

## I-23 橋梁ライフサイクル情報管理システムに関する研究

## Development of Bridge Lifecycle Management System

伊藤義人\* 新徳洋二\*\* ハンマード・アミン\*\*\* 佐竹禎司\*\*\*\* 劉春路\*\*\*\*

Yoshito Itoh Yoji Shintoku Amin Hammad Sadashi Satake Chunlu Liu

【抄録】橋梁のライフサイクルには計画、設計、施工、維持管理、取り壊し、再建設といった一連の流れが存在し、各段階から発生する情報は多種多様である。環境影響評価のような、橋梁をあらゆる角度から検討する作業では、ライフサイクルのほぼ全ての段階で発生する情報を必要とする。しかし、既存の橋梁情報管理システムは各段階のために最適化されたものが多く、他の段階に必要なデータが有効に扱えないことが多い。また、情報の利用によって得た結果をシステムにフィードバックすることは従来の管理システムでは難しく、このことがデータベース化の利点を制限していた。本研究ではライフサイクルの観点に基づき、計画段階から維持管理段階までの種々の情報を管理可能な、新しいタイプの橋梁管理システムのプロトタイプを試作し、これらの問題を克服するための考察を行った。

【Abstract】Bridge lifecycle has several stages including planning, design, fabrication, erection, service, maintenance, and demolition. In existing bridge database management systems, the information of each stage is not efficiently used in other stages, which results in waste of time and efforts. In this research, a new type of bridge lifecycle database management system is developed to overcome this problem. The system integrates geographic information, design data, and inspection data in a user-friendly multimedia environment. Several examples are discussed on the efficient usage of the system at each stage of the bridge lifecycle.

【キーワード】ライフサイクル管理、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、ネットワーク技術、震災管理

【Keywords】Lifecycle Management, Geographic Information System, Object-Oriented Database, Multimedia, Network Technology, Seismic Vulnerability Assessment

## 1. 序論

社会基盤施設におけるライフサイクル（以下LCと略す）とは、計画から始まって、設計、施工、維持管理、そして取り壊し、再建設までの一連の段階の総称である。本研究では社会基盤施設の一つである橋梁に関してのLCを考えた情報管理システム（Bridge Lifecycle Management System: BLMS）を扱う。

近年、長寿社会化による労働力確保の困難さや経済性への配慮として、必要最小限の維持管理によって

機能を維持していける、いわゆる工学的永久橋を目標とした橋梁の研究が行われている<sup>1)</sup>。また、経済性だけでなく、環境影響評価や景観評価といった、環境面からの配慮も、計画の初期段階および設計段階から重視されている<sup>2)</sup>。橋梁をあらゆる角度から検討するこれらの評価では、橋梁の構造情報、橋梁周辺の環境情報や施工時のCO<sub>2</sub>排出量など、LCのほとんどの段階の情報が必要になる。これらの情報を収集するとき、各段階の担当部署から引き渡される情報は、

|          |    |                    |              |
|----------|----|--------------------|--------------|
| * フェロー   | 工博 | 名古屋大学教授            | 理工科学総合研究センター |
| ** 正会員   | 工修 | 株式会社間組（元名古屋大学大学院生） |              |
| *** 正会員  | 工博 | 名古屋大学助手            | 工学部土木工学科     |
| **** 学生員 |    | 名古屋大学大学院生          | 工学部土木工学科     |

紙を媒体とすることが多く、情報の把握、整理に膨大な時間と労力を要するという問題がある<sup>3)</sup>。無論、各段階でも情報の有効利用のためのデータベース化は行われてきたが、こうしたデータベースはその段階の特定の作業で必要となる情報しか扱っていないため、他の段階へ情報を渡す場合は、全ての情報を網羅した紙面情報を送るしかないのが現状である。こうした問題を解決するためには、LCの全ての段階で発生した情報を扱うことのできるデータベースが必要である<sup>3)</sup>。

