

キーワード：構造設計，知識処理，設計支援

1. 序

設計とはイメージや概念といったメタ・フィジカルなものから物質を伴うあるいは目に見えるもののようにフィジカルなものを得るための知的作業であると言える。構造設計もその例外ではなく上記のプロセスを経て遂行されるものであり、実務家は多くの工学的判断を伴いながら実施設計を行っている。設計技量は設計者の多くの経験に基づいて向上していくものであり、それを実現するには長い時間を要するのは周知である。ここに、これまでの設計試行の過程に骨の折れる作業が伴いがちであるため、熟練の域に達するには相当の忍耐と修養が要求される。

本研究では、設計者の知的設計活動を支援しつつ設計者の設計技量の向上を促進させる仕組みと新しい概念を具備した設計支援システムの開発を試みた。従来の構造設計システムでは設計者に対して基本的に1組の解を提供するに留まり、その周辺の解の情報を取得することができない。それらを設計システムが設計者に提供できるとすれば、設計者にとってより良い設計解を見いだす機会を得、設計初学者にとっては設計技量の向上に大いに貢献できるものと考えられる。

2. 既往の研究と本研究の目的

設計とは、図1のように与えられた設計情報(本研

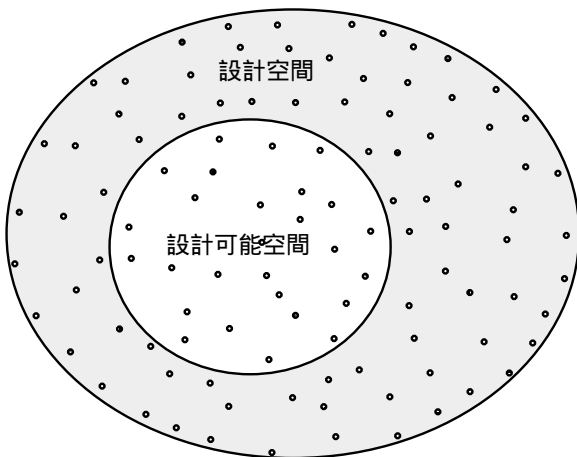


図1 設計空間と設計可能空間

究では設計空間と呼ぶ)から設計条件(拘束条件)の下で設計解の集合(本研究では設計可能空間と呼ぶ)を抽出し、その中から最終的に1組の解を決定する作業であるといえる。設計情報とは、例えば部材設計においては設計者に用意されているデザインカタログに記述されている数値情報などである。

建築設計規準の性能設計への移行に伴い、設計者はより高度な設計判断が要求されることになり、設計者の設計技量向上は急務である。

従来の設計システムは自動的に試行錯誤を行い設計空間から設計解を導き出すか、もしくは入力仮定値に対する解を出力するのみの単一解を得る。従って、設計者はシステムに設計条件を入力するのみで、システムに設計者が従属するといった主客転倒するような奇異な利用形態が生じるため、設計初心者の設計技量向上につながるとは考えられない。

従来のシステムが設計空間から単一解を導き出すものであったのに対し、近年では知識処理を用いた新世代の設計システムの提唱がなされて来ている<sup>[1,2]</sup>。知識処理による設計は、生成検証法により与えられた設計空間内から設計条件を満足する解を探索して複数解(設計可能空間)を見いだす<sup>[3,4]</sup>。知識処理とはデータベース等の情報とそれを扱う処理の総体をいう。処理は設計者の意図を容易に組み込み易く記述されるべきであり、処理記述は設計仕様の表現形式を維持でき、データベースと不可分の関係を保っている。知識処理では設計者が複数の設計解の中から最も相応しい解を選択する道が与えられ、従来のシステムで生じるようなシステムに設計者が従属するといった状態になることを防止できる。また、構築されたシステムは透明化されており設計者によるカス

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{c \sigma_b}{f_b} \leq 1 \tag{6.1}$$

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{c \sigma_b}{f_b (1 - \frac{\sigma_c}{f_e})} \leq 1 \tag{6.1}'$$

ただし、 $f_e = \frac{P_e}{A}$ ,  $P_e = \frac{\pi^2 EI}{\ell^2}$  : オイラー荷重

図2 設計規準書に見られる記述例(文献[5])

タマイズが可能であること、処理とデータベースが不可分の関係にあることが特徴である。

3. 鋼構造部材設計処理の分析と設計システム構築  
 鋼構造物の部材設計は「鋼構造設計規準」<sup>[5]</sup>に基づいて行われる。規準書に記述される設計式および式に関わる変数や定数記号の説明は図2に示す形態をもつのが一般的である。このような記述に相応しい言語としてDSP<sup>[6]</sup>を採用した。DSPの持つデータフローの概念<sup>[3]</sup>より、プログラミングにおいて処理手順順序を意識せずに設計仕様を記述できるため、設計者自らがシステム構築に参加でき将来の設計仕様変更に対応することが容易かつ迅速に対応することができる。

図3はH形鋼部材の設計処理を分析した結果を簡潔に示したものである。部材設計システム構築に際し、まず部材設計処理を分析し複数の処理に細分化する。これにより複雑であった処理は簡単な処理の集合となる。これらの処理をプログラミング言語で再構築する。設計計算言語DSPの持つデータフローの概念より設計者自身が容易にプログラミングでき、かつオブジェクト指向<sup>[7]</sup>技術によって図3に見られるようなモジュール群は階層化され、実際の設計処理に沿ったシステムが構築できる。個々のモジュールは有機的に関連づけられて各処理を行い、設計空間より設計条件を満足する設計可能空間を抽出する。各モジュールは、モジュール間で結合して実行させることもできるし、単独で実行させることもできる。このことはモジュールの再利用が容易にできることを意味する。これより更に他の検定を付加することは容易である。例えば設計規準の改定に伴う設計システムの改変を考えれば、他のプログラミング言語で記述したものより労力を必要としない。

#### 4. H形鋼部材設計における設計可能空間の抽出

ここで構築したH形鋼部材設計システムを用いて、柱および梁の設計可能空間を抽出した結

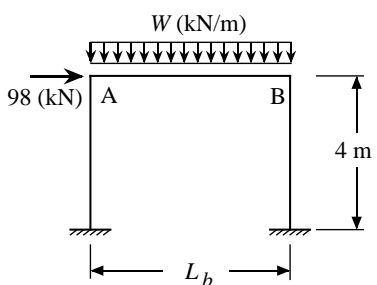


図4 設計骨組

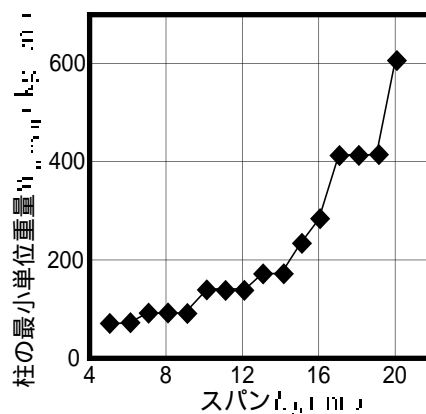


図5 H形鋼梁のスパンと最小単位重量

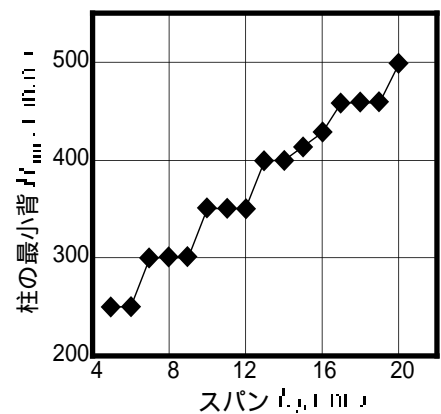


図6 H形鋼梁のスパンと最小背

果を示す。用いた鋼材はSS400とした。

図5および図6は図4に示す門型ラーメンの応力計算に基づいて、H形鋼梁のスパンと単位長あたりの重量および部材背の設計可能空間を求めたものである。なお、床荷重を2.94 kN/m<sup>2</sup> (300 kgf/m<sup>2</sup>)の等分布荷重とし、梁部材の直交方向の床負担幅はスパン長とした。

