

N R I M N E W S



科学技術庁 金属材料技術研究所

National Research Institute for Metals



研究最先端

- 溶接構造部材で疲労強度向上を確認
—マルテンサイト変態膨張を利用して圧縮残留応力を導入—
- 小型フレット疲労試験装置の開発

講演会報告

- 「生体用金属材料からの金属イオン溶出機構と人体への影響」

研究報告

行事報告

- 科学技術週間行事報告

えぬりむ



5

1999 MAY

研究最先端

溶接構造部材で疲労強度向上を確認

—マルテンサイト変態膨張を利用して圧縮残留応力を導入—



評価ステーション

前田芳夫・鈴木直之・太田昭彦

大型構造物は鋼板を溶接、接合することにより製作されます。一般に用いられる溶接ワイヤーは、自由変形させると図1aの破線で示すように冷却過程で収縮し、周囲の母材に拘束されるため溶接部に材料の降伏強度規模の引張の残留応力が図1b破線のように誘起されます。このように高い引張残留応力が存在すると、図2に示すように疲労強度は材料の降伏強度を高めても向上せず、溶接継手形式に依存する疲労強度を示します。

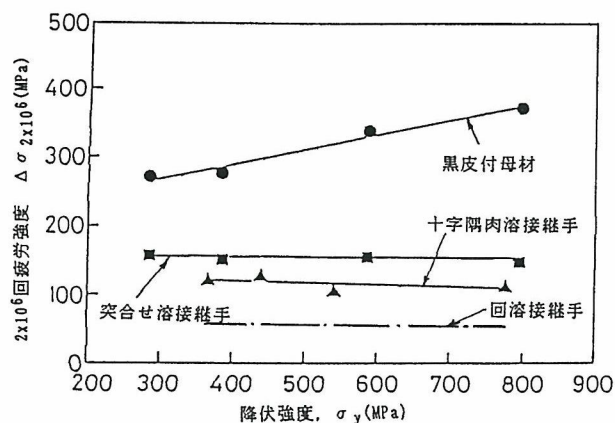


図2 疲労強度と降伏強度の関係（引張残留応力のある溶接継手）

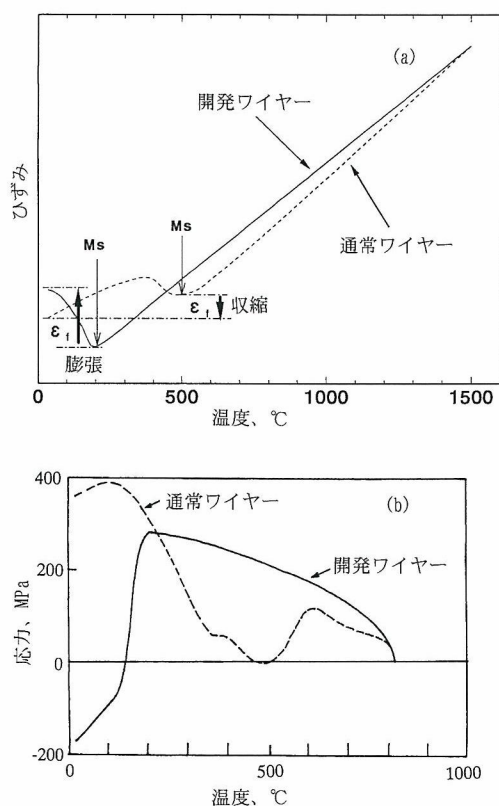


図1 変態温度の低い材料と通常材料の温度に伴うひずみまたは応力の変化挙動の比較

- a) 自由変形時のひずみ変化
b) 変形拘束時の応力変化

引張残留応力を圧縮残留応力に変えることによって溶接部材の疲労強度を向上することが出来ます。これまでにも、圧縮の残留応力を溶接部に導入し、溶接疲労強度を向上させた方法がありますが、これらはいずれも溶接終了後に圧縮残留応力を導入するための工程を加えなければなりませんでした。

