

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560551

研究課題名(和文) 維持管理のための橋梁3次元プロダクトモデルの最適詳細度の解明と4次元化

研究課題名(英文) Investigation of optimum level of development and 4 dimensionalizing of 3D bridge product models for maintenance

研究代表者

矢吹 信喜 (Yabuki, Nobuyoshi)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：50312434

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：3次元プロダクトモデルによる橋梁の設計、施工が進められているが、膨大な量の既設の橋梁に対して、維持管理を目的に、詳細な3次元モデルを作成することは、便益に対して費用がかかりすぎる。そこで、本研究では、橋梁を対象とした詳細度(LOD)案を作成し、サンプル橋梁を対象として、モデル作成にかかる時間をLOD別に計測し、コスト曲線を得た。便益については、アンケートなどを用いる。また、3次元モデルに点検評価などを紐付けし、修繕工事などを時間軸で紐付けした4次元化を実施した。

研究成果の概要(英文)：Recently, 3D product models are used for design and construction of bridges. However, development of detailed 3D product models for a large number of existing bridges for the purpose of maintenance is economically unrealistic. Thus, in this research, we devised a plan of levels of development (LOD) for bridges, and we measured time for making a 3D product model for each LOD and obtained a cost curve. As per the benefit, we decided to use questionnaires by asking professionals. In addition, we linked the evaluation of each member of a bridge with the 3D product model and modified the 3D model as a 4D model by linking repair works to the 3D model in a time axis.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学，土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：プロダクトモデル 詳細度 橋梁 維持管理 4次元

## 1. 研究開始当初の背景

我が国では戦後の高度成長期に建造した膨大な数の橋梁が近い将来更新時期を迎えることから、点検・維持管理およびアセットマネジメントに関する研究および実施が進みつつある。また、逼迫した財政状況から、不具合が発見された橋梁については、適宜補修工事を行うとともに、壊れる前に予防保全を行い、なるべく長寿命化させようという努力が橋梁管理者によってなされている。

しかしながら、点検報告書は各点検項目の評価点とコメントが中心であり、点検報告書の中の図面や補修工事に関する設計図面および完成図面はいずれも2次元の図面であることから、たとえ電子化された2次元CAD図面であったとしても、人間が図面を見て解釈しなければ、コンピュータは「理解」することができない。そのため、すぐに引き出して利用可能な、膨大な数の橋梁の履歴情報は、結局のところ、その地域の現場に熟知した管理者の頭の中にしかない、ということが知られている。床版の打ち替えを必要とする場所は、橋梁のどの部分に多いのか、伸縮装置で交換を頻繁に実施しなくてはならないタイプは何か、トラブルを起こしやすい支承はどのタイプで、どんな故障が多いのか、といった知識は、現状では簡単に得られるものではない。

コンピュータが理解して、例えば検索できるような振る舞いをさせるためには、オブジェクト指向に基づいた、ある程度「標準化された」3次元プロダクトモデルで橋梁を表現できるようにする必要がある。さらに、補修工事は、工事の前後で形状や材料などが変化するため、単に3次元化するだけでなく、時間軸を取り入れ4次元化することと、部材や構造の文脈（コンテキスト）を表現できるようにすることが必要である。

これまでに、橋梁のプロダクトモデルの構築に関しては、フランス国立建築土木研究所（CSTB）とSETRAは、建築分野で標準化が進んでいる建物のプロダクトモデルIFC（Industry Foundation Classes）に基づいて、橋梁プロダクトモデルIFC-BRIDGEを2002年に構築した。同じ頃、我が国では、矢吹らは同様なコンセプトで、鋼橋およびPC/RC橋梁プロダクトモデルを開発した。両者は、2004年に両モデルを統合化した新IFC-BRIDGEを構築し始め、IFCの開発主体であるIAI Internationalに新IFC-BRIDGEのIFCへの統合を働きかけた。IAIはInternational Alliance for Interoperabilityの略である。しかし、IAI International（現在は、buildingSMART Internationalに改名）は、BIM（Building Information Modeling）として、ビルディングのプロダクトモデルであるIFCをISOの国際標準にすることに注力しているため、橋梁の方にまで手が回らない状況である。

## 2. 研究の目的

一方、新IFC-BRIDGEは、設計、解析、施工、維持管理のライフサイクル全般を通じて使用することを目的としたプロダクトモデルで、かなり詳細なレベルで3次元の橋梁モデルを作成することができる。そのモデルデータを新IFC-BRIDGEで作成するためにはかなりの時間と労力を要するが、新設の橋梁であるならば、データを作成後、何度も使用するため、コスト的に見合う。しかし、膨大な数の既設の橋梁のモデルデータを作成することは、費用対効果から見て、非現実的な選択と考えられる。

そこで、本研究では、以下の3つの事項を研究目的とする。

維持管理における点検や補修工事に的を絞って、それらを表現するために必要な条件、詳細度による便益とコストを検討することにより、求められる3次元モデルの最適な詳細度を決定することを第一の目的とする。決定される詳細度を出来る限り小さくするために、モデルの構造要素に写真や図面の一部等のデータをはじめ、各種の数値・文字情報をリンクさせる工夫を凝らすこととする。

次に、その3次元モデルに、時間軸を加えて4次元化することを第二の目的とする。

さらには、点検データと補修工事のデータを貯蔵できるデータモデルを構築し、そのデータを4次元プロダクトモデルにリンクさせて、コンピュータが思考しているような振る舞いをさせることと第三の目的とする。

## 3. 研究の方法

（1）一般に、モデルの詳細度が高くなるほど、モデルの表現力は高くなり便益は増大する。一方で、モデルの詳細度が高くなるほど、モデル作成に要する時間やコストも増大する。便益とコストのバランスを取ると、（便益 - コスト）が最大となる点が最適な詳細度になるはずである。したがって、プロダクトモデルの詳細度と便益・コストの関係は図1のようになると考えられる。

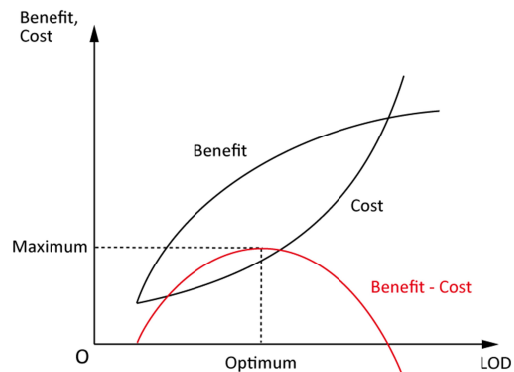


図1 詳細度と便益・コストの関係

図1より、最適詳細度を求める流れとしては、詳細度を何段階か設定し、詳細度ごとに便益およびコストを求め、(便益 - コスト)が最大となる詳細度を最適な詳細度とする。

(2) 詳細度とは、モデルの作り込みの度合いを表す指標で、LOD: Level of Developmentとも呼ばれる。建築分野においては、BIM Forumによって2013年に公表されたLODが存在する。しかし、橋梁においては、未だにLODは提案されていない。そこで、本研究では、単径間T桁PC橋梁を対象に橋梁のLODを、BIM ForumのLODを参考にしながら作成することとした。

各LODに対して、3次元CADを用いて、モデリングにどれだけの時間が必要であったかを計測し、コストとした。

一方、便益については、AHP(階層分析法)を用いて、多くの専門家にアンケートによって回答してもらい、評価することとした。

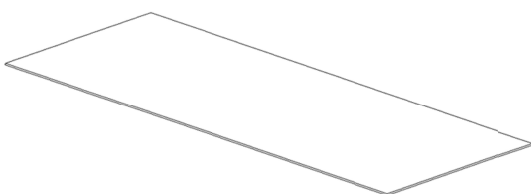
(3) プロダクトモデルの4次元化に関しては、既に多くの研究成果があり、本研究では、従来の手法を用いることとした。また、点検結果などの4次元モデルへの紐付け(リンク)については、モデルからファイルなどのデータへの関連付けであるから、これも従来の手法を用いることとした。

