

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 7日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2009～2012

課題番号：21246073

研究課題名（和文） 拘束された集合柱による新しい耐震構造の実用化に関する研究

研究課題名（英文） A practical study for new aseismic structure of the divided and restrained columns

研究代表者

澤田純男 (SAWADA SUMIO)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：70187293

研究成果の概要（和文）：レベル2地震動に対して、柱部材を弾性範囲の応答に留めつつ摩擦による減衰を付加できる、拘束された集合柱による新しい耐震構造を実用化することを目的として、新たな埋め込み型摩擦デバイスを開発した上で、実物大に近い鉄筋コンクリート実験体を作成して、静的および動的載荷実験を実施した。これらの実験の結果、この新しい耐震構造は十分実用化可能であることを示した。

研究成果の概要（英文）：The new aseismic structure of the divided and restrained columns, which make the column component keeping elastic against the design input motion for ultimate state, is proposed. In order to be practical, large-size static and dynamic experimental study is conducted for RC columns. Based on the results, it is concluded that the new structure can be adopted for the practical use.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	10,000,000	3,000,000	13,000,000
2010年度	11,800,000	3,540,000	15,340,000
2011年度	8,200,000	2,460,000	10,660,000
2012年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
総計	35,100,000	10,530,000	45,630,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：免震構造, ダンパー, 摩擦, コンクリート, 弾塑性

1. 研究開始当初の背景

良く知られているように、建築物や土木構造物に対する現在の耐震設計では、2段階設計が行われている。すなわちレベル1地震動とよばれる比較的発生確率が高い大きさの地震動に対しては、その応答を弾性範囲にとどめ、レベル2地震動と呼ばれる「きわめて希であるが、非常に強い地震動」に対して、弾性範囲を超えた塑性領域に入ることを許容して、構造系全体が倒壊しなければOK、としている。従って兵庫県南部地震における「震災の帯」と呼ばれたような震度7の地域

では、現状の耐震設計では相当な損傷が発生することは避けられず、地震後にその損傷を補修しなければならない。このように、現状では強震時に構造物応答が塑性領域に入ることが前提で、塑性はすなわち損傷であるから、損傷は避けられない。

しかしながら、現状の柱断面を維持したまま、レベル2地震動に対しても応答を弾性範囲に留めることができれば、巨大地震時にも無損傷の構造物を実現できる。

2. 研究の目的

本研究では、提案する新しい柱構造によって、損傷ではない塑性応答を実現化することを目的としている。

研究代表者らによる既往に研究では、高さ 400 mm、厚さ 10 mm のアクリル板を 3 枚用いた模型実験と、それを数値解析でシミュレーションすることによって、レベル 2 地震動に対しても応答を弾性範囲内に留めることが可能な構造の可能性を検討している。

しかしながら、実際に上述のような性能を持つ構造を実現するためには、現実の鉄筋コンクリート柱でどのように実現するかを検討しなければならない。この問題を解決するためには、実物に近い大きさで、様々な供試体を数多く作成して、載荷実験を行わなければならない。

3. 研究の方法

図 1 (A) のような下端固定の柱を考える。上端に矢印の力を加えると、ある変形量まで弾性変形して降伏点 (図 2 の A 点) に達し、その後損傷しながら塑性変形する (図 2 の 1 点鎖線)。提案する構造は柱を縦に分割する。例えば図 1 (B) のように 3 分割すると弾性変形量は 3 倍となるが剛性が $1/9$ となり、降伏点は図 2 の B 点になる。ここで図 1 (C) のように分割した柱部材に横拘束部材をあてがい拘束力を与えると、分割した柱部材の間に摩擦が働くようになり、その結果として復元力-変形量関係は右図の OA と OB の間を推移する。与える拘束力を変化させることにより、復元力-変形量関係を制御できる (図 2 の 3 曲線)。ここで重要な点は、これらの挙動はすべて柱部材が弾性変形の範囲である点である。すなわち柱部材に一切損傷を生じさせることなく、柱部材間の摩擦によって塑性挙動が実現している。

