

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420180

研究課題名(和文)クロスローラガイドの保持器ずれの発生機構の解明とその防止方法の提案

研究課題名(英文)Generating mechanism and prevention of cage creep of a crossed roller guide

研究代表者

太田 浩之(Ohta, Hiroyuki)

長岡技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30233141

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、まず、一般的なクロスローラガイドの保持器ずれに及ぼすラジアル荷重とミスアライメントの影響を調べた。次に、保持器ずれを防止防止対策がなされたスタッドローラガイドにおいて、近年問題となっているディンプルの損傷の基礎研究として、スタッドとディンプルの接触力および応力の解析を行った。最後に、スタッドとディンプルの接触力と応力を低減するためには、鋼製のスタッドローラおよび円筒ころを窒化けい素製へ変更することが有効であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this study, first, the effects of radial loads and misalignment on the cage creep of conventional crossed roller guides were examined. Next, to reduce the failure risk of stud roller guides (which can prevent the cage creep), the contact forces and stresses of the studs and dimples were analyzed. Finally, for reducing the contact forces and stresses of the studs and dimples, it was shown that by using silicon nitride stud rollers and silicon nitride cylindrical rollers is effective.

研究分野：工学

キーワード：クロスローラガイド スタッドローラガイド 保持器ずれ 防止法 窒化けい素

1. 研究開始当初の背景

クロスローラガイドが往復運動する際、保持器ずれ(実際の保持器の移動距離とローラとレールが巨視的な滑りを伴わないで転がり接触する理想的な場合の保持器の移動距離の差)を生ずることが、経験的に知られている。しかし、その発生機構には不明な点が多い。一方、保持器ずれの防止対策が施されたスタッドローラガイドがすでに開発されているものの、高加減速運転下では、ディンプルが損傷するため、その対策が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、通常クロスローラガイドにおける保持器ずれの発生機構の解明の基礎として、一般的なクロスローラガイドテーブルの保持器ずれに及ぼすラジアル荷重およびミスアライメントの影響を実験およびマルチボディ解析の両面から明らかにする。また、保持器ずれ防止対策がなされたスタッドローラガイドに対して、マルチボディ解析(MBA)および有限要素法(FEM)を行い、スタッドとディンプルの接触力および応力を低減し、ディンプルの損傷を防ぐ方法を提案する。

3. 研究の方法

(1) 保持器ずれに及ぼすラジアル荷重およびミスアライメントの影響

はじめに、クロスローラガイドの保持器ずれ発生機構解明の基礎研究として、一般的なクロスローラガイドテーブルの保持器ずれに及ぼすラジアル荷重およびミスアライメントの影響を明らかにすることとした。

実験

実験では、テーブル、ベース、および2組のクロスローラガイドで構成される試験クロスローラガイドテーブル(試験ガイドテーブル)を用いた。そして、図1に示すように、実

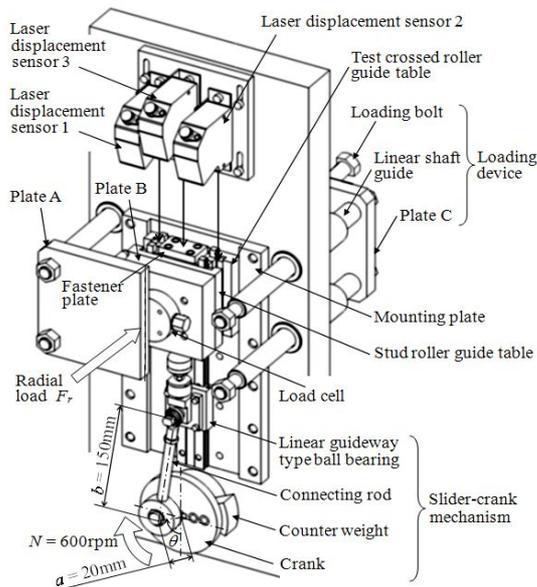
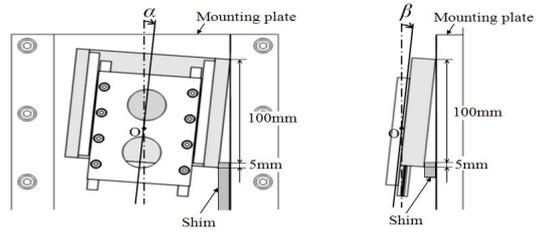


