

# 21世紀のPC分野におけるIT利用の展望

宮本 文穂\*

## 1. 情報技術 (IT) 時代の到来？

九州・沖縄サミットでIT (情報技術)が議題の一つに上ったことによってIT時代が一気に到来した感がある。各種マスメディアに「IT革命」、「IT化」、「ITビジネス」……という言葉が頻繁に登場し、景気の底上げにまで影響を及ぼすまでに至っている。では、ITとは具体的にどのような範囲の、何のことを言うのであろうか。これの明快な説明はなかなか厄介な問題であり、現状では受け取る人によってかなりまちまちな答えが返ってくる場合が多い。たとえば、携帯電話に付帯されている「iモード」機能。これは誰に聞いてもITと切り離して考えることはできないが、便利さの裏返しとしてプライバシー侵害など有害さも目立ち、これを嫌う人も多いと聞く。電子商取引 (イーコマス)。建設分野では2、3年前からCALS (電子調達・入札)の導入が検討されてきているが、これが広く一般化してきたものとも考えることができる。いずれにせよ両者ともインターネットの利用がそのベースとなっていることより、これまでわれわれ建設業界が永く親しんできた、主として国内のみに目を向けたシステムから、国内外の企業、個人が積極的に参加できる外に向かって開かれたシステムに転換するという意識改革・危機管理が必要不可欠となる。これなくしては、ITの利点を生かしたIT時代の本格的な到来には至らないと考えている。

このほか、カー・ナビゲータ、地理情報システム (GIS)等々、わが国では身近なものだけでもかなりの数のIT化がすでに進行しているのが現状である。

本稿では、著者の狭い範囲のITに関する知識に基づいて、現在興味をもっているIT化の範疇に入っていると考えられるPC分野に限ったIT利用の具体例を紹介するとともに今後の方向を探ってみたい。

## 2. 21世紀PC技術のどの部分にIT化が必要か

著者が「PC構造学」として最初にPC技術の基礎を学んだときのことを思い起こしてみると、それまで学んできたRC

構造と比べて、構造物の弱点となりそうな部位に外部よりあらかじめ力を加えて断面を可能な限り有効に利用するなど多くの自由度が感じられ何となく夢のもてそうな構造であること、コンクリートのクリープ・乾燥収縮の影響が内的不静定構造となるため複雑そうであること、等々がおぼろげながら頭に浮かんでくる。このような記憶が頭のどこかに残っていたこともあって、最近の「IT革命」などという言葉を目にすると、モニタリングおよび制御技術とITを組み合わせたPC構造の更なる合理化の追求としてパラ・ストレーシングの考え方<sup>1), 2)</sup>を基礎とするスマート・ストラクチャー (知的構造)に発展していく夢と期待が膨らんでくるのである。

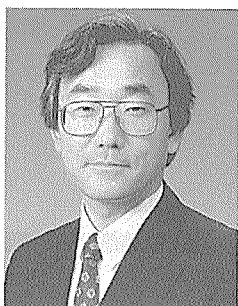
21世紀の入口にあたる2001年は、環境共生と高性能化、大規模と複雑化が要求されるPC技術に更なる発展を促す夢を実現すると同時に、既存のPC構造に対する本格的な維持管理に目を向けていく時代の幕開けでもあると考えている。このような21世紀の幕開けにIT時代の到来が重なり、PC分野にもIT化を積極的に推進する気運が高まってくるのが考えられる。では、具体的にPC技術のどの部分にIT化が必要になってくるのであろうか。これに関しては種々のものが考えられるが、著者らは、ITなどの技術を組み合わせて利用した将来のスマート・ストラクチャーのほかに、環境に調和した大規模で複雑なPC橋架設の影響評価や架設手順の細部検討を計画・設計段階から3次元CGあるいはバーチャル・リアリティ (VR) 技術を用いて検証するシステムの開発<sup>3), 4)</sup>、PC橋架設プロセスの複雑化、熟練技術者の高齢化などによって生じる架設工事の事故要因の連鎖による重大事故を未然に防止するための、知識情報処理技術を利用した支援システムの開発<sup>5)</sup>、将来のPC橋維持管理に必要な知識、経験および点検データ、診断結果、診断後の対策データなどを「記録」として蓄積していき、国内外の技術者がITを利用して共有し、合理的な維持管理に生かすことを目的とするWebをベースとしたデータベースシステムの開発<sup>6), 7)</sup>などを現実的なIT利用分野として焦点を当ててきている。

