

전단키를 이용한 다경간 연속교의 내진성능 향상 방법

Seismic Upgrading of Multi-Span Continuos Bridges using Shear Keys

김 재관**, 김 익현*, 임 현우***, 전 귀현****
KIM, Jae Kwan, KIM Ick-Hyun, LIM Hyun-Woo, JUHN, Gui-Hyun

ABSTRACT

The seismic performance of multi-span bridge without seismic detailing is found to be insufficient in longitudinal direction. Shear keys and stoppers can be introduced as an alternative to enhance seismic capacity. The capacity curve of bridge with shear keys is obtained considering two extreme contact conditions of shear keys. Its curve is converted into ADRS spectra and compared with demand spectra. It is concluded that seismic performance can be improved effectively by shear keys and its performance can be evaluated graphically on the ADRS spectra.

1. 서론

우리나라 도로교의 내진설계는 1992년, AASHOTO의 내진 규정을 기본으로 하는 내진설계 규정이 도로교시방서에 도입되면서 실시되고 있다. 따라서, 내진상세가 고려되지 대다수 기존 교량의 경우 소요내진성능을 확보하기 위한 내진성능 향상 방안이 강구되어야 한다. 여러 연구를 통하여 내진상세가 고려되지 않은 구조물도 상당한 정도의 수평저항력을 보유하고 있는 것으로 알려져 있다.^{(1),(2),(3)} 또한, 중약진 지역의 구조물에 요구되는 연성도는 강진지역에 비하여 작게 된다. 따라서, 합리적인 내진성능 향상 방법은 우선적으로 내진상세가 고려되지 않은 기존구조물의 내진성능을 평가하고 이를 기본으로 하여 결정되어야 한다.

지진하중을 설계하중으로 특별히 고려하지 교량의 경우 상부구조가 교축 방향으로 하나의 교각에서 고정되는 다경간 연속교의 형식으로 설계되는 예가 많다. 이런 타입의 교량은 교축방향으로 작용하는 수평하중에 대해서는 상당히 취약한 구조 형식으로 내진성능 향상방안을 고려하여야 한다. 일반적인 내진보강 방안으로는 강판 또는 탄소섬유, 유리섬유 등의 신소재를 이용하여 교각을 덮어 싸는 덧씌우기 공법이 있다. 그러나, 지진 시 상부하중의 관성력이 교축방향으로 한 교각에 집중되는 다경간 연속교의 경우 이러한 내진보강 방법은 불충분한 경우가 많다. 한가지 현실적인 대안으로 전단키를 이용하여 상부관성력을 다른 교각으로 분배하는 방법을 고려할 수 있다.

본 연구에서는 내진상세가 고려되지 않은 다경간 연속교를 예를 들어 내진성능을 평가하고 전단키가 도입되는 경우의 간편한 내진성능 평가법에 대하여 제안한다.

* 서울대학교 토목공학과 교수, 정회원

** 지진공학연구센터 연구원

*** 서울대학교 토목공학과 석사과정

**** 시설안전기술공단 교량2실장

2. 비내진상세 다경간 연속교의 내진성능

본 연구의 대상교량은 그림1과 같은 8경간 연속교로 교축방향으로 교각 P4에서 고정되고 다른 교각은 가동단이다. 단위길이 당 상부구조의 중량은 24.23tf/m이며 상부구조의 총 중량은 8,965tf이다. 교각의 단면은 그림2와 같이 중공구형단면이고 재료특성 및 상세 단면 특성은 표1과 같다. 계산의 편의를 위해 교각 높이는 동일한 것으로 가정한다.

내진설계가 도입되기 이전에는 횡방향 구속철근 및 주철근의 이음 위치에 관련한 특별한 규정이 없어 횡방향 구속철근은 단부에 후크를 사용하지 않고 겹이음(이음길이 : 300-400mm)으로 처리되어 있다. 또한, 주철근은 시공의 편의를 위해 기초의 상단부에서 절단하여 겹이음으로 처리한 예가 많다. 이 때 겹이음 길이는 $30\sim 40 d_b$ (주철근의 직경)가 일반적으로 교각의 소성현지역역 내에 위치하게 된다. 극단적인 경우로 이러한 주철근의 절단을 동일한 단면에서 실시한 예도 있다.

