

국부손상을 이용한 RC교각의 지진위험도 분석

Seismic Risk Analysis of Reinforced Concrete Bridge Piers using Local Damage

이대형*

김현준**

박창규***

정영수****

Lee, Dae Hyoung

Kim, Hyun Jun

Park, Chang Ky

Chung, Young Soo

ABSTRACT

This study represents results of fragility curve development for 4-span continuous bridge. 2 type bridge model is chosen frame type and 2-roller 1-hinge type. To research the response of bridge under earthquake excitation, Monte Carlo simulation is performed to study nonlinear dynamic analysis. For nonlinear time history analysis a set of 150 synthetic time histories were generated. Fragility curves in this study are represented by lognormal distribution functions with two parameters and developed as a function of PGA. Five damage states were defined to express the condition of damage based on the actual experimental damage data of bridge column. As a result of this research, the value of damage probability corresponding to each damage state were determined and frame type bridge are favorable under seismic event.

1. 서론

철근콘크리트 구조물의 사용재료 및 설계시 이용되는 인자들은 본질적으로 많은 확률적인 변동성을 내포하고 있으며, 특히 지진하중은 그 고유의 무작위성으로 인하여 구조물의 미치는 영향 또한 확률적인 영향으로 평가되어질 수밖에 없다.

또한, 수치해석에서 이용되는 인공지진파는 특정지역의 지반운동 특성을 나타내는 지표들에 대하여 무작위로 생성되고, 같은 지표를 가지는 시간이력들은 확률적 분포를 가지므로 수치해석 결과인 구조물의 손상의 정도 또한 확률론적인 값을 가지게 된다. 이를 위해서 최근에 연구되고 있는 취약도 곡선(Fragility curve)을 도입하여 지진파의 지표에 따른 구조물의 손상 정도를 확률로서 표현 하였다. 또한, 교량형식에 따른 지진 취약도를 비교하고자 하였다.

2. 비선형 시간이력해석(Nonlinear time history analysis)

해석 대상모델은 다음 그림 1과 같이 4경간 연속교로 상부구조는 RC 슬래브로 폭 10.9m, 높이 0.85m이며 교량의 하부구조는 높이 4.8m, 지름 1.5m 의 원형 RC 교각으로 구성되었다. 교량의 하부구조 지지조건을 각각 달리하였으며 Type I의 경우는 지점 B, D는 가동단(Roller), 지점 C는 활절(Hinge)로 구성되었다. Type II의 경우는 지점 B, C, D를 강절(Rigid joint)로 상부구조와 연결하여 전체적으로 프레임(Frame) 구조로 하였다.

* 정희원, 경북도립 경도대학 토목과 조교수

** 정희원, (주)대림산업 사원

*** 정희원, 중앙대학교 건설환경연구소 공학박사

**** 정희원, 중앙대학교 토목공학과 교수

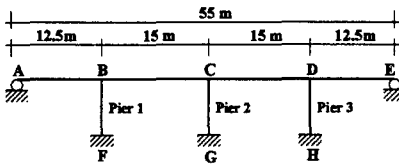


그림 1 해석대상모델

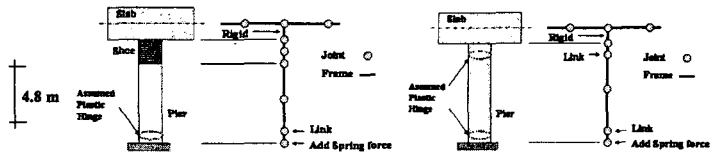


그림 2 교각해석모델링(Type I) 그림 3 교각해석모델링(Type II)

각 교각의 모델링은 소성힌지 이외의 부분은 선형요소로 모델링하였다. 그림 2 및 3에서의 소성힌지 구간의 물성을 정의하기 위하여 교각의 모멘트-곡률(Moment-curvature)관계를 조사하였다. 모멘트-곡률해석에서는 최외연 콘크리트의 변형이 0.004에 도달하거나 최외연 인장철근의 변형이 0.015에 도달할 경우 항복으로 정의하였다.

비슷한 유형의 지진자료에 대한 구조물의 응답은 서로 큰 차이를 보이기 때문에 평균지진이 구조물의 응답에 주는 의미는 크다. 본 연구에서는 IMSL subroutine의 random number 산출 프로그램을 이용하고 Kanai-Tajimi spectrum을 이용하여 인공지진을 산출하였다. 본 연구에서는 평균 0.17Hz의 지배 주파수를 갖는 다양한 PGA를 갖는 150개의 지진파를 생성하여 비선형 해석의 입력지진으로 이용하였다.⁽⁴⁾ 다음 그림 4는 산출된 인공지진파의 예를 보이고 있다.

