

統合化された鋼構造接合部の設計システムの構築

An Integrated Design System for Structural Steel Connections

室蘭工業大学工学部建設システム工学科

正会員 矢吹信喜 (Nobuyoshi Yabuki)

室蘭工業大学大学院工学研究科建設システム工学専攻

○学生員 宮島良将 (Yoshimasa Miyajima)

室蘭工業大学工学部建設システム工学科

学生員 志谷倫章 (Tomoaki Shitani)

室蘭工業大学工学部建設システム工学科

正会員 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

1. はじめに

著者らは、構造物の設計生成と性能照査を明確に分離し、情報化された設計基準の再構築モデルを提案している^{1) 2)}。その一環として XML (Extensible Markup Language) と事例ベース推論 (Case-Based Reasoning) による鋼構造接合部の設計生成システムの開発を実施した^{3) 4) 5)}。

一方、土木構造物のライフサイクルの中で関係各機関や企業間における情報伝達を飛躍的に効率化させることを目的として、アプリケーションソフトウェアに依存しない3次元の共通プロダクトモデルの開発に関する研究も推進している。すなわち、図-1に示すように3次元共通プロダクトモデルを中心として、3次元 CAD システム、構造解析システム、設計生成システム、設計照査システム、積算システム、施工計画システム、契約書システム、施工管理システム、維持管理システムが相互にデータを容易に受け渡しができるようなモデルの提案を行っている。これは、建設 CALS/EC と関係があるが、現在、建設 CALS/EC は2次元 CAD データをベースにしているのに対し、本研究はその先の3次元プロダクトモデルを対象としている。

本論文では、鋼構造接合部を対象としてこれまでに開発した設計生成システムに設計照査システムおよび3次元 CAD システムを加え、これら3つのシステムを3次元共通プロダクトモデルにより統合化したモデルを提案すると共に、プロトタイプシステムを開発した。

2. 3次元共通プロダクトモデル

建設 CALS/EC においては、2次元 CAD 図面に関して ISO の STEP に従ってデータ交換標準が完成しつつあるが、2次元 CAD データでは直線や円といった図形データの交換は可能なものの、梁や柱といった構造部材そのものを3次元オブジェクトとして取り扱うことは困難である。そのため、CAD データを照査や積算等のアプリケーションシステムへ入力しても意味のあるデータとして取り扱うことは出来ない。これを可能にするのが3次元共通プロダクトモデルである。ISO の STEP は機械設計等では、部品の3次元登録等が進んでいるが、土木構造物は取り組みが遅れている。建築分野においては、米国では ISO の STEP に準拠して IAI (International Alliance for Interoperability) が IFC (Industry Foundation Classes) の構築を進めている。

本研究では、梁と柱等の鋼構造接合部を対象として ISO の STEP および IAI の IFC を参考として、3次元共通プロダクトモデルの試作を行った。プロダクトモデルにおける梁、柱、ボルト、アングル等の各オブジェクトは、オブジェクトの形状や材質、強度等を定義する属性および属性値によって構築される。プロダクトモデルは STEP では EXPRESS 言語で記述することになっているが、本研究では開発が容易なことから XML を使用して試作した。但し、EXPRESS に変換することは可能である。図-2に接合部を構成する柱 Column01 と梁 Beam01 のプロダクトモデルの XML ソースを示す。

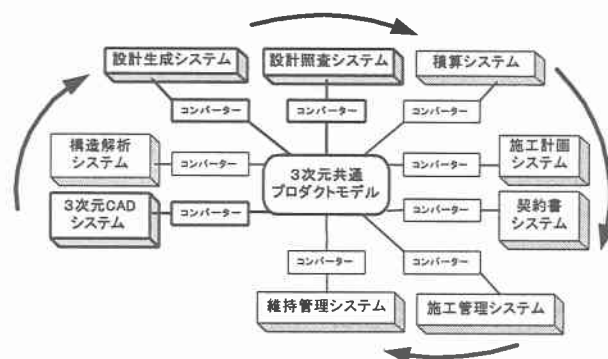


図-1 システムモデル

```
<?xml version="1.0" encoding="shift_jis"?>
<ProductModel>
  <ConnectionGroup>1</ConnectionGroup>
  <object>
    <Column01>
      <cd>14.02</cd>
      <tw>0.44</tw>
      <tf>0.71</tf>
      <bf>14.52</bf>
      <span>100</span>
      <Fy>50</Fy>
      <Fu>65</Fu>
      <Supported by>
        <Position_O> <x>0</x>
        <y>0</y>
        <z>50</z>
      </Position_O>
      <Vector_Xa> <x>0</x>
        <y>-1</y>
        <z>50</z>
      </Vector_Xa>
      <Vector_Za> <x>1</x>
        <y>0</y>
        <z>50</z>
      </Vector_Za>
      <instance_of><class>W_SHAPE</class>
        <property>column-1</property>
      </instance_of>
    </Column01>
    <Beam01>
      <cd>35.90</cd>
      <tw>0.760</tw>
      <tf>1.260</tf>
      <bf>16.47</bf>
      <span>100</span>
      <Fy>50</Fy>
      <Fu>65</Fu>
      <Supported by>Column01</Supported by>
      <Position_O> <x>7.76</x>
```

図-2 XML で記述した3次元共通プロダクトモデルの例

3. 設計生成システムの構築

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、鋼構造接合部のようにそのタイプや形状パターンが膨大である場合、これらの方法では対応しにくかった。本研究では、XML 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している。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、有効性等の検討を行った。

(1) 事例ベース推論

事例ベース推論は、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うものである。

(2) XML

XML は、World Wide Web (WWW) のための新しい文書記述言語で、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、自由にタグを導入できる、文書が構造を持つ、保存性をもつ等である。

(3) 設計生成の方法論

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れを持つモデルを開発した。

概略の設計生成のフローを以下に示す。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検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。

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ている。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、Internet Explorer 5.0 で表示したものを図-4 に示す。

類似度算定を行う際に、全ての設計レポートと比較算定することは非効率的であるから、オブジェクト指向パラダイム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した。ここでは、岸ら⁶⁾の方法を参考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(図-5)を作成した。

```
<?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>
        <LOAD_TYPE>Fully Restrained Moment Connections</LOAD_TYPE>
        <STRUCTURE>Beam-to-Column</STRUCTURE>
        <FORM>Flange-Plated FR Connections</FORM>
      </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 W18x50 beam to
    W14x99 column-flange connection. Use 7/8-in diameter A325-N bolts and 70 ksi
    electrodes. Assume connecting material with <Fu>Fu</Fu> = 36 ksi and <Fu>Fu</Fu> = 58
    ksi. <br/></Ru></Ru> = 45 kips, <Mu>Mu</Mu> = 250 ft-kips. </explain>
    <fig>10_1.gif</fig>
    <subsection>Check beam design flexural strength</subsection>
    ~略~
  </BODY>
```

図-3 XML で記述した設計レポート例

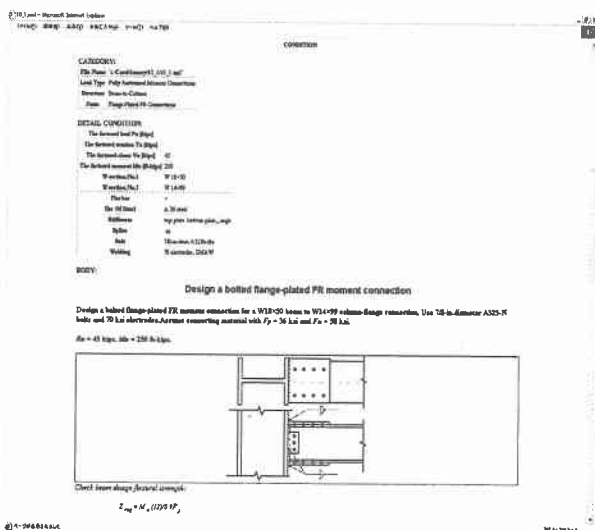


図-4 XML の設計レポートをブラウザで表示させた画面

(4) 設計生成プロトタイプシステム

本研究では、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用させ、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-LRFD⁷⁾を使用した。システムは、Java 言語を用いた Servlet (サーバサイド処理) として実装した。システムの開発には、OS に Windows98, Java プログラムに JDK 1.2.2, サブレット開発環境に JSWDK 1.0.1, XML パーサーに XML for Java Parser 2.0.9, ブラウザーに Internet Explorer 5.0 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-6に示す入力フォームに、設計する接合部の条件(接合する部材、形式、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、剛結接合、柱と梁、Flange-Plated Connection (梁のフランジにプレートに接合する形)]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

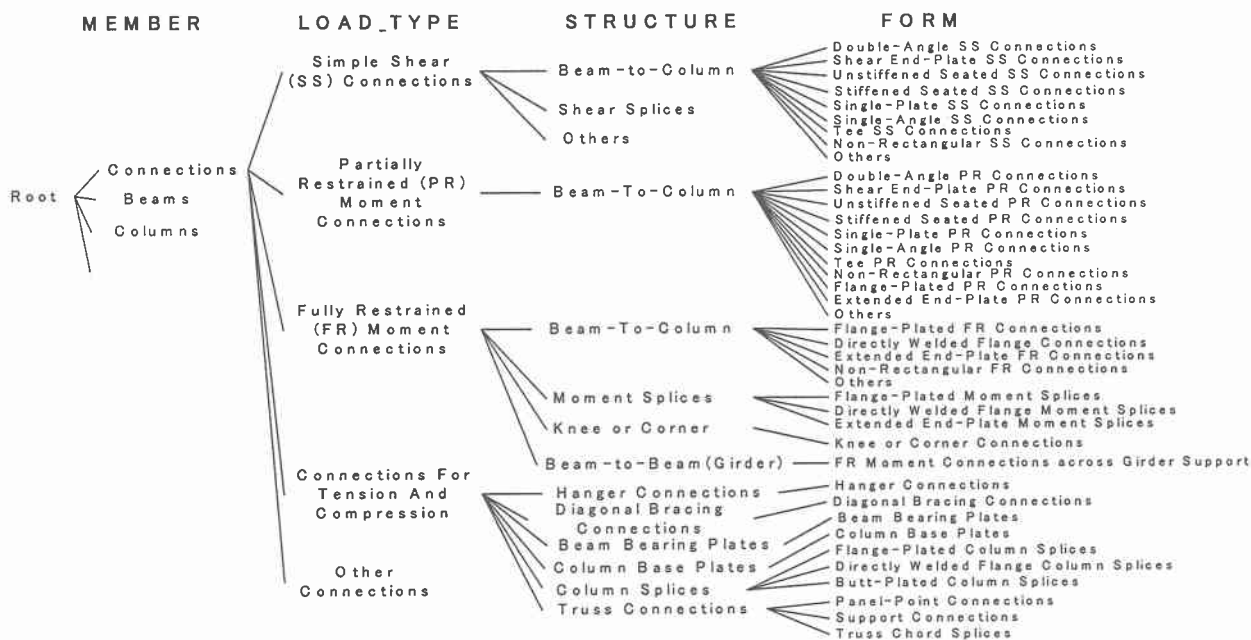


図-5 鋼構造接合部の設計レポートデータベースの階層構造

図-6 設計生成システムの入力フォーム

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。また、3次元共通プロダクトモデルをコンバーターによって作成する。図-7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-8は新しく生成された設計レポートを示す。

4. 設計照査システムの構築

本研究では、3次元CADシステムを用いて作成したDouble-Angle Connection（梁のウェブと柱が2つのアングルによって接合されている形）のCADデータから3次元共通プロダクトモデルを半自動的に作成するコンバーターを作成し、さらに共通プロダクトモデルのデータから設計の照査に必要なデータを抽出して設計照査を行うコンバーターと照査システムを開発した。図-9に3次元CADシステムを用いたDouble-Angle Connectionの図の例を示す。図-10は3次元共通プロ

図-7 与設計条件に対して生成された設計結果画面

図-8 与設計条件に対して生成された設計レポート

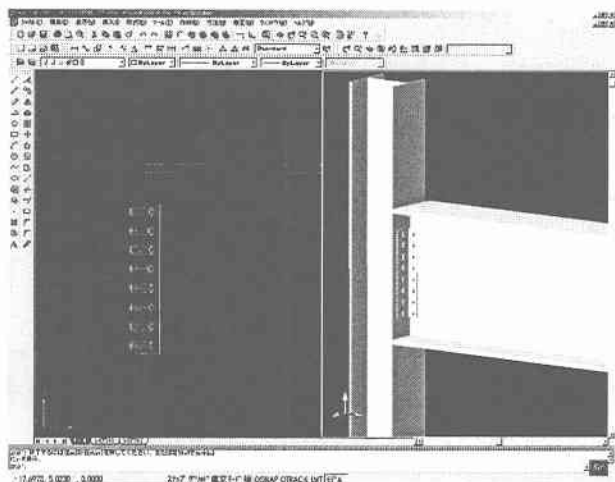


図-9 Double-Angle Connection の図

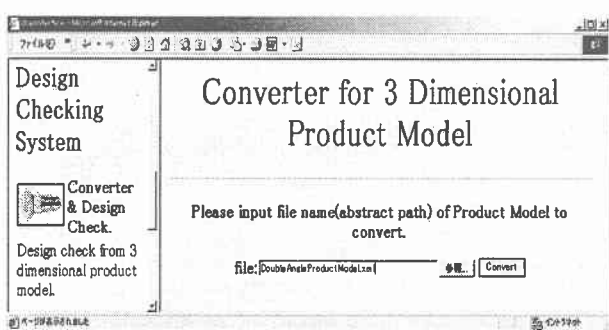


図-10 コンバーターの入力フォーム

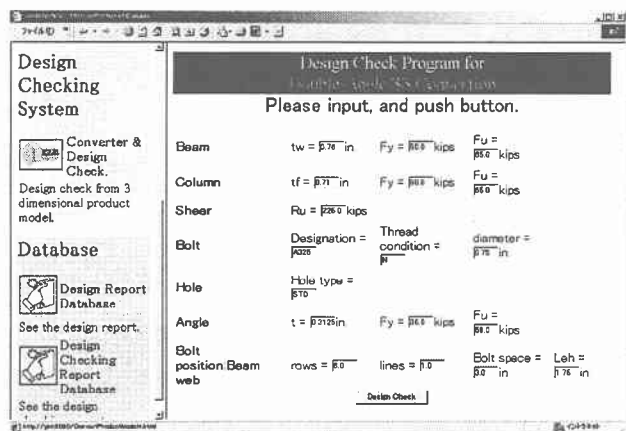


図-11 設計照査システムの入力フォーム

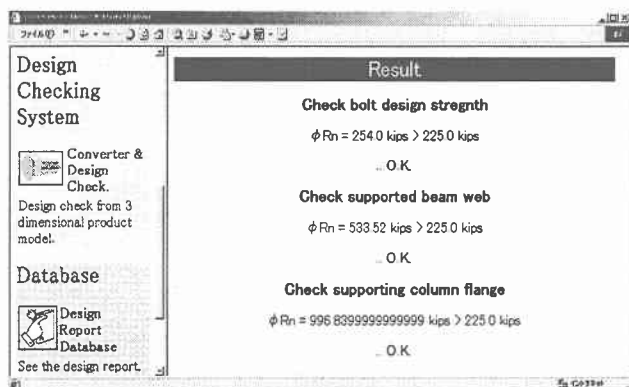


図-12 設計照査の結果画面

ダクトモデルから設計照査モジュールへデータを変換するコンバーターの入力フォームを示す。コンバーターは、入力された3次元共通プロダクトモデルのデータ(図-2)を読み込み、接合部を構成する部材や連結部材およびコネクター、接合形式、荷重の種類を判別し、対応する照査プログラムを呼び出す。また、3次元共通プロダクトモデルからその照査プログラムに必要な属性値を抽出し、設計照査システムの入力フォームにその値を自動的に入力する。図-11に設計照査システムの入力フォームを示す。また、図-12に設計照査の結果画面を示す。

5. おわりに

本研究では、統合化された設計システムの構築を行うため、鋼構造接合部に対して3次元共通プロダクトモデルを作成した。また、設計生成システム、設計照査システムを開発し、3次元共通プロダクトモデルを設計照査システムに適用して、その有効性等を検討した。

設計生成システムの構築には、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して捉え、事例ベース推論により、設計の自動生成を行った。また、プロトタイプシステムを構築し、その有効性等を検討した。

本研究では、プロトタイプシステムの事例はまだ少ないが提案したシステムモデルは有効だと考えられる。今後は、設計事例を増やしてさらにシステムモデルの実証を行っていきたい。

参考文献

- 1) 矢吹信喜, 宮島良将, 古川将也: 情報化と性能規定化による設計基準の概念的モデルの提案, 土木学会北海道支部論文報告集, 56(A), pp.288-291, 2000.
- 2) 矢吹信喜: 情報化と性能規定化に伴う設計基準の再構築に関する一提案, 土木学会第55回年次学術講演会講演概要集, I-A29, 2000.
- 3) 宮島良将, 矢吹信喜: XMLと事例ベース推論(CBR)による鋼接合部の設計, 土木学会第55回年次学術講演会講演概要集, VI-A219, 2000.
- 4) Yabuki, N.: A Conceptual Design Standards Model and Design of Connections by Document-Based Analogical Reasoning, Proceedings of the Eighth International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, pp.619-626, 2000.
- 5) 矢吹信喜, 宮島良将, 小室雅人, Law, K.H.: 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, 土木情報システム論文集, Vol.9, pp.91-100, 2000.
- 6) Kishi, N. and Chen, W. F.: Database of Steel Beam-to-Column Connections, CE-STR-86-26, Purdue Univ., 1986.
- 7) Manual of Steel Construction-Load & Resistance Factor Design, Second Ed., American Institute of Steel Construction, Inc., 1993.