

# 鋼製橋脚の耐震性能照査における損傷評価指標に関する一考察

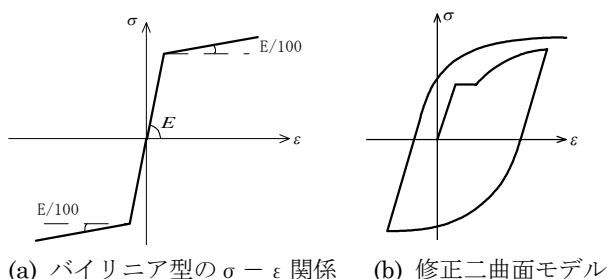
株式会社 長 大 正会員 ○沈 赤  
正会員 矢部正明

## 1. まえがき

一般に、鋼製橋脚は RC 橋脚に比較して、最大耐力後の水平耐力の低下が著しいことが知られている。しかし、道路橋示方書 V 耐震設計編に規定される地震時保有水平耐力法で想定する地震動に対しては、鋼製橋脚は、最大耐力時を耐震設計上の許容値としており、RC 橋脚に比較して、そのリダンダンシーは少ないといえる。このため、鋼製橋脚では、橋脚に生じる非線形応答をできるだけ精度良く求めるために、非線形動的解析が、耐震計算法として定着している。ここでは、ファイバーモデルを用いた非線形動的解析を行う場合、その損傷評価をひずみで行う場合の問題点を例示するとともに、当面、曲率や変位によって耐震性能の照査を行うことを提案する。

## 2. 解析モデルの設定

ここでは、建設省土木研究所などの 5 社共同研究で実施された鋼製橋脚の正負交番載荷実験に用いた矩形断面を有する供試体のうち、座屈パラメータが道路橋示方書の制限値を満足する供試



(a) バイリニア型の  $\sigma - \epsilon$  関係 (b) 修正二曲面モデル

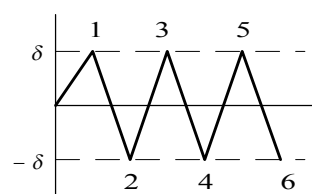


図-2 変位の載荷パターン

図-1 解析に用いる応力-ひずみ関係の構成則

体 KD-1 を検討対象とする。解析は、ファイバーモデルを用いて行う。図-1 は、ファイバーモデルの微小要素に与えた鋼材の弾塑性構成則である。1%のひずみ硬化を有するバイリニア型の応力-ひずみ関係は、移動硬化則に従い、鋼製橋脚の Pushover 解析や非線形動的解析によく用いられているモデルである。修正二曲面モデルは、鋼材の引張材料試験データに基づいて、初期降伏時の降伏棚や、Bauschinger 効果および繰返しによる塑性ひずみの硬化などの影響を考慮したものである<sup>1)</sup>。鋼製橋脚には、橋脚天端に一定の圧縮軸力と繰返し水平荷重（変位）を作用させる。着目量は、橋脚基部断面の曲率と薄肉矩形断面のフランジのひずみである。また、正負交番の繰返し載荷における軸力比と変位振幅の大きさが、橋脚基部断面の曲率とひずみに与える影響を調べるために、図-2 に示す載荷パターンにおいて変位振幅を  $1.5\delta y$ ,  $2\delta y$ ,  $3\delta y$ 、軸力比を 10%, 15%, 20%と変化させた。

## 3. 解析結果

図-3 は、実験と弾塑性解析より得られた水平荷重-水平変位関係を比較したものである。解析では、鋼製橋脚に作用させる軸力と繰返し水平変位は、鋼製橋脚の正負交番載荷実験と同じ値を用いている。図-3 に示すように、最大荷重は、バイリニアモデルと修正二曲面モデルの両解析結果とも、実験値との差が小さいことがわかる。しかし、除荷・再載荷時の水平荷重-水平変位関係の軌跡を見ると、修正二曲面モデルの方が実験結果をよく再現できていることがわかる。載荷終了時に供試体基部断面のフランジに生じたひずみを比較すると、修正二曲面モデルでは 1.5%、バイリニアモデルで

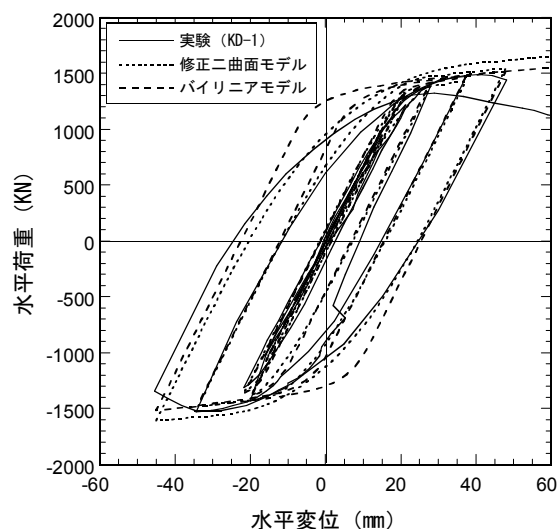


図-3 対象供試体の解析結果と実験の比較

キーワード 鋼製橋脚, 繰返し載荷, ファイバーモデル, 構成則, 修正二曲面モデル, 累積ひずみ  
連絡先 〒305-0821 茨城県つくば市春日 3-22-6 電話: 0298-55-3113 FAX: 0298-52-8545

は約 3%と、前者の 2 倍近い値が得られている。このように、繰返し載荷のシミュレーションを行うと、ほぼ同じ荷重と変位を作用させていても、応力-ひずみ関係の構成則の違いによって、ひずみに大きな差が生じることがわかる。

図-4 は、一定変位振幅の正負交番載荷の解析より得られた鋼製橋脚基部断面の両フランジと、断面中心におけるひずみの履歴を示したものである。軸力比は 15%，変位振幅は  $2\delta y$  である。横軸は繰返し載荷の回数を示す。図-4 より、正負対称となる水平変位を繰返し載荷しているにもかかわらず、圧縮軸力の影響によって、ひずみの履歴は圧縮側に偏っていることがわかる。バイリニアモデルを用いた解析より得られるフランジの圧縮ひずみは、繰返し載荷の回数が増加するとともに、ひずみの累積量も増えている。修正二曲面モデルの場合には、最初の載荷 path でフランジに生じた圧縮ひずみが最も大きく、繰返し載荷の回数が増えても、ひずみの累積量はわずかに変化するだけである。このような傾向は、軸力比と変位振幅を変化させた解析でもみられる。当然、軸力比や変位振幅が大きいほど、圧縮ひずみの累積量は大きくなる傾向にあるが、軸力比が 10% 程度ならば、フランジに生じる圧縮ひずみの累積量は小さく、実用上は無視できる。

図-5 は、基部断面の曲率と繰返し載荷の関係を示したものである。バイリニアモデルの場合には、曲率は繰返し載荷の影響を受けずにほぼ正負対称となっている。修正二曲面モデルの場合には、最初の載荷 path で曲率が最も大きくなり、その後曲率は繰返し回数が増えるとともに徐々に小さくなり、一定値に収束する傾向にある。これは、修正二曲面モデルは降伏棚が存在する（図-1 参照）ことから、最初の載荷 path で大きなひずみが生じやすく、その後は応力-ひずみ関係は安定した曲線を描くからと考えられる。曲率の最大値だけに着目するならば、バイリニアモデルと修正二曲面モデルの曲率は、ほぼ等しいことがわかる。

#### 4. まとめ

以上の解析結果より、繰返し載荷を受ける鋼製橋脚基部断面のひずみと曲率に対して次のことがわかった。

- 1) ファイバーモデルを用いた繰返し載荷の弾塑性解析では、鋼製橋脚基部断面のひずみが累積されることがわかった。このため、非線形動的解析より得られたひずみで橋脚の損傷を評価することは、Pushover 解析の結果に比べ、その損傷を過大評価する可能性がある。
- 2) 橋脚基部断面の曲率は、繰返し載荷の影響をほとんど受けないため、地震時に鋼製橋脚に生じる損傷の評価は、Pushover 解析より得られたものと同じ基準で行うことができる。
- 3) 応力-ひずみ関係の構成則の違いは、ファイバーモデルを用いた繰返し載荷に対する弾塑性解析に与える影響が大きいので、この点を十分踏えて、解析結果を評価する必要がある。

参考文献：1) C. Shen Y. Tanaka E. Mizuno T. Usami: "A Two-surface Model for Steel with Yield Plateau", Proc. Of JSCE, Structural Eng./Earthquake Eng., Vol.8, No.4, Jan., 1992

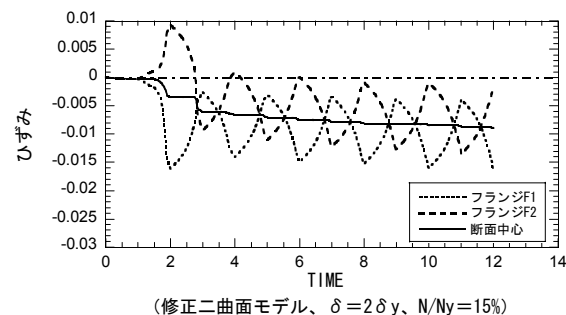
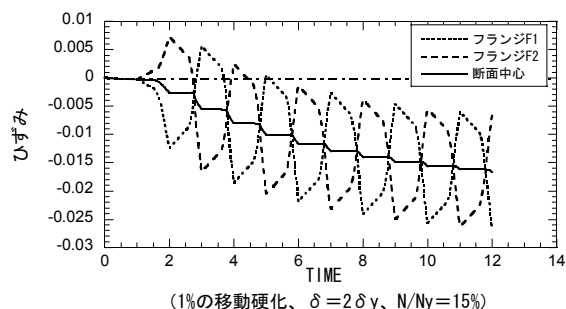


図-4 基部断面のひずみ履歴

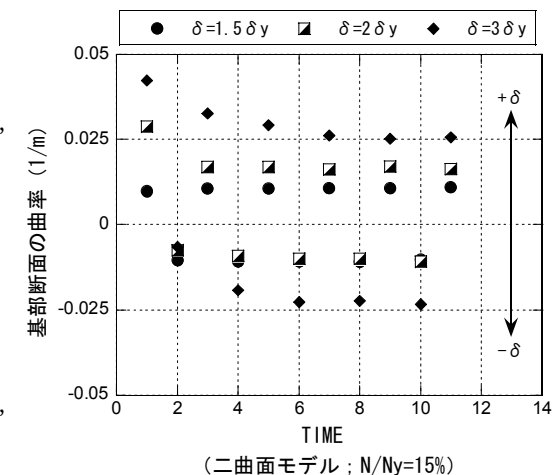
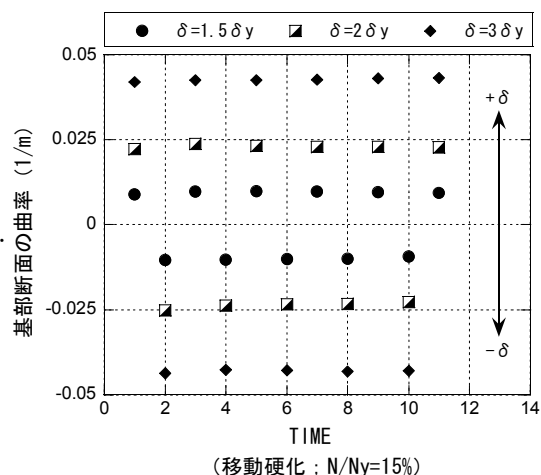


図-5 基部断面の曲率の変化