

## I-12 コンクリート橋の維持管理業務における情報モデルの構築に関する研究

## Information Models for Maintenance Stage of Concrete Highway Bridges

三上 市藏<sup>1</sup>                      窪田 諭<sup>2</sup>                      君嶋 三恵<sup>3</sup>  
 Ichizou MIKAMI                  Satoshi KUBOTA                  Mie KIMIJIMA

【抄録】 コンクリート橋の維持管理業務においては、橋梁の管理技術者の業務負担を軽減し、利用者が橋梁を安全に利用できるようにするために、現状の業務プロセスを改革して新しい維持管理業務プロセスモデルを構築する必要がある。

本研究では、CALS の実現に向けて新しい維持管理業務プロセスモデル (To-be モデル) を構築するために、To-be モデルで必要となる情報モデルを構築した。そこでは、To-be モデルに必要な情報をライフサイクルにわたって効率的に蓄積し、検索および利用するために、要求機能を分析し、部材に関する情報を部材情報モデル、業務に必要な情報および業務結果の結果を業務情報モデルとして定義し構築した。

【Abstract】 In maintenance process of concrete bridges, management engineers' share for the bridges increases. For reducing engineers' share, it is necessary that the presented business process is innovated, and new business process is constructed. CALS should be realized.

In this study, the new maintenance business process model is aimed for realization of CALS in concrete bridges. Information models needed in new business process was constructed. The required function for new maintenance business process was analyzed for accumulating, referring, and utilizing information through lifecycle. For realizing the required function, member information model and business information model was constructed.

【キーワード】 コンクリート橋, 維持管理, 情報モデル, CALS, UML, XML

【Keywords】 Concrete Highway Bridges, Maintenance, Information Models, CALS, UML, XML

## 1. まえがき

コンクリート橋は我が国の橋梁の約 50% を占めており、社会基盤の中で重要な役割を担っている。しかし、既存のコンクリート橋において、1999 年にはコンクリートの落下事故や付属構造物の損傷落下などが相次いで発生<sup>1)</sup>するなど、コンクリートの安全に問題が発生している。したがって、供用中のコンクリート橋を常に良好な状態に保ち、国民が安全に利用できるようにするために、適切な時期に点検および診断を行い、適切な補修・補強の対策を実施する維持管理が体系的に行われなければならない

い<sup>2)3)</sup>。今後は一般的な供用年数である 50 年を超える橋梁数が増加<sup>4)</sup>するため、維持管理費用と管理技術者の増加が望まれる。しかし、現状では、行政の財政状況が非常に厳しい状況にあるため維持管理費用の増大には限界があり、橋梁の管理技術者を削減しようとする傾向にある。そのため、橋梁の管理技術者は、維持管理業務にますます大きな負担を強いられることになる。したがって、橋梁の管理技術者の負担を軽減するためには、維持管理業務を効率化する必要がある。

維持管理業務では、計画から維持管理にわたるラ

1 フェロー 工博 関西大学 工学部 都市環境工学科 教授

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

2 正会員 修 (工) 株式会社オービス総研 コンサルティング部

3 学生員 関西大学大学院 工学研究科 土木工学専攻

(〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

(〒550-0023 大阪市西区千代崎 3-南 2-37)

(〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

ライフサイクルにおいて発生する膨大な情報が取り扱われる。維持管理業務を効率化するためには、ライフサイクルにおいて電子情報を交換・共有・再利用することによって業務プロセスを改革するという CALS の概念を適用することが有効である。CALS を実現するためには、現状の維持管理業務プロセスを分析し、維持管理業務のあるべき姿を構築することが必要である。

維持管理業務のあるべき姿を構築するためには、業務に必要な情報が定義され、そのデータ構造が明確にモデル化されていることが重要である。コンクリート橋のライフサイクルを考慮すると、これらの情報は将来の維持管理業務においても欠かすことのできない根幹を成すものであるため、電子化および標準化されなければならない。維持管理業務に必要な情報を明確に定義し、電子化および標準化するためには、情報モデルを構築する必要がある。

さらに、世界貿易機関（WTO：World Trade Organization）が「政府調達協定」および「貿易の技術的傷害に関する協定（TBT 協定：Technical Barriers to Trade）」を発効したことに伴い、日本の建設業界全体が ISO（International Organization for Standardization）規格を遵守する必要に迫られている。このことは維持管理に関する情報モデルが ISO で制定された場合、それがわが国の標準の規格になることを意味している。そのため、我が国独自の情報モデルの基準を早急に確立するとともに、それらを統合的に扱う手法や実装方法を考案し、それを ISO に提案する必要がある。

そこで、本研究では、コンクリート橋の管理技術者の業務負担を軽減し、多数の橋梁を安全に供用できるようにするために、新しい維持管理業務のプロセスモデル（To-be モデル）の構築を目指して、To-be モデルで必要となる情報モデルを構築する。そのために、まず、現状のコンクリート橋の維持管理業務を明確にし、問題点を抽出するために、維持管理業務の現状プロセスモデル（As-is モデル）を構築する。次に、抽出された問題点を解決するために、To-be モデルに必要な情報を抽出して情報モデルとして定義する。

