

表 1. 骨組諸元

階	断面2次モーメント (m ⁴)		断面積 (m ²)		全塑性モーメント (kN・m)	
	柱	梁	柱	梁	柱	梁
1~5	0.0040	0.00160	0.1000	0.0256	弾性	1,870
6~10	0.0036	0.00144	0.0816	0.0217		1,760
11~15	0.0032	0.00128	0.0721	0.0200		1,650
16~20	0.0028	0.00128	0.0624	0.0178		1,540
21~25	0.0024	0.00096	0.0525	0.0147		1,210
26~30	0.0020	0.00080	0.0424	0.0145		770
ブレース	0.00003		0.0118			

1. はじめに

1-1. 研究背景

近年、強振動を受ける超高層建物において、下層部に変形が累積する下層部変形集中現象が発生する危険性が指摘されている。これは、いわゆる p-Δ効果によるものであるが、現行の耐震設計ではこれを考慮していない場合が多いため、この下層部変形集中現象が発生する可能性は見逃されている恐れがある。これまでの設計は、レベル2相当の大地震までを想定した設計であり、p-Δ効果に変形や地震時建物挙動に及ぼす影響は小さい領域を対象としている。しかしながら、近年でこれまでの想定を超える巨大地震動や長周期地震動の危険性も高まっており、p-Δ効果の影響が無視できない変形領域までの応答性状に対する検討の必要性が考えられる。p-Δ効果による下層部変形集中現象は、一度生じると大きな残留変形や最悪の場合には倒壊の原因にもなりうる極めて重大な問題である。

1-2. p-Δ効果を考慮した即住の研究

これまで下層部変形集中現象は、静的、動的の二つの観点から検討されてきた。特に両者とも固有値解析での検討では、下層部変形集中現象の発生の有無をその固有値で記述できると報告されている。静的の場合では Bernal が塑性ヒンジの発生とともに逐次座屈解析を行う静的増分解析を行い、その発生を系全体の接線剛性行列の最小固有値を用いて記述できると示した。動の場合では上谷と田川が p-Δ効果を考慮した地震動解析を行い、下層部変形集中現象が発生する際、振動固有値が一次固有値のみならず二次固有値も負になることを示した。また、上谷、田川は等価骨組の座屈固有値解析に基づき発生メカニズムを検討し、下層部変形集中現象が生じる際の変形集中領域高さ推定式を提案している。同時に下層部変形集中現象を抑制するためには層の接線剛性行列の最小固有値を正に保つことが有効であると指摘している。

1-3. 研究の目的

下層部変形集中現象を理論的に取り扱った研究は数少なく、未だ明らかになっていない点も多い。また、下層部変形集中現象についての研究は動的な検討が進んでいるが、その発生メカニズムと座屈挙動の関連性について数値解析した例は見当たらない。そこで本研究では、下層部変形集中現象の発生メカニズムを座屈の観点から明らかにするために魚骨骨組を用いて、次の三点を目的とした検討を行う。

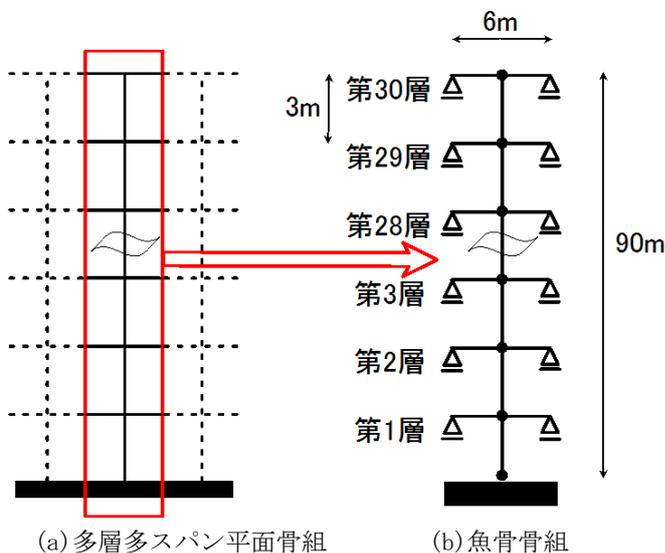


図 1. 解析骨組

- (1) P-Δ効果の有無の違いにより、建物挙動にどのような違いが表れるのかを確認し、減衰付加による影響も加味して分析、検討を行う。
- (2) 下層部変形集中現象について、減衰付加により、どれほど抑制効果が現れるのかを解析的に検討する。
- (3) エネルギー応答の観点から P-Δ効果時の下層部変形集中現象を分析する。

2. 時刻歴応答解析による検討

2-1. 解析モデル

下層部集中現象は超高層建物において見られる現象であり、今回の解析は1層あたりの階高を3mとした30層の超高層鋼構造建物を想定した。解析モデルは30層の骨組が左右に無限に広がりをもつような多層多スパン平面骨組から1フレームを取り出して考える魚骨骨組を採用した。魚骨骨組における層高さ(h)は3m、梁長さ(l)は3m、各層質量(m)は400kNとした。各柱と梁の諸元を表.1に示す。固有周期は1次で3.6秒、2次で1.2秒である。

2-2 下層部変形集中における変位の解析及び結果

下層部変形集中現象における変位について P-Δ 効果を考慮しない場合、P-Δ 効果を考慮した場合の 2 通りの解析を行う。図 3～図 7 に建物の減衰率を 2%、入力地震動は「2011 年東北地方太平洋沖地震 東北大学建築系建物記録 EW 成分」（以下 *touhoku* 波）の 3 倍を用いた結果を示す。結果から、P-Δ 効果があるほうが変位が大きい。

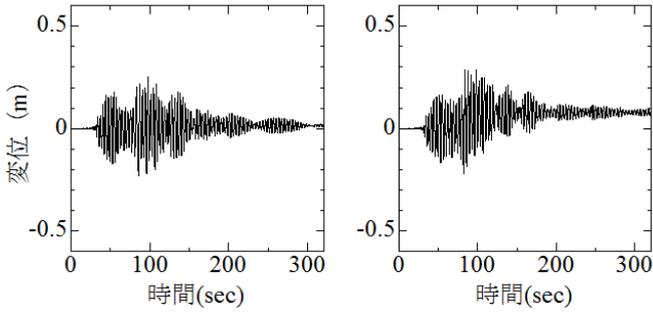


図 2 第 10 層目変位時刻歴 (P-Δ 効果なし)

図 3 第 10 層目変位時刻歴 (P-Δ 効果あり)

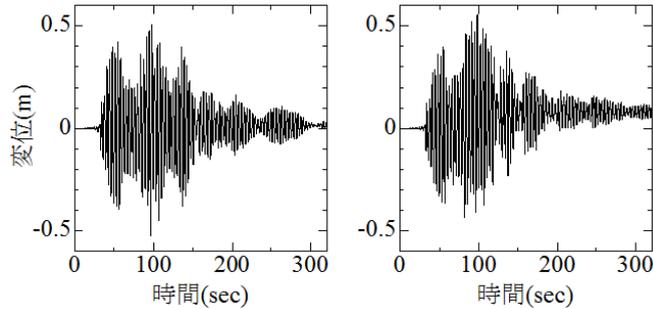


図 4 頂部の地盤面に対する
相対変位時刻歴
(P-Δ 効果なし)

図 5 頂部の地盤面に対する
相対変位時刻歴
(P-Δ 効果あり)

2-2 柱たわみ曲線の解析及び結果

図 6、図 7 は柱の水平変位を 5 秒毎に重ねてプロットした柱たわみ曲線である。減衰率が 2%、7% のときにおける P-Δ 効果を考慮していない場合、P-Δ 効果を考慮した場合について、柱たわみ曲線を考える。結果から、P-Δ 効果を考慮すると、考慮しないときには生じなかった下層部での変形集中がみられる。減衰率を 7% にするとその現象も抑えられていることもわかる。

