

## (24) 土木構造物のための変状管理のプロセスモデルの開発

## Development of a Process Model of Deterioration Management for Civil Engineering Structures

有賀貴志<sup>1</sup>・矢吹信喜<sup>2</sup>

Aruga Takashi, Yabuki Nobuyoshi

**抄録**：土木構造物は社会基盤の中心的存在といえる。土木構造物は一度建設されると取り換えが容易ではないことから、長期間供用するための維持管理が重要である。土木構造物の維持管理は、記録が多い、技術者が多い、期間が長いという特徴がある。しかし、維持管理に関する膨大な情報の管理において情報の散逸や情報の関連性の継続に関する問題がある。

そこで、本研究では IFC に着目し、維持管理の情報活用のための変状管理のプロセスモデルを開発した。まず、変状に関する情報の変化、関連を整理し、プロセスモデルの構成要素を定義した。次に、IFC のクラスを拡張し、事例への適用により実装可能であることを確認した。

**キーワード**：プロセスモデル、変状、維持管理、IFC

**Keywords**：Process Model, Degradation, Maintenance Management, IFC

## 1. はじめに

現代の社会生活、経済活動には、交通、通信、エネルギー等の社会基盤が必要不可欠である。社会基盤の中心的存在が、橋梁、トンネル等の土木構造物である。

土木構造物は、建設に莫大の費用と長い時間を要し、一度建設されると取り換えは容易ではない。このため、土木構造物は長期間の供用が前提となる。土木構造物を長期間供用するためには、土木構造物が所定の機能を維持していくことが求められる。

しかし、土木構造物の機能は、環境条件、荷重条件の変化、材料の化学的変質等の要因により低下する。これらの要因は中性化や塩害等を引き起こし、その結果、ひび割れや漏水等の変状が現れる。土木構造物の管理者は機能を維持するため、変状の監視、調査、補修等の維持管理に取り組んでいる。

土木構造物の維持管理は3つの特徴がある。一つ目は、維持管理で作られる情報の記録が多い。二つ目は、維持管理に係わる技術者が多い。三つ目は、維持管理にあたる期間が長い、ということである。これらの特徴は、土木構造物の維持管理では避けることはできない。さらに、維持管理を円滑に遂行する上で、これらの特徴に関連する問題がある。情報の記録では、フォーマットの混在、情報の関連性の不明が生じている。多くの技術者が係わることから、技術者のスキルと立場の違いで、情報の判断に違いが生じている。さらに、長期間であることから、情報の散逸、判断の過程の不明が生じている。

このような問題に対して、筆者らは、土木構造物の変状管理のためのプロセスモデルの開発が、一つの解決になると考えた。このプロセスモデルの目的は、維持管理における情報の活用を前提として、土木構造物の変状の変化を時系列で記録することである。この時、土木構造物の材質は問わない。要求する機能は、変状に関する情報の記録および再現、情報の関連の維持である。この研究の実現により、将来的に土木構造物の維持管理に関する知識データベースへと展開することが可能となる。

本研究の目的を実現するためには、静的モデルであるプロダクトモデルと動的モデルであるプロセスモデルの連携が欠かせない。そこで、本研究では、国際団体 buildingSMART<sup>1)</sup>が開発している IFC (Industry Foundation Classes<sup>1)</sup>) に着目した。IFC は、近年、建築分野を中心に実用化されてきている BIM (Building Information Modeling<sup>2)</sup>) における、データフォーマットの中核である。IFC では、建築構造物におけるプロダクトおよびプロセスに関する様々なクラスが定義されている。また、IFC に対応する市販の3次元 CAD システムも多いため、実装が容易である。さらに、IFC は国際標準化が進められ、近々、ISO/IS 16739 になる予定<sup>3)</sup>であることから利用する価値は大きい。

ここで、本研究の対象範囲を明確にする。本研究は維持管理の観点で土木構造物の変状の変化を表現するため個々の変状に着目したモデル化を対象とした。従って、維持管理の業務プロセス、変状の発生、進展等のメカニズム、健全度の判定等は対象外である。

1：正会員 株式会社コンポート 代表取締役

(〒191-0011 東京都日野市日野本町 3-8-3, Tel:042-507-8594, E-mail: t.aruga@conport.jp)

2：正会員 Ph.D. 大阪大学大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 教授

(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1, Tel:03-6879-7660, E-mail: yabuki@see.eng.osaka-u.ac.jp)

## 2. 既往の研究

土木構造物の情報については、設計、施工に関するデータモデル、維持管理に関するデータモデルやデータベース等の研究が行われている。

土木構造物については、矢吹らによる橋梁<sup>4)</sup>およびシールドトンネル<sup>5)</sup>に関するデータモデルの研究がある。これらの研究では、データモデルの開発に IFC を拡張する手法を用いることで、実用的な提案がされている。施工プロセスについては、Kim ら<sup>6)</sup>によりコストとスケジュールと 3D モデルを関連づけた 5D システムの研究がある。しかし、これらの研究では、変状等の維持管理に必要なモデルは開発されていない。

