

一貫構造計算ソフトの調査に基づく 初学者教育を目的とした2次設計支援システムに関する研究

正会員 ○江口翔^{*1}, 準会員 澤原朝美^{*2}, 正会員 原田幸一^{*3}, 同 山成實^{*4}

2. 構造-10. 鉄骨構造 建築構造

建築構造設計, ソフトウェア, 初学者教育

1. はじめに

2005年11月に発覚した構造計算書偽装事件を受けて、直ちに2007年6月に建築基準法が、2008年11月には建築士法が半世紀を得て改正された。この法改正を受けて、構造設計技術者にはより一層の構造設計スキルが求められ、また、審査の厳格化に伴い、構造設計の過程で相当な作業量が要求される現状に至った^[1]。これらの現状を踏まえ、より優秀な構造設計者の早急な育成が求められており、構造設計初学者育成プログラムの開発が不可欠となっている。

一方、近年のコンピュータ構造設計プログラムの機能の進歩は構造設計熟練者に対して、その業務の省力化を可能とした。特に一貫構造計算ソフトの登場は構造設計の在り方さえも変化させ、現在では多くの構造設計において一貫構造計算ソフトが用いられている。しかし、これらのプログラムは熟練者にとっては有効な道具であるものの、初学者にとってはブラックボックスとして存在している。構造設計の仕組みを深く理解できていないユーザーに対しても設計解を提供してくれるプログラムは、必ずしも初学者教育に適しているとは言い難い^[2]。

著者等の研究において行ったアンケート調査によれば、初学者の教育に構造設計プログラムを用いているという結果が多数を占めた^[2]。この一連の研究では初学者教育に適したシステムの開発を行っている。これまでにS造の1次設計支援システムを構築し、「複数解出力」と「透明性」を実装させたシステムを報告している^[3]。本報告ではこの1次設計システムを発展させた、2次設計の支援システムの開発を行うために、構造設計実務で実際に用いられている一貫構造計算ソフトの情報・機能を調査し、その結果に基づいて、初学者のためのS造2次設計支援システムのあり方を提案する。

2. 一貫構造計算ソフトの調査対象

一貫構造計算ソフトは構造計算書偽装事件以前は、いくつかのソフトに大臣認定が与えられ、審査の省力化が図られてきた。その結果、偽装事件が発生したことから、現在では大臣認定には厳しい基準が設けられ、申請中のプログラムはあるものの、現状として大臣認定を取得した一貫構造計算ソフトは1つしか存在していない^[4]。これまでの研究において、一貫構造計算ソフトを用いた初学者の教育が多く行われているという調査結果が得られている^[2]。ここでは、実務設計で用いられている3つの一貫構造計算ソフトを調査対象とした。それらは1) 大臣認定を取得したプログラム (Prog.A と呼ぶ)、2) 自由度が高く設定された、グリッドフリーのプログラム (Prog.B と呼ぶ)、および3) フリーソフトとして公開されているプログラム (Prog.C と呼ぶ) を対象としており、それぞれの機能を「準備計算」、「応力計算条件・断面計算条件」、および「保有水平耐力計算条件」の項目に着目して調査した。なお、調査結果はS造に限定しており、プログラム間の比較検討が行える項目をピックアップしている。

3. 一貫構造計算ソフトの調査結果

3.1 準備計算

準備計算についての調査結果を表1に示す。部材材料の指定から部材形状、部材配置の方法まで各プログラム様々な形式を採用している。大臣認定を取得している Prog.A は誤入力を防ぐためにリストによる入力が多く採用されている。また、入力の省力化を図るために一部の部材において、指定した範囲に部材を一括入力する範囲指定入力が可能となっている。対して自由度の高い Prog.B では、ユーザーが直接形状をテキスト形式で入力することで部材形状等が設定可能となっている。