## 3. PC分野におけるIT利用の実際と課題

以下、PC分野に限定したIT利用の実際例として、著者らが現在、開発に取り組んでいるIT化のいくつかを紹介するとともに今後の課題などについても言及してみる。

### 3.1 3次元CGを応用したPC橋架設シミュレータ

PC橋架設工法の複雑化、多様化に伴い、その施工には多くの経験や知識を必要とするようになってきた。しかし、PC橋架設に携わる経験豊富な熟練現役技術者の数は年々減少傾向にあり、今後、これまで培われてきた架設技術の伝



\* Ayaho MIYAMOTO

山口大学 工学部 知能情報システム工学科 教授

承が十分行われなくなるという懸念もある。こうした現状は、従来の書類、図面などを中心とする情報のみでは複雑な架設工事の理解を円滑に進められず、現場の状況把握不足に伴う工期の遅れや安全管理能力の低下に繋がる事態が想定される。ここでは、3次元CGを適用してPC橋架設工程の視覚化を実現することにより、2次元図面ではつかめない実際の架設イメージを容易に習得可能となるPC橋架設シミュレータを紹介する。なお、3次元CGを作業工程の学習手段として用いることで経験不足といった問題を解決できる可能性があり、ITを利用して予想される事故を事前に把握することで安全意識の向上にも繋がるのが考えられる。

(1) システムの概要

図-1は、設計と架設現場を結ぶことを想定した本システムの位置づけを示した概念図である。以下、架設工程を再現するシステムの構築手順を示す。

① CGモデルの作成

設計図面、施工計画書などを利用して、橋梁部材および架設機材を個々のパーツとしてCG化する。さらに、CG化した個々のパーツ（CGモデル）の表面をコンクリート、鋼材などの各材料の表面特性に対応させてテクスチャー・マッピングという処理を施すことによって質感を出す。

② 架設ステップの設定

PC橋に対する種々の架設工法と対応させた主要な架設ステップを設定して、上記橋梁部材および架設機材のCGモデル

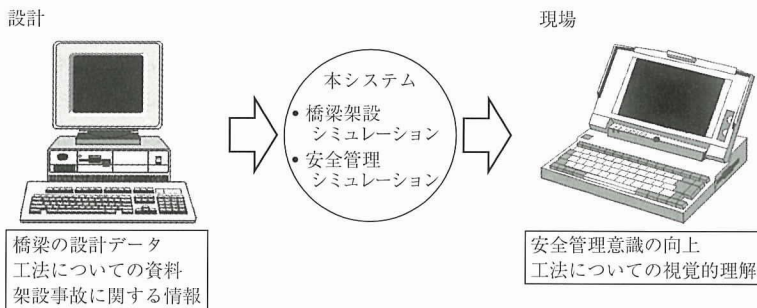


図-1 本システム利用の概念図

ルを順次組み合わせることによって、架設ステップごとに次々と橋梁としての形状が整っていく様子を再現する。

③ 架設アニメーションシステムの作成

各架設ステップにおけるアニメーションは、一連の動きの中で節目の状態（キーフレーム）を数箇所つくり、それらの間をコンピュータに自動的に補間させて作成する。この後、架設ステップ図の表示、アニメーションの再生が可能なPC橋架設シミュレータをシステム化する。

(2) システムの適用事例と課題

ここでは、山口県内においてPC橋架設工法の一つである片持ち架設工法を適用して実際に架設された3径間連続PC箱桁橋（図-2）を、本システムの具体的な適用事例として忠実に視覚化した。すなわち、片持ち架設工法における張出し施工のフロー（図-3）に従った工程である、橋脚の両側に配置されたワーゲン（移動式作業車）の中での型枠の組立て、鉄筋およびPC鋼棒の配置、コンクリートの打設、養生後のプレストレス導入後に順次ワーゲンを両側に張り出す架設サイクルの再現とそのアニメーション化である。

