

研究種目：基盤研究 A

研究期間：2006～2009

課題番号：18206060

研究課題名（和文） 次世代合成構造建築の開発

研究課題名（英文） Development of Composite Structures for New Building System

研究代表者 崎野 健治 (KENJI SAKINO)

九州大学・大学院人間環境学研究院・教授

研究者番号：70037985

研究成果の概要（和文）：

本研究は、中高層事務所建築の構造システムとして持続可能性の観点から優れた特性を有する合成構造の開発を目的として、ダブルチューブ構造システムの開発を行ったものである。その構成要素として、内部チューブにはエネルギー吸収能力に優れ履歴ダンパーとしての特性を有する制振壁を用いたコアシステム、外部チューブには自己復元能力を有するフレームと剛性とエネルギー吸収能力を有するフレームの開発を行い、その有効性を実証した。

研究成果の概要（英文）：

The objectives of this research projects are to develop composite structure system for new office buildings with medium and high rise structures, which has high performances from the view point of sustainability. The system is called as double tube structure which consists of inner tube with new type of structural walls and exterior tube with composite frame systems. Effectiveness of proposed system has been verified by experiments of structural elements and seismic response analysis on prototype buildings.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	10,100,000	3,030,000	13,130,000
2007 年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2008 年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
2009 年度	2,700,000	810,000	3,510,000
年度			
総計	23,200,000	6,960,000	30,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学、建築構造・材料

キーワード：制振壁、セルフセンタリング、履歴ダンパー、繫梁、圧着工法、スパンドレルガーダー、鋼管横補強柱、ダブルチューブ構造

1. 研究開始当初の背景

本研究を開始した当時における建築構造設計に関する主なトピックを以下に述べる。

(1) 中高層オフィスビルは従来の鉄骨鉄筋コンクリート (SRC) 構造で建設されてきたが、

その理由は必ずしも合理的なものではなく、過去の地震被害経験を基にした行政指導によるものであった。2000 年に新建築基準法が施行されるようになり、従来の行政指導が実質的に無くなり、SRC 構造の施工実績が減少し

たが、それに代わる合成構造が開発されていなかった。

(2) RC 構造による高層建築の施工実績は1985年頃から増え続けてきたが、スパンの小さな集合住宅建築が主体で、オフィスビルへの適用実績は少なかった。

(3) 環境問題があらゆる分野で重要となり、建築構造の分野では「省エネルギー建築」「持続可能性」がキーワードとなった。このことは、耐用期間の長期化、使用時の省エネルギーが重要であることを意味した。

(4) 建物の性能設計は、阪神大震災以後のキーワードであったが、構造的には建物の大地震時の水平変形角を抑える事であることであり、そのために制振構造（履歴ダンパーの設置など）、免震構造の研究が盛んとなっていた。

(5) 中高層オフィスの場合、連層耐震壁の必要性、連層耐震壁を配置する場合の構造計画法、断面設計法に関しては未解決な問題が多く、構造設計者が判断に迷うことが多かった。

2. 研究の目的

前節で述べた背景をもとに、以下の研究課題を解決することを研究目的とした。

(1) 中高層オフィスビルに適した合成構造システムを開発することを目的とするが、開発する構造システムが備えるべき特性（性能）としては以下の点を重要視する。

①建物の長寿命化を図るためには、建物耐用年限期間中の用途変更に対応できることが必須であるが、構造的には大空間の実現が可能で寿命の長いインフラストラクチャーと、取替え可能なサブストラクチャーを明確に区別する。

②インフラストラクチャーは、大地震時における最大層間変形角を 0.01rad 程度以下とする。そのためには、初期水平剛性が高く、耐震要素は小さな水平変形角時からエネルギー吸収能力を発揮できるものとする。

③地震後の残留変形角を小さくする。

(2) 以下に述べる性能を有する連層耐震壁を開発する。

①水平剛性が高く、小さな水平変形角で降伏機構を形成し、エネルギー吸収能力に富む復元力特性を有する。

②設計時に仮定する降伏機構以外（せん断破壊機構など）の降伏機構が生じる確率が小さい。

③建物の層崩壊を防止するための機能を十分有する。

(3) 以下に述べる（互いに相反する性能もある）性能のうちのいずれかを有する外周架構（外部チューブ）を開発し、有壁架構の合理的な設計法を提案する。

①ファサードのデザインの自由度を有する。

②合理的な施工が可能となる。

③地震後の残留変形を小さくするために、原

点指向型の復元力特性を有する、いわゆるセルフセンタリング機能を有する。

④熱的には外部と遮断し、空調時の省エネルギー機能が高い。

3. 研究の方法

研究目的を達成するために、以下の研究を行う。

(1) 図1(a)に示す連層耐震壁（制振壁と呼ぶ）について、3層1スパンの試験体を作成し、復元力特性、繫梁の保有累積塑性変形能力を明らかにする。提案する制振壁の特徴を以下に述べる。

①降伏機構は図1(b)に示すような機構となり、フレームの降伏機構と変形適合型である。

②繫梁の詳細設計を工夫することにより制振壁の復元力特性を設計者が設計条件に応じて合理的に制御できる。

③降伏部の性状は、H形鋼を用いた繫梁と変形能力に富む短柱（鋼管横補強RC造柱、コンクリート充填鋼管構造柱）の性状に支配されるので、制振壁の復元力特性は小さな層間変形角の制限のもとでエネルギー吸収能力に富み、かつ、解析的に予測可能である。

④RC構造壁板は斜めひび割れが発生しないように設計することが可能である。

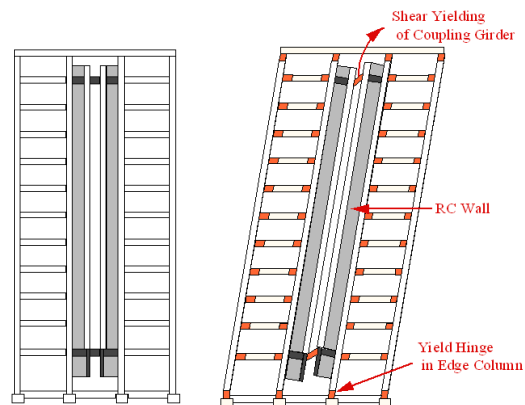


図1(a) 制振壁 図1(b) 制振壁の降伏機構

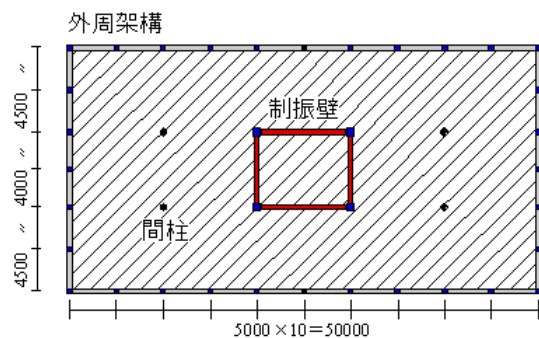


図2 プロトタイプ建物の平面

なお、連層耐震壁の設計自由度を増すための研究として、制振壁以外にも層崩壊防止と残留変形の抑制を主たる性能とした圧着工法による連層耐震壁の試験体を作成し、水平加力実験を行う。

(2) 制振壁の設計で非常に重要となるのは、図 1(b)に示す柱脚の塑性ヒンジ部で生じる可能性のあるパンチングシア破壊を防ぐことができるかどうかである。このことを実施設計レベルで解決するためには、制振壁柱脚部のパンチングシア耐力算定式が不可欠であるが、これを定式化するために、柱脚部だけを抽出した部分架構実験を多数行う。

(3) 外周架構としては、セルフセンタリング機能を有する架構として、プレキャスト造鋼管横補強柱と各種梁（RC構造プレキャスト梁、鉄骨梁、RC構造現場打ち梁）とを接着工法で組み上げた架構に関し、2層1スパン、2層3スパンの試験体を用いて、施工性に関するフイービリティスタディと復元力特性の確認実験を行う。

(4) 図 2 に示す平面を有するダブルチューブシステムのオフィスビルに対し建物の層数を変数に取り、中小地震、及び大地震に対する地震応答解析を行い、中小地震時及び大地震時の最大層間変形角をそれぞれ、 0.002rad 、 0.01rad に収めるための設計法を明らかにするとともに、制振壁の必要性能（せん断耐力、累積塑性変形能力など）を求め、実験的研究で確認された保有性能と比較し、設計の妥当性（有効性）を確認する。建物の層数以外の主な解析変数は以下の通りである。

①地震波：観測波 5 波、人工地震波 5 波、最大速度で基準化（大地震は 50kine 、中小地震は 20kine ）

②外周架構（外部チューブ）の種類：圧着工法によるセルフセンタリングフレーム、スパンドレルガーダーと鋼管横補強短柱からなる「柱降伏先行型フレーム」、鉛直荷重のみを負担するフレームの 3 種類

4. 研究成果

本研究により得られた研究成果は、逐次「日本建築学会構造系論文集」「構造工学論文集」「コンクリート工学年次論文集」「国際会議プロシーディングス」などに公表してきた。ここでは、得られた主な結論を、前述した「研究の方法」の項目に対応させて述べる。

(1) 3 層 1 スパンの制振壁に関する実験的研究より以下の研究成果が得られた。

①制振壁の平均層間変形角が 0.01rad 以下においては、塑性化を想定している短柱部及び繫梁以外には殆ど損傷がなく、履歴ダンパー内蔵型の連層耐震壁（制振壁）としての挙動を示した。

②繫梁に低サイクル疲労が生じるまでの保有累積塑性変形角は、本実験の範囲内では 2.5

～ 3.8rad であった。繫梁の必要累積塑性変形角は、設計する建物の必要耐震性能、制振壁形状などにより異なるが、後述するプロトタイプ建物の地震応答解析から得られた値は 1.0rad 程度であり、本実験で得られた保有累積塑性変形角は必要能力を十分満足していると言える。

③制振壁の連層耐震壁板部分のコンクリートには斜めひび割れが殆ど生じなかった。このことが、従来の並列連層耐震壁（Coupled Shear Wall）の場合と大きく異なる点で、損傷制御設計を行う上においての制振壁の利点であるといえる。

④後述する解析的研究で用いる材料（鋼材とコンクリート）の構成則を用いた解析プログラムによる解析結果はランダムな載荷履歴を受ける場合を含めて実験より得られた復元力特性を精度良く予測できる。

(2) 制振壁の機構形成時に塑性化する制振壁脚部の鋼管横補強 RC 造短柱のパンチングシア耐力算定式を検討するために、「短柱のみを模擬した部分試験体実験」を 21 体の試験体を用いて行った。その実験結果より以下の研究成果が得られた。

①鋼管横補強 RC 造短柱のパンチングシア耐力は、既存の RC 造短柱のパンチングシア耐力算定式を用いた場合、 1.5 倍程度の安全率で評価できる。

②前述した制振壁の実験結果をもとに、制振壁柱脚のパンチングシア破壊余裕度を算出した結果、実際の制振壁柱脚の破壊状況と良く対応した結果が得られた。

なお、制振壁柱脚をコンクリート充填鋼管短柱とした場合は、設計用せん断力を鋼管のウェブのみで負担できるように設計すれば十分で、このことは実施設計上殆ど支障とならないことも研究成果として得られている。

(3) 外周架構として計画したセルフセンタリング機能を有する架構として、プレキャスト造鋼管横補強柱と RC 構造プレキャスト梁および RC 構造現場打ち梁とを接着工法で組み上げた架構について、2 層 1 スパン、2 層 3 スパンの試験体を用いて実験を行った結果、以下の研究成果が得られた。

①プレキャスト部材の柱を PC 鋼棒で乾式接合し、梁を後施工コンクリートで湿式接合する施工法によって、2 層 1 スパンおよび 2 層 3 スパンの骨組み試験体を計画通り施工することができた。

