

I-8 ライフサイクルを考えた橋梁管理データベースシステム

Lifecycle Bridge Management Database Using New Information Technologies

ハンマード・アミン* 新徳 洋二** 伊藤義人***
 Amin Hammad Yoji Shintoku Yoshito Itoh

【抄録】橋梁の維持管理の重要性の増加に伴い、紙の台帳でしか存在しなかった橋梁点検データのデータベース化が試みられている。しかしながら、橋梁管理に関する橋梁構造、点検補修履歴及び地理データの表現や、画像情報の統合化に際して、従来の関係型データベースでは、データベース化の利点を制限してしまう。本研究では最新情報処理を用いた新しいタイプの橋梁管理データベースシステムのプロトタイプを開発し、これらの制限を克服できることを示している。このシステムには、地理情報システム（GIS）、オブジェクト指向データベース及び静・動画像処理を導入した。GISでは、橋梁管理に関わる種々の地理的な情報を、重ね合わせができる独立なカバレッジとして表現し、空間解析を行った。さらに橋梁構造及び維持管理履歴のデータをオブジェクト指向データベースとして表現した。本論文では計画段階から維持管理段階までの橋梁のライフサイクルを一貫して管理できるデータベースシステムについて議論している。

【Abstract】 With the increased importance of bridge maintenance, there are some trials for building databases of bridge inspection data that have been available only as paper documents. However, the limitations of the conventional relational database approach in expressing bridge components, maintenance history data and the geographic data of the bridge environment, and in integrating image information make such databases of limited benefit. In this research, a prototype bridge database system using new information technologies is suggested to overcome these limitations. Geographic Information System (GIS), object-oriented database, and image and video processing are introduced to the bridge management database system. The prototype system expresses the different features related to the bridge surrounding as independent coverages that can be overlaid or intersected in the process of the spatial analysis needed in the bridge management. In addition, the object-oriented database approach is used for the representation of the bridge structure, maintenance and inspection history. It is discussed that these improvements make it possible to use the system during the whole bridge life cycle from the planning stage to the maintenance stage.

【キーワード】 橋梁管理データベースシステム、地理情報システム、オブジェクト指向データベース、マルチメディア

【Keywords】 Bridge Management Database System, Geographic Information System, Object-Oriented Database, Multimedia

1. 序論

アメリカの公共施設は、維持管理の不備から予想以上の早さで荒廃しつつあることが報告されている。特に橋梁についてはその五分の一が大規模な修繕が必要とされているが、これは1960年代から1980年代にかけての公共投資額の減少によって、橋梁の維持管理が満足に行なわれなかったことが主な原因であるとされている⁷⁾。

これに対し、わが国では道路、橋梁などいずれの社会資本をとってみても、まだ建設途上にあり、維持管

理に多くの費用を投資するまでには至っていない。しかし、今後は高度成長期に整備された多くの構造物が老朽化し、修理、更新が増えることから、維持管理および更新投資に関する投資はさらに増大することが考えられる。

このような背景から、橋梁の維持管理を容易に、また効果的に行うために、橋梁維持に関するデータをコンピュータで処理するためのデータベース化が試みられている³⁾。しかし、従来のデータベースは地理的なデータや静・動画像データを効率よく扱っておら

* 正会員 工博 名古屋大学助手 工学部土木工学科
 ** 学生会員 名古屋大学大学院生 工学部土木工学科
 *** 正会員 工博 名古屋大学助教授 工学部土木工学科

ず、主として関係型データベースになっているため、橋梁構造や維持管理のデータを効率良く表現できないなどの種々の欠点を持っている。そこで、本研究では最新情報処理技術を用いた新しいタイプの橋梁管理データベースシステムのプロトタイプを開発しこれらの制限を克服できることを示す。

2. データベースシステムの構成

今回のプロトタイプデータベースシステムは、地理情報システム (Geographic Information System, GIS) のモジュール、オブジェクト指向データベースモジュール及び静・動画像処理モジュールの3つのモジュールから成り立つ。図-1にシステム概念を表す。

