

東海第二発電所シュラウドサポート溶接部のひび割れへの維持規格及び炉内構造物等点検評価ガイドラインの適用について

Application of JSME Fitness-for-Service Code and JANTI Guideline for Inspection and Evaluation of Reactor Internals to Cracks found at Shroud Support of Tokai II Power Station

日本原子力発電株式会社	堂崎 浩二	Koji DOZAKI	Member
日本原子力発電株式会社	山本 幸司	Koji YAMAMOTO	
日本原子力発電株式会社	山本 祥司	Shoji YAMAMOTO	
日本原子力発電株式会社	片岡 武司	Takeshi KATAOKA	
日立G Eニュークリア・エナジー株式会社	伊東 敬	Takashi ITO	Member

Cracks were found at shroud support of Tokai II Power Station in 24th outage. Flaw evaluation of these cracks was performed applying Codes for Nuclear Power Generation Facilities – Rules on Fitness-for-Service – (FFS Code) of Japan Society of Mechanical Engineers (JSME) and Guideline for Inspection and Evaluation of Reactor Internals of Japan Nuclear Technology Institute (JANTI). Evaluation methods and results are outlined in this report. Issues to be studied for better improvement of JSME FFS Code and JANTI Guideline will be discussed.

Keywords: Flaw Evaluation, Stress Corrosion Cracking, Shroud Support

1. 緒言

東海第二発電所は、第 24 回定期事業者検査期間中の炉内構造物検査において、第 21 回定期事業者検査で確認されていたシュラウドサポートシリンダ軸方向溶接継手（以下「V8」という）のひび割れ（3 箇所）の継続検査を実施したところ、V8 内面及び炉心シュラウドとシュラウドサポートシリンダの水平方向溶接継手（以下「H7」という）内面に新たなひび状の指示模様（以下「欠陥指示」という）を確認した。このため、範囲を拡大して検査を行い、その結果、合計 40 箇所の欠陥指示を確認した。これらをひび割れと判断し、法令に基づき、評価を実施した。

確認されたひび割れについて原因究明を行った結果、応力腐食割れ（SCC）によるものと推定した。

SCC 進展評価及び破壊評価を、経済産業省原子力安全・保安院文書「発電用原子力設備における破壊を引き起こすき裂その他の欠陥の解釈について」（平成 21 年 2 月 27 日付け平成 21・02・18 原院第 2 号）^[2]（以下「き裂の解釈」という）、「日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格（2008 年版）JSME S NA1-2008」（以下「維持規格」という）^[3]及び日本原子力技術協会 BWR 炉内構造物等点検評価ガイドライン（以下「ガイドライン」という）^[4]を用いて実施した。なお、H7 の超音波探傷検査を全周について実施していないこと、及び H7 上側溶接熱影響部におい

て残留応力の状態から周方向のひび割れが発生する可能性を否定できないことから、周方向のひび割れを仮定して維持規格に基づき進展評価及び破壊評価を実施した。この結果、技術基準に適合しなくなると見込まれる時期は、評価時から 45 年経過時点であると評価された。

以上の評価結果から、補修等の措置は実施せず継続使用することとした。今後、き裂の解釈に従い、き裂等が存在する状態で使用する場合の点検を行うこととしている。

2. ひび割れの状況と進展評価

2.1 検査結果

検査対象のシュラウドサポートシリンダの構造と欠陥指示を確認した軸方向溶接継手 V8 及び水平方向溶接継手 H7 を Fig.1 に示す。

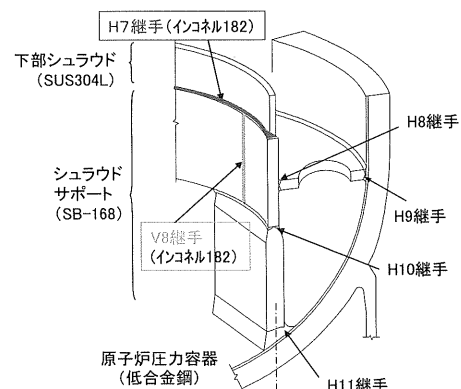


Fig.1 Weld Joints of Shroud Support

連絡先:堂崎浩二
日本原子力発電株式会社
〒101-0053 東京都千代田区美土代町 1-1
E-mail:kouji-douzaki@japc.co.jp

(1) 目視検査（第一段階検査）

炉内構造物のVTを行った結果、V8及びH7について17箇所欠陥指示を確認した。欠陥指示は、ほとんどが各溶接継手の溶接金属部に、H7については一部溶接金属部から溶接熱影響部にかけて観察された。欠陥指示の形状は、16箇所が軸方向、1箇所（ほう酸水注入配管サポート上部）が軸及び周方向であった。

