

I-10 台風・豪雨を対象とした橋梁防災システムに関する基礎的研究

A Study on Emergency Information System of Highway Bridges for Typhoon and Heavy Rain

三上 市藏* 田中 成典** 窪田 諭*** 吉村 直記****
 Ichizou MIKAMI Shigenori TANAKA Satoshi KUBOTA Naoki YOSHIMURA

【抄録】近年、台風・豪雨による災害の割合が増加し、その被害が大きくなっている。災害発生時に、道路橋の被害状況を把握するためには多大な情報や時間を必要とする。しかし、台風・豪雨を災害対象とする橋梁の防災システムは存在しない。本研究では、応急対策に必要な情報を抽出し、橋梁と管理事務所のフィーチャを定義した。そして、応急対策に必要な情報を利用できる橋梁防災システムを開発した。本システムでは、災害発生時の応急対策に必要な情報を日常から GIS で管理し、災害発生時に即座に情報を探し出せる。また、橋梁の被害情報を収集し、GIS に表示することで、道路ネットワーク全体の被害状況を把握できるものである。

【Abstract】In recent years the disaster appearance by typhoon and heavy rain increased, and the heavy damage occurred. In the disaster appearance, we need a lot of information and time to judge the damage level of highway bridges. However, there are no emergency information systems of highway bridges for typhoon and heavy rain in our country. In this paper, we extracted information for emergency measures and define the features of control offices and highway bridges. And an emergency information system of highway bridges for typhoon and heavy rain was developed.

In this system, the information for emergency measures after disaster appearance is managed by GIS at all time. Also, this system can collect the damage information of highway bridges and present the damage map of the road network by GIS.

【キーワード】橋梁, GIS, 防災情報, 情報管理, フィーチャ, UML

【Keywords】Bridges, GIS, Emergency Information, Information Management, Feature, UML

1. まえがき

近年、我が国において地球の温暖化によって台風の発生率が高くなり、全国各地で時間雨量が80mm～100mmに達する豪雨が頻発している。そ

のため、風水害による被害の割合が多くを占めるようになっている[1]～[3]。これまで、台風・豪雨による自然災害に対して、ダム・堤防・河口堰などの社会インフラを整備することによって防災を行ってき

*工博 関西大学 工学部土木工学科 教授

(〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

(E-mail : mikami.ichizou@mc.newweb.ne.jp)

**工博 関西大学 総合情報学部 助教授

(〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-2-1)

***工修 株式会社オーグス総研 GIS ソリューション部

(〒560-0083 大阪府豊中市新千里西町 1-2-1)

****関西大学大学院博士課程前期課程

(〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-2-1)

た。しかし、災害の規模が大きくなっている現在では、ダムなどのハード面の対策だけでは被害を抑えきれなくなっている[4]。そのため、災害発生後に迅速にその状況を把握し、早急に復旧活動を行うために、社会インフラの整備に加え、危機管理対策の充実を進めるソフト面での対策が求められている。

橋梁を含む道路は、災害後、安否確認・避難・救助・救援・救援物資の輸送という多くの局面で重要な役割を担っている[5]。道路橋の被害は、橋脚の損傷・洗掘など多種多様にわたるため、応急対策には多大の時間を要する[6][7]。道路橋の損傷状況を的確に把握するためには、ライフサイクルの各業務段階で発生する図面や写真、数量表など多くの成果品の情報を必要とする。阪神・淡路大震災発生時には、応急対策に必要な情報の収集が困難であり、さらに図面などを紛失し、応急対策・復旧活動が遅れるという問題が発生した[8]。このような問題を解決するためには、応急対策に必要な情報を日常から管理し、迅速に応急対策を行うことが必要となる。

現在、多様なデータを一つのデータベースとして取り扱え、重ね合わせなどの解析処理によって視覚的に情報把握ができる GIS が注目されている。様々な機関で橋梁を対象に GIS を用いた防災システム[9]～[12]が構築されている。これらは、応急対策に必要な情報を日常から管理する防災システムであるが、地震を対象としたものであり、台風・豪雨を対象とするシステムは存在しない。

本研究では、台風・豪雨時によって被災した道路橋の応急対策を迅速化するために、日常から必要な情報を管理し、被災現場から被害情報を登録し、道路ネットワーク全体の橋梁の被害状況を把握できる橋梁防災システムを開発する。本システムを開発するにあたって、日常から管理すべき応急対策に必要な情報を橋梁に関する情報・災害に関する情報・管理事務所に関する情報と三種類に分けて抽出し、整理する。これらの情報は日常から GIS で管理することにして、整理した情報を GIS と連携させるための橋梁と管理事務所のフィーチャ (Feature : 地物) を定義する。また、災害時には被災現場で被害情報を収集し、GIS に登録する。これにより GIS で道路

ネットワーク全体の橋梁の被害状況を把握し、復旧活動計画の意志決定を支援したり、一般市民に被害状況に関する情報を提供したりできるようにする。

2. 管理する情報の抽出

一管理事務所が管理している道路ネットワークを対象とする。台風・豪雨発生後の応急対策に必要な情報を、橋梁に関する情報、災害に関する情報、そして管理事務所の管理資機材に関する情報の三種類に分類して抽出する。GIS の背景地図として、国土交通省国土地理院が発行している数値地図 2500 (空間データ基盤)、数値地図 25000 (地図画像) および数値地図 25000 (地名、公共施設名) を使用した。なお、地図データは、平成 12 年度に国土庁 (現在、国土交通省国土計画局) が実施した GIS 整備・普及支援モデル事業から提供を受けた。

2.1 橋梁に関する情報

橋梁に関する情報は、表 1 に示す応急対策に必要な情報を「土木設計業務等の電子納品要領 (案)」[13]、「工事完成図書の電子納品要領 (案)」[14]、「CAD 製図基準 (案)」[15]、「デジタル写真管理情報基準 (案)」[16]、文献[17]を参考にし、計画、設計、施工、維持管理というライフサイクルで発生する計画書、数量計算書、図面や写真などの成果品から抽出した。基本情報として、橋梁管理番号、橋梁名、管理機関名など特定橋梁を容易に把握するための情報を抽出した。橋梁の被害状況を把握するためには部材単位での情報を収集する必要がある。そこで、部材単位の情報を主構造物、付属構造物に分けて抽出した。

災害履歴は、災害発生時に橋梁の被害状況を推測する情報として利用できると考えられる。そこで各橋梁単位で過去の被災履歴を管理する情報項目として災害履歴を抽出した。被害情報は、災害発生時における橋梁の被害情報を各橋梁で保存する情報項目とした。橋梁は、維持管理段階に入ると、補修によって形状などが変更される。補修に伴う変更図面などがなければ、被害状況を把握するために多くの時間を費やさなければならない。そこで点検・補修

表1 橋梁に関する情報項目

区分	情報項目	データ
基本情報	橋梁管理番号, 橋梁名, 道路名, 地建・都道府県名, 管理機関名, 架設年次, 住所, 座標(緯度, 経度), 等級, 橋長, 計画高水位, 支径間数, 最大径間数, 車道幅員, 歩道幅員, 片側車線数, 橋梁形式, 架設工法, 設計会社, 施工会社	
主構造物	上部工	スパン番号, スパン長, 桁区分, 桁種別, 床版種別, 主桁本数, 横桁本数, 総桁本数, 主径間, 支承形式, 鋼重, 鋼種, 支承形式, 支承移動量, 適用示方書
	橋脚	橋脚番号, 橋脚形式, 橋脚高さ
	橋台	橋台番号, 橋台形式, 橋台高さ, 使用材料
	基礎	基礎番号, 基礎形式, 基礎高さ, 基礎材料, 地盤改良工法
付属構造物	落橋防止装置	落橋防止装置番号, 構造種類
	高欄	スパン番号, 車道形式, 車道高さ, 歩道形式, 歩道高さ
	伸縮継手	伸縮継手番号, 構造区分
	その他	排水装置の有無, 踏掛板の有無, 中央分離帯の有無, 信号機の有無, 表示板の有無, 照明灯の有無
点検・ 補修履歴	点検履歴	点検報告書インデックス
	補修履歴	補修報告書インデックス
図面	一般図	作成年月日, 設計者, 設計会社, 図面データインデックス
	上部工構造一般図	
	下部工構造一般図	
	上部工構造図	
	下部工構造図	
	基礎構造図	
	航測図	
画像	工事画像	撮影年月日, 撮影場所, 撮影者, 画像データインデックス
災害履歴	災害年月日, 報告書データインデックス	
被害情報	報告年月日, 報告時間, 報告者, 調査方法, 被害状況, 判定区分, 通行判定, 備考	

