

制振合金を用いたコルゲーションの制御に関する研究

—第1報 コルゲーション生成実験—

Corrugation Control with High Damping Alloy

—1st Report Experiments for Corrugation Development—

須田 義大*・中上一平**・上野智之**・渡辺 敏***

Yoshihiro SUDA, Ippei NAKAGAMI, Tomoyuki UENO and Satoshi WATANABE

1. はじめに

大きな接触圧力を伴う転がり接触面には、接触面が平滑であっても、接触を繰り返すうちに周期的な表面の変形が生じることがある。この現象はコルゲーションと呼ばれており(波状摩耗とも呼ばれることもある)、鉄道レールや各種産業機械のローラなどに発生がみられ、騒音、振動問題を引き起こすだけでなく、機械そのものの機能を損う場合もあり、その対策が望まれている。

コルゲーションの発生・成長機構については、古くから種々の説が提案されてきたが、コルゲーションの波長や接触面内のすべり、変形の原因など、複数の現象が複雑にからみあっており、明快な対策はいまだに得られていないようである。そこで、著者のひとり、コルゲーションの発生・成長は、接触面内の振動現象に密接な関係があることに着目し、自励振動の安定問題ととらえて、コルゲーションの成長・減衰機構を解明してきた^{1)~4)}。その結果、2つの鋼製車輪をすべりなく転がり接触させる実験において、比較的大きなヘルツ応力の下で塑性変形が原因で生じるコルゲーションについては、振動系の固

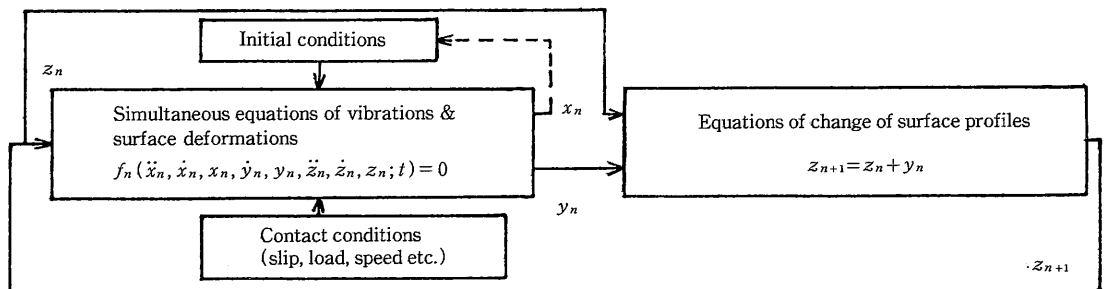
有振動数や転がり速度を変えることによって、その成長・減衰や発生するコルゲーションの波長を、ある程度自由に制御できるようになってきた⁵⁾。

一方、コルゲーションの防止という観点によるコルゲーションの制御には、振動系の減衰作用、特に接触面内で生じる接触振動にかかわる減衰作用を大きくすれば効果があることも、理論検討によりわかってきた^{6)~7)}。

本研究は、この接触振動の減衰を、接触面の材質に著者の一部によって開発された鉄、ニッケル、マンガンからなる制振合金⁸⁾を用いて実現し、コルゲーションの発生・成長に与える減衰作用の影響を実験的に検討したものである。このような試みは従来行われていない。

2. 振動系減衰作用のコルゲーションに対する影響

図1に示すコルゲーションの成長・減衰モデル²⁾を用いると、コルゲーションの成長を防止するためには、1回の接触における車輪の振動に伴う表面の変形量の変動が、コルゲーションに対して、形状の振幅を増大させないような振幅・位相関係であればよい。すなわち、変動の振幅を抑えること、位相差が大きいことが必要である。



x_n : Displacement vector in n -th contact
 y_n : Deformation vector in n -th contact
 z_n : Surface profile vector in n -th contact

図1 コルゲーションの成長・減衰モデル²⁾

*東京大学生産技術研究所 第2部 **法政大学大学院学生 ***法政大学工学部教授

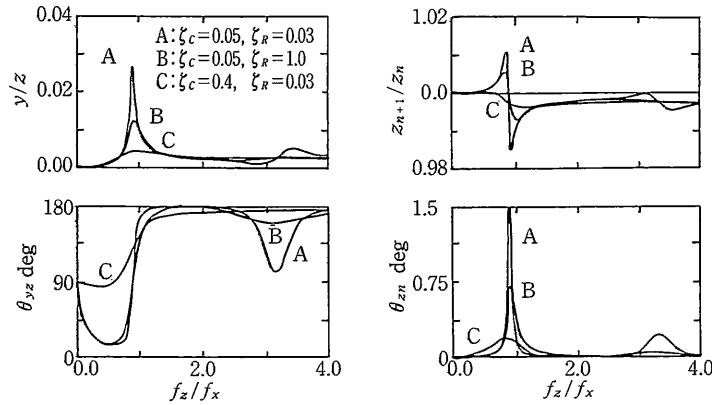


図2 振動系の減衰がコルゲーション成長度と与える影響⁷⁾($\zeta_c = C / (2\sqrt{mk_c})$, $\zeta_R = C_R / (2\sqrt{m_R k_R})$)