以上のような張出し架設サイクルのアニメーション化の例を図-4に示す。これにより種々の視点からの視覚化が可能となり、架設工程の理解が容易となるものと考えられる。

次に、橋梁架設シミュレータのシステム画面の一例を図-5、6に示す。両画面左のボタンをクリックすることで、完成までを6ステップに分割されたステップごとのガイドがテキストとして表示され、選択された「step」のCGが実行画面として表示される。図-5は「step 2」のボタンをクリックした場合の実行画面、一方、図-6は「step 5」のボタンをクリックした場合の実行画面である。ここで、左下の動画再生のボタンをクリックすることで架設過程のアニメーションの再生を行うことができる。

以上のようなPC橋架設シミュレータに関する今後の課題として、過去に発生した架設中の事故例データベースなどとのリンクによって重大



図-2 3径間連続PC箱桁橋の完成図

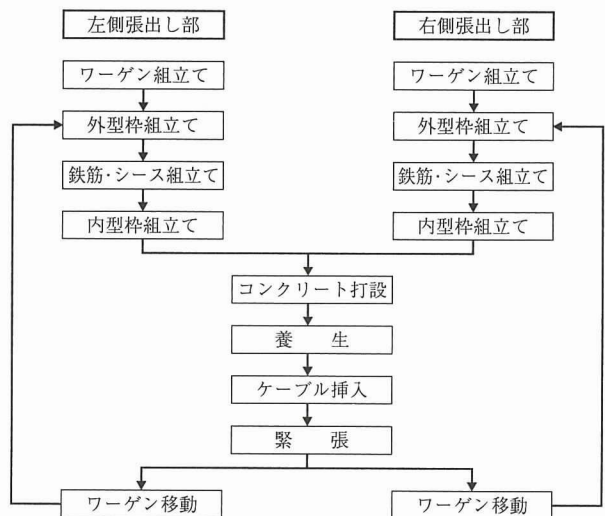


図-3 張出し施工のフロー

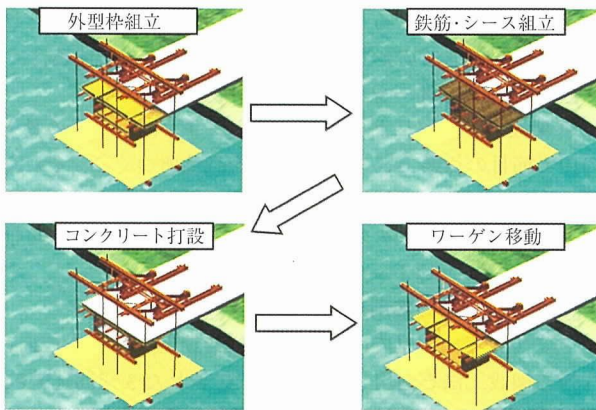


図-4 張出し架設のアニメーション例

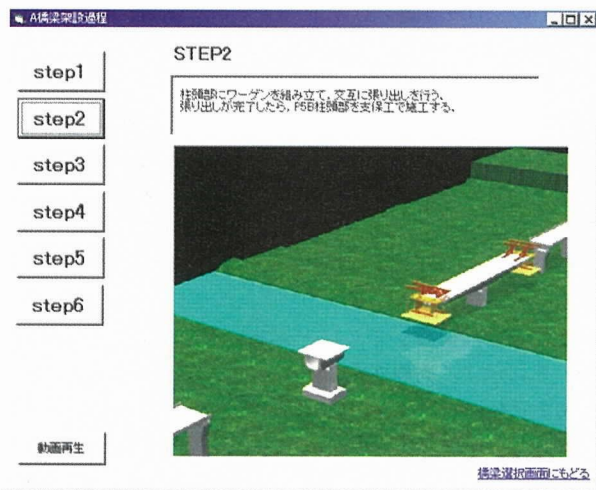


図-5 step 2の実行画面

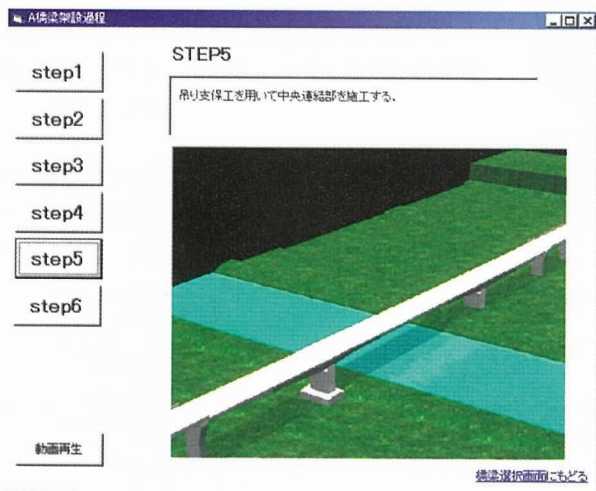


図-6 step 5の実行画面

事故発生の可能性の予測や事故の発生原因の表示、また、重大事故に至るまでのアニメーションの作成、CADデータなどの共有化を行うことによってCG作成作業を効率化することなどが挙げられる。

### 3.2 PC橋架設時安全管理支援システム

PC橋架設現場における熟練技術者は、その豊富な架設経験や知識によって、現場に潜在する事故発生要因を意識的あるいは無意識のうちに未然に摘み取っていると考えられ

る。ここでは、これらの熟練技術者の有する安全管理上の知識を利用し、知識情報処理技術によって事故要因の連鎖による事故発生を防止することを目的とした、現場の安全監督者に利用していただくことを念頭においた安全管理支援エキスパートシステムを紹介する。

