

氏 名（本籍）	とみ 富	ざわ 沢	みのる 稔（岩手県）
学位の種類	工	学	博 士
学位記番号	工	第 1 8 9 号	
学位授与年月日	昭 和 4 8 年 6 月 6 日		
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当		
最 終 学 歴	昭和 3 1 年 3 月 東北大学工学部建築工学科卒業		
学位論文題目	超高層立体架構の応力解析法に関する研究		
論文審査委員	(主査) 教授 志賀 敏男 教授 内山 和夫 教授 和泉 正哲		

論 文 内 容 要 旨

現在，超高層ビルの構造設計に於いては，確定波地震応答解析に立脚した耐震設計が主要な部分を占めている。耐震設計に必要な設計水平外力は，試行錯誤を前提に，計画建物のもつ剛性・質量・降伏特性および基礎—地盤系の振動特性等の動特性を忠実に具現した振動モデルについて，確定地震波を入力としたときの応答剪断力より決定される。従って，振動モデルの動特性を決めるこれら各因子は，計画建物の動学的性質を，建物基礎の立地地盤への動的適応まで考慮して，正確に反映するものでなければ，応答計算によって照合決定される設計水平外力がその計画建物の耐震安全性を保証するに必要な値とならず，ひいては誤った設計結果を招く恐れすらでてくる。

ここに，現今の我国における建築耐震構造学の主要な研究目標が，動特性決定のための（質量の算出を除く）上記諸因子の究明に向っている理由がある。

これらの諸因子のうち，計画建物の剛性評価は建物架構全体の応力解析の結果として判定され

るものであり、架構の応力解析は、設計水平外力の精度を高める上からも、また最終の部材設計応力を正確に定めるためからも、計画建物が現実に示すであろう変形挙動をできる限り忠実に記述できる理論に基いて遂行されなければならない。とくに、比較的軽量でかつ靱性に富む鋼構造ラーメン形式の主体骨組をもつ超高層ビルの設計に於いては、従来のR・CまたはS・R・Cラーメン形式の低層ビルの設計では無視されていた変形成分、すなわち柱の軸方向伸縮や柱梁接合部パネルの剪断変形等の特殊変形成分をも考慮して、架構の応力解析を行う必要がある。

水平外力を受ける矩形ラーメン部材に起る軸方向変形のうち柱の伸縮は、10層内外の中低層ラーメンでは実際上問題となるようなorderとはならないが、50層・100層という比較的細長い立面をもつ多層ラーメンでは無視し得ない変形量となり、それが架構の応力状態あるいは変形挙動に及ぼす影響は大きい。とくに近時、超高層ビルの新しい構造形式として注目されているframed-tube型架構においては、柱の伸縮を無視しては、構造計画そのものが成り立たなくなる。すなわち、水平外力を受ける超高層ビル架構の応力解析に於いては、「柱伸縮の考慮」は不可欠の条件であると云える。これに対して、部材の同じ軸方向変形でも梁の伸縮は、床版の面内剛性が、スラブ梁結合機構を通じて拘束作用となることを考えれば、実際上無視しても支障はない。

一方、柱梁接合部分いわゆるpanel-zoneは、従来のR・CまたはS・R・Cラーメンの設計では剛域と見做されていたが、動的構造設計法の実行に関連して柱梁接合部分の変形挙動もより精密に実験的に再検討され、その結果とくに鋼構造ラーメンに於いてはpanel-zoneの剪断変形が無視できない量になることが、多くの研究者により指摘された。

このほか、柱伸縮を考慮すれば必然的に設計対象、骨組を立体として取扱わざるを得なくなり、立体としての解析をするには個材の捩れおよび全体曲げ捩れをも考慮する必要がある。また部材をH形鋼やI形鋼等の、ウェブ部分で剪断力を負担する形式の断面材で構成するときには、部材の曲げ+剪断変形をも考慮する必要がある。

結局、超高層ビル主体骨組の応力解析は、柱の軸方向伸縮・接合部パネル剪断変形・部材の捩れおよび曲げ・剪断を考慮し、かつ「立体」としての全体挙動をも把握できる理論に基いて算定されなければならない、ということになる。そこで、このような応力解析の電算機による実行を目的として、現在、剛さマトリックス法による電算プログラムの作製が、各所で行われている。

しかし、多層多張間立体ラーメンの、上述の特殊変形まで考慮した全体曲げ捩れをも含む解析になると、帰着する連立方程式の元数が節点数の数倍となる剛さマトリックス法に拠るかぎり、極多量の未知数を処理する必要がある、このため電算機固有の限られた精度の中で極多元連立方程式を解こうとすることになるので、処理し得る節点数には必然的に制約が生じ、設計対象骨組の節点数が数万のorderとなると、実際問題として応力解析が不可能になる。

また、超高層ビルの動的設計過程の特質として注目しなければならないことは、設計対象骨組が適正剛度と強度をもつまでに収束するためには、試行錯誤が不可欠な process となっていることである。従って、極多量節点の立体ラーメンを、剛さマトリックス法のように節点数に比例する元数の多元連立方程式に帰着する方法で、仮に実行面で支障なく解けたとしても、試行錯誤の各段階でそのたびごとに膨大な演算時間をかけて「精算」することは不経済な話と云わなければならない。

要するに、多量の節点を有する超高層ビル骨組の心力解析法として、真に工学的な価値をもつ理論は、必要な変形成分を総て考慮しながらかつ演算実行面に於ける上述の支障・不満を解消するものでなければならない。このような理論の建設が本研究の目的である。

そのために本研究では、二種の理論の提案を行っている。その一つは、必要な変形成分を考慮した精解を得るのに、多元連立方程式に帰着しない形で、前述の数値解析上の困難を避けることができ、かつ試行段階では収斂許容誤差を荒くとり（結果として一定演算時間内での試行回数を増やすことができ）、決定骨組については収斂許容誤差をしぼることによって精解を求めることが可能な漸近解法理論の提案である。しかし、漸近解法は理論上、電算機固有の精度に起因する制約を殆んど受けないとは云え、数萬の order の節点数をもつ立体骨組を計算対象として、収斂許容誤差をしぼった「精算」解析になると、実行は可能であっても長大な演算時間を要することになる。この点に対処するために、本研究ではさらに、設計対象骨組の節点数に依存しない元数の低い多元連立方程式に帰着する形で、かつ必要な変形成分を考慮した上で解く高精度近似解法理論をも提案している。この近似解法理論で取扱う連立一次方程式の元数は、設計対象骨組のもつ柱本数×5であり、節点数には無関係である。従って、同じ柱本数をもつ架構であれば50層でも100層でも殆んど変らない演算時間で解を得ることができる。

本研究論文本文は、全部で13の章より成り立っている。

第1章・総論では、本「内容要旨」でこれまで記述してきた研究の目的・意義について詳説し、さらに本論文で一貫して使用している panel-zone の力学モデルについて説明を行っている。

第2章では、目的とする漸近解法理論と近似解法理論とを、いかなる方法論に基いて組立てればよいかということについて論じている。結論として漸近解法理論については、古典ラーメン理論に於ける G・Kani のいわゆる KANI-verfahren を拡張してゆく方法を探ること、近似解法理論については、軽構造に於ける shear-Lag 現象に着目し、その挙動と柱伸縮立体ラーメンの変形との analogy を考究してゆくことを決定している。

第3章から第6章までを、目的とする漸近解法である拡張 Kani 法の記述に当て、古典ラーメン理論からみて、取扱う変形自由度が一つ増すごとに章を改めて論じている。これらの章で述べている拡張 Kani 法の演算公式は、古典ラーメンを対象とした KANI-verfahren の演算公式

が、求めようとする変形成分についての(それらの)支配方程式の形式的解であることに着目し、KANI-verfahrenの拡張に際しては、古典ラーメン理論からみて取扱う変形成分の増すごとに、新たに導入した変形成分の支配方程式を提示し、新成分についての形式的解を求めればよい、という基本的な考え方に沿って誘導したものである。

すなわち第3章では、まず接合部パネル剪断変形を導入し、合せて部材の曲げ剪断を考慮した場合の拡張を論じ、第4章ではさらに柱伸縮を、第5章では以上に加えてブレースを附加した場合の拡張理論を記述し、それぞれの章末に計算例をつけて演算順序を説明している。第6章に記述してある拡張Kani法が、本研究の最終目的の一つである漸近解法理論である。この章に論述してある理論によって、冒頭に述べたような必要な変形成分を総て考慮し、かつ任意位置に設定したブレースを有する超高層立体架構の応力・変形を漸近的に解けることが、本研究により初めて提示された。また章末附記として、本方法によるframe中の耐震壁の取扱い方について述べてある。

第7章から12章までを、本研究のもう一つの目的である超高層極多量節点立体ラーメン解析用の高精度近似解法理論の記述に当てている。

第7章では、理論の導入部として、等質構造のshear-lag現象を全ポテンシャル最小の原理から説明したD・Williamsの理論の紹介を行っている。但し、原著者は帰着する差分方程式の誘導に当って、normal modeの概念を授用しているが、それは必ずしも必要ではないので、本論では独自の誘導によって、D・Williamsと同じ結果を得ている。

第8章より近似理論の本論に入る。すなわち、この章で述べられている「歪エネルギーの凍結解凍の方法」は、離散的非等質の場合のshear-lag現象としての柱伸縮立体ラーメン挙動を、全ポテンシャル最小の原理に拠って記述するため、全ポテンシャル算出の際に応用する基本的方法として考察されたものである。

第9章で、この方法のframed-tube型立体ラーメンへの適用を行っている。第10章では、さらに一般の立体矩形ラーメンの全体挙動をも把握できるかたちまで、理論を拡張している。この第10章にて論じている理論が、本研究の最終目的の一つである近似理論の本質的な部分である。

