

ころがり軸受のクリープについて (第1報)

—ゆるいはめあいの場合の二つの機構—

On the Creep of Rolling Bearing Races (1st report)

—Two Different Types of Creep in Case of Loose-fit—

今 井 正 也*

Masaya Imai

内 容 梗 概

ころがり軸受の軌道輪が軸または軸受箱と相対的に運動して、はめあい面の損傷、軸受の焼付きなどの事故を引き起こすことがある。この相対運動はころがり軸受のクリープとして広く知られているが、従来はめあい面におけるころがり運動によりこのような現象が起るという考えが一般的に認められていた。しかし、ころがり軸受を使った形ではクリープがころがり運動であることを確かめた実験結果は今までになく、本報ではこのような実験結果を報告した。また、すべり運動が起る観察結果を述べこの定量的解釈を行い、従来認められていたころがりによるクリープのほかに油膜生成によるすべりのクリープを分類した。

1. 緒 言

ころがり軸受の軌道輪が軸または軸受箱と相対的に運動して、はめあい面の損傷、軸受の焼付きなどの事故を引き起こすことがある。この相対運動はころがり軸受のクリープとして広く知られているが、直観的にも考えられるように、はめあいを堅くすることによって容易に防止できるものである。

しかし、ころがり軸受のはめあいはクリープの防止だけでなく、組立て・分解の難易、ラジアル・すきまの変化なども同時に考えて決められるので、堅いはめあいには限界がある。たとえば、軸にいくつかの軸受をタンデムにはめあいするとすれば、この全部を堅くはめるのは著しく困難なことになるであろう。このため、ころがり軸受のはめあいの決定は豊富な経験と実績をもとにして初めて可能であり、思うほど簡単なことではない。

このような事情のもとに、次の二つの技術上の要請が提起される。一つはクリープを防ぐにはいくらのしめしろを与えればよいかを示すはっきりした基準を決めることであり、いま一つはやむをえず十分なしめしろを与えられないとき、クリープによって起る事故を防止する方法を調べることである。このため、それぞれ軌道輪を堅くはめた場合、ゆるくはめた場合にクリープが起る機構についての知識が必要であることはいうまでもない。

クリープがなぜ起るかについては現在おおよそ一致した意見があるようである。たとえば、Palmgren氏はころがり軸受の内輪と軸をそれぞれオイルリングと軸にたとえ、オイルリングが軸の回転につれて軸の上をころがるように、内輪もはめあいにすきまがある場合は軸の上をころがり、軸と相対的に運動すると説明している⁽³⁾。これが一般的な説明であるが、Allan氏はこのころがり

運動のほかになんらかの原因によるすべりが加わるという観察結果を述べてはめあい面の損傷を説明しており⁽⁴⁾、また Kalikow 氏は特別な場合にはすべりが起ることもあると述べている⁽²⁾。クリープについてのただ一つの実験研究としてはころがり軸受の代りに軸受ブッシュを使って行った曾田教授のものがあるが、これによればころがり運動のほかにめあい面に油膜が生成してブッシュのすべりが起ることが明らかにされていて、ころがり軸受の軌道輪でもこのような油膜の生成によりはめあい面の損傷を防止することが示唆されている⁽¹⁾。

このように、クリープの機構としてはころがり運動のほかにすべり運動があり、すべり運動はめあい面の損傷とかその防止と密接な関係を持っているようである。しかし、すべり運動の機構はまだはっきりとはわかっていないし、その上実際にころがり軸受を使って、クリープがころがり運動であることを実験的に確かめた研究もまだないようである。クリープまたはクリープによる事故の防止法を考案する前に、このようなクリープの機構をはっきりさせておくことがまず大切であると考えられる。

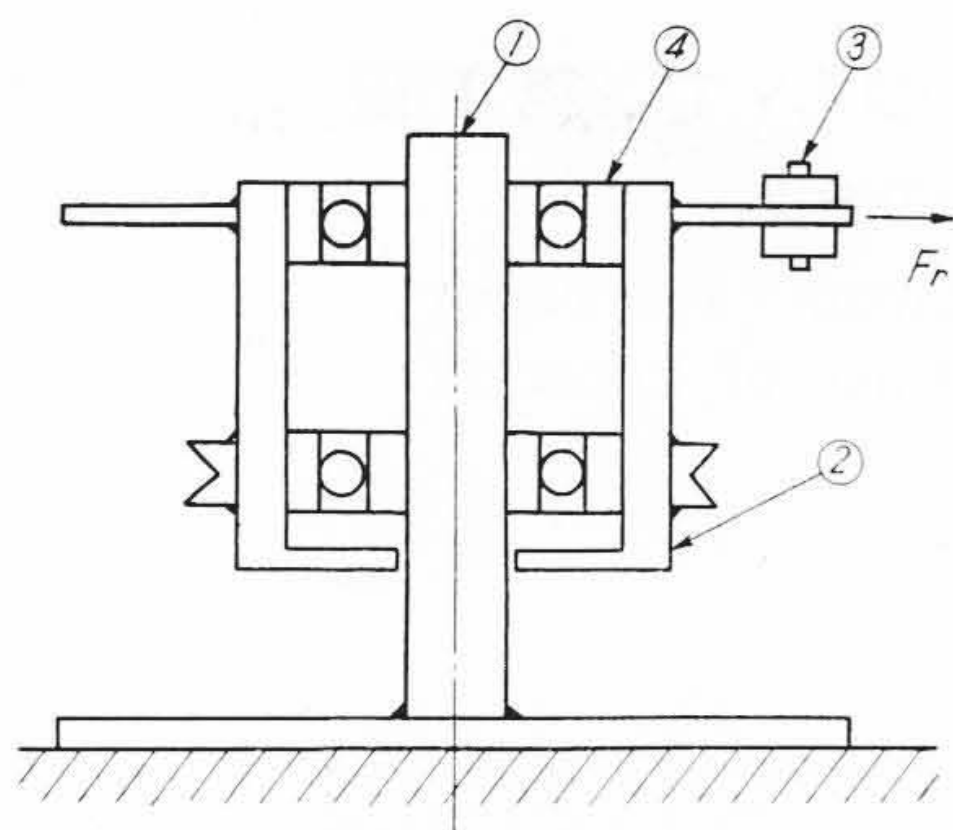
筆者は、ころがり軸受の軌道輪をゆるくはめあいした場合のクリープがころがり運動もしくはすべり運動によることを実験的に確かめ、またそれらの起る機構を明らかにしたのでここに報告する。

2. 実 験 装 置

2.1 内輪クリープ装置 (第1図)

軸①を定盤上に固定し、ウェイト③を付けた回転体②を駆動すると、ウェイト③により遠心力 Fr が生じ、試験軸受④にかかる。軸受④の内輪は静止した軸にはめられているので、荷重 Fr が回転すると、 Fr は内輪については転動荷重となる。この装置によって、転動荷重を

* 日立製作所亀有工場



第1図 内輪クリープ装置

受ける内輪の挙動を上部から肉眼で観察することができる。回転体は交流超分巻整流子モータによりVベルトで駆動され、回転速さの範囲はおおよそ 200~3,000 rpm、これはストロボを使って測定される。

荷重 Fr は 0~1,000 kg で、これは回転体の回転速さとウェートの質量から計算できる。回転体はあらかじめ静的バランスを 10 g-cm までとっており、一方回転速さの測定にも $\pm 1\%$ の誤差しか含まれていないので、荷重の計算値にはほとんど誤差はないと考えられる。

装置軸の上部はいろいろなはめあいができるように交換可能とした。

2.2 外輪クリープ装置

前項の装置とは反対に、外輪側を固定し、軸に偏心荷重を取り付けて軸を駆動すれば、遠心力は外輪に対して転動荷重として働く。

装置の仕様は内輪クリープ装置と同じである。

3. 実験の方法、結果と検討

3.1 ころがり運動によるクリープの機構を実証する 実験結果

クリープが正確なころがり運動であるとき、軌道輪と軸または軸受箱のはめあい円周上にそれぞれ目印をつけておけば、このずれる速さ v mm/s は (1) 式で与えられる (第2図)。

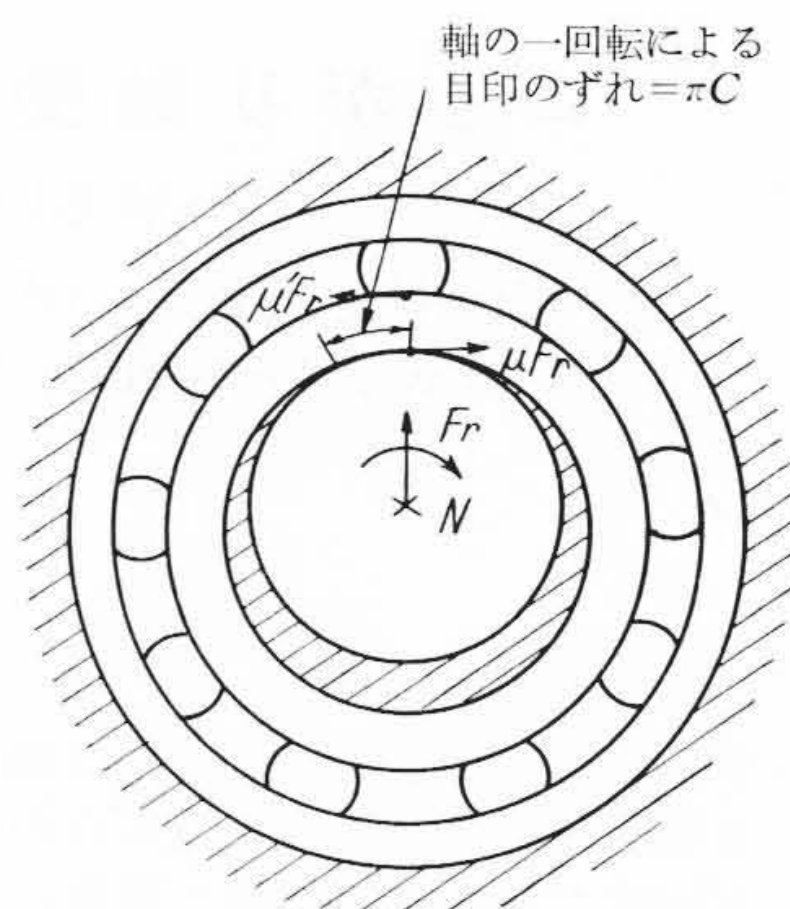
$$v = \pi C \frac{N}{60} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 C : はめあいの直径すきま (mm)

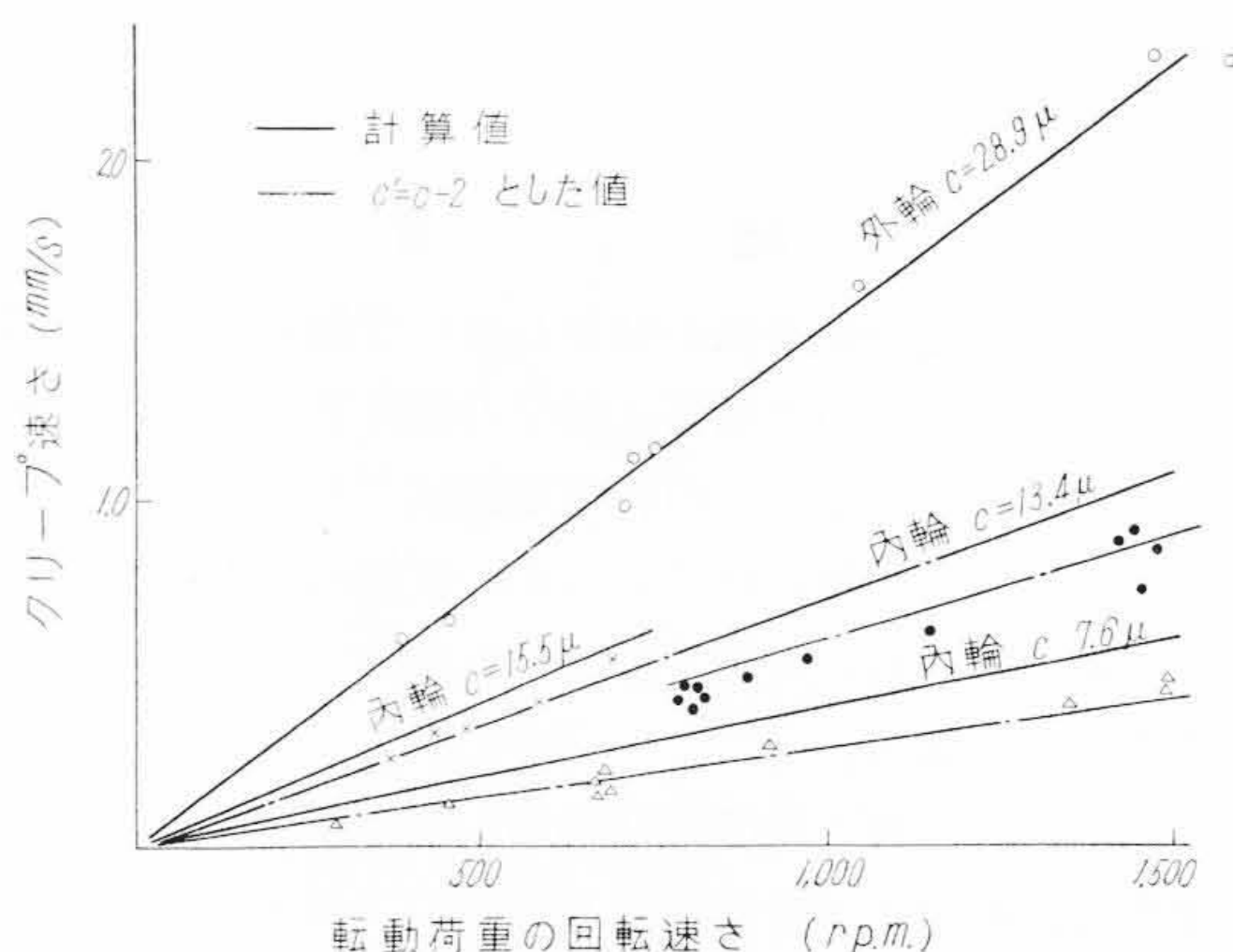
N : 転動荷重の回転速さ (rpm)

この v を曾田教授にならってクリープ速さということにしよう⁽¹⁾。クリープがころがり運動であるかどうかはこのクリープ速さを実測し、計算値と比較することによって簡単に調べられる。

