

参考資料目次

1．用語集

2．充てん / 高圧注入ポンプ軸損傷の海外事例

用語集

用語	解説
え	
延性破面	延性のある金属が伸びきって引きちぎられた時に観察される破面
お	
応力拡大係数 (K 値)	ひびの割れの形状とひび割れの先端に加わる引張力 (荷重条件) によって決まる数値で、この数値とひび割れの進展速度を関係付けることにより、ひび割れの進展を予測するのに用いられる。 クラック先端付近に分布する応力の強さの程度を示す係数であり、下式で示される。 $K = \sqrt{\frac{\sigma}{\pi a}}$ ここで、 σ : 応力, a : クラック深さである。
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。
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割れ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。
オリフィス	管路の途中に取り付けて、流量や圧力を制限する装置
か	
化学体積制御設備	加圧水型原子炉において、1次冷却材の一部を1次冷却材低温側配管から抽出し、充てんラインを経て、他の1次冷却材低温側配管に戻すシステムであり、 1次冷却材保有量を適正に調節する。 反応度制御のため、1次冷却材中のホウ素濃度を調整する。 1次冷却材中の核分裂生成物、腐食生成物等の不純物を除去し、 1次冷却材の水質を維持する。 などの機能を有する。
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。
硬さ (ビッカース硬さ)	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において得られる値。

用語集

用語	解説
き	
曲率半径	曲線上の各点の近くで曲線をできるだけよく近似する円（曲率円）の半径。曲率半径は曲線の湾曲が穏やかなほど大きくなる。
く	
偶力	異なる作用線上にあって、大きさが等しく平行で逆向きの二つの力。物体を回転させるはたらきをもつ。
こ	
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もなくとも、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1万～10万回以上の場合を高サイクル疲労と言う。
し	
充てんポンプ	1次冷却系統から抽出した1次冷却水を浄化した後、再び1次冷却系統へ戻すためのポンプ
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。
す	
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、その数や間隔からひび成長過程の情報が得られる。
そ	
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。

用語集

用語	解説
た	
体積制御タンク	1次冷却材中の溶存水素濃度を制御するため通常運転中は水素で加圧している。化学体積制御設備の一部としてタンク気相部に1次冷却材をスプレーすることで、1次冷却材中に含まれている核分裂生成物を気相部に開放し、水素とともに気体廃棄物処理系統へ導き処理する。また、充てんポンプのヘッドタンクとしての機能を有する。
ダイヤルゲージ	測定する物に当てた測定棒のわずかな動きを歯車機構で拡大して指針の回転に変え、100分の1mm(高精度のものは1000分の1mm)の精度で指示する計器。
て	
ディンプル	金属材料が延性破壊した破面に特徴的に認められる、多数の小さなくぼみ状の模様をいう。
電子線マイクロアナライザー	EPMA : Electron Probe Micro Analyzer 非常に細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、定量分析および化合物特定等)を行う装置である。
と	
等価応力	材料証明書等に記載されている降伏応力、引張強さは、単軸の材料試験(引張試験等)から得られた値である。 しかしながら、実機部材に作用する応力は多軸応力であるので、単軸の材料試験から得られた疲労強度を用いて疲労評価を行うには、多軸応力を単軸の相当応力に換算する必要がある。 このように多軸応力を簡易に単軸応力に換算したものを「等価応力」という。
ね	
ねじり応力	材料をねじるように働くその物体内部に生ずる力。
は	
バイト	旋盤・平削盤などに用いる切削用の刃物。
破面観察	損傷部位の破面を観察することにより、割れがどのような条件で生じたかを調べる検査。

用語集

用語	解説
ひ	
ビーチマーク	<p>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。</p> <p>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。繰返し加わる力により生じた破面に現れる巨視的な貝殻模様。</p>
引張応力	材料に引張荷重が加わった時にその物体内部に生ずる力。
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。
疲労強度	ある繰返し回数が加えられた時に、材料に割れが発生する応力振幅のことを言う。
疲労限(度)	疲労き裂は、繰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。
ふ	
封水注入(系統)	1次冷却材ポンプのシール部の潤滑と清浄度保護のため、高圧水を供給する系統。
封水注入フィルタ	封水注入系統に設置されているフィルタで、1次冷却材ポンプシール面に対し有害である浮遊物を取り除く。
封水戻り(系統)	1次冷却材ポンプのシール部の潤滑と清浄度保護を終えた注入水が冷却器を通過して充てんポンプ入口ラインに戻ってくる系統。
腐食ピット	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)でできたくぼみ。
フレットィング	<p>互いに押し付けられ、接触している2物体が相対的に微小振幅の繰返しすべり運動を行う現象を「フレットィング」という。</p> <p>2物体の接触面に外部荷重に起因する繰返し応力が作用した時、その応力の働いている方向や大きさによってはその部分に疲労割れが生じる。これを「フレットィング疲労割れ」という。</p>