著者らは、本研究に先立って、維持管理を中心に着目した橋梁管理について研究を進めてきており、データベース作成時のいくつかの問題点を明らかにしてきた<sup>4)</sup>。本研究では、文献4)の対象をLC全般に拡張し、LCの各段階で発生する情報の分類を行った後、情報ごとに適した処理技術を用いて統合データベースを試作し、それらを統合することで、橋梁ライフサイクル情報管理システムの有効性を示す。

## 2. 橋梁関連情報の分類

本研究では、昭和6年から平成2年の間に名古屋市において建設された、橋長15m以上の一般橋梁を対象とした。これらの橋梁の内269橋がガーダー橋であり、鋼橋、コンクリート橋の割合は半々である。

橋梁のLC情報管理とは、計画、設計、施工、維持管理、取り壊し、再建設といったLCの各段階で発生するあらゆる情報を他の段階でも利用可能にすることである。橋梁のLC情報は発生の過程、管理方式が各段階で異なり、その情報量および種類ともに膨大なものである。このため、発生過程の分類と、その特徴による情報の分類を行う必要がある。

ここでは、まず橋梁に関連する情報を特徴ごとに分類し、1) 地理情報、2) 設計情報、3) 点検情報、4) 施工情報、5) 法規情報の5種類の情報が発生すると考えた。この内、4)の施工情報は、施工を行う機関の資産情報であり、とくに技術報告などは知的所有権の問題があるため、他の機関での使用は困難な場合が多い<sup>3)</sup>。また、5)の法規情報は文書情報であり、技術的な面から見ると定量化が難しく、データベース

化に必要な入力作業も膨大である。そして、こうした情報の全てを網羅するとデータベースとしてのレスポンスが低下する。以上の理由から、本研究では個々の橋梁が有するデータとして、とりあえず1)~3)のみを扱うことにした。また、既往の災害情報が耐震管理において重要であることから、一例として地震関連情報も扱う。

今回収集したデータは次のものである。

### 1) 地理情報

- a) 地形情報：1:25000 行政区域図から得られる、道路、河川、橋梁の地形性状。
- b) 数値情報：橋梁周辺の詳細状態把握のための10mメッシュの細密数値情報<sup>6)</sup>。
- c) 地盤調査結果情報：最新名古屋地盤図総論<sup>5)</sup>附属の、4190本のボーリング調査結果並びに各種土質試験結果。

### 2) 設計情報

- a) 図面情報：詳細設計図面4橋分。
- b) 数値情報：上記橋梁と対応した部材数量計算書4冊。

### 3) 点検情報

- a) 点検結果情報：橋梁点検・震災点検データベース<sup>7)</sup>・<sup>8)</sup>における、287橋梁の点検結果。
- b) 写真情報：上データベースのために撮影された写真約5000枚。

### 4) 災害情報

- a) 地震被害情報：1978年宮城県沖地震、1983年日本海中部地震、1993年釧路沖地震、1995年兵庫県南部地震の各調査報告書<sup>12)</sup>。
- b) 耐震補強工事情報：同報告書。
- c) 写真情報：兵庫県南部地震で被災した高架橋を対象として、著者らが撮影を行った写真約100枚。

図-1は、これらの情報とLCとの関連を示したものである。維持管理については目的の違いから通常管理と耐震管理とを区別している。各段階で発生する情報の多様性から、これらのデータを入手したままの形で扱うだけでは有効利用とは言い難い。そこで本研究では橋梁情報の核をなすものとして、地理情

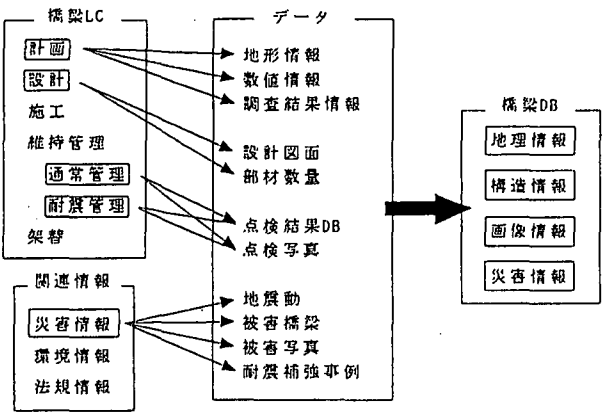


図-1 対象とした橋梁LC情報の関係

報、構造情報、画像情報、災害情報の4つを考え、種々の情報処理技術を導入して独立にデータベースを作成し、それらを統合することで、LC管理で有効に扱えるようにすることを考えた。

