論文 包絡開口とみなされる有開口RC造耐震壁の静的載荷実験

及川 有也*1・櫻井 真人*2・西田 哲也*3

要旨:本研究では,RC 規準に記されている複数の開口を一つの包絡開口にみなす手法の評価を目的として, 開口の間隔とサイズが異なるが包絡開口とした場合に同等の耐力となる RC 造耐震壁の静的載荷実験を実施 した。その結果,開口間壁板の応力負担がほとんどない場合と,開口間壁板が耐力に寄与している場合がみ られ,現行の評価法では安全側に耐力を評価できるものの,試験体ごとに定量的な評価ができているわけで はないことが分かった。

キーワード:複数開口耐震壁,包絡開口,対角開口,静的載荷実験,せん断強度,応力計

1. はじめに

鉄筋コンクリート (RC) 造建築物において耐震壁は主 要な耐震要素のひとつであり、マンションなど幅広く用 いられているが、設計上の制約等から壁板内にドアや窓 などの開口を有する場合がみられる。現行の鉄筋コンク リート構造計算規準・同解説¹⁾(以下, RC 規準)には, 同一層に複数の開口が設けられている場合,投影高さと 投影長さを考慮した1つの等価な開口いわゆる包絡開口 に置換して終局せん断耐力を算出する設計手法が記され ているのをはじめ、構造関係技術基準解説書²⁾(以下、技 術解説書)にも包絡開口に関する算定手法が記されてい る。しかしながら、本手法の適用可否については設計者 の工学的判断に委ねられるとともに、可否の判断となる べき構造実験等の技術資料はほぼみられないのが現状で ある。一方,包絡開口を用いた場合,投影長さと投影高 さが等しいと開口面積や間隔によらず同等のせん断耐力 が算出される。しかし既往の研究 3から,同一層に開口 が複数設けられている場合、開口配置に応じて最大せん 断耐力や破壊性状に差異が生じることが明らかになって いる。このことから設計者の判断によっては包絡開口と みなした場合に実験値と計算値でせん断耐力の差異が生 じる可能性があるものの, 包絡開口とみなせる有開口耐 震壁では、元の開口の大きさや間隔の差異が最大せん断 耐力に及ぼす影響を検討した事例はほとんどない。

そこで元の開口の大きさと開口間隔が異なるものの, 包絡開口とみなすと等価なせん断耐力が算定される耐震 壁試験体の静的載荷実験を行い,元の開口形状と開口の 間隔によって最大せん断耐力の計算値と実験値との差が どのように変化し,包絡開口とみなすことができる条件 について明らかにすることを目的とする。

本報では静的載荷実験の結果から,破壊性状と合わせ て各部位での応力負担状況と,各計算式による最大せん 断耐力算定法と実験値を比較した結果を報告する。

2. 試験体概要

2.1 試験体

図-1 に各計算規基準の複数開口を一つの等価な開口 に置換する手法を、図-2 に試験体形状を、表-1 に試 験体諸元を、表-2 に鉄筋及びコンクリートの材料特性 を示す。試験体は実物大の約 1/3 スケールで一般的な 6 層程度の RC 造建物の下部を想定した連層耐震壁である。 RC 規準では投影長さと投影高さから決まる包絡開口, 技術解説書では複数の開口を一つの大きな開口で囲う包 絡開口がそれぞれ定められており,試験体 WEO1, WEO2 は RC 規準の手法で包絡開口とみなした場合,図-2 の EnvelopedOpeningModelに示すような 600mm×400mmの 開口サイズとなるよう,元の開口形状と開口間隔を変数 としたものを 2 体作成した。試験体 WEO1 は同一層に 300mm×200mmの2つの矩形開口を対角配置し,WEO2 の開口は 300×300mmの矩形開口とし開口間隔を WEO1 より大きくした。

2.2 載荷方法

試験体の載荷装置を図-3 に示す。試験体は反力床に PC 鋼棒で固定し、2本の水平ジャッキで上スタブに正負 繰り返しの加力を行う。試験体への加力は変位制御とし、 試験体上スタブ中央部での計測変位δを1層壁脚部から 変位計測位置までの高さHで除した部材角 R=δ/Hを、表 -3 の載荷サイクルに従い制御する。本論文では部材角 1/10000rad.から 1/1250rad.までの部材角区間を微小変形



