

Near field 지진기록 분류에 따른 특성 비교

Response Characteristics According to the Selection Procedure of Near Field EQGMs

배미혜 * 한상환 **
Bae, Mee-Hye Han, Sang Whan

ABSTRACT

Near field ground motions contain distinct and large amplitude pulses in both velocity and displacement. This paper investigates characteristics of near field earthquakes and their effects on seismic demands. 20 EQGMs were selected for this purpose that satisfied 5 conditions for Near field motion. Among them ten EQGMs have one distinct peak velocity pulse in the velocity time history. In this study the responded are Linear Elastic Response Spectrum(LERS), Response Modification Factor(R) and Inelastic Response Spectrum(IRS). The effect of the selection of Near field EQGMs on these response parameters are investigated.

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

지진 발생시 구조물의 거동을 예측하는 많은 연구들이 진행되어 왔고, 이러한 거동을 일정 수준 이하로 제어하기 위하여 내진 설계 기법들이 개발되어 왔다. 하지만 최근의 지진으로 인한 구조물의 손상 정도를 볼 때 해당 지역에서 발생할 수 있는 지진하중 수준을 예측하는 것과 지진하중에 의한 구조물의 응답을 예측하는 것은 아직도 지속적인 연구가 필요함을 알 수 있다. Near field 지진은 일반 지진과는 달리 큰 속도·변위의 변화와 큰 증폭계수를 보이며 매우 긴 가속도 펄스를 지니고 있는 등, 기존의 지진과는 전혀 다른 양상을 띄고 있다. 기존의 내진기준에 의해 설계 되어진 건물들도 이러한 지진에 의해 피해를 받았다는 보고가 발표되고 있으므로(Baze 2000, Hall 1998, Iwan 2000) 별도의 Near field 지진 연구가 필요한 실정이다. 더욱이 이러한 내진설계가 현행의 내진기준에 의한 설계였다는 점에서 Near field 지진을 다룰 좀 더 구체적이고 명확한 기준마련이 시급한 상황이다. 그러나 현재 Near field 지진에 대한 연구는 아주 미흡하고 그 사례도 적다. 이에 본 연구에서는 기존의 Near field 지진 관련 논문에서 Near field 지진의 공통적인 선택조건을 종합하여 Near field 지진기록을 선정하였다. 그리고 Near field 지진의 가장 큰 특징이라 할 수 있는 속도시간 이력에서 원펄스를 가지는 Near field 지진데이터와 그렇지 않은 Near field 지진 데이터에 의한 구조물의 요구응답을 구하고 이를 비교 검토하여 그 차이를 밝혀내는 데에 목적을 둔다.

* 한양대학교 건축공학과 석사과정

**정회원 · 한양대학교 건축공학과 조교수

1.2 연구방법

속도시간이력에서 원펄스의 유류로 분류된 2개의 Near field 지진 집단을 비교하는 방법으로는 밀면전단력 (Base shear)을 이용한 구조물의 요구응답을 선정하였다. 현행 내진설계기준(ATC 3-06(1978), NEHRP (1997), UBC(1997))에서는 밀면전단력을 이용하여 지진에 대한 구조물의 요구응답을 구하도록 되어있다. 밀면전단력은 각 기준들마다 그 형태는 다르지만 기본적인 구성요소 비탄성응답스펙트럼(IRS)과 구조물의 중량 두 개의 구성요소로 이루어져 있다. 여기에서 비탄성응답스펙트럼은 탄성응답스펙트럼(LERS)과 반응수정계수(R)를 이용하여 구할 수 있다. 그러므로 설계밀면전단력을 사용하여 구조물의 요구응답을 구하는 것은 결국 탄성응답스펙트럼과 반응수정계수, 또는 비탄성응답스펙트럼을 사용하여 구한다고 할 수 있다. 본 연구에서는 두 개로 나누어진 Near field 지진집단에 대하여 탄성응답스펙트럼, 반응수정계수, 비탄성응답스펙트럼을 각각 비교 검토하였다.

