

フレッチング研究に取り組んで

著者	志摩 政幸
雑誌名	東京海洋大学研究報告
巻	12
ページ	1-3
発行年	2016-02-29
URL	http://id.nii.ac.jp/1342/00001245/

【随想】

フレッチング研究に取り組んで

東京海洋大学 名誉教授 志摩政幸

Looking Back over My Studies of Fretting

Masayuki SHIMA

1. はじめに

本学に在職の間、トライボロジーの一分野であるフレッチングの研究に多くの時間を割いてきた。フレッチングの研究を通し、多くの指導学生との出会い、また学内外の研究者・エンジニアの方々との出会いがあった。退職して半年が経つ今、改めてフレッチングとはどのようなものか、またその防止・抑止方法についての知見を整理すると共に、鮮明な記憶として残っている出会いや感想について記してみたい。

2. フレッチング現象・発生機構と防止の指針

フレッチングは、接触している固体間に微小なすべりが繰り返されるときに発生する損傷であるが、日常生活を含め実に様々な分野で起こっている現象である。フレッチング研究の権威、ノッティンガム大学の Waterhouse 先生はその著書において、次のようなエピソードを紹介している。「フレッチングとの最初の出会いは学生時代で、ベルギーをサイクリング旅行したとき、自転車に積んだアルミ製の食器セットを取り出したところ、食器には黒い斑点がたくさん付いていて途端に食欲が減退してしまった。これは、ごつごつした石畳でできた街路の走行で生じた繰り返し振動によるものであった。」¹⁾。このような現象は、工業的にも様々な分野で発生しているが、機器を分解・開放してみてもはじめてその発生に気づくことが多いものの、接続棒セレーション部の摩耗や油圧ポンプの軸スプラインの摩耗など、ときに重大事故につながるケースも報告されている。筆者も在職中、多くの企業からフレッチング防止についての技術相談を受け、多くの生々しい情報に接してきたが、そのような個別事例は割愛し、どのようなところにフレッチングが発生しやすいかを分類すると、次の3つに分類できる。一つは、軸の圧入部や各種継手など本来相対運動を拘束することを目的とした部分に繰り返し曲げやねじりが作用する場合、二つは静止状態にある転がり軸受や歯車などに外部からの振動が作用する場合、三つは各種機械の関節部分等が微小なすべりを繰り返し受ける場合である。

フレッチングの発生により何が問題となるかと言うと、局所的な摩耗によるガタや振動・騒音の発生や締付力の低下、あるいは接触面が焼き付いてしまうことである。また、電気接点では、接触電気抵抗の変化とそれに伴うノイズの発生が大きな問題となる。これらの表面現象に加え、フレッチングは疲労破壊の起点となる微小き裂を早期に発生させるため、変動荷重を受け持つ部材では疲労強度を著しく低下させることがある。大型トレーラの車輪脱落事故やゆりかもめのハブ破損事故はいまだ記憶に新しいが、これらの事故にはフレッチングが密接に関与していると考えられている。

筆者は、当時研究室の主任教授でいらした佐藤準一先生（現東京商船大学名誉教授）のお勧めもあり、1979年からフレッチングの研究に取り組み始めた。そのころはフレッチングとはどのような現象で、その発生メカニズムはどのようなものであるかに興味をもち、文献調査の傍ら実験研究を開始した。まずは、フレッチング現象を工学顕微鏡により直接観察し、また発生する摩耗粉の性状を中心に調べた。これらに加え、フレッチングを受ける面の温度上昇、接触電気抵抗の測定などを行い、接触状態がどのようになっているかを調べた。並行して、接触面の力学的環境、すなわち接触圧力や微小すべりの解析などに多くの時間を費やした。これらの研究をまとめ、木村好次先生（現東京大学名誉教授）のご指導を得て、「鋼のフレッチング摩耗の機構に関する研究」により、1992年に学位を得た。

一般の摩耗では、主要な摩耗機構として凝着摩耗、アブレシブ摩耗、腐食摩耗、疲労摩耗の4つの形態がある。一方、フレッチング摩耗は、別称「フレッチングコロージョン」とも言われるほど酸化腐食の側面が強い摩耗と考えられてきた。しかし、学位論文からは、フレッチング摩耗には上記の全ての摩耗形態が関与し、どの摩耗形態が支配的に働くかは振動振幅（正確には接触二面間の相対振幅）の大きさの影響を強く受け、振動振幅が小さければ軽摩耗である酸化腐食摩耗が生じやすく、振動振幅が大きければ重摩耗に分類される凝着摩耗・アブレシブ摩耗等が主要な摩耗機構となるという知見

を得た²⁾。また、振動振幅による摩耗機構の変化には、接触面間に介在する摩耗粉の挙動が強く関与することをみいだした。

フレッチングは、完全な防止が難しい損傷であり、状況に応じてケースバイケースでの防止対策が取られているのが現状である。一般に、フレッチングの防止あるいは抑止は、次の3つを単独または組み合わせることによりとられる³⁾。一つは、設計の改善であり、接触面間のすべりをできるだけ抑えることが肝要である。また、接触面で散逸するエネルギー損失を抑えることも重要であり、有限要素法等による接触変形解析でエネルギー損失の小さい最適形状を得る必要がある。二つは、潤滑油の適切な選択と使用があげられる。接触面の形状や運動形態による潤滑油の接触面への入りやすさを考慮し、最適粘度の潤滑油を使用すべきであり、また適切な添加剤の選択も重要となる。三つは、表面改質を含む材料の選択である。材料としては、一般の摩耗に対して耐摩耗性があることに加え、酸化腐食に強く、酸化物の硬さが基材に比べてあまり高くない材質が好ましい。前述したように、機器に発生するフレッチングは、摩耗に加え、焼き付きや保持力の低下、また疲労強度の低下など様々な損傷形態をとる。そのため、状況に応じて一見矛盾するような方法、たとえば摩擦を下げて滑りやすくする、逆に摩擦を上げて滑りにくくするという方法もとられる。いずれにせよ、安全な機械や構造物の開発・運用には、フレッチング防止技術の進展が必要不可欠である。