## 2. 維持管理業務の現状分析

維持管理業務の To-be モデルの構築を目指して、現状の業務における問題点を明確にするために、UML(Unified Modeling Language)<sup>5)</sup>を用いて業務分析を行う。現状の維持管理業務（As-is モデル）は、業務の内容および流れを明確にできる UML のアクティビティ図を用いて表現する。本研究では、橋梁点検要領（案）<sup>6)</sup>、日本道路公団<sup>7)</sup>、首都高速道路公団<sup>8)</sup>、阪神高速道路公団<sup>9)</sup>の現状分析を行う。その結果、各団体の業務は橋梁点検要領（案）に基づいて行われており、業務の内容および流れに大差はなかった。分析の結果として、阪神高速道路公団の維持管理業務の流れ<sup>9)11)</sup>を図-1に示す。そして、維持管理業務段階の各作業における情報の流れおよび情報の活用方法を UML のシーケンス図（図-2）を用いて表現する。そして、これらの図を維持管理業務における情報の共有および利活用の実現という観点から分析して問題点を抽出し、それに対応した解決策を以下に述べる。

**(1) 問題点：**判定の際に点検結果と予算資料しか確認していない<sup>11)</sup>。判定や診断の際に、過去の判定や診断の結果が一部しか活用されていないため、点検結果の分析が活かされておらず<sup>4)</sup>、判定や診断結果に点検員や橋梁管理者の個人差がある。

**解決策：**判定や診断結果の個人差を解決するために、部材の点検から判定、診断、補修完了までの一貫した履歴を蓄積し、将来の判定や診断に活用する。そのために、各業務で活用すべき情報および蓄積すべき情報を定義する。

**(2) 問題点：**点検結果や補修結果などの情報が一部では電子化されているが、特定のソフトウェアに依存している<sup>10)</sup>。そのため、点検結果や補修結果の永続性が確保できず、過去のデータを将来活用できなくなる可能性がある。