3. 橋梁関連情報の整備

3.1 データベース整備のための検討

地理情報

著者らは、本研究に先立って、維持管理に特に着目した橋梁管理に対して地理情報システム (GIS) を適用する研究を進めてきた<sup>4)</sup>。GISは主に都市計画の策定段階での労力低減を目的として発展してきたシステムであり、最近では災害の予測、分析などに応用され、その有効性が実証されてきている<sup>9)</sup>。

GISでは地形情報と属性情報を分けて管理し、トポロジーによってこれらを結びつける管理方式をとっている。文献4)では維持管理のための統計的な処理を行うことが目的であったため、図-2に示す地盤種別分布のような、全域的な視点からの情報が表現できる程度の地形情報を1:25000行政区域地図から作成していたが、橋梁LCのあらゆる段階でシステムを使用するために、実際に使用される1:1000~1:2500程度の『精度な地形情報も併せて必要となった。本研究ではベクトル型のGISであるARC/INFO<sup>10)</sup>を使用しており、従来利用してきた地理情報との併用のために、細密数値情報<sup>6)</sup>のベクトル化と、緯度・経度による位置

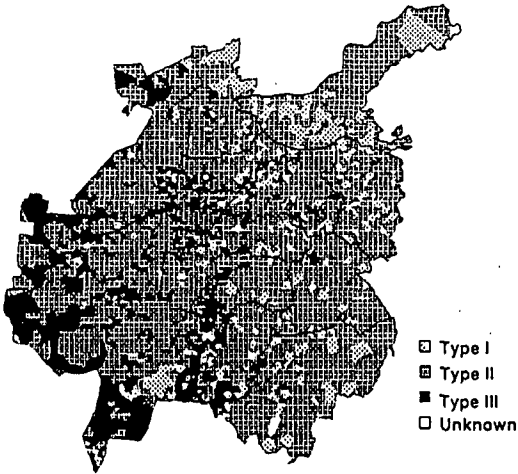


図-2 地形情報の精度

合わせによって地形情報の追加を行った。これによって、橋梁LCの任意の段階で必要な精度の地形情報が得られるようになっている。

橋梁の属性情報は、建設省の指示で全国的に行われた橋梁点検、震災点検結果のデータベース<sup>7),8)</sup>をフォーマット変換して、ARC/INFOで利用できる形に整備し直したものをを用いている。また、周辺部の道路、河川の属性情報は、ネットワークとして扱うために必要な、交通量、流量などの基本的な情報だけを整備している。

点検結果は他の管理機関でも早い時期からリレーショナルデータベース形式でデータベース化が進められてきている。点検の内容、損傷判定方法などは統一的な基準がないという問題はあるが、これらの情報を収集、整理して橋梁管理に役立てることは重要である。属性情報の利用に関しての問題点として、1) 既存データベースはデータ入力処理の効率を考えて独自のコード化が行われており、データの内容がとらえにくいという問題と、2) データベースの操作性の向上に問題があった<sup>4)</sup>。ここでは、検索速度を維持するためにデータ中にコードを残し、コード内容定義テーブルを追加してコードと対応させることで、データの内容を把握できるようにした。そして、これを組み込んだパネルインタフェースを作成して、定型処理、空間解析時の操作性を高めた。

