

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5月7日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22360232

研究課題名（和文） 鉄筋コンクリート造柱の地震時軸耐力喪失過程と建物の倒壊リスクに関する動的検証

研究課題名（英文） Dynamic Investigation for Process of Axial Load Carrying Capacity Loss of Reinforced Concrete Columns and Collapse Risk of Building under Earthquake

研究代表者

中西 三和（NAKANISHI MITSUKAZU）

日本大学・理工学部・教授

研究者番号：40147690

研究成果の概要（和文）：地震時における既存 RC 造建物の柱と超高層鉄筋コンクリート造柱の軸力支持性能や柱梁接合部の性能を調べるために、多数回繰返し加力実験を行った。加力は、静的載荷と動的載荷を一对として実施し、静的載荷に比べ動的載荷した実験において柱の軸力支持能力の喪失や接合部性能の低下が早まることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to investigate the axial load capacity of reinforced concrete (RC) columns in various kinds of damage levels under earthquake. The static and dynamic tests were carried on RC columns and column-beam joint. From the tests results, it was clarified that the capacity of columns and column-beam joint were decreased at dynamic test.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	6,000,000	1,800,000	7,800,000
2011年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2012年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
年度			
年度			
総計	13,600,000	4,080,000	17,680,000

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：耐震診断基準、第2種構造要素、せん断破壊、残存軸耐力、長周期地震動、軸耐力喪失、静的裁荷実験、動的裁荷実験

1. 研究開始当初の背景

(1) 既存鉄筋コンクリート（以後、RC）造柱の耐震診断基準における第2種構造要素の評価基準となる靱性指標と残存軸力の関係を補完する実験データの必要性が指摘された。
(2) 2011年3月の震災を契機に、長周期地震動のように長時間にわたって繰返し変動荷重を受ける超高層 RC 造建物の柱や柱梁接合部の挙動が注目されるようになった。

2. 研究の目的

(1) せん断破壊する既存 RC 造柱の最大耐力後の残存軸耐力とその評価法を明らかにする。
(2) 超高層 RC 造建物の下層階の柱を対象に、長期軸力を付加した状態で長周期地震動を模した動的載荷と静的載荷による多数回繰返し実験を行い、破壊性状や軸力支持能力に及ぼす載荷方法の違いが及ぼす影響を検討する。
(3) 超高層 RC 造建物の柱梁接合部を対象に、

柱で実施した実験と同様の多数回繰返し載荷実験を行い、接合部における梁主筋の付着性能の低下が構造物全体の挙動に及ぼす影響を調べる。

3. 研究の方法

(1)せん断破壊型柱試験体 2 体を用いた静的載荷実験と動的載荷実験である。いずれも最大耐力後の耐力低下と軸力支持能力の関係を調べることを目的としていることから、繰返し漸増載荷の変位増分を 1/1000 とし、所定の靱性指標 (F 値) までの水平加力載荷後、残存軸耐力を調べる鉛直加力実験を行った。

(2)長周期地震動のように、比較的長い時間にわたって繰返し変動荷重を受ける超高層 RC 造建物の柱の挙動を調べることを目的としていることから、実験に先立ちビルディングレータに搭載された超高層 RC 造建物の構造諸元を文献調査するとともに、それを参考に 30 階建ての RC 造超高層建物を試設計した。

(3)試設計建物を対象に、比較的短周期の地震動と長周期地震動を模擬した地震波による応答解析を行い、構造物の時刻歴応答性状 (図 1) を比較検討し、長周期地震動を受けた場合設計上のクライテリアを超える応答結果となる可能性があることが示された (図 2)。