**解決策：**維持管理業務で利用する情報をシステムに依存しない形式で標準化し、情報の永続性を確保する。情報モデルを標準化することによって、ライフサイクルにわたって過去の情報を活用することができる。

**(3) 問題点：**維持管理計画で行う橋梁台帳と橋梁諸元を確認する作業が、点検計画においても実施されている<sup>10)</sup>。また、点検、判定および診断の結果が、後

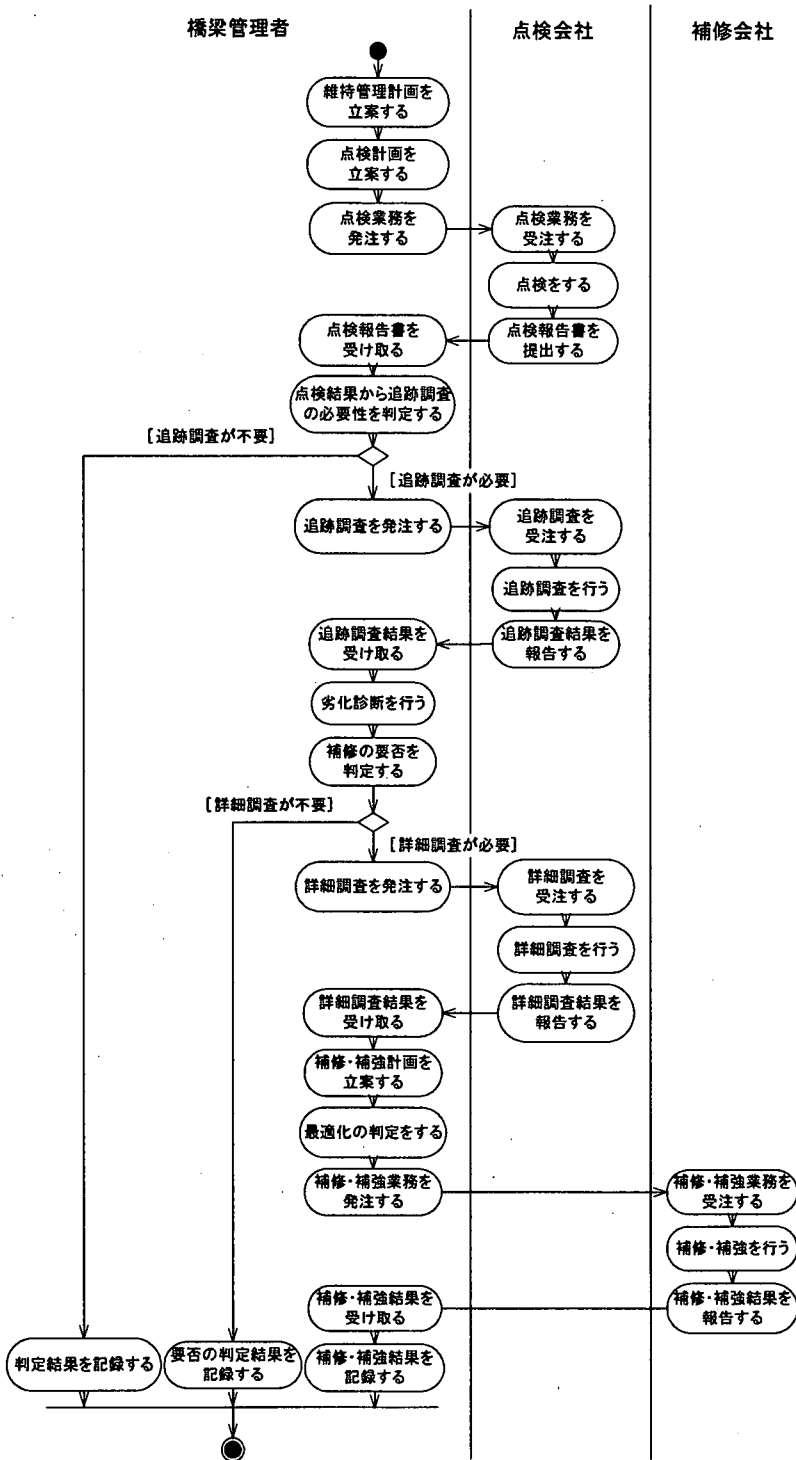


図-1 現状の維持管理業務のアクティビティ図

の追跡調査および詳細調査などに活用されていない<sup>9)</sup>。そのため点検業務で行う作業が追跡調査と詳細調査で再度実施される。

**解決策:**各業務における関係者の役割を再定義し、必要な情報と蓄積すべき情報を定義する。そして、これらの情報モデルを構築することによって、各業務間の情報の円滑な交換や業務後に発生する情報の効

率的な蓄積を行う。これによって、維持管理計画と点検計画、点検業務と追跡調査と詳細調査で重複している作業を削減する。

### 3. 情報モデル構築の考え方

本章では、新しい維持管理業務プロセスモデル (To-be モデル) を構築するために、To-be モデルで活用されるべき情報モデルを構築する。

#### 3.1 情報モデルの構築手法

コンクリート橋のライフサイクルを考慮すると、各業務段階で多種多様な情報が発生する。しかし、これらの情報全てが維持管理を実施するために必要となるわけでない。したがって、本研究では維持管理業務で利用される情報のみをモデル構築の対象とする。

コンクリート橋の維持管理業務に関する膨大な情報を単一のモデルとして定義すると、橋梁の管理技術者が欲しい情報を検索する際に意図していない情報をシステムが抽出してしまう問題や業務への利用が困難になるという問題がある。そこで、維持管理業務に関する膨大な情報を二種類に分類し、これらの問題を解決する。第二章の分析から、部材の診断や判定結果の蓄積と各業務における情報の利活用を考慮することが必要であると言える。したがって、本研究では、コンクリート橋の部材に関する情報と維持管理業務に関する情報の二種類に分類する。

部材に関する情報には、材質、構造形式、位置などが存在する。業務に関する情報には、コンクリート橋が供用年数を経るにつれて、各部材の点検結果や補修結果、診断結果などの情報が発生し蓄積される。そのため、業務に関する情報モデルは、橋梁の管理技術者がこれらの情報を必要なときに容易に抽

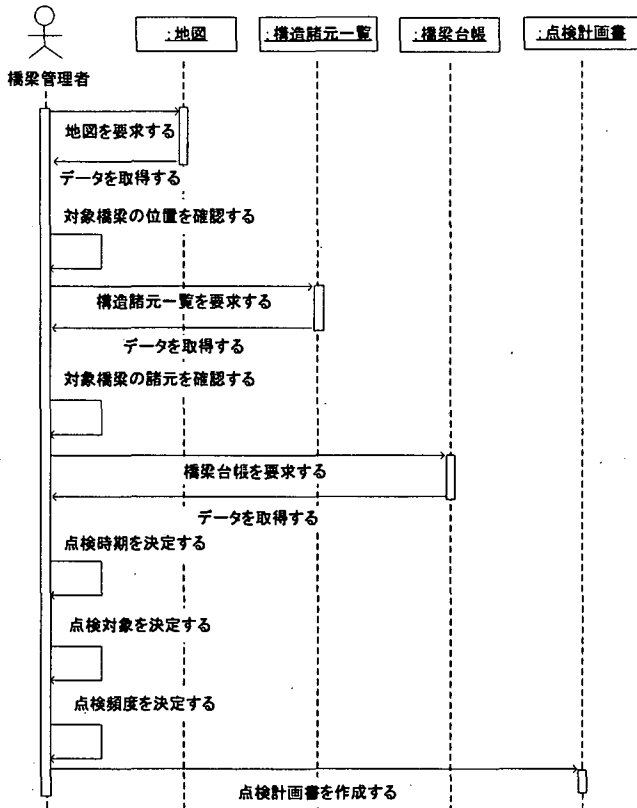


図-2 現状の点検計画のシーケンス図

出し、点検などの業務に必要な情報と業務の結果として発生する情報を定義する。

これらの情報モデルを構築するために、現状分析から得られた各業務に要求される機能を検討する。要求機能の分析には、システム要求の記述に最適なUMLのユースケース図を利用する。ユースケース図によって要求機能を表現することにより、関係者（アクター）の要求および要求機能間の関係を明確にできる。その要求機能の実現のために必要となる情報を抽出する。必要な情報の抽出には、第二章で作成したシーケンス図を参照し、To-beモデルのために必要な情報を追加する。そして、抽出した情報の構造をオブジェクト指向のUMLのクラス図によって表現する。