構造情報

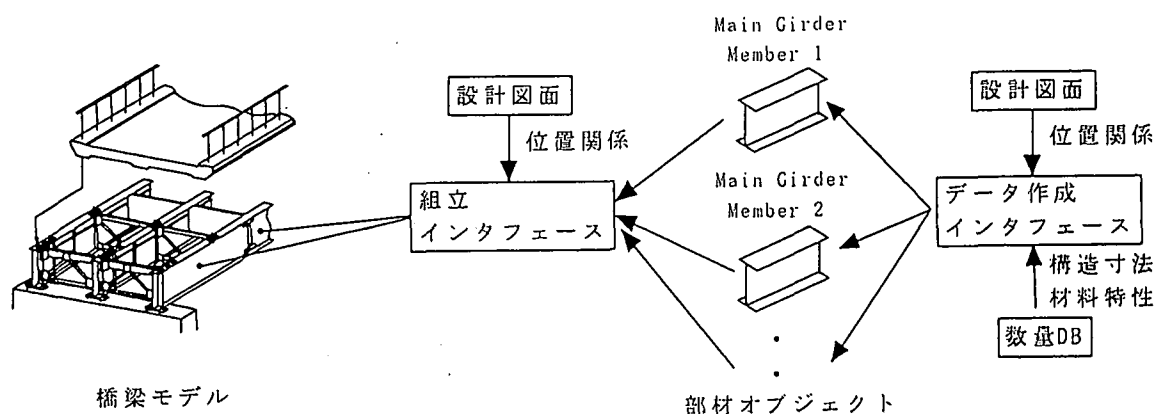


図-3 構造情報のオブジェクト化の流れ

橋梁供用開始後に、床版にクラックが発生するなどの問題が生じた場合の、システムの機能性の照査を行う場合を想定する。このとき行われる構造解析計算を例にとって、データの使用形態の現状を分析し、今後の望ましいあり方を考える。

構造解析ソフトで使用するモデルを作成し、解析を行うためには、まず設計図の読み取りを行う必要がある。これは、設計段階で発生する橋梁の構造情報が、従来図面や計算書によって管理されてきたからであり、その読み取りの難しさは一つの問題点である。また、示方書の改訂時に、管理上、供用中の全橋梁に対して簡単な構造解析を行うことも考えられる。このときは、全ての橋梁に対して詳細な構造解析を行うことは経済的でないため、まず問題橋梁を発見するために簡単なモデルを作成する必要がある。橋梁を管理していく上で、解析の結果は橋梁とセットで保存されることが望ましいが、解析結果は数値、グラフ、図形など、あらゆる形式をとるため、従来のテキストデータ依存のリレーショナルデータベースを使用することは得策ではない。

以上をふまえると、構造情報を格納するために、次の機能を有したデータベースが必要であると考えられる。

- 1) 数値、文章、グラフ、画像など、あらゆる形式のデータを扱える。
- 2) 詳細解析、簡略解析などの状況に応じて任意の形で必要な寸法、材料特性、パラメータなどを

提供できる。

- 3) データが、橋梁のどの部分のものを容易に把握できる。

- 4) 管理する橋梁の構造に変更があった場合でも、以前のデータを履歴として同じように使用できる。

そこで、本研究では、オブジェクト指向の概念を適用したデータベースおよびその管理システムを新たに構築して、これらの要求を満たすことを考えた。

今回試みた手法は、図-3に示すように、部材ごとのオブジェクトを作成し、それらのオブジェクトをあたかも現場組立のように組み合わせ、一つの橋梁を形成するものである。個々のオブジェクトは関数の多重定義によって、あらゆる形式のデータを扱うことができる。また、パラメータ出力の要求に対して、適切な値を任意のフォーマットで出力できる。さらに、オブジェクト組立時の依存関係を内部に記憶することで、橋梁構造が容易に把握できる。そして、データを時間軸で管理することで、補強時の構造変更によって失われる可能性のあるデータを、構造変更後も履歴情報として利用できる。また、このことによってデータの変更を部分的なものにとどめることができるという利点もある。

オブジェクト指向の考え方は、最近のCADでも適用されている考え方である。しかし、一般に上部工の設計はCADではなく、従来型のバッチ型の設計システムを使うことが多く、また、下部工では別のシステムを使用するため、データの関連が無く、また、画