金材技研では、一般の溶接構造物に導入される残留応力の発生機構に注目し、新しい溶接ワイヤーを開発し、これを用いて溶接を行うことによって、工程を付加しなくても溶接終了時に溶接部に圧縮残留応力を導入し、図3に示す箱形断面部材の疲労強度を従来に比べ約1.3倍に向上させることに成功しました。新しい溶接ワイヤーは、鋼がオーステナイトからマルテンサイトに変態する際の膨張を効果的に利用しています。すなわち、図1aの実線のように変態を開始する温度(Ms点)を低温にし、変態膨張量も大きくなるように合金成分を調合しました。そのため、図1bの実線に示すように溶接が終了

する室温で、残留応力を圧縮にすることが出来ます。

これを分かりやすい漫画にすると、図4のように、従来溶接ワイヤーでは溶接部に引張の、開発ワイヤーでは圧縮の溶接残留応力が生じます。溶接残留応力を図3の部材で実測し、溶接線長手方向に圧縮残留応力が誘起されたことを確認しました。

図3に示す長さ3.8mの梁に4本のローラーを当て、矢印方向に繰返し荷重を与え、疲労試験を行った結果が図5です。疲労設計で採用される2百万回で疲労破壊する応力は、従来材に比べ今回開発した10%Cr-10%Niで約1.3倍に向上していることが分かります。

なお、疲労破面の写真(図6)を見ると、従来材では引張残留応力のため溶接金属・母材の区別なく疲労き裂が同心円状に成長するのに対し、開発材では圧縮残留応力のある溶接金属に疲労き裂が進入できず半同心円状に成長することが分かります。

今回の構造体モデルである箱形断面溶接部材は、溶接前処理の板加工に溶断を用いるなど、実施工を念頭に製作しました。したがって、疲労強度向上は、超大橋梁、海洋構造物、高速艇などの製造技術、高安全性の確立に資し、開発した溶接材料を実構造物に応用する道筋が敷かれたこととなります。

