

平成 30 年 4 月 12 日

日本原子力発電(株)

シュラウドサポート溶接部のひび割れに関する劣化状況評価上の扱いについて

1. 経緯

東海第二発電所のシュラウドサポート溶接部 (H7, V8) には第 2 1 回定期検査よりひび割れが認められており、その後第 2 4 回定期検査、第 2 5 回定期検査において、新たなひび割れが認められている。これらのひび割れは応力腐食割れ（照射量が大きいところではなく粒界型応力腐食割れと推定）が原因であると判断している。

2. 設備健全性評価上の扱い

(1) 法令要求

核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（以下、「炉規制法」という。）第 4 3 条の 3 の 1 6 第 3 項に以下が定められている。

3 定期事業者検査を行う特定発電用原子炉施設を設置する者は、当該定期事業者検査の際、特定発電用原子炉施設であつて原子力規制委員会規則で定めるものに関し、一定の期間が経過した後に第四十三条の三の十四の技術上の基準に適合しなくなるおそれがある部分があると認めるときは、当該部分が同条の技術上の基準に適合しなくなると見込まれる時期その他の原子力規制委員会規則で定める事項について、原子力規制委員会規則で定めるところにより、評価を行い、その結果を記録し、これを保存するとともに、原子力規制委員会規則で定める事項については、これを原子力規制委員会に報告しなければならない。

(2) これまでの評価

第 2 4 回定期検査において電気事業法第 5 5 条第 3 項（現炉規制法第 4 3 条の 3 の 1 6 第 3 項）に該当する設備に発見された技術基準に適合しなくなるおそれのある部分の措置に該当するため評価を実施したところ、技術基準に適合しなくなる時期は、運転開始以降 6 0 年を大幅に超える時期であることを確認し、平成 2 2 年 3 月に原子力安全保安院に報告^{※1}（法令に基づくもの）している。評価は以下の①～④の順で進めている。

評価①：ひび割れの形状、大きさを特定

評価②：ひび割れの進展予測

評価③：所定の期間（運転開始後 6 0 年時点までを包絡する期間）での技術基準への適合確認

評価④：技術基準に適合しなくなる時期の評価

※1：東海第二発電所におけるシュラウドサポート溶接部のひび割れに関する報告について

（発室発第 5 5 6 号 平成 2 2 年 3 月 1 日：第 2 4 回定期検査）

評価①では H7, V8 について MVT-1 によりひび割れを検出し、UT によりひび割れの長さ
と深さを特定している。一部を除き H7, V8 で検出したひび割れは軸方向であり、設備健全
性への影響は小さい。図 1 に H7 における MVT-1 でのひび割れの検出結果の例を示す。