そこで、ころがり軸受の軌道輪を軸または軸受箱にゆるくはめあかし、前節で述べた内、外輪クリープ装置に取り付け転動荷重をかけてクリープさせ、このときのク



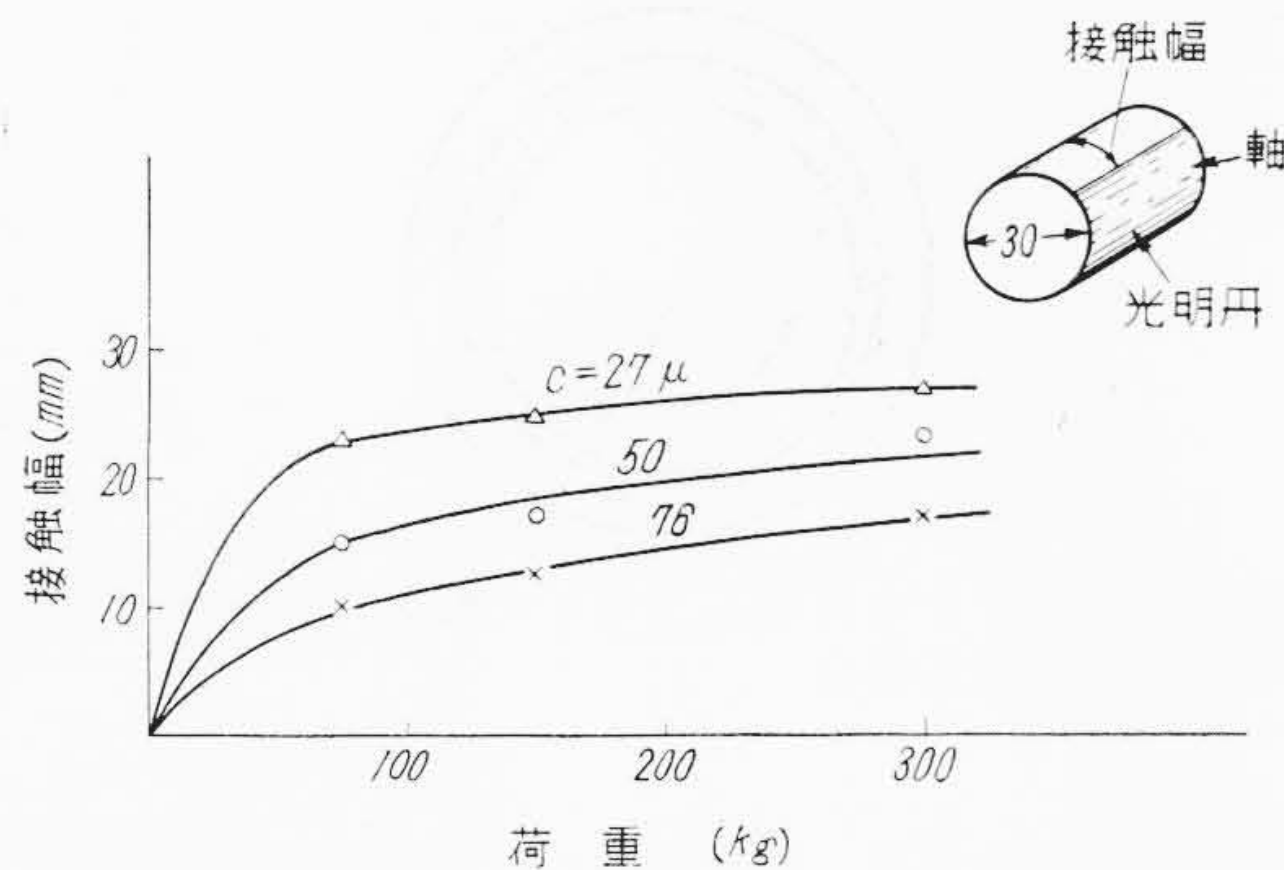
第2図 はめあいのすきまを誇張して示した軸と軸受



第3図 クリープ速さ——はめあい面がかわいているとき

リープ速さを実測した。最初の実験では、はめあい面をアセトンでぬぐい、実験中も油を浸入させぬようにした。供試軸受は 6206、軸および軸受箱は S35C を焼入れしたのちグラインダ仕上げしたものである。実験に先だち、軸および軸受の外径はミニメータにより、軸受および軸受箱の内径はエヤマイクロまたはオブチメータによって測定し、また真円度と円筒度がともに 2μ 以下であることを確かめた。表面粗さを触針式粗さメータにより測定したが $1\sim 2\mu$ であった。クリープ速さを実測するには、軌道輪の上に目印を付け、この目印が既定の角度だけ回転するのにかかった時間をストップウォッチで測定し、これから速さを求めた。

実験の結果は第3図のようになった。実線は計算値であり鎖線は実測の結果を表わした直線である。外輪の場合は計算値と実測値とはよく一致している。内輪の場合は実測値は計算値よりもやや小さい。しかし、すきま $C\mu$ を $(C-2)\mu$ にとると計算値と実測値とはよく一致する。この定常的な 2μ のかたよりはクリープが正確なころがり運動でなかったためというよりも、測定の定常



第4図 はめあい面の接触幅

的な誤差と考える方が妥当のようであり、またこの程度の測定誤差は避けられないものであると考えられる。

このように計算値と実測値とはよく一致し、この場合のクリープが正確なころがり運動によるものであることを示している。

第2図のようにはめあいされた軌道輪が転動荷重を受けるときころがり運動のほかにすべり運動するためには、はめあい面の接触点で働く摩擦力にうちかって軌道輪をひきずる力が働かなければならない。はめあい面での摩擦力の大きさは(2)式のとおりであり、一方軌道輪をひきずろうとする転動体と軌道輪の間の摩擦力は(3)式のとおりであるから、 μ と μ' を比較してみれば、このようにはめあい面がかわいている場合には、転動体が焼け付くとか軌道輪に食い込むとかしない限り、または荷重が非常に小さいときグリースの抵抗によって μ' がきわめて大きいものになったりしない限り、すべりが起ることはありえないことがわかる。

$$f = \mu Fr \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$f' = \mu' Fr \quad \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 f : はめあい面での摩擦力

f' : 転動体と軌道輪の間の摩擦力

μ : はめあい面での摩擦係数、面がかわいている場合、鋼—鋼の組合せで
0.05~0.30

μ' : 転動体と軌道輪の間の摩擦係数
0.0010~0.0040

Fr : ラジアル荷重

しかし、軌道輪と軸または軸受箱のはめあい面の曲率半径は実際にはきわめて近よっているので、はめあい面での接触部分はかなり広い。第4図は軸に6206の内輪をゆるくはめ機械試験所式軸受寿命試験機に取り付け軸を止めたままあたりをとった簡単な実験の結果であって、相当大的な接触面積が記録されている。軌道輪がころがるとき、この端部では局部的なすべりは避けること

第1表 クリープ速さ—はめあい面に油があるとき

	はめあいのすきま (μ)	油の粘度 (cp)	転動荷重の回転速さ (rpm)	転動荷重の大きさ (kg)	クリープ速さ mm/s (rpm)	備 考
内 輪	15.2	6.5	640	36	94.2(60)	30秒不安定な運動後クリープに移った。計算速さ 1.31
			1,050	98	895(570)	
			1,400	170	1,068(680)	
			1,650	230	2,590(1,650) ~1.20	
外 輪	50.2	6.5	380	9.5	6.95	計算速さ -3.47
			650	28.0	-0.820	
			900	54.0	-2.03	
			1,320	115.0	-3.48	

負号は逆転を示す

はできず、クリープによるはめあい面の損傷はこのために起ると説明できる。また、このように接触面積が広い場合クリープ速さはこの影響をいくぶんか受けるとも考えられるが、実験の荷重範囲 10~300 kg では速さの変化はほとんど見受けられず、この程度の大きさの荷重によっては円周の長さの変化があまり大きくなく、したがってクリープ速さもほとんど変化しないことが想像される。

