

伊方発電所3号炉審査資料

資料番号

SIN3-PLM30-共通

伊方発電所3号炉 高経年化技術評価
(共通事項)

補足説明資料

令和6年2月
四国電力株式会社

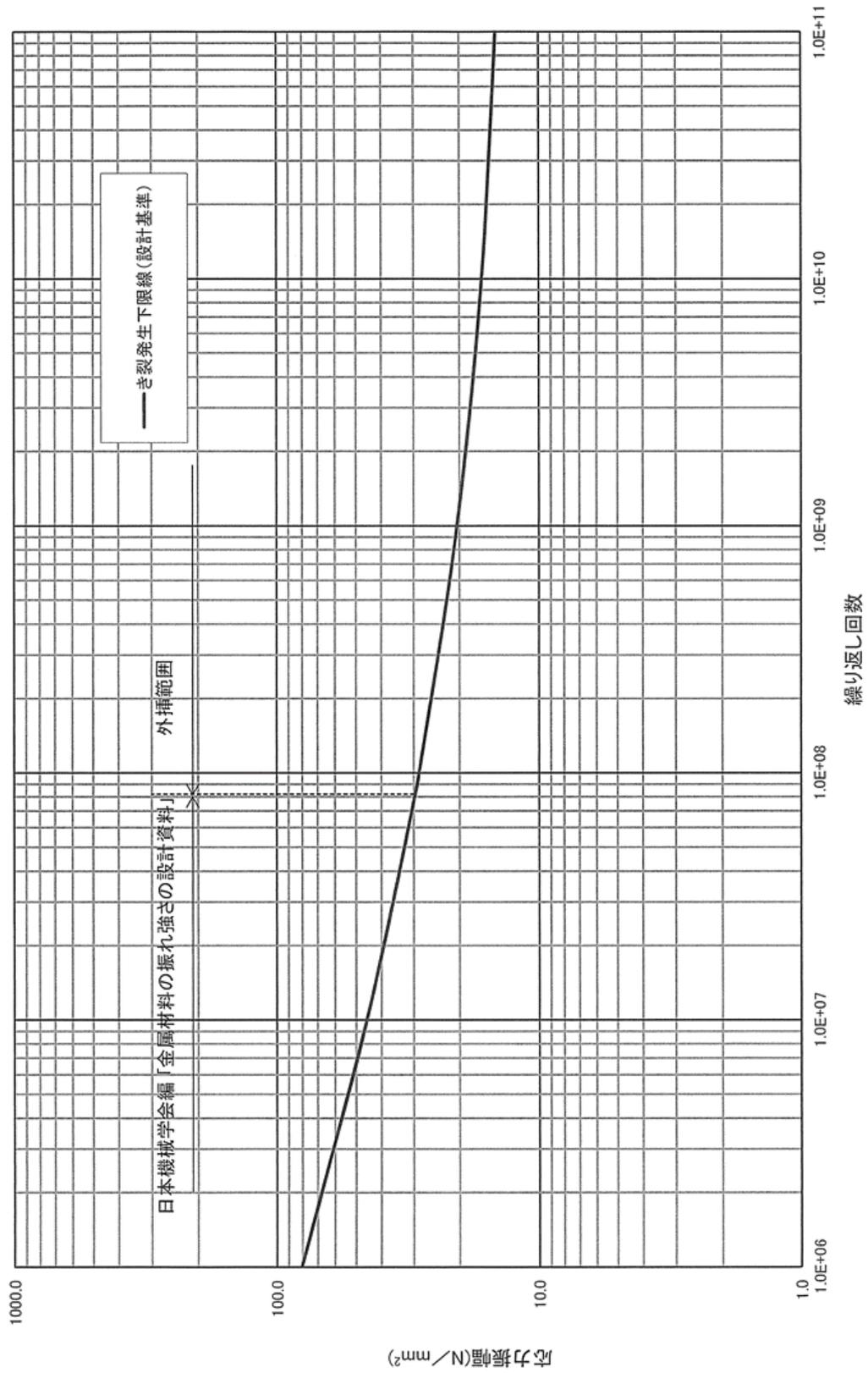
本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る
事項ですので公開することはできません。

