

# CALS を指向した 鋼道路橋の詳細設計支援システム

三上市藏<sup>1</sup>・田中成典<sup>2</sup>・黒田 護<sup>3</sup>・村田真一<sup>4</sup>

<sup>1</sup>フェロー 工博 関西大学教授 工学部土木工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)

<sup>2</sup>正会員 工博 関西大学助教授 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号)

<sup>3</sup>正会員 工修 三田市役所 (〒669-1595 兵庫県三田市三輪2丁目1番1号)

<sup>4</sup>学生員 関西大学大学院 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)

著者らは、先に鋼道路橋(鉸桁・箱桁)を対象とした詳細設計支援システムを開発した。このシステムでは、詳細設計の推奨構造図を交換する際に、STEP の Part21 ファイルフォーマットで記述する必要がある。しかし多くの CAD ソフトウェアには Part21 ファイルフォーマットを取り扱う機能が備わっていないため、このシステムを利用する設計技術者が推奨構造図を提案することが難しい。また、推奨構造図を加工して再利用することができない。

本研究では、ドメイン CAD を開発して推奨構造図の標準化図面の獲得が簡単に行えるようにした。また、ドメイン CAD に推奨構造図を加工できる機能を設けることで、多くの設計技術者の知識を取り入れた推奨構造図の獲得・洗練が迅速かつ容易にできるようになる。そして、詳細設計を行う際に、推奨構造図を共有できる。

*Key Words : steel bridge, fatigue crack, desirable detail structure, expert system, CALS, ISO, SGML, STEP*

## 1. まえがき

近年、鋼道路橋の上部構造に発生する疲労亀裂の損傷事例が多数報告されている。著者らは先に鋼道路橋のうち鉸桁橋と箱桁橋を対象とした詳細設計支援システム<sup>1)</sup>を開発した。このシステムは、過去に疲労亀裂が発生した構造詳細を損傷構造、専門家により提案された疲労亀裂が発生しにくい構造詳細を推奨構造とよび、損傷構造に関する情報を事例データベース、推奨構造に関する知識情報を知識ベースとして保持し、スタンドアロンで駆動するものであった。さらに文献<sup>2)</sup>では、何時でも何処でも誰でもが、インターネットを通じてこのシステムを利用できるように知識獲得サブシステムと知識共有サブシステムを付加してシステムのブラッシュアップを目指した。ただし、インターネット上で設計技術者から直接事例データや知識情報を獲得したり、共有するには情報の標準化が必要になった。

建設省では公共工事を対象に、CALS/EC を実現するプログラム<sup>3)4)</sup>が進められている。日本土木工業協会では CALS 検討 WG において、CALS 技術を用

いて土木分野における電子データの標準化や共有に関する研究<sup>5)</sup>を行っている。建設コンサルタント協会では CALS/EC 委員会において建設コンサルタントにおける CALS への取り組みを研究している。建設 CALS/EC センターでは建設関係技術データおよび文書関係データの標準化案の調整・取り纏めを行っている。土木学会建設マネジメント委員会ではマネジメント技術小委員会において、CALS 導入における新しい建設マネジメントの将来像、発注、契約方式および工事段階の建設マネジメントについて研究している。土木分野においては1つのプロジェクトに関する情報量が膨大なため、他産業より CALS 導入効果が大いと考えられ、このような活動の意義が大い。

CALS を実践していく上で、情報の標準化は不可欠である。この標準化手法に、デファクトスタンダードを適用することは賢明でない。なぜなら、デファクトスタンダードは、時間の経過と共に変化し、それに従ったデータの有効性・永続性は保証されないからである。これに対して国際標準化機構 (ISO : International Organization for Standardization)

が提唱する標準化手法は、ISO が保証する。CAL S は世界各国において実践されてこそ効果があるため、情報の標準化として ISO の標準化手法を用いる意義は大きい。

既報<sup>2)</sup>では、ISO が提唱する標準化手法を用いて事例データと知識情報の標準化を試みた。文書データは、文書記述言語である SGML (ISO8879 : Standard Generalized Markup Language) に、画像データは GIF (Graphics Interchange Format) 形式に、図面データは製品データの表現と交換の規格である STEP (ISO10303 : S TANDARD for the Exchange of Product model data) に従って標準化した。図面データの獲得・共有を促進するための情報交換には、STEP のファイル交換規格である Part21 ファイルフォーマットを採用した。多くの CAD ソフトウェアには Part21 ファイルフォーマットを取り扱う機能が備わっていない。Part21 ファイルフォーマットを取り扱える CAD ソフトウェアには、Alias8.5 (Alias-wavefront 社)、Mechanical Desktop R2.0 (Autodesk 社)、MicroStation Modeler (Bentley Systems 社) などがある。しかし、これらの CAD ソフトウェアは、図面データに幾何要素の集合しか保持できない。このような図面データは一般的に再利用することが難しい。したがって、本システムで取り扱う図面データを有効に利用するためには、橋梁の部材情報と構成情報を保持した製品モデルにより図面データを作図できる CAD ソフトウェアが必要である。また、知識共有サブシステムでは、一度獲得した推奨構造図を設計技術者が加工する機能を保持していない。したがって、設計技術者が詳細設計を行う際に、推奨構造の図面データを加工し、再利用することが難しい。

本研究では、推奨構造図を広く獲得するため、インターネットを利用した図面交換方法を考案する。これに類した研究として、Stanford 大の Charles S. Han らが、図面データをインターネット上で参照、作図できる CAD システム<sup>3)</sup>を開発している。しかし、このシステムは図面データの標準化手法として民間団体 IAI (International Alliance for Interoperability) の IFC (Industry Foundation Classes) を採用している。IFC は建物を構成するすべての要素を対象とした仕様である。しかし、STEP と異なり、IFC 自体が柔軟性に富んでいるため、様々な方言が生じる不安がある。また、土木分野における図面データは長期に渡り利用されるが、数十年後に IFC の仕様変更により図面データの互換性が失われる恐れがある。

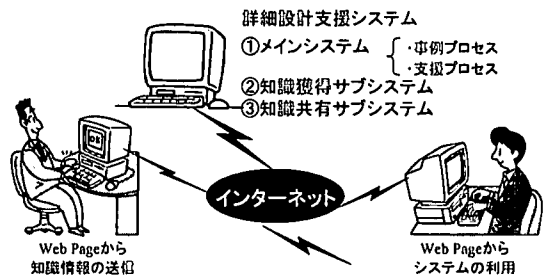


図-1 詳細設計支援システムの構想

したがって、本研究ではインターネットにより STEP の Part21 ファイルフォーマットの図面データを交換する方法に加えて、デファクトスタンダードになっている Autodesk 社製 CAD ソフト AutoCAD が採用している DXF ファイルフォーマットを Part21 ファイルフォーマットに変換し図面データを交換する方法を考案する。さらに、インターネットの Web Page 上でドメイン CAD を起動し図面を作図して、それを STEP の Part21 ファイルフォーマットに変換し図面データを交換する方法を考案する。また、本システムを利用する設計技術者が推奨構造図の Part21 ファイルを加工できる機能をドメイン CAD に設けることによって、2つの目的を達成する。まず、複数の設計技術者の知識を取り入れた推奨構造図を迅速かつ容易に獲得・洗練する。次に、推奨構造の標準化図面の共有を行う。

さらに、図面データに部材情報を含めるために、STEP 規格に従った鋼鉄桁・箱桁橋の推奨構造に関する新規なアプリケーションプロトコル (AP) を提案し、この新たに定義した規格を用いて図面データを Part21 ファイルフォーマットで表現する。これにより推奨構造図の獲得、共有を促進し、より実用的なシステムを構築する。

## 2. 詳細設計支援システムの拡張構想

詳細設計支援システムの目的は、過去に疲労亀裂が発生した損傷構造と専門家により提案された推奨構造を設計技術者にオンラインで提示し、新設橋梁の設計に際して過去と同じような構造詳細を採用して疲労亀裂が発生することのないように支援することである。

### (1) 既存システムの概要

既存の詳細設計支援システム<sup>2)</sup> (図-1) は、過去に疲労亀裂が発生した損傷構造を提示する事例プロセスと、疲労亀裂の発生を防止できる推奨構造を提