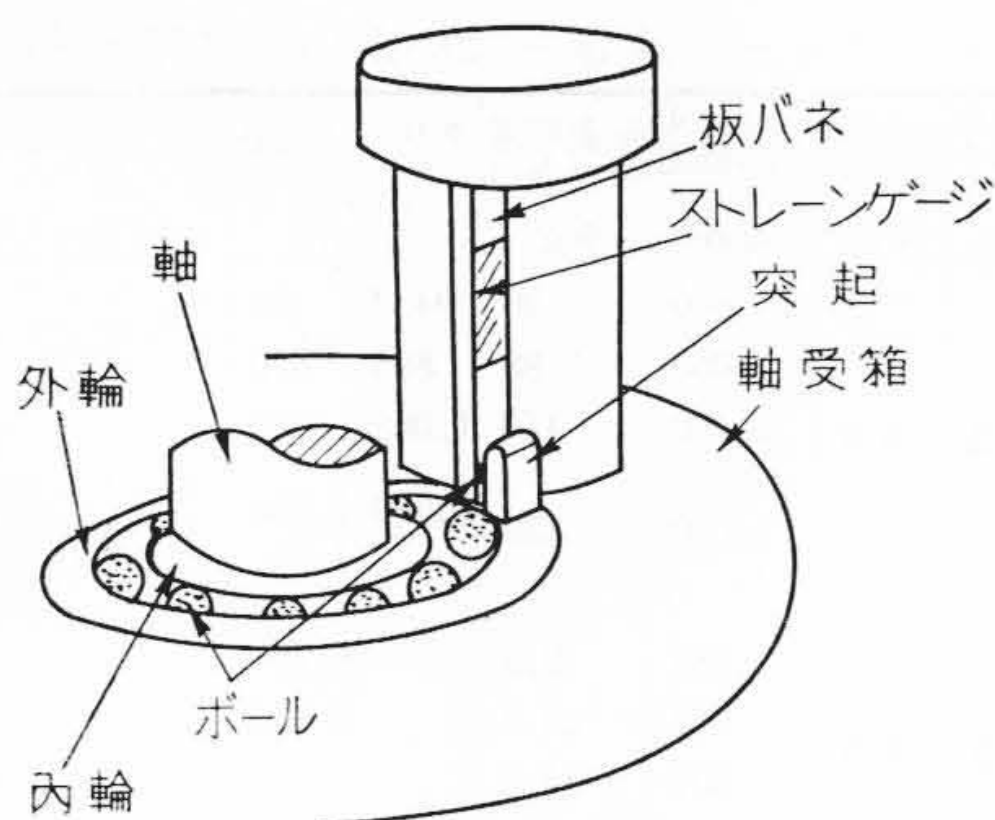
3.2 すべりの観察結果とすべり機構の定量的説明

前項で述べたのと同じ実験を今度ははめあい面に油を入れて行いクリープ速さを測定した結果の一例が第1表のように示される。この場合クリープ速さは非常に大きく前述のようなストップウォッチによる測定は不可能で、ストロボにより回転速さを測定し、これから v を計算した。また、この実験では油の粘度の温度による変化を避けるためシリコン油を使用した。

表に示されるように、内輪の場合クリープ速さは非常に大きく、内、外輪が一体となって回転する場合もあって、一見してすべりが起っていることがわかる。荷重が増すと、ある荷重で急にクリープ速さが小さくなり計算上のクリープ速さと一致して、すべりがころがりに移ることが示される。外輪の場合では、荷重が小さい間は転動荷重の回転方向と同方向にクリープが起り、荷重が増すと速さを失い、逆転し、ついには計算上のクリープ速さでクリープする。

ころがりによるクリープの方向は、内輪の場合転動荷重の回転方向と同方向、外輪の場合は逆方向であることは図をかいてみれば容易にわかるとおりで、一方軌道輪が転動体によりひきずられすべる方向は、この実験装置では、内、外輪の場合とも転動荷重の回転方向と同方向である。実験結果の回転方向は最初すべりが起り、次にくろがりへと移ったことをよく示している。

前項でも述べたように、すべりが起るのははめあい面に働く摩擦力がきわめて小さい場合で、ころがりに移るときこの摩擦力が増大すると考えられる。このことを確



第5図 力測定装置

第2表 クリープを制止するに要する力—はめあい面に油があるとき

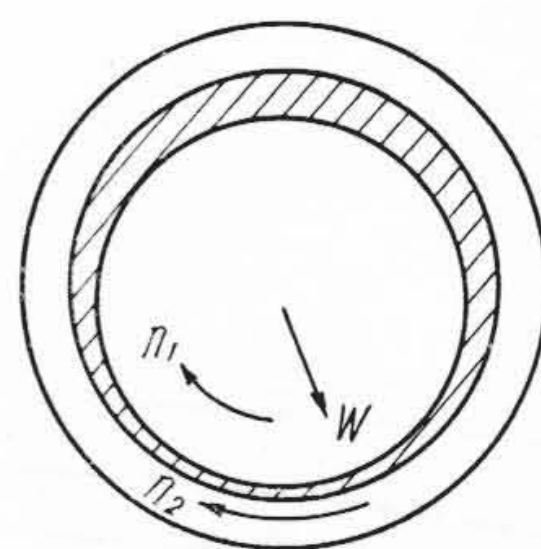
	はめあいのすきま (μ)	油の粘度 (cp)	転動荷重の回転速さ (rpm)	転動荷重の大きさ (kg)	力 (kg)	摩擦係数	備考
外輪	50.2	6.5	450	13.5	0	0	この間で逆転する
			880	51.3	0	0	
			1,290	111	0.59	0.006	計算速さになる
			1,500	154	>19.5	>0.13	