維持管理については、三上ら<sup>7)</sup>、窪田ら<sup>8)</sup>による維持管理業務プロセスに関するデータモデルの研究がある。また、新井ら<sup>9)</sup>による維持管理の業務支援を目的とした 3 次元 CAD とデータベースの連携によるデータ管理手法がある。これらの研究は、各事業者で定めた維持管理業務に必要な情報の授受や帳票類の作成を効率的に行うための研究である。しかし、土木構造物の経年変化を表現し、変状の可視化、情報の変遷の蓄積を行うまでには至っていないのが実情である。

## 3. プロセスモデルの提案

### (1) 維持管理および変状

本節では、維持管理および変状について、プロセスモデルの開発に関連する事項を整理する。

維持管理は、土木構造物（以下、構造物という）の供用期間において、構造物の性能を要求された水準以上に保持するためのすべての技術的行為<sup>10)</sup>である。ところで、構造物の性能の低下を“劣化”と表現する場合もある。本研究では劣化は変状の発生要因の一つと位置付けるため、構造物の性能の低下は性能低下と表現する。

維持管理は、目的、頻度、内容等により日常検査から、数年に 1 度の定期検査等がある。また、構造物の初期状態を把握する初回検査、地震や災害の発生に応じて行う随時検査等がある。検査の基本的な流れは、目的や体制により差異はあるものの、おおむね、変状の調査、変状の評価（原因推定、進行予測）、健全度の判定、対策の要否の順で行われる。

維持管理は、構造物の維持管理に関して適切な能力を有する者（以下、技術者という）が行うことが基本である<sup>10),11),12)</sup>。しかし、すべての検査業務に高度な知識を有する技術者が行うことは一般に困難である。従って、点検の目的や内容、点検の段階に応じて担当する技術者のレベルが異なることがある。

変状は、初期欠陥、初期反応、劣化、荷重変化、変

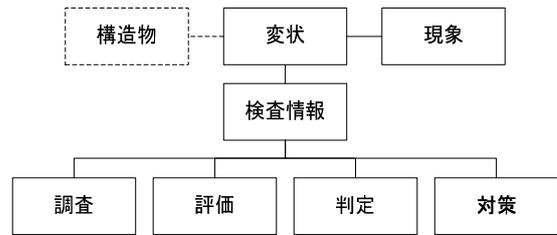


図-1 変状の構成

形等の要因により構造物に現れたジャンカ、内部欠陥、ひび割れ、剥離、さび等の現象である。変状は、解析的手法等を用いて予測する手法もある。しかし、発生を予測確率で評価しており、変状の位置や形状を具体的に予測することはできない。そのため、現場における変状の調査が基本であり、変状の状態を適切に把握することが重要である。

### (2) プロセスモデルの目的と要求機能

本研究で開発するプロセスモデルの目的は、土木構造物の維持管理に活用するための変状管理である。維持管理は、変状の把握が基本であることから、変状を中心に構造物の状態を表現する。

要求機能は、変状に関する情報の記録・再現、および情報の変化・変動に対する関連の維持とした。また、構造物の材質を問わずに適用できることを目指した。

### (3) 変状の構成要素

変状に関する要素の構成を図-1 に示す。変状は現場で現象を確認し、変状の状態を検査の過程で分析する。そこで、変状を現象と検査情報で構成した。現象は変状の位置や形状をジオメトリーで表すための要素、検査情報は変状の状態をデータで表すための要素と定義する。検査情報は判断の過程を明確にするため調査、評価、判定、対策に分けた。

なお、変状の種類および構造物の材料の劣化は、検査情報の属性情報とする。また、プロセスモデルでは構造物の要素も必要であるが、構造物の定義は本研究の目的ではないため詳述は省略する。

### (4) 情報の変化

変状に関する情報の変化は、現象そのものの変化、検査情報のばらつきおよび訂正が考えられる。これらを経時変化、情報変動、情報訂正として整理した。表-1 に変状の構成要素と情報の変化の関連を示す。

経時変化は、現象の形状、色等の時間経過に伴う変化である。情報変動は、技術者、装置、プログラム等のリソースが持つスキル、知識、ロジック、立場等による判断のばらつきである。情報訂正は、判断ミス、入力ミス等により生じる誤謬の訂正である。

