

研究種目：基盤研究（A）
 研究期間：2005～2008
 課題番号：17206056
 研究課題名（和文） 維持・改修・補強を含むRC建築物の包括的耐震設計法の確立
 研究課題名（英文） Comprehensive Earthquake-Resistant Design System of R/C
 Building Structures Including Maintenance, improvement
 and Strengthening
 研究代表者
 瀧口 克己 (TAKIGUCHI KATSUKI)
 東京工業大学・大学院情報理工学研究科・教授
 研究者番号：10016644

研究成果の概要：

本研究の成果は、鉄筋コンクリート（RC）建築物の地震時の応答を高精度で把握する方法を確立したことである。構成部材の多軸復元力特性を定式化し、それを利用して、三方向地震動を受けた建物の挙動を追跡する手法を示した。大地震時に、ある程度部材の損傷を認める設計を行う以上、包括的耐震設計法を確立するために本研究成果は必須である。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	10,200,000	3,060,000	13,260,000
2006年度	8,700,000	2,610,000	11,310,000
2007年度	7,400,000	2,220,000	9,620,000
2008年度	8,300,000	2,490,000	10,790,000
年度			
総計	34,600,000	10,380,000	44,980,000

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：鉄筋コンクリート構造、三方向地震応答解析、三軸非線形復元力特性、スリップモデル、補修・補強、原点指向モデル、高速飛翔体、衝突

1. 研究開始当初の背景

地震動は少なくとも、東西・南北・上下の三方向に動く。回転動はよくわかっていない。大地震時に建築物が損傷すること、すなわち、復元力特性が非線形になることを許容するのであれば、理論的には、三方向地震動に対する建築物の応答を把握する必要がある。それが容易でないから、理論的にはそうかもしれないが、現実的対応として、一方向の挙動を予測することで耐震設計が行われているのが実情である。

この原因の一つは、部材の三軸非線形復元力のマクロモデルの構築ができていなか

ったことである。例えば、有限要素法のように、マイクロモデルから組み上げた解析は可能であるが、マイクロモデルを用いた解析では、パラメトリックスタディーが困難であり、地震応答挙動の大筋が把握しにくい。このような背景をもとに、本研究は計画された。

2. 研究の目的

本研究は、鉄筋コンクリート（RC）造建築物の包括的な耐震設計法を確立せんとするものである。RC構造物の三軸非線形復元力マクロモデルを定式化し、RC構造物の三

方向地震動に対する応答を解析する手法を確立する。維持管理、改修、補強等を含めた包括的な耐震設計法を確立するために、経時変化が生じた既存の建物、あるいは新たに設計する建物の想定した強さの地震に対する裕度を高い精度で把握する。

この包括的な設計法は、建築物の使用期間中に新たな学問的、技術的知見が得られ、あるいは、社会情勢が変化し、安全性の判断基準が変化することを前提とする。

耐震設計法、耐震診断法、耐震補強技術、等を包括的に体系化することによって、現存する手法における種々の欠点を是正し、より合理的な新手法を構築するための基礎資料を提示する。

3. 研究の方法

研究の方法は極く正統なものである。着実に重点をおいている。実験によって現象を観察し、実験結果を定式化してより大きな系の解析に用いる。解析結果を実験、実測により検証する。この繰り返しにより次第に大きな系の挙動を把握する。

建築物は質点系のマクロモデルに置換される。マクロモデルによる解析で、その挙動がよく理解しうる。全体的な挙動の理解があってはじめて、包括的な耐震設計法を論じうる。

4. 研究成果

(1) 曲げ破壊型の鉄筋コンクリート柱試験体を作製し、柱頭柱脚の相対変形のうち回転変形を拘束し、三方向に並進変位を生じさせる三軸載荷実験を行い、三軸復元力特性に関する基礎資料を蓄積した。

(2) スリップ型の一軸復元力特性が得られる可能性が高いという理由で、鉄筋コンクリート柱の主筋の付着を除去した柱試験体を作製し、三軸載荷試験を行い、三軸復元力特性に関する実験資料を得た。

(3) 鉄筋コンクリート版の高速飛翔体の衝突に対する挙動を実験的に調べた。局所破壊を対象にした効率の良い実験手法を開発した。

(4) 梁降伏型のRC柱梁接合部実験を行い、RC架構の耐震性に関する基礎資料を得た。接合部パネル内の柱主筋の付着を除去した試験体も含んでいる。梁降伏型のRC架構における接合部パネルの柱主筋の付着の役割を考察した。

(5) 柱幅より梁幅が大きい、扁平梁RC架構の柱梁接合部の実験を行い、その力学特性を明らかにした。柱に対して梁は偏心して取り

付く。扁平梁RC架構が予想外に良好な力学特性を発揮することを提示した。

(6) 扁平梁SRC架構の実現可能性を調査した。扁平梁SRC柱試験体の正負交番繰り返し載荷実験を行った。試験体の製作過程は施工実験である。

(7) フレーム付きRC壁体の2方向水平変位に対する応答を調べる実験を行った。実験結果をもとに、終局破壊モデルを構築し、そのモデルを利用した強度解析を行った。更に、復元力特性の定式化も行っている。

(8) 鉄筋コンクリート(RC)構造物、およびRC構造要素の三軸非線形復元力マクロモデルを塑性論とのアナロジーを利用して定式化した。一軸特性は弾完全塑性タイプ、原点指向タイプ、スリップタイプをふくんでいる。3種類のタイプを組み合わせた復元力モデルを設定しうる。

(9) 一質点振動系で三軸復元力モデルを用いた三方向地震応答解析を行った。パラメトリックスタディーによって復元力モデルの相違が応答特性に与える影響を調べた。

(10) RC造フレーム付耐震壁の水平2方向変位履歴に対する復元力を調べる実験を行った。

(11) 高速飛翔体に衝突されて損傷したRC造フレーム付耐震壁の復元力特性が、損傷によってどの程度劣化するのかを実験によって調べた。

(12) 地震により、および、高速飛翔体の衝突により、損傷したRC造フレーム付耐震壁の補修・補強効果を調べる実験を行った。提示した補修・補強工法は十分な効果があることを示した。

(13) 鉄筋あるいは鉄骨の補強が偏心しているRC梁あるいはSRC梁の地震時挙動を調べるための実験を行った。

(14) 約30年前に竣工したRC6階建てモデル建物の耐震診断、および補強試設計を行った。

(15) RC建物の維持管理手法を構築した。3階建てRC建物を対象とし新たな知見の一例として想定すべき地震動が設計時より大きくなった場合の補強工法を例示した。

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19件)

- ①西村康志郎、瀧口克己、堀田久人、増井靖、常木康弘、小坂橋裕一、中西規夫、「高強度材料を用いた鉄筋コンクリート扁平梁構法の開発研究」日本建築学会構造系論文集、P.827-834、2008、査読有
- ②西村康志郎、瀧口克己、堀田久人、増井靖、常木康弘、小坂橋裕一、中西規夫、「鉄筋コンクリート扁平梁構法の開発研究」日本建築学会構造系論文集、P.2263-2269、2008、査読有
- ③小坂橋裕一、中西規夫、西村康志郎、瀧口克己、堀田久人、増井靖、「コンクリート複合構造扁平梁構法の開発」コンクリート工学、第46巻、P.18-25、2008、査読有
- ④西村康志郎、瀧口克己、堀田久人、増井靖、常木康弘、小坂橋裕一、中西規夫、「鉄筋コンクリート扁平梁構法の開発研究」日本建築学会構造系論文集、第616巻、P.179-186、2007、査読有
- ⑤高倉岳夫、榊田佳寛、瀧口克己、松本直樹、「アルカリ骨材反応を起こした実構造物の変形挙動の実測」日本建築学会構造系論文集、第616巻、P.135-140、2007、査読有
- ⑥清水弘、榊田佳寛、瀧口克己、松本直樹、村角保行、「アルカリ骨材反応を起こした鉄筋コンクリート実構造物の耐荷性能に関する研究」日本建築学会構造系論文集、第621巻、P.67-71、2007、査読有
- ⑦Koshiro Nishimura et al. 「DEVELOPMENT OF HIGH STRENGTH RC FLAT BEAMS SYSTEM AND SRC FLAT BEAM SYSTEM」Fourth International Conference on Urban Earthquake Engineering, P.675-681, 2007,
- ⑧H. H. Nguyen, Koshiro Nishimura, Katsuki Takiguchi, 「BI-AXIAL NON-LINER MACROSCOPIC RESPONSE ANALYSIS OF SLIPPING TYPE R/C STRUCTURE TO STRONG EARTHQUAKE MOTION」Fourth International Conference on Urban Earthquake Engineering, P.699-706, 2007,
- ⑨Toshihiro Hiram, Masashi Goto, Hitoshi Kumagai, Yukio Naito, Atsushi Suzuki, Hiroshi Abe, Katsuki Takiguchi, Hiroshi Akiyama, 「Seismic proof test of a reinforced concrete containment vessel (RCCV) Part3: Evaluation of seismic safety

margin」Nuclear Engineering and Design, 第237巻、P.1128-1139、査読有

- ⑩Yoshio Kitada, Takao Nishikawa, Katsuki Takiguchi, Koichi Maekawa, 「Ultimate strength of reinforce concrete shear walls under multi-axes seismic loads」Nuclear Engineering and Design, 第237巻、P.1307-1314、査読有
- ⑪西村康志郎、クエン ホン フイ、瀧口克己、「RC部材のスリップ型多軸復元力特性の定式化に関する研究」日本建築学会構造系論文集、第609巻、P.147-154、2006、
- ⑫Koshiro Nishimura et al. 「RESERCH AND DEVELOPMENT OF RC FLAT BEAM AND COLUMN JOINT SYSTEM」Proceedings of The Tenth East Asis-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction, P.401-406, 2006,
- ⑬Koshiro Nishimura, Hoang Huy Nguyen, Katsuki Takiguchi, 「STUDY ON SLIPPING TYPE BI-AXIAL RESTORING FORCE MODEL OF RC MEMBERS」Proceedings of The Tenth East Asis-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction, P.481-486, 2006,
- ⑭K. Nishimura, K. Takiguchi, H. Hotta, Y. Tsuneki, Y. Koitabashi, N. Nakanishi, 「Development of RC Flat Beam and Column Joint System」Third International Conference on Urban Earthquake Engineering, P.339-345, 2006,
- ⑮Koshiro Nishimura, Katsuki Takiguchi, Nguyen Hoang Huy, 「An Experimental Study on Tri-axial Nonlinear Behavir of Non-bond RC Members」The 3rd Korea-Japan Workshop on New Direction for Enhancement of Structural Performance, 2005,
- ⑯池口義治、瀧口克己、「補修材の中性化抑止性能が既存戸建て住宅基礎延命に与える経済的効果」日本建築学会構造系論文集、第598巻、P.21-26、2005、
- ⑰今井和正、是永健好、瀧口克己、「めり込みと抜け出しを考慮したRC部材端部の回転変形解析法」日本建築学会構造系論文集、第589巻、P.149-156、2005、
- ⑱池口義治、瀧口克己、「既存戸建て鉄筋住宅延命に向けた基礎コンクリートの点検・補修に関する検討」日本建築学会構造系論文集、

第 598 卷、P. 37-41、2005、

⑨今井和正、是永健好、瀧口克己、「RC 部材端部におけるコンクリートの圧縮特性と曲げ耐力」日本建築学会構造系論文集、第 587 巻、P. 189-196、2005、

〔学会発表〕(計 26 件)

①平間敏彦、瀧口克己、「新潟県中越沖地震の観測記録に基づく鉄筋コンクリート製原子炉格納容器(RCCV)試験帯の震度裕度」日本建築学会大会、2009. 8. 27、仙台

②瀧口克己、西村康志郎、小嶋一輝、高木博文、長原大、棟方善成、関根啓二、依田功、「ひび割れが生じたコンクリート板のガンマ線遮蔽能力に関する実験研究(その1)試験体」、日本建築学会大会、2009. 8. 29、仙台

③長原大、瀧口克己、西村康志郎、小嶋一輝、高木博文、棟方善成、関根啓二、依田功、「ひび割れが生じたコンクリート板のガンマ線遮蔽能力に関する実験研究(その2)試験計画」日本建築学会大会、2009. 8. 29、仙台

④高木博文、瀧口克己、西村康志郎、小嶋一輝、長原大、棟方善成、関根啓二、依田功、「ひび割れが生じたコンクリート板のガンマ線遮蔽能力に関する実験研究(その3)試験結果」日本建築学会大会、2009. 8. 29、仙台

⑤鈴木敏郎、佐伯英一郎、五十嵐規矩夫、瀧口克己、「せん断力を受ける平板一部分管体の振り耐力問題」日本建築学会大会、2009. 8. 27、仙台

⑥西村康志郎、堀田久人、瀧口克己、高橋彬、「上界定理を用いた RC 柱の圧縮強度に関する考察(その1) RC 柱の圧縮強度の理論解」日本建築学会大会、2009. 8. 27、仙台

⑦高橋彬、西村康志郎、堀田久人、瀧口克己、「上界定理を用いた RC 柱の圧縮強度に関する考察(その2)中心圧縮実験の結果と考察」日本建築学会大会、2009. 8. 27、仙台

⑧小橋知季、瀧口克己、西村康志郎、山上卓人、「RC 柱付き耐震壁の多軸復元力特性の定式化に関する研究(その1)実験概要及び曲げ強度曲面に関する考察」日本建築学会大会、2009. 8. 27、仙台

⑨山上卓人、瀧口克己、西村康志郎、小橋知季、「RC 柱付き耐震壁の多軸復元力特性の定式化に関する研究(その2)2軸非線形復元力特性のマクロモデル」日本建築学会大会、

2009. 8. 27、仙台

⑩Koshiro NISHIMURA, Katsuki TAKIGUCHI, Kazuteru KOJIMA, 「Experiments on Gamma-Ray Shielding Performance of Cracked Reinforced」20th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT20), 2009. 8. 9, Espoo, Finland

