

## 1-2 情報技術(IT)援用による橋梁の目視検査支援システムの構築

## Development of Interactive Support System for Bridge Visual Inspection

水野 裕介*	阿部 雅人**	藤野 陽三***	阿部 允****
Yusuke Mizuno	Masato Abe	Yozo Fujino	Makoto Abe

【抄録】本研究では橋梁目視検査の効率化を目指し、熟練した検査員の専門的知識・経験を補完し、意志決定に対していくつかの代替案を提示することにより支援を行うシステムを構築した。本システムは、クライアント(検査者)端末の負担軽減、処理の高速化・情報の大容量化、情報の一元管理を実現するためクライアント/サーバ形式を採用し、サーバ側ではオープンソースのソフトウェアを用いてデータベース連携による Web アプリケーションの構築を行った。なお、クライアント端末には携帯性に優れたウェアラブルコンピュータを採用した。また、移動通信端末を用いることでサーバとインタラクティブな情報交換を実現した。

【Abstract】 A prototype of the interactive support system for bridge visual inspection has been developed. The aims of this system are to complement a technical knowledge of skilled inspectors and to suggest several alternatives concerned with decision-making in the bridge site. A client/server system was adopted in order to reduce client-terminals' load, to compute at a high speed, and to store and centralize a great amount of information. Open-source software packages were installed in the server and a web-application tied-up with a database system containing reports of bridge visual inspections was constructed. Using a wearable computer and a mobile communication device implemented a hands-free operation and a seamless communication between the client and the server.

【キーワード】 橋梁維持管理, 目視検査, ウェアラブルコンピュータ, Web アプリケーション, データベース, 移動体通信

【Keywords】 bridge management, visual inspection, wearable computer, Web application, database, mobile communication

## 1. はじめに

これまで継続的に蓄積されてきた社会基盤施設の経年劣化に伴い今後その維持管理が重要な問題となりつつある。現在においても設計時に想定された年数を超えて供用されているものが少なくなく、今後この傾向はますます顕著になると考えられる。これにより、維持管理費の増大が構造物管理者にとって

大きな負担となることが予想される。

構造物の維持管理業務の中でも検査作業は構造物の現状把握のために重要である。しかし、判断には非常に多くの情報を必要とし、かつ現場という環境条件から検査箇所へのアクセスが困難である場合も多く、携帯できる装備・機器は限られる。そのため、検査は熟練した検査員の専門的知識や経験に大きく依存している。また、このような専門的知識や経験

*	学生員	東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻	mizuno@bridge.t.u-tokyo.ac.jp
**	正会員	東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻・助教授	masato@bridge.t.u-tokyo.ac.jp
***	フェロー	東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻・教授 (〒113-8656 文京区本郷 7-3-1 Tel:03-5841-6099 Fax:03-5841-7454)	fujino@bridge.t.u-tokyo.ac.jp
****	正会員	株式会社 BMC (〒261-7125 千葉市美浜区中瀬 2-6 WBG マリブウェスト 25F Tel:043-297-0207 Fax:043-297-0208)	abem@pop16.odn.ne.jp

を他の検査員に継承・伝達することはきわめて難しく、検査員のスキル向上には多くの時間と労力を要する。

アメリカにおいては、各州で包括的な橋梁マネジメントシステム(BMS)の運用が行われており、多くの州が橋梁の維持管理計画の最適化を行うために PONTIS<sup>[1],[2],[3]</sup>を採用しているが、このソフトウェアには検査支援機能は含まれていない。また、近年日本においてもその必要性が認識され、BMSに関する研究<sup>[4],[5]</sup>が行われているが、橋梁検査の効率化・信頼性の向上を取り扱ったものはなく、データベースに蓄積された検査記録を橋梁検査現場にフィードバックする仕組みがない。Garrett<sup>[6]</sup>らはウェアラブルコンピュータを橋梁検査現場に導入するための研究を行っており、主にウェアラブルコンピュータを検査の収録装置として捉えてインターフェースのシステムデザインを行っているが、検査員の意志決定を支援する手法に関しては可能性と有効性を議論するにとどまっている。

