
モントリオール理工科大学（カナダ） 研修報告書

溶接時に生じる酸化物が疲労き裂進展特性に与える影響

工学研究科 機械物理工学専攻 小川 裕樹

1. はじめに

2016年9月29日から10月21日の間、カナダのモントリオール理工科大学において共同研究を行った。以下に成果報告を示す。

2. 共同研究課題の決定

本研究室では水力発電の主要設備に対しピーニング処理を行い、その疲労特性改善に対して研究を行っている。またカナダは水力発電の先進国であり、モントリオール理工科大学と地元電力会社との間にて同設備の溶接補修に際して生じる欠陥に着目し、それに対しての疲労き裂進展特性の取得が行われている。そこで本研究では互いの分野共有を目的に、水車ランナ材の溶接補修にて種々の溶接法を施工した際に生じる溶接部の酸化物が疲労特性に及ぼす影響について共同研究を行う。

3. 共同研究スケジュール

9月28日	出国
9月29日～10月21日	共同研究および研究発表
10月24日	帰国

4. 共同研究派遣先の概要

大学名	モントリオール理工科大学 (Fig.1) (École Polytechnique de Montréal: POLY)
所在地	カナダ ケベック州 モントリオール
指導教員	Assistant Prof. Myriam Brochu



Fig.1 Exterior of POLY.

5. 研究内容

5.1. 背景および目的

カナダは世界有数のエネルギー生産国として知られており、広大な国土を利用した水力発電技術が全電力の60%を占めている。このような水力発電の主要設備には発電用回転機械である水車ランナがあり、その高応力部位であるランナベーンにおいてキャビテーション壊食など疲労に対しての問題が生じる。そのメンテナンスにおいては主に溶接補修が用いられているが、溶接部において残留応力や溶接欠陥の発生が問題となっている。特に溶接欠陥において溶接時に生じる酸化物は疲労き裂進展時のき裂開口に影響を及ぼすとされているが、それらの詳細な研究は行われていない。またランナベーンにおける疲労特性改善手法において、本研究室で用いられるショットピーニングによる圧縮残留応力付与が有効であることが明らかになっており、溶接補修と表面処理の融合により、疲労特性のさらなる向上とメンテナンス周期拡大が見込むことができる。

そこで本研究では、Fig.2 に示す酸化物軽減が見込まれるガスマタルアーク溶接法(同図(a); 以下 GMAW(= Gas Metal Arc Welding))と生産性の高いフラックスコアードアーク溶接法(同図(b); 以下 FCAW(= Flux Core Arc Welding))の2種類の溶接法を用い、溶接部の酸化物を誘導するCO₂ガスを種々変化させそれらの溶接部特性取得を行った。また、それらの特性から疲労き裂進展特性を行う上での考察を行った。

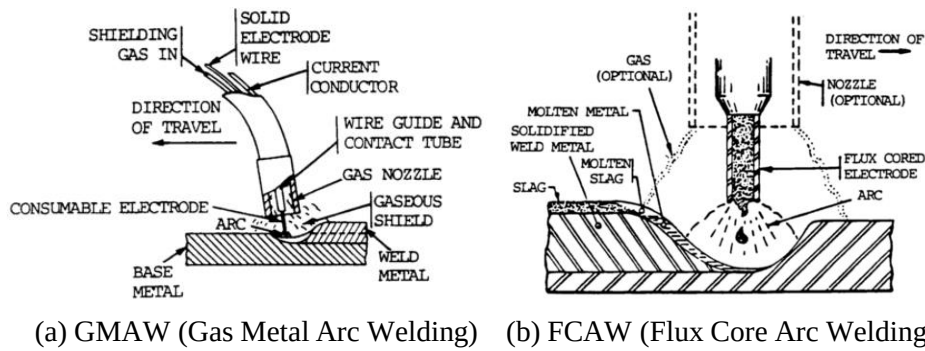


Fig.2 Welding method using in this study.

5. 2. 供試材料および溶接条件

母材には水車ランナ材に一般的に用いられているステンレス鋳鋼 CA6NM を用いた．同材の化学組成を Table 1 に示す．また溶接材には，ステンレス鋼用溶接棒である 410NiMo を用いた．これらの供試材において，3 種類の溶接条件下で試験片を作成しそれらの特性取得を行った．一つ目にシールドガスに 100%Ar を用い GMAW 溶接法で施工したもの（以下：GMAW-0%CO₂），二つ目に 85%Ar + 15%CO₂ の混合シールドガスを用い GMAW 溶接法で施工したもの（以下：GMAW-15%CO₂），三つ目にシールドガスに 75%Ar + 25%CO₂ 混合ガスを用い FCAW 溶接法で施工したもの（以下：FCAW-25%CO₂）の各条件下で作成した．

Table 1 Chemical composition (weight%)

Material	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo
CA6NM	0.02	0.66	0.59	0.008	0.031	13.04	4.07	0.53

5. 3. 実験結果および考察

まず各試験片において，酸化物の含有量を測定した．Fig.3 に測定結果を示す．なお測定方法としては同図(a)に示す SEM 画像から EDS 解析を用い，酸化物の各平均粒径に対する個数を同図(b)に示すグラフにてプロットした．測定結果から整理した各試験片の酸化物の平均粒径と 100mm² あたりに存在する酸化物の個数を Table 3 に示す．同表から CO₂ ガスを使用しない GMAW-0%CO₂ の試験片が単位面積あたりに存在する酸化物の個数が最小となることがわかった．また，各試験片においてシャルピー衝撃試験を行った結果を Table 3 に併せて示す．シャルピー衝撃値においても GMAW-0%CO₂ の試験片が最大値を示すことから，強度レベルにおいて酸化物の差異が影響を及ぼすことが示唆される．