#### 4. 研究の成果

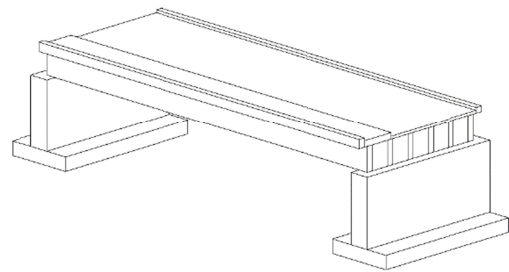
(1) 橋梁の詳細度案を表1に示す。この詳細度案に基づいて、単径間T桁PC橋梁の3次元モデルを作成した。各LODに対するモデルを図2に示す。

表1 橋梁の詳細度案

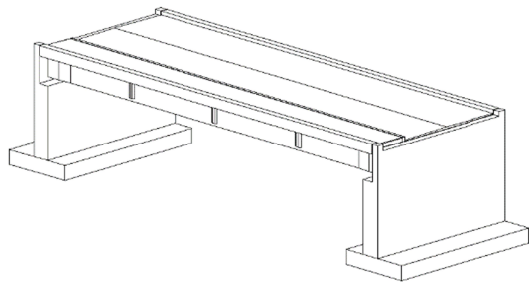
LOD	モデルを構成する要素	要素の形状
LOD1	橋梁	長方形
LOD2	橋台、主桁、横桁、床版、地覆	直方体
LOD2.5	+ 支承、伸縮装置	直方体、円柱
LOD3	橋台、主桁、横桁、床版、地覆	実際の形状
LOD3.5	+ 支承、伸縮装置	
LOD4	+ 付帯構造物(防護柵、高欄)	
LOD5	+ シース管・PC鋼材	
LOD6	+ 鉄筋	



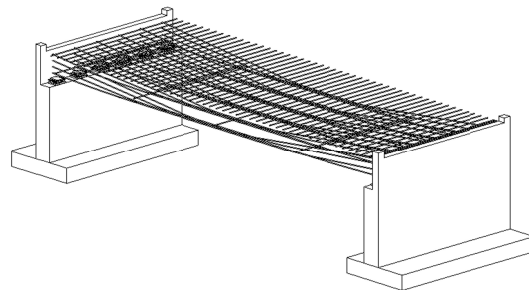
LOD1



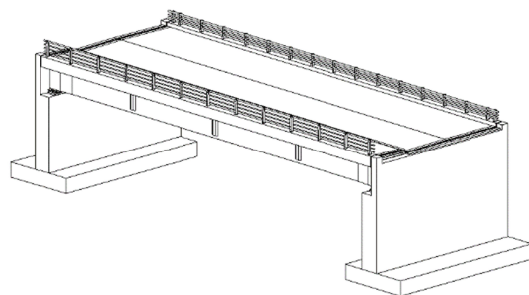
LOD2



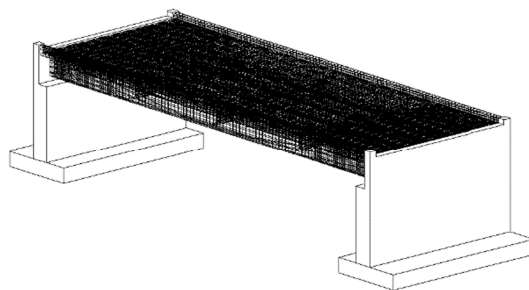
LOD3



LOD4



LOD5



LOD6

図2 単径間T桁PC橋梁のLOD

(2) モデル作成のコストは、モデルの作成時間に人件費をかければ求めることができる。そこで、モデル作成の時間を各 LOD に対して測定した。その結果を、図 3 に示す。便益の定量的な評価は今後の課題である。

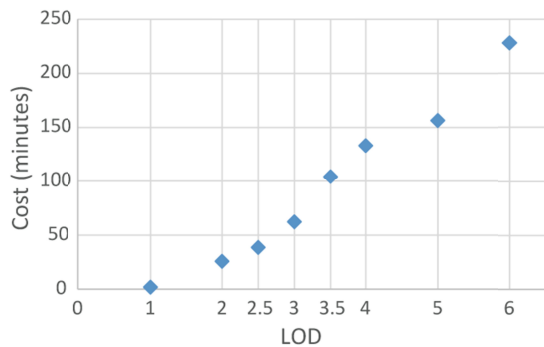


図 3 詳細度 (LOD) とコスト (作成時間) の関係

(3) 橋梁の点検結果の 4 次元モデル化

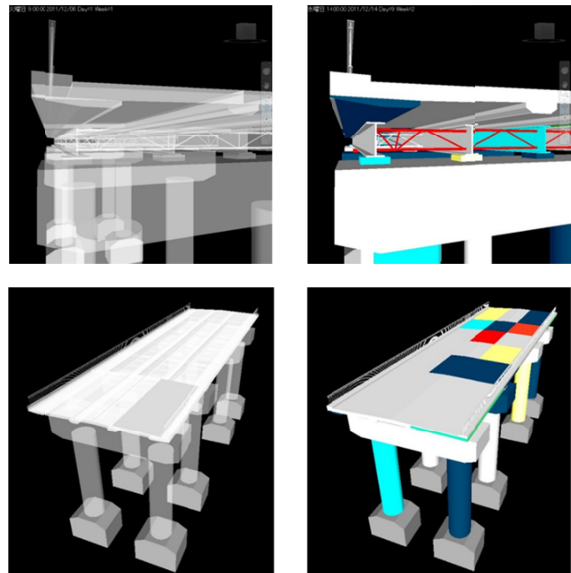
橋梁の各部材について、点検では、損傷レベルを評価する。本研究では、表 2 に示すような評価基準を用いた。

表 2 橋梁の状況の評価基準

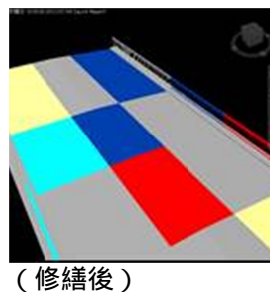
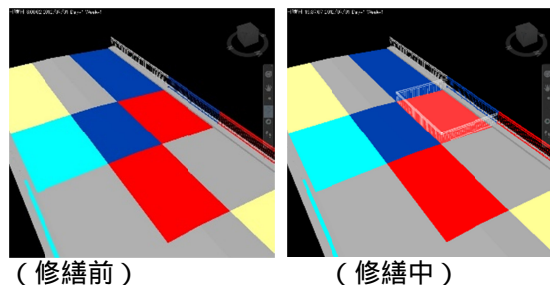
Condition Ranking	Abstract	Damage Level
E 1	Emergency repair needed (structural damages).	
E 2	Emergency repair needed (other damages).	
S 1	Repair implemented at once after specific inspection.	
C	Repair needed before next periodic inspection (in 5 years).	
S 2	Repair implemented or not base on the inspection result.	
B	Repair is not required before next periodic inspection (in 5 years).	
M	Daily management needed.	
A	No damage.	Low

各部材を点検者が、この評価基準に基づいて評価した結果を 3 次元プロダクトモデルとリンクさせる。図 4 に示すように、点検前と点検後で、各部材の損傷評価が異なる。

次に、ある床版 1 枚のみを修繕するケースを紹介する。図 5 に示すように、赤い床版を修繕する前、修繕している間 (フェンスがある)、修繕後が明確にわかる。



(点検前) (点検後)  
図 4 橋梁の点検による状態評価



(修繕前) (修繕中)  
(修繕後)  
図 5 床版の修繕と評価の変化

## 5. 主な発表論文等

[学会発表]

Zhou Qi, Nobuyoshi Yabuki, Tomohiro Fukuda, A 4D model for maintenance management of bridges, Proceedings of 2012 Australasian Conference on Innovative Technologies in Construction, Wuhan, China, December 6-7, pp.104-113, 2012.

板倉崇理, 矢吹信喜, 福田知弘, 維持管理のための橋梁 3 次元プロダクトモデルの最適詳細度に関する基礎的検討, 2014 年度土木学会関西支部年次学術講演会, 2014.

6 . 研究組織

( 1 ) 研究代表者

矢吹 信喜 ( YABUKI, Nobuyoshi )  
大阪大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：5 0 3 1 2 4 3 4