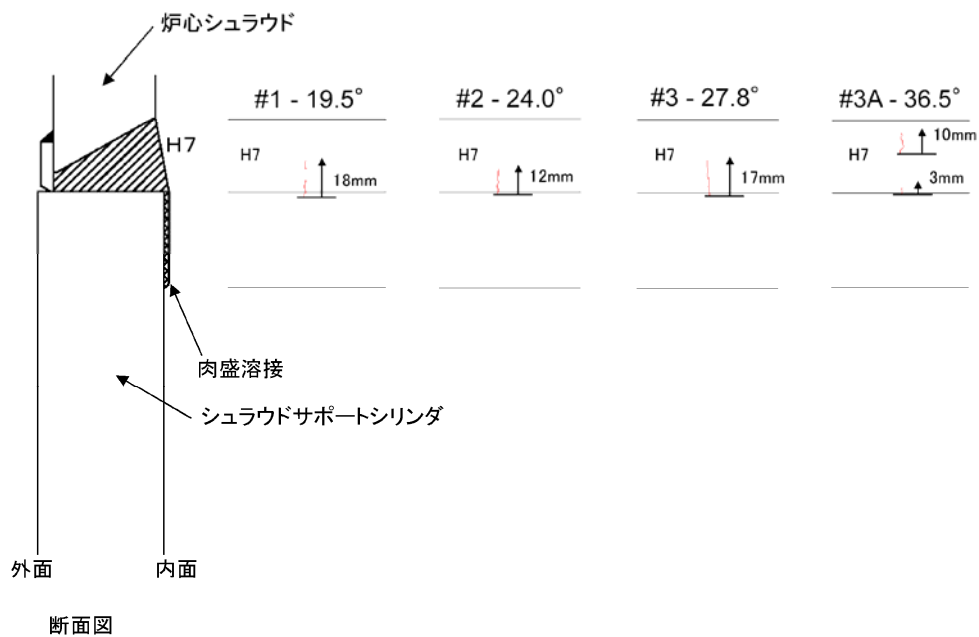
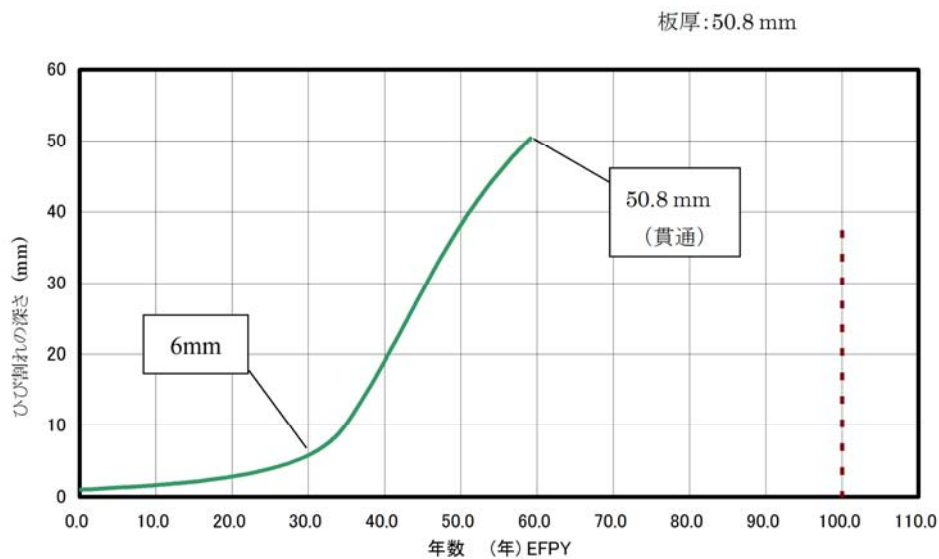


図 1 H7 における MVT-1 によるひび割れの検出例

評価②では、評価①で検出した軸方向割れはすべて貫通するものとし、さらに保守的に
H7 近傍に周方向亀裂が発生したものと仮定して、内面に深さ 1mm、長さ 10mm の周方向半
楕円のひび割れを設定し、残留応力を考慮した上で維持規格の低炭素ステンレス鋼の亀裂
進展速度を用いて進展解析を行った。その結果、所定の期間（30 年）におけるひび割れ深
さは 6 mm と想定された。図 2 にひび割れ深さと運転年数の関係を示す。



※第 24 回定期検査は運転開始後約 31 年時点であり、そこから 30 年（運転年数）を
想定すれば運転開始後 60 年を包絡する期間となる。

図 2 ひび割れ深さと運転年数の関係

評価③では進展予測の結果から所定の期間での深さ（6mm）のひび割れを保守的にH7内面全周に想定し、さらにその他のひび割れについても保守的に模擬したうえで極限解析を実施し、崩壊荷重を求め、設計上の地震荷重（ S_2 、 S_s ）に対して余裕があることを確認することで、技術基準への適合性を確認している。図3に解析モデルを、図4に S_2 地震荷重における極限解析結果を示す。

