

3柱式RCラーメン橋脚における 地震時保有水平耐力法の適用について

西田 海¹・牧 秀彦²・中川 忠直³

¹富士通エフ・アイ・ピー(株) システム本部第一システム統括部科学技術システム部 (〒135-8686 東京都江東区青海2-45)

²富士通エフ・アイ・ピー(株) システム本部第一システム統括部科学技術システム部 (〒135-8686 東京都江東区青海2-45)

³富士通エフ・アイ・ピー(株) システム本部第一システム統括部科学技術システム部 (〒135-8686 東京都江東区青海2-45)

1. はじめに

「平成8年12月 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」にて新たにRCラーメン橋脚の地震時保有水平耐力法による設計手法が明示された。また、「平成9年3月 道路橋の耐震設計に関する資料」では、地震時保有水平耐力法におけるRCラーメン橋脚の耐震設計例が記載されている。この設計例では2柱式RCラーメン橋脚の計算を行っているが、3柱式RCラーメン橋脚の計算例は記載されていない。そこで、本論文では地震時保有水平耐力法の考え方を適用して3柱式RCラーメン橋脚の計算を行い、構造形式の違いに着目して水平力-水平変位関係の検討を行った。

2. RCラーメン橋脚の地震時保有水平耐力法

「平成8年12月 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」では、RCラーメン橋脚の地震時保有水平耐力法の考え方は以下の通りである。

(1) モデル化

RCラーメン橋脚において、塑性ヒンジは柱部材の上端、下端、はり部材の端部に生じる可能性があるため、図-1に示すような骨組解析モデルに置換される。

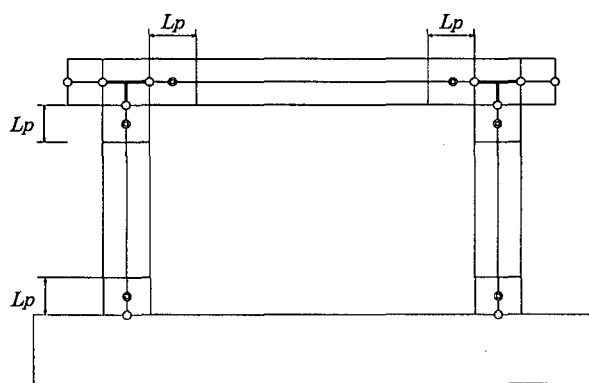


図-1 RCラーメン橋脚のモデル化

(2) 計算手順

RCラーメン橋脚における骨組解析モデルに降伏剛性を用いて、上部構造の慣性力作用位置に水平荷重を漸増させ、図-2のような水平力-水平変位の関係を求める。この水平力-水平変位の関係からRCラーメン橋脚の地震時保有水平耐力を算出する。

RCラーメン橋脚の終局変位 δ_u は、複数箇所形成される塑性ヒンジ全てが、図-3に示されるように終局塑性回転角 θ_{pu} に達した時の水平変位である。

以上の手順により、降伏水平力 P_y 、降伏変位 δ_y 、終局変位 δ_u が算出される。

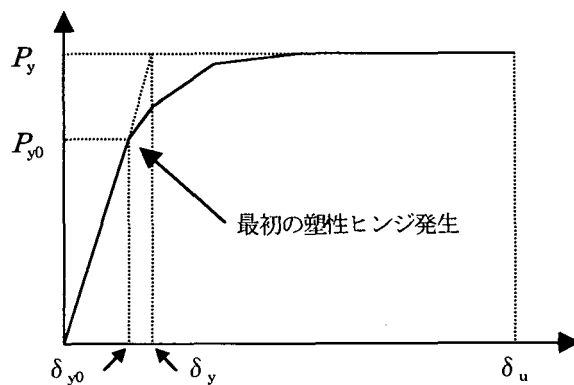


図-2 水平力-水平変位の関係

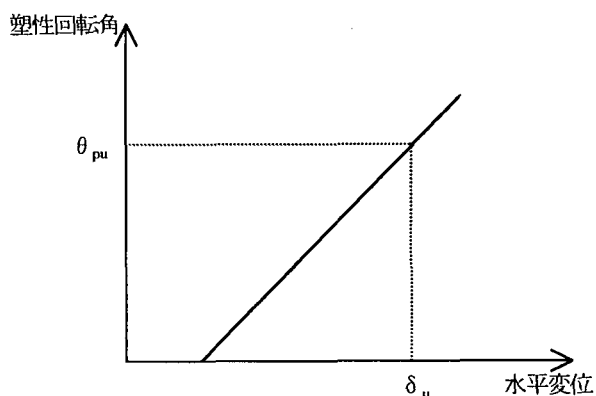


図-3 塑性回転角-水平変位の関係

3. 3柱式RCラーメン橋脚への適用

以下に3柱式RCラーメン橋脚の計算手順及びモデルを示す。

(1) 不安定な構造系

上部構造の慣性力作用位置において、水平力を静的に漸増させると、2柱式RCラーメン橋脚では4個の塑性ヒンジが特定された場合に不安定な構造系となる。3柱式RCラーメン橋脚の場合には、図-4の例に示されるように6、7、8個のいずれかの塑性ヒンジが特定されると不安定な構造系となる。

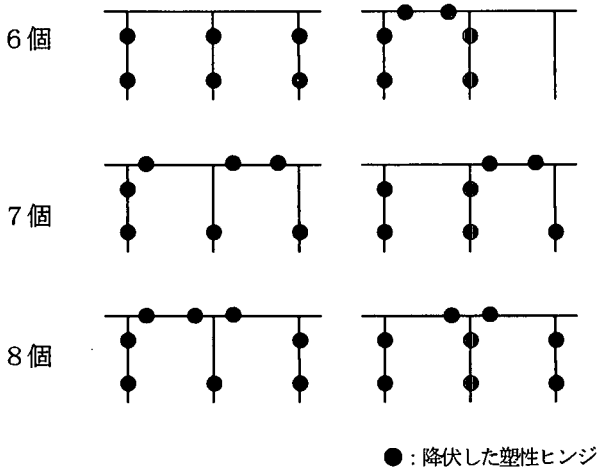


図-4 塑性ヒンジ発生例

(2) 検討モデル

検討モデルは図-5に示される形状を標準構造物とした。ここで、a、b、c、d、e、f、g、h、i、jは塑性ヒンジ点とする。橋脚の補強や立地条件による形状の変更がある場合などを考え、標準構造物から右柱高さを変更したもの、右柱剛性を変更したもの、右側径間長を変更した3パターンを作成し検討を行った。

a) 柱高さ変更

図-6に示されるように3柱式RCラーメン橋脚の右柱のみ高さを変更した。高さについては、標準構造物の右柱高さを基準として、その高さの0.50、0.66、0.80、0.90、0.95、1.00、1.05、1.10、1.20、1.50、2.00倍の11ケースで計算を行った。

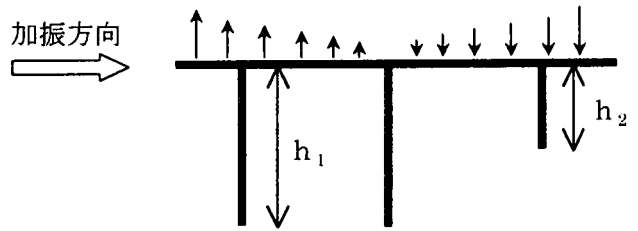


図-6 右柱高さ変更

b) 柱剛性の変更

図-7に示されるように3柱式RCラーメン橋脚の右柱の剛性を変更した。剛性を変更するにあたってRC断面の軸方向鉄筋量ならびに断面高、断面幅を変更した。剛性値については標準の剛性値に対して0.50、0.66、0.80、0.90、0.95、1.00、1.05、1.10、1.20、1.50、2.00倍の11ケースで計算を行った。

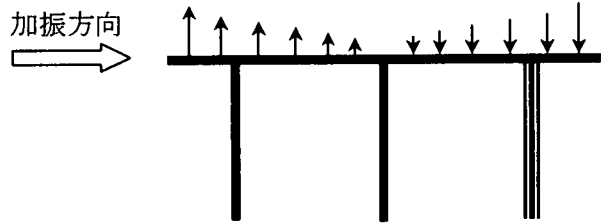


図-7 右柱の剛性変更

c) 径間長の変更

図-8に示されるように標準構造物を基準として径間長を変更し0.50、0.66、0.80、0.90、0.95、1.00、1.05、1.10、1.20、1.50、2.00倍の11ケースの計算を行った。ただし、径間長を変化させる都合上、桁反力載荷位置を図-8に示すように左柱と中柱の中間位置と中柱と右柱の中間位置の計2箇所を設定した。

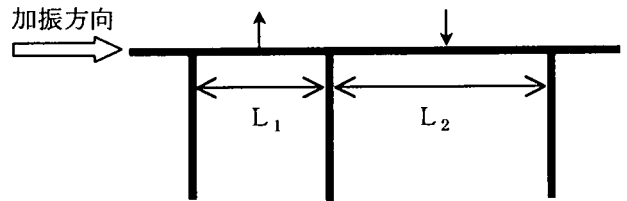


図-8 右側径間長変更

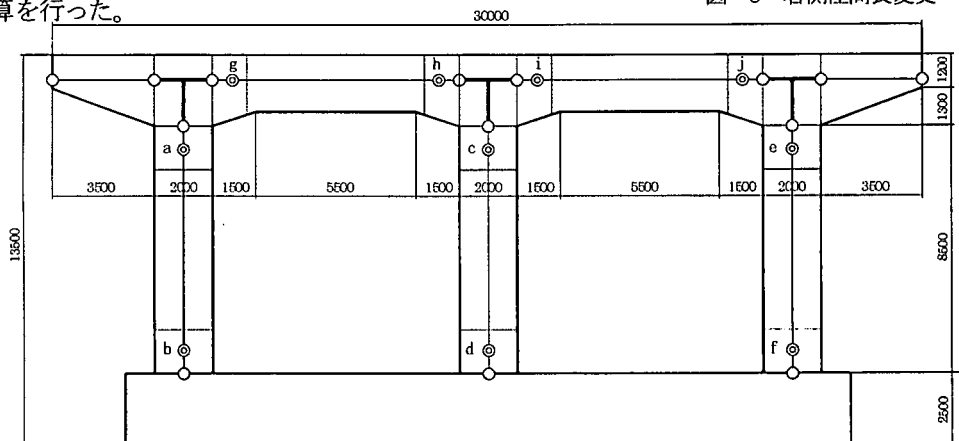


図-5 3柱式RCラーメン橋脚

4. 計算結果

結果の比較を行うために3パターンの計算結果を図-10～15に示す。

図-10、12、14では縦軸をそれぞれ柱高さ倍率、柱剛性倍率、径間長倍率とし、横軸にその時の降伏時、終局時の水平変位を示す。このとき縦軸の倍率は、図-5に示されるラーメン橋脚を1.00倍として求めている。

図-11、13、15では縦軸をそれぞれ径間長倍率、柱高さ倍率、剛性倍率とし、横軸にタイプI、タイプIIにおける右柱の軸力変動の比率(終局軸力/初期軸力)、ならびに右柱高さと右径間長の柱・梁比率(梁長さ/柱長さ)を示す。

a) 標準構造物の計算結果

基準となるRCラーメン橋脚の計算結果を示す。塑性ヒンジの発生順序はタイプI、タイプIIともj→h→g→d→b→c→fであり、破壊形態は曲げ破壊型となった。終局時の水平耐力 P_u 、降伏時の水平変位 δ_y 、終局時の水平変位 δ_u の値は表-1に示される通りである。また、この時の水平力-水平変位の関係は図-9に示す。

表-1 計算結果値

	タイプI	タイプII
P_u	15828.70 (kN)	15837.75 (kN)
δ_y	0.0380 (m)	0.0380 (m)
δ_u	0.4069 (m)	0.7578 (m)

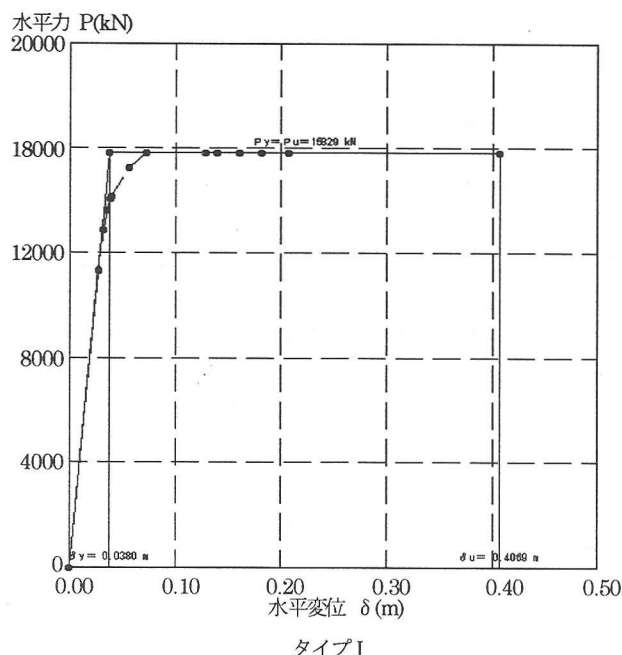


図-9 水平力-水平変位の結果

b) 柱高さ変更の計算結果

図-10において、柱高さが短くなるにつれ、終局変位 δ_u の値が増加する傾向がみられる。しかし、柱高さが0.50倍のとき、すなわち柱が最も短い場合に、0.66倍の終局変位 δ_u に比べ減少している。これは、塑性ヒンジの発生順序において、構造系が不安定となる前に終局す

る塑性ヒンジが発生したためと思われる。

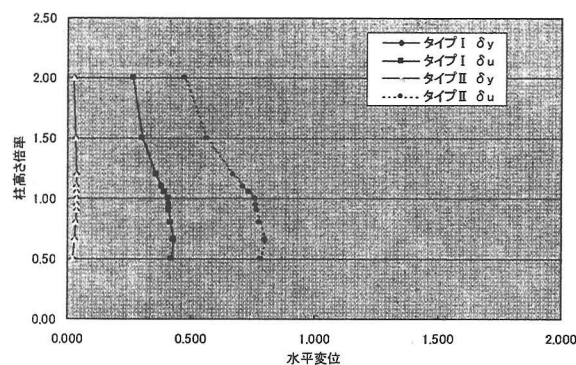


図-10 柱高さ倍率-水平変位の関係

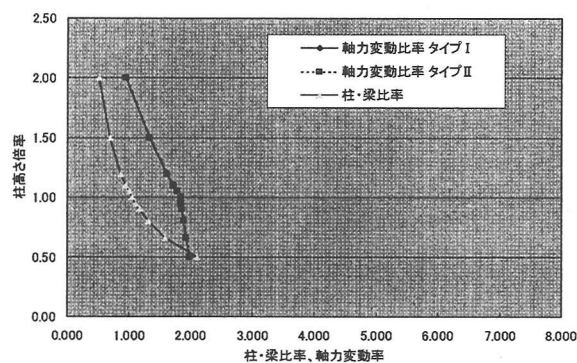


図-11 柱高さ変更時の軸力変動比率、柱・梁比率

c) 柱剛性変更の計算結果

図-12において、タイプI、タイプIIとも剛性倍率が0.50～2.00倍の間で特に問題がないと思われる。ここで柱の剛性を固くすることは柱の高さを短くすることと同様であり、柱の剛性を柔らかくすることは柱の高さを長くすることと同様になるため、0.50～2.00倍の範囲を越えて計算を行った場合には、柱高さを変更したものと同一挙動を示すと考えられる。今回の11ケースの範囲内で計算結果に大きな変化が見られないのは、柱高さの倍率では0.95～1.05倍の区間に相当するからであると推測される。

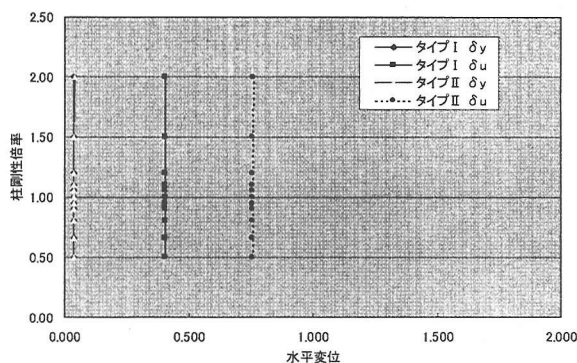


図-12 柱剛性倍率-水平変位の関係

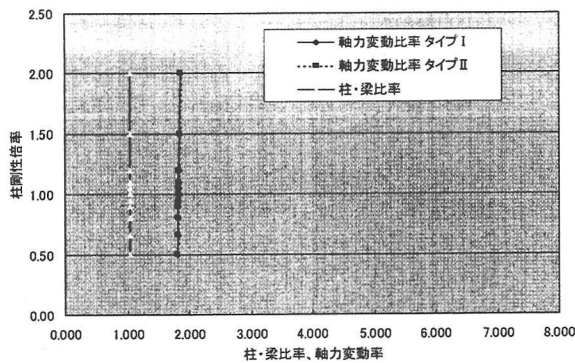


図-13 柱剛性変更時の軸力変動比率、柱・梁比率

d) 径間長変更の計算結果

図-14 において径間長倍率が 0.50、0.66、0.80 倍となった時に照査結果が NG となっている。また、0.50、0.66、0.80 倍では破壊形態がタイプⅠ、タイプⅡとも、せん断破壊型となっている。

図-15 において、径間長が短くなった場合に軸力変動差が大きくなるという傾向がみられる。

これらの径間長倍率の時に算出された水平変位の値が 0.90～2.00 倍の水平変位と傾向が異なるのは次のように考えられる。径間長倍率が小さい値では図-15 で示されるように軸力変動差が大きい。このため、塑性ヒンジにおける耐力が変化し、水平変位値に影響を及ぼしたものと考えられる。

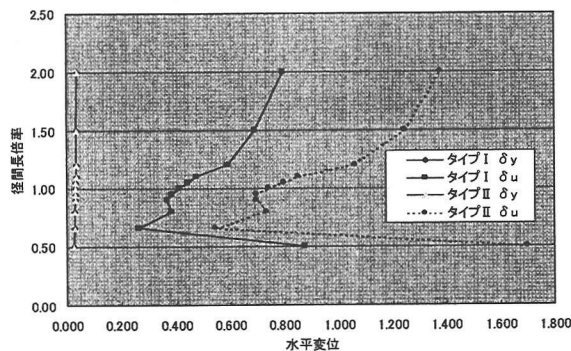


図-14 径間長倍率－水平変位の関係

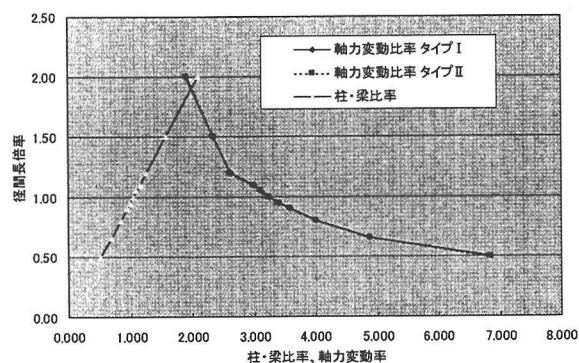


図-15 径間長変更時の軸力変動比率、柱・梁比率

5. まとめ

本論文では、3 柱式 RC ラーメン橋脚の地震時保有水平耐力法の適用について検討を行った。これらより、以下のことが考察される。

(1) 水平力を加えても耐力が増加しない不安定な構造系になる前に、塑性ヒンジの終局が発生する橋脚では「平成 8 年 12 月 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」で示されているラーメン橋脚の地震時保有水平耐力法を適用するのではなく、プッシュオーバーアナリシスを用いて塑性ヒンジを終局まで追従する方法で計算を行うのが望ましいと考えられる。

(2) 柱に作用する軸力の変動差が大きくなった場合、柱断面が高圧縮、または高引張状態となり、その断面の非線形特性算出において誤差が生じる可能性がある。その結果、水平力－水平変位の関係に影響を及ぼすことになる。このような構造系ではその断面の非線形特性まで考慮して「平成 8 年 12 月 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」で示されているラーメン橋脚の地震時保有水平耐力法の適用の可否を検討する必要があると考えられる。

以上より、多柱式 RC ラーメン橋脚において地震時保有水平耐力法の考え方を適用するには十分に注意する必要がある。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，平成 8 年 12 月
- 2) (社) 日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料，平成 9 年 3 月
- 3) (財) 土木研究センター：平成 8 年度 耐震設計ソフトウェアに関する研究委員会報告書，平成 9 年 5 月
- 4) (財) 土木研究センター：平成 9・10 年度 耐震設計ソフトウェアに関する研究委員会報告書，平成 11 年 4 月