

局部座屈を考慮したラーメン橋脚の動的応答解析時の除荷剛性について

早稲田大学大学院 学生員 横田 敏広
早稲田大学理工学部 正会員 小玉乃理子
早稲田大学理工学部 正会員 依田 照彦

1. はじめに

構造物の地震時動的挙動に起因する破壊現象を数値シミュレーションで追跡しようという試みが多く、研究機関で行われているが、鋼製ラーメン橋脚の動的応答解析については検討の余地が残されている¹⁾。そこで、本研究では一層一径間のラーメン橋脚モデルについて、汎用有限要素法コード ABAQUS (Version 5.8) を用い、sin 波入力による動的応答のシミュレーション解析を行い、ラーメン橋脚の局部座屈部の特定および局部座屈後の除荷剛性の評価を行うこととした。なお、比較対照として同モデルの柱部分のみをモデル化したものについても同様の解析を行った。

2. 解析モデル

本解析では、図 1 に示す一般的な鋼製ラーメン橋脚から門型ラーメン部分(図 1 斜線部)のみを取り出し門型ラーメンモデル作成し、さらにそこから柱部分だけを取り出して一本柱モデルを作成した。すなわち、門型ラーメンモデルの柱部と一本柱モデルは寸法形状の等しいモデルとなっている(図 2, 図 3 参照)。

解析モデルでは、柱基部は完全固定、橋脚および補剛材は 4 節点厚肉シェル要素 (S4R) を用いた。付加質量はラーメンモデルではマス要素 (MASS) で与え、一本柱モデルでは最上部のシェル要素の板厚を増すことにより与えた。本研究の目的は、柱基部における局部座屈挙動の解明にあるため、ラーメンモデルでは梁部での局部座屈が生じないように板厚を厚くした。各解析モデルにおいて座屈の発生が予想される固定部・隅角部周辺は十分に細かく要素分割を行っている。

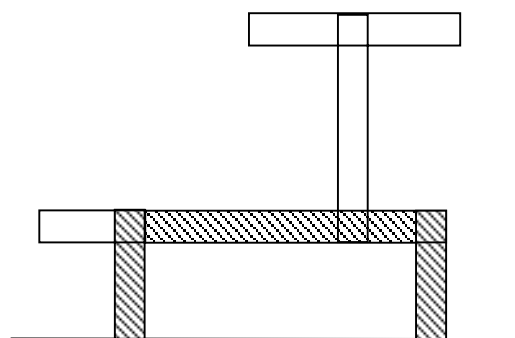


図 1 . 鋼製ラーメン橋脚の着目部

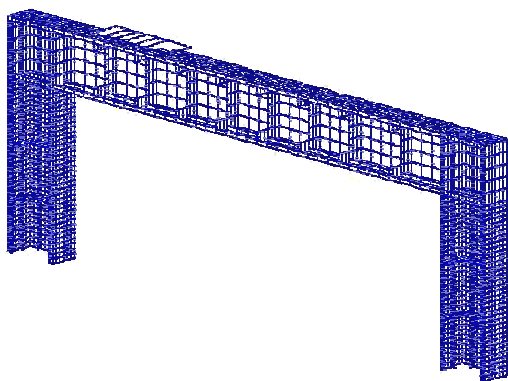


図 2 . 門型ラーメンモデル



図 3 . 一本柱モデル

表 1 . 各モデルの固有振動数

モデル	固有振動数(Hz)
門型ラーメン	4.0
一本柱	2.6

3. 解析手法

入力 sin 波は、各モデルの固有振動数と等しい振動数を持つものとした。はじめに、ラーメンモデルで解析を行い、その後ラーメンモデルの

表 2 . 入力波

入力波	最大変位振幅u(m)	最大速度振幅V(m/sec)	最大加速度振幅a(m/sec ²)
門型ラーメンモデル入力波	0.0457	1.16	29.4
一本柱モデル入力波	0.0457	0.747	12.2
一本柱モデル入力波	0.0709	1.16	19.0
一本柱モデル入力波	0.110	1.80	29.4

入力波と最大変位振幅、最大速度振幅、最大加速度振幅がそれぞれ等しい sin 波を一本柱モデルに入力することとした。ここで、表 2 では最大加速度振幅が 3G を超えてしまう入力波が存在するが、本解析の目的は局部座屈の挙動解明にあるので、解析上局部座屈が生じるような入力波を与えることとした。入力波は、最大振幅を持

キーワード：鋼製ラーメン橋脚, 局部座屈, 弾塑性解析, 有限要素法解析

連絡先：早稲田大学理工学部 〒169-8555 新宿区大久保 3-4-1 Tel&Fax 03-5286-3399

つ sin 波を 4 波与え, その前後の 2 波を振幅調整波とした. 解析コードとしては汎用有限要素法コード ABAQUS (Version 5.8) を用いた. 非線形動的応答解析では, 台形則にわずかに修正を加えた陰解法 Hilber-Hughes-Taylor 法を用い, 非線形釣り合い方程式を Newton 法で解いた. 解析は最初のステップで自重解析を行い, その後 sin 波による動的応答解析を行った. 時間増分値は 0.001 秒とした.

4. 解析結果

本解析では, 柱基部での局部座屈の程度を平均ひずみ $\bar{\varepsilon}$, フランジ平均断面応力 $\bar{\sigma}$ で表現することとした. ここに, $\bar{\varepsilon} = (l_1 - l_2)/l_1$ とすることにより局部座屈に伴うフランジのひずみを表し, $\bar{\sigma}$ としては局部座屈部直上でのシェル要素 (図 4 左の黒色のシェル) における鉛直方向応力の平均値をとることとした. その結果, 平均ひずみ～フランジ平均断面応力関係は図 5 のようになった.

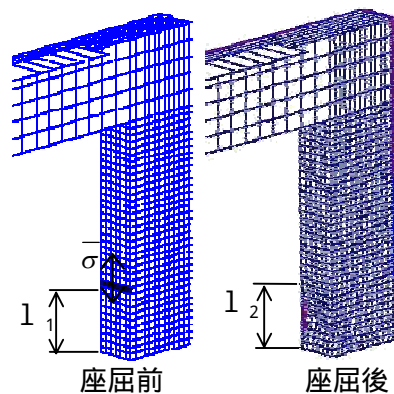


図 4 . 平均ひずみ・フランジ平均断面応力の説明図

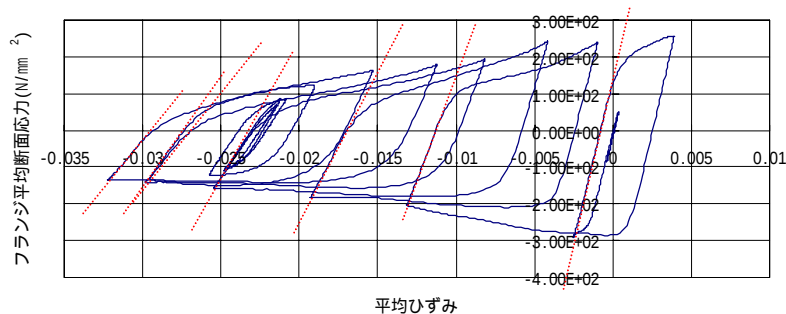


図 5 . 平均ひずみ～フランジ平均断面応力関係 (ラーメンモデル)

図 5 に描いたループの平均ひずみ $\bar{\varepsilon}$ から弾性成分を除いたものを平均塑性ひずみ $\bar{\varepsilon}_p$ とし, 平均塑性ひずみ～フランジ平均断面応力関係から, 圧縮側塑性域において失われる単位体積あたりのエネルギー W を $W = \int \bar{\sigma} d\bar{\varepsilon}_p$ により算出した.

次に, 図 5 に示した点線の傾きから局部座屈部での剛性 (以後, 除荷剛性と称す) を求め, 除荷剛性の低下を各ループにおける損失エネルギー W と関連づけると図 7 の結果が得られる.

図 7 では, 一本柱モデルの入力波 3 種類において除荷剛性の低下の傾向がほぼ等しくなった. すなわち, 除荷剛性の低下が圧縮側塑性域での単位体積あたりの損失エネルギーと相関性があることが分かった. ラーメンモデルでは, 最初の除荷剛性の低下が著しいために, 一本柱モデルと結果が重ならなかったが, それを除けば一本柱モデルでの結果とほぼ同じ傾向が見られる.

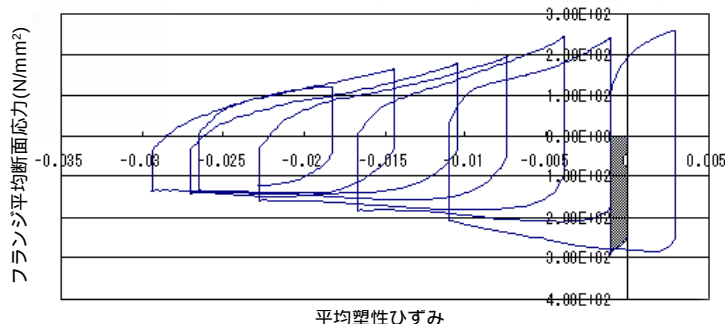


図 6 . 圧縮側塑性域での損失エネルギー算出方法説明図

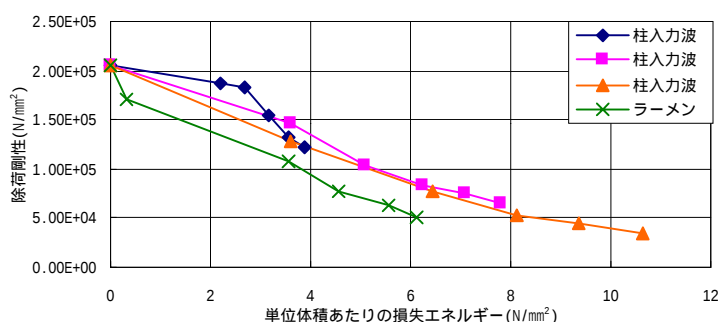


図 7 . 圧縮側塑性域での損失エネルギー～除荷剛性関係

5. 結論

局部座屈部における除荷剛性の低下は, 入力波の強さにかかわらず, 圧縮側塑性域での単位体積あたりの損失エネルギーと相関性があることが分かった. この傾向は, ラーメン橋脚モデルと一本柱モデルで同じであるので, 一本柱モデルで適切な除荷剛性を設定すれば任意のラーメン橋脚の動的応答解析が可能と考えられる. また, 等価な一本柱モデルに入力する波は速度振幅を整合させたものが望ましく, この結果を用いてはり要素の復元力モデルが構築できるものと思われる.

参考文献

- 1) 小玉乃理子, 依田照彦: ラーメン橋脚の耐力力特性と地震時動的応答解析の数値解析, 土木学会 第 3 回鋼構造物の非線形数値解析と耐震設計への応用に関する論文集, pp. 143-148, 2000. 1