用語集

用語	解説
へ	
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。
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(σ_a)」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。
ほ	
補助建屋サンプタンク	原子炉建屋および原子炉補助建屋内の床ドレン等の廃液を貯蔵するタンク
ま	
曲げ応力	部材に曲げモーメントが生じているときの部材内応力。材軸に垂直な断面では中立軸を境として、上下に引張応力あるいは圧縮応力となる。
マルテンサイト組織	鋼を高温から急冷(焼入れ)した時、その組織によって定まるMs点(マルテンサイト変態開始温度)以下の温度で生成する微細な針状組織を言う。SUS403は、Si, Crを下げて靱性、衝撃値を保証した低炭素マルテンサイト系ステンレス鋼である。
み	
ミニマムフローライン	ポンプの過熱や過大振動を防止するために、ポンプの最低流量を確保するためのライン。
も	
モニタリングポスト	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。
り	
粒界割れ	割れが結晶粒界に沿って、進行している場合のこと。
粒内割れ	割れが結晶粒を貫通している場合のこと。
や	
焼嵌	鋼の熱膨張を利用した「機械的接合」。例えば穿孔穴を熱して膨張させ、そこに膨張寸法に合わせた棒を入れて穿孔穴を冷却すると、収縮した穴は棒を噛んで抜けなくなる。

用 語 集

用 語	解 説
ゆ	
有限要素法(FEM)	解析の対象となる物体を、三角形や四角形あるいは六面体などの「要素」に分割して計算し、これらの要素は単純な形状をしているので、外力が加わった際に要素がどのような形に変形するのかがコンピュータで計算する。こうして変形した要素を全部組み合わせることにより、複雑な形状をした物体の変形が計算できる。要素の数は数百個程度の場合もあり、場合によっては数十万個にもなる。
ろ	
ロータ	機械部品で回転するものの総称。主軸と羽根車が組み立てられた状態をさす。
R	
R 止まり	コーナ曲率が溝底と接する箇所
N	
N R C (Nuclear Regulatory Commission)	米国原子力規制委員会(1974年設立)。第1の使命は、原子炉、核物質、核廃棄物施設からの放射線から公衆の健康と安全ならびに環境を保護することであり、発電用原子炉、非発電用研究炉、試験炉、訓練炉などの原子炉、核燃料サイクル施設、核物質の医療・研究・工業利用、核物質の輸送・貯蔵、核物質と核廃棄物の処分などの規制を行う。

充てん / 高圧注入ポンプ軸損傷の海外事例

No	発生日時	プラント名称	事象概要	伊方発電所 3号機
1	1991年 2月18日	セコヤー 1号機	<p>運転中、充てんポンプ 1B-1 の流量低下とモータ電流の上昇のため原子炉停止。当該ポンプ羽根車肩部にひどい摩耗があり、第 11 段羽根車の近くの位置の軸に 280 度に渡ってき裂が発見された。</p> <p>直接原因：低応力高サイクル疲労 起因事象：特定されていない。</p>	原因の詳細情報がないため断定は出来ないが、伊方 3 号機との類似性は否定できない。
2	1992年 2月2日	キャロウェイ	<p>運転中、充てんポンプ吐出流量ゼロおよび R C P 封水圧力ゼロを検出。分解してみると、軸がバランスドラムロックナットとバランスドラム嵌合部の間で破断していることが分かった。</p> <p>直接原因：低応力高サイクル疲労 起因事象：過去に起きた吸い込み水喪失による動的荷重と推定</p>	伊方 3 号機においては、キャロウェイで発生したような約 7 分間の吸い込み水喪失の経験はない。
3	1993年 3月18日	シャロンハリス	<p>運転員は、充てん / 高圧注入ポンプ B の軸破損を示す兆候（モータ電流値高、充てん流量低、及び充てん圧力低）のため当該ポンプを切り替えた。点検の結果、ポンプ軸がバランスドラムロックナットの下で破断しているのが発見された。</p> <p>直接原因：低応力高サイクル疲労 起因事象：過去に起きた吸い込み配管中でのガス巻き込みによるウォーターハンマと推定</p>	伊方 3 号機においては、シャロンハリスで発生したようなウォーターハンマ事象の経験はない。
4	1994年 2月7日	セコヤー 2号機	<p>セコヤー 2 号機で充てん / 高圧注入ポンプ軸が破損し、保安規定の要求によりプラントを停止した。軸が破損したポンプは破損の前に劣化の兆候は全くなく、他の軸破損事例と同じように、バランスドラムロックナットの近傍で破損していた。</p> <p>直接原因：低応力高サイクル疲労 起因事象：過去に起きた吸い込み配管中でのガス巻き込みによる動的荷重と推定</p>	ガス巻き込み事象の詳細情報がないため断定は出来ないが、伊方 3 号機との類似性は否定できない。
5	1997年 9月12日	ピーパーバレー 2号機	<p>充てん / 高圧注入ポンプの定期運転中、性能規定を満足しないため点検した結果、ポンプ軸にき裂があることが分かった。</p> <p>直接原因：低応力高サイクル疲労 起因事象：吸い込み配管中でのガス巻き込みによる動的荷重と推定</p>	破損部位、ガス巻き込みの詳細情報がないため断定は出来ないが、伊方 3 号機との類似性は否定できない。

(NRC ホームページより抜粋)