

## I-13 3次元プロダクトモデルと電子タグによる

## 水圧鉄管の点検情報システム

An Inspection Data System of Penstocks by  
a 3D Product Model and Electronic Tags矢吹 信喜<sup>1</sup>齊藤 大輔<sup>2</sup>

Nobuyoshi Yabuki

Daisuke Saito

【抄録】本研究では、水力発電所の水圧鉄管の点検および点検情報管理を支援する目的で、3次元プロダクトモデルを中心に、現場検査支援システムおよび本部情報管理システムのシステムモデルを構築した。本モデルでは、音声入出力および電子タグを利用することにより現場検査を効率化し、本部においては、現場から送信された点検データを3次元プロダクトモデルに取り込み、3次元CADシステム、GISシステムおよび属性データ表示システムとデータ相互運用を行うことにより、点検情報管理を行うものである。本研究では、本モデルのプロトタイプシステムを開発し、有効性等の検討を行った。

【Abstract】In order to support the inspection and inspection data management for penstocks of hydroelectric powerstations, we developed a system model, which consists of a 3 dimensional product model, an in-situ inspection support system, and a headquarters data management system. In this model, the efficiency of in-situ inspection is improved by voice input/output and electronic tag systems. And after receiving data from sites, the inspection data management system at the headquarters stores such data in the product model. 3D-CAD, GIS, and property display systems are integrated by the interoperation through the product model. In this research, we developed a prototype system and tested its viability.

【キーワード】3次元プロダクトモデル, 3D-CAD, GIS, 電子タグ, 音声入出力, 点検

【Keywords】3D Product Model, 3D-CAD, GIS, Electronic Tag, Voice input/output, Inspection

## 1. はじめに

土木構造物の建設および完工後の維持管理において、点検・検査は重要である。一般に、土木構造物は巨大であり、多期にわたり安全にかつ経済的に供用し続ける必要がある。しかし実際には多種多様な環境下にあり、点検作業に際しては非常に多くの資料を携帯し、内容を克明に記録する必要があるが、現場の環境条件によっては点検箇所へのアクセスが困難な場合もあり、携帯できる装備・機器は限られる。今後劣化していく構造物を健全な状態に保っていくためには、現場の点検・検査業務の安定性・効率性・信頼性の向上を図る必要があると考えられる。

これまでに、ウェアラブルコンピュータ(wearable computer)<sup>1)</sup>を橋梁検査現場に導入す

るための検討をGarrettら<sup>2)</sup>は行い、水野ら<sup>3)</sup>は、現場検査員のウェアラブルコンピュータを移動通信端末により情報管理センターにつないで検査員を支援するシステムを構築している。また、膨大な点検データや橋梁の基本諸元、補修履歴等をデータベース化して橋の管理に役立てるBMS(Bridge Management System)に関する研究<sup>4) 5) 6)</sup>も盛んに進められている。また、橋梁のみならず水力発電所の鋼構造物に関しても点検・診断に関する研究<sup>7)</sup>が行われ、マニュアル<sup>8)</sup>も作成されている。さらに、水力設備の点検維持管理支援システム<sup>10)</sup>が構築されている。一方、非接触ICカードを埋め込んだ「情報杭」を現地に設置して、各種情報を現地で参照するシステムが開発され、これをGIS

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 E-mail:yabuki@news3.ce.muroran-it.ac.jp

2 学生員 室蘭工業大学大学院工学研究科建設システム工学専攻

( Geographic Information System) を利用して管理するシステム<sup>1)</sup>も構築されている。

ところで、こうした点検データをデータベース化する際、データベースアプリケーション・ソフトウェアに依存していることが多く、今後、長期にわたってデータを保存・蓄積しながら利用していくことを考えると、ソフトやハードに依存しない標準的なデータ仕様であることが望ましい。また、GIS や CAD

によって表現される空間あるいは構造的なデータも、他のシステムとの間で相互運用ができるよう標準的な構造物に関する共通データモデル(例えばプロダクトモデル)を適用させることが必要だと考えられる。

そこで本研究では、水力発電所の水圧鉄管を対象とした3次元プロダクトモデルを開発し、GIS、3次元 CAD 等の情報技術を用い、構造物の情報を統合的に管理する情報管理システムを提案する。さらに、現場検査員を支援するため、電子タグと音声入出力を用いた現場検査支援システムを提案する。本論文では、これらを統合化した点検情報管理システムのプロトタイプシステムについて述べる。

