

京都大学	博士 (工学)	氏名	金 紋延
論文題目	長周期地震動に対する超高層鋼構造建物の応答に及ぼす $P\Delta$ 効果の影響に関する解析的研究		
(論文内容の要旨)			
<p>第1章は序論であり、研究の背景、既往の研究、研究の目的、そして本論文の構成について述べている。特に既往の研究では、「我国における超高層建物の歴史的変遷」、「建築物の動的不安定」、「長周期地震動に対する超高層建物の応答」に関する既往の研究を整理し、動的安定論の立場から長周期地震動に対する我国の超高層建物の耐震性を改めて検討することの重要性を指摘し、その社会的な意義を述べている。</p> <p>第2章では、既存超高層建物の建設数が最も多い中期（1981年-1995年）に建設された超高層鋼構造建物を想定し、既存建物の平均的軒高を持つ20層純ラーメン骨組に対する検討を行い、以下の知見を得ている。(1)一次設計で用いる標準せん断力係数 <math>C_0</math> が既存超高層鋼構造建物の平均値 (<math>C_0=0.3</math>) より低めで建築基準法の下限值 (<math>C_0=0.2</math>) に近い値で設計された場合、想定長周期地震動の下では波形を増幅しない場合においても、下層部においてドリフト現象（一方向への変形累積現象）とこれに伴う過大な残留変形が発生し、継続使用が難しくなる危険性がある。(2)下層部でドリフト現象が生じるか否かは、骨組の初期剛性や耐力の値よりも塑性化後層剛性の値に敏感である。(3)柱を強くすることでドリフト現象の発生が回避できるとする考え方は妥当でない。</p> <p>第3章では後期（1996年-現在）に建設された既存超高層鋼構造建物の代表例として20層制振ブレース付骨組を取り上げ、現行建築基準法の設計用模擬地震動と想定長周期地震動の2種類の地震動に対する検討を行っている。長周期で一定の応答速度スペクトル値を持つ設計用模擬地震動に対する検討結果から、制振ブレースのエネルギー吸収効率を高めるために主体構造の弾性剛性を意図的に低下させると、レベル2地震動ではほぼ同じ応答を示しているにもかかわらず、レベル2地震動を1.5倍以上に増幅した地震動の下ではドリフト現象が発生する危険性が高くなることを明らかにした。また長周期の特定の周期帯において大きな速度応答スペクトル値を持つ想定長周期地震動に対する応答について検討を行い、以下の事項を明らかにした。(1)想定長周期地震動を1.25倍以上増幅すると、この時期に建設された超高層鋼構造建物の平均に近い構造特性を持つ骨組においてもドリフト現象が発生する危険性がある。(2)純ラーメン骨組の結果と比較すると、<math>P\Delta</math> 効果を無視した場合の最大層間変形角の値はほぼ同様であるにもかかわらず、ドリフト現象が発生する地震動のレベルは制振ブレース付骨組の方が高い。この理由としては、ほぼ同様の初期剛性と終局耐力を持つ場合、制振ブレース付骨組の方が塑性化後層剛性の符号が正から負に転じる限界である安定変形角の値が大きいためと考えられる。(3)純ラーメン骨組の場合と同様</p>			

に、第1層柱脚以外の柱が常に弾性の場合でもドリフト現象が発生し得る。この結果は、純ラーメンと制振ブレース付のどちらの骨組でも、単に柱を強くするだけではドリフト現象を回避できないことを示唆するものである。

第4章では、第2章と同様に中期（1981年-1995年）に建設された超高層鋼構造建物を想定し、30層と40層の純ラーメン骨組を対象として第2章と同様の検討を行うことで、建物の高層化が応答に及ぼす影響について検討を行っている。本章で得られた主な知見は以下の通りである。(1)長周期地震動の卓越周期と建物の固有周期が近接する場合、ドリフト現象が発生する危険性が高く、最悪の場合、倒壊に至る危険性がある。(2)高層化に伴い骨組のアスペクト比が大きくなると、レベル2地震動の下では梁降伏型の崩壊形となっていた骨組でも、想定長周期地震動の下では第1層柱脚以外の柱の塑性化が特に下層部において顕著になり得る。柱の塑性化はドリフト現象による一方向への変形累積を促進し、最悪のケースとして倒壊に至る危険性を高くするため、このような骨組では対策を早急に講じる必要がある。

