

진동대 실험에 의한 RC교각의 주철근 변형률 분석

Strain Analysis of Longitudinal Reinforcing Steels of RC Bridge Piers Under Shaking Test

홍현기* 양동욱** 정영수***
Hong Hyun Ki Yang Dong Wook Chung Young Soo

ABSTRACT

The near fault ground motion(NFGM) is characterized by a single long period velocity pulse of large magnitude. NFGM's have been observed in recent strong earthquakes, Turkey Izmit (1999), Japan Kobe(1995), Northridge(1994), etc. These strong earthquakes have caused considerable damage to infrastructures because the epicenter was close to the urban area, called as NFGM. Extensive research for the far fault ground motion(FFGM) have been carried out in strong seismic region, but limited research have been done for NFGM in low or moderate seismic regions because of very few records.

The purpose of this study is to investigate and analyze the effect of near-fault ground motions on RC bridge piers without lap-spliced longitudinal reinforcing steels. The seismic performance of two RC bridge piers under near-fault ground motions was investigated on the shake table. In addition, Two of four identical RC bridge piers were tested under a quasi-static load, and the others were under a pseudo-dynamic load. The respectively two RC bridge pier is comparatively subjected to Pseudo-dynamic loadings and Quasi-Static loadings. This paper indicated that more gives bigger ultimate strain of longitudinal steels to be fractured at bigger PGA motion.

요약

근단층지반운동(NFGM)은 장주기 성분의 펄스 형태를 갖는 지반운동이다. 이들 근단층지반운동은 1994년 미국 Northridge 지진, 1995년 일본 Kobe 지진, 1999년 터키 Izmit 지진 등과 같은 강진 지역에서 관측되었으며 이들 지진의 진앙이 도시 주변에 위치하여 큰 피해를 초래한 바 있다. 강진 지역에서는 원역단층지반운동(FFGM)에 대해 폭넓은 연구가 수행되었으나 비내진 또는 중저진 지역에서는 NFGM에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

이 연구는 주철근 겹침이음이 없는 RC 교각을 근단층지반운동에 대해서 해석 연구하는 것이다. 2기의 RC 교각은 진동대 실험으로 근단층지반운동을 가력하였다. 추가로 2기의 RC교각은 준정적 실험으로 나머지 2 개의 RC교각은 유사동적 실험으로 수행하였다. 이 논문은 횡방향 철근비가 증가 할수록 더 큰 PGA에서 철근이 파괴된다는 것을 보여준다.

* 정희원 · 중앙대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail: hhk-happy-@nate.com
** 정희원 · 중앙대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail: yang4ever@hanmail.net
*** 정희원 · 중앙대학교 토목공학과 정교수 · 공학박사 · E-mail: chung47@cau.ac.kr

1. 서론

최근까지 국내에서 수행된 RC 교각에 대한 내진 시험은 축소 모형의 경우 국내에 있는 진동대 용량의 한계 및 지진에 의한 교각 상부 구조물의 관성력 구현 방법의 어려움 등으로 수행하기 힘든 여건이 있었다. 그리고 주로 원단층지반운동(far-fault ground motion, 이후 FFGM)를 모형화한 준정적(Quasi-Static) 혹은 유사동적(Pseudo-Dynamic) 시험으로 이루어져 왔다.(정영수 등, 2003)

이 연구에서는 축소모형을 제작하고 QST, PDT에서는 축력효과는 프리스트레스에 의해 구현하였다. 진동대 실험에서의 질량 효과는 별도의 질량모사 프레임 제작하여 수행한 실험 결과를 제시하였다. 진동대 실험에서 질량 모사 프레임이 교각 모델과 같은 변위로 움직이면서 마찰 효과를 최소화할 수 있도록 고려하였고 이를 검증하였다. 지반운동은 국내에서 정규모지진에 의한 근단층지반운동 모델을 수행하여 얻어진 결과를 이용하였다. RC 교각의 실험체는 scale factor를 4.25로 설정하여 설계하였고, 축력을 압축강도의 10%선에서 도입하기 위해서 교각을 제작할 때 단면의 중심에 쉬스관을 배치하여 압축력을 도입하였다. 또한 철근의 거동을 조사하기 위하여 철근에 게이지를 부착하였다.

2. 진동대실험

진동대를 이용한 RC교각 실험은 여러 가지 제약사항을 갖게 되어 이에 대한 고려가 중요하다. 국내에서 사용할 수 있는 진동대중에서 일축진동대로 Table의 크기가 5m x 3m이고 최대 시편 중량이 294KN인 것을 이 연구에서 사용하였다. 우선, 최대 시편 중량의 제한으로 인해서 교각의 축소모형의 크기에 제한이 있고 또한 최대 허용 모멘트의 크기는 491KN·m, 최대 변위는 ±100mm, 최대가속도는 1.0g인 것도 실험 부재 설계에서 중요한 고려사항이 되어야 한다.