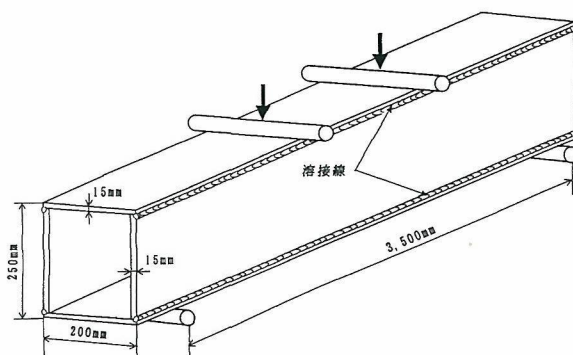


図3 橋梁構造モデルの箱断面梁

今後、この種の溶接材料によるさらなる実用的な応用、例えば厚板のみでなく自動車用薄板溶接部に適用することを検討していきます。

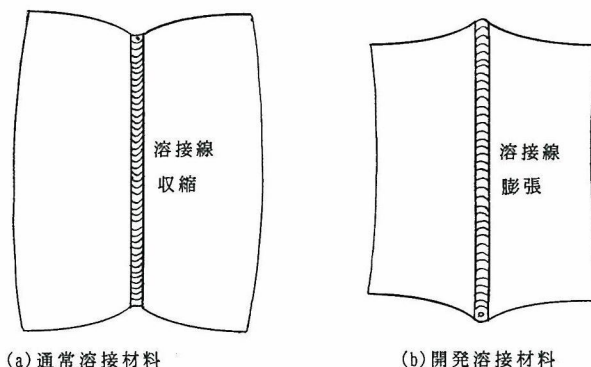


図4 溶接残留応力の生成概念

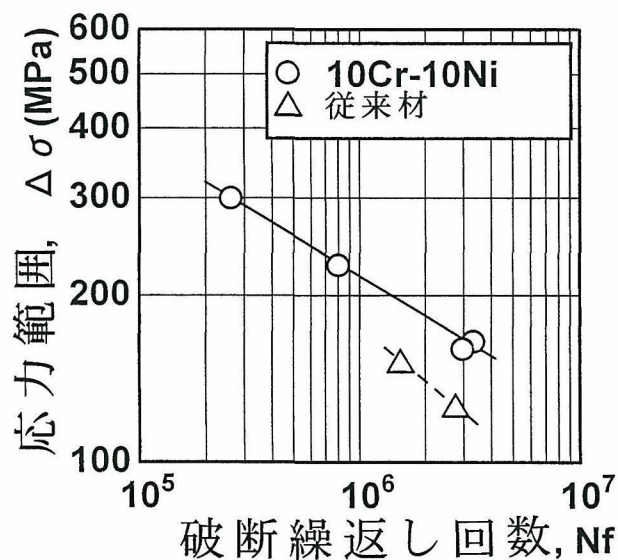
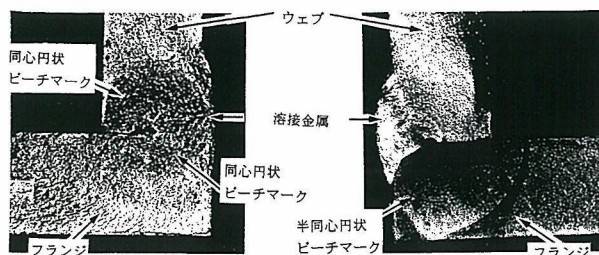


図5 従来溶接梁と開発溶接梁の疲労特性の比較



(a) 従来溶接梁 (b) 開発溶接梁 (10Cr-10Ni)

図6 破壊した溶接梁破面

小型フレットング疲労試験装置の開発



生体融和材料研究チーム
丸山 典夫

骨折の際に、治癒までの期間、骨を固定する骨固定材、あるいは頭蓋骨や顎骨の補綴に使用されるミニプレートなどは、金属製のプレートを金属製のネジで締め付けて使用します（図1）。このとき、プレートとネジとの間には、荷重がかかることによって常に微視的な摺り合わせ（フレットング）が起こっています。これが原因で、生体中に金属イオンが溶出したり、材料が疲労破壊したりします。この現象を再現し試験するのがフレットング疲労試験です。当研究チームでは、早くから金属系生体材料に対して、溶存酸素や温度を制御した疑似体液中でのフレットング疲労試験を行っており、これまでに、フレットング疲労特性を評価することに加えて、試験の際に溶出する金属イオンの種類と量が、材料の組成とは無関係であることを明らかにしてきました。また、金属イオンが溶出した試

