

伊方発電所第1号機
補助建家排気筒のひび割れについて

平成17年1月

四国電力株式会社

【目 次】

1 . 件 名	1
2 . 事象発生の日時	1
3 . 事象発生の子炉施設	1
4 . 事象発生時の運転状況	1
5 . 事象発生の様子	1
6 . 時 系 列	1
7 . 状況調査	2
8 . 詳細調査	3
9 . 損傷要因の推定	9
1 0 . 推定原因	1 1
1 1 . 対 策	1 1
1 2 . 2 , 3号機の対策	1 2

1. 件名

伊方発電所第1号機補助建家排気筒のひび割れについて

2. 事象発生の日時

平成16年12月24日 10時（最終確認）

3. 事象発生の原子炉施設

補助建家排気筒

4. 事象発生時の運転状況

第22回定期検査中（平成16年9月5日より）

5. 事象発生の状況

伊方発電所第1号機(定格電気出力566MW)は、第22回定期検査において、補助建家排気筒（以下、「A/B排気筒」という。）の点検口設置工事に伴い、点検口周辺の内部点検を行ったところ、12月23日15時にA/B排気筒水平ダクト部にひび割れを確認した。

その後、更に当該部近傍の点検を行った結果、翌24日10時、内面に12箇所のひび割れがあり、この内、4箇所について貫通していることを確認した。

なお、本事象による周辺環境への放射能の影響はなかった。

（添付資料 - 1～3）

6. 時系列

12月23日 A/B排気筒水平ダクト部にひび割れを確認

12月23日 調査開始

12月24日 A/B排気筒水平ダクト部に12箇所のひび割れ、うち4箇所の貫通を確認

12月26日 A/B排気筒水平ダクト部に新たに3箇所の指示を確認
（浸透探傷検査）

12月28日

～ 29日 A/B排気筒水平ダクト部のひび割れ箇所のサンプル切出し

12月29日 A/B排気筒鉛直ダクト部に新たに5箇所のひび割れを確認
（目視観察）

12月30日 格納容器排気筒（以下、「C/V排気筒」という。）水平ダクト部に1箇所のひび割れを確認（目視観察）

12月30日 A/B排気筒鉛直ダクト部およびC/V排気筒水平ダクト部のひび割れ箇所のサンプル切出し

7. 状況調査

ひび割れの認められたA / B排気筒水平ダクト部等について調査を実施し、ひび割れの状況を確認した。

7.1 A / B排気筒水平ダクト部

A / B排気筒水平ダクト部の内外面視観察を行った結果、12箇所ではひび割れが認められた。

これらは、接続鋼材等の断続すみ肉溶接部（以下、「断続溶接部」という。）の近傍に11箇所（～）、A / B排気筒水平ダクト部と鉛直ダクト部の接続鋼材全周シール溶接部（以下、「シール溶接部」という。）に1箇所（）であり、この内、4箇所（、、）の貫通または漏えいが認められた。

また、ひび割れの認められた断続溶接部近傍について、浸透探傷検査（以下、「PT」という。）を実施した結果、新たに3箇所では有意な指示が認められ、内面の指示が2箇所（、）、外面の指示が1箇所（）であった。

なお、これらの3箇所のひび割れは、目視でも確認できるものであった。

ひび割れ（～、～）の長さは、最小で約20mm、最大のもので約400mmであり、ひび割れは、シール溶接部に沿った、上面約2,500mm、側面約230mmの連続した長さのものであった。

ひび割れの外面周辺には腐食が認められ、また、ひび割れ範囲と著しく腐食している範囲がほぼ一致していた。

（添付資料 - 4）

7.2 A / B排気筒鉛直ダクト部およびC / V排気筒

A / B排気筒鉛直ダクト部および隣接し構造が類似するC / V排気筒について調査を実施した。

(1) A / B排気筒鉛直ダクト部

テレビカメラ等による内外面視観察を行った結果、補強鋼材の断続溶接部近傍で5箇所のひび割れ（～）が認められた。ひび割れの長さは、最小で約60mm、最大のもので約150mmであった。

