

지진격리설계된 RC교각의 유사동적 실험

Pseudo Dynamic Test of the Seismically Isolated RC Piers

김영진*

곽임종*

조창백**

곽종원*

Kim, Young-Jin Kwahk, Im-Jong Cho, Chang-Beck Kwark, Jong-Won

ABSTRACT

Many highway bridges in Korea need seismic retrofit because only one decade has passed since the seismic design criteria was introduced. In this experimental study, the effectiveness of base isolation bearings was discussed for the seismic retrofit of the highway bridges. Four real scale RC pier specimens were constructed for the test. These RC piers didn't have seismic details. Except for one RC pier for the pilot test, three types of bearings such as Pot bearing, Rubber bearing (RB), Lead-rubber bearing (LRB) were applied to the other RC piers respectively. The RC pier with Pot bearing means current state of the prototype bridge that is not retrofitted seismically. And two RC piers with RB or LRB mean assumed states of the prototype bridge that are retrofitted seismically. To simulate dynamic behavior of these RC piers under earthquake loads, Pseudo-dynamic test method was used.

1. 서론

국내 도로교 설계기준에 1992년부터 내진설계편이 마련되어 중요 교량에는 내진설계가 실시되고 있지만, 그 이전에 설계된 교량은 내진 설계를 고려하지 않았으므로 지진에 대한 안전성이 의문시되고 있다. 내진 설계되지 않은 교량의 지진 안전성을 확보하기 위해서는 교량의 내진성능을 합리적으로 평가하고, 내진성능이 부족할 경우에는 내진 보강을 적절히 실시해야 한다. 전국 도로교에서 비내진 교량 전체를 내진 평가하고 일시적으로 내진보강을 실시하기에는 현실적으로 어려움이 따른다. 그래서 이 연구에서는 비내진 설계된 교량의 내진평가를 위하여 간편한 방법을 제안하였으며, 또한 다양한 내진보강 방법들 중에서 경제적이고 시공이 용이한 내진보강 방법을 제시하였다. 현재 설치된 받침이 노후화되어 제 기능을 거의 상실하였을 경우, 지진격리받침으로 교체하여 내진보강도 동시에 실시하는 것은 매우 효율적이라 판단된다. 한편 지진격리받침의 효율성을 검증하기 위한 지진격리받침 자체의 정적 및 동적실험은 많은 연구자들이 수행해 오고 있지만,^{4,5,7,8,9)} 지진격리받침이 교각에 실제로 설치되었을 때 제대로 기능을 수행하는지에 대한 검증 실험은 전무한 실정이다. 본 고에서는 내진성능이 부족한 실험대상 교량에 대하여, 지진격리받침으로 내진 보강하였을 경우, 그 효율성을 검증하기 위해 실시한 실물교각의 유사동적실험(Pseudo-Dynamic Test) 결과에 대해 기술한다. 유사동적 실험은 구조물의 관성 및 감쇠특성을 포함한 운동방정식에서 복원력(Restoring Force)을 계속하여 입력하고, 수치적으로 해를 구하는 것이다. 이것은 하중이나 변위를 단순 반복적으로 증감하는 일반적인 정적 실험(Static Test)과 구분되며, 구조물의 동적 응답 특성을 파악할 수 있다.²⁾

*정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원 연구원

2. 대상교량 및 실험계획

이 연구의 대상 교량은 국도 43호선에 위치하고 있는 전형적인 국도상 교량으로서, 내진설계가 되어 있지 않다. 교량 경간구성은 그림 1과 같이 5경간 슬래브교이고 2번 교각이 고정단이다.