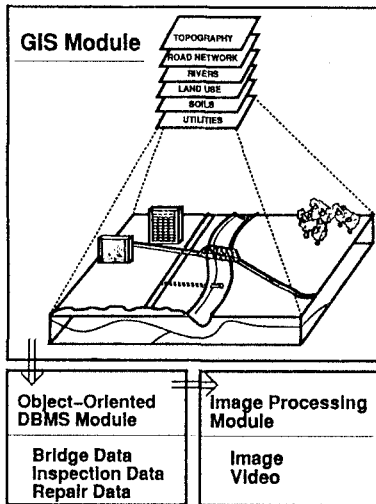


図-1 本システム概念

今回、各モジュールで扱われているデータは、次の通りである。

- 1) 地理的なデータ：地盤、道路網、河川などの橋梁に影響を及ぼす地理的なデータを追加し、空間解析を行うことができるように考えた。各種データの位置や線形はGISの階層的なカバレッジで表した。橋梁の位置及び線形データもカバレッジとして表現されている。GISモジュールでは、ARC/INFO (Environmental Systems Research Institute, INC.) というワークステーション上で稼働するソフトウェア¹⁾を使用した。
- 2) 橋梁構造及び維持管理のデータ：橋梁構造及び維持管理のデータをオブジェクト指向データベース

として表現することを試みた。現時点では、このモジュールは、データベースの基本的な機能(オブジェクトの追加、削除及び検索)しか持っていない。データベースは独立でも使用できるようにした。さらに、各橋梁のオブジェクトをGISモジュールでの橋梁のカバレッジから検索できるようにした。

- 3) 静・動画像のデータ：橋梁の損傷などに関する静止画像、ビデオ画像といった画像情報は静・動画像処理モジュールにより、システムで扱えるようにした。具体的に、橋梁の各オブジェクトに関する静・動画像を、このオブジェクトの属性として登録し、検索できるようにした。例えば、点検時の動画は、点検のオブジェクトの中に含まれており、点検データの一部として検索できる。

これらのデータは、計画段階から維持管理段階までの橋梁のライフサイクルの全時点で役立つように考えた。次節以降で、各モジュールについて述べる。

3. 地理情報を利用した橋梁管理システム

GISを用いた研究は数多く行われている。橋梁工学の分野では、橋梁計画の段階でのGISの有効性についての研究が既に行われている²⁾。GISのソフトは、図形処理、データベース機能およびユーザーインタフェース機能を取り入れたものが主流であり、様々な統計や空間解析がこのソフトだけで可能となっている³⁾。地図の図形データは、ラスタ、ベクトルの両方のデータ形式を使用できるが、ベクトルデータの属性データは、文字列や数値の情報であり、図形との対応関係さえ付くようにしておけば、通常のデータベースでも使用可能である。

本研究では、地盤、道路網、河川などの橋梁に影響を及ぼす地理情報は独立して整理し、カバレッジとして格納した。種々の解析は、これらのカバレッジを組み合わせたものを用いて行う。今回は維持管理にしか使用していないが、作成したカバレッジのデータは、橋梁に対する種々の計画や管理に必要なデータが含まれているので橋梁のライフサイクルのどの時点でも使用が可能である。これは、文献6)で提案されている橋梁管理の各段階での情報の相互参照を目指したものである。

維持管理の段階で必要となる情報を提供すること



図-2 名古屋市の地図上に表示した各種データ

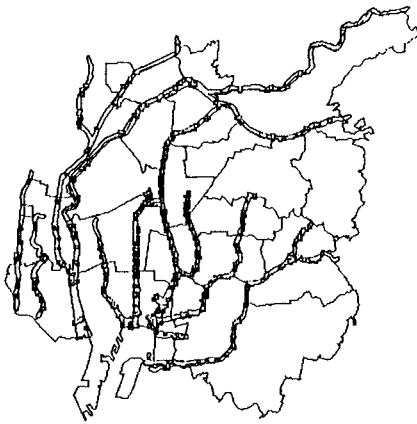


図-3 主要河川付近の既存ボーリング地点

で次のようなことを可能とする。

- 1) ある地域に含まれる複数の橋梁に対する維持管理を総合的に行う。
- 2) 橋梁と道路両者の維持管理の相互的な関係を明確にする。
- 3) 種々の橋梁管理に影響を及ぼす情報をビジュアル化する。

GISの実用性を示すために、ケーススタディとして、橋梁台帳のデータと、橋梁の管理に必要な地理的なデータをシステムに入力した。ここでは、名古屋市が管理する橋梁の一部のデータを使用した。使用したデータは、鋼橋、コンクリート橋あわせて50橋のものであり、橋長は約10m~500m、完成年月は昭和6

