

## オブジェクト指向プログラミングによる構造設計規準の コンピュータへの記述とその応用

中島 正愛・山脇 克彦・朝倉 大樹・辻 文三

### DESCRIPTION OF STRUCTURAL DESIGN STANDARDS USING OBJECT-ORIENTED PROGRAMMING AND ITS APPLICATION TO STRUCTURAL DESIGN AND CALCULATION

By Masayoshi NAKASHIMA, Katsuhiko YAMAWAKI, Daiki ASAKURA and Bunzo TSUJI

#### Synopsis

Structural Design Standards are described in a computer using production-rules, and advantages of such description in terms of the completeness checking of respective design provisions as well as their accuracy evaluation are presented. Background information for structural design, such as commentaries of design standards, previous experimental data, and other relevant documents, is also stored in a computer and linked with the computerized design standards. A structural design system, in which computerized design standards and structural analysis programs are linked via a user-interface, is developed. Here, object-oriented programming is employed for facilitating the identification of structural members and elements. An example of structural design using the system devised is presented, its advantages over conventional structural design systems stated, and the potential of this system as an aid to conceptual structural design demonstrated.

## 1. 研究の背景

### 1.1. 建築構造設計規準

建築構造設計規準は、建物を設計する上で、その構造上の安全性を確保するために満たさなければならない条件を定めたものである。規準は構造工学研究上の知見、行政的な配慮、またその時々の技術力・経済力等を考慮し、総合的な判断に立って定められるもので、時代の変遷と共に規準もまた変貌してゆく。

Table 1 は、米国の AISC 規準が時代と共にどのように変わってきたかを、規準書の頁数として示した興味深い資料である<sup>1)</sup>。今世紀初頭から60年の間に、その頁数は十数倍に増えているが、これは規準に示される規定の数が増え、また各規定が複雑になってきていることを物語っている。このように規準の内容が増えてきた理由として、研究の進展、経済の発展、技術の進歩等が挙げられ、それだけ規準が充実したことを意味しているが、その一方で新しい問題が表面化してきた。それは、規準の整備における分業体制である。研究が深化し

Table 1. Change in volume in USA's AISC specification.

Year	Specification	Appendices	Commentary	Total
1923	15	0	0	15
1928	16	0	0	16
1936	19	0	0	19
1949	30	0	0	30
1963	55	42	37	134
1969	62	51	45	158
1978	65	34	63	162
1986	86	50	83	219

てくるとその分業が進み、また各々の成果を反映させるべき規準の整備段階でも個々の課題の専門家が協調することになる。このような共同作業では、(1) 規準全体としての整合性が保たれているか、(2) 各規定で要求する精度にバランスがとれているか、(3) 想定されるあらゆる場合に対処できているか、等の問題が浮かび上がってくる。これらはいずれも、構造設計規準というものが、構造物全体としての安全性を確保するために定められるべきもので、それを実現するためには、構造物を構成する各部分・要素の安全性が要求されるものの、それらが構造物全体の安全性に寄与する割合は同一ではなく、したがって各部分・要素ごとに完結した安全性の評価だけで事足りるものではないことにも起因している。もちろん規準の整備過程においては、このことを十分認識しながら作業が進められるわけであるが、それでも規定の個数が増えてくると、例えば各部分の記号の統一に始まって、規準の内容全てに整合性が保たれているかどうかを判断することは難しくなるばかりである。一方規準を使用する立場からも、規準書が分厚くなると、個々の規定はともかく、様々な規定がどのように絡み合っているのか、その全貌をつかむことが次第に難しくなっている。このように、構造設計規準の内容が増えるに従い、それを作る側にとってもまた使う側にとっても、その取り扱いが厄介になってきた。

### 1.2. 一貫構造計算プログラム

近年コンピュータ技術の進歩に伴い、いわゆる一貫構造計算プログラムが多数開発され、また実際の設計にも大いに活用されている。これらプログラムでは、Fig. 1に示すように、構造物のトポロジー、また構造物を構成する各要素の材料的・幾何学的特性、さらに作用外力を入力し、ついで構造解析を実施することから、主要部分に生じる変形や応力（断面力）を求め、その後、それらを規準の各規定に対して判定するという手順を取っている。さてこのような一貫計算プログラムにおいて、解析結果を規準の各規定に対して判定する部分を考えてみると、そこでは、(1) 正しい規定が正しい場所で参照されているか、(2) その規定の意味が正しく解釈されそしてコード化されているか、という問題がある。もちろん、プログラムを開発するにあたっては最善の努力が払われ、またそのプログラムはしかるべき評価を受けて始めてその使用が公式に認められるわけであるが、それでも規定の内容が増加し複雑になると、一つ一つが違う形式でコード化されているプログラムに対して、上記の2点が全て満足されていることを保証することは難しくなっている。また構造設計規準は、時代と共に改訂されてゆくことも見逃せない。一貫構造計算プログラムは、規準が改訂される度に変更される必要があるが、改訂ごとに規準の内容が複雑になる今日、プログラムの変更作業もますます時間のかかる作業となっている。

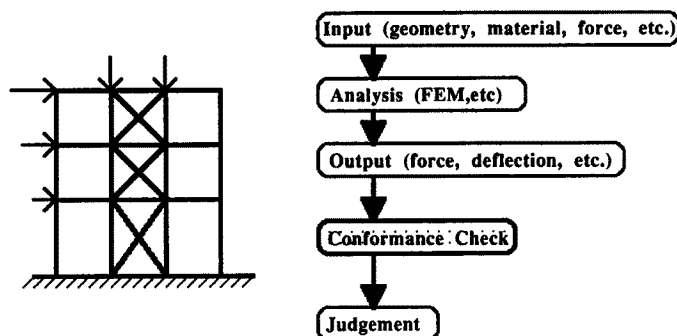


Fig. 1. Outline of computerized structural design system.

## 2. 研究の目的

「研究の背景」において、構造設計規準の内容が増えるにしたがって、それら規準を作る側と使う側両者に生じる問題点、また一貫構造計算プログラムにおける、規定に対する判定部分にかかわる問題点を指摘した。本論文では、これらの問題を解決する一手段として、(1) 構造設計規準それ自身を、独立した形でコンピュータ上に記述すること、(2) このようにコンピュータ上に記述された規準を、インターフェイスを通じて構造解析と結合させた構造計算システムを構築することを目標とし、このようなシステムの一プロトタイプを提示する。ここで、コンピュータ上に記述された規準とは、従来の、一貫構造計算プログラムの中にコード化された規定群というのではなく、規準そのものだけで完結したプログラムであり、書物の体裁を採る規準書を、一枚のフロッピーディスクで置き換えるというイメージである。構造計算システムは、Fig. 2 に示すように、構造解析プログラムを一つの柱とし、一方にコンピュータ上に記述された規準を配し、この両者間のデータ交換を、インターフェイスを介して実行するものである。尚本研究で設定した(1)、(2)の課題については、米国を中心に既に研究が進められている。本論で提示するシステムは、全て筆者らが独自に組み立てたものであるが、その考え方等については文献2～4に啓発された。

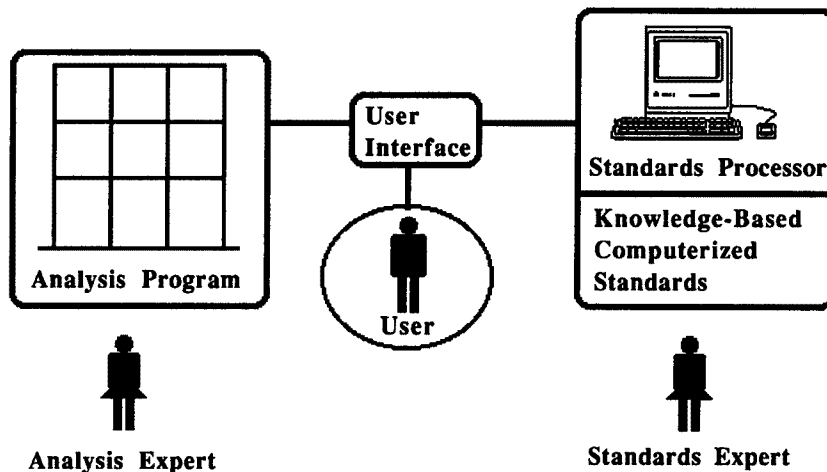


Fig. 2. A structural design system with analysis program and design standards separated.

## 3. 構造設計規準のコンピュータへの記述

### 3.1. プロダクションルールによる記述

構造設計規準に記された規定をみると、それは設計式の形で表現されているものと、文章で表現されたもの(例えば幅厚比は10を越えないこと)に大別できるが、いずれの表現も「もし…ならば…でなければならない」というように解釈できる。そこで、規準をコンピュータ上に記述するための手段として、知識ベースを構築するための一表現法である、プロダクションルールを用いることにした。このルールを用いると、一つ一つの規定は、例えば Fig. 3 に示されるように表現され、またこのルールを各規定に順次適用してゆくことによって、Fig. 4 に示されるようなルールネットワークが形成される。一つ一つの

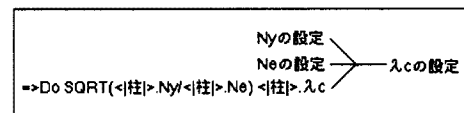


Fig. 3. Description of design provisions using production-rules.

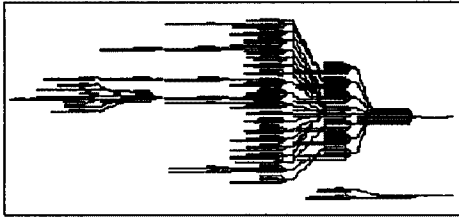


Fig. 4. Formation of rule network.

規定のルール表現法やネットワークの生成過程については5章で詳述する。さて、規準がこのようにルールネットワークとして表現されることによって得られる利点を、冒頭で指摘した構造設計規準が抱える問題点に照らし合わせて考えてみる。まず各々の規定をルール化してゆく作業において、その規定は(1)全ての条件に対応しているか (Completeness), (2)ある条件に対して解は一つだけか (Uniqueness), などを確かめることができる。またこのルール群のネットワークを参照することから、(1)規定同士が正しく結合されているか (例えばある規定を適用する場合、まず他の規定が正しく評価されている必要があるなど), (2)またある規定を適用するためには、それに先立って他の規定が評価されていなければならないが、一方その規定を適用するためには、今着目している規定が評価されなければならないというような矛盾 (Acycling) がないかどうか、等が即座に判断できる。さらにこのネットワークから、ある規定は他の規定にどの程度波及してゆくか (Priority), ある規定が適用されるに先立って、どのような規定がまず評価されていなければならないか (Dependency), などを容易に理解でき、これは各規定が持つ複雑さや精度の評価に対する思考をかき立てるものである。これら分析を支援するフォーカス機能についても5章で述べる。また、このルールに推論機能を働かせることによって、実際に諸変数を入力することから、果たして着目している規定が指定したとおりに作動し、また正しい答えを与えるかどうかを順次検定できる。

### 3.2. 規準情報の多元化

規準書には、規定そのものを記した本文のほか、その背景や関連情報を提供した解説や資料がある。また構造設計者は、その設計行為のなかで、規準の内容だけでは満足な情報が得られない場合には、関連する論文・資料等をも参照する。このように構造設計は、規準だけで事足りるものではなく、関連諸情報によって支援されている。このような情報は膨大なものとなるが、近年のコンピュータ技術の進歩をもってすれば、これらをコンピュータ上に組織立てて記述することもまた可能である。本研究では、これら情報一つ一つをコンピュータ上の一枚のカードに記述し、さらにそれらカードを管理する「情報発進源」を整理することから、欲しい情報を情報発進源を介して即座に入手できるシステムを開発した。ここでいう情報には、各規定の成り立ちを示した解説的な情報、また関連する実験や解析のデータベース、さらには論文リスト等が含まれ、それらは文字情報であったり、図形情報であったりする。これら情報片のカードへの記述例とその利用法については5章で述べる。

## 4. 構造計算システムの概要

### 4.1. インターフェイス

さて、コンピュータに記述された構造設計規準を用いて、Fig. 2に示すような、構造計算システムを構築するにあたって、次に考えるべきは構造解析とインターフェイスの構成である。構造解析は、通常FORATANやC等の手続き型言語でプログラミングされるものであり、本研究でもC言語を採用している。またインターフェイスにはHyper Cardを用いることとし、構造解析に必要な入力、さらに結果として得られる出力は、全てこのインターフェイスで管理される。この両者のデータ交換を高速に行うために、「XCMD」、「XFCN」を利用しているが、その詳細は、インターフェイスと規準部のデータ交換とともに7章で述べる。

#### 4.2. オブジェクト指向型プログラミング

ここで、構造解析結果をインターフェイスを経由して規準部に送り、関連規定によって判定を行う際に一つの問題が生じる。それは、構造物には例えば柱は多数本あるが、それぞれは異なった材料的・幾何学的特性を有し、また構造解析の結果、別個の断面力・応力が得られる。したがって判定にあたっては、柱に関する各規定を柱の本数回だけ適用する必要があるが、一方、通常規準では、柱という抽象化された部材に対して一つの規定を与えているに過ぎず、これを多数本の柱に適用するために一工夫必要となる。本研究では、オブジェクト指向型プログラミングによってこの問題に対処することとしている。つまり、各規定のコンピュータ上への記述に際しては、従来の規準書同様、柱を抽象化された部材として表現し（クラスと称す）、そのクラスに対して規定をルール化する。しかし実際の判定に対しては柱1、柱2、…という具合に、特有の諸元を有した具体的な部材（オブジェクトと称す）を対象とし、またそれらオブジェクトを、共通のクラスに属するものと定義することによって、適用すべきルールを同定している。オブジェクト指向型プログラミングによるオブジェクトの生成法や、ルールへの適用法については5章で記述する。

#### 4.3. 構築システムの有する利点

次に、上記に示した構造計算システムの利点を、従来の一貫構造計算プログラムを参照しながら考えてみたい。まず、構造解析と規準それぞれが独立していることから、それぞれに適したプログラミング言語を用いることが可能となり、解析と判定という異なった作業の効率化が図られる。事実、本研究でも、構造解析には高速演算を可能にする手続き型言語である C を用い、一方ルール群で表現される規準部には、知識ベース型のプログラミングによっている。またこのように両者を分離することは、構造解析・規準部の独立した改良・変更を容易にする。より高度な解析法が提供されれば、解析部を変更すればよく、その変更は原則として規準部の変更を要求しない。また規準の改訂は、規準部だけの変更を伴う。またこのように規準部を構造解析から切り離すことは、様々な規準を時に応じて使い分ける道も開いている。構造設計規準はただ一つ存在するものではなく、それぞれの国は別個の規準を有し、また一つの国の中でも構造物の形態によって異なる規準が用意されているし、また地方によって独特なローカルルール等もある。本論で考えている構造計算システムによれば、各々の設計において、そのときに要求される規準を適宜選び出し、それを規準部として採用すれば良く、規準の多様性に対して汎用性の高い対応が可能となる。