#### (1) システムの概要

ここでは、PC橋架設工法として一般的に用いられているエレクションガーダー工法を対象とした安全管理支援エキスパートシステムを、経験豊富な熟練技術者の現場での事故発生に関する知識、経験などをもとに構築した。以下、本システムの構築手順を示す。

##### ① エキスパートシステムの知識の収集・整理

エキスパートシステムは、専門家が有する専門知識を駆使した問題解決プロセスを知識技術者（ナレッジエンジニア）がシステム化するものであるが、その中でも専門家の有する知識の収集、整理は最も重要な作業と言える。ここでは、まず対象とするエレクションガーダー工法の架設工程の整理と安全管理が必要な架設ステップの設定を、熟練技術者へのインタビューおよび関連文献などの参照によって行った。次いで、本工法による架設時事故事例の収集調査と事故発生要因の分析を行った。

##### ② 事故発生要因の階層化

過去に発生した事故事例分析より、エレクションガーダー工法による架設工事中に至る最終的な事故形態の多くは、架設桁が転倒するか落下するかのいずれかであることが判明した。さらに、架設桁の落下・転倒に至るまでの過程を分析した結果、「ベントの倒壊」、「ガーダーの逸走」および「ガーダーの転倒」が主な誘引となっていることも判明した（図-7）。このように、次々と連鎖的に連なっていることが考えられるさまざまな事故発生要因について相互の関連性を整理するために、熟練技術者への数回に及ぶインタビューなどを通じて図-7に示したような事故要因の階層化を行った。次に、それぞれの事故要因について事故発生の可能性の大小に関するチェック項目を設けた。実際のシステムでは、この階層構造を逆にたどること（ボトムアップ）により、最下層の事故要因に関する質問のチェック項目について逐次ユーザーが回答していくことになる。このように、各チェック項目に対して順次回答を入力していくことで、各質問に対する回答に付与された確信度を結合して得られる値をもって、事故発生の可能性を示す確率に準じる指標と考えて総合的な危険度を予測するものである。ここで、各質問のチェック項目に付与した確信度の値は、すべての質問項目に対して最も危険な場合を想定した入力時に、最終的に出力される確信度が1.00となるように調整したものに設定している。