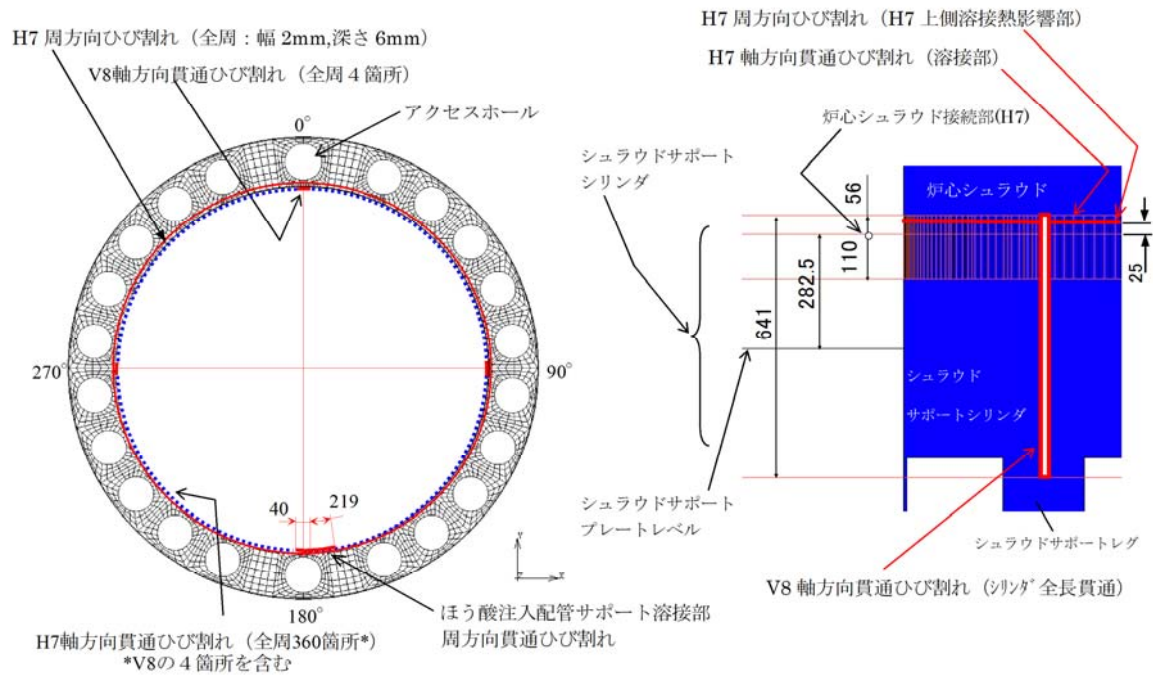


図3 解析モデル

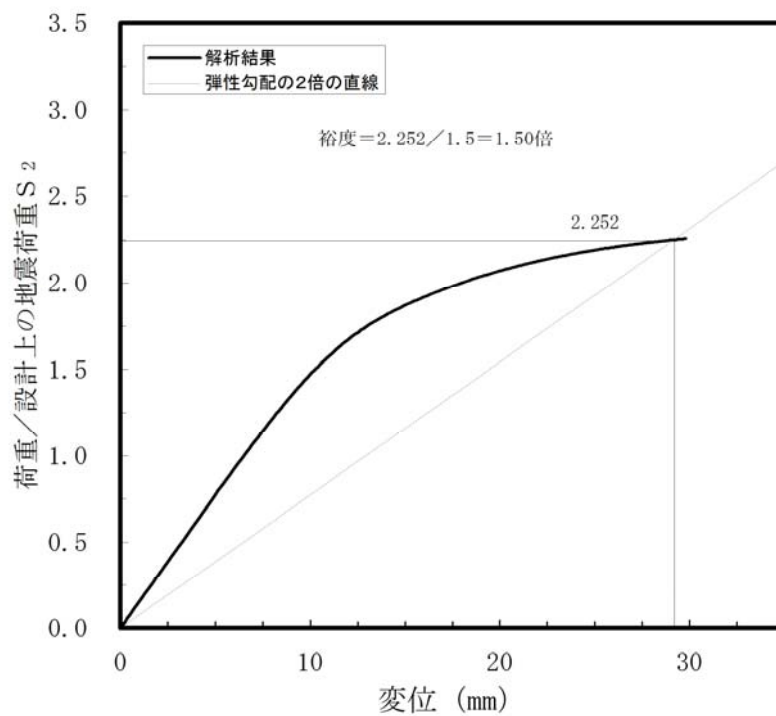


図4 極限解析結果

評価④では進展予測の結果から評価③でのひび割れ深さを含む4点のひび割れ深さについて極限解析を実施し、崩壊荷重を求め、設計上の地震荷重と比較をしている。この結果から技術基準に適合しなくなるひび割れ深さ（必要最小板厚）を求めている。図5に崩壊荷重とひび割れ深さの関係を、図6にひび割れ深さと運転年数の関係を示す。

