

直動ボールガイド用レール材の転がり抵抗 および転がり寿命

小林 礼* 野口和良* 石井友之**

実験目的

機械部品、電子部品等の高精度化に伴い、その加工、製造過程において、より高精度な直動システムが必要になってきている。その中において直動ボールガイド（LMガイド）はXYテーブル、高精度旋盤装置等で従来の摺動ガイドに比較し、高精度、低摩擦抵抗で作動可能なことから注目され、今後も需要の増加が見込まれている。図1にSRW型のLMガイドの構造を示す¹⁾。そこではレール上を循環するボールが負荷をささえ、転がり運動による摩擦抵抗の低減を図っている。しかし、これらレール材の寿命に関する従来の研究はボール軸受けに関する回転式のものが多く、直動システムにおけるデータは限られている^{2) 3) 4)}。事実上、ボールとレールのトライボロジーにおいて大きな差異はないが、回転軸受けが比較的高速、低負荷であるのに対して、直動システムでは高負荷で反転運動ならびに停止を含む等の環境の違いがあるため、油切れなどの問題が生じることがある。

本報告では、ボールにより負荷を受けるレール材の寿命を、比較的単純な機構で試験する方法を模索し、転がり寿命試験機を作製し、レール材の評価試験を行った。また、金属材料の転がり摩擦係数については、物理的意味と実測装置の機構上の現実とにかなりの差

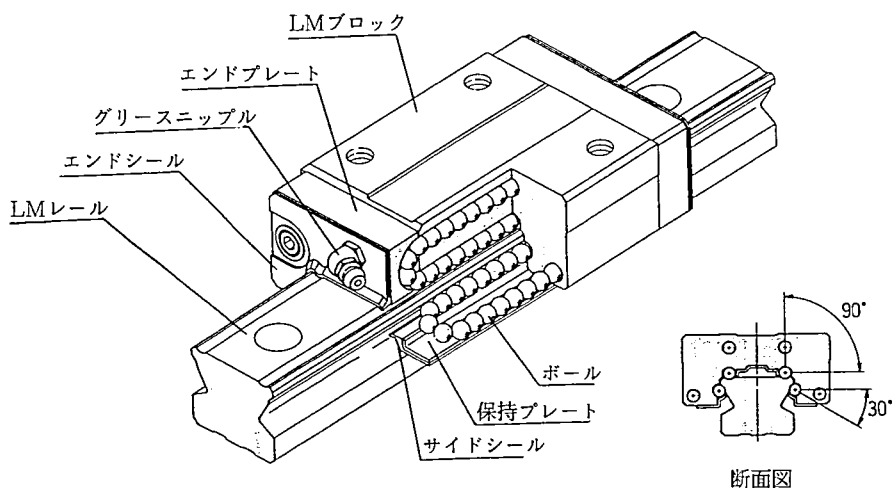


図1 THK製LMガイドSRW型の構造¹⁾

* 大学院修士課程

**理工学部機械工学科 教授

異があり、実用に供する物理定数を測定するのは困難であるが、本実験の装置の範囲でその値を求めてみた。さらにLMガイド等を工作機械に組み込んで使用すると、切削屑や粉塵を巻き込む事により、レールが損傷することがあるが、それらの傷が寿命にどのような影響があるかについても検討を加えた。また、転がり寿命試験中の転がり抵抗の変化についても測定を行い、その間の表面粗さの変化、フレーキングの発生時期等についても検討を行った。