年から平成2年で、全てがガーダー橋である。

図-2は、名古屋市の地図上に各種データをプロットした例である。これは、今回作成した橋梁、道路網、河川、地盤などのカバレッジを重ね合わせたものである。この地図上に表示されたものは、カバレッジの位置情報や属性がリンクしたのものになるため、これらのカバレッジを組み合わせることで橋梁管理の新しい可能性を考察できる。地図上での検索および解析はARC/INFOに付属するプログラミング言語でユーザーインターフェースを作成し、メニュー形式によりインタラクティブに処理できるようにしている。

3.1 データ収集及び整理

主な地理データは橋梁、道路網、河川、地盤に関する4つのデータである。以下にそれぞれのデータ収集及び整理について説明する。

- 1) 橋梁データ：このカバレッジには、橋梁の位置情報や、長さ、幅員などの橋梁の線形を表す情報が含まれている。橋梁の構造や橋梁点検のデータは4.で述べる。
- 2) 道路網データ：このカバレッジには、名古屋市内の国道、高速道路および主要道路の位置情報が含まれている。このカバレッジの主な属性は道路の等級と道路の有効幅員である。
- 3) 河川データ：このカバレッジから、計画の段階で使用する橋梁位置での川幅、計画高水位、高水位流量などのデータを検索できる。ここでは、名古屋市の主要河川を14本入力した。データは、河川の外形と中心線を作成し、中心線に属性を入力して検索を行えるものとした。
- 4) 地盤データ：「新名古屋地盤データベース」⁴⁾の全てのデータをGISで処理可能な形にした。入力したボーリングデータは4190本である。橋梁の基礎形式選定に影響する主な要素は、標準貫入試験結果(N値)及び変形係数Eである。GISではカバレッジは2次元的に重なり合うので、3次元的なデータを表現するために深さを属性として入力し、地質の存在する深さや種類、基礎の建造に必要な強度を検索できるようにした。例えば計画中の橋梁位置での土質データを把握するためには、その周辺のボーリングデータを参考にすることができる。図-3は名古屋市の河川付近

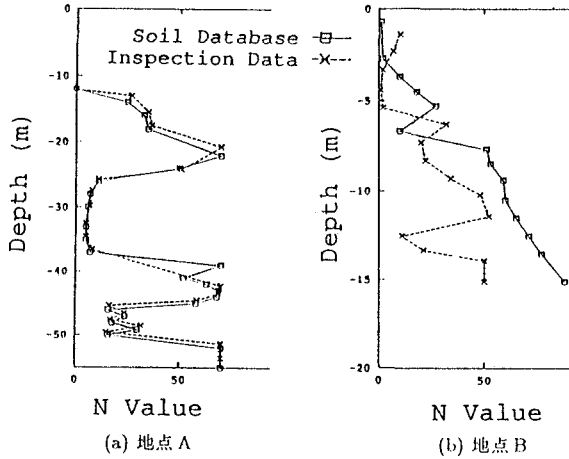


図-4 標準貫入試験結果の比較

でボーリング調査が既に行われた地点を表している。この検索は、河川を中心とした幅 200m のバッファを作成してから、ボーリング地点を表すカバレッジと重なる部分を選択したものである。もとの地盤データベースは、名古屋市全域を約 100m のメッシュで区分し、個々のメッシュの地盤特性を一つの地点のボーリングデータで代表させている。このため、検索した地盤データと、計画段階で選定する地点の地盤データとは 100m 近く離れる場合もあり、地盤特性の差を比較する必要がある。図-4(a)、4(b)に、2つの地点において、橋梁台帳の地盤調査データと文献4)から入力したデータを基に作成したボーリング柱状図とを比較した結果を示す。実線は今回入力したデータであり、破線は台帳の調査データである。データの間には多少の違いがみられ、実際の調査の代わりににはならないが、計画の段階で、1つの目安として使用できると思われる。