②一定軸力下における繰返し水平加力実験の結果、骨組みは耐力低下の無い安定した挙動を示した。また、復元力特性は、原点指向型となり、残留変形は小さいレベルに留まった。

③PC 鋼棒を通すダクトによる断面欠損とコンファインド効果を考慮した無筋コンクリート柱の全塑性耐力により、骨組みの水平耐力を精度良く計算することができる。

(4) 図2に示す平面を有する大空間オフィスビルに対し建物の層数、外周架構形式を変数に取り、多くの地震応答解析を行った。ここでは、外周架構としてスバンドレルガーダーと鋼管横補強短柱を用いた柱降伏先行型フレームを用いたダブルチューブ構造3、6、12層オフィスビルに関する研究成果のみを以下に示す。

①3層モデルのような低層建物については、変形を制御する上で中高層建物と比較して設計用ベースシア係数をやや大きく(0.3程度に)するのが望ましい。中高層建物の場合は、0.25Rt程度のベースシア係数で設計すれば層間変形角のクライテリアを満足できる。

②本来ダブルチューブ構造は、層せん断力よりも転倒モーメントが支配的になる高層建物に有効な構造システムであるが、本研究で提案するダブルチューブ合成構造とした場合には中低層建物に対しても有効であり、次世代合成構造システムとして実用化可能と思われる。

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18件)

①中原浩之、崎野健治、上野雄太、自己復原型RC骨組と転倒降伏型制振壁を組み合わせたハイブリッド構造建物の動的応答性状に関する解析的研究、日本建築学会構造系論文集第74巻 第646号、査読有、2009年12月、2365-2372

② Kenji Sakino, Hiroyuki Nakahara, Experimental Study for Development of Self-Centering RC Structural Frames with Column Yielding Mechanism, 5th International Structural Engineering and Construction Conference (ISEC-5), 査読有、September 2009, 21-27

③ 崎野健治、中原浩之、CFT周辺柱を有する3層転倒降伏型制振壁の弾塑性性状、コンクリート工学年次論文集 第31巻第2号、査読有、2009、433-438

④ 崎野健治、増田真吾、中原浩之、片持壁構造の耐震性能評価に関する解析的研究、構造工学論文集 Vol. 55B、2009年3月、391-399

⑤ 李維、河野昭彦、崎野健治、中原浩之、The Study on the Behavior under Dynamic and Static Analysis of Reinforced Concrete Core Wall-Perimeter Steel Frame Hybrid Structure, Part II, 都市・建築学研究 九州大学大学院人間環境学研究院紀要 第15号、査読有、2009年1月、111-119

⑥ 崎野健治、中原浩之、RC造短柱を有する3層転倒降伏型制振壁の弾塑性性状に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文集 第73

巻、第634号、査読有、2008年12月、2159-2166
⑦ Kenji Sakino, Hiroyuki Nakahara, Experimental Study on Composite Structural Walls with Steel Hysteretic Dampers, IABSE Annual Meetings and Congress 2008, 査読有、September 2008, CD-ROM A-1147

⑧ 李維、河野昭彦、崎野健治、中原浩之、The Study on the Behavior under Dynamic and Static Analysis of Reinforced Concrete Core Wall-Perimeter Steel Frame Hybrid Structure, Part I, 都市・建築学研究 九州大学大学院人間環境学研究院紀要 第14号、査読有、2008年7月、151-158

⑨ Toko Hitaka, Kenji Sakino, Cyclic Tests on a Hybrid Coupled Wall Utilizing a Rocking Mechanism, Earthquake Engineering and Structural Dynamics 2008, 査読有、July 2008, 1657-1676

⑩ 中原浩之、崎野健治、江崎文也、柱降伏を先行させる自己復原型RC骨組の開発に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文集第73巻 第628号、査読有、2008年6月、957-964

⑪ 中原浩之、崎野健治、河野昭彦、繰返し水平力を受けるコンクリート充填鋼管構造骨組の付着性状に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文集 第73巻 第625号、査読有、2008年3月、465-472

