

修正二曲面モデルによる長時間地震時の鋼製橋脚耐力低下に関する検討

関東学院大学大学院 学生会員 ○萩原 巧 関東学院大学 正会員 北原 武嗣
 関東学院大学 正会員 大谷 友香

1. 研究背景

巨大海溝型地震で懸念される長時間地震動では、主要動後に数十～数百回のオーダーとなる繰り返しの変位振幅履歴が構造物に作用することが考えられる。実際、2011年東北地方太平洋沖地震では300秒を超えるような継続時間の地震動が観測されている。

このような背景のもと、単柱式の鋼製橋脚を対象として繰返し載荷実験や解析により耐力低下に関する検討を実施してきている¹⁾。本研究では、長時間地震動を受ける既設鋼製橋脚の耐力低下に関して、鋼材の繰返し履歴性状を詳細に評価することが可能な修正二曲面モデルを構成則として用いた検討を行うものとする。

2. 解析概要

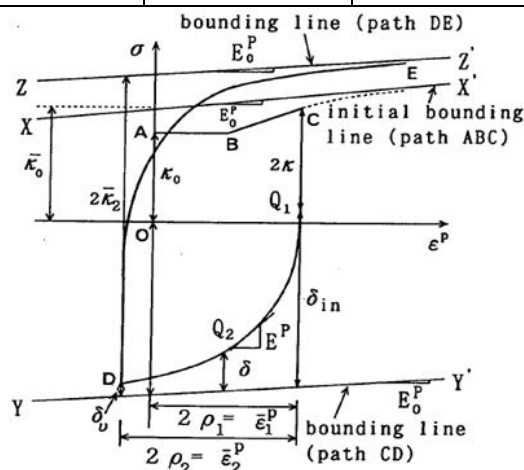
2.1 材料構成則

修正二曲面モデルとは、Dafalias・Popovモデルを基に、累積相当塑性ひずみの概念を導入し、図1に示すような、降伏曲面の減少を表現できる構成則である。修正二曲面モデルを適用するにあたり、鋼材の材料実験結果に基づいたモデルパラメータを設定する必要がある。文献2)では、SS400材に使用する推奨値が示されているが、今回検討したような数十回～数百回に及ぶ繰返し履歴まで考慮されていないと考えられる。そこで、本研究では降伏曲面の移動や大きさを制御するパラメータである、 a 、 α （式(1)参照）に関して、繰返しによる降伏曲面の減少を推奨値よりも小さく評価されるようなパラメータを考慮した。これらのパラメータ値を表1に示す。式(1)によって降伏曲面の減少が考慮される²⁾。

$$\frac{\kappa}{\kappa_0} = \alpha - a \times \exp(-b\bar{\epsilon}^p \times 100) - (\alpha - a - 1)\exp(-c\bar{\epsilon}^p \times 100) \quad (1)$$

表1 降伏曲面の減少を制御するパラメータ

パラメータ	推奨値	変更値
a	-0.505	-0.9
α	0.191	0.35

図1 修正二曲面モデルの応力-ひずみ履歴²⁾

2.2 解析モデル

本研究では、既往の研究¹⁾と同様に既設の鋼製橋脚を対象として、図2および表2に示す解析モデルとした。境界条件については、モデル基部を6自由度拘束し、モデルの切断面に対象条件を与えた。荷重は、解析モデル上部に上部構造死荷重相当の軸力を与え、水平方向には漸増載荷および繰返し載荷型の強制変位を与えた。

表2 解析モデルの構造諸元

橋脚高さ H(mm)	1572
フランジ幅 b(mm)	372
ウェブ幅 h(mm)	262
板厚 t(mm)	6
ヤング率 E(N/mm ²)	2.06×10^5
幅厚比パラメータ R_f	0.66
細長比パラメータ $\bar{\lambda}$	0.37



図2 解析モデル

キーワード 長時間地震動, 鋼製橋脚, 耐力低下, 修正二曲面モデル, 累積エネルギー

連絡先 〒236-8501 横浜市金沢区六浦東 1-50-1 関東学院大学 TEL: 045-786-5809 E-mail: kitahara@kanto-gakuin.ac.jp

3. 解析結果

3.1 荷重—変形関係

図3に荷重—変形関係に関して実験結果と、構成則として移動硬化型バイリニアモデル、および修正二曲面モデルを用いた解析結果の比較について示す。移動硬化型バイリニアモデル、修正二曲面モデルともに、全般的に実験結果を精度良く評価できているといえる。

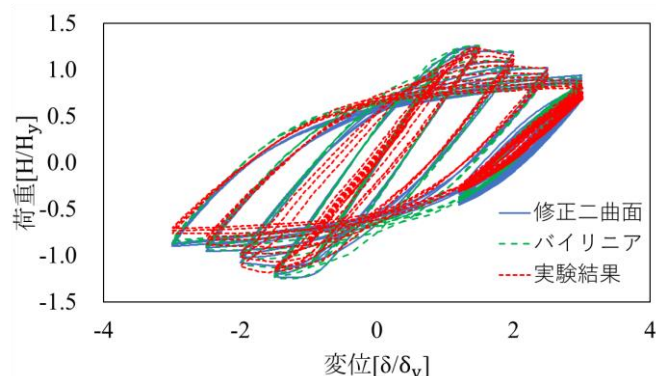


図3 荷重—変位関係比較

3.2 耐力低下率

図4に耐力低下状況を示す。30回繰り返しに対しての耐力低下率が、実験結果では10.9%であるのに対し、移動硬化型バイリニアモデルが2.75%、修正二曲面モデルでは15.48%となっており、移動硬化型バイリニアモデルよりも修正二曲面モデルの方が若干実験値に近いといえる。しかしながら、変更したパラメータを用いた修正二曲面の結果は少し過大評価の傾向である。

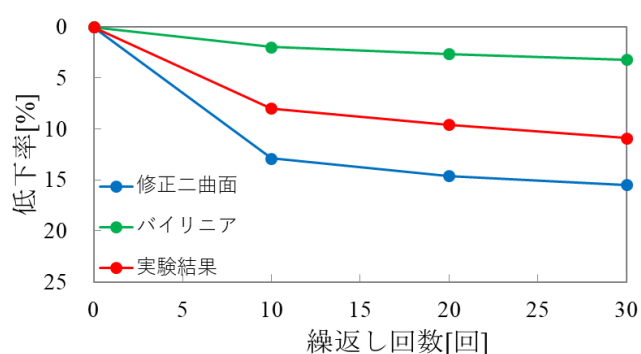


図4 耐力低下状況

3.3 累積エネルギーの比較

図5に塑性累積エネルギーの履歴を示す。縦軸は塑性累積エネルギーを弾性エネルギーで除した値を、横軸には半サイクル数を示している。正負交番の繰り返し変位履歴を1サイクルとし、正側、負側の変位をそれぞれ半サイクルとして、横軸に示している。

図5より、 $3\delta_y$ の正負交番載荷までの累積エネルギーは、二つの材料構成則で実験結果とおおむね一致している。その後30回の弾性範囲の繰り返しでは、移動硬化型バイリニアモデルの方が実験結果と一致しており、修正二曲面モデルではエネルギー吸収が若干大きく評価されていることがわかる。

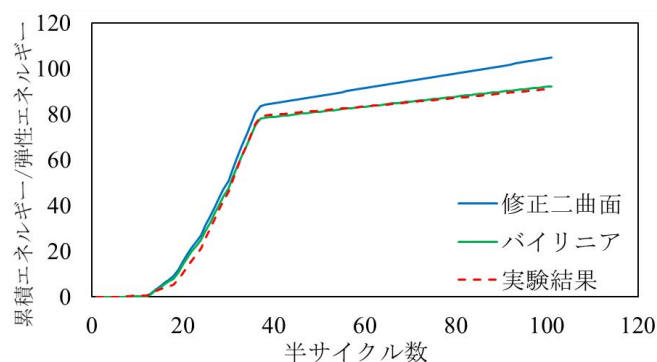


図5 エネルギー吸収量の比較

4. まとめ

繰り返し履歴を受ける鋼製橋脚の耐力低下を精度良く評価することを目的に、材料構成則として修正二曲面モデルを用いた検討を行った。

荷重—変形関係は移動硬化型バイリニアモデルと修正二曲面モデルの両者ともにほぼ同等の精度で実験結果を評価できており、耐力低下率に関しては、若干過大評価側ではあるが、修正二曲面モデルの方が移動硬化型バイリニアモデルよりも精度が良くなった。一方、塑性累積エネルギーは移動硬化型バイリニアモデルの方が実験結果に近い傾向を示した。

鋼材の繰り返し履歴を詳細に検討することができる修正二曲面モデルにおいて、境界曲面や降伏曲面の移動や大きさを制御するパラメータのより適切な値について、引き続き検討をする必要がある。

参考文献

- 1) 北原武嗣, 岸祐介, 鈴木拓馬, 山口隆司: 長時間地震動が作用する鋼製橋脚の耐力低下に関する解析的検討, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) Vol.71, No.4, 地震工学論文集, Vol.34, pp.I_807-I_814, 2015.
- 2) 水野英二, 沈赤, 宇佐美勉: 鋼素材に対する修正二曲面モデルの一般定式化, 構造工学論文集, Vol.40A, pp235-248, 1993.