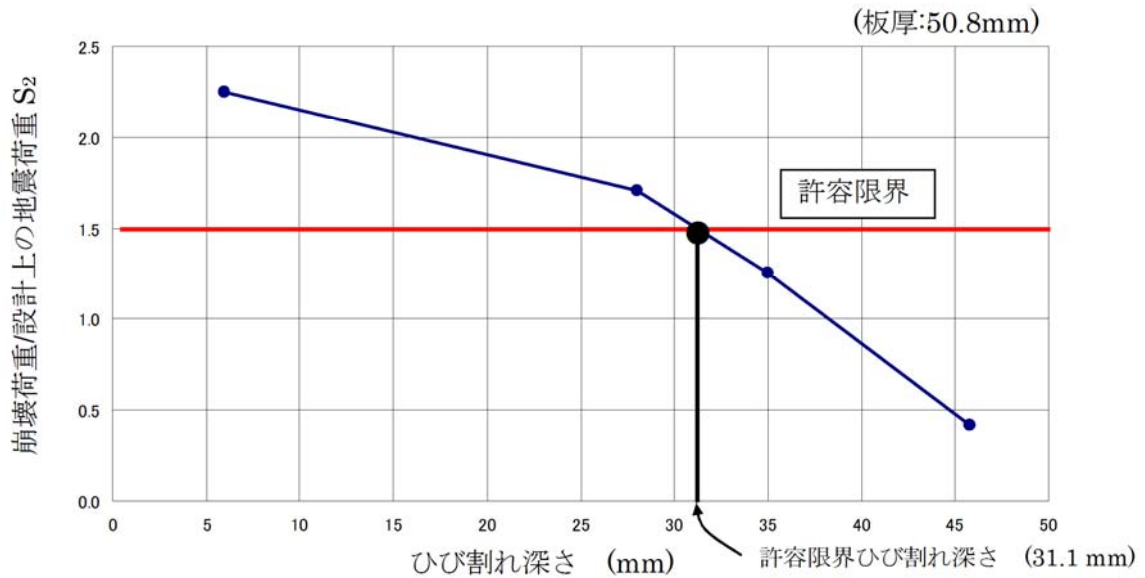


図5 崩壊荷重とひび割れ深さの関係

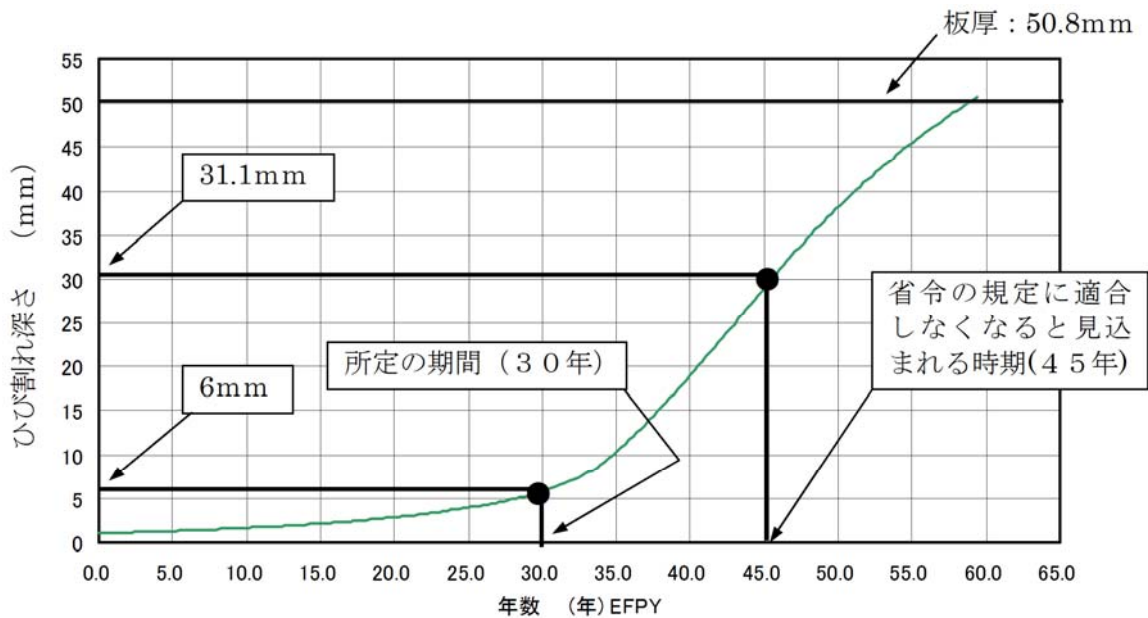


図6 ひび割れ深さと運転年数の関係

東北地方太平洋沖地震を経た後の第25回定期検査において継続検査を行い、新たにひび割れを認めたものの、第24回定期検査において予測した範囲であること（周方向にひび割れが進展しないこと、ひび割れが熱影響部を越えて母材まで進展していないこと、H7に確認した軸方向のひび割れの数が想定を下回っていること等）を確認し、平成23年12月に原子力安全保安院に情報提供している※2。

※2：東海第二発電所シュラウドサポート溶接部の継続検査結果について

（平成23年12月20日：第25回定期検査）

(3) 今後の評価予定

新規制基準対応として評価用地震動が変更となることから、平成22年3月に報告した評価が変更となる可能性があるため、新規制基準対応でのSs（新Ss8波包絡条件）による地震荷重で再評価する必要がある。

現在設置変更許可及び工事計画認可については審査中であり、評価に必要となる基準地震動Ssとそれに伴うシュラウドサポートの地震荷重は確定していない。