図1 実験装置



(a) Yaw misalignment α (b) Pitch misalignment β
図2 ヨーおよびピッチミスアライメント

験装置の縦型ベッドに試験ガイドテーブルのベースをボルトで固定し、テーブルをモータおよびスライダークランク機構により駆動した。本研究では、試験ガイドテーブルに加えるラジアル荷重 F_r を 0~80N の範囲で 5 段階に変えて実験を行った。また、保持器ずれに及ぼす試験ガイドテーブルのミスアライメントの影響を調べるために、図2に示すように試験ガイドテーブルのベースと実験装置の取り付け台の間にシムを挿入することで、ヨーミスアライメント $\alpha(-0.017 \sim +0.017)$ およびピッチミスアライメント $\beta(-0.114 \sim +0.114)$ を数段階に変えて与えた。

そして、左側の保持器の移動量 x_{cL} 、右側の保持器の移動量 x_{cR} およびテーブルの移動量 x をレーザ変位計により同時に検出し、データ収集システム(Keyence: NR-2000)に取り込んだ。さらに、左側および右側保持器について、次の式(1)に基づいて、保持器ずれ C_L および C_R をそれぞれ求めた。

$$C = x_c - \frac{x}{2} \quad (1)$$

なお、 C_L および C_R の値が正の場合には保持器は鉛直上方にずれ、負の場合には鉛直下方にずれることを意味する。

実験結果

実験で得た保持器ずれの時間波形とラジアル荷重の関係を図3に示す。図3中の T_d はテーブルの駆動周期である。図3より、ラジアル荷重 F_r が加わると、保持器はテーブルの駆動周期 T_d で変動しながら、鉛直下方にずれることがわかる。そこで、保持器ずれの現象を詳しく調べるために、実験で得た保持器ずれの時間波形を、最小二乗法により直線近似し、その直線の傾きを求めることにした。本研究では、この直線の傾きを保持器の平均ずれ速度と呼ぶことにする。実験で得た保持

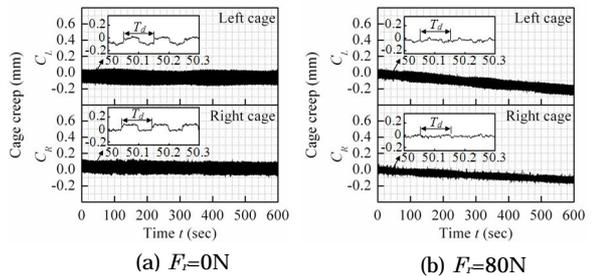


図3 保持器ずれの時間波形($\alpha = \beta = 0$)

器の平均ずれ速度をラジアル荷重 F_r に対してプロットした結果の例を図 4 に示す。なお、保持器の平均ずれ速度が正の場合には保持器は鉛直上方にずれ、負の場合には鉛直下方にずれることを意味し、保持器の平均ずれ速度の絶対値が大きいほど単位時間あたりのずれ量が大きいことを意味する。図 4 より、ミスアライメントがゼロ($\alpha=\beta=0$)の場合には、 F_r が増加するほど、単位時間あたりの保持器の鉛直下向きにずれ量が大きくなることわかる。

実験で得た保持器の平均ずれ速度をヨーミスアライメント α およびピッチミスアライメント β に対してプロットした結果の例を図 5 および 6 に示す。両図からわかるように、ラジアル荷重 F_r が 0N の場合、 α は左右の保持器を互いに逆方向、 β は左右の保持器をいずれも鉛直上向きにずらす効果がある。そして、 α の絶対値または β の絶対値が大きくな

