

令和元年6月25日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06568

研究課題名(和文) コンクリート系建物の骨組崩壊過程把握のためのサブストラクチャ振動台実験

研究課題名(英文) Substructure Shaking Table Test for Collapse Process of Reinforced Concrete Building

研究代表者

長江 拓也 (Nagae, Takuya)

名古屋大学・減災連携研究センター・准教授

研究者番号：90402932

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：建物骨組を部分的に切り出す実験手法に基づき、骨組の超大変形時の弾塑性挙動に関する実験資料を蓄積した。数値解析に向けて、実験結果と対比しつつ、崩壊評価に必要な数値解析モデルの主要パラメータを特定した。検証後の数値解析モデルを全体骨組に組み込み、地震動種類、地震動強さを多岐に変化させる地震応答解析を通して、全体骨組の崩壊挙動を評価する確率論的手法を例示した。実務への適用性を高める手法として、全体骨組に対して、その振動モード形状を外力分布形状に採用し、固定する条件において、等価高さ位置における変位履歴を地震応答を参照して制御する静的繰返し載荷解析を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高層建物に対する現行の耐震設計法では、骨組が耐える力を保持して粘る条件を仮定し、地震時の揺れ幅が、力を保持できなくなる限界点よりも、相当手前にとどまることを確認する手順を取っている。設計で想定する地震動の強さは、1995年兵庫県南部地震や2016年熊本地震で確認された(断層近傍のパルス波を含む)地震動の強さよりも、格段に小さい。設計想定を大きく超える地震動を受ける骨組が、耐える力を部分的に失いながら、またその範囲を拡げながら、あり得るケースとして崩壊に至る状況を、直接検証する設計法は未だ確立できていない。本研究が得た成果を発展させることで、実用的な手順で、骨組崩壊を評価することが可能となる。

研究成果の概要(英文)：A method of substructure test was developed by using a shaking table facility. Deformation time histories occurring in prototype buildings were applied to the substructure specimen equivalent to their critical portions. The force-deformation hysteresis was evaluated in the large deformation level significantly exceeding design limit, and compared with a promising numerical model, Krawinkler model. This model was developed in Stanford University, and is now recommended in the newest high-rise building design guideline of the United States. The ultimate energy capacity and other main parameters were tuned according to the test results. The numerical models, which represented substructure test results, were incorporated in the model of a full-scale frame test structure. The adopted method of static cyclic loading frame analysis indicated a new design procedure based on a reasonable performance assessment format.

研究分野：建築構造，耐震工学

キーワード：振動台実験 強度劣化 骨組解析

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

高層建物に対する現行の耐震設計法では、骨組が耐える力を保持して粘る条件を仮定し、地震時の揺れ幅が、力を保持できなくなる限界点よりも、相当手前にとどまることを確認する手順を取っている。設計で想定する地震動の強さは、1995年兵庫県南部地震や2016年熊本地震で確認された（断層近傍のパルス波を含む）地震動の強さよりも、格段に小さい。設計想定を大きく超える地震動を受ける骨組が、耐える力を部分的に失いながら、またその範囲を拡げながら、あり得るケースとして崩壊に至る状況を、直接検証する設計法は未だ確立できていない。

2. 研究の目的

地震被災建物が崩壊に至る状況を評価するためには、設計で想定する変形の数十倍に相当する、超大変形を受ける骨組の複雑な弾塑性挙動を数値解析によって正確に表現する必要がある。特に、変形振幅の経験履歴に左右される骨組主要部位の力保持性能の低下、すなわち、剛性（変形のしにくさ、骨組としての固さ）の劣化性状と、強度（骨組が保持できる力の最大値）の劣化性状を追跡する必要がある。近年、スタンフォード大学で開発された Krawinkler 履歴モデルは、終局限界基準のエネルギー吸収量を参照することで、多様な繰り返し変形の振幅履歴を受ける弾塑性挙動を包括的に表現することができ、米国の最新の超高層設計指針において、その活用が推奨されている。本研究では、この履歴モデルの特性を、実験と対比しつつ具体的に検証し、骨組の力保持性能の低下が崩壊ハザード評価に及ぼす影響を考察する。また、繰り返し変形を受ける骨組の実用的な静的解析評価手法を提案、検証する。

3. 研究の方法

想定建物骨組の主要部位のサブストラクチャ試験体を準備し、振動台上において、地震被災建物が想定する部分変形の振幅履歴を与える実験手法を構築する。実験では、骨組の損傷の進行過程、剛性の劣化性状、および強度の劣化性状に、各種の設計条件が与える影響を検証する。また、過去の振動台実験（図1）によって保有するデータを再検証することにより、弾塑性応答時の振動モード性状を特定し、繰り返し振幅を与える静的骨組解析により地震応答時の強度低下を評価する手法を検証する。

こうした実験結果における力学的特徴を、Krawinkler 履歴モデル（図2）に基づく数値解析によって追跡するために、同モデルの主要パラメータを調整する。



図1 実骨組試験体

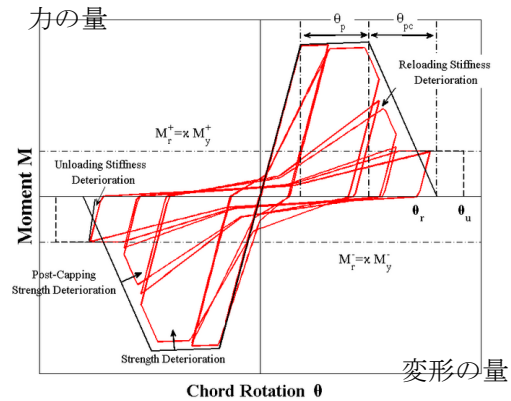


図2 数値解析モデル (Krawinkler Model)

4. 研究成果

まず、全体システムの崩壊挙動を評価する確率論的手法を例示し（図3）、強度劣化評価の重

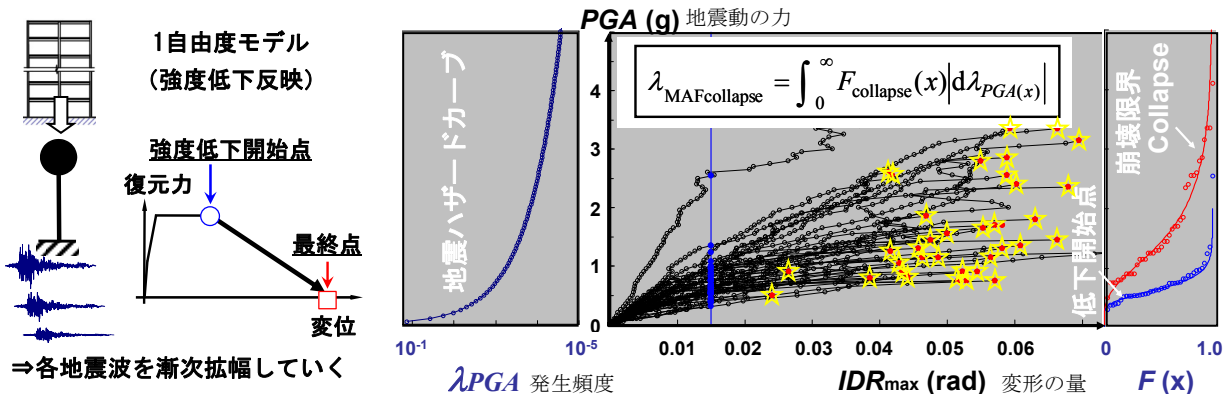
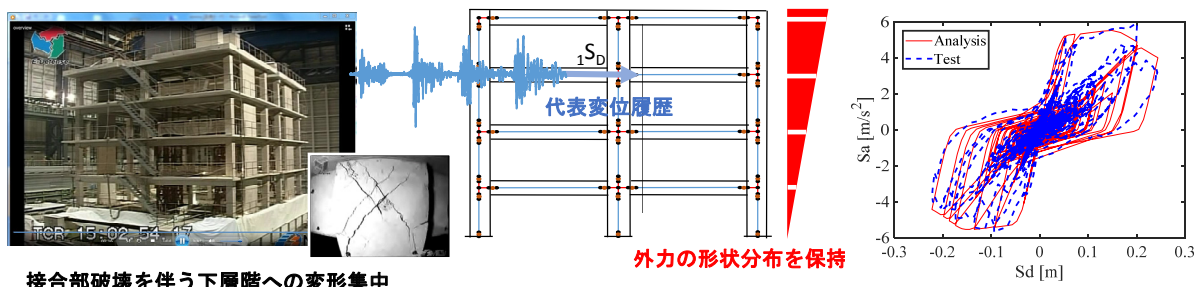


図3 地震ハザードと崩壊限界フラジリティにより求まる崩壊ハザード

要性を確認した。

骨組を部分的に切り出す実験では、骨組の超大変形時の弾塑性挙動に関する実験資料を蓄積した。実験結果と対比しつつ、崩壊評価に必要な数値解析モデルの主要パラメータを特定した。検証後の数値解析モデルを全体システムに組み込み、地震動種類、地震動強さを多岐に変化させる地震応答解析に反映した。

実務への適用性を高める手法として、全体骨組に対して、その振動モード形状を外力分布形状に採用し、固定する条件において、等価高さ位置の地震応答変位履歴を制御する、静的繰り返し載荷解析を提案した(図4)。本研究が得た成果を発展させていけば、実用的な手順に基づき、骨組崩壊を評価することが可能となる。



接合部破壊を伴う下層階への変形集中

図4 実大4層架構の動的振動実験と静的繰り返し載荷解析による架構性能評価

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- (1) Cem Yenidogan, Ryo Yokoyama, Takuya Nagae, Kenich Tahara, Yusuke Tosauchi, Koichi Kajiwara, Wassim Ghannoum (2018) Shake Table Test of a Full-Scale Four Story Reinforced Concrete Structure and Numerical Representation of Its Overall Response with Modified IMK Model, Bulletin of Earthquake Engineering, Springer, Volume 16, Issue 5, pp 2087–2118 (査読有り)

[学会発表] (計 14 件)

- (1) Cem Yenidogan, Ryo Yokoyama, Takuya Nagae, Koichi Kajiwara, Luis Ibarra (2018) PERFORMANCE ASSESSMENT OF A FOUR-STORY RC STRUCTURE THROUGH FULL-SCALE TESTS AND NUMERICAL ANALYSIS, 16th European Conference on Earthquake Engineering, Thessaloniki Concert Hall, June 18-21 (国際学会)
- (2) Vethma Withana, Cem Yenidogan, 長江 拓也, 土佐内 優介, 田原 健一, 梶原 浩一 (2018) Numerical Analysis Studies of a Full-Scale Four-Story Reinforced Concrete Test Structure, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造 IV, pp.543-544
- (3) 青柳 克弘, 岡崎 太一郎, 長江 拓也, 松宮 智央, 高橋 典之, 丸山 一平, 梶原 浩一, 中澤 博志, 御子柴 正 (2018) 部分架構の動的載荷実験と同時損傷評価手法の開発 第 4 報 現場式柱梁接合部の繰り返し載荷性能, 日本建築学会北海道支部研究報告集, Vol.91, pp.180-183
- (4) 野々山優輔, 鳥谷尾駿佑, 長江 拓也, 岡崎 太一郎, 松宮 智央, 高橋 典之, 丸山 一平, 梶原 浩一, 中澤 博志, 御子柴 正 (2018) 部分架構の動的載荷実験と同時損傷評価手法の開発 第 5 報 床スラブの影響を含めた分析と数値解析, 日本建築学会北海道支部研究報告集, Vol.91, pp.184-187
- (5) 高橋 典之, 根本 結衣, 長江 拓也, 岡崎 太一郎, 松宮 智央, 丸山 一平, 梶原 浩一, 中澤 博志, 御子柴 正 (2018) 部分架構の動的載荷実験と同時損傷評価手法の開発 第 6 報 画像相関法を用いたひずみ計測によるひび割れ幅と載荷速度の関係, 日本建築学会北海道支部研究報告集, Vol.91, pp.188-191
- (6) 青柳 克弘, 岡崎 太一郎, 長江 拓也, 松宮 智央, 高橋 典之, 丸山 一平, 中澤 博志, 御子柴 正 (2018) 大型振動台を用いた構造骨組加力実験と解析評価 その 5 現場式柱梁接合部の繰り返し載荷性能, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造 II, pp.245-246
- (7) 野々山優輔, 鳥谷尾駿佑, 長江 拓也, 岡崎 太一郎, 松宮 智央, 高橋 典之, 丸山 一平, 中澤 博志, 御子柴 正, 梶原 浩一 (2018) 大型振動台を用いた構造骨組加力実験と解析評価 その 6 床スラブの影響を含めた分析, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造 II, pp.247-248
- (8) 根本 結衣, 高橋 典之, 長江 拓也, 岡崎 太一郎, 松宮 智央, 丸山 一平, 中澤 博志, 御子柴 正, 梶原 浩一 (2018) 大型振動台を用いた構造骨組加力実験と解析評価 その 7 動的載荷実験における画像相関法の適用と部材損傷進展評価, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造 II, pp.249-250
- (9) 長江 拓也 (2017) 米国の超高層 RC 造建物の最新動向, 日本建築学会 (中国) 構造部門 (RC 構造), パネルディスカッション-超高層 RC 造建物の耐震設計の現状と今後の課題-

