

I-579 埋設管の極低サイクル疲労損傷評価

新日本製鐵(株) 正員 島 宏 〃 正員 ○ 小野 敏孝
 〃 萩原 行人 〃 瀬戸 厚司

1. はじめに

地震時の地盤液状化現象では、その過程で地盤に過大な変位振幅（動的相対変位）を生じたり、その後には地すべりの変位（永久変位）を生じる恐れがあり、埋設管は地盤から大きな強制変位を受けることが予想される。現在、ガス導管の耐震設計における安全性評価には、ASMEの疲労線図が用いられているが、極低サイクル領域でのデータは少なく、その損傷度の評価法にも不明な点が多い。そこで、本研究では、小型試験片を用いた極低サイクル領域での繰返し载荷試験を行なうと共に、大きさの異なる2つの動的相対変位を受ける場合および動的相対変位の後に永久変位を受ける場合を想定した载荷を行ない、その累積損傷度の評価を試みた。

2. 極低サイクル領域での疲労特性

ASMEの疲労線図（Design Curve）は、主として小型試験片によるデータを回帰して得られた $\epsilon-N$ 線図（Best-Fit-Curve）をもとに、これにばらつきや構造物に存在する欠陥などを考慮して、安全側に決められたものである¹⁾。しかしながら、従来のASMEのデータのひずみ振幅は最大で5%程度であり、それより大きなひずみ振幅のデータは記録されていない。そこで今回は、図1に示す砂時計型試験片を用いて、1~15%の範囲での種々のひずみ振幅で単純繰返し载荷を行ない、破断までの繰返し数を求めた。供試材は配管材料に比較的近い成分を持つSM41Bとした。試験は、両振り载荷とし、サーボタイプ疲労試験機を用いて、ひずみ制御にて行ない、ひずみ速度は0.1%/sとした。

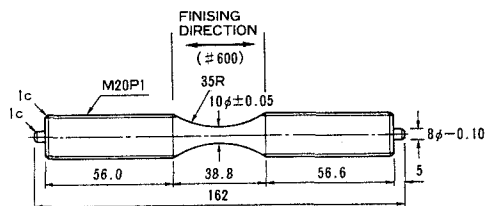


図1 砂時計型試験片

今回の供試材である炭素鋼についてのASME線図のもととなった実験データは図2の○であり、これらより得られた $\epsilon-N$ 線図の回帰式は(1)式で与えられる。

$$\epsilon_a = 28.88 / \sqrt{N_f} + 0.072 \quad (1)$$

次に、本実験で得られたひずみ振幅と破断までの繰返し数との関係を図2の●で示す。これらによる $\epsilon-N$ 線図の回帰式はASMEと同じ関数形を用いると(2)式で表される。

$$\epsilon_a = 42.2941 / \sqrt{N_f} - 0.5420 \quad (2)$$

図から明らかなように、今回の結果は、いずれもASMEのBest-Fit-Curveよりやや長寿命側にあるがほぼその延長線上にある。従って、15%ひずみ振幅という極低サイクル領域においても小型試験片の寿命をASMEのBest-Fit-Curveを用いて評価できることが確認された。

次に、今回の試験結果を実物の配管要素を用いた疲労試験結果^{2)~6)}およびASMEの線図とを比較したものを図3に示す。極低サイクルを含む低サイクル領域においても実管要素の結果はすべてBest-Fit-CurveとDesign Curveの間に位置している。

これらの事柄は、今回のような極低サイクルの範囲においても小型試験片を用いて得られた結果をもとに実配管要素を評価できることを示している。

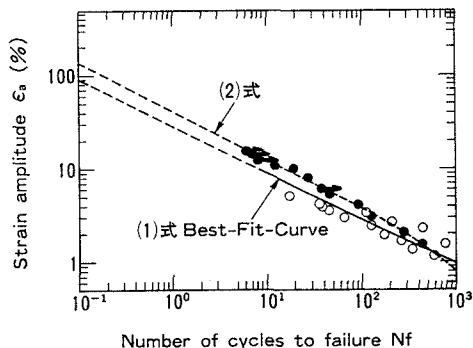
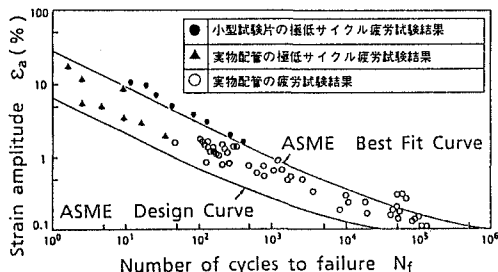
図2 $\epsilon-N$ 線図