(2) 体積検査（第二段階検査）

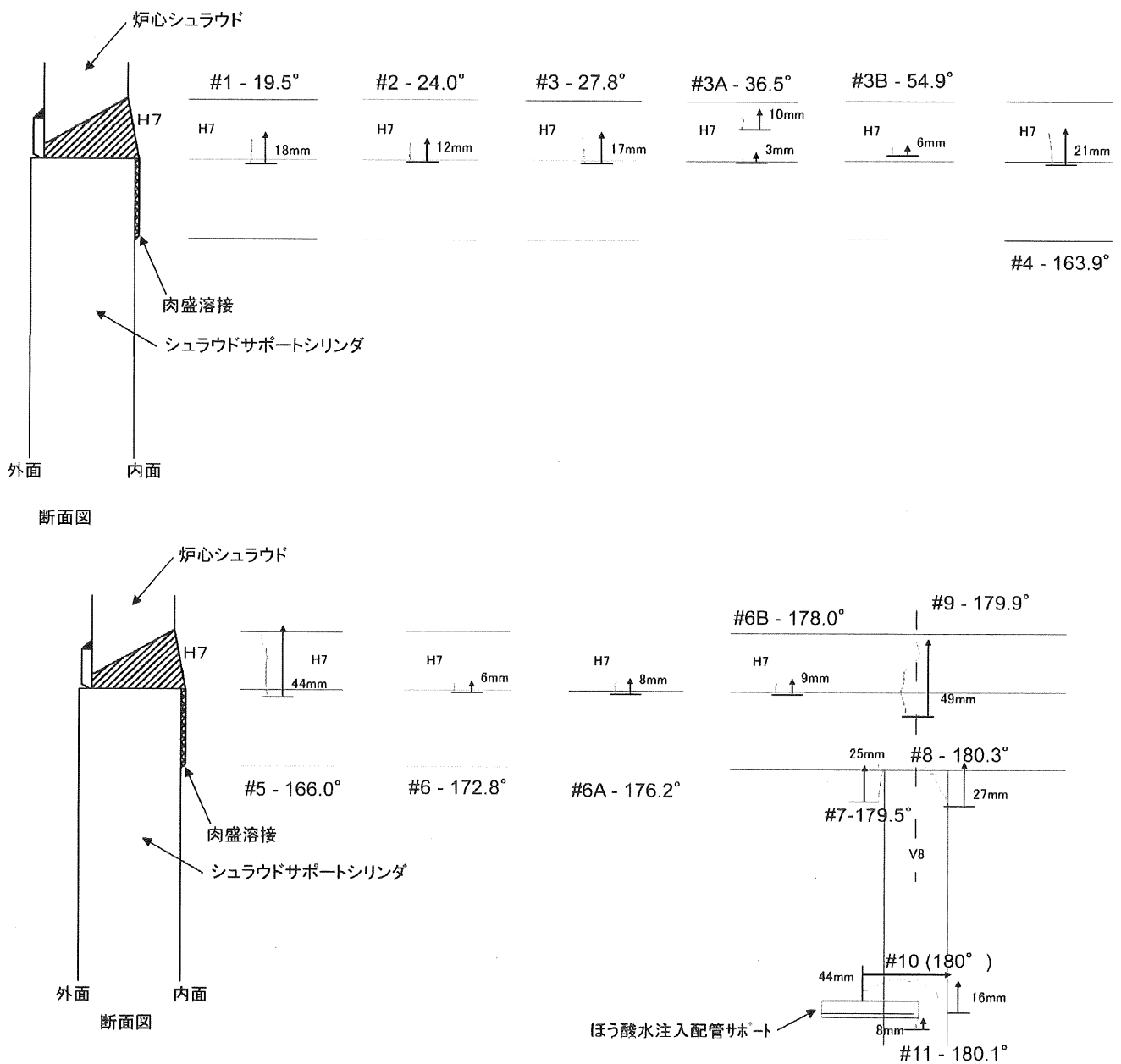
今回ひび割れを確認したシュラウドサポートシリンダの溶接部近傍について、UTにより欠陥指示の

深さ測定を実施した。

検査実施結果を Table 1 及び Fig.2 に示す。

Table 1 Inspection Results

検査部位	深さ		板厚	長さ		探傷範囲
	平均値	最大値		平均値	最大値	
V8 外面	45.3	63 (貫通)	63	105.7	171	欠陥指示 近傍
V8 内面	16.4	23.2	63	53.5	112	欠陥指示 近傍
H7 内面	15.2	50 (貫通)	50	29.3	171	欠陥指示 近傍



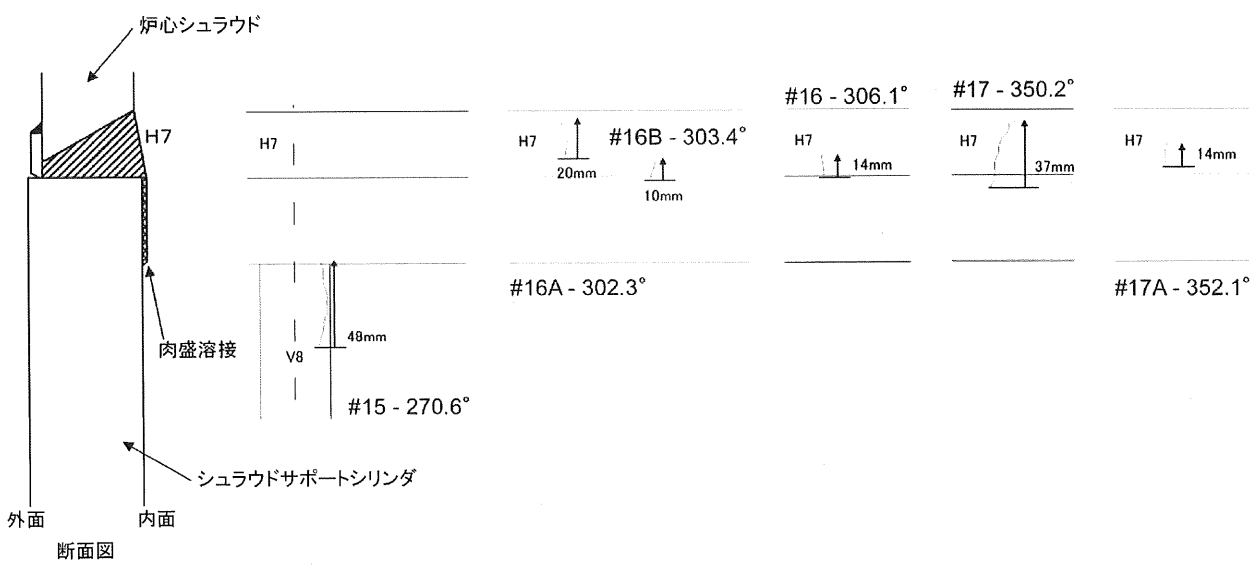