3.2 GIS を使用した空間検索の例題

本システムが、従来のデータベースに比べて有効である点を明らかにするため、以下に2つの例を挙げる。

1) 道路と橋梁との関係を GIS で明確にすることは、

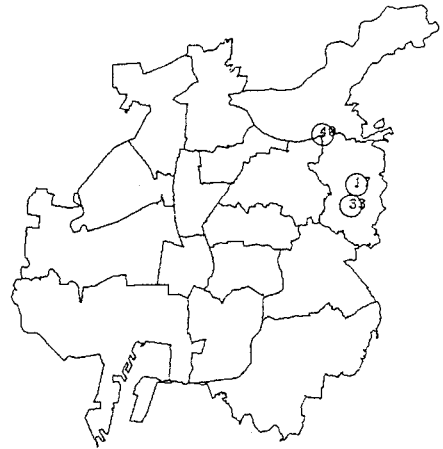


図-5 地理データの空間検索例1

様々な管理の問題に対して有益である。このため、同じ路線にある橋梁、同じ河川に架かる橋梁の検索や、複数の地理条件に対する検索を可能にした。これにより例えば、「同じ管理地区に架かる橋のうち交通量が多く補修が行われていない橋梁の表示」といった検索が可能である。実際にこれを表示したものが図-5である。ここでは、まず、ある地区に属する橋梁を検索し、交通量 1万台/12h 以上と未補修という条件を用いて目的とする橋梁を選択した。

2) 災害時あるいは補修中には、ある橋梁が通行不能

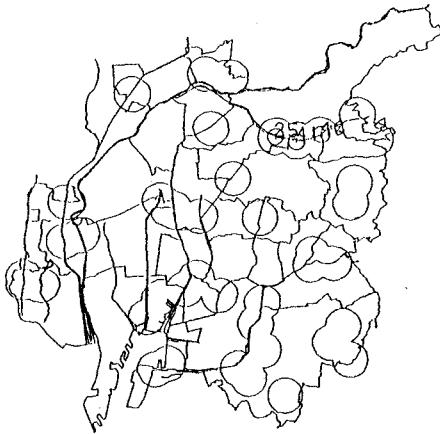


図-6 地理データの空間検索例2

な状態になることも起こりうる。そうした場合、この橋梁に最も近く、設計荷重の大きな橋梁を検索することで重車両の通行可能な路線を選択できる。図-6は、橋梁に対し周囲に半径1kmのバッファをとって、橋梁と共に表示したものである。

これらの検索は橋梁のデータベースに、該当する項目が存在しない場合でも対応するカバレッジを重ね合わせることで容易に属性として追加できる。この例で道路と橋梁のカバレッジを重ね合わせて作成したカバレッジには、両者の属性が新たに追加される。従来の橋梁管理データベースシステムと同様のことを行う場合は、最初の時点であらゆる場合を想定して項目を無数に作成しなければならない。GISを使うことでこれらの例のような空間解析を、視覚的かつ総合的に行うことができる。

4. 橋梁情報のオブジェクト指向的記述

先に、橋梁の位置情報をGISで扱うことの利点について述べたが、橋梁自体の情報をどう扱うかについても考慮する必要がある。

平成3年に、全国の各橋梁の現状を把握するとともに、合理的な橋梁の維持管理のための資料を得ることを目的として、建設省の指示により各自治体を中心とした橋梁点検が実施された。その際に、最新の橋梁データを確実に集計処理し、これらのデータを各管理者間で交換、あるいは、上位の管理機関への提出を行うために橋梁点検データベースが開発され、全国で共通に使うシステムになりつつある⁸⁾。データ

ベースの内容を以下に説明する。

1) 橋梁点検基本データ:

このデータには、橋長、幅員、基礎形式、橋梁位置、架設年度、交通量などの橋梁台帳に記入されているデータを記述してある。

2) 上部工関係点検データ:

上部工の各径間について部材の材料や種類ごとに損傷の有無や部材名、損傷に対する対策などが記述してある。径間番号、部材名、損傷の種類などはコードで入力してある。このデータは、補修の必要性を判定するために使用する。

3) 下部工関係点検データ:

各下部工について2)と同じ項目を記述してある。

4) 判定結果データ:

2)、3)のデータをもとに上部工及び下部工の各部材の点検結果と補修の必要性をまとめたものである。

5) 補修履歴データ:

補修を行った年やその方法、補修にかかった費用のデータなどがある。図-7は、今回の50橋のうち、すでに補修が行われた20橋について補修の間隔を示したものである。1度に複数の箇所を補修したものについては、複数回の補修があったものとしてプロットしている。補修方法はコードで分類し、対応しないものはコメントとして、文字データの形で格納している。補修内容は、主に橋梁の構造的要因に対する補修であった。

橋梁点検データベースは、パーソナルコンピュータをベースとして、データの検索を行うデータベース管理システム(DBMS)にはdBASE-IIIという関係型DBMSを用いている。関係型DBMSは表の形式で記述するので、固定されたデータ構造しか表現できない。しかし、橋梁台帳データ及び橋梁点検データの構造は複雑であり、このような表形式だけでは表現することが難しい。例えば、橋梁点検データベースでは橋種や材料によって扱うデータ項目が変わっており、同じ橋種でもスパン数が変わることによって扱うデータが違ってくる。この問題に対して、本研究では、橋梁点検データベースの拡張、改善版として、オブジェクト指向DBMSを試みた。

オブジェクト指向DBMSの利点は従来の関係デー

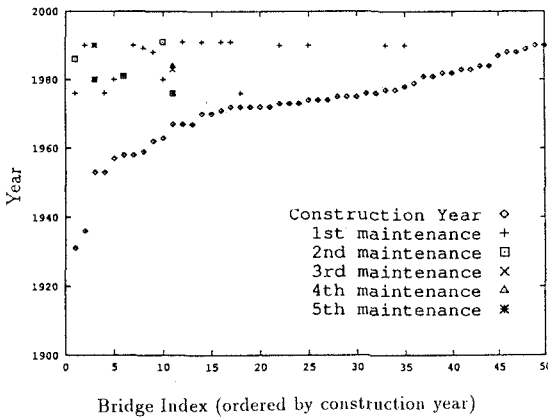


図-7 各橋梁の補修間隔に関する比較

データベースと比べて、柔軟な構造を持つこと、および、抽象データ型、オブジェクトの概念に基づいていることである。抽象型は、具体的なデータ（メンバー）と機能を抽象化した関数（メソッド）との集まりであり、オブジェクト間の継承を可能にする。これによって、個々の情報において共通したデータや関数を親クラスで定義しておけば、子クラスでは特有のデータや関数を追加するだけでよく、共通した属性を再定義する必要がない。データベースの作成は、C++言語で行った⁹⁾。

図-8は、橋梁構造のオブジェクトの一部の概念図である。この図を使って、オブジェクト指向表現と従来の関係型 DBMS での表現の比較を行ない、橋梁管理データベースにおけるオブジェクト指向アプローチの利点を説明する。建設省が中心となって作成している橋梁データベースシステムの内容は5つの表（関係）で記述されている。これに対して、本研究のオブジェクト指向表現では、表ではなく、橋梁構造に適した階層的な複数のオブジェクトで記述した。また、橋梁形状の寸法データ、部材の材料データ及びそれらに関する点検・補修データなどをオブジェクトの属性として記述した。図-8では、橋梁の基礎データ、上部工・下部工点検及び補修履歴をオブジェクト指向的に表現したものである。

橋梁管理データベースにおけるオブジェクト指向アプローチの利点は以下のようなものである。

1) 拡張性：橋梁管理データベースのデータはオブジェクトごとに記述し、まとめやすくなる。その結

果、今までは記述の困難であった設計データを橋梁管理データベースに追加でき、橋梁ライフサイクルの計画から維持管理まで、各段階での必要なデータを統合的に管理できるようになる。

2) 履歴データ管理の具体化：現在の建設省が中心となって作成している橋梁データベースシステムでは、時間に依存する点検履歴データ及び補修履歴データをどこで行ったかを記述する（例えば、径間番号3の上部工）。その箇所を具体的に記述することは、従来の関係型データベースでは難しい（例えば、ガーダー番号1の部材番号2の上フランジ）。しかし、オブジェクト指向アプローチによって、橋梁構造に対する記述があれば、点検履歴データ及び補修履歴データを該当オブジェクトのコピーで具体的に記述することが可能になる。例えば、ガーダー番号1の部材番号2の上フランジで補修があった場合、そのオブジェクトのインスタンスを生成し、その中に必要な補修の詳細を記述できる。