なお、ひび割れが認められた断続溶接部近傍のPTを行った結果、新たに有意な指示は認められなかった。

（添付資料 - 4）

(2) C / V排気筒

C / V排気筒水平ダクト部の内外面視観察を行った結果、A / B排気筒シール溶接部とほぼ同じ位置に、シール溶接部に沿った上面約1,370mmのひび割れ1箇所⁽²¹⁾が認められたが、当該箇所の漏えいは確認されなかった。

また、ひび割れの外面周辺に腐食が認められ、ひび割れ範囲と著しく腐食している範囲がほぼ一致していた。

（添付資料 - 5）

なお、C / V排気筒鉛直ダクト部について、テレビカメラ等による内外面視観察を行った結果、ひび割れは認められなかった。

8 . 詳細調査

8 . 1 A / B排気筒

状況調査の結果、A / B排気筒のひび割れは、断続溶接部近傍で19箇所、シール溶接部に1箇所発生していた。

この原因を究明するため、ひび割れの詳細調査を要因分析図に従い実施した。

(添付資料 - 6)

(1) 設計および製作・施工調査結果

a . 設計調査

設計図書を確認した結果、排気筒支持構造物の設計方針に問題はなかった。

b . 製作履歴調査

製作記録を調査した結果、排気筒の製作に問題はなかった。

(添付資料 - 7)

c . 施工状況調査

- ・ひび割れが認められた排気筒水平ダクト部および鉛直ダクト部の寸法・構造について調査した結果、設計仕様どおりであった。
- ・排気筒水平ダクト部の補強鋼材の間隔を確認した結果、約1,400mmであり、他の部位より間隔が長かった。調査の結果、当初設計では、現行の接続鋼材間の外周コンクリート貫通部内に補強鋼材が取り付けられる予定であったが、外周コンクリート貫通部が狭隘であったことから、現場設置の段階で補強鋼材のないものを使用していた。
- ・排気筒鉛直ダクト部の支持構造物の施工状況を確認した結果、支持構造物が適切に取付けられていた。

(添付資料 - 7)

(2) 材料調査

排気筒水平ダクト部および鉛直ダクト部鋼板の材料について、材料証明書を確認した結果、設計仕様どおりSUS304であり規格値を満足していた。

接続鋼材、補強鋼材および溶接金属の材料証明書はなかったため、電子線マイクロアナライザー (E P M A) による材料調査を実施した結果、

- ・接続鋼材および補強鋼材は炭素鋼である
 - ・接続鋼材とダクト部鋼板との溶接金属はステンレス鋼である
 - ・接続鋼材部のシール溶接金属は炭素鋼である
- ことが確認され設計仕様どおりであった。

(添付資料 - 8)

(3) 溶接施工状況調査

排気筒水平ダクト部および鉛直ダクト部の断続溶接部は、施工上の目安である間隔150～200mm、溶接長さ30mmで施工されていた。

なお、溶接施工記録はなかったが、聞き取り調査の結果、工場製作および現地据付工事の溶接施工箇所については、目視による異常の有無を確認しており溶接欠陥の可能性は低いと考えられる。

(添付資料 - 9)

(4) 金属調査結果

20箇所のひび割れ部についてサンプルの切出しを行い、ひび割れの発生原因を推定するため、破面マクロ観察を実施した。

断続溶接部近傍のひび割れ19箇所(~ 、 ~)については、

- ・ 全てのひび割れは溶接部の端部を通っており、端部を挟んで外面側が大きい半楕円形状が認められる
- ・ ひび割れの破面には、一部不明瞭なものもあるがビーチマーク状の様相が認められる
- ・ 全てのひび割れの溶接部の端部周辺の破面において、平坦な部分が認められる
- ・ ひび割れ については、先端部でやや平坦でない部分も認められる
- ・ ひび割れ については、最終先端部前縁は、内面側が大きい半楕円形状である

ことが確認された。

シール溶接部のひび割れ1箇所()については、

- ・ 溶接金属のほぼ中央を貫通しており、破面表面は腐食により変色している
- ・ 接続鋼材も著しい腐食を受けている

ことが確認された。

(添付資料 - 10)

断続溶接部近傍のひび割れ(~ 、 ~)については、全てのひび割れに疲労破面の特徴^(注1)が認められたことから、ひび割れ発生の起点、ひび割れ発生後の進展状況の確認を行うため、全サンプルのうち、ビーチマークが明瞭であるものから1箇所(: 排気筒水平ダクト部)、ビーチマークが不明瞭であるものから1箇所(: 排気筒鉛直ダクト部)を選定し、詳細破面マクロ観察、断面ミクロ観察、破面SEM観察等を実施した。

(注1) 疲労破面のき裂進展部では、一般的に以下の状況が特徴的に認められる。

- ・ ビーチマーク
- ・ 平坦で滑らかな破面
- ・ き裂前縁が半楕円状

(参考 : 「フラクトグラフィ (破面と破壊情報解析) 」, P11, 2.4.3 マクロ破面形態からの情報, 日本材料学会フラクトグラフィ部門委員会編, 丸善株式会社)

また、ひび割れ のやや平坦でない部分、ひび割れ の内面側が大きい半楕円形状部等については、損傷モードを特定するため、詳細に破面SEM観察を実施した。

さらに、シール溶接部のひび割れ については、腐食の特徴が認められるが、詳細に確認するため、断面ミクロ観察、破面SEM観察等を実施した。

a . ひび割れ の詳細調査

(a) 詳細破面マクロ観察

溶接端部の外表面にひび割れの起点となり得る形状変化が認められた。
(添付資料 - 1 1 - 1)

(b) 断面ミクロ観察

ひび割れは、平坦な破面で進展し、枝分かれのない粒内割れであること、また、材料欠陥がないことが確認された。
(添付資料 - 1 1 - 2)

(c) 破面SEM観察

ひび割れには、形状変化部において溶接端部の外表面を起点とした金属組織の流れ(ひび割れの進展方向に対応)が認められた。また、ひび割れの破面は粒内割れであり、外面側からの進展を示すビーチマーク状模様およびオーステナイト系ステンレス鋼の低応力高サイクル疲労破面に特有の組織状模様が確認された。

なお、ストライエーション、羽毛状の組織や材料欠陥等は認められなかった。

(添付資料 - 1 1 - 3)

(d) 硬度測定

ひび割れ周辺の排気筒水平ダクト部(ステンレス鋼)の硬度測定を実施した結果、ひび割れの起点部付近は、熱影響を受けていない一般部に比べて高く、かつ、起点部においては外表面付近が最も高いことが確認された。
(添付資料 - 1 1 - 4)

(e) EPMAによる分析

ひび割れ破面の元素分析を行った結果、鉄鋼材料に有害な不純物は一般部とほぼ同等であることが確認された。

(添付資料 - 1 1 - 5)

b . ひび割れ の詳細調査(破面SEM観察)

(a) ひび割れ

- ・ひび割れ貫通後の進展において、溶接端部の外表面を起点とした進展から内面側からの進展に移行する部位(先端部、進展部)では、応力状態が変化した時に観察される複雑な破面が観察された。
- ・破面は粒内割れであり、ビーチマーク状模様およびオーステナイト系ステンレス鋼の低応力高サイクル疲労破面に特有の組織状模様が観察された。

(添付資料 - 1 2 - 1 ~ 3)

(b) ひび割れ

- ・溶接端部の外表面を起点とした進展により、進展部（両側）には外面側が大きい半楕円形状の平坦な破面が観察されているが、それ以降の進展では、先端部（両側）で内面側からの進展を示す内面側が大きい半楕円形状の破面が観察された。
- ・破面は粒内割れであり、ビーチマーク状模様およびオーステナイト系ステンレス鋼の低応力高サイクル疲労破面に特有の組織状模様が観察された。

(添付資料 - 1 2 - 4)

c . ひび割れ の詳細調査

(a) 断面ミクロ観察

ひび割れ断面には、腐食の際に現れる滑らかな凹凸が不規則に認められた。

(添付資料 - 1 3 - 1)

(b) 破面 S E M 観察

ひび割れは、腐食の際に現れる滑らかな凹凸が認められた。

(添付資料 - 1 3 - 2)

