



## 構造ソリューション特集号

### 材料試作

- 真空溶解 (10、30、100kg) と組成に応じた原料の添加
- 熱間圧延：素材加熱 (~ 1,250°C、パス管理 3mm ~)  
空冷、水冷、制御冷却
- 冷間圧延：0.3mm ~
- 機械加工：切断、切削、研削
- 熱処理：雰囲気焼鈍 (N<sub>2</sub>、Ar、H<sub>2</sub>)



鋼塊



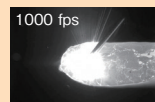
鋼板 (熱間圧延 → 空冷)

### 溶接・接合

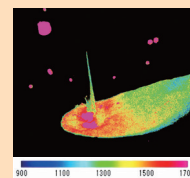
- 溶接継手の作製 (手動、半自動、自動溶接)  
手棒、TIG、MAG、CO<sub>2</sub>、サブマージアーク溶接
- エレクトロガス溶接、エレクトロスラグ溶接
- 溶接現象の解析と溶接パラメータの最適化



継手の作製 (手棒)



アーク現象観察  
CO<sub>2</sub>アーク (240A-30V)



温度解析 (2色法)

### 材料開発

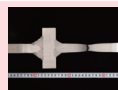
### 評価

#### 溶接ソリューション

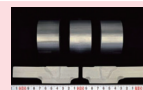
- 溶接接合部の評価・解析  
継手強度試験・継手疲労強度試験・組織観察・溶接部形状測定
- 非破壊検査  
浸透探傷検査・超音波探傷検査・放射線透過検査・磁粉探傷検査・渦電流探傷検査
- 溶接部調査 ●溶接施工試験 ●AW 検定：溶接技量付加試験

#### 材料評価

- 疲労試験 (微小素材から大型部品まで)
- クリープ試験 (クリープ曲線、クリープ破断データ) ●破損調査



継手引張試験体



曲げ試験体、断面マクロ  
建築鉄鋼用溶接継手の各種特性評価例



高靱性溶接金属



低靱性溶接金属

溶接金属組織観察



3点曲げCTOD試験片

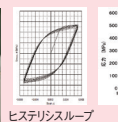


CT試験片

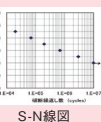
各種破壊靱性試験のための試験片形状



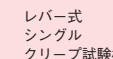
20kN 疲労試験機 (歪制御低サイクル疲労試験対応)



ヒステリシスループ



S-N線図



レバー式  
シングル  
クリープ試験機

### 構造ソリューション特集号

## 材料評価および溶接ソリューション技術

材料試作・継手作製から評価まで、一貫したソリューションを提供します

Material Evaluation and Welding Solution Technology

我々の生活を基礎から支えるインフラ/大型構造物には、環境の変化や社会の成長と共に優れた特性と耐久性が求められています。そして、これを支えるのが材料開発とその製造技術です。建築、橋梁、造船などの大型構造物に適用される鋼材も大きく変化しつつあり、建築・橋梁分野では、高層・大型化を目的としたより強い鋼材の適用が、造船分野では、高強度化に加えて破壊じん性の向上が要求されています。これらの構造物の製造における基礎となるのが材料評価および溶接・接合技術です。優れた構造材料の特性を生かすためには評価技術と溶接・接合技術の向上が必要不可欠であり、溶接部さらには構造物としての強度、疲労、破壊特性を正確に把握することがますます重要となっています。

当社では、鉄鋼材料の研究開発で培った高度な溶解、熱加工技術により、要求に応じた材料試作が可能です。さらに、溶接・接合では、CO<sub>2</sub>、MAGといった一般的なガスシールドアーク溶接に加えて、サブマージアーク溶接、エレクトロガス溶接、エレクトロスラグ溶接といった高入熱溶接が可能です。建築分野では、各種の継手強度試験に加えて施工技量を認定するAW検定試験、造船・压力容器分野では、各船級のCTOD試験、CT試験等の様々な形状の破壊じん性評価試験、輸送・産業機械分野では、微小素材から大型部品まで、種々の疲労試験に対応しています。アクチュエータの取外し設置可能な方向自在型の疲労試験を行うこともでき、実部材の繰返し応力への耐久性評価も実施可能です。プラント設備分野では、高温長時

