

旧耐震基準で設計されたRC造ピロティ建物の軸破壊順序の算定
(その1)研究背景および解析モデルの構築

Calculation of Axial Failure Sequence for RC Piloti-type Buildings Using Old Seismic Standards
(Part1) Research Background and Construction of Analytical Model

○井上恵太¹, 矢幡悠¹, 伊豆川瞬也², 田嶋和樹³, 長沼一洋³

Keita Inoue¹, Yu Yahata¹, Shunya Izukawa², Kazuki Tajima³, Kazuhiro Nagamuna³

Abstract: This study aims to elucidate the mechanism of story collapse of RC buildings using old seismic standard and to develop a reinforcement method to prevent story collapse. Since many cases of story collapse of piloti-type buildings using old seismic standard have been reported in recent major earthquakes, axial failure of columns and axial failure sequence in piloti-type buildings are investigated through numerical analysis.

1. はじめに

日本では、地震被害を受ける度に耐震規定の改訂が行われ、建物の耐震性能を向上させてきた。一方で近年の大地震では、1981年以前の旧耐震基準（以下、旧基準）で設計された鉄筋コンクリート（以下、RC）造ピロティ建物の層崩壊の事例が報告されており、旧基準建物の迅速な耐震補強が求められている。

Fig.1に2018年の共同住宅の耐震化率¹⁾を示す。旧基準の共同住宅の約3分の1は、未だに耐震補強が実施されておらず、耐震化が進んでいないのが現状である。本研究では、1971年以前に建てられた旧基準建物の層崩壊を防ぎ、人命を守るための耐震補強方法の構築を目標としている。基礎段階として、特に被害事例が多かった旧基準RC造ピロティ建物を対象に、柱の軸破壊順序の算定を試みる。

2. 旧基準RC造ピロティ建物モデルの概要

Table1に耐震規定の変遷を示す。新耐震設計法が施行され、保有水平耐力計算が導入される1981年以前の1971年に大幅な耐震規定の改訂が行われていることが確認できる。これは、1968年の十勝沖地震でRC造建物の柱のせん断破壊が問題視されたことが要因である。本研究では、旧基準建物の中でも特に脆性的な破壊の恐れがある1971年以前の旧基準建物を対象に検討を行う。

Fig.2に建物モデルの概要を示す。1971年以前の旧基準ピロティ建物を想定した2×2スパンの3層および4層モデルを構築した。コンクリート強度は13.5N/mm²、鉄筋の降伏強度は235 N/mm²とした。また、主筋には丸鋼を用いて、せん断補強筋間隔は300mmとした。外構面の2層以上には腰壁を配置し、剛性差を設けることで、1層をピロティ層とした。

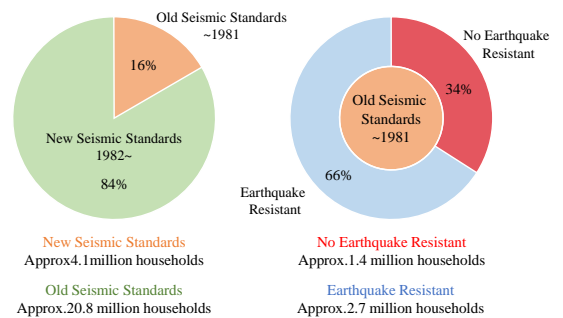
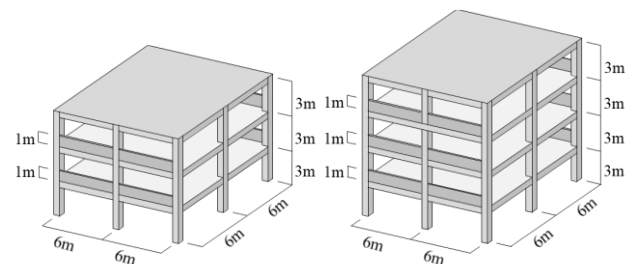


Fig.1 Percentage of Apartment Buildings that are Earthquake Resistant in 2018¹⁾

Table1 Changes in Seismic Standards

	~1971	1971~
Concrete Strength	13.5N/mm ²	(1971~)13.5N/mm ² (1988~)18N/mm ²
Rebar Type	Round Rebar	Deformed Rebar
Stirrup	~ 2D/3 or ~300mm	~ D/2 or ~ 250 mm Stirrup ratio 0.2% ~
Hoop	~ 300mm	~ 100mm Hoop ratio 0.2% ~



Floor	Column	Beam
2F~4F	B × D : 500 × 500 Rebar : 8-R25 □ : R9-@300	B × D : 400 × 600 Rebar : 3-R25, 2-R25 □ : R9-@300
1F	B × D : 500 × 500 Rebar : 12-R25 □ : R9-@300	B × D : 400 × 600 Rebar : 4-R25, 2-R25 □ : R9-@300

Fig.2 Building Model

1 : 日大理工・学部・建築 2 : 日大理工・院(前)・建築 3 : 日大理工・教員・建築

3. 耐震診断結果

Fig.3に耐震診断（2次診断）による1層の C_T - F 関係図を示す。3層、4層どちらのモデルも構造耐震判定指標 $I_{SO}=0.6$ を下回っており既存不適格建物と判定された。Fig.4に耐震診断（2次診断）による共同住宅の I_S 値分布²⁾および3層、4層モデルの1層 I_S 値を示す。どちらも I_S 値分布の最頻値付近となっており、モデルの妥当性を確認できた。

