子を短絡し、かご形单相誘導電動機として運転する。したがって起動ならびに加速中のトルクは反発電動機と同一で従来一般に用いている計算式では直巻特性を示すはずである。

しかし実際の製品について測定してみると、起動時にはトルクが小さく、速度が上昇するとむしろ大きくなるような特性を示す。しかもこの傾向は刷子と整流子の接触状態により異なりまた電源の周波数によっても変る。

第1図の(A)および(B)曲線に示すように刷子と整流子とのすり合せの特に良好な場合にはまた電源周波数が50 c/sより60 c/sの場合のほうが直巻特性からかけはなれる。

反発電動機のトルク特性のばらつきの原因としては、刷子角度の変動、刷子と整流子片との関係位置、刷子の接触状態の変動による接触抵抗のばらつき、などが考えられるが、これらからでは直巻特性にならない点の説明は困難である。しかし刷子と整流子の接触状態の差によりトルク特性が変化する点をいっそう明確にするため、

* 日立製作所 亀戸工場



第1図 回転数トルク特性曲線

きわめてすり合せの悪い刷子を用いて試験を行ってみると第1図のように大体計算値に近い特性を有する。これから考えると刷子が整流子片2枚以上にまたがるため生ずる短絡コイルに流れる電流によるトルクの影響で、直巻特性からかけはなれると推定される。

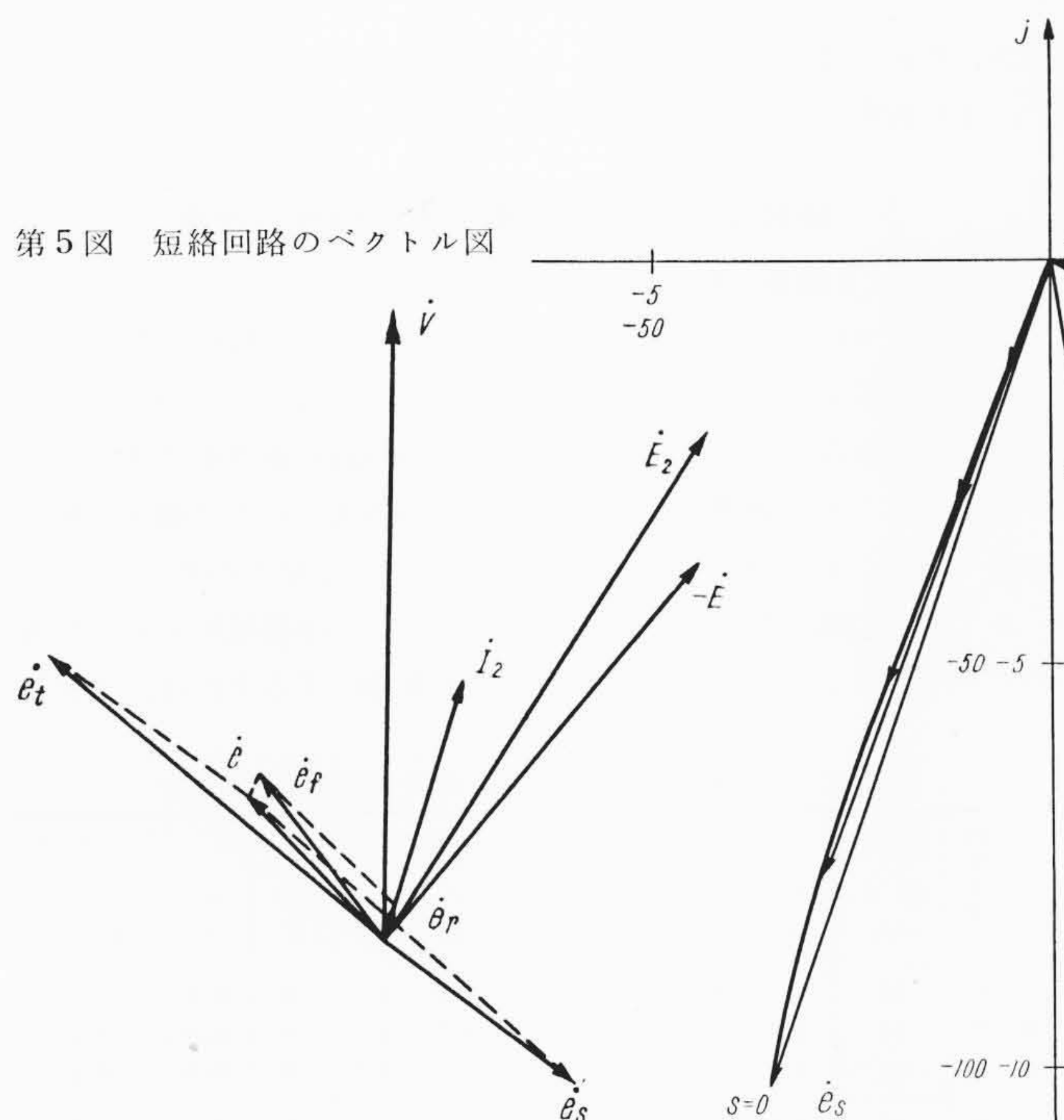
3. トルク特性の理論的考察

短絡回路を考えた反発電動機のトルク特性の解析は、H. R. West⁽¹⁾ R. H. Trickey⁽²⁾ R. Richter⁽³⁾ などにより行われているが、特に短絡回路の抵抗やリアクタンスが変ると速度トルク曲線がどのように変化するかは詳細には解明されていない。本稿では、短絡回路がない場合のトルクと短絡回路によるトルクとを別々に求め、短絡回路の抵抗とリアクタンスの変化により、おのおののトルクまたその合成トルクがどのように変化するかを解析した。

