

軸力変動のある鋼製パイプ断面橋脚の繰返し載荷解析における一考察

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
 名古屋大学大学院 N. G. Kulkarni

1. 緒言

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¹⁾される。また、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²⁾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。しかし、軸力変動を考慮した場合の従来の包絡線では、この鋼製橋脚のメリットを十分に生かしきれていない傾向にある。

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及び、軸力変動を考慮した繰返し載荷解析を通じて、新たな包絡線の提案を行う。

2. 解析概要

(1) 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ABAQUS³⁾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移動硬化則を仮定した。変形の大きいであろう柱基部からダイアフラムの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を想定した。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。

表1 パラメータ表

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

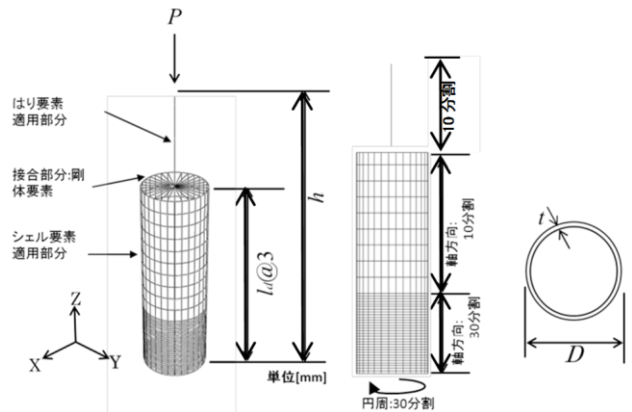


図1 モデル概要図

(2) 強度と変形能の算出

次節にまとめる載荷パターンを、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載荷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、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した。また、包絡線の軌跡についても適宜検討することとした。

3. 載荷パターン

(1) 軸力一定載荷

様々な地盤種を考慮するために、軸力比 $P/P_y=0.15$ となるような一定軸力を与えた状態で、水平方向に繰返し載荷を行う。載荷の折り返し点は、 $1\delta_y$, $2\delta_y$, $3\delta_y$...と図3.1のように

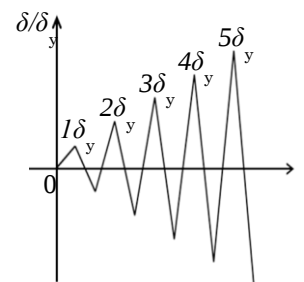


図2 一定載荷変位履歴

徐々に増加するいわゆる漸増繰返し載荷にて行う。以下、この載荷をCase 0とする。

(2) 軸力変動載荷

軸力が $P/P_y=0.15$ を中心として振幅を $0.15P_y$ となる繰返し載荷を行った。

Case 1では、軸力一定載荷同様に水平方向に漸増繰返し載荷を行うと同時に、軸力変動を図3.2(a)に示すようなパターンで与えた。各繰返しで、水

キーワード 軸力変動、鋼製橋脚、強度と変形能、包絡線、局部座屈

連絡先 〒860-8555 熊本市中央区黒髪2丁目39番1号 TEL096-342-3579

平方方向の正変位が最大となると、軸方向荷重に圧縮が最大となるように定め、平方方向の負変位が最大となると、軸方向荷重の引張が最大となるように定めた。

Case 2 でも同様に、平方方向に漸増繰り返し載荷を行うようにしたが、Case 2 では、軸力変動の繰り返しを密にするように定めた。平方方向の正変位が最大、または負変位が最小となると、軸方向荷重の圧縮が最大となるように定め、平方方向の変位が 0 のときに、軸方向荷重の引張が最大となるように定めた。

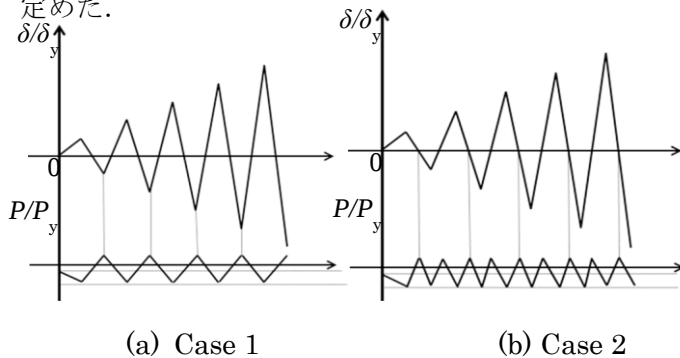


図 3 軸力変動載荷履歴

4. 結果

図 4 は、 $P/Py=0.15$ となる一定軸力の Case 0 と、軸力変動を考慮した Case 2 の繰り返し解析の結果を比較したグラフである。軸力変動を考慮すると、各サイクルでのピーク荷重が折り返し点ではない点にあることがわかる。また軸力変動の見かけの周期を短くするほど、各サイクルでのピーク荷重が大きくなることもわかる。

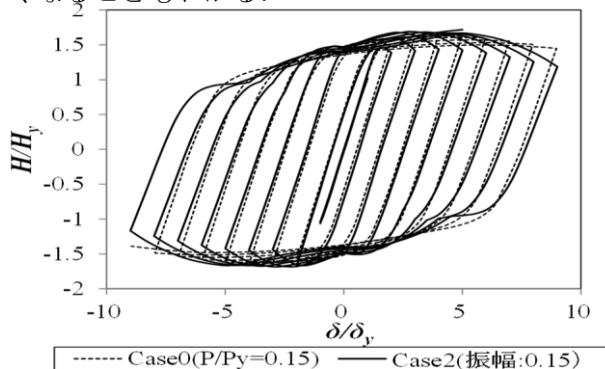


図 4 軸力一定載荷と軸力変動載荷の比較

5. 現状の問題点

軸力一定の解析では、包絡線を描くことで、各サイクルのピーク荷重を得ることができ、限界値として比較・検討してきた。

しかし、図 5 のピークの線と包絡線をみるとわかるように、折り返し点と最大荷重では差が顕著に表れることがわかる。このことから、軸力変動を考慮した場合の新たな包絡線の提案を検討した。図 5 のピークの線と包絡線からわかるように各サイクルの最大荷重とピーク変位をプロットした場合は、最大荷重は大きくなるが、ピーク変位は減少する。

包絡線を描く上で、このような差をできるだけ埋める提案が必要であると考えた。

6. 新提案包絡線

鋼製橋脚はピーク荷重を受けた後、ある一定の期間までは耐力を維持できることがわかっている。このような鋼製橋脚の特徴のことを以下、劣化余裕度と呼ぶこととする。今回の新たな包絡線の提案はこの劣化余裕度を踏まえて提案を検討した。

本論文で提案する手法の概要を以下にまとめる。

- ① 各サイクルの最大荷重とピーク荷重、および従来の包絡線をそれぞれプロットする。(折り返し点の荷重を H_R 、各サイクルの最大荷重を H_P とする。)
- ② 各サイクルで劣化余裕度 5% 荷重 ($0.95H_P$) をそれぞれ求める。
- ③ 各サイクルで求めた $0.95H_P$ が H_R より大きい場合は $0.95H_P$ 、 H_R より小さい場合は H_R をそれぞれ H_E として最大荷重とする。
- ④ 上記 H_E に対応する変位を δ_E とし、プロットする。
- ⑤ ②~④ を繰り返しプロットした点を結び提案手法による包絡線とする。

このような手法で Case 2 についての包絡線を図 5 に描いた。図 5 のように提案包絡線の方が従来のものより強度が増し、鋼製橋脚の長所が生かされると考えられる。なお、今回は高精度な硬化則を用いておらず、今後さらなる検討の余地がある。

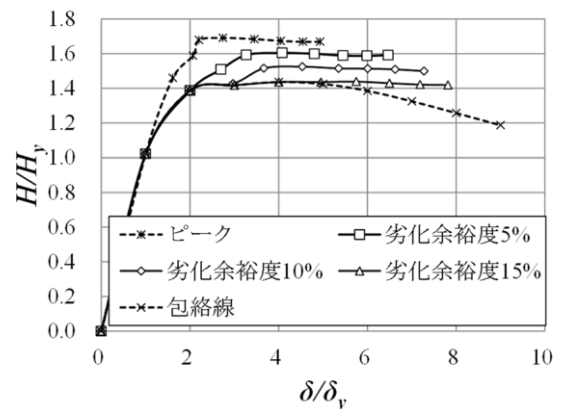


図 5 Case 2 における従来の包絡線と提案包絡線の比較

7. 結言

本研究では、軸力変動を考慮した際の強度と変形能に対する影響について検討し、そのピーク荷重や包絡線から新たな包絡線の評価手法を提案した。

参考文献

- 1) 木下幸治, 三木千壽, 市川篤司: 円柱を有する既設鋼製ラーメン橋脚の耐震性能に関する検討, 土木学会論文集 A Vol.64 No.3, pp.571-587, 2008.
- 2) 土木学会: 阪神・淡路大震災における鋼構造物の震災の実態と分析, pp.1-39, 1999.
- 3) ABAQUS Analysis User's Manual Version 6.11: SIMULIA, DASSAULT SYSTEMS, 2011.