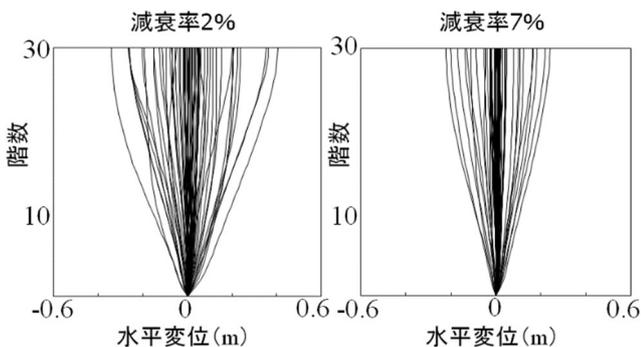


図 6 たわみ曲線(P-Δ なし)

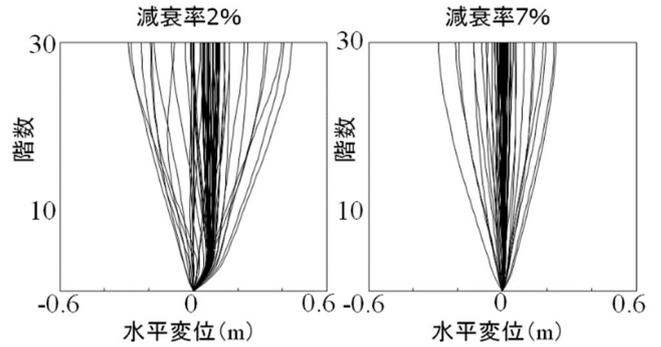


図 7 たわみ曲線(P-Δ あり)

2-3 エネルギー応答時刻歴の解析及び結果

下層部変形集中現象における変位、柱たわみ曲線に、入力エネルギーが与える影響を解析的に検討するため、ここではエネルギー応答時刻歴について解析する。解析結果から、P-Δ 効果がある場合 100 秒当たりで地震力のなす仕事が大きくなっており、その結果が最大変位に表れていることがわかる。

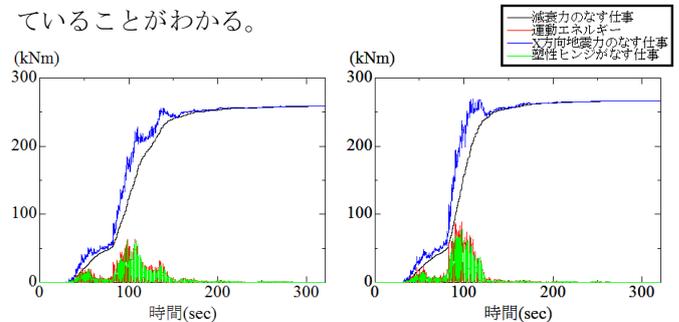


図 8 P-Δ 効果なし

図 9 P-Δ 効果あり

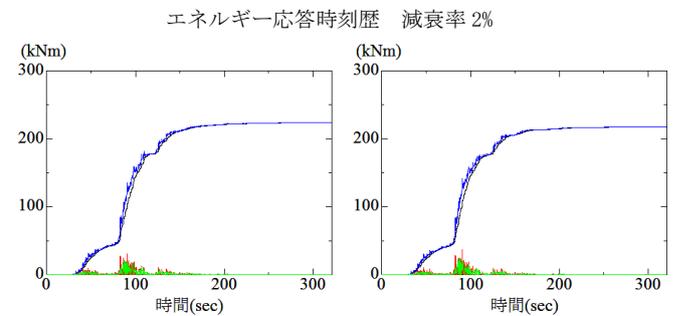


図 10 P-Δ 効果なし

図 11 P-Δ 効果あり

3. まとめ

本研究では、減衰付加だけによる変位、エネルギーの抑制効果を確認した。今後ブレースなどの支持部材を追加した際、建物挙動にどのような抑制効果が表れるのかを解析的に検討、分析することを明らかにしていく。

[参考文献]

- [1]上谷宏二, 東海幸一, 中村恒善: 繰返し水平荷重を受ける多層多スパン平面骨組の塑性崩壊挙動, 日本建築学会構造系論文集, 第 454 号, 1993.12, 51-60
- [2]D. Bernal: Instability of buildings during seismic response, Engineering Structures, vol.20, 1998, 496-502