

# I-11 XML と事例ベース推論による鋼構造接合部の 設計生成システムの構築

## A Design Generation System for Steel Connections Using XML and Case-Based Reasoning

矢吹 信喜<sup>1</sup> 宮島 良将<sup>2</sup> 小室雅人<sup>3</sup> Kincho H. Law<sup>4</sup>

Nobuyoshi Yabuki, Yoshimasa Miyajima, Masato Komuro, Kincho H. Law

【抄録】従来、設計の自動生成は、最適化やヒューリスティクス（発見的な方法）による方法が多く用いられてきたが、鋼構造接合部の設計には、そのタイプや形状パターンが膨大であることから、これらの方法では対応しにくかった。本論文では、XML（Extensible Markup Language）を使った設計レポートを設計事例データベースとして蓄積しながら、事例ベース推論により設計の自動生成を行う方法論を提案する。さらに、鋼構造接合部の設計に、本方法を適用し、プロトタイプシステムを構築し、有効性などの検討を行った。

【Abstract】 Although optimization or heuristics-based approach have been used for the design generation purpose, these methodologies seem to be difficult to apply for design generation of steel connections since their types and patterns are too numerous. In this paper, we propose a design generation methodology using XML (Extensible Markup Language) and Case-Based Reasoning (CBR) and we have developed a prototype system for steel connections. In this approach, a design report is written by XML and stored in a repository as an element of design case database. For a new design situation, this system finds the most similar design case in the repository and generates an appropriate design using the previous case.

【キーワード】 XML、事例ベース推論、CBR、鋼構造、接合部、設計生成、設計基準

【Keywords】 XML, Case-Based Reasoning, CBR, steel structures, connections, design generation, design standards

### 1. はじめに

設計基準は、土木構造物や施設の機能性・安全性等を保証するために、設計過程で重要な役割を担っている。従来から、設計基準をコンピュータプログラム化するための一般的なモデルに関する研究<sup>1)~5)</sup>が、欧米を中心に盛んに実施されてきたが、主に設計基準の理論的な構成と設計の自動照査に関するものが中心で、設計の自動生成はあまり扱われてこなかった。

設計生成は、最初に形状や寸法を仮定し、その後、

設計基準や設計条件などの拘束条件を満足するか照査するという、道筋が明確に定義できない課題である。これまでに、最適化による方法<sup>6)</sup>と専門家等のヒューリスティクス（発見的な手法）をベースにした知識工学的な方法<sup>7)</sup>による試みはあったものの、実用化までは到っていない。

本論文では、XML（Extensible Markup Language）を使った設計レポートを設計事例データベースとして蓄積しながら事例ベース推論（Case-Based Reasoning）により設計の自動生成を

1 正会員 Ph.D. 室蘭工業大学工学部建設システム工学科 助教授 〒050-8585 室蘭市水元町 27-1

TEL: 0143-46-5219 FAX: 0143-46-5218 Email: [yabuki@news3.ce.muroran-it.ac.jp](mailto:yabuki@news3.ce.muroran-it.ac.jp)

2 学会員 室蘭工業大学大学院工学研究科建設システム工学専攻

3 正会員 修(工) 室蘭工業大学工学部建設システム工学科 助手

4 Professor, Ph.D., Dept. of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, Stanford, CA, U.S.A.

行う方法論を提案し、種類が多く、設計作業が煩雑な鋼構造接合部の設計に適用し、システム構築を行った。

## 2. 既往の研究の評価

### (1) 設計の生成

設計の生成は、実質的には解が無限に存在することが多い。そのため、設計照査を自動化しただけでは、経済的な設計に効率的にたどりつきにくい。生成をコンピュータに実施させるためには、何らかの方法で、形状や寸法をコンピュータに仮定させる必要があるが、設計条件だけでは適切な仮定を行うことは困難である。

最適化の手法では、任意の寸法を仮定した後、拘束条件下で、重量などの目的関数が最小になるような寸法を探索するが、計算量が膨大になる上、必ずしも最適解に到達しない場合もある。ヒューリスティクスによる方法は、専門家がどのようにして最初の形状や寸法を仮定するかをインタビューなどにより聞き取り、その方法をプログラム化し、拘束条件を満足するかチェックする generate-and-test というものである。この方法は、現在最も実用性が高いと考えられるが、専門家の知識の抽出は想像するほど容易ではない上、設計パターン毎にプログラムを作成する必要があり、パターンが多い場合は開発コストが高くなる。

一方、実務に携わる設計者がどのように設計を生成しているかを観察すると、非常に経験豊富なエキスパートは何も見ずに、ほぼ最適に近い形状や寸法を最初に仮定でき、ある程度の経験を持つ中級設計者はヒューリスティクスに基づいた簡単な計算を計算用紙上で行って寸法などを決め、経験が乏しい若年技術者は過去の類似事例の設計レポートを真似する、というようにパターン化できる。

アナログ的に考えると、人工知能を設計に応用してエキスパートシステムを構築しようという試みは、中級設計者が行っているヒューリスティクスによる方法をプログラム化し、あたかもエキスパートのように何も見ないで設計するシステムを作成しよ

うとすることに他ならない。これまでの試みでは、非常に狭い範囲を対象とした設計であれば、システム構築は成功するが、範囲が広いと巧くいかないという知見が得られている<sup>8)</sup>。それは、中級設計者がそこまでたどり着くまでに必要とした学習的経験年数を考えれば、システム化が簡単でないことは容易に想像がつく。

通常、設計生成システムは完成して初めて供用されるが、開発の途中段階では利用に適さないことがほとんどである。一方、設計技術者は、知識や経験が乏しくても、設計事例を学習しながら実務をこなすことが可能である。

こうした観点から、類似した設計事例、すなわち設計レポートを利用して設計を生成し、作成したレポートをメモリーに加えていくようなシステムが、特に種類が多岐にわたり煩雑な構造の設計には適していると考えられる。

### (2) 事例ベース推論の設計への応用

事例ベース推論は、人工知能の一分野として発達したもので、過去の類似事例を探し出して、新しい課題に適用させ、必要があれば修正して解とし、その解を新たにデータベースに加えるというプロセスによって問題解決を行おうというものである。この方法は直感的で魅力があると考えられ、1980年代後半から90年代前半に、建築のレイアウトや構造設計に応用する研究が行われた<sup>9)~13)</sup>。

事例ベース推論では、類似事例の検索を可能にするために各事例の属性を抽出し、データベースを作成する必要がある。設計事例、すなわち設計レポートを事例として利用する場合、設計条件などの属性の中から共通性があると思われる項目を抽出してデータベースのテーブルを作成し、各レポートの属性値をデータベースに入力するという煩雑な作業を行う必要がある。また、多岐にわたる設計事例をカバーする汎用性のあるデータベースを設計するのは容易ではない。

### (3) XMLについて

XMLは、World Wide Web (WWW)のための新しい文書記述言語であり、HTML (HyperText

Markup Language) と SGML (Standard Generalized Markup Language) の間に位置するものである。XML の特徴は、データの意味情報をタグとして記述できること、文書に構造を持たせることができること等である。

XML を設計システムへ応用する利点は、HTML では文書中の言葉や数値に意味を持たせて、コンピュータプログラムに理解させたり処理させたりすることが出来なかったが、XML の場合は、文書とデータの二面性を持つことから、人間にもコンピュータにも解釈したり処理したりすることが可能なことである。また、特定の OS やソフトウェアに依存しないので、文書ファイルは半永久的な保存性を保つ。

こうした利点を持つ XML によって記述された設計レポートは、きちんとした文書構造を持ち、なおかつ、記載されている数値などを外部のプログラムが容易に意味のあるデータとして認識出来ることから、一種のデータベースのレコードとみなすことが可能だと考えられる。

### 3. 設計生成の方法論

事例ベース推論を設計生成に応用する場合、前述のように、類似事例の検索を可能にするために各設計事例、すなわち設計レポートの中から設計条件などの属性を抽出しデータベースを作成しなければならない。一方、設計者は、いかなる場合も設計の根拠を記した設計レポートを作成しなければならない。設計レポートはワードプロセッサソフトウェア等を使用して電子的に作成されることが多いが、設計レポートファイル群から直接、類似事例を検索することは困難である。

そこで、本研究では、XML を用いて設計レポートを作成することにより、設計レポートに、紙に書かれた文書としてのプロフェッショナルな体裁を持たせるのと同時に、適切なコンピュータプログラムにより検索が行えるというデータとしての性格を併せ持つようにした。さらに、設計を自動生成させるためのプログラムの入力データと、設計レポートの

設計条件を関連付けることにより、類似設計事例の検索から設計および設計レポートの自動生成まで、効率的かつスムーズなデータの流を持つモデルを開発した。

本研究で提案する設計生成方法のフローを図-1 に、システムモデルを図-2 に示す。事例ベース推論では、まず与えられた設計条件に似た事例をデータベースから探索し選定する必要がある。そのためには、あるクライテリアに基づいて、新しい設計条件と過去の事例との間の類似度算定を行う。選定された類似事例を与条件に合わせて修正することにより設計を生成し、その後、設計基準や経済性を満足するか照査し、満足しなければ、満足するまでユーザーが修正を行う。概略のフローは以上ようになる。以下に主要な要素を解説する。

#### (1) 設計レポート

設計レポートは、部材や接合部の設計の道筋を記述した報告書であり、設計作業においては必ず作成しなければならない文書の一つである。本モデルでは、設計レポートは構造物全体で一まとめにしたものではなく、各部材あるいは各接合部を対象とした短いものを一単位とする。また、構造物全体の数値解析レポートは別とする。設計レポートは XML で記述され、設計条件を記述した<CONDITION>部と設計へ至る論理や照査を記述した<BODY>部の2つの部分によって構成される。

鋼構造の柱に梁を接合する部分の設計レポートの XML ソースファイルを一例として、図-3 に示す。また、この XML ソースファイルを Internet Explorer 5.0 で表示したものを図-4 に示す。

#### (2) 設計レポートデータベース

設計レポートデータベースは、XML で記述した設計レポートの集合体であり、リレーショナルデータベースのようなものではなく、XML ファイルの保管庫である。従って、検索やデータの抽出などは XML ファイル内のタグを基にして、外部プログラムにより行う。

新しい設計課題が与えられた時、その設計条件と保管されている各設計レポートの事例との類似度算

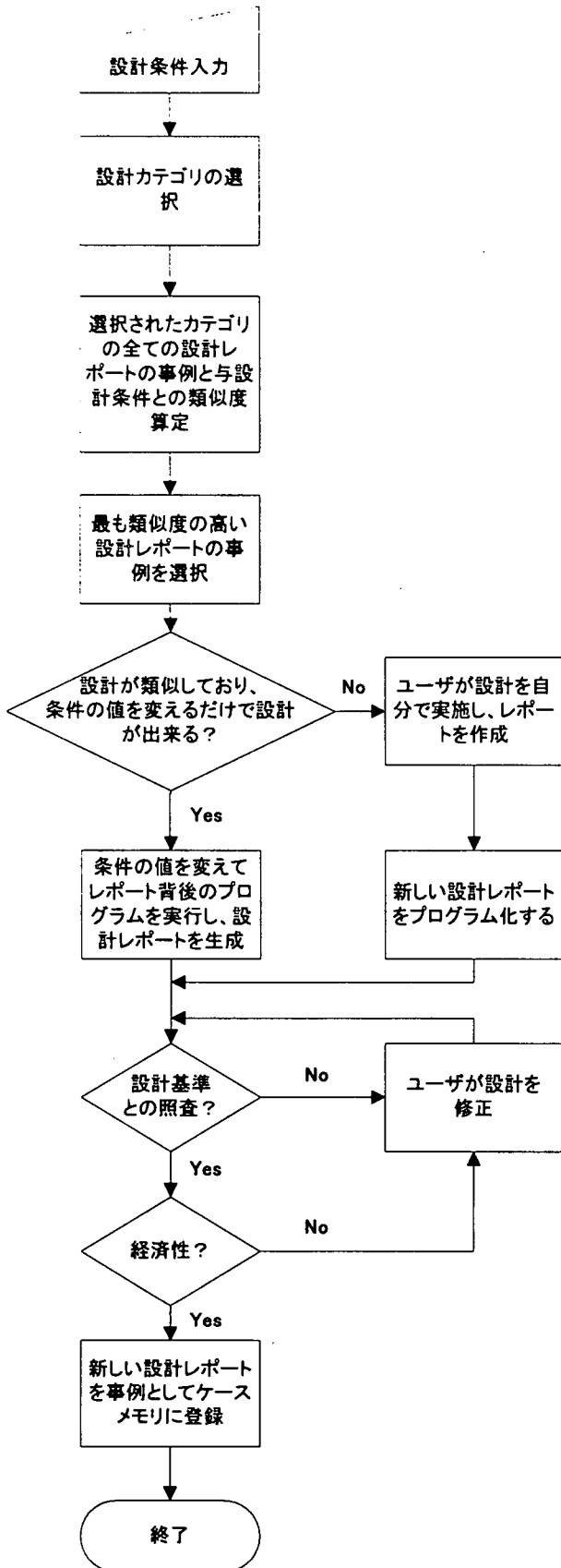


図-1 本研究で提案する設計生成フロー

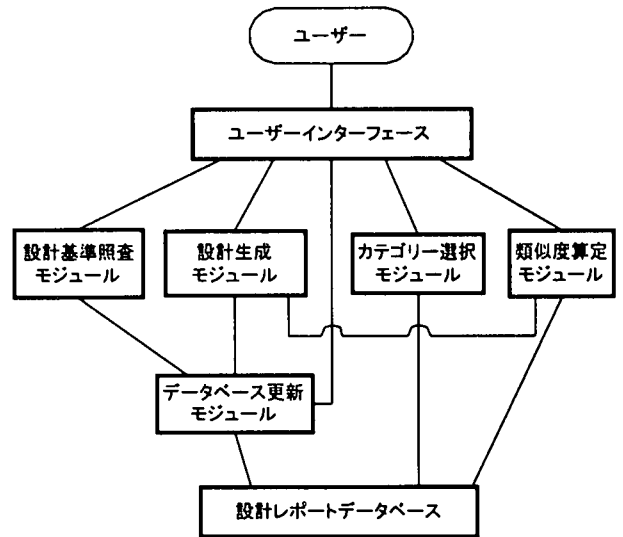


図-2 システムモデル

```

    <?xml version="1.0" encoding="shift_jis"?>
    <?xml-stylesheet type="text/xsl" href="c:\CaseMemory\Report.xsl"?>
    <!DOCTYPE DESIGN SYSTEM "c:\CaseMemory\Report.dtd">
    <DESIGN>
    <CONDITION>
    <CATEGORY>
    <MEMBER>
    <FILENAME>"c:/CaseMemory/10_1/10_1.xml"</FILENAME>
    <CONNECT_TYPE>bolt</CONNECT_TYPE>
    <STRUCTURE>Beam(Girder)-To-Column</STRUCTURE>
    <FORM_1>ト型</FORM_1>
    <FORM_2>Beam attached to column flange</FORM_2>
    </MEMBER>
    </CATEGORY>
    <DETAIL_CONDITION>
    <VU>45</VU>
    <MU>250</MU>
    <W_SHAPE1><DEPTH>18</DEPTH>
    <NOMINAL_WT>50</NOMINAL_WT></W_SHAPE1>
    <W_SHAPE2><DEPTH>14</DEPTH>
    <NOMINAL_WT>99</NOMINAL_WT></W_SHAPE2>
    ~略~
    </DETAIL_CONDITION>
    </CONDITION>
    <BODY>
    <title>Design a bolted flange-plated FR moment connection</title>
    <explain>Design a bolted flange-plated FR moment connection for a W18 x 50 beam to W14 x 99 column-flange connection. Use 7/8-in.diameter A325-N bolts and 70 ksi electrodes. Assume connecting material with <I>Fy</I> = 36 ksi and <I>Fu</I> = 58 ksi.<br/><I>Ru</I> = 45 kips, <I>Mu</I> = 250 ft-kips.</explain>
    <fig>10_1.gif</fig>
    <subsection>Check beam design flexural strength:</subsection>
    ~略~
    </BODY>
    </DESIGN>
  
```

図-3 XML で記述した設計レポート例

10\_1.xml - Microsoft Internet Explorer

ファイル(E) 編集(E) 表示(V) お気に入り(A) ツール(T) ヘルプ(H)

### CONDITION

**CATEGORY:**

File name	"10_1.xml"
Connect_Type	bolt
Structure	Column-To-Beam
Form_1	ト型
Form_2	Beam attached to column flange

**DETAIL CONDITION:**

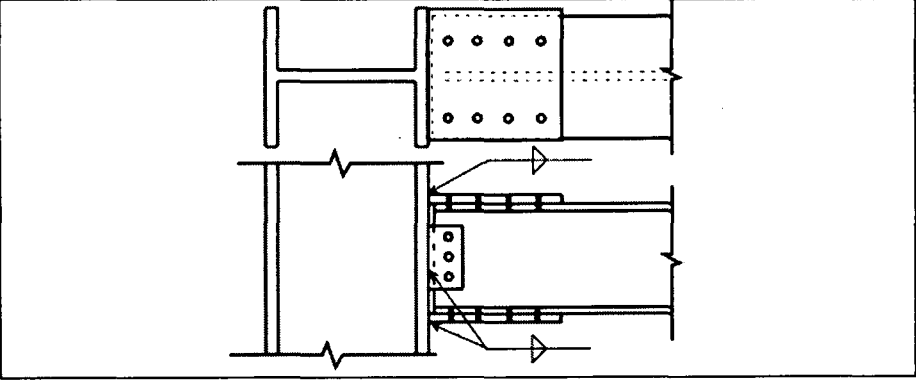
The factored load Pu [kips]	
The factored tension Tu [kips]	
The factored shear Vu [kips]	45
The factored moment Mu [ft-kips]	250
W section: No.1	W 18×50
W section: No.2	W 14×99
Flat bar	x
Use Of Steel	A 36 steel
Stiffeners	top plate ,bottom plate,,angle
Splice	-in.
Bolt	7/8-in. diam A325bolts
Welding	70 electrodes, SMAW

**BODY:**

## Design a bolted flange-plated FR moment connection

**Design a bolted flange-plated FR moment connection for a W18×50 beam to W14×99 column-flange connection. Use 7/8-in.diameter A325-N bolts and 70 ksi electrodes.Assume connecting material with  $F_y = 36$  ksi and  $F_u = 58$  ksi.**

**$R_u = 45$  kips,  $M_u = 250$  ft-kips.**



*Check beam design flexural strength:*

$$Z_{req} = M_u (12) / 0.9 F_y$$

ページが表示されました

イントラネット

図-4 XML の設計レポートをブラウザで表示させた画像

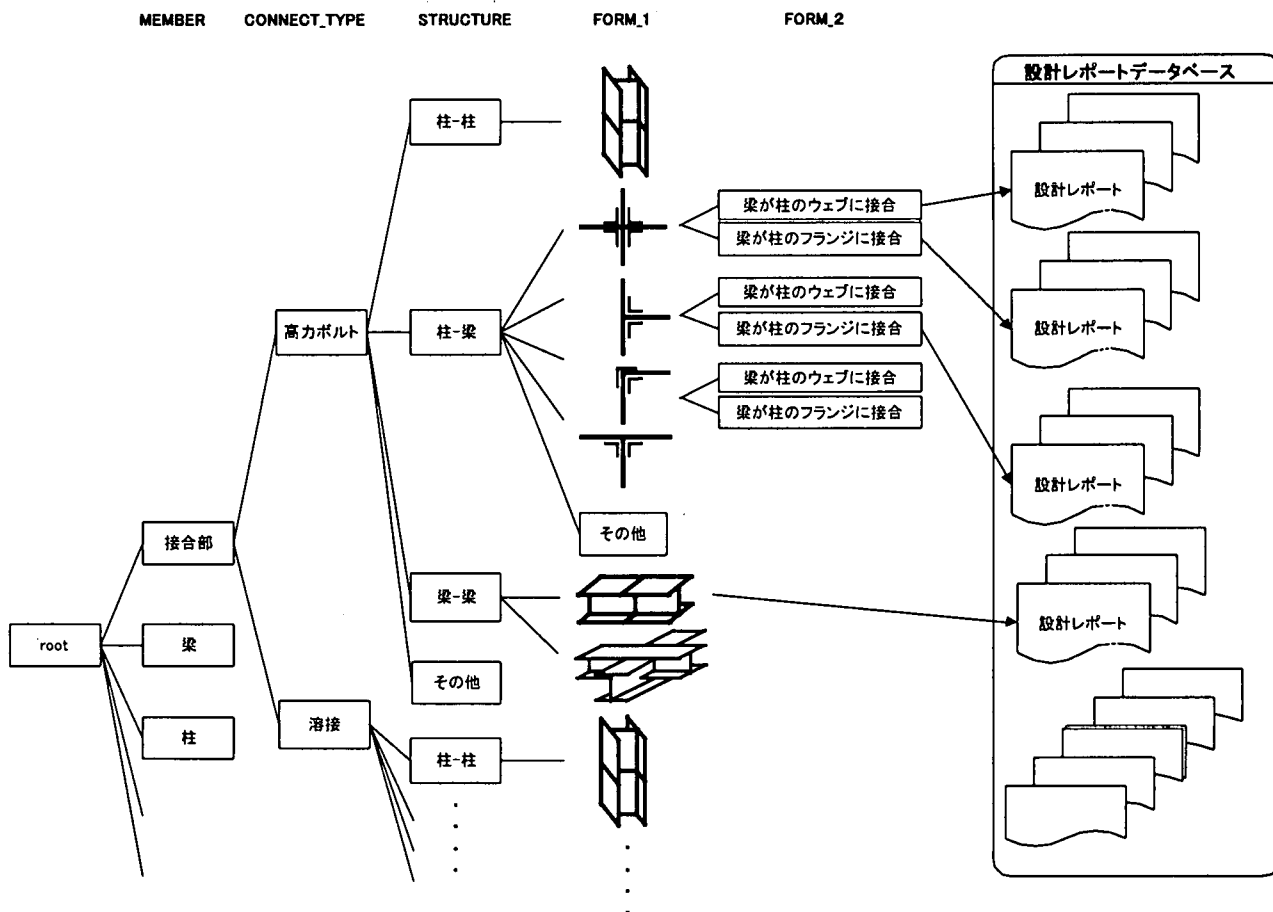


図-5 鋼構造接合部の設計レポートデータベースの階層構造

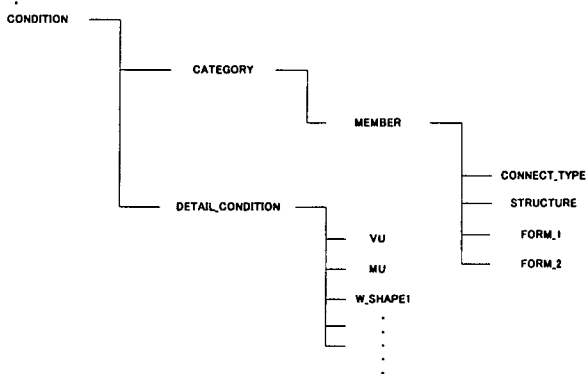


図-6 設計レポート<CONDITION>の内部構造

定を行う。具体的には、設計レポートの<CONDITION>部のタグ内のデータを見に行き、与設計条件のデータとの比較算定を行う。しかし、全ての設計レポートと比較するのは、非効率的である。そこで、オブジェクト指向の考え方を利用して、設計事例データベースを設計パターンに基づいて、階

層的に分類し、ユーザーがある程度特定できるようにする。一例として、鋼構造接合部の設計レポートデータベースの階層構造を図-5に示す。

ユーザーが階層の末端のノードを選択すれば、比較検討する設計事例が減り、効率的だが、ユーザーがあまり細かく分類しきれない場合は、ツリーのある程度、上の方のノードを選択してもそれ以下のノードの全てのデータから選択するようにする。このような機能を有するのがカテゴリ選択モジュールである。

設計レポートの<CONDITION>部は、この設計レポートの基本的なカテゴリを示す<CATEGORY>部と荷重や部材の種類や寸法を示す詳細な条件<DETAIL\_CONDITION>部に分かれている。<CATEGORY>部は設計レポートデータベースの階層構造と同じにする。図-6に<CONDITION>の内部構造を示す。

(3) 類似度算定モジュール

ある設計レポートの設計条件と与えられた設計条件が類似しているかどうかを評価するためには、適切な属性をお互いに認識し、属性値がどれくらい似ているかを評価出来る必要がある。そこで、ユーザーは図-7に示すような入力フォームから、新しい設計課題のカテゴリを選択し、荷重や部材等の属性を入力する。類似度算定には、普遍的な方法論はないので、ここでは、形状パターンの類似性を最優先し、同じような形状に対しては、入力した荷重等の属性値と設計事例の対応する属性値の比を取り、1より小さい場合は、逆数にして、総和を求め、総和が最も小さいものが、類似度が最も高いという算定方法を用いた。

(4) 設計生成モジュール

類比推論には変換類比と誘導類比の二つの手法がある。変換類比は、新しい問題が与えられた時、過去に解いた、似た問題の解答を必要に応じて修正して変換する手法である。誘導類比は、過去の問題を解いた際に使った推論プロセスを新しい問題に適用

して、解答を再構築する手法である。

過去の事例ベース推論の設計への応用のほとんどは、変換類比であったが、設計を導き出すプロセスを模倣する誘導類比の方が、数多くのパターンがある設計対象の場合には適していると考えられる。

本モデルでは、設計レポートの計算過程をプログラム化し、レポートとプログラムを密接にリンクさせ、プログラムの入力、計算過程、出力をレポートに反映させるようにした。

(5) データベース更新モジュール

データベース更新モジュールは、新しい設計レポートが完成した場合に、所定の設計レポート保管庫に入れるためのモジュールである。

(6) 設計基準照査モジュール

設計基準照査モジュールは、設計したものが該当する設計基準の条文を全て満足するか照査するモジュールである。この分野は、前述のようにこれまでに多くの研究がなされており、その成果を利用することとし、本研究では特に検討は実施しなかった。

図-7 入力フォーム

#### 4. 鋼構造接合部の設計生成プロトシステム

鋼構造物の接合部は、溶接と高力ボルトに大別されるが、接合パターンが非常に多く、全てのパターンに対して、一般化されたプログラムを開発するためには、極めて多くの時間と労力が必要である。また、新しいパターンが発案される度に、プログラムの追加修正が必要となり、煩雑である。事例ベース推論では、新しい設計パターンに出会う度に、その設計を新しい事例としてデータベースに加えることにより、新機能を付加することと同等になるため、プログラム全体を見直したり修正したりする手間がかからず、効率的だと考えられる。

本研究では、3. で示したように、鋼構造の梁や柱の接合部の設計生成に、提案するモデルを適応させ、プロトタイプシステムを構築した。設計の基になる設計基準としては、AISC-LRFD<sup>14)</sup>を使用した。使用したハードウェアは、通常のウィンドウズパソコンであり、ソフトウェアとしては、Internet Explorer 5.0 (DOM (Document Object Model) および msxml を含む)、Java、HTML 等を使用した。

本システムを使用した例を以下に示す。あるユーザーは、図-7に示した入力フォームに、設計する接合部の条件（接合する部材、方向、荷重等）を入力する。システムは、ユーザーが指定したカテゴリー（接合部、高力ボルト、柱と梁、ト型（1本の柱に1本の梁が接合されたような形に見える型）、柱のフランジに梁を接合）に該当する設計レポートを検索し、最も類似度が高い事例（図-3および図-4）を選択する。選択された事例の荷重は、せん断力=45 kips (kilo pounds)、曲げモーメント=250 ft (feet)-kips であったが、新しい設計条件は、それぞれ 80 kips、300 ft-kips と大きい。システムは、類似事例と入力した設計条件の間の比を元に、ボルト本数を仮定し、設計レポートの背後にあるプログラムを動作させ、設計結果画面と新しいXMLの設計レポートを作成する。図-8は、簡単な設計結果と設計基準との照査結果を表示する設計結果画面を示す。また図-9は、新しく生成された設計レポートを示す。

設計生成後の画面2.html - Microsoft Internet Explorer

ファイル(F) 編集(E) 表示(V) お気に入り(A) ツール(T) ヘルプ(H)

Check	
beam design flexural strength	O.K.

Design the single plate web connection

Try PL0.625 × 9.0

Try 4 bolts single-plate connections

Use 4.0 , 0.3125 -in. fillet welds

Check	
shear yielding	O.K.
shear rupture	O.K.
block shear rupture	O.K.

Design the tension flange plate and connection

Try PL 1.0 × 8.0

Try 2 rows of 5 bolts on a 4 -in.gage

Use 0.5625 -in. fillet weld.

Check	
tension yielding	O.K.
tension rupture	O.K.
block shear rupture	O.K.

Design the compression flange plate and connection

Check	
design compressive strength	O.K.

Check the column section for stiffening requirements

Check	
flange bending	O.K.
web yielding	O.K.

n\_flange=10, 2 rows of 5 bolts weld size\_flange=0.5625

n\_web=4 weld size\_web=0.3125

flange PL

n\_flange = flange Number of bolts

weld size

web PL

n\_web = web Number of bolts

weld size

Read XML file

このページが表示されました

インターネット

図-8 与設計条件に対して生成された設計結果画面

NewFile.xml - Microsoft Internet Explorer

ファイル(F) 編集(E) 表示(V) お気に入り(A) ツール(T) ヘルプ(H)

### CONDITION

**CATEGORY:**

File name	"Newfile.xml"
Connect_Type	bolt
Structure	Column-To-Beam
Form_1	ト型
Form_2	Beam attached to column flange

**DETAIL CONDITION:**

The factored load Pu [kips]	
The factored tension Tu [kips]	
The factored shear Vu [kips]	80
The factored moment Mu [ft-kips]	300
W section: No.1	W 18x50
W section: No.2	W 14x109
Flat bar	x
Use Of Steel	A 36 steel
Stiffeners	top plate, bottom plate,,angle
Splice	-in.
Bolt	0.875-in diam A325bolts
Welding	70 electrodes, SMAW

**BODY:**

### Design a bolted flange-plated FR moment connection

**Design a bolted flange-plated FR moment connection for a W18x50 beam to W14x109 column-flange connection. Use 0.875-in.diameter A325-N bolts and 70 ksi electrodes.Assume connecting material with  $F_y = 36$  ksi and  $F_u = 58$  ksi.**

**$R_u = 80$  kips,  $M_u = 300$  ft-kips.**

*Check beam design flexural strength:*

$$Z_{req} = M_u (12) / 0.9 F_y$$

ページが表示されました

イントラネット

図-9 与設計条件に対して生成された設計レポート

## 5. おわりに

本研究では、XML を使用して、所定の文書構造とタグを有する設計レポートを作成し、それらの設計レポートの集合体を設計事例データベースととらえて、事例ベース推論により、設計の自動生成を行う方法論を提案した。さらに、鋼構造接合部の設計に本方法を適用し、プロトタイプシステムを構築し、有効性などを検討した。

設計生成モジュールについては、XML で作成した設計レポートで記述されている計算過程と実際に計算に使われるプログラムは、計算機への実装においては、現在のところ、表計算ソフトのように、完全一体にならないが、将来、XML にそうした機能が付加されるよう提言などを行っていきたい。

## 参考文献

- 1) Fenves, S. J.: Tabular Decision Logic for Structural Design, Journal of the Structural Division, Proc. of ASCE, Vol. 92, No. ST6, pp. 473-490, 1966.
- 2) Fenves, S. J., Wright, R. N., Stahl, F. I., and Reed, K. A.: Introduction to SASE : Standards Analysis, Synthesis, and Expression, National Bureau of Standards, Report No. NBSIR 87-3513, 1987.
- 3) Rosenman, M.A. and Gero, J.S.: Design Codes as Expert Systems, Computer-Aided Design, Vol. 17, No. 9, pp. 399-409, 1985.
- 4) Cornick, S. M.: HyperCode: The Building Code as a Hyperdocument, Engineering with Computers, Vol. 7, No. 1, pp. 37-46, 1991.
- 5) Yabuki, N. and Law, K. H.: HyperDocument Model for Design Standards Documentation, Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, Vol. 7, No. 2, pp. 218-237, 1993.
- 6) Garrett, Jr., J. H. and Fenves, S. J.: A Knowledge-Based Structural Component Design, Report No. R-86-157, Dept. of Civil Engineering, Carnegie-Mellon University, 1986.
- 7) Yabuki, N. and Law, K. H.: An Object-Logic Model for the Representation and Processing of Design Standards, Engineering with Computers, Springer-Verlag, Vol. 9, No. 9, pp. 133-159, 1993.
- 8) Dym, C. L. and Levitt, R.: Knowledge-Based Systems in Engineering, McGraw-Hill, Inc., 1991.
- 9) Zhao, F. and Maher, M. L.: Using Analogical Reasoning to Design Buildings, Engineering with Computers, Vol. 4, No. 3, pp. 107-119, 1988.
- 10) Goel, A. K. Kolodner, J. L., Zimring, C., Sentosa, L., and Billington, R.: Case-Based Design Support, IEEE Expert, October, pp. 14-20, 1992.
- 11) Maher, M. L. and Zhang, D. M.: CADSYN: A Case-Based Design Process Model, AI-EDAM, Vol. 7, No. 2, pp. 97-110, 1993.
- 12) Wang, J. and Howard, H. C.: Recording and Reuse of Design Strategies in an Integrated Case-Based Design System, AI-EDAM, Vol. 8, pp. 219-238, 1994.
- 13) 田中成典・三上市蔵・前田秀典・小林篤司: 事例ベース推論とルールベース推論を併用した鋼橋疲労損傷の補修方法選定システムの開発, 構造工学論文集, 土木学会, Vol. 41 A, pp. 575-586, 1995.
- 14) Manual of Steel Construction - Load & Resistance Factor Design, Second Ed., American Institute of Steel Construction, Inc., 1993.