

鋼構造設計教育支援のための 適正解探索手法

東聖道[†] 片峯恵一^{††} 梅田政信^{††} 山成實^{†††}

構造設計者の教育現場である建築系大学では、設計事務所において即戦力となる学生の輩出が望まれている。著者らは、構造設計の初学者が設計スキルを習得するための鋼構造設計教育支援システムの開発をしている。本論文では、同システムにおける適正解探索手法について述べる。本手法は、適正解を集合単位で探索することにより、効率的に設計できるだけでなく、設計解の分布傾向やその特性等を効率的に学ぶことを可能にする。また、建築系大学の学生による本システムを用いた試用実験およびアンケート調査をすることにより、本手法の有効性を検証した。

A Search Method for Pertinent Solution in Steel Structural Design Education

Masamichi Higashi[†] Keiichi Katamine^{††}
Masanobu Umeda^{††} and Minoru Yamanari^{†††}

Educational courses of steel structural design in a university are intended to produce skillful graduates for structural design. We have been developing an educational design support system for students to learn skills required for steel structural design in limited course periods. This paper proposes an efficient search method for a pertinent solution in a whole search space of steel structural design using the system. Students can not only design buildings efficiently, but can also learn the tendency of design parameters and the characteristics of design solutions. Experimental results and questionnaire surveys about the use of the system by students show that the proposed method is effective for learning practical skills for steel structural design in a course.

1. はじめに

建築物は一般に、意匠、構造、設備の三つの視点から設計され、互いに密接な繋がりを持つ。その中で構造設計は、意匠設計からの情報に基づき、建築物の力学的な安全性、施工性、経済性を考慮しつつ設計する。そのため、構造設計者には高度な設計判断が要求され、高い設計スキルが求められる。しかし、構造設計者の教育現場である建築系大学では、単純な構造の建築物を手計算により設計しているため、演習に多くの時間を要してしまう[1], [2]。そのため、多くの設計経験を積むことが難しく、設計スキルの十分な習得には至っていない。そこで、情報システムを用いた設計演習の効率化が考えられる。現在、構造設計現場で用いられている情報システムは、一連処理システム、あるいは、一貫構造計算ソフトと呼ばれ、計算処理過程の自動化が進んだものであり、与えられた情報や条件から自動的に試行錯誤をし、最適な設計解もしくは、仮定値に対する単一解を構造設計者に提供する。これらのシステムにより計算時間が大幅に短縮され、高精度な解析を行うことが可能になり、熟練した構造設計者には強力なツールとして利用されている。しかし、構造設計初学者がこれらのシステムを使用した際に以下のような問題が発生する。

- (1) 設計解を導いた過程が隠蔽されているため、設計初学者が、出力された設計解に対してどのような過程で導いたのかを十分に考察することが難しい。
- (2) システムが提供する設計解の導出過程を理解することが難しいため、システムが指示する通りの設計になってしまう。

したがって、設計初学者がこれらのシステムを利用して学習することにより、設計スキルを習得することが難しい。そこで、著者らは、設計初学者の設計スキル習得を支援するための鋼構造設計教育支援システムを開発している。本論文では、同システムにおける適正解の探索支援手法を提案する。本手法は、適正解を集合単位で探索することにより、効率的に設計できるだけでなく、設計解の分布傾向やその特性等を効率的に学ぶことを可能にする。また、本手法を実装したシステムの試用実験を行い、その有効性を検証する。以下、本論文では、2節で鋼構造設計と設計者教育の要件について明らかにし、3節で適正解の探索支援手法を、4節で鋼構造設計支援システムの概要を述べる。5節で適正解探索支援手法の評価をする。

2. 鋼構造設計と設計者教育

本論文では、設計の自由度が鉄筋コンクリート構造よりも高く、様々な骨組の提案を行える鋼構造建築物を対象とする。ここでは、研究対象とした鋼構造建築物と鋼構

† 九州工業大学大学院情報工学府情報創成工学専攻

†† 九州工業大学大学院情報工学研究院情報創成工学研究系

††† 熊本大学大学院自然科学研究科

造設計の概要について述べる．次に、構造設計者教育の要件について述べる．

2.1 鋼構造建築物の概要と鋼構造設計の流れ

建築物は、部材と呼ばれる柱、大梁、床といった主要な要素から構成される．鋼構造建築物は、角形鋼管、H 形鋼、溝形鋼等の鉄骨を、部材として利用した構造の建築物ことであり、鉄骨構造やS 造とも呼ばれ、建築物構造では代表的なものの一つである．本論文では、建築系大学の学部生の教育を支援対象とする．学部生は、鋼構造設計における一次設計を題材とした学習をしている．一次設計では、構造耐力上主要な部分の応力度が許容応力度を超えないことを確認する．図 1 に、一次設計の流れを示す．一次設計では、まず、(1) 建物概要を決定する．この工程では、意匠設計の要求から、建設地、建築物の用途、構造種別、建築物の規模、スパン長、階高等を決定する．次に、(2) 構造計画をする．この工程では、建築物を構成する柱や梁の (2.1) 部材断面を仮定し、建築物の (2.2) 骨組配置をする．骨組を設計したら、その骨組に対して (3) 構造計算をする．この工程では、(3.2) 構造解析で求めた応力に対して、(3.3) 構造解析結果の評価し、骨組を構成する各部材の断面が安全であることを検討する．ここでは、全ての場合において、応力と許容応力度を比較し許容値以下であることを確認する．断面が安全であることが保証されなければ (5) 骨組の修正・部材断面の再仮定を行う．最後に、(4) 設計全体を通しての結果を評価する．(4) では、構造計算で求めた設計解に対して、安全性、施工性、経済性、建築法規等を考慮して評価を行う．ここでの結果が適正でないと判断した場合、(5) 骨組の修正、部材断面の再仮定を行う．設計者は、この工程を繰り返して、設計目的に合う、より良い設計解を探索する．