### 3.2 情報モデルの構想

本研究では、維持管理の各業務段階において必要となる部材に関する「部材情報モデル」および点検などの業務に必要な情報と業務の結果として発生する情報を分析した結果である「業務情報モデル」を構築する。情報モデル全体の構想を図-3に示す。

### 3.2.1 部材情報モデル

部材情報モデルは、コンクリート橋を構成する各部材について、工事完成後に維持管理業務に流通すべき基本的な情報と業務の結果の情報から次の当該業務に活用するために蓄積すべき情報で構成される。業務を行う際には、部材情報モデルから当該業務に必要な情報を抽出してINPUT情報として利用できるようにする。

工事完成後に維持管理業務に流通すべき基本的な情報には、部材に関する全ての情報を保持させることが可能であるが、一つのモデルに膨大な情報を付加することはモデルの操作性に支障を来すことになるため、工事完成後の維持管理業務に必要な情報のみを保持させることとする。CADデータや設計解析結果、数量計算結果などの情報については、データベースに蓄積されるこれらの情報のメタデータと部材情報モデルとのマッチングを図ることによって、維持管理業務の関係者が要求する情報を参照できるようにする。

将来の業務に活用するために蓄積すべき情報は、業務によって発生した結果などの情報である。これは時間属性を保持し、部材の健全度を時系列で把握でき、劣化診断や将来予測に活用できることを想定する。

### 3.2.2 業務情報モデル

業務情報モデルは、維持管理の各業務で利用すべきINPUT情報と業務の結果として発生するOUTPUT情報から構成され、これらのINPUT情報とOUTPUT情報が定義される。

図-2に示すように、維持管理業務の関係者は業務情報モデルで定義した利用すべき情報と部材情報モデルから抽出した情報を各業務のINPUT情報として利用する。そして、業務を行った後の点検結果などがOUTPUT情報として作成される。これらのOUTPUT情報は、各業務が完了すると部材毎に部材情報モデルに蓄積される。これは、現状では過去の結果などの情報が有効に活用されていないためである。OUTPUT情報を蓄積した部材情報モデルは、下流業務におけるINPUT情報としての役割を持つとともに、ライフサイクルにおけるINPUT情報としての役割も持つ。

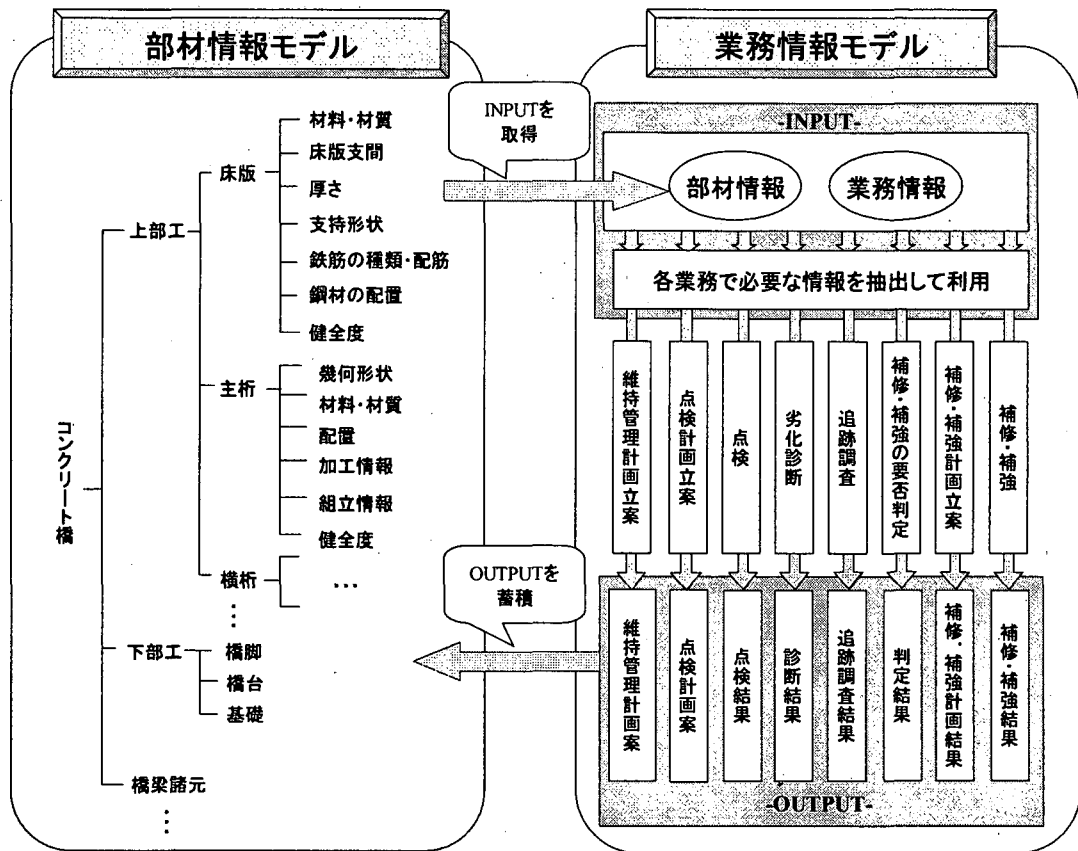


図-3 情報モデルの構想

業務情報モデルの OUTPUT は、部材情報モデルに蓄積されることによって、膨大な情報量となる。そこで、橋梁技術者が要求する情報の検索や管理を円滑に実施できるようにするために、OUTPUT 毎にメタデータを整備し、蓄積された情報の検索や管理を高度化する。