3. 研究室の仲間・学生、および学内外の研究者・エンジニアとの出会いなど

在職中、多くの学生、同僚、また学外の研究者・エンジニアと出会い、フレッチングの研究を進めることができた。

佐藤先生にはフレッチング研究へのきっかけを与えていただき、その後多くの共著論文等を出すことができた。また、先生を通して多くの学外の研究者・エンジニアと知り合うことができたのは、研究を行う上で大きな財産となった。前述の木村先生、Waterhouse先生との出会いも、佐藤先生に紹介していただいたおかげである。

学位論文作成でご指導いただいた木村先生から多くのことを学ばせていただいた。論文の組み立て方、文章表現方法についての緻密かつ丁寧なご指導は、その後の指導学生の卒論、修論、D論文作成指導上の大きな指針となった。また、国内外の多くの著名な方々に会うことができたのも先生のおかげである。

Waterhouse先生には在外研究（1996年度、文部省在外研究⁴⁾）で大変お世話になった。英国滞在中、先生には研究の指導のみならず、住居の手配から日常生活に至るまで様々な面倒を見ていただいた。その頃、先生は70歳を越すご高齢ではあったが、研究に対する真摯な姿勢には深い感銘を受けた。

学会における委員会活動を通して多くの知り合いを得た。中でも、東京理科大学のS.S教授（当時は産業技術総合研究所所属）とは英国での在外研究の時期が重なり、また互いに単身出張者同士ということもあり、週末などを利用して多くの地を旅行した。同先生とは帰国後、学生の研修依頼、共同研究、共同図書出版等様々な形で交流が続いた。

交流の輪が広がるにつれ、企業との共同研究や委託研究の依頼も増え、フレッチングの防止関連の研究を中心に多くの企業と研究を行った。特に、Z社、F社およびH社とは長期にわたる付き合いをもち、期待する成果も得られたと考えている。企業との付き合いを通し、成果物を論文発表する前に知財化するという“特許マインド”も得られ、その姿勢は指導学生にも伝わったように思う。結局、在職中8件の特許出願を行い、その何件かは学生との共同出願、ただし数件のみが査定される（特許成立）にとどまった。

学会誌等への研究成果・論文の投稿が増えるにつれ、講演や解説記事の依頼また図書の分担執筆などの依頼も増えてきた。依頼原稿の多くは、学会から出す辞典、ハンドブックあるいは便覧であったが、著者の担当部分は得意とするフレッチング関連または接触力学関連部分であった。また、学会からの依頼講演に加え、セミナー企画会社からの講演依頼もあったが、在職時は多忙と言う理由でほとんどお断りした。なお、退職した4月以降も複数件の講演依頼が来ており、快諾している。

企業とのつながりは、学生の就職指導にも役に立った。特に博士後期課程の学生の場合、指導教員が就職の面倒を見る必要があるが、学会の委員会関連や共同研究がらみで得た知人を通して、大手のトライボロジー関連会社に学生を紹介することができた。筆者の場合、実質6名の博士後期課程の学生を指導したが、いずれも3年間の在籍期間で修了・学位取得、その多くは関連会社に就職し、現在中堅として活躍している。

在職中、研究室の方々には大変お世話になり、また現在でもお世話になっている。実験が中心となる研究では、研究のベースとなるのは研究室スタッフを中心とした信頼関係であり、大変恵まれた環境での研究活動であったと感謝している。

フレッチング摩耗試験の遂行は、一連のデータを取るのに長期間にわたる時間を必要とし、体力は無論、忍耐力も必要である。その点、実験のかたわら楽しんだジョギングが大いに役立ったように思う。ジョギング歴は二十数年程度であるが、もやもやしたときの気晴らしに加え、走りながらの頭の整理、また時々よいアイデアもひらめき、複合的な効果があった。市民ランナーとして、英国ノッティンガムで開催されたロビンフットマラソンをはじめ、数多くのマラソン大会、

また駅伝大会にも参加した。その後は、残念ながら膝軟骨が摩耗？ して痛みを生じたためウォーキングに転じている。

4. おわりに

フレッチング研究の概要と、その間お世話になった方々との交流などについて述べた。退職してみて思うのは、現役時代は多忙であるが、研究環境を整え、時間を見つけ／時間を作り出すことにより、楽しく充実した研究活動が可能であるということである。また、学生の指導では、教員の研究に対する熱意や真摯な姿勢が学生の研究活動にも反映されることを強く実感した。博士後期課程の2年生ぐらいになると、自分自身の創造性を発揮し、エネルギッシュに研究を行う学生も現れてくる。それをみるのは、指導教員としての楽しみの一つであった。今後は、田舎で土を耕しながら彼らの活躍を見守りたいと思う。

引用文献

- 1) R. B. Waterhouse 著 (佐藤準一訳)：「フレッチング損傷とその防止法」、養賢堂 (1984) 1.
- 2) 志摩政幸・地引達弘：「フレッチング摩耗」、トライボロジスト、第 53 巻、第 7 号 (2008) 462～468.
- 3) 志摩政幸：「フレッチング抑止対策」、機械の研究、第 66 巻、第 5 号 (2014) 363～370.
- 4) 志摩政幸：「ノッティンガム大学滞在」、トライボロジスト、第 43 巻、第 12 号 (1998) 1038～1041.