履歴および一般図などの図面類を情報項目に選んだ。また、これらの情報は維持管理用データベースとの重複管理を防ぐために、データを保存している場所の情報をシステムで管理するように抽出した。

2.2 災害に関する情報

過去の災害情報は、災害時の応急対策の方針などの決定を行うために参考となる情報の一つである。災害に関する情報として、表2に示す情報項目を抽出した。災害情報は、管理されているすべての橋梁における被害履歴情報である。橋梁に関する情報にも災害履歴の情報が存在するが、災害情報は、地域における被害の報告書の情報を管理する。また、災害情報において災害発生後に作成される報告書データも抽出した。浸水実績図、洪水氾濫危険区域図、浸水予想区域図を管理するために、ハザードマップを情報項目として抽出した。

表2 災害に関する情報項目

情報項目	データ
災害情報	災害年月日, 災害種別, 災害名, 報告書作成者, 報告書データ
ハザードマップ	作成年月日, 災害種別, 被害予測規模, 被害予測範囲, 作成者, ハザードマップデータインデックス

2.3 管理事務所に関する情報

台風・豪雨などによる災害が発生した場合、被害情報を収集するとともに、被害を受けた橋梁を迅速に復旧し、道路のネットワーク機能を回復しなければならない。

管理事務所に関する情報を表3に示す。基本情報として、各管理事務所を把握するための情報項目を抽出した。管理事務所が所有している出張所に関する情報は、組織構成の情報項目として抽出した。また、各管理事務所で管理している資機材は、車輛と機材に分けて情報項目を抽出した。

表3 管理事務所に関する情報項目

区分	情報項目	データ
基本情報	事務所管理番号、工事事務所、地建・都道府県名、住所、座標（緯度、経度）	
組織構成	管理事務所	課、係、人数
	出張所	事務所管理番号、出張所名、住所、座標（緯度、経度）、課、係、人数
資材	車輛	車輛区分、車輛名、台数
	機材	機材名、個数

3. GISと管理する情報の連携

応急対策に必要な情報を登録・更新・管理し、また災害発生時には、被害情報をリアルタイムに更新するために、橋梁や管理事務所のフィーチャを定義する。フィーチャの定義は地理情報標準[18]を用いて行った。

3.1 フィーチャの定義に用いる技術

UML (Unified Modeling Language：統一モデリング言語) [19] [20]は、地理情報標準や ISO/TC211 の地理情報分野において空間データ構造の概念スキーマの表現に用いられている OMG (Object Management Group) によって国際標準として定められたモデリング言語である。クラス図は UML における最も中心的な技術であり、クラス同士の継承、関連などの構造的な関係を記述できる。そこで、

フィーチャの表現には、UML のクラス図を用いることにした。

クラスは、図 1 に示すように長方形で表現する三つのパーティションを持ち、一番上のパーティションにクラス名、中央のパーティションに属性、一番下のパーティションに操作を記述する。クラス間の関係は、クラスの長方形同士を結ぶ線で表す。また、クラス間の関係を示すためにクラスとクラスを線で結び、矢印や菱形を線の片側に記述することで汎化や集約を表す。汎化は、矢印の先のクラスが矢印の元のクラスの汎化された意味を持つことや元のクラスが先のクラスの特徴化（継承）することを表す。集約は、上のクラスが下のクラスを保持していることを表現する。菱形が塗りつぶされる時、コンポジションという通常の集約よりさらに強い集約の形態となる。また、多重度を用いることで関連の両端に対応するオブジェクトの個数を記述することができる。

3.2 橋梁のフィーチャの定義方法

橋梁のフィーチャの定義方法として、橋梁のフィーチャを表現する《Feature》Bridge というメタクラスを作成する。地物自体が持つ特性を記述する地物属性（feature attribute）を定義するクラスを作成し、橋梁のフィーチャを定義したメタクラスとの集約の関係を結ぶ。それぞれの橋梁に関する図面・点検補修履歴・画像・災害情報・被害情報などのクラスを作成し、地物属性のクラスに汎化するように定義する。橋梁管理番号や橋梁名などの基本情報は主題属性のクラスの属性として定義するが、住所や緯度・経度などの位置情報は地理識別子に関連する空間参照の属性に記述して定義する。部材単位に関する情報は、主構造物・付属構造物のクラスを作成することで定義する。橋梁を GIS でポイント要素として表現するために空間属性に関連する空間要素の属性として GM_point を定義する。これらの表現により図 2 に示す橋梁のフィーチャが定義される。