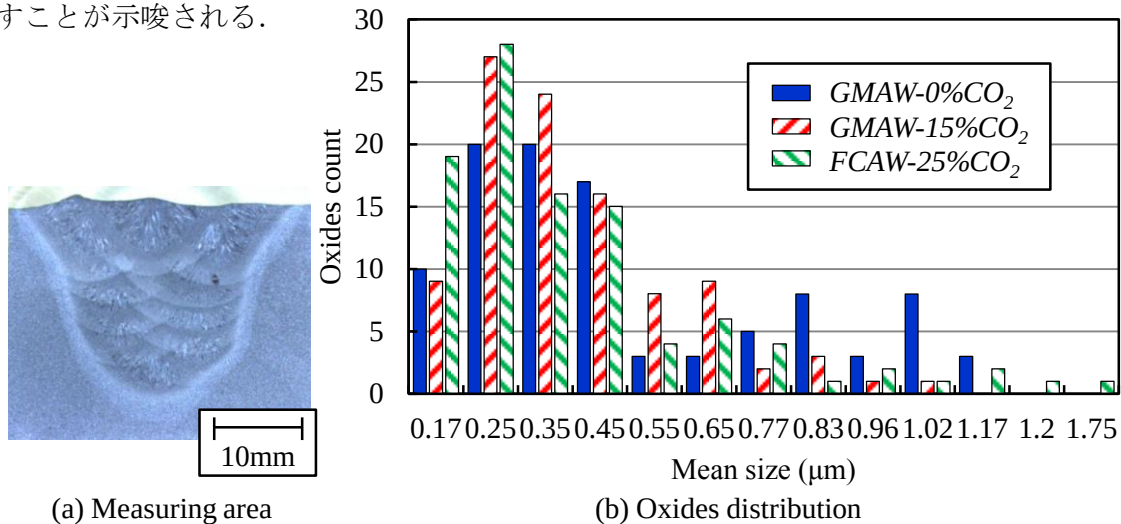


Fig.3 Oxides distribution normalized to 100 oxides per weld.

Table 3 Results of measuring oxides and charpy impact test

Specimen	Mean size (μm)	Number of oxides per 100 mm ²	Charpy impact energy (J)
GMAW-0%CO ₂	0.49	216	195
GMAW-15%CO ₂	0.40	1093	63
FCAW-25%CO ₂	0.40	877	66

また各試験片の硬さ分布を取得した結果、Fig.4 の黒枠領域のビッカース硬さは 400HV 程度であった。なお母材のそれは 250HV 程度であり、同領域がマルテンサイトであることがわかる。そのため、微視組織の影響が疲労き裂進展特性に影響を及ぼさないために、同領域が同等（本研究では 65%程度）となるよう図中赤枠で示す部分に疲労き裂進展特性取得用試験片のノッチを導入した。

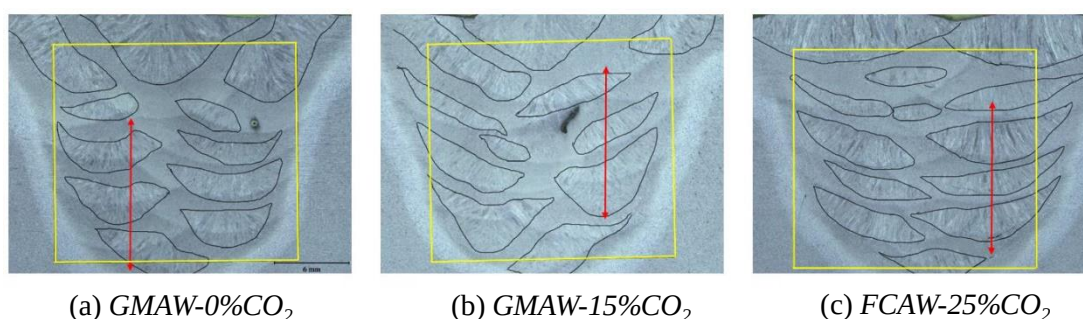


Fig.4 Macrographs of the welds with the chosen position of the notch.

6. まとめ

約 1 カ月という短期間であったものの、英語だけでなくフランス語の会話やコミュニケーションの難しさを実感したとともに、それらの重要性を学ぶことのできる大変貴重な経験であった。特に派遣先の研究室は博士課程後期の学生が複数在籍しており、積極的に研究に触れ効率よく研究活動を行っている点は、自らも実践し今後の研究活動に活かしたいと感じた。

派遣先のモントリオールはフランス文化が中心であるものの異国情緒あふれた地域であり、また研究室に在籍する学生も北米だけでなくヨーロッパやアフリカなど多数の国の人々が集まっていた。それらの人との交流を行う上で多数の文化に触れることができたとともに、今後グローバル社会に転換していく上で、言語や文化など多くの知識に触れコミュニケーションを高めたいと感じた。

7. 謝辞

派遣期間中、研究を含め現地での生活において手助け頂いた Myriam Brochu 助教をはじめ、派遣先の研究室学生の皆様に厚く御礼申し上げます。また、このような貴重な機会を与えて下さった菅田淳教授、加藤昌彦准教授、曙紘之助教に深く感謝申し上げます。

また本プログラムを通し多大なるご協力を頂きました実行委員会の諸先生方、学生支援グループ国際事業担当の皆様にご心より感謝の意を表するとともに、今後の本プログラムのご発展を心よりお祈り申し上げます。