1.3 Near field 지진기록의 선택

기존의 Near field 지진 관련 논문(BAEZ 2000, HALL 1998, ATC-40)에서 제시된 여러 가지 Near field 지진의 선택조건을 종합하여 본 연구에서는 다음과 같은 Near field 지진의 요건을 정의하였다. (1) $M_s > 6.5$ (2) 최대지반가속도(PGA) $> 0.2g$, 최대지반속도(PGV) $> 20\text{cm/s}$ (3) 지반조건 S_1 (4) 진앙까지의 거리 $\leq 15\text{km}$ (5) Free field station이나 작은 빌딩의 ground floor에서 측정된 지진 데이터.

이 다섯가지 조건을 만족시키는 지진 데이터를 Near field 지진이라 정의하여 Near field 지진데이터 20개를 선정하였다. 그 이후 각각의 Near field 지진데이터의 속도시간이력에서 원펄스를 가지는 Near field 지진데이터와 그렇지 않은 Near field 지진데이터를 각각 10개의 지진데이터로 분류하였다. 표 1에서 보여지는 지진데이터는 위의 조건 5개를 만족하고 속도시간이력에서 원펄스를 가지는 지진데이터로 앞으로 이 지진데이터를 Near field(1) 으로 표시한다. 표 2의 지진데이터는 Near field 지진의 5가지 요건을 만족시키는 지진데이터로 Near field(2) 로 표시한다.

표 1 Near filed(1) 지진 데이터

Station name	Earthquake	Date (M/D/Y)	Magnitude (Ms)	Max Acc.(g)
Cape Mendocino	Cape Mendocino	04/25/92	7.1	0.754 1.497 1.039
9201 Karakyr	Gazli	05/17/76	7.3	1.264 0.608 0.718
Izmit	Kocaeli	08/17/99	7.8	0.22
Lucerne	Landers	06/28/92	7.4	0.818 0.785 0.721

표 2 Near filed(2) 지진 데이터

Station name	Earthquake	Date (M/D/Y)	Magnitude (Ms)	Max Acc.(g)
CHY006	Chi-Chi	09/20/99	7.6	0.202
CHY028	Chi-Chi	09/20/99	7.6	0.821 0.337 0.653
TCU065	Chi-Chi	09/20/99	7.6	0.814
TCU067	Chi-Chi	09/20/99	7.6	0.225
WNT	Chi-Chi	09/20/99	7.6	0.958 0.626 0.311
Gilroy Array #1	Loma Prieta	10/18/89	7.1	0.411

2. 본 론

2.1 탄성응답스펙트럼의 비교

응답스펙트럼은 하나의 특정한 지진 기록에 대한 단자유도계(SDOF)의 최대응답을 나타내는 것이다. 본 연구에서는 두 개의 Near field 지진기록 집단에 따른 탄성응답스펙트럼의 응답을 평가, 비교해 보았다. 구조물의 동적해석에 사용되는 스펙트럼은 일반적으로 감쇠비 5% 구조물을 기준으로 하기 때문에 본 연구에서도 5% 감쇠를 갖는 단자유도 구조물의 가속도 탄성응답스펙트럼을 0.15g 로 정규화(Normalization)하여 평균값을 비교하였다.