表1 準備計算

Prog.A		リスト選択	直接数値入力	
標準材料	鋼種	○		
配置部材	断面形状	○		
	断面寸法	○		
配置	境界条件(柱脚)	○※1		
	支点条件	○※2		
	材端接合条件	○※3		
		荷重伝達のみ	断面算定を行う	
2次部材の扱い		○		
		グリッド点指定	補助線指定	範囲指定
部材配置方法	大梁	○		
	柱	○		○
	ブレース	○		
	壁	○※4		
	小梁	○		
	スラブ	○※4		
		グリッド点の追加	斜面定義	
斜面入力		○		
		自動計算	直接入力	
地震荷重	設計用地震荷重	○	○※5	
	保有水平耐力計算	○	○※6	

Prog.B		リスト選択	直接数値入力	
標準材料	鋼種		○	
配置部材	断面形状		○	
	断面寸法		○	
配置	境界条件(柱脚)	—	—	
	支点条件	○※7		
	材端接合条件	○※8		
		荷重伝達のみ	断面算定を行う	
2次部材の扱い			○	
		グリッド点指定	補助線指定	範囲指定
部材配置方法	梁		○	
	柱	○		○
	ブレース		○	
	壁		○※9	
	小梁		○	
	スラブ		○※9	
		グリッド点の追加	斜面定義	
斜面入力			○	
		自動計算	直接入力	
地震荷重	設計用地震荷重	○	○※10	
	保有水平耐力計算	○	○※10	

Prog.C		リスト選択	直接数値入力	
標準材料	鋼種	○		
配置部材	断面形状	○※11		
	断面寸法	○	○	
配置	境界条件(柱脚)	—	—	
	支点条件	○※12		
	材端接合条件	○※13		
		荷重伝達のみ	断面算定を行う	
2次部材の扱い		○		
		グリッド点指定	補助線指定	範囲指定
部材配置方法	梁	○		○※14
	柱	○		○※15
	ブレース	○※16		
	壁			○※17
	小梁			○※18
	スラブ			○※19
		グリッド点の追加	斜面定義	
斜面入力		○		
		自動計算	直接入力	
地震荷重	設計用地震荷重	○		
	保有水平耐力計算	○		

- ※1 「露出型」「根巻型」「埋込型」「既製品」の柱脚を設定することが可能
- ※2 各方向に対して「自由」「固定」「半固定」「免震」を選択。半固定の場合は支点バネ初期剛性を入力
柱脚に「露出型」「既製品」を配置している節点は「固定」とすることで回転剛性を考慮した応力計算を行う
- ※3 半剛接合の場合は回転バネ初期剛性を入力する
- ※4 厚さを0mmとすることで、荷重のみ伝達する
- ※5 直接入力の場合、「層せん断力係数」「層せん断力」から選択
- ※6 静的弾塑性解析過重分布を直接入力の場合は「層せん断力係数」を入力
層せん断力を直接入力の場合は各階に生じる水平力を入力
- ※7 各方向に対して「自由」「固定」を選択
- ※8 各方向に対して「固定」「ピン」「バネ」を選択
バネの場合はバネ剛性を入力
- ※9 厚さを0mmとすることで、荷重のみ伝達する
- ※10 各層の層せん断力係数を入力
- ※11 梁はH形鋼のみ 柱は角形鋼管、円形鋼管、H形鋼より選択
- ※12 各方向に対して「剛接合」「ピンまたは回転バネ」から選択
回転バネの場合は回転バネ剛性を入力
- ※13 各方向に対して「剛接合」「ピンまたは回転バネ」から選択
回転バネの場合は回転バネ剛性を入力
- ※14 xyの各軸上の一括入力
- ※15 建物全体の各軸のXY交点に一括入力
- ※16 梁の入力項目で「梁の上にブレースが存在する」を選択することで配置可能
- ※17 壁を配置したい位置の支点と終点を入力することで配置可能
- ※18 床組を指定し、その床組の分割数を入力することで配置可能
- ※19 床組を指定し、小梁で囲まれた範囲に配置可能

