

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2010

課題番号：19360246

研究課題名(和文) 袖壁付き柱を有する鉄筋コンクリート建物の耐震性能評価法に関する研究

研究課題名(英文) Seismic Performance Evaluation of Reinforced Concrete Buildings Using Columns with Wing Walls

研究代表者

壁谷澤 寿海 (KABEYASAWA TOSHIMI)

東京大学・地震研究所・教授

研究者番号：00134479

研究成果の概要(和文)：

本研究の目的は、袖壁付き柱を有する鉄筋コンクリート建物を対象にして、耐力と靱性を実用的に評価するモデルを構築することである。平成 19 年度には両側袖壁付き柱部材 8 体、平成 20 年度には片側袖壁付き柱部材 4 体、平成 21 年度には高強度袖壁付き柱部材 6 体と壁厚さが異なる袖壁付き柱部材 6 体、平成 22 年度には曲げ降伏型 6 体の実験を行い(1/2 スケール、一部別予算による試験体も含まれる)、基本的な強度・靱性性状を把握するとともに、合わせて解析的研究も行った。19-21 年度のせん断破壊型の実験にもとづいて、分割累加法によるせん断強度評価式を提案してその有効性を検証した。22 年度には曲げ破壊型の試験体により、曲げ強度および曲げ降伏後の靱性を実験的に把握して、終局強度および終局変形が曲げ理論によりほぼ評価可能であることを検証した。終局変形の計算方法における仮定の絶対値はさらに吟味する必要があるが、曲げ理論にもとづいて曲げ終局強度および終局変形の相対的な関係を安全側に評価することが可能であることを検証した。以上の方法は簡略化して耐震診断あるいは 2 次設計(部材ランク)の評価法に適用することが可能である。さらに ASF1 モデルを袖壁付き柱に適用する手法を示して、耐力劣化域を含む復元力特性が曲げ理論よりも精度よく評価することが可能になることを検証した。

研究成果の概要(英文)：

The objective of the study is to develop practical methods of evaluation the ultimate strength and deformability of reinforced columns with wing walls. A series of tests on half-scale specimens representing the column members with wing walls have been conducted from 2007 to 2010 to verify the evaluation methods. Shear tests were conducted in the first three years, by which the ultimate shear strengths of the members were identified. The measured shear strengths were compared with the calculated strengths based on the conventional design formula as well as the new formula proposed by the authors, by which a better correlation was observed with the test results of the first series. Flexural tests were conducted for six specimens in 2010 to investigate the design details on the ultimate flexural deformability. The ultimate deformations are compared with the calculation using the proposed design form practice, by which fair correlations are obtained. Axial shear flexure interaction model was also applied to the specimens, by which the load deformation relations including the strength decay were correlated with more accuracy to the test results.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2008 年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2009 年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2010 年度	3,000,000	900,000	3,900,000
総計	15,300,000	4,590,000	19,890,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造

キーワード：袖壁・鉄筋コンクリート・柱・耐震設計・耐震診断・せん断強度・靱性・建築構造

## 1. 研究開始当初の背景

従来、鉄筋コンクリート造建物における袖壁付き柱の設計では、袖壁は構造スリットにより柱から切り離して非構造壁として扱われることが多かった。これは、1次設計における許容せん断力、2次設計における終局強度や靱性など、実務設計における評価法が必ずしも明快ではなかったことによる。しかし、鉄筋コンクリート造建物における袖壁付き柱は、一般に柱部材に比べて剛性および耐力が大幅に向上するため、多くの場合で構造物全体の耐震性能の向上に有効に働くものと考えられる。これらの状況を踏まえて、設計式などが整備されつつあるが、終局強度や靱性に関しては実験データによる検証や評価方法の理論的な検討は十分であるとはいえず、とくに2次設計における部材ランクの扱いは依然として明快でないままである。

現在提示されている袖壁付き柱の終局せん断強度の評価方法の考え方は、両端に柱がある耐震壁の場合と同様に袖壁を含む全断面を等価な壁厚に置換してせん断耐力を算定し、従来の設計式を適用するものである。袖壁付き柱では端部の壁厚さがせん断強度あるいは曲げ強度に支配的であるため、このような評価法では多くの実験データに対して過大評価になり、柱あるいは耐震壁と同様の余裕度を確保するのは困難である。そこで、引張側の壁は無視するなど、理論的には必ずしも明快でない実用評価法が採用されている。