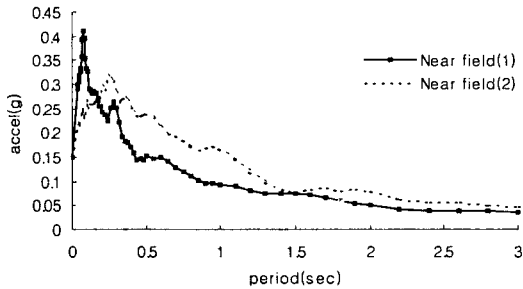


그림 1 Near field 지진에 대한 탄성응답스펙트럼

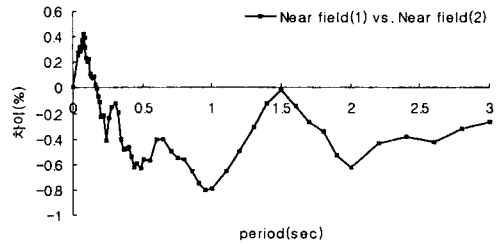


그림 2 탄성응답스펙트럼에서의 차이

그림 1은 두 지진집단의 탄성응답스펙트럼값을 나타낸 그림이고 그림 2는 Near field(1)에 대한 스펙트럼값을 기준으로하여 Near field(2)의 스펙트럼값과의 차이를 구한 그래프이다. 그림 1을 보면 주기 0~0.17초 구간에서는 Near field(1)의 스펙트럼값이 Near field(2)의 스펙트럼값보다 최대 42.5% 까지 큰값을 가진다. 그 이후의 구간에서는 Near field(2)의 스펙트럼값이 Near field(1)의 스펙트럼값보다 상위하고 있음을 알 수 있다. 주기 0.95초일 때 Near field(2)의 스펙트럼값이 Near field(1)의 값보다 80%나 크게 나와 가장 큰 격차를 나타내고 주기 1.5초일 때 두 지진집단의 응답스펙트럼값이 비슷하게 나왔지만 그 이후 바로 다시 Near field(2)의 응답스펙트럼값이 더 크게 나옴을 알 수 있었다.

2.2 반응수정계수의 비교

구조물이 지진하중에 견딜 수 있도록 구조물의 강성을 증가시켜 사용년한 동안 발생할 지진에 대하여 구조물의 항복이 일어나지 않도록 충분한 강도를 제공하는 방법은 경제적이지 못하다. 따라서 현행 내진설계 기준에서 제시하는 가장 보편적인 방법은 구조물이 지진하중에 대하여 항복하도록 허용하되 항복후에 거동이 연성거동이 되도록 보장하는 것이다. 그러므로 현행 내진설계에서 제시하는 반응수정계수 중 구조물의 비탄성 요구를 평가하기 위해서는 구조물의 연성비에 따른 강도저감계수(Strength Reduction Factor, R_μ)가 차지하는 비중이 크다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 밀면전단력의 구성요소인 반응수정계수 중 구조물의 연성과 강도저감에 관계하는 강도저감계수 R_μ 를 사용하여 Near field(1)와 Near field(2)의 차이를 살펴보고자 한다. 연구에서 사용된 지진기록에 따른 R_μ 스펙트럼은 그림 3, 5, 7 와 같다. 대략 주기 0~0.5 초 사이에서는 Near field(1)의 강도저감계수 R_μ 이 Near field(2)의 강도저감계수 R_μ 보다 크게 나왔다. $\mu=2$ 인 경우 주기 0~0.5초에서는 Near field(1)와 Near field(2)의 강도저감계수 R_μ 의 차이가 급격한 양상을 보이고 주기 0.17초 일 때 Near field(1)의 값이 Near field(2)의 값보다 최고 23.3% 크게 나왔다. 0.5~1초 구

간과 1.2초 이후의 구간에서는 Near field(2)의 강도저감계수 R_μ 이 크게 나왔다. $\mu=4$ 인 경우도 0~0.5초 구간에서 값의 차이가 급격했다. 주기 0.075초 일 때 Near field(1)의 강도저감계수 R_μ 이 최고 35.14% 더 크게 나옴을 알 수 있었다. 그리고 $\mu=6$ 인 경우 주기 0~0.4초 일 때와 1.4~1.8초 일 때 Near field(1)의 강도저감계수 R_μ 이 더 크게 나왔다. Near field(1)과 Near field(2)의 강도저감계수 R_μ 의 최고 차이값은 0.075초 일 때로 Near field(1)의 R_μ 값이 37.5% 더 크게 나왔다.

