

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 23 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420553

研究課題名(和文) ひび割れが目立たないRC系耐震壁の開発

研究課題名(英文) Development of earthquake resistant wall with crack preventing capacity

研究代表者

中原 浩之 (NAKAHARA, Hiroyuki)

長崎大学・工学研究科・教授

研究者番号：60315398

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、地震時にひび割れが発生しにくい壁部材の開発であり、九州大学の崎野らが開発した「制振壁」に含まれるCFT短柱の実験と、「制振壁」よりも優れた施工性とひび割れ制御性能を有する新しい耐震壁の提案である。前者は、極短柱のCFT試験体を合計28体作成し、一定軸力下における繰返しせん断力を載荷する実験を実施した。実験では、CFT柱のせん断性状を調べることができた。後者は、合計10体の試験体の作成ののち、一定軸力下における繰返し水平力を与えた。本研究で開発した壁脚部に水平スリットを有する新しい耐震壁は、安定した紡錘形の荷重-変形関係を有するとともに、壁面のひび割れを抑制できることが分かった。

研究成果の概要(英文)：This research includes two experimental works for developing the earthquake resistant wall with crack preventing capacity. One is Concrete Filled Steel Tubular (CFT) short columns which are used in energy dissipating structural walls (EDSWCs) proposed by Sakino in 2004. The other is new proposal of the earthquake resistant wall. Tests were carried out on twenty-eight specimens of the square and rectangular CFT columns with shear span ratio under 1.0. Also ten wall specimens were tested. They were subjected to cyclic lateral force under constant axial force. CFT specimens showed ductile behaviors even though they failed in shear before flexural yielding. The load vs. deformation relations of wall specimens showed stable manner without apparent cracks.

研究分野：建築構造

キーワード：耐震壁 ひび割れ CFT短柱 曲げ耐力 せん断耐力

1. 研究開始当初の背景

耐震壁の役割は、低層の建物の場合、大きな水平耐力と水平剛性により地震力に抵抗することである。一方で、これが中・高層の建物に適用された場合は、どのような役割を負担させるのが望ましいのであろうか。九州大学の崎野ら（共同研究者に中原浩之を含む）は、科研費基盤（B）と（A）の助成を受け、平成15年度から7カ年にわたり、鋼・コンクリート合成構造の履歴ダンパー内蔵型連層耐震壁の構造性能について調査してきた。これを「制振壁」と呼び、その優れた耐震性能を実験により示してきた。本研究は、この7年間の研究成果の基、合成構造の連層耐震壁の設計に必要な短いコンクリート充填鋼管（CFT）柱の履歴挙動を実験的に採取することと、この壁をより簡素化して施工性を改善しつつ、小さい曲げモーメントで降伏させてひび割れの進展を抑制するRC系連層耐震壁の開発を目指す。

図1の崎野の「制振壁」は、壁脚と壁頭がコンクリート充填鋼管（CFT）短柱により作成されている。このようなプロポーションとなると、CFT柱といえどもせん断破壊することが危惧される。そこで28体の長方形と正方形断面のCFT試験体を作成し、繰返し曲げせん断荷重実験を実施する。これにより、ひび割れ制御機能を有する「制振壁」の利用をさらに促進できる。

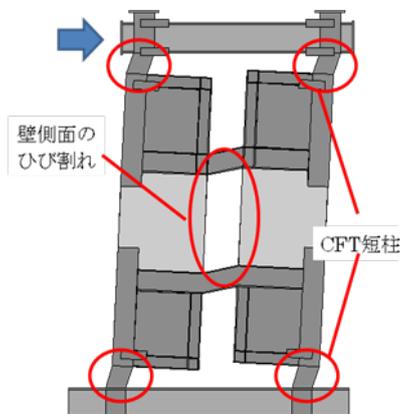


図1 「制振壁」試験体の形状

次に、「制振壁」の考え方をそのままにさらに簡便な施工性をもつ図2のRC系の耐震壁を開発する。新しく提案する「ひび割れ制御型連層壁」の外観上の特徴は、柱形を持たず、壁脚部にスリットがあることである。これにより、曲げ耐力と曲げ剛性を下げ、壁部のせん断余裕度を大きくしている。さらにコンクリートの圧縮抵抗が減じられているため、中立軸位置が従来の耐震壁よりも中央寄りに移動する。このことにより、耐震壁で観測される材軸方向への伸びとそれに伴う壁上部へのひび割れの進展が抑制される。また、内蔵されているアンボンド鉄筋と、露出鉄筋

にそれぞれ異なる機能を持たせていることに特徴がある。アンボンド鉄筋は、ある程度の変形(1/100)が起こっても弾性に留まり、壁の曲げ剛性を保つ役割を持つ。また、アンボンド筋は、大きめのシース管を通すことにより弾性座屈を起こさせて、圧縮応力を引張応力よりも小さくし、結果的に壁部材としての中立軸位置を断面中央に移動させる効果を持つ。一方で、露出鉄筋は早期(1/400)に降伏してエネルギー吸収要素として機能する。

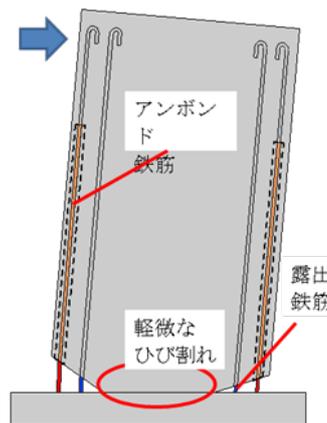


図2 提案した壁試験体の形状

2. 研究の目的

研究目的は次の2つである。1) この「制振壁」の設計上必要となるCFT短柱の基礎的挙動に関するデータを供与する、

2) この「制振壁」の考え方をそのままにさらに簡便な施工性をもつRC系の連層耐震壁を開発する。

コンクリート充填鋼管（CFT）構造の短柱のせん断破壊実験を実施して、これの荷重-変形関係を明らかにし、CFT短柱のせん断設計法を確立する。また、このCFT短柱を履歴ダンパーとして用いた構造形式を提案して、これの地震応答性状について調べる。

3. 研究の方法

本研究は、2つの実験より成る。実験は、試験体に一定軸力下で繰返し水平力を載荷するもので、柱や壁の構造実験としては一般的なものである。

(1) 試験体 (2) 油圧ジャッキ (3) ロードセル (4) 油圧試験機

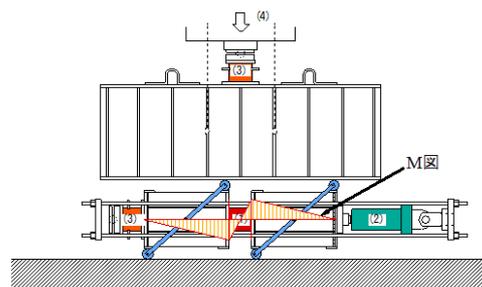


図3 CFT試験体用加力装置

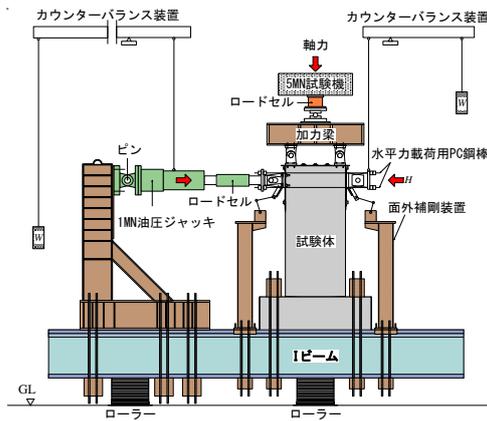


図4 壁試験体用加力装置

実験装置は、CFT 試験体については、大野式を参照した図3の装置を使用した。壁試験体については図4の建研式加力装置を用いた。実験の荷重-変形関係に基づき、耐力と変形性能の評価法を提案する。

4. 研究成果

表1に28体のCFT試験体の実験の最大耐力 Q_{max} とその計算値 Q_{su} を一覧にしたものを載せる。

表1 CFT 短柱試験体の実験結果

試験体	実験最大耐力 Q_{max} (kN)	終局せん断耐力 Q_n (kN)	曲げ耐力時せん断力 Q_h (kN)	Q_n/Q_h	Q_{su}/Q_n	ave
RS15-1	231	275	367	0.75	0.84	0.88
RS15-2	241	274	366	0.75	0.88	
RS15-3	266	323	496	0.65	0.82	
RS15-4	255	331	509	0.65	0.77	
RS15-5	242	266	365	0.73	0.91	
RS15-6	224	266	365	0.73	0.84	
RS15-7	214	269	370	0.73	0.80	
RS15-8	217	270	371	0.73	0.80	
RS15-9	257	238	310	0.77	1.08	
RS15-10	226	244	320	0.76	0.93	
RS15-11	259	267	366	0.73	0.97	
RS15-12	251	276	380	0.73	0.91	
RS15-13	247	278	384	0.72	0.89	
RS20-1	391	503	693	0.73	0.78	0.75
RS20-2	382	507	700	0.72	0.75	
RS20-3	368	508	702	0.72	0.72	
SS15-1	488	443	762	0.58	1.10	1.13
SS15-2	483	450	781	0.58	1.07	
SS15-3	489	455	793	0.57	1.07	
SS15-4	525	431	670	0.64	1.22	
SS15-5	529	444	718	0.62	1.19	
SS15-6	509	446	723	0.62	1.14	
SS15-7	495	418	711	0.59	1.18	
SS15-8	483	431	743	0.58	1.12	
SS15-9	466	436	754	0.58	1.07	
RW15-1	185	167	299	0.56	1.11	1.07
RW15-2	179	170	306	0.56	1.05	
RW15-3	180	171	306	0.56	1.05	
全試験体ave.						0.97

実験最大耐力 Q_{max} は終局曲げ耐力に達しておらず、全試験体は、せん断破壊が先行した

と考えられる。せん断スパン比 a/D が 0.73 を下回る角形 CFT 柱は、せん断破壊により最大耐力が決定され、この評価法を検討する必要があることが示された。また、CFT 指針により算定した終局せん断耐力 Q_{su} は長方形断面を有し強軸曲げ方向にせん断力を受ける RS 試験体の結果については平均 18% の危険側の判定となった。正方形断面を有する SS 試験体と長方形断面を有し弱軸曲げ方向にせん断力を受ける RW 試験体の結果についてはそれぞれ平均 13% と 7% で安全側に評価できた。

図5に、A-685-0.10 と S-685-0.25 の2体の壁試験体を抜粋して、実験より得られた荷重-変形関係を示す。図5の縦軸は、水平力 H (kN) で、横軸は、部材角 R (1/100rad.) である。図中には、壁脚の曲げ耐力により算定された水平耐力 Q_f が図中の緑の水平線で示されている。一方、同図では、日本建築学会「鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説」の壁のせん断終局強度 Q_{sl} と柱および梁のせん断終局強度 Q_{s2} による耐力評価も併せて行われている。

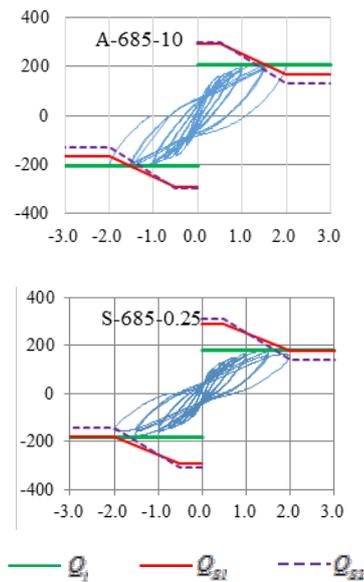


図5 せん断力 Q -部材角 R 関係

試験体の最大耐力は、壁脚の曲げ耐力により算定された水平耐力 Q_f により精度よく評価されていることが分かる。これは、上記以外のすべての試験体についていえることで、全体の実験と計算の比は平均で、1.03 となった。一方で、部材角が 2.00/100rad. より大きい場合に限り曲げ耐力時のせん断力がせん断耐力を上回るケースがみられた。

また、図6に A-685-0.10 と S-685-0.25 の試験体の最終的な損傷状況をスケッチしたものを示す。図6より、各試験体とも損傷領域は壁脚部に収まっており、壁板上部は健全な状態を保持していることが分かる。設計上の変形のクライテリアとして設定した

R=1.00/100rad. 時における各試験体のひび割れ性状を観測したところ、顕著なひび割れは観測されておらず、壁試験体は想定通りの損傷制御性能を有しているといえる。

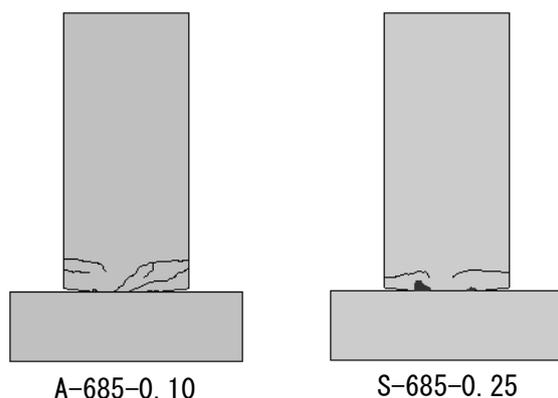


図 6 壁試験体用加力装置

ここで、図 5 を再び見てみる。従来の連層耐震壁であれば、せん断余裕度が 1 を下回る耐震壁においては部材角の増加に伴い水平力が低下する場合がある。しかし、本研究の試験体においては、部材角 $R=0.5/100\text{rad}$. 以降であっても水平力の低下が見られず、履歴曲線は安定したループを示した。このことは次のように考察できる。図 6 に示すように提案耐震壁は、損傷領域が拡大しない。したがって、従来の RC 部材のようにヒンジ領域のせん断耐力低下を考慮せず設計できる可能性がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① 陳瑞涵, 中原浩之, 大野敦弘, 小田鈴夏: 角形断面を有するコンクリート充填鋼管短柱の正負交番せん断力載荷実験, 長崎大学大学院工学研究科研究報告, 47(88), pp. 47-53; 2017 年 1 月, 査読無.
- ② 田中裕紀, 松木貴志, 中原浩之: 損傷制御機能を有する鉄筋コンクリート造連層耐震壁の水平耐力評価に関する研究, 長崎大学大学院工学研究科研究報告, 47(88), pp. 54-60; 2017 年 1 月, 査読無.
- ③ 中原浩之, 富松輝彦: 長方形断面を有する CFT 柱のせん断性状に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 37, No. 2, pp. 1033-1038, 2015 年 7 月, 査読有.

[学会発表] (計 16 件)

- ① 田中裕紀, 中原浩之: 壁脚部にスリットを有する RC 造耐震壁の耐力評価に関する研究, 日本建築学会研究報告, 九州支部. 1, 構造系,

第 56 号, pp.437-440, 2017.03.05 (発表地: 長崎県長崎市, 長崎大学)

- ② 陳瑞涵, 中原浩之, 大野敦弘: せん断破壊が先行するコンクリート充填鋼管短柱の弾塑性性状, 日本建築学会研究報告, 九州支部. 1, 構造系, 第 56 号, pp.517-520, 2017.03.05 (発表地: 長崎県長崎市, 長崎大学)
- ③ 陳瑞涵, 中原浩之, 大野敦弘: データベースを用いたコンクリート充填角形鋼管短柱のせん断耐力の検討, 日本建築学会研究報告, 九州支部. 1, 構造系, 第 56 号, pp.521-524, 2017.03.05 (発表地: 長崎県長崎市, 長崎大学)
- ④ 田中裕紀, 中原浩之, 鎌田健斗, 窪寺弘頭: 損傷制御型 RC 造連層耐震壁の開発に関する基礎的研究 (その 1 実験概要), 日本建築学会研究報告, 九州支部. 1, 構造系, 第 55 号, pp.529-532, 2016.03.01 (発表地: 沖縄県中頭郡西原町字, 琉球大学)
- ⑤ 中原浩之, 田中裕紀, 鎌田健斗, 窪寺弘頭: 損傷制御型 RC 造連層耐震壁の開発に関する基礎的研究 (その 2 実験および解析結果), 日本建築学会研究報告, 九州支部. 1, 構造系, 第 55 号, pp.533-536, 2016.03.01 (発表地: 沖縄県中頭郡西原町字, 琉球大学)
- ⑥ 陳瑞涵, 中原浩之, 富松輝彦, 窪寺弘頭, 武田良太, 大野敦弘: 長方形と正方形断面をもつ CFT 短柱のせん断性状に関する実験的研究 (その 1 実験の方法と結果), 日本建築学会研究報告, 九州支部. 1, 構造系, 第 55 号, pp.561-564, 2016.03.01 (発表地: 沖縄県中頭郡西原町字, 琉球大学)
- ⑦ 中原浩之, 陳瑞涵, 富松輝彦, 窪寺弘頭, 武田良太, 大野敦弘: 長方形と正方形断面をもつ CFT 短柱のせん断性状に関する実験的研究 (その 2 実験結果の考察), 日本建築学会研究報告, 九州支部. 1, 構造系, 第 55 号, pp.565-568, 2016.03.01 (発表地: 沖縄県中頭郡西原町字, 琉球大学)
- ⑧ 富松輝彦, 柳井雄斗, 中原浩之, 窪寺弘頭: 繰返しせん断力を受ける長方形 CFT 短柱のせん断破壊実験 (その 1 実験試験体), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1393-1394, 2015.09.04 (発表地: 兵庫県神戸市, 神戸大学)
- ⑨ 柳井雄斗, 富松輝彦, 中原浩之, 窪寺弘頭: 繰返しせん断力を受ける長方形 CFT 短柱のせん断破壊実験 (その 2 実験結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1395-1396, 2015.09.04 (発表地: 兵庫県神戸市, 神戸大学)
- ⑩ 中原浩之, 鎌田健斗, 脇岡幸輝, 窪寺弘頭: 高強度鉄筋を用いたひび割れ制御型 RC 造連層耐震壁に関する開発研究 (その 1 実験計画), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.287-288, 2015.09.04 (発表地: 兵庫県神戸市, 神戸大学)
- ⑪ 鎌田健斗, 中原浩之, 脇岡幸輝, 窪寺弘頭: 高強度鉄筋を用いたひび割れ制御型 RC 造連層耐震壁に関する開発研究 (その 2 実験結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.289-290, 2015.09.04 (発表地: 兵庫県神戸市, 神戸大学)
- ⑫ 脇岡幸輝, 中原浩之, 鎌田健斗, 窪寺弘頭: 高強度鉄筋を用いたひび割れ制御型 RC 造連

- 層耐震壁に関する開発研究(その3解析結果),
日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.291-292,
2015.09.04 (発表地:兵庫県神戸市, 神戸大学)
- ⑬ 澁上陽介, 鎌田健斗, 甲野裕貴, 中原浩之,
窪寺弘顕: ひび割れ制御性能を有する RC 造
連層耐震壁の開発に関する基礎的研究 (その
1 実験概要), 日本建築学会研究報告, 九州支
部. 1, 構造系, 第 54 号, pp.533-536, 2015.03.01
(発表地: 熊本県熊本市, 熊本大学)
- ⑭ 鎌田健斗, 澁上陽介, 甲野裕貴, 中原浩之,
窪寺弘顕: ひび割れ制御性能を有する RC 造
連層耐震壁の開発に関する基礎的研究 (その
2 実験結果), 日本建築学会研究報告, 九州支
部. 1, 構造系, 第 54 号, pp.537-540, 2015.03.01
(発表地: 熊本県熊本市, 熊本大学)
- ⑮ 甲野裕貴, 澁上陽介, 鎌田健斗, 中原浩之,
窪寺弘顕: ひび割れ制御性能を有する RC 造
連層耐震壁の開発に関する基礎的研究 (その
3 解析的考察), 日本建築学会研究報告, 九州
支部. 1, 構造系, 第 54 号, pp.541-544,
2015.03.01 (発表地: 熊本県熊本市, 熊本大学)
- ⑯ 富松輝彦, 中原浩之, 窪寺弘顕: コンクリー
ト充填長方形鋼管短柱のせん断破壊を観察す
るための予備的実験, 日本建築学会研究報告,
九州支部. 1, 構造系, 第 54 号, pp.573-576,
2015.03.01 (発表地: 熊本県熊本市, 熊本大学)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中原 浩之 (NAKAHARA, Hiroyuki)

長崎大学・工学研究科・教授

研究者番号: 60315398