5. 静・動画像処理の導入

現在の橋梁点検では、橋梁の各部材に発生した錆や亀裂などの損傷の詳細を記述する場合、文章での説明に加え、何枚かの写真を写して、アルバムに保存している。その写真を参考しながら、視覚的に損傷のパターンや場所を効率的に把握することが出来る。しかし、従来の橋梁管理データベースでは、数字や文字列のデータしか表現できず、写真などの画像データがインデックスの形でしか扱われていない。

しかし、最近のコンピュータの発達の中で、画像データをコンピュータで有効に処理できるようになってきた。また、図形、文字、静・動画像、音声などの情報を総合的に扱い、人間の種々の感覚に訴えるマルチメディアと呼ばれている分野が普及してきた。土木の分野でも、数多くの画像処理に関する手法が考案されている¹⁰⁾。本研究では、橋梁管理データベースにおける新しいメディアの適用性について考察する。

1) 静止画像データ：橋梁管理に必要なと思われる静止画像データは次の2つに分けられる。

- a) 橋梁の一般的な写真：この写真の役割は、橋梁の全体の形状を把握することである。今回は、1橋につき3枚の写真（側面、下方、支承）を用意し、それぞれの写真に対して特徴をコメン

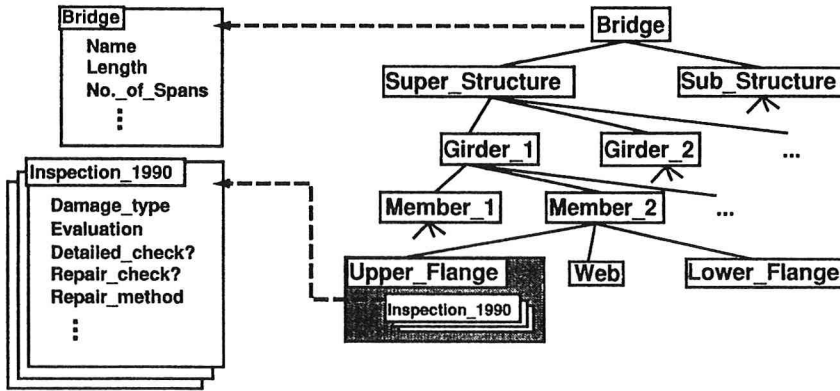
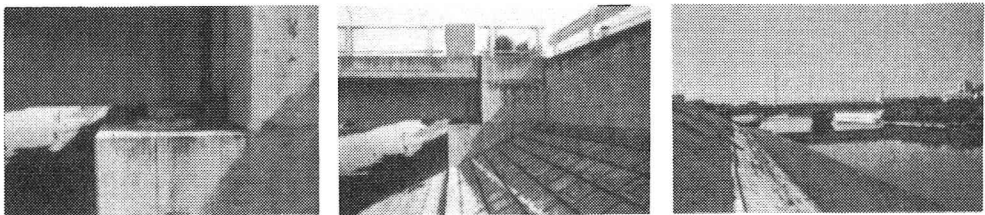


図-8 橋梁のオブジェクト表現



(a) 損傷箇所

(b) 橋梁細部

(c) 橋梁全景

図-9 損傷箇所の検索

トとして記述している。この画像データが橋梁オブジェクトの属性として登録されている。

- b) 損傷箇所の写真：損傷箇所を段階的に把握できる画像データを、オブジェクト指向データベースでの各部材のオブジェクトに登録できるようにした。また、補修の前後の写真を比較できるようにした。損傷箇所の検索を行う際に、その損傷の位置と全体の橋梁との関係を分かりやすくするために、損傷箇所に焦点した画像から全体の橋梁までの幾つかの写真を表示する。写真の数は、特に決まっていないが、3~5枚程度である。この手順の例を示したものが、図-9である。この方法により、損傷箇所の正確な把握が可能になる。

画像データは一般に膨大なデータになるために、解像度やフォーマットを適切に決定し、経済的、効率的に収集できるようにする必要がある。今回は、スキャナー (EPSON-GT8000) で取り込んだ橋梁の写真は、TIFF (Tagged Image File Format)

形式で保存した。TIFF形式は、SUNのRASTER形式やMacintoshのPICT形式と違って、標準化されており、多くのシステムで採用されていることから、本システムでもこの形式を採用した。

- 2) 動画像データ：動画像データを利用することで橋梁の位置から各部材の場所、損傷部分までを連続的に納め、実際の点検や補修の手順を再現できる。しかし、動画像データは大量であり、全てデジタルの形で保存することは不経済的である。この問題に対して、次の二つの可能性を提案する。

- a) 損傷箇所の動画像のみ、デジタルデータとして保存する。ビデオ画像入力を行う際に、MacintoshのCentris-660AVを利用し、MPEG (Motion Picture Experts Group) の形式に変換した。MPEGの形式にした理由は、この形式が標準化されているためである。静・動画像データの仕様を表-1に示す。

- b) 長い動画像の場合、VTRをコンピュータに

表-1 静・動画像データの仕様

	静画データ	動画データ
画質	100dpi	20frame/sec
色数	256	256
サイズ (pixel)	320 × 240	160 × 120
ファイルサイズ	約100KB/枚	約6MB/min
フォーマット	TIFF	MPEG
入力機材	EPSON-GT8000	Centris-660AV
記憶媒体	HD	VTR,MO,HD

よって制御する。コンピュータの RS-232C 端子と VTR の LANC 端子とを接続するために、SONY Vbox CI-1100 を使用した。VTR は、SONY SLV-RS7 である。VTR の主な制御は、ビデオの再生、早送り及びビデオの実時間カウンターでのサーチである。ビデオデッキを制御する手法は、デジタルビデオより経済的であるがサーチの時間が長いという欠点がある。

6. 結論

従来の橋梁管理データベースシステムは実用的になっており、幅広く使用できるようになってきた。今回試みた橋梁管理データベースシステムに関する新しい手法の適用は、まだ第一歩の段階であるが、将来的にこのような手法を使うことによって、橋梁のライフサイクルに関する全てのデータを、従来のデータベースの手法より統合的に扱うことが可能になると思われる。今回の研究の結論は、次の3点にまとめられる。

- 1) GIS に利用した橋梁管理システムは、橋梁の管理に対して地理的なデータを総合的に扱うことができ、従来のデータベースシステムと比較して空間的な取扱いが可能になる。
- 2) オブジェクト指向データベースアプローチを用いることによって、橋梁台帳および橋梁点検データのデータベース化がより効率的になることを示した。
- 3) 画像データの追加によるマルチメディア化が、橋梁の管理に対して有効であることを示した。

現在作成されつつある橋梁管理のデータベースシステムを拡張し、今回提案しているシステムに移植する場合の問題点は、以下のようなものが挙げられる。

- 1) GIS のモジュールでは、色々な場面での適用が考えられるが、操作性を簡便にし、コンピュータに不慣れた橋梁管理立案者が使用しやすくする必要がある。
- 2) オブジェクト指向データベースのモジュールに関して、現在では、設計データまでの詳細データをカバーできないので、このようなデータのオブジェクト指向的な記述法を確立する。
- 3) 静・動画像データの収集及び検索を有効に行うために、画像を写す時のカメラの位置の決め方などについて考える必要がある。

最後に、橋梁データを提供していただいた名古屋市の関係各位に深謝いたします。

参考文献

- 1) ARC/INFO 入門：(株) パスコシステム技術事業部，1991。
- 2) Hammad, A., Itoh, Y., and Nishido, T.: Bridge Planning Using GIS and Expert System Approach, Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, Vol. 7, No.4, pp. 278-295, 1993.
- 3) 橋梁点検要領(案): 土木研究所資料第2651号, 建設省土木研究所, 1988.
- 4) 最新名古屋地盤図総論, 土質工学会, 1988.
- 5) 柴崎亮介: 地理情報システム (GIS) 入門, 日本測量協会, 1992.
- 6) 土木情報システム委員会: 建設支援のための土木情報システム, 土木学会, 1992.
- 7) P. チョート, S. ウォルター (古賀一成訳): 荒廃するアメリカ, 開発問題研究所, 1983.
- 8) 橋梁点検データベースシステム利用マニュアル, 建設省道路局国道第二課, 1992.
- 9) R.S. ウィナー, L.J. ロビンソン (前川守訳): C++: オブジェクト指向プログラミング, トップラン, 1989.
- 10) 大林成行, 小島尚人, 前嶋尚人, 平野宣一: ビデオ映像を導入した道路施設点検支援システムの構築, 土木情報システム論文集, Vol.2, pp.17-24, 1993.