第5章では、長周期地震動を受ける超高層鋼構造建物の下層部におけるドリフト現象や、これに伴う過大な残留変形を回避するための効率的な補強方法を提案し、部材レベルのフレームモデルを用いた時刻歴応答解析によりその実現性を検討している。本章で得られた成果は以下の通りである。(1)長周期地震動を受ける超高層骨組下層部におけるドリフト現象の発生を回避する具体的手法として、大変形時にも弾性を保つ800~1000MPa級高強度鋼間柱を連層で付設する耐震補強法を提案した。提案補強法では $PI$ 効果を考慮した塑性化後層剛性を正とするのに必要な分量の高強度鋼間柱を付設するだけであり、ブレースなどで耐力を上げる補強と比較して補強鋼材量が少ない点に特徴がある。(2)補強間柱に対する既存梁の剛比が大きい事に着目し、梁を剛とした場合の補強間柱の仮定断面決定法を定式化した。また、この仮定断面決定法に加えて、 $PI$ 効果を考慮した静的増分解析と時刻歴応答解析により検証を行う総合的な補強設計法を提示した。(3)20層3スパンと40層3スパンの純ラーメン骨組の補強設計例を通じて、 $PI$ 効果を考慮した静的増分解析と時刻歴応答解析を行い、高強度鋼材を用いることで1/50程度の大きな層間変形角まで弾性を保つ補強間柱を現実的な寸法の範囲内で設計できることと、提案補強法がドリフト現象の回避に有効であることを例証した。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果と今後の課題をまとめている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、長周期地震動に対する超高層鋼構造建物の応答に及ぼす  $PI$  効果の影響について、特に下層部における一方向への変形累積（以下、ドリフト現象と呼ぶ）に焦点を当て、部材レベルのフレームモデルの非線形時刻歴応答解析による検討を行ったものである。

本論文の主要な成果は以下のようにまとめられる。

(1)中期（1981年-1995年）に建設された超高層建物の代表例として、20、30、40層の純ラーメン骨組を取り上げ、層数に加えて設計用ベースシアをパラメータとして合計9通りの骨組を設計し、時刻歴応答解析を行った。その結果、東南海地震や南海地震において名古屋や大阪で想定される長周期地震動の卓越周期と近い固有周期を持つ骨組では、これらの地震動の波形を増幅しなくても下層部でドリフト現象が発生し、過大な残留変形や最悪の場合倒壊といえるような超大変形が発生する危険性があることを指摘した。

(2)後期（1996年-現在）に建設された超高層建物の代表例として、20層の制振ブレース付骨組を取り上げ、設計用ベースシアをパラメータとして合計3通りの骨組を設計し、時刻歴応答解析を行った。その結果、現行の設計用模擬地震動を1.5倍以上、想定長周期地震動を1.2倍以上に増幅すると、ドリフト現象とこれに伴う過大な残留変形が発生し、地震後の継続使用が難しくなる危険性があることを明らかにした。また、中期のみならず後期の超高層建物においても、鋼材のひずみ硬化や骨組の耐力や柱梁耐力比の増加により下層部におけるドリフト現象の発生を回避することが難しいことを指摘した。

(3)下層部におけるドリフト現象を回避するための具体的手法として、大変形時にも弾性を保つ高強度（800～1000MPa級）鋼間柱を連層で付設する耐震補強法を提案した。無補強時に長周期地震動の下でドリフト現象が発生した20層と40層の純ラーメン骨組を対象として、時刻歴応答解析による補強設計例の検討を行い、提案補強法の有効性を例証した。

以上の内容より、本論文は既存及び新規の超高層鋼構造建物の耐震性向上に資するものであり、学術・実用の両面から大きな貢献をなすものである。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。