2.2 構造設計者教育

従来、構造設計者の教育現場である建築系大学では、構造力学等に基づく設計知識を教えるのみで十分であり、設計スキルに関しては、設計事務所で実際の設計経験を積むことで習得してきた．しかし、大学は社会に役立つ技術者、すなわち、即戦力になる学生の輩出を望まれている．したがって、上記のような学生を輩出するためには、大学の限られた講義時間内で、設計知識の学習に加えて十分な設計スキルを習得させなければならない．

江口らの九州地区の建築構造設計者を対象とした支援設計システムに関する意識調査[3]によると「設計初学者の適正解探索における一貫構造計算ソフト有害性」に対する回答は図 2 のようになっている．一貫構造計算ソフトの有害性として多かった回答は「ソフトに依存する」、「設計スキルが向上しない」、「ブラックボックスである」である．この回答から、設計時間の短縮はできる面では便利だが、設計初学者はソフトに依存するしかなくなり、教育のあり方としてはあまり有効ではないということが窺える．このアンケート調査の対象は設計事務所における教育を対象としているが、本論文の対象である大学の教育に対しても同じことがいえる．

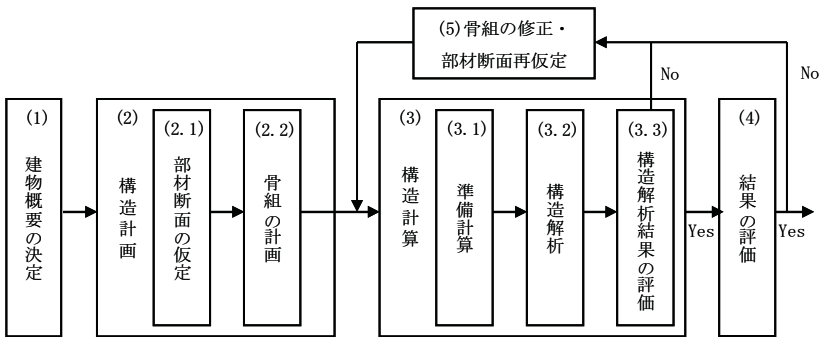


図 1 鋼構造設計における一次設計の流れ

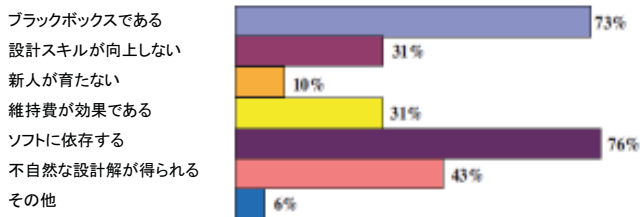


図 2 一貫構造計算ソフトの有害性（設計判断に関して）

鋼構造設計の設計スキルは、設計条件を満足する設計解の中から、より良い設計解を探索するような、多くの設計経験を通して養われると考えられる。そこで、本論文では、設計初学者が設計スキルを習得できる適正解の探索支援手法（3 節参照）を提案する。前述した建築系大学の現状と設計初学者の育成に悩んでいる一貫構造計算ソフトの有害性を踏まえて、適正解の探索支援手法の方針を、以下にまとめる。

- (1) 設計初学者による適正解の探索の効率化。
- (2) 設計解の検討、修正等といった設計者主体の試行錯誤。
- (3) 設計解の分布傾向やその特性の理解性。

以上の支援手法を用いれば、大学の設計演習の時間で現状より多くの設計問題を取り上げることが可能になる。また、設計解の分布傾向やその特性が理解可能になり、設計初学者にとって検討がしやすい。たとえば、柱の強度が足りない設計案において、その設計解の近傍ある解集合を抽出し、検討することで、部材のどの寸法を変えて対応すべきか、部材の形状を変えるべきかの判断が可能になり、各設計パラメータの影

響の度合や傾向を効率的に学ぶことができ、設計空間における大局観の取得にも繋がると考えられる。以降で、適正解の探索支援手法について述べる。

3. 適正解の探索支援

ここでは、鋼構造設計における適正解について述べ、本研究で提案する適正解の探索支援手法について述べる。

3.1 鋼構造設計における適正解

鋼構造設計において、最終的に決定される設計解とは、建築物の骨組全体に対する設計者の様々な評価点の総合的な判断によって決定されるものである。ここで設計者が、構造設計の検討、修正を繰り返しながら設計条件に対して最も満足する設計解を本論文では「適正解」と定義する。本論文では、適正解と最適解を明確に区別する。適正解とは、設計者が設計条件に対して自分の判断と責任で決定する解である。これに対し最適解とは、設定した目的関数が最小または最大となるときの値で、設計者の判断を加えることのできない解である。したがって、図3に示すように、適正解と最適解は必ずしも一致しない。本論文では、最適解ではなく適正解を探索するための手法を提案する。

3.2 適正解の探索

鋼構造設計において、骨組構造や構成部材を算定する場合、骨組の形状、規模、鋼材の断面形状、および寸法等の組み合わせのバリエーションは無数にある。構造設計に提供される数々の設計案は、設計可と設計不可のものとして存在している。それら全ての設計解を一つの集合としてまとめたものを「設計空間」と定義する。設計空間内に存在する解の数は膨大であり、設計者がその全てを把握することは困難である。また、解を全て計算することは多くの時間を費やすため、非効率的である。したがって、設計空間から条件を与えて数を減じて複数の設計解を抽出し、集合単位で適正解を探索する方法が考え付く。これを「解集合」と定義する。

図4は、従来構造設計現場で用いられてきたシステムによる適正解の探索を模式的に表したものである。この探索において、設計者は1つの設計案毎に構造計算し、その設計解(図4のa)の検討を行う。この時、設計者がこの設計案に対し満足した場合、設計処理は終了する。一方、満足しなかった場合、設計者は、図4に示すようにこの工程を繰り返し、適正解(図4のb)を探索する。このように、従来のシステムでは、設計案一つ一つを検討しながら適正解の探索を行わなければならない。構造設計に必要な設計スキルは、多種多様な設計問題の総重量、検定比等の評価パラメータを考慮し、適正解を探索することで向上する。熟練の設計者が、この探索手法を用いた場合、数多くの設計経験から習得している設計スキルから適正解付近の設計解を最初から設計することができるため、数回の検討、修正をすることで適正解にたどり着

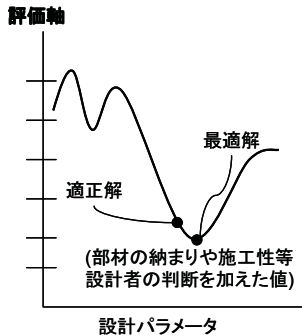


図 3 適正解と最適解の区別

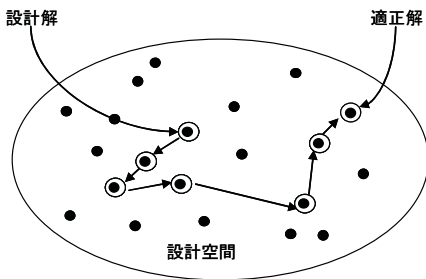


図 4 唯一解による適正解探索

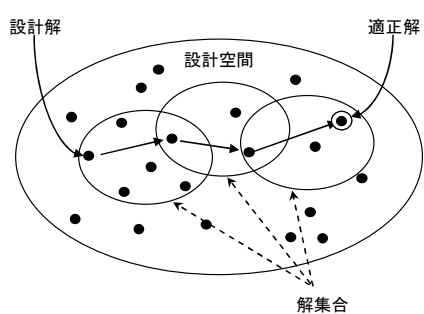


図 5 解集合による適正解探索

ることができる。しかし、設計初学者の場合、設計スキルが未熟なため、初めに適正解の付近の設計ができない。そのため、適正解に至るまでに多くの時間を要する。また、建築系大学では、手計算による構造設計をしており、講義の時間内では、設計解を導出することしかできず、適正解の探索をする工程を経験できていない。そこで、本論文では、検討、修正の重要性を維持しつつ、かつ設計初学者による設計時間の効率化を実現するために、解集合を用いた適正解の探索手法[4]を用いる。

図 5 は、解集合を用いた適正解の探索を模式的に表したものである。設計者は最初に代表設計案を仮定し、その代表設計解（図 5 の a）の近傍から網羅的に探索し、解集合を抽出する。設計者はその中で比較、検討し、最も設計目的に合う設計解（図 5 の b）を選択する。この時、設計者が設計条件に対して、最も相応しい設計案が b であると判断した場合、設計処理は終了する。そうでなければ、改めて b を新たな代表

設計案とし、その設計解の近傍から新しい解集合を抽出する。このように解集合の抽出を繰り返し、設計空間の中を移動させることによって、設計者は適正解(図 5 の c)を探索することができる。この手法では、解集合を抽出することにより、一度に複数の設計解を比較、検討できるため、適正解の探索を効率的に行えるだけでなく、設計スキルの重要な要素である大局観を養うことが可能になる。

3.3 適正解の探索支援手法

解集合による適正解の探索手法を用いた鋼構造設計の流れを図 6 に示す。解集合を用いて適正解の探索を行うには、解集合を取得し、その分布傾向や各設計パラメータの影響度を効率的に学べる設計環境が必要である。そのためには、解集合の出力機能、設計解の分布表示機能が必要である。そこで、解集合を出力するために、設計者が、骨組に適用する鋼材の(3rd)断面集合を選択可能にする。次に、システムは、選択した(3.1)断面集合の組合せパターンを自動的に決定し、そのパターン毎に構造計算を行い、解集合を出力する。さらに、(3.4)構造解析結果を建物の総重量等の様々な視点から比較、検討できるように、設計解分布図および検定比等の比較グラフを利用する。設計者は、比較、検討することにより、最も設計目的に合う設計解を選択する。その設計解が適正解ではないと判断した場合は、その結果を考慮し骨組、断面集合を再仮定する。この工程の繰り返しで適正解を探索する。

3.4 解集合の制御手法

図 7 は適正解を検討するための評価パラメータに関する特性間関係図である。前節で述べたような、ある設計解における評価パラメータの近傍にある解集合を得るためには、その解集合に対応した断面の種類および寸法の集合(以下、断面集合)を選択すれば良い。しかし、設計初学者は鋼材の断面性能をあまり理解しておらず、適正な断面集合を選択することが難しい。そこで、設計初学者が候補となる断面集合を容易に取得するための支援をする必要がある。鋼構造設計においては、以下の支援手法が挙げられる。

(1) 評価パラメータによる断面探索

ある設計解において、設計条件に満足しない評価パラメータ(図 7 の a)があった場合、システムは、鋼材カタログにある全ての断面の制御パラメータ(図 7 の c)に対して構造計算を行い、導出した評価パラメータが設計条件に満足するような断面集合を探索する。

(2) 制御パラメータによる断面探索

ある設計解において、設計条件に満足しない評価パラメータがあった場合、システムは、断面の制御パラメータ(図 7 の c)の情報を提示した鋼材カタログを設計者に表示する。設計者は、その鋼材カタログから自身の判断だけで断面集合を選択する。

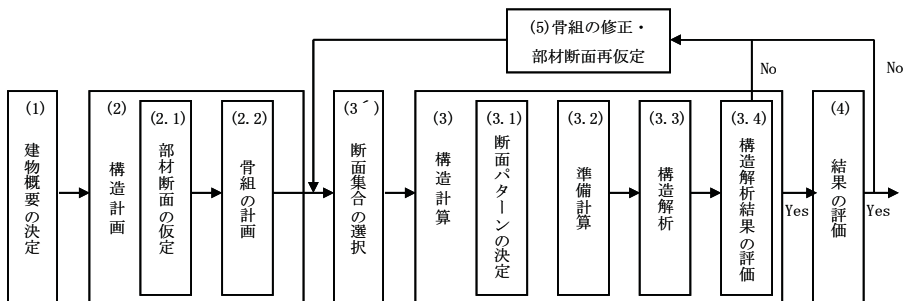


図 6 本手法を用いた鋼構造設計の流れ

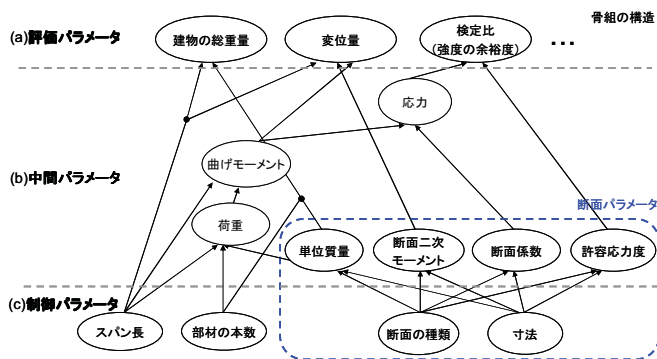


図 7 評価パラメータに関する特性間関係図

(3) 中間パラメータによる断面探索

ある設計解において、設計条件に満足しない評価パラメータがあった場合、設計者は、その評価パラメータに対して影響度が高い断面の中間パラメータ（図 7 の b）を制御する。システムは、制御した中間パラメータから条件に合う断面集合を自動的に探索する。

まず、(1)については、全ての断面の制御パラメータに対して構造計算をするため、多くの時間を要してしまう。そのため、本手法の要件である設計の効率化には適さない。また、設計条件に満足する断面の制御パラメータの判別を自動化することは、システムに依存した設計になり、設計初学者が試行錯誤する機会が失われてしまうため、評価パラメータと制御パラメータの影響度等を学ぶことができない。これも、教育の

要件に適さない。

次に、(2)については、前述したとおり設計初学者にとって鋼材カタログの中から、断面を選定し適正解へと近づく解集合を抽出するのは難しい。しかし、熟練の設計者にとっては十分な支援手法であると考えられる。

最後に、(3)については、ある梁に適用する断面の変位量が設計条件に対して大きすぎる場合、設計者が変位量に対して影響度の高い断面二次モーメントを高くする。システムは、その条件に合う断面集合を自動的に探索し、その分布を表示する。これにより、設計初学者が断面パラメータの特性を学びながら、適正解へと近づく解集合を容易に取得可能にする。この方法では、上位特性である評価パラメータが設計条件に満足するように中間特性である断面パラメータを制御しているため、設計者が意図する断面集合とはある程度ズレが生じる。そのため、設計初学者が試行錯誤する機会を維持しつつ、適正解へ近づく解集合を取得できるような支援ができると考えられる。

以上の分析により、本論文では、(3)の支援法を採用する。

4. 鋼構造設計教育支援システム

本節では、著者らが開発している鋼構造設計教育支援システムの設計方針と構成について述べる。また、本システムが有する支援機能の中で、適正解探索支援手法を実装した適正断面探索支援機構について述べる。

4.1 設計方針

鋼構造設計支援システムの設計方針を以下に述べる。

(1) 設計の対象

本システムの対象領域は、2階以上4階未満、延べ面積200㎡超の中規模建築物の鋼構造設計とする。これは、設計初学者のスキル向上にもっとも適した規模であると同時に、実務において設計する頻度が高いためである。

(2) 解集合を用いた適正解の探索支援

2.2節で述べた適正解探索における教育の要件を満たすように、本システムでは、解集合を用いた適正解の探索支援をする。また、本システムは、中間パラメータによる断面探索を行い、設計初学者が適正な断面集合の取得可能な支援をする。

(3) 構造計算の自動化

設計スキルの向上に効果が小さい構造計算の自動化を行い、設計時間の短縮を図る。本システムでは、準備計算と構造解析の自動化を対象とする。

(4) 建築物モデルによる設計情報の一元管理

本システムは、建築物の設計対象モデルを用いて、設計情報の整合性の管理を自動的に行う。そのために、属性モデリング[5],[6]を用いた建物モデルの概念をもとに鋼構造建築物の設計対象モデルを考案する。

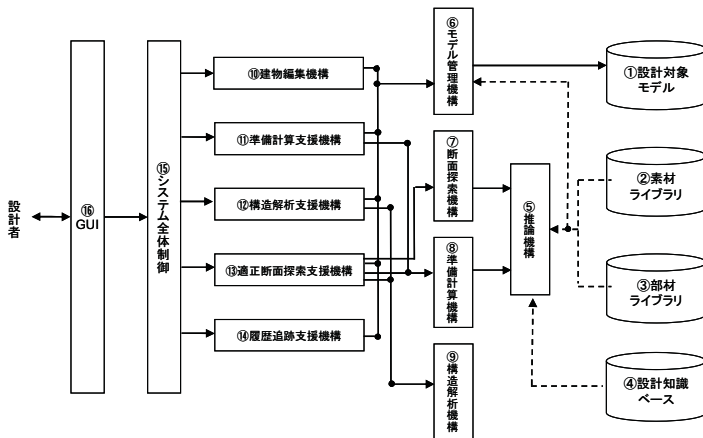


図 8 鋼構造設計教育支援システムの構成

(5) 設計空間を用いた設計知識の表現

設計知識の透明性を実現するために、知識表現言語 DSP を用いて、設計知識を記述する。また、保守性や汎用性の高い知識ベースを構築するため、設計空間を利用することで設計知識を体系化する。

4.2 鋼構造設計教育支援システムの構成

本システムの構成を図 8 に示す。①設計対象モデルは、設計中の建物の情報を格納する。②素材ライブラリは、部材の基本要素である素材の情報を格納する。鋼構造建築物で扱う素材は、角形鋼管、H 形鋼、溝形鋼等の鋼材である。③部材ライブラリは、建築物の基本要素である部材の情報を格納する。部材には、基礎、柱、大梁等がある。④設計知識ベースは、構造力学に基づく計算式などの設計知識を格納する。⑩から⑭は、設計初学者の設計スキル習得のための支援機能を表している。この中の⑬適正断面探索支援機構で解集合を用いた本手法を実装している。⑬の概要を以降で述べる。

4.3 適正断面探索支援機構

適正断面探索支援機構の構成を図 9 に示す。本機構は、設計初学者が適正解の探索を効率的に行い、かつ設計スキルの習得を可能にする支援機能の集合であり、(9.1) 断面探索支援機能、(9.2) 構造計算支援機能、(9.3) 設計解検討支援機能の 3 つの支援機能から構成される。以下に、それぞれの支援機能の概要を述べる。

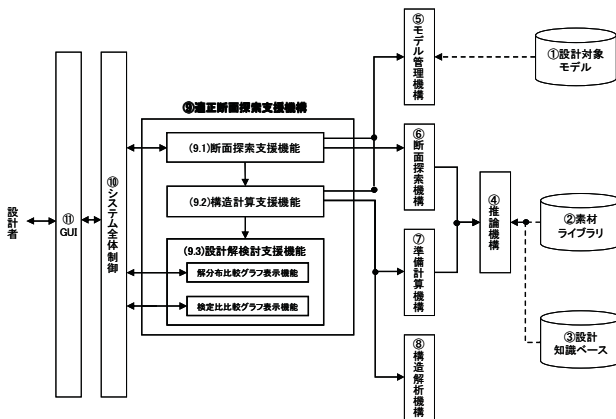


図 9 適正断面探索支援機構の構成

(1) 断面探索支援機能

鋼構造設計において、骨組の形状と規模が与えられた段階から、一般的に 1 つの断面を選択するが、本システムでは、鋼材の断面集合を選択可能にすることで解集合を抽出する。その際、(9.1) 断面探索支援機能は、設計初学者でも適正解へと近づく解集合を抽出するために必要な断面を容易に取得できる支援をする。具体的には、探索の基本となる断面（構造計画もしくは、部材断面再仮定で選択した断面）から、設計者が図 10 の断面集合取得画面を介して断面の中間パラメータの上限値および下限値を設定する。(9.1) は、②素材ライブラリからその条件に合う断面集合を自動探索する。それと同時に、選定した断面の各断面パラメータを軸とした分布図を表示することで、設計初学者が、断面性能を学べる環境を提供する。本研究では、評価パラメータに対して特に影響度の高い断面二次モーメントおよび断面係数を探索のための制御パラメータとする。

(2) 構造計算支援機能

(9.2) 構造計算支援機能は、まず、(9.1) によって選択された断面集合から、各符号のそれぞれで仮定された断面の組合せ（以下、断面パターン）を生成する。ここで、符号というのは、構造設計で用いられる部材のグループ化のことである。符号は、似た性質を持つ部材を符号としてグループ化することで、構造計算時の計算量を軽減し、施工を容易にするために利用されている。次に、(9.2) は、その断面パターン毎に①設計対象モデルに格納されている建築物に対して構造計算をすることにより、解集合を抽出する。構造計算については、⑦準備計算支援機構、⑧構造解析機構により自動的に計算する。

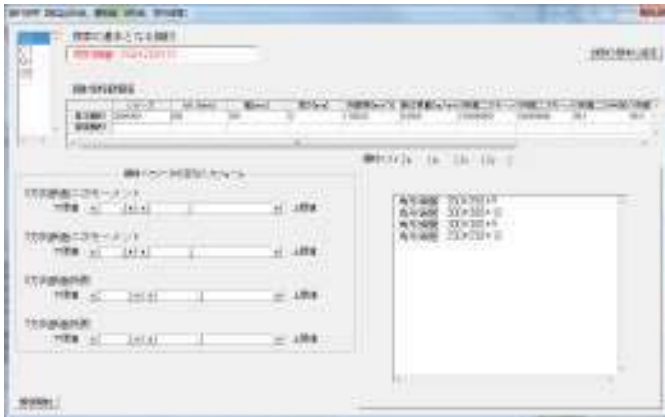


図 10 断面集合の取得画面

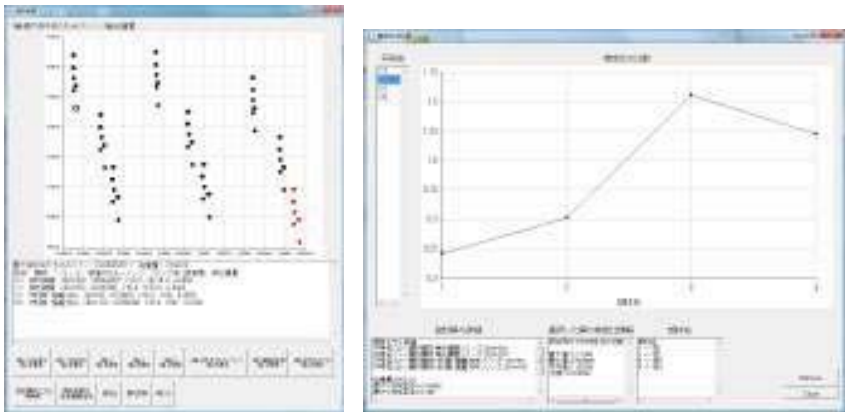


図 11 解分布および検定比の比較グラフ

(3) 設計解検討支援機能

(9.3) 設計解検討支援機能は、設計初学者が、(9.2) で計算された構造解析結果を効率的に検討するための支援をする。(9.3)は、図 11 の解分布比較グラフ表示機能、検定比比較グラフ表示機能で構成する。

解分布図表示機能は、解集合を設計者にとって比較、検討しやすくするため、複数の視点からの解の分布図を表示する。複数の視点は、設計者が単純に性能上の観点から比較するために、X 軸に断面パターンを指定し、さらに Y 軸には、それぞれ X 方向

への最大変位, Y 軸方向への最大変位, 総重量, 梁中央たわみ量, 梁中央たわみ量/スパン, 層間変位角を指定した解の分布図を表示する. また, 設計者は建物をコストの観点から見る必要がある. 構造設計において, コストに一番大きな影響を与える要素は, 建物の総重量なので, X 軸に総重量を指定し, Y 軸にそれぞれ X 方向への最大変位, Y 軸方向への最大変位, 梁中央たわみ量, 梁中央たわみ量/スパン, 層間変位角を指定した解の分布図を提供する. これらの機能より, 設計者は, 性能とコストという複数の視点から, 解の集合を比較, 検討することが可能になる.

また, 構造設計では, 構造的な強度のバラツキを確認し, 全体の強度のバランスや符号の割り振りの良し悪しの検討を行う. 実際には, 各部材毎の強度の余裕度(検定比)を計算し, それらの値について検討する. 検定比グラフ表示機能は, 設計者に各設計解で検定比の差を比較検討が可能な設計環境を提供するため, 検定比を計算し, その計算値をグラフに表示する. 設計者は, この機能からの情報で, 符号に割り振っている部材間の検定比の関係を考察することできるので, 符号の割り振りの修正や検定比のバランスの良い設計解について検討することが可能になる.

5. 建築系学生による試用実験

本論文では, 設計初学者が設計スキルを効率的に習得するための適正解探索支援手法を提案した. しかし, このような手法が設計初学者の求めるものであるかは明らかになっていない. そこで, 本手法の有効性を検証するために, 鋼構造設計支援システムによる試用実験を実施し, アンケート調査を行った.

5.1 調査概要

このアンケート調査は, 建築系大学所属の大学生 4 名(設計初学者 2 名, 資格保有者 2 名)を対象に行った. 本調査では, 例題二つに対して鋼構造設計支援システムによる鋼構造設計を実施してもらい, その結果に対してアンケートシートを回答してもらう方法を採用した. 今回の調査で用いた例題を図 12, 13 に示す. アンケートは 9 の質問項目があり, 回答者自身の詳細情報に関する質問, 適正解の探索支援手法による設計の理解性に関する質問, 適正解の探索支援手法による設計の効率性に関する質問, システムの利点および欠点に関する質問で構成する. 調査内容は, 以下に示す.

(1) 回答者の詳細情報

「Q1 職種」, 「Q2 設計経験(構造設計の経験や資格等)」.

(2) 適正解の探索支援手法による設計の理解性

「Q3 断面パラメータによる断面リストの取得法」, 「Q4 鋼材断面の分布図」.

(3) 適正解の探索支援手法による設計の効率性

「Q5 例題 1 の再設計の回数」, 「Q6 例題 2 の再設計の回数」, 「Q7 効率性に関して市販のシステムと比較」.

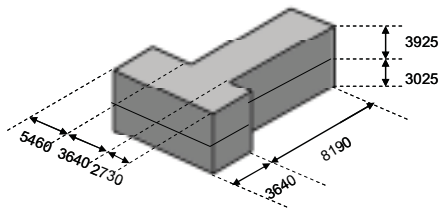


図 12 例題 1

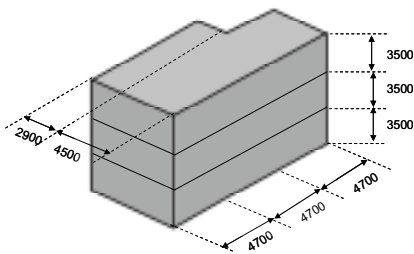


図 13 例題 2

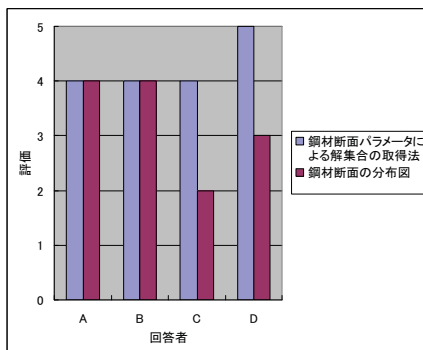


図 14 設計工夫のノウハウの理解性

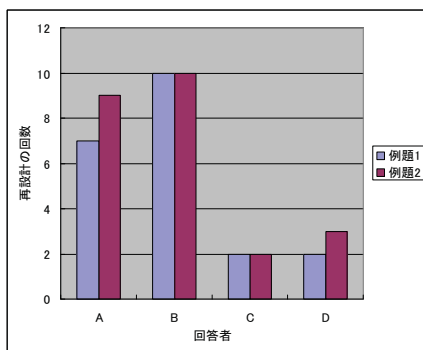


図 15 再設計の回数

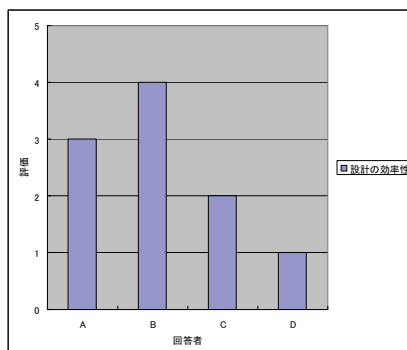


図 16 効率性に関して市販のシステムと比較

(4) システムに関して

「Q8 システムの利点」, 「Q9 システムの欠点および改良点」.

5.2 調査結果と有効性の評価

本節では、今回の試用実験およびアンケート調査により、本論文で提案した「適正解の探索支援手法」の有効性を評価する。調査結果を図 14 から 16 に示す。今回の調査結果では、設計初学者を A, B と、資格保有者を C, D とする。図 14 の評価については、「1. 大変理解しにくい, 2. 理解しにくい, 3. 普通, 4. 理解しやすい, 5. 大変理解しやすい」である。また、図 16 の評価については、「1. 大変効率的でない, 2. 効率的でない, 3. 普通, 4. 効率的である, 5. 大変効率的である」である。以降に、有効性の評価をまとめる。

(1) 設計スキル向上への効果

図 14 の「Q3 断面パラメータによる断面集合の取得法」については、回答者全員が「4. 理解しやすい」以上を評価しており、平均 4.25 という結果であった。これにより、本手法を用いることにより、断面パラメータと評価パラメータの影響度を理解しやすいということが窺える。また、「Q4 鋼材断面の分布図」については、設計初学者と資格保有者によって、平均 3.25 という結果であった。これは、設計初学者が平均 4、資格保有者が平均 2.5 であり、評価にバラつきがあることが分かる。設計初学者にとっては、あまり断面性能を理解していないため、断面パラメータの分布傾向を視覚的に確認しながら、断面集合を選択することは学習への効果があると判断したと考えられる。資格保有者にとっては、すでにスキルを習得しているため、このような機能があってもあまり効果がないと判断したと考えられる。「Q8 システムの利点」では、「設計解選択時、分布図を複数見ることができるため、様々な視点から設計解を比較、検討することができた」、「鋼材の自動探索機能により鋼材を視覚的に確認、選択することができ、設計解取得までの時間が短縮された」等、高い評価が得られた。

(2) 設計の効率性

図 15 の「Q5 例題 1 の再設計の回数」、「Q6 例題 2 の再設計の回数」を見ると、設計初学者と資格保有者に大きなバラつきがあることが分かる。また、図 16 の「Q7 効率性に関して市販のシステムと比較」を見ると、設計初学者が平均 3.5、資格保有者が平均 1.5 であった。設計初学者は、多くの再設計を要していたが、市販のシステムよりも効率的な設計ができたと感じたようだ。これにより、設計初学者でも、システムが提供する解を設計者主体で試行錯誤しながら効率的な設計ができていることが窺える。しかし、資格保有者においては、平均 1.5 で低い評価であった。この原因は、システムのユーザビリティに多くの欠点があったためである。「Q9 システムの欠点および改良点」において、「入力方法、設計手順の操作性が悪い」、「設計の流れが分かりづらい」等、多くの欠点を指摘された。回答者は、システムのユーザビリティが良くないため、設計の効率性が悪いと判断したと考えられる。

6. おわりに

本論文では、鋼構造設計教育支援システムにおける適正解探索手法を提案した。本手法は、解集合による適正解の探索手法を採用することにより、設計初学者でも効率的に適正解を探索し、かつ設計スキルを習得可能にすることを目的とする。また、設計初学者が解集合を抽出するために必要な断面集合を容易に取得するための支援法を考案した。建築系学生を対象とした試作システムの試用実験をすることにより、本手法の有効性を評価した。実験の結果、設計初学者の設計スキル向上への効果に対して高い評価を得られ、本手法の有効性を確認した。しかし、システムのユーザビリティ等に対して改良点を指摘され、それに伴い設計の効率性についても低い評価であった。

設計初学者が設計スキルを習得するためには、限られた時間内で、より多くの構造設計を経験する必要があるため、システムのユーザビリティの向上は不可欠である。また、システムを用いた設計の効率性について正確な考察をするためには、適正解の詳細なデータや設計の過程の履歴を参照、管理できる履歴追跡機能を開発する必要がある。

参考文献

- 1) 南 宏一, 横井 友幸, 松尾 彰, 高松 隆夫, 野添 久視, 森村 毅, 福原 安洋, 原田 洋臣: 建築構造力学教育の現状と将来的課題に関する調査研究, 日本建築学会技術報告集, 2000, 第 11 号, p. 105-110.
- 2) 松尾 彰, 澤田 樹一郎, 高松 隆夫, 南 宏一, 野添 久視, 森村 毅, 福原 安洋, 原田 洋臣: 高専および大学の建築鋼構造教育に関する調査研究, 日本建築学会技術報告集, 2003, 第 18 号, p. 407-412.
- 3) 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, 2009, p. 109-114.
- 4) 田中 尚生: 鋼構造設計における設計可能空間の取得技法に関する研究, 熊本大学平成 18 年度修士論文, 2006.
- 5) 長澤 勲, 手越 義昭, 牧野 稔: IBDS 建築物の統合化設計支援システム, 情報処理学会論文誌, 1989, 30-8, p. 1058-1067.
- 6) 長澤 勲, 伊藤 公俊: 属性モデリング, 1991.
- 7) 石松 貴幸: 鋼構造設計を対象とした設計スキル向上のための教育支援システムに関する研究, 九州工業大学平成 21 年度修士論文, 2009.
- 8) 服部 宏己, 畑中 重光, 三島 直生: 住居系短期大学を対象とした構造教育に関する一提案, 日本建築学会東海支部研究報告書, 2010, 第 48 号, p. 194-196.
- 9) 服部 宏己: 住居系短期大学を対象とした構造教育に関する一考察, 岐阜市立女子短期大学研究紀要, 2009, p. 129-134.