これより、設置変更許可による基準地震動Ssの確定及び工認計画認可によるシュラウドサポートの地震荷重の確定を経て、炉規制法第43条の3の16第3項に基づき技術基準に適合しなくなる時期を評価し、原子力規制庁に報告することとなる。

具体的には(2)で示した評価①と評価②に変更はないため、評価③と評価④を新規制基準対応でのSsによる地震荷重で再評価することとなる。

3. 劣化状況評価上の扱い

(1) 平成 29 年 11 月申請時の評価

劣化状況評価書では、第 2 4 回定期検査において評価した当時の地震を考慮した必要最小板厚を基に、新規基準対応での Ss (新 Ss8 波包絡条件) による地震荷重と当時の Ss による地震荷重のモーメントの比により、現在の地震を考慮した必要最小板厚を評価し、ひび割れの進展予測に当てはめて、技術基準に適合しなくなる時期を評価している。ここでモーメントの比を用いて評価したのは、鉛直力、水平力と比べモーメントの比が一番大きくなり、保守的な評価となるためである (S₂ 地震力のうち鉛直力は静的地震力により設定されるため、動的地震力の Ss と比較するのは適当ではないことから、Ss 地震で比較している)。図 7 に Ss (新 Ss8 波包絡条件) による地震荷重を考慮した技術基準に適合しなくなる時期を、表 1 に地震荷重とモーメントの比を示す。

