

# 슬릿형 댐퍼를 부착한 철골조 시스템의 가동적 지진응답실험

## Pseudo Dynamic Earthquake Response Tests on Steel Frames with Slit Plate Damper

이 승 재\*  
Lee, Seung-jae

박 재 성\*\*  
Park, Jae-seong

오 상 훈\*\*\*  
Oh, Sang-hoon

유 홍 식\*\*\*\*  
Ryu, Hong-sik

### 요 약

본 연구는 설계가 간편하고 경제성을 확보하면서 구조안전성을 동시에 확보할 수 있는 댐퍼시스템을 제안하고, 지진응답특성을 실증적으로 파악하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여, 실험형 1층 철골조 실험체 3개를 설계 및 제작하여 가동적 지진응답실험을 수행하였다. 본 연구에서 제안하는 슬릿형 댐퍼를 제진요소로 사용하는 경우, 주구조체에 비하여 높은 강성을 갖는 댐퍼가 소폭의 변위에 먼저 소성화 함으로써 이력에 의한 지진에너지를 흡수할 수 있으며, 지진응답에서 유리한 것이 판명되었다.

### Abstract

The purpose of this study is to propose damper system which is easy to design, which can ensure against risks, and to verify earthquake response characteristics. For this study, the pseudo dynamic earthquake response tests carried out for steel frames with two types of seismic and vibration control device. As a result, in case of using the slit plate damper as a vibration control device proposed by this study, the damper having higher stiffness than main-structure turned to the state of plasticity by little displacement has been proved to be able to absorb earthquake energy.

**키워드 :** 슬릿형 댐퍼, 지진응답특성, 가동적 지진응답실험

**Keywords :** Slit plate damper, Earthquake response characteristics, Pseudo dynamic earthquake response test

## 1. 서 론

기존의 건축구조시스템은 구조물 자체가 연직하중과 지진하중 등의 수평하중에 직접 저항하도록 설계를 한다. 이 경우, 구조체가 소성변형을 통하여 지진에너지를 흡수하게 되며, 구조체의 소성변형은 비구조체의 손상으로 이어지고, 영구변형은 구조체

의 재사용을 불가능하게 한다. 본 연구의 목적은 구조체는 탄성적으로 거동하고, 지진 등으로 구조물에 입력되는 에너지를 집중적으로 소산시키기 위하여, 비용면에서 효과적인 댐퍼시스템을 개발하는 것이다.

본 연구에서는 설계가 간편하고 경제성을 확보하면서 구조안전성을 동시에 확보할 수 있는 댐퍼시스템을 제안하고, 주구조체에 비해 높은 강성을 갖는 댐퍼가 소폭의 변위에 소성화 함으로써 이력에 의한 지진에너지를 흡수할 수 있도록 하였다. 이를 위하여, 실험형 사이즈 5.4m×2.4m의 1층 철골조 실험체 3개를 설계 및 제작하여 가동적 지진응답실험을 수행하였다.

\* 정희원, 한국기술교육대학교 건축공학부 교수, 공학박사  
Tel: 041-560-1334 Fax: 041-560-1224

E-mail : leeseung@kut.ac.kr

\*\* 학생희원, 한국기술교육대학교대학원 건축공학과 석사과정

E-mail : rodin017@kut.ac.kr

\*\*\* 정희원, 부산대학교 건축공학부 교수, 공학박사

E-mail : osh@pusan.ac.kr

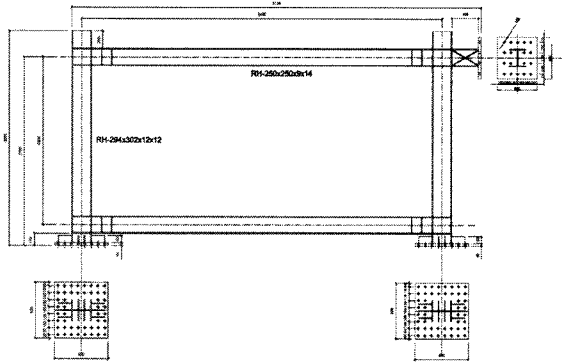
\*\*\*\* 정희원, 포항산업과학연구원 선임연구원, 공학박사

E-mail : rhs@rist.re.kr

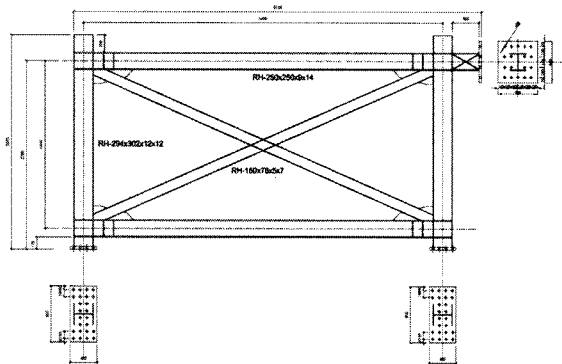
## 2. 가동적 지진응답실험

### 2.1 실험계획

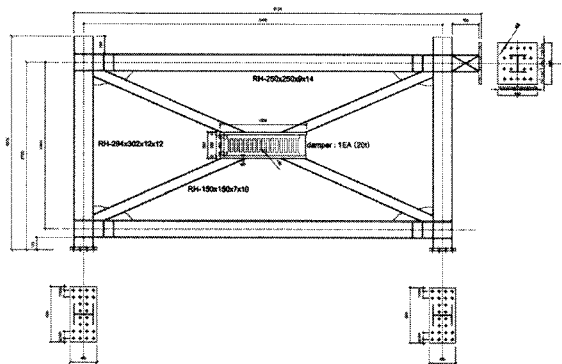
실험체는 <그림 1>에 나타난 것과 같이 3개를 설계 및 제작하였다.



(a) 실험체 No. 1



(b) 실험체 No. 2



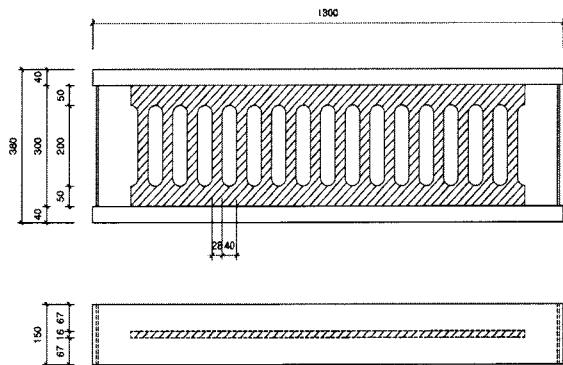
(c) 실험체 No. 3

<그림 1> 실험체 상세도

실험체 1은 기존 철골조 시스템의 주각부를 고정하여 베드블록에 체결하였다. 실험체 2는 기존 가새

골조에 주각부가 핀접합되어 있다. 본 실험에서는 핀접합부를 모의하기 위해 실험실 여건상 핀구와 대신 실무현장에서 적용되고 있는 방식을 채택하였다. 즉, 기둥 플랜지 내부에 고력볼트를 4본 체결하여 모멘트에 저항하지 않도록 실험체를 설계하였다. 실험체 3은 슬릿형 댐퍼를 가새형식으로 프레임에 장착시키고, 주각부를 전술과 같이 핀접합하였다.

3개의 실험체에 사용된 보의 SM490급 용접 구조용 압연 강재 RH-250×250×9×14와 기둥은 동급의 강재 RH-294×302×12×12를 사용하였다. 또한, 보와 기둥의 소성내력비는 1.33으로 계획하였다. 실험체 2의 가새부재는 SS400급 일반 구조용 압연강재 RH-150×75×5×7을 사용하였고, 실험체 3의 가새부재는 동급의 RH-150×150×7×10을 사용하였다. 사용된 슬릿형 댐퍼의 재질은 SS400급이며, <그림 2>에 나타낸다.



<그림 2> 슬릿형 댐퍼의 상세도

실험체 각 부위의 소성화 여부를 판단하기 위하여 전기저항식 KFEL 스트레인게이지를 사용하였고, 철골조 시스템의 보단부에 강재 플레이트를 설치하여 액추에이터에 부착하였다. 본 실험에서는 예기치 못한 극대 수평하중만을 대상으로 기둥 및 보의 변동축력은 고려하지 않았다.

### 2.2 소재인장시험

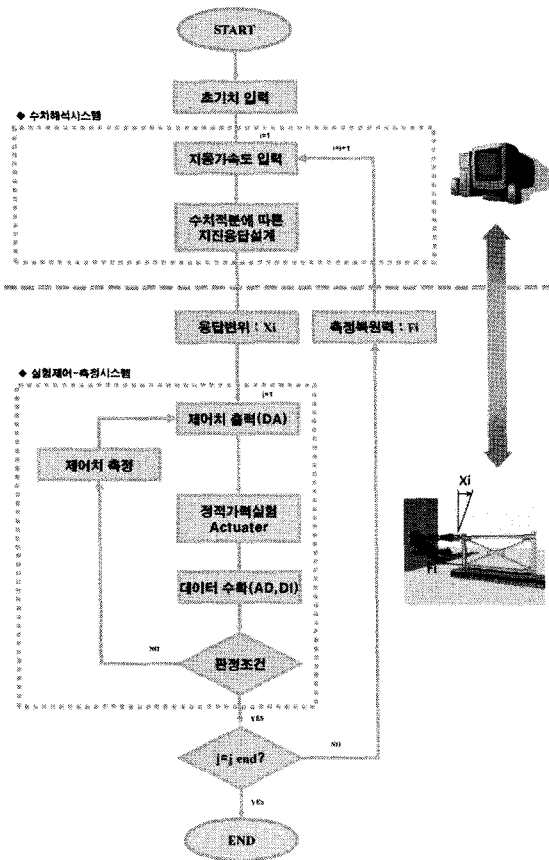
실험체 제작에 사용된 강재의 기계적 성질을 시험하기 위하여 부재별로 각각 3개씩의 시편을 제작하였다. KS B 0801의 인장 시험 규준에 따라 실시한 인장 시험 결과를 <표 1>에 나타낸다.

<표 1> 인장강도시험 결과(평균값)

구분	항복강도 $\sigma_y$ (MPa)	인장강도 $\sigma_u$ (MPa)	항복비 $\sigma_y/\sigma_u$	연신율 (%)
Girder-Flange	348	522	0.67	19
Girder-Web	353	538	0.66	18
Col.-Flange	377	527	0.72	21
Col.-Web	385	542	0.71	20
Damper	302	439	0.69	35
Brace1-Flange	269	406	0.66	30
Brace1-Web	278	420	0.66	28
Brace2-Flange	270	436	0.62	28
Brace2-Web	277	457	0.61	26

2.3 가동적 지진응답실험 시스템

그 동안 구조물의 거동을 파악하기 위하여 개별적으로 실시되어왔던 재하실험과 탄소성 지진응답 해석을 온라인으로 연결하여 실험과 해석을 동시에 진행시키는 수법을 가동적 지진응답실험이라고 한다. <그림 3>에 가동적 지진응답실험 시스템에 대한 개념을 나타낸다.

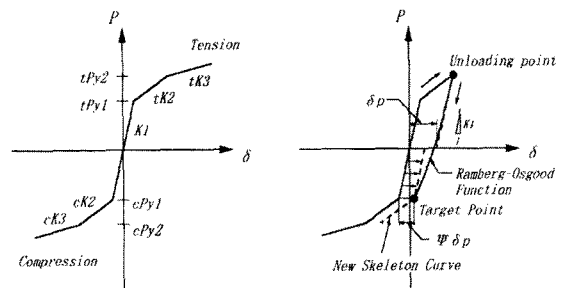


<그림 3> 가동적 지진응답실험 시스템 알고리즘

구조성능 실험대상인 다자유도계 구조물에 대하여 구조물이 가지는 관성력, 감쇠력을 컴퓨터 내에서 시뮬레이션하고, 구조물의 복원력특성을 재하실험으로부터 추출하여 전체의 구조시스템을 지배하는 운동방정식을 시간적분하여 해석을 수행한다. 컴퓨터의 수치해석결과를 데이터 전송기술을 이용하여 재하장치에 보내고, 재하결과 얻어진 실험데이터를 다시 컴퓨터에 전송하여 전 지진 입력 시간에 대하여 반복한다.