#### 4. 情報モデルの構築

本章では、第三章の構想に基づき「部材情報モデル」および「業務情報モデル」を構築する。まず、維持管理の各業務に要求される機能を分析する。次に、それらの機能を満たすために必要な情報を抽出し、モデル化する。

##### 4.1 部材情報モデル

部材情報モデルは、工事完成後に維持管理業務に流通すべき情報と将来の業務に活用するために蓄積すべき情報から構成される。工事完成後に維持管理業務に流通すべき情報としては、計画、設計および施工段階において蓄積された全ての情報のうち、維持管理段階で必要な情報のみを抽出する。維持管理

計画立案の際に構造物の部材の概要を把握して行う将来予測、診断の際の将来予測に必要な情報の作成、補修時における構造の把握という三つの目的のために必要な情報を抽出する。

将来の業務に活用するために蓄積すべき情報としては、「維持管理計画」と「点検計画」における「部材の劣化状況の把握」および「劣化診断」と「健全度評価」を行う際に部材の経年過を把握するための「過去の診断結果の参照」である。そこで、部材情報モデルには、損傷ランクや劣化状態などの部材の「健全度」に関する情報を定義してモデル化し、情報を蓄積することによって今後の維持管理計画、点検計画、劣化診断および健全度評価に活用する。

##### 4.2 業務情報モデル

業務情報モデルは、各業務における要求機能を実現するために必要な情報である点検などの業務に必要な INPUT 情報と業務の結果として発生する OUTPUT 情報から構成される。業務情報モデルにおける各情報の属性と情報間のつながりを定義し、各業務における INPUT 情報および OUTPUT 情報をモ

デル化する。

(1) INPUT

INPUT における要求機能については、「情報の利活用」、「コスト削減」および「作業の削減」の観点から分析する。「情報の利活用」では、過去の点検結果や診断結果などの部材の健全度を下流の業務に生かすために要求される機能を抽出する。「コスト削減」では、情報モデルを活用することによって、従来の業務からコストを削減するために要求される機能を抽出する。「作業の削減」では、従来まで行っていた作業を削減するために要求される機能を抽出する。点検計画の INPUT における要求機能を分析した結果を図-4 のユースケース図に示す。

分析した要求機能から、必要とされる情報と各情報の属性や情報間のつながりを定義し、モデル化する。業務情報として蓄積された情報と部材情報として蓄積された情報から、各業務に対して必要な情報を業務情報モデルの INPUT として定義する。部材の状態の把握と将来予測の把握を行う場合は部材情報モデルから INPUT を抽出する。その際、業務情報モ

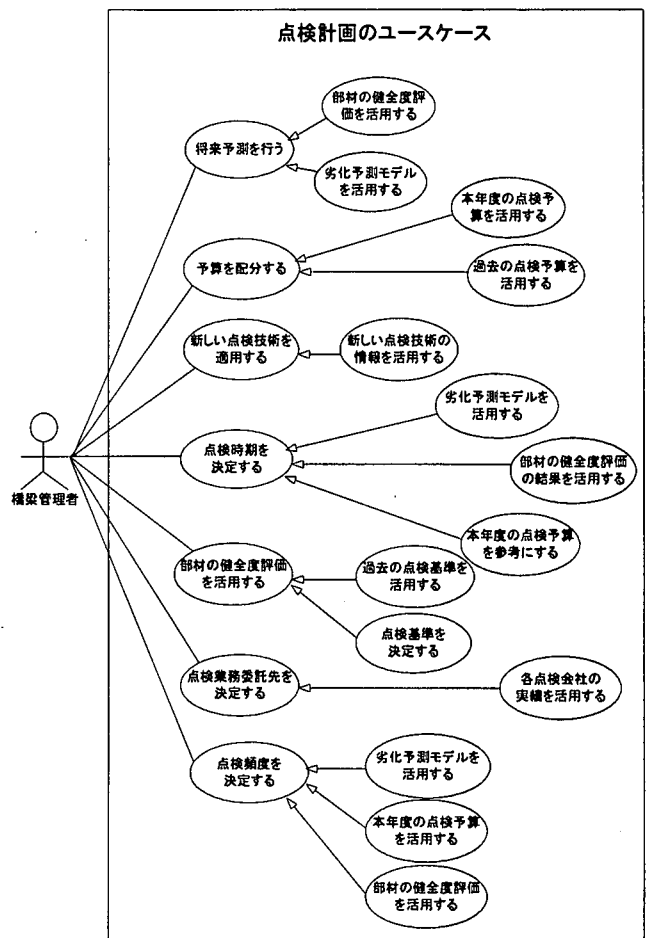


図-4 点検計画の INPUT の要求機能

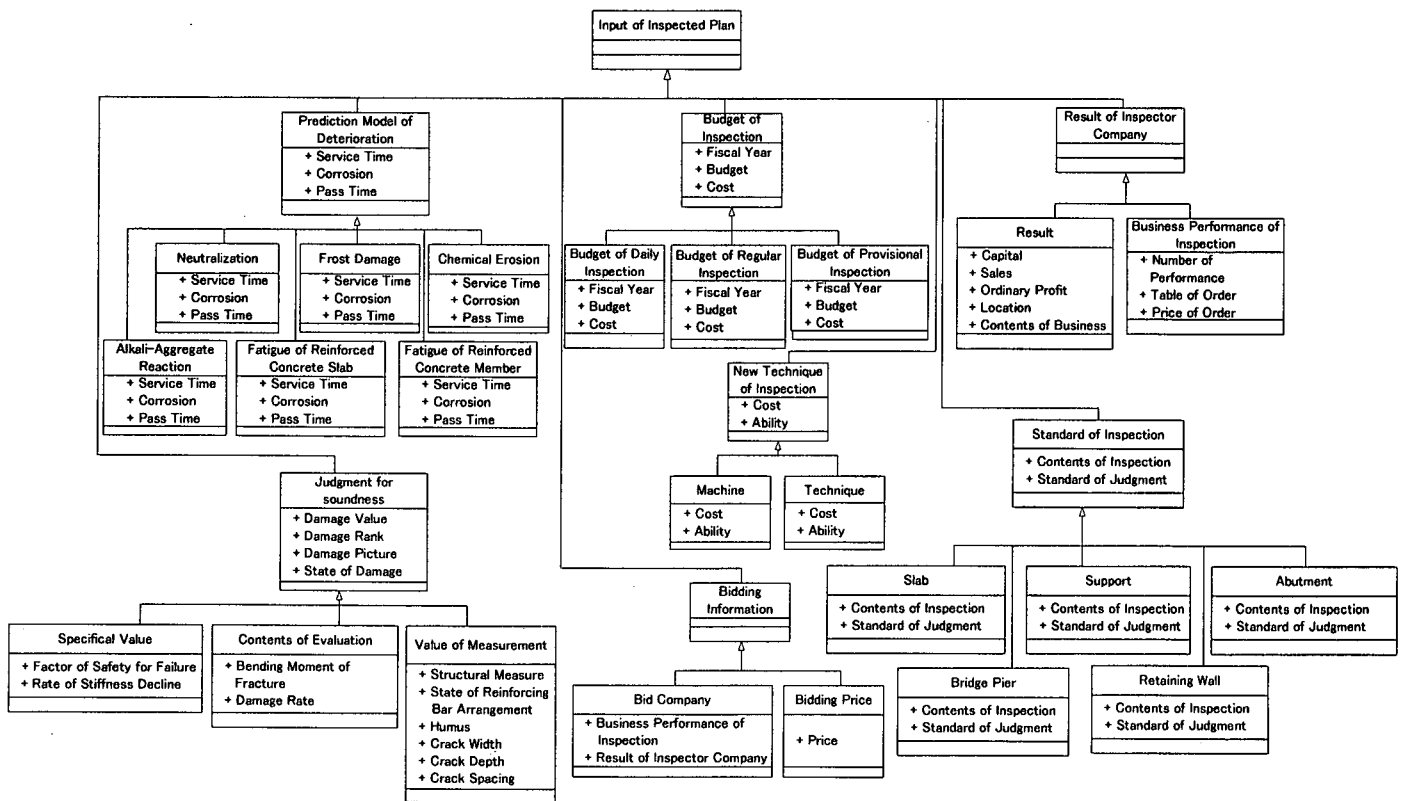


図-5 点検計画の INPUT のクラス図

デルの属性として、部材情報モデルにおける部材の健全度を表す属性が定義される。維持管理計画に則って対象とする業務を行う場合は、業務情報モデルから INPUT を抽出する。点検計画の INPUT 情報の情報モデルを構築した結果を図-5 のクラス図に示す。モデル化において、業務を遂行する際に必要不可欠な要素を属性として表す。そして、情報の属性が多く、細分化した方が下流の業務で活用しやすい場合は、モデルを二階層にして汎化(←)を用いて階層化する。

(2) OUTPUT

OUTPUT における要求機能については、「部材の健全度の把握」および「部材劣化状態の情報の蓄積」の観点から分析する。「部材の健全度の把握」では、将来の維持管理計画と点検計画、劣化診断や健全度評価などの判断材料となり得る情報を蓄積するために要求される機能を抽出する。「部材劣化状態の情報の蓄積」では、部材の健全度の把握に必要な部材の状態を示す情報を蓄積するために要求される機能を抽

