



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년01월06일

(11) 등록번호 10-1477464

(24) 등록일자 2014년12월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

E04H 9/02 (2006.01) *E04B 1/98* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0122806

(22) 출원일자 2014년09월16일

심사청구일자 2014년09월16일

(56) 선행기술조사문헌

비특허문헌(2013.02)

비특허문헌(2009.03)

JP10325260 A

JP11509608 A

(73) 특허권자

충남대학교산학협력단

대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)

(72) 발명자

윤현도

대전광역시 유성구 왕가봉로 23 열매마을11단지
1111동 602호

김선우

세종특별자치시 누리로 27 614동 1502호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김대영

전체 청구항 수 : 총 6 항

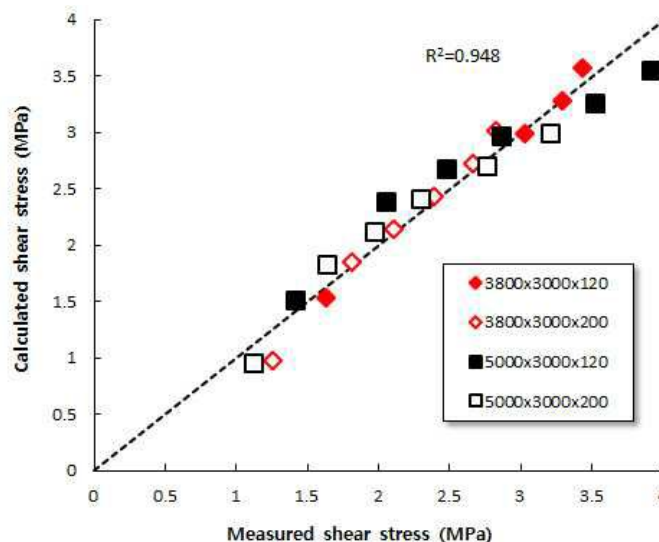
심사관 : 한정

(54) 발명의 명칭 기존 건축물의 내진보강을 위한 철근 콘크리트 구조로 이루어진 슬릿 끼움벽의 내진 성능 예측방법

(57) 요약

본 발명은, 끼움벽 패널에 기본 연성을 증진시키고, 수직 슬릿을 이용하여 강도 및 연성제어를 가능케 하여 내진 보강 설계시에 요구되는 강도 및 연성능력의 수준별 설계법을 정량화할 수 있는 기존 건축물의 내진보강을 위한 철근 콘크리트 구조로 이루어진 슬릿 끼움벽의 내진 성능 예측방법에 관한 것이다. 이러한 본 발명은 기존 구조물에 대한 내진보강을 위해 다수의 슬릿이 형성된 철근 콘크리트 끼움벽을 설계하되, 설계에 반영되는 단위요소 에 대한 설계값을 토대로 상기 끼움벽의 전단응력 및 최대강도시 중간변위를 계산하여 상기 끼움벽의 내진 성능을 예측하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도8



(72) 발명자

장석준

충청북도 충주시 대가미9길 8-1

임원균

충청남도 보령시 천변남길 226, 501호

윤연준

경기도 안산시 단원구 석수로2안길 13-1, 202호

이미화

대전광역시 서구 대덕대로 150 큰마을아파트 103동 301호

김혜란

충청남도 금산군 금산읍 군청1길 5

안경림

충청북도 청주시 흥덕구 창직로12번길 65 삼익2차 아파트 205동 503호

강대현

대전광역시 중구 수도산로 28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2013-0684

부처명 미래부

연구관리전문기관 충남대학교 산학협력단

연구사업명 중견연구자(핵심연구)지원사업

연구과제명 RC 건축물의 내진성능 향상을 위한 성능제어형 SHCC 슬릿패널요소 개발

기 여 율 50/100

주관기관 한국연구재단

연구기간 2013.05.01 ~ 2014.04.30

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2013-0759

부처명 미래부

연구관리전문기관 충남대학교 산학협력단

연구사업명 지역혁신인력양성사업

연구과제명 탄소저감형 도시재생을 위한 구조물 내진성능평가 및 복원기술 개발

기 여 율 50/100

주관기관 한국연구재단

연구기간 2013.04.01 ~ 2014.03.31

특허청구의 범위

청구항 1

기존 구조물에 대한 내진보강을 위해 다수의 슬릿이 형성된 철근 콘크리트 끼움벽을 설계하되, 설계에 반영되는 단위요소에 대한 설계값을 토대로 상기 끼움벽의 전단응력 및 최대강도시 층간변위를 계산하여 상기 끼움벽의 내진 성능을 예측하는 것을 특징으로 하는 기존 건축물의 내진보강을 위한 철근 콘크리트 구조로 이루어진 슬릿 끼움벽의 내진 성능 예측방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 단위요소는, 벽체길이, 벽체높이, 콘크리트 압축강도, 철근 항복강도, 수평철근비, 슬릿 개수, 슬릿폭 및 슬릿높이인 것을 특징으로 하는 기존 건축물의 내진보강을 위한 철근 콘크리트 구조로 이루어진 슬릿 끼움벽의 내진 성능 예측방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 끼움벽의 전단응력($\frac{V_u}{(l_w - N_s l_s) t_w}$)은 다음의 수식에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 기존 건축물의 내진보강을 위한 철근 콘크리트 구조로 이루어진 슬릿 끼움벽의 내진 성능 예측방법.

$$\frac{V_u}{(l_w - N_s l_s) t_w} = a \sqrt{f_{ck}} + b(f_y \rho_h) + c \left(\frac{h_w}{l_w - N_s l_s} \right) - d \left(\frac{h_s}{h_w} \right)$$

여기서, ' V_u '는 최대전단력(N)이고, ' l_w '는 벽체길이(mm)이며, ' N_s '는 슬릿 개수(EA)이고, ' l_s '는 슬릿폭(mm)이며, ' f_{ck} '는 콘크리트 압축강도(MPa)이고, ' f_y '는 철근항복강도(MPa)이며, ' ρ_h '는 수평철근비이고, ' h_w '는 벽체높이(mm)이며, ' h_s '는 슬릿높이(mm)이고, ' t_w '는 벽체두께(mm)를 의미하고, 상기 'a', 'b', 'c', 'd'는 변수를 나타내는 상수임.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 'a', 'b', 'c', 'd'는, 다중회귀분석을 통해 변수를 해석하여 다음의 값으로 도출되는 것을 특징으로 하는 기존 건축물의 내진보강을 위한 철근 콘크리트 구조로 이루어진 슬릿 끼움벽의 내진 성능 예측방법.

a = 0.48, b = 0.587, c = 0.105, d = 2.909

청구항 5

제2항에 있어서, 상기 끼움벽에서 최대강도 시 층간변위($\frac{\delta_u}{h_w}$)는 다음의 수식에 산출되는 것을 특징으로 하는 기존 건축물의 내진보강을 위한 철근 콘크리트 구조로 이루어진 슬릿 끼움벽의 내진 성능 예측방법.

$$\frac{\delta_u}{h_w} = -a' \sqrt{f_{ck}} + b' (f_y \rho_h) + c' \left(\frac{h_w}{l_w - N_s l_s} \right) + d' \left(\frac{h_s}{h_w} \right)$$

여기서, ' V_u '는 최대전단력(N)이고, ' l_w '는 벽체길이(mm)이며, ' N_s '는 슬릿 개수(EA)이고, ' l_s '는 슬릿폭(mm)이며, ' f_{ck} '는 콘크리트 압축강도(MPa)이고, ' f_y '는 철근항복강도(MPa)이며, ' ρ_h '는 수평철근비이고, ' h_w '는 벽체높이(mm)이며, ' h_s '는 슬릿높이(mm)이고, ' δ_u '는 최대하중시변위(mm)를 의미하고, 상기 ' a' ', ' b' ', ' c' ', ' d' '는 변수를 나타내는 상수임.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 ' a' ', ' b' ', ' c' ', ' d' '는, 다중회귀분석을 통해 변수를 해석하여 다음의 값으로 도출되는 것을 특징으로 하는 기존 건축물의 내진보강을 위한 철근 콘크리트 구조로 이루어진 슬릿 끼움벽의 내진 성능 예측방법.

$a' = 0.01$, $b' = 0.042$, $c' = 0.279$, $d' = 0.379$

명세서

기술분야

[0001]

본 발명은 기존 건축물의 내진보강을 위한 철근 콘크리트 구조로 이루어진 슬릿 끼움벽의 내진 성능 예측방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 끼움벽 패널에 기본 연성을 증진시키고, 수직 슬릿을 이용하여 강도 및 연성제어를 가능케 하여 내진보강 설계시에 요구되는 강도 및 연성능력의 수준별 설계법을 정량화할 수 있는 슬릿 끼움벽의 내진 성능 예측방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002]

2011년 3월 11일 14시 46분 일본 도호쿠(東北) 지방에서 발생한 일본 관측 사상 최대인 리히터 규모 9.0의 지진인 동일본 대지진 이후 한반도뿐만 아니라 전 세계적으로 지진이 자주 나타나고 있다.

[0003]

이러한 지진뿐만 아니라 규모가 작은 지진도 빈번하게 발생하는 일본의 경우는, 내진설계기준이 강화된 1981년 이전에 지어진 건축물은 지진발생시 많은 피해가 발생하였으며, 1981년 이전에 지어진 건물이라 하더라도 이후 내진보강을 실시한 건물은 지진피해가 없거나 경미한 피해가 있었으며, 내진설계기준이 강화된 1981년 이후에 지어진 건물의 경우는 지진 피해가 경미하였다. 따라서 일본의 사례를 통한 교훈에서 이미 지어진 건물에 대한 지진 재해에 대비하기 위해서는 최근의 강화된 신 내진설계기준에 부합하도록 건축물에 내진보강을 실시할 경우 건축물을 보다 안전하게 유지할 수 있음을 알 수 있다. 우리나라는 주변국가인 일본이나 중국에 비해 지진에 상대적으로 안전한 지역이지만, 중소규모 지진이 간헐적으로 발생하여 이에 대비하기 위해 내진대책을 수립할 필요가 있다.

[0004]

이와 같은 영향으로 인하여 국내 내진설계는 1988년 처음 도입이후 의무대상 건축물을 3층 이상까지 지속적으로 확대하고 있으며, 내진기준 또한 2009년 12월 건축구조기준을 개정하여 건축물의 중요도 계수 상향 등 내진설계기준을 규모 6~6.5에도 안전하도록 강화하였다.

[0005]

그러나 기존 건축물 및 그 이외의 시설물이 현행 규준에서 요구하는 위의 요건을 모두 만족하지 못하고 있다. 기존 건축물의 일부는 내진규정 이전에 설계 건설되었거나 새롭게 강화된 내진규준이 요구조건을 충족하지 못하는 경우가 있다. 이러한 경우, 현행 규준에서 요구하는 조건을 만족시키기 위해 기존 건축물을 해체하고 새로운 건축물을 신축할 수 있으나, 기존의 건축물을 새로운 건축물로 대체하는 방법은 최근 환경오염 및 자원고갈 등이 주요한 사회문제로 대두됨에 따라 철근콘크리트 건축물의 장수명화 기술에 대한 관심이 고조되고 있으며 따라서 비내진 상세(Nonductile detail)를 갖는 구조물의 내진보강을 통하여 내진 성능을 확보하는 다양한 공법이 진행되고 있다.

[0006]

기존 비내진 상세를 갖는 구조물의 내진보강을 하는 방법은, 강도를 높이는 방법, 변형능력을 높이는 방법, 또는 양자를 겸용하는 방법으로 건물의 내진성능을 향상시키는 것이 일반적인 개념이다. 구조물의 강도(Strength), 연성(Ductility), 강성(Rigidity)을 증가시켜 비내진 상세를 갖는 구조물의 내진성능을 확보할 수

있다.

