

氏 名	髙 橋 元 美
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学 位 授 与 年 月 日	平 成 7 年 4 月 12 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 57 年 3 月 東北大学工学部建築学科卒業
学 位 論 文 題 目	柱の変動軸力と2方向曲げを考慮した鉄筋コンクリート造立体 骨組の弾塑性解析法に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 柴田 明德 東北大学教授 杉村 義広 東北大学教授 山田 大彦 東北大学教授 小川 淳二

論 文 内 容 要 旨

本論文は、鉄筋コンクリート造建物の合理的な耐震設計に役立てることを目的として、立体骨組弾塑性解析法の研究を行い、その研究の内容と成果を記述したものであり、次の7章から構成されている。

- 第1章 序論
- 第2章 精算解析法の解析理論
- 第3章 精算解析法の検証
- 第4章 精算解析法による静的漸増弾塑性解析
- 第5章 等価曲げせん断モデルによる略算解析法
- 第6章 弾塑性地震応答解析
- 第7章 結論

本解析法は、骨組を構成する柱、はりおよび柱・はり接合部を3次的に忠実にモデル化する部材レベルの“精算解析法”と各フレームを等価曲げせん断モデルに置換する“略算解析法”から成っている。精算解析法は、かなりの演算時間を要するが、地震時の部材レベルの応力および変形を直接算定できるので、設計最終段階での部材塑性率のチェックに有用である。また、略算解析法は、建物全体としての地震時応答値を非常に短時間で算定できるので、断面変更等のフィード・バックを伴う実施設計段階において有用である。

本精算解析法の特徴は、変動軸力と2軸曲げを受ける柱の弾塑性挙動を簡便にかつ精度よく解析するために、塑性論に基づいた解析モデルを採用していることである。一方、本略算解析法の特徴は、建物のさらなる高層化に対応するために等価曲げせん断モデルの曲げ剛性にも弾塑性を考慮していることである。

本精算解析法を用いて鉄筋コンクリート柱の実験シミュレーション解析を実施して、実験値と解析値の比較を行ったところ、良好な結果が得られた。また、30階建鉄筋コンクリート造立体骨組の静的および動的解析を行い、静的解析では骨組架構方向加力と対角方向加力の骨組弾塑性挙動の違いを調べ、動的解析では地震波の1方向入力と2方向入力での骨組応答値および柱応力の違いを調べた。さらに、この30階建鉄筋コンクリート造立体骨組を対象に、本略算解析法でも動的解析を実施して、精算解析法による応答値と比較した結果、両解析法による応答値は実用的な範囲でよく一致することが分かった。

以下に、各章の研究成果を示す。

第1章では、鉄筋コンクリート造建物の耐震設計上の問題点と耐震解析法の進展について示した。また、本論文の目的、範囲および構成を示して、本研究の位置付けを明らかにした。

鉄筋コンクリート造建物の耐震設計においては、骨組の地震時弾塑性挙動をなるべく正確に把握することが重要な課題である。特に、柱の変動軸力と2軸曲げの相互作用は、近年の建物のさらなる高層化および平面形状の任意化に伴って、ますます大きな問題となっている。鉄筋コンクリート柱では、軸力と曲げ耐力の間に相関関係があり、ひび割れおよび降伏モーメントは軸力とともに変化する。すなわち、軸力が減少する側（引張軸力側）では曲げ耐力が低下するものの、その変形性能は韌性に富んでいる。一方、軸力が増加する側（圧縮軸力側）では曲げ耐力が上昇するが、繰返し載荷により耐力が急激に低下する。また、2軸曲げ載荷を受ける柱は1軸曲げ載荷に比べて塑性化の進行が速く、最大耐力発現後の耐力低下が著しい。

柱の変動軸力と2軸曲げの相互作用を解析的に考慮できる部材モデルとしては、断面を分割して考えるファイバーモデルやMSモデルが代表的であるが、それらは膨大な演算時間を要することが弱点である。そこで本論文では、比較的短時間で解析可能な塑性論に立脚した部材モデルを提案する。

第2章では、柱の変動軸力と2軸曲げの影響を部材レベルで直接評価できる鉄筋コンクリート造立体骨組の精算解析法について、柱の弾塑性構成方程式を中心に示した。

本解析法は、柱材端の2軸曲げモーメントと軸力の3次元応力空間において塑性論に立脚したひび割れ曲面と降伏曲面を導入するものである。塑性法則にはv.Misesの塑性流れ則を採用し、硬化則としては、ひび割れ曲面は膨張、降伏曲面は移動かつ膨張するものと仮定する。

第3章では、鉄筋コンクリート柱の一定軸力曲げせん断実験、変動軸力曲げせん断実験および一定軸力2軸曲げせん断実験のシュミレーション解析を行い、本精算解析法の妥当性の検証を試みた。

一定軸力曲げせん断実験の解析では、解析値と実験値は良好な対応を示した。

変動軸力曲げせん断実験の解析では、解析の変動軸力下のひび割れおよびひび割れ後の弾性復活状態の剛性が、実験に比べてやや大きくなるが、実験の全体的な挙動は解析でも追跡できた。

一定軸力2軸曲げせん断実験の解析では、力の位相が変位の位相に比べて著しく速く進むことがわかった。これは、増分荷重が降伏曲面の接線方向に進む場合には、塑性論に従うと塑性流れが生じないためである。解析値と実験値の対応を向上させるためには、解析において、降伏状態での弾性剛性をあらかじめ小さくしておき、さらに、塑性論の適用範囲を降伏曲面と応力増分ベクトルの関係によって限定する方法が有効であった。

以上、合計5試験体の実験シュミレーション解析により本精算解析法の妥当性を確認した。

第4章では、30階建鉄筋コンクリート造建物を対象に、本精算解析法を用いて、架構方向加力および45°方向加力による静的漸増弾塑性解析を行った。

骨組層剛性は、架構方向解析と45°方向解析でさほど差はないが、層の水平耐力は約25%程度45°方向解析の方が大きくなった。また、45°方向解析のはりの降伏発生時期が、架構方向解析に比べ大幅に遅れ、45°方向解析の隅柱のひび割れは、変動軸力と2軸曲げの影響で、架構方向解析に比べて早期に上層まで進展することがわかった。

第5章では、精算解析法を用いた静的漸増弾塑性解析結果から等価曲げせん断モデルを構築して弾塑性地震応答を行う略算解析法を示した。また、これを30階建鉄筋コンクリート造建物に適用し、フレームのせん断および曲げ剛性を塑性領域までにわたって評価して、地震応答解析用3折線型骨格曲線を設定した。

その結果、フレームのせん断および曲げ剛性は、それぞれはりおよび柱の塑性化状況に左右されることがわかった。これをもとに、部材の塑性化状況を定量的に評価し、さらに最小2乗法および歪エネルギー等価の考え方を導入して、地震応答解析用3折線型骨格曲線を設定したところ、静的漸増弾塑性解析結果と良好な対応を示した。

第6章では、30階建鉄筋コンクリート造建物を対象に、柱の変動軸力と2軸曲げを考慮した部材レベルの精算解析法

および等価曲げせん断モデルを用いた略算解析法によって弾塑性地震応答解析を行った。

精算解析法による地震応答解析では、地震波を1方向にのみ入力した場合と2方向同時入力した場合の骨組応答性状の違いを調べた。その結果、骨組全体の層せん断力、層間変形角および柱の曲げモーメント、せん断力のある方向の応答最大値は、その直交方向への入力によって必ずしも増大するとは限らないことがわかった。しかし、2方向入力の各方向応答値のベクトル和の最大値はいずれも1方向入力よりも増大しており、その増大率は約20%~40%であった。2方向入力の場合のはりの応答最大塑性率は、1方向入力に比べて上層部で最大3倍程度となった。2方向入力の場合の柱の変動軸力は、1方向入力にくらべて約70%の増大となった。

また、精算解析法と略算解析法による地震応答解析結果を比較したところ、両者は実用的な範囲でよく一致することがわかった。本略算解析法では、等価曲げせん断モデルの曲げ剛性にも非線形性を考慮しているのが特徴となっており、従来のせん断剛性のみ非線形性を負わせる解析法に比べて、中層から上層部の応答最大層間変形角が大きくなり、精算解析法による解析結果との対応がよくなった。

以上のように本論文では、鉄筋コンクリート造建物の合理的な耐震設計に役立てることを目的として、“精算解析法”と“略算解析法”を提案し、鉄筋コンクリート柱の実験シュミレーション解析および30階建鉄筋コンクリート造建物への適用を通じて、その有効性を確認した。耐震設計においては、この精算解析法と略算解析法を場合に依じてうまく使い分けることが重要となり、フィード・バックを伴う実施設計段階では略算解析法が有用であり、設計最終段階の部材塑性率のチェックには精算解析法が有用である。

鉄筋コンクリート造建物は、高強度材料の開発により、さらに高層化しており、合理的な耐震設計を行うためには骨組および部材レベルの地震時弾塑性挙動をより正確に把握する必要がある。本論文で示した解析法はそのために有効な一手法として位置付けられると考える。

審査結果の要旨

高層鉄筋コンクリート造建物の合理的な耐震設計を行うためには、大地震時における骨組の立体弾塑性挙動を厳密に把握することが必要であるが、実際の設計へ適用し得る実用性を備えた厳密解析の方法に関する研究はまだ充分でない。本研究は、柱の変動軸力と2方向曲げを考慮した解析モデルを用いて、2方向地震動に対する立体骨組の部材レベルでの弾塑性応答の解析手法を開発し、高層鉄筋コンクリート建物の耐震設計への応用について検討したもので、全7章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、柱に対しては塑性論に基づいて変動軸力と2方向曲げモーメントの相互作用を考慮するモデルを用い、梁については分割梁モデルを用いて、鉄筋コンクリート立体骨組のひびわれ及び降伏を考慮し得る精算増分解析の方法を示している。

第3章では、精算解析法の適用性を柱の2方向曲げ実験結果との比較に基づいて検討し、載荷経路により解析法の精度が異なり、特に円形載荷経路の場合は適切な修正が必要となることを明らかにしている。

第4章では、実存の30階建鉄筋コンクリート造建物を対象として、静的漸増弾塑性解析により立体効果を考慮した応力・変形性状について検討を加え、骨組の塑性化状況、隅柱の軸力応答性状、梁降伏先行型の降伏機構を保証するための柱耐力余裕度、柱の軸方向力-2方向曲げモーメント相互作用の下での弾塑性挙動特性等について検討し、耐震設計上有用な知見を得ている。

第5章では、精算解析法に立脚した等価曲げせん断モデルによる弾塑性地震応答柱状の略算解析法を提案している。

第6章では、高層立体骨組の概括的な地震応答特性が精算法のみならず略算法によっても精度良く評価し得ることを示している。

第7章は結論である。

以上要するに、本論文は高層鉄筋コンクリート造建物の立体弾塑性地震応答の精算解析法とこれに立脚した略算解析法を開発し、高層建物の耐震設計に有用な立体骨組の地震時弾塑性挙動の諸特性を明らかにしたもので、建築学及び耐震工学の発展に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。