

軸力変動を考慮した鋼製パイプ断面橋脚の強度と変形能

熊本大学 学生会員 ○橋本 洸平

熊本大学大学院 正会員 葛西 昭
名古屋大学大学院 学生会員 Nishigandha G. Kulkarni

1. はじめに

地震時を想定した鋼製橋脚の強度と変形能を評価する研究は、これまでに数多く行われている。さらに昨今では、水平2方向荷重や鉛直動の考慮など、様々なことが検討されつつある。鋼製橋脚は、単柱式橋脚の場合、鉛直動を考慮するにしてもそれほど大きな軸力変動を伴わないが、鋼製ラーメン橋脚などの場合、軸力変動が大きく伴うことが予想される。

軸力変動は、圧縮方向に大きく作用する場合、橋脚の局部座屈などを生じさせやすくなり、同橋脚の強度と変形能を低下させることが考えられる。一方で、引張側に大きく作用する場合は、局部座屈の発生を抑制する効果があり、これは鋼製橋脚を利用する上での大きなメリットと言える。

そこで、本研究では、軸力変動の作用をどのように想定するかを見極めるための基礎的な検討として、周期的な軸力変動を仮定して、数値解析により、鋼製橋脚の強度と変形能の変化を検討することが主目的である。なお、軸力変動は、様々な状況を考えることができるが、現段階では、非常に簡単なケースしかできていないので、注意されたい。

2. 鋼製橋脚の強度と変形能の算定方法

(1) 数値解析モデルの概要

本研究では、軸力変動の影響を考慮するための基礎的な検討として、数値解析により、鋼製橋脚の強度と変形能を評価することとした。このときの数値解析モデルは、図-1に示すシェル要素とはり要素から構成された有限要素モデルを用いた。ソルバーとしては、汎用有限要素法解析プログラム ABAQUS を用いた。繰返し構成則としては、種々の精度の良いものが既に存在するが、ここでは、基本的なものである等方硬化則と移動硬化則を仮定した。変形の大いであろう柱基部からダイヤフラムの3つ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。なお、境界条件としては、脚基部を完全固定とした場合と、周軸方向周りの回転の拘束を除去した場合を想定した。後者は、構成板の単純支持条件に近い状態を模擬したものであり、実構造においては、フーチングとの接合により、本研究で考える境界条件の中間的な状況になるものと思われる。

構造パラメータによって、強度と変形能が異なることは既に分かっているが、ここでは、まず、径厚比パラメータを0.05、細長比パラメータを0.40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いるところであるので、まとめ次第発表するものとする。なお、特に初期不整は考慮せず、使用鋼材はSM490とした。繰返し構成則に必要な材料パラメータは表に示すとおりである。なお、表においてE:弾性係数、 σ_y :降伏応力、 σ_u :引張強度である。

(2) 強度と変形能の算出

次節にまとめる荷重パターンを、水平方向については、

変位履歴として、鉛直方向については、荷重履歴として静的に荷重する弾塑性有限変位解析を実施すると、対象橋脚の水平方向荷重-水平方向変位関係が得られる。本研究では、この荷重-変位関係において、包絡線を描き、ピーク荷重を強度、そのときの水平変位を変形能として種々比較することとする。また、包絡線の軌跡についても適宜検討することとする。

表-1 材料定数

鋼種	E (GPa)	σ_y (MPa)	ν	σ_u (MPa)	E_p
SM490	200	315	0.3	490	2.00

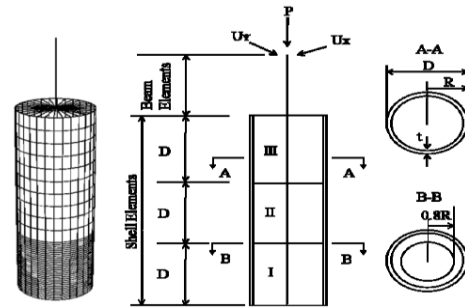


図-1 モデル概要

3. 荷重パターン

鋼製橋脚の強度と変形能を算出するのに、これまでの過去の研究で広く用いられている荷重パターンとして、一定軸力下における水平方向の漸増繰返し荷重があげられる。本研究でもこれを基本とする。ただし、一定軸力については、軸力比として0.10から0.50までを想定した解析を行う。また、軸力変動を考慮するために、ここでは、振幅中心軸力比を0.15とし、振幅を種々に変化させた解析を行う。以下にそのパターンを概説する。

(1) 軸力一定水平繰返し荷重

軸力比を0.10, 0.15, 0.30, 0.50とし、一定とした状態で、水平方向に繰返し荷重を行う。荷重の折り返し点は、 $1\delta_y$, $2\delta_y$, $3\delta_y$...と徐々に増加するいわゆる漸増繰返し荷重にて行う。

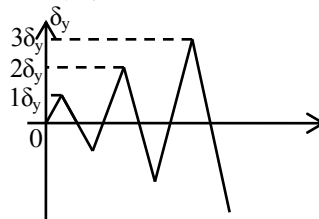


図-2 水平方向繰返し荷重変位履歴

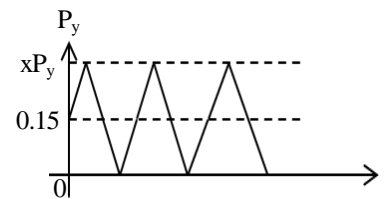


図-3 鉛直方向繰返し荷重の荷重履歴

(2) 軸力変動繰返し荷重

本解析では、(1)における解析において一定であった軸力比を図-3のように P/P_y を中心として振幅を $0.1P_y$ から

0.5Py となる繰り返し载荷を行った。ただし、折り返し点について、水平方向の正変位が最大となる折り返し点で、軸力比が最大となる折り返し点になるように定めた。この载荷パターンについては、正変位最大の時に耐力等として最悪になることを想定しているが、パターンの考え方については、今後、検討する余地がある。

4. 解析結果と考察

(1) 軸力比の違いが強度と変形能に及ぼす影響

図-5は、一定軸力の下で水平繰り返し载荷を行った際の荷重-変位関係において得られる包絡線を描いたものである。一定軸力下では、正変位と負変位の包絡線に大きな差はないので、ここでは正変位側の包絡線をプロットしている。同図には軸力比の異なる結果も同時にプロットされている。この図によると、一般的である高軸力下における強度の変形能が小さくなることを示している。具体的には、 $P/Py=0.1$ のとき、強度が $1.99H_y$ で、変形能が $6\delta_y$ であったものが、 $P/Py=0.5$ のときには、 $1.4H_y$ 、 $4\delta_y$ となっている。なお、具体的な強度変形能については、より高精度な繰り返し構成則や初期不整の考慮が避けられないため、ここではあくまでも相対的な差に着目したい。

なお、軸力比が大きくなるにつれて、ピーク後の強度低下が著しいことも重要な点と言える。

(2) 軸力変動が強度と変形能に及ぼす影響

本研究では、载荷パターンの一例として、正変位側折り返し点で軸力比も最大になる定振幅の繰り返し载荷を実施した、まずは、荷重-変位関係にて、一定軸力の場合との際を確認する。図-6(a)は、軸力変動の振幅を0.15としたものと、一定軸力の結果とを比較したものである。この結果によると、正変位側では、圧縮力も最大となるため、局部座屈の進行が早く、一定軸力下に比べて、ピーク荷重も低く、ピーク後の劣化も著しい。それに対して、負変位側は折り返し点において、引張力が最大となり、平均的な挙動として、局部座屈を抑える効果が働き、ピーク荷重は軸力変動がある場合の方が大きくなる。本解析では、一定軸力下ではピーク後の劣化が始まる変位において、変動軸力では未だ劣化が始まっていない状況であることも分かる。

種々の軸力変動振幅に対して、強度の変形能をまとめると、表-3となる。これによると、最大で3倍の違いがあり、軸力変動に応じて、強度と変形能を見極める必要があるといえる。なお、正確な強度と変形能については、高精度な繰り返し構成則を適用する必要があり、現在検討中である。

また、図-7(b)では軸力変動の振幅を0.15にしたものと、一定軸力0.3との結果を比較したものである。この2者は、正変位側での最大軸力が同じであり、軸力が変動するかしないかの違いであるが、この結果によると、正変位側でのグラフの動きは非常に似ている。一定軸力载荷のピーク時は $5\delta_y$ で軸力変動の方は $4\delta_y$ と多少違うがほぼ同じであることがわかる。

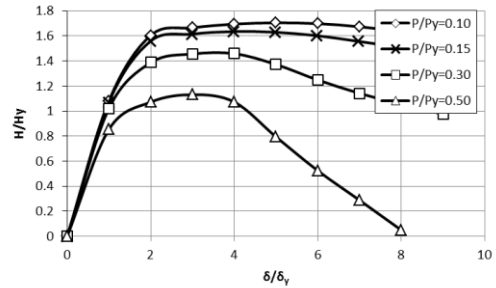


図-5 軸力一定繰り返し载荷包絡線

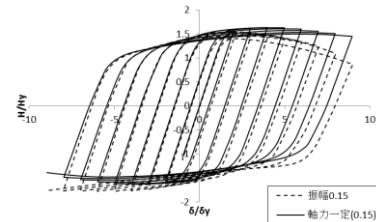


図-6(a) 軸力一定繰り返し载荷($P/Py:0.15$)と軸力変動载荷($0.15Py$)の曲線

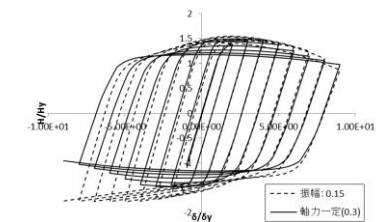


図-6(b) 軸力一定繰り返し载荷($P/Py:0.3$)と軸力変動载荷($0.15Py$)の曲線

表-2 軸力一定繰り返し载荷のピーク時パラメータ

P/Py	H/Hy	δ/δ_y
0.1	1.99	6
0.15	1.91	6
0.3	1.7	5
0.5	1.4	4

表-3 軸力変動繰り返し载荷ピーク時パラメータ

	振幅	H/Hy	δ/δ_y
正側	0.05	1.48	4
		1.56	4
負側	0.1	1.45	4
		1.58	5
正側	0.15	1.4	4
		1.59	5
負側	0.2	1.36	3
		1.62	9

5. 結言

本研究では、軸力変動の作用をどのように想定するかを見極めるための、基本的な研究として、様々な载荷パターンについて繰り返し解析を行った。その結果、鉛直方向の荷重による橋脚に対する影響があることがわかった。しかし、本研究以外での载荷パターンでの検討を行うと同時に、高精度な硬化則についての検討が今後の課題である。

参考文献

- 鳥居純子, 成田篤哉, 葛西昭, 宇佐美勉: 2方向水平外力を受ける鋼製橋脚の強度と変形能, 第8回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.219-224, 2005.
- Nishigandha G, Kulkarni, Akira Kasai: EFFECT OF VARYING AXIAL LOAD ON CYCLIC BEHAVIOR OF CIRCULAR STEEL BRIDGE PIERS, Proceeding of the Eleventh International Summer Symposium, pp.1-4, 2009.