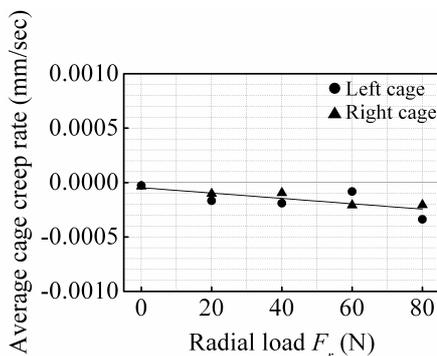


図 4 保持器の平均ずれ速度におよぼすラジアル荷重の影響 ($\alpha=\beta=0$)

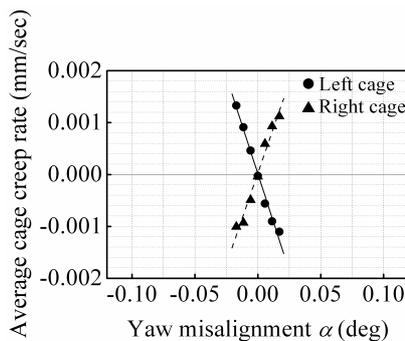


図 5 保持器の平均ずれ速度におよぼすヨーミスアライメントの影響 ($F_r=0$)

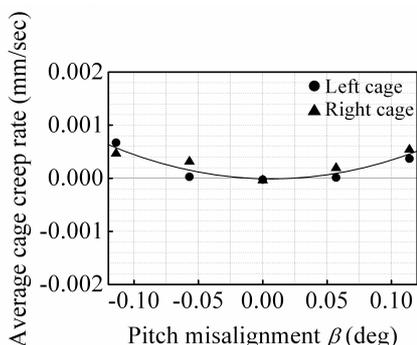


図 6 保持器の平均ずれ速度におよぼすピッチミスアライメントの影響 ($F_r=0$)

るほど、単位時間あたりの保持器のずれ量が大きくなる。

MBA

保持器ずれに及ぼすラジアル荷重およびミスアライメントの影響を解析的に明らかにするために、上記(1)の実験と同じ運転条件に対して、ソフトウェア RecurDyn を用いて、MBA を行った。なお、MBA モデルにおいて、ローラ、保持器およびレールは接触部を除き、剛体と仮定した。MBA の結果は、上記(1)の実験結果と定性的に一致することを確認した。

(2) スタッドローラガイドのスタッドとディンプルの接触力および応力の解析

次に、保持器ずれ防止対策を行ったスタッドローラガイドに対して、MBA および有限要素法(FEM)解析を行い、スタッドとディンプルの接触力および応力を低減し、ディンプルの損傷を防ぐ方法を提案することとした。

MBA

スタッドローラガイドの MBA モデルを図 7 に示す。ディンプルのついた 2 本のレール、1 個のスタッドローラ、28 個の円筒ローラ、保持器で構成した。各部品の材料は、レールおよび円筒ローラが軸受鋼(SUJ2)、スタッドローラがステンレス鋼(SUS420J2)、保持器がポリアセタールである。なお、MBA はこのモデルは水平配置した状態で行った。

MBA で得たスタッドとディンプルの接触力 F および各部品の加速度の計算結果の例(台形波運転、最大直線速度 20m/s)を図 8 および 9 に示す。図 8 および 9 よりわかるように、スタッドとディンプルの接触力 F は、各部品の加速度の絶対値が大きくなる時におおきくなる傾向がある。

FEM

スタッドとディンプルの接触部に発生するミーゼス応力を計算するために、汎用 FEM 解析ソフトウェア ANSYS を使用して応力の解析を行った。FEM 解析で得たスタッドとディンプルのミーゼス応力の計算結果の例を図 10 に示す。図 10 よりわかるように、スタッドおよびディンプルのミーゼス応力は、サイドディンプルと軌道面の境界部で最大値をとる。これは、サイドディンプルと軌道面の境界部がエッジ形状をしているためと考えられる。

