

I-22 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

Development of database system for BMS (Bridge Management System)○神波修一郎¹

Shuichiro Kanba

吉原信義²

Nobuyoshi Yoshihara

中村秀明³

Hideaki Nakamura

宮本文穂⁴

Ayaho Miyamoto

【抄録】 道路交通網の中で重要な位置を占める橋梁の維持管理が重要な課題となっている。これら橋梁の維持管理を合理的に行うことは、非常に重要なテーマであり、老朽化によって維持管理しなければならない橋梁をどのように診断し、延命化や更新計画をどのように判断するかは、投資の有効活用の中で非常に重要である。このため、橋梁の維持管理を包括的に行う Bridge Management System が近年注目されている。維持管理業務を効率的に行うためには、まず始めに、現在埋もれている橋梁データの整備を行い、維持管理に必要なデータ項目の洗い出しを行うとともに、写真や図面などの画像データも格納できる実用的なデータベースを構築することが必要である。本研究は、今後増えるであろう橋梁の維持管理業務を円滑に進めるため、これら橋梁の維持管理が業務支援できるデータベースシステムの構築を行ったものである。

【Abstract】 The maintenance of existing bridges is getting important since every bridge is a important part of the road network. The necessity of development the practical database system has been strongly pointed out for building a knowledge-based structural diagnosis expert system such as bridge management system(BMS).

So, in this paper, a "Database Management System" is newly developed for the bridge management system(BMS). The items on map information data, photograph data related in situ, structural inventory data including design details, maintenance history, etc. are put into the database system easily from an user-friendly interface.

【キーワード】 データベースシステム, 橋梁維持管理システム, CALS

【Keyword】 Database System, BMS(Bridge Management System), CALS

1. はじめに

現在、我が国で数多く架設されている橋梁をとりまく状況は、橋梁自身の老朽化、その他交通量の増加や車両の大型化などにより、設計当初の予想より過酷な条件で長期間使用されており、著しい損傷を持つ橋梁が年々増加する傾向にある。また、近年の著しい交通機関の発展とともに道路整備に社会的関心が大きく向けられるようになり、これらに対する高水準のサポートが求められるようになった。特に橋梁は、機能面、安全面、環境面のどれか一つでも基本水準から外れれば、交通ネットワークに何らかの支障をきたす可能性があり、社会的にも大きな不安を与えることになる。そのようなことを防ぐために橋梁の性能を維持することが必要となる。

橋梁の保有すべき性能を維持するために、橋梁に

対する調査・点検、評価・判定、対策選定、記録を合理的に組み合わせた総括的な維持管理を行う必要性がある。しかも、橋梁の維持管理は、国、各地方自治体、道路公団に限られた財源の中で行っているため、効率的に行わなければならない。

これらを背景として、限られた資産を有効に活用し、最適な維持管理計画を作成するための包括的なシステムであるBMS (Bridge Management System) が注目近年されている。

橋梁の維持管理を適切に実施・計画するには、橋梁諸元、点検履歴、補修・補強履歴等維持管理に必要なデータを記録、保存しなければならない。また、橋梁のライフサイクルは非常に長期に渡るため、当然それと同じ期間のデータの確保が必要となり、これらのデータは、膨大の量となることが予想される。さらに、これらのデータを紙面で保存する場合、データ量が膨

¹ 学生員 工学士 山口大学大学院 理工学研究科博士前期課程 (〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1)

² 正会員 工学士 株式会社メタック 情報技術部長 (〒531-0072 大阪府北区豊崎 3-4-6)

³ 正会員 博士(工学) 山口大学助教授 工学部知能情報システム工学科 (〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1)

⁴ 正会員 工博 山口大学教授 工学部知能情報システム工学科 (〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1)

大なため、必要時に必要なデータを取り出すことが困難で、データを有効に活用できない。

そこで、維持管理に必要なデータを効率的かつ合理的に長期間にわたり利用できる実用的なデータベースの構築を行うことにより、これまで個々に管理されてきた資料同士も関係づけて参照することができ、さらにデータを共有することも可能となる。