⑫ 日高桃子、二木秀也、崎野健治、制振壁フレームの必要変形能力と設計用応力に関する解析的研究、日本建築学会構造系論文集 第613号、査読有、2007年3月、81-87

[学会発表] (計65件)

① 崎野健治、安河内淳一、ダブルチューブ合成構造に関する研究(その1・研究概要)(その2・耐震性能評価)、日本建築学会九州支部研究報告、557-564、2010年3月、長崎

② Nasruddin, Kenji Sakino, Hiroyuki Nakahara, Hiroki Matsubayashi, An Experimental Study on Punching Shear Strength of Edge Columns of Energy Dissipation Structural Walls (Part 1 Overview of Experiment) (Part 2 Experimental Results), 日本建築学会九州支部研究報告、585-588、2010年3月、長崎

③ 中原浩之、高山一斗、崎野健治、江崎文也、損傷制御機能を有する柱SC-梁S構造十字形骨組の弾塑性性状に関する実験的研究(その1・実験計画)(その2・実験結果)、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)C-1、構造III、1131-1134、2009年8月、宮城

④ Li Wei, Akihiko Kawano, Kenji Sakino, Hiroyuki Nakahara, Behavior of Reinforced Concrete Core Wall-Perimeter Steel Frame Hybrid Structure under Dynamic and Static Analysis, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)C-1、構造III、1175-1176、2009年8月、宮城

⑤松林寛樹、安河内淳一、崎野健治、中原浩之、制振壁フレーム構造の耐震性能に関する研究(その1・解析概要)(その2・解析結果)、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)C-1、構造Ⅲ、1243-1246、2009年8月、宮城

⑥福原健介、崎野健治、中原浩之、真木貴士、山本能之、各種周辺柱を有する3層転倒降伏型制振壁の弾塑性挙動(その1 実験概要)(その2 RC造周辺柱を有する試験体の実験結果)(その3 CFT造周辺柱を有する試験体の実験結果)、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)C-1、構造Ⅲ、1249-1254、2009年8月、宮城

⑦鳥辺俊介、李文聰、江崎文也、中原浩之、アンボンドPC鋼棒を用いたRC柱脚部の履歴性状に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)C-2、構造Ⅳ、227-228、2009年8月、宮城

⑧松林寛樹、崎野健治、福原健介、各種周辺柱を有する3層耐震壁の弾塑性挙動に関する実験的研究(その1 実験概要)(その2. 実験結果)、日本建築学会九州支部研究報告 第48号、445-452、2009年3月、沖縄

⑨ 村上初香、崎野健治、制振壁フレーム構造の耐震性能に関する研究、日本建築学会九州支部研究報告 第48号、457-460、2009年3月、沖縄

⑩安河内淳一、崎野健治：制振壁を有する6層有壁架構の耐震性能に関する研究、日本建築学会九州支部研究報告 第48号、461-464、2009年3月、沖縄

⑪上野雄太、塩田浩旦、中原浩之、崎野健治、安河内淳一、北島幸一郎、損傷制御骨組と転倒降伏型制振壁のハイブリッド構造建物の動的応答性状(その1・解析モデル)(その2・解析結果)、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)C-1、構造Ⅲ、1271-1274、2008年9月、広島

⑫吉海伸祐、河野昭彦、崎野健治、中村信行、制振壁と併用する履歴ダンパー付きトラス梁に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)C-1、構造Ⅲ、1275-1276、2008年9月、広島

⑬松林寛樹、中嶋圭一郎、崎野健治、取替え可能な鉄骨繫梁を有する3層制振壁に関する実験的研究(その1 実験計画)(その2. 実験結果)、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)C-2、構造Ⅳ、845-848、2008年9月、広島

⑭崎野健治、増田真吾、片持壁構造に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)C-2、構造Ⅳ、849-850、2008年9月、広島

⑮中嶋圭一郎、崎野健治、取替え可能な鉄骨繫梁を有する3層制振壁に関する実験的研究、日本建築学会研究報告九州支部 第47号・1 構造系、349-352、2008年3月、熊本