##### (2) システムの適用事例と課題

ここでは、上記エキスパートシステムによって架設時の事故発生危険度を予測する具体的適用事例を、実際の実行画面を紹介しながら説明してみる。

まず、本システムを起動すると、図-8のようなタイトル画面が表示され、「推論開始」ボタンをクリックすることによって事故発生危険度の予測が開始される。なお、ここで

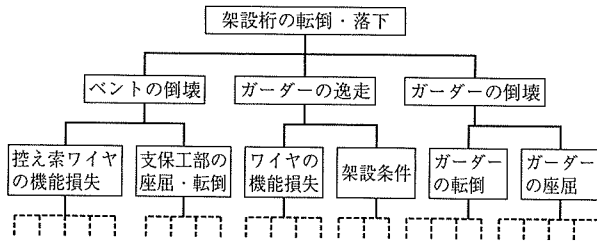


図-7 架設桁の転倒・落下事故に関する階層構造の例



図-8 タイトル画面

は、予測結果出力後に「(入力)の一部変更」および「途中推論」ボタンによって各種変更が可能な機能も付与している。システムによって推論が開始されると、図-7に一例として示したような事故発生要因の階層構造に従った質問の各チェック項目に順次回答していくことになる。図-9は一例として、事故要因の一つと考えられる「過大荷重の作用」に関する質問に対する入力画面である。このように順次画面上に表示されていく質問に対して、実際の架設作業状況を照らし合わせながら入力することによって、システムは事故発生の可能性を逐次推論していく。このような入力終了すると、最終的な事故発生の危険度がそれぞれのチェック項目とともに表示されるようになっている(図-10)。これを利用して、入力された回答内容を確認するとともに、どの項目の内容が事故発生に大きく寄与しているかを把握することができる。また、危険度予測に使用したこれまでのデータをファイルに保存し、推論後に回答内容を変更して現場での種々の対策実施に対する改善効果などを検討することも可能となっている。すなわち、図-8の画面で「一部変更」ボタンを選択すると、最初の推論後に保存したファイルの中から変更したいものを選択し、図-11に示すような画面によって必要なデータを変更し、変更(改善)後の事故発生危険度の変化も確認できる。

以上のような架設工事の重大事故発生予測システム開発における今後の課題として、事故発生につきもの見落とし、不注意などのヒューマンエラーの取扱い、ITなどを積極的に活用した架設中のあらゆる事故データの収集・分析とその結果を利用した本システムの検証などが挙げられる。