実験試材、装置および方法

鉄鋼材料のボール転がり寿命については、従来スラスト型の試験機が用いられているが、

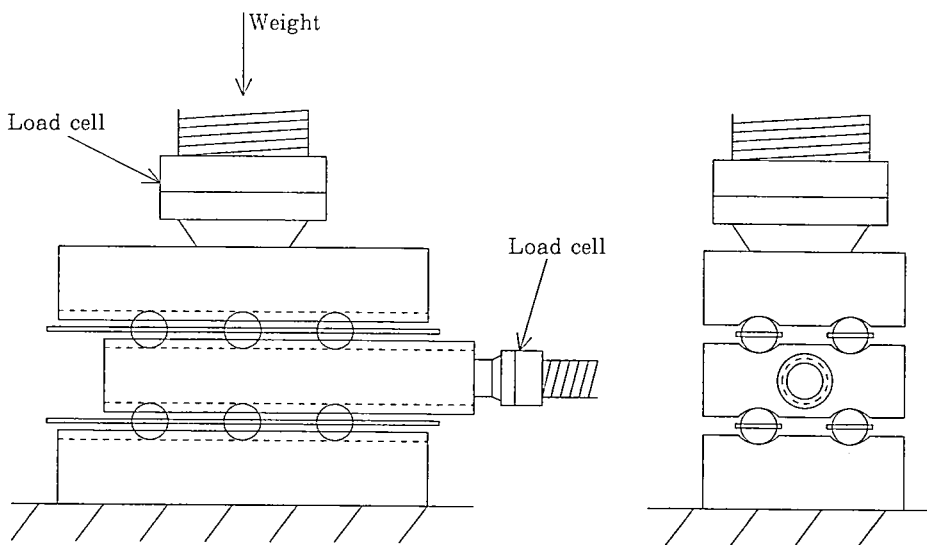


図2 直動ボールガイド用レール材の寿命試験機の概略

それらは、直線運動をしない為、LMガイド等の使用条件により近づける目的で図2にその基本機構を示すような試験機を試作した。R型のレール溝のついた試験片を上下のボールゲージに収まったボールで挟み上部のレール溝付き試験片を通して負荷を加える事とした。この試験機では中央の試験片は基本的には上下の転がり運動をするボールに支えられて駆動されることになり、この試験片はステップモータおよびボールねじにより前後 ± 20 mmのストロークで往復運動し、周期は約0.5 sとした。また、負荷ボール数は上下で異なり、上部レール材に過負荷が生じる実験条件を採用した。

また試験片としてはLMガイドなどに用いられているS55C相当材にR溝加工を施し、転走部を高周波焼き入れし、HV750程度にしたものを用いた。溝は6 mm ϕ のボールに対して3.1Rとし研削仕上げした。またボールはSUJ2材をHV800に焼き入れしたものを用いた。グリースはAFB（リチウム系万能グリース2号）を用いた。

実験結果および考察

金属材料の物理定数としての転がり摩擦係数は0.002~0.005前後とされている¹⁾⁵⁾。ただし、実用的な値としてはなお論議がある。図3に本実験装置による上部からの負荷荷重

とその際試験片を動かすに要する抵抗の関係を示した。ここでは、この傾きがある種の転がり摩擦係数となり、その値は約0.002～0.003である。これは先にのべた文献の値の範疇に入っている。これらの値はボール径、レール材の変形、上下の潤滑条件等により変化するものと思われる。レール材とボールの間の摩擦に関しては、もしその値が限りなく小さくなるとボールを回転させる摩擦力も小さくなり、ボールが転がらなくなる恐れがあり、試験そのものがかなり難しい内容を含んでいる。ただ、この種のデータは工学的には摩擦抵抗低減の目安としての意義を持つものと考えられる。

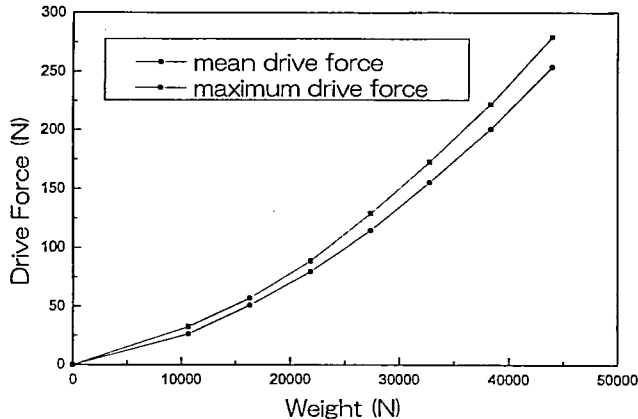


図3 転がり寿命試験機によるレール材の転がり摩擦挙動

転がり寿命試験機中の表面粗さを測定し、どの時点でフレーキングが発生するかを推定する手掛かりを得るために、試験中、時々試験片をはずして、表面粗さ試験機に取り付け、粗さを測定した。図4に繰返し数に対して、中心線平均粗さ（Ra）を示した。レール材の寿命については、本実験ではフレーキングの発生がレールに観測され、それに伴い、試験片駆動装置に過負荷が生じた時点で寿命と判断し、それを26.8万回としたが、図に示されるように Raの値はすでに20万回を超えるあたりから増加が見られ、かなりののぼらつきがあるが、その後の運動中にそれらの表面欠陥がさらに増大していったものと考えられ、

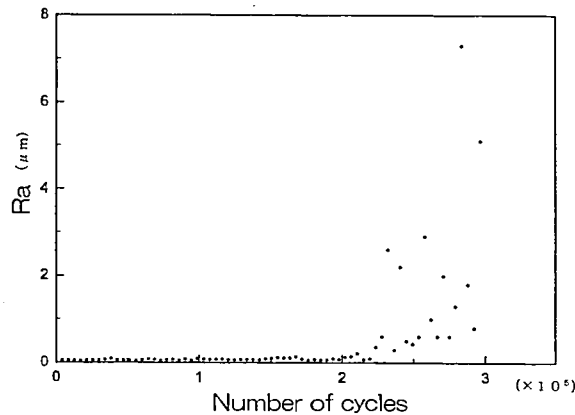


図4 転がり寿命試験中の表面粗さと繰返し数の関係

このグラフは実用的なレール寿命を判断するのに適しているように思われる。次に、レール材に傷や、粉塵の巻込みによる影響を調べる目的で、ビッカース硬さ試験機によりあらかじめ、5 mm間隔で（1 kg荷重）圧痕をつけ、それらが寿命にどのような影響があるかについて検討を行い、図5にその結果を示す。この場合も寿命は、27.1万回とほぼ圧痕のない材料と同じような値を示しているが、 R_a の値は、圧痕のないものに比べてやや大きく、ボールの転がりにそれらの圧痕が影響しているように見られるが、実際にフレーキング発生に結びつくような R_a の増加は、20万回を超えたあたりから観察され、1 kg荷重程度の比較的小さな圧痕では、転がり寿命にあまり影響が出ていないという結果が得られた。しかし、このような表面粗さの測定は試験を中断し、試験片を取り外し、粗さ試験機に取り付け、測定し、また、試験を続けるという、複雑なプロセスをとるため駆動部にロードセルをとりつけ、試験中の駆動力を連続的に測定する方式を採用する事とした。