4. 解析モデルの概要

Fig.5に解析モデルの概要を示す。解析には数値解析コードOpensees³⁾を用いた。柱梁はファイバー要素、基礎および柱梁接合部は剛体要素、腰壁は剛性が等価なトラス要素でブレース置換し、スラブは剛床仮定とした。コンクリートの材料構成則は、Kent-Parkモデル⁴⁾を採用した。鉄筋はbi-linear型とし、降伏後の二次勾配は初期剛性の1/100とした。1層の柱には、せん断破壊挙動を再現するためのせん断サブ要素⁵⁾を挿入した。なお、せん断ひび割れ点およびせん断破壊点のせん断力は、荒川 mean 式より算出し、その時のせん断変形はElwoodら⁶⁾のせん断限界状態曲線を用いて求めた。1層の柱頭柱脚に丸鋼主筋の抜け出し挙動を再現するための接合部サブ要素⁷⁾を挿入した。また、1層の柱にせん断破壊後の軸力低下挙動を再現するための軸力バネ⁷⁾を挿入した。軸力バネは、柱軸力と修正軸限界状態曲線の位置関係から軸破壊点の検出を行い、最大軸力を決定する。その後は、修正軸限界状態曲線上に乗るように水平変形に応じて軸力を低下させ、軸力低下に伴う軸圧縮変形を与えることで軸抵抗の喪失挙動を再現する。

5. まとめ

その1では、1971年以前の旧基準ピロティ建物を想定した2×2スパンの3層および4層モデルを構築した。また、構築した建物モデルに対して、耐震診断を行い、その妥当性を確認した。その2では、作成した解析モデルを用いて動的プッシュオーバー解析を行い、柱の軸破壊順序についての検証と算定方法の構築を行う。

参考文献

[1] 国土交通省：住宅・建築物の耐震化の現状と目標 <https://www.mlit.go.jp>
 [2] 栗山利男，他：鉄筋コンクリート造建築物の耐震性能の分布に関する調査研究－構造耐震指標の分布について－，総合都市研究，第68号，pp.5-12，1999
 [3] Open System for Earthquake Engineering Simulation – Home Page, <http://opensees.berkeley.edu/>

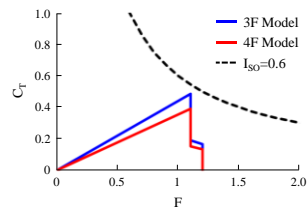


Fig.3 Results of Seismic Evaluation

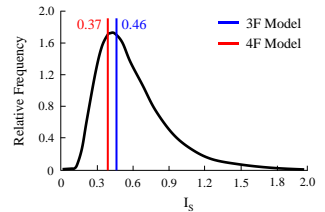


Fig.4 I_S value distribution of Apartment Building⁷⁾

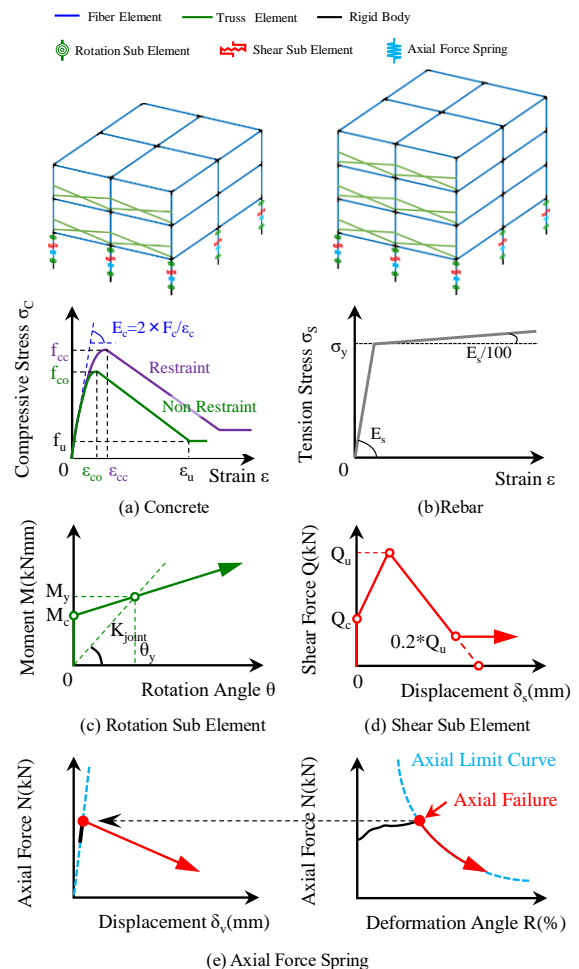


Fig.5 Modeling of Structure Using Fiber Elements

[4] Park, Y. J., Ang, A.H. S.: Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.111, No.4, April, 1985.
 [5] 田嶋和樹，他：脆性部材の破壊がRC造骨組の耐震性能に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol. 34, No. 2, pp. 337-342, 2012
 [6] Elwood K. J. and Moehle J. P. : Shake Table Tests and Analytical Studies on the Gravity Load Collapse of Reinforced Concrete Frames, PEER-2003/01,2003.11
 [7] 蓮池類，他：RC骨組の局所損傷に起因する層崩壊メカニズムの解明(その3)軸力低下バネを考慮した層崩壊シミュレーション，日本建築学会大会学術講演梗概集,pp. 395-396, 2019