タイトル	ターボポンプ 主軸のフレット疲労割れに対する評価内容									
概要	余熱除去ポンプおよび電動補助給水ポンプの主軸のフレット疲労割れについて、曲げ応力振幅と疲労強度の比較評価の内容を示す。									
説明	<p>各ポンプの運転中に主軸に生じる曲げ応力振幅と、疲労強度との比較を以下に示す。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ポンプ</th> <th>疲労強度 [N/mm²]</th> <th>発生する 曲げ応力振幅 [N/mm²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>余熱除去ポンプ</td> <td rowspan="2">14.7</td> <td>9.1</td> </tr> <tr> <td>電動補助給水ポンプ</td> <td>12.3</td> </tr> </tbody> </table> <p>曲げ応力振幅は、主軸や羽根車などの自重およびラジアル荷重に保守性を考慮した設計値を用いて、一般的な梁の式から算出している。</p> <p>焼嵌め軸のフレット疲労曲線を添付 1 に示す。本疲労曲線は、炭素鋼データの「金属材料疲労強度の設計資料 I (改訂第2版) (日本機械学会)」より定めた評価曲線を用いている。本文献データは炭素鋼によるものであるが、当該文献に疲労強度は引張強さや材質に依存しないとされていることから、文献データの内、最も厳しい下限線を10¹¹回 (=14.7 N/mm²) まで外挿したものをを用いてステンレス鋼製ポンプ主軸の評価に適用しているものである。</p> <p>外挿方法については、玄海 1 号機 余熱除去ポンプの主軸損傷事象を受けた実験データによれば、主軸嵌め合い部の面圧に関わらず、相対すべりが約20 μm未満では亀裂の発生が無いことが得られていることから、約20 μmに対応する曲げ応力 (2.0 kg/mm²) に余裕を考慮して、14.7 N/mm² (1.5 kg/mm²) を設計許容曲げ応力 (10¹¹回における疲労強度) として設定している。</p> <p>また、ステンレス鋼データ「ポンプ主軸のフレット疲労データ (ステンレス鋼) (三菱重工業株式会社)」(以下、ステンレス鋼データ) において、ステンレス鋼製の供試体を用いてフレット疲労試験を行った結果、炭素鋼データより定めた評価曲線と比較して下回るデータは得られていない (添付 2)。</p> <p>また、原子力学会標準 原子力発電所の高経年化対策実施基準[2021年版; 解説F]において、プラント運転中に常時起動していることで、繰返し数が1 × 10⁸を超え、曲げ応力が10 N/mm²付近にあるポンプについて点検結果と本評価曲線と比較した結果、亀裂未発生の運転実績データは外挿線付近 (外挿線より下) にあることから、外挿した総繰返し回数における範囲においても評価に用いることが可能と説明している。</p> <p>なお、余熱除去ポンプと電動補助給水ポンプは、60年の運転期間を想定しても繰返し数が10¹¹回に到達することはない。</p>		ポンプ	疲労強度 [N/mm ²]	発生する 曲げ応力振幅 [N/mm ²]	余熱除去ポンプ	14.7	9.1	電動補助給水ポンプ	12.3
ポンプ	疲労強度 [N/mm ²]	発生する 曲げ応力振幅 [N/mm ²]								
余熱除去ポンプ	14.7	9.1								
電動補助給水ポンプ		12.3								

いずれのポンプも発生する曲げ応力が疲労強度（14.7 N/mm²）以下であることから、主軸のフレット疲労割れが問題となる可能性は小さいと考える。

以上

焼嵌め軸のフレットング疲労曲線



添付 1

MH I - N E S - 1 0 5 3

改0 平成25年2月5日

ポンプ主軸のフレットイング疲労データについて
(ステンレス鋼)

平成25年2月

三 菱 重 工 業 株 式 会 社

1. はじめに

原子力発電所の高経年化対策におけるポンプ主軸の羽根車焼ばめ部に発生する可能性のあるフレットング疲労割れに対する評価は、文献データ⁽¹⁾に主軸の曲げ応力振れ振幅と繰返し数との間の割れの発生関係が示されており、このうち最も厳しい下限線を 10¹¹ 回まで外挿した S-N 曲線により行っている。