そこで本研究では、検査の効率化と合理化を目指し、熟練した検査員の専門的知識・経験を補完し、検査員の意志決定に対していくつかの代替案を提示することにより支援を行うシステムのプロトタイプ構築を行った。クライアント(検査者)端末の負担軽減、処理の高速化・情報の大容量化、情報の一元管理を実現するためクライアント/サーバ形式を採用し、サーバ側ではデータベース連携による Web アプリケーションの構築を行った。また、サーバ側の開発環境に Java を採用し、汎用性の高いプラットフォーム非依存のシステムを構築した。

## 2. 目視検査支援システム

### (1) 目視検査支援の手法

本研究では熟練した検査員の専門的知識・経験を補完する目視検査支援システムの構築を行う。支援システムは、ある程度訓練を受けた検査員を対象とする。新幹線等の鋼鉄道橋維持管理データをもとにデータベースを構築し、検査員に対し膨大な情報の中から必要な情報のみを抽出し、検査員の判断に対していくつかの代替案を提示することにより支援を

行う。本研究では目視検査における支援手法として次に示す手法の提案を行い、特に(c)変状発見時のチェック項目の表示について目視検査支援システムのプロトタイプに実装を行った。

### (a) 検査項目の絞り込み・ランク付け

検査項目の絞り込み・ランク付けとして、注意して検査すべき部位(クリティカルメンバー)の抽出がある。このクリティカルメンバーの優先順位の高いものから検査を行うことで、検査の省力化が図られ、橋梁の致命的損傷のチェック漏れを防ぐことができる。クリティカルメンバーの抽出方法を図-1に示す。まず、既往の検査データの中から橋梁形式、設計標準、経年といったアイテムを抽出する。次に抽出されたアイテムを用いて例えば橋梁形式と部材、部位の関係、橋梁形式と設計標準の関係といった既知のルールを構成する。そこで検査員から、き裂発生箇所について上路プレートガーダー、スパン 30m、経年 35 年といった条件入力があった場合、既知のルールの中に該当するものが存在すれば、主桁補剛材上端、主桁腹板、主桁フランジというように優先順位をつけて情報支援を行う。該当するものがない場合には既知のルールから論理演算により新たなルールを作成し、検査員に支援を行う。新たなルールが作成された場合、そのルールは既知のルールに追加される。また、支援を受けた検査員の検査報告によりルールの検証が行われる。

### (b) 点検ルートの最適化

絞り込み・ランク付けを行った検査項目は橋梁の各所に分布しており、検査の効率化を行うためには、点検ルートの最適化が必要となる。点検ルートの最

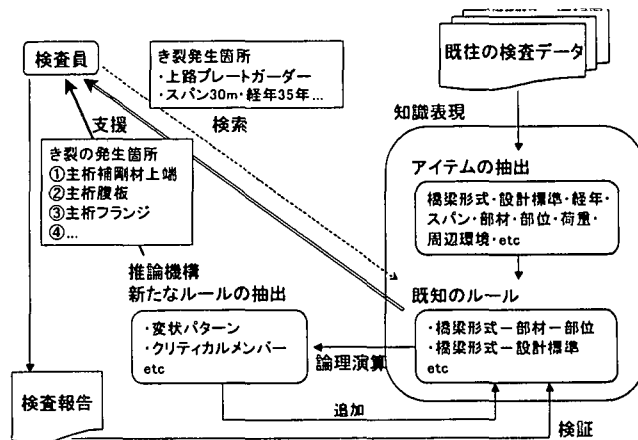


図-1 クリティカルメンバーの抽出

適化は、検査項目を橋梁図面等の位置情報とリンクさせて行うが、あらかじめ橋梁図面に部材・部位といった情報や検査通路の有無などのアクセスするための情報を位置情報として組み込んでおく。

(c) 変状発見時のチェック項目の表示

変状を発見した際に、支援システムの機能として、検査員がどう対処すべきかというチェック項目の提示が有効と考えられる。チェック項目の抽出方法としては、検査マニュアルや保守標準等から導出するルールベース手法と既往の検査記録から情報を引き出すケースベース手法とがある。本研究では、検査員が変状を発見した際に、①その変状の原因を特定する支援情報として既往の検査記録から変状の原因を整理した情報と、②その変状が重大な変状で直ちに何らかの措置をとる必要のあるAA変状であるかどうかを判定する情報として建造物保守管理の標準(案)同解説 鋼構造物<sup>[7]</sup>から抽出しルールベース化した情報を提示する手法を検討した。