かめるため、クリープしている軌道輪を止めるに要する力を計った。測定装置は第5図に示すとおりであって、外輪の上に突起をはり付けておき、軸受箱に固定した板バネで突起の動きを止めると、このときの力が板バネにはったストレインゲージで測定される。測定される力は転動体からの摩擦力とはめあい面での摩擦力とが加え合わされたものである。

結果は第2表のようになり、あらかじめ考えられたように摩擦係数はすべりのときは非常に小さく、ころがりのとき急激に増大して(2)式の μ にほぼ相当する値になる。

すべりのときは摩擦係数がこのように小さくなるのは明らかに油を入れた影響である。摩擦係数の大きさから、ほとんど完全に粘性油膜が成立しているものと考えられる。この場合の粘性油膜の生成機構は曾田教授が指摘したように油をはさんだ面が互に押し付け合うことによるものであるが⁽⁴⁾、定量的取り扱いのためには次のように置き換えるのが便利である。

第6図は一定方向の荷重 W を受け、軸、軸受面がそれぞれ回転速さ n_1 , n_2 で回転するすべり軸受を示している。この軸受に発生する油圧分布は軸受面の回転速さ 0, 軸の回転速さ (n_1+n_2) のすべり軸受に置き換えて計算されることがわかっている⁽⁵⁾。今、この図で軸受面をころがり軸受の内輪と考えると、このままクリープのときははめあい面に発生する油圧分布を計算できる。ころがり運動のときは $n_1 \neq n_2$ であり、すべり運動のときは $n_1 \neq n_2$ となる。もちろん、荷重に対して軸も内輪も止



第6図 すきまを誇張して示した軸と内輪——すきまに油がある場合

第3表 油膜の破断

	はめあいのすきま (μ)	油の粘度 (cp)	転動荷重の回転速さ (rpm)	転動荷重の大きさ (kg)	軌道輪の回転速さ (rpm)	計算油膜厚 hmin. (μ)	面の最大粗さ (μ)	
							軌道輪	軸または軸受箱穴面
内輪	15.2	6.5	1,400	170	1,400	1.9	2	1
		14.5	970	260	970	1.9	2	1
		21	1,360	500	1,360	2.0	2	1
	29.5	6.5	1,100	70	1,100	2.2	2	1
		14.5	1,220	210	1,220	1.9	2	1
		21	1,160	360	1,160	1.6	2	1
	52.3	6.5	980	85	980	1.7	2	1
		14.5	1,000	275	1,000	1.3	2	1
	99.0	6.5	830	100	830	—	2	1
		14.5	780	110	780	1.2	2	1
	16.5	21	1,600	220	210	4.9	2	6
	50.5	21	1,250	48	160	9.1	2	7
外輪	50.2	21	1,070	36	180	7.9	2	7
		6.5	1,500	154	0	5.0	推定2	1
		14.5	1,320	225	0	6.0	推定2	1
	21	1,280	423	0	0	4.8	推定2	1

まっていれば、 $n_1 = n_2 = n_1 + n_2 = 0$ で、油膜は生成されず、すなわち転動荷重がかかることによって初めて油膜ができすべりが起ることを注意しよう。第6図では、荷重が静止し、軸と内輪が回転することによって荷重は内輪についての転動荷重となったが、逆に荷重方向が回転する場合も荷重の方向に座標軸を固定すれば第6図と同様になる。軸受内の油圧分布の解析には通常は慣性項は考えなくてもよい。

次に、このような機構によってはめあい面に粘性油膜が生成されることが決して特殊ではないことを示そう。第3表はこの実験で荷重を増していくについにすべりがころがりに移行するとき測定した実験諸条件を示したものであって、通常回転速さ、粘度 21 cp という薄い油でも 500 kg 程度の大きな荷重まで油膜が成立してすべりが起っている。このとき生成される油膜の厚さを、第6図で説明した置き換えを行い、普通のすべり軸受につ

いて軸方向の漏れも考えて求められた Kingsbury & Needs の方法⁽⁶⁾によって計算すると、第3表に併記したような値になる。そして、油膜が切れるときの最小厚さ $h_{\min}$ μ ははめあい面の最大粗さとほぼ等しい。一般に、すべり軸受では面にうねりなどがある関係上、油膜厚さは面の粗さの数倍以上ないと油膜が切れるといわれており、またまだ油膜破断の条件もはっきりとはしていないのだが、この場合はころがり軸受の寸法精度が良いことと、軌道輪の幅が狭いためうねりの影響が小さいということのためにほとんど極限近くまで油膜が切れないということが考えられる。

ころがり軸受をゆるくはめあいして運転する場合、はめあい面に油が浸入することはしばしばあると考えられる。このような場合、はめあいのすきまに油膜が生成され、ころがりによるクリープよりもすべりによるクリープが起る場合が多いことが油膜厚さの計算の結果、また第3表の実験の結果から想像される。従来、一般的に認められていたころがりによるクリープの機構のほかに、油膜生成によるすべりのクリープの機構を分類する必要がある。

そして、油膜は容易に生成されしかも油膜が生成した場合のはめあい面の接触は第2表で示したようにきわめて軽いものであるから、この場合は面の摩耗などはかえって起らず、曾田教授の提唱している注油によるはめあい面の損傷防止法⁽¹⁾はきわめて広い応用範囲を持っていることがわかる。

4. 結 言

この研究により次のことがわかった。

(1) ゆるくはめられたころがり軸受軌道輪に、転動荷重がかかり、はめあい面がかわいているとき、軌道輪は正確なころがり運動によるクリープをし、すべりは特殊な場合を除いては起り得ない。

(2) 同じ条件ではめあい面に油があるとき、軌道輪ははめあい面ですべり運動する場合ところがり運動する場合がある。すべりは転動荷重がかかることによってはめあいのすきまに粘性油膜が生成されるためで、実際の場合に軌道輪がすべりを生じていることはたびたびある。このとき生成される油膜の最小厚さが面の最大粗さにほぼ等しくなったとき油膜が切れてすべりはころがりに移る。このように従来一般に認められているころがりによるクリープの機構のほかに油膜生成によるすべりによるクリープの機構が分類される。なお、曾田教授の提唱している注油によりはめあい面の損傷を防止する方法は広い応用範囲を持っている。

終りに、御指導いただいた東京大学航空研究所曾田教授、日立製作所亀有工場小堀研究課長、江川第2検査課長に厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 曾田：軸受プッシュおよびころがり軸受内、外輪のはめあいとクリープ，機械学会誌 55 巻 400 号
- (2) Kalikow：Creep of Ball Bearing Races, Product Engg., Apr. 1949
- (3) Palmgren：Ball and Roller Bearing Engineering p. 115～
- (4) Allan：Rolling Bearings p. 295～
- (5) たとえば Shaw and Macks：Analysis and Lubrication of Bearing p. 201～
- (6) たとえば Fuller：Theory and Practice of Lubrication for Engineers p. 201～

日立評論別冊 No. 30

「運搬荷役機械特集号」

昭和34年7月20日発行予定

目 次

◎港湾における雑貨荷役について
◎陸揚げおよび積み込み設備について
◎鉱石専用船を対象とする大形アンローダについて
◎貯炭貯鉱場におけるばら物荷役設備
◎炭 砒 における運搬設備
◎ケーブルクレーンによる荷役
◎パ ワ ー ク レ ー ン
◎水力による固形物の輸送について

◎天井クレーンの選定について
◎クレーンの鉄構部と機械部分の最近の傾向
◎クレーンの保守と保安について
◎ホイスト荷役の自動化
◎空気輸送機の応用面の展望
◎クレーンの速度制御
◎八幡製鉄株式会社八幡製鉄所戸畑岸壁 1,000t/h アンローダ用電気設備

発行所 日立評論社 東京都千代田区丸ノ内1丁目4番地 振替口座東京 71824 番
取次店 株式会社オーム社書店 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地 振替口座東京 20018 番



特 許 の 紹 介

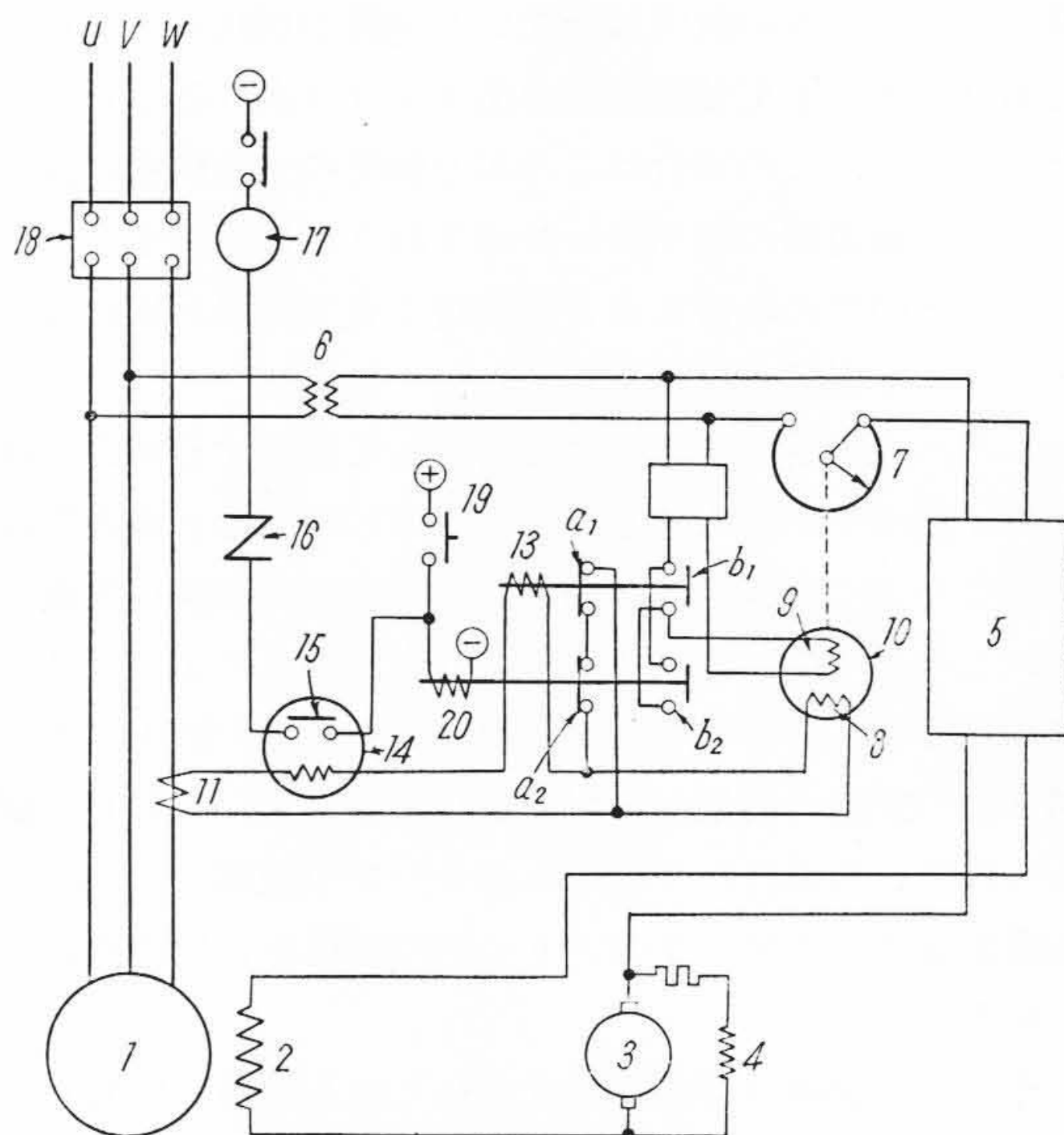


特 許 第 236039 号

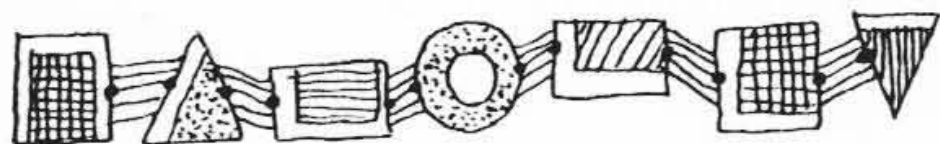
斉 藤 武

同 期 発 電 機 自 動 運 転 装 置

この発明は系統内に並列接続されて運転する自動電圧調整器付同期発電機に対してこれに起りうる無効過電流の保護対策を講ずるとともに、この発電機の停止段階において生ずる進相または遅相電流に対しても保護対策をほどこしもって同期解列となる際の回路遮断器の遮断責務を軽減せんとするものである。本装置を図のような構成とすれば、発電機1が定格全負荷電流以下の範囲で通常運転しているときは自動電圧調整器5によって1の出力端電圧は予定の一定値に自動調整されることはもちろんであるが、もし系統とのある相対関係に変動を生ずると1の回路は進相または遅相性負荷をとることになり、その電流値が予定以上となると変流器11の二次側短絡接触器13が動作して a_1 を開き二相電動機10の一方巻線8に通電する。その一方13は b_1 を閉じて10の他方巻線9に変成器6の二次電圧を与える。電動機10は電流の進相遅相に応じて左または右回転し整定電圧調整抵抗7を中性位置から移して調整器5の整定を自動的に変更する。それ以後は調整器5はまったく新たな動作基準を得て発電機1の励磁度調整を行い、その動作は発電機回路電流が規定値に落付くまで継続され、13がもどって電動機10が停止して止むのである。さて次は水車発電機の緩停止の場合であるが、もしこの場合系統電圧と発電機誘起電圧との関係によって生ずる発電機回路の無効電流に対して無関心であるならば、発電機の同期解列に当って遮断器は余計な責務を負わされることになるのである。これを避けるために補助継電器20が設けられ、これを発電機停止操作に関連して閉合する接触子19によって付勢すべく、継電器13に無関係に電動機10を a_2 、 b_2 接点の開閉によって回転せしめる。しかるときは無効電流の量に応じて



電動機10は駆動され抵抗7の位置は変えられることから発電機1は無効電流を零となすように励磁度の調整を行う。やがて水車案内羽根が無負荷開度以下となって開閉器16を閉合し、一方11の二次電流が所定の低値以下となると継電器14が動作して接触15を閉合し、ここではじめて引外線輪17が付勢されて遮断器18を無電流状態に近い状態で自動遮断せしめる。(宮崎)



新 案 の 紹 介



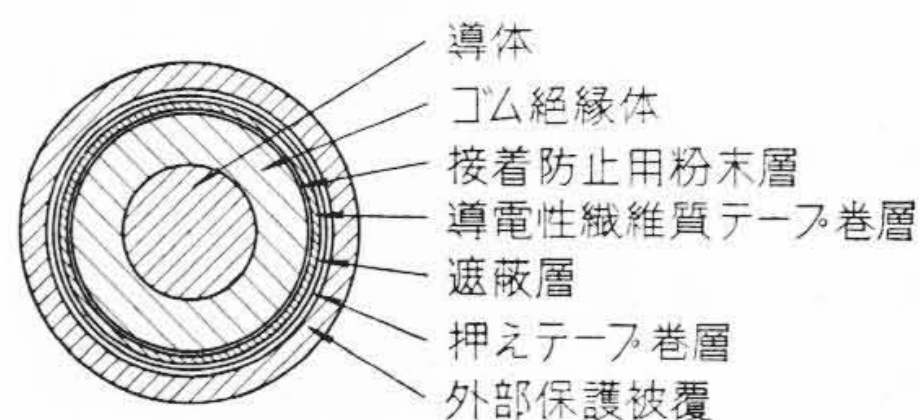
実用新案 第 475898 号

山野井 勝一郎・長 山 春 一

高 圧 用 ゴ ム ケ ー ブ ル

最近大幅に採用されている高圧用ゴムケーブルは、普通、ブチルゴムなどのゴム絶縁体の周上に、カーボンブラック、グラハイトの粉末を配合した導電性塗料をゴム引綿テープに塗布した導電性繊維質テープの纏巻を施している。しかしこのようなケーブルは端末加工に際して、端末部の導電性繊維質テープをはぎ取った跡のゴム絶縁体表面に多量のカーボンブラック、あるいはグラハイトの粉末が残り、これをそのままにして課電すれば表面漏洩による短絡事故をひき起す危険があり、またこの導電性粉末の取り除きにはきわめて手数を要していた。

この考案はこのような点にかんがみ導体上に設けたゴム絶縁体の周上に、接着防止用粉末層を介して絶縁体より薄い同質の薄ゴム層を設け、さらに導電性繊維質テープ巻層、遮蔽層、押えテープ巻層、外部保護被覆を順次設けたものである。



このようにすればケーブルの端末加工に際しては、薄ゴム層もろとも導電性繊維質テープ巻層をはぎ取ることによって、きわめて簡単かつ完全に表面漏洩の原因となる導電性粉末を絶縁体表面より除去することができる実用効果がある。(斉 藤)