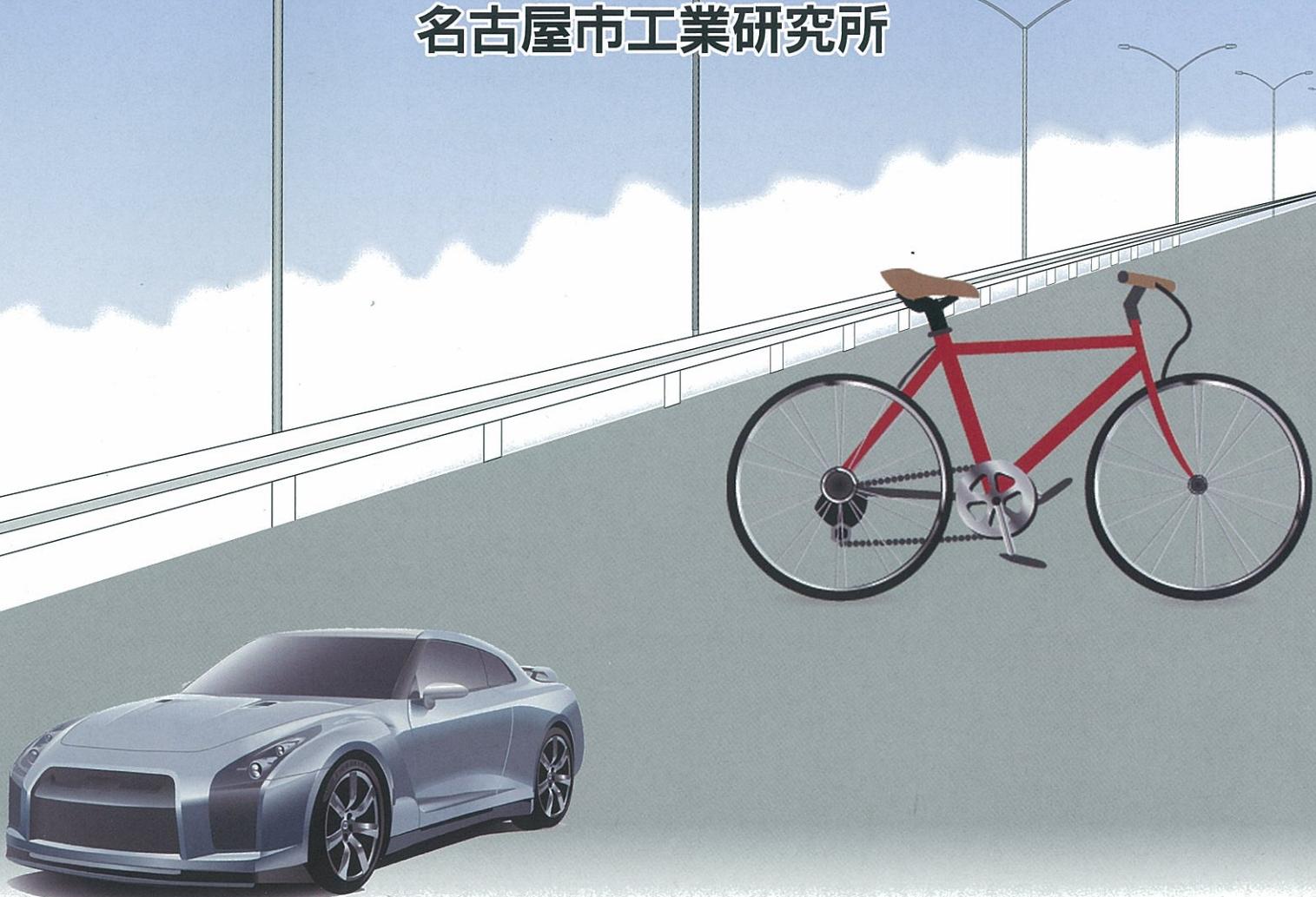


非破壊試験活用集

～製品・材料の信頼性向上を目指して～

名古屋市工業研究所



RING!RING!
プロジェクト
競輪の補助事業

この冊子は、競輪の補助により作成しました。

<http://ringring-keirin.jp>

KEIRIN



中小企業において、製品の安全性を評価する場合、熟練者による打音検査などの五感を用いた検査を行っており、それらの検査方法は暗黙知として継承されてきています。製品の安全性評価技術としては、非破壊試験があり、超音波探傷試験やアコースティック・エミッションなどが用いられています。しかし、人材不足の現在では、この暗黙知を、検査装置を用いた形式知に替えて、効率的に若手技術者を育てる必要があります。

そこで当所では、平成27年度（公財）JKA 公設工業試験研究所等における人材育成等補助事業において「次世代材料の評価技術の高度化」を実施し、非破壊検査装置に暗黙知を融合させることによる技術の見える化を図り、若手技術者の材料評価技術の高度化を目指しています。また、人材育成として、研修や講習会などを通じて非破壊試験や検査装置の効率的な操作技術の普及を目指しています。そして、これらを通じて地域産業の好循環・高付加価値化を支援しています。