*1 秋田県立大学大学院 システム科学技術研究科建築環境システム学専攻 大学院生 学士(工学)(学生会員) *2 秋田県立大学 システム科学技術学部建築環境システム学科 助教 博士(工学)(正会員)

*3 秋田県立大学 システム科学技術学部建築環境システム学科 教授 博士(工学)(正会員)



表一1 試験体語元						
	試験体		WEO1	,WEO2		
	B×D		200×20)0(mm)		
++-	主筋	WEO1,WEO2 ×D 200×200(mm) 筋 12-D13(Pg=3.8%) 筋 D6@60(Pw=0.53%) 常筋 2-D6@1120(Pw=0.27%) ×D 150×200(mm) 筋 4-D10(Pg=3.8%) ごら筋 2-D6@100(Pw=0.42%) 運厚 80(mm) 節 D6@100 千鳥(Ps=0.49) 節 D10 M/QL 1.0 05 0.16 低減率 WEO1 0.5 0.5 WEO2 0.5)			
仕土	帯筋	D6@60(Pw=0.53%)				
	式験体 B×D 主筋 帯筋 副帯筋 副帯筋 上筋 あばら筋 壁厚 縦筋 横筋 開口補強筋 パン比 M/QL 比 N/BDσ _B による低減率 裏による低減率	2-D6@120(Pw=0.27%)				
	B×D	WEO1,WEC 200×200(mm 12-D13(Pg=3.8 5 D6@60(Pw=0.5 6 2-D6@120(Pw=0.5 7 150×200(mm 6 2-D6@120(Pw=0.5 7 4-D10(Pg=3.8 5 2-D6@100(Pw=0.5 5 80(mm) 5 D6@100 千鳥(Psi 5 D6@100 千鳥(Psi 6 D6@100 千鳥(Psi 3 0.16 威率 WEO1 0.6 Kaja率 WEO1 0.5)0(mm)			
梁 	主筋	4-D10(Pg=3.8%)				
	あばら筋	2-D6@100(Pw=0.42%)				
	壁厚		80(1	nm)		
日本	縦筋	D6@100千鳥(Ps=0.4%)				
<u>"</u> "	横筋	横筋 D6@100 千鳥(Ps=0.4%)		,WEO2 0(mm) $p_g=3.8\%)$ w=0.53% $P_w=0.27$ 0(mm) g=3.8%) $P_w=0.42$ nm) 鳥(P_s=0.4 息(P_s=0.4 10 .0 16 WEO2 WEO2	4%)	
開口補強的	開口補強筋	D10				
せん断ス	パン比 M/QL		1	.0		
軸力	軸力比 N/BDσB		0.16			
RC 規準	による低減率	WEO1 0.6 WEO2 0		0.6		
技術解説	書による低減率	WEO1 0.6 WEO2 0.6 WEO1 0.5 WEO2 0.4		0.44		

表--2 材料特性

種別*1	使用部位	降伏強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)
D6	壁筋・柱梁補強筋	418.5	2.06×10^{5}
D10	梁主筋·開口補強筋	361.5	1.86×10^{5}
D13	柱主筋	469.8	1.65×10^{5}
D16	スタブ鉄筋	388.0	1.91×10^{5}
	コンクリ	ート	
WEO1	1 層	30.2	3.01×10^{4} *2
WEUI	2 層	30.3	3.00×10^{4}
WEO2	1 層	28.7	3.01×10^{4} *2
WEO2	2 層	30.3	3.00×10^{4}

*1 D6, D10(SD295A) D13(SD390) D16(SD345) *2 供試体残存本数の都合上,1体分のデータを示す

領域とする。軸力は上スタブに取り付けた二本の鉛直ジャッキによって柱軸力比 N/BDoB=0.16 に相当する一定の軸力 400kN を与えるとともに,所定のせん断スパン比 M/QL=1.0 となるよう各鉛直ジャッキを制御した。

2.3 応力測定方法

写真-1に応力計の写真と取り付けの様子を,図-4に 応力計取り付け位置を示す。応力計は既往の研究⁴で使 用した直径20mm,高さ60mmの自作応力計を使用した。 図-4の黄色で示した応力計は,壁脚部において開口直



衣 5 戦内 パイノル					
部材角 R(rad.)		計測変位 δ(mm)	サイクル数		
42	1/10000	0.21	2		
声	1/5000	0.42	2		
影	1/3333	0.63	2		
痰	1/2500	0.84	2		
後小	1/1667	1.26	2		
	1/1250	1.68	2		
1/1000		2.1	2		
1/500		4.2	2		
1/333		6.3	2		
1/250		8.4	2		
1/200		10.5	2		
1/133		15.79	1		
1/100		21	1		
1/67		31.34	1		





下とその他の部分との応力状況の差異を計測することを 意図した。また同図で、赤及び青色で示した応力計は、 壁板に形成される圧縮ストラットの応力状況を計測する ことを意図した。なお応力計の測定には方向性が有り、 青色は正載荷時の、赤色は負載荷時の応力の測定を考慮 している。取付は配筋組立時に応力計を鋼線に括り付け、 鉛直応力計は水平から 90 度、その他の応力計は水平か ら 45 度になるよう鋼線を試験体の配筋に取り付けた。

3. 実験結果

3.1 破壊性状

図-5に各試験体の最大せん断耐力を発揮したサイク



図-5 ひび割れ状況(R=1/250rad.)

ルでのひび割れ状況を,写真-2 に実験終了時の破壊状況の写真を示す。ひび割れ図は正載荷時に入ったひび割れは青で,負載荷時に入ったひび割れは赤で図示した。

試験体 WEO1 では、R=1/1667rad.以前のサイクルまで に生じた開口隅角部及び開口間壁板のひび割れが R=1/1667rad.時には1層及び2層梁まで進展した。また R=1/1667rad.の正載荷時には東側柱脚部, R=1/1250rad.の 負載荷時には西側柱脚部に曲げひび割れが生じた。 R=1/333rad.の負載荷時には開口付近の袖壁と開口間壁 板でひび割れ幅が広がり、R=1/250rad.では柱脚部にせん 断ひび割れが入り始めるとともに、1 層及び2 層の開口 間壁板に微小なひび割れが増加した。特に2層開口間壁 板は正載荷時にひび割れが集中し、コンクリートの圧壊 の兆候が確認された。R=1/200rad.の正載荷では2層開口 間壁板でスリップ破壊が,負載荷でせん断破壊が発生し, 2 層開口間壁板でコンクリートの剥落と圧壊が確認でき た。また2層開口付近の袖壁と1層開口間壁板で圧壊の 兆候がみられた後, R=1/133rad.では2層開口付近の袖壁 で圧壊がみられた。R=1/100rad.の正載荷中に面外変形が 大きくなり試験体が倒れこんだため、実験を中止した。

試験体 WEO2 では、R=1/1667rad.までに開口隅角部を 中心にひび割れが進展した。R=1/1250rad.では正載荷時 に東側柱脚部に曲げひび割れが発生し、負載荷時には西 側柱脚部の曲げひび割れが生じた。R=1/1000rad.で柱の 曲げひび割れが進行したが、WEO1と比べて柱のひび割 れは軽微なものであった。R=1/250rad.では WEO1 同様柱 の柱脚部にせん断ひび割れが生じ、開口間壁板及び開口 隅角部では微小なひび割れが増加した。また負載荷時に は開口間壁板のひび割れ幅が広がるようになった。 R=1/200rad.の正載荷で、1 層及び2 層開口間壁板で西側 開口下部から東側開口上部にかけてのせん断ひび割れ, 開口隅角部と開口間壁板中央部でのコンクリートの剥落 が生じ、圧壊の兆候がみられた。負載荷では1層及び2 層開口間壁板がせん断破壊し、コンクリートの圧壊が発 生した。R=1/133rad.の正載荷でも、1 層及び2 層開口間 壁板でせん断破壊に至るとともに開口間壁板の圧壊が進 行した。1層及び2層西側開口付近の袖壁で圧壊の兆候



写真-2 最終破壊状況(載荷終了時)

がみられ, R=1/100rad.では西側開口付近の袖壁が圧壊した。R=1/67rad.の正載荷中に面外変形大きくなったため 実験を中止した。

WEO1とWEO2を比較して,WEO1ではR=1/3333rad. で確認できた開口間のひび割れは,WEO2はR=1/1250rad. で確認できた。同様に,WEO1のR=1/1667rad.で確認で きた柱脚部の曲げひび割れがWEO2で確認できたのは R=1/1250rad.時であり,WEO1と比較すると大きな部材 角でひび割れが発生する結果となった。またWEO1は正 載荷ではスリップ,負載荷ではせん断破壊が生じ,2層 開口間壁板を中心に破壊が進行した後に2層袖壁及び1 層開口間壁板での圧壊が発生したのに対し,WEO2の場 合破壊は、1層及び2層開口間壁板では圧縮ストラット に基づいたせん断破壊が生じた後に、1層及び2層袖壁 での圧壊が発生した。

3.2 履歴特性

各試験体の荷重-部材角関係を図-6に示す。

試験体 WEO1 は,正載荷では R=+1/250rad.の1サイク ル目で最大せん断耐力+567.5kN を記録し,R=+1/200rad. では+0000kN で,最大せん断耐力と比較して 8%程せん 断耐力が低下した。負載荷では R=-1/250rad.の1サイク ル目で-539.0kN を記録し,R=-1/200rad.の1サイクル目 では-535.0kN とほぼせん断耐力低下がみられず,正載荷 と比べてもほぼせん断耐力低下がみられなかった。

試験体 WEO2 は,正載荷では R=+1/250rad.の1 サイク ル目に+526.0kN を記録した。R=+1/200rad.の1 サイクル 目では+484.0kN と最大せん断耐力と比較して 8%程せん 断耐力が低下した。負載荷では R=-1/250rad.の1 サイク ル目で-475.5kN を記録し, R=-1/200rad.の1 サイクル目 では-452.0kN で 5%のせん断耐力低下で,WEO1 と同等 に負載荷の耐力低下は小さい傾向が見られた。

3.3 終局せん断耐力との比較

表-4に RC 規準,技術解説書及び圧縮ストラットの仮 定に基づくストラット式⁵によるせん断耐力計算値Qsuと 実験値Qexpの結果及び計算値と実験値の比率Qsu/Qexpを 示す。耐力算定に用いるコンクリートの一軸圧縮強度は, 値の小さな方で耐力が決まると考え1層の値を用いた。 終局曲げ耐力Qmuの算定は,終局せん断耐力が終局曲げ



図-1	ストラット式で	反定した壁板に形成されるストラット形物
	表-4	実験値と計算値の比較

封殿休	実験値 Qexp 平均値		RC 規準		技術解説書		ストラット式 Qsu3		
武歌伴	正載荷	負載荷	Qave	低減率 rı	Q_{su1}	低減率 r2	Qsu2	正載荷	負載荷
WEO1	567.5	539.0	553.3	0.60	456.5 (0.83)	0.5	381.7 (0.69)	528.5 (0.93)	571.3 (1.06)
WEO2	526.0	475.5	500.8	0.60	445.4 (0.89)	0.44	331.0 (0.66)	598.3 (1.14)	562.7 (1.18)

※単位は kN ※()内は計算値と実験値の比率 Qsu/Qexp ※コンクリートの一軸圧縮強度は1層の値を使用

耐力より小さくなることを確認し、せん断先行破壊型で あったことから省略する。包絡開口に置換した場合、RC 規準の開口低減率r1は等価開口周比による低減率で決ま るため、本論文では式(2)のみを示す。低減率の算定につ いても1層における開口低減率riを終局せん断耐力式Qsu に乗じて算定した。なお1はRC規準では側柱の外側まで の長さに対して技術解説書は柱中心間距離であり、h は RC 規準では試験体脚部から梁上までの高さに対して技 術解説書では試験体脚部から梁上までの高さに対して技 術解説書では試験体脚部から梁中心までの高さである点 に注意されたい。ストラット式(式(4)及び式(5))は文献 5)を参考に仮定した図-7に示すストラット形状をもと に算定を行った。なお、式中のその他記号については各 参考文献を参照されたい。

〈終局せん断耐力〉¹)

$$Q_{sui} = r_i \left\{ \frac{0.068 p_{te}^{0.23}(F_c + 18)}{\sqrt{M/(Q \cdot D) + 0.12}} + 0.85 \sqrt{\sigma_{wh} \cdot p_{wh}} + 0.1 \sigma_0 \right\} t_e j_e \tag{1}$$

<低減率-RC 規準>1)

$$r_1 = 1 - 1.1 \sqrt{\frac{h_{op} l_{op}}{hl}} \tag{2}$$

<低減率-技術解説書>3)

$$r_2 = 1 - \max\left\{\sqrt{\frac{h_o l_o}{hl}}, \frac{l_o}{l}, \frac{h_o}{h}\right\}$$
(3)

$$Q_{wi} = v \cdot \cos \theta_i \cdot \sin \theta_i \cdot 0.5 l_{pi} \cdot t_i \tag{4}$$

$$Q_{su3} = \sum_{i=1}^{n+1} Q_{wi}$$
(5)

算定結果から, RC 規準及び技術解説書とも式(1)を用 いて終局せん断耐力を算出するものの,開口の処理方法 や低減率の算定式が異なるため算定値が異なった。また 両算定式とも載荷方向によらず同じせん断耐力になるが, ストラット式では載荷方向で異なる算定値が得られた。

RC 規準による算定値 Q_{sul} では、元の開口面積が違う が包絡後の開口が等しく評価されるため、WEO1 と WEO2 でほぼ同じせん断耐力を与えており、実験値のよ うな最大せん断耐力の差異を表現できない。Q_{sul} による 算定では、WEO1 は 100kN、WEO2 は 50kN 程低い計算 値となり、実験値を安全側に評価する結果となったが、 WEO1 の開口形状では過小評価することとなった。

技術解説書による算定値 Q_{su2}では, WEO1 と WEO2 で 包絡後の開口形状が異なるためせん断耐力差を再現でき, 安全側に評価するものの,実験値と比較し 200kN 程のせ ん断耐力差となり,実験値を過小評価する結果となった。

ストラット式による算定 Q_{su3}の場合,WEO1の正載荷 では文献5)で想定されていない開口配置のため開口間壁 板ではせん断力の負担がない想定となるものの,算定精 度が良い結果となった。しかし,その他の箇所では実験 との対応が悪く,危険側に評価することになった。これ は文献5)にあるように,ストラット式は対角開口におい て算定精度が低くなる傾向があり,本実験のような開口 パターンに対する精度向上が課題といえる。

3.4 壁板内応力

図-8に1層壁板内の応力計と同位置のコンクリート 表面に張り付けた3軸ゲージによる各サイクルピーク時



の応力度-サイクル関係を示す。この項ではストラット 式で仮定される壁板内の圧縮ストラットにおける応力伝 達性状を確認することを目的としている。応力計の取付 精度の都合上,取り付け部位の主応力方向と実際の取り 付け方向とは誤差がある可能性があるため,本項では 3 軸ゲージより算出される主応力方向を基に応力計測定方 向の応力度について考察することとした。なお同図には 左側に実験終了時までの結果を,右側に微小変形領域付 近である R=1/1000rad.までのサイクルの結果を示す。ま た同図では正側を引張,負側を圧縮とする。

応力計と3軸ゲージによる最小主応力を比較すると, 試験体WEO1の西側開口上部やWEO2の開口間壁板で は微小変形領域までおおよそ近似している。また載荷サ イクルの増加とともに3軸ゲージと応力計の値に解離が 生じているが,これはひび割れの増加に伴い3軸ゲージ が剥がれるため,測定結果が不安定になると考えられる。 特にWEO2の開口間にある正載荷方向の応力計は R=1/1250rad.以降3軸ゲージとの対応が悪く,その傾向 が顕著といえる。一方,WEO2の西側開口上部や両試験 体の東側開口上部では,応力度の値が異なるものの圧縮 応力度の増加傾向は一定で推移していることから,応力 計設置方向と作用主応力方向にズレがあると考えられる。

開口間と開口上部の応力計を比較すると、WEO1の開 口間の正負方向の応力計では、ともに応力度が小さいこ とが確認できる。これは測定箇所の壁板面積が小さいた め、応力が伝達されにくいものと考えられる。また各箇 所の応力推移は、載荷サイクルの進行に伴い圧縮応力度 が増加していることがわかる。しかし載荷方向別で応力 度状況を比較すると、正載荷より負載荷での載荷サイク ルの進展に伴う圧縮応力度の漸増傾向が小さく、負載荷 の最大せん断耐力が低くなった要因だと推察される。

3.5 脚部応力度分布

図-9に1層脚部の応力計の鉛直応力度および鉄筋の ひずみゲージから換算した応力度分布を示す。

載荷初期である R=1/5000rad.では、両試験体とも開口 下部でわずかに応力が小さくなるものの左肩下がりの分 布性状を示しており、開口配置によらず一枚壁のように 壁板全体で曲げモーメントを負担していると推察される。