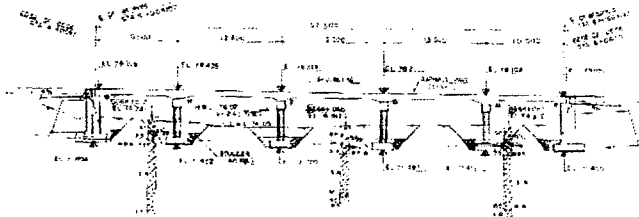


그림 1. 실험대상 교량

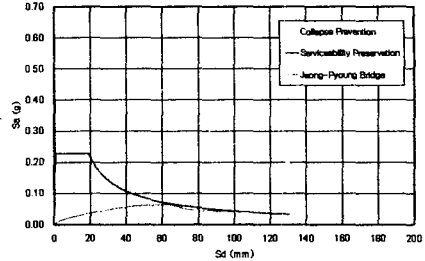


그림 2. 실험 교량 교각의 역량스펙트럼 곡선

역량스펙트럼법을 통하여 대상교량의 내진보강 필요성을 확인하였다. 그림 2의 ARDS (Acceleration Displacement Response Spectrum) 역량스펙트럼 곡선에서 대상교량의 내진성능은 붕괴방지수준, 기능수행수준에 만족하지 않음을 알 수 있다. 실험 교량의 내진거동 파악을 위하여, 서로 다른 받침형식 3가지를 적용한 경우를 유사동적실험기법을 이용하여 실험하였다. 첫 번째는 고정단 2번 교각에 포트 받침이 설치된 대상 교량을 그대로 모사한 포트받침 실험체이고, 두 번째는 일반적인 탄성 받침을 적용한 것이며, 3번째는 지진격리받침인 LRB를 장착한 것이다. 상사법칙에 의한 지진격리받침의 크기효과 영향을 배제하기 위하여, 교각 실험체는 축소모형이 아닌 실물크기로 제작되었다. 교각 실험체의 형상비(Aspect Ratio, 원형단면의 경우 지름과 본체높이의 비)는 5.81로서, 지진하중에 의해 휨파괴 거동이 예상된다. 모든 실험체의 소성힌지 구간에서는 주철근의 50%에 겹침이음이 적용되었다. 유사동적 실험을 위한 지진이력데이터는 El Centro 지진(1940, NS)의 가속도 이력을 사용하였다. 가속도이력의 최대지반가속도(PGA)를 0.15g, 0.2g, 0.34g, 0.7g의 4단계로 그 크기를 변환하면서 실험을 수행하였다. 따라서 한 교각실험체가 4단계의 지반 입력가속도를 순차적으로 경험하게 하였다.

모든 교각실험체는 대상 교량의 실제 설계도면에 따라 설계되었다. 교각 실험체들은 주철근 및 띠철근 상세를 대상 교량과 동일하게 배치되었으며, 단면 제원도 동일하게 제작되었다. 주철근과 띠철근은 각각 H22와 H13를 사용하였고, 크로스타이드 설계 도면대로 적용하였다. H22와 H13 철근의 인장강도를 실험한 결과 4,576kgf/cm²와 4,294kgf/cm²의 항복강도를 얻었다.

3. 유사동적실험 준비 및 실험결과

본 유사동적실험에서 사용한 시간적분기법은 내연적 시간적분(implicit time integration) 알고리즘으로서, α -method를 기초로 하여 Shing에 의해 개발된 알고리즘이다. 횡방향의 지진하중은 100tonf의 동적 유압가력기(Dynamic Actuator)로, 교각 받침위의 상재 하중120tonf은 350tonf의 정적 유압가력기(Static Actuator)로 재하하였다. 그림 4는 유사동적 실험을 위한 실험체 설치 전경이다.

El Centro 지진의 PGA값을 0.154g, 0.22g, 0.34g로 변환시킨 후 유사동적 제어 프로그램에 입력하고, 실험을 실시하여 실험체의 동적응답을 조사하였다. 각 실험체에서 교각의 수평방향 상대변위를

그림 5에 나타내었다. 그림 5에서 알 수 있는 바와 같이 탄성받침을 설치했을 경우에 포트받침보다 교각 자체의 상대변위가 작은 것을 알 수 있으며, LRB도 현저히 줄어들었다.