また、これらの評価式はいずれも柱の実験式を基本にしており、柱と袖壁の強度寄与に関する理論的背景あるいは一般性については必ずしも安全側の評価とはいえない。また、降伏変形、限界変形などについても、袖壁付き柱特有の性状を適切に考慮しうる評価法が必要であった。そのためには、既往の実験式を適用して検証するだけでなく、剛性低下、水平耐力、最大耐力時変形、耐力低下、軸耐力限界変形などを一貫して理論的に評価しうるマクロな解析モデルが必要であった。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、袖壁付き柱を有する鉄筋コンクリート建物を対象にして、耐力と靱性を実用的に評価するモデルを構築することである。上記の問題点等を解決するために、壁と柱の断面を縦（壁長さ）方向に分割してそれぞれのせん断耐力を算出して累加する方法（分割累加法）などを提案し、実験によ

り検証する。また、曲げ理論により、終局変形の評価法を定式化して実験により、検証する。実験結果と解析結果を統括して、耐震診断における袖壁付き柱の強度指標、靱性指標、残存軸耐力の評価法および新築構造物における靱性保証型の設計法を実用評価式として提案する。

袖壁付き柱を有する鉄筋コンクリート建物を対象にして実験的研究および解析的研究を行う。(1)袖壁付き柱部材の強度と靱性、残存軸耐力、損傷と変形の関係を実験的に明らかにする、(2)袖壁付き柱の復元力特性、とくに最大耐力以降の耐力低下を評価しうる解析モデルの有効性を検証する、(3)袖壁付き柱の強度と靱性、残存軸耐力、損傷の実用的な評価法を提案する、さらに、(4)袖壁付き柱を含む構造物の耐震性能評価手法、耐震診断法の妥当性を解析的に確認する。

## 3. 研究の方法

平成19年度には両側袖壁付き柱部材の基本的な強度・靱性性状を把握するため、耐震診断における袖壁長さ比およびせん断スパン比をパラメータとした静的繰り返し載加試験を行った。試験体は曲げ降伏型試験体4体、せん断破壊型試験体4体である。柱の断面は400mm×400mm、袖壁の水平長さは柱のせいと同じ400mm、厚さは100mmとし、実大スケールの約1/2を想定した。平成20年度には片側袖壁付柱試験体4体（別予算で他に両側袖壁試験体6体）、平成21年度は同様の形状配筋で片側袖壁付き試験体6体の実験を実施した。平成22年度には曲げ降伏型の試験体の実験を実施し、配筋詳細、シアスパン比が曲げ降伏後の変形能力に与える影響を実験的に明らかにした。

## 4. 研究成果

19～21年度はせん断破壊型の実験により、筆者らが提案した分割累加モデルによるせん断式が妥当であることを検証した。平成22年度は曲げ降伏型袖壁付き試験体の実験を実施して、曲げ理論にもとづく曲げ強度略算式、終局変形の評価法を提案して、実験結果との整合性を検証した。また、本実験結果以外にも既往の袖壁付き柱試験体も含めて実験データについて整理し、以上の評価手法の妥当性を検証した。さらに、ASFIモデルを袖壁付き柱に適用する手法を提示して、復元力特性が評価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 34 件)