⑪Koshiro NISHIMURA, Katsuki TAKIGUCHI, 「FORMULATION OF BI-AXIAL NON-LINEAR RESTORING FORCE CHARACTERISTICS WITH SLIPPING BEHAVIOR BY USING THE THEORY OF PLASTICITY」16th International Conference on Urban Earthquake Engineering (CUEE), 2009. 3. 3, Tokyo, Japan

⑫Koshiro NISHIMURA, Katsuki TAKIGUCHI, Kazuteru KOJIMA, 「EXPERIMENTAL STUDY ON BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE SHEAR WALLS SUBJECTED TO THREE-DIRECTIONAL LOADING」The Eleventh East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction (EASEC-11), 2008. 11. 19, Taipei, TAIWAN

⑬ Koshiro NISHIMURA, Nguyen Hoang H, Katsuki TAKIGUCHI, 「Study on Bi-Axial Earthquake Responses of Reinforced Concrete Structures with Slipping Type Restoring Force Characteristics」14th World Conference on Earthquake Engineering (14WCEE) Conference Proceedings, 2008. 10. 12, Peijng, China

⑭Koshiro NISHIMURA, Katsuki TAKIGUCHI, Isao KOJIMA, 「EXPERIMENTAL STUDY ON BEHAVIOR OF CONCRETE COMPOSITE MATERIAL PANEL SUBJECTED TO MISSILE IMPACT」International Symposium on Structures under Earthquake, Impact, and Blast Loading, 2008. 10. 10, Osaka, Japan

⑮高倉岳夫、呉富栄、清水宏、松本直樹、瀧口克己、榊田佳寛、「アルカリ骨材反応を起こしたタービン発電機架台の振動評価」日本建築学会大会、2008. 9. 20、広島

⑯小嶋一輝、瀧口克己、西村康志郎、高木博文、「I 型 RC 耐震壁の 3 軸復元力特性に関する実験研究(その1)実験概要及び水平変位の関係」日本建築学会大会、2008. 9. 20、広島

⑰高木博文、瀧口克己、西村康志郎、小嶋一輝、「I 型 RC 耐震壁の 3 軸復元力特性に関

する実験研究(その2)変形性状及び曲耐力」
日本建築学会大会、2008.9.20、広島

⑱高橋彬、瀧口克己、西村康志郎、長原大、
「飛翔耐の衝突したRC耐震壁と補修壁の
せん断力に関する実験研究(その1)衝突実
験」日本建築学会大会、2008.9.20、広島

⑲長原大、瀧口克己、西村康志郎、高橋彬、
「飛翔耐の衝突したRC耐震壁と補修壁の
せん断力に関する実験研究(その2)加力実
験」日本建築学会大会、2008.9.20、広島

⑳西村康志郎、瀧口克己、「梁幅方向に偏心
配筋されたコンクリート矩形梁の終局曲げ
耐力に関する実験研究」日本建築学会大会、
2008.9.20、広島

㉑瀧口克己、鈴木敏郎、「せん断力を受ける
薄板の力学挙動」日本建築学会大会、
2008.9.19、広島

㉒Nguyen Hoang Huy, Koshiro Nishimura,
Katsuki Takiguchi, 「Bi-axial Non-Linear
Earthquake Response Analysis of
Structures Contain Slipping Behavior」日
本建築学会大会、2008.9.19、広島

㉓西村康志郎、瀧口克己、堀田久人、増井靖、
常木康弘、小坂橋裕一、中西規夫、「高強度
RC扁平梁構法およびSRC扁平梁構法の
開発」日本建築学会大会、2007.8.29、福岡

㉔小嶋一輝、瀧口克己、堀田久人、西村康志
郎、小坂橋裕一、「異形鉄筋に圧着させた機
械式定着金物の性能」日本建築学会大会、
2007.8.29、福岡

㉕市野俊充、瀧口克己、堀田久人、西村康志
郎、増井靖、「鉄骨が偏心したSRC梁の終
局曲げ強度に関する考察」日本建築学会大会、
2007.8.29、福岡

㉖小坂橋裕一、中西規夫、常木康弘、増井靖、
瀧口克己、堀田久人、西村康志郎、「RC扁
平梁構法の簡易剛性評価式の提案」日本建築
学会大会、2007.8.29、福岡

〔図書〕(計 2件)

①瀧口克己、数理工学社、「線材力学の基礎
—ひずみと応力の解析からの展開—」2009、
182

②瀧口克己、数理工学社、「基本建築構造力
学—片持ち線材の挙動—」2006、191

6. 研究組織

(1) 研究代表者

瀧口 克己(TAKIGUCHI KATSUKI)
東京工業大学・大学院情報理工学研究科・教
授
研究者番号：10016644

(2) 研究分担者

堀田 久人(HOTA HISATO)
東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：20190217

西村 康志郎(NISHIMURA KOSHIRO)
東京工業大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号：00343161