(c) 硬度測定

ひび割れ近傍の溶接金属部の硬度を測定した結果、硬化した部位が認められた。

(添付資料 - 1 3 - 3)

(d) E P M A による分析

破面の元素分析を行った結果、鉄鋼材料に有害な不純物は一般部とほぼ同等であることが確認された。

(添付資料 - 1 3 - 4)

以上のことから、

ひび割れ ~ 、 ~ については、

- ・形状変化部において、溶接端部の外表面を起点とした金属組織の流れ（ひび割れの進展方向に対応）が認められた
- ・破面は粒内割れであり、外面側からの進展を示すビーチマーク状模様およびオーステナイト系ステンレス鋼の低応力高サイクル疲労破面に特有の組織状模様が確認された
- ・ストライエーション、羽毛状の組織や材料欠陥等は認められなかったことから、ひび割れ発生は溶接端部を起点とした外面側からの低応力高サイクル疲労割れによるものと推定される。

ひび割れ については、
・破面には、腐食の際に現れる滑らかな凹凸が不規則に認められたことから、シール溶接部において腐食が発生し、内外面を貫通するひび割れに至ったと推定される。

なお、ひび割れ に見られる特徴的な破面が観察された理由は、
・ひび割れ貫通後の進展において、ひび割れ先端での応力状態が変化したため、複雑な破面になるとともにひび割れ進展方向が切り替わったものと考えられる。

(添付資料 - 14)

(5) 断続溶接部近傍の残留応力測定結果

ひび割れ 、 に隣接する健全部の断続溶接部近傍の残留応力を測定した結果、降伏応力程度の残留応力が発生し得ることを確認した。

(添付資料 - 15)

(6) 運転履歴調査結果

補助建家排気ファンの排気風量等の運転パラメータを確認した結果、問題のないことを確認した。

(7) 保守履歴調査結果

A / B 排気筒の保守履歴を確認した結果、フレキシブルジョイントやダクト等の取替実績がないことを確認した。

また、当該部が狭隘であることから、十分な外観点検が実施されていなかった。

(8) 振動計測結果

A / B 排気筒水平ダクト部および鉛直ダクト部の振動計測 (変位の両振幅) を行った結果、ひび割れが認められた水平ダクト部上面は最大で 1,800 μm 、鉛直ダクト部正面は最大で 1,300 μm であった。

また、ひび割れの認められなかった箇所振動値は小さかった。

(添付資料 - 16)

8.2 C/V排気筒

C/V排気筒の状況調査の結果、ひび割れ²¹の発生部位、発生状況等がA/B排気筒シール溶接部のひび割れと酷似していることから、腐食に
関係する金属調査、保守履歴調査、振動計測を実施した。

(1) 金属調査結果

a. 破面マクロ観察

シール溶接部のひび割れ²¹の破面マクロ観察を行った結果、

- ・溶接金属のほぼ中央を貫通しており、破面表面は腐食により変色している

- ・接続鋼材も著しい腐食を受けていることが認められた。

(添付資料 - 17 - 1)

b. 断面ミクロ観察

ひび割れ²¹の断面には、腐食の際に現れる滑らかな凹凸が不規則に認められた。

(添付資料 - 17 - 2)

c. 破面SEM観察

ひび割れ²¹は、腐食の際に現れる滑らかな凹凸が認められた。

(添付資料 - 17 - 3)

d. 硬度測定

ひび割れ²¹近傍の溶接金属部の硬度を測定した結果、硬化した部位が認められた。

(添付資料 - 17 - 4)

e. EPMAによる分析

ひび割れ²¹破面の元素分析を行った結果、鉄鋼材料に有害な不純物は一般部とほぼ同等であることが確認された。

(添付資料 - 17 - 5)

(2) 保守履歴調査結果

C/V排気筒の保守履歴を確認した結果、フレキシブルジョイントやダクト等の取替実績がないことを確認した。

また、当該部が狭隘であることから、十分な外観点検が実施されていなかった。

(3) 振動計測結果

C / V 排気筒水平ダクト部および鉛直ダクト部の振動計測（変位の両振幅）を行った結果、ひび割れが認められた水平ダクト部上面は最大で 90 μm 、鉛直ダクト部正面は最大で 71 μm であった。