R=1/1000rad.以降のサイクルをみると試験体 WEO1 で は正載荷時には西側柱と西側袖壁,東側柱と東側袖壁で 圧縮-引張関係になっていることから脚部で曲げモーメ ントを負担している。一方,正載荷時には試験体中央部 で引張力が働いているものの,それぞれの開口下部では 応力度が 0N/mm² に近い値を示している。これは既往の 研究 ³⁾から,有開口耐震壁は,袖壁付柱,中央壁板およ び側柱それぞれの部分が開口領域を挟んで独立に曲げモ ーメントを負担する傾向と同様である。しかし,負載荷 時にはいずれのサイクルにおいても試験体中央部に応力



度が作用しておらず,開口間で曲げモーメントを負担し ていないことが推察される。3.4 節で WEO1 の開口間壁 板で応力が伝達されにくい傾向がみられたこと,脚部の 応力性状は正負載荷方向で圧縮側袖壁での差異がみられ るものの,引張側袖壁では差異がなく,負載荷で開口間 壁板の曲げモーメントが負担されていないことから,開 口間隔が最大せん断耐力に影響していると考えられる。

一方,WEO2では正載荷,負載荷ともに西側柱と西側 袖壁,開口間壁板,東側柱と東側袖壁で圧縮-引張関係 であり,それぞれで曲げモーメントを負担していること がわかる。試験体の結果を比較すると,WEO2の正載荷 時の圧縮側脚部で負担している曲げモーメントがWEO1 より高くなっているほか,載荷方向によらず開口間壁板 での曲げモーメントの負担はWEO2がWEO1より大き いことが確認できる。しかし引張側脚部での負担はいず れもWEO2の方が小さい。WEO2の開口間壁板は袖壁と 同等の長さがあることから,WEO1より開口間壁板が負 担するせん断耐力の割合は大きいものと推察される。

4.まとめ

本研究では RC 規準において等価な開口とされる包絡 開口試験体 WEO1, WEO2 の静的載荷試験を実施した。 その結果,明らかになったことを以下に示す。

- (1) 開口間隔の狭い試験体 WEO1 では、2 層開口間壁板 がスリップ破壊の様相を呈した後に、2 層袖壁及び 1 層開口間壁板の順で圧壊が卓越したのに対し、間 隔の広い試験体 WEO2 では、1 層及び2 層開口間壁 板でせん断破壊がみられた後、1 層及び2 層袖壁の 順でコンクリートの圧壊がみられた。
- (2) 終局せん断耐力を実験値と算定値で比較した結果, RC規準により包絡開口にみなす場合は実験値に対して安全側の評価となるものの,開口間隔の狭い WEO1では実験値を過小評価する結果となった。一 方,ストラット式による算定結果は既往文献で想定 されていない開口配置であったこともあり,算定精

度に課題が残った。

(3) 壁板及び壁脚部の応力状況によると,載荷初期は壁板全体で曲げモーメントを負担する傾向を呈したが,載荷サイクルの進展に伴い個々の袖壁及び開口間壁板が曲げモーメントを負担する傾向に変化した。しかし試験体WEO1では,開口間壁板で応力が伝達されにくい傾向がみられたこと,試験体脚部では負載荷時に開口間壁板の曲げモーメントが負担されていないことから,開口間隔が最大せん断耐力に影響していると考えられる。

以上の考察から, RC 規準の手法で包絡開口として評価すると実験結果を過小評価する場合があるため,包絡開口置換に関する定量的な手法の構築が必要である。

謝辞

本研究は, JSPS 科研費(JP17K14759)の助成を受けたものである。ここに謝意を表します。

参考文献

- 日本建築学会:鉄筋コンクリート構造計算規準・ 同解説書,2010
- 国土交通省国土技術政策総合研究所ほか:2015 年版建築物の構造関係技術基準解説書 2016 年追 補収録版
- 3) 鈴木健太,秋田知芳,松本智哉,倉本洋:複数開 口を有する RC 造有開口耐震壁の静的載荷実験, コンクリート工学年次論文集,第 29 巻第 3 号 pp.325-330, 2007.7
- 櫻井真人,千葉幸大,三浦翔大,小林淳,尾形芳 博,相澤直之:微小変形領域における RC 造耐震 壁の非線形性に関する検討(その 10) 有開口耐震 壁試験体と応力計の概要,日本建築学会学術講演 梗概集 2017(構造 II), pp.1141-1142, 2017.8
- 5) 櫻井真人, 倉本洋, 松井智哉: 複数開口を有する RC 造耐震壁のせん断強度算定法, 日本建築学会 構造系論文集, Vol.77, No679, pp.1445-1453,2012.9