

I - B132

弾塑性を考慮した鋼製ラーメン橋脚の耐震設計に関する一考察

東京都 正会員 小野寺 理
宇都宮大学 正会員 中島 章典

1. はじめに

これまで、比較的高い耐震性を有していると考えられてきた鋼製ラーメン橋脚においても、兵庫県南部地震における被災例が示すように、弾塑性を考慮した大地震に対する耐震設計法の確立が必要とされてきている。こうした耐震設計法の1つとして、エネルギー一定則を用いた地震時保有水平耐力法の考え方が参考にできる^{1),2)}。しかし、不静定構造である鋼製ラーメン橋脚では、複数箇所塑性化が想定されるためにエネルギー一定則の適用性が十分でない可能性がある。

そこで本研究では、複数箇所塑性化が発生する鋼製ラーメン橋脚の基本的な弾塑性地震応答性状を把握し、鋼製ラーメン橋脚に対するエネルギー一定則の適用性を検討することを目的とし、これらを数値解析法を用いて検討した。

2. 解析モデルおよび解析方法

本研究では、**図-1**に示す門型ラーメン橋脚を対象として解析モデルを設定した。解析モデルの各構造寸法は、鋼製ラーメン橋脚の実績調査³⁾を参考にして実際的な諸元を与えている。柱およびはり部材は箱型等断面とし、**図-1**に示される曲げと軸力を受ける部材の安定性の照査式の値（以下、設計レベル）に留意して、地盤種別ごとに震度法による耐震設計を行った。また、上部構造の質量とその死荷重による影響を考慮するため、柱頂部2箇所集中質量とその死荷重反力に相当する圧縮軸力を与えている。

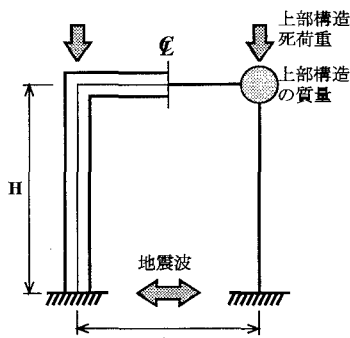


図-1 鋼製ラーメン橋脚モデル

解析においては、鋼材の降伏と圧縮軸力の影響を考慮するため、材料非線形性および幾何学的非線形性を取り入れた、はり柱要素の有限要素法とニューマークのβ法 ($\beta=1/4$) および修正ニュートンラフソン法を併用した弾塑性有限変位解析法を用いた。解析に際して用いる鋼材の繰返し弾塑性応力-ひずみ関係はバイリニア型で、降伏応力度を235MPa、ひずみ硬化係数

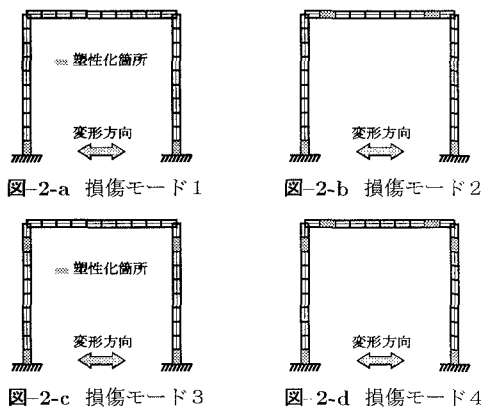


図-2 想定した損傷モード

を0.01としている。粘性減衰としては、1次固有振動モードに対する減衰定数1%を基準として質量比例型の減衰マトリックスを採用した。

有限要素解析における要素分割数は、柱部材およびはり部材を10ずつの30とし、さらに塑性域の広がりを考慮するために、1つの有限要素について部材軸方向を5、断面方向を12に細分割している。

地震応答解析に用いる入力地震波としては、レベル2のタイプI地震波およびタイプII地震波を用い、これらを**図-1**のように橋脚基部からラーメン面内水平方向に作用させて解析を行った。

3. 基本的な弾塑性地震応答性状の検討

本研究では、鋼製ラーメン橋脚の塑性化箇所の違いにより、**図-2**に示す4パターン（以下、損傷モード）の鋼製ラーメン橋脚モデルを考えた。これらの塑性化箇所は、はり部に水平力を受けるラーメンの曲げモーメント分布および既往の研究⁴⁾を参考にして決定している。ただし、本研究では曲げが卓越する変形のみを考えているので、隅角部の塑性化やせん断遅れ現象は考慮していない。

図-3はそれぞれの損傷モードにおける水平荷重-水平変位関係である。これらの図より、いずれの損傷モードにおいても、エネルギー一定則で基本となる静的な弾塑性解析による水平荷重-水平変位関係と、動的な弾塑性解析による繰返し水平荷重-水平変位関係の包絡線が一致していることがわかる。これは、複数箇所が塑性化する場合においても、地震時の振動モード

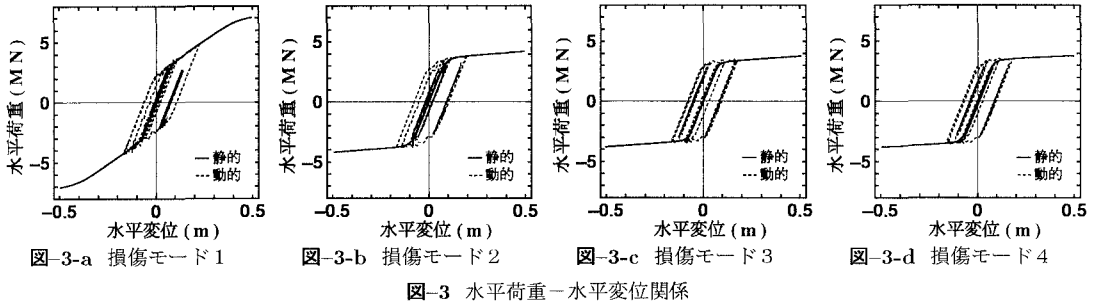
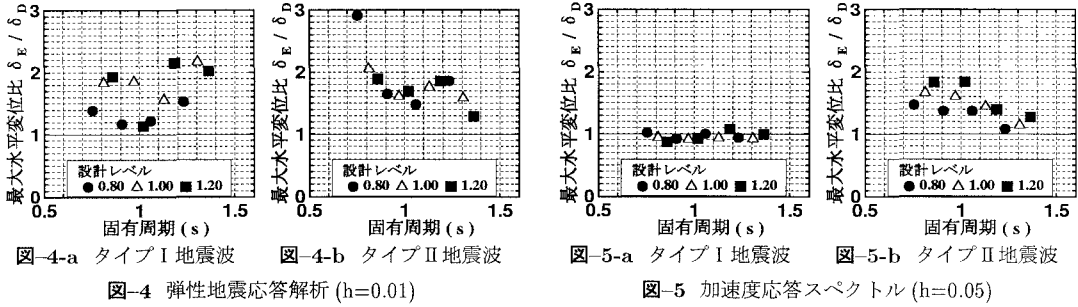


図-3 水平荷重—水平変位関係



がエネルギー一定則で想定する振動モードと一致していることを表している。また、複数箇所が塑性化する場合は、橋脚基部のみが塑性化する場合と比べて降伏後にあまり耐力が上昇しないことがわかる。

4. エネルギー一定則による最大応答変位の推定

ここで、本研究で行ったエネルギー一定則による弾塑性最大応答変位の推定手順を以下に示す。

1. 弾性地震応答解析により弾性時の最大水平荷重および最大水平変位を求める。
2. はり部に作用させた静的な水平荷重を漸増させながら水平荷重 P と水平変位 δ の関係を表す弾塑性 P - δ 関係を求める。
3. 1. で求めた最大応答値と 2. で求めた弾塑性 P - δ 関係からエネルギー一定則を用いて弾塑性時の最大水平変位 δ_E を求める。
4. 弾塑性地震応答解析により弾塑性時の最大応答変位 δ_D を求める。
5. 3. で求めた最大水平変位 δ_E と 4. で求めた最大応答変位 δ_D を比較する。

以上の手順に従って、損傷モード1に対して最大応答変位を推定した結果が図-4である。横軸は固有周期、縦軸はエネルギー一定則による最大応答変位 δ_E と弾塑性地震応答解析による最大応答変位 δ_D の比を最大水平変位比 δ_E/δ_D として表している。また、各マークは設計レベルを表している。これらの図より、いずれの地震波を用いた場合においても最大水平変位比は1以上であり、エネルギー一定則による最大応答変位は、弾塑性地震応答解析結果より最大応答変位より大きな値を示している。そこで、手順1.において、道示Vに示される減衰定数が $h=0.05$ の標準加速度応答スペク

トルを用いて、弾性最大応答変位を算定した場合の最大応答変位の推定結果が図-5である。これらの図より、タイプI地震波を用いた場合には、 $h=0.05$ の標準加速度応答スペクトルを用いることで、最大応答変位の推定結果の精度が向上していることがわかる。一方、タイプII地震波を用いた場合には、減衰定数の値によらず最大応答変位の推定結果の精度がそれほど向上していない。これは、減衰定数が弾性解析における最大応答変位に与える影響の差違によるもので、タイプII地震波では地震発生初期の時刻に弾性最大変位が生じやすく、このとき減衰定数の影響をあまり受けないからである。

5. おわりに

鋼製ラーメン橋脚の基本的な弾塑性地震応答性状と鋼製ラーメン橋脚へのエネルギー一定則の適用性を検討した結果、複数箇所に塑性化が発生する鋼製ラーメン橋脚においても、静的な弾塑性解析による水平荷重—水平変位関係と動的な弾塑性解析による繰り返し水平荷重—水平変位関係の包絡線は一致するためエネルギー一定則が適用できるが、鋼製ラーメン橋脚のエネルギー一定則による最大応答変位の推定結果は、かなり安全側の結果となることがわかった。

参考文献

- 1) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説II鋼橋編, V耐震設計編, 丸善, 1996.12.
- 2) 宇佐美勉: Pushover 解析..., 第1回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 1998.1.
- 3) 中井 博, 河井章好, 吉川 紀, 北田俊行, 酒造敏廣: 鋼製ラーメン橋脚の実績調査(上)(下), 橋梁と基礎 Vol.16, 1982.9.
- 4) 酒造敏廣, 事口壽男, 長田好夫: 鋼変断面ラーメンの非弾性地震応答性状..., 構造工学論文集 Vol.43A, pp.205-216, 1997.3.