### 3.3 PC橋維持管理のためのウェブサイト・データベースシステム

PC橋をはじめとするPC構造物は長期間にわたって必要な性能を保持しなければならないため、その建設から耐用年数を迎えるまでに維持管理に注意を払うことが重要とな

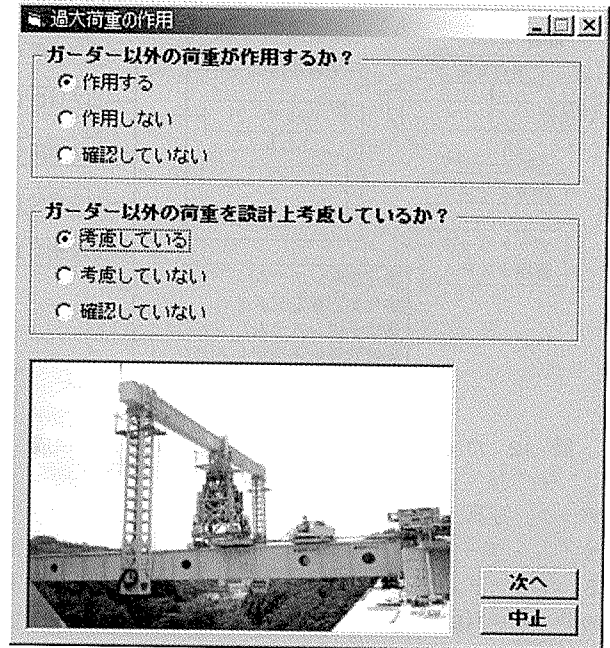


図-9 過大荷重の作用に対する質問画面

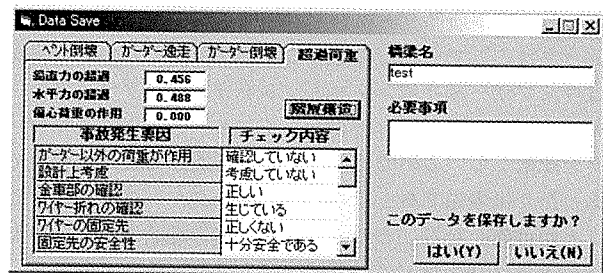


図-10 推論結果画面

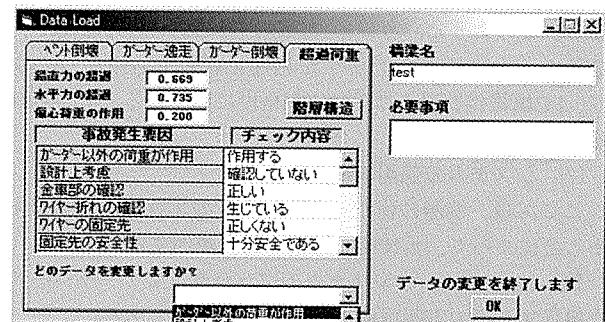


図-11 一部変更画面

る。そのため、建設当初の構造諸元データ、各種点検データ、補修・補強履歴データなどの膨大な量のデータを時系列的に整備し、必要に応じていつでも、またどこでも検索可能なように最新通信技術と組み合わせたデータベースシステムの構築が必要となってきている。このような状況を考慮して、最近急速に普及してきているインターネット、携帯電話など、データ通信技術を利用することによって効率的な維持管理を行える環境を提供するためのWebベースのデータベースシステムについて紹介する。

#### (1) システムの概要

図-12は、既存のPC橋に対する橋梁台帳データや点検

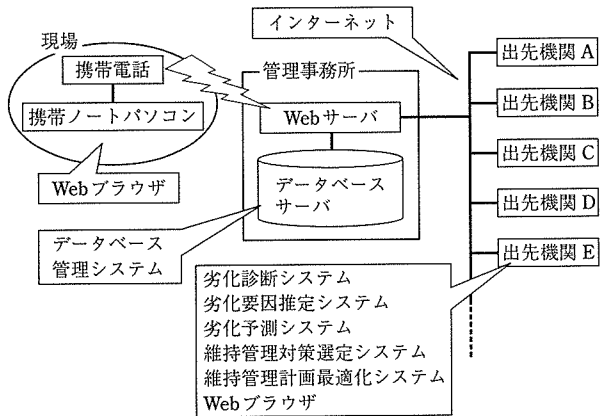


図-12 ウェブサイト・データベースシステムの構成

データ、写真、図面などがWebベースで参照可能なウェブサイト・データベースシステムの構成を示したものである。本システムは、クライアント・サーバシステムであるので、サーバ側をPC橋管理事務所、一方、クライアント側をPC橋管理に携わるすべての出先機関としている。データベースとしては、橋梁台帳データ、点検履歴データ、補修・補強工事履歴データなどが格納されており、すべてのデータはここで一元管理される。そして、これらのデータはウェブサーバとインターネットを介して各クライアントのマシンに送信される。また、インターネットによりデータを配信しているので、これ以外の場所、たとえば自宅であったり出張先であったりしてもデータベースを操作することが可能となる。このことより、携帯電話あるいは小型ノートパソコンなどの携帯情報端末機器が備えてあれば、屋外での工作中、たとえばパトロール中や点検、工事などの現場での工作中においてもデータベースの操作が可能となる。このように、原理的には国内外のあらゆる場所で、必要なときに必要なデータが迅速に獲得できるようになり、PC橋維持管理の作業効率が格段に向上すると考えられる。

(2) システムの適用事例と課題

ここでは、実際に作成したシステムの実行画面を紹介することによって、具体的な適用事例を説明する。

図-13~16は、本システムのブラウザ上でデータベースを操作する際の実行画面の例を示したものである。

図-13のブラウザ上の左側に表示されているのは、本データベースに格納されている橋梁データを検索する画面である。ここでの検索方法としては、「橋梁名称検索」、「橋梁管理番号検索」、「複数条件検索」の3つの検索方法を採用している。図-13は、複数条件検索を行う際のものである。同図左側が複数条件検索の入力画面であり、各条件を入力して検索を行うと、本データベースに登録されている橋梁のうち、その条件を完全に満足する橋梁名などが本データベースよりピックアップされ、その一覧表が画面右側に並列に表示される。また、検索結果一覧の右端の欄には、「参照」ボタンがあり、詳細なデータを参照したい橋梁を選択してその橋梁の欄の「Go!」ボタンを押すと、その橋梁に関する橋梁台帳データが本データベースより引き出され、図-14