図6に、転がり試験中の駆動力を連続的に測定し、データロガーに記録させ、その転が

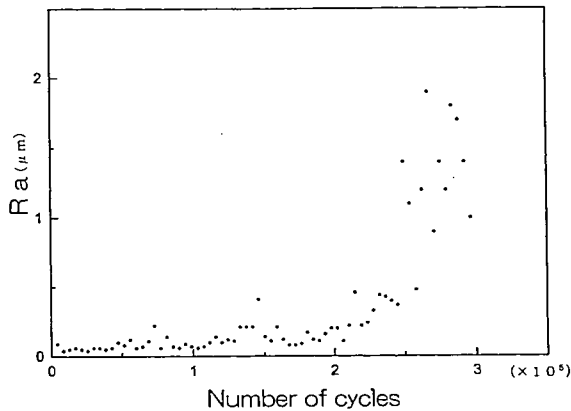


図5 疑似損傷をつけたレール材の転がり寿命試験中の表面粗さと繰り返し数の関係

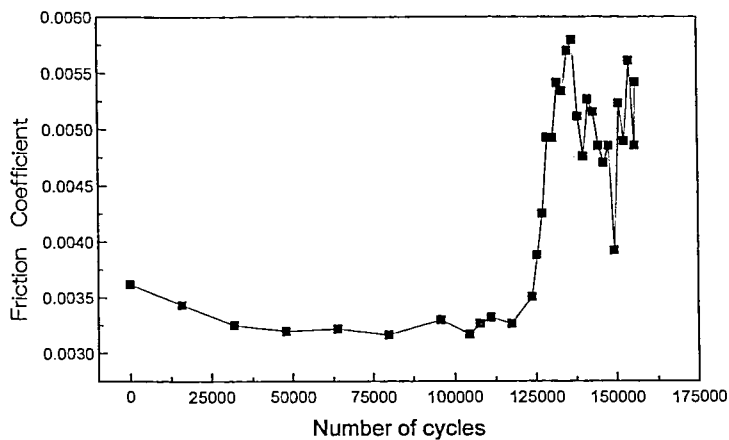


図6 ビッカース圧痕を付けた試験片における転がり寿命試験中の転がり摩擦係数と繰り返し数の関係

り摩擦係数を繰り返し数に対してプロットしたグラフを示す。ここでは、やや初期のところで転がり抵抗の減少が見られ、これは研削加工溝のならし効果によるものと考えられるが、ほぼ10万回までは一定の駆動抵抗を示すのに対して、12万回を過ぎる頃から急激に増加し、最終的なレール損傷へと導かれるようである。この傾向は、図5に示した表面粗さのRaの増加とかなり良い対応を示していることから、この試験片においては、過負荷が生じて試験機が停止し、寿命と判定される、少し前から、表面損傷が始まっているものと考えられる。また、この材料も図5と同様にビッカース圧痕をつけて、LMガイドを使用中に切削屑、砂等をがみ込んでレール材に傷がついた場合の影響を想定して調べたものである。ただ、図5で述べられたように1kgの負荷では、寿命にほとんど影響を受けなかったが、5kgの荷重で0.14mm程度の圧痕をつけた場合は、約15万回と寿命が約40%程度に減少し、ビッカース圧痕のような傷がフレーキングの発生の起点になり得る事があり、それがレール材の寿命低下につながっている事が推定される。

結言

本実験では直動ボールガイドシステムにおけるレール材の評価を行う目的で溝レール中を転がる鋼球による転がり疲れ寿命試験を行った。溝を転動するボールの転がり摩擦係数は約0.002～0.003程度で、これはほぼ文献にある値と同じである。これらの値は今後摺動部品の摩擦抵抗を低減させる指針になるものと思われる。転がり疲れ寿命は、今回の試験条件では、40万回程度となるが、レール溝にビッカース硬さ試験機による擬似損傷を与えた材料との比較について検討したが、ビッカース圧痕が微小の時は、レール材の寿命に大きな影響を与えないが0.14mm程度の圧痕を5mm間隔で付けたような損傷は寿命を著しく低下する事が実験的にも確かめられ、切削屑や砂の巻き込みは、フレーキング発生の起点にもなり得る事が推定された。また、転がり試験中にレール材の表面粗さは、ある時点まで一定に推移し、ひとたびRaの値が増加すると、加速されて増加する事が、示された。この事は、連続的に測定された駆動抵抗の値によっても確かめられた。

謝辞

本報告はTHK株式会社との共同研究の一部であり、同社から試験機、試験片を含む資材ならびに貴重な助言、ご教示を頂いた。ここに同社研究開発部の五十嵐一則部長、滝義夫課長、新部純三主任、三浦徹也氏をはじめとする多くの方々に深く感謝申し上げます。また、卒業研究として実際に実験をしてくれた諸君および大学特別研究費の補助に感謝いたします。

文献

- 1) 直動システム・カタログ：THK株式会社、p. A-42、A-180
- 2) 中山景次：メンテナンス、(1983)、9、p.10
- 3) 坪田一一：鉄と鋼、68、(1982)、8、p.1046
- 4) 野沢義延：機械と工具、(1976)、1、p.89
- 5) 綿林栄一、田原久祺：ベアリングのおはなし、日本規格協会、p.108