3.2 応力計算条件・断面計算条件

応力計算条件・断面計算条件についての調査結果を表2に示す。計算条件は、各プログラムともに「構造関係技術基準解説書¹⁵⁾」に則った条件を示している。この調査項目では、その条件に加えて各プログラムが提案する建物の計算条件の細部の設定をピックアップしている。Prog.A, Bはそれぞれのプログラムにおいて提案している設定は異なるものの、過不足なくユーザーが求める計算条件を設定可能となっている。それに対してフリーのプログラムであるProg.Cは、大臣認定を取得せずフリーとして公開したため、条件の設定は他のプログラムに比べて不足を感じる場合がある。計算方法の選択や部材の計算条件の項目において、その結果は顕著に表れている。Prog.Cでは、建物モデルの入力には不自由を感じないものの、設計者の判断に

より考慮が必要であると判断される細部の条件設定には対応困難であると考えられる。

しかし、プログラムの購入費用を比較検討すると、フリーソフトでありながら一貫構造計算ソフトの機能を備えたプログラムであるProg.Cは、他のプログラムと比較しても十分な機能を有するプログラムである。また、オプションで設定される計算条件が省略されることで、機能がシンプルになっていることは、結果的に初学者のユーザビリティを向上させており、これは初学者教育支援システムにおいて、シンプルな機能構成の重要性を示している。

表3 保有水平耐力計算条件

保有水平耐力計算条件	Prog.A	Prog.B	Prog.C
—モデル化—			
塔屋の扱い	○	○	○※13
地下階の扱い	○	○	○
基礎の浮上り	○※1	○※9	○
S材危険断面位置の指定	○	○	○
—荷重増分解析の許容誤差の設定—			
メカニズム判定値(K/K0)の設定	○	×	○
モーメント・鉛直力の収束判定	○※2	○	×
曲げ降伏していない部材の曲げ耐力算出方法	○※3	×	×
—冷間成形角形鋼管柱の崩壊メカニズム判定—			
崩壊メカニズムの判定	○※4	×	×
局部崩壊メカニズムとなる層の指定	○※5	×	○※14
—増分解析方法—			
部材脆性破壊時の処理	○※6	○※10	×
増分荷重の決定方法	○※7	×	×
推定崩壊荷重倍率以降の処理	○	○	×
—解析制御値—			
解析方法の設定	×	×	○※15
限界層間変形角(1/n) (保有水平耐力用)	○	○	○
限界層間変形角(1/n) (Ds算定用)	○	×	×
限界水平変位	×	○	○
解析終了のステップ数	×	×	○※16
荷重増分量の直接指定	○※7	×	×
梁・柱の靱性種別	○※8	○※11	○※17
形状係数(Fes)	○	○	×
構造特性係数(Ds)	○	○	○
脆性破壊時のDs算定方法	×	○※12	×

- ※1 応力計算条件と別々に設定可能
- ※2 接点不平衡モーメント・鉛直力を入力
この値以下になるとイテレーション計算を打ち切り、次の荷重ステップに移る
- ※3 「スタート時応力と終局時応力とを結んだ直線とMNインタラクションの交点」
or「終局時軸力に対応した曲げ耐力」
- ※4 「全体崩壊メカニズム」か「局部崩壊メカニズムの判定」の判定を行うかを設定する
- ※5 指定された層の上部柱の柱脚、下部柱の柱頭の鉄骨強度を低減して保有耐力計算
- ※6 「脆性破壊は生じない」
「塑性率無限大で計算」
「指定塑性率で計算打ち切り」 から選択
- ※7 荷重増分の決定方法で荷重増分量直接指定の場合に入力
「荷重増分ステップ数」と「荷重増分量」を入力
- ※8 各部材の靱性種別を入力する。種別Dの部材が存在する場合は
種別Dの部材を含める場合と含めない場合の両方の構造特性係数を定める
- ※9 応力計算時に入力
- ※10 「せん断降伏が生じないと仮定」
「破壊後はせん断力を保持すると仮定」 から選択
- ※11 「種別Dの耐力を無視する」or「種別A-Cの耐力を低減する」から選択
- ※12 「脆性破壊時」or「限界層間変形角到達時」
- ※13 階の種別において塔屋階を指定することで設定可能
- ※14 各層の柱耐力を低減することが可能
- ※15 「平面解析」「立体解析(床の回転を無視)」「立体解析(床の回転を考慮)」から選択
- ※16 ユーザーが最終ステップまでの計算を実行し、各ステップの状態を見たとうえで判断する
- ※17 「Dランク部材を無視してA-Cランク材の耐力からDsを定める」
or「部材群種別をDとしてDsを定める」から選択する

る。ブラックボックスを極力無くし、初学者が自らの設計判断を以て解の検討が可能システムに必要な機能を整理し、システムのあり方を検討する。

既存の構造設計プログラムでは、計算条件を入力する際にテキストのみでの表現が多く、初学者にとって自分の入力する条件が計算結果にどのような影響を与えるかを想定することは困難な作業となる。また、設定可能な計算条件が多くなることによる、初学者の混乱を防ぐために、入力項目をシンプルにすることが必要であると考えられる。

以上より、提案する2次設計支援システムでは、計算条件が図示されており、モデル化に関する項目は一貫構造計算ソフトを踏襲しながら、計算条件はデフォルト値をユーザーに提供する。既存の1次設計支援システムによって出力された複数解が、この2次設計支援システムで検討され、それぞれの保有水平耐力計算結果が出力される。ユーザーはまず、それぞれの崩壊形が全体崩壊形になっているかをヒンジ図で確認する。その後、建物の性質を把握するため、「層せん弾力-層間変形角」グラフを確認する。ユーザーは自分の入力した建物情報の違いがどのように計算結果に影響しているかを検討する。これらの情報は計算の後、他の計

算結果が出力される前にユーザーに提供される。検討後、「重量」と「Qu/Qun」の関係図から、ユーザーは設計判断を行い、「適正解」を算出する。2次設計を行う際に比較するべき情報が予め提示されることで、システムの透明性が確保され、解の十分な検討が容易に可能となる。

5. 終わりに

商用の一貫計算ソフトを調査し、それに基づく初学者教育を目的とした2次設計支援システムのあり方を検討した。

- 1) 一貫計算ソフトを情報・機能の項目で調査した。システムに対し、シンプルな機能を提案する。
- 2) 「複数解出力」と「透明性」を併せもつシステムが初学者教育に必要と考える。

参考文献

[1] 北本拓也, 藤井大地: 構造計算書審査技術に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 第16巻, 第34号, pp. 877-882, 2010.10
 [2] 江口翔, 原田幸一, 山成實: 九州地区における建築構造設計技術者のコンピュータ支援設計システムに関する意識調査, 鋼構造年次論文報告集, 第17巻, pp. 109-114, 2009.11
 [3] 田中尚生, 山成實: 鋼構造設計における設計可能空間取得技法に関する研究, 鋼構造年次論文報告集, 第14巻, pp. 409-414, 2006.11
 [4] 荒川延夫, 柳澤貴巳: 大臣認定プログラムの現状と今後, 建築技術 No713, pp. 176-177, 2009.6
 [5] 2007年度版建築物の構造関係技術基準解説書, 国土交通省他監修, 2007.8

*1 熊本大学大学院自然科学研究科・大学院生
 *2 熊本大学工学部・学部生
 *3 熊本大学大学院自然科学研究科・大学院生
 原田建築設計事務所・所長
 *4 熊本大学大学院自然科学研究科・准教授・工博

Graduate School of Science and Technology, Kumamoto Univ.
 Undergraduate, Faculty of Engineering, Kumamoto Univ.
 Graduate School of Science and Technology, Kumamoto Univ.,
 Harada Design Lab.
 Assoc. Prof., Graduate School of Science and Technology,
 Kumamoto Univ., Dr. Eng.