⑯増田真吾、崎野健治、片持壁構造に関する

研究、日本建築学会研究報告九州支部 第47号・1 構造系、357-360、2008年3月、熊本

⑰村上初香、崎野健治、増田真吾、制振壁構造の回転性状に関する研究、日本建築学会研究報告九州支部 第47号・1 構造系、361-364、2008年3月、熊本

⑱吉海伸祐、河野昭彦、崎野健治、中村信行、制振壁と併用する履歴ダンパー付きトラス梁に関する実験的研究、日本建築学会研究報告九州支部 第47号・1 構造系、365-368、2008年3月、熊本

⑲塩田浩旦、上野雄太、北島幸一郎、中原浩之、崎野健治、江崎文也、自己修復型骨組の水平耐力の簡易評価法と履歴性状に関する解析的研究、日本建築学会研究報告九州支部第47号・1 構造系、405-408、2008年3月、熊本

⑳増田真吾、崎野健治、村上初香、制振壁と均等鉄筋コンクリート架構よりなる12層建物に関する解析的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)C-1 構造Ⅲ、1107-1108、2007年8月、福岡

㉑村上初香、崎野健治、増田真吾、制振壁と従来型耐震壁を有する3層建物の性状比較に関する解析的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)C-1 構造Ⅲ、1109-1110、2007年8月、福岡

㉒窪寺弘頭、中嶋圭一郎、崎野健治、中原浩之、3層1スパン制振壁に関する実験的研究(その1 実験計画)(その2 CFT周辺柱を有する試験体の実験結果)(その3 RC造周辺柱を有する試験体の実験結果)、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)C-1 構造Ⅲ、1111-1116、2007年8月、福岡

㉓中原浩之、崎野健治、江崎文也、自己修復型RC構造の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)C-2 構造Ⅳ、21-24、2007年8月、福岡

㉔上野雄太、塩田浩旦、北島幸一郎、中原浩之、崎野健治、江崎文也、セルフセンタリング挙動を有するRC骨組に関する解析的研究(その1・解析モデル)(その2・実験と解析の比較)、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)C-2 構造Ⅳ、427-428、2007年8月、福岡

㉕窪寺弘頭、中原浩之、北島幸一郎、崎野健治、河野昭彦、江崎文也、セルフセンタリング効果を有するコンクリート構造骨組の開発(その1. 実験概要)(その2. 実験結果の検討)、日本建築学会研究報告九州支部 構造系第46号・I、353-360、2007年3月、大分

㉖富田和磨、吉海伸祐、河野昭彦、本田千紘、崎野健治、江崎文也、制振壁と併用する履歴ダンパー付きトラス梁に関する研究一次世代合成構造建築の開発一、日本建築学会研究報告九州支部 構造系第46号・I、637-640、2007年3月、大分

②7 崎野健治、尾崎研二、田才毅、中原浩之、3
層1スパン制振壁に関する実験的研究（その1
実験計画）（その2 RC造周辺柱を有する試
験体の実験結果）、日本建築学会研究報告 九
州支部 構造系第46号・I、653-660、2007年
3月、大分

〔図書〕（計1件）

崎野健治、津田恵吾、中原浩之、河野昭彦、
藤本利昭、福元敏之、日高桃子、平島岳夫、
村上行夫、香田伸次、小林秀雄、陣内浩、梅
本宗宏、井上昌士、コンクリート充填鋼管構
造設計施工指針（分担執筆）、日本建築学会、
2008年10月、366

6. 研究組織

(1) 研究代表者

崎野 健治 (KENJI SAKINO)

九州大学・大学院人間環境学研究院・教授
研究者番号：70037985

(2) 研究分担者

河野 昭彦 (AKIHIKO KAWANO)

九州大学・大学院人間環境学研究院・教授
研究者番号：60136520

江崎 文也 (ESAKI FUMIYA)

福岡大学・工学部・教授

研究者番号：90127986

中原 浩之 (HIROYUKI NAKAHARA)

九州大学・大学院人間環境学研究院

・准教授

研究者番号：60315398