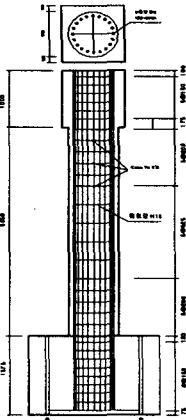


그림 3. 교각 실험체 설계상세



그림 4. 유사동적실험 실험체 설치

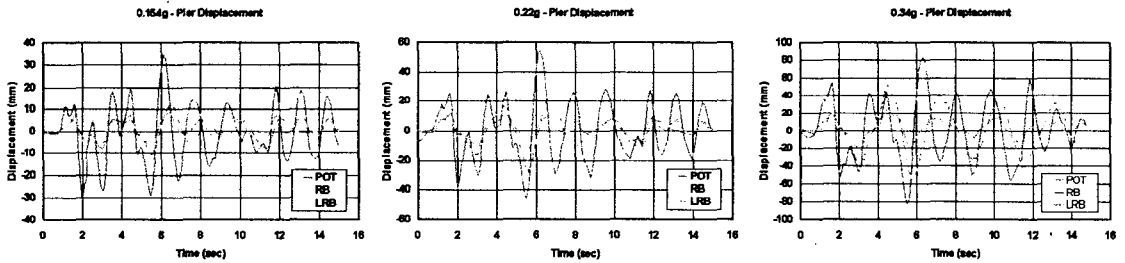


그림 5. 교각의 상대변위

그림 6은 지진하중이 작용했을 때 각 교각실험체의 하중-변위 이력곡선을 나타낸 것이다. 여기서 탄성받침과 LRB가 지진동안 교각 변형을 흡수하는 거동을 보임을 알 수 있다. 또한 탄성받침과 LRB의 하중-변위 이력으로 탄성받침보다는 LRB가 에너지 소산 능력이 큼을 보여준다.

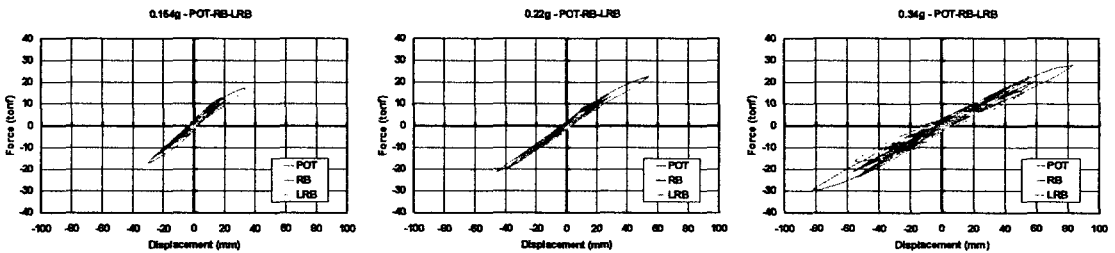


그림 6. 하중-변위 이력곡선

교각 실험체의 지진 파괴 거동을 파악하기 위하여 PGA값을 0.7g로 대폭 증가시켜 유사동적 실험을 실시하였다. 그림 7에서 보는 바와 같이 포트 받침이 설치된 실험체인 경우 전형적인 휨파괴 거동을 나타내었으며, 소성형지 부분의 콘크리트 덮개가 탈락하고 하중이 최대하중의 절반이하로 급격히 감소하였다. 반면에 탄성받침과 LRB받침이 설치된 실험체는 비교적 큰 지진하중이 작용하였음에도 불구하고

하고 교각은 파괴에 이르지 않아서 탄성받침과 LRB받침은 지진 보강에 효과적임을 알 수 있다.