3.1 短絡電流を考慮しない場合のトルク特性

反発電動機の回転子回路は刷子により閉回路をつくっていて、回転子巻線には直接電圧は加えず固定子巻線からの誘導により電圧が加わる。固定子巻線中に誘起される変圧器起電力 $\dot{E}_1$ は固定子巻線軸における磁束 ϕ_1 に比例する(第2図参照)。回転子巻線に誘起される起電力は、変圧器起電力 $\dot{E}_2$ と速度起電力 $\dot{E}$ の合成である。 $\dot{E}_2$ は刷子軸における磁束 ϕ_2 に比例し、 $\dot{E}$ は刷子軸に垂直な磁束 ϕ_E に

第5図 短絡回路のベクトル図



$$\dot{e}_s = -\sqrt{2} \pi w_K f (1-s) \dot{\phi}_2 \cos \beta = -j u_K (1-s) \dot{E}_2 \cos \beta \quad (8)$$

$$\text{ここに } u_K = \frac{w_K}{w_2 K_{w2}}$$

$\cos \beta$: 短絡巻線の短節巻係数

また

$$\dot{e} = \dot{e}_t + \dot{e}_s$$

とおき、これに整流起電力 $\dot{e}_r$ を加えれば、短絡回路中の全起電力 $\dot{e}_f$ がえられる。すなわち

$$\dot{e}_f = \dot{e} + \dot{e}_r \quad (10)$$

これらのベクトル図を第5図に示す。

短絡回路のインピーダンスを $\dot{Z}_K$ とすれば、短絡回路中に流れる電流 $\dot{I}_K$ は次のようになる。

$$\dot{I}_K = \frac{\dot{e}}{\dot{Z}_K} \quad (11)$$

この $\dot{I}_K$ と $\dot{e}_s$ によりトルクを発生する。短絡回路の数を n_K とすれば、トルク T_K は

$$T_K = -\frac{p}{2\pi f \times 9.8} n_K \frac{e_s I_K \cos(\dot{e}_s \dot{I}_K)}{(1-s)} \quad (12)$$

となる。

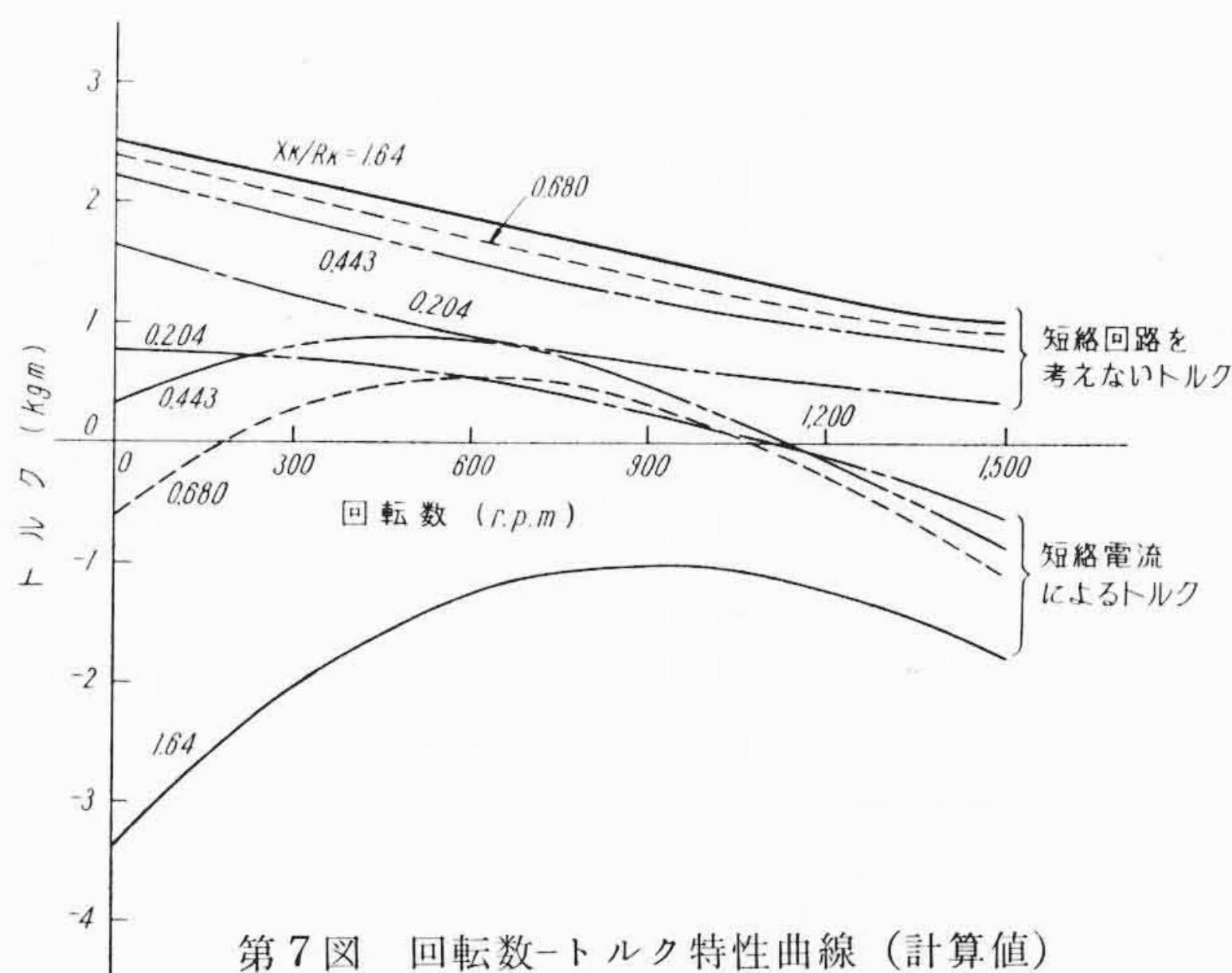
短絡回路の電圧電流が、すべりとともにどのように変化するかを計算すると第6図のようになり、短絡電流によるトルクは(12)式のように $-\frac{e_s I_K \cos(\dot{e}_s \dot{I}_K)}{1-s}$ に比例する。 $\frac{\dot{e}_s}{1-s}$ と $\dot{I}_K$ の角の変化をはっきりさせるため $\frac{\dot{e}_s}{1-s}$ を 90° 位相をずらして $j \frac{\dot{e}_s}{1-s}$ として示した。すなわち $s=1$ から $s=0$ の間で $\cos \dot{e}_s \dot{I}_K$ はその符号が変化する。