像やグラフなどを統一して扱うことができないので、LC情報を扱うデータベースとしてはそのままでは使用できない。CADの作図機能は優れており、将来的にはCADデータまでを扱えるデータベースが必要だと思われる。

本研究のシステムのデータベースの開発は、C++言語とVERSANT<sup>11)</sup>というライブラリを用いて行った。C++言語はオブジェクト指向を本格的にサポートしたプログラミング言語で、従来のC言語と比べて開発効率、移植性が高いという特徴がある。また、VERSANTはオブジェクト指向データベースの作成と管理を実現するC++ライブラリであり、データ操作の安全性や、オンラインデータベースのデータ同時書き込み防止機能などを確保することができるものである。

橋種、構造形式に依存しないデータベースを作成するため、本研究ではデータベースと管理システムの分離を行っている。現時点では、データベース部分は合成I桁の直線橋のみに対応しているが、オブジェクトの再利用もしくは一部変更によって他のタイプの橋梁データベース作成が行える。このとき、管理システムの変更は不要である。

#### 画像情報

従来のシステムでは、点検時の写真は、データベース中ではアルバムへのインデックスとして管理されているので、内容を知るのに2段階必要であった。また、アルバム中では写真が橋梁ごとに管理されており、写真どうしの関係はどこにも記されていないという問題があった。

点検写真は、橋梁の損傷傾向を掴んだり、現況を把握するための履歴情報として使用されることが望ましい。このため、橋梁ごと、構造ごと、損傷ごとなど、あらゆる方法で分類され、検索できるようなデータベース化が必要と思われる。

本研究では、入手した写真のデジタル化を行い、検索のためにキーワードを付加した多目的画像データベースを作成した。デジタル化のためのフォーマットは、記憶容量の節約を第一目標として、文献4)で示したもので統一したが、損傷を表す画像データに関

表-1 付加したキーワード情報

|          | 項目     | 内容                                |
|----------|--------|-----------------------------------|
| 情報の整理    | 橋梁名    |                                   |
|          | ファイル名  | 拡張子のみ制限 (.tif, gif など)            |
|          | 分類     | 全景・部材・損傷・その他                      |
|          | 関連ファイル |                                   |
|          | 撮影日時   | 西暦年、月、日                           |
| 情報のクオリティ | 撮影状況   | 撮影時間帯、天候                          |
|          | 視点     | 撮影方向、距離                           |
| 損傷が有るとき  | 材種     | 鋼・コンクリート・その他                      |
|          | 損傷内容   | 腐食、亀裂、沈下など                        |
|          | 損傷箇所   | 支間中央部、連結部、支承周辺部など<br>詳細の場合：部材名、位置 |
|          | 備考     | 腐食進行状況、亀裂長さなど                     |

しては適宜解像度を変更して視認性を高めている。

キーワードの内容は、表-1に示すように損傷内容、損傷箇所、撮影日時、視点などを考慮したものであり、画像あるいは撮影時の報告書を参照して入力するが、データベース供用中でも追加、変更は可能である。キーワードの付加によって、画像内容の補足、目的ごとのデータ利用が可能になる。撮影状況、視点をキーワードとしたのは、将来的にパターンマッチングなどの形状認識処理が可能になった場合、以前と同じカメラアングル、距離で撮影した情報が必要となると考えたためである。

#### 災害情報

50年、100年というレンジで橋梁管理を行うためには既往災害情報は欠かせないものである。今回は災害情報の一つとして地震情報を扱う。

対象としたのは、示方書改訂のきっかけとなった地震から2、3年経過した時点での、正式な調査報告書から得られる情報である<sup>12)</sup>。

災害を考慮した設計や災害直後からの復旧計画を行うとき、災害シミュレーションの役割は重要である。このため、災害情報をデータベース化して、シミュレーション時に必要な情報を整理する必要がある。今回はとくに、既存道路橋の耐震性判定およびその後の耐震補強計画の立案のために必要となる情報を取り出しやすいように報告書の内容を整理した。具体的には、1) 地震動、2) 被害を受けた橋梁、3) 耐震点検項目、4) 耐震補強事例の4項目に分類して独

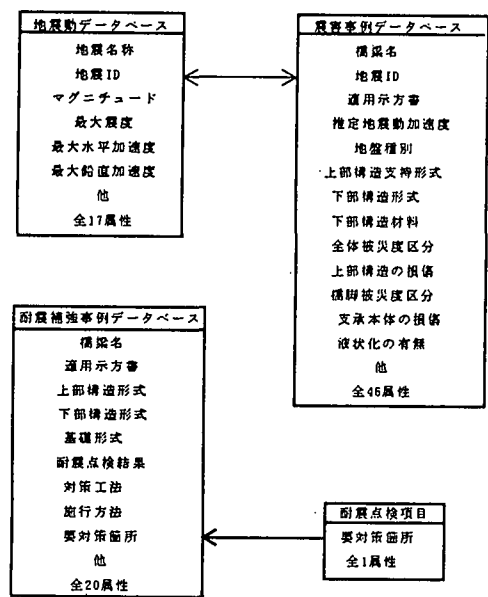


図-4 地震情報データベースの属性

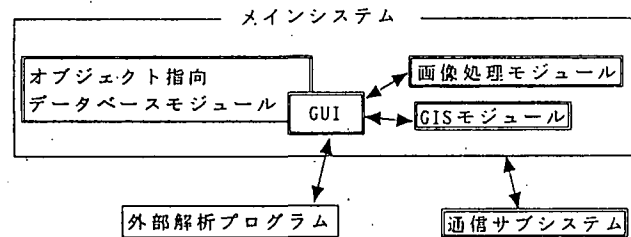


図-5 システムの構成

立なデータベースを作成し、先述のGIS、オブジェクト指向データベースとの関係づけを行った。図-4に属性の主なものを示す。属性としては、主として建設省が提案する橋梁点検要領<sup>7)</sup>や震災点検票<sup>8)</sup>による調査結果と併用できるような属性を選定している。

#### 4. システムの構成

橋梁の情報を管理・利用する立場にある行政関係者と、橋梁の構造を理解する必要のある初級技術者や学生を対象としてシステムを作成した。図-5にシステムの構成を示す。

メインシステムは3.で整備したデータベースを扱うためのモジュール群からなる。GISモジュールでは空間解析や、属性を使用した統計処理のためにパネルを適宜作成し、定型処理の効率を高めている。また、オブジェクト指向データベースモジュールは、構

造情報を扱うが、これ以外にも、他のモジュールを統合するという役割も持っている。画像処理モジュールは、画像情報及びキーワード情報を扱う。このモジュールでは画像情報に対して、エッジ処理やパターンマッチングなどの形状認識処理を行う機能を試験的に追加している。

拡張性を考慮して、各モジュールは独立しており、機能を追加することが容易にできるようにした。LCの各段階で従来利用されてきた優れたソフトも、インタフェースの作成によって利用可能となる。また、操作性の向上のために、インタフェースをウィンドウベースのGUIとしてできる限り統一した。

メインシステムは全てのデータを扱うことができるが、実際問題として、全てのデータを管理する行政機関であっても、担当部署の違いなどによってデータが分散していることがある。このため、例えば管轄の土木事務所などが、通信によって必要なデータだけを得ることができるシステムが必要である。こうした理由から、本研究では世界規模のコンピュータネットワークであるインターネットを利用した通信用のサブシステムを作成した。

インターネットでは、マルチメディア情報をすべて文書の中に含めた、ハイパーテキスト<sup>13)</sup>という形式での通信が可能である。この方式は、文書データ中に各情報のリンクや表示位置を明示しなければならないという問題がある。データ追加や更新ごとに文書の修正が必要になることは、情報整備の大きなネックとなると考えられる。本研究ではCGI<sup>14)</sup>を導入し、C言語で作成したプログラムを通信時に使えるようにすることでこの問題を解決した。具体的にはデータ収集・提供の自由度を高めるために、各種の検索プログラムを作成し、定型処理であれば、通信中にメインシステムを起動して数値情報などを取り出せるようにした。このような手法で作成したプログラムは、メインシステムと通信システムで共通して使うことができ、有効なものである。また、この他にも、1) 橋梁全景写真に歴史情報をつけて、地域の橋梁紹介として使用する、2) 画像どうしの関係を表すキーワードによって、全景写真から損傷写真への段階的な流れ

を追跡把握する、などの利用を可能にした。

## 5. システムの適用例

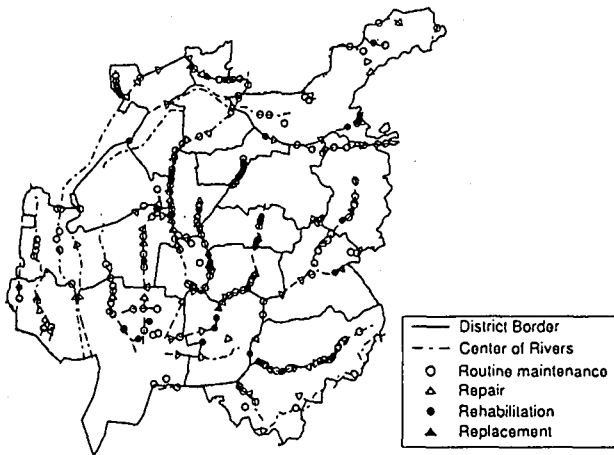


図-6 外部プログラムを利用した管理計画

### 外部プログラムの利用

図-6は、遺伝子アルゴリズム (GA) による維持管理計画最適化手法<sup>15)</sup>を用いて、複数橋梁の維持管理計画に対してコスト面での最適化を図った例である。メインシステムと解析プログラムの間のインタフェース作成によって、点検結果、構造特徴などのデータを解析プログラムに引き渡すことができる。また、解析結果をシステムにフィードバックすることで、いくつかの維持管理計画の比較時に交通ネットワークや河川の位置などを視覚的に考慮した検討を行うことができる。

### 通常管理時の利用例

通常管理をコストの面から見ると、鋼橋の場合は塗装が大きなウェイトを占める<sup>16)</sup>。塗装のサイクルは5~10年で、橋梁の状態によって多少変動がある。前回の塗装実施年などを点検情報から得て、ある年に塗装が必要な橋梁を求めることができる。また、構造情報からオブジェクトごとの塗装面積を計算し、塗装コストの概略を求めることができる。

### 耐震管理時の利用例

各機関で行われる点検結果を有効に利用するためには、耐震性判定手法の適用が考えられる。これは、耐震性に関係する点検の各項目を点数化し、重みを

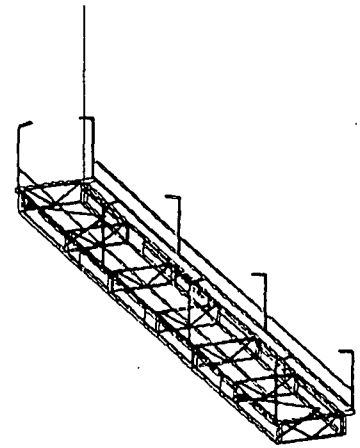


図-7 情報の図形化

乗じて足し合わせた値で評価を行う手法である。本システムの使用によって、点検時に考慮されていなかった項目を追加することができる。また、新しい要素の追加による判定結果の比較も容易である。例えば、兵庫県南部地震では桁がかり長の不足によって上部工が落橋、もしくは損壊したケースがいくつか見られたが、従来桁がかり長は点検されていなかった。本システムでは、構造情報中の部材寸法と位置関係からこの情報を算出し、耐震性判定式で扱うことができる。

