改良 MANSION 式による低サイクル疲労寿命評価法の検討*

寄 川 盛 男^{*1}, 中 根 一 起^{*2}
菅 野 智^{*3}, 高 木 愛 夫^{*4}Investigation of Low Cycle Fatigue Life Estimation
Using Modified Manson's EquationMorio YORIKAWA^{*5}, Motoki NAKANE,
Satoshi KANNO and Yoshio TAKAGI^{*5} Hitachi Engineering & Service Co., Ltd.,
3-2-2 Saiwai-cho, Hitachi-shi, Ibaraki, 317-0073 Japan

This paper studies on the low cycle fatigue of austenitic stainless steels (SUS316NG, SUS316L, SUS304TP: JIS*) and ferrite steel (SFVQ1A, STS480, STPT410, SFVC2B, SS400: JIS*) used as the nuclear components. Diameter displacement controlled low cycle fatigue tests were carried out at room temperature using hourglass type specimens. It was found that the Manson's modified universal slopes equation can predict the experimental lives within a factor of 2 scatter band, and the industrial utility of this equation was confirmed. [*JIS: Japanese Industrial Standards]

Key Words: Low Cycle Fatigue, Manson's Equation, Universal Slopes, Life Prediction

1. 結 言

Manson の共通勾配法⁽¹⁾は、引張試験によって求められる機械的性質のみを用いて疲労寿命を予測できるため、これまで疲労寿命予測法として広く用いられてきた。この共通勾配法は、近年データの拡充に伴い、改良共通勾配法⁽²⁾として Manson により再提案されている。しかしながら、この改良共通勾配法は、具体的に評価した例が無いいため、一般に用いられていない。

そこで本研究では、Manson が提唱した改良共通勾配法の有用性を確認するため、原子力用配管材料として用いられるオーステナイト系ステンレス鋼(SUS316NG, SUS316L, SUS304TP)とフェライト鋼(SFVQ1A, STS480, STPT410, SFVC2B, SS400)の 8 鋼種を用いて、砂時計型試験片⁽³⁾による直径変位制御の低サイクル疲労試験を実施し、この疲労寿命結果を改良共通勾配法による寿命予測と比較し、その有用性を確認した。

2. 試 験 方 法

供試材は、オーステナイト系ステンレス鋼(SUS316NG, SUS316L, SUS304TP)とフェライト鋼(SFVQ1A, STS480, STPT410, SFVC2B, SS400)の 8 鋼種である。試験片形状

力集中率 $K_t=1.05$ を用いた。試験は油圧サーボ疲労試験機 (容量 100kN) を用いて、室温、大気中にて実施した。ロードセルによって荷重を、変位計によって試験片直径を測定した。試験実施状況を図 2 に示す。試験の制御は試験片の最細径部に取付けた直径変位計で行い、直径変位から次式で軸ひずみに換算した。

$$\varepsilon_{axis} = -2 \cdot \ln(d/d_0) \quad (1)$$

ここで、 d_0 と d は試験前と試験中の直径である。なお、 ε_{axis} は真ひずみである。また、本試験では試験片直径が有意に変化することから、真応力は測定した試験片直径から求めた断面積で荷重を除して求めた。

$$\sigma_{axis} = \frac{F}{A} = \frac{4F}{\pi d^2} \quad (2)$$

ここで、 F は荷重、 A は断面積である。試験ひずみ速度は 0.4%/s、負荷波形は完全両振対称三角波とした。破損繰返し数は試験片の破断、引張側荷重が定常状態より 25%低下、試験中の応力-ひずみ曲線が著しく形状不連続となった場合 (破損間近で制御が不安定となる場合) のいずれかが生じた繰返し数とした。

Fig.1 Shape and dimension of the specimen (mm).

* 原稿受付 2009 年 9 月 8 日.

*1 (株)日立エンジニアリング・アンド・サービス (☎ 317-0073 日立市幸町 3-2-2).

*2 正員, (株)日立製作所 (☎ 317-8511 日立市幸町 3-1-1).

*3 正員, 日立 GE ニュークリア・エナジー (株) (☎ 319-1221 日立市大みか町 5-2-2).

*4 正員, 東京電力 (株) (☎ 230-8510 横浜市鶴見区江ヶ崎町 4-1).

E-mail: morio.yorikawa.jx@hitachi-hes.com

Fig.2 Photograph of the test apparatus.

3. 試験結果

図3に試験結果の例としてステンレス鋼 SUS304TP とフェライト鋼 SS400 の応力-ひずみ関係 ($\Delta \varepsilon = 4\%$ $N=1, 2, 3, 5, 10$ cycle) を示す。ステンレス鋼では繰返しに伴い顕著な加工硬化が確認された。一方、フェライト鋼では 1~2cycle 目に若干加工硬化が認められるが、2cycle 目以降はほとんど加工効果を生じない。

図4に寿命評価結果の例を示す。なお、試験結果と Manson の共通勾配法(3)式ならびに、Manson の改良共通勾配法(4)式の寿命予測結果を併せて示した。

$$\Delta \varepsilon = \varepsilon_f^{0.6} N_f^{-0.6} + 3.5 \left(\frac{\sigma_B}{E} \right) N_f^{-0.12} \quad (3)$$

$$\Delta \varepsilon = 0.0266 \varepsilon_f^{0.155} \left(\frac{\sigma_B}{E} \right)^{-0.53} N_f^{-0.56} + 1.17 \left(\frac{\sigma_B}{E} \right)^{0.832} N_f^{-0.09} \quad (4)$$

ここで、 $\Delta \varepsilon$ はひずみ範囲、 ε_f は真破断ひずみ、 N_f は破損繰返し数、 σ_B は引張強さ、 E は縦弾性係数である。図4において SUS304TP では共通勾配法と改良共通勾配法の予測結果に差が生じており、改良共通勾配法の方が試験結果と一致していることが分かる。一方 SS400 では、共通勾配法と改良共通勾配法の予測式に差が生じていないため、両者ともに試験結果と一致する傾向があった。他の鋼種でも、改良共通勾配法の方が従来の共通勾配法よりも良好に寿命を評価できる傾向にあった。実験結果と予測結果をすべての鋼種でまとめて比較した結果を図5に示す。共通勾配法は若干非安全側の寿命予測になっている。一方、改良共通勾配法は等価あるいは安全側で係数2の範囲の寿命予測となっている。このことから、Manson の改良共通勾配法の方が低サイクル疲労寿命評価に適し、工業的有用性に優れることが分かった。

4. 結 言

オーステナイト系ステンレス鋼とフェライト鋼の8鋼種を用いて、低サイクル疲労試験を実施した結果、Manson の改良共通勾配法による寿命予測では係数2の精度で寿命を予測でき、工業的有用性に優れることが分かった。

(a) Stainless steel (SUS304TP)

(b) Ferritic steel (SS400)

Fig.3 Comparison of hysteresis loops.

(a) Stainless steel (SUS304TP)

(b) Ferritic steel (SS400)

Fig.4 Correlation of number of cycles to failure with Manson's Equations.

Fig.5 Comparison between predicted and Actual lives.(all date)

文 献

- (1) Manson, S.S., *Exper. Mech.*, Vol.5(1965), pp.193-226.
- (2) Manson, S.S., *Future Direction for Low Cycle Fatigue, Low Cycle Fatigue, ASTM STP 942*, (1988), pp.15-39.
- (3) Iida, K. et al., *Effects of Tensile or Compressive Prestrain on Very Low Cycle Fatigue Life, Journal of the Society of Naval Architects of Japan*, Vol.156 (1985), pp. 485-492.