- [0007] 기존 건축물의 강도를 향상시키는 보강방법의 경우, 건축물에 보다 높은 수평내력을 확보하기 위한 보강방법으로는 ① 기존 RC 골조에 RC 내진 끼움벽을 설치하는 방법, ② 기존 RC 골조에 철골 가재를 증설하는 방법, ③ 기존 RC 기둥에 RC 날개벽(Side-wall)을 증설하는 방법 및 ④ 기존 RC 골조(외측)에 버트리스(Buttress)를 증설하는 방법이 널리 사용되고 있다.
- [0008] 방법 ①은 내진보강 공법으로서 가장 효과적인 방법의 하나이며, 또한 가장 일반적인 내진보강 공법이다. 그러나 이 공법에서는 개구부가 감소하기 때문에 개구부가 필요한 건물에서는 방법 ②와 같이 철골 브레이스에 의한 내진보강이 유효하다. 이러한 방법 ②는 채광이 비교적 용이하며, 높은 강도와 강성을 줄 수 있다. 보강요소는 공장생산이 가능하기 때문에 공기단축에 따른 거주자의 편의를 제공할 수 있다. 그러나 경제적 측면에서 다소 떨어지는 단점이 있다.
- [0009] 한편, 방법 ③ 및 ④는 기둥의 수평내력을 높이기 위한 방법이지만, 방법 ④는 주변에 공지가 필요하며, 버트리스부분에 충분한 반력이 필요하기 때문에 다른 방법에 비하여 적용빈도는 높지 않다.
- [0010] 이러한 끼움벽으로 골조를 보강하는 방법은 모든 부재 또는 대부분의 부재가 과도한 층간변위에 의한 구조물의 손상을 만족하지 못하는 경우 합리적인 대안이 될 수 있으며, 특히 국내에 내진규정이 규정되기 이전인 1988년 전에 건설된 대부분의 골조구조 건축물에서 기둥 및 보의 소성힌지부가 충분한 횡보강근에 의해 구속이 되지 않은 비내진 상세를 갖는 경우 유효할 수 있다.
- [0011] 그러나 끼움벽으로 골조를 보강하는 방법은, 구조물에 요구되는 강도 및 강성 증진만을 위한 것이다. 그러나 기존 연구결과 및 지진에 의한 파괴 양상을 확인한 결과, 약진에 의한 낮은 변형에서도 끼움벽의 파괴 이후 급격한 구조물의 성능저하가 나타났으며, 강진의 경우 그 피해상황은 더욱 심각한 실정이었다. 즉, 현행 끼움벽과 철근콘크리트 골조의 전단력-변위 관계를 보면, 끼움벽의 강도 및 강성은 기존 콘크리트 골조에 비해 높은 반면, 연성은 골조의 50% 이하를 보였다. 따라서 끼움벽 보강 후 전체 구조물의 거동은 끼움벽 단독일 때의 최대 변위 점에서 최대성능을 나타낸 후, 급격히 내력이 저하되며 취성적인 파괴양상을 나타내었다.
- [0012] 이러한 문제점을 해결하기 위하여 끼움벽에 슬릿을 형성한 슬릿 끼움벽이 개발되었으며, 슬릿 끼움벽은 슬릿이 설치되지 않은 끼움벽에 비해 연성적인 거동 특성을 나타내고, 대략 1.4배의 누적에너지소산능력을 나타내었다.
- [0013] 따라서 끼움벽을 단독으로 사용하는 것보다 슬릿이 형성된 끼움벽을 사용하는 것이 보다 우수한 내진성능을 확보할 수 있을 것으로 알려져 있다.
- [0014] 그러나 현재까지의 연구결과에서는, 끼움벽에 슬릿을 형성하는 것이 내진성능 향상에 유리하다는 것을 확인하였을 뿐, 슬릿의 형상 및 개수가 끼움벽을 제작하기 위한 단위요소들과의 관계에서 어느 정도 내진성능의 향상에 기여하며, 슬릿 끼움벽을 제작하여 설치하였을 때 어느 정도의 내진성능을 발휘하는 지는 규명하지 못하여 경험에 의하거나 과도한 내진성능을 설계에 반영하고 있는 실정이었다.

선행기술문헌

비특허문헌

- [0015] (비특허문헌 0001) 양해준. 슬릿(Slit)이 설치된 내진보강용 끼움벽 요소의 구조성능. 석사학위논문. 충남대학교 대학원 : 2013년 2월

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0016] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해소하기 위한 것으로, 본 발명의 목적은 기존 구조물의 강도 및 강성 증진에 매우 효과적인 것으로 입증된 끼움벽 패널에 기본 연성을 증진시키고, 수직 슬릿을 이용하여 강도 및 연성제어를 가능케 하여 내진보강 설계시에 요구되는 강도 및 연성능력의 수준별 설계법을 정량화할 수 있는 기존 건축물의 내진보강을 위한 철근 콘크리트 구조로 이루어진 슬릿 끼움벽의 내진 성능 예측방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0017] 상기와 같은 목적을 위해 본 발명은 기존 건축물의 내진보강을 위한 철근 콘크리트 구조로 이루어진 슬릿 끼움벽의 내진 성능 예측방법에 관한 것으로, 기존 구조물에 대한 내진보강을 위해 다수의 슬릿이 형성된 철근 콘크리트 끼움벽을 설계하되, 설계에 반영되는 단위요소에 대한 설계값을 토대로 상기 끼움벽의 전단응력 및 최대강도시 중간변위를 계산하여 상기 끼움벽의 내진 성능을 예측하는 것을 특징으로 한다.

[0018] 상기 단위요소는, 벽체길이, 벽체높이, 콘크리트 압축강도, 철근 항복강도, 수평철근비, 슬릿 개수, 슬릿폭 및 슬릿높이이다.

[0019] 그리고 상기 끼움벽의 전단응력(
$$\frac{V_u}{(l_w - N_s l_s) t_w}$$
)은 다음의 수식에 의해 산출된다.

$$\frac{V_u}{(l_w - N_s l_s) t_w} = a \sqrt{f_{ck}} + b (f_y \rho_h) + c \left(\frac{h_w}{l_w - N_s l_s} \right) - d \left(\frac{h_s}{h_w} \right)$$

[0021] 여기서, 'V_u'는 최대전단력(N)이고, 'l_w'는 벽체길이(mm)이며, 'N_s'는 슬릿 개수(EA)이고, 'l_s'는 슬릿폭(mm)이며, 'f_{ck}'는 콘크리트 압축강도(MPa)이고, 'f_y'는 철근항복강도(MPa)이며, 'ρ_h'는 수평철근비이고, 'h_w'는 벽체높이(mm)이며, 'h_s'는 슬릿높이(mm)이고, 't_w'는 벽체두께(mm)를 의미하고, 상기 'a', 'b', 'c', 'd'는 변수를 나타내는 상수이다.

[0022] 이때 상기 'a', 'b', 'c', 'd'는, 다중회귀분석을 통해 변수를 해석하여 다음의 값으로 도출된다.

[0023] a = 0.48, b = 0.587, c = 0.105, d = 2.909

[0024] 한편, 상기 끼움벽에서 최대강도 시 중간변위(
$$\frac{\delta_u}{h_w}$$
)는 다음의 수식에 산출된다.

$$\frac{\delta_u}{h_w} = -a' \sqrt{f_{ck}} + b' (f_y \rho_h) + c' \left(\frac{h_w}{l_w - N_s l_s} \right) + d' \left(\frac{h_s}{h_w} \right)$$

[0026] 여기서, 'V_u'는 최대전단력(N)이고, 'l_w'는 벽체길이(mm)이며, 'N_s'는 슬릿 개수(EA)이고, 'l_s'는 슬릿폭(mm)이며, 'f_{ck}'는 콘크리트 압축강도(MPa)이고, 'f_y'는 철근항복강도(MPa)이며, 'ρ_h'는 수평철근비이고, 'h_w'는 벽체높이(mm)이며, 'h_s'는 슬릿높이(mm)이고, 'δ_u'는 최대하중시변위(mm)를 의미하고, 상기 'a'', 'b'', 'c'', 'd''는 변수를 나타내는 상수이다.

[0027] 이때 상기 'a'', 'b'', 'c'', 'd''는, 다중회귀분석을 통해 변수를 해석하여 다음의 값으로 도출된다.