## 2. 点検情報管理システムの概要

本研究で提案する点検情報管理システムは、図-1に示すように現場検査支援システムと本部情報管理システムによって構成されている。前者では、電子タグと呼ばれる安価な小型メモリに検査記録を現場で音声あるいはキーボードから入力して検査対象物に貼り付ける。電子タグには検査記録のみならず、点検時における熟練技術者からのアドバイスも保存され、後で若年技術者が検査する際に検査対象物から直接電子タグにより情報を音声および文字によって引き出すことができる。また、点検結果レポートは、現場のウェアラブルまたはモバイルコンピュータより移動通信端末を通して本部情報管理システム内の点検データ蓄積システムに送信される。

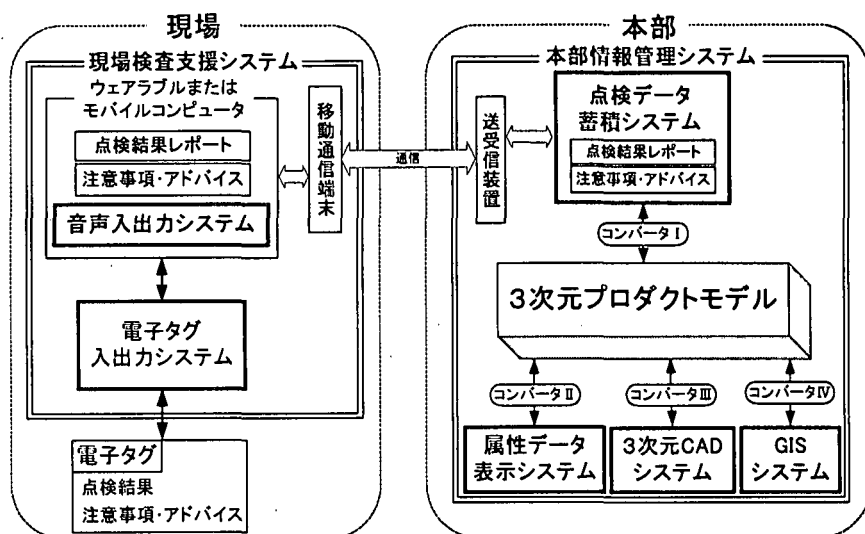


図-1 点検情報管理システムモデル

本部情報管理システムは、3次元プロダクトモデルを中心に、これにつながる4つのサブシステムで構成される。3次元プロダクトモデルは、オブジェクト指向を用いた共通データであり、各サブシステムは、コンバータによってデータが受け渡される。以下に4つのサブシステムの概略を示す。

- i) 点検データ蓄積システム：現場検査支援システムから送信された点検結果レポートが蓄積されるもので、この点検情報はコンバータを通して3次元プロダクトモデルに組み込まれる。
- ii) 属性データ表示システム：3次元プロダクトモデルに格納されている各部材の基本諸元や点検データおよび履歴等をブラウザで確認する。
- iii) 3次元 CAD システム：構造物のプロダクトモデルを作成したり表示するために使われ、また、現場で設置した電子タグを3次元 CAD モデル上に表示し、電子タグに保存された情報にリンクすることができる。
- iv) GIS システム：プロダクトモデルの座標データからGISを用いたマップ上に対象構造物のアイコンを表示し、その構造物のデータ表示画面へリンクすることができる。

## 3. 3次元プロダクトモデル

本研究で対象とした水力発電所の水圧鉄管モデルを図-2、図-3に示す。各部材がオブジェクトとなっており、それぞれ識別できるように番号が付された名称がつけられている。付属設備として露出直

管 ExposedStraightPipe02 と ExposedStraightPipe03 の間には伸縮継手 ExpansionJoint01 がある。また、ExposedStraightPipe03 と ExposedStraightPipe04 の間にはリングガーダ小支台 RingGirderSupport01 がある。

3次元プロダクトモデルは、構造物を構成するオブジェクトに関するデータの集合体である。データは、クラス、プロパティ、リレーションシップおよびインスタンスによって構成される。

クラスは、オブジェクトを作成するときに必要となる構成要素で、共通の特性を持つ部材として定義する（例えば ExposedStraightPipe や RingGirderSupport）。このクラスでは、各部材の形状や位置等を決定するのに必要なパラメータを定義する。

プロパティは、形状や部材の強度等、クラスの属性である。例えば、形状を決定する長さや幅、あるいは弾性係数、ポアソン比、材料（鋼種）等である。

リレーションシップは、オブジェクトの位置や相対関係を定義し、クラスの属性である位置を決定する座標等に具体的な数値を与える。相対関係には、supported by, attached to, installed to 等を設定した。例えば ExposedStraightPipe02 と CenterSleeve01 との間には、CenterSleeve01 is attached to ExposedStraightPipe02.の関係がある。

インスタンスは、クラスの具体的な例であるオブジェクトのことをいう。プロパティとリレーションシップをクラス内部の引数として与えることで、ExposedStraightPipe01 や CenterSleeve01 等といった具体的なオブジェクトが生成される。このようにクラス定義をしておき、それに属性を与えることで、新しいオブジェクトを容易に生成することが可能となる。

