

CFRP로 보수된 RC 교각의 내진성능 평가

Performance evaluation of RC piers repaired by CFRP

이도형* 전정문** 조규상*** 김용일***
Lee, Do Hyung Jeon, Jeong Moon Cho, Kyu Sang Kim, Yong Il

ABSTRACT

Performance evaluation of RC bridge piers repaired by CFRP has been investigated. For this purpose, simplified CFRP stress-strain relationship has been proposed and use is made of inelastic time-dependent element developed by authors. Static time-history analysis has been carried out for a RC bridge pier repaired with CFRP. Analytical predictions shows a relatively good correlation with experimental results. In addition, in case of dynamic time-history analysis, effect of the CFRP repair intervention on shear has been evaluated. Comparative analysis reveals that a repaired member produces increased characteristics due to the repair intervention and may affect the overall response of a whole structure. Moreover, effect of shear significantly affect strength, stiffness and displacement response of the pier. In all, It is believed that the present analytical model and scheme enable a healthy evaluation of strength, stiffness and displacement capacities of a RC bridge pier being damaged and repaired.

요약

본 연구에서는 기 개발된 비탄성 시간종속요소(이도형과 전정문, 2006)와 단순화된 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Polymer) 재료모델을 개발하여 CFRP로 보수된 철근콘크리트 교각 교각에 대한 보수효과가 교각의 응답거동에 미치는 영향을 검토하였다. 정적시간이력해석의 경우, CFRP로 보수된 교각에 대한 해석결과는 실험결과와 비교적 좋은 상관관계를 나타내었다. 또한, 동적시간이력해석의 경우, 전단을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우를 비교하여 보수효과에 대한 전단의 영향을 검토하였다. 비교해석결과, 보수의 효과는 부재에 대한 특성증진효과와 함께 구조물 전체의 응답거동에 영향을 끼칠 수 있다는 것을 알 수 있었고, 전단을 포함한 경우와 전단을 포함하지 않은 경우 강도와 강성, 변위응답에서의 차이를 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 개발된 해석모델 및 기법은 손상된 부재 및 구조물의 보수 후에 요구되어지는 강도, 강성 및 연성능력에 관한 평가를 가능하게 해줄 수 있을 것으로 사료된다.

* 정회원, 배재대학교, 건설환경철도공학과, 부교수
** 정회원, 배재대학교, 토목환경공학과, 박사과정
*** 정회원, 배재대학교, 토목환경공학과, 석사과정

1. 서 론

최근까지 보수에 관한 연구는 국내외적으로 광범위하게 수행되어져 왔다. 보수 재료로 특히 철근이나 시멘트 보다 경량이며 우수한 시공성과 기술성, 높은 인장강도와 인장계수를 가진 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Polymer) 재료에 대한 관심이 높아지고 있다. 하지만, 아직 CFRP에 대한 확실한 규준이 정립되어 있지 않고, 대부분의 연구가 실험에만 집중되어 왔으며 해석적인 연구는 미비한 실정이다. 또한, 해석적인 연구에서도 휨 거동만을 고려한 응답에 기초하고 있어 보수된 부재의 전단응답에 관한 효과 또한 검토되어야 할 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 최근에 기 개발된 비탄성 시간종속요소(이도형과 전정문, 2006)와 CFRP 재료모델을 개발하여 철근콘크리트교량의 보수 전 및 후의 내진응답거동 대해 검토하였다.

2. 비탄성 시간종속요소와 CFRP 재료모델

2.1 비탄성 시간종속요소

활성시작시간과 활성 끝 시간을 갖는 비탄성 시간종속요소는, 정적시간이력해석이나 동적시간이력해석의 경우, 사용자가 원하는 시간간격 내에서 자유롭게 활성화 및 비활성화를 시킬 수 있는 요소로서 보수 및 보강에 의한 철근콘크리트 부재의 수행능력을 검토하기 위해서 개발되었고, 개발된 요소는 비선형 구조해석 프로그램인 ZeusNL(2001)에 연결되었다. 유도과정 및 요소의 검증은 참고문헌(이도형, 전정문 2006)에 자세히 언급되어 있다.