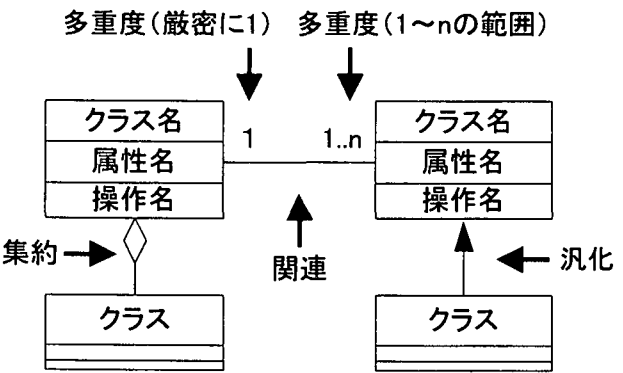


図1 クラス図

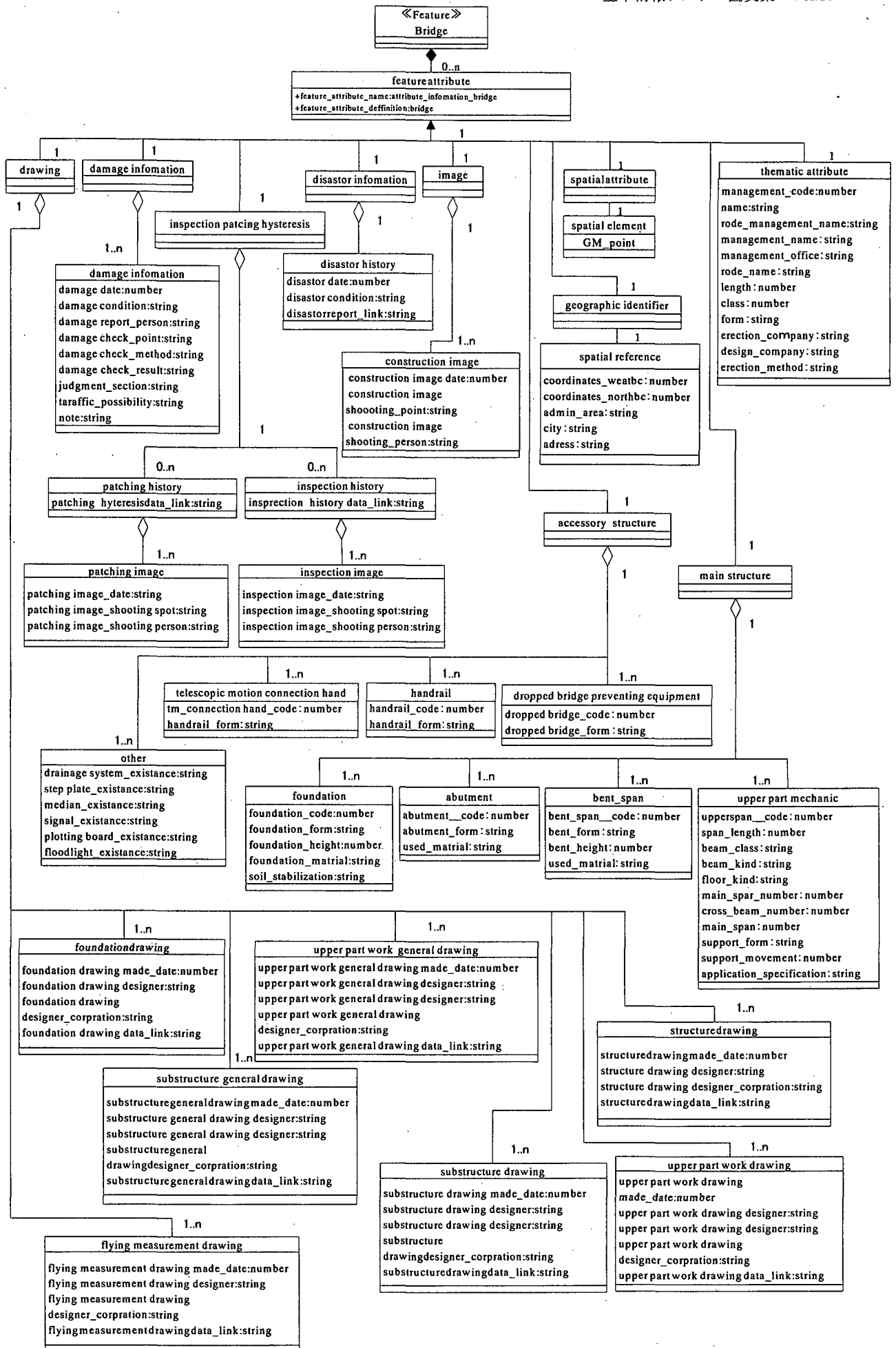


図2 UMLで表現した橋梁のフィーチャの定義

3.3 管理事務所のフィーチャの定義

管理事務所のフィーチャの定義方法として、管理事務所をフィーチャとして表現する《Feature》control office というメタクラスを作成する。そして、管理事務所に関する情報を GIS と連携させるために地物属性を表す feature attribute のクラスを作成し、集約の関係を結ぶように定義する。基本情報の事務所管理番号、管理事務所名、管理機関名は、主題属性に定義する。管理事務所に関する情報を管理事務所のフィーチャと結び付けるために組織情報、管理資機材情報のクラスを作成し、地物属性のクラスと汎化するように定義する。位置情報は、橋梁のフィーチャと同様に座標・住所などの位置情報を空間参照上の属性に定義する。管理事務所を GIS でポイント要素として表現するために、空間要素上の属性として GM_point を定義する。

4. 橋梁防災システムの開発

