

# 激震時における鋼構造物の破壊の予測と制御

名古屋大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 教授 舘石 和雄

Professor Kazuo Tateishi  
Department of Civil Engineering  
Nagoya University



## はじめに

地震時における土木鋼構造物の破壊モードにはいくつかあるが、ここでは低サイクル疲労を取りあげる。低サイクル疲労とは、針金を何度も逆向きに曲げていると切れてしまうように、材料や部材が比較的少数の繰返し変形を受けて破壊する現象である。土木鋼構造物が地震により大きな繰返し変形を受けると、低サイクル疲労破壊が発生する恐れがある。実際に、阪神大震災や東日本大震災で、低サイクル疲労によると考えられる構造物の部分的な破断が観察されている。

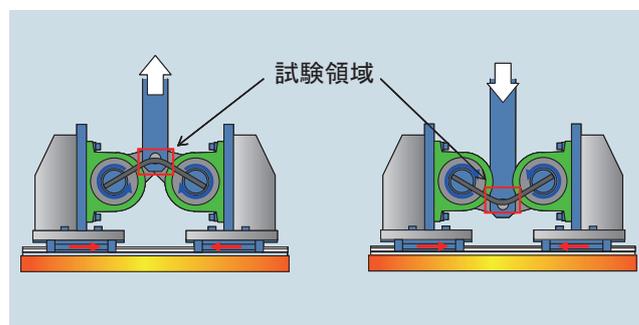
金属の低サイクル疲労に関する研究は古くから行われており、材料に生じるひずみの大きさと疲労寿命(破断に至るまでの繰返し回数)の間に負の相関があることが明らかとなっている。しかし、土木鋼構造物の低サイクル疲労を考える上では、1)地震によって土木鋼構造物に生じるひずみの大きさは、既往の研究で取り扱われていたものよりも大きいこと、2)既往の多くの研究は金属素材を対象としているが、土木鋼構造物において低サイクル疲労が生じるのは溶接継手であり、溶接継手の低サイクル疲労強度を明らかにしなければならないこと、3)土木構造物は規模が大きい一方で、低サイクル疲労が発生する箇所はミリ単位以下の局所領域であるため、全体系と局所領域の力学挙動の関連づけに工夫が必要なこと、が課題となる。

本稿ではこれらの課題を解決するために著者が試みてきた実験的・解析的検討の事例について紹介する。最後に、東北地方太平洋沖地震で観測された地震動を基に、鋼製橋脚の低サイクル疲労破壊の可能性について検討した結果を紹介する。

## 新しい試験システムの開発

低サイクル疲労強度の解明のためには試験片による繰返し載荷実験が必要不可欠である。しかし、従来の試験方法では、座屈の発生により、10%を超えるような大ひずみを導入することは難しかった。また、溶接継手に対する試験も困難であった。そこで、板の面外曲げによって大ひずみを導入することで、座屈の影響を受けず、

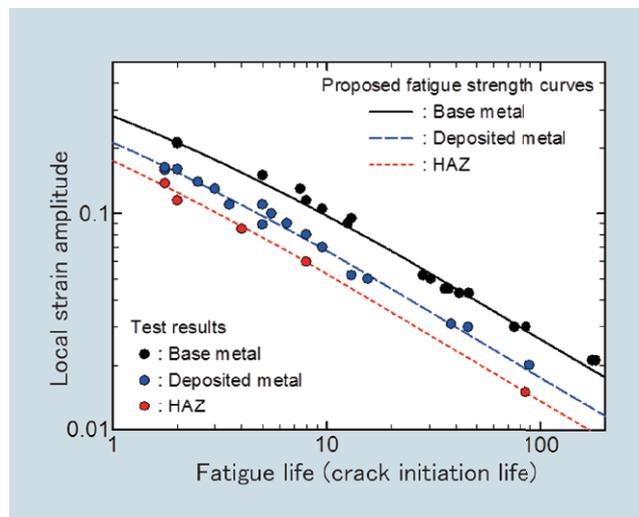
かつ溶接継手の試験も実施できる試験システムを構築した。さらに、大ひずみの計測のために、画像計測技術を用いたひずみ計測手法を開発し、システムに取り入れた。構築した試験システムのイメージを第1図に示す。



第1図 試験システム

## 溶接継手の疲労強度

新たな試験システムを用い、溶接継手に対する低サイクル疲労試験を行い、第2図のような疲労強度曲線を得た。溶接継手では溶接による熱影響により、非常に狭い範囲において材質が大きく変化するが、本試験により、鋼素材部、溶接熱影響部(HAZ)、溶接金属部のそれぞれの疲労強度曲線を明らかにすることができた。

