

(151) 鉄筋コンクリートラーメン橋脚の動的耐力及び変形性能

建設省土木研究所 川島 一彦

建設省土木研究所 長谷川金二

建設省土木研究所○長島 博之

1. まえがき

平成2年2月に通達された道路橋示方書V耐震設計編には、「鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査」の規定が取り入れられた。しかしながら、これは1本柱形式の橋脚の照査方法を規定したものであり、ラーメン橋及びラーメン橋脚等不静定な橋脚については、照査の対象としていない。

本文では、RC不静定橋脚の動的耐力及び変形性能を検討するためにRCラーメン橋脚模型の載荷実験を行なったので、その結果を簡単に報告する。

2. 実験に用いた供試体

実験には、図1に示すような同一断面諸元を有する供試体3体(RP-1~3)を用いた。これは橋脚高さ10mの標準的な2脚式ラーメン橋脚を約1/4に縮小したものである。橋脚の断面寸法は、柱では65cm×35cm、梁では37.5cm×65cmである。また、2本の柱の軸線間隔は1.25mであり、橋脚基部(フーチング上面)から梁下端までは1.7mである。軸方向鉄筋としては、柱ではD10を14本(軸方向鉄筋比0.44%)、梁ではD13とD10を8本づつ(軸方向鉄筋比0.65%)配置した。帯鉄筋としてはφ9mmを用い、柱と梁の接合部及び柱基部から35cmの位置までは10cm間隔、それ以外の部分には12.5cm間隔で配置した。また、梁にはスターラップとしてD10を10cm間隔で配置した。なお、3体の供試体のうち1体(RP-3)には、柱と梁の接合部に15cm×7.5cmのハンチを設け、用心鉄筋としてD10を2本配置した。供試体に用いた鉄筋の規格は、いずれも丸鋼ではSR24、異形鉄筋ではSD30である。

コンクリートとしては、早強ポルトランドセメントを用いた。最大骨材寸法20mmである。各供試体の平均一軸圧縮強度は、RP-1及びRP-2では311kgf/cm²、RP-3では295kgf/cm²である。

3. 載荷実験方法

実験では、図2に示すように供試体をフーチング位置で反力壁に固定し、もう一方の反力壁に設置した動的加振機により橋軸直角方向に載荷した。また、橋脚頭部には上部構造重量に相当する25tfの軸力を軸力載荷装置により静的に作用させた。ここで、水平力及び軸力は、実際の橋脚に作用する慣性力及び上部構造反力の作用位置をなるべく忠実に再現するため、剛性の高い載荷治具を介して載荷させた。

水平力は、変位制御により作用させた。柱と梁の接合部及び柱基部に生じる軸方向鉄筋のひずみを計測し、両者のうちいずれかが降伏するまでは、静的に数回に分けて(5回程度)変位を増大させた。軸方向鉄筋の降伏ひずみはミルシートより1770μとした。軸方向鉄筋の降伏後は、降伏時に水平荷重作用位置に生じた変位(以下、降伏変位 δ_y と呼ぶ)を基準として、 $m\delta_y$ ($m=1, 2, 3, 4, \dots$)の変位振幅で正負交番繰返し載荷した。同一変位振幅における載荷くり返し回数 n としては、RP-1及びRP-3では10回、RP-2では1回とした。これは、載荷くり返し回数 n 及び梁と柱の接合部に設けたハンチがラーメン橋脚の動的耐力及び変形性能に及ぼす影響について検討するためである。載荷速度としては、10cm/secを目標としたが、RP-2だけについては1~8 δ_y 載荷では、動的加振機に異常が生じたため1cm/secとした。

4. 実験結果

4. 1 損傷状況

図3~5は、各供試体の損傷進展状況のうち主要なものについて示したものである。ただし、図3~5では、図2に示した載荷位置で供試体を上から見た面における損傷状況を示したものである。

3体の供試体では、いずれも梁と柱の接合部及び柱基部に柱軸方向に直角方向のクラックが進行し、かぶりコンクリートのはく離、軸方向鉄筋の破断へと損傷が進展して行った。また、載荷変位振幅が終局変位に近づく、柱とフーチングの結合が弱まり2本の柱は共に内側へ横ずれを生じ始めた。なお、損傷は、梁と柱の接合部及び柱基部に集中し、梁及び柱の中間部にはほとんど生じなかった。

同一変位振幅における載荷くり返し回数 n が損傷に及ぼす影響について見ると、 $n=10$ としたRP-1

では、かぶりコンクリートのはく離が生じ始めるのは、 $3\delta_y$ 載荷段階であるのに対し、 $n=1$ とした RP-2 では、 $4\delta_y$ 載荷である。また、軸方向鉄筋の破断としては、RP-1 では、 $5\delta_y$ 載荷時に右側の柱基部で始まり、 $7\delta_y$ 載荷終了段階までに左側の梁と柱の接合部で 5 本、右側の柱基部で 6 本の軸方向鉄筋が破断した。これに対して RP-2 では、 $10\delta_y$ 載荷時にようやく左右の柱基部で破断が始まり、 $11\delta_y$ 載荷終了後には左側の柱基部で 1 本、右側の柱基部で 4 本の軸方向鉄筋が破断した。これから、載荷くり返し回数は、RC ラーメン橋脚の損傷に大きな影響を及ぼすと言うことができる。

次に、柱と梁の結合部に設けたハンチの影響を見てみよう。ハンチを設けても設けなくてもクラック、かぶりコンクリートのはく離及び軸方向鉄筋の破断がそれぞれ生じ始めるのは、ほぼ同じである。こういう意味では、今回程度のハンチを設けても、著しい効果はないといえる。ただし、かぶりコンクリートのはく離が生じる範囲に着目すると、RP-1（ハンチ無し）では、梁と柱の接合部及び柱基部に最大で 5 cm 程度であるのに対し、RP-3（ハンチ有り）では、梁と柱の接合部よりも柱基部の方が広範囲でおよそ柱基部から 10 cm 程度の範囲で生じている。また、終局時における軸方向鉄筋の破断本数について見てみると、RP-1 では、前述した通り左側の梁と柱の接合部で 5 本、右側の柱基部で 6 本であるのに対し、RP-3 では、梁と柱の接合部のうち左側で 1 本、右側で 5 本、左右の柱基部ではともに 6 本と、RP-3 の方が、柱基部における軸方向鉄筋の破断本数が多くなっている。これが全てハンチの影響と言ってよいかどうかは検討の余地を残すが、今回の変形の範囲では、柱と梁の接合部にハンチを設けた場合には、ハンチを設けた側とは反対方向、つまり柱基部側に損傷が集中しやすいと言うことができる。

4. 2 動的耐力及び変形性能

図 6 は、水平荷重載荷点における水平力 P と水平変位 δ の履歴曲線を示したものである。図 7 は図 6 に示した履歴曲線の包絡線を、表 1 は耐力及び変形性能をまとめて示したものである。これらによれば、 $n=10$ とした RP-1 では、 $4\delta_y$ 載荷で最大耐力に達し、 $5\delta_y$ 載荷に至ると耐力は低下し始めるのに対して、 $n=1$ とした RP-2 では、 $9\delta_y$ 載荷に至るまで耐力はほぼ安定している。しかも、 $10\delta_y$ 以後耐力が低下し始めてからも RP-1 の $5\delta_y$ のような急激な耐力の低下は生じない。また、RP-1 及び RP-2 の降伏耐力 P_y 、最大耐力 P_n 及び降伏変位 δ_y は、ほとんど変わらないが、終局変位 δ_u は、RP-1 では 5.7 cm であるのに対し、RP-2 では 10 cm と 75% も増加している。一方、柱と梁の接合部にハンチを設けた RP-3 について見ると、 $4\delta_y$ 載荷時に最大耐力に達し、 $5\delta_y$ 載荷時に急激な耐力の低下が生じる点は、RP-1 とほとんど違わない。RP-3 の耐力を RP-1 と比較すると、降伏耐力は RP-1 より 55% も増加しているが、最大耐力は約 7% 増加したにすぎない。

図 8 及び図 9 は、それぞれ各載荷段階におけるエネルギー吸収量（累積吸収エネルギー）及び等価粘性減衰定数 h を示したものである。ただし、図 8 では、載荷くり返し回数 n の影響を比較するため、 $n=1$ とした RP-2 が実際の載荷段階において吸収したエネルギー量を 10 倍にした結果を示している。これらの結果から、載荷くり返し回数の影響を見るため、RP-1 と RP-2 を比較すると、 $4\delta_y$ 載荷に至るまでの累積吸収エネルギーには、ほとんど違いは見られないが、RP-2 では、RP-1 が終局に至った $7\delta_y$ 以後においても、それ以前とほとんど同じ割合で累積吸収エネルギーは増加している。また、 $1\sim7\delta_y$ までの範囲では、等価粘性減衰定数にはくり返し回数の影響は認められない。柱と梁の接合部に設けたハンチの有無は、累積吸収エネルギー及び等価粘性減衰定数には、大きな影響を及ぼさない。

5. 結論

RC 不静定橋脚の動的耐力及び変形性能を検討するために、3 体の RC ラーメン橋脚模型の動的載荷実験を行った。本実験から得られた結論をまとめると、以下ようになる。

- 1) ラーメン橋脚では、柱と梁の接合部及び柱とフーチングの接合部に、損傷が集中する。その他の箇所には損傷は生じない。
- 2) 同一変位振幅における載荷くり返し回数 n は、橋脚の降伏耐力、最大耐力、降伏変位及び等価粘性減衰定数には大きな影響はないが、終局変位及びじん性率に著しい影響を与える。
- 3) ハンチ構造の有無は、ラーメン橋脚の最大耐力、降伏変位、終局変位及び等価粘性減衰定数にはほとんど影響しない。したがって、今回程度のハンチを設けても動的耐力には大きな影響はないと言える。ただし、降伏耐力は、柱部材の部材端における剛性が大きいだけハンチ構造がある橋脚の方が大きくなる。

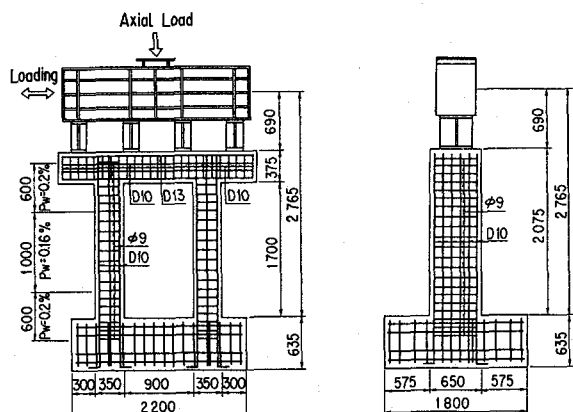


図1 実験に用いた供試体の概要

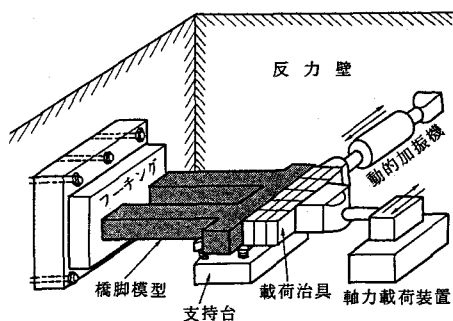
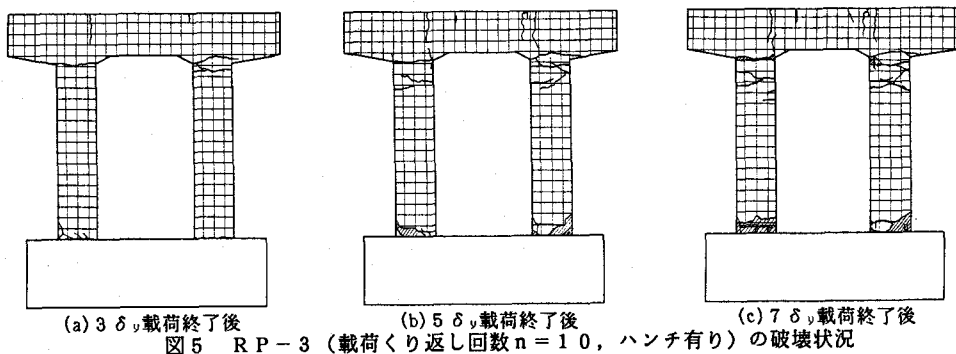
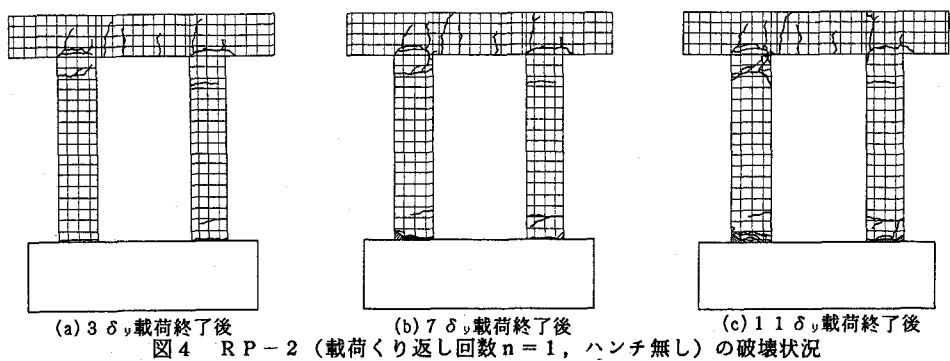
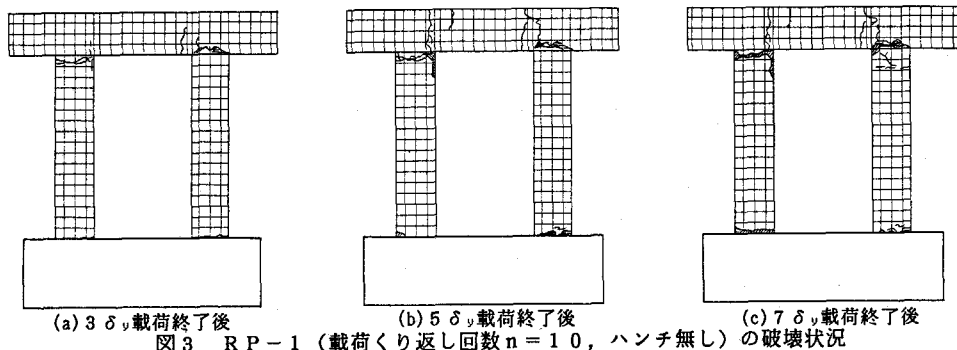
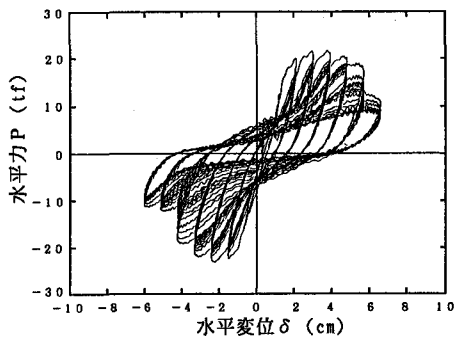
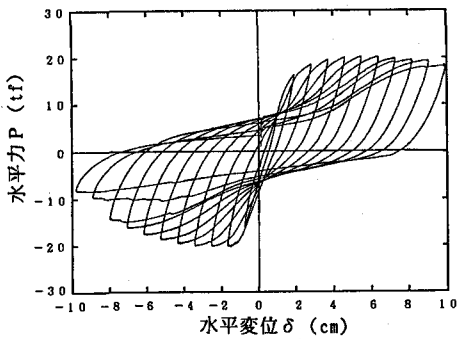


図2 実験状況

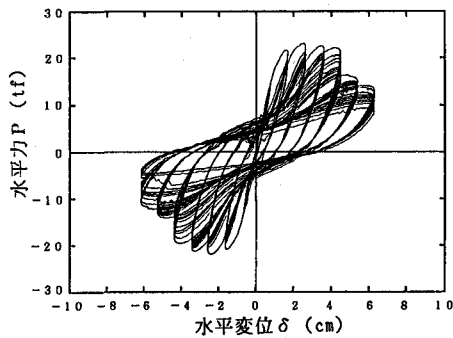




(a) RP-1 の場合



(b) RP-2 の場合



(c) RP-3 の場合

図6 水平力 P ～水平変位 δ 関係の履歴曲線

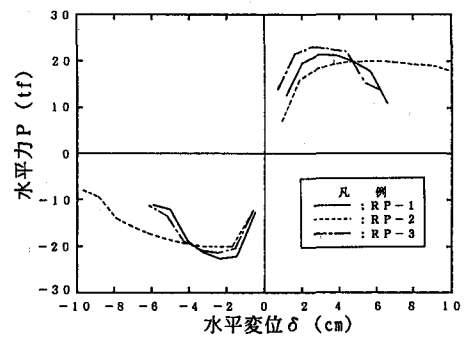


図7 履歴曲線の包絡線

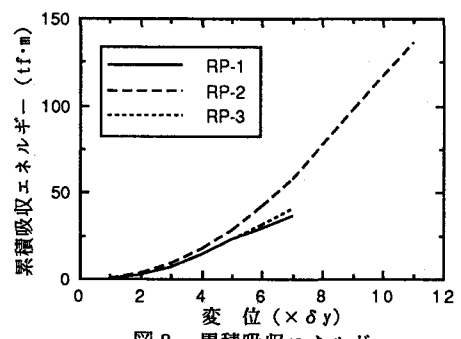


図8 累積吸収エネルギー

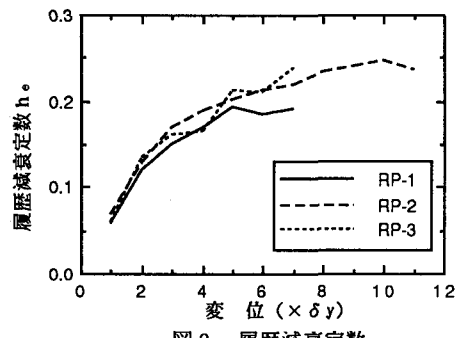


図9 履歴減衰定数

表1 耐力及び変形性能

供試体番号		RP-1	RP-2	RP-3
載荷くり返し回数 n (回)		10	1	10
ハッチの有無		無	無	有
耐 力	降伏耐力 P_y (tf)	11.2	10.2 (1.1)	17.4 (1.55)
	最大耐力 P_H (tf)	21.6	20.0 (1.08)	23.2 (1.07)
	P_H/P_y	1.93	1.96 (1.02)	1.33 (0.67)
変形性能	降伏変位 δ_y (cm)	1.05	1.05 (1.0)	0.95 (0.9)
	終局変位 δ_u (cm)	5.7	10.0 (1.75)	4.55 (0.8)
	じん性率 (δ_u/δ_y)	5.43	9.52 (1.75)	4.79 (0.88)

注: () 内は、RP-1を1とした場合の比を示したものである。