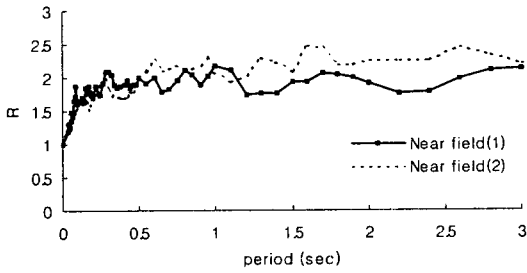


그림 3 목표변위연성비 $\mu=2$ 인 경우 R_μ 스펙트럼

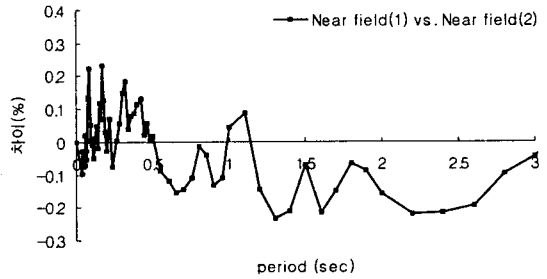


그림 4 목표변위연성비 $\mu=2$ 인 경우 R_μ 스펙트럼 차이

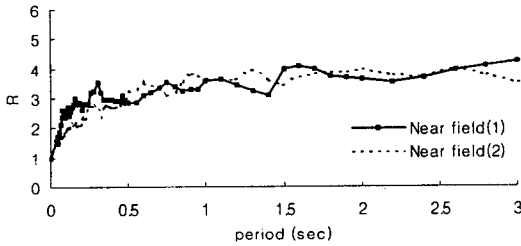


그림 5 목표변위연성비 $\mu=4$ 인 경우 R_μ 스펙트럼

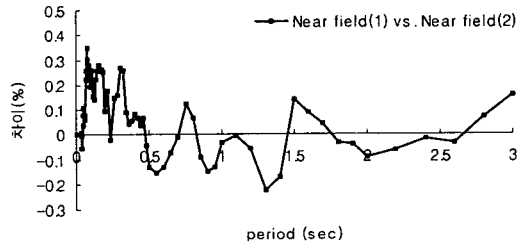


그림 6 목표변위연성비 $\mu=4$ 인 경우 R_μ 스펙트럼에 차이

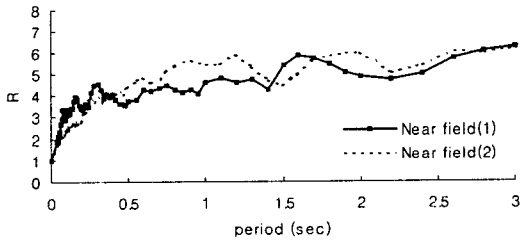


그림 7 목표변위연성비 $\mu=6$ 인 경우 R_μ 스펙트럼

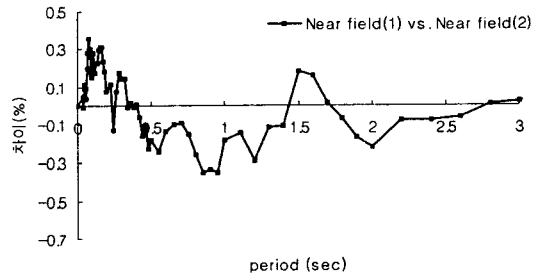


그림 8 목표변위연성비 $\mu=6$ 인 경우 R_μ 스펙트럼 차이

2.3 비탄성응답스펙트럼의 비교

비탄성응답스펙트럼은 탄성응답스펙트럼을 강도저감계수(R_μ)로 나누어줌으로써 근사적으로 얻을 수 있다. 즉, 위에서 제시한 목표변위연성비에 따른 강도저감계수 R_μ 와 탄성응답스펙트럼을 이용하여 비탄성응

답스펙트럼을 구할 수 있다. 본 연구에서는 강도저감계수(R_μ)의 비교 이후 비탄성응답스펙트럼을 비교해 보았다.

