

第 I 部門

鋼製橋脚の 2 軸漸増繰返し大変形挙動に及ぼす接線塑性の影響

大阪大学 接合科学研究所

学生員

○佐野 萌

正会員

堤 成一郎

Fincato Riccardo

日建エンジニアリング(株)

正会員

梶井 秀斗

1. はじめに

我が国の道路橋示方書¹⁾では鋼製橋脚の耐震性は通常、橋脚軸方向と橋脚軸直角方向の地震波の 1 方向入力に対してそれぞれ独立に評価することが規定されているが、鋼製橋脚に要求される耐震性能をより確実に照査するには、水平 2 方向の地震動の連成を考慮することが重要である。しかしながら、鋼製橋脚の耐震性能を支配する設計パラメータのデータ蓄積を実験のみに頼るのは膨大な費用および時間を要する為、実験を補完することのできる数値解析手法が求められる。一般に、非比例負荷を受ける材料および構造体を対象としたシミュレーション結果の精度低下の一因として、滑らかな塑性ポテンシャル面を仮定する従来の弾塑性構成式における欠点が考えられる。一方、著者ら²⁾は、非比例負荷に対する材料の繰返し非弾性変形を表現可能な接線塑性弾塑性構成式を提案している。しかしながら、具体的境界値問題に対するその適用は極めて限定的であった。そこで本研究では、種々の 2 方向漸増繰返し負荷を受ける鋼製橋脚を対象として、接線塑性を考慮した弾塑性構成式を採用した有限要素シミュレーションを実施し、提案モデルとそれを考慮しない従来モデルで得られる応答特性の比較と考察を行う。

2. 材料モデルおよび解析条件

図 1 に本研究で対象とした矩形断面鋼製橋脚の模式図を示す。有限要素モデルは 6 面体 1 次要素を用いてメッシュ分割し、座屈を伴う大ひずみが予想される橋脚下部はより詳細なメッシュ分割を行った。本研究で採用した水平 2 軸漸増繰返し解析に採用した変位経路は先行研究³⁾により採用されたものと同様であり、それらのうち 4 経路を図 2 に示す。解析に用いた材料構成モデルは、繰返し負荷問題に対して提案された弾塑性構成式で、接線塑性の影響を考慮した接線塑性弾塑性構成式（以下、接線塑性モデル）と、それを考慮しない従来型弾塑性モデル（以下、従来モデル）の 2 種類である。供試体に用いられた材料は SM490 であり、接線塑性に関するもの以外のパラメータは、単軸の繰返し応力ひずみ関係から材料定数を同定している。

3. 解析結果

解析結果の例として、水平 2 軸繰返し解析における従来モデルと接線塑性モデルの荷重-変位特性を図 3, 4 に示す。いずれの負荷経路の応答においても、従来モデルで生じるピーク荷重やピーク荷重以降のサイクル終了時に生じる荷重に比べ、接線塑性モデルで生じる荷重は小さく、また、接線塑性モデルの従来モデルに対する荷重の低下率は負荷経路に依存するという結果が得られた。