3次元プロダクトモデルの記述には XML (Extensible Markup Language) を使用した。XML の利点としては、テキストファイルであること、タグを自由に決定できること、厳格な階層構造を持つこと、データベースとしての検索が可能なこと、人間が理解できること等があげられる。図-4 に本研究で対象とした水圧鉄管の3次元プロダクトモデルを示す。

#### 4. 現場検査支援システム

本研究で提案する現場検査支援システムにおいては、現場検査員が検査箇所を選択し、目視・計測・触診・聴音・打診点検を行い、各部材における検査結果を音声等によりウェアラブルあるいはモバイルコンピュータに入力する。その後、電子タグを部材に貼り付け検査データを電子タグに入力して保存する。この作業を各部材あるいは検査箇所ごとに繰り返す、最後に本部へデータを送信する。

検査項目は、鋼構造物の診断マニュアル<sup>9)</sup>及び点検ガイドライン<sup>12)</sup>を参考にして、表-1のように分類した。以下に本研究で提案する現場検査支援システムの各コンポーネントについて記述する。

##### (1) 音声入出力システム

現場での作業効率の向上を目的として、電子タグの情報の入出力に音声入出力システムを採用した。現場の検査員はマイク付ヘッドホンを装備する。システム開発には音声合成認識ソフトウェア、ドキュメントーカ ver3.5 および Visual Basic6.0 を使用した。

現場検査員が行った点検結果例を図-5に示す。この例では、部材 ExposedStraightPipe05 が、下流から左側下部にピンホール大の漏れを確認し、両サイドには、長さ 20cm 深さ 1mm の傷があるとなっている。こうした点検データは、図-6に示すような XML で記述されたファイルの<inspection>に定義された各検査項目タグ内に自動的に入力される。

この点検結果レポートは、本部に送信されたあと検査履歴データベースとして3次元プロダクトモデルに蓄積される。

##### (2) 電子タグ入出力システム

電子タグシステムは、図-7に示すような電子タグ（読み書き自由の小型メモリ）とリーダライタ（電子タグ情報の読み取り・書き込み装置）で構成されている。電子タグを検査箇所に着着剤で貼り付け、リーダライタと携帯パソコンを用いてデータの読み書きを行う。