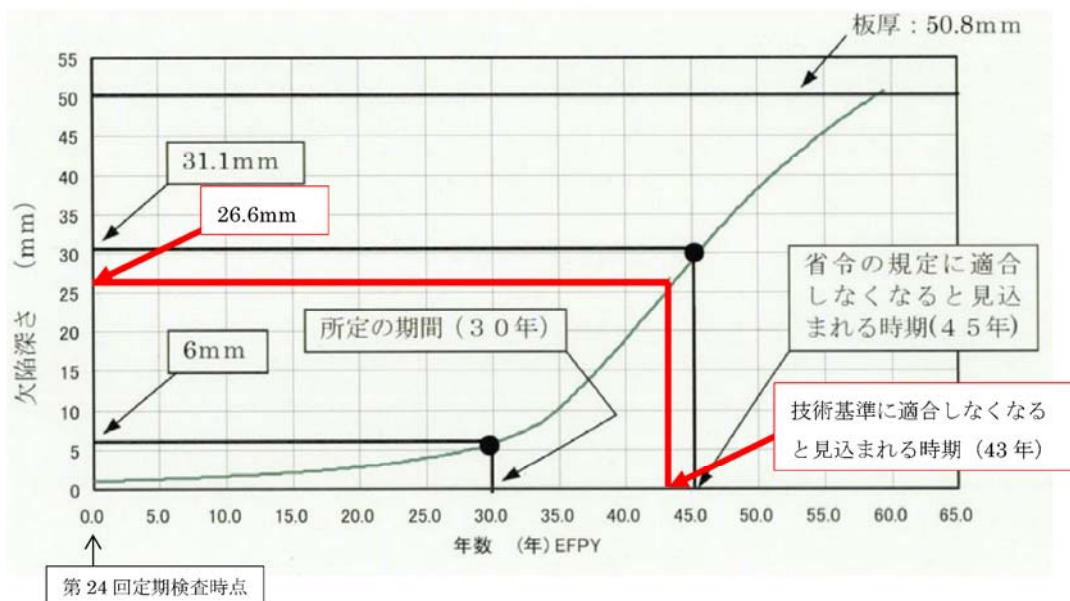


図 7 Ss (新 Ss8 波包絡条件) 地震力を考慮した技術基準に適合しなくなる時期

表 1 地震荷重とモーメントの比

地震荷重	鉛直力 V (kN)	水平力 H (kN)	モーメント M (kN・m)
①Ss (第 24 回当時)	±1220	± 4130	±20300
②Ss (新 Ss8 波包絡条件)	±2960	± 12100	±79000
比率 (②/①)	2.4	2.9	3.9

(2) 今後の評価予定

現在、所定の期間でのひび割れの進展予測に基づくひび割れ深さでの極限解析を、新規基準対応での Ss (新 Ss8 波包絡条件) による地震荷重を用いて実施しており、評価を補足することとしている。これは、設備健全性評価で実施する評価③と同様の手法である。

4. 今後の審査の進め方

炉規制法第43条の3の16第3項に基づく報告では、第24回定期検査において実施した評価手法と同様、4点の残存板厚での極限解析により技術基準に適合しなくなる時期を評価することで考えており、申請時点の劣化状況評価書と手法が異なる。

このため、今後劣化状況評価においても健全性評価で用いた極限解析により、所定の期間でのひび割れ深さ（6 mm）での極限解析を行い、技術基準に適合することを確認する。

したがって、2. (2)で示した評価①に第25回定期検査の点検結果が包絡することを説明したうえで、評価③の手法について、劣化状況評価の観点で確認いただくことで考えている。

以上

(参考) 第 24 回定期検査と劣化状況評価 (第 25 回定期検査結果を考慮) の比較

評価	項目	第 24 回定期検査	第 25 回定期検査	劣化状況評価	備考
①	H7 の亀裂の数	33 (検査範囲 47%)	59 (検査範囲 65.2%)	—	軸方向亀裂
	H7 の想定亀裂数	126 ^{*1}	91 ^{*1}	—	軸方向亀裂
	V8 の亀裂の数	8	8	—	軸方向亀裂 周方向亀裂 (ほう酸注入配管サポート上部)
②	所定の期間 ^{*2} での亀裂深さ	6	—	第 24 回定期検査同様	維持規格 (添付 E-2, E-5 により算出)
③	モデル	有限要素解析モデル	—	第 24 回定期検査同様	
	モデル上の想定欠陥	H7 : 360 (軸方向) H7 : 1 (周方向) V8 : 4 (軸方向) V8 : 1 (周方向)	—	第 24 回定期検査同様	H7 に周方向亀裂はないが、保守的に全周にわたり深さ 6mm の亀裂を想定
	解析コード	三次元汎用有限要素法 解析コード MARC	—	ABAQUS 6.13-1	メーカー都合
	地震荷重	・ S1, S ₂ 地震荷重 ・ 当時の S _s 地震荷重	—	S _s (新 S _{s8} 波包絡条件) 地震荷重	
	崩壊荷重 / 地震荷重	S ₂ : 2.252 S _s : 7.239	—	S _s : 評価中	

*1 : 日本原子力技術協会「BWR 炉内構造物点検評価ガイドライン[シュラウドサポート] (第 3 版)」の「未点検範囲の欠陥想定」に基づき計算。点検範囲により算出式が異なる。

*2 : 運転開始後 60 年時点までを包絡する期間