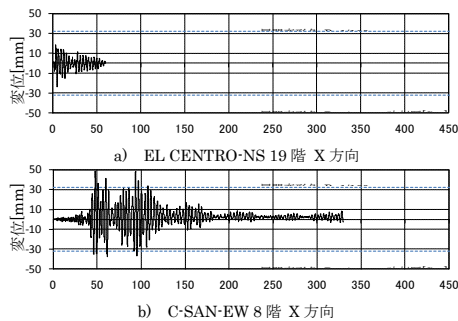


図 1 応答層間変位の時刻歴

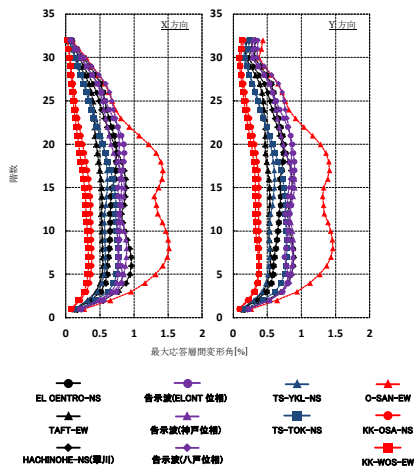


図 2 地震波による応答層せん断力の比較

(4)試設計建物の下層中柱と隅柱を対象に模型試験体を作製し、定軸力を負荷した状態で静的及び動的載荷による多数回の繰返し載荷実験を行った。載荷装置は、図 1 に示す通称建研式加力装置であり、試験体は逆対称の変形状態で、常に一定軸力保持するよう制御される。載荷履歴は地震継続時間の長い長周期地震動を想定し、試験体が破壊するまで多数回繰返しの漸増変位を与えた実験シリーズ 1 と、最大耐力までを漸増変位の繰返し載荷、最大耐力を経験した後損傷限界変位に対応する部材角 1/200 と最大耐力経験時の部材角 1/75 の繰返し載荷をセットに軸力支持能力を失うまでの載荷を行った実験シリーズ 2 からなる。

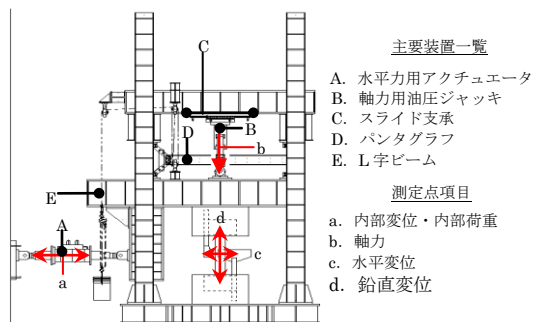


図 3 加力装置 (柱)

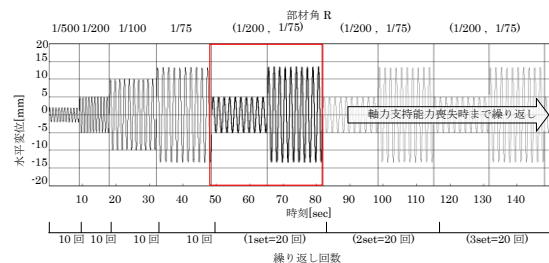


図 4 加力スケジュール (実験シリーズ 2)

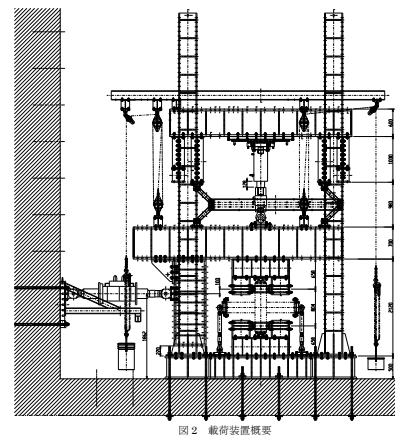


図 5 加力装置 (柱梁接合部)

(5)柱曲げ耐力と梁耐力の比をパラメータとした柱梁接合部の実験であり、(4)の柱の実験シリーズ1における繰返し載荷則と同じとした。加力装置(図5)は柱頭、柱脚をピン支持し梁端をローラー支持した状態で柱頭に水平荷重を加える装置としている。

4. 研究成果

(1)せん断破壊型柱(極脆性柱)では、靱性指標(F値)の大きさに関わらず、最大耐力以降急激な耐力低下を起すため、残存軸耐力の評価方法をさらに検討する必要があるが、今回行った実験の範囲では現行の基準値よりも安全側の結果となった(図6)。また、同じ試験体ではあっても静的載荷と動的載荷の実験では、軸力支持能力喪失および残存軸耐力に差が生じた。

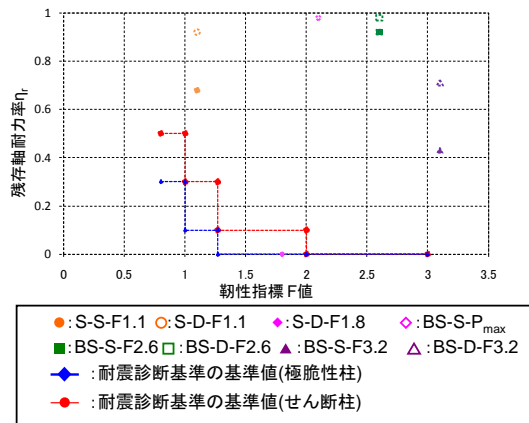


図6 靱性指標Fと残存軸耐力の関係

(2)長周期地震動を受けるRC造柱の実験

①実験シリーズ1

- ・同一試験体を用いた静的載荷と動的載荷の実験の比較から、動的載荷実験では最大耐力、エネルギー吸収性能も静的載荷を上回る。

- ・高軸力を負荷した柱では、早期に軸力支持能力を喪失し、動的載荷ほどそれが顕著である。

- ・動的載荷では、ひずみ速度の影響により材料強度が上昇し、破壊モードが変化することがあり、注意が必要である。

②実験シリーズ2

- ・最大耐力経験後の、最大耐力経験変位(R=1/75)と安全限界変位(R=1/200)を一对とした多数回の繰返し載荷において、静的載荷に比べ動的載荷では、早期に軸力支持能力を喪失した(図7)。

- ・大きな変位を経験した後の、小さな変位での繰返し載荷による耐力低下は見られない。

- ・静的載荷実験では、水平変形が小さい範囲では軸縮みが進行しても軸力を保持する傾向にあるが、動的載荷では急激な軸縮みに伴って軸力支持能力を喪失した。

- ・静的載荷に比べ動的載荷では最大耐力が約1.1倍高くなった。

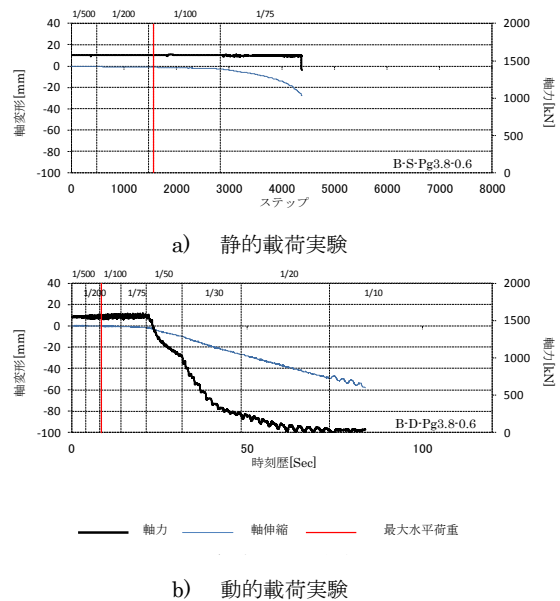


図7 軸力 - 軸変位関係(軸力比0.6)

(3)長周期地震動を受ける柱梁接合部の実験

8階および18階柱梁接合部を想定した試験体に定軸力を負荷した状態で長周期地震動を模擬した静的および動的載荷による水平載荷実験を行い接合部の破壊過程等を確認した。最大耐力を経験した以降の繰返しで、梁主筋の付着性能が低下しスリップ現象の顕著な層せん断力-層間変位関係(図8)を示し最終的に梁端部のコンクリートの圧縮破壊と付着破壊で耐力を失った。付着性能の劣化が構造物全体としての挙動に大きな影響を及ぼすことが確認された。今後、梁曲げ耐力と柱曲げ耐力比が、1.5程度で付着性能の劣化がもう少し顕著な試験体について検討する必要がある。

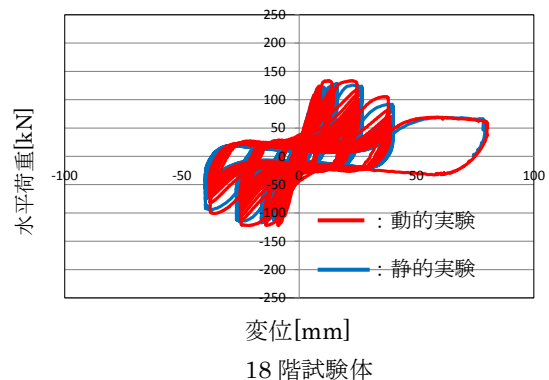


図8 層せん断力-層間変位関係

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 11 件)