#### 4.4. 構造計画への拡張性

このシステムは、構造形式から部材の選択までが終わった構造物（実はこの段階で構造設計のほとんどが終わっている）を、設計外力に対して解析し、その結果を判定するだけという受動的な構造計算から、一歩進んで、どのような構造形式を選択すれば良いのか、またどのような部材を配すればよいのかなど、構造設計における意志決定の場にも活用できる拡張性を有している。それは Fig. 5 に示されるような構成を採る。まずインターフェイスから初期入力を与え、構造解析を実施し、その結果をインターフェイスを通じて規準部に送り、しかるべき判定を受けた後、その判定結果をインターフェイスに戻す。次にこの判定結果に基づいて、適宜入力（トポロジー・幾何学的特性等）を変更し、再び構造解析を実施しその結果に判定を下す。このような作業を繰り返すことにより、最適な構造物を決定してゆくわけであるが、ここで入力の変更に際しては、構造設計者（ユーザー）が自らの決定を下すほかに、「変更のための知識ベース」を別途構築し、必要に応じてこの知識ベースの支援を受けるという形式を採ることによって、効率の良い最適化が図られる。このような知識ベースを整備するためには、膨大な事例やいわゆるプロの持つ知識を収集し、それを適切に統合するという困難な作業が要求され、現時点では実用に足りうる知識ベースを整備するには至っていないが、インターフェイスに戻された判定結果を、プロダクションルールからなる別の知識ベースに送り、そこで構造部材の諸元を適宜変更し次の構造解析の入力とする、一連のデータ交換に対する基本的枠組みは構築できた。その概要も8章で報告する。

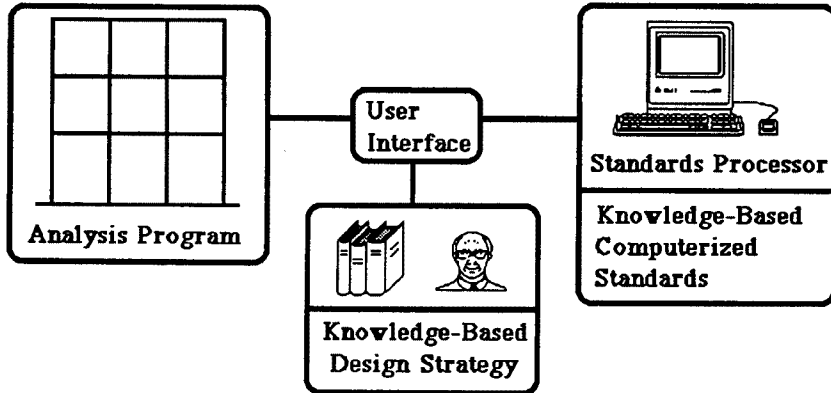


Fig. 5. Potential as a conceptual design aid.

5. 構造設計規準のコンピュータへの記述法

5.1. NEXPERT の概要

構造設計規準をコンピュータ上に記述するにあたって、NEURON DATA 社が提供するエキスパートシェルである NEXPERT を用いた。NEXPERT は、オブジェクト指向型プログラミングとなっており、ここでは、推論に用いられる事象をクラス、オブジェクトに階層化し、これを、Fig. 6 に示すように、推論とは別の次元で記述している。このように NEXPERT は、推論次元と表現次元という2つの異なる平面から構成されたシステムである。

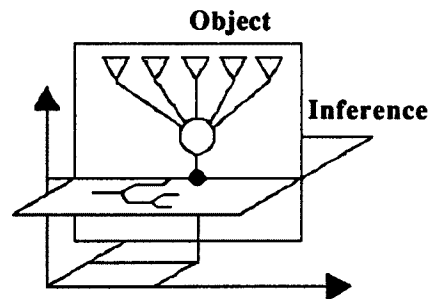


Fig. 6. Concept of NEXPERT system.

5.2. 規定の記述におけるプロダクションルールの適用

本論では、構造設計規準の各規定を、プロダクションルールを用いて表現した。プロダクションルールの形式は、条件、仮説、アクションの3つの部分に分かれ、また複数のルールによりネットワークを形成する際、Fig. 7 に示すような形式をとる。例として、鋼構造限界状態設計規準 (案) (以下 LSD 規準) における、曲げ座屈限界状態に対する設計耐力 ( $\phi c * Nc$ ) を求める規定を、プロダクションルールで表現する。条件として、「 $\phi c$  の設定」および「 $Nc$  の設定」が行われている必要がある。この2つの条件が満たされると、仮説「曲げ座屈限界耐力の設定」が満足され、アクション「曲げ座屈限界耐力 =  $\phi c * Nc$ 」が実行される (Fig. 8)。Fig. 9 は、「 $\phi c$  の設定」を仮説に持つルールであるが、「 $\phi$

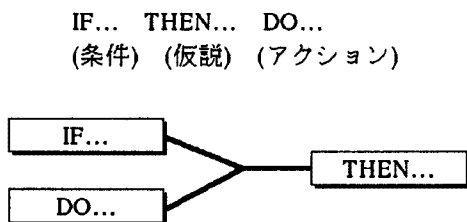


Fig. 7. Form of a production-rule.

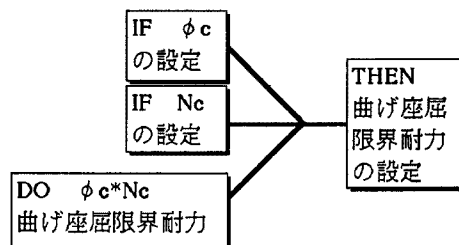


Fig. 8. Example of design provision described by production-rule (I).

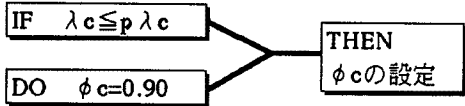


Fig. 9. Example of design provision described by production-rule (II).

c の設定」を要として、「 $\phi c$  の設定」を仮説に持つルールと、「曲げ座屈限界耐力の設定」を仮説に持つルールとが自動的にリンクし、ネットワークが形成される。この様子を Fig. 10 に示す。

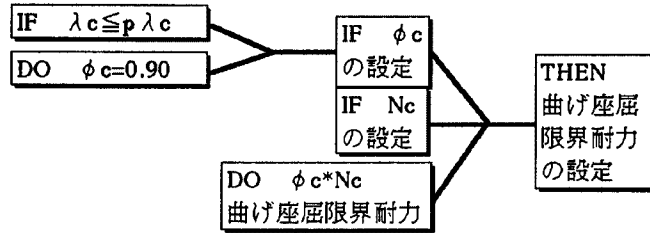


Fig. 10. Example of design provisions interconnected.

5.3. プロダクションルールによる記述が有する利点

本研究では、LSD 規準の中で、圧縮材に関する規定、強軸まわりに曲げを受ける H 形断面ばりに関する規定、軸圧縮力と強軸回りに曲げを受ける H 形断面柱に関する規定を、プロダクションルールとして記述した。計52個のルールから構成されており、これは規準書の約11頁分に相当している (Fig. 11)。ルールの最上位には、「柱の曲げ座屈耐力」、「柱の横座屈限界耐力」の4つの規定があり、多いもので17個のルールを経て設定されている。このように、ルールネットワークは、各規定の評価に至る流れを容易に理解させる。また Fig. 12 に示すフォーカス機能を用いると、一つのルールの前後の相関関係も即座に理解できる。さらに、多人数で規準を整備する場合に起こりがちな食い違いなども、ネットワークの不完全性から容易に発見できる。例えば、仮説“ $Ny$  の設定”のルールにおいて、“ $Ny$ ”が“ $Nz$ ”と記述されていたとすると、仮説“ $Ny$  の設定”を共通に持つことによるルールネットワークの生成は行われぬ。その結果、“ $Ny$  の設定”は行われず、また“ $Ny$  の設定”はネットワークから外れてしまう。この様子を Fig. 13 に示す。

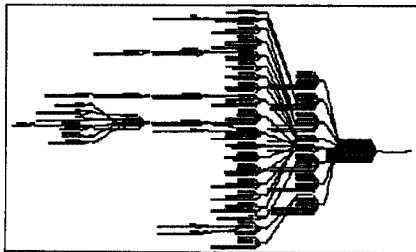


Fig. 11. Overview of network generated by production-rules.

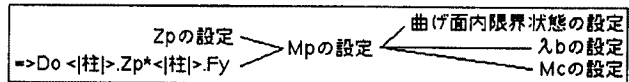


Fig. 12. Focus function provided for network system.

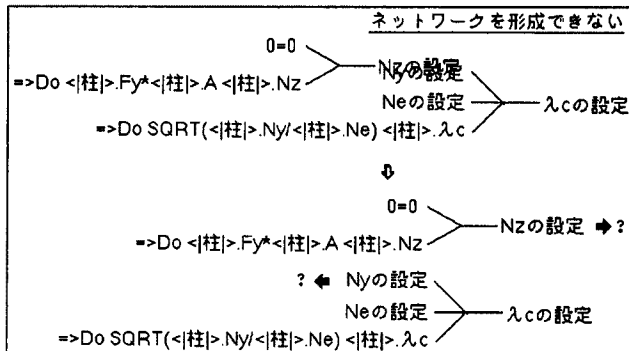


Fig. 13. Example of incompleteness in network.

5.4. 建築構造部材のオブジェクト指向型表現

建物には、同一部材が多数存在し、それぞれについて関連する規定が満足されなければならない。また各部材が持つ属性には、全部材に共通のものや、それぞれに個別のもの等多様である。本論では、構造設計規準で判定する構造部材とその特性を、オブジェクト指向型の表現方法で記述した。Fig. 14 に示すように、柱などのように抽象的に表現された部材をクラスと、柱 1・柱 2 などのように具体的な部材をオブジェクトと、また材長・断面積などの属性をプロパティとして表現する。そして、クラスやオブジェクト一つ一つに注目し、それらの相関関係を記述してゆくことによって、オブジェクトネットワークを形成させる (Fig. 15)。またこのとき、オブジェクト指向型プログラミングが持つ継承機能を利用することから、属性値の入力を最小限に押さえることができる。

5.5. データベース

構造解析や規準による判定の際に使用される構造各部材の断面性能は、データベースから提供されるシステムとなっている。断面の断面積・断面 2 次モーメント・断面 2 次半径・断面係数などの断面諸性能を保存したもので (Fig. 16)、「XCMD」を利用して、ルールネットワークとリンクし、例えば断面幅とせいを与えるだけで、他の必要な断面諸性能がシステム内に取り込めるよう工夫してある。なお、このデータベースには EXCEL を使用した。

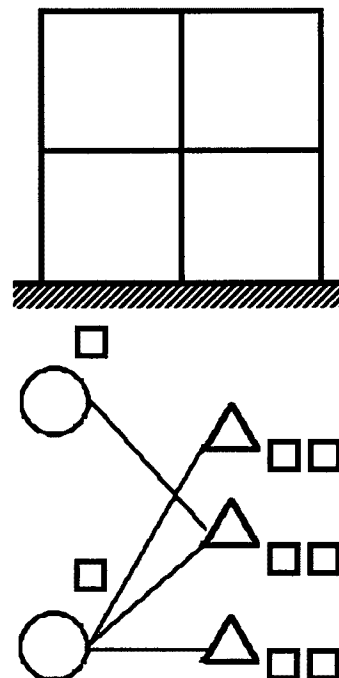


Fig. 14. Object-oriented description of structural system.

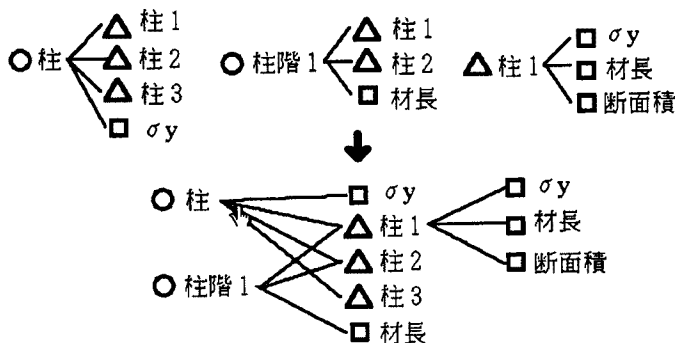


Fig. 15. Formation of object-oriented network.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	H	B	ウェブ厚	フランジ厚 A	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	I <sub>ix</sub>	I <sub>iy</sub>	
2	200	200	8	12	63.53	4720	1600	8.62	5.02
3	250	250	9	14	92.18	10800	3650	10.8	6.29
4	300	300	10	15	119.8	20400	6750	13.1	7.51
5	350	350	12	19	173.9	40300	13600	15.2	8.84

Fig. 16. Database describing cross-sectional properties.



5.6. 規準のモジュール化

多くのルールをわかりやすく記述・管理するために、規定のルール群を分割してそれぞれをモジュール化した (Fig. 17)。これは規準における章や節立てに対応するものであるが、規定が章や節にまたがって相関してゆく場合には、「必要なルール群のロードをしたか?」という指令によって、随時ルール群が追加されてゆくように構成されている (Fig. 17)。一例を挙げると、Fig. 18における“Mp の設定”が必要となる場合、全塑性限界耐力の「loadKB」が実行され、ルール群“全塑性限界耐力の設定・ckb”に含まれる“Mp の設定”を仮説に持つルールが、このルールにリンクし、“Mp の設定”を設定することが可能になる。

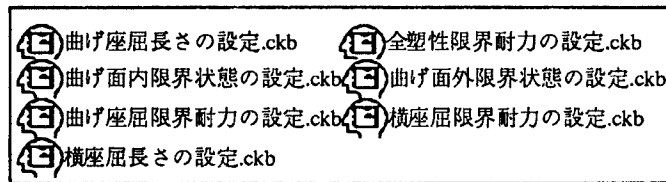


Fig. 17. Design provisions described in modulated form.

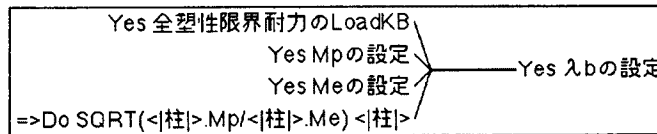


Fig. 18. Interconnection of modules.

5.7. 情報の多元化

構造設計規準を補強する多種多様な情報を、コンピュータ上に組織的に生成・管理するために、Hyper Card を利用して次のようなシステムを整備した。まず、規準の具体的な内容を即座に表示できる機能を加えた (Fig. 19)。この図に示すカード (情報発進源と称す) の右側のラジオボタンは、ルールネットワークにおける仮説を列挙したものであり、知りたい仮説をクリックすると、その仮説に関する情報を即座に表示する (Fig. 20)。また、Fig. 19 の画面上から、関連する規定や記号の意味をさらに表示することも可能であ

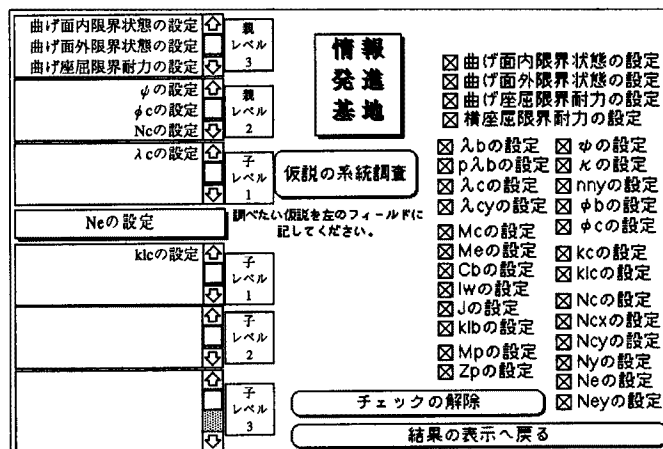


Fig. 19. Description of background information.

る。さらに各規定の背景となる実験情報 (Fig. 21) や、文献リストを表示する機能も加えた。これら情報の表示画面の切り替えは瞬時に行われるので、情報探索時に思考が途切れることはない。

**仮説"面内限界状態の設定"に関する情報**

LSD 4.1.2 曲げ圧縮限界耐力 による  
柱および軸圧縮力と強軸まわりの曲げモーメントをうけるH形断面材の曲げ圧縮限界状態に対する設計耐力式は、曲げ面内限界状態に対して次の式を満たす必要がある。

$$\frac{N}{\phi_c N_{cx}} \leq 1.0$$

$$\frac{N}{\phi_p N_y} + 0.95 \phi \frac{M}{\phi M_p} \leq 1.0$$


---

記号の設定...	記号	記号
<input type="button" value="φの設定"/>	<input type="button" value="φcの設定"/>	<input type="button" value="Ncxの設定"/>
<input type="button" value="Nyの設定"/>	<input type="button" value="Mpの設定"/>	
<input type="button" value="関連情報"/>		
<input type="button" value="曲げ面外限界状態の設定"/>		
<input type="button" value="more information..."/>		
<input type="button" value="詳細情報"/>	<input type="button" value="情報基地に戻る"/>	

φ p: 耐力係数=0.90  
 φ c: 耐力係数  
 φ b: 耐力係数  
 N: 軸圧縮力 (t)  
 M: 曲げモーメント (t・cm)  
 Ncx: 曲げ面内の座屈限界耐力 (t)  
 Mc: 軸座屈限界耐力 (t・cm)

Fig. 20. Presentation of standard's documents.

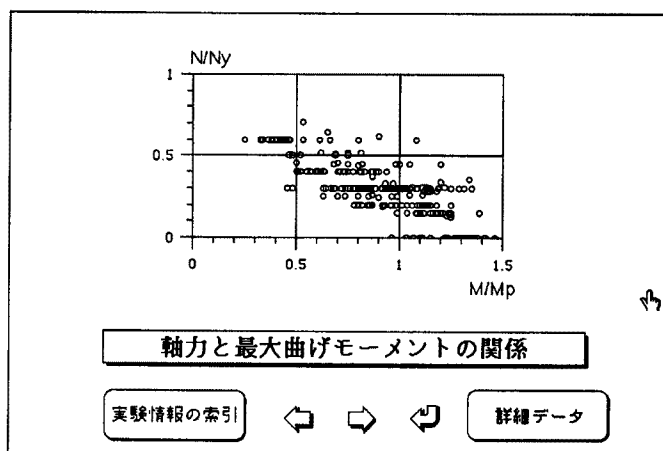


Fig. 21. Presentation of previous experimental data.

## 6. 構造解析

THINK C を用いて、直接剛性法による構造解析プログラムを作成した。現在このプログラムは、柱とはりだけからなる平面骨組解析に限られている。

## 7. インターフェイス

構造解析部と規準による判定部を連結させるために、Hyper Card を用いたインターフェイスを整備した。インターフェイスから構造解析へのデータ入力 (作用外力・架構形状・断面形など)、構造解析プログラムの実行、さらに解析結果のインターフェイスへの転送は、リソースである「XFCN」を用いた。具体的には、“Structural Analysis (層数、スパン数、外力、各断面性能……)” のように、解析に必要な諸数値をコン

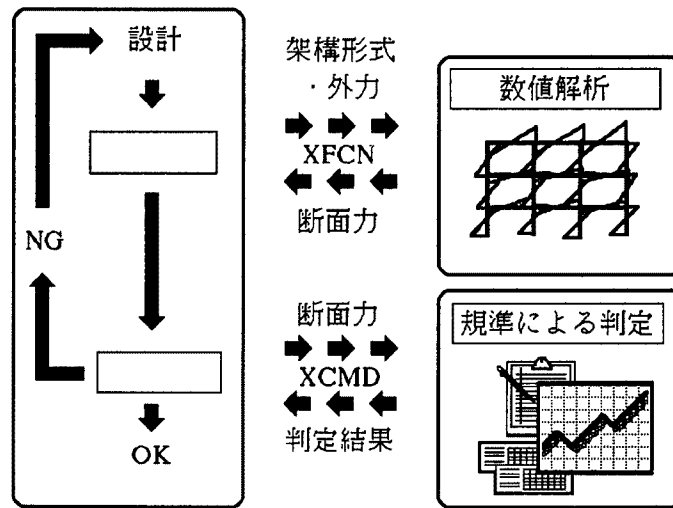


Fig. 22. Flow of computerized structural design system devised.

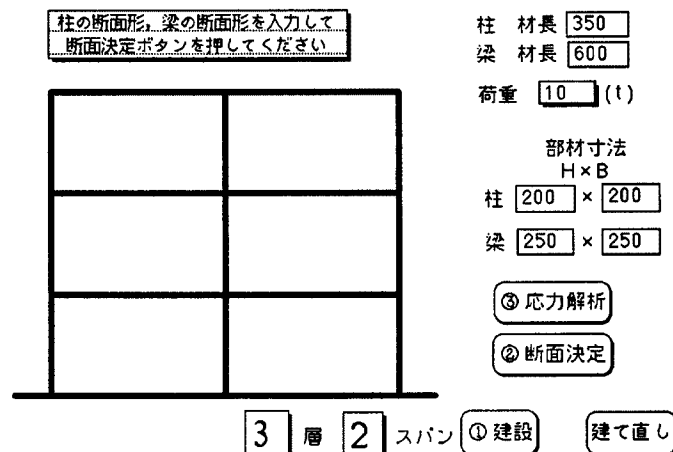


Fig. 23. Input in computerized structural design system.

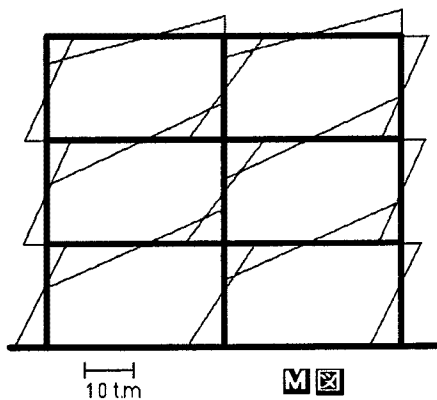


Fig. 24. Analytical results in computerized structural design system.

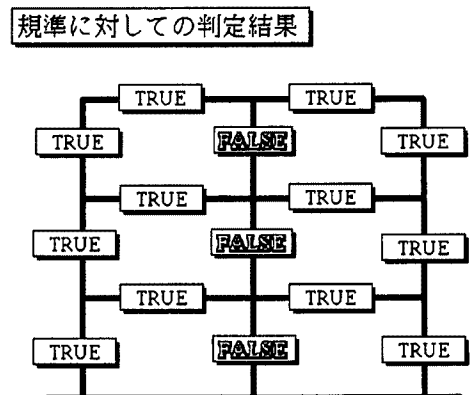


Fig. 25. Conformance checking in computerized structural design system.

マでつないで解析部に送り、解析プログラムを実行する。次に、インターフェイスから規準による判定部分へのデータの入力と推論の実行は、リソースである「XCMD」を用いて行った。具体的には、「NXP “Volunteer”」でデータの入力、「NXP “Knowcess”」で推論の実行を、「NXP “Get Atom Info”」で判定結果の出力を行う。これら一連のシステムの流れを Fig. 22 に示す。また上記の「XFCN」, 「XCMD」を簡単に実行できるように、画面上にスクリプトを持たせたボタンを提供している。Fig. 23~25 にこのシステムの作動例を示す。Fig. 23 は、初期入力画面であり、ここで構造物のトポロジー、各部材の材料的・幾何学的特性、作用外力等を入力する。Fig. 24 は、構造解析部によって求められた解析結果であり、断面力や変形形状が表示される。Fig. 25 は、この結果を規準部に転送し、その判定結果を表示したものである。

### 8. 構造計画への適用

構造解析結果を規準の規定に対して判定した結果は、インターフェイスに戻されるが、それを例えば Fig. 26 に示すように、各部材の余裕度として表示することは容易である。そしてこのような情報は、構造設計の最適化を測るために有力な資料となりうる。更に一步進んで、Fig. 5 に示すように、「最適化戦略」と称する知識源をインターフェイスに連結することによって、構造設計の最適化を促進する可能性も秘めている。本研究では、現在この知識源には、「規準部によって不適と判定された部材があると、その部材の断面を大きくする」というような簡単なルールが、プロダクションルールによって記されているだけであるが、このルールが適用されれば断面の大きさを変更し、それを次の構造解析への入力として、構造解析に転送させるようにシステムが構成されている。

### 9. ま と め

構造設計規準をプロダクションルールとしてコンピューター上に記述する手法を述べ、さらに、このように記述された規準と構造解析をインターフェイスを介して連結した構造計算システムのプロトタイプを提示した。

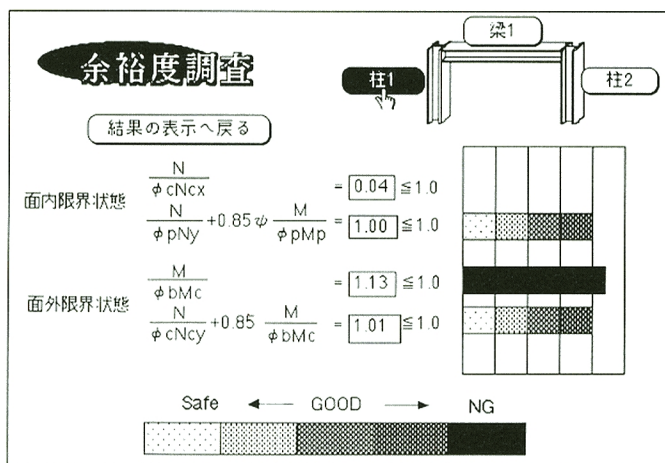


Fig. 26. Checking for safety in member design.

## 謝 辞

本研究を始めるにあたっては以下の諸兄からの助言を得た。ここに記して感謝の意を表したい。Prof. H. Krawinkler, and Prof. K. H. Law (Stanford Univ.), Prof. C. R. Thewalt (Univ. of California, Berkeley), and Dr. D. Jain, Mr. H. Fuyama, and Mr. N. Yabuki (Stanford Univ.).

## 参 考 文 献

- 1) Galambos, T. V.: Development in modern steel design standards, New Directions in Steel Structures, International Review of Research and Design, Elsevier Applied Science, 1991, pp. 141-162.
- 2) Fenves, S. J. and Wright, R. N.: The representation and use of design specifications, Technical Note 940, National Bureau of Standards, Washington D.C, USA, 1977, 46pp.
- 3) Garret, J. H. Jr. and Fenves, S. J.: A knowledge-based standards processor for structural component design, Report # R-86-157, Carnegie-Mellon University, 1986, 244pp.
- 4) Lopez, L. A., Elam, S. and Reed, K.: Software concept for checking engineering designs for conformance with codes and standards, Engineering with Computers, Vol. 5, 1989, pp. 63-78.