上記文献データは炭素鋼、合金鋼によるものであるが、当該文献に疲労限度は引張強さや材質に依存しないとされていることから、ステンレス鋼製ポンプ主軸の評価にも適用している。

本報告では、過去に三菱にて実施したステンレス鋼主軸のフレットング疲労試験結果と上記の S-N 曲線との比較を行った。

2. ポンプ主軸のフレットング疲労割れメカニズム⁽²⁾

羽根車を有する主軸は図 1 のように、振動応力による曲げの繰返し応力を受ける。

主軸は曲げ応力を受ければ、図 2 に示すように、軸表面が伸びる部分と反対側で縮む部分が生じることから、繰返し応力を受ける時、軸表面は繰返し伸び縮みする。

焼きばめた羽根車を有する主軸は、図 1 の A 部において、図 3 に示すように面圧が加わった状態で、軸表面の伸び縮みによる相対すべりが生じる。

1 回転毎に羽根車（羽根車ボス）と主軸間に相対すべりが生じ、繰返し回数が多く、かつ曲げ応力が大きい（すべり量が多い）場合は、図 4 のように羽根車（羽根車ボス）端面近傍の主軸側にフレットング疲労割れが発生する。

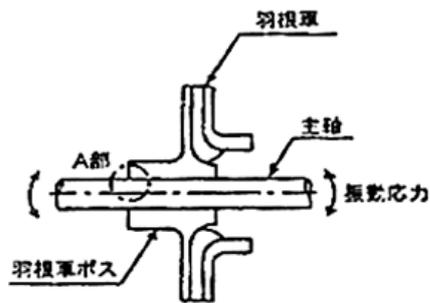


図 1

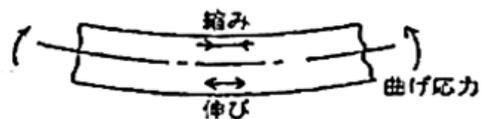


図 2

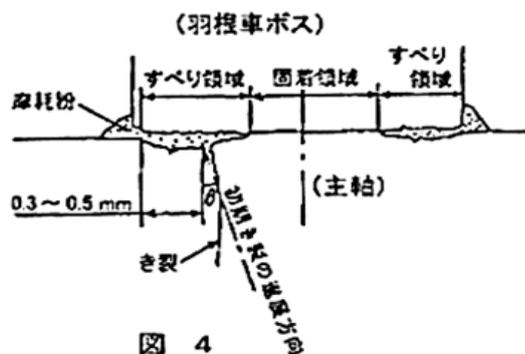


図 4

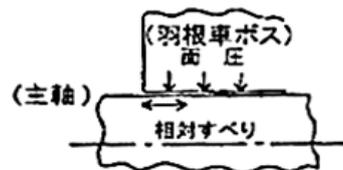


図 3

3. 試験実施時期

昭和 61 年～平成元年

4. 試験要領

(1) 供試体

供試体の概要を以下に示す。

材 質： 軸：SUS304、インペラボス：SCS13

軸：SUS403、インペラボス：SCS1N

寸 法： 軸径：50mm

インペラボス長さ：62.5mm

形 状： ポンプ主轴模擬品 (図 5)

焼ばめ面圧：21.5N/mm²(2.2kgf/mm²), 49N/mm²(5kgf/mm²)

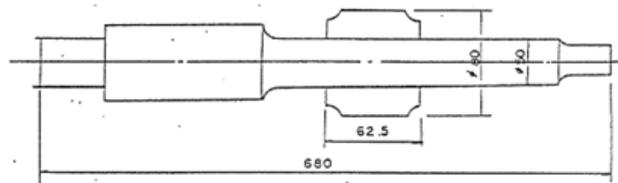


図 5 供試体の外形例

(2) 試験装置

試験装置の概要を以下に示す。

片持ちはり式回転曲げ疲労試験装置 2 台

回転数 (周期) 3600 min⁻¹ (固定)

最大曲げモーメント 2940N·m(300kgf·m)

(曲げ応力 215N/mm²(22kgf/mm²) 相当)

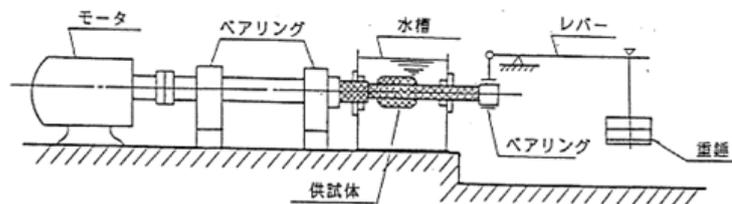


図 6 試験装置(概念図)

(3) 試験方法

モータに供試体を直結し、垂錘で曲げ荷重をかけながら 3600 min^{-1} で回転させる。

試験は原則として破断までとする。ただし、繰返し数の最大は、 $N=10^8$ とする。

試験終了時には、軸外面の外面観察及び液体浸透探傷検査でき裂状況を調査し、き裂の有無を確認する。

試験条件を下記に示す。

- ・ 試験温度：室温～ 50°C 程度
- ・ 試験環境：水中試験（1次系相当水：ほう素濃度 2100ppm ）
- ・ 繰返し数： 10^8 サイクル
- ・ 繰返し速度： 3600min^{-1}

5. 試験結果

軸に生じたき裂のうち、代表的な破面を図 7 に示す。図 8 にき裂の断面ミクロによる観察例を示す。き裂は粒界貫通型で軸表面に対して直角ではない角度をもって生じており、典型的なフレット疲労き裂の様相を呈している。ただし、き裂が深く進展するに従って、軸表面に垂直な方向に進展していく傾向が見られる。これは、軸表面では曲げ応力よりもせん断応力が支配的であるため、斜めに進展し、き裂が深く進展するに従い、せん断力が小さくなり、反対に曲げ応力が支配的になって、き裂の進展方向が曲げ応力で進展する軸と直角な方向に遷移してくるためである。



