한국소음진동공학회 2009년 춘계학술대회논문집, pp.660~661

전단벽과 슬래브 댐퍼를 이용한 저층구조물의 진동제어에 관한 해석적 연구

Analytical Study on Vibration Control for Low-Rise Structure with Shear Wall and Slab Damper

김현진* · 우성식* · 이상현† · 정 란**

Hyeon Jin Kim, Sung Sik Woo, Sang Hyun Lee and Lan Chung

1. 서 론

국내 건축물의 지진에 대한 취약성이 대두되면서 기존 건물을 대상으로 한 내진보강에 대한 관심이 커지고 있다. 내진보강에는 철골 브레이스, 전단벽, 강판기둥 보강 등 여러 가지가 있는데, 국내에서는 전단벽보강을 주로 사용한다. 전단벽 보강은 비용 고려 시 가장 효율적인 방안이지만, 자중 증가로 인한 기초보강의 요구와 습식 공법으로 인해 공사기간이 길어진다는 단점이 있다. 특히 저층 구조물에 전단벽 보강을 할 경우의 전단벽은 전단 파괴모드를 보이며 취성 파괴를 일으키게 된다.

취성파괴는 연성에 의한 응력 재분배가 이루어지지 않아 보강된 전단벽의 파괴시 전체 구조물이 급격한 파괴를 일으키며 붕괴 될 수 있기 때문에 지양해야 할 파괴 모드이다. 또한 전단파괴는 예측이 어렵고 지진에 의한 건물의 붕괴 시 피난거리 확보 및 위험의 감지면에서 불리하다.

본 연구에서는 전단벽 보강을 통해 강성을 증진하고 또한 슬래브 댐퍼를 통해 연성을 확보 할 수 있는 내진보강안을 제시하였다. 또한 구조해석을 통하여 제안하는 내진보강안의 내진성능을 알아보았다.

2. 본 론

2.1 보강안제시

제안하는 보강안은 전단벽과 슬래브 댐퍼를 이용한 보강방법으로 구체적인 방법은 다음과 같다. 내진성능이 부족한 저층형 건물에 수평 방향으로 전단벽을 증설한다. 증설된 전단벽과 기존 건물사이를 슬래브로 연결하고, 연결되는 슬래브를 저항복점 댐퍼 또는 마찰 댐퍼로 구성한다.

제시된 보강안은 전체 구조물의 강성을 전단벽을 통해 증가시키고, 연결되는 슬래브 댐퍼의 항복강도를 전달되는 전단력보다 낮게 설정한후, 슬래브 댐퍼의 항복을 유도하여, 슬래브댐퍼의 에너지 소산을 통해 전체 구조물의 연성을 확보하는 시스템이다.

강성이 부족한 구조물에 전단벽과 슬래브 댐퍼를 설치하여, 보강된 구조물이 초기 강성은 전단벽을 따르게 하고, 전단벽이 파괴되는 강도 이하에서 댐퍼의 작용으로 연성적 거동을 보이게 하여 전체 구조물의 안정성을 높일 수 있다.

2.2 구조해석

(1) 구조해석 모델링

슬래브 댐퍼의 성능을 확인하기 위해 시간이력해석을 수행하였다. 3층의 기존 건물에 같은 높이의 전단벽을 모델링하고, 각 층을 슬래브로 연결하여 El-Centro 지진으로 가진 하였다. 이때, 연결되는 슬래브는 양단 힌지로 모델링된 일반슬래브와 댐퍼로 모델링된 슬래브를 설치하여 이에 따른 성능 변화를 확인하였다. 또한 설치되는 댐퍼의 항복점을 변화시켜 성능을 비교분석하였다.

지진에 의해 발생되는 전단력을 각층에 설치된 3개의 슬래브 댐퍼가 나누어 분담한다고 가정하고, 각 슬래브 댐퍼의 항복점을 전체 슬래브 댐퍼를 통하여 전달되는 전단력의 80,50,30%로 설정하여 구조물의 변위 및 전단벽에 발생하는 전단력을 비교하였다. 변수는 양단힌지인 일반보로 연결한 것을 Normal Extension, 항복강도를 전체 전단력의 80, 50, 30%로 변화 시킨 것을 각각 Case Ⅰ, Case Ⅱ, Case Ⅲ로 나타내었다.

(2) 해석 결과

각 변수별 변화되는 가속도 및 변위에 대한 시간이력에서 최대응답(Peak Response) 감소효과를 평가하기 위해, 다음 식 (1)을 사용하여 응답성능지수를 산정하여 Table 1에 나타내었다.

$$J_1 = \max_{i=1,\ldots,n}\left\{\frac{\max|x_{di}(t)|}{x_o^{max}}\right\},\quad J_2 = \max_{i=1,\ldots,n}\left\{\frac{\max|\ddot{x}_{di}(t)|}{\ddot{x}_o^{max}}\right\} \quad \text{식 (1)}$$

† 교신저자; 단국대학교
E-mail : lshyun00@dankook.ac.kr
Tel : (031) 8005-3735, Fax : (031) 8005-2643

* 단국대학교 대학원 건축공학과

** 단국대학교 건축공학과

여기서, J_1, J_2는 각각 최대 상대변위, 최대절대가속도에 대한 성능지수를 나타내며, $x_0^{\max}$, $\ddot{x}_0^{\max}$ 는 각각 제어 전의 최대상대변위, 최대절대가속도이고, $x_{di}(t)$, $\ddot{x}_{di}(t)$는 각각 제어후의 i층의 상대변위, 층간변위, 절대가속도이다. 모든 성능지수는 값이 작을수록 우수한 제어성능을 의미한다.

Table 1. Performance Index of Response

	Normal Extension	Case I	Case II	Case III
J_1	0.44	0.48	0.38	0.35
J_2	1.18	1.10	0.82	0.74

Fig. 1은 각 변수별 변위응답에 대한 시간이력을 나타낸 것이다. Fig. 1과 Table 1의 성능지수를 통해 변위응답을 확인해 본 결과 기존 건물에 비해 전단벽을 이용해 보강된 경우의 변위가 50%이상 감소효과를 보이는 것으로 확인되었다. 또한 각 변수별 변위응답을 확인해보면 구조물의 전체 시스템에는 변화가 없이 항복강도가 감소됨에 따라 전체 구조물의 변위응답은 감소되고, 항복강도가 슬래브에 전달되는 전단력의 30%인 Case Ⅲ에서 가장 큰 65%의 감소효과를 보였다. 전달되는 지진력의 크기가 댐퍼의 항복강도 이하일 때에는 댐퍼는 탄성거동을 하기 때문에 에너지 소산작용이 일어나지 않게 되고, 지진력이 항복강도 이상에 도달 했을 경우에만 댐퍼가 에너지 소산작용을 일으킴에 따라 항복 강도가 낮을수록 에너지 소산작용이 일어나는 빈도수가 높아지게 된다. 따라서 항복강도가 80%, 50%, 30%로 감소함에 따라 진동제어성능이 높아지는 것으로 나타났다.

Case Ⅲ에서의 변위 성능지수는 0.48로 Normal Extension에서의 0.44보다 크게 나타났다. 이는 항복에 따른 강성저감에 의한 변위 증가 효과에 비해 감쇠증가로 인한 변위 감소 효과가 적어 변위성능지수가 높게 나타난 것으로 판단된다.

가속도 성능지수(J_3)에서는 전단벽 설치에 따라 Normal Extension과 Case Ⅰ(80%), 두 경우에서 10%가량 증폭되는 현상이 발생하였다. 이는 강성이 증가함에 따라 전체 구조물의 고유주기가 짧아지면서 가속도 응답이 커진 것으로 판단되며, 그에 반해 감쇠의 영향이 큰 Case Ⅱ와 Case Ⅲ에서는 약 20%의 가속도 감소효과가 확인 되었다.

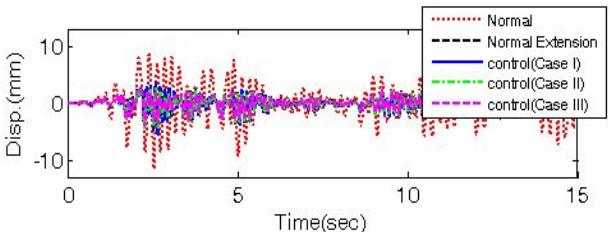

Fig. 1. Time History of displacement

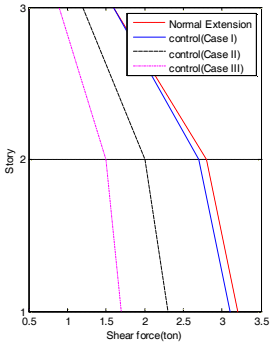

Fig. 2. Story Shear of Extended Shear wall

증축되는 전단벽에 발생하는 전단력을 Fig. 2에 표현하였다. 일반 슬래브로 연결한 경우보다 슬래브댐퍼가 연결된 경우에 전단벽에 발생하는 전단력이 최대 50% 줄어드는 것을 확인 할 수 있다. 이는 슬래브댐퍼가 항복하면서 발생하는 변형에 의해 에너지가 소산되어, 이 줄어든 에너지만큼 전단력에 전달되는 전체 지진력이 줄어 든 것으로 판단된다.

3. 결 론

본 연구는 내진성능이 부족한 저층구조물에 전단벽과 슬래브 댐퍼를 이용하여 내진보강을 실시하고 시간이력해석을 통하여 슬래브 댐퍼의 성능을 알아보았다. 그 결론은 다음과 같다.

1) 전단벽과 슬래브 댐퍼를 설치 할 경우, 구조물의 변위가 슬래브댐퍼의 물성에 관계없이 50% 이상 감소되어 되어 내진성능이 확인 되었다.

2) 슬래브 댐퍼의 항복강도에 따른 성능 변화를 확인한 결과 항복강도가 80%, 50%, 30%로 감소함에 따라 성능지수도 0.48, 0.38, 0.35로 줄어들어 진동제어성능이 높아지는 것으로 나타났다.

3) 슬래브댐퍼가 설치됨에 따라 증축된 전단벽에 발생하는 전단력을 감소시킴을 확인 하였다. 이는 댐퍼의 에너지 소산 능력에 의해 전단벽에 전달되는 횡력이 줄어든 것이다.

4) 댐퍼장착에 의해 전단벽에 가해지는 지진력의 크기가 줄어들면서 취성파괴 될 수 있는 전단벽을 보다 안전하게 유지할 수 있다.

후 기

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업(과제번호 : 05 건설 핵심 D06)과 과학기술부 특정기초연구사업(과제번호 R01-2007-000-10872-0)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.