間強度の推定や許容引張応力算出などに必要なクリープ試験データを提供いたします。また、材料欠陥や製品の破損が発生した場合に必要な破損調査にも迅速に対応いたします。

長年にわたり様々な試験で培った評価解析技術を有しており、数多くの実績があります。

お気軽にご相談ください。

#### ▶お問い合わせ先

構造材料ソリューション本部 接合評価センター  
片岡 時彦

to-kataoka@jfe-tec.co.jp

構造材料ソリューション本部 構造材料評価センター  
半田 恒久

t-handa@jfe-tec.co.jp

## 陰極チャージによる水素環境下での破壊じん性試験

～水素環境下における破壊じん性値を評価～

### ▶なぜいまこれが？

地球温暖化対策として高圧水素ガスインフラの整備が進んでおり、今後ますますの拡大が期待されます。一方で水素は鋼材を脆化させることが知られており、とくに大型構造物の脆性破壊は重大事故につながるため、絶対に避けなければなりません。このような危険は、き裂の伸展に対する抵抗を評価する破壊じん性試験により評価できます。そのため、材料の選定や開発には破壊じん性値が重要な項目となっております。注目されています。

### ▶これがポイント！

金属材料への水素添加法の1つに、水溶液中で試験片を分極し、試験片に水素を侵入させる陰極水素チャージ法があります。この方法は簡易に侵入水素量を調整できることから、水素の影響を広く評価するのに適しています。しかし、

水溶液中からサンプルを取り出すと侵入した水素は容易に大気中に拡散してしまうことから、大気中で機械試験することはできません。

破壊じん性試験は、あらかじめき裂を導入した試験片に変位を増加させながら除荷-負荷を繰り返す試験ですが、前述の課題を解決するために、新たに水溶液中で陰極水素チャージしながら試験ができる手法を開発しました。図1に装置の模式図を示します。試験片をセルで囲い液が漏れないようにするとともに、試験片の取り付けを工夫することで試験装置と絶縁しました。

図2に荷重と変位の関係を示します。大気中と比較し、陰極チャージ中では荷重が低下しており、水素が悪影響を与えていることがわかります。さらに、図2から破壊じん性値を計算するとともに、き裂が成長する最小応力場のパラメータである臨界応力拡大係数も求めることができます。

陰極チャージで添加される水素量は分析機器を用いて定量することもできま

す。金属材料の破壊じん性におよぼす水素の影響にご関心をお持ちの方はお気軽にご相談ください。

### ▶お問い合わせ先

構造材料ソリューション本部 構造材料評価センター  
藤原 純也  
j-fujiwara@jfe-tec.co.jp

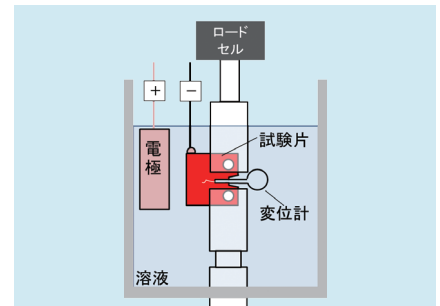


図1 装置の模式図

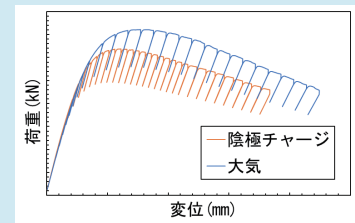


図2 荷重と変位の関係

## 丸棒引張試験片のシルエット計測による応力三軸度評価

～引張試験時のシルエット画像から応力三軸度の評価が可能です～

### ▶なぜいまこれが？

例えば大規模災害発生時の構造物倒壊といった重大事故を防ぐためには、応力集中部の応力状態（応力三軸度）や延性き裂発生限界を事前に把握しておくことが重要です。それらの評価のためには局所変形を考慮した強度評価が必要です。

