

炉心シュラウドの照射誘起型応力腐食割れを考慮した耐震安全性評価
(溶接残留応力を考慮した評価の方針)

1. 概要

炉心シュラウドの耐震安全性評価において、H4 周溶接継手の溶接残留応力を考慮した耐震安全性評価の方針について記載する。

2. 関連図書

- (1) JANSI-VIP-06-第5版 BWR炉内構造物点検評価ガイドライン [炉心シュラウド] (第5版)
平成27年3月 (以下「ガイドライン」という)
一般社団法人 原子力安全推進協会 炉内構造物等点検評価ガイドライン検討会
- (2) 09原高報-0012 平成20年度 照射誘起応力腐食割れ(IASCC)評価技術に関する報告書
平成21年9月, 独立行政法人 原子力安全基盤機構

3. 評価方針

3.1 初期亀裂

初期亀裂は、炉心シュラウド H4 周溶接継手の内面に半楕円亀裂を想定し、図1に示すモデルにて評価する。

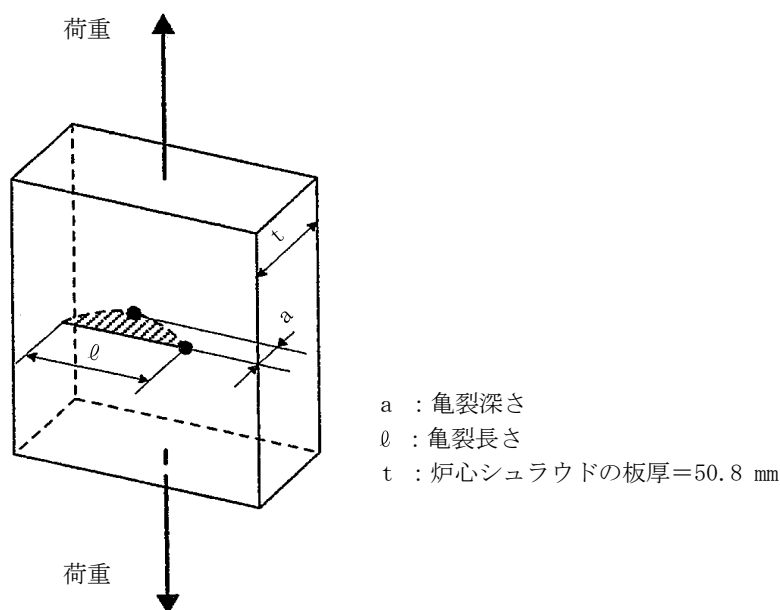


図1 炉心シュラウドの評価モデル

3.2 溶接残留応力解析

FEMによる温度分布解析及び熱弾塑性解析により、東海第二の炉心シュラウドH4溶接継手の溶接残留応力を求める。ここで、評価部位であるH4溶接部の開先形状は、建設時の製作図を基に模擬し、溶接順序、溶接パス数及び入熱量は、建設当時の溶接記録を基に設定する。

なお、当時の記録がない条件については、当時の溶接施工法より推定して設定することとする。

3.3 応力拡大係数の算出

応力拡大係数の算出には、ガイドラインにおける評価と同様に、以下に示す平板の表面亀裂の応力拡大係数を求めるWangの影響関数法^{*1}に基づく式を用いる。

なお、炉心シュラウドは、板厚に対する内半径の比が大きく（内半径/板厚=50.8）、平板として模擬することは妥当である。

$$K = \left(\sum_{n=1}^4 S_n S_{in} \right) \times \sqrt{\pi a}$$

S_n : 亀裂深さ方向にn次の応力分布 $\sigma(x)$ が作用する場合の無次元化応力拡大係数

S_{in} : 亀裂面に垂直（炉心シュラウド軸方向）に作用する応力を多項式分解したときのn次の値

a : 亀裂深さ

*1 : 出典 “Weight Function Estimation of SIF for Mode I Part-Elliptical Crack under Arbitrary Load”, G.S.Wang, Engineering Fracture Mechanics Vol.41, No.5, pp.659-684, (1992).

また、残留応力解析結果から応力拡大係数を算出する際には、中性子照射による溶接残留応力の緩和の影響を考慮することとし、関連図書(2)に示される以下の式を用いる（検討中）。

$$\sigma / \sigma_0 = \exp(-0.19 \phi T)$$

ϕ : 中性子束

T : 時間

時間Tは、運転開始から直近に実施したH4溶接継手の点検までの実効運転期間とし、以降の中性子照射による応力緩和は保守的に考慮しないこととする。

3.4 破壊評価用亀裂深さの設定

東海第二の炉心シラウドH4 溶接継手は両側開先であり、図2に示すガイドラインの溶接残留応力分布と同様の傾向となると考えられる。この場合は、図3に示すガイドラインの板厚方向の応力拡大係数の分布のように板厚中央で応力拡大係数がゼロとなり、亀裂進展速度がゼロとなって、その深さで板厚方向への亀裂進展は停止することになる。したがって、板厚方向の応力拡大係数がゼロとなる深さを求め、これを破壊評価用の亀裂深さとして設定し、それ以上深さ方向へは進展はしないものとする。

ただし、応力拡大係数が板厚内でゼロとならない結果が得られた場合は、以降に述べる破壊評価は成立しないため、別の方法を検討する。

なお、H4 溶接継手の外面にはウォータージェットピーニング施工による残留応力の改善を行っていることから、照射誘起型応力腐食割れが発生する可能性はないと評価しており、外面に初期亀裂を想定する必要はない。

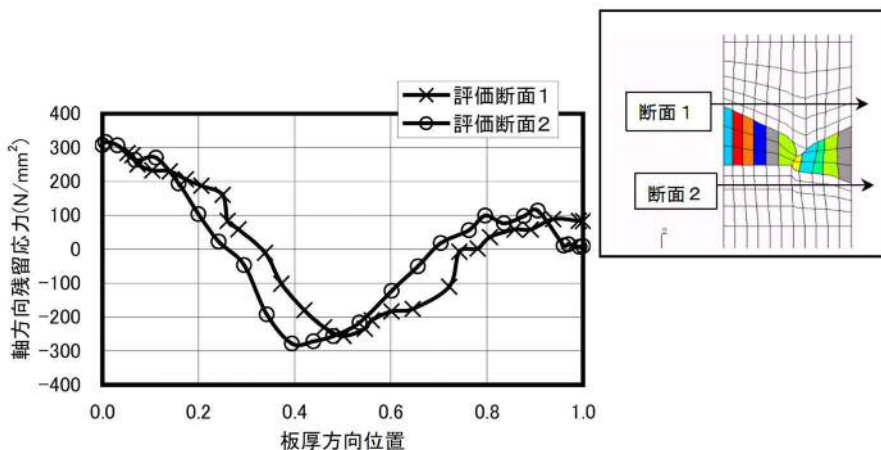


図2 両側開先溶接部の軸方向残留応力分布
(ガイドライン 図B-6b H4継手の残留応力分布)

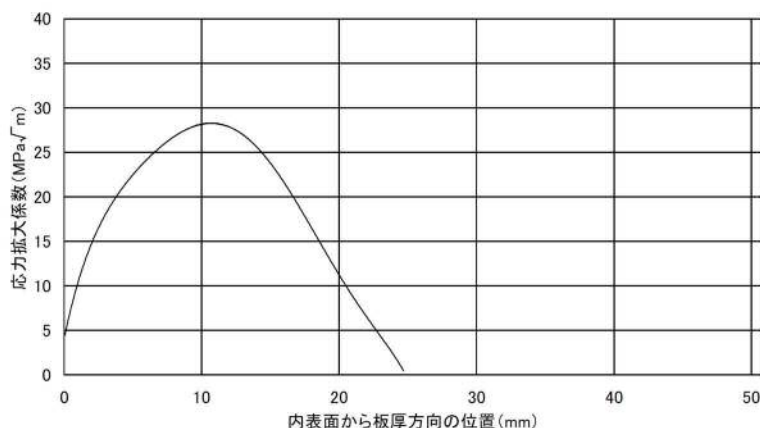


図3 両側開先H4溶接部の応力拡大係数分布
(ガイドライン 図C-17(1) 内表面から板厚方向の応力拡大係数分布)

なお、東海第二の炉心シュラウド H4 溶接継手には、第 17 回定期検査時に貴金属コーティングを施工しており、確性試験においてコーティング表面の残留応力測定が実施されている。その値は溶接による表面の残留応力（図 2 では表面の溶接残留応力は 300MPa 程度）よりも十分小さい。したがって、貴金属コーティングによる残留応力の影響は考慮しない方が評価としては保守的である。

3.5 破壊評価

破壊評価用に設定した亀裂深さ（板厚方向の応力拡大係数がゼロとなる深さ）の亀裂を長さ方向に進展させ、その場合の地震時の応力による亀裂両端部の応力拡大係数を求める。求めた応力拡大係数が、照射ステンレス鋼の破壊靱性値に達しない限界の亀裂長さを許容亀裂長さとする。ここで応力拡大係数を求める際に考慮する荷重は、差圧、死荷重、地震荷重及び溶接残留応力とする。

つぎに、求めた許容亀裂長さを鋭敏化 SUS304 鋼の亀裂進展速度の上限値にて除することで、炉心シュラウドの健全性が維持される期間を保守的に求める。

以 上