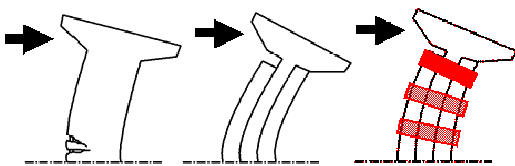


図 1 柱の分割と拘束

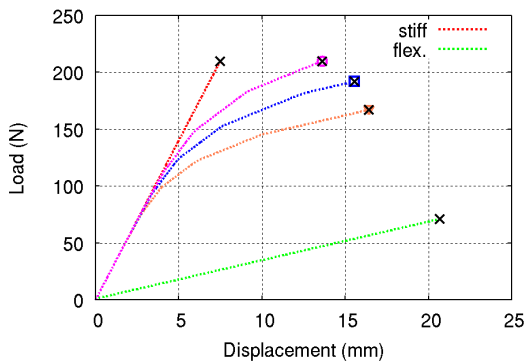


図 2 拘束された集合柱の挙動

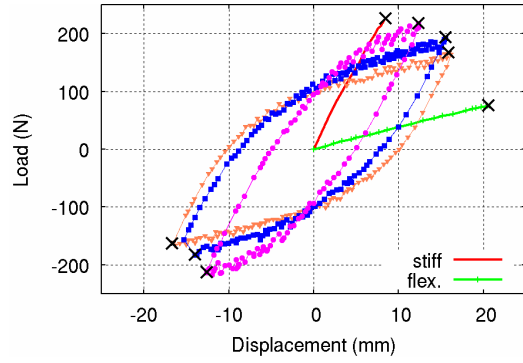


図 3 模型実験による荷重～変位関係

本研究では、上述の構造を持つ、ほぼ実物大の鉄筋コンクリート柱の試験体を作成し、その載荷実験を実施することにより、実現家のための技術開発と性能の検証を行う。

4. 研究成果

4. 1 1 方向曲げ試験体実験

合計 3 体の 1 方向曲げ試験体を作成して、静的載荷実験を実施した。うち 2 体は通しボルトで拘束力を与えるタイプであり、様々な拘束力を与えて実験を行うことが可能である。残り 1 体は、後で作成する 2 方向曲げ試験体を念頭に、図 4 に示すような埋め込み型の摩擦デバイスを新たに開発して、採用したものである。

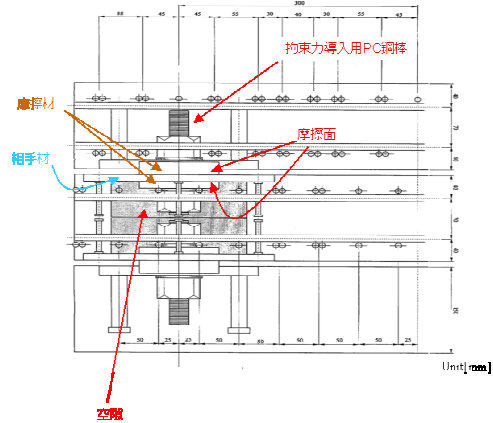


図 4 埋め込み型摩擦デバイス

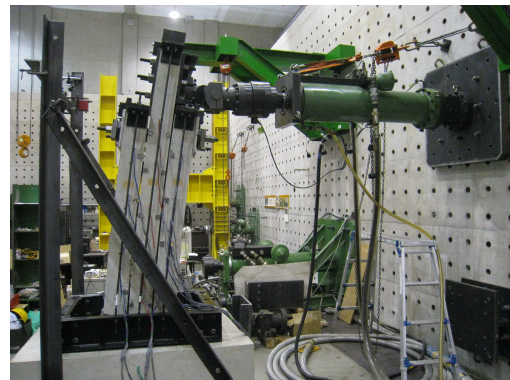


写真 1 実験の様子

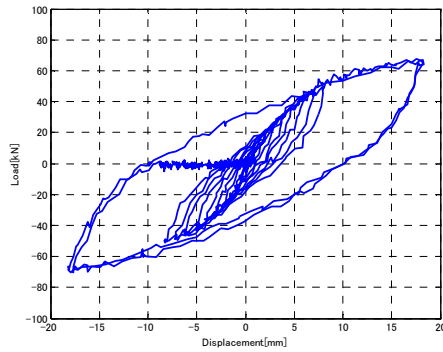


図5 変位～荷重関係

写真1に実験の様子を示す。また、通しボルト型摩擦デバイスに三角形分布の拘束力を与えた実験より得られた荷重～変位関係を図5に示す。

柱の変形挙動は、分割後の3本の柱が一体となって挙動している段階(ステージ0)、部材間の摩擦部が段階的にすべり出している段階(ステージ1)、3本の柱が個々に挙動している段階(ステージ2)、鉄筋が降伏し、柱部材が塑性化した後の段階(ステージ3)の4つに分けられ、主鉄筋に貼付したひずみゲージの値によって、ステージが判別できることがわかった。