그림 3는 상기교각의 1/5 축소모델 실험을 통하여 확인한 교각의 거동을 바이리니어 모델로 이상화 한 그림이다. 소성변형 시의 교각구조의 강성은 유효강성(K_{eff})으로 대표한다.

대상교량의 내진성능 검토는 지진공학회의 표준설계응답스펙트럼⁽⁴⁾을 이용하고 2단계의 내진성능목표 즉, 기능수행 및 붕괴방지 성능에 대하여 실시한다. 대상구조물의 등급을 1등급으로 하고 매우 조밀한 토사지반 또는 연암지반(S_D) 상에 위치하는 것으로 한다. 우선, 기능수행성능에 대하여 검토하면, 그림 3에서 탄성상태의 강성(K_y)은 27.5tf/cm이고 구조물의 주기는 3.65sec이다. 따라서, 응답가속도의 크기는 0.063g가 되어 교각에 도입되는 지진력은 564tf가 된다. 탄성한계 상태를 넘어서게 되어 기능 수행 성능을 만족시키지 못한다.

다음으로, 붕괴방지 성능에 대하여 검토한다. 유효강성을 고려한 구조물의 주기는 5.12sec이다. 대응하는 최대응답변위는 31.80cm이고 소성변형 시 감쇠비의 증가에 따른 응답의 저하⁽⁵⁾를 고려하여도 최대응답변위는 22.86cm가 된다(감쇠비 14%에 저감계수 0.75를 적용). 이는 대상구조물이 붕괴방지 성능도 충족시키지 못하고 있는 것을 알 수 있다.

3. 전단키의 도입

대상 교량의 내진성능을 확보하기 위해서는 고정단 교각의 최대내하력 및 연성도의 향상이 필요하다. 현실적으로 고정단 교각의 보강만으로 소요내진성능을 확보하기에는 기초부분의 안정성 검토 등 어려움이 많다. 전술한 바와 같이 상부관성력을 가동단의 타 교각으로 전달할 수 있다면 소요내진성능을 상대적으로 손 쉽게 확보할 수 있을 것이다. 그림 4는 상부구조에 전단스토퍼를 도입하여 상부관성력을 타 교각으로 전달하는 개념도이다. 즉, 지진 시 전단스토퍼가 전단키에 접촉함으로써 관성력을 가동단 교각으로 전달하게 되는 시스템이다. 상부구조의 건조수축, 온도변화 등에 의한 상시 이동량을 구속하지 않기 위해 전단스토퍼는 전단키에 일정 유격을 두고 설치한다.

4. 전단키 도입 시의 내진성능

상시 이동량의 구속을 방지하기 위하여 두는 초기의 최대유격은 전단키가 설치된 교각에서 모두 동일하지만 지진 시 이들의 상대적인 위치의 차이로 전단키의 접촉 형태는 다양하게 나타날 수 있다. 예를 들어 (M-1)개의 전단키가 설치되는 경우 2가지의 극단적인 경우를 생각할 수 있다. 먼저, 지진 발생 시 전단스토퍼와 전단키가 한쪽 면에서 접촉된 상태에서 동시에 모두 접촉하는 경우이다. 이 경우 고정단 교각과 함께 M배의 강성이 바로 발휘된다. 다른 경우는 전단키의 다른 면이 전단스토퍼와 접촉하는 경우이다. 이 경우, 고정단 교각은 전단키의 접촉으로 인한 가동단 교각이 관성력을 부담하기 전까지는 전 수평력에 대하여 저항하게 된다.

그림 5는 고정단 교각에 인접하는 양측의 가동단에 전단키를 설치한 경우, 상기의 2가지 극단적인 경우에 대한 대상교량의 공급역량 곡선을 나타낸다. 전단키의 상대적 위치의 차이에 따라 각기 다른 형태로 전단키와 전단스토퍼가 접촉하는 경우의 공급역량 곡선은 그림 5와 같이 음영으로 처리한 영역 내에 놓이게 된다.

내진성능의 평가는 이 두 경우에 대하여 소요내진역량을 확보하고 있는지를 검토하는 것이 된다. 상기의 두 경우의 교량의 공급역량 곡선을 ADRS (Acceleration-Displacement Response Spectrum)⁽⁵⁾ 상에 도시하여 소요스펙트럼과 함께 비교함으로써 내진성능을 손쉽게 평가할 수 있다. 그림 6는 내진성능 평가도이다. 2가지의 경우 모두 기능수행 및 붕괴방지 성능을 만족하는 것을 알 수 있다.