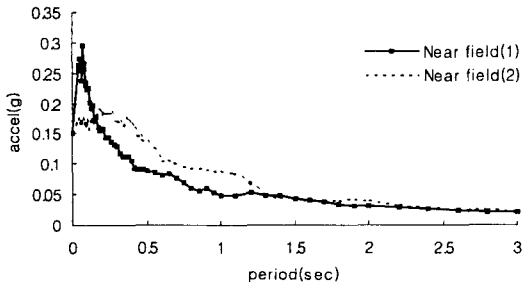


그림 9 목표변위연성비 $\mu=2$ 인 경우 비탄성응답스펙트럼

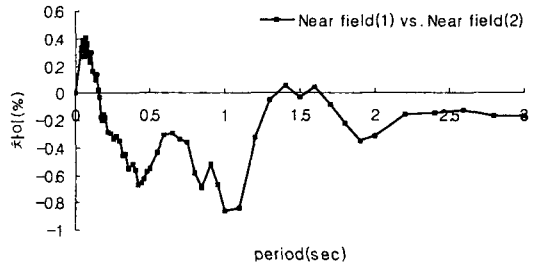


그림 10 목표변위연성비 $\mu=2$ 인 경우 비탄성응답스펙트럼 차이

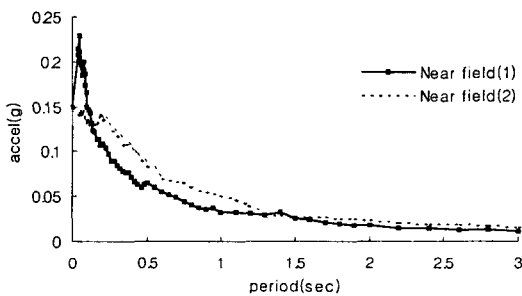


그림 11 목표변위연성비 $\mu=4$ 인 경우 비탄성응답스펙트럼

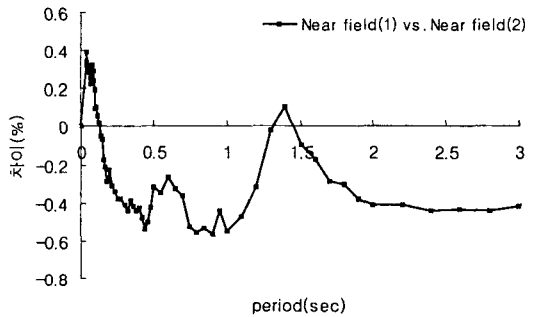


그림 12 목표변위연성비 $\mu=4$ 인 경우 비탄성응답스펙트럼 차이

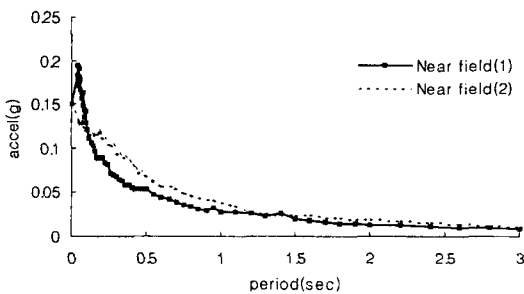


그림 13 목표변위연성비 $\mu=6$ 인 경우 비탄성응답스펙트럼

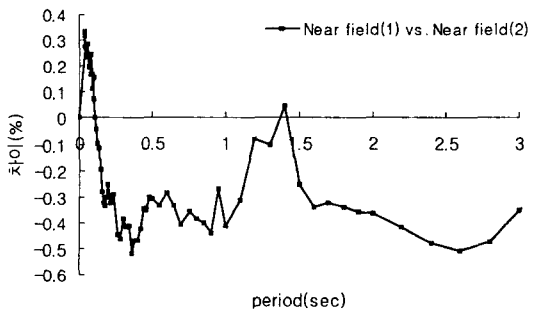


그림 14 목표변위연성비 $\mu=6$ 인 경우 비탄성응답스펙트럼 차이

$\mu=2$ 인 경우 0~0.15초 구간 사이에선 Near field(1)의 비탄성응답스펙트럼값이 크게 나왔고 주기 1초일때 가장 큰 차이로 Near field(1)의 스펙트럼값이 Near field(2)의 스펙트럼값보다 86.4% 더 크게 나왔다. $\mu=4$ 인 경우 0~0.13초 구간 사이에서 Near field(1)의 스펙트럼값이 크게 나왔으며 $\mu=2$ 인 경우와 마찬가지로 주기 1초일때 가장 큰 값의 차이를 보였다. 또한 $\mu=6$ 인 경우 0~0.11 초 구간에서 Near field(1)의 비탄성응답스펙트럼값이 크게 나왔다. 또한 주기 3초일 때 두 지진기록의 비탄성응답스펙트럼값의 차이를 살펴보면 $\mu=2$ 인 경우 16.97%, $\mu=4$ 인 경우 41.68%, $\mu=6$ 인 경우 34.89%로 장주기로 갈수록 Near field(2)의 비탄성

응답스펙트럼값이 더 크게 나왔다.

3. 결 론

1. 가속도의 탄성응답스펙트럼을 비교해본 결과 0~ 0.17초 주기를 가진 구조물이 일반 Near field 지진 데이터보다 속도시간이력에서 원펄스를 가지는 Near field 지진에 더 큰 가속도 반응을 보임을 알 수 있었다.
2. R_{μ} 스펙트럼값의 비교에서는 건물주기 0~0.5초 사이에서 급격한 양상을 보임을 확인할 수 있었고 대개 이 구간에서 원펄스를 가지는 Near field 지진에서 요구하는 R_{μ} 이 일반 Near field 지진에서 요구하는 R_{μ} 보다 크게 나왔다. 또한 두 지진데이터의 최고 차이값도 이 구간에서 나왔다. μ 와 Near field 지진에서 속도시간이력해석에서 원펄스의 유무에서 오는 R_{μ} 스펙트럼값의 차이에는 아무런 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.
3. 비탄성응답스펙트럼에서는 대략 주기 0~0.15초 구간과 1.4초 구간에서 원펄스를 가지는 Near field 지진의 응답스펙트럼값이 크게 나왔다.

전반적으로 볼 때 속도 시간이력해석에서 원펄스를 가지는 Near field 지진은 0 ~ 0.1초의 단주기의 구조물과 건물주기 1.4초의 건물에서 일반 Near field 지진보다 더 민감한 반응을 보임을 알 수 있었다. 그러므로 속도시간이력에서 원펄스를 가지는 Near field 지진이 0~0.15초의 단주기 건물에 더 큰 피해를 줄 수 있다는 결과를 얻을 수 있었고 이러한 Near field 지진에 대하여 더 많은 연구가 필요함을 알 수 있었다.

감사의 글

이 연구는 한양대학교 초대형구조시스템 연구센터의 지원으로 진행된 것으로 이에 감사를 표한다.

참고문헌

1. Applied Technology Council (1984). Tentative provisions for the Development Seismic Regulations for Building, Report ATC 3-06.
2. BSSC " NEHRP Guideline for the Seismic Rehabilitation of Buildings," Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management, report No. FEMA 273, Washington D.C. Oct. 1997.
3. Chopra, A. K. and Goel, R. K., "Capacity-Demand-Diagram Methods for Estimating Seismic Deformation of Inelastic Structures : SDF System", Report No. PEER -1999/02, UC, Berkeley, 1999
4. Jose I BAEZ and Eduardo MIRANDA, "Amplification factors to estimate inelastic displacement demands for the design of structures in the near field", 12WCEE 2000.
5. R. O. Hamburger, SE, "Seismic design procedures for the international building code-2000 ", 6th U.S. National Conference on Earthquake Engineering.
6. John F. HALL, "Seismic response of steel frame buildings to near-source ground motions ", Earthquake engineering and structural dynamics 27, 1445-1464(1998).
7. Ching-tung HUANG, " An investigation of inelastic structural responses for the 1999 Chi-Chi near field ground motions ", Engineering for building structures November 16~17, 2001.
8. Wilfred D IWAN, Ching-tung HUANG and Andrew C GUYADER, " Important features of the response of inelastic structures to near-field ground motion ", 12WCEE 2000.