

第1章 はじめに

1.1 目的・背景

建築確認に申請される構造計算は、今日、ほとんど、荷重の見積もりや断面検定等の一連の構造計算を自動で行う一貫構造計算プログラムを使用して行われている。

したがって、現状での構造計算の信頼性は、一貫構造計算プログラムの品質又はこれの適用方法に負うところが極めて大きい。

一貫構造計算プログラムには、その内部で行われる構造物のモデル化等において、何らかの仮定やプログラム開発者の考え方の違いが含まれるため、構造計算プログラム間である程度のばらつきが生じることは必然とも言える。実際、同様の構造的特徴を有する建築構造に適用した場合においても、時として、プログラム間でのばらつきが明らかに大きくなる場合があるとの指摘もある。

平成 17 年の構造計算書偽装問題を契機として、偽装が一貫処理プログラムの出力に対して行われていたために、平成 18 年公布・平成 19 年施行の改正建築基準法では構造計算プログラムの大臣認定制度が創設される等、一貫構造計算プログラムの厳格な運用が求められるようになった。しかしながら、プログラム間でのばらつきの存在、あるいは、これを踏まえた上でのプログラムの適用のあり方については、なお、検討の余地が残されているところである。

構造設計者と一貫構造計算プログラムとの関係を見た場合、構造設計者はある特定のプログラムのみを使用し、他のプログラムに触れることは極めて稀である。すなわち、構造設計者にとって、ある特定の構造計算プログラムによる計算結果が、どの程度のばらつき幅の範囲の中にあるものなのか、ほとんど知る機会はない。構造計算結果に基づき構造性能を検証するに当たり、どの程度、設計に余裕をもたせるべきか等、一貫構造計算プログラムの適用方法に関する判断材料が必ずしも十分には提供されていない状況と言える。

こうした状況の下、国土交通省国土技術政策総合研究所では「建築実務の円滑化に資する構造計算プログラムの技術基準に関する研究」(平成 22 年度～平成 25 年度)を立上げ、一貫構造計算プログラムによるプログラム間でのばらつきの実態とばらつきを生じる要因を調査し、その上で、一貫構造計算プログラムの適用のあり方について検討することとした。

ばらつき実態の調査方法であるが、複数の建築物事例(試設計例)を作成して、これらについて、複数の市販の一貫構造計算プログラムで構造計算を行い、結果を比較することで、ばらつき幅の把握を試みた。

さらに、建築物事例を用いた調査の結果、鉄筋コンクリート造の二次壁(袖壁、腰壁、垂れ壁など、周囲の柱部材や梁部材と緊結された構造耐力上主要な部分として構造計算書に含まれる壁をいう。以下同じ。)を含む架構については、プログラム間でモデル化の際の扱いに差がある等により構造計算結果のばらつき幅が大きくなることが判明したため構造実験を実施し、改めて、この種の架構に一貫構造計算プログラムを用いる場合のモデル化手法やその適用性について検討を行った。なお、鉄筋コンクリート造の二次壁を含む架構では、ほぼ無条件に構造スリット(完全スリット)を設け、いわゆる非構造壁として計画・設計されることが半ば一般化しているが、近年、完全スリットを設けない二次壁付き架構の構造設計の合理化に対する要求が高まりつつある

ため、ここでは完全スリットを設けない架構を検討対象とした。

このようなばらつき実態等に関する調査結果を踏まえ、最後に、一貫構造計算プログラムの適用のあり方について考察した。

なお、本研究では、一貫構造計算プログラムで解かれる構造計算方法としては、保有水平耐力計算（特に、建築基準法施行令第 82 条の 3 に規定する保有水平耐力の確認にかかる部分）を取り上げ、限界耐力計算は対象としていない。また、一貫構造計算プログラムのばらつき実態等を検討する過程で、柱の両側に取り付く梁の接合高さが異なり柱を挟み梁が段差を有する段差梁については、構造計算プログラムの明確な適用基準が無いことが判明したため、構造実験を行い、構造計算プログラムの適用に当たっての技術資料を得ることとした。その結果は本書付録に収録している。

1.2 既往の研究と取り組み

本研究に関係の深い、一貫構造計算プログラム間での構造計算結果のばらつき等を論じた既往の研究、及び、これに係る近年の主な取り組みについて概観する。

(1) 辻らの研究¹⁾²⁾

辻らは、3 種類の鉄筋コンクリート造のモデル建築物と、1 種類の鉄骨造のモデル建築物を作成した上で、それぞれについて複数の構造計算用プログラムにより構造計算を実施し、その結果における差違を比較している。その結果として、応力解析では、純ラーメンで結果のばらつきは小さいが耐震壁付きラーメンで大きくなる傾向があること、変位の計算では純ラーメン、耐震壁付きラーメンの双方でばらつきが大きいこと、保有水平耐力の計算においては、増分解析や節点振り分け法等選択した計算法が異なるとばらつきが大きくなること等を明らかにしている。また、変位の計算や保有水平耐力の計算でのばらつき要因として、プログラム内で適用されている部材の剛性評価方法や耐力評価方法の違いが挙げられることを指摘している。

今日では、保有水平耐力の計算においてはほぼすべてのプログラムで、増分解析が使用されている。また、2007 年に「建築物の構造関係技術基準解説書」が改訂されており、部材の剛性、耐力の評価方法やモデル化方法がより詳細に解説されるようになった。したがって、辻らの研究当時とは構造計算プログラムに係る状況は異なっており、プログラム間でのばらつき要因はより少なくなっていると予想される。本研究では、このような状況認識のもと、辻らの研究と同様に、幾通りかのモデル建築物を作成して、市販の複数プログラムによりこれらを対象に構造計算を実施してプログラム間の差違の実状を調査することとする。

(2) 今西らの研究³⁾

今西らは、整形な 7 階建て鉄筋コンクリート造の事務所ビルを対象に、複数プログラムにより構造計算を行い、結果を比較することでプログラム間でのばらつきを把握している。対象建築物の一方は梁崩壊形の純ラーメンであり、他方は耐震壁付きラーメンである。計算結果として主に増分解析による荷重-変形関係に着目している。層間変形角 1/150 まで増分解析を実施した時点では、純ラーメン方向の方が耐震壁付きラーメン方向より結果のばらつきが小さくなる傾向があ

ることを明らかにしている。また、純ラーメン方向の保有水平耐力（文献中では終局時水平耐力）のばらつきについては、スラブ筋の考慮の有無等による梁の曲げ耐力評価の違いや基礎の支持条件の設定の違いが挙げられること、耐震壁付きラーメン方向については、直交梁の効果の評価(2次元フレームモデルでは考慮されない)や耐震壁ラーメンのモデル化(ブレース置換、3柱要素モデル等)の違いが挙げられることを明らかにしている。

今西らの研究では、耐震壁は曲げ破壊するものを対象としているが、本研究ではせん断破壊が主となるもの、及び、壁面が二次壁より構成されるものも対象に含め、プログラムによる構造計算の実状調査を行うこととする。

(3) 愛知県建築技術支援センターの取組み⁴⁾⁵⁾

愛知県内の建築構造等に関わる機関、団体から構成される愛知県建築技術連絡協議会の実働組織である愛知県建築技術支援センターにおいて、構造計算プログラムの特性比較に関する調査が行われ、その調査結果について平成 22 年度から平成 26 年度までに 4 回の講習会が実施されている。特性比較調査では、構造計算のポイントとなる事項を複数取り上げ、それぞれについて 4 社による市販の構造計算プログラムにおける処理方法をマニュアル類から抽出し比較するとともに、3 階建ての鉄筋コンクリート造建築物 2 棟、及び、3 階建ての鉄骨造建築物 1 棟を対象に、構造計算を行い、各社構造計算プログラムによる結果を比較している。鉄筋コンクリート造の場合には、純ラーメンで全体崩壊形となる場合、プログラム間でのばらつきは小さいこと、耐震壁を有する場合にはその剛性、耐力の評価の違いによって結果にばらつきが生じ易くなること等、鉄骨造の場合については保有水平耐力の計算においてばらつきは比較的小さいこと、保有水平耐力の計算に用いる構造特性係数 D_s の算定において 0.05 程度の差異がみられること等を明らかにしている。