5. 결론

내진상세가 고려되지 않은 다경간 연속교의 경우 소요 내진성능을 확보하기 위한 내진보강방법이 필요하게 된다. 전단키의 도입은 비교적 손쉽게 대상교량의 내진성능을 향상하는 방법으로 이용될 수 있다. 전단키가 도입된 교량의 내진성능은 유격거리의 차이로 인한 교량의 극단적인 2가지 거동특성에 대하여 검토함으로써 확인할 수 있다. ADRS 방법은 대상구조물의 각 목표성능에 대한 만족 여부를 그래프로 동시에 확인할 수 있는 적절한 내진평가방법이라고 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 서울대학교 지진공학연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

참고문헌

1. NCEER (1996a), *Seismic Evaluation of a 30-Year Old Non-Ductile Highway Bridge Pier and Its Retrofit*, Technical Report NCEER-96-0008, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.
2. NCEER (1996b), *Seismic Performance of a Model Reinforced Concrete Bridge Pier Before and After Retrofit*, Technical Report NCEER-96-0009, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.
3. Lee, H.-S., Woo, S.-W., Heo, Y.-S. (1998), Inelastic behaviors of a 3-story reinforced concrete frame with nonseismic details, *Proc., of KCI Conference-Spring 1998*, 10, 1, pp429-432.
4. 한국지진공학회(1997), 내진설계기준연구(II)
5. ATC (1996), *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Volume 1, Report SSC 96-01, ATC-40, Applied Technology Council, Redwood City, California.

표 1 재료 및 단면 특성

항 목		
강도(kgf/cm ²)	콘크리트	240
	철근	3000
단면 크기(m)		5.2×3.0
교각높이(m)		25.0
주철근	직경	D25
	철근비(%)	1.089
횡방향 철근	직경	D13
	배치간격(cm)	20
	철근비(%)	0.517
피복두께(cm)		10
축력(tf)		0.05-0.10f' _c A _g

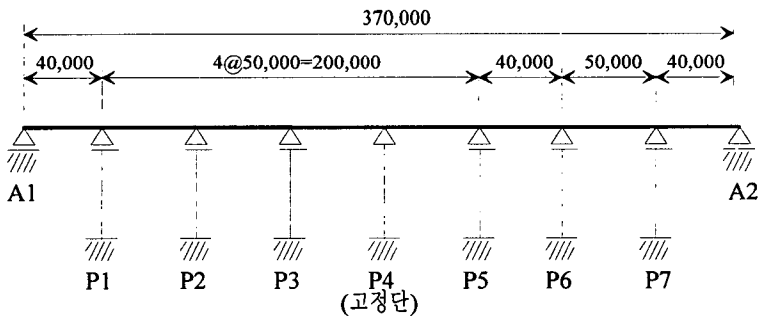


그림 1. 대상교량(8경간 연속교)

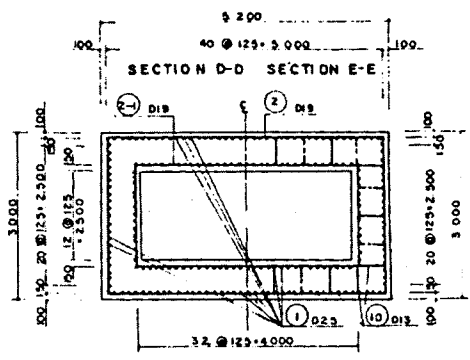
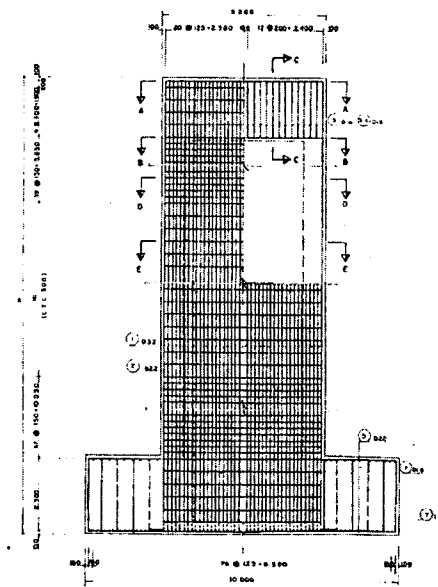