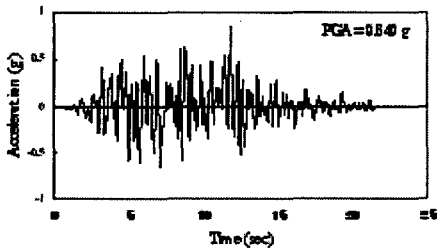


그림 4 인공지진파의 예(Time Domain)

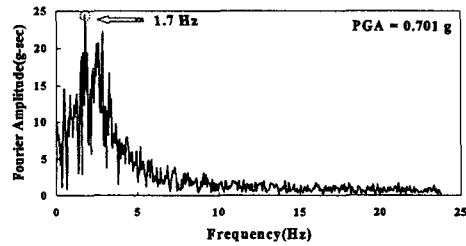


그림 5 인공지진파의 예(Frequency Domain)

다음 그림 6 및 7은 교량모델 Type I, Type II의 비선형 해석결과를 보이고 있다. PGA에 따른 교각의 곡률은 거의 유사한 형태를 보이고 있으나 Type I의 경우 지진하중에 의한 변형에너지를 하나의 교각에서 저장하므로 Type II에 비해 2배 정도의 큰 변형을 야기하며 Type II의 중앙 교각의 상부에 서도 소성힌지구간에서 하부에 비해 다소작은 변형이 야기되는 것으로 조사되었다.

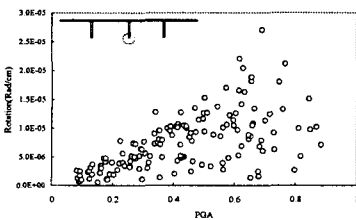
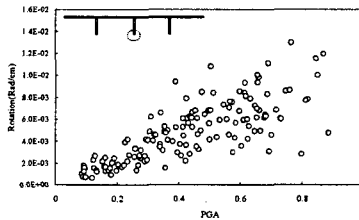
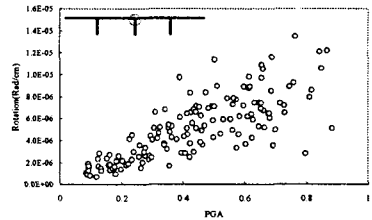


그림 6 PGA-Rotation(Type I)



(a) 교각하부



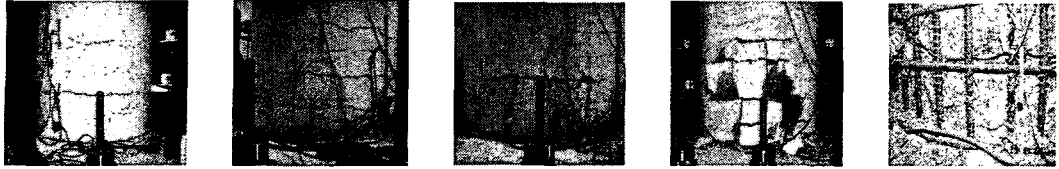
(b) 교각상부

그림 7 PGA-Rotation(Type II)

3. 손상도의 정의

취약도 곡선을 산출하기 위하여 각 손상단계에 대하여 5단계로 정의하였다. 즉, 다음 사진 1과 같이 미세균열, 교각의 항복, 수직균열, 피복콘크리트의 탈락, 교각의 파괴로 규정하였다. 교량의 형식에 따라 교각의 형식도 다양하게 시공되고 있는 바 이러한 교각에 대한 일반화된 손상도 정의를 위하여 실

험결과에 기초한 손상단계를 정의하고자 하였다. 이를 위하여 다음 그림 8과 같이 기존의 실험결과⁽³⁾를 이용하였으며 먼저, 각 손상단계별 변위연성도를 다음 표 1과 같이 정의하였다.



(a)미세균열 (b)항복 (c)수직균열 (d)피복탈락 (e)파괴(주철근파단)

사진 1 손상도 정의를 위한 실험결과

표 1. 손상단계별 변위연성도

손상단계	손상단계 1	손상단계 2	손상단계 3	손상단계 4	손상단계 5
손상기준	미소균열	항복	수직균열	피복 탈락	파괴
변위연성도	0.34	1.00	2.51	2.88	4.47

정의된 손상단계별 변위연성도는 교각의 전체에 대한 변위로 국부 파괴에 의한 영향을 고려할 수 없다. 또한, 교각의 파괴는 소성힌지구간에 집중되므로 소성힌지구간의 국부파괴를 정의하기 위하여 곡률연성도를 이용하였다. 기존의 실험적 연구결과들이 대부분 변위연성과 손상상태를 보고한 바 본 연구에서는 변위연성과 곡률연성의 관계를 이용하여 손상상태에 따른 곡률연성도를 정의하였다. 변위연성과 곡률연성에 대한 관계는 다음 식 (1)과 같이 이론적으로 명확히 규명될 수 있으나 소성힌지구간의 높이는 각 연구자들에 따라 조금씩 다르게 제안하고 있다. 대표적인 곡률연성과 변위연성의 관계식은 Priestley 등⁽⁵⁾과 국내의 손혁수가 제안한 식 그리고 일본 도로교시방서의 제안식을 기존의 연구결과와 비교하여 가장 실험결과⁽³⁾와 유사한 결과를 찾고자 하였다. 다음 그림 9는 이들의 관계를 나타내었다. 그림 9에서 알 수 있는 바와 같이 Priestley 등⁽⁵⁾이 제안한 식이 가장 유사한 것으로 조사되어 이를 이용하여 손상상태에 따른 곡률연성을 다음 표 2와 같이 정의하였다.