以上のような理由により、本研究ではBMSに必要な不可欠な機能である実用的なデータベースシステムの構築を行った。

2. 橋梁データ保存・記録の現状と本データベース

様々な情報が電子化される中、従来多くの橋梁管理機関では橋梁に関する資料（橋梁台帳、図面、写真、地図、計算書等）を紙やマイクロフィルムの形で保管していた。これらの資料は建設当時に多く作成されたが、それ以降はほとんど利用されることなく、事故、災害、劣化等により橋梁が損傷を受けた場合にのみ参照されてきた。これらの資料は、一般的には工事別のように単純に分類されており、倉庫や事務所等に保管されているが、数量が膨大な上に、保管場所が移動されていたり、登録名簿がなかったり、また、これらの資料を専門に管理する人もいないため、実際に必要ときに目的とする資料を探し出すことは、非常に困難で煩雑な場合が多く、必要な資料を見つけられない場合もあった。

近年では、様々なデータがデジタル化され、橋梁台帳なども徐々にデータベース化されてきている。しかし、橋梁維持管理に有用なデータが整備されているケースは非常にまれである。たとえ橋梁データがデータベース化されていても、そのほとんどは紙のファイルが電子ファイル化されただけのもの、もしくは膨大な量のデータがただ単に打ち込まれているだけのもので、記憶媒体の小型化、検索の高速化が主な目的である。これでは、データが有効利用されているとは言い難い。保存されているデータは、維持管理に関わる意思決定を支援できるような形には加工できることが望まれる。

本研究室では、以前よりBMS (Bridge Management System)の開発を行ってきた。本研究によるデータベースは、このBMSの各機能（次節参照）と対応している。また、これまで、個々に管理されていた図面、点検履歴、補修・補強履歴等の資料同士も、関連して参照することができる。

3. BMSの概要と本研究の位置づけ

以前より本研究室で開発を行っているBMS（以下、本BMSと略記する）は、維持管理の基本フロー（対象橋梁の点検・調査結果から、橋梁の診断・評価を行い、診断・評価の出力を用いて判定・対策を行う）に従ってシステム化を行ってきた。これを図示すると、図1のように点検・調査部、記録部、診断・評価部、判定・対策部より構成される。

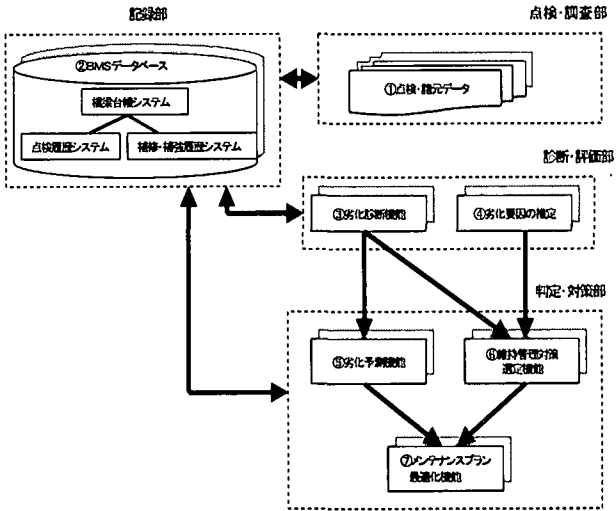


図1 BMS構成図

以下に各機能（①～⑧）の説明を記す。

①点検・諸元データ

橋梁台帳や設計書などにより橋梁の基本的寸法や構造形式に関するデータを得る。また、目視点検によって橋梁の損傷状態に関するデータを取得する。

②データベース

ここでは、BMSに必要な基礎データを記録・保管する。BMS本来の機能であれば、各部にデータを与えたり、各部で発生したデータを記録・保管すべきであるが、本研究では、第1段階として点検・調査部のデータを格納するデータベースを開発した。

③劣化診断機能

この機能は、橋梁分野の専門家から獲得された専門知識を用いて推論を行い、既存橋梁の診断を可能にするものである。具体的には、橋梁台帳の橋梁諸元データと目視点検データを用いて、その橋梁の点検時の性能等を平均健全度(0～100)で評価する。

④劣化要因推定機能

この機能は、橋梁の目視点検データを基に、点検時にみられた劣化要因の推定を行う。劣化要因の推定には、推定に関するルールを分類して整理する。さらに、これらのルールを組合せて因果ネットワークを構築し、劣化要因の推定と損傷の危険性の推定を行う。

