

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 1 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656277

研究課題名(和文) 鋼橋の長寿命化に向けた溶接継手の超高サイクル疲労強度評価技術の開発

研究課題名(英文) Fatigue Strength of Welded Joints in Very High Cycle Fatigue Region

研究代表者

判治 剛 (Hanji, Takeshi)

名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80452209

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、これまで想定されてきた疲労寿命より1オーダー以上多い寿命域である「超高サイクル疲労領域」(疲労寿命：1千万回以上)を対象にして、その領域での溶接継手の疲労強度を明らかにすることを目的としている。

新たに開発した高速載荷が可能な試験システムを用いて、実際の鋼橋に多く用いられている荷重非伝達型のすみ肉溶接継手を対象として超高サイクル疲労試験を実施した。その結果、今回対象とした溶接継手に対しては従来から示されている疲労限をそのまま1億回まで適用できる可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：In this study, focusing on the very high cycle fatigue region where fatigue life is more than ten million cycles, fatigue strength of welded joints was investigated.

Very high cycle fatigue tests were performed by using a bending fatigue testing machine, which can apply cyclic loads with high frequency to specimens due to the rotation of an eccentric mass in a motor. The test results revealed that the lowest stress range when the specimen failed was about 60N/mm², which is almost equivalent to the fatigue limit proposed in the high cycle fatigue region.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：超高サイクル疲労 溶接継手 鋼橋

1. 研究開始当初の背景

平成14年に改訂された道路橋示方書には橋梁の目標供用寿命が100年と明記され、長寿命化への意識が高まっている。従来、鋼橋の疲労では $10^6 \sim 10^7$ 回程度の応力の繰返しを寿命としており、その領域ではS-N曲線がいったん水平に折れ曲がり、みかけの疲労限が現れることが知られている。作用応力がこのみかけの疲労限以下であれば安全と照査しているのが現状である。しかしながら、100年以上の長寿命となれば累積交通量は膨大となり、繰返し数が 10^7 回、 10^8 回を超えることは必至であるが、現行の疲労照査法がそのまま超高サイクル疲労域にも適用できるかは不明である。

これまでの疲労の研究では、 10^7 回の繰返し荷重に耐えることができれば、それ以上では破壊が生じないと考えられていた。しかし近年、 10^7 回以上の超高サイクル疲労域における破壊現象が鋼素材に対して報告されるようになり、次のような知見が示されている。

- 10^6 回程度の領域で疲労限が現れた後、 10^7 回付近から疲労強度曲線が再び低下し、新たな疲労破壊限界が現れる。
- 超高サイクル疲労域では内部の介在物を起点とした破壊が現れる。

しかしながら、その破壊メカニズムは未知な部分が多く、さらに鋼橋で問題となる溶接継手部に関しては、超高サイクル疲労域での試験データ自体がほとんどないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究では、超高サイクル疲労領域における溶接継手の疲労強度を明らかにし、き裂発生限界を検討することを目的とする。

具体的には、まず超高サイクル疲労試験を短時間で実施可能な試験システムを新たに構築する。超高サイクル疲労域における実験データを蓄積するためにはこの試験装置の構築は必須である。このシステムにより、鋼橋の溶接継手の例として荷重非伝達型のすみ肉溶接継手を用いて疲労試験を行い、超高サイクル疲労域における疲労強度を明らかにする。得られた結果と従来の疲労強度曲線を照らし合わせ、超高サイクル疲労域におけるき裂発生限界を検討する。

3. 研究の方法

$10^7 \sim 10^8$ 回オーダーの超高サイクル疲労試験を実現するために、高速で荷重が可能な振動型荷重装置を用い、実験の時間的な問題を解消する。試験システムのイメージを図-1に示す。鋼板の上に固定した起振機(偏心おもりを内蔵したモーター)によって振動を発生させ、それによる板曲げによって着目部位に曲げ応力を導入して疲労試験を行うもので

ある。市販のモーターを使用しているため、安価で疲労試験を実施することができる。本試験システムの従来の疲労試験への適用実績はあるが、今回は超高サイクル疲労領域を対象としているため、より回転速度の速い起振器を用い、試験時間のさらなる短縮を図ることとする。

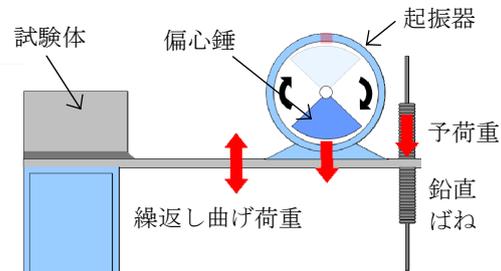


図-1 荷重装置

実橋に一般に用いられている荷重非伝達型のすみ肉溶接継手を対象として疲労試験を行う。試験体の形状および寸法を図-2に示す。目標荷重レベルは、高サイクル疲労域における一定振幅下のみかけの疲労限以下とし、一定振幅応力で行う。

本試験システムでは起振器の回転速度を制御しながら実験を行うため、厳密には荷重制御となっていない。そこで、試験体に取り付けたひずみゲージの出力を定期的に収集し、作用応力範囲が一定であることを確認しながら行う。また溶接部にき裂検出用の導線を貼り付け、き裂が発生したら荷重が止まるようにする。応力範囲計測およびき裂検出は試験システムに組み込み、全て自動で行えるように工夫する。

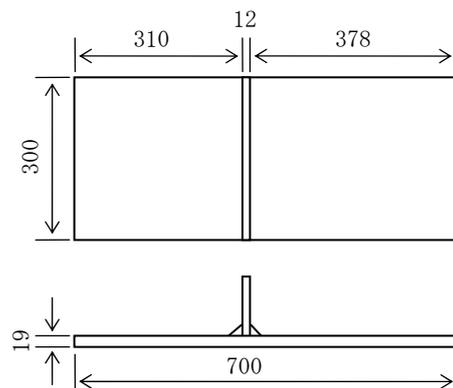


図-2 試験体の形状および寸法 (単位: mm)

超高サイクル疲労域での疲労強度を解明する。鋼素材に対しては、高サイクル疲労と超高サイクル疲労の遷移領域にてS-N曲線が2段に折れ曲がる現象が現れ(図-3)、高サイ

クル疲労域の疲労限以下の応力において内部き裂の発生、進展によって破壊が生じることが示されている。溶接継手に対しても同現象が確認できるかを検討し、 10^7 回以上の領域での疲労強度を明らかにする。得られた結果と従来の高サイクル疲労強度曲線を照らし合わせ、超高サイクル疲労領域におけるき裂発生限界を検討する。

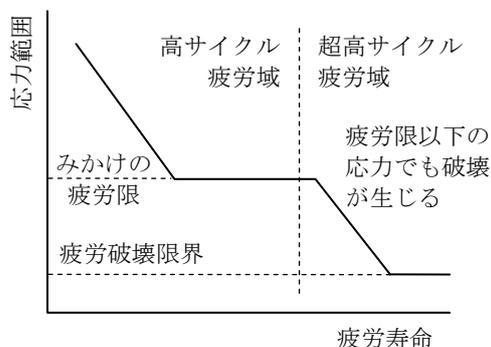


図-3 超高サイクル疲労域まで含んだ鋼素材に対するS-N曲線のイメージ図

4. 研究成果

超高サイクル疲労域における試験データを蓄積するために必要不可欠である、短時間で実施可能な試験システムを構築した。試験状況を図-4に示す。上述のとおり、载荷装置には偏心おもりを内蔵したモーターを用い、モーターが高速回転する際に生じる振動を利用して溶接継手に繰返し変形を与える試験システムである。60Hzまで回転可能なモーターを使用し、かつ载荷フレームや試験体と载荷装置との共振を抑える工夫を施すことにより、通常の疲労試験の数倍程度的高速载荷ができるようになり、試験時間の大幅な短縮(1/6~1/3程度)につながった。

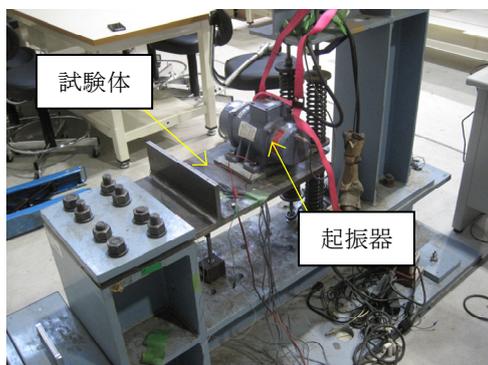


図-4 試験状況

構築した試験システムを用いて、荷重非伝達型のすみ肉溶接継手に対して超高サイク

ル疲労試験を実施した。なお試験体の溶接止端形状を計測したところ、止端半径は0.5mm~1.4mmの範囲内に分布しており、従来の溶接継手と同程度である。

疲労試験結果を図-5に、疲労寿命と応力範囲の関係を表-1にまとめる。今回は応力比をゼロとし、疲労限以下の応力として、まず40N/mm²で試験を行った。その結果、 10^8 回载荷しても疲労破壊はみられなかった。次に応力範囲を50N/mm²に増加させた試験も実施したが、 10^8 回载荷後にき裂の発生はみられなかった。さらに、疲労限付近(約60N/mm²)で载荷を行った試験体では、440万回で破断したものと、 10^8 回载荷後もき裂が発生しないものがあった。

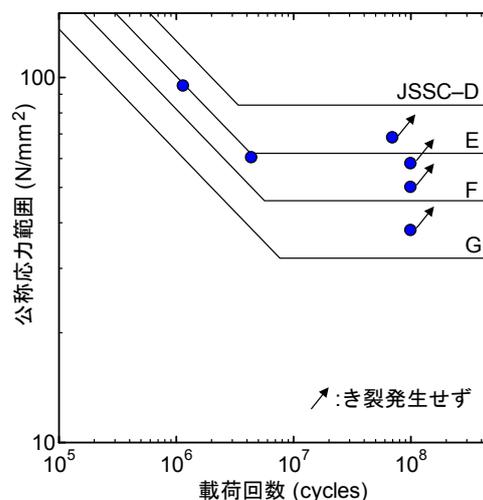


図-5 疲労試験結果

表-1 試験結果のまとめ

試験体 No.	応力範囲 (N/mm ²)	疲労寿命 (百万回)
1	38.1	100*
2	50.0	100*
3	60.3	4.39
4	58.1	100*
5	68.4	70*
6	94.8	1.15

*: 破壊せず

今回の研究では試験結果を十分に蓄積することができず、今後も継続的に試験を実施する必要があるが、本成果より、T字溶接継手に対しては従来の疲労限をそのまま 10^8 回まで適用できる可能性が示されたといえる。

今後は、構築した試験システムを改良して、超高サイクル疲労領域における変動荷重下の疲労損傷度評価手法の確立を行う。変動荷重下において疲労限以下の応力頻度を考慮

する方法としてマイナー則，修正マイナー則，ハイバツハの方法などが提案されているが，それぞれ一長一短がある．超高サイクル疲労領域における変動荷重下での試験結果を蓄積することにより，より合理的な評価手法の開発へと結び付けたい．

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 0 件)

〔学会発表〕 (計 0 件)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

判治 剛 (HANJI, Takeshi)

名古屋大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：80452209

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし