

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20360254

研究課題名（和文） 巨大地震に対する超高層建築物の耐震余裕度評価法と耐震性能向上技術

研究課題名（英文） Techniques for assessing and increasing safety margin of high-rise buildings to huge earthquakes

研究代表者

上谷 宏二（UETANI KOJI）

京都大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：40026349

研究成果の概要（和文）：

S造、CFT造、RC造の超高層建築物を対象に、PΔ効果、局部座屈、コンクリートのひずみ軟化などの劣化要因を適切に考慮した上で、巨大地震発生時に超高層建築物がレベル2を超える強震動を被った際の耐震余裕度を的確に評価するツールと手法を整備した。また、既存超高層建築物を主たる対象として、レベル2を超える強震動に対する要求性能を低コストで満たすための技術を開発した。

研究成果の概要（英文）：

We have developed analytical tools for assessing safety margin of steel, concrete filled tube, and reinforced concrete high-rise buildings to huge earthquakes. The analytical tools can deal with deteriorating effect like P-Delta effect, local buckling, and strain softening in concrete material. Also we have developed low-cost techniques for satisfying safety demands for existing high-rise buildings.

交付決定額

（金額単位：円）

|        | 直接経費        | 間接経費       | 合計          |
|--------|-------------|------------|-------------|
| 2008年度 | 5,600,000円  | 1,680,000円 | 7,280,000円  |
| 2009年度 | 3,900,000円  | 1,170,000円 | 5,070,000円  |
| 2010年度 | 4,700,000円  | 1,410,000円 | 6,110,000円  |
| 年度     |             |            |             |
| 年度     |             |            |             |
| 総計     | 14,200,000円 | 4,260,000円 | 18,460,000円 |

研究分野：建築構造学

科研費の分科・細目：建築学，建築構造・材料

キーワード：超高層建物，巨大地震，S造，CFT造，RC造，制振，耐震

## 1. 研究開始当初の背景

1995年の兵庫県南部地震を初めとして、近年、頻発しているM7クラスの直下型地震の断層近傍において、通常の設計で想定するレベルを大きく上回る強震記録が多数観測されている。また今後、高い確率で発生すると予測されているM8クラスの東海・東南海・南海などの海洋型地震では、東京、

名古屋、大阪などの大都市圏において超高層建築物などの長周期構造物に長時間の大きな揺れが生じる危険性が指摘されている。

このような状況で、近年、これらの巨大地震に対する建築物の耐震安全性の確保が、重要な社会的要請として認識されるようになりつつある。とりわけ超高層建築物は、大きな被害を受けた場合の修復に要するコ

ストや社会に対する影響が甚大であるため、倒壊に至るような究極的危険性はもちろん、機能維持や継続使用性に対する配慮が極めて重要である。

巨大地震発生時に超高層建築物が通常的设计で想定するレベル2を超える強震動を被ると、P $\Delta$ 効果、局部座屈、ひずみ軟化などの劣化要因が絡み合い、変形の累積や過大な残留変形の発生など、構造物全体の挙動に看過できない影響を及ぼす危険性がある。

研究代表者らのこれまでの研究によれば、P $\Delta$ 効果の影響は通常的设计で想定される程度の変形では無視できる程小さいが、変形がある範囲を超えると突然大きな影響を及ぼす危険性があることや、この種の現象は局部座屈などの局所的な劣化現象により大きく加速される傾向があることがわかっている。

それにもかかわらず、設計時にこのような事態は想定されておらず、現象を予測するためのツールや手法も整備されていない。そのため、レベル2を超える強震動に対して各種劣化要因を適切に考慮した上で、超高層建築物の耐震余裕度を的確に評価できる手法を整備し、必要に応じて耐震性を向上させるための技術を開発することは、建築構造学の分野において重要かつ緊急を要する研究課題である。

## 2. 研究の目的

超高層建築物がライフサイクル中に遭遇すると想定される全ての強震動に対する耐震余裕度を評価し、必要に応じて耐震性能を向上するための研究を進めている。本応募課題ではS造、CFT造、RC造の超高層建築物を対象に、以下の二点を目的とする。

- (1) P $\Delta$ 効果、局部座屈、コンクリートのひずみ軟化などの劣化要因を適切に考慮した上で、巨大地震発生時に超高層建築物がレベル2を超える強震動を被った際の耐震余裕度を的確に評価するツールと手法を整備する。
- (2) 既存超高層建築物を主たる対象として、レベル2を超える強震動に対する要求性能を低コストで満たすための技術を開発する。

## 3. 研究の方法

- (1) S造とCFT造に加えて新たにRC造超高層建築物を対象に加え、研究分担者の河野らが開発した時刻歴応答解析プログラムをベースに、各種劣化要因を適切に考慮できる解析ツールを整備する。また解析で必要となる実験データを収集・整理

する。これらの結果を基に、実用的で信頼性の高い耐震余裕度評価法を構築する。

- (2) 架構形式（高さ、耐震・制震要素の有無）や地震動（レベル、卓越周期、継続時間）をパラメータとして時刻歴応答解析を行い、各種劣化要因が塑性率、累積塑性変形倍率、残留変形などに及ぼす影響を定量化する。
- (3) 既存超高層建築物を主対象として、剛性や耐力の劣化に伴う変形累積や過大残留変形の発生を抑止するために、大変形時にも弾性を保つ耐震要素やストッパーの利用により層剛性の低下をキャンセルする耐震性能向上策の有効性と実現性を、実験及び解析を通じて検討する。

## 4. 研究成果

- (1) S造、CFT造、RC造の実験データを収集・整理し、部材の各種劣化特性を再現できる骨組解析用のツールを整備した。ツールは応力ファイバーモデルで、鉄骨、鋼管、コンクリート、鉄筋の各特性を各ファイバーの応力-ひずみ関係で考慮している。ツールの妥当性は、部材実験及び骨組実験のデータで検証し、実用上十分な精度を確認した。これを使用してS造、CFT造、及びRC造の標準的超高層建築物モデルにレベル2以上の長周期地震動を入力する時刻歴応答解析を行い、数値解析の安定性や、超高層建築物の構造種別による損傷特性を明らかにした。またRC造超高層建物の魚骨形地震応答解析モデルの作成法を提案し、レベル2地震動に対する応答予測精度の検証を行った。
- (2) 「断層モデルを用いた方法」や「観測データに基づく方法」などで作成された東海、東南海、南海地震による首都圏、名古屋、大阪地区における長周期地震動に対する耐震安全性を、鋼構造超高層建物の耐震モデルと制振モデルを用いて検討した。その検討中で、層間変形角や塑性率などの最大値による耐震性の判定に加えて、累積塑性変形倍率や塑性履歴エネルギー吸収量などの累積値による耐震性の判定を行う必要があること、これまでの判定基準のほかに、もう少し大きな損傷に対する判定基準を整備する必要のあることを示した。
- (3) U形ダンパーを用いた制振構造および変位制御型ブレースの開発を進めた。U形ダンパーを用いた制振構造は近似直線運動機構を考慮しており、ブレースに鋼棒を用いることができるという特徴がある。柱梁架構の繰り返し載荷実験によ

り良好な履歴特性を呈することを明らかにするとともに、地震応答解析を通じて多層骨組の地震応答を効率よく低減できることを確認した。変位制御型ブレースは、ラーメン架構の過大な変形を抑制することを目的としており、実験と数値解析により変位制御型ブレースを有する架構の耐震特性を明らかにした。また 800N 級高強度鋼を用いた、大変形時にも弾性を保つ耐震要素を付加することで、下層部での変形集中が回避できることを時刻歴応答解析を通じて例証した。

## 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 7 件)

- [1] 高 金賀, 田川 浩: 近似直線運動機構に基づく制振構造を有する鋼構造骨組の塑性設計, 日本建築学会構造系論文集, 第 660 号, pp379-388, 2011 年 2 月 (査読有)
  - [2] 荒木慶一, 金紋廷, 濱田征彦, 木村寛之: 高強度鋼間柱を用いた塑性化後層剛性制御による過大残留変形の抑制, 日本鋼構造協会鋼構造論文集, 第 17 巻, 第 65 号, pp. 63-70, 2010 (査読有)
  - [3] 田川 浩, 高 金賀: 近似直線運動機構に基づく U 形ダンパー付き制振構造, 日本建築学会構造系論文集, 第 648 号, pp443-451, 2010 年 2 月 (査読有)
  - [4] 金紋廷, 荒木慶一, 山川誠, 田川浩, 五十子幸樹: 極大地震動に対する超高層純ラーメン鋼構造物の動的応答に及ぼす P- $\Delta$  効果の影響, 日本建築学会構造系論文集, 第 74 巻, 第 644 号, 2009 年 (査読有)
  - [5] X. Hou, H. Tagawa: Displacement restraint Bracing for Seismic Retrofit of Steel Moment Frames, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 65, pp. 1096-1104, 2009. 5 (査読有)
  - [6] 侯 興国, 田川 浩: 高剛性のワイヤ拘束部材が変位制御型ブレース構造に及ぼす影響, 日本鋼構造協会鋼構造年次論文報告集, 第 16 巻, pp537-544, 2008 年 11 月 (査読有)
  - [7] 田川 浩, 侯 興国: ラーメン構造の耐震特性を考慮した変位制御型ワイヤブレース構造, 日本建築学会構造系論文集, 第 627 号, pp843-850, 2008 年 5 月 (査読有)
- 〔学会発表〕(計 20 件)
- [1] 小俣慶太, 山本能之, 河野昭彦, 松尾真太朗: 耐力劣化を考慮した超高層建築物の終局耐震性能に関する研究 その 1. 部材要素モデルの検証, 日本建築学会九州支部研究発表会, 2011 年 3 月 6 日, 鹿児島
  - [2] 山本能之, 小俣慶太, 河野昭彦, 松尾真太朗: 耐力劣化を考慮した超高層建築物の終局耐震性能に関する研究 その 2. 超高層骨組の解析結果, 日本建築学会九州支部研究発表会, 2011 年 3 月 6 日, 鹿児島
  - [3] 西井宏安, 北村春幸: 南海・東南海連動地震動が鋼構造超高層建物応答に与える影響評価, 日本建築学会関東支部研究発表会, 2011 年 3 月 3~5 日, 東京
  - [4] 竹中皓洋, 田川 浩: テンションロッドを用いた変位制御型ブレースの実大実験, 日本建築学会東海支部研究発表会, 2011 年 2 月 19, 20 日, 名古屋
  - [5] 西井宏安, 北村春幸: 長周期地震動に対する鋼構造超高層建物の損傷評価, 日本地震工学シンポジウム, 2010 年 11 月 17~20 日, 筑波
  - [6] 上谷宏二: 超高層建築物の巨大地震に対する備えは十分か?, 日本建築学会近畿支部構造力学コロキウム, 2010 年 11 月 13 日, 大阪
  - [7] 渡邊真, 河野昭彦, 久永桂輔: 耐力劣化要因を考慮した部材要素モデルの開発 その 1 解析概要および RC・SRC 部材のシミュレーション解析, 日本建築学会九州支部研究発表会, 2010 年 3 月 7 日, 長崎
  - [8] 久永桂輔, 河野昭彦, 渡邊真: 耐力劣化要因を考慮した部材要素モデルの開発 その 2 CFT 部材および S, RC, SRC 骨組のシミュレーション解析, 日本建築学会九州支部研究発表会, 2010 年 3 月 7 日, 長崎
  - [9] 竹中皓洋, 田川 浩: テンションロッドを用いた変位制御型ブレース構造に関する実験的研究, 日本建築学会東海支部研究発表会, 2010 年 2 月 20, 21 日, 名古屋
  - [10] 濱田征彦, 荒木慶一, 金紋廷, 木村寛之: 高強度鋼間柱を用いた鋼構造高層骨組の変形集中現象抑止策 (その 2), 日本建築学会大会, 2009 年 8 月 26~29 日, 仙台
  - [11] 金紋廷, 荒木慶一: 極大地震動に対する超高層純ラーメン鋼構造建物の耐震余裕度の検討, 日本建築学会大会, 2009 年 8 月 26~29 日, 仙台
  - [12] 岡山真之介, 荒木慶一: 高次分岐荷重を用いた多層平面骨組のドリフト・変形集