⑤劣化予測機能

この機能は、橋梁診断エキスパートシステムにより出力される耐久性と耐荷性の平均健全度を利用して劣化曲線を導出し、橋梁部材における今後の劣化の進行状況と余寿命を求める。

⑥維持管理対策選定機能

この機能は、目視点検データをもとにして、劣化要因の推定と損傷の危険性を考慮し、限られた予算を最適に活用しようというものである。この機能では、橋梁部材に対する維持管理対策の効果を定式化し、維持管理対策の選定問題を組合せ最適化問題として捉えることで、選定を行うことを可能にした。

⑦メンテナンスプラン最適化機能

この機能では、劣化予測機能により対象部材の余寿命が予定供用年数に満たないと予測された際に、維持管理対策が必要であると判断され、対象部材の品質を予定供用年まで保ち、かつ経済的に最適な、品質の最大化およびコストの最小化を目的とした維持管理計画を出力する機能である。

4. データベースシステムの開発

4-1. データベースシステムの概要

本研究で開発しているデータベースシステムは、「橋梁台帳システム」、「点検履歴システム」、「補修・補強履歴システム」から構成される。図2に示しているように橋梁台帳システムが上位システムとして機能し、点検履歴システムと補修・補強履歴システムは下位システムとして機能する。また、各システムの関係は、リレーショナルデータベースのテーブル構造により反映されている。本データベースシステムはこれらの3つのシステムを統合したリレーショナルデータベースシステムである。

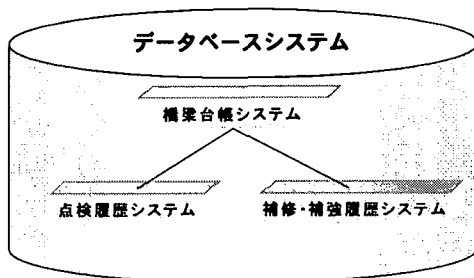


図2 データベースシステム

また、図3には、この本データベースシステムの基本構成を示す。データベースシステムには、文字データと橋梁図面や写真などの画像データを貯蓄することにより橋梁の外観や損傷部、補修・補強部など元来

文字情報だけでは、確認が難かった部分の情報を視覚的に得ることができ、橋梁に関する情報を一括して管理できる。

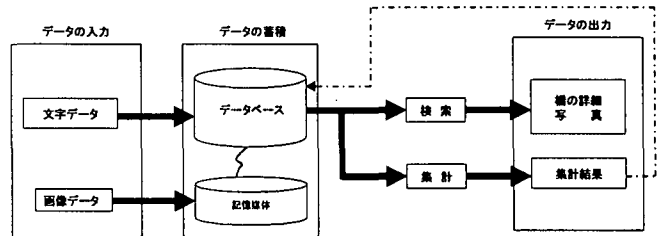


図3 BMSデータベースの基本構成

4-2. 各システムの開発

本データベースシステムは、前節までに述べたように「橋梁台帳システム」、「点検履歴システム」、「補修・補強履歴システム」で構成されている。各システムの開発において特に重点を置いたところは、データ設計である。データが何のために使用され、データ同士がどのように関連しているのかを明確にしておく必要があり、データ設計の完成度がデータベースの実用性に特に反映される。

4-2-1. 橋梁台帳システム

橋梁台帳システムは、各橋梁の基礎的データを管理し、それらのデータを点検時や補修・補強時、劣化診断、維持管理計画作成を行う際に必要なデータを供給することを目的としている。

a) 記録単位

橋梁の構造は必ずしも1橋梁につき1構造とは限らない。そのため本システムでは点検時、補修・補強時に必要とされる橋梁の各構造の最小単位でデータの取得を可能にした。橋梁の各構造を最小単位にする分け方は、橋梁の各構造で異なってくる。上部構造では、単径間の橋については、1構造であるが2径間以上の橋になると橋梁の上部構造は、各スパンごとにより構成されているケースがある。橋台・橋脚については、地形地盤の状態により各橋脚・橋台別に構造が異なることがある。そのため、上部工は、スパン単位で、下部工は、橋台・橋脚単位でデータの取得を行うことにした。

b) データ項目

橋梁台帳システムのデータ項目は、阪神高速道路公団の「土木工事共通仕様書（Ⅳ. 関係基準編）」、「山口県橋梁データベースコード表」、「コンクリート維持管理指針（案）」を参考にして、データ項目を決定している。