スタッドローラガイドにおける接触力

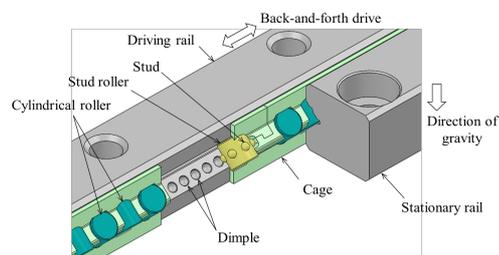


図 7 スタッドローラガイドの MBA モデル

および応力の低減

スタッドとディンプルの接触力 F が大きくなる際、各 부품の駆動方向加速度の絶対値も大きくなることから、接触力 F には各 부품の慣性力が影響していると推定される。このことから、各 부품の質量を小さくすることで、スタッドとディンプルの接触力 F および応力を低減する可能性が生ずる。そこで、スタッドローラのみ、円筒ローラのみ、およびスタッドローラと円筒ローラの両方を鋼製 (SUS420J2 または SUJ2) から窒化けい素製 (Si_3N_4) へ変え、スタッドとディンプルの接触力 F および応力が低減できるかどうかを MBA および FEM 解析により 検討した。MBA で得たスタッドとディンプルの接触力 F の計算結果の例を図 11 に示す。図 8 と図 12 と比較すればわかるように、円筒ローラのみ、または円筒ローラとスタッドローラの両方を鋼製から窒化けい素製にした場合に、ス

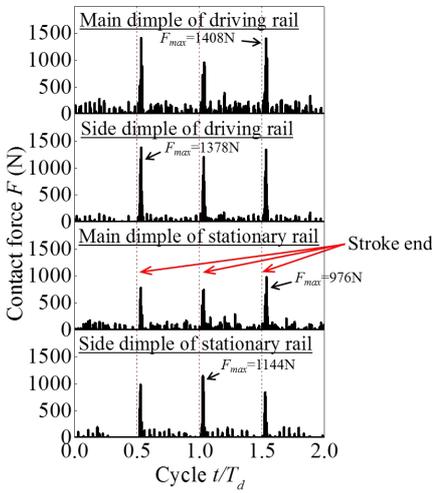


図 8 スタッドとディンプルの接触力の計算結果

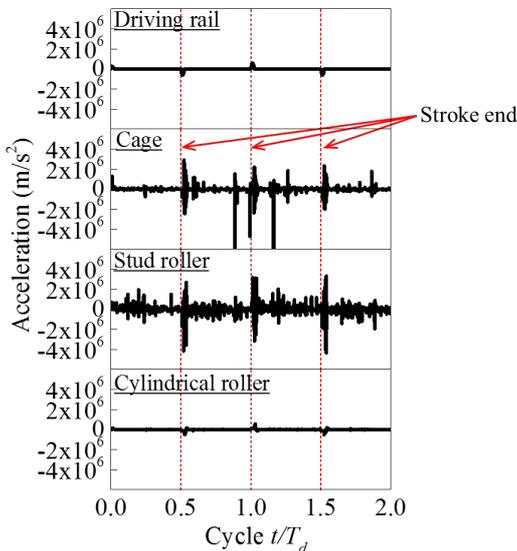
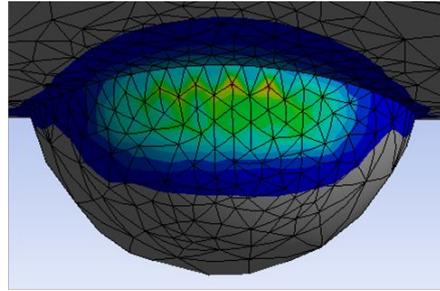