のように表示される。このように図-14のブラウザ上に表示されるのは、橋梁台帳データを表示した画面であり、ここで参照できるデータとしては、「管轄データ」、「主要諸元データ」、「上部構造データ」、「橋台データ（基礎・地盤データを含む）」、「橋脚データ（基礎・地盤データを含む）」、「高欄データ」、「伸縮継手データ」、「落橋防止装置データ」、「塗装データ」、「その他のデータ（舗装や二次部材など）」である。また、このブラウザ上には「橋梁諸元」のほかに「写真・図面」、「点検履歴」、「工事履歴」というボタンがある



図-13 検索条件入力画面（左）と検索結果一覧（右）

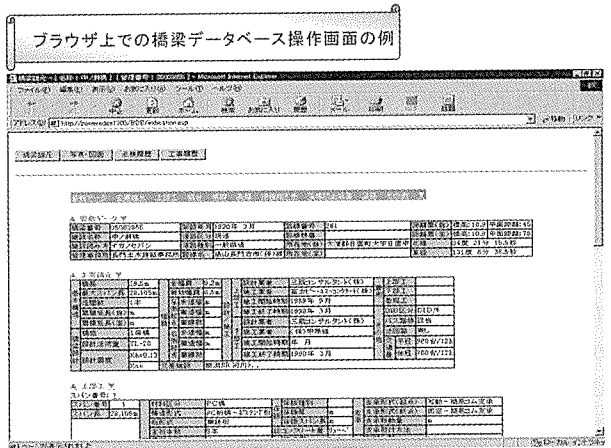


図-14 橋梁諸元データの参照画面

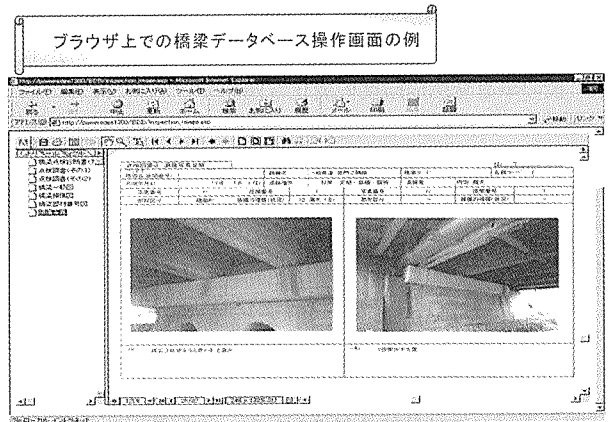


図-15 画像データの参照画面

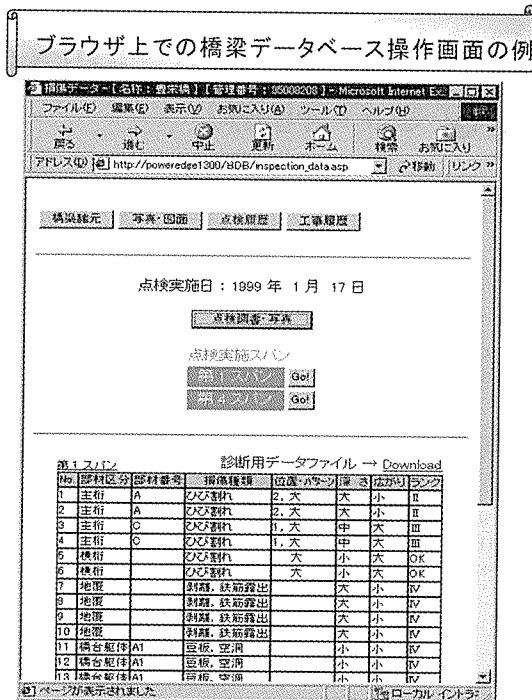


図-16 点検データの参照画面

が、これらを押すことによってそれぞれのデータがデータベースより引き出され、それらを参照する画面が表示される。

図-15のブラウザ上に表示されているのは、写真や図面などの画像データを参照する画面の一例である。一方、図-16のブラウザ上に表示されているのは、点検履歴データを参照する画面の例である。点検履歴データを参照する場合、まず選択した橋梁に関する過去に行われた点検実施日の一覧が表示され、ユーザーはその中から参照したい点検実施日を選択すると、その日に点検されたスパン番号の一覧が表示され、さらにその中から参照したいスパン名を選択すると、そのスパンで検出された損傷とそれに関するデータが表示される。さらに、点検実施者がそのときの点検において気付いたことなどを入力する「備考」欄も用意されている。

以上のように、今後増大することが予想されるPC橋の維持管理業務をより効率的に行うためのウェブサイト・データベースシステムは、多くの利点を有するが、今後さらに充実・発展させるための課題を挙げると以下ようになる。

- ① ウェブサイト・データベースシステムはインターネットを利用したシステムであるため、携帯電話やPHSなどにより屋外においてもデータベースの操作が可能となる。しかし、PC橋の多くは山間部に架かっているため、現状では携帯電話やPHSが通信手段として

利用できない場合も多い。そのための通信手段を別途考える必要がある。

- ② インターネット上でのデータベース操作が可能な本システムは、また、世界に開かれたシステムとなるため、データの書き換え、不必要なデータの外部への流出などが起こらないように、場合によっては強力なセキュリティシステムを構築する必要がある。