그림 2. 교각의 단면 상세

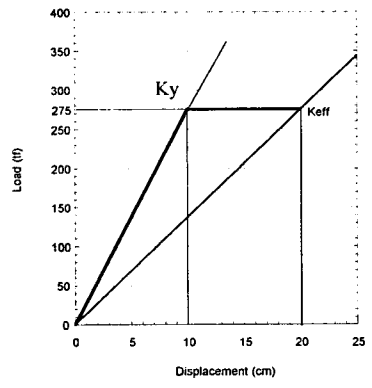


그림 3. 교각의 이상화된 하중-변위곡선

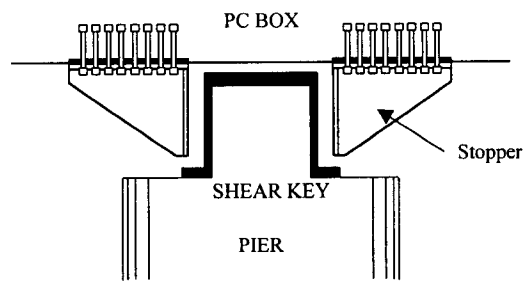


그림 4. 전단키의 개념도

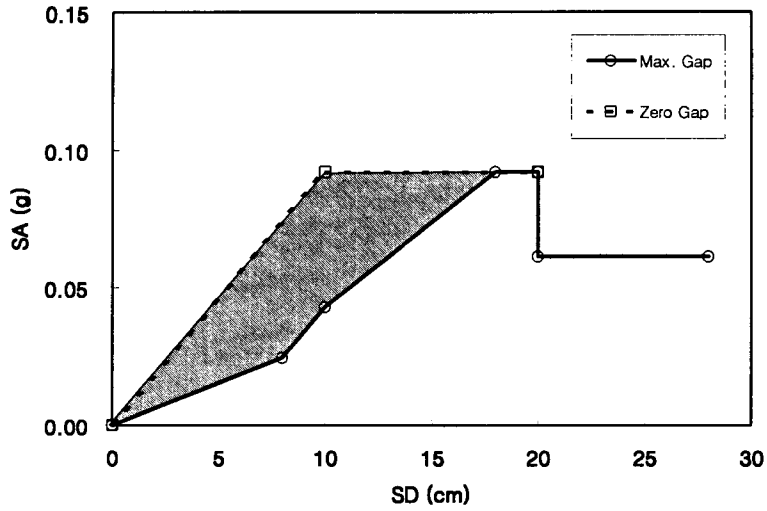


그림 5. 전단키를 도입한 교량의 공급역량 곡선

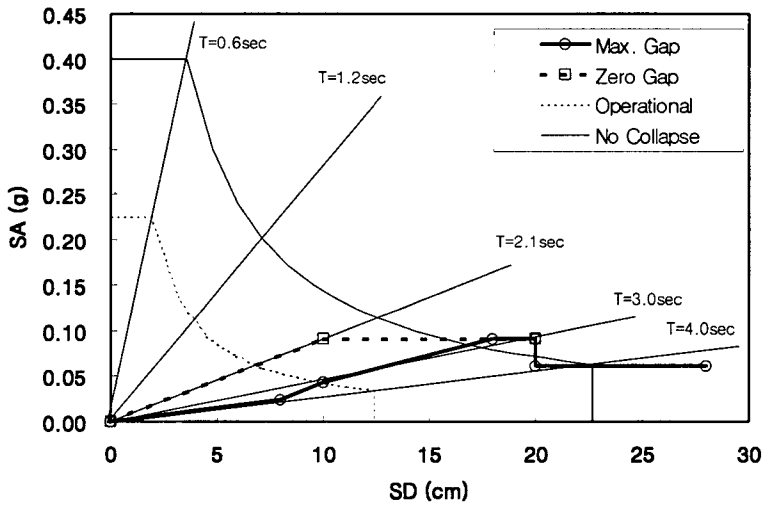


그림 6. 2개의 전단키를 도입한 교량의 내진성능평가
(ADRS Capacity Spectrum)