前章で定義したフィーチャを基に応急対策に必要な情報を維持管理用データベースと連携して管理し、被害情報を収集・登録できる橋梁防災システムを開発する。

橋梁防災システムは、平常時には、管理事務所において応急対策に必要な情報を管理するシステムである。台風・豪雨の災害発生時には、図3に示すように管理事務所、被災現場などにインターネットを通じて情報提供・収集するシステムである。また、収集した橋梁の被害などを復旧活動の支援機関や一般市民に道路共用情報を提供するシステムである。橋梁防災システムは、橋梁防災データベース、情報管理システム、被害状況把握システム、情報公開システムから構成されている。

4.1 橋梁防災データベース

データベースは、2.に述べた応急対策に必要な情報を管理する。データの管理方法は、橋梁・管理事務所別にフォルダ分類する。そして、各橋梁・管理事務所が持つ情報項目別にフォルダを作成し、各フォルダにテキスト形式のデータとして管理する。

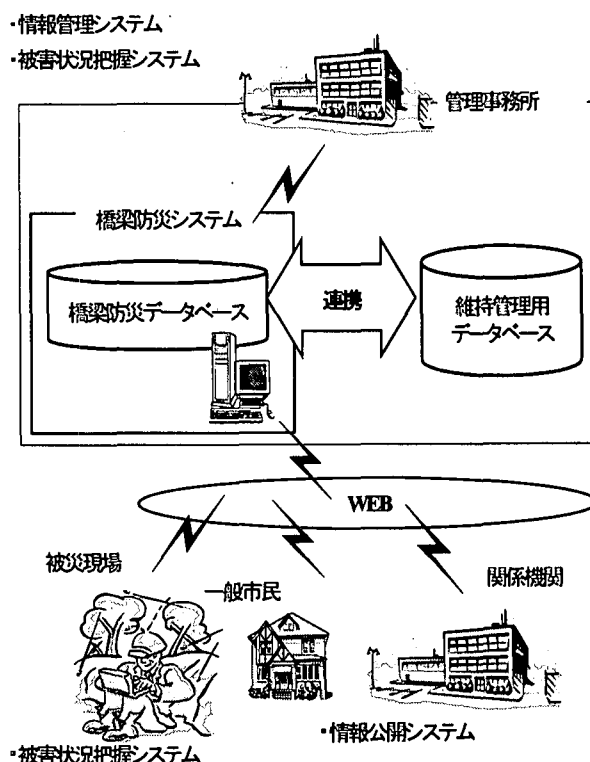


図3 システムの運用図

4.2 情報管理システム

情報管理システムは、橋梁防災データベースで管理している応急対策に必要な情報の登録・検索・更新・一覧情報表示ができる。また、GIS とデータベースで管理する情報とを連携するシステムである。