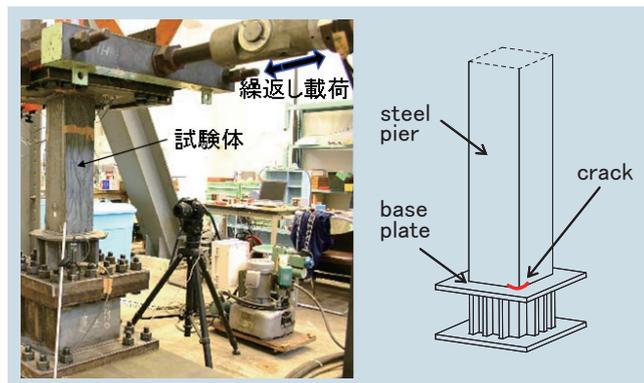


第2図 疲労強度曲線

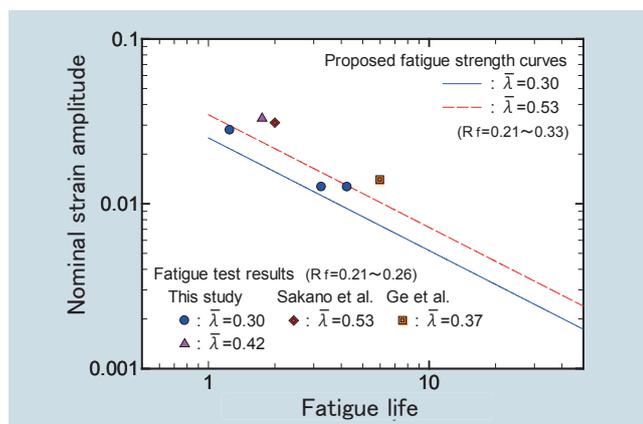
## 鋼製橋脚の低サイクル疲労強度予測

実構造部材の溶接継手に生じるひずみの地震時応答を明らかにするためには、一般に0.1mmを下回る極めて細かな要素を用いた有限要素解析が必要となる。一方、土木構造部材の寸法はメートルのオーダーである。そのため、部材全体の応答と、き裂発生位置での局所的な応答とを一度に解析することは、理論的には可能ではあるが、計算機コストや労力などを考えると非現実的である。

そこで、解析モデルのスケールを段階的に変えた弾塑性有限要素解析を行い、それらの結果を組み合わせることで、部材の全体挙動からき裂発生位置でのひずみを推定する式を構築した。これと、前項で述べた疲労強度曲線を用いて、第3図に示すような鋼製橋脚試験体の基部に発生するき裂を対象に、低サイクル疲労強度を推定した結果が第4図である。縦軸は全体構造に対する簡易な解析から求められるひずみである。細長比パラメータ $\lambda$ によって強度は異なるが、本解析によって低サイクル疲労強度を予測できていることがわかる。



第3図 鋼製橋脚試験体



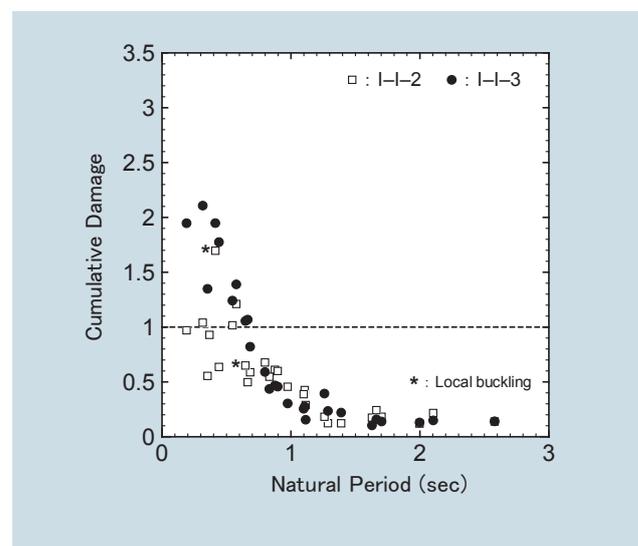
第4図 疲労強度の予測結果

## 東北地方太平洋沖地震による低サイクル疲労破壊の可能性

東北地方太平洋沖地震で観測されたような継続時間の長い地震動は、多数のひずみの繰返しをもたらすこと

から、低サイクル疲労にとっては厳しい条件となる。そこで、前項までに示した手法によって、同地震で観測された、開北橋周辺(I-I-2)、新晩翠橋周辺(I-I-3)での地震波を実鋼製橋脚モデルに入力し、低サイクル疲労の可能性について検討した。第5図に解析結果の一例を示す。縦軸は疲労損傷度であり、これが1.0を超えると低サイクル疲労が生じることを意味している。固有周期が短い橋脚において、低サイクル疲労が発生する危険性が高いことがわかる。

なお、溶接部に疲労強度向上のための処理を行うと、ほとんどの場合において疲労損傷度が1.0を下回ることを確認しているが、紙面の都合上、詳細は省略する。



第5図 東北地方太平洋沖地震動での疲労損傷度

## まとめと今後の展望

東北地方太平洋沖地震のように継続時間の長い地震動により、鋼製橋脚に低サイクル疲労損傷が生じる可能性があるという予測結果となった。大規模な海溝型地震の発生が明日にでも予測されている現在、土木鋼構造物の低サイクル疲労損傷を少しでも減らす努力が必要であり、弱点箇所の抽出と対策法の開発、低サイクル疲労による部材の限界状態の解明、低サイクル疲労設計法の確立などが必要であると考えている。

## 参考文献

- (1) Tateishi, K., Chen, T., Hanji, T.: EXTREMELY LOW CYCLE FATIGUE ASSESSMENT METHOD FOR UN-STIFFENED CANTILEVER STEEL COLUMNS, 土木学会論文集, Vol.64, pp.288-296 (2008)
- (2) 館石和雄, 植測脩司: 止端処理を施した溶接継手の極低サイクル疲労強度とその簡易推定法, 土木学会論文集A1, Vol.67, pp.294-306 (2011)

## 館石 和雄(たていし かずお)氏 略歴

1990年4月 東京工業大学 助手、講師、助教授  
 1997年7月 東京大学 助教授  
 2000年4月 名古屋大学 助教授  
 2003年4月 名古屋大学 教授 現在に至る