

I - A 236

地震荷重下における曲がり管の低サイクル疲労評価

(財)電力中央研究所 正会員 ○ 酒井 理哉
 齋藤 潔
 正会員 萩原 豊

1. はじめに

高速炉機器の構造設計においては、弾塑性挙動を考慮した合理的な耐震設計手法を整備する必要がある。著者らは前報[1,2]において、高速炉薄肉配管モデルの動的破壊試験を行い、地震時の弾塑性挙動による応答低減効果を考慮した耐震設計合理化の可能性を示してきた。これらを実際の耐震設計で採用していくためには、高速炉配管の地震時の最終的な破壊モードである低サイクル疲労破壊を適切に把握することが不可欠である。

このため本研究では、前報[1,2]で実施した曲がり管(薄肉ショートエルボ)の面内曲げ方向の動的破壊試験結果を評価対象として、数値シミュレーション解析により得られた局所ひずみ履歴の時刻歴と、極低サイクル域でのステンレス鋼のS-N曲線を用いて疲労損傷評価を行う。また、試験結果との比較により、解析に基づいて評価した累積疲労損傷値の精度を確認する。

2. 曲がり管の動的破壊試験・解析

曲がり管の動的破壊試験の概念図を図1に示す。高速炉薄肉配管を模擬した曲がり管試験体はステンレス製のエルボ部(SUS304 10BSch 5S 90°ショートエルボ)および直管部から構成され、この試験体の一端を振動台に固定し、片端に錘(5014kg)を取り付け、試験装置全体を面内方向に加振した。加振波はFBR原子炉据え付けレベルの地震動としてと算出されたENVELOPE波を使用し、加振レベルは1~3回の加振で疲労破壊を起こさせる観点から十分に大きなものとした。加振試験後にエルボ側面に発生した低サイクル疲労によるき裂の様子

子を図2に示す。

曲がり管の崩壊挙動を詳細に把握するため、動的弾塑性大変形FEM解析による試験シミュレーションを実施した。解析モデルはシェル要素により要素分割し、材料物性値は材料試験結果に即した値を用い、材料硬化則は等方硬化を与えた。解析より得られた管側面のき裂発生位置のひずみ履歴を図3に示す。

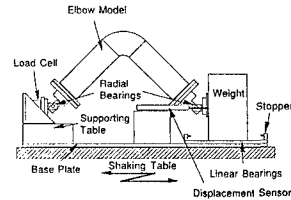


図1: 動的破壊試験概念図



図2: き裂の様子

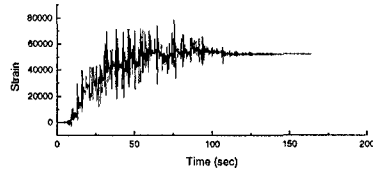


図3: ひずみ履歴(解析結果)

3. ステンレス鋼の疲労強度

ステンレス鋼の疲労強度については、Wadaら[3]

Keyword: 地震荷重、曲がり管、低サイクル疲労、損傷評価

〒270-11 我孫子市我孫子1646 TEL 0471-82-1181 FAX 0471-83-2962

が高温条件での SUS304,316,321 について一定振幅荷重下の低サイクル疲労強度について一連の試験を行い、統計的な処理によるベストフィット曲線を求めている。ここでは試験体母材から採取した試験片を用いて、単軸疲労試験を実施し、Wada らの S-N 曲線と比較することとした。

試験片は、JIS 1 号試験片相当とし、8 本製作した。試験片は、曲がり管試験体の母材から採取し、同一条件で熱処理を行ったものである。

図 4 に Wada らの得た S-N 曲線上に本試験の結果をプロットして示す。図 4 によれば、本試験の結果は、Wada らの S-N 曲線の factor of 2 の範囲に分布している。この結果より、本研究で対象とするひずみ範囲で 5% 以上、疲労寿命で 100 回以下の極低サイクルの領域においても、Wada らの S-N 曲線を適用することとした。

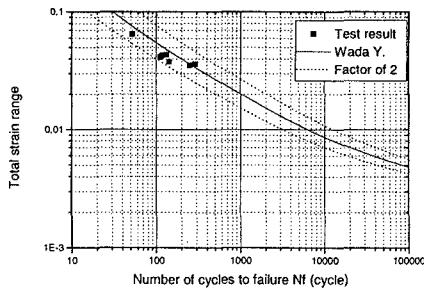


図 4 : S-N 曲線

4. 曲がり管の疲労損傷評価

解析結果より得られたひずみ履歴について、レインフロー法によるひずみのピークレンジの計数をを行ったひずみ範囲のヒストグラムを図 5 に示す。

疲労損傷評価法としては最も一般的なマイナー則を適用した。表 1 に疲労評価結果を示す。破損時の累積損傷値はケース C500 で $D_f=0.768$ 、C600 で $D_f=0.979$ であり、解析に基づく損傷値は、実際の疲労破壊の発生をよい精度で推定できたとと言える。

極低サイクル疲労破壊の評価を非線形解析に基づいて行う場合、材料構成則は評価精度を決定的に左右するものと考えられるが、25%以内の精度で損傷値の推定結果を得ることができた。このことは、エ

ルボが比較的薄肉なために座屈による全体変形が局所ひずみの相当部分を決定すること、地震動下の現象であるため、繰り返し回数が非常に少ないこと等が主要な要因として考えられる。

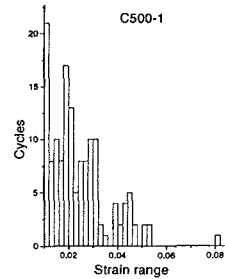


図 5 : ひずみ範囲のヒストグラム

表 1 : 疲労損傷値評価結果

試験体 No.	ケース	D_f	累積損傷値
C500	C500-1	0.318	0.318
	C500-2	0.357	0.675
	C500-3*	0.093	0.768
C600	C600-1	0.536	0.536
	C600-2*	0.443	0.979

*き裂が発生したケース

5. まとめ

曲がり管の動的破壊試験を対象として、非線形解析に基づく極低サイクル疲労評価を行い、試験との比較により精度の検証を行った。本手法による評価を一般的に適用するためには、評価精度の向上が重要であり、材料硬化則などの検討が必要である。

[1] 酒井, 山本, 萩原: 曲がり管の崩壊挙動に関する検討, 第 51 回土木学会年次学術講演会, 1-A, 1995.9, pp.142-143

[2] 酒井, 他: 曲がり管の動的崩壊挙動に関する検討, 第 52 回土木学会年次学術講演会, 1-A, 1996.9, pp. 118-119

[3] Wada, Y. et al., "A Statistical Approach to Fatigue Life Prediction for SUS304, 316, and 321 Austenitic Stainless Steels, ASME PVP Vol.123, pp.37-42, 1987