2.4 예비 지진응답해석

성능평가를 위한 가동적 지진응답실험에 앞서 복원력특성 모델을 상정하여 탄소성 지진응답해석을 수행하였다. 구조물의 탄성주기를 1.0초로 하여 가상질량을 정하고, 감쇠정수는 안정성을 위하여 0.005%로 설정하였다. 사용한 지진파는 El Centro NS 1940 성분의 PGA를 1,000gal로 설정하여 지속 시간 10초로 입력하였다. 또한, 본 해석에 사용된 댐퍼의 탄소성 복원력특성 모델은 스키톤시프트이력형 모델을 사용하였다. 스키톤시프트형 복원력특성 모델은 <그림 4>에 나타내는 것과 같이 해석 전에 미리 로딩부분과 언로딩부분을 독립적으로 설정하고, 각각의 역방향 스키톤 상에 과거 경험한 소성 변형에 비례하여 스키톤을 시프트 시키는 모델이다.



<그림 4> 스키톤시프트 모델의 복원력특성

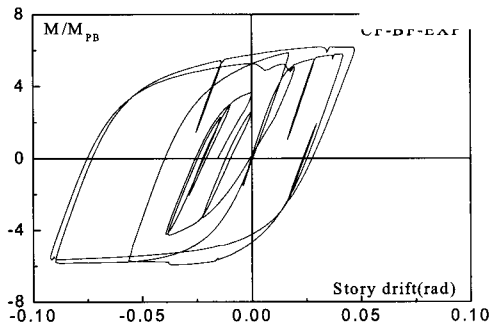
스켈톤으로부터 언로딩하여 반대측의 스키톤에 도달하기까지의 연화부분은 램버그-오스굿 모델 (Ramberg-Osgood Model)의 연속함수식을 사용한다. 본 해석에 있어서 스키톤의 소성변형 비례량  $\psi$  는 0.3을 이용하였고, 램버그-오스굿 함수식의 곡선 지수  $r$  은 8을 이용하였다.

### 2.5 실험결과 및 고찰

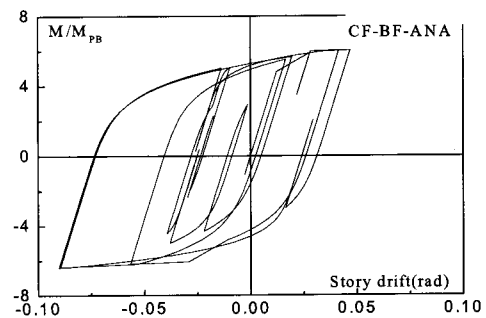
실험체 1은 지진 입력 1초 전후에 기둥 하부 플랜지에 국부좌굴이 발생하여 이 부분에 약간의 소성 변형이 집중되었다. 특히, 좌우 층간 변형각 1/20 rad 정도에서는 심각한 국부좌굴이 발생하여 프레임 자체가 비틀어지는 현상이 동반되었다. 입력 지진파의 특성으로 인하여 인장측의 소성에너지 흡수량이 크고, 지진 입력 후 큰 변위응답을 나타내며 진동하는 특성을 보인다. 국부좌굴이 발생한 후 큰

내력저하는 나타나지 않고 있으나, 더 큰 수평하중이 작용할 경우 비틀림으로 인한 파괴에 이를 가능성이 높다고 판단된다.

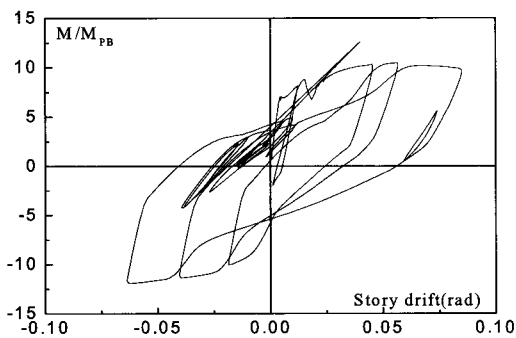
실험체 2는 압축측 가새가 좌굴한 후 다시 원상태로 돌아오기까지 초기강성의 1/10 정도의 낮은 슬립강성을 나타내고 있으며, 다시 인장재가 항복을 경험할 때까지 큰 변위 응답을 나타내고 있다. 스트레인게이지의 변형량에 의하면 가새 부분은 큰 소성변형 응답을 나타내고 있으며, 그 외 부분은 탄성 상태에 머무르고 있다. 실험체의 주각부가 편접합으