図3 実配管要素実験結果との比較

3. Miner則適用性の検討

低サイクル疲労損傷解析には累積被害則（Miner則）が適用されることが多い。ここで、Miner則とは、異なるひずみ振幅 ε_i の繰返し数 n_i による損傷度をそのひずみ振幅における破断繰返し数 N_i との比 n_i/N_i で表したとき、次式の関係が成立することをいう。

$$\sum n_i/N_i = 1 \quad (3)$$

Miner則検討のための試験としては、単純繰返し載荷試験と同じ試験片を用いて、異なる2つの動的相対変位を受ける場合を想定した二段繰返し載荷試験と動的相対変位を受けた後に永久変位を受ける場合を想定した繰返し載荷後の引張載荷試験を行なった。二段繰返し載荷試験では、1.5～7%の範囲のひずみ振幅について、第1ステップでの被害度 n_1/N_1 が0.2～0.8の3種類に相当する繰返し載荷を与えた後に、第1ステップの2～4倍のひずみ振幅を与えて破壊までの繰返し数を求めた。また、第2ステップでのひずみ振幅を1/2～1/3に減少させた載荷も行なった。次いで、繰返し載荷後の引張試験では、1～5%のひずみ振幅について、地震動およびひずみ振幅の大きさの影響を調べるため2～50回の繰返しを与えた後引張載荷し、破断までのひずみを求めた。

解析に際して、ひずみ振幅に対する破断繰返し数は、本試験結果から求めたASMEと同じ関数形の（2）式をもとに算定した。また、引張載荷についてはこれを1/4サイクルの繰返し載荷とみなして解析した。

（a）二段繰返し載荷試験結果

第1ステップでの繰返し載荷による損傷度 n_1/N_1 に対して累積損傷度 $\sum n_i/N_i$ をプロットした結果を図4の○で示す。 $\sum n_i/N_i$ の値は0.752～1.492（Ave. 1.07）の範囲にあり、ほぼ1.0になっている。

図5には、第1ステップのひずみ振幅 ε_{a1} に対して整理した結果を示すが、この場合、ひずみ振幅の大きさによる明確な傾向は認められない。また、第1ステップのひずみ振幅に対する第2ステップでのひずみ振幅倍率の変化についても顕著な影響は認められない。

（b）繰返し載荷後の引張り載荷試験結果

解析結果を n_1/N_1 と $\sum n_i/N_i$ の関係で図4の●で示す。 $\sum n_i/N_i$ の値は0.855～1.292（Ave 1.14）と二段繰返し載荷による結果とほぼ同じ値となった。

以上の結果より、データのばらつきはあるものの、二段繰返し載荷および繰返し載荷後の引張載荷のいずれについても $\sum n_i/N_i$ はほぼ1.0となり、Miner則は成立するといえる。

4. まとめ

本研究では、極低サイクル領域における強度特性を小型試験片を用いた繰返し載荷試験を通じて明らかにしようとした。その結果、15%ひずみまでという極低サイクル領域においてもASMEの疲労線図が適用できることおよびMiner則による累積損傷の評価が可能であることが確認できた。

参考文献

- 1) CRITERIA OF THE ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE FOR DESIGN BY ANALYSIS IN SECTIONS III AND VIII DIVISION 2 P61-83
- 2) L.F.KOOISTRA E.A.LANGE 他 Journal of Engineering for power p121-130 '64
- 3) 藤田、白木 他 日本機械学会論文集 Vol.44 No.386 p3437-3445 '78
- 4) 北村、座古 他 石川島播磨技術報 Vol.20 No.5 p289-306 '80
- 5) 宮島、大隅 新日本製鐵 製鉄研究 No.306 p13965-13970 '81
- 6) 未発表データ

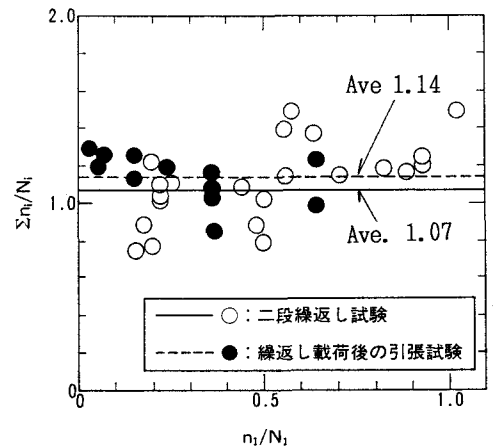


図4 n_1/N_1 と $\sum n_i/N_i$ との関係

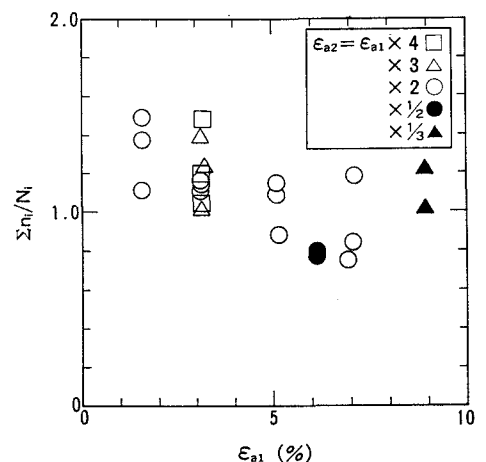


図5 ε_{a1} と $\sum n_i/N_i$ との関係