### 情報の図形化

構造情報の把握を容易にするために、実際の橋梁をコンピュータ中に再現すべきであると考え、PHIGSグラフィックライブラリによる簡易描画機能を作成した。図-7はこの機能によって描画された橋梁の例である。現時点で描画可能なのは直線橋の上部工の板要素レベルまでであり、ボルトなどは描画されない。詳細な図面出力のためには、今後、CADとのインタフェースを作成する必要があると考える。

## 6. 結論

以下に本研究で得られた結論を示す。

- 1) 橋梁情報を地理情報、構造情報、画像情報に分類して扱うことで、すべてのLC情報を効率的に格納することができるシステムを提案した。
- 2) モジュールの独立化によって管理システムの拡張性が確保でき、長年月の使用に耐えるシステム

とすることができる。

- 3) 地理情報をGISで扱うことで、複数橋梁の管理をシステムとして行うことができることを示した。
- 4) オブジェクト指向の導入によって、実際の橋梁構造のデータベース化が可能となり、データの変更に対しても非常にロバストに対応できることを示した。

本システムは現時点では試作の段階であり、解決すべき課題も多く残っている。以下に示す課題を解決することで、将来的には社会基盤施設全体のLC管理を実現したシステムの構築が可能になると考えられる。

- 1) データベース作成の難しさ：本システムでは、定義済みのデータ構造の再利用によって、橋種ごとに最適化された構造情報データベースを作成することが可能である。しかし、新しい橋種を定義する場合、C++言語などの専門的な知識を必要とすることが問題となる。このため、誰にでも簡単にデータベースを作成できるような支援ツールの開発が必要であると思われる。
- 2) 情報収集の難しさ：LC管理にどのような情報が必要となるかを判断することは、依然として人に頼るところが大きい。このため情報を過不足なく収集することは難しいといえる。本研究では橋梁情報の分類を行ったが、さらに情報の体系化によって発生元、利用形態、加工履歴、重要度などを明確にし、システムに反映させる必要があると思われる。

最後に、一連の橋梁データを提供して頂いた名古屋市の関係各位に深謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 西川和廣：道路橋の寿命と維持管理，土木学会論文集，No.501/I-29，1994，pp.1-10.
- 2) 西土隆幸，伊藤義人：異なる形式の河川橋梁に対する景観の評価支援システム，土木学会論文集，No.474/VI-20，pp. 95-104，1993.
- 3) 道路建設事業における情報支援システム，土木学会情報システム委員会，1992.

- 4) ハンマード・アミン，新徳洋二，伊藤義人：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，土木学会土木情報システム論文集，Vol. 3，pp. 55-62，1994.
- 5) 最新名古屋地盤図総論，土質工学会，1988.
- 6) 細密数値情報利用マニュアル，(財)日本地図センター，1995.
- 7) 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.
- 8) 震災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，1991.
- 9) Stuart D. Werener, John B. Jernigan, Craig E. Taylor and Howard H. M. Hwang : "Seismic Vulnerability Assessment of Highway Systems", NCEER BULLETIN, Vol.9, No.4, pp.1-11, 1995.
- 10) ARC/INFO 入門，(株)パソシステム技術事業部，1993.
- 11) VERSANT ODBMS C++ / VERSANT System Manual, Versant Object Technology, 1994.
- 12) 例えば，土木学会東北支部：1978年宮城県沖地震調査報告書，1980.
- 13) Krol E. (村井純監訳)：インターネットユーザーズガイド改訂版，インターナショナル・トムソン・パブリッシング・ジャパン，1994.
- 14) Hedland M. : "A CGI Programmer's Reference", 1995. ( [http:// www.charm.net/ ~web/ Vlib/ Providers/ CGI.html](http://www.charm.net/~web/Vlib/Providers/CGI.html) )
- 15) 劉春路，ハンマード・アミン，伊藤義人：GAを用いた橋梁床版維持管理計画の最適化，JCOSSAR '95 論文集，日本建築学会，Vol.3，pp.333-340，1995.
- 16) 西川和廣：道路橋の維持管理について，平成6年度第2回技術講座資料，土木学会中部支部，pp.63-71，1994.