また、ひび割れの認められなかった箇所の振動値は小さかった。

（添付資料 - 17 - 6）

8.3 A / B 排気筒および C / V 排気筒に接続される排気ダクト

念のため、A / B 排気筒および C / V 排気筒に接続されている同様な構造の排気ダクトについて目視確認を実施した結果、異常は認められなかった。

9. 損傷要因の推定

以上のとおり、今回のひび割れは、断続溶接部については疲労、シール溶接部については腐食によるものと推定されることから、これらについて損傷要因を検討した。

9.1 断続溶接部近傍のひび割れ

A / B 排気筒水平ダクト部および鉛直ダクト部の断続溶接部近傍のひび割れは、溶接端部を起点とした低応力高サイクル疲労によるものと考えられるため、振動発生観点から A / B 排気筒の構造上の特徴等について検討するとともに、溶接端部についての疲労評価を実施した。

(1) 構造上の特徴等

A / B 排気筒は、大容量の空気を排気するため、設計風速（約 20 m / 秒）を大きくし、大口径（2,500 mm × 1,000 mm）で薄肉（板厚 1.5 mm）のステンレス鋼板の構造としており、隣接する C / V 排気筒（口径：1,500 mm × 1,000 mm）に比べ剛性が低いものとなっている。

また、ステンレス鋼板に補強鋼材等を断続溶接により取付け、薄肉構造を補強するとともにステンレス鋼板の振動も抑制している。

このため、断続溶接部は、外面に溶接残留応力が発生するとともに応力集中箇所となる。

また、配置上の特徴は、

- ・ 水平ダクト部は、曲がり部の後流部であり、圧力変動が発生しやすく、また、補強鋼材の間隔が長く振動が大きくなりやすい。
- ・ 鉛直ダクト部は、短い間隔で連続した曲がり部の後流部であり、圧力変動が増加し振動が大きくなりやすい。

更に、ひび割れが発生した箇所は、圧力変動が発生しやすい範囲^{（注2）}にあり、振動計測結果と同様な傾向を示している。

（注2）猫本・西村ほか、空調ダクトの動的設計手法の開発、日本機械学会 2001 年度年次大会講演

なお、曲がり部から $5 \times D$ (D :ダクト短辺長さ)程度離れば圧力変動は小さくなるとされており、これについても振動計測結果とほぼ同様な傾向を示している。

(添付資料 - 18)

(2) 疲労評価

排気筒の構造上の特徴から、ひび割れが発生した箇所は、圧力変動が発生しやすい範囲にあるため、実機の圧力変動を用いた疲労評価を実施した。

疲労評価は、詳細調査で求めた硬度測定データ等があることから、ひび割れ および について実施した。

その結果、断続溶接部に発生すると推定される変動応力は、疲労限を上回り、疲労破壊が発生することが確認された。

(添付資料 - 19)

評価部位	変動応力 (MPa)	疲労限 (MPa)
水平ダクト部上面板(ひび割れ)	50	43
鉛直ダクト部正面板(ひび割れ)	47	43

9.2 シール溶接部のひび割れ

A/B排気筒およびC/V排気筒のシール溶接部のひび割れは、腐食によるものであると考えられることから、環境、材料・構造および保守状況について検討を実施した。

(1) 環境

1号機格納容器外周コンクリート(以下、「外周コンクリート」という。)は、天井開口型であり、雨天時には、当該部が濡れる状態となり、また、排気筒の最下部に位置することから、日光も当たらず、付着した雨水が乾燥しにくい環境である。

(2) 材料・構造

接続鋼材部は炭素鋼であり、環境条件により腐食しやすく、また、外面は隙間の存在する断続溶接であり、内面は全周シール溶接であることから、雨水が浸入し滞留する構造である。