3.3 短絡回路の回路定数と速度トルク特性の関係

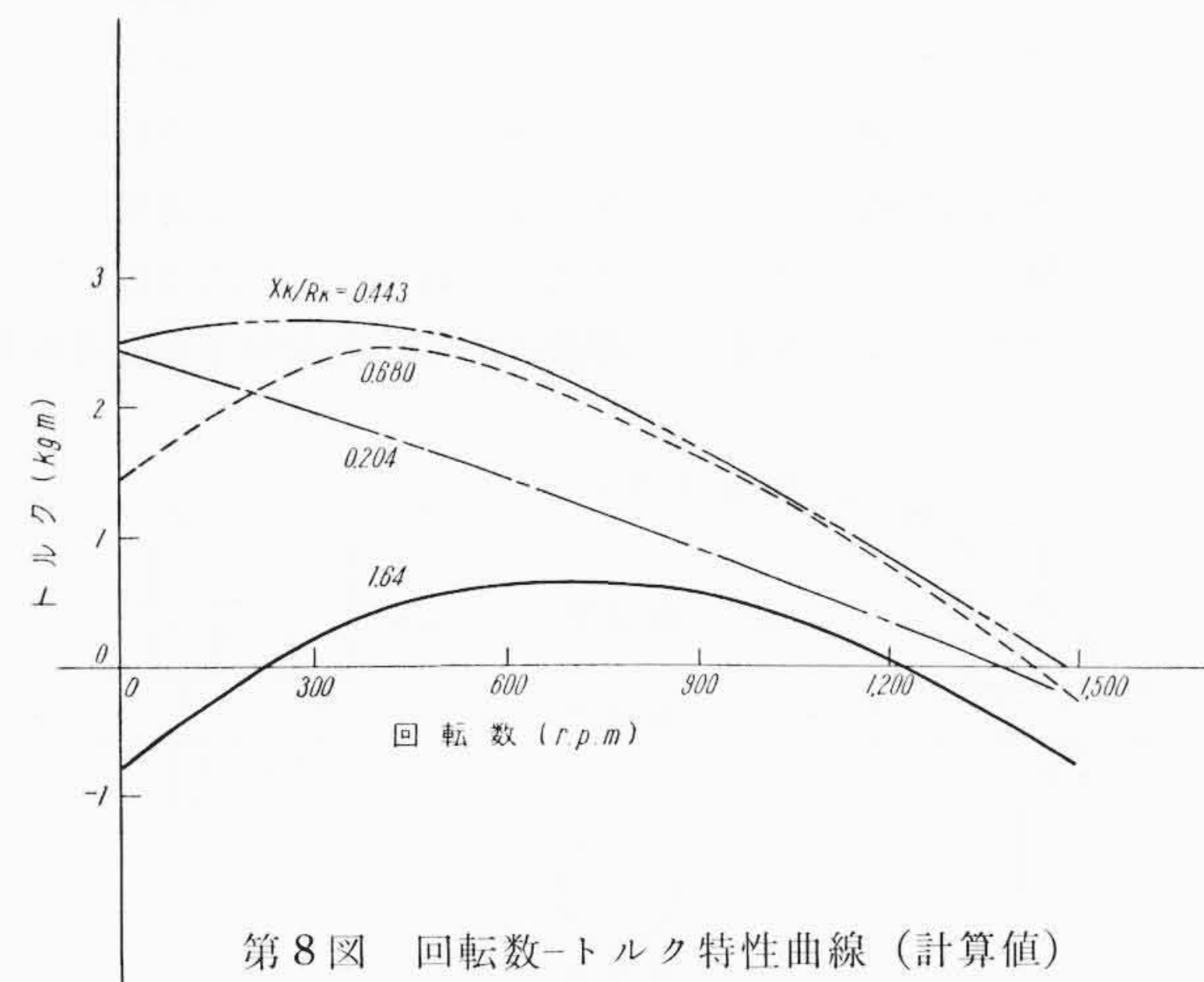
短絡回路のインピーダンスは一定とし、抵抗とリアクタンスの比を変化させたときの短絡回路を考えない場合のトルクと、短絡電流によるトルクとをそれぞれ(6)式および(12)式により計算すると第7図のようになる。これを重ね合わせると第8図のようになる。刷子角度は常に一定とした。

反発起動単相誘導電動機の起動および加速時に問題となるトルクは、起動トルクと反発電動機から誘導電動機に切替る時のトルクで

第6図 短絡回路のベクトル図



第7図 回転数-トルク特性曲線 (計算値)