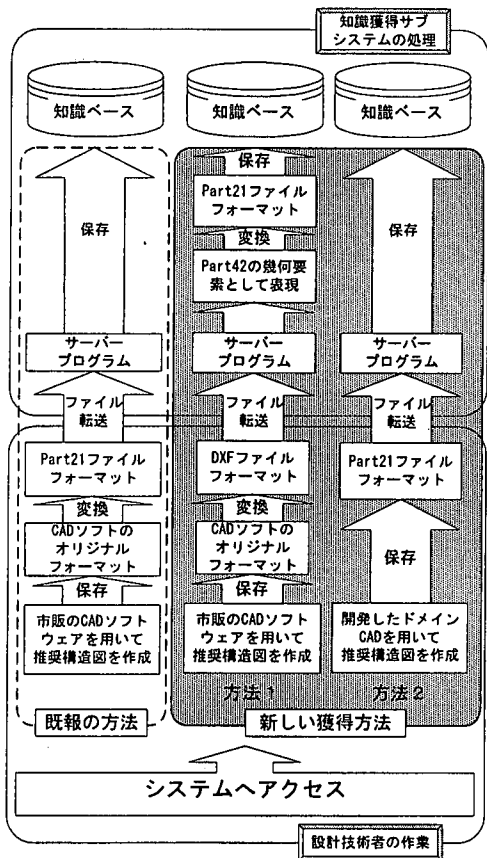


図-2 標準化図面の獲得方法

示す支援プロセスとで構成されたメインシステム（図中①）と、インターネットを介して技術者から直接事例データや知識情報を獲得できる知識獲得サブシステム（図中②）、そしてメインシステムをインターネットのWeb Page上でオンライン利用できる知識共有サブシステム（図中③）から構成されている。損傷構造に関する事例データや推奨構造に関する知識情報の獲得や共有を促進するための情報交換には標準化が必要であったため、ISOの標準化方法に従った。

事例データや知識情報の内、図面データを図-2（点線部）に示すようにSTEPのファイル交換規格であるPart21ファイルフォーマットに従って獲得した。しかし、多くのCADソフトウェアには図面データをPart21ファイルフォーマットに変換する機能が備わっていないため、推奨構造図を広く獲得することは難しい。

知識の共有のためには、図-3（点線部）に示すようにWeb Page上で推奨構造図を参照できるようにした。しかし、参照した推奨構造図を加工する機能は保持していないため、推奨構造図を洗練すること

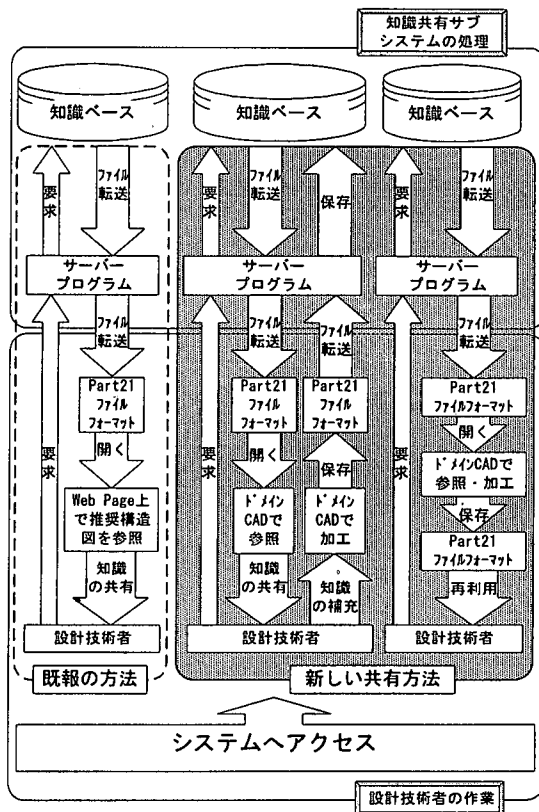


図-3 標準化図面の共有方法

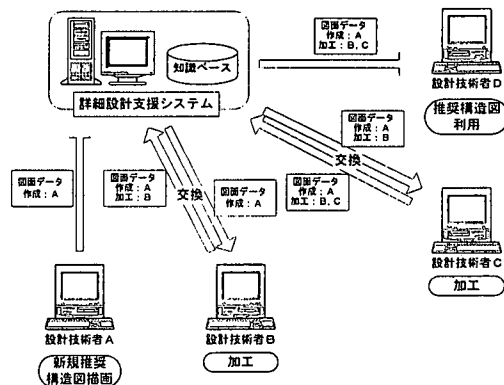


図-4 標準化図面の獲得・共有構想

や、図面データを加工・再利用することは難しい。

そこで推奨構造図の獲得を促進し、知識を洗練できるようにするため、既存システムを拡張する。

(2) システムの拡張

既存の詳細設計支援システム<sup>2)</sup>は推奨構造図の獲得方法がPart21ファイルフォーマットのみに限られているため、広く獲得することができない。そこで、情報の標準化方法を見直し、推奨構造図の獲得を促進するための新たな方法を考える。また、推奨構造

図をオンラインで加工できる機能をドメイン CAD に設ける。これにより2つの目的が達成される。

まず、図-4 に示すように設計技術者 A により提案された推奨構造図に対して、他の設計技術者 B,C がそれぞれ推奨構造図にコメントを書き込むことにより討議し、知識の補充・拡張のために加工できる。すなわち、複数の設計技術者の知識を取り入れた推奨構造図を迅速かつ容易に獲得・洗練することが可能となる。

次に、推奨構造図の標準化図面の共有が可能になる。設計技術者 D が詳細設計を行う際に、Web Page 上で推奨構造図を参照し、即時に加工して、実用できる。つまり、迅速な知識の情報交換が行える。

**a) 獲得の拡張構想**

多くの CAD ソフトウェアに図面データを Part21 ファイルフォーマットに変換する機能は備わっていないため、推奨構造図を広く獲得することは難しい。そこで、図-2 (網掛け部) に示すように、Part21 ファイルフォーマットによる図面データを獲得する手法に加えて、デファクトスタンダードの DXF ファイルフォーマットを幾何要素として Part21 ファイルフォーマットに変換し図面データを獲得する方法と、インターネットの Web Page 上でドメイン CAD を起動し図面を描画して、その図を推奨構造の AP を用いて Part21 ファイルフォーマットに変換し図面データを獲得する方法を考案する。

**b) 共有の拡張構想**

詳細設計支援システムでは、設計技術者が推奨構造図を加工する機能を保持していなかったため、設計技術者が詳細設計を行う際に、Part21 ファイルの推奨構造図を加工し、再利用することが難しい。

そこで、図-3 (網掛け部) に示すように設計技術者が知識共有サブシステムを利用して推奨構造図を参照する機能に加えて、他の設計技術者が知識を補充、拡張するために、オンラインのドメイン CAD を利用して加工する機能を設ける。これにより、複数の設計技術者の知識を取り入れた推奨構造図を迅速かつ容易に獲得・洗練することが可能となる。また、推奨構造図の標準化図面の共有が可能となる。設計技術者が詳細設計を行う際に、機能拡張したドメイン CAD を利用することで、Web Page 上で詳細設計支援システムの知識ベースに保存されている推奨構造図を参照し、即時に加工し、利用できる。

