

RC ラーメン橋脚の耐震補強設計計算モデルの条件設定について

林 雄一¹・森 敦²・松田 宏³・松田 信子⁴

¹正会員 日本技術開発株式会社 環境防災事業部 地震防災部 (〒164 東京都中野区本町 5-33-11(中野清水ビル))

²正会員 同上

³正会員 日本電子計算株式会社 科学技術事業部 建設技術営業部 (〒135 東京都江東区東陽 2-4-24)

⁴ 同上

1. はじめに

平成7年1月17日の兵庫県南部地震により、橋梁構造物は大きな被害を受けた。その被災原因の究明を踏まえ、またそれまでの研究による知見を反映させて、平成8年12月に道路橋示方書・同解説V耐震設計編¹⁾(以下、道示と称す)の大幅な改訂が為されたことは記憶にあたる。また、これまで不静定構造であることから、耐震性に優れていると考えられていた、鉄筋コンクリートラーメン橋脚(以下、RC ラーメンと称す)の面内方向における、地震時保有水平耐力法にもとづく耐震設計法が、この改訂に伴い新たに規定された。一方、既設道路橋の耐震補強については、上記の道示に規定される地震時保有水平耐力法にもとづく耐震設計法を適用し、基本的には新設橋梁と同等の耐震安全性を確保させることが前提と考えられ、平成9年8月には「既設道路橋の耐震補強に関する参考資料」²⁾が発刊されるに至った。この参考資料には上記のRC ラーメン橋脚の他、鉄筋コンクリート橋脚及び壁式橋脚、鋼製橋脚についての耐震補強設計計算の流れが事例として示されている。

本論文は、上述の耐震補強を必要とする橋脚のうち、「復旧仕様」³⁾による耐震補強実施以降その対象橋脚として多数を占めるRC ラーメン橋脚の、耐震補強設計計算における条件設定について検討を加え、それに対する考察を行ったものである。すなわち、新設橋脚を対象としている道示の地震時保有水平耐力法を適用して、より合理的な既設RC ラーメン橋脚(面内方向)の耐震補強設計を行うにあたっては、いくつかの課題があるものと考えられ、具体

的な検討を行ったものである。筆者らは特に以下に示す事項の地震時保有水平耐力に及ぼす影響についての検討の必要性が高いものと考えた。

- ①既設RC ラーメン橋脚の柱が段落しを有する場合の初期剛性(曲げ剛性)の設定
- ②既設部断面と補強部断面との材料強度が違ふ場合の取扱い方法
- ③特に補強設計において顕著となる場合がある異常に大きな許容塑性率を与える終局時の定義

具体的には、上記①については、新設同様として考えれば柱上下端の平均値として初期剛性を設定することとなるが、柱に段落しが存在することにより、曲げ剛性の値が基部と段落し部より上で違ふため、これによる影響が懸念される。②については補強部に用いる材料強度が既設部断面の材料強度と異なる場合に、換算して補強部を含めた全断面について材料強度を求めるとした場合と、それぞれを別々に取り扱う場合とで異なるため、これによる地震時保有水平耐力への影響が懸念される。また、③については新設同様にすべての塑性ヒンジが終局に達した場合を終局時とすることで、補強程度によっては梁の終局塑性回転角が相当大きくなってしまい、結果として異常に大きな許容塑性率(上部構造慣性力作用位置での水平変位が数メートルとなる)を呈することがある。このような状態では他の塑性ヒンジ位置のRC断面がすでに鉄筋の破断ひずみを遥かに超え、コアコンクリートも適切に拘束されている状態ではなくなっていることが懸念される。

このような課題を踏まえ、本論文ではとりあえず上記の①についての検討を実施し、得られた結果とそれに対する考察について報告するものである。

2. 検討対象橋脚

検討対象橋脚およびその主要断面を図-1に示す。本橋脚は、柱基部より9.2mの位置で、橋軸方向、直角方向ともに段落としがあり、柱基部および上端における鉄筋量と軸方向鉄筋比は、それぞれ表-1に示すとおりとなっている。また、表中には、死荷重時に発生している軸力を用いて算出したラーメン面内方向の初期剛性（初降伏剛性）も示している。

ところで、RC ラーメン橋脚の補強設計では通常、柱の補強諸元はラーメン面外方向で決定される場合が多く、はりのそれは、当然面内方向で設計される。本検討対象橋脚もそのようであり、道示の地震時保有水平耐力法に準じて補強設計を行った場合、図-2に示すような補強諸元となる。なお、このとき用いた骨組みモデルの柱における初期剛性は、柱上下端の平均であり、曲げ破壊先行型の補強設計結果を得ている。これ以降示す検討は、ここで示した補強後の橋脚に対し行ったものである。

表-1 柱断面の鉄筋量および初期剛性

	軸方向鉄筋量(cm^2)		軸方向鉄筋比	初期剛性EI (tf/m^2)
	面外方向	面内方向		
柱上端	269.806	167.024	0.56	1.215
柱下端	745.184	372.592	1.43	2.000
平均	—	—	—	1.608

3. 検討の方法および条件

2で示した検討対象橋脚に対し、道示の地震時保有水平耐力法を適用するときの骨組みモデルの柱における初期剛性は、柱上下端の平均として設定する（ケース1）が、これ以外に、柱の段落とし位置より上下に分け、それぞれ忠実に初期剛性を設定する（ケース2）。このように設定したそれぞれの骨組みモデル（図-3）に対し、道示の地震時保有水平耐力法を適用したときの計算結果を比較検討する。

表-2 には、ケース1およびケース2の補強後における柱上下端部の面内方向初期剛性を示す。

表-2 補強後の柱上下端の初期剛性

	補強部軸方向鉄筋量(cm^2)		軸方向鉄筋比	初期剛性EI (tf/m^2)
	面外方向	面内方向		
柱上端	206.492	0	0.64	1.828
柱下端	206.492	158.84	1.33	3.415
平均	—	—	—	2.622

注1) 補強部軸方向鉄筋量は、フーチング、あるいは、はりに定着しているもののみ考慮

注2) 軸方向鉄筋比および初期剛性は、既設部と補強部の一体断面とした値

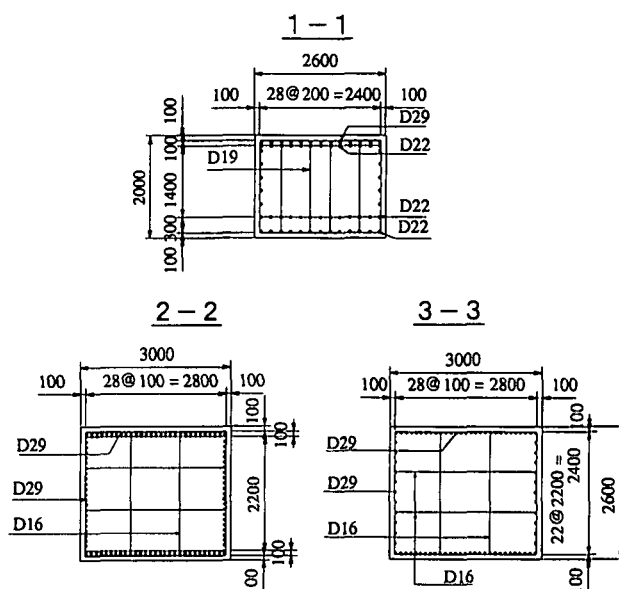
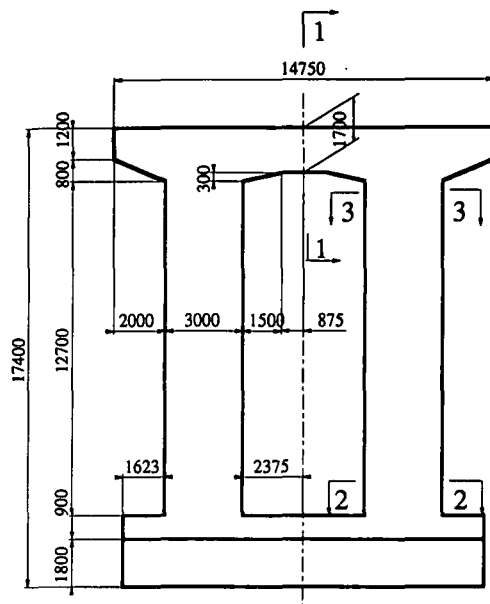


図-1 検討対象橋脚

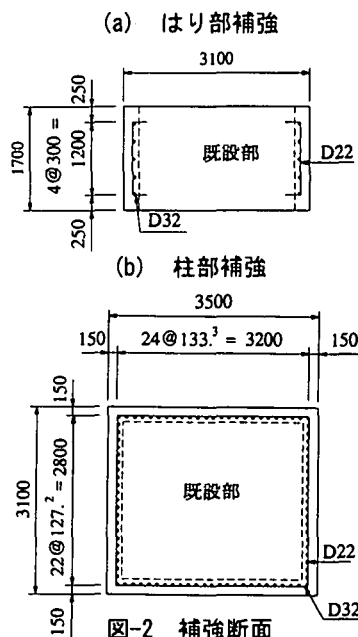


図-2 補強断面

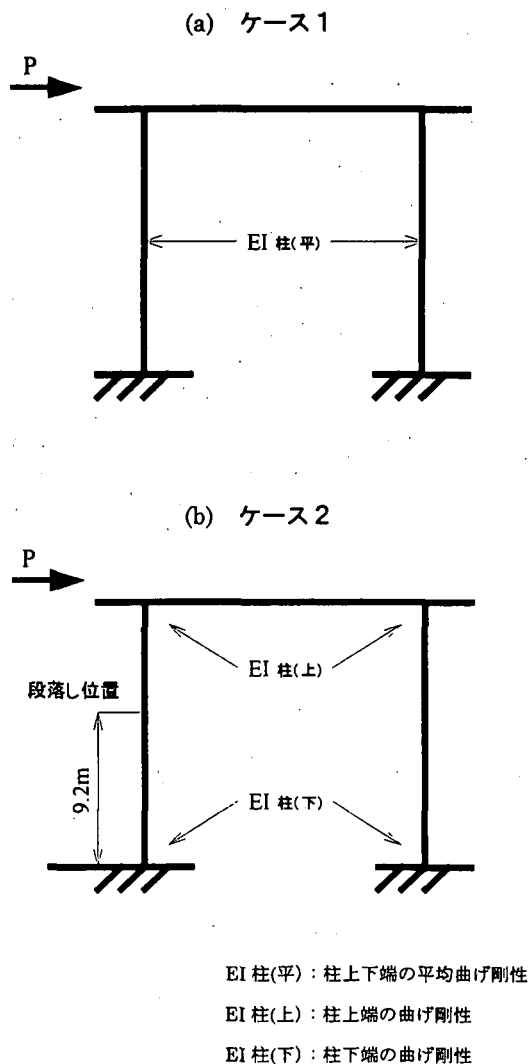


図-3 骨組みモデル

4. 結果および考察

図-4 に、骨組みモデルにおける柱の初期剛性を上下端の平均としたケース（ケース1）、および、上下端それぞれ分けて設定したケース（ケース2）の、地震時保有水平耐力法に基づいて算出された、それぞれの荷重・変位曲線を示した。なお、本図はタイプⅡ地震動によるものである。同図によると、各箇所塑性ヒンジが発生するときの耐力はほとんど一致しているのに対し、変位では、降伏時および終局時の変位ともに若干の違いが生じている。

また、塑性ヒンジの発生および終局変位の順番は、両ケースともに同じであり、RC ラーメン橋脚全体が終局状態に至るまでの過程は、同じように評価されていることが確認される。ただし、各箇所の塑性ヒンジが生じるとき荷重および変位、あるいは、終局時の変位には、両ケースで違いがみられる。

表-3 には図-4 に示した荷重・変位曲線を基に、

両ケースに対し、地震時保有水平耐力法における耐震安全性の照査を行った結果を示した。同表より明らかに、耐震安全性の評価として、許容塑性率 μ_a 、 P_a/P_e の各値は、両ケースともに同程度となっている。

RC ラーメン橋脚全体の初期剛性に着目すると、図-4 の荷重・変位曲線における初期勾配、あるいは、表-3 中の固有周期から判断されたとおり、骨組みモデルにおける柱の初期剛性を上下端の平均としたケース（ケース1）の方が1割程度大きくなっている。さらに、ケース1とケース2の降伏変位と終局変位には、それぞれ1割程度の差が出ているが、その差が相対的にほぼ同じなため、許容塑性率としては差が出ていないことがわかる。

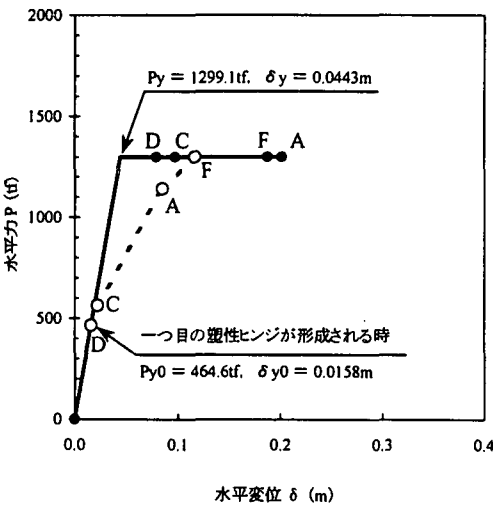
以上のような結果となった理由としては、次のようなことが考えられる。つまり、RC ラーメン橋脚に対する地震時保有水平耐力法では、塑性ヒンジの発生を、各判定断面の配筋状態より忠実に算出した降伏耐力より判定している（段落としている断面では、その断面での降伏耐力を求めている）。すなわち、塑性ヒンジの発生が想定される箇所における曲げ耐力は、両ケースとも全く同じである。一方、フレーム計算により求められる各判定断面の発生断面力は、柱の上下端の剛性をそれぞれ分けて設定した場合も、柱の剛性を一つの平均した剛性として設定した場合も、柱全体としてみれば、はりとの剛性バランスにそれ程違いがないため、結果としてどちらのケースにおいても、わずかな違いがあるにせよ、ほぼ同じような断面力分布となる。したがって、これらを合わせて考えれば、地震時保有水平耐力法において算出される荷重・変位関係において、塑性ヒンジが発生するときの荷重等に若干の違いが生じたものの、その破壊パターン、あるいは、全体耐力にほとんど違いが生じない結果となったものと考えられた。

また、初期剛性においてケース1がケース2より1割程度大きいのは、以下の理由によるものと考えられる。すなわち、RC ラーメン橋脚全体の初期剛性は、全体耐力が柱基部、柱上端部、およびはり端部の曲げ耐力に大きく依存しているため、これらの箇所の内、本検討での対象橋脚のように柱に段落とがあり比較的曲げ耐力の小さい箇所がある場合には、その影響を少なからず受けるものと考えられる。そして、結果として柱の曲げ剛性を上下端の曲げ剛性の平均として設定してケースに比べ、それぞれを分けて設定したケースの方が、全体の剛性として小さく評価されたものと考えられる。

以上をまとめると、柱の初期剛性を上下端の平均

として設定したケースと、上下端それぞれ分けて設定したケースとの、地震時保有水平耐力照査における荷重と変位の関係には、その破壊過程における耐力、あるいは、変位に若干の違いが生じるものとなったが、耐震性に大きく影響する RC ラーメン橋脚としての最大耐力、また、許容塑性率等にはほとんど違いがなく、柱の初期剛性の設定法が耐震安全性の照査結果および影響は小さいものと考えられる。

(a) ケース 1



(b) ケース 2

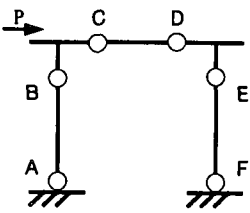
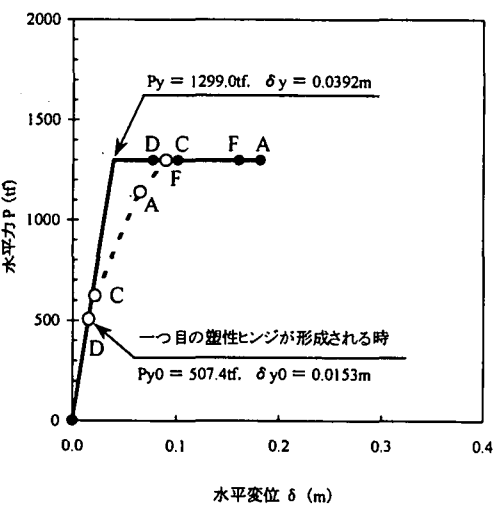


図-4 荷重・変位曲線

表-3 比較検討結果

		ケース1	ケース2
降伏時	耐力 (tf)	1299	1299
	変位 (m)	0.044	0.039
終局時	耐力 (tf)	1299	1299
	変位 (m)	0.202	0.182
固有周期 (s)		0.392	0.366
許容塑性率		3.377	3.428
Pe (tf)		1041	1032
Pa/Pe		1.248	1.259

5. おわりに

RC ラーメン橋脚の地震時保有水平耐力法にもとづく耐震補強設計計算における条件の設定についての課題として、柱に段落としを有する場合の初期剛性の設定方法についての検討を行った。その結果、ここで示した条件を有する RC ラーメン橋脚においては、柱上下端の初期剛性をそれぞれ分けて設定したケースは、柱全体の初期剛性をそれぞれの平均としたケースと比べて、変位の絶対値には違いがみられるものの、耐震安全性の基準となる曲げ耐力および許容塑性率には、ほとんど違いがなかった。したがって、段落としのある柱の初期剛性は、柱上下端の剛性にある程度の違いがあっても、地震時保有水平耐力法の計算結果には影響が少なく、新設設計と同様な取り扱いとして柱上下端の初期剛性の平均としておけばおおむね問題はないものと思われる。

なお、今後はここで報告した以外の課題②、③、およびその他の課題についても順時検討を加え、より合理的な RC ラーメン橋脚の耐震補強設計に役立てることができれば幸いである。

【参考文献】

- 1) 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編、平成 8 年 12 月、(社) 日本道路協会
- 2) 既設道路橋の耐震補強に関する参考資料、平成 9 年 8 月、(社) 日本道路協会
- 3) 「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料(案)、平成 7 年 6 月、(社) 日本道路協会