2.2 CFRP 재료모델

CFRP 재료모델은 주로 인장영역에서만 거동하는 것으로 가정하여 초기강성, 인장강도, 인장강도에 도달한 후 감소강성, 그리고 잔류강도를 고려하여 tri-linear 곡선으로 단조증가상태의 응력-변형률 관계식을 구성하였다. 주기하중 하에서의 거동은 인장강도에 도달한 후, 초기강성과 같은 강성으로 loading과 unloading이 반복되도록 구성하였다. 본 연구에서 개발된 CFRP의 응력-변형률 관계식은 그림 1에 나타나 있다.

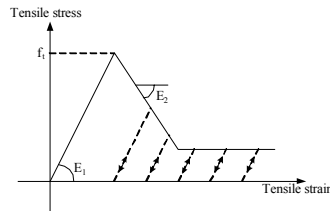


그림 1 CFRP 재료모델의 단조 및 반복하중상태에서의 응력-변형률 곡선

3. 철근콘크리트교량의 보수 전 및 후의 시간이력해석

그림 1에서 나타나 있는 CFRP 재료모델의 검증을 위하여 염광수 등(2005)에 의해서 실험된, 지름이 300mm인 원형단면을 갖는 높이 2200mm의 RC 교각에 대해 CFRP로 내진 보수된 시편을 이용하였다. 해석모델링의 구성은 이도형 등(2008)에서 찾아볼 수 있다. 그림 2는 대표적인 경우의 해석결과와 실험결과와의 하중-변위 이력곡선을 나타내고 있다. 그림 2에서 알 수 있는 바와 같이, 에너지 소산능력에 있어서 해석결과가 실험결과보다 과대평가하는 것을 알 수 있는데, 이는 해석모델에서 인장강도에 도달한 후, 강성의 감소와 잔류강도에 기인한 것으로 사료된다. 그럼에도 불구하고 전반적인 비탄성 거동은 비슷한 경향을 나타내었다.

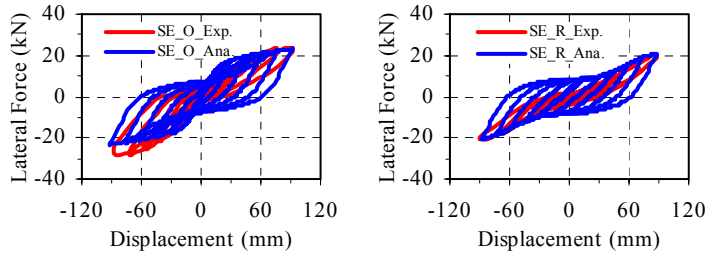


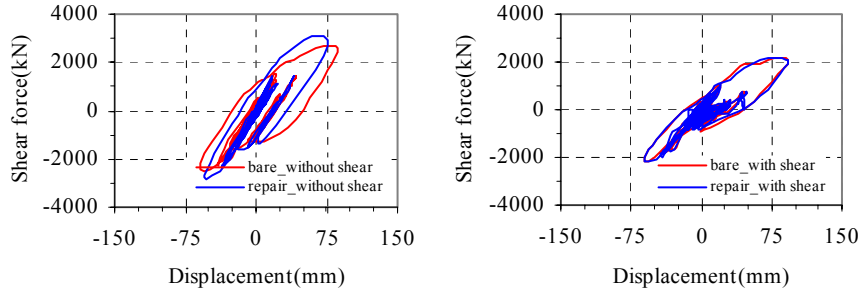
그림 2 교각 SE_O(original)와 SE_R(CFRP repair)의 하중-변위 이력곡선

보수된 철근콘크리트교량의 지진응답거동을 검토하기 위해서, 지진하중을 한번 경험한 교량 교각에 예측되어 지는 소성힌지 구간을 CFRP를 이용하여 가상적으로 보수한 교량에 대해 연속적인 지진하중을 작용시켜 비탄성 시간이력해석을 수행하였다. 교각에서 가상적으로 보수한 구간은 기 개발된 시간종속요소로 모델링하여 두 번째 지진하중부터 활성화되도록 하였다. 해석모델은 전단 비 고려 시 보수를 하지 않은 경우(bare_without shear)와 보수를 한 경우(repair_without shear), 전단 고려 시 보수를 하지 않은 경우(bare_without shear)와 보수를 한 경우(repair_with shear)의 4 경우로 구분하였다. 본 해석에서 사용된 입력지진파의 경우, 연속지진의 효과를 직접적으로 반영하고자, 같은 station에서 시간차이를 두고 기록된 지진파를 선택하였고, 최대지반가속도는 표 1에 정리되어 있다.

표 1 선택된 입력지진파의 각 방향성분별 최대지반가속도

Set	Station	Earthquake	Peak ground acceleration(g)		
			Longitudinal	Transverse	Vertical
Set 1	Pacoima dam	1971 San Fernando	1.160	1.226	0.699
		1994 Northridge	1.285	1.585	1.229
Set 2	Tarzana, Cedar hill	1987 Whittier Narrow	0.449	0.644	0.248
		1994 Northridge	0.990	1.779	1.048

그림 3(a)는 전단 비 고려 시 보수를 한 경우와 하지 않은 경우, Set 2 입력지진파에 의한 교각 6번의 하중-변위 이력곡선을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있는 것처럼, 보수된 경우의 하중-변위 이력곡선은 강도 및 강성에 있어서 증진의 효과를 확인할 수 있었다. 하지만, 그림 3(b)에서와 같이 전단을 고려한 경우, 보수에 의한 영향이 거의 없음을 확인할 수 있었고, 전단을 고려하지 않은 경우(그림 3(a))와 비교하여 강도 및 강성의 감소 그리고 변위의 증가를 확인할 수 있었다. 이는 전단을 고려한 경우, 교각의 응답이 전단에 지배적인 거동을 하기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 전단에 지배적인 거동을 하는 교각에 대한 보수의 영향은 거의 없음을 확인할 수 있었고, 이 경우 보수공법의 선택에 있어서 상당한 주의가 요구되어야 할 것으로 사료된다.



(a) 전단을 고려하지 않은 경우 (b) 전단을 고려한 경우

그림 3 Set 2 지진파에 의한 교각 6의 하중-변위 이력응답

4. 결론

개발된 CFRP 재료모델을 이용한 정적시간이력 해석결과는 실험결과와 비교적 만족할 만한 상관관계를 나타내었다. 또한 연속지진하중을 작용시켜 수행한 동적시간이력해석의 경우, 전단을 고려하지 않은 경우에는 보수의 효과를 확인할 수 있었지만 전단을 고려한 경우에는 보수의 효과가 거의 없음을 알 수 있었다. 이는 곧, 손상된 부재의 보수공법 선택에 있어서 상당한 주의가 요구된다는 것을 의미한다. 물론 많은 변수연구 및 비교해석이 수행되어야 하지만, 본 연구에서 사용된 해석모델 및 기법은 향후, 손상된 부재의 보수에 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 산하의 한국건설교통기술평가원에서 후원하고 콘크리트코리아 연구단(05-CCCT-D11)의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분들에게 감사드립니다.

참고문헌

1. 염광수, 최상현, 이영호, 이학은, "강관피복과 CFRP를 이용한 손상된 교각의 내진보수," 한국지진공학회논문집, 제 9권 제3호, pp. 69-75, 2005.
2. 이도형, 전정문, "시간중속 요소를 이용한 철근콘크리트교량 교각의 내진 성능 평가," 대한토목학회 논문집 제 26권 제 1A호, pp. 239-246, 2006.
3. 이도형, 전정문, 조규상, 김용일, "CFRP 재료모델을 이용한 RC 기둥의 정적시간이력해석," 지진공학회 봄 학술발표회 2008.
4. 이도형, 조규상, "보수/보강 효과를 고려한 RC 교량의 지진응답해석," 한국콘크리트학회 봄 학술발표회, 제 19권 1호, pp. 337-340, 2007.
5. 전정문, "보수 요소를 이용한 철근콘크리트 교량 교각의 내진응답해석," 석사학위 논문, 배재대학교, 2006.
6. Elnashai, A.S., Papanikolaou, V. and Lee. D.H., "ZeusNL-A program for inelastic dynamic analysis of structures," Mid-America Earthquake Center, University of Illinois at Urbana-Champaign, USA, 2001.