振動系の固有振動数を変化させれば、コルゲーションの波長と速度から定まるコルゲーションの振動数との大小関係より、成長・減衰条件が定まることになる。

接触面内の振動の減衰作用が大きければ、同様の理由により変形量の変動振幅の減少と位相差増大を招き、コルゲーションの成長を抑えやすくなる。図2に、3通りの減衰比での、コルゲーションと固有振動の振動数比を横軸にとって、コルゲーションの成長度 (z_{n+1}/z_n) を計算した結果⁷⁾を示す。変形過程、接触剛性を線形化した図3の振動系モデルを用いており、本実験と同様軌条輪が剛支持の場合である。等価接触剛性に並列に作用する減衰作用が大きいと、コルゲーションの成長は抑えられる可能性があることがわかる。一方、軌条輪支持の減衰を高めても大きな効果は得られない。

そこで、コルゲーションの成長を抑えるという観点からは、値を設定しやすい支持系の減衰ではなく、接触面内の振動に直接作用する減衰要素を大きくする必要がある。これは、材料の減衰特性に依存するから、制振性の高い材料を用いれば実現できる。すなわち、制振材料によってコルゲーションの成長を抑制できる可能性があることになる。

3. 使用した制合金

構造物の制振、騒音の防止という観点から、制振性の高い材料が検討されている。構造材料として用いるためには、材料の強度が重要となる。ところが、図4に示すように、一般的に金属材料は強度が上昇するほど制振特性は低下する。いわゆる制振鋼板では圧縮応力下では制振機構が作用せず、磁歪効果を利用した強磁性タイプの制合金でも磁場の作用で制振効果が損われるという欠点を持っている。一方、著者の一部が開発したFe-6Ni

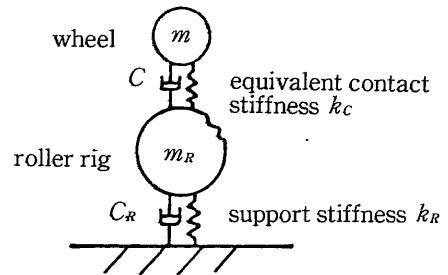


図3 振動系のモデル

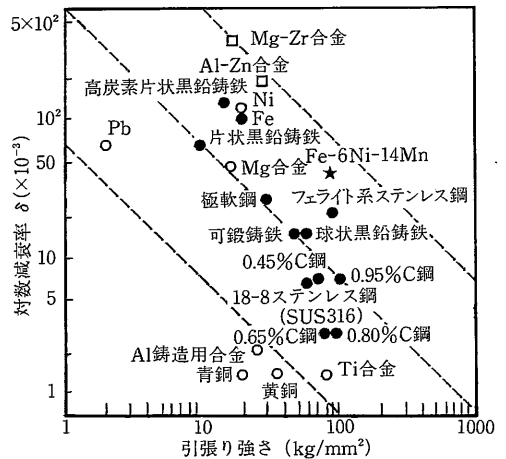


図4 金属材料の強度と制振性の関係 (開発したFe-6Ni-14Mn合金(★印)の制振性を文献⁹⁾のグラフ上に示した。●: 鉄鋼材料, ○: 非鉄材料, □: 防振合金材料)

-14Mn合金は、通常の炭素鋼やステンレス鋼並みの強度を持ちながら、歪を与えることによって、優れた制振特性を示し、従来の鉄系制合金をしのぐ減衰特性を持たせることに成功した⁸⁾。すなわち、対数減衰率でステン

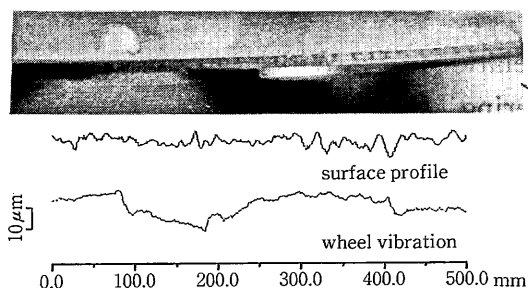


図6 ステンレス鋼 (SUS316) 製軌条輪による実験結果 (幅 1.0mmの250rev.におけるコルゲーション形状, 車輪振動, 幅1.4mmのコルゲーション発生後の表面写真)

ス鋼および軟鋼では1000回転未満でコルゲーションが発生することから, 制振合金はコルゲーションの発生に対して, 十分抑止効果があることになる。

面圧の高くなる幅1.0mmでも同様に顕著なコルゲーションの発生は見られなかった。図7は, 6916回転後の幅1.0mmの制振合金製軌条輪の表面形状と, 6000rev.付近の車輪振動波形であり, 図6のステンレス鋼での実験のような周期的な挙動は全く見られない。しかし, 一部の試験ではステンレス鋼での短波長のコルゲーションに対応する高周波振動が表れ, ほとんど確認できない程度の斑点が表面につくことはあった。

幅1.4mmおよび1.0mmにおいて, 周期的な変形はなくても, 接触面の淵がだれる塑性流は観察された。よって, ステンレス鋼と同等の強度であることから, 変形は生じるが, コルゲーションには至らないことになる。

5.3 今後の検討課題

制振合金の材料単体での減衰性は, 振幅や周波数にも依存する。そのため, 実験装置に組み込んだ状態での, コルゲーションの周波数帯域と振幅における車輪振動の減衰率の値が実際には重要になる。よって, 振動系における減衰率の同定を現在検討中である。実験では, 高周波の微小振幅の振動が制振合金においても発生したため, このような条件での制振性は必ずしも優れないという特性を裏付けることになる。

また, 理論検討では, すでに発生したコルゲーションが成長するか減衰するかという安定条件を求めており, 本実験でのコルゲーションの発生の有無との対応が必ずしも明確ではない。この点や, 加工硬化の影響を考慮した検討も必要であろう。

6. 結 言

コルゲーションの防止という観点から, 振動系の減衰作用によるコルゲーションの制御を検討した。接触面で

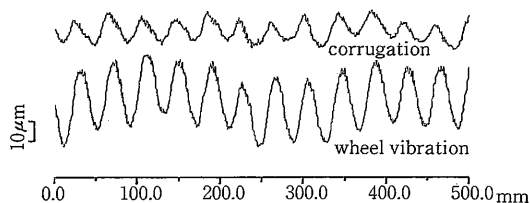


図7 制振合金 (Fe-6Ni-14Mn) 製軌条輪による実験結果 (幅 1.0mmの実験後の形状と6000rev.での車輪振動; コルゲーションの発生は見られない)

の上下方向接触振動を防止するように減衰要素を作用させると, コルゲーションの成長は抑制される。この高減衰を得るために, 炭素鋼並みの強度を有しながら, 優れた制振特性を持つ新しい制振合金を軌条輪に用い, 実験を行った。強度はほぼ等しいが制振性の劣るステンレス鋼では激しいコルゲーションが発生したのに対し, 理論から予測されたように, 制振合金上には顕著なコルゲーションの発生は見られなかった。すなわち, 制振合金による接触面内の振動減衰によって, コルゲーションの発生を抑制できる可能性があることが, 実験的に確かめられた。

実験に御協力をいただいた法政大学学生, 松田幸治君, 松江秀樹君および, 制振材料の作製に御協力をいただいた三井造船株式会社玉野研究所材料研究部の三浦健蔵氏に感謝致します。また, 実験に際して, 本所大野研究室および試作工場の方々の御協力をいただいた。謝意を表します。

なお, 本研究は平成2年度の本所選定研究費を使用して行われたものである。関係各位に謝意を表します。

(1991年1月21日受理)

参 考 文 献

- 1) 須田・井口・今泉・谷口, 機論C編, 54-499, (1988), 537.
- 2) 須田・井口・今泉, 機論C編, 54-499, (1988), 544.
- 3) 須田・井口・今泉, 機論C編, 54-499, (1988), 552.
- 4) SUDA, Y., IGUCHI, M., IMAIZUMI, H., Proc. of Applied Mechanics Rail Transportation Symposium -1988, AMD-Vol. 96/RTD-Vol. 2, ASME (1988), 29.
- 5) 須田・佐野, 機論C編, 57-533, (1991), 65.
- 6) SUDA, Y., IGUCHI, M., 11th IAVSD Symp. (1989), 566.
- 7) SUDA, Y., Proc. of 3rd Int. Conf. of CONTACT MECHANICS AND WEAR OF RAIL/WHEEL SYSTEMS, (1990).
- 8) 渡辺・佐藤・中上・長島, 鉄と鋼, 77-2, (1991), 306.
- 9) 杉本, 日本金属学会会報, 10, (1971), 44.