[0028] a' = 0.01, b' = 0.042, c' = 0.279, d' = 0.379

발명의 효과

[0029] 본 발명에 따른 기존 건축물의 내진보강을 위한 철근 콘크리트 구조로 이루어진 슬릿 끼움벽의 내진 성능 예측방법에 의하면, 끼움벽 패널에 기본 연성을 증진시키고, 수직 슬릿을 이용하여 강도 및 연성제어를 가능케 하여 내진보강 설계시에 요구되는 강도 및 연성능력의 수준별 설계법을 정량화할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0030] 도 1은 슬릿이 없는 NSW(None Slit Wall) 실험체를 나타낸 것으로, 도 1의 (a)는 정면도이고, 도 1의 (b)는 도 1의 (a)에서 A'선에 따른 단면도이며, 도 1의 (c)는 도 1의 (a)에서 A선에 따른 단면도이고, 도 1의 (d)는 도 1의 (a)에서 B선에 따른 단면도이다.

도 2는 짧은 슬릿이 있는 SSW(Short Slit Wall) 실험체를 나타낸 것으로, 도 2의 (a)는 정면도이고, 도 2의 (b)는 도 2의 (a)에서 A'선에 따른 단면도이며, 도 2의 (c)는 도 2의 (a)에서 A선에 따른 단면도이고, 도 2의 (d)는 도 2의 (a)에서 B선에 따른 단면도이다.

도 3은 긴 슬릿이 있는 LSW(Long Slit Wall) 실험체를 나타낸 것으로, 도 3의 (a)는 정면도이고, 도 3의 (b)는 도 3의 (a)에서 A'선에 따른 단면도이며, 도 3의 (c)는 도 3의 (a)에서 A선에 따른 단면도이고, 도 3의 (d)는 도 3의 (a)에서 B선에 따른 단면도이다.

도 4는 실험값과 해석값에 대한 그래프이다.

도 5 및 도 6은 해석대상 구조물을 도시한 도면으로서, 각 도면의 (a)는 정면도이고, 각 도면의 (b)는 (a) 도면에서 A-A'선에 따른 단면도이다.

도 7은 해석대상 구조물 4타입에 대해 6가지의 슬릿 길이에 따른 층간변위(Side sway)와 전단응력(Shear stress)의 관계를 도시한 그래프이다.

도 8은 해석결과 전단응력(Calculated shear stress)과 측정결과 전단응력(Measured shear stress)을 매칭시킨 그래프이다.

도 9는 해석결과 층간변위(Calculated side sway)와 측정결과 층간변위(Measured side sway)를 매칭시킨 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0031] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 슬릿 끼움벽의 내진 성능 예측방법의 구성을 자세히 설명한다.
- [0032] 본 발명에 따른 슬릿 끼움벽의 내진 성능 예측방법은, 기존 구조물에 대한 내진보강을 위해 다수의 슬릿이 형성된 철근 콘크리트 끼움벽을 설계하되, 설계에 반영되는 단위요소에 대한 설계값을 토대로 상기 끼움벽의 전단응력 및 최대강도시 층간변위를 계산하여 상기 끼움벽의 내진 성능을 예측하는 것이다.
- [0033] 이때 단위요소는, 벽체길이, 벽체높이, 콘크리트 압축강도, 철근 항복강도, 수평철근비, 슬릿 개수, 슬릿폭 및 슬릿높이를 들 수 있다.
- [0034] 본 발명에 따라 내진 성능을 예측하려면, 먼저 내진 보강을 위한 기존 구조물이 존재하여야 하고, 내진 규정상 기존 구조물의 내진 요구 성능을 확인하여야 한다. 이에 따라, 기존 구조물의 내진 요구 성능이 현재 기존 구조물이 만족하지 못하는 경우, 본 발명에 따른 슬릿 끼움벽을 설치하되, 그 슬릿 끼움벽의 내진 성능을 예측하여 기존 구조물에서 요구되는 내진 성능을 만족하도록 최적화된 슬릿 끼움벽을 설계하는 것이다.
- [0035] 내진 성능은 크게 구조물의 전단강도 및 최대강도 시 변형능력으로 평가될 수 있다. 따라서 본 발명에서는 슬릿 끼움벽의 전단강도 및 최대강도 시 변형능력을 예측하는 것에 초점을 두고 있다.
- [0036] 다음으로 본 발명에 따른 슬릿 끼움벽의 내진 성능 예측방법에 대해 보다 구체적으로 설명한다.

축소모형 실험 및 해석방법 검증

- [0037]
- [0038] 개발된 성능제어형 끼움벽의 내진성능을 검증하기 위하여 도 1 내지 3과 표 1과 같이 1/3 스케일의 실험체를 계획하였다. 여기서, 도 1은 슬릿이 없는 NSW(None Slit Wall) 실험체를 나타낸 것으로, 도 1의 (a)는 정면도이고, 도 1의 (b)는 도 1의 (a)에서 A'선에 따른 단면도이며, 도 1의 (c)는 도 1의 (a)에서 A선에 따른 단면도이고, 도 1의 (d)는 도 1의 (a)에서 B선에 따른 단면도이다. 또한 도 2는 짧은 슬릿이 있는 SSW(Short Slit Wall) 실험체를 나타낸 것으로, 도 2의 (a)는 정면도이고, 도 2의 (b)는 도 2의 (a)에서 A'선에 따른 단면도이며, 도 2의 (c)는 도 2의 (a)에서 A선에 따른 단면도이고, 도 2의 (d)는 도 2의 (a)에서 B선에 따른 단면도이다. 아울러, 도 3은 긴 슬릿이 있는 LSW(Long Slit Wall) 실험체를 나타낸 것으로, 도 3의 (a)는 정면도이고, 도 3의 (b)는 도 3의 (a)에서 A'선에 따른 단면도이며, 도 3의 (c)는 도 3의 (a)에서 A선에 따른 단면도이고, 도 3의 (d)는 도 3의 (a)에서 B선에 따른 단면도이다.

표 1

실험체 일람

실험 체명	28일 압축강도(MPa)	Matrix type	lw×hw×tw (mm)	Rebar Diameter (mm)	수직철근비 (%)	수평철근비 (%)
NSW	54.8	콘크리트	1,100×600×50(wall panel)	6	0.56	0.56
SSW			1,300×150×350(top and base beams)			
LSW						

[0040]

그리고 실험 시 고려된 주요변수는 슬릿의 길이인데, SSW 실험체의 슬릿 길이는 260mm이고, LSW 실험체의 슬릿 길이는 400mm이다. 사용된 철근 및 콘크리트의 역학적 특성은 아래의 표 2 및 표 3과 같다.

표 2

철근의 기계적 특성

철근종류	항복강도 (MPa)	항복변형률 (μ)	인장강도 (MPa)	포아송비	탄성계수 (GPa)
D6	327.85	1170	426.57	0.28	228.4
D13	444.96	2200	568.5	0.29	202.2

표 3

콘크리트의 압축특성

28일 압축강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	최대변형률 (μ)	포아송비
54.8	32600	1710	0.15

[0043]

본 실험에서는 수직 슬릿의 높이에 따른 성능 제어형 끼움벽의 거동 및 강도특성을 해석적으로 규명하기 위하여 범용 비선형 유한요소해석을 수행하였다.

