

平成 30 年 4 月 24 日

公益信託 NEXCO 関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金
受託者 三菱UFJ 信託銀行株式会社 宛

研究概要書

研究課題：地震負荷履歴を受けた鋼構造物の残留強度評価のための二重損傷モデル

研究代表者： 東北大学災害科学国際研究所 教授 寺田 賢二郎

共同研究者： 大阪大学接合科学研究所 准教授 堤 成一郎

共同研究者： 筑波大学システム情報系 助教 新宅 勇一

はじめに

鋼製橋梁などの鋼構造が大地震による負荷を受けると、目視での変状は認められないまでも継手や溶接部には塑性変形が蓄積しうる。このとき、一般に加工硬化により材料の降伏強度が増加する傾向がある一方で、延性は逆に低下するため、事後の材料強度は設計時に見込んでいた変形能を大きく下回る可能性があり、次の大きな揺れに際しては、この弱点を起点とした構造全体あるいは重要部材の損壊に至る危険性が指摘される。

1. 研究の目的

本研究では、このように繰り返し地震に曝される鋼構造について、極低サイクル疲労に対する危機耐性の評価手法の確立を意図して、目視では困難な傷み具合を推定しうる構成則を構築することを目的とする。

2. 二重損傷モデルの定式化

本研究では、有限変形理論に基づく標準的な等方・移動複合硬化型弾塑性モデルに対して、Lemiatre が提案した損傷変数 D_p ^[1] に加えて、新たな損傷変数 D_F を導入した有限変形・弾塑性損傷モデルを提案した。ここで、図-1 のように第 1 の損傷変数 D_p は微小ボイドの発生と成長過程を表し、第 2 の損傷変数 D_F は微小ボイド同士の合体による延性き裂の進展を表現する。この延性き裂の進展による応力の解放過程を表現するために、き裂開口変位 w と結合力の関係を考慮して損傷モデル D_F を定義した。

また、繰り返し荷重後の塑性ひずみの蓄積による破断伸びの低下を表現するために、微小ボイドの発生と成長による延性き裂進展開始時の等価ひずみ ε_c の低下を考慮するために、 ε_c に第 1 の損傷変数 D_p を導入して定式化を行った。すなわち、 ε_c はボイドの合体基準である臨界ボイド率に相当し、この定式化は塑性ひずみが蓄積されることによる臨界ボイド率の低下を意味する。

3. 実験結果との比較、および適用例

まず、数値解析の結果と比較するために、溶接構造の溶接部に広く利用されている SM490A に対して、単調引張試験および塑性ひずみ範囲一定の繰り返し荷重下での疲労試験を実施した。具体的には、静的強度・疲労強度・疲労損傷後の静的強度を評価するために、砂型丸棒試験片を用いて計 3 ケースの実験を行った。実験結果と併せて、数値解析の結果から得られた真応力-全ひずみ関係を図-2 に示す。この図より数値解析の応力-ひずみ関係は実験結果とよく一致しており、疲労損傷後の静的強度も定量的に予測できていることがわかる。また、新たな損傷変数 D_F を導入したことで、応力が引張強さに達した後の材料軟化まで再現可能となったことが確認できる。一方、疲

労試験における破断までの繰り返し回数は数値解析が 8, 14 となったのに対して、実験が 7, 12 であった。このことから提案した二重損傷モデルは極低サイクルの疲労寿命を予測するに十分な再現性能を有していると言える。

最後に、地震動を想定して外荷重を加えた隅角部を有する鋼製橋脚に対して、本研究で提案した二重損傷モデルを適用して動的問題の解析例を提示する。この結果から得られた橋脚中央部におけるミーゼス応力と隅角部での損傷分布を図-3に示す。この図より、応力が集中する隅角部において、地震動に伴って損傷が蓄積されている様子が確認される。