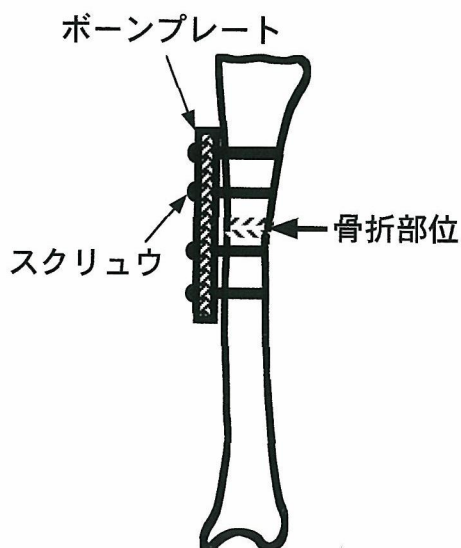


図1 骨固定材

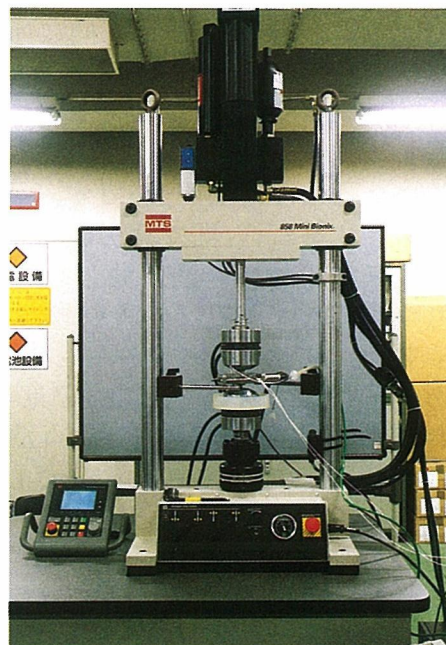


図2 フレットング疲労試験装置全体

験溶液による細胞培養試験も行っています。

しかし、実際に生体中で使用される金属材料には小型のものがあります。また、生体中にはもともと材料を埋め込む空間がないことから材料の高性能化に伴って生体材料が小型化すると予想されます。さらに、当研究チームで開発中の生体用アモルファス合金では、現在のところ小型のバルク合金しか製造できません。これらの理由から、生体疑似環境において小型試験片で測定できるフレットング疲労試験装置の開発の必要に迫られていました。

疑似体液中の溶存酸素量および温度を制御しながらフレットング疲労試験を行うためには、これまである程度以上の大きさの試験片が必要でしたが、今回フ

フレット疲労試験装置の小型化に成功しました。図2に装置全体の、また図3に試験片取り付け部の写真を示します。図4には、試験片部分の断面図を示します。長さ80mm（従来は180mm）、板厚2.5mmの試験片を、容量（疑似体液容量）約70cc（外寸80 x 70 x 30mm）の試験片チャンバー中で、温度37℃、溶存酸素濃度を体液と同じ4%に制御した疑似体液中でフレット疲労試験を行うことができます。

これまで、大気中では、より小型の試験片に対するフレット疲労試験が行われていますが、生体疑似環境下での試験装置の開発はこれが初めてです。

図5に、実際に本装置を使用して、純Ti（JIS2種）のフレット疲労試験をした結果を示します。大気中 10^7 回のフレット疲労強度は、同回数の疲労強度と比較して約30%低くなり、疑似体液中におけるフレット疲労強度は腐食のためにさらに低下しました。

高齢化社会に向かって、金属系生体材料の使用量は今後ますます増えていくと

予想され、材料が必要期間の使用に耐え、再手術によって交換する必要がないことが要求されています。そのためには、生体内での金属材料の耐久性が明らかにされなければなりません。本装置の開発によって、既存および新たに開発される金属系生体材料の評価を実際の使用環境に近い条件で行うことが可能になりました。

今後は、試作した小型フレット疲労試験機を用いて、新たに開発した素材、たとえば生体用アモルファス合金のフレット疲労特性を評価し、生体材料に最適な素材の開発に取り組みます。