中抑止条件, 日本建築学会大会, 2009年8月26~29日, 仙台

- [13] 野村綾, 川崎恵, 西井宏安, 北村春幸: 名古屋三の丸地区の長寿命建物が遭遇する複数の強震動を想定した累積損傷評価 その4 複数強震動による応答予測式とその検証, 日本建築学会大会, 2009年8月26~29日, 仙台
- [14] 川崎恵, 野村綾, 西井宏安, 北村春幸: 名古屋三の丸地区の長寿命建物が遭遇する複数の強震動を想定した累積損傷評価 その5 JSCA性能メニューを適用した耐震性能評価, 日本建築学会大会, 2009年8月26~29日, 仙台
- [15] 西井宏安, 野村綾, 川崎恵, 北村春幸: 名古屋三の丸地区の長寿命建物が遭遇する複数の強震動を想定した累積損傷評価 その6 免震構造の累積損傷評価, 日本建築学会大会, 2009年8月26~29日, 仙台
- [16] 渡邊 真, 河野昭彦, 岡山昂平: 巨大地震下の鉄骨多層骨組の終局挙動予測に関する研究 その1-局部座屈を考慮した鉄骨部材要素モデル, 日本建築学会大会, 2009年8月26~29日, 仙台
- [17] 岡山昂平, 河野昭彦, 渡邊 真: 巨大地震下の鉄骨多層骨組の終局挙動予測に関する研究 その2 骨組の実験挙動のシミュレーション解析, 日本建築学会大会, 2009年8月26~29日, 仙台
- [18] 渡邊真, 河野昭彦, 岡山昂平: 局部座屈を考慮した鉄骨部材の要素モデルの開発, 日本建築学会九州支部研発表会, 2009年3月7~8日, 沖縄
- [19] 濱田征彦, 木村寛之, 金紋廷, 荒木慶一, 上谷宏二: 高強度鋼間柱を用いた鋼構造高層骨組の変形集中現象抑止策, 日本建築学会大会, 2009年9月18~20日, 東広島
- [20] 金紋廷, 荒木慶一, 田川浩, 上谷宏二: 幾何非線形効果による鋼構造高層骨組の下層部変形集中現象に及ぼす地震動の影響, 2009年9月18~20日, 東広島

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

上谷 宏二 (UETANI KOJI)  
京都大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 40026349

### (2) 研究分担者

北村 春幸 (KITAMURA HARUYUKI)  
東京理科大学・理工学部・教授  
研究者番号: 20339112  
河野 昭彦 (KAWANO AKIHIKO)  
九州大学・大学院人間環境学府・教授  
研究者番号: 60136520

田川 浩 (TAGAWA HIROSHI)  
名古屋大学・大学院環境学研究科・准教授  
研究者番号: 70283629  
荒木 慶一 (ARAKI YOSHIKAZU)  
京都大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 50324653  
永野 康之 (NAGANO YASUYUKI)  
兵庫県立大学・大学院シミュレーション学  
研究科・教授  
研究者番号: 00410374