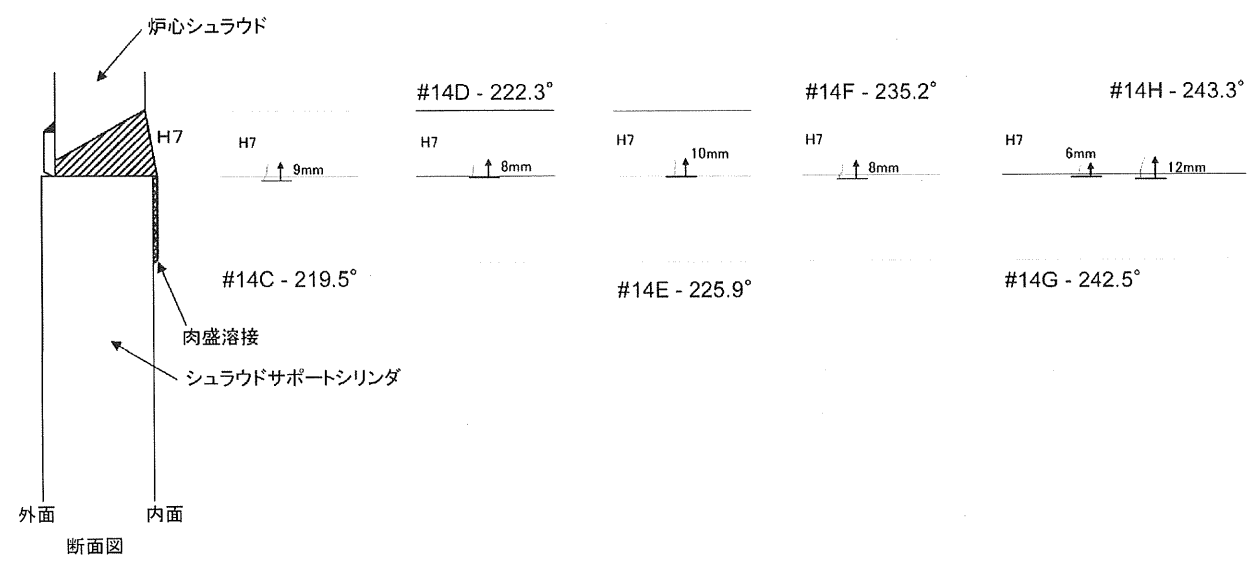
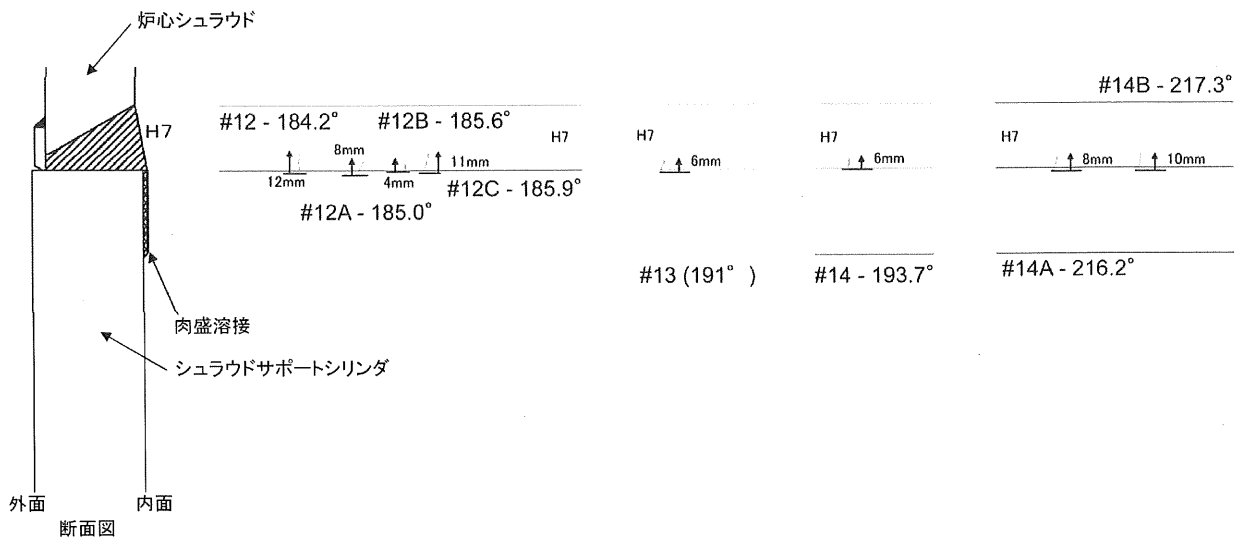


Fig.2 VT Results

2.2 進展評価

V8 及び H7 のひび割れは軸方向のひび割れに限定されており、溶接残留応力の分布を考慮すると、ひび割れの進展は V8 の溶接金属部及び熱影響部、並びに H7 の溶接金属部及び熱影響部の範囲内に留まり、かつ H7 の溶接金属部においては周方向への進展は考えにくいと予測された。

また、ほう酸注入配管サポートすみ肉溶接継手上側に確認された周方向のひび割れについては、すみ肉溶接による残留応力が、溶接継手に直交する軸方向引張応力が支配的であるため溶接継手に沿って周方向に進展すると考えられるが、溶接残留応力の影響がない母材に進展することは考えられないため限定された範囲に留まると予測された。

一方、Fig.3 に軸方向応力分布を示すように、H7 上側溶接止端部から上方に 20mm 離れた位置より上側においては、相対的に軸方向引張応力が支配的となることから、H7 上側溶接止端部から上方に 20mm 離れた位置の応力分布 (Fig.4) を用いて、H7 上側溶接熱影響部における周方向ひび割れであると仮定して進展を予測した。初期欠陥の形状は、維持規格に基づき、長さ 10mm、長さ 10mm の半楕円形状とした。

Fig.4 の応力分布に基づき算出された応力拡大係数の分布を Fig.5 に示す。これと維持規格の低炭素ステンレス鋼に対する SCC 進展速度線図を用いて進展解析を行った結果を Fig.6 に示す。これによれば、例えば今後 30 年間程度では進展は著しくなく、30 年後に長さ 6mm、長さ 17mm に進展する程度であると評価された。

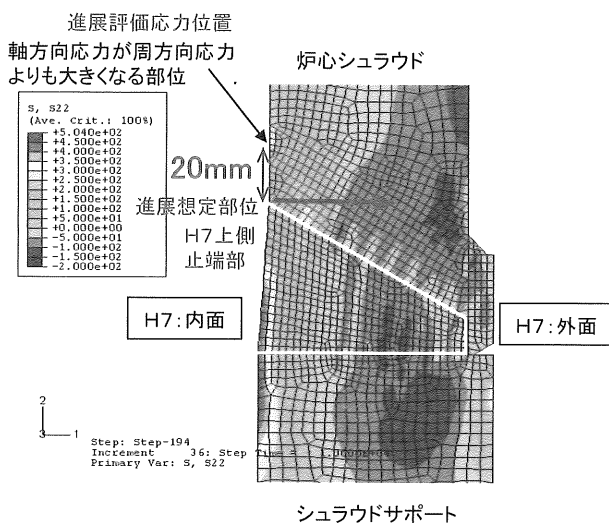


Fig.3 Axial Stress Distribution around H7

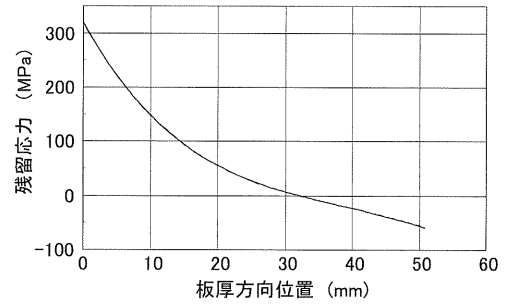


Fig.4 Calculated Axial Stress of Cross Section

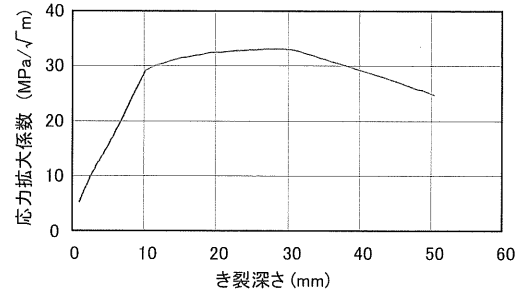


Fig.5 Calculated Stress Intensity Factor of Cross Section

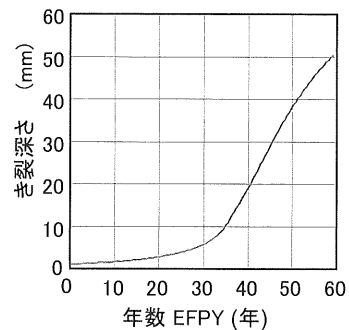


Fig.6 Calculated Crack Depth

3. 破壊評価

3.1 ひび割れのモデル化

V8 には、全 4 本の継手に軸方向貫通のひび割れを想定した。上端は H7 開先上端に溶接熱影響部 (10mm) を加えた位置とし、下端は H10 開先下端に溶接熱影響部 (10mm) を加えた位置とし、ひび割れの幅は V8 内面における開先幅とした。

H7 には、確認されたひび割れの数から、全周に想定されるひび割れの数 (126 個) を包絡するように全周 1° ピッチで軸方向板厚貫通のスリット状にひび割れを想定した。

想定貫通ひび割れ上端は H7 開先上端に溶接熱影響部 (10mm) を加えた位置、下端はシュラウドサポートシリンダ内面 (インコネル 82) 肉盛下端に溶接熱影響部分 (10mm) を加えた位置とした。

ほう酸注入配管サポートすみ肉溶接継手上側には、周方向すみ肉溶接長に溶接熱影響部 (10mm) を加えた長さの周方向貫通のひび割れを想定した。

また、H7 上側溶接熱影響部の周方向に仮定したひび割れについては、深さは 2.2.1 の進展評価結果に基づき想定年数によりパラメトリックに変化させるこ

とし、周方向には保守的に全周としたリング状の欠陥としてモデル化した。

以上の考え方に従いひび割れをモデル化した解析モデルを Fig.7 に示す。

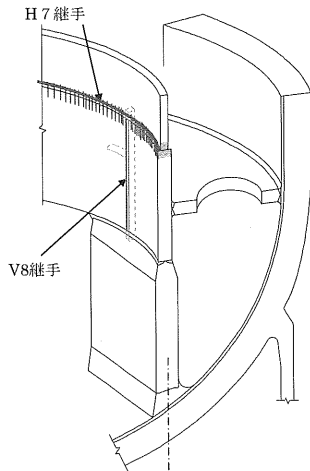


Fig.7 Fracture Analysis Model with Cracks

3.2 破壊評価

破壊評価法については、維持規格に従い、(1)で述べた構造解析モデルを用いてシュラウドサポートの荷重-変位特性を有限要素法により解析し、得られた荷重変位曲線と弾性勾配の2倍の傾きの直線との交点を崩壊荷重とみなすいわゆる二倍勾配法を用いた。構造健全性の判断は、二倍勾配法によって得られた崩壊荷重が S2 地震荷重の 1.5 倍以上（ただし、S2 地震荷重が S1 地震荷重以下となる場合は、S1 地震荷重に基づき評価する）であれば健全性は確保されるとの判断基準による。

荷重条件を Table 2 に示す。解析は、S1 地震荷重、S2 地震荷重の両方について実施し、より厳しい結果となる S2 地震荷重に基づき評価を行った。

Table 2 Load Condition for Fracture Evaluation

荷重		鉛直力 V (kN)	水平力 H (kN)	モーメント M (kN・m)	圧力 P (MPa)
供用状態 A 及び B の荷重	死荷重	±1814	—	—	—
	差圧	—	—	—	0.23
地震時の荷重	地震荷重 S ₁ *	±590	±8920	±42950	—
	地震荷重 S ₂	±590	±13440	±64430	—

評価時から 30 年後の条件における二倍勾配法による評価結果を Fig.8 に示す。十分な裕度を有していることから、確認されたひび割れ及び仮定した周方向のひび割れが 30 年後の時点でも構造健全性に影響を及ぼすものではないことを確認した。

また、H7 熱影響部に仮定した周方向リング状の欠陥の深さをパラメータとする解析結果を Fig.9 に示す。これから、評価時から 45 年後に許容限界に達すると評価された。

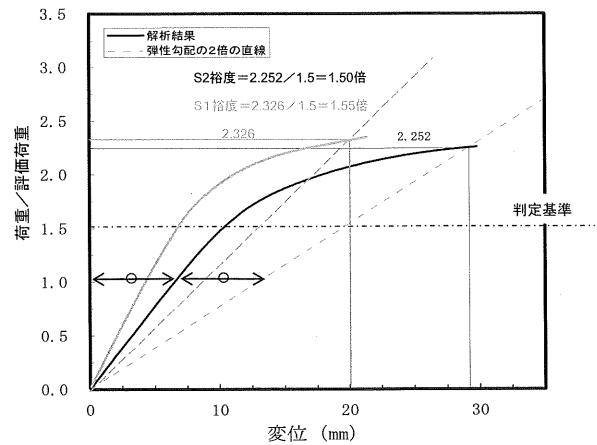


Fig.8 Evaluation Result for 30 years after

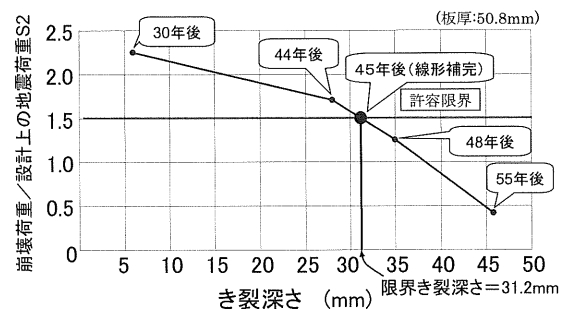


Fig.9 Allowable Limit Crack Depth and Related Time

4. 今後の点検について

き裂の解釈の「き裂等が存在する状態で使用する場合」には、維持規格 IA-2340（継続検査のプログラム）によらず、「原則として毎回の定期事業者検査時にき裂等が検出された箇所の点検を行うこと。ただし、3回の点検の結果、進展が観察されなかつたき裂等については、隔回毎の定期事業者検査時の点検に移行して差し支えない。また、健全性評価の結果将来は進展が止まると予想されたき裂等については、至近の定期事業者検査において点検した後は、隔回毎の定期事業者検査時の点検に移行して差し支えない。」とある。

一方、今回 V8 及び H7 で確認されたひび割れのほとんどは、軸方向のひび割れであり、構造強度上問題はなく、H7 上側溶接熱影響部に仮定した周方向のひび割れが進展しても、今後 45 年間に亘り技術基準に適合しないものでないことが確認できたことから、定期事業者検査毎の監視が必要なひび割れでないと判断できる。従って、き裂の解釈の点検に関する規定の後段に該当すると考え、これに基づき継続点検を設定した。

すなわち、V8 及び H7 について至近の定期事業者検査において点検した後は、隔回毎の定期事業者検査時の点検を行うこととした。

5. 規格基準上の課題

今回のき裂解釈、維持規格及びガイドラインの適用を踏まえ、次のような課題を提言したい。

(1) 周方向溶接継手に生じた軸方向き裂の扱い明確化
維持規格、ガイドラインにおいては、軸方向溶接継手にき裂が生じても強度に及ぼす影響がごく小さいことから検査対象外としており扱いが明確であるが、今回のように周方向溶接継手に軸方向き裂が生じ、将来も周方向への進展が考えにくい場合の扱いについては特に定められていない。特に次のような点において明確化できれば評価法の高度化の観点で利点があると考えられる。

- ・ き裂のモデル化における「軸方向」の判断基準
- ・ 周方向き裂進展への発展可能性の判断基準

(2) き裂解釈における継続点検規定の見直し

き裂解釈における継続点検規定は、き裂を残して継続使用する場合の知見が我が国であまり多くないことを踏まえ知見を拡充する意味で維持規格とは別に定められたと解される。今後、この事例を含め継続使用の知見を反映するとともに、上記(1)で述べた検討の成果も反映して十分な根拠を示し、き裂解釈における継続点検規定の見直しを国に働きかけていくことも重要な課題である。

6. 結言

- 1) 東海第二発電所の第24回定期事業者検査においてV8及びH7に確認されたひび割れについて、き裂解釈、維持規格及びガイドラインを用いて欠陥評価を行った結果、このまま継続使用しても許容限界に達するのは45年後と評価された。
- 2) 欠陥評価におけるき裂解釈、維持規格及びガイドラインの適用を踏まえ、今後検討が望まれる規格基準上の課題について整理した。

参考文献

- [1] 日本原子力発電株式会社ホームページ
<http://www.japc.co.jp/news/bn/h17/170713.pdf>
- [2] 発電用原子力設備における破壊を引き起こすき裂その他の欠陥の解釈について、原子力安全・保安院、平成21・02・18原院第2号
- [3] (社)日本機械学会 発電用原子力設備規格 維持規格2008年版, JSME S NA1-2008
- [4] 一般社団法人日本原子力技術協会 BWR 炉内構造物等点検評価ガイドライン[シュラウドサポート](第3版), 平成20年6月, JANTI-VIP-04