- ① 幡中伸彦、坂東大輔、安武悠、田才晃、楠浩一、安達洋、中西三和、長周期地震動を受ける高層 RC 造建物の柱部材の軸力支持能力に関する動的検証実験，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），査読無，2011. 8，pp. 41-44
- ② 坂東大輔，安武悠，幡中伸彦，安達洋，中西三和，田才晃，長周期地震動を受ける高層 RC 造建物の柱部材の軸力支持能力に関する動的検証実験-その1 実験概要および実験結果-，第 55 回日本大学理工学部学術講演会，査読無，CDR
- ③ 坂東大輔，安武悠，幡中伸彦，安達洋，中西三和，田才晃，長周期地震動を受ける高層 RC 造建物の柱部材の軸力支持能力に関する動的検証実験-その2 実験結果-，第 55 回日本大学理工学部学術講演会，査読無，CDR
- ④ 瑞慶覧長尚，坂東大輔，古谷章，北嶋圭二，楠浩一，田才晃，中西三和，安達洋，長周期地震動を受ける超高層 RC 造建物の応答性状と柱部材の性能に関する研究（その 1 超高層 RC 造建物の統計的分析），日本建築学会大会学術講演会（東海），査読無，2012. 8，pp. 437-438
- ⑤ 栗橋成紀，坂東大輔，古谷章，北嶋圭二，楠浩一，田才晃，中西三和，安達洋，長周期地震動を受ける超高層 RC 造建物の応答性状と柱部材の性能に関する研究（その 2 超高層 RC 造建物の時刻歴応答解析），日本建築学会大会学術講演会（東海），査読無，2012. 8，pp. 439-440
- ⑥ 石坂優樹，坂東大輔，古谷章，北嶋圭二，楠浩一，田才晃，中西三和，安達洋，長周期地震動を受ける超高層 RC 造建物の応答性状と柱部材の性能に関する研究（その 3 水平載荷実験概要及び実験結果），日本建築学会大会学術講演会（東海），査読無，2012. 8，pp. 441-442
- ⑦ 安武悠、古谷章、北嶋圭二、楠浩一、田才晃、中西三和、安達洋、長周期地震動を受ける超高層 RC 造建物の最下層中柱を対象とした多数回繰り返し載荷実験（その 1 超高層 RC 造建物の統計的分析），第 56 回日本大学理工学部学術講演会，査読無，2012. 11，pp. 167-168
- ⑧ 栗橋成紀、古谷章、北嶋圭二、楠浩一、田才晃、中西三和、安達洋、長周期地震動を受ける超高層 RC 造建物の最下層中柱を対象とした多数回繰り返し載荷実験（その 2 超高層 RC 造建物の時刻歴応答解析），第 56 回日本大学理工学部学術講演会，査読無，2012. 11，pp. 169-170
- ⑨ 伊藤渚、古谷章、北嶋圭二、楠浩一、田才晃、中西三和、安達洋、長周期地震動を受ける超高層 RC 造建物の最下層中柱を対象とした多数回繰り返し載荷実験（その 3 実験概要及び実験結果），第 56 回日本大学理工学部学術講演会，査読無，2012. 11，pp. 171-172
- ⑩ 天羽祥太、古谷章、北嶋圭二、楠浩一、田才晃、中西三和、安達洋、長周期地震動を受ける超高層 RC 造建物の最下層中柱を対象とした多数回繰り返し載荷実験（その 4 実験結果），第 56 回日本大学理工学部学術講演会，査読無，2012. 11，pp. 173-174
- ⑪ 石坂優樹，古谷章，田才晃，中西三和，長周期地震動を受ける超高層 RC 造建物の最下層中柱を対象とした多数回繰り返し載荷実験，コンクリート工学年次大会 2013（名古屋），査読有，2013.7（掲載決定）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中西 三和 (NAKANISHI MITSUKAZU)
日本大学・理工学部・教授
研究者番号：40147690

(2) 研究分担者

安達 洋 (ADACHI HIROMI)
日本大学・理工学部・特任教授
研究者番号：40059928

北嶋 圭二 (KITAJIMA KEIJI)
日本大学・理工学部・助教
研究者番号：50632296

(3) 連携研究者

田才 晃 (TASAI AKIRA)
横浜国立大学・工学系・研究科・教授
研究者番号：40155057

楠 浩一 (KUSUNOKI KOUICHI)
横浜国立大学・工学系・研究科・准教授
研究者番号：00292748