- [1] 壁谷澤寿成, 壁谷澤寿海, 壁谷澤寿一, 金裕錫, 東條有希子, 鉄筋コンクリート造耐震壁の形状と補強に関する実験的研究(その 1: 柱型がない場合と有開口の場合), 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), C-2 構造IV, 8.29-8.31, 日本建築学会, 461-462, 2007.
- [2] 東條有希子, 壁谷澤寿成, 壁谷澤寿海, 壁谷澤寿一, 金裕錫, 五十嵐俊一, 奈良岡誠也, 鉄筋コンクリート造耐震壁の形状と補強に関する実験的研究(その 2: シート補強の効果), 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), C-2 構造IV, 8.29-8.31, 日本建築学会, 463-464, 2007.
- [3] 壁谷澤寿成・壁谷澤寿海・金裕錫・壁谷澤寿一・東條有希子鉄筋コンクリート造耐震壁の形状に関する実験的研究, 日本地震工学会・大会-2007 梗概集, 236-237, 2007
- [4] 東條有希子・壁谷澤寿海・金裕錫・壁谷澤寿成・壁谷澤寿一・五十嵐俊一・奈良岡誠也, 鉄筋コンクリート造耐震壁のシート補強に関する実験的研究, 日本地震工学会・大会-2007 梗概集, 238-239, 2007
- [5] 石井貴子・壁谷澤寿成・壁谷澤寿一・金裕錫・壁谷澤寿海, 2007 年新潟県中越沖地震における余震観測と被害調査, 日本地震工学会・大会-2007 梗概集, 246-247, 2007
- [6] 壁谷澤寿海・壁谷澤寿成, 袖壁付き柱の実用せん断強度式, 日本地震工学会・大会-2007 梗概集, 248-249, 2007
- [7] 壁谷澤寿成, 壁谷澤寿海, 壁谷澤寿一, 金裕錫, 東條有希子, 鉄筋コンクリート造耐震壁の形状および補強がせん断強度に与える影響, 構造工学論文集, Vol.54B, 201-206, 2008 年
- [8] 東條有希子, 壁谷澤寿成, 壁谷澤寿海, 金裕錫, 曲げ降伏型で壁付き柱に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 30, No. 3, JCI, 109-114, 2008
- [9] 壁谷澤寿成, 壁谷澤寿海, 東條有希子, 壁谷澤寿一, せん断破壊型で壁付き柱に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 30, No. 3, JCI, 115-120, 2008
- [10] 壁谷澤寿成, 壁谷澤寿海, 東條有希子, 金裕錫, 壁谷澤寿一: せん断破壊型で壁付き柱に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.573, 2008
- [11] 東條有希子, 壁谷澤寿海, 壁谷澤寿成, 金裕錫, 壁谷澤寿一: 壁付き柱によるピロティ構造の耐震性能に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.565, 2008
- [12] 裴根國・PHAN Van Quang・壁谷澤寿海・金裕錫・壁谷澤寿一・石井貴子, 片側で壁付き柱に関する実験的研究(その 1 実験概要および結果), 日本地震工学会大会 2008 梗概集 p.28-29, 2008
- [13] PHAN Van Quang・裴根國・壁谷澤寿海・金裕錫・壁谷澤寿一・石井貴子, 片側で壁付き柱に関する実験的研究(その 2 ひび割れ及び鉄筋降伏状況), 日本地震工学会大会 2008 梗概集 p.30-31, 2008
- [14] 裴根國, 壁谷澤寿海, 金裕錫, 壁谷澤寿一, PHAN Van Quang: 鉄筋コンクリート造片側で壁付き柱の終局強度に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.55B, 385-390, 2009
- [15] Toshimi Kabeyasawa, Kunkuk Bae, Toshinori Kabeyasawa, Toshikazu Kabeyasawa, and Yousok Kim: Design equation in practice for shear strength of columns with wing walls, The Proceedings of the First International Conference on Computational Technologies in Concrete Structures (CTCS'09), Jeju, Korea, pp.1077-1090, 2009
- [16] 裴根國, 壁谷澤寿海, 金裕錫, 壁谷澤寿一, 片側袖壁付き柱と両側袖壁付き柱のせん断耐力算定法の比較, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.2, pp.169-175, 2009
- [17] PHAN Van Quang, 壁谷澤寿海, 金裕錫, 石井貴子, 鉄筋コンクリート造片側で壁付き柱のひび割れ幅評価法の検証, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.2, pp.187-192, 2009
- [18] 裴根國, 壁谷澤寿海, 金裕錫, 壁谷澤寿一, PHAN Van Quang, 石井貴子, 福山洋, 田尻清太郎, 高強度鉄筋コンクリート造両側袖壁付き柱の耐震性能に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.117-120, 2009
- [19] PHAN Van Quang, 壁谷澤寿海, 金裕錫, 壁谷澤寿一, 裴根國, 石井貴子, 福山洋, 田尻清太郎, 高強度鉄筋コンクリート造片側袖壁付き柱の耐震性能に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.121-124, 2009
- [20] PHAN Van Quang, 壁谷澤寿海, 金裕錫, 壁谷澤寿一: Axial-Shear-Flexure Interaction モデルによる鉄筋コンクリート造両側袖壁付き柱の荷重変形関係の評価, 構造工学論文集, Vol.56B, 75-80, 2010
- [21] 裴根國・壁谷澤寿海・金裕錫・壁谷澤寿一: 袖壁付き柱の構造特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, 115-120, 2010
- [22] Toshimi Kabeyasawa; Toshikazu Kabeyasawa, New Concept on Fail-Safe Design of Foundation Structure Systems Insensitive to Extreme Motions, Advances in Performance-Based Earthquake Engineering, 13, 2010, 113-124.
- [23] Toshimi Kabeyasawa, Toshikazu Kabeyasawa, Yousok Kim, Toshinori Kabeyasawa, Kunkuk Bae and Phan Van Quang Strength and deformability of reinforced concrete columns with wing walls, Proceedings of 9th US National/ 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering, Toronto, Ontario, Canada, July 25-29, EERI, 813-10pp, 2010.
- [24] Toshikazu Kabeyasawa, Toshimi Kabeyasawa, Yousok Kim, Collapse Simulation of Reinforced