本研究においても、構造計算プログラムによる構造計算結果に耐震壁が重要な影響を及ぼすと考えており、前述の通り、壁面が二次壁より構成されるもの等も含め、プログラムによる構造計算の実状調査を行うこととした。

1.3 調査検討体制

本研究期間の前半(平成 22 年度～平成 23 年度)においては、下記の有識者からなる委員会を設置して調査検討の方針を取り決めつつ、ばらつき実態調査のための建築物事例モデルを作成し、これらに対する複数の一貫構造計算プログラムによる構造計算と結果の比較検討等を行った。

事例解析による構造計算プログラムの適用実態等調査検討委員会 (平成 22 年度～平成 23 年度)			
委員長	栗田 哲	東京理科大教授	
	楠 浩一	横浜国立大学助教授	
	福田 俊文	(財)住宅金融普及協会	※平成 22 年度より参加
	小寺 憲三	(財)日本建築センター	※平成 22 年度より参加

一條 典	(社)日本建築構造技術者協会	※平成 22 年度より参加
楠川 邦輔	(社)日本建築構造技術者協会	※平成 22 年度より参加
鹿島 孝	(社)日本建築構造技術者協会	※平成 22 年度より参加
大塚 紀明	(財)日本建築センター	※平成 22 年度より参加
新井 淳	(財)日本建築センター	※平成 22 年度より参加

注) 所属・役職は委員会設置期間内のもの

研究期間の後半(平成 24 年度～平成 25 年度)においては、研究期間前半での結果を取りまとめつつ、鉄筋コンクリート造の段差梁と二次壁付き架構の構造実験を実施し、これらの構造形式に対する一貫構造計算プログラムの適用方法や適用性を念頭に、実験データの分析を行った。

1.4 本書の構成

本書の構成は以下の通りである。なお、第 2 章と第 3 章ではそれぞれ市販のプログラムに A、B、C…等の記号を付して区別しているが、章ごとの対応は次の表 1.1 のとおりである。

表 1.1 構造計算プログラムの対応

第 2 章(2.1)での記号	第 2 章(2.2)での記号	第 3 章での記号
A		
B		
C	E	D
	D	A
	F	C
		B

第 1 章 はじめに

本章であり、研究の背景、目的、調査検討体制等を示す。

第 2 章 プログラム間でのばらつき実態に関する調査

建築物事例群を作成し、各建築物について、複数の一貫構造計算プログラムで構造計算を行い、これらの結果を比較することで、ばらつき実態の把握を試みる。

建築物事例群としては、比較的ばらつき幅が少ないと予想される事例群 I と、中層の鉄筋コンクリート造集合住宅を想定した事例群 II を作成する。

各事例群は、基本モデルと、その荷重条件等を変動させた派生モデルからなる。

建築物事例群 I としては、鉄筋コンクリート造の 5 階建て建築物の基本モデル 1 つとその派生モデル 8 つ、鉄骨造の 5 階建て建築物の基本モデル 1 つとその派生モデル 4 つの合計 14 モデルを作成する。

建築物事例群Ⅱとしては、鉄筋コンクリート造の14階建て建築物の基本モデル1つとその派生モデル2つの合計3モデルを作成する。

各モデルについての構造計算結果の比較に基づき、プログラム間でのばらつき幅の大小を、鉄筋コンクリート造と鉄骨造、線形領域と非線形領域、壁の有無等の観点から整理する。結果として、鉄筋コンクリート造の袖壁等の二次壁を有する架構を対象とした場合に、プログラム間でのばらつきが特に大きくなったことを示している。

第3章 鉄筋コンクリート造二次壁付き架構の構造実験と一貫構造計算プログラムの適用性

プログラム間で構造計算結果のばらつき幅が大きくなることが判明した鉄筋コンクリート造の二次壁を含む架構について構造実験を実施し、この種の架構に対するモデル化方法、及び、一貫構造計算プログラムの適用性について検討を行う。

実験結果と複数の一貫構造計算プログラムによる解析結果とを比較して、各一貫構造計算プログラムによる実験結果の再現性を検証する。最も妥当と思われるモデル化方法を各プログラムで共通に用いる。解析条件を極力揃えることで、プログラム間でのばらつきが抑制されることを示すのと同時に、線材要素を基本とする一貫構造計算プログラムによる計算結果と実現象との関係を明らかにする。