本事業をより効果的に進めるために、（公財）JKA 補助金を利用して「超音波探傷器」を導入しました。超音波探傷器は、内部欠陥を簡易的に検出できる装置として普及していますが、微小な欠陥を測定するには、専門的な知識と経験が必要です。そこで、超音波探傷試験の高度化を目指すとともに、地域の中小企業の皆様に、実際の製品や材料に対する非破壊検査として、超音波探傷器を有効に利用いただけるように取り組んでいます。

本冊子では、超音波探傷試験と新規導入した超音波探傷器をご紹介するとともに、製品・材料の信頼性の向上を目指して当所で取り組んでいる非破壊試験についてご説明します。

また、（公財）JKA 補助金により導入した非破壊試験に関する機器をご紹介します。

目次

1	非破壊試験	1
2	超音波探傷試験	2
2-1	超音波探傷器	3
2-2	超音波探傷試験の様子	4
3	浸透探傷試験	6
4	磁粉探傷試験	7
5	目視試験	
5-1	マイクロスコープ	8
5-2	分析機能付超高分解能走査電子顕微鏡	8
6	X線 CT 測定	9
7	アコースティック・エミッション(AE)	10
8	(公財)JKA 補助事業にて導入した機器	
8-1	X線回折装置(XRD)	11
8-2	光電子分光装置(XPS)	11
8-3	固体核磁気共鳴装置(固体 NMR)	12

1 非破壊試験

非破壊試験は、製品を分解したり材料を破壊したりせずに、表面あるいは内部に存在する傷などを検出する試験方法です。製品の信頼性向上や品質の管理などに有効な方法であるため、今後ますますその重要性が高まると考えられます。

非破壊試験は、大きく分けて①試料表面あるいは表面近傍のきずを検出、②試料内部のきずを検出、③その他、の3種類に分類できます。表1に代表的な非破壊試験をまとめます。また、非破壊試験の結果から判断される不連続部が「きず」と定義されており、欠陥で有害であるものを意味する「傷」とは区別されています(以下、「きず」と「傷」は区別して記載します)。

表1 代表的な非破壊試験

①試料表面あるいは表面近傍のきずを検出	
代表的な試験	区分
目視試験	光、電子、レーザーなどを利用
浸透探傷試験	液体の浸透性を利用
磁気探傷試験	磁気を利用
過流探傷試験	電気を利用

②試料内部のきずを検出	
代表的な試験	区分
放射線試験(X線 CT測定)	放射線を利用
超音波探傷試験	超音波を利用

③その他	
代表的な試験	区分
アコースティック・エミッション(AE)	弾性波を利用
ひずみ測定	応力・ひずみを利用
赤外線試験	熱を利用

各非破壊試験には利点欠点があるために、適材適所で試験を選択する必要があります。また、正確な測定には、複数の試験を併用することもあります。

なお、JIS Z 2300では、「非破壊試験は、「素材や製品を破壊せずに、きずの有無・その存在位置・大きさ・形状・分布状態などを調べる試験。材料試験などに応用されることもある。」と規定されています。一方、非破壊検査は、「非破壊試験の結果から、規格などによる基準に従って合否を判断する方法」と規定されており、試験と検査は異なる意味で使用されています。

2 超音波探傷試験

超音波探傷試験は、超音波(1 MHz～20 MHz)を用いて、試料内部に存在するきずを検出する試験方法です。

図1にその原理を示します。超音波探傷器のプローブ(探触子)から試料内部へ超音波を送信します。この超音波が試料内部で反射されてプローブに戻ってくる反射波を、超音波探傷器モニターでピークとして表示します。

きずがない試料の場合、送信された超音波(図1の”[[[“表示)が反対面(試料の末端部分)で反射してプローブに戻ってくる(図1の”]]]”表示)ため、モニターではこの反射波のピークのみが観測されます。しかし、試料内部にきずが存在すると、超音波がこのきず部分においても反射される(図1の”]]]”表示)ことから、きずをピークとして計測することができます。モニターの画像では、横軸に時間(プローブからの距離)、縦軸にピーク高さ(反射して戻ってくる超音波の強さ)を取ってピークを表示します。ピークが右側に行くほど、超音波が戻ってくる際に時間がかかる事を示していることから、きずが試料内部の深い部分に存在していることを意味します。また、ピーク高さが高いほど、きずが大きいことを意味します。このように、超音波探傷器を用いることにより、試料内部のきずをピークとして計測でき、そのピークの位置と高さから材料内部のきずの様子を調べることができます。また、試料の形状や試験箇所によっては、垂直方向における探傷試験と斜角方向における探傷試験を行うこともできます。超音波の強さを調整することにより、金属から CFRP(炭素繊維強化樹脂)のような先端素材まで幅広い材料の内部情報を調べることができます。

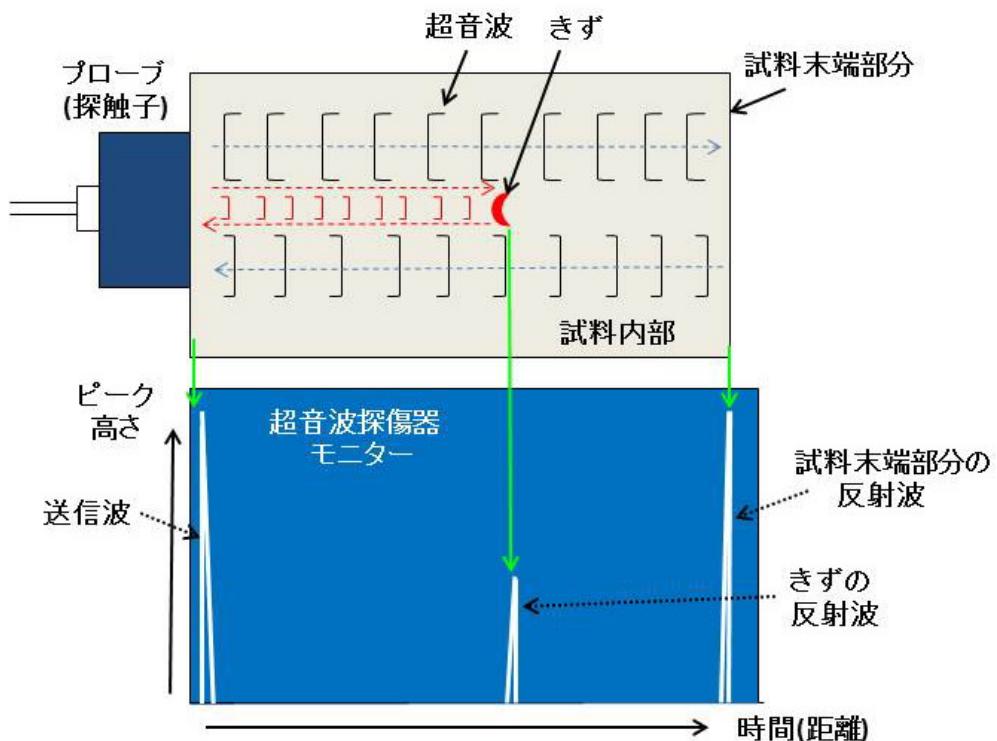


図1 超音波探傷器の測定原理

2-1 超音波探傷器(平成27年度(公財)JKA人材育成等補助事業)

平成27年度(公財)JKA公設工業試験研究所等における人材育成等補助事業を利用して導入した「超音波探傷器」をご紹介します(図2参照)。本機器は試験体に超音波を発信し、きずから反射された反射波を捉えて画面に表示することにより、材料内部の目視では分からぬきずの位置や大きさなどの情報を非破壊で得ることができます。



図2 超音波探傷器の外観

本機器は一般探傷機能の他、フェイズドアレイ機能を搭載しているという特徴があります。一つの振動子を用いる一般探傷に対して、フェイズドアレイ探傷は、小さく分割された振動子を密に並べて、それぞれの振動子から発信される超音波の位相を変えて試験体中を伝わる超音波ビームを変化させる技術のことです。XY移動装置を使用せず、初心者でも比較的簡単に探傷試験を行うことができます。

フェイズドアレイで広範囲を探傷し、きずと思われる部位を一般探傷で詳細に調べることによって、より正確な試料の内部情報を迅速に得ることができます。

仕様

メーカー: GE センシング&インスペクション・テクノロジーズ株

(機種名: PhasorXS 16/64)

探傷機能: 一般探傷及びフェイズドアレイ探傷

画像出力: 深さ方向表示(Aスコープ)

断面表示(Bスコープ)

平面表示(トップビュー、Cスコープ)

音速: 1,000~16,000 m/s

帯域幅: 0.5~10 MHz

5 MHz 以下(板厚 10 mm 以下の金属)

2 MHz(JIS Z 3060)

10 MHz 以上(CFRP など)

フェイズドアレイ探触子: 5 MHz(金属材料)、10 MHz(CFRP など)

一般探触子: 2 MHz、5 MHz の垂直探触子及び 5 MHz の斜角探触子

2-2 超音波探傷試験の様子

本機器を用いて鉄鋼材の標準試料を探傷した様子を示します。超音波探傷器を使用する際には標準試験片を用いた校正が必要です。標準試験片は JIS Z 2345 で規定されており、探傷感度の校正、探傷器の性能測定、測定範囲の校正などに用いられます。当所では、垂直および斜角探傷用の標準試料 A1 形(STB-A1)、斜角探傷用の標準試料 A2 形(STB-A2)を保有しています(図 3 および図 4)。



図 3 標準試料 STB-A1



図 4 標準試料 STB-A2

超音波探傷試験では、フェイズドアレイ探傷後に一般探傷を行うことにより、効率的にきずを検出・測定できます。フェイズドアレイ探傷は、一般探傷と比べて広い面積を迅速に調べることができます。大まかなきずの位置を簡便に調べることができます。一般探傷は、フェイズドアレイ探傷で選定された位置において、きずの位置などを詳細に調べます。JIS Z 3060(鋼溶接部の超音波探傷試験方法)などでは、最終的なきずの検出は一般探傷で行なうことが規定されています。

実際に斜角探傷用標準試料 STB-A2 を用いた超音波探傷の様子をご紹介します。STB-A2 は、図 5 のように JIS で定められた位置に穴が空いています。そこで、図 5 に示した STB-A2 の上部の測定面を探傷し、側面右側上部にある穴(測定面から下方向 35 mm の位置にある $8 \text{ mm } \phi$ のきず(穴))が、どのように測定されるのか順を追って説明します。

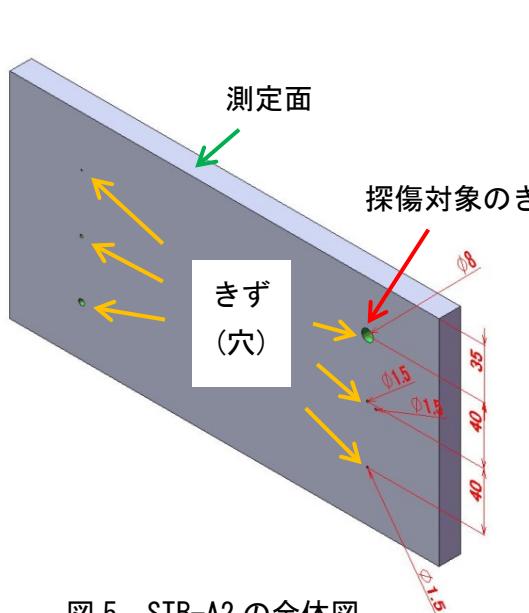


図 5 STB-A2 の全体図

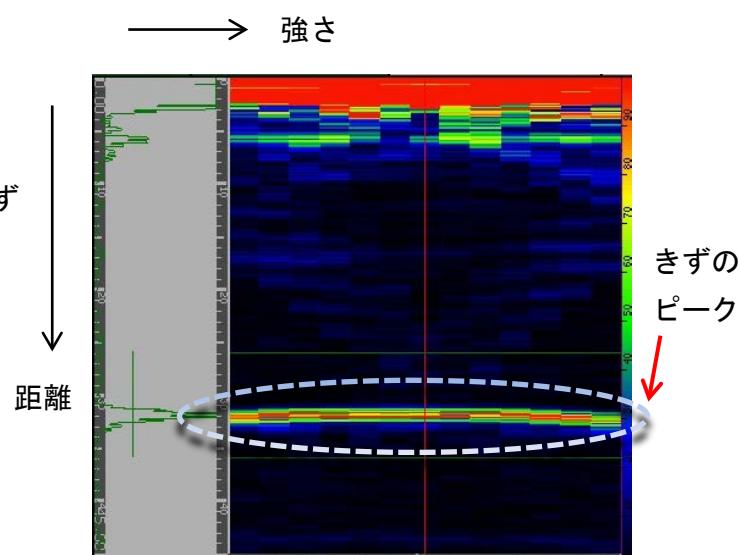


図 6 フェイズドアレイ探傷の結果

フェイズドアレイ探傷により得られた断面図(Bスコープ)を図6に示します。この結果から、きず(図6の赤いピーク部分)が存在していることが確認できます。このようにフェイズドアレイによる断面像から、きずの存在、状態、深さなどが直観的にわかりやすく把握できます。

続いて、ピークが確認できた位置において、一般探傷(垂直)を行って得られた深さ方向の図(Aスコープ)を図7に示します。図7の一般探傷の結果において、横軸35 mm付近にピークが観察されました。きずの位置は通常ピークの立ち上がり部分の横軸の数値で推定するため、このピークは測定面から深さ方向に31 mmの位置に存在することが分かり、図8に示した実際の試料のきずの位置と同じであることが確認できました。

さらにフェイズドアレイ探傷は、平面表示(トップビュー、Cスコープ)により試料内部のきずの広がり分布などを調べることもでき、大まかなきずを探傷する初期段階に極めて有効な手法です。