Concrete Buildings with ASFI Approach, Proceedings of 9th US National/ 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering, Toronto, Ontario, Canada, July 25-29, EERI, 813-10pp, 2010.

[25] Hossein Mostafaei, Toshimi Kabeyasawa: Performance of a Six-Story Reinforced Concrete Structures in Post-Earthquake Fire., 4. Hossein Mostafaei, Toshimi Kabeyasawa: Performance of a Six-Story Reinforced Concrete Structures in Post-Earthquake Fire., Proceedings of 9th US National/ 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering, Toronto, Ontario, Canada, July 25-29, EERI, 659-10pp, 2010.

[26] 壁谷澤 寿海, 壁谷澤 寿一, 金裕錫, 細川洋治, 既存 RC 学校校舎直接基礎の水平載荷実験－実験計画－, 第 13 回日本地震工学シンポジウム, つくば, 11.17-11.20, 日本地震工学会, 1406-1413, 2010.

[27] 壁谷澤 寿一, 壁谷澤 寿海, 金裕錫, 細川洋治, 既存 RC 学校校舎直接基礎の水平載荷実験－実験結果－, 第 13 回日本地震工学シンポジウム, つくば, 11.17-11.20, 日本地震工学会, 1414-1421, 2010.

[28] 壁谷澤 寿海, 裴根國, 金裕錫, 壁谷澤 寿一, Phan Van Quang, 福山 洋, 田尻 清太郎, 高強度鉄筋コンクリート造袖壁付き柱の耐震性能に関する研究－壁厚・補強筋比・柱偏在の影響－, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 富山(北陸), 9.9-9.11, 日本建築学会, 59-62, 2010.

[29] PHAN Van Quang, 壁谷澤 寿海, 金裕錫, 壁谷澤 寿一, 並列累加型 ASFI モデルによる鉄筋コンクリート造両側そで壁付き柱の荷重変形関係評価法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 富山(北陸), 9.9-9.11, 日本建築学会, 19-20, 2010.

[30] 壁谷澤 寿一, 壁谷澤 寿海, 骨組解析における梁降伏型崩壊メカニズムの推定精度 地震被害事例による検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 富山(北陸), 9.9-9.11, 日本建築学会, 48-49, 2010.

[31] Toshimi Kabeyasawa, Yousok Kim, Mitsuharu Sato, Hwang Hyunseong & Yoji Hosokawa: Tests and Analysis on Flexural Deformability of Reinforced Concrete Columns with Wing Walls, Proceedings of The 2011 Pacific Conference on Earthquake Engineering (PCEE2011), New Zealand Society for Earthquake Engineering, Paper 102, 1-8, 2011

[32] Toshikazu Kabeyasawa, Toshimi Kabeyasawa: Lateral Loading Test on Spread Foundation in an Existing Reinforced Concrete School Building, Proceedings of The 2011 Pacific Conference on Earthquake Engineering (PCEE2011), New Zealand Society for Earthquake Engineering, Paper 058, 1-9, 2011

[33] 壁谷澤 寿一, 壁谷澤 寿海, 金裕錫, 細川洋治: 新潟県中越地震で被災した鉄筋コンクリート造学校校舎の直接基礎の水平載荷実験, 構造工

学論文集, Vol.57B, 621-628, 2011

[34] PHAN Van Quang, 壁谷澤 寿海, 金裕錫, 壁谷澤 寿一: IRREGULAR CROSS SECTION ANALYSIS METHOD による鉄筋コンクリート造袖壁付き柱の復元力特性の評価, 構造工学論文集, Vol.57B, 587-596, 2011

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

壁谷澤 寿海 (KABEYASAWA TOSHIMI)

研究者番号: 00134479

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: