

준정적실험에 의한 실물 원형교각의 내진성능평가를 위한 실험적 연구

Quasi-Static Test for Seismic Performance of Reinforced Concrete Bridge Piers with Lap Splice

김 훈* 정 영 수** 이 재 훈*** 최진호**** 조 준 상*****
Kim, Hoon Chung, Young Soo Lee, Jae Hoon Choi, Jin Ho 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

국·내외에서 사회기반시설의 하나인 교량의 RC 교각에 대한 내진 성능 향상에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구도 이러한 연구의 일환으로 지진발생시 교각의 내진 거동에 따른 교각의 거동을 파악하고자 하였다. 이러한 교각의 내진 거동의 정확한 예측은 지진발생시 인명피해를 줄일 수 있으며 지진발생 이후 교각의 보수·보강에 대한 기준이 될 것이다. 특히 현행 세계 각국의 내진설계 규정에서는 교각 소성힌지구간에서의 주철근 겹침이음을 엄격히 금지하고 있는 데 반해 1992년 내진설계규정 도입 이전에 설계 시공된 국내의 기존 비내진 설계 교각의 상당수는 시공상의 이유로 소성힌지구간에서 주철근이 겹침이음 되어 시공되었으나 국내 설계기준에는 아직 주철근의 겹침이음에 대

*정회원, 중앙대학교 토목환경공학과 석사과정

**정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수

***정회원, 영남대학교 토목공학과 교수

****정회원, 영남대학교 토목공학과 석사과정

*****정회원, 한국도로공사 도로연구소 연구원

한 규정이 도입되어 있지 않은 실정이다. 따라서 중저진지역에 위치한 우리나라에서도 만약에 있을 수 있는 지진에 대비하여 기존 콘크리트 교각의 내진거동을 파악하여 미래에 대비하여야 할 것이다.

본 연구는 RC 교각의 내진 성능에 영향을 미치고 있는 변수들로서, 주철근의 겹침이음, 횡방향 철근비, 횡방향 철근 형태 등에 대해 준정적 실험(Quasi-static test)을 통하여 내진성능에 미치는 영향을 평가하고자 한다.

2. 연구내용

본 연구는 RC교각의 내진성능에 영향을 미치고 있는 변수들로서 구속철근비, 횡방향 철근 배근형태에 대한 준정적(Quasi-Static)실험을 실시하여 변수에 의한 RC교각의 내진성능을 평가하고자 하였다. 이러한 결과는 장래 시공상의 문제로 시행되고 있는 소성힌지구간에서의 주철근의 겹침이음 및 횡방향 철근 배근형태에 대한 시방규정을 제시하고자 한다.

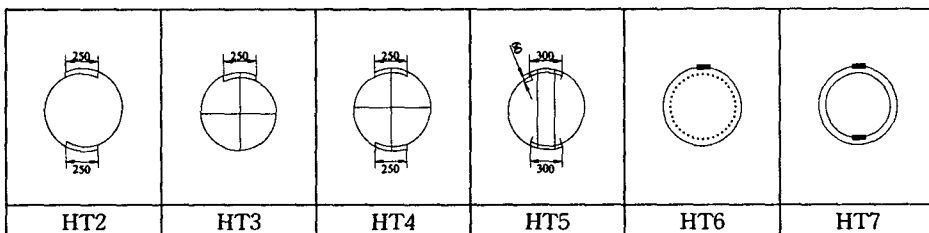
2.1 시험체 제작

본 연구에서는 주철근의 겹침이음 및 횡방향철근의 배근형태에 따른 철근콘크리트 교각의 내진성능을 평가하기 위하여 단면의 직경 120cm, 부재의 총길이 480cm인 원형단면의 시험체 14개를 제작하였다. 시험체의 변수 및 띠철근 배근상세는 표 2 및 표 3과 같다. 본 연구에 제작된 시험체는 비내진 설계법과 한정 연성 설계법에 의해 설계된 시험체로서 띠철근과 Cross Tie를 이용하여 내진 보강하였다. 시험체 상세는 그림 1, 주철근 겹침이음 상세는 그림 2에 나타내었다.

표 2 시험체명 및 변수

시험체명	콘크리트강도 (kgf/cm ²)	주철근			띠철근			Axial Load (tonf)	
		f_y (kgf/cm ²)	ρ_l	겹침이음	f_y (kgf/cm ²)	ρ_s	간격(cm)		
							PHR		NPHR
NS-HT2-A-I.2	253	3500	1.01	Starter bar 100%	3800	0.13	20	20	190
NS-HT3-A-I.2									
NS-HT4-A-I.2									
NS-HT2-H-I.2									
NS-HT3-H-I.2									
NS-HT4-H-I.2									
MS-HT3-H-I.2				0.22		11.5	15		
MS-HT4-H-I.2									
MS-HT5-H-I.2									
MS-HT3-N-I.2									
MS-HT4-N-I.2									
MS-HT5-N-I.2									
MS-HT6-N-I.2								0.44	
MS-HT7-N-I.2								0.22	

표 3 띠철근 형태



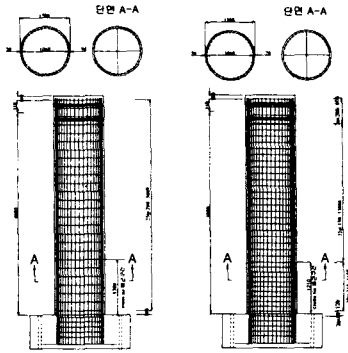


그림 1 시험체 상세

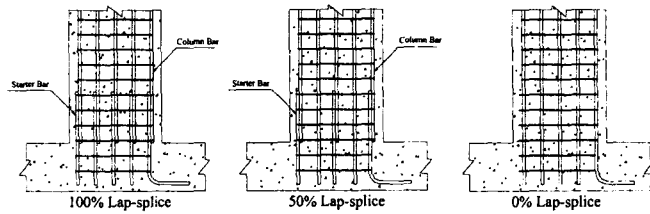


그림 8 주철근 겹침이음상세

2.2 계측장비

시험체의 주철근, 띠철근, Cross Tie에 Strain Gage를 부착하여 철근의 변형률을 측정하였고 시험체 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.



사진 1 시험체 설치

3. 실험방법 및 개요

Quasi-static 실험을 위하여 사진 1과 같이 축하중을 300ton Oil jack을 이용하여 재하하고 횡방향 변위가 발생하더라도 일정한 축하중이 재하될 수 있도록 유압기를 이용하였다. 횡방향의 반복하중은 350ton actuator를 이용하여 변위제어방식으로 가력하였다. Drift Level은 그림 3과 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.

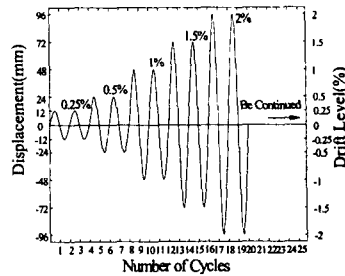


그림 3 하중재하 패턴

4. 실험결과

4.1 하중- 변위이력곡선

그림 4와 그림 5 및 그림6에 나타난 바와 같이 다른 실험변수가 동일하다면, 띠철근의 유형이 다른

경우에도 하중-변위 이력곡선에서 하중의 감소는 거의 동일한 Drift Level에서 시작되며 전체적인 유형은 거의 유사한 것으로 관찰된다. 따라서 하중-변위 이력곡선은 띠철근 유형보다는 주철근 이음의 유무(무이음 또는 겹침이음)에 따라서 크게 영향을 받는 것으로 판단된다.

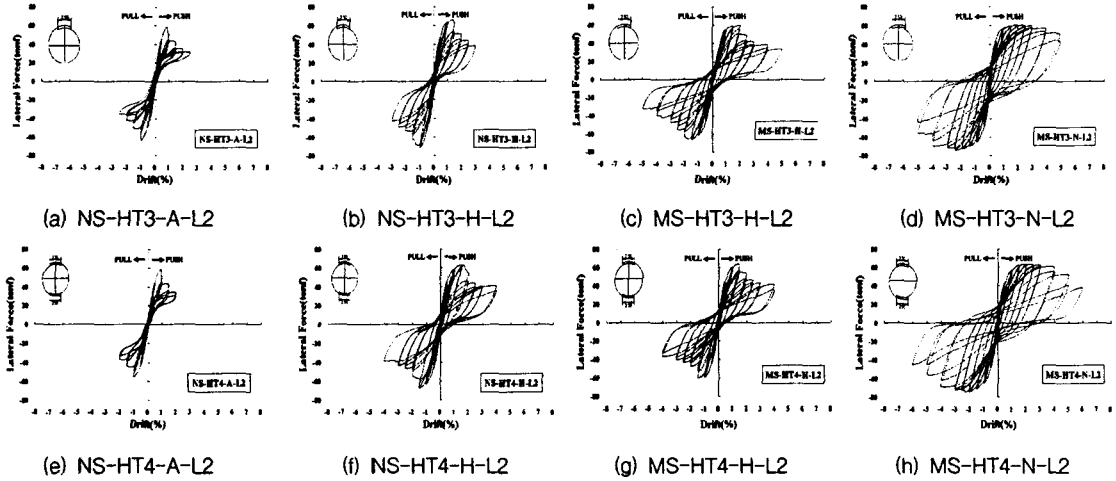


그림 4 하중-변위이력곡선

표 4 항복변위, 극한변위 및 변위연성도

연번	시험채명	항복변위 (Δ_y) [drift level %]			극한변위 (Δ_u) [drift level %]			변위연성도 (μ) [drift level %]		
		push	pull	평균	push	pull	평균	push	pull	평균
1	NS-HT2-A-L2	0.46	0.41	0.44	1.29	1.24	1.27	2.79	3.04	2.92
2	NS-HT2-H-L2	0.40	0.39	0.40	1.88	1.89	1.89	4.71	4.81	4.76
3	NS-HT3-A-L2	0.50	0.46	0.48	1.30	1.42	1.36	2.62	3.06	2.84
4	NS-HT3-H-L2	0.60	0.47	0.54	1.88	1.72	1.80	3.36	3.68	3.52
5	NS-HT4-A-L2	0.69	0.75	0.72	1.31	1.45	1.38	1.90	1.94	1.92
6	NS-HT4-H-L2	0.51	0.52	0.52	2.19	1.98	2.09	4.32	3.84	4.08
7	MS-HT3-N-L2	0.51	0.40	0.46	4.96	3.96	4.46	9.76	9.90	9.83
8	MS-HT3-H-L2	0.58	0.39	0.49	2.48	2.62	2.55	4.30	6.70	5.50
9	MS-HT4-N-L2	0.42	0.37	0.40	5.07	4.67	4.87	12.07	12.62	12.35
10	MS-HT4-H-L2	0.39	0.42	0.41	2.12	1.95	2.04	5.44	4.64	5.04
11	MS-HT5-N-L2	0.54	0.56	0.55	5.35	5.59	5.47	9.91	9.98	9.95
12	MS-HT5-H-L2	0.43	0.37	0.40	2.41	2.13	2.27	5.61	5.76	5.69
13	MD-HT6-N-L2	0.30	0.29	0.30	6.00	5.42	5.71	20.00	18.69	19.35
14	MD-HT7-N-L2	0.58	0.40	0.49	5.96	5.87	5.92	10.28	14.68	12.48

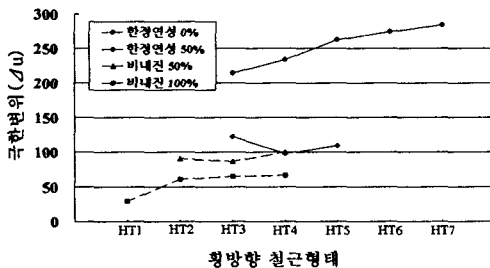


그림 5 띠철근형태에 따른 극한변위

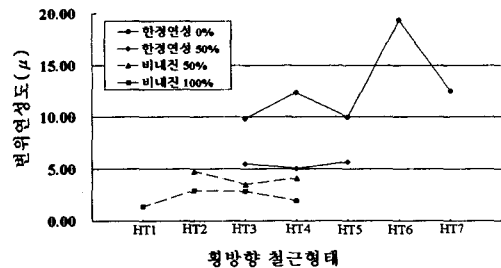


그림 6 띠철근 형태에 따른 변위연성도

4.2 하중포락곡선

비내진 시험체의 경우 Drift Level 1%이내에서는 별다른 차이를 보이지 않으나 1%이후에 100%겹침이음 시험체의 급격한 하중감소경향을 알 수 있다. 이열배근에서는 횡방향철근을 일열배근한 MD-HT6-N-L2은 Drift Level 5%에서 급격한 하중감소를 보이고 있으나, 주철근과 횡방향철근을 모두 이열배근한 MD-HT7-N-L2는 하중이 감소하지 않고 있다.

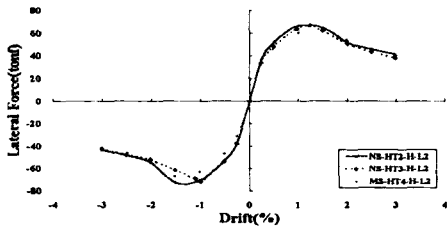


그림 7 비내진 50%겹침이음

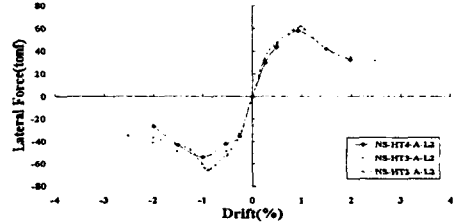


그림 8 비내진 100%겹침이음

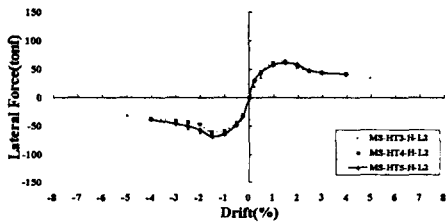


그림 9 한정연성 50%겹침이음

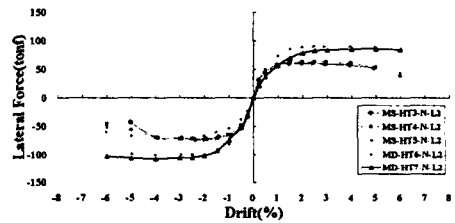


그림 10 한정연성 0%겹침이음

4.3 강성변화곡선

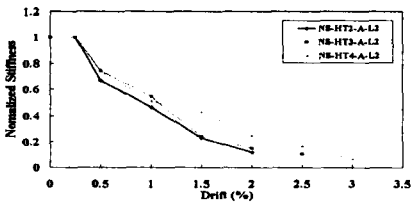


그림 11 비내진 100%겹침이음

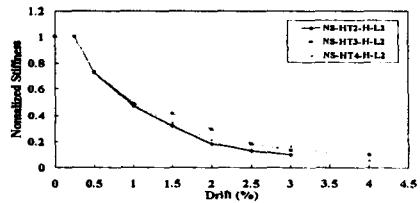


그림 12 비내진 50%겹침이음

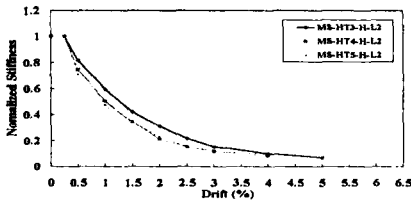


그림 13 한정연성 50%겹침이음

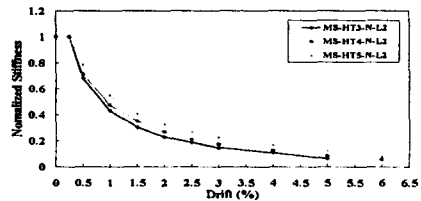


그림 14 한정연성 0%겹침이음

위의 그림 11~14에 나타난 바와 같이 파괴시 강성(Stiffness)은 초기강성의 약 20%로 떨어지고 비내진 시험체는 대부분 Drift Level 2%이내에서 강성저하가 완료되며, 한정연성 시험체는 Drift Level 3%이내에서 강성저하가 완료되었다. 비내진 시험체에서는 HT3과 HT4가 HT2보다 상대적으로 강성유지 능력이 뛰어나다고 판단된다.

5. 결론

본 연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 주철근 100% 겹침이음 실험체와 50% 겹침이음 실험체는 Drift Level $\pm 1.0\%$ 까지는 유사한 성능을 보이나, 그 이후 100% 겹침이음 실험체가 급격한 강도저하를 나타낸다.
- 2) 갈고리 없이 겹침이음만으로 구성된 후프띠철근으로 이루어진 HT2, HT3, HT4와 같은 띠철근 형상에서는 후프띠철근의 겹침이음부에서 발생하는 슬립(slip)에 의하여 효과적인 심부구속의 역할을 하지 못하며, 추가된 보강띠철근(cross tie)도 심부구속의 기능을 발휘하지 못하는 것으로 판단된다.
- 3) 철근콘크리트 교각의 연성능력은 소성힌지 구간 내에서 주철근의 연결상태에 따라 큰 차이를 보이므로, 기존교각에 대한 내진성능 평가에서는 소성힌지 구간 내에서의 주철근의 연결상태를 고려하여야 하며, 지진하중에 대하여 저항하는 교각의 개수와 저항시스템(캔틸레버 또는 라멘 형식)등의 구조형식, 상부구조의 질량, 교량의 주기에 따른 지진하중의 크기, 낙교 발생 가능성 등을 종합적으로 분석하여야 한다고 판단된다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 도로교 설계기준(2000), 한국도로교통협회.
2. 이강균(1998) “철근콘크리트 교각의 내진성능에 관한 준정적 실험”, 1998년도 가을 학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, pp. 615-620.
3. 정영수 외 3인(2001) “준정적실험에 의한 겹침이음된 철근콘크리트 교각의 내진성능 평가”, 2001년도 봄 학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, 제13권, 1호 pp. 877-882.
4. 이재훈 외 3인(2001) “겹침이음 상세에 따른 철근콘크리트 교각의 내진성능에 관한 실험적 연구” 2001년 봄 학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, 제13권, 1호 pp.553-558.
5. J.B.Mander, S.M.Waheed, M.T.A.Chaudhary and S.S.Chen (1993) “*Seismic Performance of Shear-Critical Reinforced Concrete Bridge Piers*”, Technical Report NCEER-93-0010.
6. K.K.Lee, G.H.Han, Y.S.Chung, D.H.Lee, E.S.Hwang, “Quasi-Static Test for Seismic Performance of R.C Bridge Piers,” Proceedings of the Korea Concrete Institute, V.10, No.2, 1988, pp.615-620.