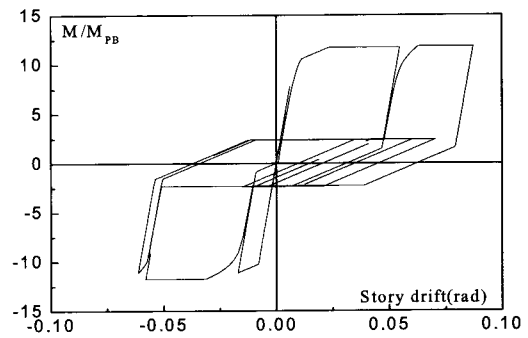
(a) 실험체 No. 1



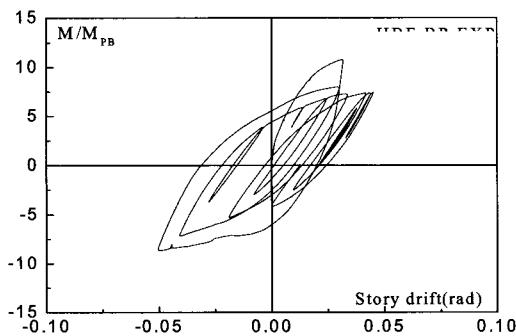
(a) 실험체 No. 1



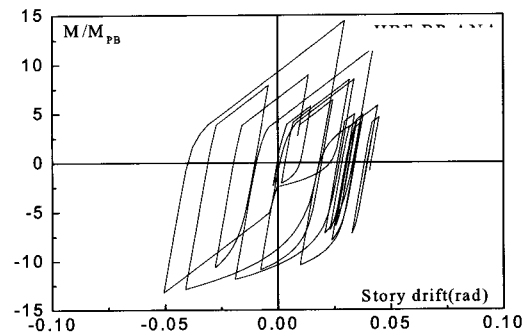
(b) 실험체 No. 2



(b) 실험체 No. 2



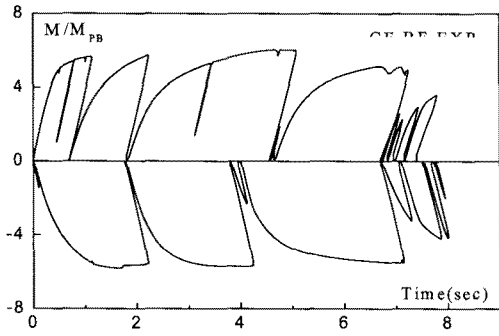
(c) 실험체 No. 3



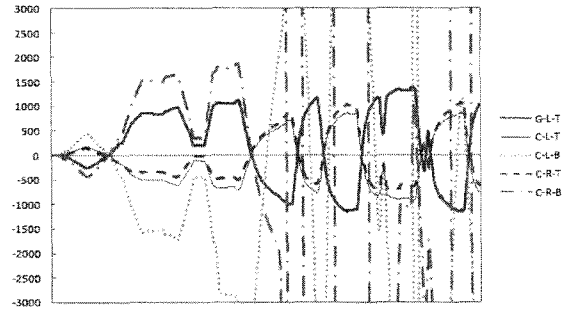
(c) 실험체 No. 3

<그림 5> 가동적 지진응답실험 결과

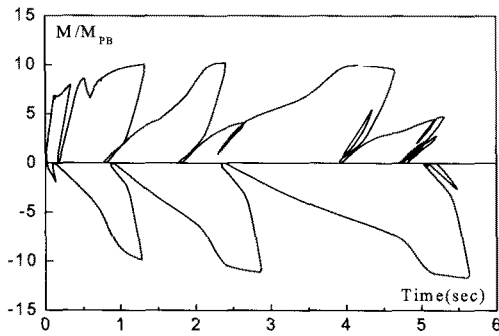
<그림 6> 탄소성 지진응답해석 결과



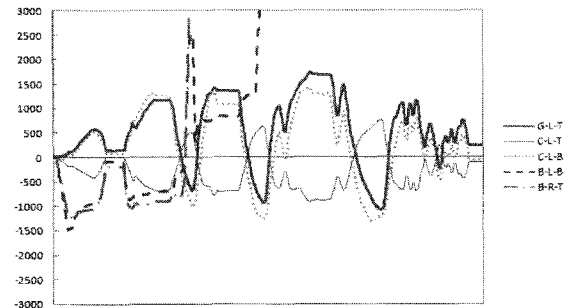
(a) 실험체 No. 1



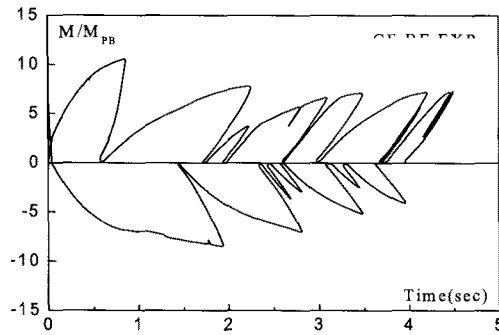
(a) 실험체 No. 1



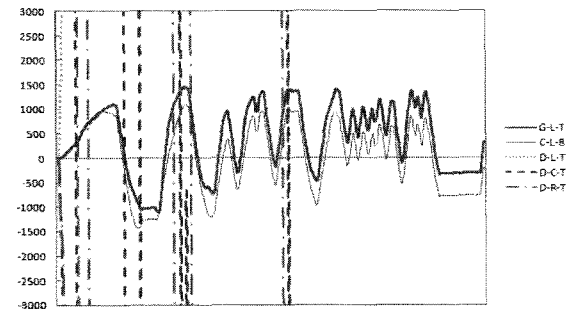
(b) 실험체 No. 2



(b) 실험체 No. 2



(c) 실험체 No. 3

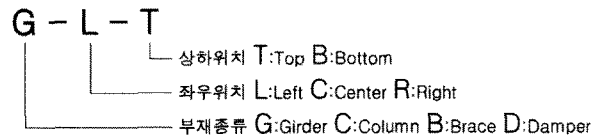


(c) 실험체 No. 3

<그림 7> 복원력특성의 분해

로 구성되어 주각부의 모멘트가 고정주각보다 작게 분포함에도 불구하고 기둥에 심한 국부좌굴이 관찰되었다.

실험체 3은 층간 변형각 1/150 rad에서 슬릿형 댐퍼가 소성변형하여 안정적인 소성이력형상을 나타내고 있다. 특히, 슬릿형 댐퍼가 초기 항복 후 1/40 rad에서 최대내력에 도달하였으며, 그 이후 안정된 방추형의 소성이력을 나타내고 있다. 실험결과와 해석결과를 비교해보면, 해석의 복원력특성 모



<그림 8> 스트레인게이지 변형량의 시간이력

델의 초기 강성이 약간 과대 평가되어 있으며, 복원력의 열화현상까지는 추적하지 못하고 있음을 알 수 있다. 슬릿형 댐퍼는 층간 변형각 1/20 rad까지 충분한 소성변형을 나타내고 있으며, 주변 프레임은 1/20 rad 이후 기둥에 국부좌굴이 발생하였다.

### 3. 결 론

가새골조는 가새의 좌굴에 의해 내력이 급격히 저하하는 불안정한 이력특성을 보이고 있으며, 탄성 설계에서는 휨강성 및 내력을 발휘하는 좋은 구조체라고 할 수 있으나, 소성변형 능력을 기대하는 설계에서는 유효성을 검증해 볼 필요가 있다. 그러나, 본 연구에서 제안한 슬릿형 댐퍼를 부착한 가새골조는 슬릿형 댐퍼의 충분한 소성변형 능력에 의해 최대하중에 이르기까지 안정된 이력특성을 나타내었으며, 거의 대부분의 에너지를 슬릿형 댐퍼가 흡수하였다. 또한, 기둥-보와 같은 주구조체는 거의 탄성에 머물고 있다.

따라서, 슬릿형 댐퍼를 부착한 가새골조는 지진 등에 의해 손상된 이후에도 댐퍼만을 교체하면 사용 성능을 확보할 수 있는 유효한 시스템이라고 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 건설교통부 첨단도시개발사업의 연구비지원(과제 번호 #06 R&D B03)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 유흥식, 김영주, 오상훈, 강창훈, 최홍배, (2006) Fe-Mn 방진합금을 적용한 이력댐퍼에 관한 연구, 한국강구조학회 학술발표대회 논문집, 제17권 1호, 49-52
2. K. Ohi, S.J. Lee, A. Nishida, (2000) Earthquake Response Behaviors of Steel Frame with Low-Yield-Point Steel Damper, Journal of Structural and Construction of Architecture Institute of Japan, No. 538, 171-178