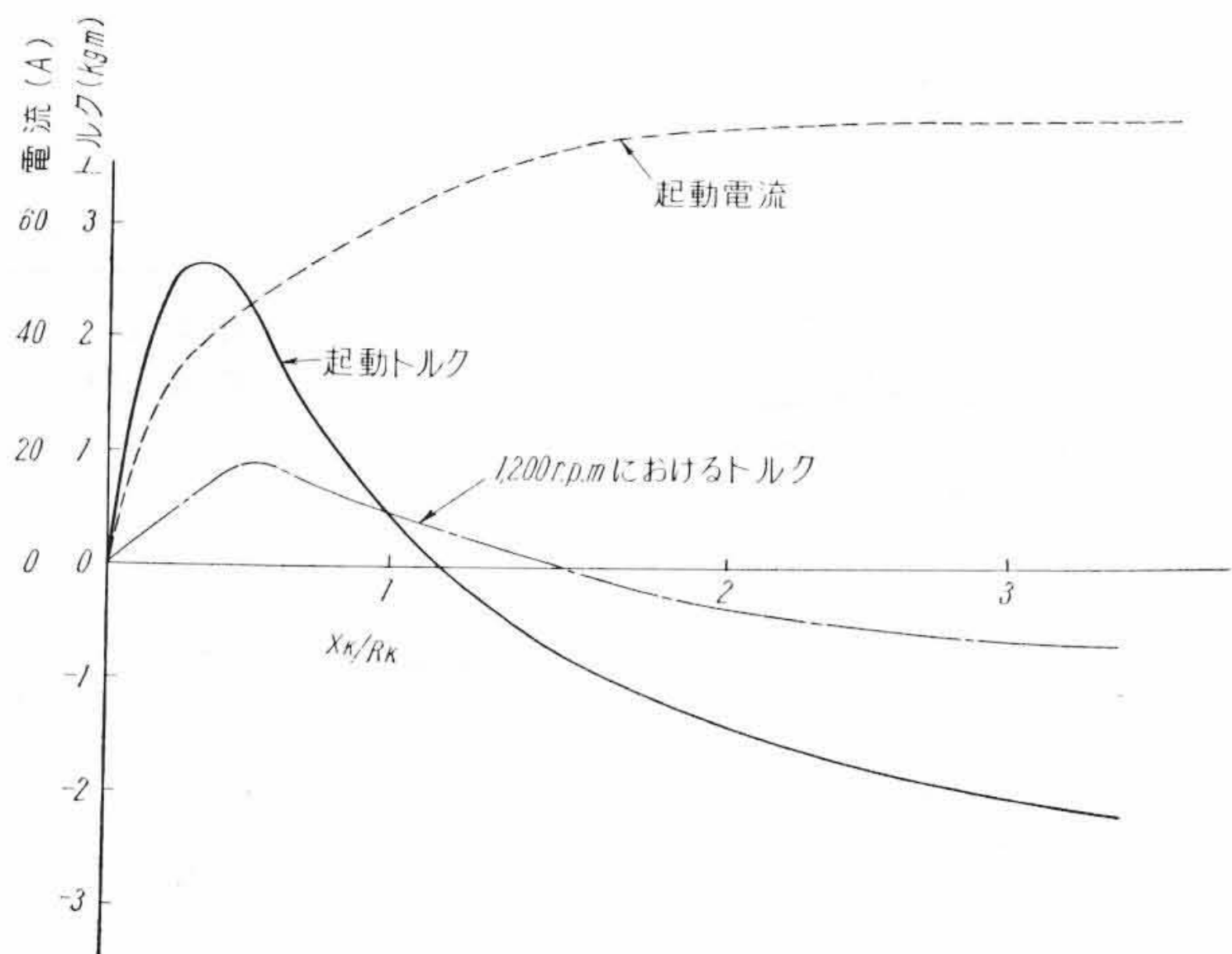
第8図 回転数-トルク特性曲線 (計算値)

ある。切換速度を1,200rpmとし、第8図の起動トルクと1,200rpmにおけるトルクとを抵抗とリアクタンスの比を横軸にして表わすと第9図のようになる。なお起動電流の変化も合せ示した。これによれば起動トルクと1,200 rpm のトルクとの両方をにらみ合わせて、最も適当なところを選ぶことができる。

4. 起動ならびに加速トルクの計算値と実測値の比較

4.1 起動トルクにおよぼす短絡電流の影響

刷子は普通2個以上の整流子片にまたがるから、短絡電流の影響がトルクに入ることはまぬがれない。この影響を実測するために、第10図のような回転子をつくり、各コイル素子の足の電流、刷子の電流、起動トルクを測定したものの一例を第11図に示す。

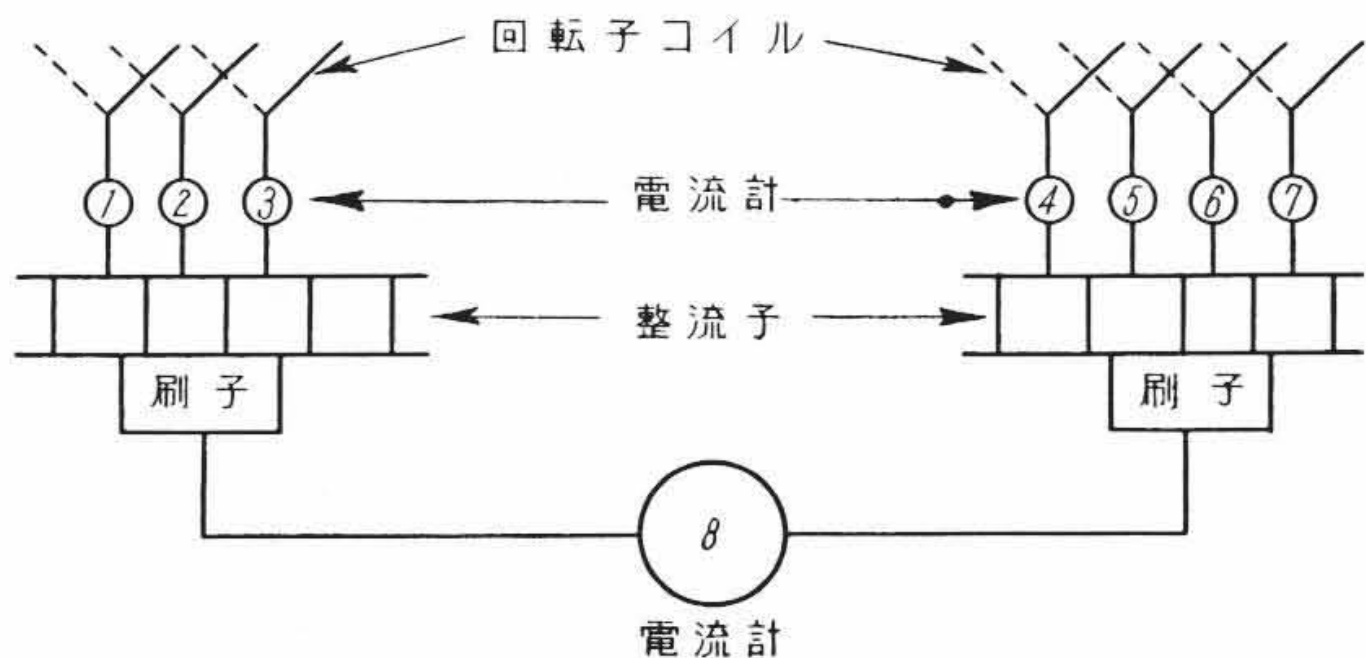


第9図 X_K/R_K に対する速度トルク電流の変化 (計算値)

