

兵庫県南部地震の上下動がRC 橋脚モデルの損傷に及ぼす影響

中部大学工学部土木工学科○河井 康孝
中部大学大学院 学生会員 秋山 芳幸
中部大学工学部 フォロ-会員 平澤 征夫

1. はじめに

1995 年の兵庫県南部地震では、数多くの鉄筋コンクリート(以下 RC と略す)橋脚が損傷・倒壊した。兵庫県南部地震では比較的大きな上下動が観測されており、この損傷・倒壊の原因の一つとして考えられている。しかし、RC 橋脚の損傷・倒壊に及ぼす上下動の影響はそれほど重要視されていないのが現状である。被害調査や解析による推定、あるいは実験が一部なされているが、その数は非常に少ない。

そこで本研究では、兵庫県南部地震における上下動が RC 橋脚の損傷やその過程に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、神戸海洋気象台観測の兵庫県南部地震加速度波形を用いて、水平一軸加振ならびに水平・鉛直二軸加振による RC 橋脚モデルの振動台実験を行い、主として応答荷重～応答変位包絡線からの部材降伏時と終局破壊に至る状況の違いを比較した。

2. 実験概要

2.1 実験計画

表-1 に実験計画を示す。実験は水平一軸方向加振 KHT99 と水平・鉛直二軸同時加振 KVHT99 の 2 種類の加振方法で、それぞれにつき 2 体の供試体を使用して行った。

2.2 入力地震波

振動台に入力する地震波は、図-1 に示す神戸海洋気象台観測の兵庫県南部地震加速度波形の南北(NS)方向と鉛直(UD)方向を用いた。振動時間は 30 秒、最大地震加速度は NS 方向が 818gal、UD 方向が 332gal である。

2.3 実験供試体

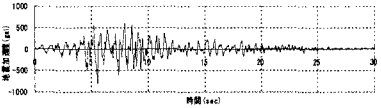
実験供試体の形状・寸法を図-2 に示す。柱部の断面は 150×150 mm、高さは 1110 mm、載荷位置までは 985 mm で、軸方向鉄筋に D10 ($f_{sy}=380\text{N/mm}^2$) を 8 本(軸方向鉄筋比 2.54%)、帯鉄筋に $\phi 6$ ($f_{sy}=298\text{N/mm}^2$) を 100 mm ピッチ(拘束鉄筋比 0.86%) で用いた。また、コンクリートの強度は $f_c' = (33.4\sim 42.5)\text{N/mm}^2$ であった。

2.3 実験方法

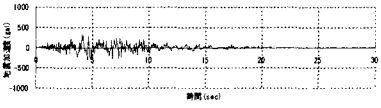
実験は図-3 に示す水平・鉛直二軸同時加振振動台試験装置を用いて行った。供試体はフーチング部に通した $\phi 32\text{mm}$ の鋼棒 8 本によって振動台に固定した。地震力の載荷は同一供試体に対し、入力地震加速度を最大地震加速度の 1/10 倍とした入力レベルからはじめて 2/10 倍、3/10 倍…と段階的に増加させる方法で 10/10 倍まで行った。供試体頂部の応答加速度、応答変位および振動台の加速度、変位は図-3 中に示した加速度計やレーザー変位計によって計測した。また、柱基部の伸び量を LVDT により計測し、鉄筋に添付したゲージにより残留ひずみを計測した。

3. 実験結果と考察

図-4 に実験終了後の KHT99 と KVHT99 の柱基部における四面の損傷状況を示す。これらの図より、KHT99 は曲げひび割れの貫通やコンクリートの圧壊などが主な損傷であるのに対し、KVHT99 の損傷は、軸方向鉄筋の座屈、比較的大きなコンクリートの剥落などが認められる。すなわち、KVHT99 の損傷は



(a) NS 方向



(b) UD 方向

図-1 兵庫県南部地震加速度波形
(神戸海洋気象台観測)

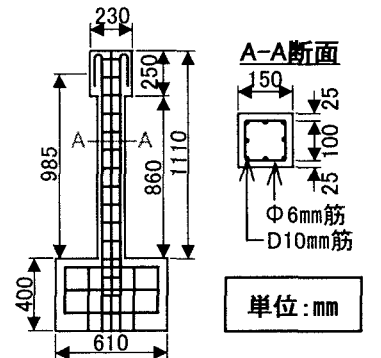
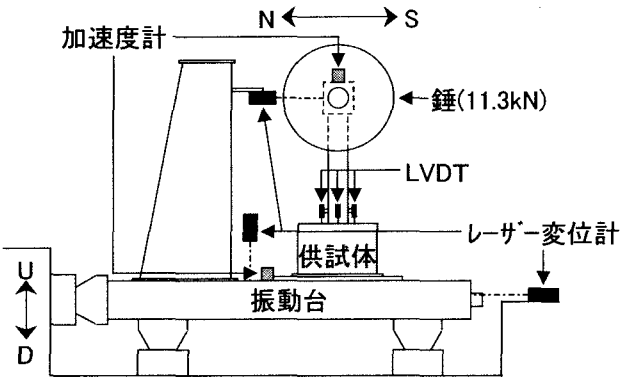


図-2 供試体形状寸法図



最大変位: [水平]300 mm p-p [鉛直]200 mm p-p
最大加速度: [水平]3G [鉛直]1G

図-3 水平・鉛直二軸同時加振振動台試験装置

表-1 実験計画

加振方法	入力地震波	シリーズ名	供試体数
水平一軸方向加振	図-1(a)	KHT99	2体
水平一軸・鉛直方向同時加振	図-1(a)と図-1(b)	KVHT99	2体

KHT99 の損傷よりも大きいことがわかる。また、実験中の観察から、KHT99 の損傷は、ひび割れが貫通後ひび割れ周囲のコンクリートが圧壊する以外はほとんど進行しなかった。KVHT99 の損傷は、9 回目の加振(入力加速度 736gal)まではそれほど進行していないひび割れが入っている程度であったが、最後の 10 回目の加振(入力加速度 818gal)で突然に鉄筋の座屈、コンクリートの剥離が起こったことが確認できた。

図-5 は、KHT99 および KVHT99 の最大応答荷重～最大応答変位包絡線図である。この図より、KHT99 の 6 回目の加振(入力加速度 491gal)と KVHT99 の 8 回目の加振(入力加速度 654gal)の点がほとんど同じであることが認められた。この KHT99 の 6 回目、KVHT99 の 8 回目は、表-2 に示す各加振段階後における鉄筋の残留ひずみより、鉄筋が降伏した加振段階であると判断できる。また表-3 に示す各加振段階後における柱基部の伸び量より、柱基部のひび割れの開口の発生・進行は KHT99 の方が早く、KVHT99 ではひび割れの開口が少ないことが認められる。このことは、実験中の観察でも確認できた。これらの表より、供試体が降伏に至るまでの損傷は、KHT99 の方が早く進行していることがわかる。

以上から、鉄筋の降伏までは水平一軸加振の供試体の損傷が早い段階で進行するのに対し、水平・鉛直二軸同時加振の供試体はひび割れの発生・開口が少なくなっており、鉄筋降伏後は、水平一軸加振の供試体の損傷はそれほど進まないのに対し、水平・鉛直二軸同時加振の供試体の損傷は急激におとずれ、その程度が大きいことが明らかとなった。これは、水平・鉛直二軸同時加振では上下動による軸力の変動で柱軸方向に引張・圧縮力が付加されるため、せん断力が一部分に集中しにくく、鉄筋降伏までの損傷には時間がかかることになる。また、鉄筋降伏後の損傷の進行は、水平動による曲げ引張・圧縮力に、上下動による引張・圧縮力が加わった力が降伏した鉄筋に作用することになり、より鉄筋が座屈しやすい状態になったためと考えられる。

4. まとめ

水平一軸加振実験と水平鉛直二軸同時加振実験の結果の比較より、水平・鉛直二軸同時加振の供試体の損傷は、柱基部の内部鉄筋の降伏まではひび割れの発生・開口は少なく、内部鉄筋降伏後の損傷の進行は急激におとずれ、その程度が大きいことが明らかとなった。

謝辞

本研究は、中部大学総合工学研究所および、中部大学ハイテクリサーチセンター構想に基づく先端技術研究センター・第Ⅲプロジェクト(プロジェクト長:山田善一教授)の平成 11 年度研究費補助によって行ったものである。

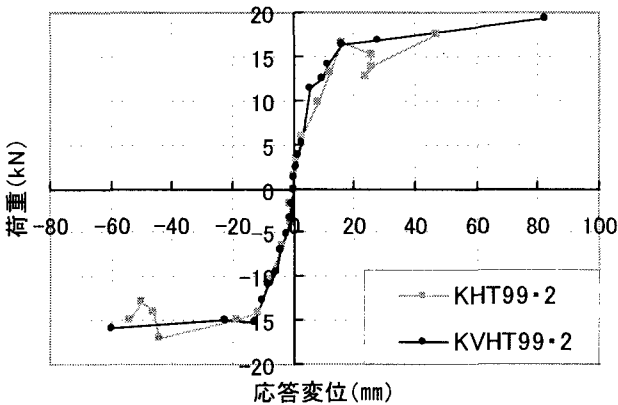


図-5 最大応答荷重～最大応答変位包絡線

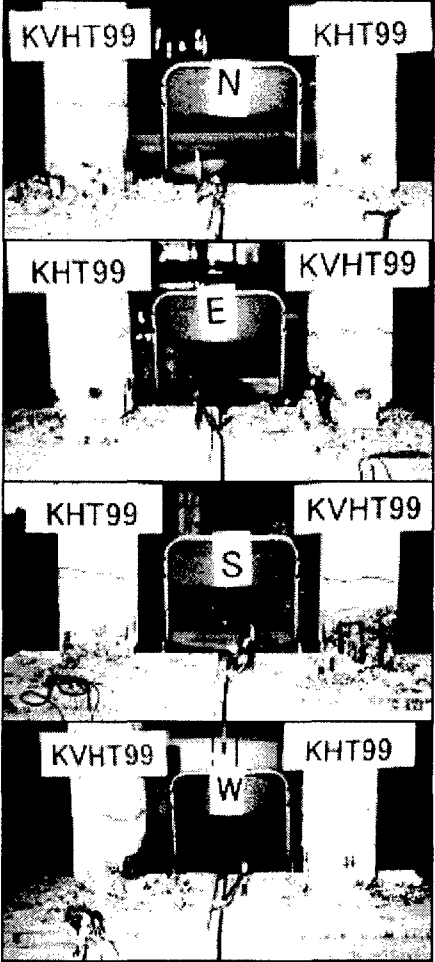


図-4 実験終了後の供試体柱基部の損傷状況

表-2 各加振段階後における鉄筋の残留ひずみ

加振段階	KVHT99-2 N側鉄筋番号			KHT99-2 N側鉄筋番号		
	1	2	3	1	2	3
0	0	0	0	0	*****	0
1/10	7	-8	-3	0	*****	-10
2/10	12	-2	15	21	*****	1
3/10	27	7	30	48	*****	-14
4/10	41	-3844	47	49	*****	-119
5/10	40	24	43	2168	*****	274
6/10	51	13	29	3603	*****	1649
7/10	2349	188	2542	3106	*****	1531
8/10	1201	3568	811	3035	*****	1330
9/10	955	1241	661	3591	*****	1572
1	4246	-2644	-1340			
加振段階	S側鉄筋番号			S側鉄筋番号		
	6	7	8	6	7	8
0	0	0	*****	*****	0	0
1/10	-2	0	*****	*****	1	0
2/10	15	14	*****	*****	41	35
3/10	25	25	*****	*****	61	58
4/10	16	20	*****	*****	182	72
5/10	12	20	*****	*****	-65	264
6/10	24	0	*****	*****	3737	1688
7/10	89	1335	*****	*****	2393	2906
8/10	1344	1159	*****	*****	1992	2836
9/10	623	-140	*****	*****	1643	2827
1	181	*****	*****			

(単位: μ)

表-3 各加振段階後における柱基部のひずみ(単位:mm)

加振段階	KVHT99-2			KHT99-2		
	N	S	中心	N	S	中心
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1/10	0.000	0.000	0.000	0.028	0.004	0.016
2/10	-0.008	0.000	-0.004	0.052	0.008	0.030
3/10	-0.012	0.006	-0.003	0.072	0.014	0.043
4/10	-0.008	0.008	0.000	0.138	0.022	0.080
5/10	-0.004	0.008	0.002	0.386	-0.096	0.145
6/10	-0.004	0.010	0.003	0.838	0.140	0.489
7/10	-0.054	0.106	0.026	2.312	0.482	1.397
8/10	0.096	0.342	0.219	4.208	-1.202	1.503
9/10	0.208	1.468	0.838	4.114	-1.038	1.538
1	*****	*****	*****			