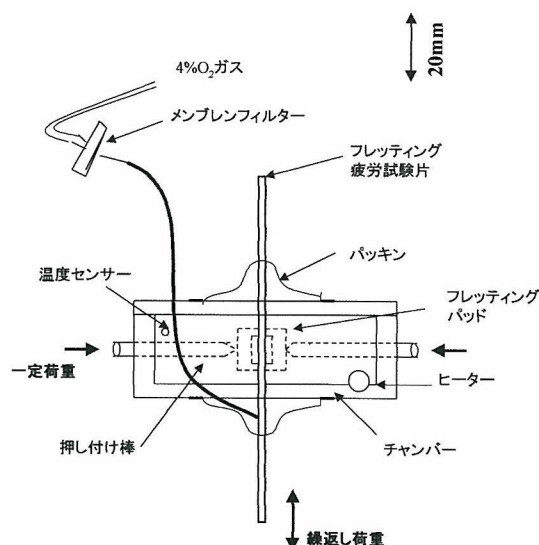


図4 試験片取り付け部断面図



図3 フレット疲労試験装置試験片取り付け部

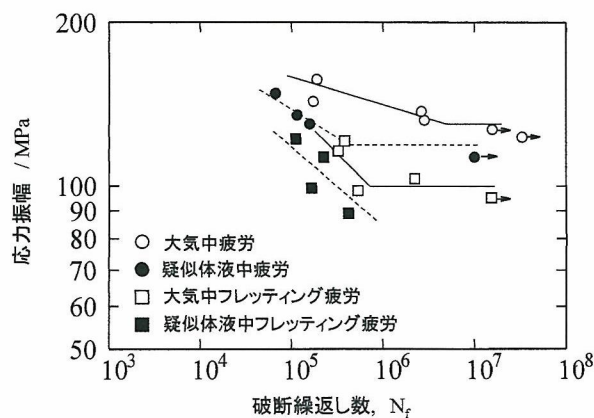


図5 純Ti（JIS2種）の疲労試験およびフレット疲労試験によるS-N曲線

講演会報告

「生体用金属材料からの金属イオン
溶出機構と人体への影響」研究会生体融和材料研究チーム
塙 隆夫

標記研究会が、金材技研の主催（後援池谷科学技術振興財団，協賛5学協会）によって、去る4月1日、金材技研において開催されました。当日は、年度始めにもかかわらず134名の出席を仰ぎ、この課題に対する関心の高さが示されました。出席者の所属は、企業，大学（医学部，歯学部，工学部，理学部），国立研究機関，開業，学協会と広範囲にわたり，本研究会の特徴を表していました。

金属材料から生体内への金属イオン溶出については、これまで溶出するという定性的結果のみに注目が集まってきましたが，その機構や溶出したイオンの生体内での挙動については，十分議論されているとはいえない。本研究会は，金属イオンの溶出機構を明らかにしたうえで，金属イオン溶出の事例，溶出イオンの体液中での挙動，金属イオンによる細胞毒性やアレルギーなどに関する情報交換を行い，これらに対する知識を十分に深めたうえで，徹底した議論を行うことを目的として行われました。

研究会の演題と講演者を別に示します。各講演後の質疑に加えて，最後に総合討論が行われ，専門を異にする研究者に対する具体的な要求などが唱えられ，各分野の立場から，問題とその解決策についての議論が行われました。研究会後には懇親会が行われたが，こちらにも50名の出席をいただき盛会となりました。



写真1：斎藤研究総務官開会挨拶

今後も，このような研究会の企画を通じて，この分野の問題解決のために尽力していきたいと考えています。

最後に，研究会の開催にご協力くださった皆様にこの場を借りてお礼申し上げます。

開会挨拶

金材技研 研究総務官 斎藤鐵哉

生体用金属材料概説

東京医科歯科大学 浜中人士
異物(Xenobiotics)に対する生体応答の分子機構と骨再生

徳島大学歯学部 上野明道
歯科金属の人体への影響—金属アレルギーなど—

元東京医科歯科大学歯学部 井上昌幸
人工関節の劣化と周辺組織への影響

京都大学再生医科学研究所 富田直秀
金属イオン溶出の電気化学理論

金材技研 野田和彦
生体材料学分野における腐食計測の現状と問題点

北海道医療大学 遠藤一彦
生体内環境における金属イオン溶出

金材技研 塙 隆夫
金属材料の溶出と細胞に及ぼす影響

大阪歯科大学 武田 昭二
金属イオンの細胞に対する作用とその機構

金材技研 山本玲子

総合討論



写真2：総合討論

行事報告報告

科学技術週間行事報告

当研究所では、平成11年度の科学技術週間行事として千現地区と桜地区の一般公開を4月15日（木）に、青少年向け特別企画を17日（土）に開催しました。また、毎年科学技術週間に合わせて一般公開している目黒地区については、空調配管工事中のため今年是一般公開を中止しました。

一般公開は、講堂で各研究部の説明を行い、その後、研究分野別に分けたモデルコースを見学してもらいました。最初はとまどっていましたが徐々に慣れてきたのかいろいろ質問している姿も見かけました。千現地区では時間を決め、通常壊れないような低い応力でも材料中に水素が含まれていると容易に破断してしまう遅れ破壊の現象を実際に見学してもらう遅れ破壊の公開実験、髪の毛を使った結晶成長の簡単な実験、プラズマジェットによる溶射皮膜の公開実験と風雨にさらされた材料の錆の研究に関する暴露試験、など金属にあまりなじみのない見学者にもわかりやすく工夫した実験が行われました。桜地区では大型実験施設の超伝導マグネットやサブナノトロンを見学してもらい、今年的一般公開の参加者は千現地区と桜地区を合わせて308名と、わずかではありますが昨年より増えました。