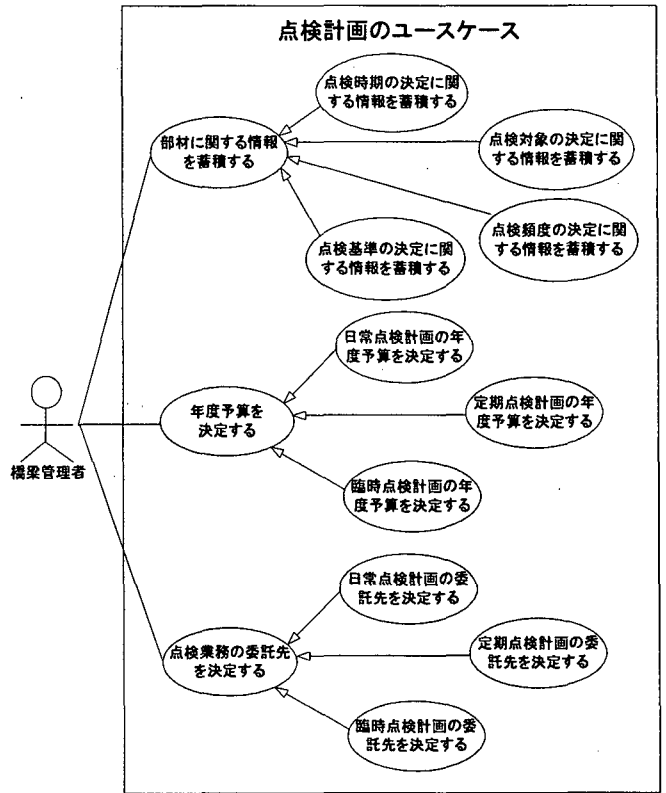


図-6 点検計画の OUTPUT の要求機能

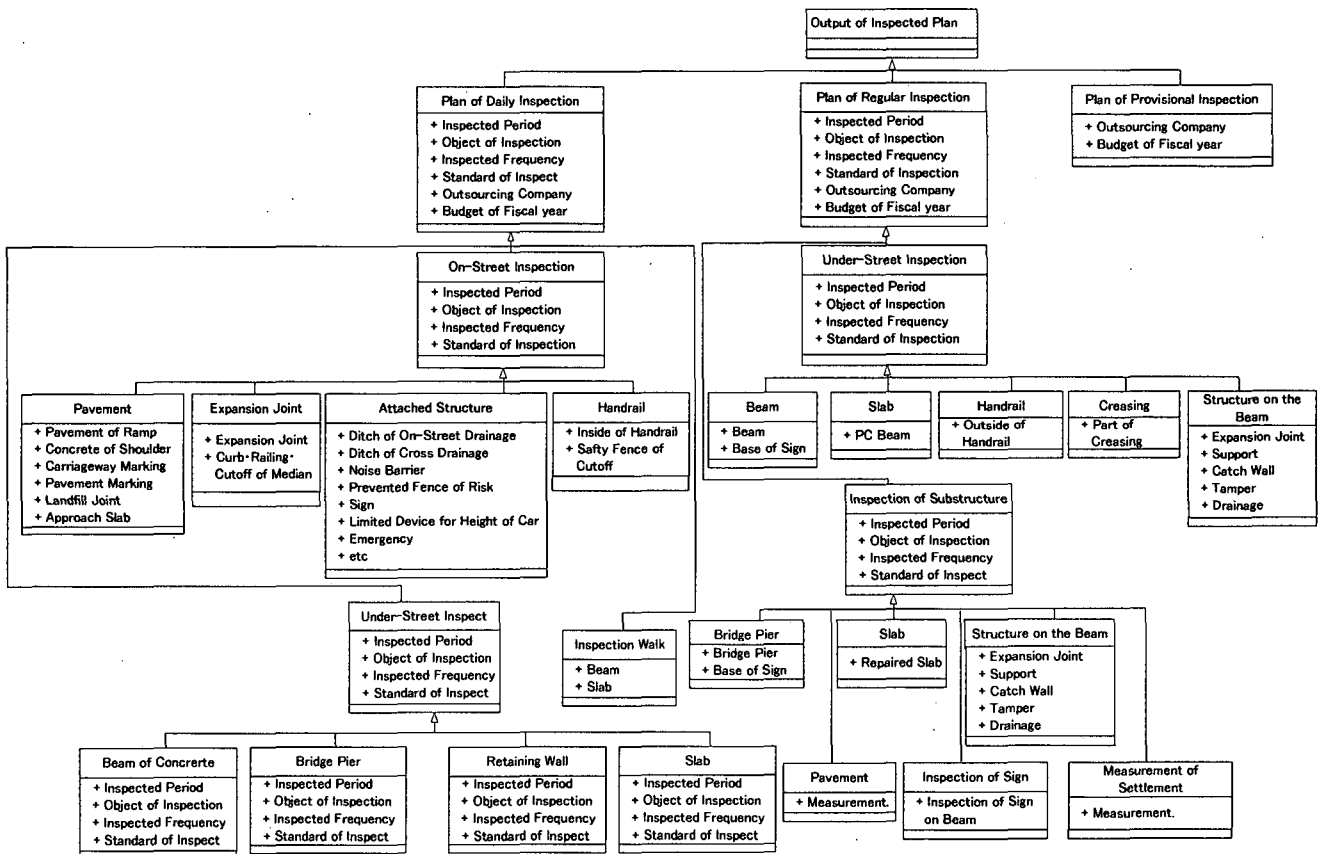


図-7 点検計画の OUTPUT のクラス図

出する。要求機能を分析した結果を図-6 に示す。

業務情報モデルの OUTPUT は部材情報モデルに蓄積されるため、必要とされる情報は部材毎に分類され属性を保持する。また、業務情報モデルの OUTPUT は、将来予測を行うために点検や更新などの日時や頻度、損傷状態や劣化予測などの部材の状態を属性として持ち、点検および診断、補修・補強などで発生する結果も各部材に蓄積できるようにするために部材情報モデルの健全度と共通の属性を保持する。そして、供用年数を経ることによる部材の劣化を時間軸で管理できるようにするために時間属性を持つ。構築した情報モデルのうち点検計画の OUTPUT を図-7 に示す。

### 4.3 情報モデルの実装

第 4.1 節および第 4.2 節で構築した情報モデルを XML(Extensible Markup Language)<sup>12)13)</sup>を利用して実装する。維持管理に必要な情報を関係者間でインターネットを通じて容易に交換するために XML を利用する。作成した XML Schema の一部を図-8 に示す。XML Schema を構築することによって、データの属性と内容に関連付けて記述でき、データベースとしての機能を有するため、管理技術者が業務情報モデルの INPUT を容易に取得できる。さらに、業務情報モデルの OUTPUT が明確化するために、管理技

```

...
<xs:element name="Neutralization" type="xs:string" />
<xs:element name="Frost Damage" type="xs:string" />
<xs:element name="Chemical Erosion" type="xs:string" />
<xs:element name="AlkaliAggregate Reaction" type="xs:string" />
<xs:element name="Fatigue of Reinforced Concrete Member" type="xs:string" />
<xs:element name="Fatigue of Reinforced Concrete Member" type="xs:string" />
</xs:sequence>
</xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="Budget of Inspection" type="xs:string" />
</xs:complexType>
</xs:sequence>
<xs:element name="Budget of Daily Inspect" type="xs:string" />
<xs:element name="Budget of Regular Inspect" type="xs:string" />
<xs:element name="Budget of Provisional Inspect" type="xs:string" />
<xs:element name="Neutralization" type="xs:string" />
<xs:element name="Frost Damage" type="xs:string" />