- (10) 横山 遼, 長江 拓也, Cem Yenigogan, 田原 健一, 土佐内 優介 (2017) 鉄筋コンクリート造骨組の大変形時弾塑性応答性状に関する数値解析モデルの再現性 Ibarra-Medina-Krawinkler Model, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, p.729
- (11) 松宮 智央, 岡崎 太一郎, 長江 拓也, 高橋 典之, 丸山 一平, 梶原 浩一, 中澤 博志, 御子柴 正 (2017) 部分架構の動的載荷実験と同時損傷評価手法の開発 第1報 実験計画とS造試験体の実験結果, 日本建築学会北海道支部研究報告集, Vol.90, pp.85-88
- (12) 鳥谷尾 駿佑, 長江 拓也, 松宮 智央, 岡崎 太一郎, 高橋 典之, 飛田 潤, 福和 伸夫 (2017) 部分架構の動的載荷実験と同時損傷評価手法の開発 第2報 鋼構造建物の数値解析モデル, 日本建築学会北海道支部研究報告集, Vol.90, pp.89-92
- (13) 高橋 典之, 根本 結衣, 長江 拓也, 松宮 智央, 岡崎 太一郎, 丸山 一平, 梶原 浩一, 中澤 博志, 御子柴 正 (2017) 部分架構の動的載荷実験と同時損傷評価手法の開発 第3報 画像処理技術の適用検証と RC 造試験体の損傷量評価, 日本建築学会北海道支部研究報告集, Vol.90, pp.93-98
- (14) 岡崎 太一郎, 中田 和志, 松宮 智央, 長江 拓也, 高橋 典之, 丸山 一平, 中澤 博志, 御子柴 正 (2017) 大型振動台を用いた構造骨組加力実験と解析評価 その1 実験手法とS試験体の履歴応答, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, p.541
- (15) 鳥谷尾 駿佑, 長江 拓也, 松宮 智央, 岡崎 太一郎, 高橋 典之, 丸山 一平, 飛田 潤, 福和 伸夫 (2017) 大型振動台を用いた構造骨組加力実験と解析評価 その2 数値モデルによるS造評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, p.543
- (16) 根本 結衣, 高橋 典之, 長江 拓也, 丸山 一平, 松宮 智央, 岡崎 太一郎, 中澤 博志, 御子柴 正 (2017) 大型振動台を用いた構造骨組加力実験と解析評価 その3 モノラルカメラを用いた画像相関法による損傷量解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, p.545
- (17) 高橋 典之, 根本結衣, 長江 拓也, 丸山 一平, 松宮 智央, 岡崎 太一郎, 中澤 博志, 御子柴 正 (2017) 大型振動台を用いた構造骨組加力実験と解析評価 その4 RC 造試験体の実験結果と損傷量分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, p.547

[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]

特になし

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：岡崎 太一郎

ローマ字氏名：Okazaki Taichiro

所属研究機関名：北海道大学

部局名：工学研究院

職名：教授

研究者番号 (8 桁)：20414964

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：Cem Yenidogan

ローマ字氏名：同上

研究協力者氏名：高橋 典之

ローマ字氏名：Takahashi Noriyuki

研究協力者氏名：松宮 智央

ローマ字氏名：Matsumiya Tomohiro

研究協力者氏名：丸山 一平

ローマ字氏名：Maruyama Ippei

研究協力者氏名：梶原 浩一
ローマ字氏名：Kajiwara Koichi

研究協力者氏名：御子柴 正
ローマ字氏名：Mikoshiba Tadashi

研究協力者氏名：中澤 博志
ローマ字氏名：Nakazawa Hiroshi

※ 科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。