現在、維持管理に必要なデータが不足しているため、本データベースでは橋梁台帳に必要と思われるデー

タ項目を追加した。

また、これまでの橋梁台帳に設計条件の入力がなされていたが設計条件は、橋梁の構造により設計条件項目が異なり、すべての構造に対応することが難しいこと、設計条件データを得ても点検には必要とされない項目も多く、補修・補強時には、設計書レベルでの情報が必要となり橋梁台帳としては、データの羅列にすぎないので、必要性に関係がもてないことから橋梁台帳に必要でないと考えられる項目は削除した。

データ項目決定の際に重視した点を、以下に記す。

- ①点検時に必要とされるか。
- ②補修・補強を計画する際に必要とされるか。
- ③BMSのマネージメント機能に必要とされるか。
- ④全ての橋梁構造に対応できるか。
- ⑤入力・参照の煩わしさを考慮した上で、管理レベルで必要とされるか。

C)コード化

本データベースシステムでは管理対象が橋梁であり、あらかじめ管理事務所や桁種別、道路区分などデータ項目の内容が分類できるものについては、

表1 データ項目内容（桁区分）の比較

山口県	建設省	道路公団
単純桁	単純桁	鋼桁
ゲルバー桁	連続桁	P C 桁
橋脚上で掛け違い	ゲルバー桁	R C 桁
連続桁	脚上ゲルバー	
その他	連続桁	
不明	その他	
	未入力	

表2 データ項目内容（基礎形式）の比較

山口県	建設省	道路公団
該当なし	直接基礎	(基礎区分)
直接基礎	場所打ち杭基礎	なし
木杭基礎	深礎杭基礎	杭基礎
R C 杭	鋼管杭基礎	矢板式基礎
P C (PHC) 杭	その他杭基礎	ケーソン基礎
鋼管杭	既製 R C 杭基礎	井筒基礎
井筒	既製 P C 杭基礎	直接基礎
深礎	既製 PHC 杭基礎	連続地中壁式基礎
その他	木杭基礎	その他
不明	杭基礎(杭種不明)	(基礎種別)
	オブ・ンケ・ン基礎	既製杭 (杭基礎)
	ニュー・マツケ・ン基礎	ベノト (杭基礎)
	鋼管矢板基礎	リバース (杭基礎)
	P C ウェル基礎	深礎 (杭基礎)
	地中連続壁式基礎	ア・ス・オ・ガ (杭基礎)
	その他	オブ・ンケ・ン
		ニュー・マツケ・ン

コード化を行っている。なお、このコード化を行う際には「山口県橋梁データベースコード表（山口県）」、「道路防災総点検データベース（建設省道路局）」、「土木工事共通仕様書（阪神道路公団）」を参考にしたが、同じデータ項目についても各機関によりデータ項目内容が異なる。表1と表2で桁区分と基礎形式のデータ項目について各管理機関でのコード化されているデータ項目内容の違いの比較を行っている。

表1では、山口県と建設省が桁構造によりデータ項目内容の整理を行っているのに対し、道路公団では桁の材料によりデータ項目内容を整理してコード化を行っておりデータ項目内容を変換できない。また、山口県と建設省を比較してみても山口県の「橋脚上の掛け違い」が建設省ではどの項目に当たるのかわかりづらい。表2においても同様にデータ項目内容の整理の仕方に大きな違いがみられデータ項目内容を変換しにくい。

BMSの最終的な目標は、道路網をネットワークとしてとらえ、それらを総合的に維持管理するところにある。道路網をネットワークとしてとらえるには、道路管理機関の情報交換が必要不可欠となるが、表1や