### ▶これがポイント！

応力集中部の局所変形を考慮した強度評価には真応力-真ひずみを用いられます。当社では引張試験中の断面シルエット画像より局所変形部の曲率 (R) および最細部径 (2a) を計測し、真応力-真ひずみや応力三軸度を測定いたします (図1)。直行二方向からの同時計測による材料異方性を考慮した評価が可能です。

切欠付き丸棒試験片の評価事例を紹介します (図2)。切欠半径が小さい (= 応力集中が高い) 方が応力三軸度は大きく、低応力で延性き裂が発生しました。通常の丸棒試験片、非鉄材料等でも

試験可能です。さらに、取得データを用いたCAE\*1解析も当社で承ります。まずはお気軽にご相談ください。

\*1) Computer Aided Engineering

### ▶お問い合わせ先

構造材料ソリューション本部 接合評価センター  
藤村 健司  
k-fujimura@jfe-tec.co.jp

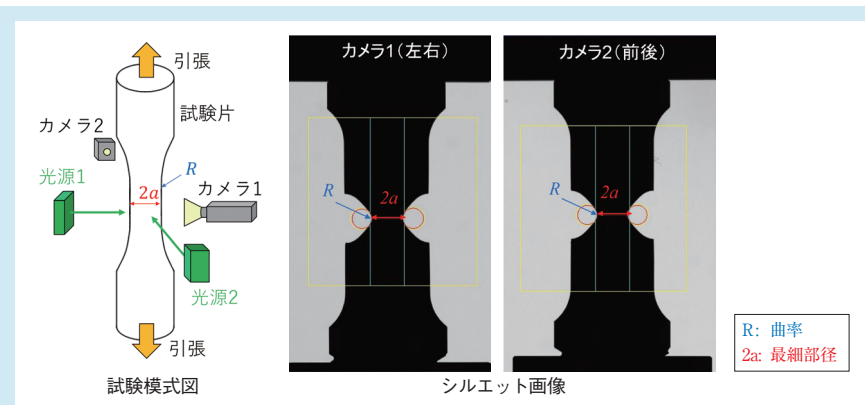


図1 シルエット計測概要

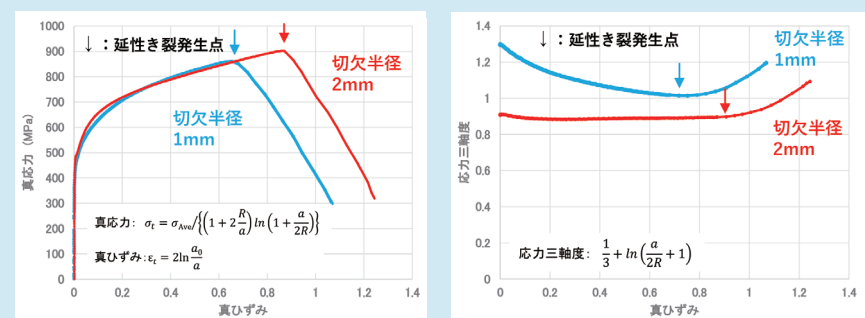


図2 切欠付き丸棒試験片の評価事例

## 構造試験における 3次元計測サービス

～3次元非接触変位測定～

### ▶なぜいまこれが？

建設分野などの構造物や部材の耐力試験では、対象物の任意位置での変位量計測の要望があります。しかしながら、接触式変位計では狭所における設置が困難であり、また1軸のみしか計測できない課題があります。一方、耐力試験中や試験後の対象物の形状記録も実施されています。この際3Dレーザースキャナが利用される場合がありますが、機器が高価であることや測定できない対象物があることが欠点として挙げられています。

ここでは試験体形状にとらわれず、比較的安価でお客様のニーズに対応できる測定方法としてモーショキャプチャ（以下モーキャプ）、Structure from Motion（以下SfM）を紹介します。

### ▶これがポイント！

<モーキャプ>モーキャプは、物体の動きをデジタル的に記録する技術です。狭所など変位計設置が困難な場所での

計測や、多点の3次元計測ができる利点があります。図1は、角形鋼管の曲げ試験を対象にモーキャプシステムによる3次元変位計測を実施した例です。対象物に13点の反射マーカを貼り付け、カメラ4台でキャプチャしています。1点でマーカの座標位置（X、Y、Z）が取得可能ですので図2のような任意の荷重での変形分布を作成できます。

<SfM>SfMは、図面の存在しない建物の復元技術や屋根上の積雪量測定など、建設分野にも広がりつつあります。SfMは市販のデジタルカメラ等を用いて3次元計測が可能で、レーザースキャナと同様な3Dモデルを簡便に構築できます。図3は、円形鋼管の曲げ試験後の変形状

況を取得したものです。目視では確認しづらい最高0.01mmの高精度で微小な変形も可視化されています。

当社ではお客様のニーズに合わせて、有効な計測手段のご提案が可能です。お気軽にご相談ください。

### ▶お問い合わせ先

構造材料ソリューション本部 構造性能センター  
石井 匠  
ta-ishii@jfe-tec.co.jp

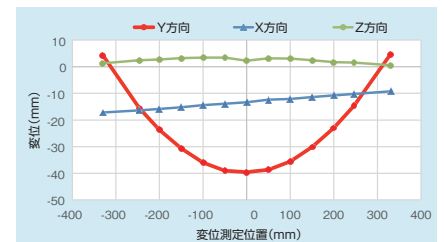


図2 モーキャプによる測定結果(最大耐力時の変形分布図)

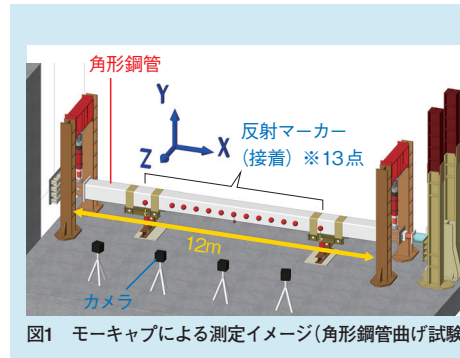
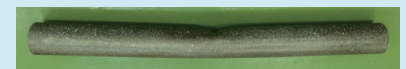
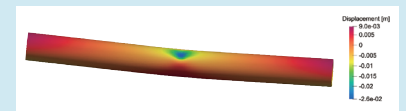


図1 モーキャプによる測定イメージ(角形鋼管曲げ試験)



(a) 試験後の円形鋼管外観  
鋼管サイズ：φ100, t6, L1200



(b) 形状測定結果 (変形量で色付け)

図3 SfMによる試験後の円形鋼管形状測定結果

## 2軸疲労試験 (2方向载荷試験)

～2軸条件下で使用される金属材料・構造部品などの疲労特性を評価～

### ▶なぜいまこれが？

構造体の安全性評価においては、実際の荷重（応力）や拘束状態を再現した評価が重要であり、想定外の負荷による破壊を防止する観点からも、関連する論文や発表が年々多くなる傾向にあります。実際、2種類以上の垂直応力やせん断応力が組み合わせられて生じる多軸応力状態になっている場合が一般的で、特に部品や組立品においては、その形状や実機・完成品における負荷に応じた適切な試験方法を検討し、安全性を正しく評価する必要があります。

### ▶これがポイント！

当社では、2軸応力条件下で使用される金属材料・構造部品などの疲労特性評価を主な目的として、軸方向と垂直方向に载荷可能なアクチュエータとテストベッ

ドを配置した2方向载荷疲労試験機を導入しました（図1）。アクチュエータとロードトレインの取付け位置により、2軸応力条件下のみならず様々な負荷モード下における疲労特性の評価が可能で、部品や組立品の圧縮/曲げ疲労試験に最適です。

当該試験機は垂直方向50kN+水平方向25kNの2軸方向アクチュエータを有しており、具体的には、引張/圧縮荷重+垂直方向引張疲労、引張/圧縮荷重+垂直方向曲げ疲労、曲げ荷重+軸力方向引張/圧縮疲労の試験のほか、純せん断試験（せん断方向荷重+垂直方向キャンセル荷重）の各試験に対応します（図2）。また、摩耗試験、摺動試験やテストベッドを利用した部材・部品の耐久性試験（曲げ・疲労）も可能です。

当社では試験対象品に応じた治具の考案・作製によりお客様の様々なご要求に対応した独自の試験方法と安全性評価のご提案やデータの提供に注力しています。また、「軸方向+ねじり」の2軸疲労試験機も取り揃えておりますので、どうぞお気軽にご相談ください。

### ▶お問い合わせ先

構造材料ソリューション本部 構造材料評価センター  
森影 康 / 橋本 勝太  
y-morikage@jfe-tec.co.jp  
sh-hashimoto@jfe-tec.co.jp

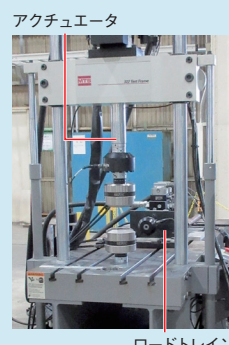


図1 2方向载荷試験機外観

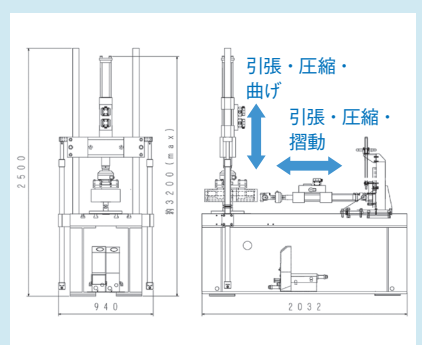


図2 試験装置寸法と荷重負荷方向イメージ

## 高温設備の設計および余寿命評価に寄与する評価技術

～各種クリープ試験の立案から設備の余寿命評価まで幅広くサポート～

### ▶なぜいまこれが？

高温設備では、クリープと呼ばれる高温特有の経年損傷が進行します。クリープ損傷は高温設備の構造健全性を左右するため、設計においては、材料のクリープ特性に配慮することが必要となります。一方、代表的な高温設備である火力プラントは、再生可能エネルギーの導入を支える主要なバックアップ電源となっていますが、高経年化が進行しており、必要に応じ適切な保全措置を講じるための余寿命診断のニーズが年々高まっています。

### ▶これがポイント！

当社では、お客様のご要望に応じて、各種クリープ試験の立案から余寿命評価まで幅広くサポートいたします。多数の試験機を保有しており（図1）、短納期

で実施できます。

小型・薄肉構造に対応したミニチュア試験片（図2）・薄板試験片での実施や、小型試験片で顕在化しやすい酸化減肉を抑えるAr雰囲気下での試験も可能です。さらに、圧縮方向のクリープ試験にも対応できるほか、大型炉による曲げやモックアップ試験（図3）、疲労サイクルが重畳するクリープ疲労試験など、対象設備の構造・負荷形態に応じて特殊な様式にも対応可能です。

高温設備の設計に際しては、クリープ試験データをもとに材料のクリープ特性をモデル化した構成式を導出し（図4）、高温設備のFEM解析をサポートいたします。

高温設備の余寿命評価に際しては、豊富な診断手法から状況に応じ最適なものを選択いたします（図5）。また、材料サンプリング不要

な表面レプリカ法などによる非破壊評価も対応可能です。ご要望に応じて当社の高度な材料解析・計測技術を活用することも可能です。お気軽にご相談ください。

### ▶お問い合わせ先

構造材料ソリューション本部 構造材料評価センター  
平野 敦也  
a-hirano@jfe-tec.co.jp



図1 当社クリープ試験設備の一部



図2 ミニチュア試験片例

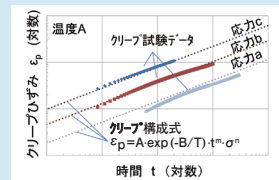


図4 導出されたクリープ構成式の例

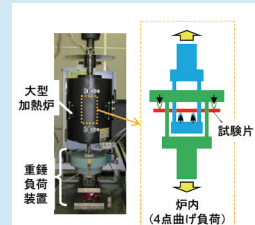


図3 大型炉による曲げクリープ試験

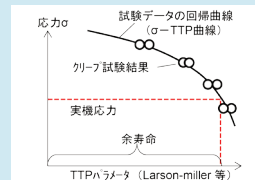


図5 余寿命評価イメージ

## 洋上風力設備の大型载荷試験

～洋上風力発電の設計・建設に資する技術～

### ▶なぜいまこれが？

近年、風力エネルギーは再生可能エネルギーとして注目を浴びています。それに伴い日本においても風力発電事業が急速に普及してきています。日本では安定した風力が得られる海岸部や島しょ部などで風車を稼働させています。しかしながら、風力発電の構成部材は、日本特有の台風、地震など気象・海象条件、地形条件に適合して力学特性、耐久性、信頼性などを適切に評価することが重要です。そのため、その評価技術の重要性が高まっています。

当社は、部材から大型構造物までの静的载荷試験、疲労载荷試験に関する技術と経験を保有しています。試験器具、試験方法を工夫することにより、洋上風力発電の構成部材（主塔部、回転翼部な

ど）の試験について対応が可能です。

### ▶これがポイント！

所有する10MN試験機、あるいはテストベッド（耐力床、耐力壁）により、主塔部材の大口徑鋼管構造の規模に合わせた試験が可能です。10MN試験機の試験空間は、高さ7m×幅3m、曲げスパンは最大で20mまで対応できます。テストベッドは、幅約10m×奥行約15mで、構造物に対して任意の载荷形態をとることが可能です。より実物に近い大型構造物試験には欠かせない空間です。図1は主塔部材の縮尺モデルを用いた正負交番载荷試験の例です。自重に相当する一定の鉛直荷重を油圧ジャッキで試験体に負荷した後、地震力に相当する水平荷重を油圧ジャッキで正負交番载荷して耐力や局部破壊性状を確認しています。

また、大型構造物疲労試験機（図2）は、最大試験空間として高さ3m×幅4m×長さ10mを有しており、耐力床も付属して

います。荷重±1,000kN、ストローク±100mm、最大繰返し速度20Hz、荷重あるいは変位制御の試験が可能です。主塔や回転翼部材および接合するボルトの破損調査にも対応いたします。

まずはお気軽にご相談ください。

### ▶お問い合わせ先

構造材料ソリューション本部 構造性能センター  
石井 匠  
ta-ishii@jfe-tec.co.jp

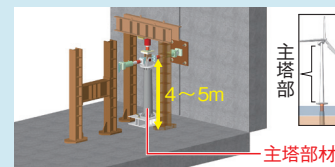


図1 主塔部材軸力曲げ耐力試験

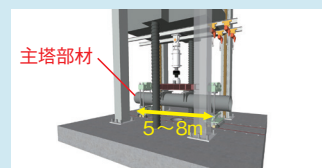


図2 主塔部材疲労試験

◆このパンフレットの送付中止、宛名変更は [jfetcsalesmarketing@jfe-tec.co.jp](mailto:jfetcsalesmarketing@jfe-tec.co.jp) へご連絡ください

JFE-TEC News (2024)  
No.80  
2024年8月発行

発行人/壁矢 和久  
発行所/JFEテクノリサーチ株式会社 営業企画部  
〒100-0004 東京都千代田区大手町一丁目6番1号 大手町ビル4階  
☎0120-643-777