第4章 まとめ

プログラム間のばらつき実態等に関する調査検討結果をまとめ、これらの結果に基づき、一貫構造計算プログラムの適用のあり方について考察する。

付録A 梁段差を有する鉄筋コンクリート造柱梁接合部の構造実験

一貫構造計算プログラムのばらつき実態等を調査検討する過程で、段差梁については、構造計算プログラムの明確な適用基準が無いことが判明したため、構造実験を行い、構造計算プログラムの適用に当たっての技術資料を得ることとした。プログラム上において、段差梁の段差を無視できる場合には同一の節点に梁要素を接合すればよいが、段差が無視できない大きさの場合は新たに節点を設け、別々の節点に各梁要素を接合する必要がある。このように段差梁の段差を無視できる範囲を判断するための根拠となる実験データを収集した。

付録B 壁付き試験体及び純ラーメン試験の破壊経過に関する実験資料

第3章で取り扱った壁付き架構試験体及び純ラーメン架構試験体の破壊経過に関する実験資料を示す。これらは、構造計算プログラムにおける剛域のモデル化や危険断面位置の設定を行う上で有益な技術資料になるものと考え、ここに掲載することにした。

(備考)

本報告書は、平成24年までの構造計算プログラムの状況を踏まえ、調査検討結果をまとめたものである。平成24年以降、平成27年には、建築基準法令に定める構造基準の解説書である「建築物の構造関係技術基準解説書」⁶⁾が改訂されている。したがって、本報告書は、これらの修正部

分については対応していないが、報告書で調査検討しているプログラム間でのばらつきの実態については、大きな変わりはない。

現在、構造計算プログラムの結果がプログラム作成時のモデル化の考え方に左右されることは、設計実務に携わる構造技術者において広く認識されていると言える。モデル化の考え方の差異と計算結果との関係とを把握しようとする、現在も進行中の取組みとして、(一社)日本建築構造技術者協会によるものが例として挙げられる。その結果は文献 7)~10)に報告されている。

【参考文献】

- 1) 辻英一、魚木晴夫、中川佳久、山浦晋弘、大谷圭一、桜井譲爾：標準建物モデルによる実用構造計算プログラムの調査研究、その1；一次設計部分、日本建築学会構造系論文報告集、第422号、pp.145～154、1991年4月。
- 2) 辻英一、魚木晴夫、中川佳久、山浦晋弘、大谷圭一、桜井譲爾：標準建物モデルによる実用構造計算プログラムの調査研究、その2；二次設計部分、日本建築学会構造系論文報告集、第430号、pp.91～99、1991年12月。
- 3) 今西達也、中川佳久、窪田敏行：RC造建物の耐震性能評価に用いる各種静的漸増解析プログラムの解析結果のばらつき比較、日本建築学会構造系論文報告集、第545号、pp.127～134、2001年7月。
- 4) 愛知県建築技術支援センター：建築構造計算プログラムの特性比較一覧表【共通・RC造編】～H25年度版～、<http://www.abhc.jp/shien/jigyo/skillup.html>
- 5) 愛知県建築技術支援センター、(一社)日本建築構造技術者協会中部支部：4種のプログラムによる同一モデルの解析結果比較 RC造3階建て、同S造3階建て、<http://www.abhc.jp/shien/jigyo/skillup.html>
- 6) 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書、(監修) 国土技術政策総合研究所、建築研究所、全国官報販売協同組合、2015年6月
- 7) 構造計算プログラムに関する特性比較(その1)、日本建築構造技術者協会 structure 135号、pp.78～81、2015年7月
- 8) 構造計算プログラムに関する特性比較(その2)、日本建築構造技術者協会 structure 142号、pp.66～69、2017年4月
- 9) 構造計算プログラムに関する特性比較(その3)、日本建築構造技術者協会 structure 143号、pp.76～79、2017年7月
- 10) 構造計算プログラムに関する特性比較(その4)、日本建築構造技術者協会 structure 144号、pp.60～63、2017年10月