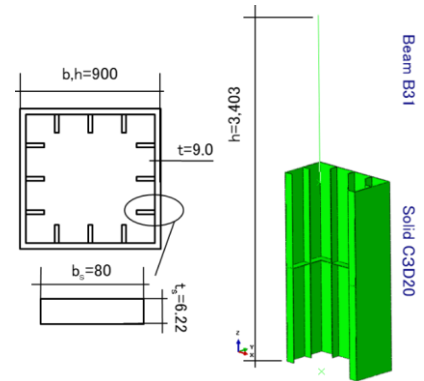


図 1 解析モデル

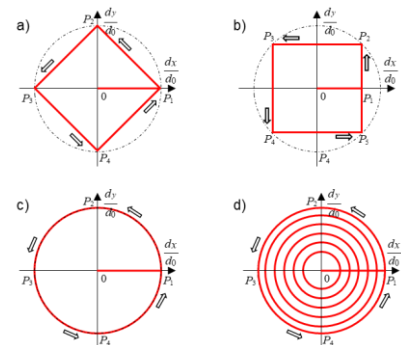


図 2 採用した変位経路の一例

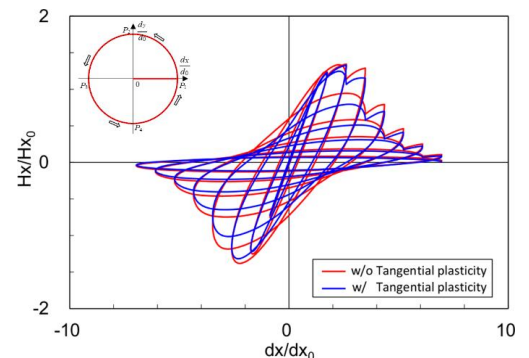


図 3 荷重-変位特性の一例

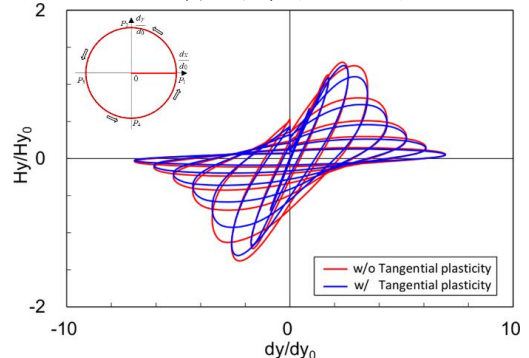


図 4 荷重変位特性の一例

次に、終局状態に至るまでの特定繰返し回数における鋼製橋脚基部の変形図の比較を図5に示す。橋脚基部の特徴的な座屈変形パターンにおいては、いずれの負荷経路においても従来モデルと接線塑性モデルで大きな差異はない。しかし、従来モデルに比べ接線塑性モデルは座屈変形がより卓越していることが確認できる。従って、前述のように従来モデルに比べ接線塑性モデルのピーク荷重が低下したことが分かる。

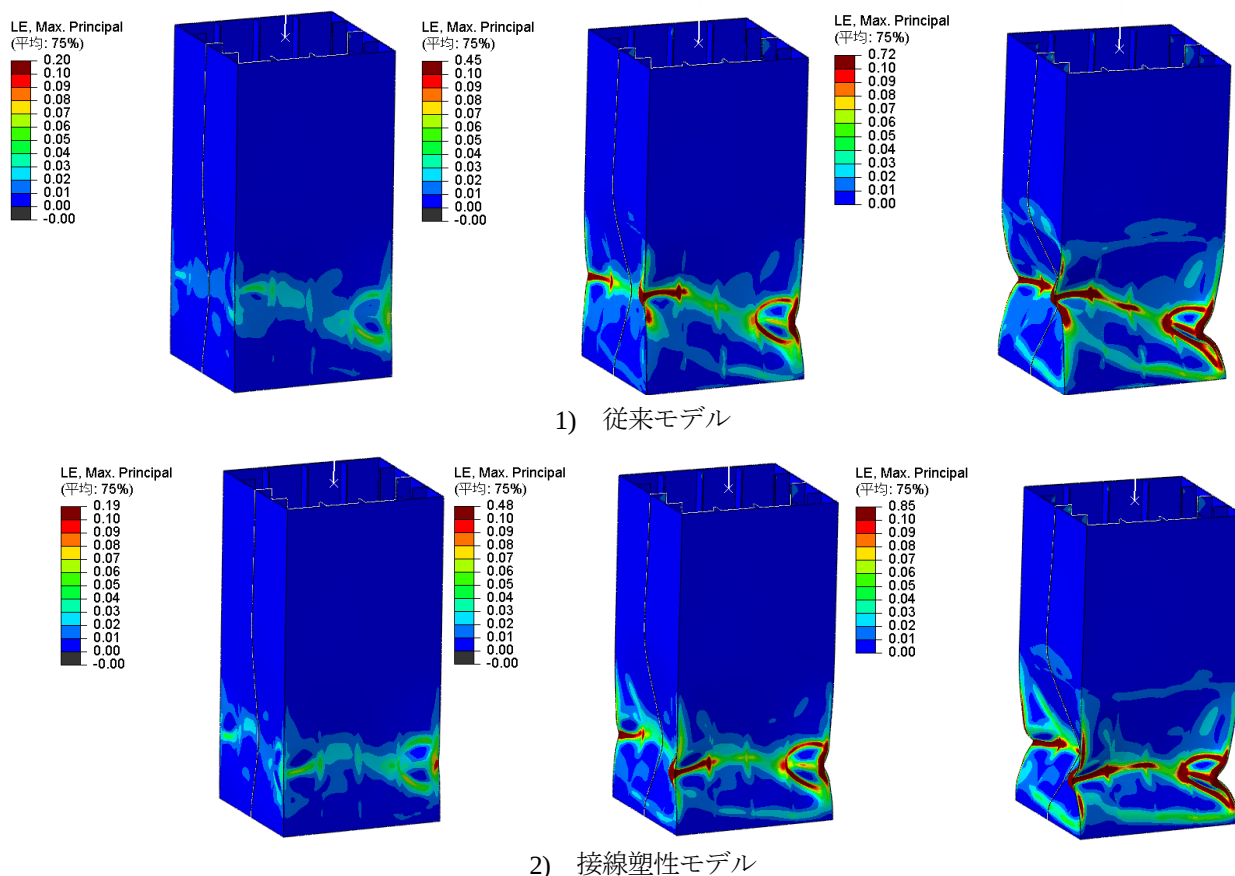


図5 終局状態に至るまでの特定繰返し回数における鋼製橋脚基部の変形図の比較

4. まとめ

本論文では、矩形断面鋼製橋脚の水平2軸漸増繰返し負荷問題に対して、接線塑性を考慮した弾塑性モデルを適用し、接線塑性ひずみを考慮しない従来の弾塑性モデルとの比較を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 従来モデルに比べ接線塑性モデルでは橋脚基部により早い段階からひずみの局所化が発生し、当該供試体の特徴的な座屈変形がより明確に観察される。その結果、上記の通り従来モデルに比べ荷重が低くなる。
- 2) 同鋼製橋脚の水平2軸負荷下における従来モデルと接線塑性モデルを比較した結果、両者に大きな変形パターンの差異はないものの、いずれの負荷経路においても接線塑性モデルで予測される荷重は従来モデルに比べて低くなる傾向が得られた。
- 3) ただし、接線塑性モデルの従来モデルに対する荷重の低下率は負荷経路に依存する。これは、接線塑性モデルは従来モデルに比べ、材料が受ける負荷経路の依存性をより明確に表現できるためであると考えられる。
- 4) 以上のことから、従来モデルにより予測された鋼製橋脚の耐荷重は危険側に予測されている可能性があることを示唆しているとともに、ある特定の荷重経路で予測された耐荷重性能は、他の負荷経路に対する耐荷重性能と異なる可能性を示している。従って、より確実な耐震性能評価を目的として、水平2軸の連成や実際の地震波を考慮した数値解析を実施する場合、従来の流動則に従う塑性ひずみに加えて、接線塑性ひずみを考慮することが重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（V耐震設計編），2002。 2) 初井秀斗，堤 成一郎，Riccardo Fincato：非比例高サイクル疲労下の繰返し硬軟化挙動に対する接線塑性構成式の拡張，土木学会論文集 A2（応用力学），73, 2 (2017), I_367-I_378。 3) 安波博道，寺田昌弘，名取暢，寺尾圭史，西川和廣：弾塑性 FEM による鋼管柱載荷実験のシミュレーション解析，鋼構造論文集，vol.3, pp.1-10, 1996。