$$\mu_{\Delta} = 1 + 3(\mu_{\psi} - 1) \frac{L_p}{L} \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L} \right) \quad (1)$$

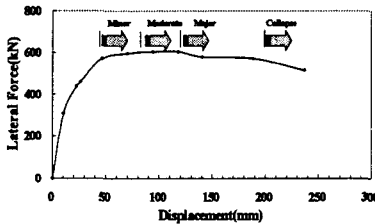


그림 8 손상단계별 변위연성도 정의

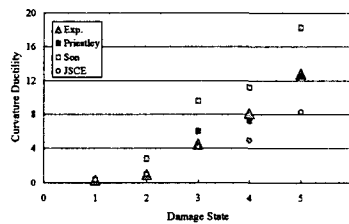


그림 9 손상과 곡률연성도의 비교

표 2. 손상단계별 곡률연성도

손상단계	손상단계 1	손상단계 2	손상단계 3	손상단계 4	손상단계 5
손상기준	미소균열	항복	수직균열	피복 탈락	파괴
곡률연성도	0.34	1.00	6.01	7.24	12.51

4. 취약도 곡선 산출

표 2에서 정의된 손상단계별 곡률연성도와 비선형 시간이력 해석을 통한 해석결과를 이용하여 취약

도 곡선을 산출하였다. 교각의 손상이 없으면 0, 손상이 있으면 1의 값을 가진다. 취약도 곡선의 산출을 위하여 Shinozuka 등은 PGA에 대한 지진취약도 곡선을 로그정규분포 함수를 이용하여 표현하였다. 이 때 로그정규분포의 중앙값(median value)과 분산(log-standard deviation)은 최대우도법(Maximum Likelihood Method)을 이용하여 구하였다.

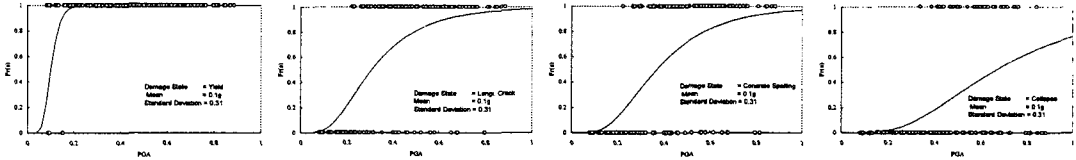
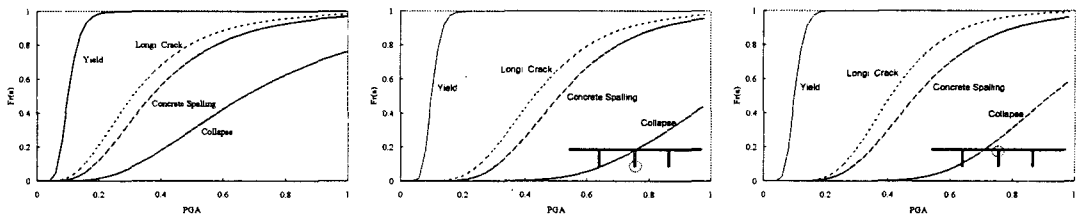


그림 10 손상상태별 취약도 곡선(Type I)



(a) Type I

(b) Type II - 교각하부

(c) Type II - 교각상부

그림 11 교각별 취약도 곡선

5. 결론

인공지진을 산출하여 교각의 지진취약도를 분석하였으며 이를 통하여 추후 지진손상지도를 작성하는 기초 자료로 이용될 수 있을 것이다. 또한, 교각의 형식에 따라 취약도를 분석한 결과 교량의 형태가 뼈대 구조(Frame Structure)를 이루는 경우 에너지의 분산 등으로 지진에 대하여 보다 안전한 것으로 평가된다. 또한, 이 경우 교각의 하부에 비하여 상부가 다소 변형이 작은 것으로 조사되었다.

감사의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행 한 2004년도 건설핵심기술 연구개발사업(과제번호 : 04핵심기술C02-02)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다

참고문헌

- (1) Shinozuka, M., M. Q. Feng, H. Kim, T. Uzawa, and T. Ueda(2001), "Statistical Analysis of Fragility Curves", Technical Report MCEER.
- (2) Sang Hoon Kim, "Fragility Analysis of Bridges under Ground Motion with Spatial Variation", Ph.D. Thesis, University of California Irvine.
- (3) 정영수, 이재훈 등 (2002), "철근콘크리트 교각의 심부구속방법 개선 연구", 한국도로공사 연구 보고서.
- (4) 이대형, 정영수, 전환석(1998), "역사지진 및 인공지진의 물리적 특성에 관한 연구", 한국지진공학회 논문집, Vol. 2, No. 2, pp35~44
- (5) M.J.N. Priestley, F. Seible, G. M. Calvi(1996), "Seismic Design and Retrofit of Bridges", John Wiley & Sons, INC