

주변이 RC로 구속된 조적조 벽체의 내진성능향상에 관한 실험적 연구

Experimental Study for Higher Seismic Performance of Confined Masonry Wall System

김 경 태* 서 수 연** 윤 승 조** 요시무라코지*** 성 기 태****
Kim, Kyong-Tae Seo, Soo-Yeon Yoon, Seung-Joe Yoshimura, Koji Sung, Ki-Tae

ABSTRACT

In order to investigate the effect of the height of application point of lateral loads and reinforcing steel bars in walls and columns in improving the seismic behavior of confined concrete block masonry walls, an experimental research program is conducted. A total of four one-half scale specimens are tested under repeated lateral loads. Specimens are tested to failure with increasing maximum lateral drifts while a vertical axial load was applied and maintained constant. The constant vertical axial stresses applied are 0, 0.84 and 1.80MPa, while the amount of reinforcements in horizontal and vertical directions are 0%, 0.08% and 0.18% respectively. Test results obtained for each specimen include cracking patterns, load-deflection data, and strains in reinforcement and walls in critical locations. Analysis of test data showed that above parameters generate a considerable effect on the seismic performance of confined concrete block masonry walls.

1. 서론

점토와 콘크리트를 주재료로 하는 벽돌과 콘크리트블록등을 사용해 건축물의 벽체를 구성하는 조적조 건축물은 고대부터 현대에 이르기까지 세계각지에서 다수 건설되어왔다. 현재에도 특히 개발도상국에 있어서 공동 및 단독주택의 구조방식으로서 다수 설계 시공 되고 있다. 그러나, 이들 조적조벽체는 전단강도 및 인장강도가 낮다는 특징이 있기 때문에 지진이 발생함에 따라 인성에 대한 취약함과 벽체에 전단파괴가 발생해서 건축물의 전체붕괴 또는 대형파괴에 이르는 경우가 많다. 이러한 조적조건축물의 지진피해를 줄이기 위하여 내진적인 구조물을 설계·시공하는 것은 시급히 해결해야만 할 중요한 과제의 하나이다.

지진국에 있어서 대표적인 조적구조시스템중의 하나가 RC로 구속된 조적조벽체(Confined Masonry Wall, 이하 '구속조적조벽체'라 칭함)이다. 구속조적조벽체라는 것은 중남미와 중국을 포함한 동남아시아의 국가 및 동유럽국가 등의 지진국에 중저층조적조건축물로서 자주 쓰이는 공법으로, 기둥의 주철

* 정회원, 충주대학교 건축공학과 강사, 공학박사

** 정회원, 충주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

*** 정회원, 일본 오이타대학 건설공학과 교수, 공학박사

**** 정회원, 충주대학교 총장, 공학박사

근 하부를 정착시킨후에 벽돌이나 블록을 모르타르를 이용해 먼저 조적하고, 주변을 RC콘크리트로 현장타설하여 벽체를 구축시키는 공법이다.

본 연구는 콘크리트블록을 사용한 구속조적벽체의 내진거동을 실험을 통해 밝히고, 로우코스트의 내진적인 설계법의 개발을 목적으로 한다. 과거 본 연구를 수행해온 일본 오이타대학 건설공학과 구조연구실에서는 기존 연구¹⁾에서 수평하중의 가력점(반곡점 높이)이 낮은 경우에서의 벽체의 전단거동을 실험을 통해 밝혔다. 본 논문에서는 수평하중의 가력점이 높은 경우에서의 벽체내에 수평보강철근량의 차이와 축응력도의 차이가 벽체의 내진성능에 미치는 영향을 실험을 통하여 검토하는 것을 목적으로 하고 있다.

2. 실험체 및 실험방법

본 실험의 실험체를 표 1에 나타내고, 대표적인 실험체의 단면형상과 치수를 그림 1에 나타내었다. 실험은 형상비(h_0/l_0)와 수평가력점의 높이(h'), 수직철근비(p_v)가 일정한 조건하에서 수평철근비(0, 0.08, 0.18%), 축응력도

(0.84, 1.80)를 실험변수로 하여 실험을 행하였다. 여기서,

$p_h = a_h/t \cdot x_h$ (a_h : 수평보강철근의 단면적, t : 벽체의 두께, x_h : 수평보강철근의 간격)이다. 실험체는 역T형 RC조 기초에 콘크리트블록(190mm×390mm×100mm)을 조적한 후에, RC조 구속기둥에 주철근으로 D19 철근을 1개 배근하고 주변을 나선철근으로 보강한 후, 그 위에 T형보를 타설하여 제작하였다²⁾. 본 실험에서 수평보강철근을 가진 실험체는 벽체의 1단, 3

표 1 실험체 일람

실험체명	형상비 h_0/l_0	반곡점비 h'/h_0	전단스팬비 M/Qd (= h'/d)	수평철근비 p_h (%)	수직철근비 p_v (%)	축응력도 σ_0 (MPa)
(a) H0.08V0.64-LC	0.69	1.08	0.76	0.08 (H0.08)	0.64 (V0.64)	0.84 (LC)
(b) H0.18V0.64-LC				0.18 (H0.18)		
(c) H0V0.64-LC				0 (H0)		
(d) H0V0.64-HC				1.80 (HC)		

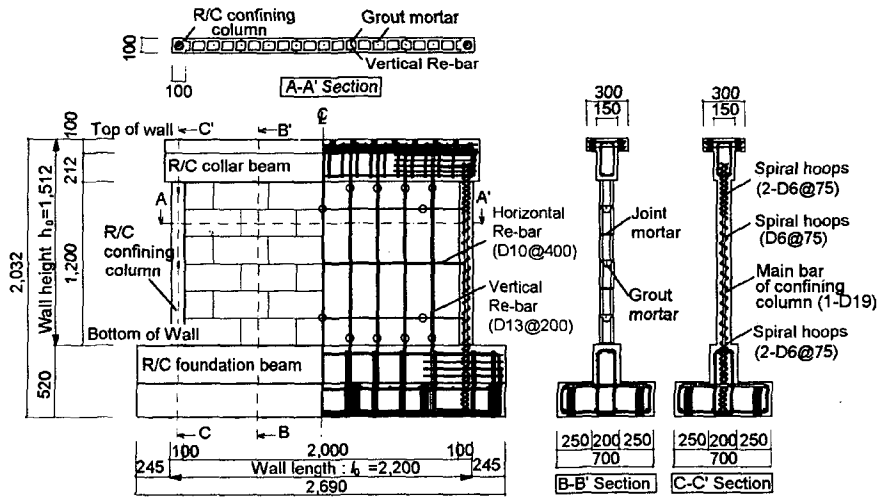


그림 1 대표적인 실험체

표 2 콘크리트·모르타르·프리즘의 압축강도

실험체명	콘크리트(MPa)		모르타르(MPa)	프리즘(MPa)
	기둥	보		
(a) H0.08V0.64-LC	30.3	26.0	49.4	18.7
(b) H0.18V0.64-LC	30.6	26.0	48.4	18.0
(c) H0V0.64-LC	28.5	26.0	42.4	18.7
(d) H0V0.64-HC	28.1	26.0	45.7	19.9

표 3 철근의 역학적 성질

철근	항복점강도(MPa)	인장강도(MPa)	연신율(%)
D6	386	505	24
D10	357	501	25
D13	352	497	27
D19	334	489	25

단, 5단에 수평철근용블록을 사용하였다. 실험체명의 "H0.08"은 수평철근비(p_h)가 0.08%인 것을 나타내며, "V0.64"는 수직철근비(p_v)가 0.64%인 것을 나타낸다. "LC"와 "HC"는 각각 축응력도가 0.84MPa와 1.80MPa인 것을 나타낸다. 실험에 사용한 재료의 역학적 성질은 표 2와 표 3에 나타내었다.

본 실험에 사용한 가력장치를 그림 2에 나타내었다. 실험체의 기초는 PC강봉을 사용해 바닥에 고정시키고, 벽체 상부의 T형보는 고장력볼트를 사용해 가력빔에 고정시켰다. 수직방향의 유압잭으로 일정수직축력을 재하하고, 수평방향의 유압잭으로 정적반복수평하중을 재하 하였다. 수평하중의 가력점 높이는 벽체의 하부로부터 실험체 높이($h_0=1,512\text{mm}$)의 108%로 하였다.

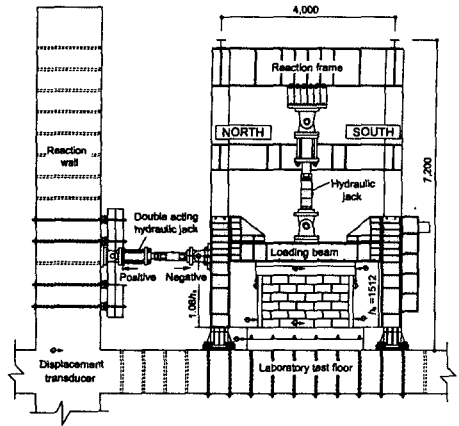


그림 2 가력장치

3. 실험결과

그림 3에 실험을 통해 얻어진 수평하중(Q)과 층간변형각(R)과의 관계 곡선을 나타내었다. 여기서, 본 실험에 있어서의 층간변형각(R)은 실험체 상부의 RC조 T형보 중앙부에 수평변위를 벽체높이(h_0)로 나눈 값이다. 또한, $\bar{\tau}$ 는 평균전단응력도($\bar{\tau}=Q/t \cdot d$)이다. 그래프 안에 $\circ \triangle \square$ 등은 각각 초기균열 및 철근등의 항복한 지점을 나타내고 있다. 그림에서의 점선은 식 1에 의해 구하여진 전단강도의 계산치(V_{su})를 나타낸다. 이때의 식 1은 구속조적조의 전단강도 산정에 대한 정확한 제안식이 없기 때문에 기존의 콘크리트블록 및 벽돌을 사용한 각종 보강조적조벽체의 전단강도의 실험치를 평균치로 평가한 것으로 검토하였다³⁾.

$$V_{su} = \left\{ k_u \cdot k_p \left[\frac{0.76}{(h/d)} + 0.012 \right] \sqrt{F_m} + 0.18 \gamma \delta \sqrt{p_h \cdot \mu \sigma_0 \cdot F_m} + 0.2 \sigma_0 \right\} t_j \cdot 10^3 \quad (1)$$

여기서, V_{su} :전단강도(kN), k_u :조적재료계수(=0.64), k_p : $1.16p_t^{0.3}$ ($p_t = a_t / (t \cdot d)$, %단위), h :실험체높이(m), d :내력벽의 수평유효길이(= $l_0 - t/2$)(m), l_0 :벽체의 길이(m), F_m :프리즘강도(MPa), γ :벽체내 수평철근 정착법에 따른 저감계수($\gamma=0.6$), δ :하중계수(=1.0), p_h :수평보강근비, μ :수평보강근의 항복점강도(MPa), σ_0 :전단면축응력도(MPa), t_j :내력벽의 두께(m), j :응력중심거리(= $(7/8)d$)(m)이다.

그림 4에 대표적인 실험체의 최종 균열 상황을 나타내었다. 실험체는 대부분이 벽체에 대각선의 전단균열이 발생하는 전후로 최대내력이 저하되는 파괴 양상을 보였다.

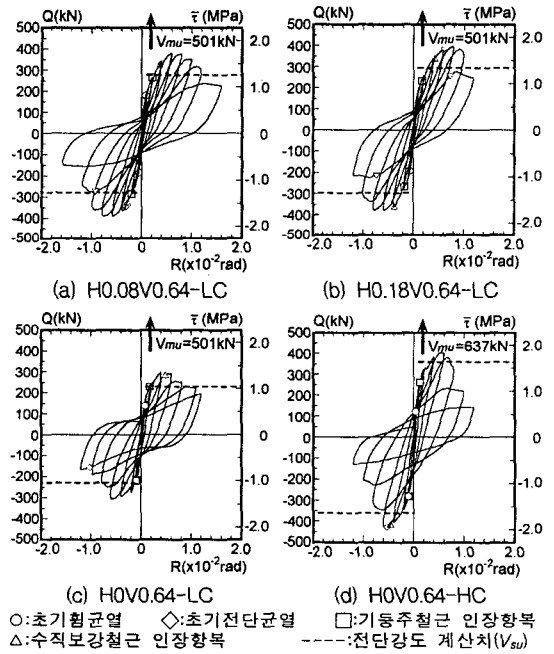


그림 3 수평하중(Q)과 층간변형각(R) 곡선

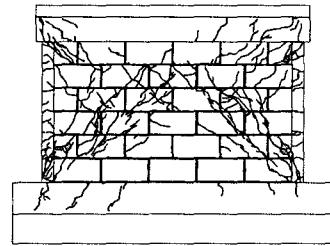


그림 4 대표실험체의 최종 균열상황도

4. 고찰

표 4 각 실험체의 계산치와 실험치

실험체	실험치		파괴 모드	계산치		예상 파괴 모드	실험치/계산치			
	최대내력 Q_{max} (kN)			휨강도 V_{mu} (kN)	전단강도 V_{su} (kN)		$\frac{Q_{max}}{V_{mu}}$		$\frac{Q_{max}}{V_{su}}$	
	정가력	부가력					①/③	②/③	①/④	②/④
	①	②		③	④					
(a) H0.08V0.64-LC	380	391	S	501	278	S	0.76	0.78	1.37	1.41
(b) H0.18V0.64-LC	396	379	S	501	295	S	0.79	0.76	1.34	1.28
(c) H0V0.64-LC	297	307	S	501	229	S	0.59	0.61	1.30	1.34
(d) H0V0.64-HC	405	418	S	637	361	S	0.64	0.66	1.12	1.16

표 4에 실험으로부터 얻어진 각 실험체의 최대내력과 기존의 식으로부터 산출한 계산치와 각각의 파괴모드를 나타내었다. 실험결과 구속조적조벽체에 기존의 전단강도식을 그대로 적용했을 때 실험치가 계산치의 1.12~1.41배로 계산치가 낮게 평가되는 것을 알 수 있다.

그림 5는 그림 3으로부터 얻어진 각각의 Q-R곡선에서 각 사이클의 최대내력을 구하고, 이것을 다시 같은 중간변형각에서의 정가력과 부가력의 평균하중을 가지고 이들 점들을 연결한 것이다. 그래프 속의 ◇는 벽체내의 내력이 상승하여 대각선의 전단균열이 발생하여 전단파괴가 일어난 지점을 나타내고 있다. 그래프에서 벽체내의 수평보강철근이 실험변수가 된 실험체 (a), (b), (c)를 비교해 보면, 수평보강근이 증가할수록 전단파괴가 일어나는 지점의 중간변형각이 크다는 것을 알 수 있다.

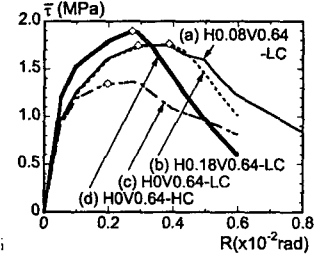


그림 5 평균전단응력과 중간변형각 곡선

또한, 수평보강근이 전혀 없는 (c)실험체에 비해 수평철근비 0.08%와 0.18%의 (a), (b)실험체가 높은 성능을 보였으나, 이들 두 실험체의 최대내력에서는 차이가 나타나지 않았다. 실험체에 작용하는 축응력도가 실험의 변수가 된 (c), (d)실험체를 비교해 보면, 높은 축응력을 받는 (d)실험체가 (c)실험체에 비해 최대내력이 높게 나타났다. 또한, 최대내력 발휘후의 내력저하에 있어서는 빠른 감소를 보이고 있다. 이들 두 실험체의 축응력도의 차이에 의한 최대내력의 차이는 표 4에서 실험체에 대한 계산치의 차이에서 비교해 볼 때 (d)실험체가 (a), (b), (c)실험체에 비해 그 범위가 낮게 분포되어 있다. 그러므로 기존의 보강조적조벽체의 전단강도 추정식을 구속조적조벽체에 적용할 때에 축응력도의 영향과 전반적으로 낮게 평가된 기존의 식에 대한 검토가 필요하다.

5. 결론

- 1) 벽체내에 수평보강철근이 증가할수록 전단파괴가 일어나는 지점의 중간변형각이 크다.
- 2) 축응력도가 높아질수록 최대내력도 높아진다.
- 3) 기존의 보강조적조벽체의 전단강도 추정식을 블록을 사용한 구속조적조벽체에 적용할 때에 전반적으로 낮게 평가된다.

참고문헌

1. 吉村浩二, 菊池健児, 黒木正幸, 劉麗珍: 水平加力点高さ, 作用鉛直軸力および壁体内補強筋が枠組積造壁体の耐震挙動に及ぼす影響に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, No.524, pp.141-148, 1999. 10.
2. 吉村浩二, 菊池健児, Oldemar Camacho, 高野浩一, 萱嶋宣雄, 増田登, Gladys Cuadros Olabe: 周辺を柱梁部材で拘束された補強コンクリートブロック壁体の地震時挙動に関する実験的研究 (その3) RC柱の拘束効果に関する実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集C分冊, pp.1041-1042, 1993. 9.
3. 松村 晃: Shear Strength of Reinforced Masonry Walls, Proceeding of 9th World Conference on Earthquake Engineering, pp.VI-121-126, Tokyo-Kyoto, 1988.