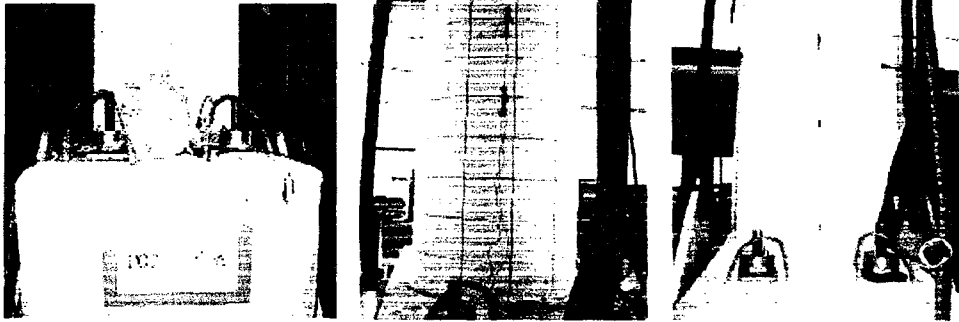


그림 7 교각 실험체의 유사동적실험 완료후 모습

4. 결론

본 연구에서는 교량에 대한 내진보강에 있어서 노후되었거나 기능을 상실한 교량 받침을 지진격리 받침(탄성받침 또는 LRB)으로 교체하였을 경우 그 효율성에 대하여 알아보았다. 내진성능이 부족한 것으로 평가된 교량을 대상으로 지진격리받침의 적용이 제시되었으며, 이러한 보강에 대한 효과의 확인을 위하여 대상교량에 대한 보강 전후의 성능을 비교분석하였다. 실험대상 예제교량은 실제 국도상에 존재하면서 내진설계가 적용되지 않아 내진성능의 보강이 필요한 교량 중에서 선정하였다. 교량마다 상하부 구조형식과 지반조건 등이 다르고 특히 지반조건이 연약지반이거나 교각의 높이가 너무 높아 지진격리 효과를 기대하기 힘든 경우도 있다. 그러므로 하나의 실험대상 예제교량만으로 내진성능 보강효과를 검증하는 것에 어려움이 있지만 예제교량으로서 빈도수가 높고 최대한 일반성을 갖는 교량을 선정함으로써 검증 효과를 최대화하였다. 선정된 대상교량의 내진거동을 파악하고, 실험의 실제성을 높이기 위하여 모형이 아닌 실물크기의 교각 실험체를 제작하여 유사동적실험(Pseudo-Dynamic Test)을 실시하였다. 실험결과로부터 탄성받침 또는 LRB를 사용했을 경우, 지진시 교량 교각의 횡방향 상대변위가 현저히 줄어들었으며, 특히 강한 지진이 올 경우, LRB받침은 에너지 소산에 의한 교각의 변위를 감소시키는 능력이 탄성받침보다 우수함을 보여주었다. 그렇지만 중약 지진에서는 LRB받침과 더불어 탄성 받침도 상당한 효과가 있음을 나타내고 있다.

본 실험연구를 통하여 지진격리받침을 적용한 내진보강 기법의 효율성과 타당성을 확인할 수 있었다. 이 같은 내진보강기법이 비내진 설계된 교량의 노후화되어 제 기능을 상실한 받침 교체에 적용된다면, 교량 받침의 유지관리와 내진성능 보강 등을 동시에 충족시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, “사회기반 시설물의 내진성능향상 기술개발”, 건기연 2000-080, 2000.
2. 한국건설기술연구원, “교각 내진성능 평가 및 교량 비선형 내진해석 프로그램 개발”, 건기연 2001-078, 2001.
3. 한국건설기술연구원, (주)KR, 성균관대학교, “비내진 교량의 노후 교좌장치 교체시 지진격리장치를 이용한 내진성능 향상 기술 개발”, R&D/목적F-03, 2004
4. Priestley, M. J. N., Seible, F., Calvi, G. M., Seismic Design andfit of Bridges, John Wiley & Sons, 1996
5. Mander, J. B., Waheed, S. M., Chaudhary, M. T.A., Chen, S.S., Seismic Performance of Shear-critical Reinforced Concrete Bridge Piers, Technical Report NCEER-93-0010, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, 1993
6. AASHTO, Guide Specifications for Seismic Isolation Design, AASHTO, 1999