

耐力低下勾配を考慮した不等高橋脚を有する RCラーメン橋の変形性能に関する考察

嶋 利幸¹・川神雅秀²・大塚久哲³

¹ 大日本コンサルタント 技術本部耐震研究室（〒550 大阪市西区北堀江一丁目22番19号）

² 正会員 工博 大日本コンサルタント 技術本部耐震研究室（〒550 大阪市西区北堀江一丁目22番19号）

³ フェロー 工博 九州大学 教授 工学部建設都市工学科（〒812 福岡市東区箱崎六丁目10番1号）

1. はじめに

平成8年版道路橋示方書V耐震設計編（以下、道示Vと称す）では、大規模地震に対する鉄筋コンクリート（以下、RCと称す）ラーメン橋脚の簡易的耐震設計法として、塑性領域での変形性能を確認する地震時保有水平耐力法が導入された。この設計法は等高の橋脚を有するコンクリートラーメン橋についても準用することができる。しかし、山岳地形などでの不等高橋脚構造を有するコンクリートラーメン橋については非線形領域での挙動に関して未解明な課題が多く存在し、道示Vでは非線形動的解析により設計を行うとの規定を示すに留めている。

本文では、不等高橋脚を有するコンクリートラーメン橋を対象に、ラーメン構造系の終局状態について耐力低下領域までを考慮した復元力モデルで検討し考察を加えた。

2. 耐力低下勾配を考慮した解析手法の検証

(1) シミュレーションの検証

図-1に示すRCラーメン橋脚を対象に、正負交番載荷実験結果¹⁾とシミュレーションとの水平荷重—水平変位関係について比較を行った。ここに、解析で使用する耐力低下領域の負勾配は、RC単柱橋脚の正負交番載荷実験より提案されている実験式²⁾を用いた。

$$K_d = \{9.7 \ln(a/d) - 18\}$$

$$\times (0.19 \sigma^2 + 0.04 \sigma + 1) \times \begin{cases} 1.0 \cdots \text{Type I} \\ 0.5 \cdots \text{Type II} \end{cases} \quad (1)$$

ここに、 K_d ：耐力低下勾配(kN/mm)

a/d ：せん断支間比

σ ：軸圧縮応力度(MPa)

(2) RCラーメン橋脚における比較

図-1の解析モデルによる静的水平変位漸増解析結果と正負交番載荷実験値¹⁾との比較を図-2に示す。

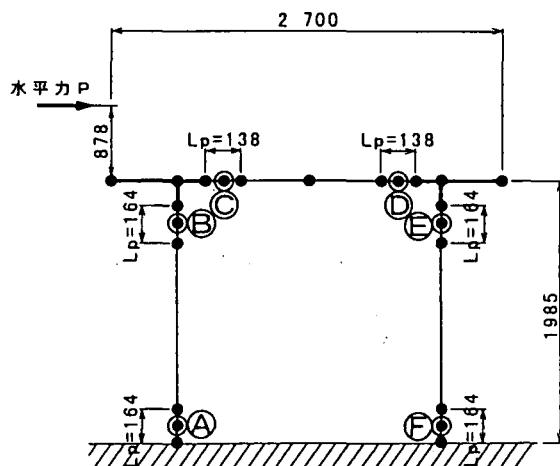


図-1 RCラーメン橋脚解析モデル

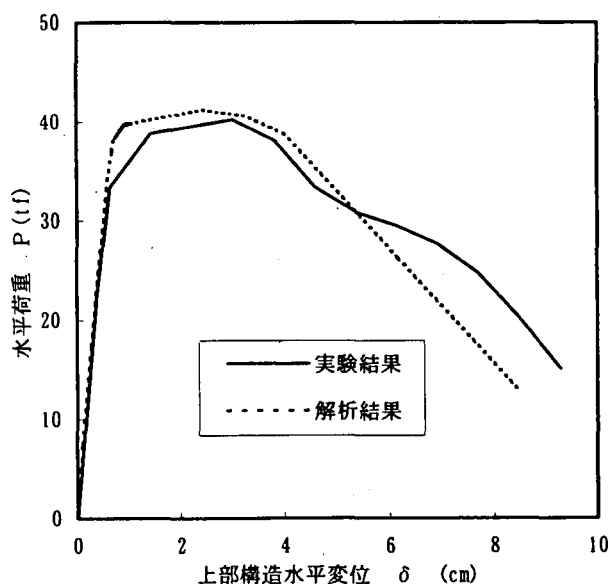


図-2 RCラーメン橋脚の水平荷重—水平変位関係

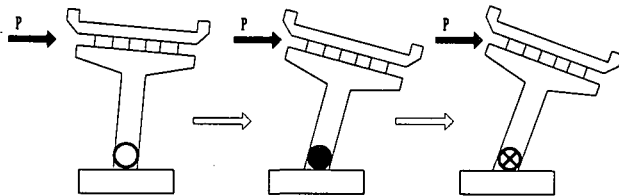
図-2より、耐力低下勾配を仮定したシミュレーション結果が、正負交番载荷実験結果の復元力特性をほぼ再現できることがわかった。

2. ラーメン構造系の終局状態

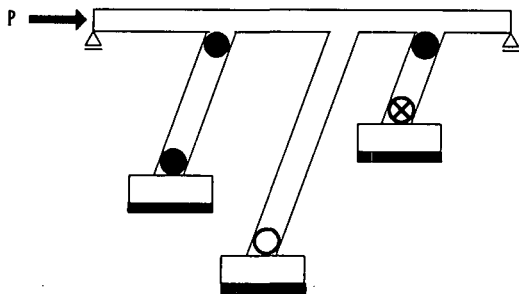
道示Vにおいては、RC単柱橋脚の終局変位の定義を、脚柱基部のかぶりコンクリートが剥離を開始する時点の橋脚天端水平変位とし、この終局変位に安全率を適用して許容変位を設定している。道示Vで定義する終局耐力は最大耐力状態に相当し、最大耐力に到達後、水平荷重と変位の関係は負勾配となり耐力は漸次低下し橋脚の倒壊に至る結果となる。

(図-3(a), (c)参照)

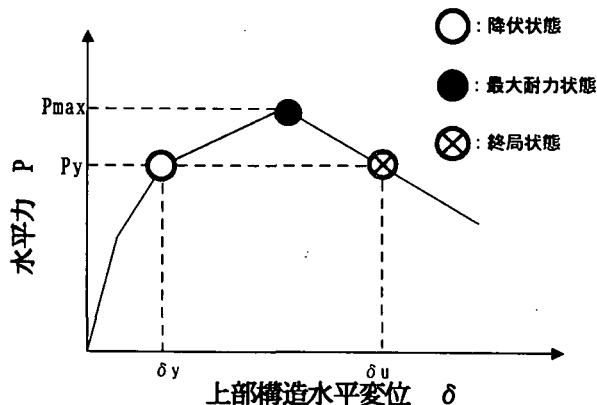
ラーメン構造系においては、RCラーメン橋脚の交番载荷実験¹⁾でも明らかなように、構造部材の一部が最大耐力状態を越えても、荷重の再分配の効果



(a) RC単柱橋脚の損傷進展のイメージ



(b) RCラーメン橋の損傷進展のイメージ



(c) RC橋脚の復元力特性

図-3 終局状態の定義

により崩壊に至るまでには高い変形性能を保有している。

しかしながら、本文で取り扱う不等高橋脚を有するRCラーメン橋においては、例えば高い橋脚が塑性領域に至っていないにも係わらず、荷重の集中する低い橋脚が先行して破壊し、その時点で構造の全体系が成立しない状態となる場合がある。(図-3(b)参照) このため、不等高橋脚を有するラーメン橋においては、大規模地震動により損傷が発生した場合、構造系としての終局的機能をどのように設定するかが問題となる。

RC単柱橋脚の場合、文献 3)によると、図-3(c)に示すように水平荷重が最大値に至ったのち徐々に耐力低下し、再び降伏耐力 P_y に達した時点の変位を終局変位と定義し、この状態を終局状態としている。

本文でも、RCラーメン橋の終局状態として、耐力低下領域を考え、軸力とせん断力の伝達を確保する観点より、降伏耐力相当の変位を終局と仮定する。

4. モデル橋による終局状態の解析

(1) 解析モデルの概要

不等高橋脚を有する4径間連続PCラーメン箱けた橋を対象に、耐力低下領域を考慮した復元力特性により、解析を行った。解析に使用した橋梁の基本諸元を表-1に、また解析モデルの骨組図を図-4に示す。

解析方法は図-5に示すように、解析モデルに地震慣性力に対応させた水平変位を静的に漸増させた。

部材のモデル化に際しては、塑性領域が発生すると予測される部位は、弾塑性回転バネでモデル化し、塑性ヒンジ領域の中央に挿入した。塑性領域以外の橋脚の部位と上部構造は弾性のはり要素でモデル化した。

曲げモーメントー回転角関係は図-3(c)の復元力特性で評価した。また、軸力と曲げ耐力の相関も考慮した。

表-1 橋梁諸元

橋 梁 形 式	4径間連続PCラーメン箱けた橋
支 間 長	45.3m+2@85.0m+45.3m(260.6m)
有 効 幅 員	9.0m
斜 角	90° 00' 00"
橋 台 形 式	逆T式橋台
橋 脚 形 式	柱式橋脚
基 礎 形 式	深礎杭
橋 台 支 承 条 件	可動支承

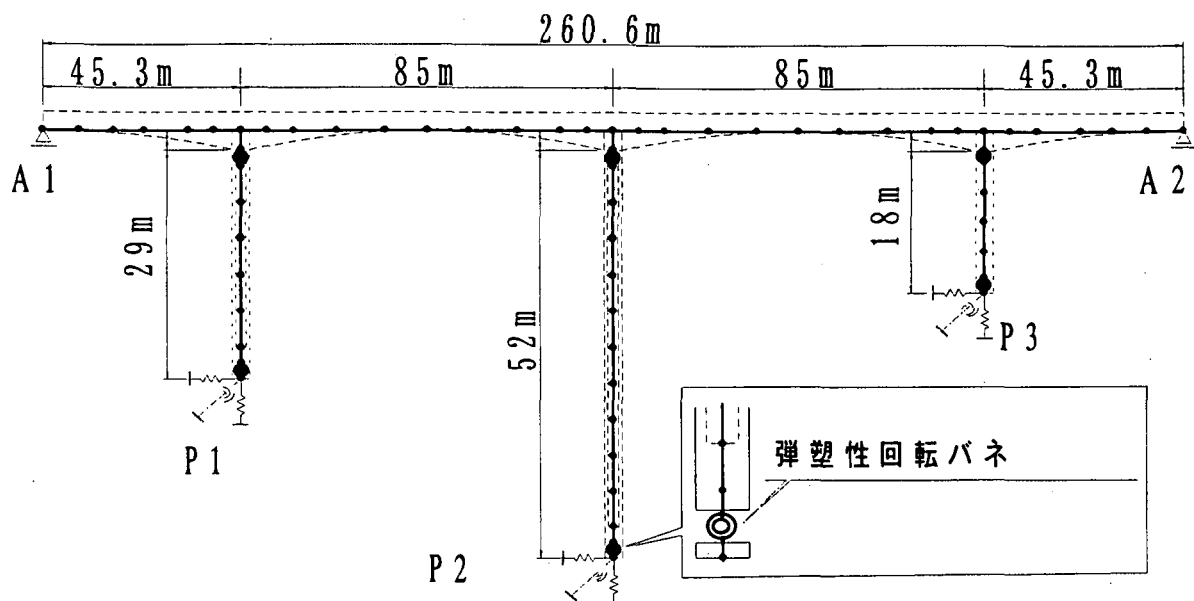


図-4 骨組解析モデル

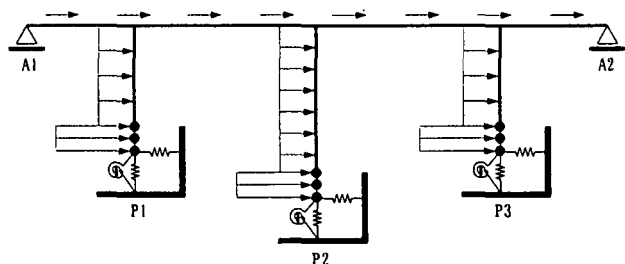


図-5 静的水平変位漸増解析の概念

(2) 解析結果

図-6は、耐力低下勾配を考慮したRCラーメン橋の、橋軸方向におけるせん断力-水平変位関係を示したものである。

P1 橋脚では、上部構造水平変位が 117cm 付近で橋脚下端が最大耐力となり、緩やかに耐力低下を開始する。さらに、水平変位が 136cm 付近で橋脚上端が最大耐力となりその後せん断力の低下が顕著となる。本文で仮定した終局状態に達する時点での水平変位は、橋脚上端で 200cm 付近、橋脚下端で 233cm 付近である。

P2 橋脚では、上部構造水平変位が 225cm 付近で橋脚下端が最大耐力となり耐力低下が始まるが、その勾配は非常に緩やかなためせん断力の低下はほとんど生じない。

P3 橋脚では、上部構造水平変位が 78cm 付近で橋脚下端が最大耐力となり緩やかに耐力低下を開始する。さらに、水平変位が 102cm 付近の状態では橋脚上端が最大耐力となり、それ以降せん断力の低下が顕著となる。終局状態に達するときの変位は、橋脚上端で 133cm 付近、橋脚下端で 116cm 付近で

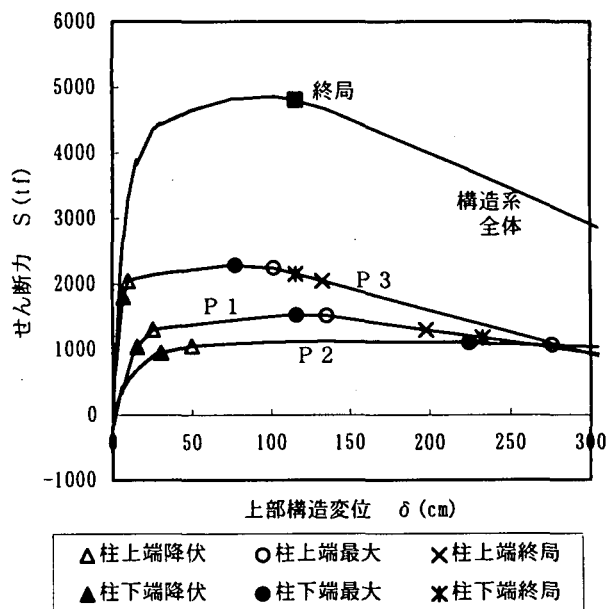


図-6 せん断力-水平変位関係

ある。

図-7は、終局状態の評価方法を変えた場合の橋軸方向の水平震度-水平変位関係を示すものである。

ケース 1 は、復元力特性に耐力低下勾配を考慮した場合である。終局状態の判定は、複数箇所形成される塑性ヒンジのうち最初の塑性ヒンジが本文で仮定した終局状態に至ったときとした。

ケース 2 は、復元力特性に耐力低下勾配を考慮しない場合である。終局状態の判定は、複数箇所形成される塑性ヒンジのうち最初の塑性ヒンジが最大耐力に至ったときとした。

ケース 3 は、復元力特性を完全弾塑性型でモデル

化した場合である。終局状態の判定は、複数箇所形成される塑性ヒンジのうち、構造系が不安定となる、全ての塑性ヒンジが最大耐力に至ったときとした。

ケース3を不等高橋脚を有するRCラーメン橋に適用するのは明らかに変形性能を過大評価することになるが、ここではケース1、ケース2の変形性能との比較を目的に記述した。

表-2に三ケースのじん性率 μ ($=\delta_u/\delta_y$)を示す。なお、降伏変位 δ_y は式(2)で求めた。

$$\delta_y = \delta_{y0} \cdot \frac{k_{hu}}{k_{hy0}} \quad (2)$$

ここに、 δ_{y0} ：初降伏変位

k_{hy0} ：初降伏水平震度

δ_u ：終局変位

k_{hu} ：終局水平震度

ケース3のじん性率はケース1の約2.3倍、ケース2の約3.5倍の値となり、先にも述べたように明らかに変形性能を過大評価する結果を示している。ケース1とケース2を比較した場合、じん性率の差は約1.5倍であった。

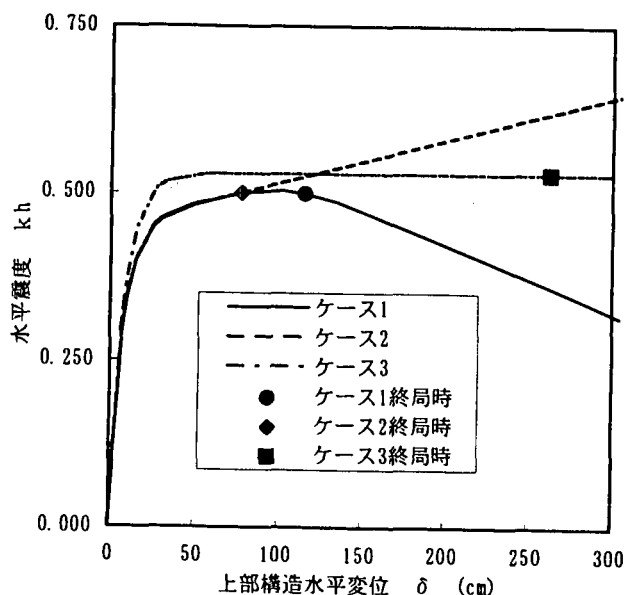


図-7 水平震度－水平変位関係

表-2 じん性率の比較

	ケース1	ケース2	ケース3
k_{hy0}	0.281	0.281	0.297
k_{hu}	0.499	0.500	0.529
δ_{y0} (cm)	6.76	6.76	6.60
δ_y (cm)	12.00	12.03	11.76
δ_u (cm)	115.84	77.77	262.85
μ	9.65	6.46	22.35

5. まとめ

不等高橋脚を有するRCラーメン橋においては、塑性領域で生じる荷重再分配の機能を十分に発揮する前に局部的に低い橋脚が破壊し、構造系としての機能維持が困難になる場合が存在する。

本文では、耐震設計を行う際必要となるラーメン構造系の終局状態の評価方法について、耐力低下の影響を考慮した設定方法を提案した。

この評価方法は、最初の塑性ヒンジが最大耐力に至ったときを終局状態とする評価方法に比べ、不静定構造が有する荷重再配分の機能を厳密に評価できる点において有効と思われる。

参考文献

- 1) 寺山徹、大塚久哲、長屋和宏、佐藤貴志、田崎賢治：地震時保有水平耐力法による鉄筋コンクリートラーメン橋脚の耐震設計，土木技術資料 Vol.39, No.2
- 2) 武村浩志、川島一彦：鉄筋コンクリート橋脚の載荷履歴特性のモデル化，第24回地震工学研究発表会講演論文集，1997年7月
- 3) 川島一彦、長谷川金二、長島博之、小山達彦、吉田武史：鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査法の開発に関する研究，土木研究所報告第190号，平成5年9月