青少年向け特別企画は、研究について説明をするというのではなく、金属に触れてもらい身近に感じてもらうことを考えて入り口横の芝生にピアノ線の強さを体験するブランコを設置しました。



今回は、様々の実験から身近に感じてもらう部門として、色々な金属を切れるまで引張ってみたり、実体顕微鏡を使い金属の破面を見たり、熱電発電素子を使い炎の力でラジオを聞いたり、シャルピー試験機を使い様々な状況下での金属の粘りを見たり、1000倍で見た金属と記念撮影をしたりしました。また、実際に触って作業する部門として、金属の種類を当てるクイズ、金属の板にイニシャルを刻印しキーホルダーを作製したり、針金と金属板を使いスポット溶接をしてアクセサリを作ったり、レモン電池を作ってみたり、色々な形状記憶合金を使って温度による形の変化をみたりしました。参加者は215名と家族連れや小中学生を中心に楽しんでいただきました。来館記念の集合写真を破面の拡大写真をバックにデジタルカメラで撮影し、帰りにプリントアウトし、パウチしてプレゼントするコーナーも大人気でした。

今回の科学技術週間行事により、科学離れの叫ばれている現在、少しでも金属に興味を持ってもらえればと思います。

科学技術週間行事に際し、ご協力いただいた多くの職員の皆様ありがとうございました。

受賞 Congratulations!

科学技術庁長官賞 科学技術庁 小黒信高

「無重力実験における燃焼合成装置の考案」がすぐれた創意工夫によって職域における技術の改善向上につくされその功績は極めて顕著であると認められ、創意工夫功労者表彰を受けた。

科学技術庁長官賞 科学技術庁 井上 廉

「超強磁場マグネットの開発に関する研究」がすぐれた研究業績によって科学技術の振興につくされその功績は極めて顕著であると認められ、研究功績者表彰を受けた。

科学技術庁長官賞 科学技術庁 湯山道也

「ヘリウム液化装置データーの一括監視システムの考案」がすぐれた創意工夫によって職域における技術の改善向上につくされその功績は極めて顕著であると認められ、創意工夫功績者表彰を受けた。

溶接学会業績賞 社団法人溶接学会 入江宏定

溶接の学術に関し優秀な業績を挙げられ特に電子ビーム溶接の溶込み現象の解明と制御に多大の成果を挙げたことに対し、上記の賞を受けた。

科学技術庁長官賞 科学技術庁 宮崎秀子

「金属組織のデジタル画像処理システムの考案」がすぐれた創意工夫によって職域における技術の改善向上につくされその功績は極めて顕著であると認められ、創意工夫功績者表彰を受けた。

市村学術賞貢献賞 財団法人新技術開発財団（市村財団） 古屋一夫

「その場電子顕微鏡法による材料の原子レベル操作・観察技術の開発」に対し、上記の賞を受けた。

人事異動

平成11年3月31日
定年退職……白石春樹（極限場研究センター）

平成11年4月1日
昇 任……極限場研究センター 吉原一紘（精密励起場ステーション）
昇 任……特別研究官 原田広史（第3研究グループ第1サブグループリーダー）
昇 任……精密励起場ステーション総合研究官 古屋一夫（精密励起場ステーション高分解能励起場ユニットリーダー）

表紙説明

平成11年4月15日に行われたつくば地区の一般公開と4月17日に行われた青少年行事の様子です。

編集後記

新緑の眩しい季節となりました。今月号では材料の疲労に関して、溶接構造部材と生体用金属材料という異なる応用分野における研究が紹介されています。興味を持って読んでいただければ幸いです。

発行所 科学技術庁金属材料技術研究所
〒305-0047 茨城県つくば市千現1-2-1
TEL.(0298)59-2045 FAX.(0298)59-2049
ホームページ <http://www.nrim.go.jp>

通巻 第486号 平成11年5月発行
編集兼発行人 細川洋治
印刷所 前田印刷株式会社