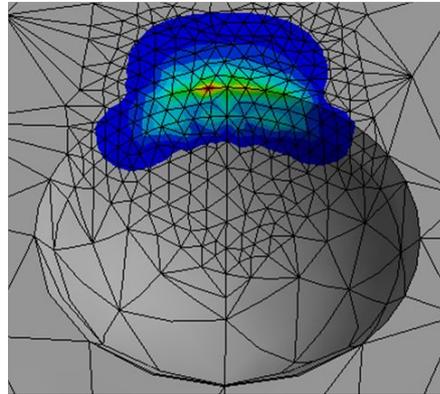
図 9 駆動レール、保持器、スタッドローラ、および円筒ローラの加速度の計算結果

タッドとディンプルの接触力 F を最も大きく低減できることが明らかとなった。

最後に、スタッドローラと円筒ローラ的一方または両方を窒化けい素製にした場合のスタッドとディンプルのミーゼス応力計算を行った。その結果、スタッドとディンプルの最大ミーゼス応力は、円筒ローラのみおよびスタッドローラと円筒ローラの両方を鋼製 (SUS420J2 または SUJ2) から窒化けい素製 (Si_3N_4) へ変更することで、最大約 80% 低減できることが明らかとなった。

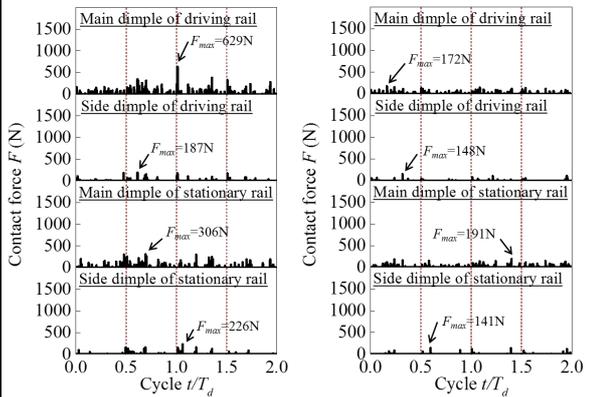


(a) スタッドの応力



(b) ディンプルの応力

図 10 スタッドとディンプルのミーゼス応力の計算結果(赤色部分で応力が高い: 最大 35.3GPa)



(b) 円筒ローラのみ窒化けい素製

(a) 円筒ローラとスタッドローラのみ窒化けい素製

図 11 接触力におよぼす窒化けい素製円筒ローラおよびスタッドローラの影響

4. 研究成果

(1) 保持器ずれに及ぼすラジアル荷重およびミスアライメントの影響

ミスアライメントがゼロ($\alpha=\beta=0$)の場合、試験ガイドテーブルにラジアル荷重 F_r が加わると、保持器はテーブルの駆動周期 T_d で変動しながら、鉛直下方にずれる。そして、 F_r が増加するほど、単位時間あたりの保持器の鉛直下向きにずれ量が大きくなる。

ラジアル荷重 F_r が 0N の場合、試験ガイドテーブルにヨーミスアライメント α を与えると、左右の保持器はテーブルの駆動周期 T_d で変動しながら、互いに逆向きにずれる。一方、ピッチミスアライメント β を与えると、左右の保持器は、いずれもテーブルの駆動周期 T_d で変動しながら、鉛直上方にずれる。そして、 α の絶対値または β の絶対値が大きくなるほど、単位時間あたりの保持器のずれ量が大きくなる。

上の および の現象は、実験と同様に、MBA においても見いだすことができた。

(2) スタッドローラガイドのスタッドとディンプルの接触力および応力の解析

スタッドとディンプルの接触力は、各製品の加速度の絶対値も大きいときに、大きくなる傾向がある。

スタッドおよびディンプルのミーゼス応力は、サイドディンプルと軌道面の境界部で最大値をとる。

スタッドとディンプルの接触力および最大ミーゼス応力は、スタッドローラおよび円筒ローラの両方の材料を鋼から窒化けい素へ変更することで大きく低減できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計0件)

[学会発表](計2件)

(1) 太田浩之、長谷川聡、植木雄亮、日本機械学会北陸信越支部第51期総会・講演会講演論文集(2014), 0407.

(2) 太田浩之、三塚晴也、植木雄亮、スタッドローラガイドにおけるスタッドとディンプルの接触力および応力の解析日本機械学会北陸信越支部第53期総会・講演会講演論文集(2016), 514.

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

太田 浩之(OHTA HIROYUKI)

長岡技術科学大学 工学研究科・教授

研究者番号: 30233141

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: