

東洋技研コンサルタント 正会員 ○ 武山和夫 東洋技研コンサルタント 久野恭弘  
 東洋技研コンサルタント 正会員 島田 功 大阪市立大学 フェロー 園田恵一郎

1. まえがき

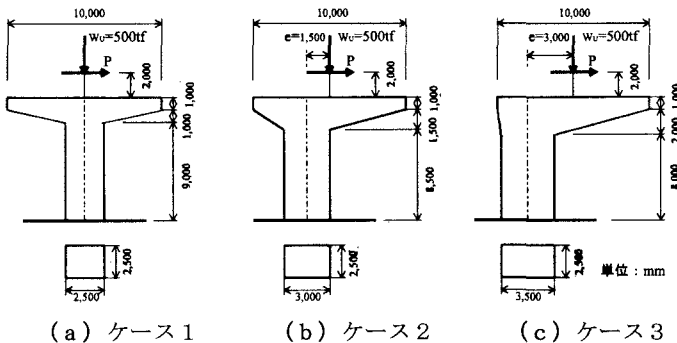
高架橋の橋脚をはじめとする RC 構造物に大きな損傷を与えた兵庫県南部地震の経験が、土木構造物の設計示方書に反映された。すなわち、改訂された道路橋示方書の耐震設計編では、内陸直下型の地震に対しては、大幅に増加したタイプ II の地震動を設定し、単柱式橋脚などについて保有水平耐力による設計をすることとなった[1]。橋脚の耐震設計における非線形解析の目的は、強大な地震に対するねばり強さ、すなわち靱性を知ることにある。履歴型の復元力特性をもつ構造系においては、弾性解に比較して変形は増えるが地震力は低減することになる。強い地震動に対しては、橋脚の変形でエネルギーを吸収することによって崩壊を防ぐように設計する。道路橋示方書では、完全弾塑性型の復元力特性をもつものとし、線形系の加速度に  $1/\sqrt{2\mu-1}$  を乗じたもので、弾塑性系の加速度スペクトルを与え、地震時保有水平耐力に対する安全性を判定している。ここに、 $\mu$  は塑性率である。本報告は、初期に死荷重状態で柱に曲げが発生する、偏心荷重を受ける単柱式鉄筋コンクリート橋脚に関して、道示に従った地震時保有水平耐力や変形性能を数値解析結果から考察したものである。

2. 解析モデル

図-1、表-1 に示すように、震度法で耐震設計した (II 種地盤)、上部工荷重の作用位置が異なる 3 ケースを対象とした。図-2、表-2 は柱部の配筋図である。

表-1 設計条件

設計水平震度 (Kh)	0.25 (II 種地盤)
許容応力度 $\sigma_{ca}$	120 kgf/cm <sup>2</sup>
" $\tau_{ca}$	3.5 kgf/cm <sup>2</sup>
" $\sigma_{sa}$	3000 kgf/cm <sup>2</sup>



(a) ケース 1 (b) ケース 2 (c) ケース 3

図-1 上部工が偏心荷重する鉄筋コンクリート橋脚

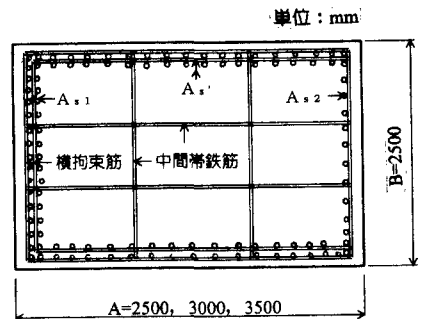


図-2 柱部の配筋

3. 解析結果

表-3 には、柱部の圧縮コンクリートの応力 ( $\sigma$ ) - ひずみ ( $\epsilon$ ) 関係の特性値を示した (各ケースとも横拘束筋は同じ)。なお、コンクリートの設計基準強度  $\sigma_{ck}$  は、240kgf/cm<sup>2</sup> である。表-4 は、死荷重状態での柱下端軸力および曲げモーメントをまとめたものである。図-3 には、各橋脚下端における材料非線形 (曲げモーメント (M) - 曲率 ( $\phi$ )) の関係を示した。図-4 には、水平力 (P) - 上部工重心位置の水平変位 ( $\delta$ ) の関係を示した。表-5 は、これらの解析結果より各橋脚の地震時保有水平耐力をまとめたものである。

表-2 配筋表

	ケース 1	ケース 2	ケース 3
As1	D32-32 本 (2 段)	D35-38 本 (2 段)	D38-38 本 (2 段)
As2	D32-32 本 (2 段)	D32-10 本 (1 段)	D32-10 本 (1 段)
As'	D32-29 本 (1.5 段)	D32-29 本 (1.5 段)	D32-29 本 (1.5 段)

横拘束筋、中間帯鉄筋: D19 を 15cm ピッチで使用  
 軸方向鉄筋のかぶり厚は 13cm

表-3 柱部コンクリートの応力-ひずみ関係

$\sigma_{cc}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	269
$\epsilon_{cc}$	0.0041
$\sigma_{cu}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	215
$\epsilon_{cu}$	0.0073

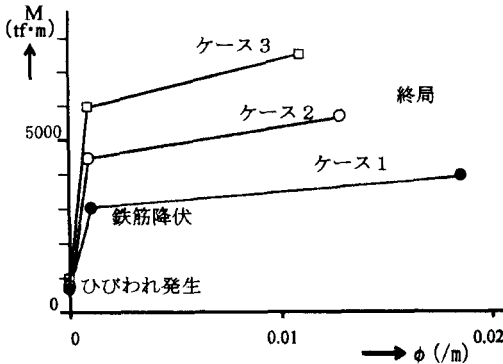
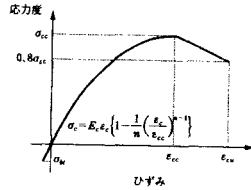


図-3 橋脚下端における曲げモーメント(M)-曲率(φ)の関係

表-4 死荷重状態での柱下端の軸力(N)と曲げモーメント(Mo)

	ケース1	ケース1	ケース1
N(tf)	750	797	844
Mo(tf·m)	0	914	1875

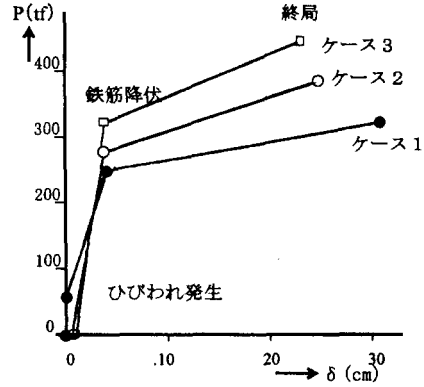


図-4 水平力(P)-上部工重心位置の水平変位(δ)の関係

4. 考察

偏心荷重を受ける橋脚は、死荷重モーメントの影響で設計断面が大きくなり、耐力は増加する。ところで、ここに示した橋脚は、死荷重状態において柱下端でひびわれ発生モーメントを超えている(ケース2:死荷重モーメント=914tf·m ひび割れ発生モーメント=879tf·m、ケース2:死荷重モーメント=1875tf·m ひび割れ発生モーメント=1158tf·m)。したがって、これらの橋脚では、死荷重状態から鉄筋降伏するまでの変位(δ<sub>y0</sub>)が小さくなり、塑性率(μ)が増加する。これらの諸原因によって、震度法で耐震設計した橋脚に対し、示方書に示す地震時保有水平耐力の評価は、偏心荷重を受ける場合の方が安全となる。しかし、履歴減衰の効果は、地震時に両方向に振動し、曲げモーメント-曲率関係のループによってエネルギーが逸散されるためである。図-5は、土研で行なわれた振動台によるモデル実験結果[2]であるが、変位は一方に増加している。このような場合、履歴減衰は小さく、地震力の低減も小さいものと思われる。今後、このような特性も検討する。

参考文献:[1]日本道路協会:道路橋示方書・同解説/V耐震設計編、1996。[2]運上茂樹、向 秀毅:偏心曲げを受ける鉄筋コンクリート橋脚の地震時振動特性、土木技術資料 37-7、1995。

表-5 地震時保有水平耐力(タイプIIの地震動)

	ケース1	ケース2	ケース3
保有水平耐力(Pa(tf))	323	384	454
許容塑性率(μ <sub>a</sub> )	3.78	3.53	4.25
固有周期(T(sec))	0.83	0.68	0.56
設計水平震度(Khc)	1.75	1.75	1.75
等価水平震度(Khc)	0.68	0.71	0.64
等価重量(W(tf))	625	648	672
慣性力(Khc·W(tf))	426	460	429
安全率(Pa/慣性力)	0.76	0.83	1.06

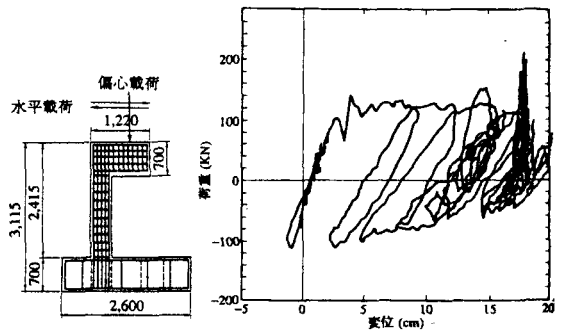


図-5 振動台実験から得られた荷重-変位の履歴[2]