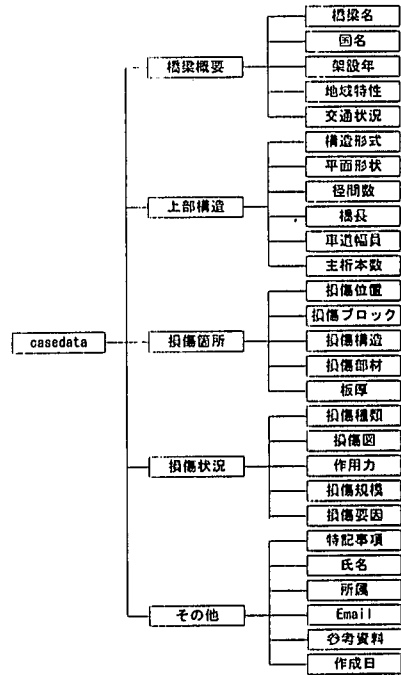


図-5(a) 損傷構造の属性

```

<!DOCTYPE casedata [
<! ENTITY %doctype "casedata">
<!-- ELEMENTS MIN CONTEXT (EXCEPTIONS) -->
<!ELEMENTS %doctype -- (橋梁概要)&(上部構造)&
(損傷箇所)&(損傷状況)&(その他)
<!ELEMENTS 橋梁概要 -- (橋梁名)&(国名)&
(架設年)&(地域特性)&(交通状況)
<!ELEMENTS 橋梁名 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 国名 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 架設年 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 地域特性 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 交通状況 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 上部構造 -- (構造形式)&(平面形状)&
(径間数)&(橋長)&(車道幅員)&(主桁本数)
<!ELEMENTS 構造形式 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 平面形状 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 径間数 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 橋長 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 車道幅員 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 主桁本数 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 損傷箇所 -- (損傷位置)&
(損傷ブロック)&(損傷構造)&(損傷部材)&(板厚)
<!ELEMENTS 損傷位置 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 損傷ブロック - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 損傷構造 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 損傷部材 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 板厚 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 損傷状況 -- (損傷種類)&
(損傷図)&(作用力)&(損傷規模)&(損傷要因)
<!ELEMENTS 損傷種類 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 損傷図 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 作用力 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 損傷規模 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 損傷要因 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS その他 -- (特記事項)&
(氏名)&(所属)&(Email)&(参考資料)&(作成日)
<!ELEMENTS 特記事項 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 氏名 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 所属 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS Email - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 参考資料 - 0 (#PCDATA)>
<!ELEMENTS 作成日 - 0 (#PCDATA)>
<!-- ELEMENT NAME VALUE DEFAULT -->
<!ATTLIST casedata status (secret|public) public>
]

```

図-5(b) 損傷構造の文書型定義

<code>&lt;casedata&gt;</code>		
<code>&lt;橋梁概要&gt;</code>	<code>&lt;損傷箇所&gt;</code>	
<code>&lt;橋梁名&gt;</code>	<code>&lt;損傷位置&gt;</code>	
阪神高速道路	支点部	
<code>&lt;国名&gt;</code>	<code>&lt;損傷ブロック&gt;</code>	
日本	主桁の切欠き部	
<code>&lt;架設年&gt;</code>	<code>&lt;損傷構造&gt;</code>	<code>&lt;その他&gt;</code>
1967	主桁下フランジ	<code>&lt;特記事項&gt;</code>
<code>&lt;地域特性&gt;</code>	<code>&lt;損傷部材&gt;</code>	
都市	主桁腹板	<code>&lt;氏名&gt;</code>
<code>&lt;交通状況&gt;</code>	<code>&lt;板厚&gt;</code>	関大太郎
不明		<code>&lt;所属&gt;</code>
<code>&lt;/橋梁概要&gt;</code>	<code>&lt;/損傷箇所&gt;</code>	関西大学
<code>&lt;上部構造&gt;</code>	<code>&lt;損傷状況&gt;</code>	<code>&lt;Email&gt;</code>
<code>&lt;構造形式&gt;</code>	<code>&lt;損傷種類&gt;</code>	kansai@xxx.
飯桁橋	疲労亀裂	xxx.ac.jp
<code>&lt;平面形状&gt;</code>	<code>&lt;損傷図&gt;</code>	<code>&lt;参考資料&gt;</code>
直橋	casedata107.gif	阪神高速道路
<code>&lt;径間数&gt;</code>	<code>&lt;作用力&gt;</code>	管理技術セン
1	不明	ター: 損傷と
<code>&lt;橋長&gt;</code>	<code>&lt;損傷規模&gt;</code>	補修事例にみ
	大	る道路橋のメ
<code>&lt;車道幅員&gt;</code>	<code>&lt;損傷要因&gt;</code>	ンテナンス、
	ディテールの不適性	1993.
<code>&lt;主桁本数&gt;</code>	<code>&lt;/損傷状況&gt;</code>	<code>&lt;作成日&gt;</code>
6		1998年2月1日
<code>&lt;/上部構造&gt;</code>		<code>&lt;/その他&gt;</code>
		<code>&lt;/casedata&gt;</code>

図-5(c) 損傷構造の文書インスタンス

### 3. 詳細設計支援システムで取り扱う土木情報

何時でも何処でも誰でもが詳細設計支援システムを簡単に利用できるようにするために、システムをネットワークに対応させる。また、事例データや知識情報の獲得と共有を促進するには、情報を標準化する必要がある。しかし、既存システムの標準化方法では知識情報を広く獲得することができなかつたため、知識情報の獲得が促進できるように標準化方法を見直す。

本システムにおいて事例データと知識情報は CALS 技術を用いて標準化する。

#### (1) 文書情報

本システムでは、取り扱う文章データを ISO8879 の SGML を用いて、損傷構造と推奨構造のそれぞれについて標準化する。

##### a) 損傷構造

損傷構造に関する事例データ内の文章データは、SGML のタグ付き文書で標準化する。損傷構造に関する属性を図-5(a) のように定義する。この属性を SGML の文書型定義 (DTD) を用いて定義すると図-5(b) になる。損傷構造に関する文書型定義の属性は、橋梁概要、上部構造、損傷箇所、損傷状況、その他の属性から構成する。その他の属性は下位型属性の特記事項、氏名、所属、Email、作成日を保持していたが、新たに情報の所在を明確にするための属性として参考資料を加える。それぞれの下位の

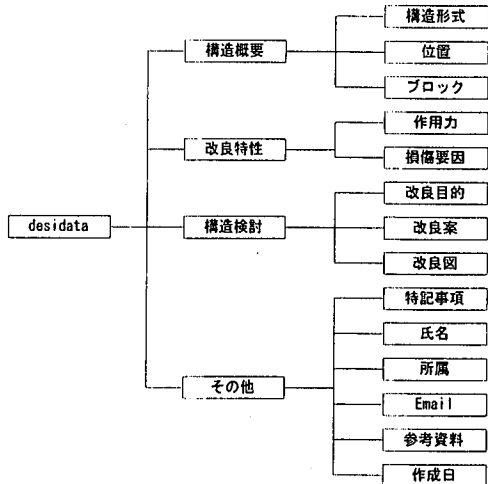


図-6(a) 推奨構造の属性

```

<! DOCTYPE desidata [
<! ENTITY %doctype "desidata">
<!-- ELEMENTS MIN CONTEXT (EXCEPTIONS)-->
<ELEMENTS %doctype -- (構造概要)&
(改良特性)&(構造検討)&(その他)
<ELEMENTS 構造概要 -- (構造形式)&
(位置)&(ブロック)
<ELEMENTS 構造形式 - 0 (#PCDATA)>
<ELEMENTS 位置 - 0 (#PCDATA)>
<ELEMENTS ブロック - 0 (#PCDATA)>
<ELEMENTS 改良特性 -- (作用力)&(損傷要因)
<ELEMENTS 作用力 - 0 (#PCDATA)>
<ELEMENTS 損傷要因 - 0 (#PCDATA)>
<ELEMENTS 構造検討 -- (改良目的)&
(改良案)&(改良図)
<ELEMENTS 改良目的 - 0 (#PCDATA)>
<ELEMENTS 改良案 - 0 (#PCDATA)>
<ELEMENTS 改良図 - 0 (#PCDATA)>
<ELEMENTS その他 -- (特記事項)&
(氏名)&(所属)&(Email)&(参考資料)&(作成日)
<ELEMENTS 特記事項 - 0 (#PCDATA)>
<ELEMENTS 氏名 - 0 (#PCDATA)>
<ELEMENTS 所属 - 0 (#PCDATA)>
<ELEMENTS Email - 0 (#PCDATA)>
<ELEMENTS 参考資料 - 0 (#PCDATA)>
<ELEMENTS 作成日 - 0 (#PCDATA)>
<!--ELEMENT NAME VALUE DEFAULT -->
<!ATTLIST desidata status (secret|public) public
]>

```

図-6(b) 推奨構造の文書型定義

<code>&lt;desidata&gt;</code>	<code>&lt;その他&gt;</code>
<code>&lt;橋梁概要&gt;</code>	<code>&lt;特記事項&gt;</code>
<code>&lt;構造形式&gt;</code>	なし
飯桁橋	
<code>&lt;位置&gt;</code>	<code>&lt;氏名&gt;</code>
支点部	関大太郎
<code>&lt;ブロック&gt;</code>	<code>&lt;所属&gt;</code>
ソールプレート取付部	関西大学
<code>&lt;/橋梁概要&gt;</code>	<code>&lt;Email&gt;</code>
<code>&lt;改良特性&gt;</code>	なし
<code>&lt;作用力&gt;</code>	<code>&lt;参考資料&gt;</code>
不明	中井 博, 三木千壽, 山田健太
<code>&lt;損傷要因&gt;</code>	渡辺英一, 堀川浩南, 北田
不明	俊行, 大塚久哲, 都市高速道路
<code>&lt;/改良特性&gt;</code>	橋の疲労損傷の防止対策に関する
<code>&lt;構造検討&gt;</code>	調査・研究報告, 文部省科学
<code>&lt;改良目的&gt;</code>	研究費総合研究(A), 1989. 3.
溶接の改善	<code>&lt;作成日&gt;</code>
<code>&lt;改良案&gt;</code>	1997/8/12
R部を完全溶け込み溶	<code>&lt;/その他&gt;</code>
接にする	<code>&lt;/desidata&gt;</code>
<code>&lt;改良図&gt;</code>	
desidata1.p21	
<code>&lt;/構造検討&gt;</code>	

図-6(c) 推奨構造の文書インスタンス

属性はタグの省略指定(オミットタグ:-O)を行っている。この文書型定義の文書インスタンスを図-5(c)に示す。損傷構造の文書インスタンスは、前述の文書型定義による階層構造にしたがって、属性値を記述している。

文書データを獲得するときは、知識獲得サブシステムの損傷構造に関する Web Page において、属性毎に、属性値データを選択か、入力することで、サブシステムがタグ付き文章に変換して損傷事例データベースに追加される。また、共有するときは SGML 形式で提供する。

### b) 推奨構造

推奨構造に関する知識内の文章データも、SGML のタグ付き文書で標準化する。推奨構造に関する属性を図-6(a)のように定義する。この属性を SGML の文書型定義 (DTD) を用いて定義すると図-6(b)のようになる。推奨構造に関する文書型定義の属性は、構造概要、改良特性、構造検討、その他の属性から構成する。その他の属性は損傷構造の場合と同様に情報の所在を明らかにするための属性として参考資料を加える。この文書型定義の文書インスタンスを図-6(c)に示す。推奨構造の文書インスタンスは、前述の文書型定義による階層構造にしたがって、属性値を記述している。

## (2) 画像情報

既存システム<sup>2)</sup>では、損傷図の写真は画像データとして GIF 形式を採用して標準化していた。GIF 形式はデータ容量が小さく、取り扱いやすいが、256 色しか扱えないため、損傷図において疲労亀裂の詳細部が表現しにくかった。そこで、本システムではフルカラーを扱えデータ容量も小さい JPEG 形式を利用して標準化を行う。また、画像データは、写真だけでなく、略図などのデータについても JPEG 形式で獲得することとする。ただし、画像データの圧縮による画質の劣化を抑えるため、圧縮率は非圧縮から 8 分の 1 程度とする。

画像データを獲得するときは、知識獲得サブシステムの損傷構造に関する Web Page において、ファイル転送機能を用いてファイルを受信し、サブシステムが損傷事例データベースに追加する。また、共有するときは JPEG 形式の画像として提供する。

## (3) 図面情報

本システムでは、推奨構造で取り扱う推奨構造図のデータは、ISO10303 の STEP に従う。データの汎用性を考え、STEP の実装方式 (Part21) を利用

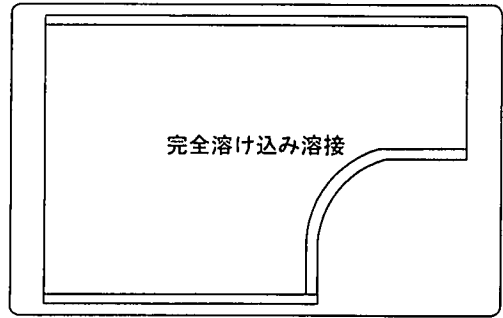


図-7(a) 推奨構造図の例

```
ISO-10303-21:
HEADER:
FILE_NAME('desidatal.p21':
'1998-8-12 T1-22-50'):
ENDSEC:
DATA:
#3=POINT(0,0,$);
#4=POINT(0,20,$);
#5=POINT(0,420,$);
#6=POINT(0,440,$);
#7=POINT(400,0,$);
#8=POINT(400,20,$);
#9=POINT(400,100,$);
#10=POINT(420,0,$);
#11=POINT(420,20,$);
#12=POINT(420,100,$);
#13=POINT(520,100,$);
#14=POINT(520,200,$);
#15=POINT(520,220,$);
#16=POINT(540,80,$);
#17=POINT(600,200,$);
#18=POINT(600,220,$);
#19=POINT(600,420,$);
#20=POINT(600,440,$);
#21=LINE(#3,#4);
#22=LINE(#4,#11);
#23=LINE(#11,#10);
#24=LINE(#10,#3);
#25=LINE(#5,#6);
#26=LINE(#6,#20);
#27=LINE(#20,#19);
#28=LINE(#19,#5);
#29=LINE(#4,#5);
#30=LINE(#8,#9);
#31=LINE(#11,#12);
#32=LINE(#17,#18);
#33=LINE(#18,#19);
#34=LINE(#14,#17);
#35=LINE(#15,#18);
#36=CIRCLE(120,#13);
#37=CIRCLE(120,#16);
#38=TRIMMED_CURVE(#36,#9,#15,TRUE);
#39=TRIMMED_CURVE(#37,#12,#14,TRUE);
#40=POINT(230,480);
#41=TEXT_STRING('完全溶け込み溶接');
#42=TEXT(#40,#41);
ENDSEC:
END=ISO-10303-21:
```

図-7(b) 幾何要素 (Part42) を用いた Part21 ファイルフォーマットの表現

し、また推奨構造を対象とした AP を提案し、この規格を利用して、標準化を行う。

### a) 幾何要素による推奨構造の表現

推奨構造で取り扱う推奨構造図のデータは実装方式に従い、直線・円・円弧・注釈を用いることで表現できる。ここで、推奨構造図の標準化方法の一例を図-7に示す。これは、推奨構造図(図-7(a))をSTEPの幾何要素規格(Part42)を用いてPart21ファイルフォーマットで表現したものである(図-7(b))。図のように、実装方式はヘッダー節とデータ節から構成される。ヘッダー節では、ファイルの名前や用途、作成者名などを記述する。データ節では、実際の点、直線、円といった図面要素を記述する。

推奨構造図を獲得するときは、STEPのPart21ファイルフォーマットでの交換に加え、CADで一般的に用いられているDXFファイルフォーマットで獲得し、Part21ファイルフォーマットに変換する。これらどちらのファイルも準備できないときには、知識獲得サブシステムが用意しているドメインCADを利用して、推奨構造図を描画してもらいPart21ファイルフォーマットに変換して獲得する。共有するときは、STEPのPart21ファイルフォーマットで