現象の位置は経時変化しないものとした。構造物に生じた現象は構造物の特定の場所に現れ、通常、時間経過で移動することはないと考えるためである。

表-1 変状の要素および情報の変化

要素	属性		情報の変化			
			経時変化	情報変動	情報訂正	
現象	位置		—	○	○	
	形状, 量, 色, 匂い, 感触		○	○	○	
検査情報	調査	計測	測定	—	○	○
		撮影	撮影, 描画	—	○	○
		試験	原位置試験, 試験体採取	—	○	○
	評価	種類選別	推定, 分析, 決定	—	○	○
		原因推定	初期欠陥, 初期反応, 劣化, 荷重変化, 変形	—	○	○
		現状評価		—	○	○
		将来予測		—	○	○
	判定	健全度判定		—	○	○
対策	対策	実施, 監視	—	○	○	

(5) 情報の関連

情報の関連は、構造物と変状の位置の関連、経時変化、情報変動および情報訂正に関する関連の維持、検査情報の蓄積の関連が考えられる。これらを、位置の関連、時間の関連、変動の関連、蓄積の関連として整理した。

位置の関連は、構造物に対する変状の位置を関連づけである。時間の関連は、現象の経時変化に関する情報の前後関係の関連づけである。変動の関連は、現象および検査情報の情報変動と情報訂正に関する情報の前後関係の関連づけである。蓄積の関連は、検査の進捗に伴い作成される情報の蓄積の関連づけである。

(6) 属性情報

本研究で開発するプロダクトモデルの運用の前提として、“情報の削除を禁止”する。変状の経過を把握するためには、最新の情報だけではなく過去の情報も必要である。また、変状の状態の評価の変更等の技術者の判断の変更は、それ自体に情報としての価値があると考えられる。ただし、情報の削除の禁止にはミス訂正も含まれる。そのため、訂正前の誤った情報を使用しないための属性情報として情報分類（新規、追加、訂正）を定義した。

情報の関連を維持するための属性情報として、一般に情報を表現する 5W1H のうち、特に When（いつ）、Who（誰が）、How（どのように）が重要と考える。そこで、すべての要素に時間、リソース（技術者、測定機器、プログラム等）、作業方法を属性情報として定義した。なお、Why は検査毎に定める目的、What は変状の構成要素、Where は変状の位置が該当する。

これらに加えて、表-1 に示す各要素の属性が加わる。検査情報に関するすべての情報を属性情報で表すことは困難であるため、必要に応じて外部ドキュメントを関連づける。

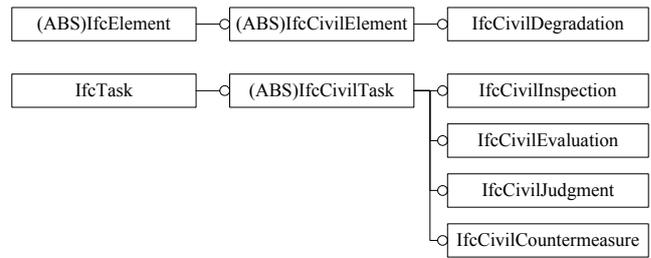


図-2 拡張クラス

```

ENTITY IfcCivilDegradation
  SUBTYPE OF(IfcElement);
  PredefinedType: IfcCivilDataTypeEnum
  Time: IfcTaskTime;
  Resource: IfcLabel;
  WorkMethod: IfcLabel;
END_ENTITY ;
    
```

図-3 変状クラスの Express 言語による記述例

4. IFC の拡張

(1) IFC の仕様

IFC の現在のバージョンは IFC2x3TC1<sup>14)</sup>である。なお、次期バージョンの IFC2x4RC3 が公開されている。

IFC のオブジェクトの基幹は、Core Data Schemas で定義されている。IfcRoot を頂点として、オブジェクトを定義する IfcObjcetDefinition、オブジェクトの特性を定義する IfcPropertyDefinition、オブジェクトの関係を定義する IfcRelationship で構成されている。

オブジェクトの情報は、アトリビュート (Attribute) とプロパティ (Property) がある。アトリビュートはオブジェクトに含まれる情報で、プロパティは特定の要素のインスタンスとして動的に定義される情報である。両者ともオブジェクトの特性を表すが、オブジェクトに対する情報の位置付けに違いがある。

オブジェクトの位置 (ObjectPlacement) および形状 (Representation) は、IfcProcut のアトリビュートで定義されている。なお、両者とも OPTIONAL である。

(2) 拡張クラスの定義

本研究で新たに設けるクラスは、IFC の既存のクラスの一部として拡張する (以下、拡張クラスという)。

拡張クラスは土木構造物に関するクラスであることを明示的に宣言するため、土木構造物に共通するクラス (以下、共通クラスという) を設けた。拡張クラスは共通クラスのサブタイプとして定義した。

図-2 に拡張クラスを示す。変状を表すクラスは IfcElement のサブタイプとして定義した。検査情報を表す調査、評価、判定、対策を表すクラスは、IfcTask のサブタイプとして定義した。拡張クラスの実装は、Express 言語 (JIS B 3700-11<sup>13)</sup>) による記述が必要である。図-3 に Express 言語による変状クラスの記述例を示す。