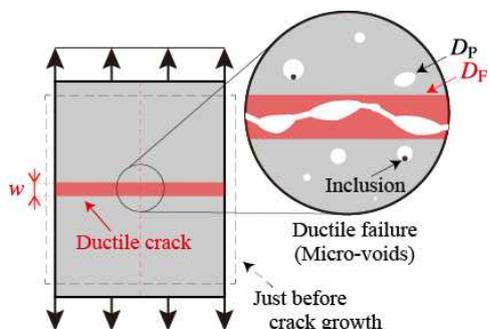
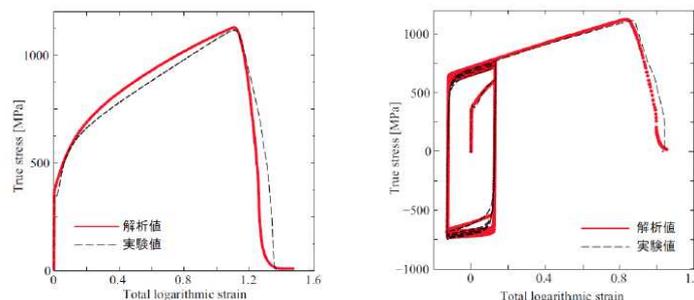
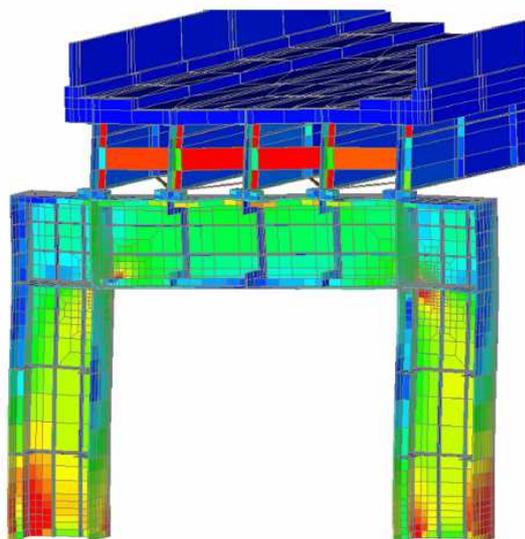


図-1 二重損傷モデルの概要

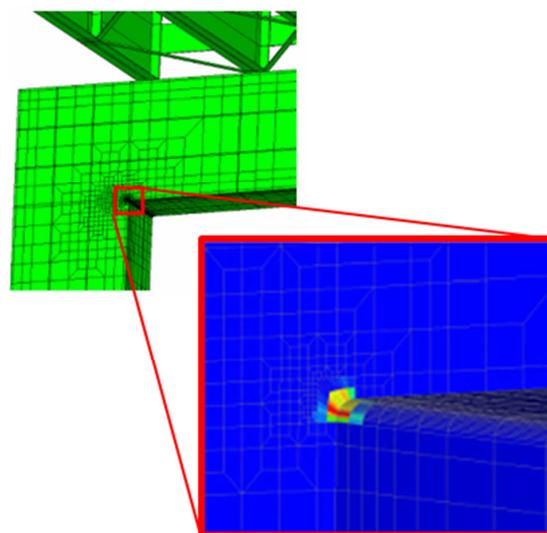


(a) 単調引張試験による静的強度 (b) 疲労損傷後の静的強度

図-2 数値解析および実験との比較



(a) 橋脚中央部におけるミーゼス応力の分布



(b) 隅角部における損傷分布

図-3 地震動を想定して外荷重を加えた隅角部を有する鋼製橋脚の解析例

4. まとめ、今研究で得られた成果、今後の課題等

本研究では、繰り返し地震に曝された鋼構造の残存強度評価のための二重損傷モデルを提案した。そして、数値解析の結果と実験を比較することで提案モデルの妥当性について確認した。さらに、地震動を想定して外荷重を加えた隅角部を有する鋼製橋脚に適用した。本研究を始めた初期の成果の一部は既に学会発表^[2]を行っており、今後さらに提案モデルの妥当性について検討したうえで国際誌への論文投稿も計画している。ただし、鋼製橋脚の数値解析例についてはさらに詳細なデータ分析を行い、実際の構造物との比較を行う必要があると考えている。

<参考文献>

- [1] Lemaitre, J., A continuous damage mechanics model for ductile fracture, *J. Eng. Mater. Technol.*, Vol. 99, pp. 2-15, 1977.
- [2] 新宅勇一, 番場良平, 渡部慎也, 堤成一郎, 寺田賢二郎, 繰り返し载荷を経験した鋼構造物の残存耐力評価のための基礎的検討, 第22回計算工学講演会, 大宮, 2017年5月31~6月2日.