拘束力については、頂部に近い部分において柱が変形するにつれ、わずかに増加したが、载荷を通してほぼ一定の拘束力を与えていることが明らかになった。また、軸力導入用のPC鋼棒に貼付したひずみゲージの計測値から軸力を算出した結果、西側柱及び東側柱の軸力の変動が著しく大きいのに対し、中央柱の軸力はそれほど変化していないことがわかった。この原因として、摩擦力による軸方向力の影響が考えられる。

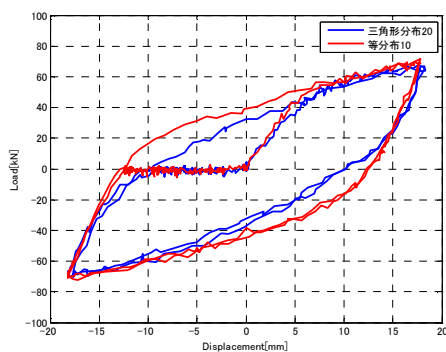


図6 拘束力分布による違い

拘束力分布を等分布にした場合の実験より得られた荷重～変位関係を図6に青線で示す。拘束力を制御することで、柱の荷重～変位関係をコントロールできることが示されている。

さらに埋め込み型の摩擦デバイスを採用した試験体によって得られた荷重～変位関係を図7の赤線に示す。拘束圧を与えるPC

鋼棒の張力としては、通しボルト型と埋め込み型は同一だが、発揮する摩擦力には差があり、その結果として異なる荷重～変位関係が得られたと考えられる。

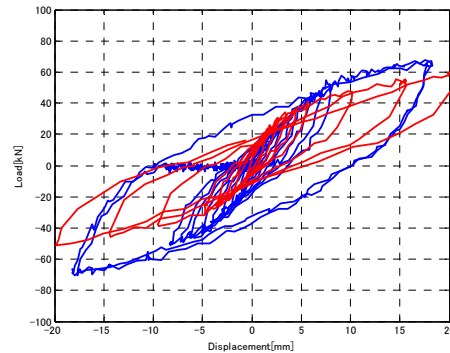


図7 摩擦デバイスによる違い

4. 2 2方向曲げ試験体実験

2方向曲げ試験体に対して斜め方向に载荷した実験(写真2)より得られた荷重～変位関係を図8に示す。柱が弾性域の範囲は赤線で示している。集合柱を構成する各柱の引張り側の主鉄筋ひずみが降伏ひずみ 1725μ にほぼ達したときを柱の降伏と定義すると、降伏変位は約 $12[\text{mm}]$ (層間変形角約 $1/150$)、降伏耐力は約 $150[\text{kN}]$ となった。



写真2 実験の様子

1方向载荷実験と同様、本実験においても弾性領域で柱の履歴曲線は非線形となり、水平2方向曲げに対しても、集合柱を構成する各柱が弾性体を保ちながら柱間の摩擦による減衰効果が期待できることが明らかとなった。また、建築基準法に基づく特定建築物の一次設計(許容応力度等計算)においては、地震時の層間変形角を $1/200$ 以内に留めるよう規定されているが、この範囲では柱は弾性体を保っており、十分な変形性能を持つことがわかる。さらに、柱の塑性化後、耐力は次第に増加し、载荷変位約 $40[\text{mm}]$ (層間変形角約 $1/45$)で最大耐力をとった。一般的な柱に比べて非常に大きな変形性能及び耐力を有している。