(d) 入力作業の省力化・効率化

変状を発見した際には、変状を記録することが必要となる。記録作業を効率化する手法としては、音声による入力や画像による入力が挙げられる。現場においては手書き入力・キーボード入力は困難であり、音声入力が可能になると作業性が飛躍的に向上する。画像入力の利点としては、これまで検査員が状況を記録するために行っていたスケッチを省くことができ、また、静止画だけでなく動画を記録することにより、例えば活荷重によりき裂の開口量がどのように変化するかといった情報などはこれまで検査員が言葉で記録したものに比べ多くの情報を記録することができる。また、変状の情報を言葉で記録する際に検査員の主観が入り込む余地があるが、それを画像で置き換えることで客観性が保たれる。音声入力、画像入力ともにそのままの情報は無駄な部分を多く含んでおり、有用な情報を抽出する音声認識・画像認識の技術が必要である。

(2) プロトタイプに採用したハードウェア

支援システムは、図-2に示した、データベースおよび推論機構をサーバ上で構築し、検査員は端末を用いてサーバにアクセスし作業支援を受ける。サーバと端末はインターネットを通じて接続され、双方

向のインタラクティブなシステム構築が可能となる。このような端末とサーバの高速双方向通信により、端末の負担軽減、処理の高速化・情報の大容量化、情報の一元管理が可能になる。

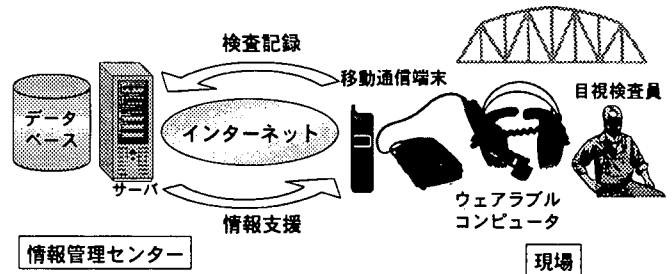


図-2 インタラクティブな支援システムの構築

表-1 サーバ諸元

DELL DIMENSION XPS D300	
CPU	Pentium II 300MHz
RAM	64MB
HDD	4GB
NIC	3Com Fast EtherLink XL 10/100Mb TX
OS	日本語 Red Hat Linux 5.2

表-2 ウェアラブルコンピュータ諸元

Mobile Assistant-IV™ (Xybernaut K.K.)

■ヘッドマウントディスプレイ

VGA color monocular 640 X 480 resolution

■コンピュータ本体

CPU	Intel Pentium MMX 200MHz
RAM	32MB(on Board) + 64MB
HDD	2.1GB
OS	Windows98

表-1に採用したサーバ用PCのスペックを示す。検査員側の端末として、本研究ではウェアラブルコンピュータ(Xybernaut®社製 Mobile Assistant IV™)を採用した。そのスペックを表-2に示す。携帯性に関してウェアラブルコンピュータは他のモバイル機器に比べてはるかに優れており、現場作業で要求されるハンズフリーを実現する。

また、ウェアラブルコンピュータに用いる通信デバイスとして、PHSまたは携帯電話を用いる。これらの通信機器はPCカードを介してコンピュータと接続する。DoPaはNTT DoCoMoが行っているパケット通信方式を採用したモバイルデータ通信サービスであり、最高速度28.8kbpsのデータ伝送を実現する。これらPHS(64/32Kbps)、DoPa

(28.8Kbps),通常の携帯電話(9600bps)はそれぞれサービスエリアが異なっているため実際にウェアラブルコンピュータを使用する場所で通信速度の大きいものを選ぶ必要がある。

(2) プロトタイプに採用したソフトウェア

端末とサーバの連携のようすを図-3に示す。サーバ側で用いるソフトウェアを表-3に示す。

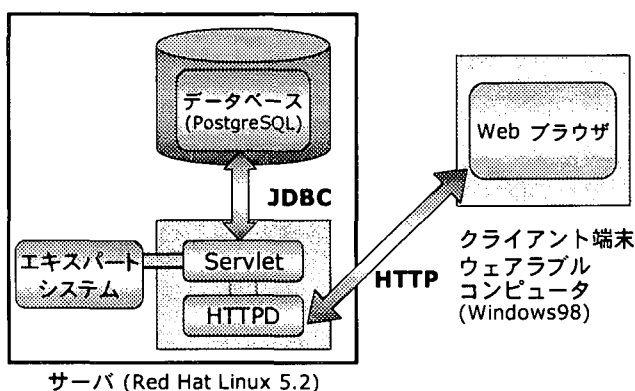


図-3 DB連携によるWebアプリケーションの構築

表-3 サーバ上のソフトウェア環境

RDBMS	PostgreSQL 6.4.2
HTTPD	Apache HTTPD Server 1.3.6
Java開発環境	Java Development Kit 1.1.6
Java Servlet開発環境	Java Servlet Development Kit 2.0
Servlet Engine	Apache Jserv 1.0
Expert System Shell	Java Expert System Shell 5.0

RDBMS (リレーショナル・データベース・マネジメント・システム)として、PostgreSQLを採用した。PostgreSQL6.4.2に関して、多くの情報が書籍およびインターネット上にあり、稼働例の報告も多いことから採用を決定した。本ソフトウェアについては次章で述べる。

WebサーバソフトとしてApache HTTPD Server 1.3.6を用いる。また、Java開発環境として、Java Development Kit 1.1.6, サブレット開発環境としてJava Servlet Development Kit 2.0, Webサーバ上でサブレットを動作させるためのサブレットエンジンとしてApache Jserv 1.0を採用する。これらのソフトウェアの組み合わせに関しても、書籍・インターネット上における情報・稼働例をもとに採用を決定した。

本システムでは、ユーザインターフェースおよび

データの検索をJava言語により記述する。インターネットのようなネットワークサービスの中に組み込まれて動作するJavaアプリケーションには、アプレットとサブレットがある。アプレットは、クライアントの要求によりアプレットがサーバからクライアント側に送られ、クライアント上のアプレット対応のブラウザで動作する。サブレットは、クライアントの要求を受けてプログラムがサーバ上で動作し、その結果をブラウザを通してクライアント側に伝えるものである。サブレットを用いて、動的なWebページの作成、サーバ・サイド・インクルード、フォームの処理、URLリダイレクション、HTTP Cookie、クライアント/Webサーバ/データベースあるいはリモートサーバなどで構成される多層モデルの構築が可能になる。なお、これらの機能はCGI(Common Gateway Interface)においても実現できる。CGIがクライアントからアクセスがある度に起動プロセスを実行するのに対して、サブレットはWebサーバの起動時に常駐する。そのため毎回起動プロセスを必要とするCGIよりも早く動作することが可能である。また、CGIはマルチスレッドでは動作しないが、サブレットはクライアントからリクエストがある度にスレッドを生成して動作する。そのため、メモリの圧迫、サーバの負担が小さいという利点を持つ。

3. 目視検査データベース

(1) PostgreSQL

本研究で採用したPostgreSQLはRDBMSの標準言語であるSQL92(1992年にISOで1995年にJISで規格化)をサポートしている。トランザクション、副問い合わせ、主キーなどのSQL92の重要な機能のほとんどをサポートし、多くのUNIXおよびUNIX互換システム上で動作が確認されている。また、PostgreSQLは無償で利用でき、完全なコードが公開されているソフトウェアである。そのため多くの開発者により常に改良、バグフィックスが行われ、その情報はインターネット上で公開されているなど、サポート情報も多い。さらにPostgreSQLは多様なプログラミングインターフェース(C, C++,

Tcl/Tk, Perl, Java 等)をサポートしており、サードパーティから PHP/FI, ruby などの各種インターフェースが提供されている。他の特徴として、クライアント/サーバ方式の採用、日本語化・国際化対応が挙げられる。PostgreSQL には Java で記述されたプログラムでクライアントからアクセスするための JDBC API 準拠のドライバが付属する。