<xs:element name="Chemical Erosion" type="xs:string" />
<xs:element name="AlkaliAggregate Reaction" type="xs:string" />
<xs:element name="Fatigue of Reinforced Concrete Member" type="xs:string" />
<xs:element name="Fatigue of Reinforced Concrete Member" type="xs:string" />
</xs:sequence>
</xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="Budget of Inspection" type="xs:string" />
</xs:complexType>
</xs:sequence>
<xs:element name="Budget of Daily Inspect" type="xs:string" />
<xs:element name="Budget of Regular Inspect" type="xs:string" />
<xs:element name="Budget of Provisional Inspect" type="xs:string" />
...
    
```

図-8 XML Schema (一部)

術者が OUTPUT を容易に活用できるだけでなく、部材情報モデルの蓄積も容易にできる。

### 5. あとがき

本研究では、コンクリート橋の管理技術者の負担を軽減し、多数の橋梁を安全に供用できるようにする維持管理業務プロセスモデルを構築するために、業務で活用すべき情報モデルを構築した。まず、維持管理業務の As-is モデルを構築し、現状の業務の問題点と解決策を提案した。次に、抽出された問題点を解決するために、将来の維持管理業務プロセスモデルに必要な情報を抽出して情報モデルを定義し、構築した。

### 参考文献

- 1) 広瀬鉄夫：阪神高速道路の維持管理における今とこれから、土木学会誌, Vol.86, pp.17-18, 2001.12.
- 2) 小林健：高速道路ストックの計画的な維持管理に向けて、土木学会誌, Vol.86, pp.13-14, 2001.12.
- 3) 岡田昌澄：首都高速道路の維持管理, 土木学会誌, Vol.86, pp.15-16, 2001.12.
- 4) 国土交通省：道路構造物の今後の管理・更新等のあり方提言, 2003.4.
- 5) Hans-Erik Eriksson, Magnus Penker：UML によるビジネスモデリング, ソフトバンクパブリッシング, 2002.5.
- 6) 建設省土木研究所：橋梁点検要領 (案), 1993.7.
- 7) 日本道路公団：維持修繕要領, 1999.4.
- 8) 首都高速道路公団保全施設部：構造物等点検要領, 2001.4.
- 9) 阪神道路公団：道路構造物の点検標準, 1996.5.
- 10) 上山茂：阪神高速における保全情報管理システムについて, 第 19 回土木情報システムシンポジウム講演集, 土木学会, pp.81-84, 1994.10.
- 11) 建設コンサルタンツ協会近畿支部：新しい IT 要素技術と業務提案および CALS 実証実験, 2001.4.
- 12) 丸山則夫：実践！XML のスキーマ設計ハンドブック, ソフト・リサーチ・センター, 2002.7.
- 13) 益倉克成, 田中成典：建設業界のための XML, 工学社, 2002.10.