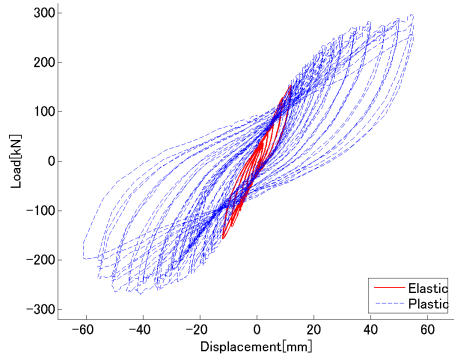


図8 荷重～変位関係

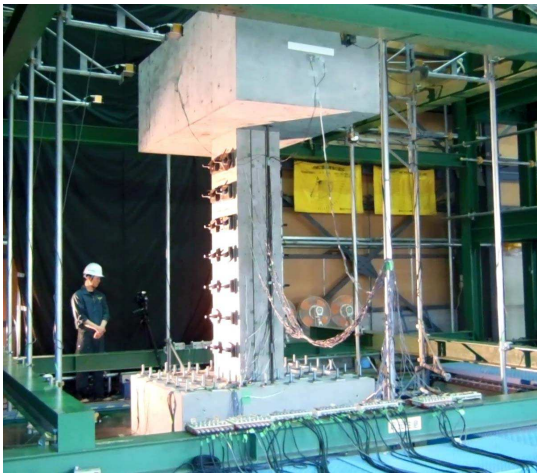


写真3 実験の様子

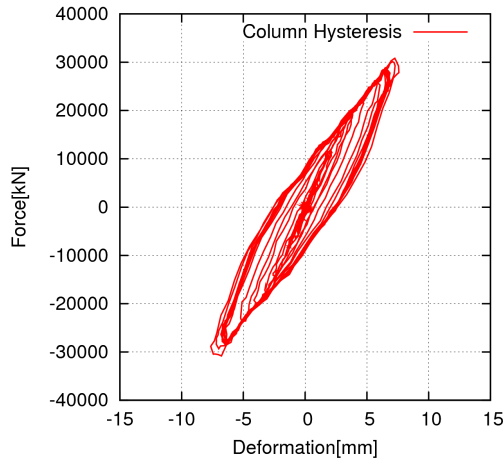


図9 荷重～変位関係

4. 3 振動台実験

振動台実験用に、通しボルト型摩擦デバイスを採用した1方向曲げ両端固定の実験体を作成して、動的載荷実験を実施した。実験の様子を写真3に示す。また、実験より得られた荷重～変位関係を図9に示す。動的実験においても、静的実験結果と同様の挙動を示すことがわかった。

4. 4 性能の検証

集合柱を構成する各柱部材に作用する外力及び断面力を算出する手法を開発し、集合中内の挙動メカニズムを明らかにすることによって、集合中の変形性能について検証した。

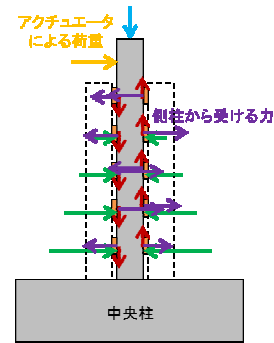
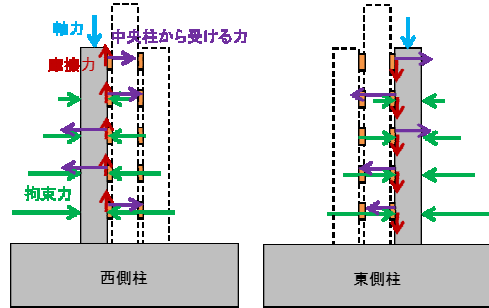


図10 断面力算出法

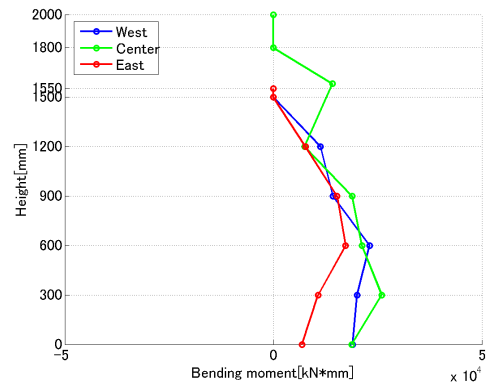


図11 曲げモーメント分布

まず、断面力算出の第一ステップとして、側柱に作用する外力及び断面力を上部の位置から釣合式に基づいて順次求める。この結果、中央柱に働く外力が分かるので、中央柱の断面力が求められる。最後に中央柱の主鉄筋に貼付したひずみゲージの値と、求めた断面力を比較し、妥当な外力・断面力が求められているかを検証する(図10)。

図11に、この手法で求められた側柱と中央柱の曲げモーメント分布を示す。曲げモーメントが基部に集中せず、広い範囲に分布することで、大きな変形性能を発揮し

ていることが示されている。

4. 5 まとめ

本研究では、拘束された集合柱による新しい耐震構造を実用化することを目的として、新たな埋め込み型摩擦デバイスを開発した上で、実物大に近い鉄筋コンクリート実験体を作成して、静的および動的載荷実験を実施した。これらの実験の結果、この新しい耐震構造は十分実用化可能であることを示した。

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 1 件)

- 1) 中村英之, 高橋良和, 澤田純男: 複合応力作用下における摩擦減衰機構を有する集合 RC 柱の弾塑性変形性能, 土木学会論文集 A1, Vol. 68, No. 5, pp. I_577-I_583, 2012, 査読有.