준정적 실험은 일정한 Drift level로 2 cycle을 변위로 제어 하여 실험을 수행하였고 유사동적 실험은 뎀핑 값을 일정하게 하고 진동대 실험에서 사용된 가속도를 수치 적분한 변위로 제어 하였다. 준정적 실험 및 유사동적 실험은 최대변위 ±25mm, 최대하중 ±980KN의 ACTUATOR를 사용하였다.

3. 실험부재

표 1.Characteristics of RC Bridge Pier Specimen

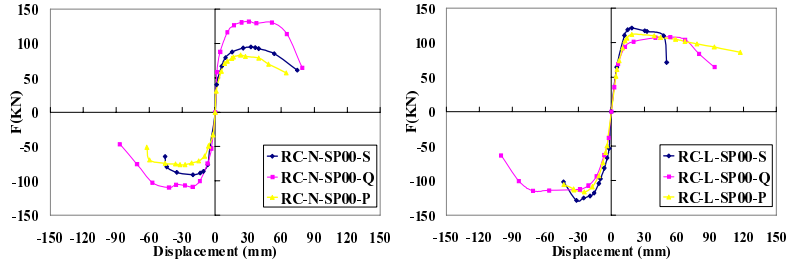
Design Method	Specimen	Diameter, D Height, H (mm)	Longitudinal Steel		Transverse Steel		Test Method
			Sectional Ratio	Lap splice	Volumetric Confinement Steel Ratio	Space (mm)	
Non-Seismic	RC-N-SP00-S	D=400 H=1,400	16D13 =1.61%	0%	0.27%	130/130	Shaking
	RC-N-SP00-P						Pseudo
	RC-N-SP00-Q						Quasi
Limit-Ductile	RC-L-SP00-S				0.45%	70/100	Shaking
	RC-L-SP00-P						Pseudo
	RC-L-SP00-Q						Quasi

RC 교각의 실험체의 직경과 순수 교각 높이는 각각 400 mm 및 1400 mm로서 형상비 2.5인 횡단단 파괴모드로 설계되었다. 직경 1700 mm 하갈교를 기준으로 시험체의 축소계수는 4.25이다. 표 1은 실험체의 특성을 보여 주고 있으며, 사용된 주철근과 띠철근의 설계강도는 300 MPa, 인장실험에 의한 항복강도는 320 MPa의 값을 얻었다. 콘크리트 설계압축강도는 27MPa로 하였다. 표 1에서 보인 바와 같이 실험변수는 주철근 겹침이음이 없는(진동대, 유사동적 및 준정적)의 실험 방법, 교각 심부철근비의 2종(0.27%, 0.45%)에 따른 비내진, 중저진 실험체의 총 6기이다.

4. 실험결과

4.1. 하중변위포락곡선 및 변위연성도

근단층지반운동으로 사용한 지반운동이 중규모지진에 대해서 생성된 것으로 0.0627g, 0.0803g, 0.11g, 0.154g, 0.22g, 0.3g, 0.4g, 0.5g, 0.6g, 0.7g, 0.8g, 0.9g까지 가진을 실시하였다.(정영수 등, 2006)



(a) Non-Seismic (b) Limited-Ductile
 그림 1. Envelope Curves of Load-Displacement Hysteresis

철근콘크리트 교각의 내진성능을 평가 분석하는 가장 기본적인 자료는 변위연성도로서 이는 항복변위에 대한 극한변위의 비($\mu_{\Delta} = \Delta_u / \Delta_y$)로 정의된다. 이 연구에서는 그림 1의 하중-변위 포락곡선과 표 2의 변위연성도 결과를 통해서 실험 방법의 변화에 따른 변위연성도를 분석하여 교각 실험체의 내진성능을 분석하였다.

표2. Displacement Ductility, Natural Frequency, and Damping Ratio

Design Method	Specimen	Yield	Ultimate	Displacement Ductility	Natural Frequency and Damping Ratio					
		Disp(mm)	Disp(mm)		0.0627g		0.22g		0.4g	
					(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
Non-Seismic	RC-N-SP00-S	9.39 -8.25	57.60 -44.37	6.14 5.38	3.61	1.03	2.25	4.9	2.05	5.26
	RC-N-SP00-P	8.29 -10.66	47.66 -65.04	5.75 6.10	-	-	-	-	-	-
	RC-N-SP00-Q	9.42 -12.12	65.11 -61.91	6.97 5.11	-	-	-	-	-	-
Limit-Ductile	RC-L-SP00-S	11.88 -11.05	48.04 -43.55	4.04 3.94	3.72	1.33	2.92	2.90	2.21	6.57
	RC-L-SP00-P	11.76 -13.71	87.86 -43.13	7.47 3.15	-	-	-	-	-	-
	RC-L-SP00-Q	12.21 -10.27	74.76 -94.15	6.12 9.17	-	-	-	-	-	-

*(a)=Natural Frequency(Hz) (b)=Damping Ratio(%)

비내진 실험체의 실험 방법에 따른 변위연성도를 비교해보면 진동대 실험체가 준정적 실험체보다 대략적으로 적은 변위연성도를 보여주고 있다. 이는 동적효과를 고려하지 않은 준정적 실험의 결과로서 지진운동과 같은 동적운동의 경우 진동대 실험이 더 신뢰성이 있다고 판단된다. 같은 조건하에 진동대 실험체와 유사동적 실험체를 분석한 결과 진동대 실험체의 변위연성도가 약간 작게 나왔다. Damping 값을 일정하여 하여 변위로 제어하는 유사정적 실험에 손상이 진행될 때 바뀌는 Damping 값을 반영한다면 진동대 실험과 비슷한 결과를 얻을 수 있으리라 판단된다.

4.2. 손상도에 따른 고유진동수 및 감쇠비

최대반가속도 크기에 따른 12 종의 근단층 지반운동하의 실험체의 손상도에 따른 실험체의 고유진동수 및 감쇠비는 각각 하중-변위 이력곡선에 대한 FFT(Fast Fourier Transform)분석 그리고 Half-Power Bandwidth Method의 이론에 근거하여 산출하였다. 표 1에서 보여주는 바와 같이 PGA가 커질수록 즉, 실험체가 손상도가 커짐에 따라서 실험체의 고유진동수(Natural Frequency)는 작아지고 감쇠비(Damping)값은 대체적으로 커진다는 것을 확인하였다.

4.3 주철근 하중-변형률 곡선

그림 2는 비내진 및 한정연성 실험체의 진동대, 유사동적 실험의 소성힌지 구간에서 주철근(FL2)의 하중-변형률 곡선을 보여주고 있다. 그림 2.(a)와 그림의 2.(c), 그림 2.(b)와 그림의 2.(d)에서 알 수 있듯이 횡방향 철근비가 증가 할수록 더 큰 PGA에서 주철근 게이지가 파단 됨을 알 수 있다.

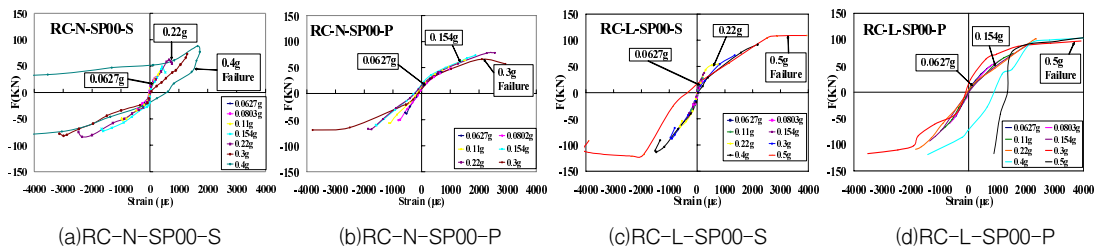


그림 2. Envelope on the Load vs. Strain Curve Longitudinal steels

5. 결론

변위연성도 평가결과 손상정도에 따라 댐핑값이 고려되는 진동대 실험이 대체로 Quasi-Static, Pseudo-Dynamic 실험보다 대체로 그 값이 작게 나왔다. 따라서, 내진을 평가하는데 진동대 실험이 좀 더 신뢰성이 있는 실험이라 판단되었다. 또한 손상도가 증가함에 따라 고유진동수(Natural Frequency)는 감소하며 감쇠비(Damping Ratio)는 대체적으로 증가하는 것을 확인하였다. 따라서, 추후의 PDT 실험은 감쇠비 증가 및 고유진동수 감소를 고려하여 실험을 수행하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 그리고 한정연성 실험체의 주철근이 비내진 실험체의 주철근보다 더 큰 PGA에서 파단되었다.

감사의 글

이 연구는 사회기반시설물평가중점연구단(과제번호: 04핵심기술C02)을 통하여 지원된 국토해양부 건설핵심기술연구개발사업에 의하여 수행되었고 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 정영수, 박창규, 박진영, 한정연성 철근콘크리트 교각의 유사동적 실험에 의한 내진 성능 평가, 한국 콘크리트학회논문집, 제15권 5호, pp.705-714, 2003.
2. 정영수, 심창수, 박창규, 박창영, RC 교각의 내진거동 평가를 위한 진동대 실험, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제18권 2호, pp.85-88, 2006.
3. Chung, Y.S., Park, C.K., Meyer. Residual Seismic Performance of Reinforced Concrete Bridge Piers after Moderate Earthquakes, A Journal of the American Concrete Institute, Vol. 105, No. 1, pp. 87-95, 2008.