同図の各折れ線の上側の領域が設計可能空間である。各図からスパン応じた選択可能な部材情報が得られ、このような図を得ることが設計初心者の技量向上に貢献する。

#### 5. 鋼構造設計の特質と設計システムの提案

鋼構造設計とRC造設計の両者の最も大きな相違点は設計処理の一過性があるかどうかである。骨組設計では断面を仮定し準備計算、構造解析を経て断面算定を行う。RC造設計では部材内の鉄筋量の加減により応力を調整できる。一方、鋼構造設計では、設計不可の場合は仮定断面を変更し、初めから準備計算、構造解析をやり直さなければならない。このように

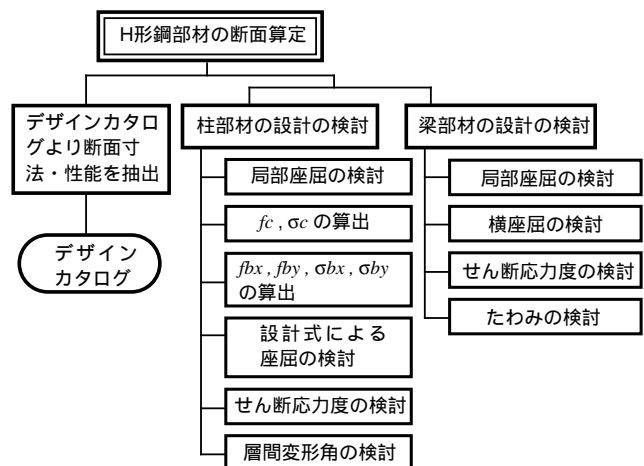


図3 H形鋼部材設計システムの構成

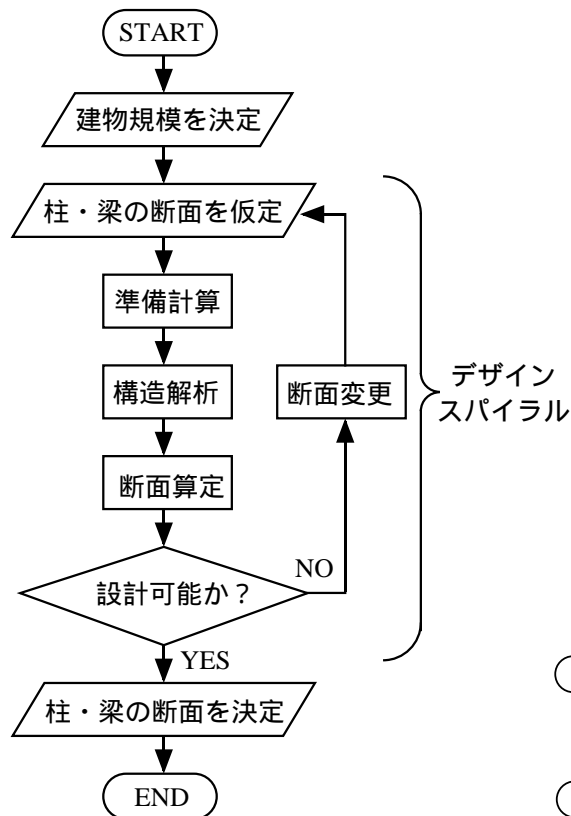


図7 従来のシステムによる設計手順

一連の作業を複数回繰り返しつつ設計条件を満足するように全ての設計項目を決定する繰り返し手続「デザインスパイラル」が生じる。

図7は従来の設計システムによる骨組設計手順を示したものである。従来の設計システムの問題点は、設計初心者はデザインスパイラルの収束までに多くのスパイラルを要することである。この問題は、設計初心者は仮定断面を過大・過小評価してしまいがちであることが、適正解を効率的に探索できないことに起因している。適正解とは、解に直接関係する条件以外の設計者が総合的判断によって決定される解であり、最適解とは区別される。

適正解の探索について考える。従来の設計システムは、設計者自身の知識・経験を基に適正解の探索を行っていたので、デザインスパイラルの回数は設計者のスキルに大きく左右される。そこで、本研究では設計者が適正解と推測した1点を見据えて探索するのではなく、適正解と推測した1点とその周辺を見渡し、その状況を基に探索する方法を提案する。この方法を用いることで、図8に示すように1回のデザインスパイラル毎に設計者は確実に適正解に近付くことができる。

以上より、本研究では図9に示す設計手順を持つ設計システムを提案する。本システムの特徴は以下

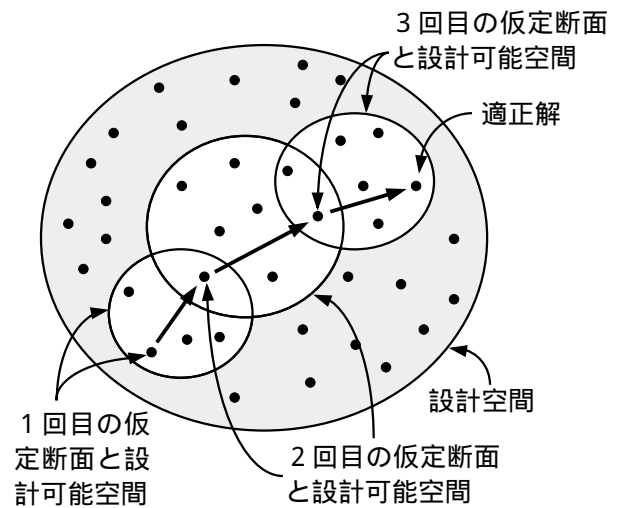


図8 設計可能空間と適正解

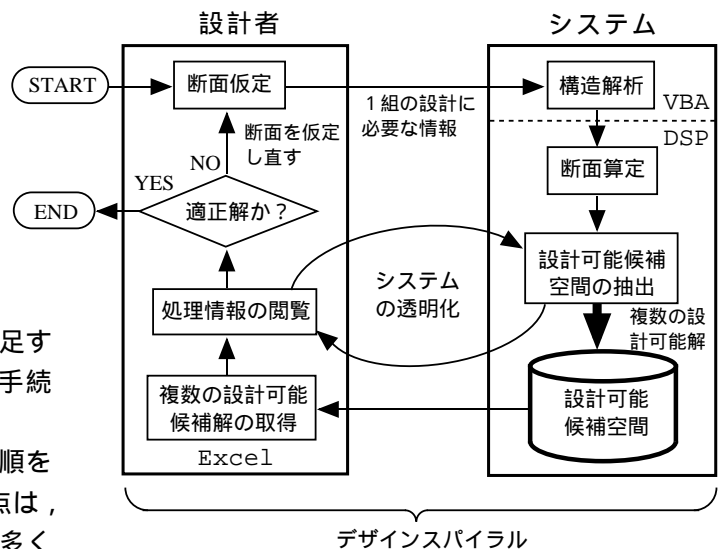


図9 提案する設計システムによる設計手順

のとおりである。

- 1) システムが透明化されており、設計者自身によるカスタマイズが可能である。
- 2) 設計システムが設計者に仮定断面の変更の際に役立つ情報を提供できるので、設計初心者でも少ない回数でデザインスパイラルを収束させることができる。
- 3) 仮定断面、適正解の判断は設計者主導で行われる。

本システムは図9に示すように部材算定部分はDSPで、入出力部分はExcelで、構造解析はVBAで記述されており、それぞれが有機的に結合されて処理を遂行する。

## 6. 山形ラーメン梁間方向フレーム設計システム

上述の設計システムを山形ラーメン梁間方

向フレーム設計システム「K-System」に実装した。

入力インターフェイスは視認性の高いものを必要とするので、図10に示すようにExcelを用い、柱・梁の断面算定には、3章で言及したH形鋼部材設計システムを使用した。設計者が入力した情報を基に構造解析、断面算定を行う。注目すべきことは、柱・梁それぞれの仮定断面に対する応力に対して仮定断面のみならずデザインカタログに蓄えられている他の断面に対しても設計の検討を行い設計可能

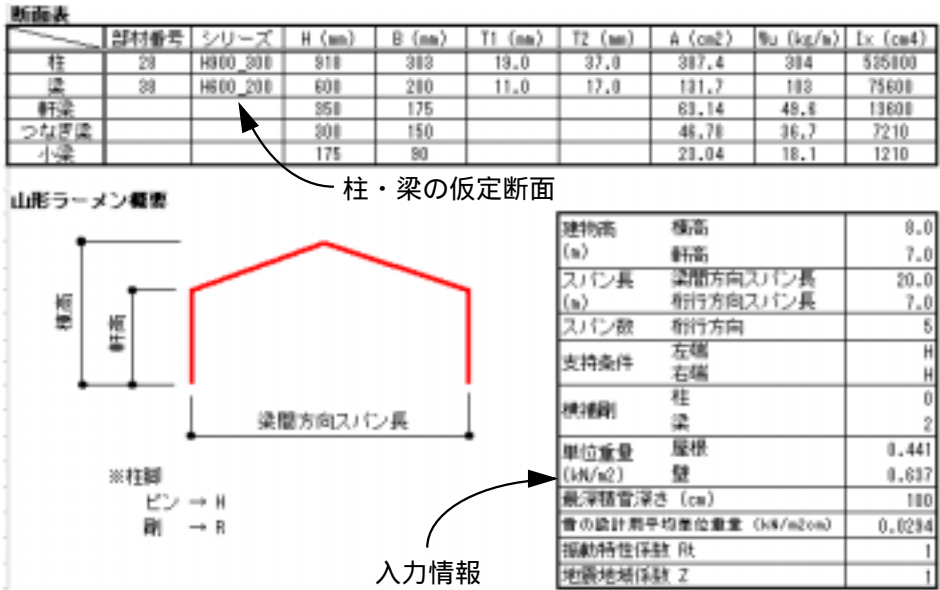


図10 鋼山形ラーメン骨組構造設計システムへの実装

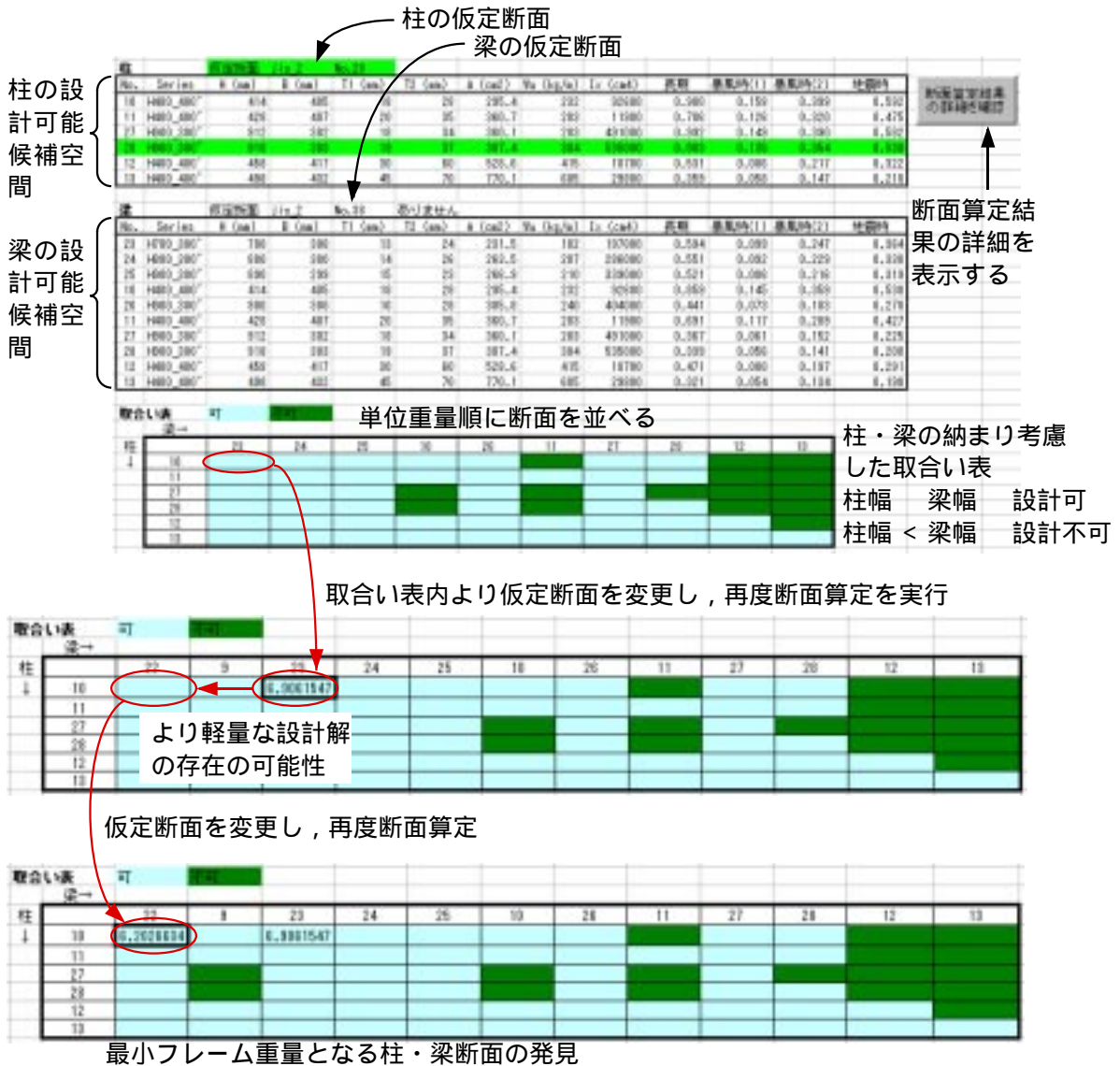


図11 柱・梁の設計可能候補空間の推移

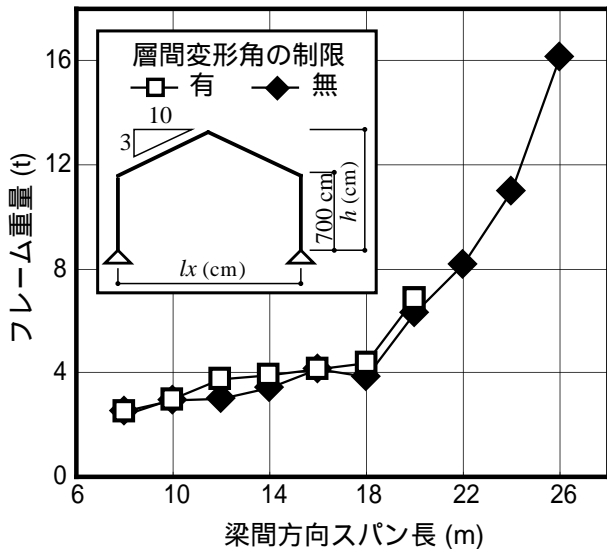


図 12 梁間方向スパン長と最小フレーム重量

な複数の断面を抽出することである。複数の設計可能解を同時に導き出すことは、設計者自身の中から適正解を選ぶことができることを許している。ただし、ここで得られる解の集合は図 1 で示す設計可能空間ではない。何故ならば、仮定した構成部材からなる骨組構造を解析した結果についてそれらの周辺の解の集合を得ているため、厳密な設計可能空間として得られないからである。ここではその集合を設計可能候補空間と呼ぶことにする。

設計者は仮定断面が適正解であると判断すれば設計を終了し、そうでなければ仮定断面を変更してデザインスパイラルを行うことになる。このとき、断面算定によって得られた設計可能候補空間の中から断面を選択することで、効率的なデザインスパイラルが行える。本システムの出力結果を図 11 に示す。柱・梁それぞれの設計空間と同時に、柱梁の接合を考慮し、柱と梁の納まりを検討し「柱の幅 梁の幅」を設計可とする取合い表を同時に出力する。

この仕組みを備えることで、設計者は適正解の判断の基準を設計に反映させることができ、採用する設計解を効率的に絞り込むことが可能となる。

構造物が大規模になるにつれて、設計解の数の爆発が問題となる。この問題については、設計者が設計の処理の要所毎に設計条件を付加して行くことで、設計可能空間を絞り込むことで解決できる。

## 7. 設計システムによる設計可能空間の抽出

構築した K-System を用いて、文献 [8] の設計事例を基に梁間方向スパン長と最小フレーム重量の設計可能空間の抽出を行った結果を図 12 に示す。同図は図 8 で示した適正解探索の事例である。柱の横補剛は

なく、梁の横補剛は等間隔に配置され、水平方向当りの横補剛間隔は 3.0 ~ 6.0 m とする。使用した鋼材は SS400 とした。

設計可能空間の抽出は、層間変形角の制限の有・無の 2 種類で行った。このように種々の検討を付加・変更が容易に行なえるのも本システムの特徴である。両者共フレーム重量が 18m を境に急上昇するのは、梁部材がこれを境に細幅系列から中幅系列となるためである。18m を超えるとスパンの増加に対する最小フレーム重量の増加の割合が増えるため不経済な設計となる。一方、層間変形角の制限有の場合は、この制限のため断面が制限無よりも 1 ランク上になりで限界値に達する。

## 8. 結論

本研究は、まず鋼構造骨組構造設計のための部材断面算定処理に焦点を当て、設計者の設計スキル向上を支援するシステムの試作を行った。それは知識処理を備えた設計計算言語 DSP を用いて再利用に柔軟なシステム構成をもつ。更に新しい概念を具備した設計システム構築の一環として設計可能空間の概念を導入し、鋼山形ラーメン骨組設計システムを知識処理を備えた設計計算言語 DSP を用いて構築した。本システムは汎用骨組設計システムへと発展させることで、文献 [9] のような設計者にとって有益な情報を容易に得ることができ、かつ設計の上流を担うシステムを構築できると予想される。

## [参考文献]

- [1] B. Kumar, Knowledge Processing for Structural Design, Topics in Engineering Vol.25, Computational Mechanics Publications, 1995
- [2] 梅田政信, 長澤勲, 樋口達治, 永田良人, 設計計算のプログラム書法, 信学技報, A191-60, pp. 25-32, 1991 年
- [3] 長澤勲, 前田潤滋, 手越義昭, 牧野稔, 建築設計支援システムにおける小規模な組合せ選択問題のためのプログラミング手法, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 417 号, pp. 157-166, 1990 年 11 月
- [4] 手越義昭, 長澤勲, 前田潤滋, 牧野稔, 建築物設計における小規模な組合せ選択問題の一解法 階段設計を例として, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 405 号, pp. 157-165, 1989 年 11 月
- [5] 日本建築学会, 鋼構造設計規準, 1973 年 5 月
- [6] 小島崇司, 長澤勲, 樋口達治, 望月雅光, 梅田政信, 章志華, 機械系のばらつき設計を中心としたカメラの鏡枠ユニットの設計支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 38, No. 1, pp. 131-145, 1997 年 1 月
- [7] 石田栄介, 新美勝之, 福和信夫, 中井正一, 静的線形有限要素解析のオブジェクト指向分析と設計, 構造工学論文集, Vol.40B, pp.243 ~ 250, 1994 年
- [8] 社団法人鋼材倶楽部, 鋼構造設計演習, 技報堂出版, 5 章, 1999 年 2 月
- [9] 須賀好富, 構造コストと経済設計, 学芸出版社, 1987 年 7 月

\*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 助教授 工博

# A Study on Acquisition Method of Designable Space for Structural Steel Frame in Structural Design

Hideyuki YAMAURA \*<sup>1</sup> and Minoru YAMANARI \*<sup>2</sup>

Keywords: Structural Design, Knowledge Processing, Computer-Aided Design

Design is the intellectual work for getting the result of being or visible material through image or concept. It also passes through not the exception but process of the superscription, the structural design carries out it. Design workmanship is improved for much experience in the designer. The long time is needed in order to realize it. Therefore, equivalent patience and culture of the mind are required in order to reach the area of the skill.

In this study, it was developed of design support system with the mechanism which promotes the improvement in the design workmanship of the designer and new concept. Simultaneously, the new mechanism offers multiple solutions to the designer, and it supports the decision making of the designer. The opportunity which finds the better design solution for the designer is obtained, if the design system can offer them to the designer, and it can greatly contribute to the improvement in the design workmanship for the design beginner.

Authors developed the computer-aided system for structural design of steel frame by the mounting of this concept. This design support system which facilitated that the proper solution from the cluster of multiple design information is decided showed useful for the design skill improvement of the designer. The research of the method for extracting the designable space from the design space will develop in future.

---

\*1 Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University

\*2 Associate Professor, Kumamoto University, Dr. Eng.