

漸増繰返载荷後に定振幅繰返载荷を受けるパイプ断面鋼製橋脚の
耐力低下に関する解析的研究

熊本大学大学院 学生会員 ○八戸 翔平 熊本大学大学院 学生会員 橋本 洗平
熊本大学大学院 正会員 葛西 昭 関東学院大学 正会員 北原 武嗣

1. 緒言

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震は、種々の社会基盤施設にも被害を生じさせた。この地震の特徴の1つとして、継続時間の長い地震動であることがまとめられている。この地震によって鋼製橋脚そのものの被害報告はないが、同種の地震で橋脚の最大耐力後（いわゆるピーク後）に、若干塑性化が進行する程度の地震動が長時間続くと損傷が発展する恐れがあることは容易に想像がつく。しかし、現状では、継続時間の長い地震動を対象とした研究成果は乏しく、文献1)に見られる程度である。同文献では、最大荷重を経験した後、30回の繰返し振幅を受けるような载荷パターンでの実験および数値解析を行っているが、特に、数値解析における鋼材の構成則として、移動硬化型バイリニアモデルを用いており、ポストピークにおける材料の追従性としては研究課題を残している。そこで、本研究では、より精緻な構成則として、修正2曲面モデル²⁾を用いて文献1)に準ずる基礎的な検討を行い、このような状況下のパイプ断面鋼製橋脚の耐震性能の検討を行う。

2. 解析対象および鋼製橋脚の強度と変形能の算定方法

本研究の解析対象は、図1に示すパイプ断面鋼製橋脚とした。解析には汎用有限要素法解析プログラムABAQUS³⁾を用いた。繰返し構成則としては精緻な構成則である修正2曲面モデルと比較対象として移動硬化型バイリニアモデルを用いた。変形が大きいと予想される柱基部から3つ目のダイヤフラムまでをシェル要素でモデル化し局部座屈を再現できるようにした。使用鋼材はSM490とし、特に初期不整は考慮しないものとした。

構造パラメータは、径厚比パラメータが0.1と0.05の2パターンとした。本解析に用いる材料定数や構造諸元はそれぞれ表1、表2のとおりである。同表において、 E は弾性係数、 σ_y は降伏応力、 ν はポアソン比、 R_t は径厚比パラメータ、 $\bar{\lambda}$ は細長比パラメータ、 D は直径、 t は板厚である。

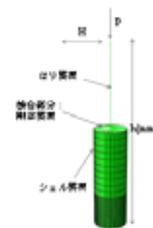


図1 鋼製パイプ断面橋脚の解析モデル図

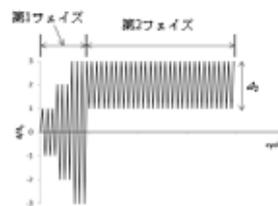


図2 繰返载荷パターン

表1 使用鋼材の材料定数

鋼種	$E(\text{GPa})$	$\sigma_y(\text{MPa})$	ν
SM490	200	315	0.3

表2 構造諸元

R_t	$\bar{\lambda}$	$D(\text{mm})$	$t(\text{mm})$
0.1	0.395	789	10
0.05	0.4	789	20

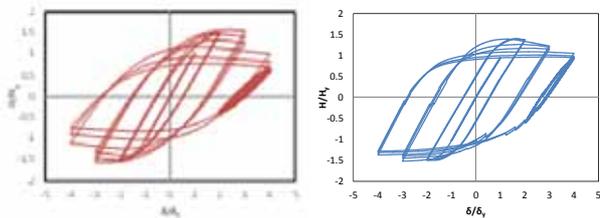
3. 载荷パターン

漸増繰返载荷後は、文献1)にならって、30回の定振幅繰返载荷とした。具体的には漸増繰返载荷で $1.0\delta_y$ 刻みの変位振幅を与え、最大荷重を履歴後30回の繰返振幅を与えた。漸増繰返载荷の変位 Δ_1 は $3.0\sim 6.0\delta_y$ とし、定振幅部分の全幅 Δ_2 は $2.0\delta_y$ とした。

4. 解析結果と考察

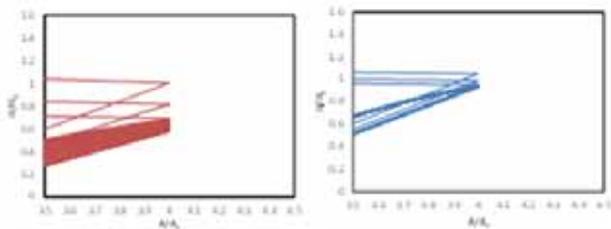
図3は、径厚比パラメータ $R_t=0.1$, $\Delta_l=4.0 \delta_y$ の荷重変位関係を表している。(a), (b)はそれぞれ修正2曲面モデル, 移動硬化型バイリニアモデルの結果であり, 縦軸に水平荷重, 横軸に水平変位としている, 図4(a), (b)は, 図3における水平変位 $4.0 \delta_y$ 付近での拡大図である。これによると修正2曲面モデルは移動硬化則に比べピーク時荷重が大きく, さらに耐力低下の値も大きくなっていることがわかる。耐力低下の原因としては, 定振幅繰り返し荷重を行う中で, 基部付近に局部座屈が発生し, 進展したことで, 部材の剛性が低下したことが考えられる。また, 修正2曲面モデルのほうが耐力低下が大きく表れたことについては, バウシinger効果による弾性域の減少が考えられる。

次に, 図5は径厚比パラメータ $R_t=0.1$ における縦軸に水平荷重, 横軸に第1フェイズにおける変位振幅をとったものである。図5よりピークを超えると, 耐力低下の値も顕著になっていることがわかる。また, ピークを迎えていなくても, 漸増繰り返し荷重後の定振幅荷重によって徐々に耐力低下の値が減少することがわかった。



(a)修正2曲面モデル (b) 移動硬化則

図3 荷重 - 変位関係($R_t=0.1$, $\Delta_l=4.0 \delta_y$)



(a)修正2曲面モデル (b) 移動硬化則

図4 荷重 - 変位関係(水平変位 $4.0 \delta_y$ 付近)

5. 結言

本研究は, ピーク後の若干塑性化する程度の定振幅繰り返し荷重を受けるパイプ断面鋼製橋脚の耐震性能に着目した検討を行った。修正2曲面モデルによる高度な耐力低下の予測を数値解析的に検討したものである。以下にその成果をまとめる。

- 1) 修正2曲面モデルは移動硬化則に比べバウシinger効果が考慮できているための効果が見られた。
- 2) ピーク後では耐力低下の値が顕著になり, ピーク前でも定振幅繰り返し荷重によって耐力低下することがわかった。

参考文献

- 1) 北原武嗣・田中賢太郎・山口隆司・岸祐介・濱野剛：数十回オーダー繰り返し荷重を受ける既設鋼製橋脚の耐力低下に関する基礎的研究, 土木学会論文集 AI(構造・地震工学), Vol. 68, No.4(地震工学論文集第31-b巻), I_499-I508, 2012.
- 2) 葛漢彬・高聖彬・宇佐美勉・松村寿男：鋼製パイプ断面橋脚の繰り返し弾塑性挙動に関する数値解析的研究, 土木学会論文集 No.577/I-41, 181-190, 1997.10.
- 3) Abaqus Analysis User's Manual Version 6.11 : SIMULIA, DASSAULT SYSTEMS, 2011.

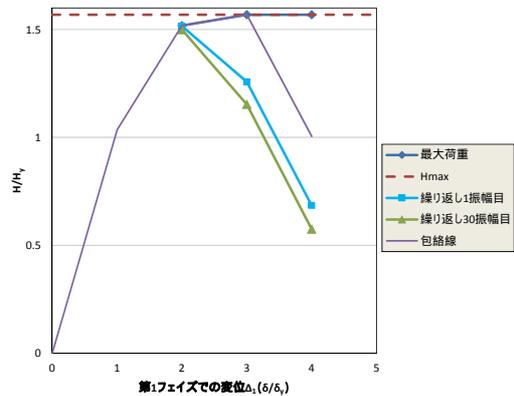


図5 $R_t=0.1$ における第1フェイズ時変位と荷重関係