登録機能は、橋梁や管理事務所が新設された場合、管理情報を登録する機能である。検索機能は、橋梁管理番号・橋梁名・緯度経度・路線名・住所などの条件で橋梁や管理事務所を検索する。橋梁名を検索した場合、図4に示すように、橋梁管理番号・橋梁名・住所・緯度経度・路線名・管理情報が表示される。更新機能は、橋梁の維持管理の段階で変更・追加された図面や画像情報、災害情報、管理事務所の管理資機材の変更に関する情報を更新する。一覧表示機能は、管理されている橋梁・管理事務所の情報を一覧表示する。

4.3 被害状況把握システム

橋梁の被害調査を行うために必要な情報を検索・利用し、調査した橋梁の被害情報を現場で GIS に登録することを想定している。収集した情報は

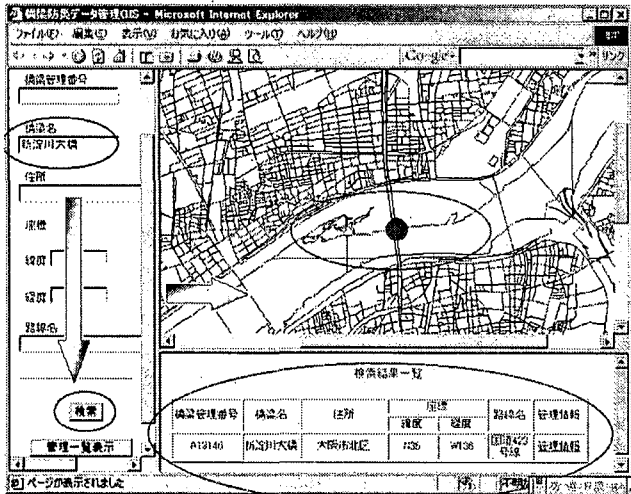


図4 橋梁名で検索した結果の画面

GISで管理し、道路ネットワーク全体の被害状況を容易に把握できるようにする。

本システムには、検索、被害情報の登録、更新、被害情報表示という四機能がある。検索機能は、被害調査を行う橋梁を条件検索する機能である。登録機能は、被災現場で通行止めの有無、被災箇所などを入力する機能である。台風・豪雨によって発生する被害状況は、時々刻々と変化するため、更新機能は、橋梁の被害状況の変化をリアルタイムに更新する機能である。既に登録されている被害情報との区別は、登録した時間によって履歴管理する。被害情報表示機能は、収集した橋梁の被害情報をGISで被害程度に応じて色表示し、詳細な被害情報を表示する機能である。これにより管理している道路ネットワーク全体の橋梁の状況を容易に把握できる。そのため、避難路・迂回路・緊急輸送路の選定支援と復旧計画の意志決定支援に使える。

4.4 情報公開システム

自然災害の発生時において、道路の被害状況は道路管理者や災害対策本部などの関係機関だけでなく、一般市民にも必要な情報である。阪神・淡路大震災時において、一般市民が被害状況などを把握できなかったために道路ネットワークの至るところで一般車両による渋滞が発生し、救援、復旧活動などが遅れるという問題が発生した。

本システムは、一般市民や復旧活動の支援機関に

対して道路ネットワーク全体の橋梁の被害状況や通行可否、緊急輸送路や迂回路の情報をインターネットを通じて提供する。本システムは、条件検索、橋梁被害状況表示の機能がある。条件検索機能は、各橋梁の被害程度、通行可否など条件に該当する橋梁を一覧表示し、GISに表示する機能である。橋梁被害状況表示機能は、復旧活動を支援する関係機関や一般市民に提供し、避難路情報や緊急輸送路情報、各橋梁の通行可否を被害情報と同時に表示できる。これより、一般市民に対して橋梁の被害状況、通行可否、避難路や迂回路などの情報を提供することにより、災害発生後の混乱を防ぎ、二次災害の軽減に期待できる。また、復旧活動を支援する関係機関に対してこれらの情報以外に緊急輸送路の詳細情報を提供することで、復旧活動の迅速化につながる。

5. あとがき

本研究では、台風・豪雨によって被災した道路橋の応急対策を迅速化するために、必要な情報を日常から管理し、被災現場で登録し、収集した被害情報をGISで管理することで、道路ネットワーク全体の被災情報を把握できる橋梁防災システムを開発した。結論を以下に述べる。