[学会発表] (計 11 件)

- 1) Yoshikazu Takahashi, Masako Kodera: Pseudo-dynamic tests in centrifugal field for structure-foundation-soil systems, The 15th World Conference on Earthquake Engineering, 2012 年 09 月 24 日~2012 年 09 月 28 日, Lisbon, Portugal.
- 2) Shunsuke Nishimura, Yoshikazu Takahashi, Y. Muroto, T. Nishimura, Joji Ejiri: Shake table test of nonlinear structure-pile foundation-soil system, The 15th World Conference on Earthquake Engineering, 2012 年 09 月 24 日~2012 年 09 月 28 日, Lisbon, Portugal.
- 3) 中村英之, 澤田純男, 高橋良和, 五十嵐晃: 複合応力作用下における摩擦減衰機構を持つ集合弾性耐震 RC 柱の弾塑性挙動, 土木学会第 66 回年次学術講演会, 2011 年 09 月 07 日~2011 年 09 月 09 日, 愛媛大学.
- 4) 酒井久和: リスク評価に基づく道路ネットワークの耐震設計法を目指してー土構造物・斜面の耐震信頼度解析ー, 土木学会全国大会研究討論会, 2012 年 09 月 07 日~2012 年 09 月 09 日, 愛媛大学.
- 5) 高橋良和, 山崎伸介, 野呂直以: 支承部特性を変化させることによる鈍構造実現に向けた基礎的検討, 第 15 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム, 2012 年 07 月 25 日~2012 年 07 月 26 日, 土木学会, 東京.
- 6) 後藤源太, 高橋良和: 2 種類の帯鉄筋間隔を有する RC 柱のせん断劣化特性に関する

繰り返し載荷実験, 第 15 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム, 2012 年 07 月 25 日~2012 年 07 月 26 日, 土木学会, 東京.

- 7) Yoshikazu Takahashi: Improvement of disaster mitigation technology by effective collaboration between small/middle/large scale experimental projects, International Workshop on Advances in Seismic Experiments and Computations, 2012 年 03 月 12 日~2012 年 03 月 13 日, Meijyo University, Nagoya.
- 8) Hideyuki Nakamura, Yoshikazu Takahashi, Sumio Sawada: Elasto-plastic behavior of RC column with built-in friction damping mechanism, 24th KCCNN Symposium on Civil Engineering, 2011 年 12 月 14 日~2011 年 12 月 16 日, Kyoto University.
- 9) Sherliza Zaini Sooria, Yoshikazu Takahashi, Sumio Sawada: Nonlinear static pushover (NSP) analysis for evaluation of seismic design motion in low seismicity areas -a case study for Malaysia-, 13th International Summer Symposium, JSCE, 2011 年 08 月 26 日~2011 年 08 月 26 日, Kyoto University.
- 10) 高橋良和, 後藤浩之: 2011 年東北地方太平洋沖地震による第 1 中曽根高架橋の被害, 第 14 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム, 2011 年 07 月 28 日~2011 年 07 月 29 日, 土木学会.
- 11) 中村英之, 澤田純男, 高橋良和, 五十嵐晃: 摩擦減衰機構を有する集合 RC 柱の複合応力作用下における弾塑性挙動, 平成 23 年度土木学会関西支部年次学術講演会, 2011 年 06 月 12 日~2011 年 06 月 12 日, 関西大学.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

澤田 純男 (SAWADA SUMIO)
京都大学・防災研究所・教授
研究者番号: 70187293

(2) 研究分担者

高橋 良和 (TAKAHASHI YOSHIKAZU)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：10283623

五十嵐 晃 (IGARASHI AKIRA)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号：80263101

酒井 久和 (SAKAI HISAKAZU)

広島工業大学・工学部・准教授

研究者番号：360371

後藤 浩之 (GOTO HIROYUKI)

京都大学・防災研究所・助教

研究者番号：70452323

(3) 研究協力者

江尻 譲嗣 (EJIRI JYOJI)

大林組・技術研究所・主席技師

田中 浩一 (TANAKA KOICHI)

大林組・技術研究所・主任研究員