図 7 フレット疲労破面例

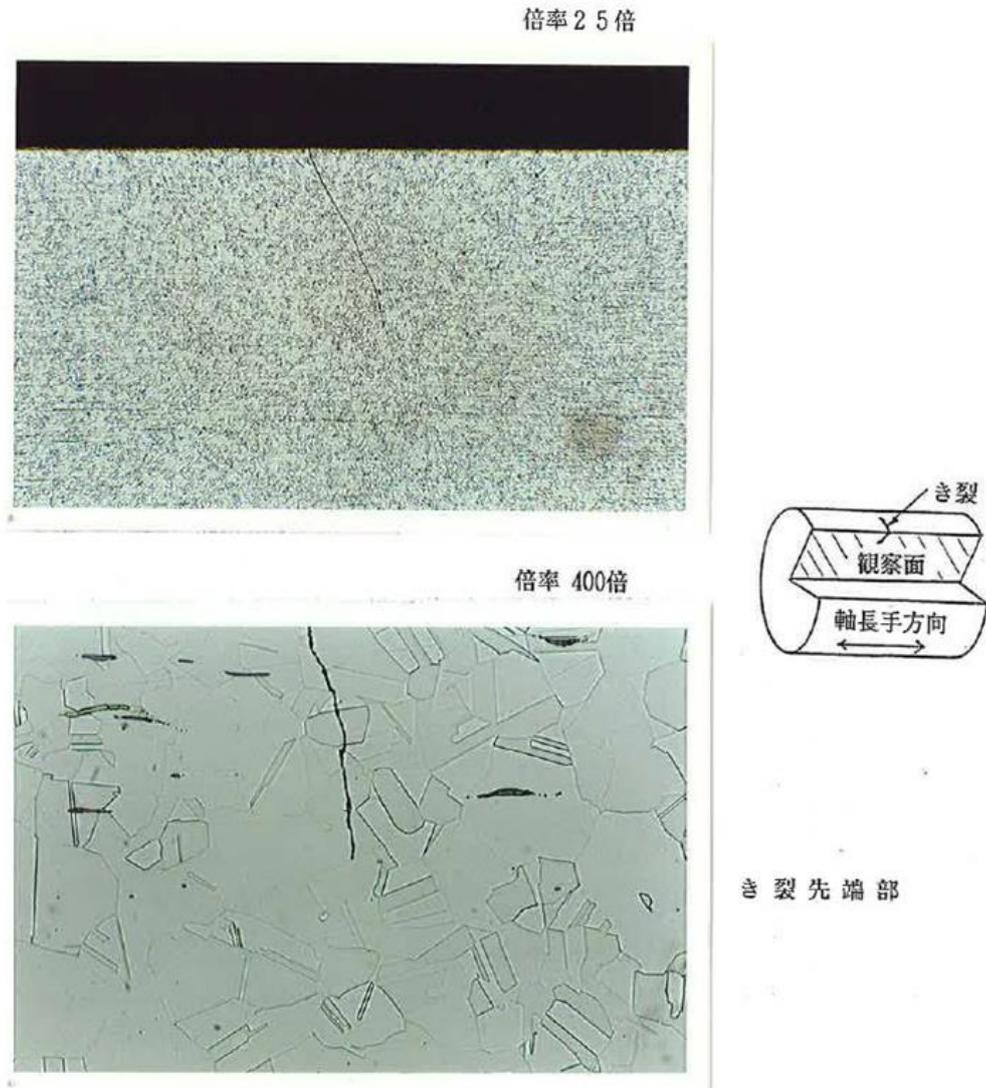


図8 フレッシング疲労き裂の断面マイクロ観察例

ステンレス鋼によるフレットング水中試験の結果を繰返し回数 N_o と曲げ応力振幅 σ_a の関係を図9に示す。一点鎖線は文献データ⁽¹⁾より定めた評価曲線を示す。試験結果からこの評価曲線を下回るデータは得られず、評価曲線が妥当であることが確認できた。

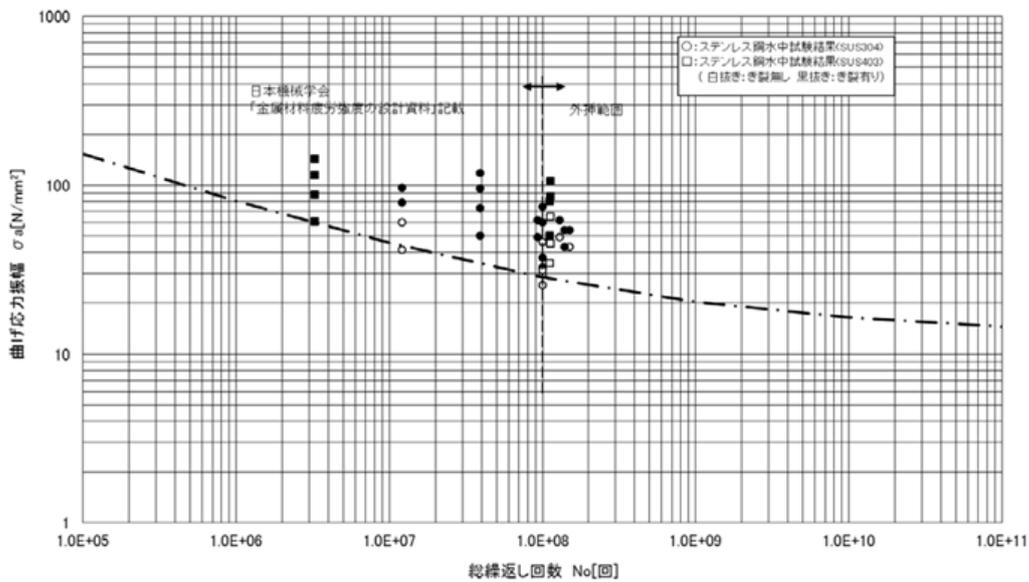


図9 繰返し回数と曲げ応力振幅の関係

6. まとめ

ステンレス鋼によるフレットング水中試験の結果は文献のデータにより定めた評価曲線を下回るデータは得られず、評価曲線が妥当であることが確認できた。

以上

参考文献

- (1) 日本機械学会編 金属材料疲労強度の設計資料(1)一般, 寸法効果, 切欠効果(改訂第2版), p.180, (1996)
- (2) 社団法人日本原子力学会 日本原子力学会標準原子力発電所の高経年化対策実施基準:2008,p108, (2009)