- ・GISで応急対策に必要な情報を管理するために、橋梁に関する情報、災害に関する情報、管理事務所に関する情報の三種類に分けて抽出し、UMLを用いて橋梁と管理事務所のフィーチャを定義した。
- ・応急対策に必要な情報を日常から管理するための情報管理システムを開発した。
- ・台風・豪雨が発生し、橋梁が被災した際に必要な情報を現場でGISから検索し、利用できる被害状況把握システムを開発した。これにより応急対策に必要なアナログ情報を準備する工程を省略化し、迅速に橋梁の被害調査を始められる。また、被災現場で得られる橋梁の被害情報をGISに登録し、道路ネットワーク全体の橋梁の被害状況、各橋梁の被害情報を容易に知ることができる。これにより復旧計画や緊急輸送路選定の意志決定支援につながる。
- ・災害発生後から橋梁の被害状況や迂回路などの情報をインターネットを通じて一般市民に提供するた

めの情報公開システムを開発した。また、復旧活動を支援する関係機関に対しても、橋梁の被害状況や迂回路などの情報以外に緊急輸送路の情報を提供することができる。

今後の課題として、既存の地震を対象とした防災システムとの連携を図り、様々な災害に総合的に対応できるようにする必要もある。

最後に、本研究をまとめるにあたり、関西大学総合情報学部教授 古田均博士にはご支援をいただいた。日本工営株式会社 今井龍一氏には応急対策に必要な情報を抽出するにあたり、TIS 株式会社 村田真一氏には本システムを構想するにあたり、討議いただいた。また、本研究の一部は関西大学学術研究助成基金により行った。情報の抽出あたり、平成 12 年度の国土庁の GIS 整備・普及支援モデル事業から情報の提供を受けた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 建設省：建設白書-人口の動きから見た住宅・社会資本-平成 11 年版，大蔵省印刷局，1997.7.
- [2] 建設省：建設白書-活力と美しい環境を創造し，安全を支えるまちづくりへの挑戦-平成 12 年版，大蔵省印刷局，2000.8.
- [3] 国土庁：防災白書平成 12 年，大蔵省印刷局，2000.6.
- [4] 河田恵昭：全国まんべんなく働く異常気象が誘因で水害「激化，多発，繰り返し」が顕著に-地球温暖化の影響で見直し必死の防災基準，日経コンストラクション，日経 BP 社，No.243，pp.32-37，1999.11.
- [5] 亀田弘行：防災/日常の情報課題の連携と地理情報システム（GIS）の活用-リスク対応地域空間情報システムの提言-，予報時報，日本損害保険協会，No.197，pp.8-13，1994.4.
- [6] 福島真司：道路災害と応急復旧について，土木学会，土木学会第 54 回年次学術講演会講演概要集，CS-40，1999.9.
- [7] 藤本貴也：災害対策資材の配備と関係機関の協力，土木学会第 54 回年次学術講演会講演概要集，CS-50，1999.9.
- [8] 阪神高速道路管理技術センター：大震災を乗り越えて（震災復旧工事誌），阪神道路公団，1997.9.
- [9] 阪神高速道路公団：総合防災システム，2000.9.
- [10] 伊藤義人，新徳洋二，ハンマード・アミン，佐竹禎司，劉春路：橋梁ライフサイクル情報管理システムに関する研究，土木情報システム論文集，土木学会，Vol.5，pp.171-178，1996.10.
- [11] 樽磨和幸，佐村敏治，大月一弘：防災とコンピュータネットワーク，土木学会誌，Vol.84，pp.28-32，1999.1.
- [12] 浪川良春：道路防災点検データ管理 GIS，橋梁 & 都市 PROJECT，橋梁編纂委員会，Vol.36，pp.65-68，2000.7.
- [13] 国土交通省：土木設計業務等の電子納品要領（案），2001.2.
- [14] 国土交通省：工事完成図書の電子納品要領（案），2001.2.
- [15] 国土交通省：CAD 製図基準（案），2001.2.
- [16] 国土交通省：デジタル写真管理情報基準（案），2000.8.
- [17] 伊藤満，栗田章光，鈴木博之，吉川紀：鋼道路橋の建設・管理，明星大学出版部，1998.4.
- [18] 国土地理院：地理情報標準，2000.7.
- [19] 千藤雅弘：かんたん UML，翔泳社，1999.6.
- [20] Martin Fowler，羽生田栄一：UML モデリングのエッセンス第 2 版，廣済堂，2000.4.