

철근 콘크리트 교각의 형상비에 따른 거동 특성에 관한 실험적 연구

Experimental study on the Behavior of RC Bridge Piers with Various Aspect Ratio

이 대 형^{*} 김 훈^{**} 김 용 곤^{***} 정 영 수^{****} 이 재 훈^{*****} 조 준 상^{*****}
Lee, Dae Hyoung Kim, hoon Kim, Yon Gon Chung, Young Soo Lee, Jae Hoon Cho, Jun Sang

ABSTRACT

Short reinforced concrete bridge piers are particularly susceptible to shear failure as a consequence of the high shear/moment ratio and conservatism in the flexural strength design of existing RC bridge pier, which were constructed before 1992. In addition, shear failure is brittle and involves rapid strength degradation. Inelastic shear deformation is thus unsuitable for ductile seismic response. It is, however, believed that there are not many experimental research works for shear failure of the existing RC bridge pier in Korean peninsula subjected to earthquake motions.

The object of this research is to evaluate the seismic performance of existing circular RC bridge piers by the quasi-static test. Existing RC bridge piers were moderate seismically designed in accordance with the conventional provisions of Korea Highway Design Specification. This study has been performed to verify the effect of aspect ratio (column height-diameter ratio). Quasi-static test has been done to investigate the physical seismic performance of RC bridge piers, such as lateral force-displacement hysteric curve, envelope curve etc.

1. 서론

최근에 연이은 국내외의 지진으로 인하여 내진에 대한 국민적 관심이 크게 고조되고 있다. 많은 역사지진이나 최근 발생한 한반도지진 활동으로부터 우리나라는 중약진 지역으로 분류되고 있으며 더 이상 지진의 위협으로부터 안전한 지역이 아니라는 인식이 확산되고 있다. 그래서 국내에서 진행된 교량의 내진성능에 관한 연구는 학교 및 학회를 중심으로 수행되고 있다. 기존실험들의 대부분은 지진시 험에 의한 교각파손만을 고려하여 진행되었다. 그러나 지진시 험-전단거동이나 전단거동의 우려가 있는 교각들이 다수 존재하므로 이들 교각에 대해 내진성능평가 작업도 실시되어야 할 것으로 판단된다.

* 정회원, 경도대학 건설환경공학과 조교수
** 정회원, 중앙대학교 토목환경공학과 석사과정
*** 정회원, 국립한경대학교 안전공학과 조교수
**** 정회원, 중앙대학교 토목환경공학과 교수
***** 정회원, 영남대학교 토목공학과 교수
***** 정회원, 한국도로공사 도로연구소 연구원

2. 연구내용

본 연구는 고속도로상에 위치한 교량중 원형 단면으로 된 교각을 13개를 분석한 결과, 형상비가 낮은 교각이 다수 존재함을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 실험체를 휨/휨-전단/전단 모드로 나누어 휨과파괴모드는 형상비(Aspect ratio) 4이상, 휨-전단과파괴모드는 형상비 2.5, 전단과파괴모드는 1.8로 구분하고 실험물크기에 근접하게 제작하여 실험을 수행하고자 표3에 나타낸바와 바와 같이 직경1.2m, 높이4.8m의 시험체를 제작하여 준정적 실험(Quasi-Static Test)을 통하여 내진 성능을 평가하였다.

표 1 형상비 분포

교량명	교각구분	교각단면형	교각 size		Ratio 높이/직경	파괴모드
			직경 (m)	높이 (m)		
왕숙2교	단주	원형	2.5	16.107	6.4	휨
왕숙1교	단주	원형	3	4.749	1.6	전단
요천3교	단주	원형	1.8	3.908	2.2	휨전단
요천1교	단주	원형	1.8	5.79	3.2	휨전단
역만교	단주	원형	2.2	13.75	6.3	휨
공암교	단주	원형	2.4	4.174	1.7	전단
천수천교	단주	원형	2.2	4.437	2.0	휨전단
미호천교	단주	원형	3.5	3.224	0.9	전단
서화천교	단주	원형	3	10.7	3.6	휨
금강3교	단주	원형	3	8.586	2.9	휨전단
인장천교	단주	원형	1.8	2.353	1.3	전단
금호3교	단주	원형	2	3.94	2.0	휨전단
갈려천교	단주	원형	2.5	6.271	2.5	휨전단

2.1 재료의 특성

교각 실험체 제작에 사용한 콘크리트는 굵은골재 최대치수 25mm 골재의 레드미스트 콘크리트를 사용하고 철근은 SD30인 D19의 상용철근을 주철근으로, 띠철근은 D10을 사용하였다. 압축강도는 28일간 표준 양생시킨 후 측정된 결과, 약 253kgf/cm²의 값을 얻었다. 또한 철근은 인장시험을 실시하여 각각 평균항복강도 3,500kgf/cm²과 3,800kgf/cm²의 값을 얻었다. 아래 표 2은 콘크리트 배합설계표를 보여주고 있다.

표 2 시험체 배합설계표

구분	W/C (%)	슬럼프 (cm)	최대골재 치수(mm)	단위중량(kgf/cm ²)					28일강도 (kgf/cm ²)
				물	시멘트	굵은골재	잔골재	혼화제	
본체	50.1	12	25	126	349	869	909	1.75	253

2.2 실험체 제작

본 연구에 제작된 실험체는 한정 연성 설계법에 의해 설계된 실험체로서 띠철근과 Cross Tie를 이용하여 내진 보강하였다. 각 실험체 상세는 그림 1~3에 나타내었다.

표 3 실험체명

구분		MS-HT4-N-L2	MS-HT4-N-FS	MS-HT4-N-SH	
교각	직경(cm)	D=120	D=120	D=120	
	높이(cm)	H=480	H=300	H=216	
주철근	직경(mm)	D19	D19	D19	
	갯수(EA)	40	40	40	
띠철근	직경(mm)	D10	D10	D10	
	간격 (cm)	소성힌지구간	11.5	11.5	11.5
		비소성힌지구간	15	15	15
형상비(Aspect Ratio)		4.0	2.5	1.8	

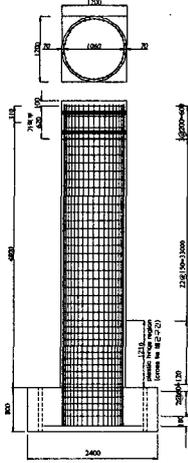


그림 1 휨모드 실험체

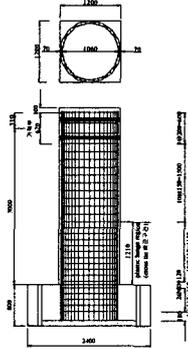


그림 2 휨-전단모드 실험체

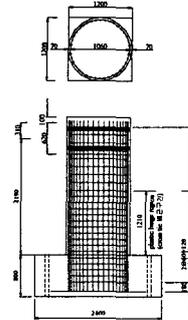


그림 3 전단모드 실험체

2.3 계측장비

실험체의 주철근, 띠철근, Cross Tie에 Strain Gage를 부착하여 철근의 변형률을 측정하였고 실험체 기둥부의 횡방향 처짐량을 측정하기 위하여 상단부에 1000mm Wheel LVDT를 설치하였고, 기초의 들림과 slip을 측정하기 위하여 100mm LVDT를 기초에 직각방향으로 설치하였다. 또한 소성힌지구간의 곡률을 측정하기 위하여 push방향과 pull 방향에 Clip Gage를 각각 4개씩 설치하고 가력방향의 직각방향에는 소성힌지구간의 1/4지점과 1/2지점에 각각 2개씩의 경사계(Clinometer)를 설치하였다.



그림 4 Test Setup

3. 실험방법 및 개요

Quasi-static 실험을 위하여 그림 4와 같이 축하중을 300ton Oil jack을 이용하여 재하하고 횡방향 변위가 발생하더라도 일정한 축하중이 재하될 수 있도록 일정한 하중을 유지할 수 있는 유압기를 이용하였다. 횡방향의 반복하중은 350ton actuator를 이용하여 변위제어방식으로 가력하였다. Drift Level은 그림 5와 같이 $\pm 0.25\%$, $\pm 0.5\%$, $\pm 1.0\%$, $\pm 1.5\%$, $\pm 2.0\%$, $\pm 2.5\%$, $\pm 3.0\%$, $\pm 4.0\%$...로 Drift Level을 처음에는 0.25%, 0.5%씩 증가시켜 초기에는 교각의 연성도를 상세하게 관측하고 3.0%이후는 1.0%씩 증가시키는 방법으로 각각의 Drift Level 마다 2 cycle 반복 재하하여 교각의 거동특성의 차이를 비교 분석하였다. 휨-전단모드와 전단모드는 3.0%이후에도 0.5%씩 증가시켜 거동특성을 자세하게 관찰하였다.

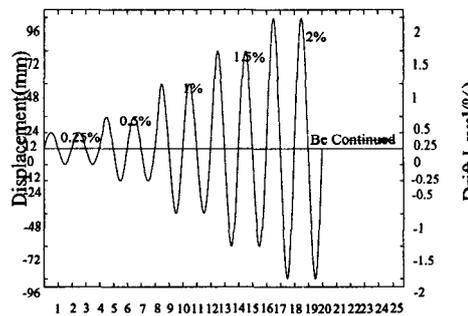


그림 5 하중재하 패턴

4. 실험결과

실험결과로는 초기균열은 대부분 1%이내에서 발생하였으며 수평하중은 대체적으로 Drift Level 2.5%에서 가장 큰 하중이 발생하였다.

최대하중은 형상비에 따라 다양하게 나타나나 하부의 휨모멘트를 조사해 본 결과 대략 300ton·f로 동일하였다. 이는 모든 시험체가 최대 내하력은 휨에 지배됨을 알 수 있으며 휨 균열이 먼저 발생함을 의미하는 것으로 사료된다.

모든 실험체의 초기 휨 균열은 Drift Level $\pm 0.5\%$ 이내에서 발생하고 Drift Level $\pm 2.0\%$ 부터 수직균열(전단균열)이 발생하였다. 또한 Drift Level $\pm 4.0\%$ 에서 급격한 강도저하 양상을 보이며 휨 실험체 (Aspect Ratio=4.0)의 경우 주철근의 좌굴과 함께 주철근 파단으로 인한 강도저하 현상이 발생되었다. 휨-전단실험체 (Aspect Ratio=2.5)의 경우 주철근의 좌굴과 사인장균열이 Drift Level $\pm 3.0\%$ 에서 발생하였다. 강도저하 및 파괴의 원인은 주철근의 좌굴에 이은 파괴로 휨에 의한 파괴양상을 보였다.

전단실험체 (Aspect Ratio=1.8)의 경우 휨에 의한 균열이 낮은 Drift Level에서 발생하고 전단균열이 Drift Level 1.0%에서 일어나며 Drift Level 2.5%에서 급격한 사인장균열의 발생으로 인하여 강도저하 현상이 발생되었다.

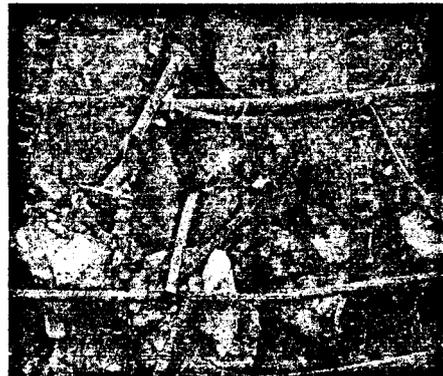
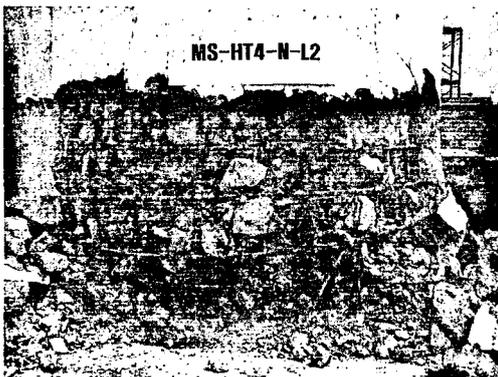


그림 6 MS-HT4-N-L2



그림 7 MS-HT4-N-FS

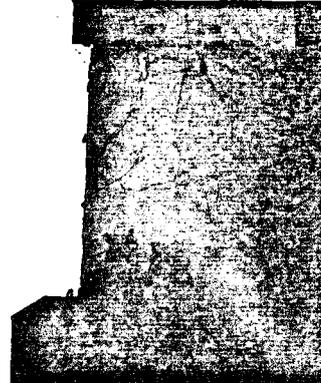


그림 8 MS-HT4-N-SH

4.1 하중- 변위이력곡선

그림 9, 그림 10, 그림 11에서 나타나는 바와 같이 Drift Level 2.5%에서 횡력이 최대값을 나타내며 Drift Level $\pm 4.0\%$ 에서 내력의 저하를 보이거나 휨 실험체의 경우 Drift Level $\pm 5.0\% \sim \pm 6.0\%$ 까지 완만한 내력저하를 보인다. 하지만 전단실험체의 경우 Drift Level $\pm 4.0\%$ 에서 내력저하가 시작된 직후 갑작스런 취성파괴의 경향을 보인다.

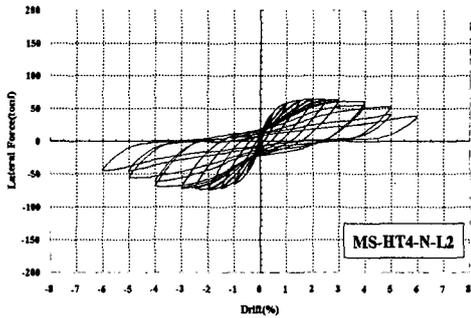


그림 9 휨파괴모드 Hysteresis Curve

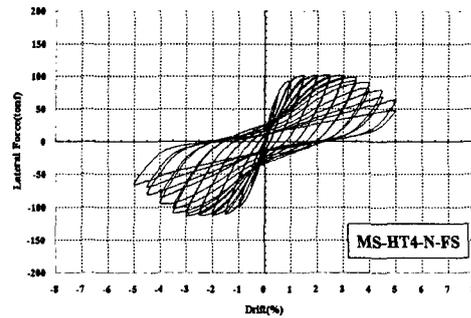


그림 10 휨-전단파괴모드 Hysteresis Curve

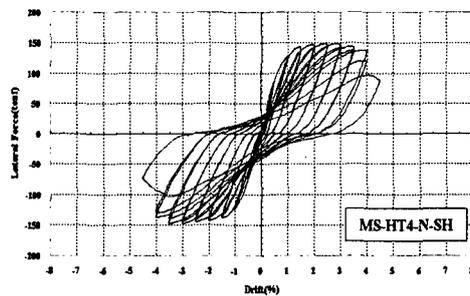


그림 11 전단파괴모드 Hysteresis Curve

4.2 하중포락곡선

그림15에서 나타나는 바와 같이 내하력이 휨실험체보다 전단실험체가 2배이상으로 크게 나타나는 것을 볼수 있으며, 그림 12의 전단파괴모드에서 보면 Drift Level 4.0%에서 급격한 내하력감소가 나타나며 이것은 취성파괴가 일어났다고 볼 수 있다.

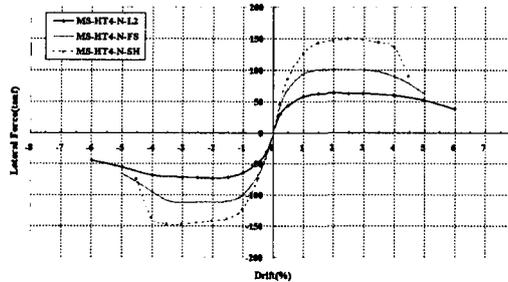


그림 12 하중포락곡선

5. 결론 및 추후 연구방향

고속도로상의 철근 콘크리트 교각의 형상비(Aspect Ratio)에 따른 휨/휨-전단/전단파괴모드에 따르는 실험체를 제작하여 준정적 실험을 통한 내진성능을 평가한 결과는 다음과 같다.

- 1) 휨파괴모드실험체(형상비=4.0)의 경우 주철근의 좌굴과 함께 주철근 파단으로 인한 강도저하가 발생되었다.
- 2) 휨-전단파괴모드실험체(형상비=2.5)의 경우 주철근의 좌굴과 사인장균열이 발생하여 강도저하가 발생하였고 전단파괴보다는 휨파괴양상이 두드러지게 나타났다.
- 3) 전단파괴모드실험체(형상비=1.8)의 경우 초기에는 휨균열이 발생하나 Drift Level 1.5% 이후에는 사인장균열이 발생하고 2.5% 이후에는 급격한 사인장균열이 발생하여 강도저하가 발생하면서 전단파괴 양상을 나타내었다. 향후에는 좀더 많은 교각 실험체를 제작하여 실험을 실시하고 비교검증이 뒤따라야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 한국도로공사 “고속도로 기존교량의 내진성능평가를 위한 실험적 연구”의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 김병석외3인, “휨-전단 복합 거동 원형 RC교각의 내진성능 평가”, 한국지진공학회 춘계학술발표회 논문집, 2001, 제5권1호, pp337-344.
2. 김궁환외5인, “사회기반 시설물의 내진성능향상 기술 개발”, 한국건설기술연구원 연구보고서, 건기연2000-080, 2000.12.
3. L.E. Aycardi, J.B. Manderv and A.M. Reinhorn, “Seismic Resistance of Reinforced Concrete Frame Structures designed Only for Gravity Loads”, technical Report NCEER-92-0028, 1992.