

ピーク後に定振幅繰返载荷を受ける鋼製パイプ断面橋脚の耐震性能

熊本大学 学生会員 ○八戸 翔平 熊本大学大学院 学生会員 橋本 洸平
 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. 諸言

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随性としては、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³⁾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鋼製パイプ断面橋脚の耐震性能を評価する検討を行う。

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 に示す鋼製パイプ断面橋脚とした。解析には汎用有限要素法解析プログラム ABAQUS⁴⁾を用いた。繰返し構成則としては、バイリニア型移動硬化則とより精緻な修正 2 曲面モデルを用いた。変形が大きいと予想される柱基部から、3 つ目のダイアフラムまでをシェル要素でモデル化し局部座屈が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 0.05 と 0.1 の 2 パターンとした。その他のパラメータについては、現在数値解析を実施しており、まとめ次第報告する。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。

3. 载荷パターン

ピーク後にある程度の繰返しを伴う状況は、文献 1) にならって、30 回の定振幅繰返し载荷とした。なお、本研究では、ピーク後に着目するため、定振幅繰返し载荷を実施する前段階として、ピーク付近までの Pushover 解析を実施することとした。具体的には、単調载荷で $3.0 \delta_y$ まで与えた後、30 回の繰返し振幅を与えた。また、定振幅部分の振幅は、全幅 Δ にして $1.2 \delta_y \sim 2.0 \delta_y$ までを $0.2 \delta_y$ 刻みとした。

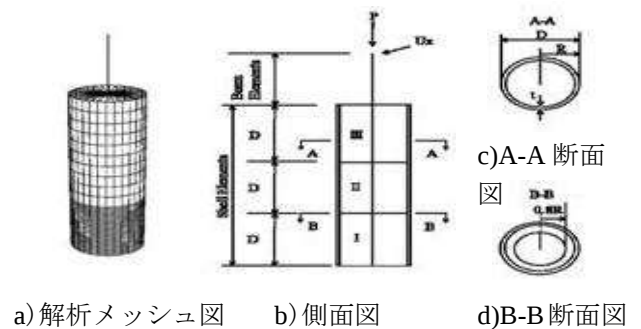


図 1 パイプ断面橋脚の解析モデル図

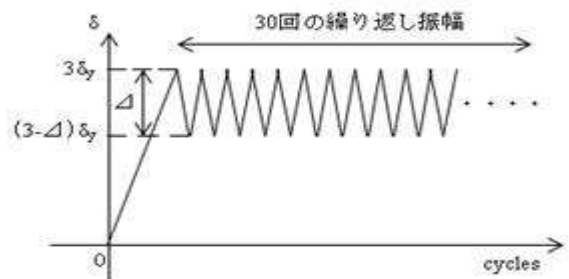


図 2 繰返し载荷パターン

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

4. 解析結果と考察

(1) 繰返し振幅の振幅範囲の違いが強度と変形能に及ぼす影響

図 3 は移動硬化則での $R_t=0.1$ の解析結果で、図 4 は修正 2 曲面モデルでの $R_t=0.1$ の解析結果である。a) の荷重-変位関係で比較すると大きな違いは見られない。しかし、b) に示すように定振幅部分の拡大図で比較すると、修正 2 曲面モデルの方の低下が著しい。これを様々な振幅幅における低下率をまとめると c) に示すとおりとなる。この図によると 5 ケースとも繰返し数が増えるに従って、耐力低下が大きくなっている。また、与える繰返し振幅の変位が大きくなるに伴い、耐力低下の値が増加している。これらを具体的にまとめたのが、表 3 である。最大で 4 倍ほどの違いが見られた。

(2) 径厚比パラメータが強度と変形能に及ぼす影響

表 3 から径厚比パラメータが大きいほど耐力低下が

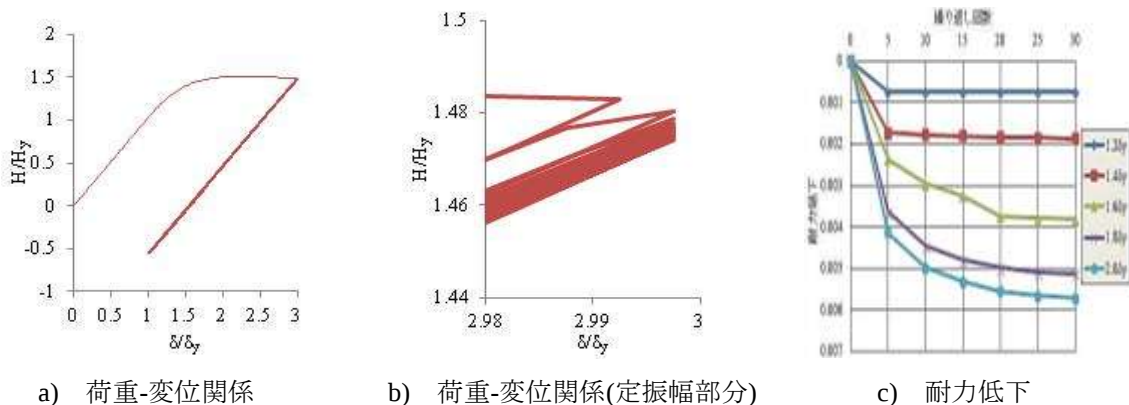


図3 移動硬化則での $R_f=0.1$ での解析結果

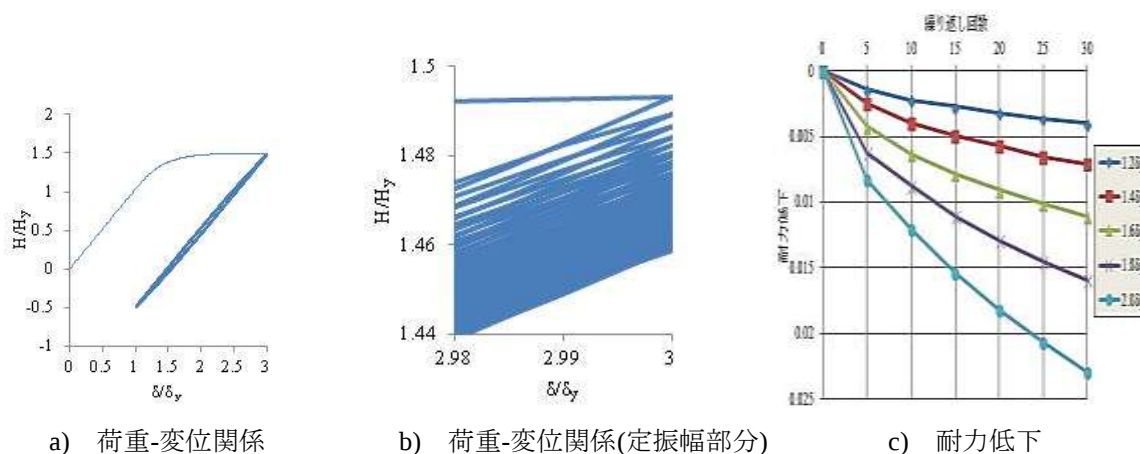


図4 修正2曲面モデルでの $R_f=0.1$ での解析結果

大きいことが分かる．耐力低下の原因としてはバウシンガー効果による弾性域の減少と繰返し解析を行う中で，基部付近に局部座屈が発生したこと，部材の剛性が低下したことが考えられる．また，繰返し回数が0回から5回の区間でのグラフの傾きがほかの区間に比べて大きいことが分かる．

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返し载荷を受ける鋼製パイプ断面橋脚の耐震性能に着目した検討を行った．特に，構成則の違いによる同性能の評価に及ぼす影響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．

修正2曲面モデルは移動硬化則に比べバウシンガー効果が考慮できているための効果が見られた．その結果，最大で数パーセントのオーダーで耐力低下することが分かった．

なお，定振幅载荷前が，単調载荷であるケースを行ったが，この部分が通常の繰返し载荷になった場合の影響などを含め，定量的に判断するには，さらに多くのパラメトリックスタディを必要とする．これらがまとめ次第，報告したいと考えている．

参考文献

- 1) 北原武嗣・田中賢太郎・山口隆司・岸祐介・濱野剛：数十回オーダー繰返し载荷を受ける既設鋼

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) 宇佐美勉著，日本鋼構造委員会：鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン，技報堂出版，pp106,2006．
- 3) 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．
- 4) Abaqus Analysis User's Manual Version 6.11：SIMULIA, DASSAULT SYSTEMS, 2011．

表3 繰返し振幅30回目での耐力低下

R_f	移動硬化則		修正2曲面モデル	
0.05	$1.2\delta_y$	0.00340	$1.2\delta_y$	0.00210
	$1.4\delta_y$	0.00407	$1.4\delta_y$	0.00375
	$1.6\delta_y$	0.00474	$1.6\delta_y$	0.00587
	$1.8\delta_y$	0.00542	$1.8\delta_y$	0.00847
	$2.0\delta_y$	0.00646	$2.0\delta_y$	0.01178
0.1	$1.2\delta_y$	0.00074	$1.2\delta_y$	0.00400
	$1.4\delta_y$	0.00186	$1.4\delta_y$	0.00705
	$1.6\delta_y$	0.00381	$1.6\delta_y$	0.01106
	$1.8\delta_y$	0.00512	$1.8\delta_y$	0.01596
	$2.0\delta_y$	0.00573	$2.0\delta_y$	0.02296