第11章では、本近似理論の実際上の運用に当っての、入力・出力関係の処理方法を述べている。

第12章に記述されているのは、本近似理論中で使われた二・三の定義式の検討であり、章末に本近似理論の総括的例題として、セット・パックによって全体振れが発生する立体ラーメン例題についての電算結果が載せてある。

以上によって完成をみた近似理論によれば、必要な変形成分を総て考慮した上で、極多量節点

の多層多張間立体ラーメン応力の高精度近似解を，節点数に依存した制限を殆んど受けない形で得ることができる。

第13章は，終章として，本研究によって完成された漸近解法理論と近似解法理論の特性について述べたものである。またこの章のなかで，本近似解法理論の精度判定の資料を提供する意味で，拡張Kani法との，また剛さマトリックス法との比較電算結果も示してある。

(本研究内容の既発表参考論文リスト)

1. 富沢 稔：EXTENDED KANI METHOD IN CONSIDERATION OF BOTH AXIAL DEFORMATION OF COLUMNS AND SHEAR DEFORMATION OF JOINT-PANELS：日本建築学会論文報告集第175号，昭和45年8月
2. 富沢 稔，立見栄司：ブレースを有し，柱伸縮・個材振り・接合部パネル剪断変形・材の曲げ剪断を考慮した立体ラーメンに於ける拡張KANI法：日本建築学会論文報告集第193号，昭和47年3月
3. 富沢 稔：歪エネルギーの凍結解凍の方法による柱伸縮ラーメンの近似解法（その1）：日本建築学会論文報告集第157号，昭和44年3月
4. 富沢 稔：歪エネルギーの凍結解凍の方法による柱伸縮ラーメンの近似解法（その2）：日本建築学会論文報告集第158号，昭和44年4月
5. 富沢 稔，山口幸雄：歪エネルギーの凍結解凍の方法による柱伸縮ラーメンの近似解法（その3）：日本建築学会論文集第181号，昭和46年3月

審査結果の要旨

超高層建築の応力解析では、柱はり接合部のせん断変形・柱の伸縮・部材のねじれなどの影響を考慮する必要がある。また、立体架構としての全体曲げねじれの影響までも考慮しなければならない場合が多い。したがって、従来の中低層建物の応力解析理論は適用できない。そのために、近年、超高層建築を対象とした応力解析法の開発が計算機の利用を前提として進められ、実用に供されている。しかし、現在一般に行われている応力解析法では、計算機のもつ精度の関係上、極多量節点架構の立体挙動解析になると、対象架構の規模に必然的に制約が生じてくる。また、さほど計算精度を必要としない構造設計の中間段階でも、対象架構の規模いかんによっては、その都度ぼう大な演算時間を要するうらみがある。

これらの点に着目し、著者は、柱はり接合部せん断変形・柱の伸縮・全体曲げねじれ等重要な変形成分を考慮に入れ、しかも演算時間の制御が可能な漸近解法理論と、現在一般に適用されている応力解析法では処理し得ないと考えられる規模の超高層立体架構が取扱え、かつ、重要な変形成分を考慮に入れた近似解法理論の提案を行っている。

本論文は13章より成る。

第1章は総論である。

第2章は、超高層立体架構の応力解析に関する著者の漸近解法理論と近似解法理論を誘導するための基本方針について述べている。

第3章から第6章までは、著者の漸近解法理論を論じている。すなわち、第3章では、まず柱はり接合部せん断変形と部材の曲げせん断変形を考慮した場合を、第4章では、これらに加えて柱の伸縮を考慮した場合を、第5章ではさらにブレースがある場合を、第6章では以上に加えて個材のねじれの影響および立体架構としての全体曲げねじれまで考慮した場合を論じている。

この解法は、超高層建築の応力解析上重要と考えられる変形成分をいずれも考慮に入れており、適用範囲がひろい。また、漸近法であるため、構造設計の進行にともなって解析精度を上げてゆける性能をもっている。これらの点は、現在一般に適用されている応力解析法には見られない特徴である。

第7章から第12章までは、超高層立体架構の応力解析に関する著者の近似解法理論を論じている。すなわち、第7章では、まず、既往の等質体せん断遅れ理論を紹介し、第8章では著者の非等質体せん断遅れ理論を展開し、これによって超高層架構が水平力を受けるときの挙動を近似的に表現できることを論じ、第9章では、この性質を利用してフレーム・チューブ型超高層立体架構の近似解法理論を誘導し、それを第10章では、一般の超高層立体架構まで拡張している。第11章では、この近似解法理論の適用範囲を詳述し、第12章では、理論の展開で用いた略算式の検討を行っている。

第13章は、著者の漸近解法理論と近似解法理論との特性について述べている。

この近似解法は重要な変形成分を考慮しながら、超高層立体架構の応力変形の解を、節点数に依存しない形で得ることができ、一般に適用されている解析法では処理し得ないと考えられる規模の対象まで適用可能であり、解が高精度であるなど、いくつかの優れた点をもっている。

以上要するに、本論文は、現在一般に適用されている応力解析法には見られない多くの特徴をもつ超高層立体架構の応力解析に関する新しい理論を提案したものであり、建築構造学に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。