(3) 保守状況

接続鋼材部は、通常は立入らないことや当該部が狭隘であることから、十分な外観点検が実施されていなかった。

10 . 推定原因

今回の A / B 排気筒および C / V 排気筒のひび割れ事象は、以下の 2 つの原因によるものであると推定される。

(1) 断続溶接部近傍のひび割れ (A / B 排気筒) の原因

A / B 排気ファンの運転に伴い、ダクト曲がり部の後流部については、圧力変動が発生しやすく、水平ダクト部は、補強鋼材の間隔が長く振動が大きくなりやすい。

また、鉛直ダクト部は、短い間隔で連続した曲がり部の後流部であり、圧力変動が増加し振動が大きくなりやすい。

このため、溶接残留応力があり、応力が集中する形状である断続溶接部において、変動応力が疲労限を超えたことから、ステンレス鋼板外面よりひび割れが発生し進展したものと推定される。

(添付資料 - 20)

(2) シール溶接部のひび割れ (A / B 排気筒および C / V 排気筒) の原因

排気筒は雨天時に濡れる構造であることから、雨水が断続溶接部の隙間から浸入し、滞留した雨水により腐食が発生し、腐食がシール溶接部を進展したため、内外面を貫通するひび割れが発生したものと推定される。

(添付資料 - 21)

11 . 対 策

(1) A / B 排気筒および C / V 排気筒の水平ダクト部については、補強鋼材を追設したものに取替える。

また、A / B 排気筒鉛直ダクト部については、ひび割れ発生箇所を撤去し、同種・同材のステンレス鋼板で復旧するとともに、振動低減を図るための振動抑制用サポートを追設する。

(添付資料 - 22)

(2) A / B 排気筒および C / V 排気筒の水平ダクト部について、屋外部にある断続溶接部間の隙間は、雨水による腐食防止を図るためシール材を塗布する。

また、定期検査時に外観点検を行う等排気筒の点検要領を定め適切に管理する。

(添付資料 - 22)

12.2, 3号機の対策

(1) 2号機A / B排気筒およびC / V排気筒

- ・振動による損傷が認められた水平ダクト部および鉛直ダクト部はいずれも補強鋼材の間隔が1号機よりも短く、振動しにくい構造となっており、外観点検を実施したが、異常は認められなかった。

なお、外周コンクリート貫通部は狭隘で外側からの点検が困難なため、次回定検時に外観点検を行う。また、類似箇所以外の原子炉格納容器に沿った緩やかな曲がり部については、念のため、次回定検時に外観点検を行う。

- ・腐食損傷が認められた水平ダクト接続鋼材部は外周コンクリートに囲まれて雨水が浸入しない環境となっており、外観点検を実施したが、異常は認められなかった。

(2) 3号機A / B排気筒およびC / V排気筒

- ・振動による損傷が認められた類似箇所は各排気筒ともダクト配置、形状、板厚等が1号機とは異なり、強度が高い構造となっており、外観点検を実施したが、異常は認められなかった。

なお、C / V排気筒の建屋貫通部は狭隘で外側からの点検が困難なため、次回定検時に外観点検を行う。また、類似箇所以外の外周コンクリートに沿った緩やかな曲がり部についてはダクト形状が丸型となっており、角ダクトのような振動による損傷は考えられないが、念のため、今後排気筒の補修塗装を行う際に外観点検を行う。

- ・腐食損傷が認められた接続鋼材部は雨水が浸入しないよう全て全周シール溶接となっており、外観点検を実施したが、異常は認められなかった。

以上

用語説明

補助建家排気筒

主として原子炉補助建家内の換気のため設置しているダクト状の通気管。原子炉補助建家内の空気は、フィルタ、排気筒モニタを通過して補助建家排気筒より地上約6.8m(伊方発電所第1号機の場合)の高さから大気へ放出される。

格納容器排気筒

主として原子炉格納容器、アニュラス、放射線管理室の換気のため設置しているダクト状の通気管。原子炉格納容器等の内の空気は、フィルタ、排気筒モニタを通過して格納容器排気筒より地上約6.8m(伊方発電所第1号機の場合)の高さから大気へ放出される。

目視観察

肉眼にて対象物を点検すること。

断続すみ肉溶接

すみ肉溶接とは、T継手、十字継手などにおいて、ほぼ直交する2つの面を三角状の断面で溶接する溶接で、断続すみ肉溶接は、溶接した部分と溶接しない部分が交互に存在するすみ肉溶接。

シール溶接

拡管、ねじ接合等機械的な方法によって強度的に十分な接合性能(剛性)を有する部分に対して、更に漏れ止め性能の維持向上を目的として、念の為に溶接。

浸透探傷検査(PT)

供試体表面に開口している傷を目でみやすくするため、蛍光物質または可視染料の入った高浸透性の液(浸透液)を浸透させた後、余分な浸透液を除去し現像剤により浸透指示模様として観察する方法である。

腐食

金属材料が使用環境中の物質と反応して金属イオンまたは非金属の化合物となって摩耗していく現象。

要因分析図

事象の原因を特定するために、考えられる要因を抽出し評価を行うための図。

外周コンクリート

格納容器鋼板の外周を取り囲んでいるコンクリート。

溶接金属

溶接熱により溶かされた溶接材料及び母材の一部と融合して凝固した金属。

電子線マイクロアナライザー(EPMA: Electron Probe Micro Analyzer)

非常に細かく絞った電子線を試料に照射し、分析エリアから発生する各元素に特有なX線(特性X線)を検出することで、試料の微量分析(元素同定、定量分析及び化合物特定等)を行う装置。

炭素鋼

二パーセント以下の炭素を含有する鉄。加工が容易で、プレス成形用薄板や各種工具に用いられる。その含有量が高いほど鋼は硬くなるがもろくなる。

ステンレス鋼

クロムを12%以上含む鉄 - クロムおよび鉄 - クロム - ニッケル合金のこと。鉄にクロムを12%以上加えると、常温の大気中で使用した場合、肉眼で見えるような錆をほとんど生じなくなる。

溶接欠陥

溶接時に溶接継手に生じる欠陥であり、主なものに「溶接割れ」「内部欠陥(ガス成分によるブローホール等)」「ビード形状不良(溶け込み不良等)」がある。

破面マクロ観察

材料の破断面を調べることにより、破断原因に関する情報を得る為、破断面の表面状態、模様等を観察すること。

ビーチマーク

ビーチマークは、疲労破面に観察される特徴的な破面模様の1つで、破面上においてき裂の進展方向に対して垂直な曲線状の模様である。疲労き裂の進展過程で作用応力や環境などき裂の進展速度に影響を及ぼす何らかの条件変化が生じた場合に形成され、ビーチマークの形状は条件変化が生じた時点でのき裂先端形状を表す。

したがって、実機の疲労破面において観察されるビーチマークは、運転条件等の変化に対応していると考えられることから、運転履歴が明確な場合には、き裂進展速度や作用応力が推定できることもある。

溶接始端部

溶接ビード(溶着部分にできる帯状の盛り上がりのこと)の始まり部。

溶接終端部

溶接ビード(溶着部分にできる帯状の盛り上がりのこと)の終わり部。

断面ミクロ観察

金属の断面を鏡面になるまでに研磨し、適切な液を用いて腐食すると金属組織により腐食の程度が異なり、表面に凹凸差が生じる。これを高倍で観察すると金属組織が観察できる。

粒内割れ

割れが結晶粒を貫通している場合のこと。

破面SEM観察

損傷部位の破面を走査型電子顕微鏡(SEM:Scanning Electron Microscopy)にて観察することにより、割れがどのような応力下で生じたかを調べる調査(破面形状、割れ先端形状の確認)。

組織状模様

疲労破面に現れるミクロ的破面模様的一种であり、金属材料をエッチングした時に観察される金属組織模様に類似していることから名付けられたものである。一般に、この組織状模様は、ストライエーションが現れる領域に比べてき裂進展速度が小さい領域において特徴的に観察される。

羽毛状組織

ステンレス鋼の応力腐食割れの形態としては、粒内割れと粒界割れがあるが、塩化物応力腐食割れは、前者の形態を示し、割れ破面に特有な羽毛状形態で、き裂進展方向に放射状に拡がった金属組織のこと。

硬度(ピッカース硬さ)測定

正四角錐ダイヤモンド圧子を用い、試験片の表面にくぼみをつけたとき、くぼみの対角線の長さを測り表面積を求め、荷重をこの表面積で割った単位面積当たりの荷重をもって硬さとする試験(材料硬度異常の確認)。

応力

物体に外から力を加えたとき、外力に応じて物体の内部に生じる抵抗力。

残留応力

引張・圧縮・曲げ・熱処理などの外力に対して物体内部に生じ、外力を除いたあとにも保留される応力。

降伏応力

延性金属を引張っていくと、はじめは弾性変形をし、この弾性領域では、金属内に生じている応力とその伸び率が直線的に変化するが、その応力がある値になった時、金属は弾性的な挙動から外れてくる。(塑性域に入る) その時の応力を降伏応力という。

変動応力

疲労破壊を起こす繰返し応力から「平均応力」を差し引いた値の1/2を「変動応力()」と定義している。「変動応力」はき裂の進展評価においても重要である。

ストライエーション

電子顕微鏡による疲労破面の観察において見られるしま模様。繰返し荷重のサイクルに対応しており、その数や間隔からき裂成長過程の情報が得られる。

延性割れ

延性のある金属が伸びきって引きちぎられるように破壊すること。

塩化物応力腐食割れ

Cl⁻イオン、水分および酸素の存在下で応力が作用するステンレス鋼に割れが発生・進行する現象。

< 応力腐食割れ >

特定の腐食環境におかれた金属材料が、持続的な引張応力のもとで時間依存型の脆性的破壊を起こす現象をいう。

一般に合金は割れ易いが、純金属では極めて割れにくい。応力と腐食作用が同時に働くことが必要条件で、応力のみ、あるいは弱い腐食環境中でも割れが発生する。発生原因は、材料、環境、応力の3つの要因が重複した場合である。

疲労

材料は繰返し応力のもとでは、通常、静的強度よりはるかに低い応力によっても破壊を起こす。このような現象を材料の疲労という。

低応力高サイクル疲労

それだけでは、材料に破壊をもたらすほどの応力ではなくても、材料の形状等によっては、繰返して応力またはひずみを加えたことで発生する材料の破壊現象を疲労破断または疲労破壊と呼び、破壊までの繰返し数が $10^4 \sim 10^6$ 回以上の場合を低応力高サイクル疲労と言う。

疲労割れ

振動等により応力が繰返し加えられることにより発生するひび割れ。

平均応力

疲労破壊を起こすには繰返し応力が必要である。繰返し応力の上限と下限応力の絶対値が等しくない場合、上限と下限応力の平均値を「平均応力(σ_m)」と定義している。

「平均応力」が引張応力の場合には、疲労強度を低下させる。

引張強さ

材料に引張力を加え、これを徐々に増加させると、材料の変形はますます大きくなる。弾性限度、比例限度、降伏点、その材料が耐えられる最大応力を示し、これを極限強さ、または引張強さという。

疲労限

疲労き裂は、繰り返し負荷される変動応力(ひずみ)によって発生するが、負荷される変動応力(ひずみ)がある値以下になると繰り返し回数がいくら大きくなってもき裂は発生しない。この変動応力(ひずみ)のしきい値を「疲労限(度)」という。

応力集中係数

穴や切欠きを持つ板などに荷重が負荷されると、穴や切欠き先端の付近では穴や切欠きのない箇所に比べ高い応力が発生する。穴や切欠き先端近くの局所的な最大応力と全断面積に作用する応力の比を、応力集中係数という。

疲労破壊

振動等により応力が繰り返し加えられることにより発生するひび割れ。

溶接残留応力

溶接時の部材の入熱による膨張・冷却による収縮によって生じ、溶接後も、構造物または溶接部に残留している応力。

応力集中

部材の断面形状や寸法の急変箇所、溝、孔などによって応力分布が一様でないところでは応力状態が乱され局部的に高い応力を生じる。このような現象をいう。

ガスモニタ

施設内にある排気筒から排出されるガス濃度、主として Ar-41、Kr-85 などの不活性ガスを連続に測定する放射線監視設備。

野外モニタ

周辺監視区域境界付近の空間放射線量率を測定する放射線監視設備。

腐食ピット

腐食でできたくぼみ。