[0044]

표 4 및 도 4에서 나타난 바와 같이, 실험값과 해석에 의한 예측값을 비교하면 슬릿이 없는 NSW 실험체는 최대 내력이 해석에 의한 예측값이 실험값에 비해 7.5 % 낮고, 최대 내력시 변위는 같으며, 초기강성은 해석값이 13 % 높은 것으로 나타나 비교적 잘 예측하는 것으로 나타났다. 또한, 개구부의 길이가 260mm인 SSW 실험체는 최대 내력이 실험값에 비해 4 % 높고, 최대 내력시 변위는 5.8 % 높은 것으로 나타나 비교적 잘 예측하는 것으로 나타난 반면에, 초기강성은 해석값이 48 % 높은 것으로 나타났다. 이는 실험 설치 상황에서 측면 슬립을 방지하기 위한 ball jig의 설치로 인한 강성의 차이를 보인 것으로 사료된다.

[0045]

또한 슬릿의 길이가 460mm인 LSW 실험체의 최대내력, 최대변위, 초기강성은 약 25, 130, 34%의 차이를 보여 큰 오차를 보였다. 이는 LSW 실험체의 경우 개구부에 의해 4개의 휨벽체로 나뉘어 휨거동을 보인 것으로 사료되며, 전단 거동에 적합한 해석 모델을 적용하였기 때문에 큰 오차를 보인 것으로 판단된다.

[0046]

정리하면, NSW 실험체의 경우 실험값과 해석값이 거의 일치하는데, 이는 도 4의 (a)에 도시된 그래프에서 실험 값(Experiment)과 해석값(Anaysis)이 거의 일치하고 있는 형태를 통해 확인할 수 있다. 그런데, SSW 실험체와 LSW 실험체의 경우, 도 4의 (b) 및 (c)에 도시된 바와 같이, 초반부에서는 실험값(Experiment)과 해석값(Anaysis)이 거의 일치하지만, 후반부에서는 실험값(Experiment)이 더욱 큰 변위특성을 보이는 것으로 나타나 큰 오차를 발생시키고 있다. 이는 상술한 바와 같이, 실험체가 측면 슬립을 방지하기 위한 ball jig의 설치 등과 같이 실제 구조물과는 다른 구조체에 설치되고 설치방법도 상이하기 때문에 발생된 것으로, 실제 구조물에서의 거동은 해석값과 유사하게 나타날 것이고, 이에 따라 실험값을 해석값과 같이 보정하는 과정을 통해 실험체

에 대한 실험을 통해 실제 구조물에 대한 특성 예측이 가능하다고 판단된다.

표 4

슬릿 길이에 따른 전단벽의 하중-변위특성

실험 체명	최대내력			최대변위			최기강성		
	실험값 (kN)	해석값 (kN)	오차 (%)	실험값 (mm)	해석값 (mm)	오차 (%)	실험값 (kN/mm)	해석값 (kN/mm)	오차 (%)
NSW	242	225	7.5	2.4	2.4	0	60	68.1	13
SSW	166	173	4.26	3.6	3.4	5.8	86.6	128.5	48
LSW	165	131	25.9	9	3.9	130	140	188.1	34

해석대상 구조물

도 5 및 도 6은 해석대상 구조물을 도시한 도면으로서, 각 도면의 (a)는 정면도이고, 각 도면의 (b)는 (a) 도면에서 A-A'선에 따른 단면도이다.

해석대상 구조물은 크게 4 타입으로 구분된다. 즉 도 5에 도시된 바와 같이, 폭과 높이가 3800×3000mm인 끼움벽에서 두께가 120mm인 유형과 200mm인 유형, 그리고 도 6에 도시된 바와 같이, 폭과 높이가 5000×3000mm인 끼움벽에서 두께가 120mm인 유형과 200mm인 유형으로 구분하였다. 이는 1980년대 주로 지어진 학교건물의 장변 및 단변 방향의 크기를 기준으로 한 것이며, 실제 보강이 필요한 구조물을 대상으로 하였다.

그리고 변수해석을 위하여 슬릿의 길이를 변수로 하였으며 4타입의 벽체에 대하여 슬릿 길이 300, 600, 900, 1200, 1500, 2400mm에 대하여 해석을 실시하였다. 슬릿의 설치길이는 도 5 및 도 6에 도시된 바와 같이 단변의 경우 3개소, 장변의 경우 4개소의 설치를 하였으며 슬릿의 폭은 300mm로 통일하였다. 콘크리트의 압축강도는 24 MPa로 하였으며, 수평철근의 경우 D10, SD400 철근을 200mm 간격으로 2열 배근하였고, 수직철근은 D13, SD400 철근을 200mm 간격으로 배근하였다.

해석결과

도 7은 해석대상 구조물 4타입에 대해 6가지의 슬릿 길이에 따른 층간변위(Side sway)와 전단응력(Shear stress)의 관계를 도시한 그래프이다. 도 7에 도시된 그래프는, 상기의 과정에서 검증된 해석모델을 근거로 하여 기존 학교건물의 장변과 단변을 대상으로 변수해석을 실시한 결과를 나타낸다.

도 7의 (a)는 벽체길이 3800mm, 높이 3000mm, 두께 120mm의 벽체의 슬릿 높이에 따른 전단응력과 층간변위의 관계를 나타낸 것으로, 슬릿의 높이가 증가할수록 최대 전단내력은 감소하고, 전단내력시 변위는 증가하는 경향을 나타내었다. 그리고 도 7의 (b) 내지 (d)에서도 도 7의 (a)와 유사한 경향의 그래프가 나타났다.

그리고 끼움벽의 두께가 120mm인 도 7의 (a) 및 (c)와, 끼움벽의 두께가 200mm인 도 7의 (b) 및 (d) 간을 대비하면, 두께가 증가함에 따라 최대 전단내력은 감소하는 경향을 나타내었다.

성능제어형 끼움벽 콘크리트 패널 요소의 최대 전단응력과 층간변위 예측식

상술한 해석대상 구조물에 대한 해석결과를 해석대상 구조물과 동일한 구조의 실험체를 제작하여 측정한 측정결과와 매칭시켜 도 8 및 도 9와 같은 그래프를 얻었다. 이때 도 8은 해석결과 전단응력(Calculated shear stress)과 측정결과 전단응력(Measured shear stress)을 매칭시킨 그래프이고, 도 9는 해석결과 층간변위(Calculated side sway)와 측정결과 층간변위(Measured side sway)를 매칭시킨 그래프이다.

이러한 도 8 및 도 9에 도출된 그래프의 결과와, 한국콘크리트학회의 벽체 설계 기준에 따라 벽체의 전단강도는

콘크리트의 압축강도 루트($\sqrt{f_{ck}}$)에 비례하는 점, 동일 기준에 따라 철근비와 항복강도의 곱($f_y \rho_h$)에 비례한다는 점, 슬릿의 길이가 길어지면 전단내력이 감소하는 점을 토대로 하여, 다음의 수학적 1과 수학적 2를 설

정하였다. 여기서 수학적 식 1은 끼움벽의 전단응력($\frac{V_u}{(l_w - N_s l_s) t_w}$)에 관한 것이고, 수학적 식 2는 끼움벽

에서 최대강도 시 층간변위($\frac{\delta_u}{h_w}$)에 관한 것이다.

수학적 식 1

$$\frac{V_u}{(l_w - N_s l_s) t_w} = a \sqrt{f_{ck}} + b (f_y \rho_h) + c \left(\frac{h_w}{l_w - N_s l_s} \right) - d \left(\frac{h_s}{h_w} \right)$$

여기서, ' V_u '는 최대전단력(N)이고, ' l_w '는 벽체길이(mm)이며, ' N_s '는 슬릿 개수(EA)이고, ' l_s '는 슬릿폭(mm)이며, ' f_{ck} '는 콘크리트 압축강도(MPa)이고, ' f_y '는 철근항복강도(MPa)이며, ' ρ_h '는 수평철근비이고, ' h_w '는 벽체높이(mm)이며, ' h_s '는 슬릿높이(mm)이고, ' t_w '는 벽체두께(mm)를 의미하고, 상기 'a', 'b', 'c', 'd'는 변수를 나타내는 상수이다.

수학적 식 2

$$\frac{\delta_u}{h_w} = -a' \sqrt{f_{ck}} + b' (f_y \rho_h) + c' \left(\frac{h_w}{l_w - N_s l_s} \right) + d' \left(\frac{h_s}{h_w} \right)$$

여기서, ' V_u '는 최대전단력(N)이고, ' l_w '는 벽체길이(mm)이며, ' N_s '는 슬릿 개수(EA)이고, ' l_s '는 슬릿폭(mm)이며, ' f_{ck} '는 콘크리트 압축강도(MPa)이고, ' f_y '는 철근항복강도(MPa)이며, ' ρ_h '는 수평철근비이고, ' h_w '는 벽체높이(mm)이며, ' h_s '는 슬릿높이(mm)이고, ' δ_u '는 최대하중시변위(mm)를 의미하고, 상기 'a'', 'b'', 'c'', 'd''는 변수를 나타내는 상수이다.

수학적 식 1에서 상기 'a', 'b', 'c', 'd'는, 다중회귀분석을 통해 변수를 해석하여 도출되었고, 그 값은 'a'는 0.48, 'b'는 0.587, 'c'는 0.105, 그리고 'd'는 2.909로 산출되었다. 따라서 최종적인 전단응력에 대한 식은 다음의 수학적 식 3과 같다.

수학적 식 3

$$\frac{V_u}{(l_w - N_s l_s) t_w} = 0.48 \sqrt{f_{ck}} + 0.587 (f_y \rho_h) + 0.105 \left(\frac{h_w}{l_w - N_s l_s} \right) - 2.909 \left(\frac{h_s}{h_w} \right)$$

아울러, 수학적 식 2에서 상기 'a'', 'b'', 'c'', 'd''는, 다중회귀분석을 통해 변수를 해석하여 도출되었고, 그

값은 'a'는 0.01, 'b'는 0.042, 'c'는 0.279, 그리고 'd'는 0.379로 산출되었다. 따라서 최종적인 최대강도 시 중간변위에 대한 식은 다음의 수학식 4와 같다.

수학식 4

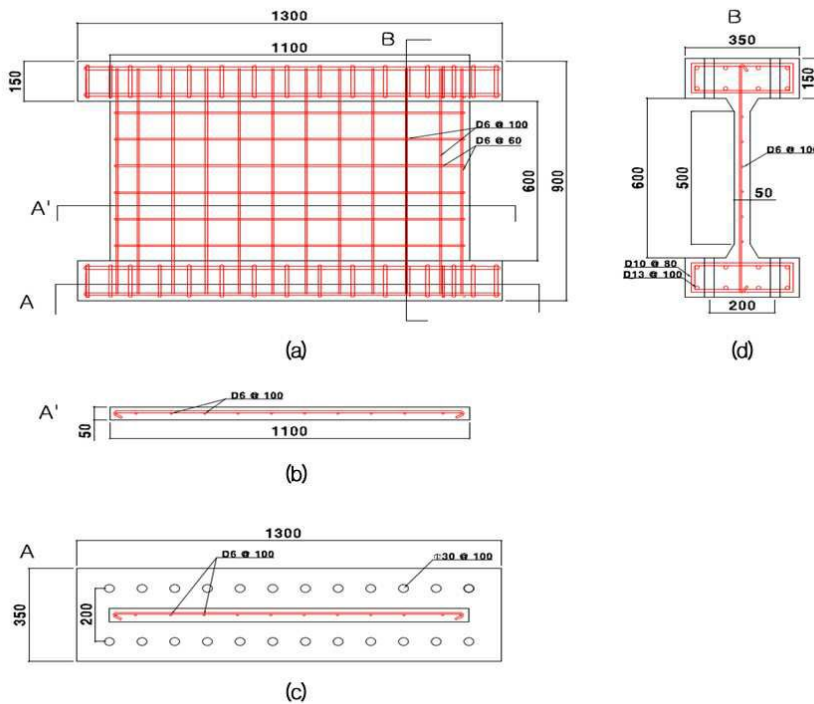
$$\frac{\delta_u}{h_w} = -0.01\sqrt{f_{ck}} + 0.042(f_y \rho_h) + 0.279\left(\frac{h_w}{l_w - N_s l_s}\right) + 0.379\left(\frac{h_s}{h_w}\right)$$

그리고 다수의 슬릿이 형성된 철근 콘크리트 끼움벽의 설계에 반영되는 단위요소, 즉 벽체길이, 벽체높이, 콘크리트 압축강도, 철근 항복강도, 수평철근비, 슬릿 개수, 슬릿폭 및 슬릿높이를 변경하며 수학식 3의 끼움벽의 전단응력과 수학식 4의 최대강도시 중간변위를 산출한 결과, 도 8 및 도 9의 그래프에 따른 직선에 전단응력은 분산(R^2)의 0.948 범위 내에 속하고 최대강도 시 중간변위는 분산(R^2)의 0.993 범위 내에 속함을 확인할 수 있었다.

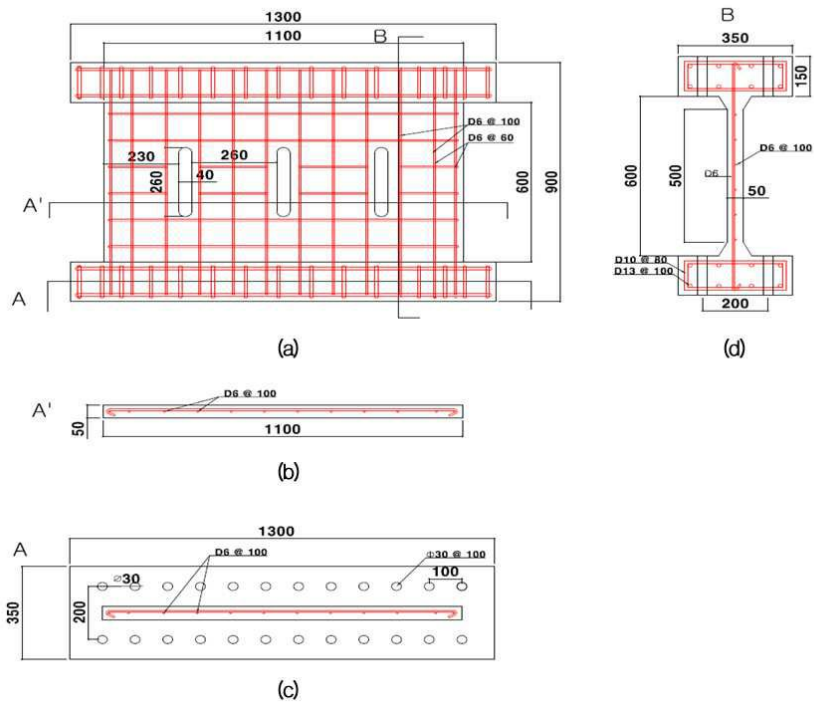
본 발명의 권리는 위에서 설명된 실시 예에 한정되지 않고 청구범위에 기재된 바에 의해 정의되며, 본 발명의 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 청구범위에 기재된 권리범위 내에서 다양한 변형과 개작을 할 수 있다는 것은 자명하다.

도면

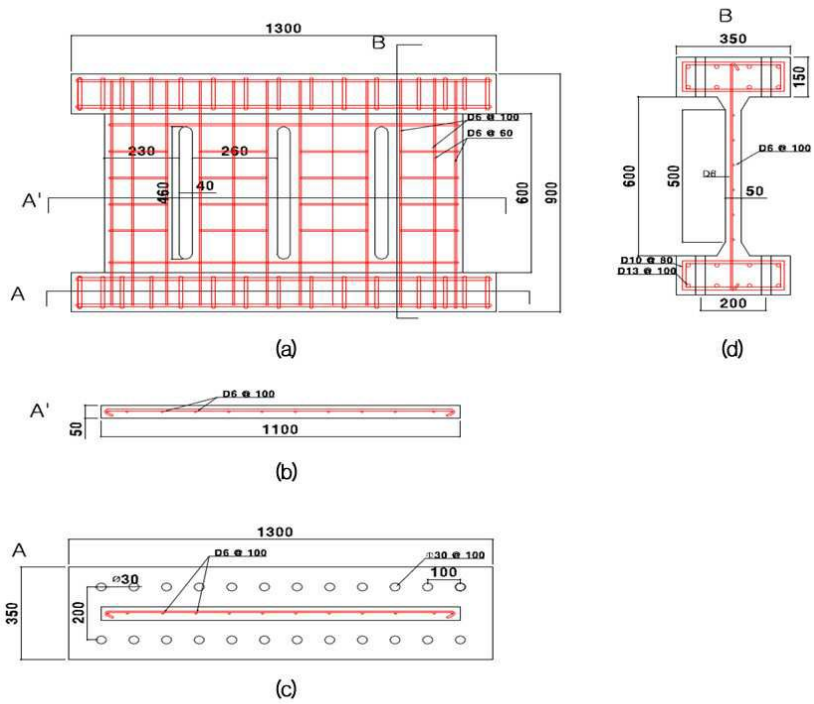
도면1



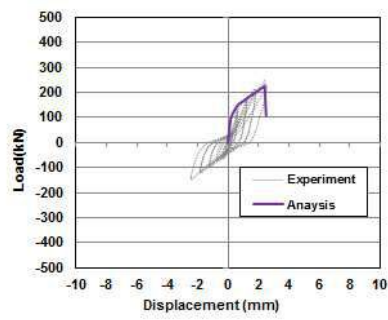
도면2



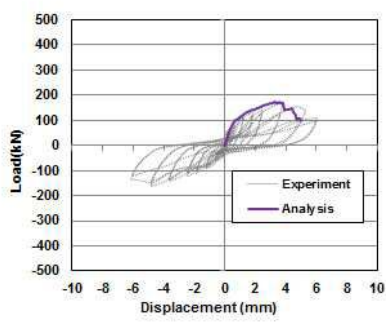
도면3



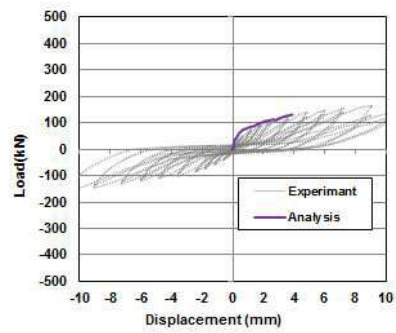
도면4



(a)

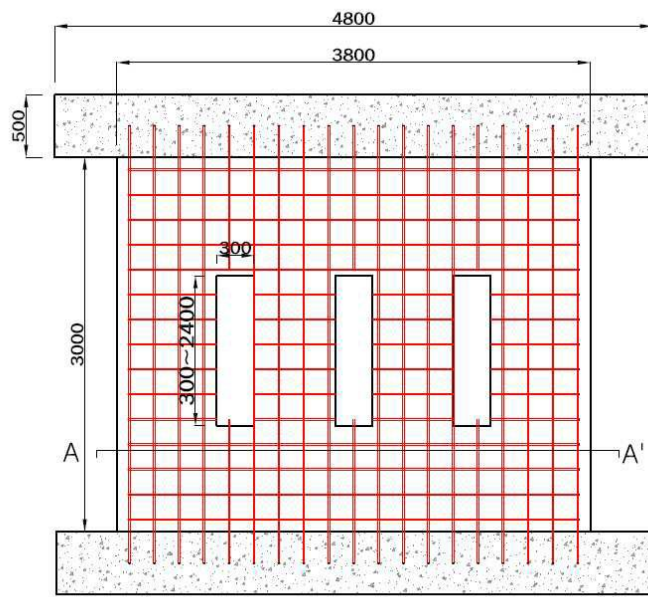


(b)

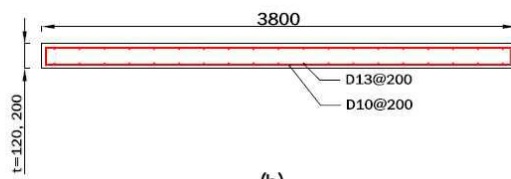


(c)

도면5

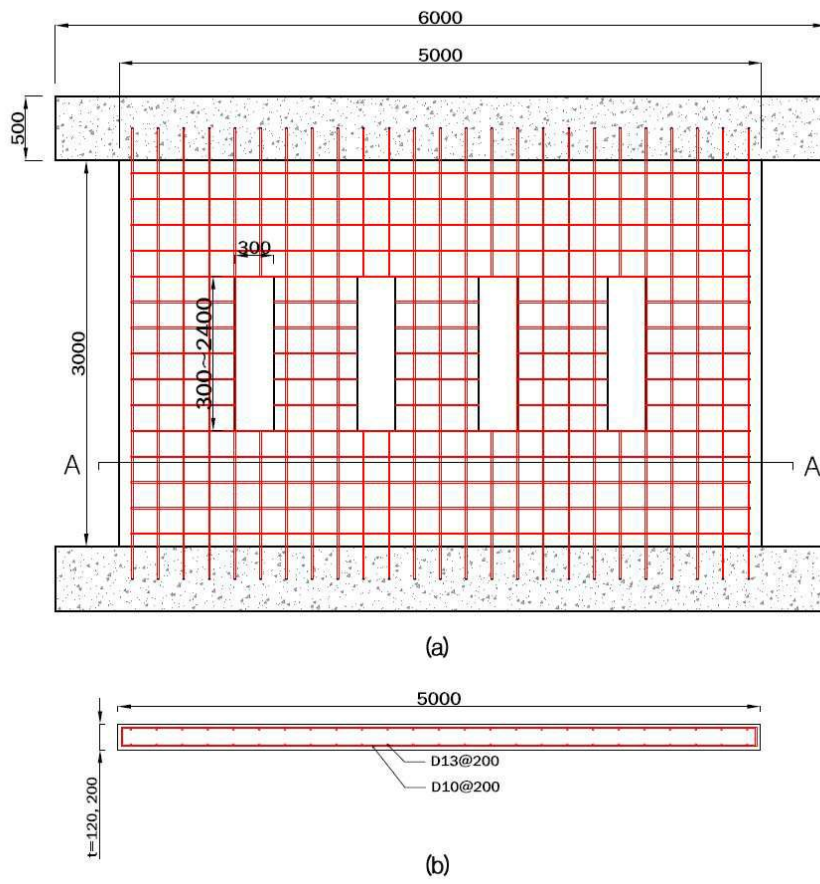


(a)

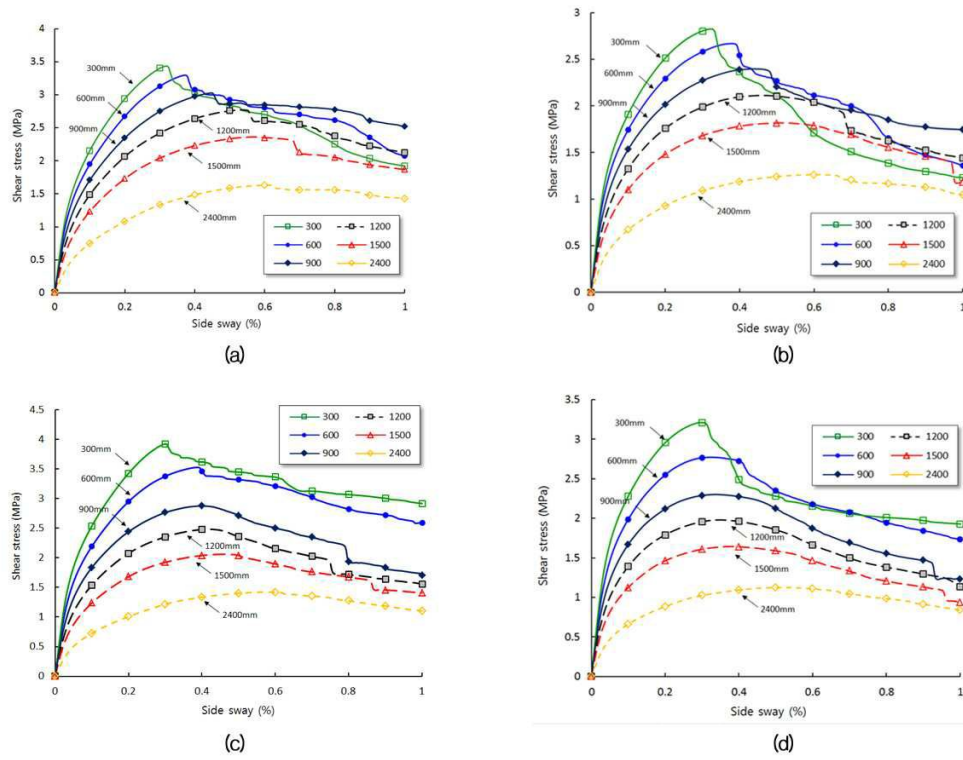


(b)

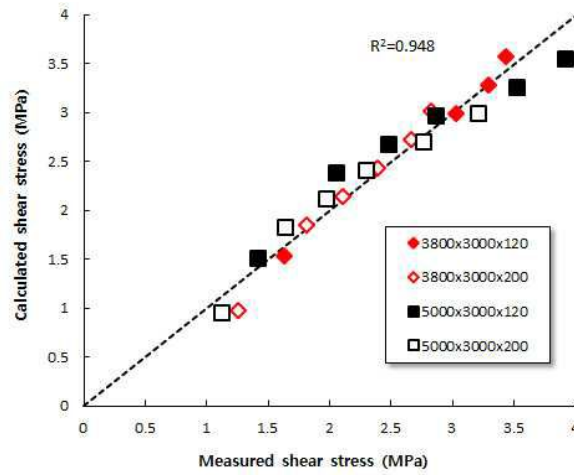
도면6



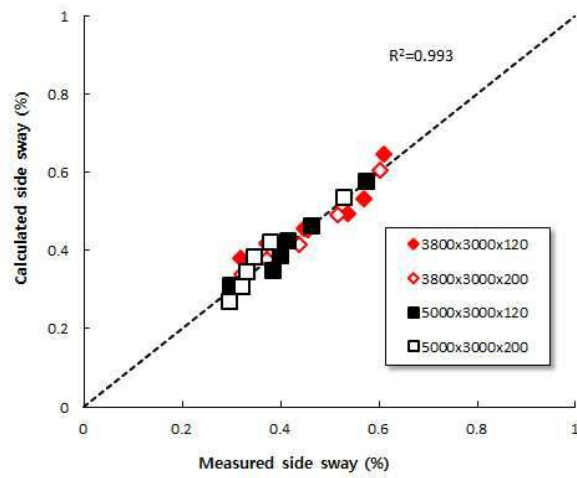
도면7



도면8



도면9



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 명세서

【보정세부항목】 식별번호22,27,63,65

【변경전】

다중회귀분석

【변경후】

다중회귀분석

【직권보정 2】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 4,6

【변경전】

다중회귀분석

【변경후】

다중회귀분석