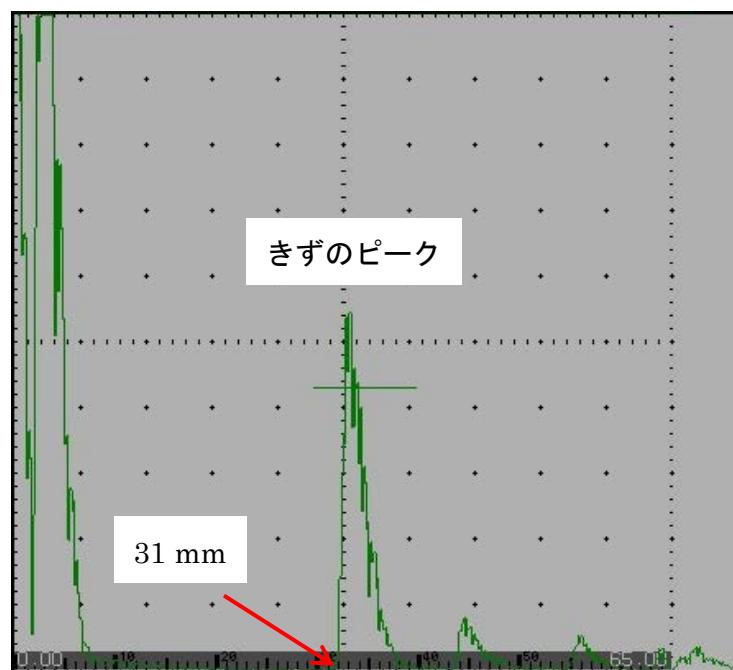


図7 一般探傷の結果

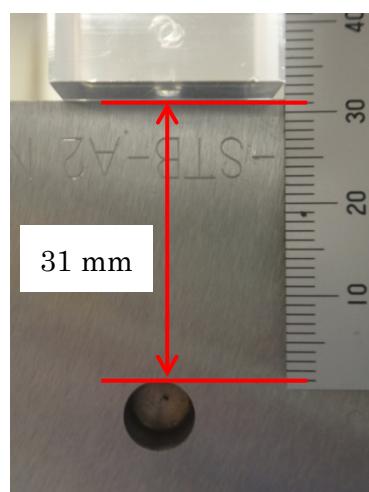


図8 きず(穴)の位置の拡大図

3 浸透探傷試験

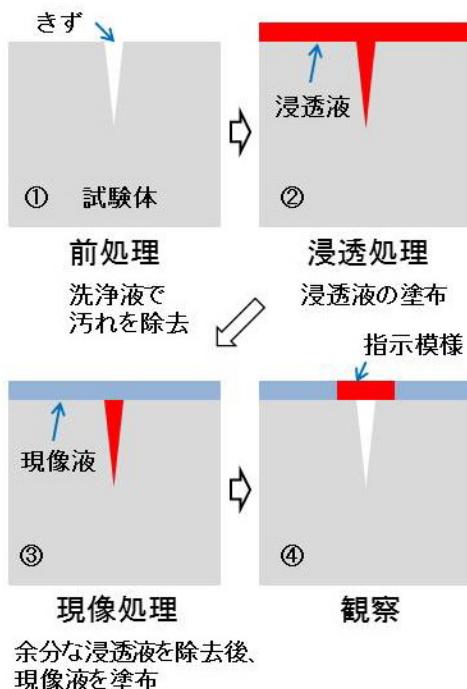


図 9 浸透探傷の原理

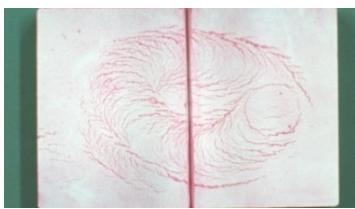


図 10 浸透探傷試験

浸透探傷試験は、物づくりの現場ではカラーチェックとも言われるよう、色や明るさのコントラストを利用して欠陥を検出する方法です。観察方法によって大きく染色浸透探傷試験と蛍光浸透探傷試験に分けられます。

浸透探傷の原理を図 9 に示します。表面に開口しているきずへ毛管現象により浸透液を染み込ませ、その後、現像処理により、きずをより拡大した指示模様として観察します。検出可能な欠陥は、材料の表面に生じている欠陥のみです。ほぼ全部の材質、形状に適用できますが、木材のような繊維質材料やコンクリートのような多孔質材料には使用できません JIS Z 2343-3 に準拠した焼き割れ試験片の染色浸透探傷試験の事例を図 10 に示します。

一般的に蛍光浸透探傷試験の方が染色浸透探傷試験より欠陥が顕著に現れます。ここでは、FRP(繊維強化樹脂)のように繊維と樹脂とからなる複合材料を試験した結果を示します。ガラスクロスに不飽和ポリエステル樹脂を含浸させた GFRP(ガラス繊維強化樹脂)を作製し、繰り返し引張り荷重(2.7 kN、300 サイクル)を加えました。試験の前後の目視試験と蛍光浸透探傷試験の結果を図 11 に示します。200 サイクル後の目視試験では表面に変化はありませんが、蛍光浸透探傷試験では、その後の破断に至る箇所(矢印)に変色が確認できます。この時点で既にひび割れなどの欠陥が生じていたと考えられます。このように、蛍光浸透探傷試験では目視で分かり難い FRP 表面の欠陥を容易に検出できました。

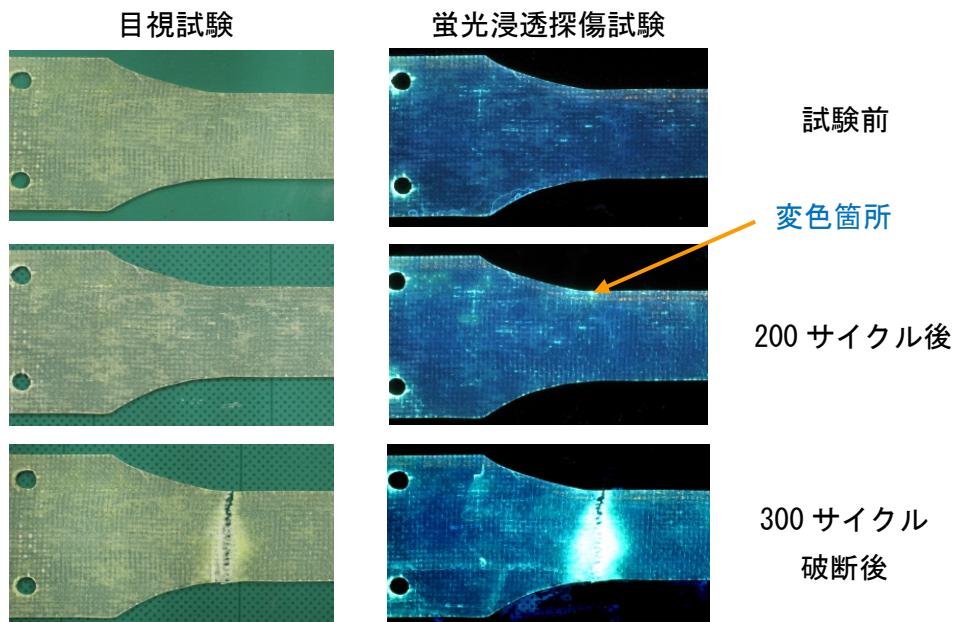


図 11 繰り返し引張り試験前後の様子

4 磁粉探傷試験

磁粉探傷試験は、鉄鋼材料など磁石に吸い付けられる性質を持つ材料(強磁性体)を磁化することによって、材料や製品などを破壊することなく、材料表面および表面近傍のきずの有無、位置などを調べることができる試験方法です。ただし、きずの深さは測定することができないという欠点があります。強磁性体を磁化すると材料内に磁束が発生しますが、材料表層部にきずが存在すると、そこに磁束が乱れる漏洩磁束が生じます。この漏洩磁束に磁粉を吸着させることによって、きずを検出することができます。その試験法には、磁化方法の違いにより、軸通電法、プロッド法、電流貫通法、極間法などがあります。



図 12 携帯型磁化装置

当所では、磁粉探傷試験法として、図 12 に示す携帯型磁化装置を用いる極間法が実施可能です。極間法とは、試験体を電磁石または永久磁石の磁極間において磁化させる方法です。試験体に直接電流を流さないため、スパークなどによる試験体の損傷の恐れがなく、使用が簡便な磁粉探傷試験法です。一般的には炭素鋼を 50~60 Hz で磁化した場合、表面から 2~3 mm の深さまでに大半の磁束が集中します。つまり、表層部から深さ 2~3 mm のきずが検出可能ということになり、これを表皮効果といいます。

ここでは、表皮効果によるきずの検出を目的とする次のような試験を行いました。まず初めに厚さ 3.2 mm の 2 枚の S45C 板を、開先を設けず突き合わせて溶接し、溶け込み不良となるように試験片を作製しました。その後、この試験片の表面が板厚とほぼ同じ厚さになるように溶接ビードの余盛をグラインダーで除去しました。その目視試験の様子を図 13 に、極間法による磁粉探傷試験の実施結果を図 14 に示します。図 13 の目視試験では溶接内部のきずは確認できませんでしたが、図 14 では溶け込み不良部が線となって現れていることが確認できました。このように表面近傍のきずであれば磁粉探傷試験によって検出可能であり、特に割れ状のきずについて感度の良い試験法であることが分かりました。



図 13 突合せ溶接部の目視外観

溶接不良部



図 14 磁粉探傷試験による溶接不良部の検出

5 目視試験

人間の目では、0.1 mm 以下の物を正確に識別できません。そのため、きずや欠陥を拡大して観察したい場合には、低倍率では光を利用した光学顕微鏡を、高倍率では電子を利用した電子顕微鏡の活用が有効です。

5-1 マイクロスコープ(平成 23 年度 (財)JKA 設備拡充補助事業)

本装置(図 15 参照)は、材料の表面および断面などの詳細な観察に利用できます。光学顕微鏡では高性能な機種であり、3D 観察(図 16 参照)も可能です。



図 15 マイクロスコープの外観

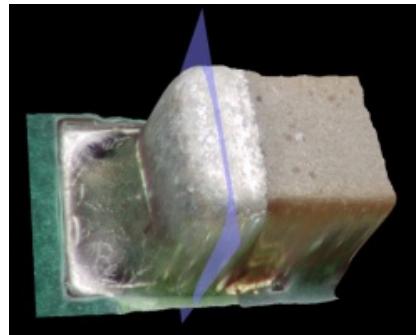


図 16 3D 観察像

仕様

メーカー：ハイロックス(株) (型式：KH-7700)

倍率：35～2500倍、主機能：静止画、動画、2D計測、3D観察

アダプタなど：角度可変ロータリーヘッド、拡散照明、可変照明、片射、偏光、透過照明

5-2 分析機能付超高分解能走査電子顕微鏡(平成 20 年度 (財)JKA 設備拡充補助事業)



図 17 走査電子顕微鏡の外観

本装置(図 17 参照)は低加速電圧観察において高い分解能を有するため、極表面の高解像度な写真が得られることを特長としています。信号可変機能により反射電子情報と二次電子情報の割合を変化させることができます。試料に最適な顕微鏡写真を得ることができます。また、イオンミリングで仕上げた断面試料では、結晶による反射電子の回折コントラストにより、化学エッ칭を行わなくても結晶組織を観察することができます。

仕様

メーカー：日立ハイテクノロジーズ(株) (型式：S-4800)

〈走査電子顕微鏡〉観察倍率：×20～800,000、加速電圧：0.5～30 kV、照射電圧：0.1～2.0 kV
分解能：1.0nm(加速電圧 15 kV、WD 4mm)、1.4nm(加速電圧 1 kV、WD 4mm)

〈エネルギー分散型 X 線分析装置〉検出元素：B～U

6 X線 CT測定

電磁波の一種である X 線は、物体を透過する能力が高いため、照射した対象の内部を調査することが可能です。医療分野でのレントゲン(=透過像)、CT 像(=断面像、立体像)としてご存知の方も多いでしょう。

工業分野でも、対象の内部構造を非破壊で観察するために多く用いられています。試料に照射された X 線は、一部が試料に吸収され図 18 のような濃淡像(透過像)を作ります。吸収量は材質(元素番号)や密度で異なり、図 18 では金属部分などが特に黒く写っています。次に、透過像を様々な方向(通常は 360° 一周)から撮影してデータ処理することで、図 19 の断面像を得ることができます。

例えば電子機器の断線・短絡が発生した際、故障箇所の調査に X 線検査を用いることができます。また、樹脂・金属の内部欠陥(空洞)や含有纖維の分布の様子などを確認するためにも CT 撮影による 3 次元観察が用いられます。さらに、複雑形状でも撮影できることを活かし、成形品の形状を取得し変形度合いを評価したり、3D 造形や CAE(シミュレーション)と連携するための形状データ取得に用いたりと、色々な新しい使い方も検討されています。

- ・X 線 CT 装置(平成 21 年度 (財)JKA 設備拡充補助事業)



図 20 X 線 CT 装置の外観

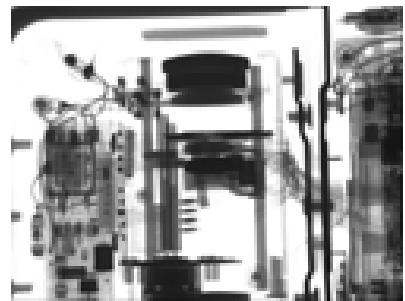


図 18 電子機器の透過像

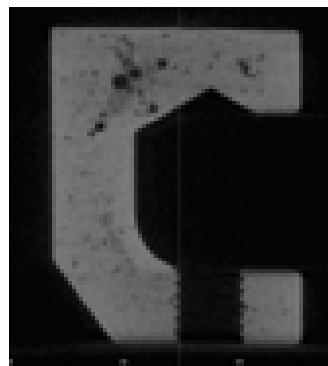


図 19 金属製品の断面像

仕様

メーカー：東芝 IT コントロールシステム(株)
(型式 : Toscaner-32252 μ hd)
X 線管球電圧 : 225 kV
X 線透過能力 : (目安)アルミ 130 mm、鉄 30 mm
最小焦点寸法 : 4 μ m
最大測定サイズ : 200 mm ϕ × 300 mm
データ解析 : 東芝製ソフトウェア CT3000
Volume Graphics 製 VGStudio Max2.0
データ出力 : STL(表面メッシュデータ)
JPG(試料中のス(内部の空洞)の統計解析
が可能)

7 アコースティック・エミッション(AE)

機械や材料が壊れるときに、人の聴覚に感ずる程度の「音」が発生することがあります。これは、巨視的な破壊に至るまでの過程において、微小なき裂や変形が発生し、それに伴って弾性波である微弱な「音」が発生するためです。そして場合によっては、非常に多くの「音」(信号)が一度に発生し、可聴音となります。この「音」の発生をアコースティック・エミッション(AE)と呼んでいます。

AEは、材料に機械的負荷が生じたとき発生します。その原理は、負荷により材料内部において、塑性変形、き裂の発生や成長、相変態あるいは結晶粒界の移動などの動的作用が起こり、これら動的作用に伴って蓄積された弾性歪エネルギーが、急激に解放され、超音波領域の弾性波となり発生します。AEは、このような機械的損傷に伴う弾性波の中でも、特に周波数帯域が数 10 kHz~2 MHz 程度のものとをいいます。

このように発生する種々のAE信号は、材料内部で起こっている破壊過程の各種現象と密接な関係があります。そこで使用中の構造物の健全性評価や寿命予知が可能となります。

AEによる検査法では、材料の表面にセンサを取り付け、センサ受波面に到達する弾性波(AE)の音圧を電気信号に変換して検出しています。続いて、AE信号は、プリアンプで増幅、ハイパスフィルタを通して機械的雑音の多い帯域を除き、各種の信号処理が行われ解析に用いられます。

AEの特徴としては、弾性波の放出を伴うすべての現象を高感度に検出できます。そのため、①センサに弾性波が到達する広い領域をモニタできます。また、②損傷を受けた箇所の位置表示が可能です。これは、複数個のセンサを用い、各センサの検出信号を比較して、AEの発生源位置を確定するものです。例えば、金属などの均質材料では、到達時間差法が用いられます。図21のように、2個のセンサを用いた場合、損傷が発生すると、AEは発生源に近い“センサ1”にまず受信され、少し遅れて発生源からは遠い“センサ2”に受信されます。この到達時間差 Δt (t_1-t_2) とAEの伝播速度から、発生源を標定することが可能になります。AE試験機(図22参照)は、これらの特長を生かし、各種材料の疲労や衝撃破壊の研究、構造物の健全性評価など多方面に利用されています。

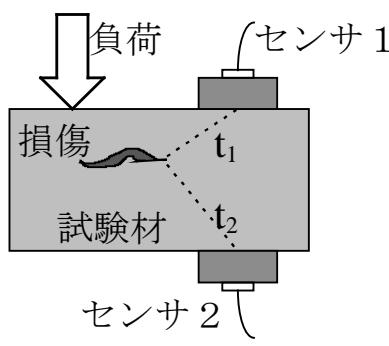


図21 AEの原理



図22 AE試験機

8 (公財)JKA 補助事業にて導入した機器

8-1 X線回折装置(XRD)(平成 27 年度 (公財)JKA 機械設備拡充補助事業)



図 23 X 線回折装置の外観

本装置(図 23 参照)は、試料表面に X 線を照射することにより得られる散乱 X 線の回折現象を利用して、物質の原子・分子の配列状態を観察し、物質を構成している成分を特定することができます。以下に用途例を示します。

- ・固体、粉末、薄膜材料など、物質の種類や結晶構造の同定
- ・薄膜の膜厚測定
- ・微小領域に局在した異物の特定
- ・液中に分散したナノサイズ粒子の大きさや形状・粒度分布測定
- ・試料の残留応力解析

仕様

メーカー：スペクトリス(株)パナリティカル事業部 (機種名：Empyrean)

X 線源：4 kw 高圧発生器

X 線管球セラミック製 LEF Cu

ゴニオメータ：高精度試料水平ゴニオメータ

光学系：Bragg-BrentanoHD、ダブルクロススリットコリメータ、微小部アライメントカメラ

試料ステージ：3 軸クレードルステージ、SAXS/WAXS ステージ

試料ホルダ：円形サンプルホルダ、キャピラリーホルダ 1.0 mm ϕ

検出器：多次元半導体検出器 PLXcel3D、平板コリメータ 0.27°

制御・解析コンピュータシステム：制御ソフトウェア、総合解析ソフトウェア、極図形解析ソフトウェア、残留応力解析ソフトウェア、小角散乱解析ソフトウェア、反射率解析ソフトウェア、薄膜グラフィックスソフトウェア、化合物同定検索用データベース

8-2 光電子分光装置(XPS)(平成 26 年度 (公財)JKA 機械設備拡充補助事業)



図 24 XPS 装置外観

本装置(図 24 参照)は、固体試料に X 線を照射し、放出される光電子のエネルギーを分光することで、固体の極表面(数～数十 nm)の組成や各成分の化学状態を調べることができます。さらにアルゴンスパッタを使用して、スパッタリングと測定を繰り返すことで皮膜の深さ方向の組成と化学状態を分析することができます。最小分析径は 20 μm であり、微小部の分析も可能です。帯電補正機能を有しており、金属材料はもちろん、プラスチックや酸化物などの絶縁物も測定できるため、幅広い材料の分析に応用できます。以下に用途例を示します。

- ・皮膜やバルクの成分分析と化学状態分析
- ・腐食・変色部の解析
- ・異物解析、不良解析

仕様

メーカー：アルバック・ファイ(株) (機種名：全自動 XPS PHI X-tool)
X 線源：集光型 AlK α
最小分析径：20 μm
最高エネルギー分解能：0.50 eV(Ag 3d_{5/2})
エネルギー分解能：0.85 eV(C 1s)
感度：分析径 20 μm 、50,000 cps(Ag3d_{5/2} のピーク強度、分解能 0.6 eV)
帶電補正機能：デュアルビーム(低速電子線+低速アルゴンイオン)
試料観察：内蔵 CCD、X 線励起光電子像
サンプルホルダーサイズ：75 mm × 75 mm
最大試料高さ：10 mm
アルゴンスパッタ：0.2～5 keV、～5 μA

8-3 固体核磁気共鳴装置(固体 NMR)(平成 25 年度 (公財)JKA 機械等設備拡充補助事業)



図 25 固体 NMR の外観

本装置(図 25 参照)は、磁場の中で原子核が特定の周波数の電磁波を吸収・放出する核磁気共鳴現象を利用して、物質の分析を行います。他の分析方法では取得できない物質の構造や配列などに関する詳細な知見が得られます。本装置は測定可能な核種が多く、特に固体状態での測定が可能といった特徴があるため、無機物の測定も可能です。以下に用途例を示します。

- ・不溶有機物質の構造解明
- ・高分子材料の結晶化度の測定
- ・ゴムなどのエラストマーやゲル状材料の構造解析
- ・無機材料の多形解析

仕様

メーカー：ブルカー・バイオスピン(株) (機種名：AVANCE III HD400)
磁場強度：9.39 T(¹H 400MHz)
分光計：2 チャンネル(100 W、300 W 各 1)
溶液用 5 mm 多核測定用プローブ
測定可能核：¹H / ¹⁹F, ¹⁵N – ³¹P 磁場勾配：50 G / cm
固体用 4 mm CPMAS プローブ(最大 MAS 速度：15 kHz、最大サンプル量：80 μL)
測定可能核：(¹H), ⁷Li, ¹¹B, ¹³C, ¹⁵N, ¹⁷O, ²³Na, ²⁷Al, ²⁹Si, ³¹P
固体用 1.3 mm 超高速 CPMAS プローブ(最大 MAS 速度：67 kHz、最大サンプル量：1.5 μL) 測定可能核：¹H, ⁷Li, ¹¹B, ¹³C, ¹⁵N, ¹⁷O, ¹⁹F, ²³Na, ²⁷Al, ²⁹Si, ³¹P



 **名古屋市工業研究所**

〒456-0058 名古屋市熱田区六番三丁目4番41号

Tel: 052-661-3161 Fax: 052-654-6788

ホームページ: <http://www.nmiri.city.nagoya.jp>

Eメール: kikaku@nmiri.city.nagoya.jp



RING!RING!
プロジェクト
競輪の補助事業

平成28年2月発行

(この冊子は古紙パルプを含む再生紙を使用しています。)