電子タグの主な特徴は、電氣的に自由に書き換えと読み出しが出来、通信には電磁誘導方式を用いているので、非接触的にデータを読み書きすることが可能であることである。

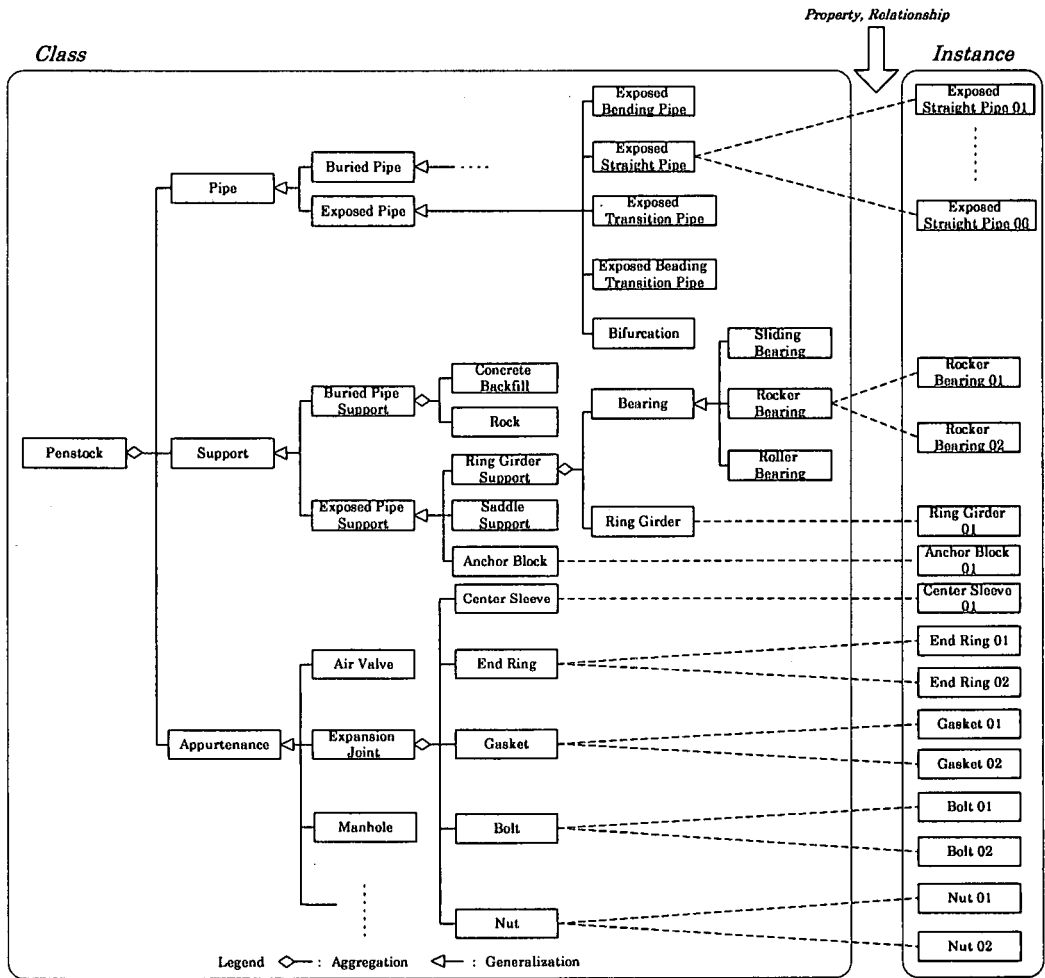
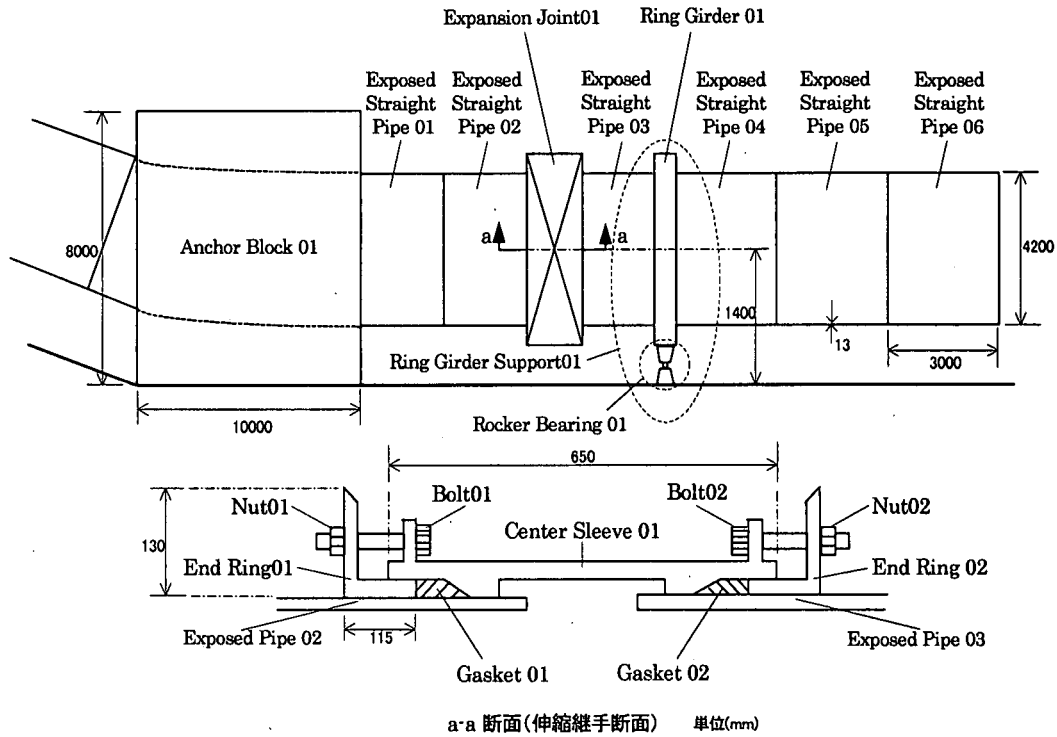


図-3 水圧鉄管のクラスとインスタンス



図-4 3次元プロダクトモデル

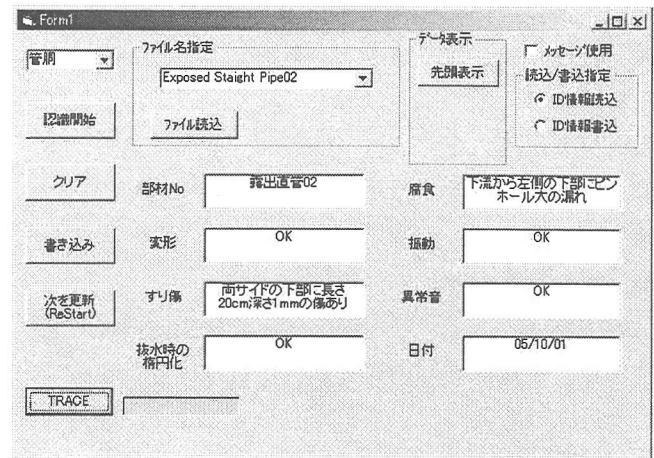


図-5 検査音声入力画面

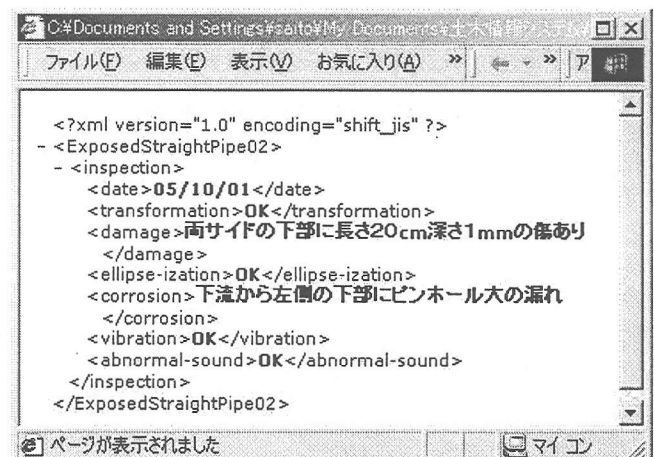


図-6 点検結果レポート

表-1 検査項目一覧

| 検査箇所  | 検査項目          | 検査方法       |
|-------|---------------|------------|
| 管胴    | 変形            | 目視         |
|       | すり傷           | 計測         |
|       | 放水時の楕円化       | 計測         |
|       | 腐食(外面)        | 目視及び計測     |
|       | (内面)          |            |
|       | 振動            | 目視及び触診     |
|       | 異常音           | 聴音         |
| 継手周辺  | 腐食(外面)        | 目視及び計測     |
|       | (内面)          |            |
|       | 異常音           | 聴音         |
|       | ボルト部の漏水       | 目視         |
|       | ボルト頭部の腐食      | 目視         |
|       | ボルトのゆるみ       | 目視及びテストハンマ |
| 固定台周辺 | 溶接部の割れ        | 目視         |
|       | 腐食(外面)        | 目視及び計測     |
|       | (内面)          |            |
|       | 異常音           | 聴音         |
| その他   | アンカブロック・支台の劣化 | 目視         |
|       | 周辺地山の変状       | 目視及び計測     |
|       | 水質            | 計測         |
|       | 流砂量           | 目視         |

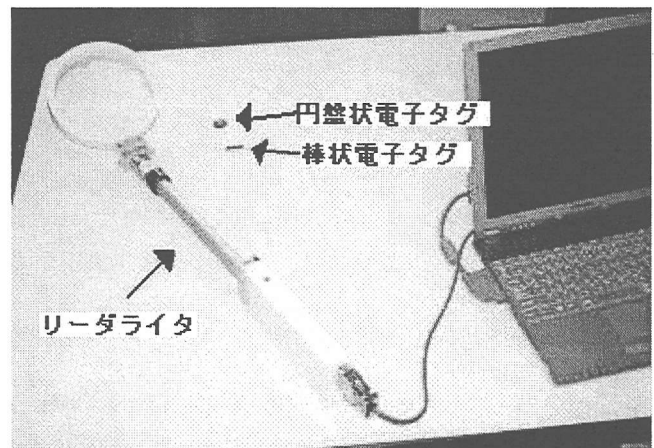


図-7 電子タグおよびリーダライタ

また、電子タグには、点検データ以外に若年技術者への支援を目的として、図-8に示すような現場検査における、その場その場での適切な注意事項・アドバイスを蓄えておいて、電子タグの色を変えて各構造部材の要所に貼り付けておく。このようにするとアドバイスをパソコンの画面や音声を通して確認することができ、若年技術者が、熟練点検者と一緒でないときでも適切な注意やアドバイスが得られるようになると考えられる。

電子タグは、主に接着剤等により検査個所に設置するが、設置作業が困難な場合には基準地点を設けて次の検査時において分かりやすい場所に設置する。

5. 本部情報管理システム

本研究で提案する本部情報管理システムでは、3次元プロダクトモデルを中心に4つのサブシステムがデータの相互運用を行えるようなコンバータを作成し、3次元プロダクトモデルと各システムとの統合化を図った。以下に各システムについて記述する。

(1) 点検データ蓄積システム

現場検査支援システムで作成され送信された点検結果レポートは、図-1に示すようにコンバータⅠを用いて3次元プロダクトモデルに組み込まれる。本研究では、Visual Basic6.0を用いてコンバータⅠを開発した。図-9に示すようにコンバータⅠは、点検結果レポートの情報を取得し、3次元プロダクトモデル内にある検査部材の<inspection>に点検データを挿入する。点検データレポートが本部に送信されてくると、コンバータⅠを用いて3次元プロダクトモデルに点検データを挿入する。これにより3次元プロダクトモデルは、データベースとしての役割を持つ。

(2) 属性データ表示システム

属性データ表示システムは、コンバータⅡを用いて各オブジェクトの情報をユーザーが簡単に確認できるように、各オブジェクトの XSL (Extensible Stylesheet Language) を CSS (Cascading Style Sheets) を用いてブラウザで表示するものである。コンバータⅡは、JavaScript を用いて開発され、3次元プロダクトモデルから対象構造物の属性を抽出

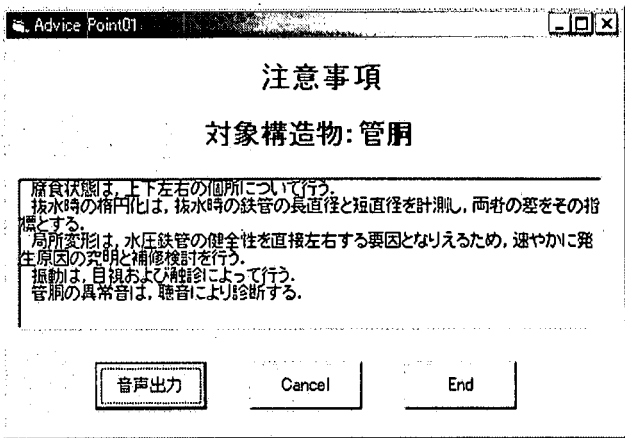


図-8 アドバイスポイント画面

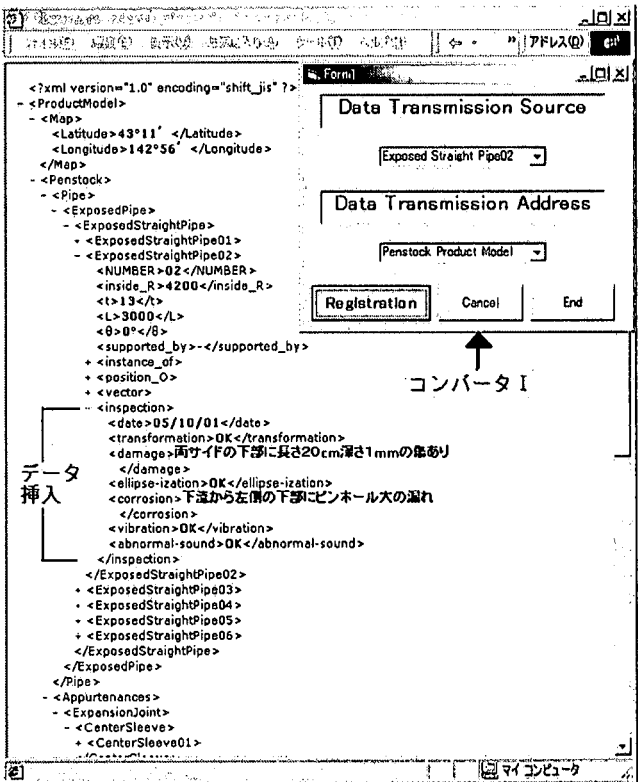


図-9 検査データ挿入画面

して XSL にデータを渡すものである。図-10は、部材データ選択画面であり、確認したい部材名をクリックすることで対象部材情報が図-11のように表示される。部材情報は、部材のクラスを定義する PropertySet、部材の形状や位置等を決定する Property および点検結果レポートの点検データ履歴である Inspection で構成される。ここでは点検データが1つしか表示されていないが、点検結果レポートが3次元プロダクトモデルに組み込まれるごとにその履歴が表示される。

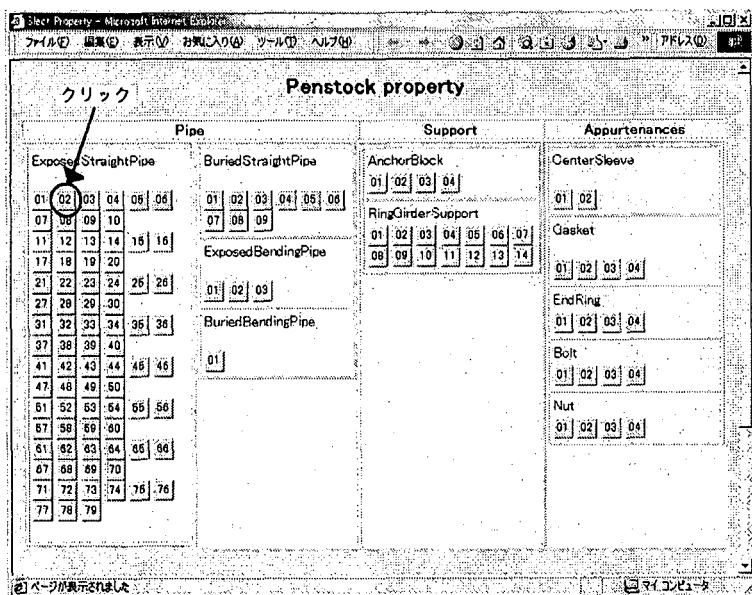


図-10 部材データ選択画面

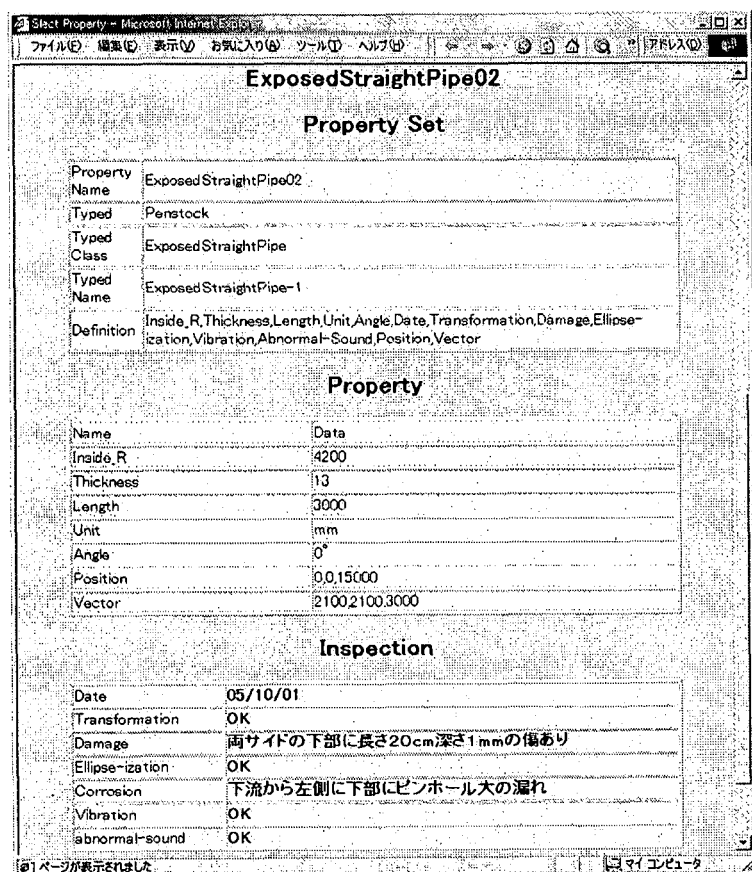


図-11 部材情報画面

### (3) 3次元CADシステム

3次元CADシステムは、コンバータⅢを用いて図-12に示すように、3次元プロダクトモデルの形状データから半自動的に3次元CADモデルを作成して、点検データの中から電子タグの位置とIDを読み取り電子タグオブジェクトを3次元CADモ

デルに表示する。電子タグオブジェクトをクリックすることにより、電子タグに保存されている点検情報を確認することが可能である。本研究では、AutoCAD2000iのアプリケーションが提供するVBA（Visual Basic for Application）のマクロ機能を用いてコンバータⅢを作成した。

### (4) GISシステム

図-13にコンバータⅣを用いたGISシステムを示す。GISシステムはMRB（Map Request Broker）<sup>13) 14)</sup>を参考にして、コンバータⅣが3次元プロダクトモデルから必要な情報を抽出し、GISマップ上に構造物のアイコンを表示するものである。GISマップ上のアイコンは、3次元プロダクトモデルを介して属性データ表示システムや3次元CADモデルの情報にリンクすることが可能である。GISソフトウェアには、GeoBasic21を使用した。GeoBasic21は、地図上に各種の情報、オブジェクト、あるいは他の情報へのリンクを貼り付けることが可能である。また、GISマップに用いた地図は、でんばつ地図ソフト<sup>15)</sup>から引用した。

### 6. おわりに

本研究では、現場検査業務支援と本部での構造物の検査情報管理の効率化を目的として、3次元プロダクトモデルと電子タグを用いた点検情報管理システムモデルを構築した。

現場検査支援システム、属性データ表示システム、3次元CADシステム、GISシステムを開発し、各システムを3次元

プロダクトモデルを中心としたデータ相互運用を行うためのコンバータを開発した。3次元プロダクトモデルの構築にXMLを使用することによって、現場検査支援システムからの情報を3次元プロダクトモデルに蓄えることができ、データベースとしての役割を持たせた。さらに、水力発電所の水圧鉄管を

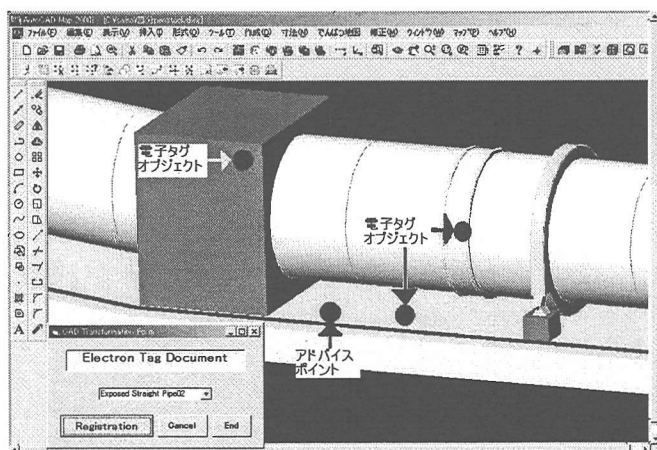


図-12 CAD変換画面

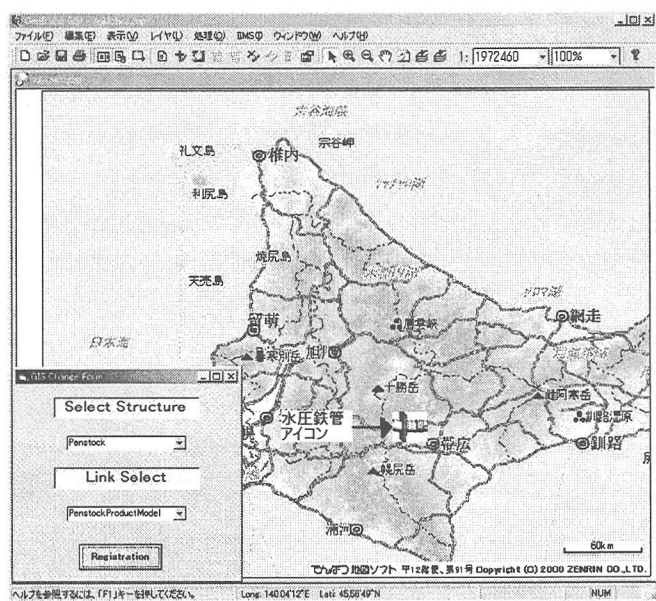


図-13 GIS変換画面

対象に本モデルを適用して、プロトタイプシステムを開発しその適用例を示した。

これにより、現場検査業務から本部の構造物管理情報取得までのシームレスな対応が可能になった。本研究では、適用した構造物が1つであったが、提案したシステムモデルは有効なものと考えられる。今後は、他の構造物に対しても適用していきたいと考えている。

**謝辞：**本研究を遂行するにあたりご協力を頂いた電源開発株式会社及び株式会社フジタの関係者の皆様に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) Ditlea, S. : The PC Goes Ready-to-Wear, IEEE Spectrum, Oct. 2000.
- 2) Garrett, G. H. Jr. and Smailasic, A : Wearable Computers for Field Inspectors - Delivering Data and Knowledge - Based Support in the Field, Artificial Intelligence in Structural Engineering, Springer, Smith, I. ed., pp.146-174, 1998.
- 3) 水野裕介, 阿部雅人, 藤野陽三, 阿部允: 情報技術 (IT) 援用による橋梁目視検査支援システムの構築, 土木情報システム論文集, Vol.9, pp.11-18, 2000.
- 4) 関博: 維持管理に関する研究展望, 土木学会論文集, No.557/V-34, pp.1-14, 1997.
- 5) 佐藤弘史: 土木構造物のライフサイクルおよび橋梁マネジメントシステム, 「ライフサイクルコスト」に関するワークショップ, 土木学会, pp.1-5, 1999.
- 6) 宮本文穂: 構造物維持管理支援システム, 土木学会誌, pp.10-13, 2000.
- 7) 中村秀治, 松浦真一, 寺野隆雄, 篠原靖志: 水力鋼構造物の寿命予測エキスパート・システムとその適用, 土木学会論文集, No.374/I-6, pp.513-521, 1986.
- 8) 土木学会構造工学委員会・計算機高度利用研究小委員会: 土木工学におけるコンピュータの高度利用技術, 1998.
- 9) 通商産業省資源エネルギー庁: 鋼構造物の診断マニュアル, 1993.
- 10) 塚井直樹, 木村光良, 清水雄一: 水力発電所土木工作物点検支援システムの開発, 電力土木, No.292, pp.24-28, 2001.
- 11) 榎本秀樹, 佐田達典, 大橋敏行: 非接触 IC カードと GIS を用いた空間情報システム, 土木情報システム講演集, pp.31-34, 1998.
- 12) Guidelines for Inspection and Monitoring of In-Service Penstocks.
- 13) <http://www.mrb.ne.jp/mrb/>
- 14) <http://gisclh.dpc.or.jp/gxml/contents/index.htm>
- 15) でんぱつ地図ソフト Ver1.1, 2000.