(2) データベース構造

本研究では、新幹線等の鋼鉄道橋における目視検査記録を Web との連携可能なデータベースシステム上に移植した。データベースの各テーブル間の関係は図-4 に示すような構造になっている。また、データベースは、検査結果の客観性を高め、データの共有化を行うため、橋梁形式、部材、部位1、部位2、部位3、変状名に関して用語の統一が図られている。部材～変状名は橋梁形式によりそれぞれ定義されている。図-4 に示したように、損傷判定、対策パターン等の各テーブルはこれら部材～変状名のキーワードで登録されており、これらのキーワードにより検索が可能となっている。

(3) データベース検索による情報支援

構築したデータベースの変状記録に関して、変状が多く報告されている支承部に着目し、原因のパターン化を行った。パターン化の方法として、「原因」に含まれる文字列を手がかりに 22 パターンに分類した。以下にその例を示す。

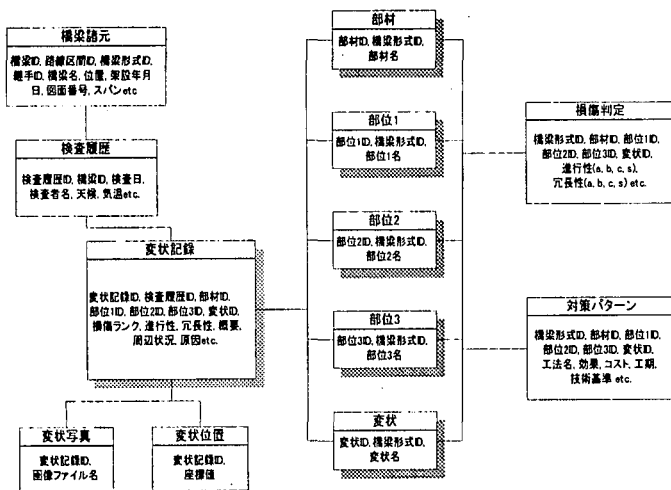


図-4 データベース構造

- 支点のズレ
- 部材間の隙間
- 列車荷重の繰り返し
- 支点部の沈下
- リベットの打ち込み不足
- 鋼脚柱の沈下
- シューの可動不良
- 施工不良
- 桁の移動
- ソールプレートの摩耗

図-5 には、下路プレートガーダー橋の支承部シューの損傷について変状原因を表示したものである。原因の右側に示されている「ヒット数」は5項目が一致する変状記録の中で原因のパターンが一致する記録の項目である。パターンの照合は文字列を照合することで行っており、変状記録によっては複数のパターンに照合するものが存在する。そのためヒット数の合計は、必ずしも同じ5項目を有する変状記録の数に一致しない。

ここでは変状の原因をパターン化する作業を手作業で行った。手作業のパターン化には時間と労力を要し、そのため膨大な数の変状記録においてパターン化を行うのは困難である。また、このようなパターン化を行うことで、データベースに蓄積された情報を有効に活用するためには、個々の項目(カラム)があらかじめパターン化・数値化されている必要があるかまたは、膨大なテキストデータを効率的に扱うためには、テキスト・マイニング等の何らかの手法を用いて整理する必要があることがわかった。

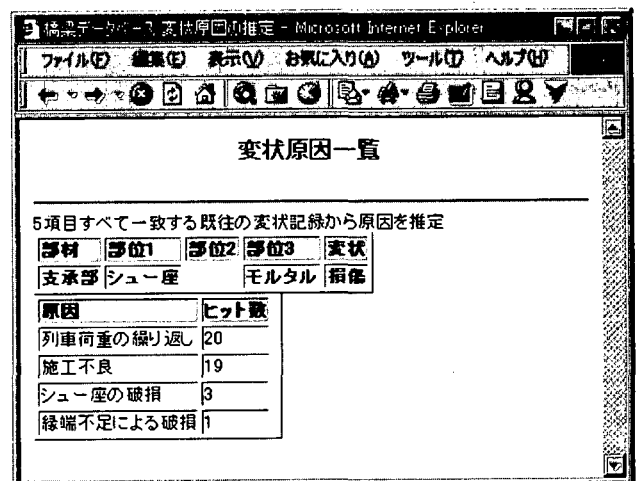


図-5 変状原因の推定

#### 4. プロダクションシステムによる情報支援

##### (1) Jess(Java Expert System Shell)

本研究では、前向き推論型のプロダクションシステムとして、Jess(Java Expert System Shell)を採用した。Jessは、Sandia National Laboratoriesが開発を行ったオープンソースコードのプログラムであり(<http://herzberg.ca.sandia.gov/jess/>), OPS 5の構文を採用した、Java 言語で記述されたエキスパートシステムシェルである。JessはReteアルゴリズムを用いて高速推論を行う。コードはすべてJavaで記述されており、JessからJavaのfunctionを呼び出したり、JavaコードでJessの機能を拡張したり、JavaアプリケーションにJessを埋め込むことが可能である。

##### (2) 情報支援手法

本研究では、検査員の変状記録入力に際し、ルールベースを用いて付加情報を与えることで検査員の支援を行う。これにより、データベースには目視検査記録を、ルールベースには検査マニュアルや保守標準を蓄積することでそれぞれが独立しており、一方が変更されても他方に影響を与えず、データのメンテナンスが容易になる。

##### (a) 知識ベースとしてのAA変状の判断

本研究ではすでに知識ベース化されたAA変状の判断基準をプロダクションルールとしてシステムに実装することを試みた。AA変状は、建造物保守管理の標準(案)同解説 鋼構造物<sup>7)</sup>で「AAの判定は現場の全般検査において、運転保安および旅客公衆などの安全を脅かす重大な変状や欠陥に対して与えられるもので、直ちに何らかの措置をとる必要のあるものである。」と規定されている。ここでは、検査員が変状を発見し、変状記録として部材、部位、変状名の5項目を選択した際に、その変状がAA変状のおそれがあるかどうかという情報を提供し、またAA変状のおそれがある場合その判定基準を提示することで支援を行うことを提案する。AA変状の判断基準は次の場合を標準としている。

- ①主要部材の機能に重要な影響を与えるき裂や破断がある場合
- ②主要部材の連結ボルト・リベットが構造物の

安全に影響する本数に弛みや破断、逸脱が生じた場合

- ③支点部に著しい変状や沈下が生じた場合
  - ④構造物に異常な変位やたわみが生じた場合
  - ⑤直ちに処置しなければ、旅客や第三者に重大な被害を及ぼすと考えられる場合
  - ⑥その他、構造物の強度や列車の走行性に重大な影響を与える変状やその恐れのある場合
- 例として、保守管理標準に記載されているAA変状の判断基準の中から支点部の変状に関するものを表-4に示す。

表-4 支点部の著しい変状と支点沈下

構造	記事	現状と量
全構造	シュー本体の割れ	全段面破断
上路プレートガーダー合成桁	支点沈下	おおよそ15mm以上
下路プレートガーダートラス	支点沈下	おおよそ25mm以上

##### (b) 知識ベースの実装

AA変状の判定基準の実装について、OSP 5に準拠したJessの構文で記述するとルールは次のように表現される。

```
(defrule AA変状判定基準**
  (変状記録(橋梁形式 ***)
   (部材 ***)
   (部位1 ***)
   (部位2 ***)
   (部位3 ***)
   (変状名 ***)
```

=>

```
(printout t "AA変状判定基準:**") )
```

ルールは、橋梁形式、部材、部位、変状名をパラメータとした条件部と、出力としてAA変状判定基準を得る実行部からなる。表-4に示されたルールはこのような書式に変換され、システムに実装された。プロダクションルールによる出力結果を図-6に示す。「支承部シューの損傷」を参照しているが、これは表-4にある「支点部の著しい変状と支点沈下」に該当しているため、AA変状の判定基準である「シュー本体の割れ 全断面破断」が提示されている。これにより本システムを使用することにより検査員は変状を発見した際にその変状がAA変状であるかどうかを直ちに判断することが可能になった。

本プロトタイプでは、一回の入力に対し出力を得

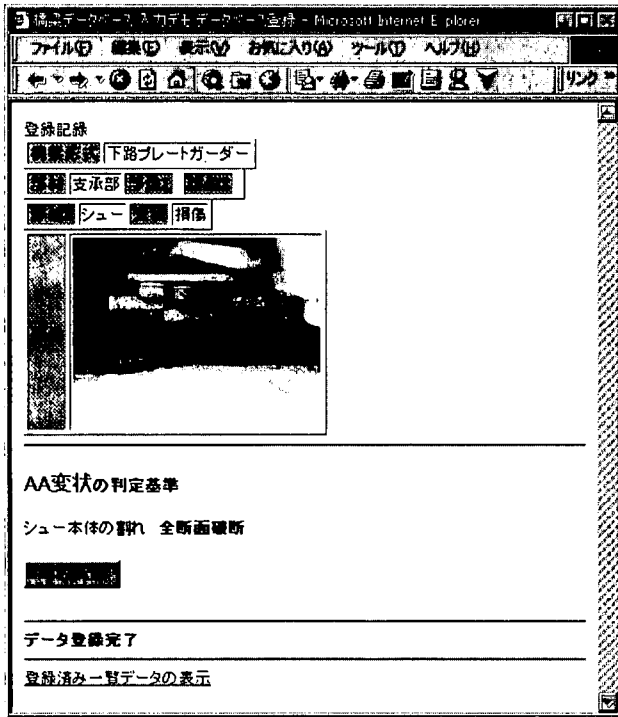


図-6 AA変状の判定基準の提示

るという形式で、非常に簡単なものであるが、Jessをシステムに実装し、プロダクションルールによる情報支援が可能であることを示すことが出来た。今後、より複雑なルールの実装としてマニュアル等の既存知識ベースからのルール選別、熟練技術者のインタビューによる知識ベースの構築を行うことが課題である。

## 5. プロトタイプの有効性の評価

### (1) 検査員へのヒアリング調査

本調査においては、橋梁検査員がウェアラブルコンピュータを装着し、移动通信端末を用いてインターネット経由でサーバ上のデータベース検索を行うデモを体験した後で、データベースと連携したWebアプリケーションとウェアラブルコンピュータで構成される支援システムに関するヒアリングを行った。

- 調査場所：東海道新幹線構造物検査センター  
現業総合事務所
- 調査日：2000年2月2日
- 橋梁検査員：東海道新幹線構造物検査センター検査員

検査員の意見としては、ウェアラブルコンピュー

タの入力インターフェースに関するものが多かった。現場に導入するためのメリットとして入力作業の省力化を期待する意見や現状のポインティングデバイスの操作が難しく訓練を要するところに意見が集中した。また、現場における入力デバイスとして音声入力・画像入力機能を要望する意見があった。

### (2) 橋梁サイトにおけるデータ転送実験

#### (a) 実験の諸元

本実験は、実際の橋梁サイトからインターネット経由でサーバ上のデータベース参照、登録を行い、橋梁目視検査における検査支援の手法として、ウェアラブルコンピュータの導入および移动通信端末の導入について考察する。実験は、都内の鋼鉄道橋において行った。

データベース参照では、3章で述べた手法を用いて支承部のシュー座モルタルに損傷を発見したと仮定して、原因パターンを参照した。また、データベース登録は以下の手順で行った。

1. ウェアラブルコンピュータ付属の CCD カメラを用いて画像を取得
2. Web ブラウザからサーバに画像ファイルを送信
3. 項目(橋梁形式, 部材・部位, 変状名)を選択
4. 登録結果の表示

送信した画像ファイルは、JPEG 画像(320×240ピクセル, 24bit カラー, 20~30KB)および DIB 画像(320×240ピクセル, 24bit カラー, 70~80KB)の2種類である。

#### (b) ウェアラブルコンピュータの評価

現場でウェアラブルコンピュータを使用することで主に2つのハードウェアに関する問題点が指摘された。一つは、直射日光の当たるような明るい場所ではヘッドマウントディスプレイの視認性が悪く、手で覆うなどして画面の周りを暗くする必要があることである。もう一つは、本体とヘッドマウントディスプレイやバッテリーを接続するケーブルが現場での作業の支障になるおそれがあることである。

#### (c) 移动通信端末の評価

データベース参照はテキストベースの情報を送信するため、通信デバイスとして PHS(64Kbps)と DoPa(28.8Kbps)の2種類に関し評価を行い、結果

として、送受信するデータ量が数 KB と小さかったため、ともにデータ送受信にかかる待ち時間はそれほど変わらなかった。JPEG ファイルの画像転送は通信デバイスに PHS, DoPa を使用した場合はそれぞれ 2~3 秒, 6~7 秒を要した。DIB ファイルの場合それぞれ 5~6 秒, 10~15 秒を要した。いずれの場合にも転送にそれほどストレスを感じることはなく、100KB 未満のファイルを転送することに関しては実用的な速度であることが確認された。

## 6. まとめ

本研究において、橋梁目視検査を支援するためのデータベース連携による Web アプリケーションのプロトタイプの構築を行った。また、ネットワーク端末として携帯性に優れたウェアラブルコンピュータを導入し、サーバと高速双方向通信で接続することで、端末の負担軽減、処理の高速化・情報の大容量化、情報の一元管理を可能にする。また、サーバ側の開発環境に Java を採用し、プラットフォーム非依存のシステムを構築した。

目視検査における参照情報として、Web と連携可能なデータベースに、新幹線等の鉄道橋における目視検査記録を移植した。データベースを用いた情報支援として変状原因パターンの提示を行った。手法としてまず、支承部の変状に着目し、変状原因をパターン化した。検査員が変状を発見すると部材・部位と変状名をキーワードに変状記録を検索することで原因パターンに照合する記録数をヒット数とし、ヒット数で原因パターンをソートする。この支援情報の作成においては変状原因をパターン化する作業がボトルネックとなることがわかった。そのため効率的にパターン化する手法の開発が必要となる。

また、保守標準の情報をプロダクションルールに変換し、システムに実装した。ここで用いた情報は、変状を発見した際に、その変状が重大で直ちに何らかの措置をとる必要がある AA 変状の判定基準である。この支援情報を用いることで検査員は容易に AA 変状の判定を行うことができる。

支援システムの実装実験を行うことで、移動通信端末の性能の確認、ウェアラブルコンピュータの実

用性について知見を得た。テキストベースの支援情報の取得、および 100KB 未満のファイルの送信に関しては良好な結果を得られた。また、現状のウェアラブルコンピュータを現場で使用する際、ディスプレイの視認性等いくつかの問題点が指摘された。

今後、熟練検査員へのインタビューからルールを抽出し、さらに、熟練検査員の経験・知識に内在する「あいまいさ」を考慮するために推論手法としてファジィ推論を用いて知識の再現を試みることで検査員への支援情報の拡充が可能になると思われる。また、既存のデータベースから新たな知見を得るデータ・マイニングやテキストデータを効率的に処理するテキスト・マイニングを組み込み、ルールの自動抽出を行うなどの拡張が考えられる。さらに、本システムを検査員の実地教育に導入し、技能の習得を効率的に行う手法についても検討を行いたい。

謝辞：本研究は、一部(財)電気通信普及財団の助成によるものである。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- [1] P. D. Thompson, E. P. Small, M. Johnson, A. R. Marshall : The Pontis Bridge Management System, Structural Engineering International 4/98, 1998, pp.303-308
- [2] R. M. Gutkowski, N. D. Arenella : Investigation of PONTIS – A Bridge Management Software, MPC REPORT NO.98-95
- [3] 藤井学, 前川義雄, PONTIS 会 : 米国における橋梁維持管理システム, 橋梁と基礎 95-6, pp.33-37
- [4] 宮本文穂, 河村圭, 中村秀明 : Bridge Management System(BMS)を利用した既設橋梁の最適維持管理計画の策定, 土木学会論文集 No.588/VI-38, 1998.3, pp.191-208
- [5] 佐藤弘史 : 橋梁マネージメントシステム, 土木学会誌, 2000.2, pp.44-45
- [6] J. H. Garrett, A. Smailagic : Wearable Computers for Field Inspectors – Delivering Data and Knowledge-Based Support in the Field, Artificial Intelligence in Structural Engineering, LNAI 1454 Smith(Ed.), pp.146-174
- [7] (財)鉄道総合技術研究所 : 建造物保守管理の標準(案)同解説 鋼構造物 1987.9.
- [8] 水野裕介 : 橋梁維持管理における目視検査支援システムの構築, 東京大学修士論文, 2000.3.