さて第1表をみると電流の流れている整流子片が多いほどトルクは減少する傾向にある。これは刷子のまたがっている整流子片につながらる回転子コイルが短絡回路をつくり、その数が多いほど起動トルクが減少するからである。また刷子の代りに銅線で短絡した場合もほとんどその差は認められないので、刷子のすり合わせがある程度良好なら、接触抵抗の影響は少ないと考えられる。刷子は寸法的には2ないし3の整流子片にまたがるが、必ずしもその全部に電流は流れていない。このような状況が時間とともに変化するかどうかを調べるため、刷子が3個の整流子片にまたがる状態で時間に対する電流およびトルクの変化状況をオシログラフで測定した。その結果の一例を第12図に示す。これで見ると最初2枚短絡のものが時間がたつと3枚短絡するようになっている。

4.2 短絡電流の影響を考慮した速度トルク特性

短絡電流を考慮せずに計算した速度トルク特性は、実測値とはかなり大きな相違がある。これに対し短絡電流を考慮して計算した速度トルク特性は、実測値とだいたい同様の傾向を示し直巻特性よりむしろ三相誘導電動機のような曲線になる。このような速度トルク特性は、起動トルクさえ十分ならば別に忌避すべき理由はないが、起動トルクの大きいことをもって特長とする反発起動単相誘導電動



第10図 起動時回転子コイル電流測定法

機が、短絡電流のために起動トルクを減殺されることは好ましくない。また起動電流も短絡電流が流れると増大する傾向にある。

5. 接続変更による速度トルク特性の改良

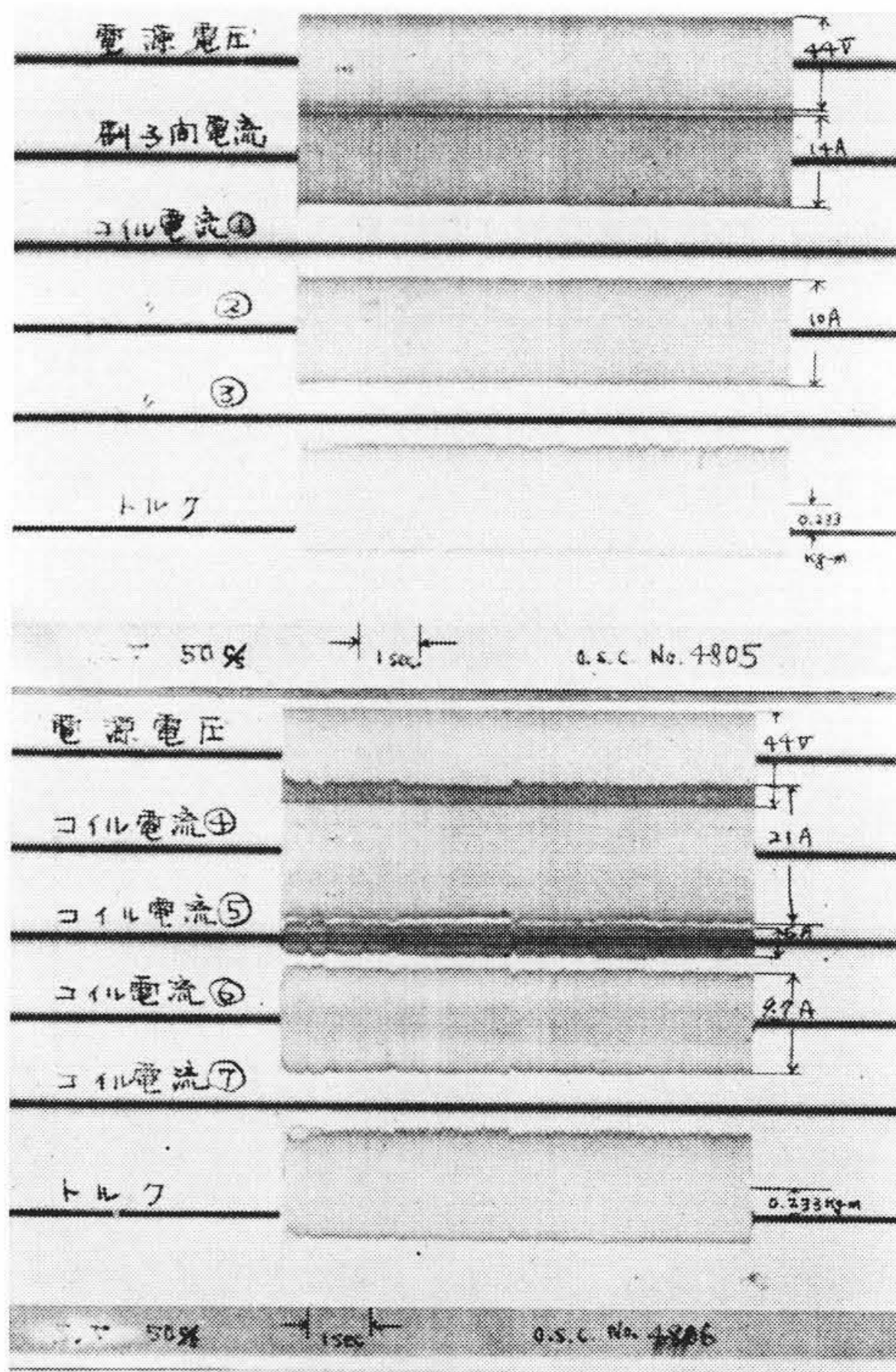
5.1 二次2重巻の採用

前述のように反発電動機の世界トルク特性が直巻特性となることを妨げているものは、短絡電流による影響が大きいことがわかった。この影響を少なくするには刷子による短絡回路の成立をできるだけ少なくすることが効果的と思われる。その方法としては刷子の幅をせまくすること、回転子巻線を多重巻にすることなどが考えられる。

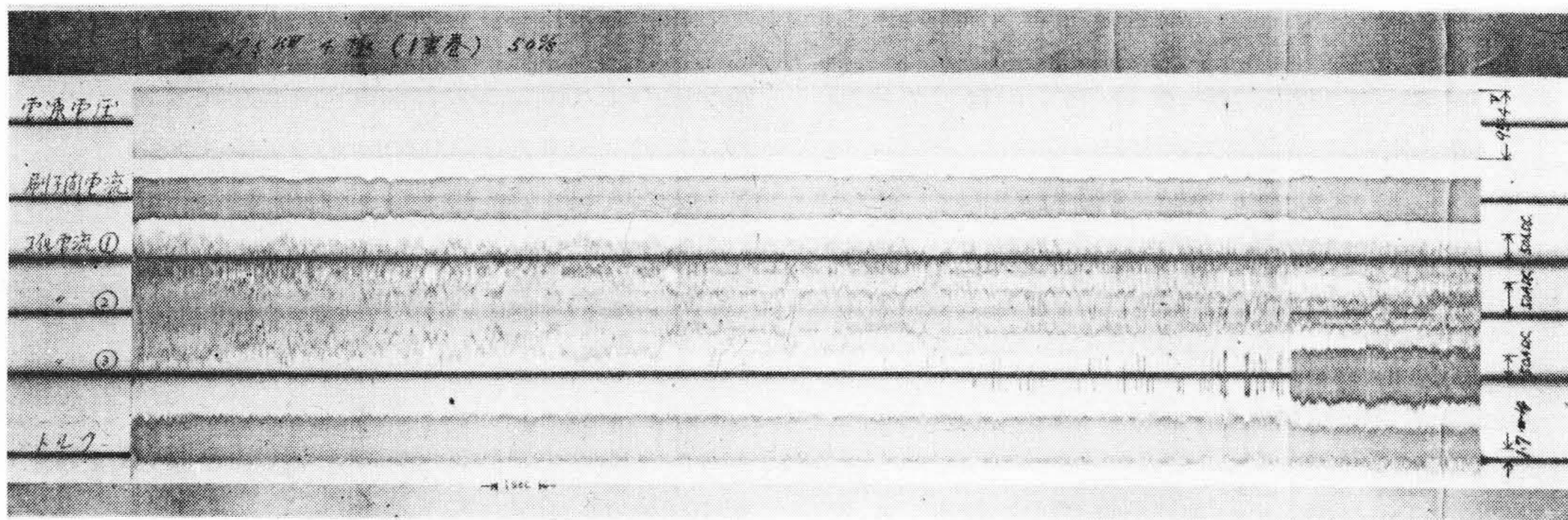
さて刷子の幅をある程度以下に狭くすることは機械的寿命や整流の点から好ましくない。回転子巻線を多重巻にする方法は、一次2

第1表 起動トルクおよび起動時回転子電流測定

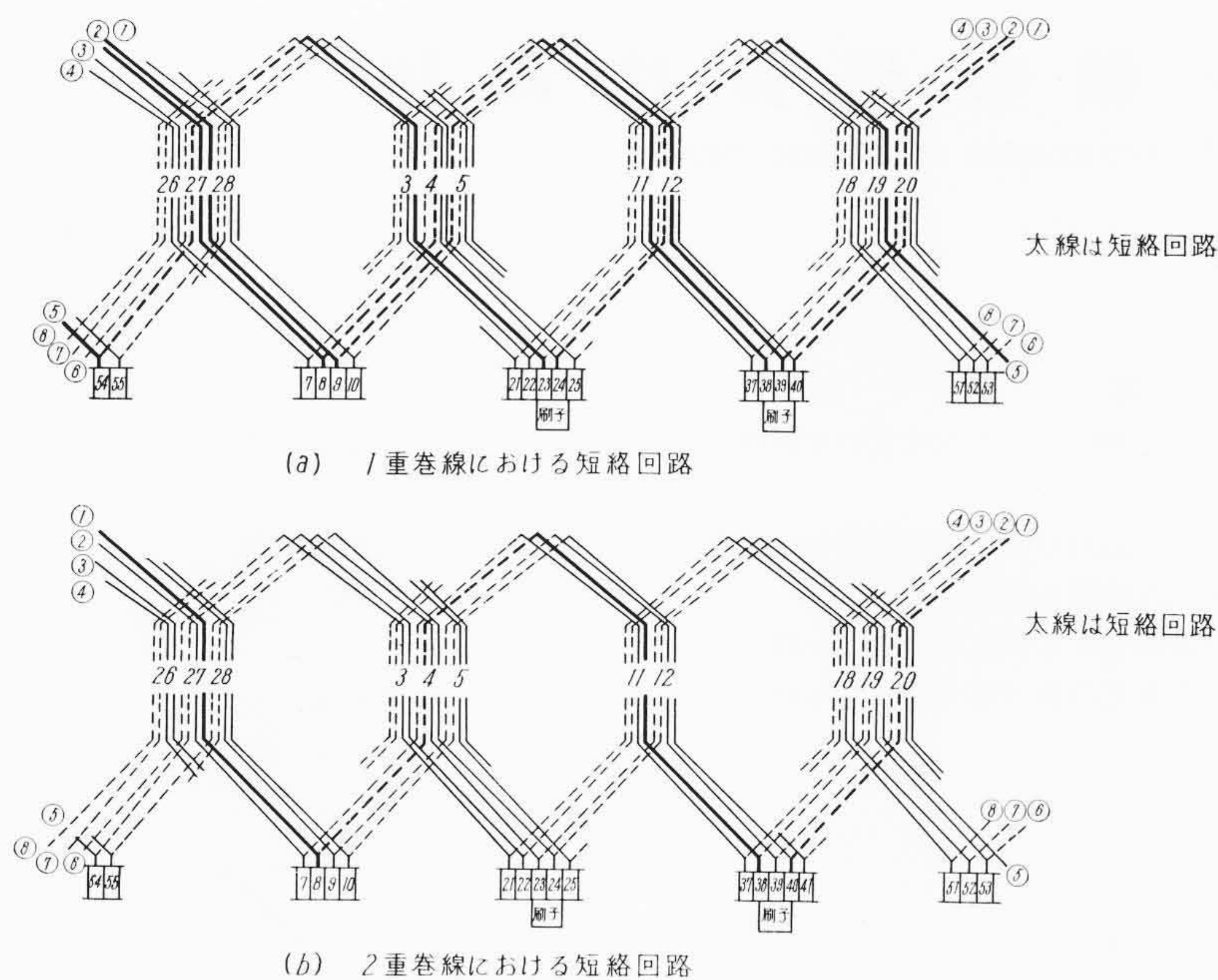
	回 転 子 置 位	電 源 電 圧 (V)	電 流								ト ル ク
			① (A)	② (A)	③ (A)	④ (A)	⑤ (A)	⑥ (A)	⑦ (A)	⑧ (A)	kgm
一 重 巻	0°	44	0	8.0	0	30.0	15.0	0	0	11.0	0.301
	2°	44	0	10.0	0	21.0	6.0	9.7	0	14.0	0.233
	4°	44	0	0	14.0	23.0	4.5	9.7	0	14.0	0.257
二 重 巻	0°	44	18.0	0	0	0	18.0	0	0	18.0	0.404
	2°	47	0	10.5	0	0	0	10.5	0	10.5	0.306
	4°	46	0	12.0	0	0	0	12.0	0	12.0	0.370



第11図 起動トルク電流測定



第12図 起動トルク電流の変化



第13図 回転子巻線にできる短絡回路

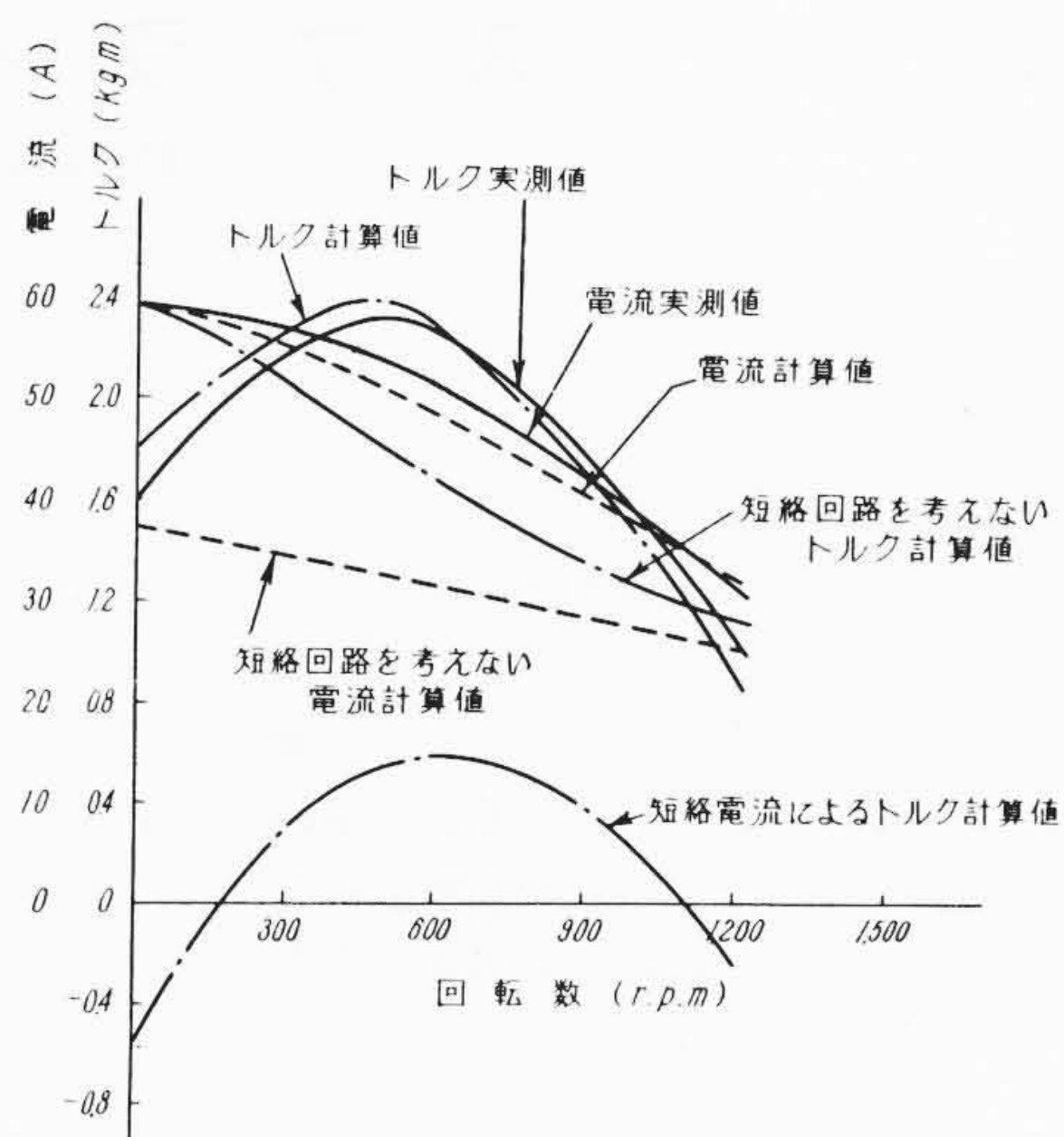
重巻、二次2重巻、一次3重巻、三次3重巻などいろいろ考えられるが、これらはいずれも定性的には同様な結果がえられると考えられる。0.75 kW 4極を例にとり第13図(b)のような二次2重巻線にした場合を調べてみると、並列回路は四つであり、隣り同士の整流子片につながる回転子回路は独立しているので、刷子が二つの整流子片にまたがっても短絡回路はできない。刷子が三つの整流子片にまたがって初めて短絡回路ができるわけである。したがって短絡電流がトルクに及ぼす影響は第14図に示す1重巻に比較して第15図のように小さくなり、また計算値とも傾向は一致している。