#### 4. あとがき

本稿は、ITに関する著者の狭い範囲の知識でPC分野におけるIT利用の現状を可能な限り広く紹介することを試みたものである。しかし、ITの範疇に入ると考えられるものは非常に多いにもかかわらず、PC分野に限ると、将来の夢のような話は別として現実的な話題はまだ期待したほど多くないのが現実である。したがって、本稿が次世代を見据えたPC分野におけるIT利用の展望と方向を示すものとなったかどうか大きな不安が残る。しかし、21世紀は確実にIT化を基本としたボーダーレス化・グローバル化の時代になることが想像に難くない。わが国では他の諸国に比べて、すでにハード・ソフト面での一般的なIT化の環境は整っていると考えられるため、PC分野で世界に先駆けた先進的なIT利用を確立し、世界をリードしていくチャンスの到来を迎えているかもしれないと感じている。本稿がそのきっかけをつくれれば幸いである。

なお、著者の知人である、ブランデス博士 (Klaus Brandes, Dr. -Ing., Federal Institute for Materials Research and Testing (BAM), Berlin, Germany) にヨーロッパ、とりわけドイツにおけるPC分野でのIT化の現状を紹介してくれるように依頼したところ、快く引き受けていただいた。次章に続けて載せていただいたので、著者が紹介できなかったIT利用の別の側面を理解していただきたい。

#### 参考文献

- 1) Montens : A Global Concept for 21st Century Bridges, Parastressing, Proceedings of FIP Symposium on Post-Tensioned Concrete Structures 1996, pp.739~744, 1996.9
- 2) 藤井 : FIPシンポジウム'96 (ロンドン) の概要, 総合工学, 第10巻, 中央大学総合工学研究所, pp.123~128, 1998.3
- 3) 樋口ほか : 3次元CGによる橋梁架設過程の視覚化と安全管理への適用, 土木学会中国支部第52回研究発表要集, pp.39~40, 2000.6
- 4) 福地ほか : CGを用いた施工管理でのCALDS活用, 土木施工, Vol.40, No.1, pp.42~45, 1999.1
- 5) 広兼ほか : 橋梁架設の工法選定と安全管理の総合型システムに関する調査研究委員会報告書, 土木学会関西支部, 1999.3
- 6) 神波ほか : 橋梁維持管理システムにおけるデータベースシステムの構築, 土木情報システム論文集, Vol. 8, 土木学会土木情報システム委員会, pp.167~174, 1999.10
- 7) Lassen : Web-based Management Systems, Proceedings of 16th Congress of IABSE, Lucerne, 2000 (CD-ROM), pp.1~10, 2000.9

【2000年11月2日受付】