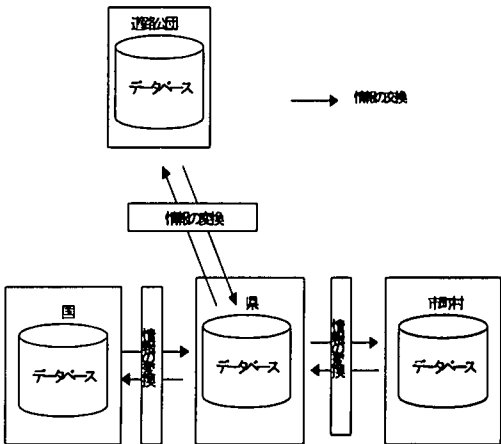


図4 コードの統一化をしてない例

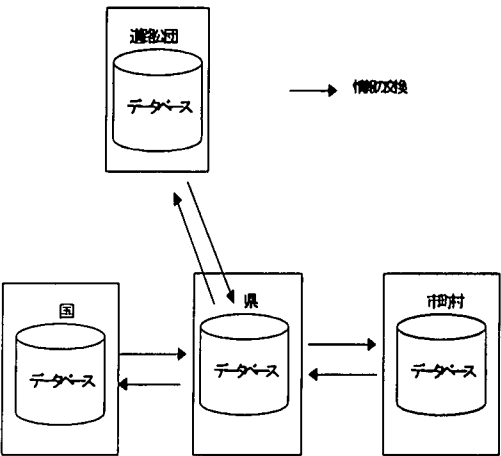


図5 コードの統一化をしている例

表2のようにデータ項目内容に違いがあると情報交換が困難となり作業時間やコストの増加につながり効率が悪い。また正確なデータの把握も難しくなる。

この状況を図示すると図4のように表現できる。つまり、コードが統一されていない場合には、情報を得ようとする機関ごとにコードの変換をしなければならない。しかし、コードが統一化されていれば図5に示されるようにコード変換なしに情報の交換を行える。

このことから、今後、全国的なコードの統一化が必要とされる。

4-2-2. 点検履歴システム

点検で得られた情報をデータベース化し、一元的に管理するシステムの構築を行った。このシステムにより、点検で得られた情報を履歴として残すことができ、橋梁の劣化・損傷の経過を把握することができる。

点検には、初期点検、日常（通常）点検、定期点検、

詳細点検、臨時点検があるが、本BMSにおいて必要とされる点検データは、定期点検を対象にしてる。BMSでは、定期点検で得られるデータの記録のため、点検データ紙面記録フォーマットの作成を行った。図6に本研究室で作成した点検データの紙面記録フォーマットの一例を示す。点検データの紙面記録フォーマットには、点検する橋梁の構造図が簡略にあらかじめ作図されている。橋梁の損傷を発見した際に図中にあるように損傷図、損傷度、写真番号を記述し、損傷部分の写真の撮影を行う。このように、点検データの紙面記録フォーマットは構造図に損傷位置、損傷内容を記す方法であること、損傷写真を撮ることなどからPDF ファイル形式によるデータの保存を本データベースシステムでは用いた。また、画像を処理する際は、図7の点検履歴システム構成図にあるように画像処理アプリケーションにより、各スパンごとに点検紙面フォーマットを管理することが可能である。

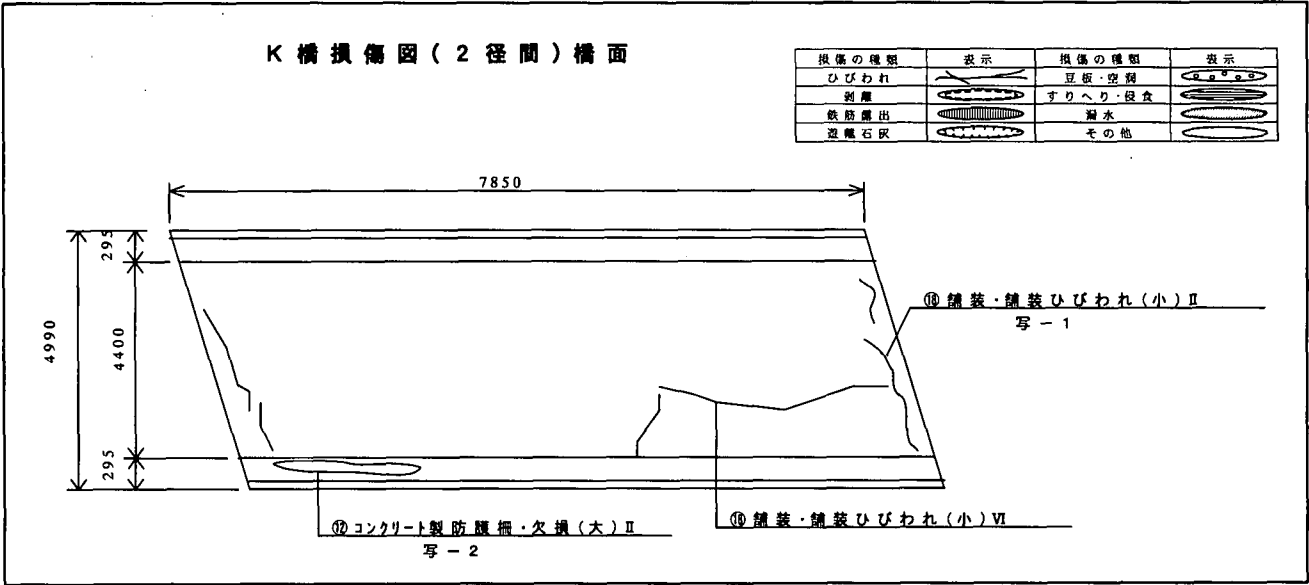


図6 点検紙面フォーマット

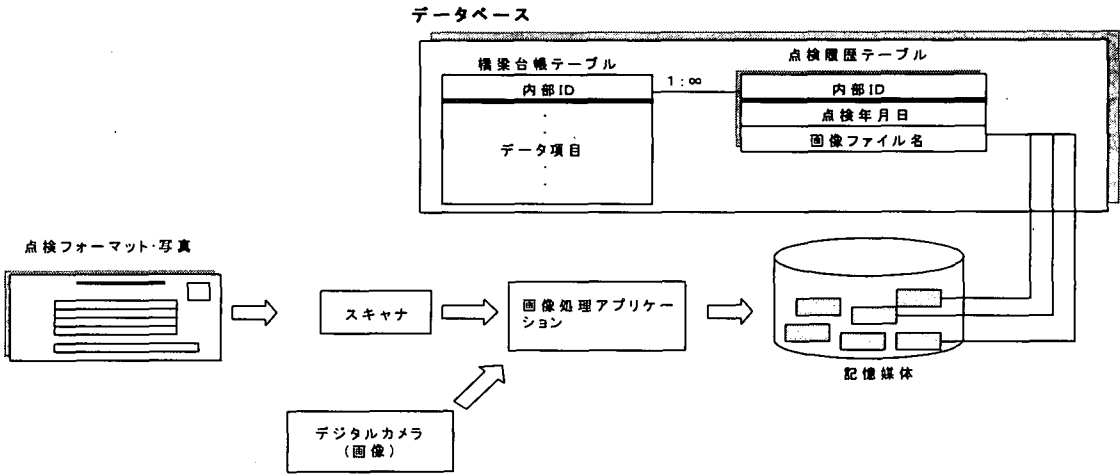


図7 点検履歴システム構成図

また、点検紙面フォーマットはスキャナーで画像を取り込むことにより、点検結果を再度パソコンで入力する手間がはぶけ、作業効率を向上させる。

また、スパン単位で点検を行うために、スパン単位によるデータの保存を行う。

4-2-3. 補修・補強履歴システム

補修を行うことで橋梁の状態は部分的に新しくなり、補強を行うことで橋梁の構造は変化する。このような状態や構造の変化を的確に把握するためには、いつ、どのような補修・補強がどのように行われたかというデータが重要となる。補修・補強履歴を把握することで橋梁点検時に的確な点検が行えると考えられる。

そこで補修・補強履歴システムは、補修・補強した際の基礎的データを貯蓄することによって橋の構造や状態を的確に把握し維持管理に役立てることを目的としている。

4-2-4. データの収集

現在、橋梁の維持管理についての重要度は決して高いとは言えず、データベースが必要とするデータもすべてを収集することができない。山口県橋梁台帳においても、紙面によるものでデータ量が少ないことが問題である。

そこでデータを収集する方法についての検討を行った。まず、データの収集には既存橋梁（既存データがある場合）と新設橋梁（新しくデータを得る場合）の2通りが考えられる。

まず、既存橋の場合、既存の橋梁台帳、防災関連資料に頼るしかない。設計書等、図面が残っている場合は、それらを利用できるが設計書、図面等を見る場合は、時間がかかる点が大きな問題となる。

次に、新設橋の場合は、橋梁台帳データ記入表を作成し、設計時又は工事完了時に記入してもらうことにより、紙面又はファイル形式により提出してもらう。そうすることにより、設計者又は、工事担当者により正確なデータが得られ入力作業も効率よく行われる。

また、現在構築中のデータベースのネットワーク化によりデータベースに、直接データを設計者、工事担当者が入力することで、データが蓄積されと考えられる。将来的には現在建設中で進められている建設CALS/EC（公共事業支援統合システム）によりデータを取得できるようにしたい。

4-3. 各機能とインターフェース

橋梁台帳システムには、「新規データの入力」、「既

存データの参照」、「既存データの変更」、「既存データの削除」、「データの検索」さらに「グラフ化機能」を設けている。特にデータ検索とグラフ化機能とインターフェースの説明を以下に記述する。

4-3-1. 検索機能

本データベースの検索機能は、単検索、複数検索を可能にした。以下に、それぞれの検索方法について説明する。

単 検 索…あらかじめ検索を行う橋梁名又は、橋梁番号が分かっている場合にこの方法で検索を行う。

複数検索…管理事務所、橋梁の構造、材質、橋長などから、その条件を満たす橋梁を探したい場合に、この方法で検索を行う。

複数検索項目は、必要であると考えられるデータ項目のみに対応しており、すべてのデータ項目には対応していない。必要であるデータ項目のみに対応することにより、処理の煩雑さを防ぎ、インターフェースのスリム化を図ることができる。また、通常の複数検索機能では、各複数検索項目をAND、OR集合を使って定義することが考えられるが本システムの場合、データ項目の持つ関連性を考えOR集合によって検索することは、データの抽出意味がないと考えAND集合のみとした。

4-3-2. グラフ化機能

データの中には、様々な意味を持つ情報が含まれているがその情報を参照するには、データに操作を加えなければならない。この操作にSQLを使うことによって情報を容易に得ることが出来る。また、引き出された情報を、適切なグラフで表すことにより、収集されたデータを視覚化してみることができデータの比較検討を効率よく行うことが出来る。そこで橋梁台帳システムではデータの有効活用及びデータのグラフ化を目的とし、グラフ化機能を加えた。以下にデータをグラフ化する手順を示す。

- ①既存のデータに対して、どのような情報が欲しいのか要求する。
例）桁種別の統計
- ②データベースにアクセス。
- ③データを抽出する。
- ④抽出したデータを集計したり百分率に直し、データを数値化する。
- ⑤目的に応じたグラフで表す（円グラフ、棒グラフ、折れ線グラフなど）。

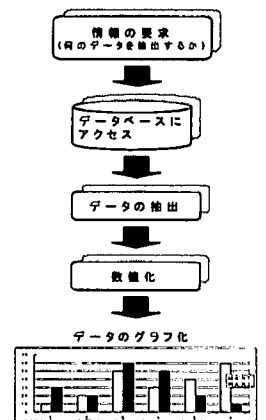


図8 グラフ化の手順

4-3-3. インターフェース

本システムでは、データベース部に Microsoft 社の Access97 を利用し、ユーザビリティとデータベースの拡張性の面から、インターフェース部に Microsoft 社の Visual Basic 6 を使用した。Access97 は、データベースのフォーマットを決め、データを格納するだけのものとして扱い、実際のデータの処理は、すべて Visual Basic 6 に SQL を組み合わせて行っている。開発にあたっては、一画面にたくさんの情報を置かないよう注意し、また、誤操作防止を目的として操作性をシンプルにした。図 9～図 17 にて本データベース・システムの実行画面を示す。

図 12 橋梁台帳参照画面

図 13 点検結果参照画面 1

図 14 点検結果参照画面 2

図 15 点検結果参照画面 3

図 9 橋梁台帳入力画面

図 10 複数検索条件入力画面

図 11 検索結果画面

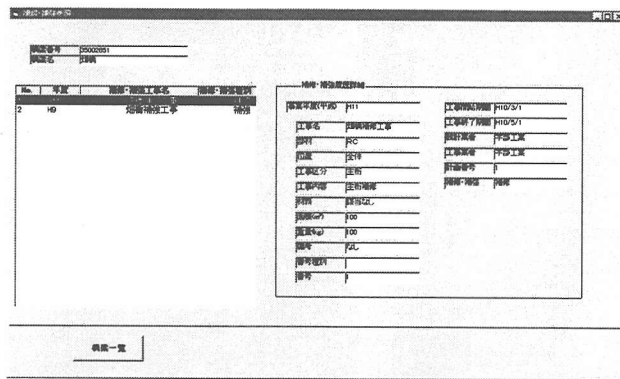


図 16 補修・補強履歴一覧および参照画面

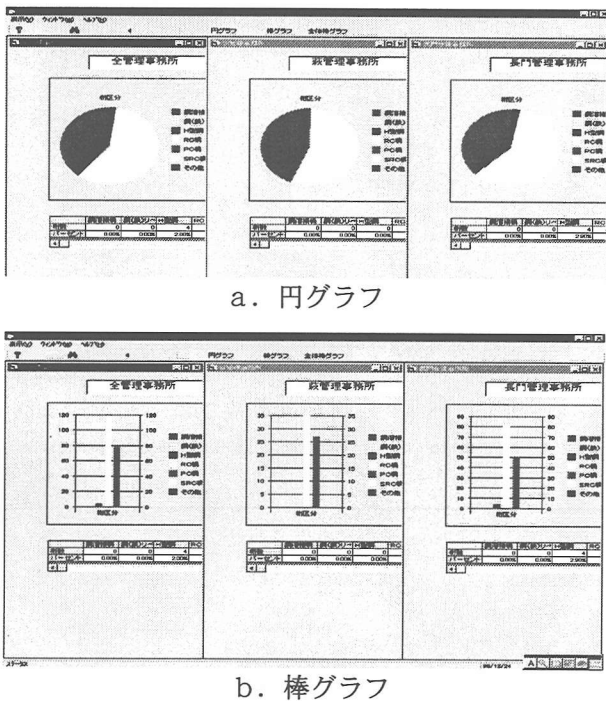


図 17 データのグラフ化実行画面

5. 結論

本研究より、プロトタイプではあるが、橋梁の維持管理に必要なデータを扱うデータベースシステムの構築を行うことができた。

以下に、本研究で得られた成果をまとめる。

- ① 入力については、ユーザビリティを考え、1画面での情報量を多過ぎないようにし、できるだけコード設定を多くしたことにより、マウスによる入力項目が増え、データの入力効率が向上した。
- ② 検索については、単検索と複数検索を使い分ける事によって、必要な橋梁を迅速に探し出すことが

出来た。特に複数検索においては、検索条件を入力することにより、条件に該当する橋梁を検出することができ、データを抽出する機能も兼ねることができる。また、条件を追加していくことで絞り込み検索を行うことができ、より効率的に検索作業を行うことができるようになった。

- ③ グラフ化機能については、データの統計処理が迅速に行えるようになり、統計結果を数値だけでなく、グラフで表示させることにより、管理事務所ごとや、各地域ごとの橋梁の形式に関する分布がイメージ的につかみやすくなった。
- ④ PDF形式の画像を取入れたことにより、従来、文字情報だけでは分かりにくかった部分が視覚的情報として得ることができるようになったうえに、迅速かつダイナミックな画像参照が可能となった。
- ⑤ 劣化診断に必要なデータをシーケンシャルファイルの形式でダウンロードできるようにした。さらに、維持管理を選定する際、必要なデータを直接読み出すことができるようにした。これによって、データベースと診断・評価部、判定・対策部との関係が可能となり、BMSとしての流れが確立できた。
- ⑥ データベースと各機能との連携により、従来行っていた各機能においての手作業によるデータの検索、入力が必要なくなった。つまり、本データベースシステムにより、BMS全体の作業効率は上がったと言える。

参考文献

1) 串田守可：「橋梁診断における知識獲得手法とエキスパートシステムの開発に関する研究」，山口大学博士論文，1998.3
2) 神波修一郎：「橋梁の調査点検支援システムと維持管理データベースの開発」，山口大学工学部卒業論文，1998.2
3) 青山祐介：「BMS(Bridge Management System)における橋梁台帳データベースの構築」，山口大学工学部卒業論文，1999.2
4) 土木学会：「コンクリート維持管理指針（案）」，1995.10
5) (社)日本土木工業協会公共工事委員会 CALS ワーキング・日経コンストラクション編著：「建設 CALS 入門」，1998.6
6) 広田健一郎：Acrobat & PDF 徹底活用マニュアル，アドビシステムズ株式会社，1998.6