なお回転子の製作に当っては、回転子みぞ数と整流子片数とが簡単に割り切れないようにしておくと、回転子コアと整流子とを独立にシャフトに圧入した後、適当な相対位置をみつけて組線することができるので便利である。

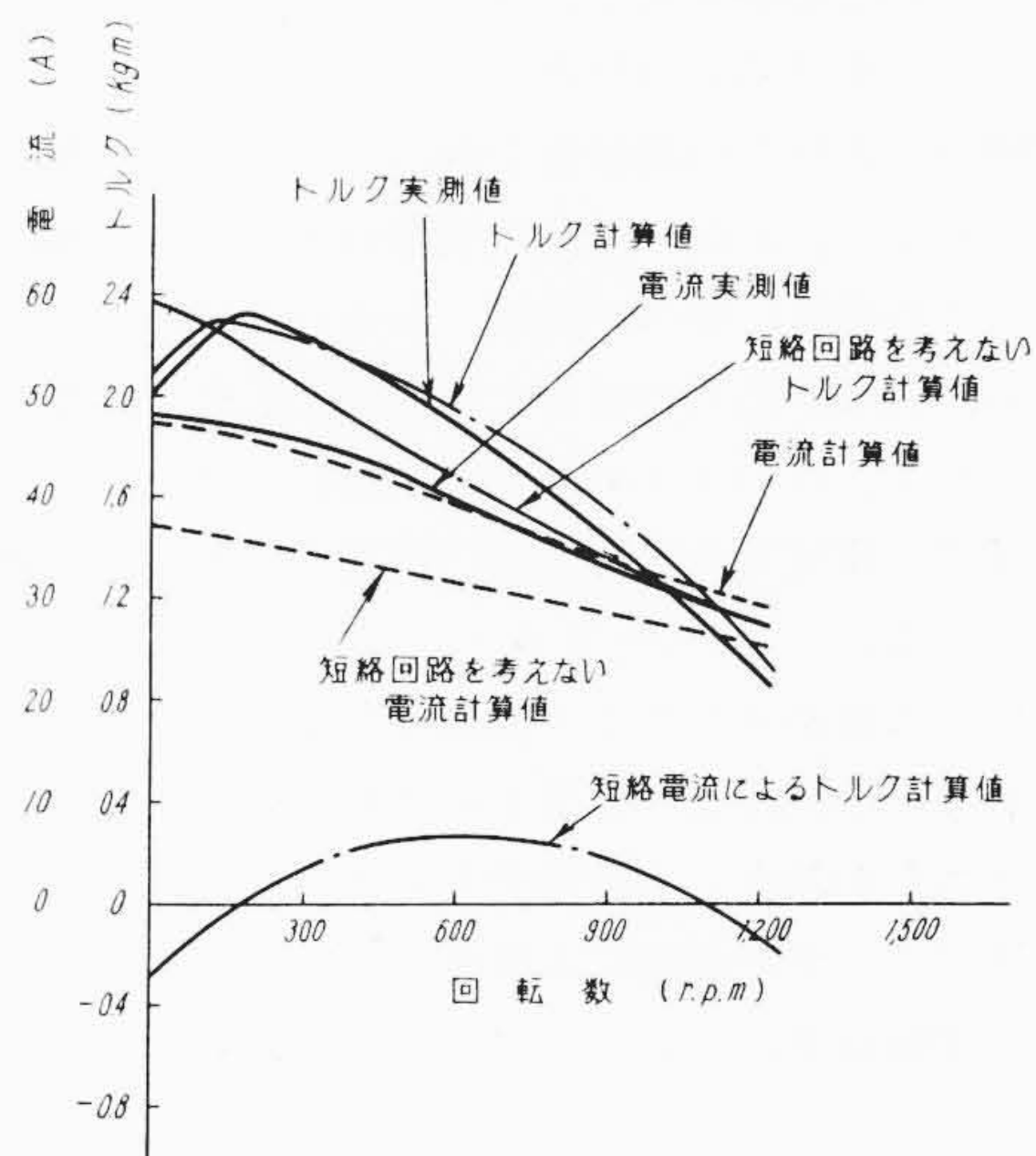
6. 結 言

反発起動单相誘導電動機は速度トルク特性が直巻特性とならず、またそのばらつきが大きく、起動トルクが異常に小さいものが現われる原因について、理論的考察と実験を行って検討した。その結果を要約すると次のとおりである。

- (1) 直巻特性にならず、またばらつきも大きいのは、刷子により2個以上の整流子片が短絡されて生ずる短絡回路に流れる電流によるトルクの影響がきわめて大きいからである。
- (2) 短絡電流によるトルクの大きさならびに速度トルク曲線の形状は、短絡回路のインピーダンスによることはもちろん、リアクタンスと抵抗の比によっても変化する。特に抵抗分に比しリアクタンス分が大きく、またインピーダンスが小さい場合には、起動時に大きい逆トルクを生ずる。



第14図 回転数-トルク、電流特性曲線 (1重巻)



第15図 回転数-トルク、電流特性曲線 (2重巻)

- (3) 短絡によるトルクの影響を小さくするには、たとえば回転子巻線を多重巻などにして、短絡回路の成立を少なくすることが効果的であり、これによって速度トルク特性を大幅に改善することができる。

日立製作所では、すでにこれらの研究成果を製品にとり入れ、トルク特性のすぐれた反発起動单相誘導電動機を市場に出している。

参 考 文 献

- (1) H. R. West: Journal A. I. E. E. 45, 160 (Feb. 1926)
- (2) P. H. Trickey: Trans. A. I. E. E. 60, 67 (Feb. 1941)
- (3) R. Richter: Elektrische Maschinen V 106 (1950)