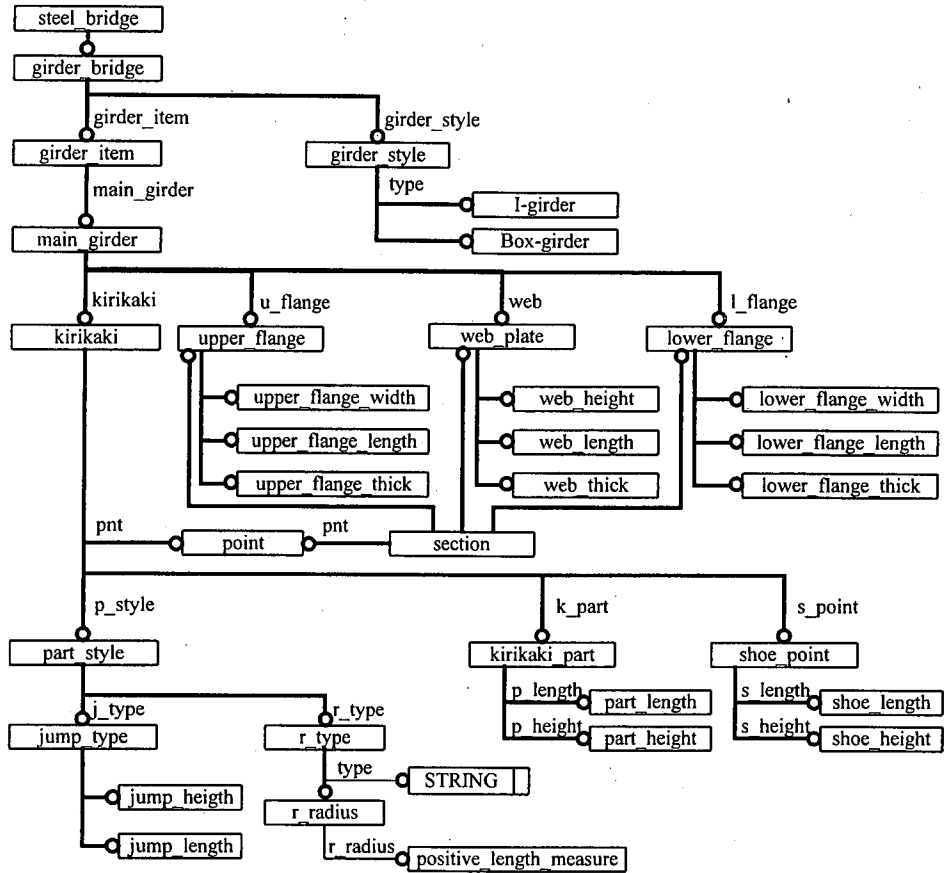


図-8 推奨構造の切欠き部に関する AP の EXPRESS-G による表現

提供する。

DXF ファイルフォーマットの変換では、STEP の Part42 で定義されている幾何要素(直線・円・円弧・文字列)のみを対象としている。したがって、推奨構造について定義した AP についての変換は行えない。また、Release12J に関する DXF は、図面の情報を HEADER, TABLES, BLOCKS, そして ENTITIES のセクションに分類して保持している。この中で、本システムでは、図面情報に関する HEADER と要素に関する ENTITIES のデータを対象に変換を行う。したがって TABLE, BLOCKS セクションは読み飛ばすため、ブロック、レイヤーなどの高度なデータは変換できない。

#### b) アプリケーションプロトコルの提案

STEP 規格における AP は、機械、プラント、自動車、航空、建築分野で策定が進んでいる。建築分野においては、イギリスのリーズ大学と CIMSteel により、鉄骨構造物を対象とした AP230 が策定されている。土木分野においては、スウェーデンで道路の構成情報を対象とした RoadAP が策定されており、

国内でも AP の開発に関する研究<sup>7)</sup>はあるが、橋梁の推奨構造を対象とした AP は、策定されていない。

そこで、鋼桁・箱桁橋の推奨構造に関する AP を新しく提案し、この規格を用いて図面データを表現する。これにより、推奨構造図の交換・獲得の促進を目指す。

STEP は形式的データ仕様記述言語 EXPRESS を用いているため、橋梁に関するすべての要素を含む規格群を策定するのではなく、オブジェクト指向的に必要な要素から規格策定を行うことが可能である。そこで本システムで扱う推奨構造図に関する橋梁要素を定義し、橋梁の推奨構造を対象とした AP を提案する。

新しく提案する推奨構造の切欠き部に関する AP を EXPRESS-G (図-8) で定義する。ここで橋梁を構成する ENTITY のデータ型記号は、部材名などの ENTITY の名前を囲む実線の長方形の箱で示す。太線は継承関係を表し、実線はその他の関係を表す。また関係の強調される方向に円で印を付ける。そして、切欠き部に関する EXPRESS 言語による表現を

```

ENTITY girder_bridge
SUBTYPE OF (girder_bridge);
girder_style : girder_style;
girder_item : girder_item;
END_ENTITY;

ENTITY girder_style
SUPERTYPE OF (ONEOF(i_type, box_type))
SUBTYPE OF (girder_bridge);
type : STRING;
END_ENTITY;

ENTITY girder_item
SUBTYPE OF (girder_bridge);
main_girder : main_girder;
cover_plate : OPTIONAL cover_plate;
floor_beam : OPTIONAL floor_beam;
sole_plate : OPTIONAL sole_plate;
bracket : OPTIONAL bracket;
gusset_plate : OPTIONAL gusset_plate;
steel_deck : OPTIONAL steel_deck;
stringer : OPTIONAL stringer;
diaphragm : OPTIONAL diaphragm;
lateral_bracing : OPTIONAL lateral_bracing;
bracing : OPTIONAL bracing;
conner_plate : OPTIONAL conner_plate;
END_ENTITY;

ENTITY main_girder
SUBTYPE OF (girder_item);
u_flange : upper_flange;
web : web_plate;
l_flange : lower_flange;
stiffener : OPTIONAL stiffener;
connection : OPTIONAL connection;
kirikaki : OPTIONAL kirikaki;
END_ENTITY;

ENTITY section
SUBTYPE OF (main_girder);
pnt : point;
u_flange : upper_flange;
web : web_plate;
l_flange : lower_flange;
END_ENTITY;

ENTITY kirikaki
SUBTYPE OF (main_girder);
pnt : point;
p_style : SET[1:2] of part_style;
k_part : kirikaki_part;
s_point : shoe_point;
END_ENTITY;

ENTITY part_style
SUPERTYPE OF (ONEOF(r_type, jump_type))
SUBTYPE OF (kirikaki);
l_type : OPTIONAL jump_type;
r_type : OPTIONAL r_type;
END_ENTITY;

ENTITY r_type
SUBTYPE OF (part_style);
type : STRING;
radius : r_radius;
END_ENTITY;

ENTITY r_radius
SUBTYPE OF (r_type);
radius : positive_length_measure;
END_ENTITY;

ENTITY kirikaki_part
SUBTYPE OF (kirikaki);
p_height : part_height;
p_length : part_length;
END_ENTITY;

ENTITY part_length
SUBTYPE OF (kirikaki_part);
length : positive_length_measure;
END_ENTITY;

ENTITY part_height
SUBTYPE OF (kirikaki_part);
height : positive_length_measure;
END_ENTITY;

ENTITY shoe_point
SUBTYPE OF (kirikaki);
a_length : shoe_length;
s_height : shoe_height;
END_ENTITY;

ENTITY shoe_length
SUBTYPE OF (shoe_point);
length : positive_length_measure;
END_ENTITY;

ENTITY shoe_height
SUBTYPE OF (shoe_point);
height : positive_length_measure;
END_ENTITY;

```

図-9(a) 推奨構造の切欠き部に関する AP の EXPRESS 言語による表現

図-9(a)に示す。また、図-7(a)を切欠き部の推奨構造を対象とした AP を用いて Part21 ファイルフォーマットで表現した結果を図-9(b)に示す。ここで、図-7(b)の Part21 ファイルフォーマットの表現と比較してみると、部材情報を保持しており、データも簡潔に表現されていることが分かる。製品モデルを用いることにより、推奨構造図を幾何形状の集合として表現するのではなく、橋梁部材の集合として表現することができる。また、推奨構造図を共有した際に、部材の属性値を変更するだけで図面データを再利用できる。

推奨構造の知識情報を標準化し、詳細設計支援システムを有効に運用するためには、獲得機能を拡張し、知識情報をオンラインで簡単に獲得できるようにする必要がある。

#### 4. 知識獲得サブシステム

詳細設計支援システムを有効に運用するためには、事例データや知識情報の充実が不可欠である。そこで設計技術者から直接広く、事例データや知識の情

```

ISO-10303-21:
HEADER:
FILE_NAME(' desidata2.p21', ' 1998-8-12 T1-22-50');
ENDSEC:
DATA:
#1=POINT(27,366,$);
#2=UPPER_FLANGE(100,6,$);
#3=WEB_PLATE(6,200,$);
#4=LOWER_FLANGE(100,6,$);
#5=SECTION(#1,#2,#3,#4);
#6=POINT(134,132,$);
#7=SHOE_POINT(50,100);
#8=KIRIKAKI_TYPE('R',60);
#9=KIRIKAKI_PART(100,50);
#10=KIRIKAKI(#6,#7,#8,#9);
#11=POINT(190,300,$);
#12=TEXT_STRING('完全溶け込み溶接');
#13=TEXT(#11,#12);
#14=GIRDER_STYLE('I-girder');
#15=MAIN_GIRDER(#5,#10,#14);
ENDSEC:
END-ISO-10303-21:

```

図-9(b) 切欠き部に関する AP を用いた Part21 ファイルフォーマットの表現

報を獲得するために知識獲得サブシステムを拡張する。知識獲得サブシステムは、インターネットの Web Page で利用できる。

情報を提供する設計技術者は、事例データや知識情報の文章データの属性毎に、属性値を選択あるいは入力する。そして、図面については、Part21 ファ



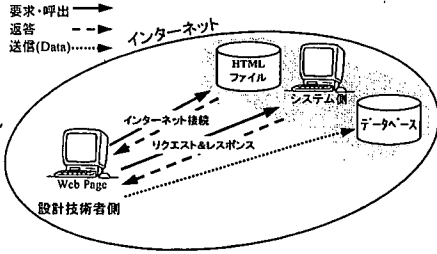


図-10(a) 文書の獲得の構想

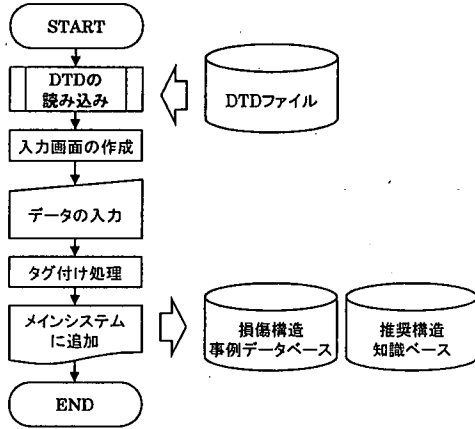


図-10(b) 文書の獲得手順

イルフォーマットか、DXF ファイルフォーマットのファイル名とそのパスを入力するか、ドメイン CAD で描画を行う。画像については、JPEG 形式のファイル名とそのパスを入力する。全ての入力完了すれば、事例データや知識情報の送信が行われる。システムは新規データを事例データベースと知識ベースに追加する。ここで、CGI (Common Gateway Interface) 技術の POST メソッドは図面データや画像データのファイルを獲得するファイル転送機能を持っているために採用する。

事例データや知識情報の獲得では、誤った情報を獲得する可能性が残っている。本システムでは、文書データと写真データに関しては、それを提供した設計技術者を特定できる情報を記録し、図面データに関しては加工・作成履歴を記録して、後々その情報の正当性を検証できるようにした。

### (1) 文書の獲得

文書の獲得の構想を図-10(a)に、獲得手順を図-10(b)に示す。まず、知識獲得サブシステムの損傷構造か推奨構造かの Web Page にアクセスすると、それぞれの DTD ファイルを読み込み、入力するインターネットフェイスを作成する。作成された画面に対し

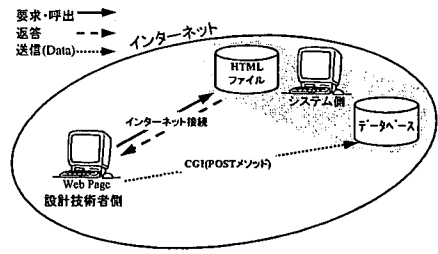


図-11(a) 画像・図面ファイルの獲得構想

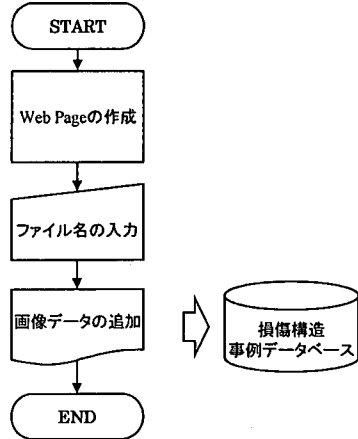


図-11(b) 画像ファイルの獲得手順

て設計技術者が入力を行う。ここで、属性毎に、値を選択するか入力する。入力が終了すると、知識獲得サブシステムで、タグを付けた文書インスタンスに変換される。そして WWW サーバに転送され、メインシステムの損傷構造の事例データベースと推奨構造の知識ベースにそれぞれに追加される。

### (2) 画像の獲得

画像データに関するファイル獲得の構想を図-11(a)に、獲得手順を図-11(b)に示す。損傷構造における画像データは、知識獲得サブシステムのファイル獲得機能により、提供するファイルのフルパスを入力することで、ファイル転送機能の CGI プログラムの POST メソッドで、システムのある WWW サーバにファイルが転送され、メインシステムの損傷構造の事例データベースに追加する。

### (3) 図面の獲得

推奨構造図の獲得手順を図-11(c)に示す。設計技術者が、推奨構造図の図面を STEP の Part21 ファイルフォーマットで保持しているときは、知識獲得サブシステムのファイル獲得機能により、ファイルのフルパスを入力する。そしてファイル転送機能の

CGIプログラムのPOSTメソッドにより, WWWサーバにファイルが転送され, メインシステムの推奨構造の知識ベースに追加される。

また, 設計技術者が推奨構造図の図面を DXF ファイルフォーマットで保持しているときには, DXF ファイルフォーマットの図面を WWWサーバに転送する。そして, WWWサーバ側で DXF ファイルフォーマットを Part21 ファイルフォーマットに変換し, 知識ベースに追加する。

#### (4) 推奨構造図の描画

推奨構造図の描画の構想を図-12(a)に, 描画手順を図-12(b)に示す。設計技術者が, 図面ファイルを準備できない場合は, 知識獲得サブシステムが準備したドメイン CAD を利用し, Web Page 上で推奨構造図を描画する。描画後, Part21 ファイルフォーマットに変換して, 知識ベースに追加する。

ドメイン CAD は, 起動すると, 描画支援ツール(描画アイコン, データ入力ポップアップ画面)と描画インターフェイスを作成する。設計技術者はこれを利用して, 推奨構造図を描画する。そして, 描画が終了し, データを保存(送信)するときに, 描画面面に描かれたデータが推奨構造に関する AP を用いた Part21 ファイルフォーマットに変換され, WWWサーバの知識ベースに追加される。

推奨構造図を描画するときは, まず縮尺の設定を行い, 次に, 描画アイコンをクリックし, データ入力ポップアップ画面に推奨構造図のデータを入力する。そして, 基準点を描画面面でクリックすると図面に描画が行われる。これらの描画操作を繰り返し, 全描画を完了すると Part21 ファイルフォーマットへ変換し, 知識ベースに追加する。

このようにして獲得した知識情報を設計技術者がネットワークを通じて参照だけでなく, 再利用できるように共有機能を拡張する。

### 5. 知識共有サブシステム

詳細設計支援システム<sup>2)</sup>は, 事例データや知識情報を更新する際に, システムをインストールしたすべてのマシンに更新作業が必要になる。また, 事例ベースおよび知識ベースに多くのディスク容量が必要となる。そこで, 何時でも何処でも誰でもがインターネットを通じて容易に詳細設計支援システムを利用できるように知識共有サブシステムを構築する。

知識共有サブシステムでは, 設計技術者が Web

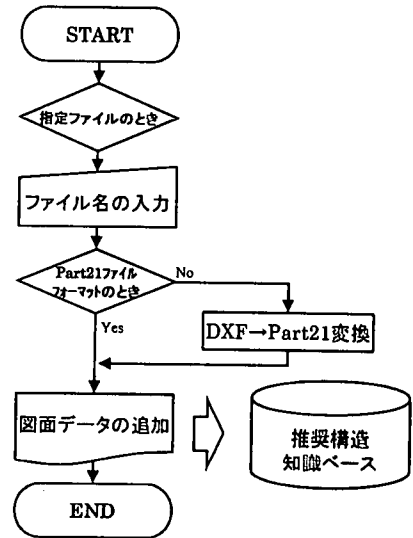


図-11(c) 図面ファイルの獲得手順

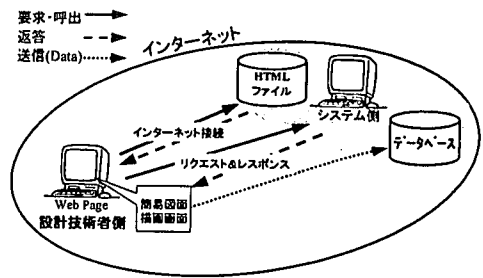


図-12(a) 図面の描画の構想

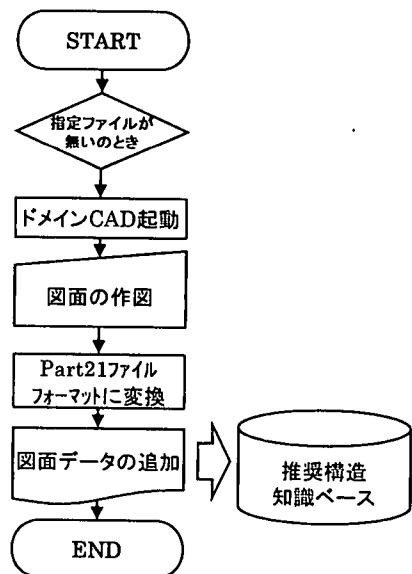


図-12(b) 図面の描画手順

Page 上でメインシステム（事例プロセス・支援プロセス）を利用でき、メインシステムで参照した事例データと知識情報を加工し、再利用できる。

### (1) 文書の共有

文書の共有の構想を図-13(a)に、共有手順を図-13(b)に示す。設計技術者が、Web Page 上で参照した損傷構造、推奨構造に関する文書を利用できるようにする。これにより、設計技術者は SGML により標準化された文書を、異なるマシン環境でもタグによる意味付けを保持した文書として加工を行うことができる。

### (2) 画像の共有

設計技術者が、Web Page 上で参照した損傷構造図の写真や略図を利用できるように共有を行う。設計技術者が詳細設計支援システムで参照した際に、データの利用が必要であれば、バイナリデータとして転送する。

### (3) 図面の共有

設計技術者が、Web Page 上で参照した推奨構造図を利用できるように共有を行う。図面の共有の構想を図-14(a)に示す。図-14(b)に複数の設計技術者の知識を取り入れた推奨構造図を獲得・洗練する手順を示す。図-14(c)に詳細設計を行う際に、システムが提示する推奨構造図を即時に加工して、図面データとして再利用する手順を示す。

このように、本システムを利用する設計技術者が、オンラインで推奨構造図を加工する機能をドメイン CAD に設けることで、図面を共有することが可能となる。

## 6. システムの開発と検証

インターネットを通じてオンラインで利用できるシステムにするため、プラットフォームに依存しない Java 言語を用いてシステムを開発する。

### (1) システムの開発

メインシステムは、Java 言語を用いて Java アプリケーションとして開発した。各計算プログラムはオブジェクト指向的に機能別に分散させた。知識獲得サブシステムは、同じ Web Page 上で損傷構造と推奨構造に関する文書を獲得できるように、Panel クラスを利用し、Java アプレットとして開発した

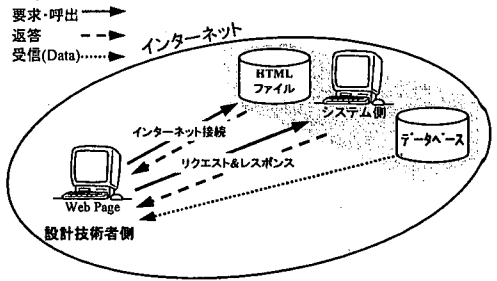


図-13(a) 文書の共有の構想

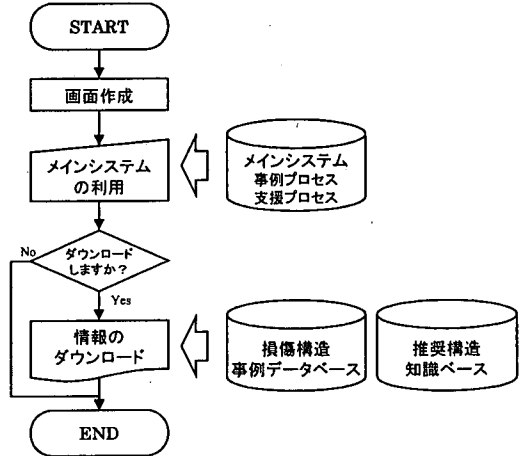


図-13(b) 文書の共有手順

(図-15(a)). また、知識共有サブシステムは、同じ Web Page 上で桁桁橋と箱桁橋の推奨構造に関する文書を獲得できるように、Panel クラスを利用して Java アプレットとして開発した (図-15(b)).

ドメイン CAD は図-15(c)に示すように Java アプレットで開発し、Web Page 上で利用できるようにした。ドメイン CAD は推奨構造図を描画・参照するメイン画面と幾何要素や推奨構造の AP に関するツール、および部材のデータを入力するダイアログボックスから構成される。Web Page 上のドメイン CAD にアクセスすると、作図画面と作図支援ツールボタンが表示される。作図支援ツールボタンは、Part42 に従った直線、円、円弧、テキストなどの幾何要素群と、新たに定義した推奨構造の AP に従った I 断面、切欠き部、ボルトなどの要素群から構成される。知識提供者はこれらの作図支援ツールボタンを利用して推奨構造図を描画する。

推奨構造図の描画が終われば、推奨構造の AP を用いた Part21 ファイルフォーマットに変換し、図面データの交換を行うようにした。

## (2) システムの利用と考察

設計技術者がシステムの Web Page にアクセスし、情報を提供する場合、文書は損傷構造および推奨構造に関する属性に値を入力することで、SGML に変換され、事例データベースおよび知識ベースに追加される。損傷構造の画像データはパスとファイル名を入力することで事例データベースに追加される。推奨構造図の獲得において、Part21 ファイルフォーマットはパスとファイル名を入力することで知識ベースに追加される。DXF ファイルフォーマットの場合には、幾何要素としてのみ Part21 ファイルフォーマットに変換し、知識ベースに追加する。これらの指定ファイルを知識提供者が保持していない場合は、ドメイン CAD を利用する。ドメイン CAD は Web Page にアクセスし、作図支援ツールを用いて描画することで、推奨構造の AP を用いた Part21 ファイルフォーマットに変換され、知識ベースに追加される。

また、詳細設計支援システムを利用するときは、知識共有サブシステムの Web Page にアクセスし、構造形式、着目ブロックを選択、そして事例プロセスか支援プロセスを決定する。事例プロセスでは課題を入力すると、知的事例検索が行われ、過去に疲労亀裂が発生した損傷構造が掲示される。支援プロセスでは課題を入力するとファジィ推論が行われ、専門家により提案された推奨構造が掲示される。掲示された文書データは設計技術者が SGML ファイルとして利用できる。推奨構造図のデータは、設計技術者がドメイン CAD を利用して参照および編集を行うことができる。

したがって、新設橋梁を設計する際に、本システムを利用することで、疲労亀裂が発生しにくい鋼道路橋の詳細設計を支援できる。また、本システムで扱ったデータを再利用することもできる。

本システムは 1999 年 4 月に実用システムとして公開する予定である。

## 7. あとがき

本研究では、疲労亀裂を未然に防ぐ詳細設計の実現を支援するシステムにおいて、推奨構造図の図面データの交換方法を拡張した。Part21 ファイルフォーマットによる交換方法に加え、DXF ファイルフォーマットによる交換方法を実現した。また、独自に開発したドメイン CAD を利用して、図面データを交換できるようにした。

Web Page 上でドメイン CAD を利用してシステム

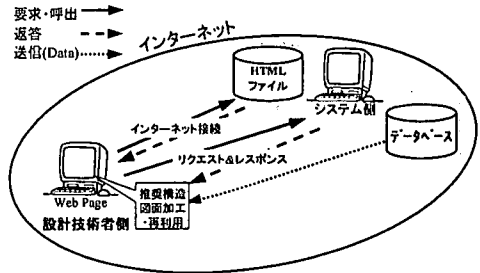


図-14(a) 図面の共有の構想

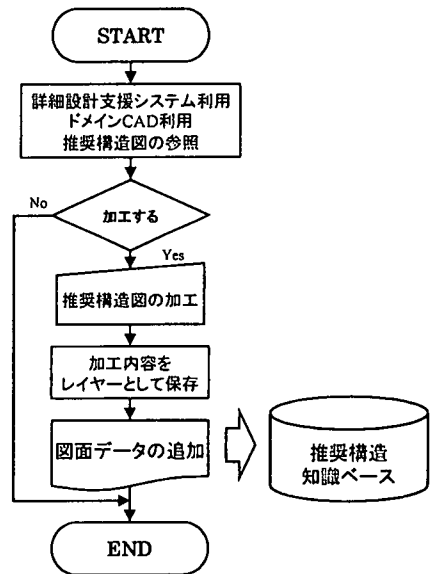


図-14(b) 図面の加工手順

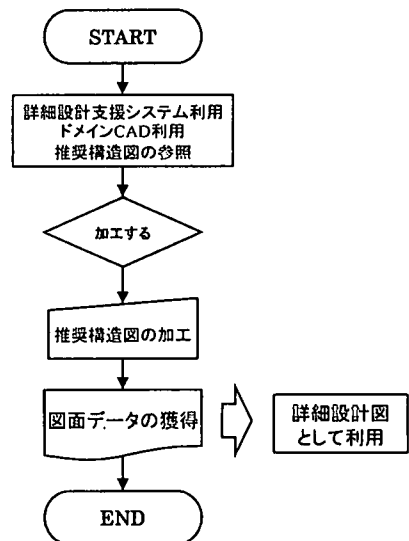


図-14(c) 図面の利用手順

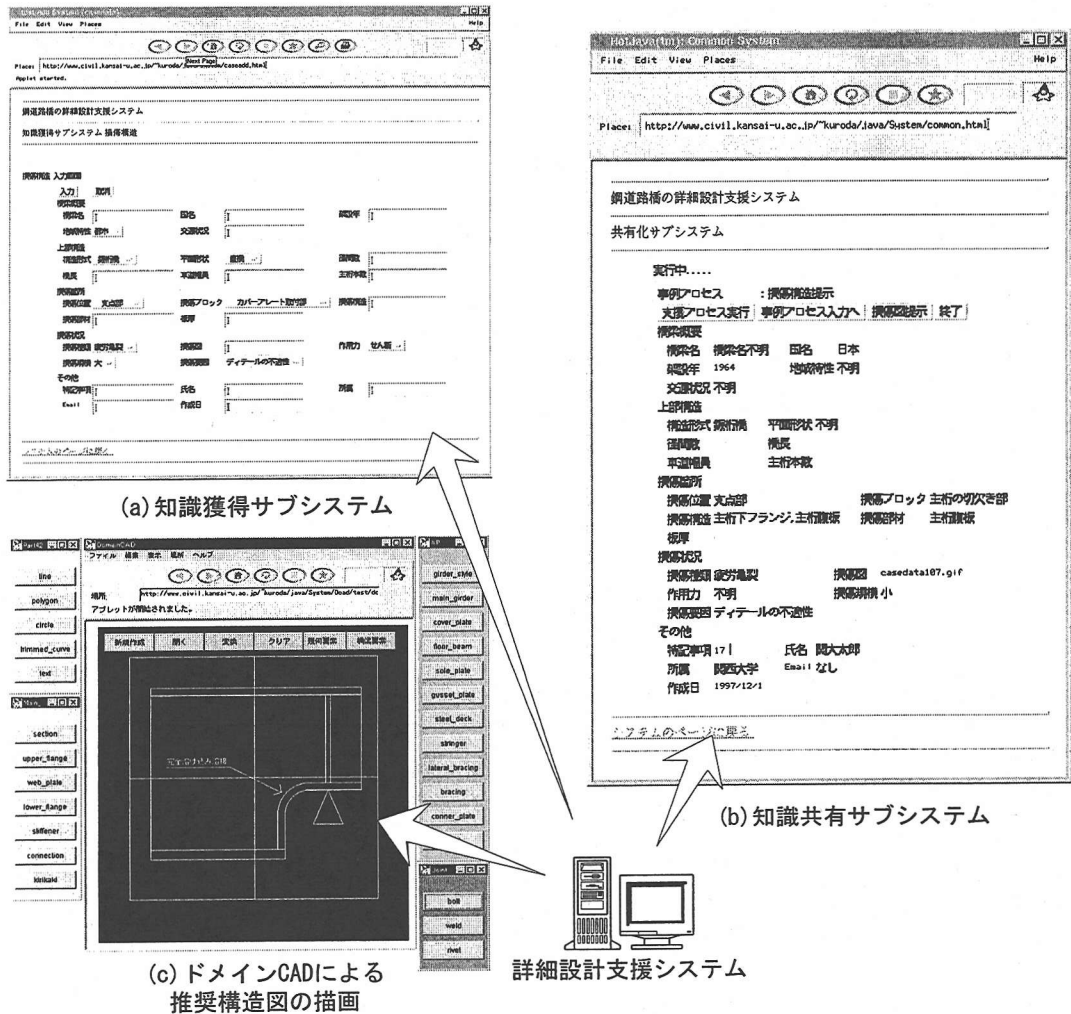


図-15 詳細設計支援システムの実行例

が保持している図面データの参照や加工が行えるように共有機能を拡張した。

図面の表現方法として鋼鈑桁・箱桁橋の推奨構造に関する AP を提案し、この規格を用いて部材情報を含んだ図面データを Part21 ファイルフォーマットで表現できるようにした。

これらにより、推奨構造図の獲得・洗練が促進され、設計技術者が推奨構造図を再利用できるようになった。

CALS を実践していく上で、本研究は ISO の SGML, JPEG, STEP などの標準化手法を積極的に活用しており、参考にしていただければ幸いである。

#### 参考文献

- 1) 三上市蔵, 田中成典, 黒田 護: 鋼道路橋の詳細設計業務を支援するためのファジイルールベースエキスパートシステムの開発, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.43A, pp.621-632, 1997.3.
- 2) 三上市蔵, 田中成典, 黒田 護: 鋼道路橋の詳細設計情報の標準化と知識獲得および共有化方法に関する研究, 土木情報システム論文集, 土木学会, Vol.6, pp.189-196, 1997.10.
- 3) 明野和彦: 建設 CALS/EC アクションプログラム, CALS Expo International 1997 Proceedings Track 1, pp.9-13, 1997.11.
- 4) 明野和彦: 建設 CALS/EC アクションプログラムの策定, 橋梁と基礎, 建設図書, Vol.31, pp.180-182, 1997.8.

- 5) 平岡成明, 本多 昭: 日本土木工業協会における CALS の推進, *CALS Expo International 1997 Proceedings Track 4*, pp.11-20, 1997.11.
- 6) Charles S. Han, John C. Kunz, and Kincho H. Law.: Internet-Based Computer-Aided Design: Leveraging Product Model, Distributed Object, and World Wide Web Standards., *Conference Proceeding of Structural Engineers World Wide 1998*, T191-4, 1998.7.
- 7) 塚田幸広, 磯部猛也: 土木分野における STEP AP 開発に関する基礎的研究, *CALS Expo International 1997 Proceedings Track 8*, pp.55-62, 1997.11.

(1998. 6. 2 受付)

## CALS-ORIENTED EXPERT SYSTEM FOR SUPPORTING DETAIL DESIGN OF STEEL HIGHWAY BRIDGES

Ichizou MIKAMI, Shigenori TANAKA, Mamoru KURODA and Shinichi MURATA

We had developed an expert system for supporting civil engineers who design the details of steel I- or box-girder bridges. This system was blushed up by adding to the function of knowledge acquisition and knowledge sharing. However, the system can deal with only Part21 format with geometric element in the exchange of desirable detail design data.

In this study, the expert system was added to the function that can easily acquire and share desirable detail design data. To standardize design data, an application protocol was proposed for desirable detail design.