(21) ３次元モデルと GIS を用いた維持管理情報統合プラットフォームの構築に関する研究

境田　伸哉[1]・谷口　寿俊[2]・三谷　泰浩[3]・本田　博之[4]

[1]学生会員　九州大学大学院　工学府　土木工学専攻（〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744）
E-mail: sakaida.sinya.736@s.kyushu-u.ac.jp

[2]正会員　九州大学大学院　工学研究院　附属アジア防災研究センター　准教授
（〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744）
E-mail: taniguchi@doc.kyushu-u.ac.jp

[3]正会員　九州大学大学院　工学研究院　附属アジア防災研究センター　教授
（〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744）
E-mail: mitani@doc.kyushu-u.ac.jp

[4]正会員　九州大学大学院　工学研究院　附属アジア防災研究センター　助教
（〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744）
E-mail: h.honda@doc.kyushu-u.ac.jp

現在，高速道路構造物に関する各種情報を３次元モデル上に空間的に統合して管理する様々なプラットフォームが提案されている．しかし，特殊橋と呼ばれる構造が複雑な橋梁では新しい測量技術を適用したとしても欠測や誤差が生じるため，３次元モデルの構築が困難である．また，特殊橋の維持管理に関する情報は，位置情報の不足や表記ゆれが発生しており，情報を統合する際には膨大な図面や写真を一枚ずつ確認しなければならない．そこで本研究では，GIS を用いた新たな特殊橋の３次元モデル化手法および特殊橋に関する情報とモデルの統合手法を提案し，情報統合プラットフォームを構築した．そして本プラットフォームを活用して情報の可視化や時空間的な分析ができることを示し，提案したプラットフォームの特殊橋の維持管理への有用性を明らかにした．

Key Words: *bridge, 3D model, GIS, maintenance, information platform*

1. はじめに

近年，老朽化した高速道路構造物の増加に伴い，それらの予防保全的な維持管理が求められており，その実現には損傷を時系列的に把握し，適切な時期に補修を行うことが必要とされている [1]．しかし，維持管理に関するデータは異なる記録形式で別個に保存されており，それらが相互に結びついていないため利活用が難しい．そのため，蓄積されたデータの加工，分析を一貫して可能にするデータ分析の基盤（プラットフォーム）が求められている．既往研究 [2]では，情報統合のためのプラットフォームを構築し，位置情報を用いてデータを３次元モデル内で管理することが提案されている．そこで，本研究では，３次元モデルを活用した統合手法を検討する．

３次元モデル作成において既存の PC 橋梁等では写真や点群などの測量データからのモデル化の試みが行われているが [3]，複雑かつ長大な構造を持つ特殊橋では，新しい計測技術を用いた場合，データの欠測や累積誤差が生じやすく，測量データから詳細な３次元モデルを作成することは困難である．一方で，維持管理段階においては，例えば橋梁部材のボルト１本１本まで詳細に表したようなモデルは必要なく，例えば，PC 橋では，維持管理におけるモデル詳細度の提案 [4]がなされているが，特殊橋に対してはモデル化に関する具体的な手法は示されていない．また，特殊橋の維持管理に関する情報は図面や帳表，写真で管理されているが，帳表の部材名は単に「斜材」としか記載されておらず，部材の位置情報については，点検基図などの図面を介してその位置を特定するしか方法はなく，位置情報が欠落している．さらに，損傷に関する情報には，数多くの表記ゆれが発生しているのが実状である．そのため，**図-1** に示すように特殊橋に関する点検，補修，資産情報などの帳表データから

共通する位置情報を定義し，これを基に各種情報を３次元空間上で統合するためのプラットフォームを構築し特殊橋に関する各種データを統合することで，部材毎に図面や写真を参照することが可能となりデータの時空間的な分析が可能になることが見込めるが，その実現のためには特殊橋の３次元モデル化手法と位置情報の記載様式の統一が必要である．そのため本研究では，位置情報を用いて３次元空間に特殊橋の各情報を統合するための３次元モデル化手法と情報統合手法を検討し，その有用性を確認するために変状の時空間的な分析を行う．

2. 特殊橋の情報統合プラットフォームの構築

特殊橋の情報統合プラットフォームとは，蓄積された特殊橋の維持管理に関するデータを利活用するためのデータ分析基盤のことである．補修業務に用いられる情報である CSV ファイル形式の道路資産情報，補修記録情報，点検記録情報，DWG 形式の点検基図，JPEG 形式の変状の写真（**図-2**）を，３次元モデルの属性情報として重複なく統合するためにはモデルの各部材とデータを紐づけるユニークな ID が必要であるが，本研究では GIS を活用し位置情報をキーとして情報を統合する．そして GIS の機能を用いて，部材毎に過去の情報を統合したデータを利活用し，時空間的な分析を行い，維持管理に活用する．研究のフローを**図-3** に示す．まず，プラットフォームの構築のために３次元モデル化と情報統合手法を検討する．モデル化に関して，すべての部材モデルを精緻に作成するには労力がかかるため，点検記録を調査し，その管理単位に合わせた詳細度でモデル化する．また，情報統合に関して現状では点検記録等の部材名の表記ゆれや記載不足により位置情報で統合することが困難である．そのため，既存の位置情報の記載を統一した後，GIS の機能を用いて紐づけるために位置情報をコード化し，同じ番号のモデルとデータを不整合なく統合する．そして，位置情報とコードの変換辞書を作成することで，既存のデータを書き換えることなく３次元モデルにデータを紐づけることとする．

(1) 特殊橋の３次元モデルの形状検討と作成

本研究で対象とする橋梁は，橋長約 1,000m の３径間２ヒンジ補剛桁吊橋である．特殊橋の維持管理に関するデータとしては帳表形式の道路資産情報，補修記録情報，点検記録情報や図面形式の点検基図，変状を撮影した写真データが存在する．これらを GIS 上で空間的に可視化するために，維持管理に関する情報の管理に最適な３次元モデルを作成する．そこで各データの中で最も細かく管理単位が設定されている点検記録に合わせて部材を作成する．例えば，床板は**図-4** に示すように点検記録で

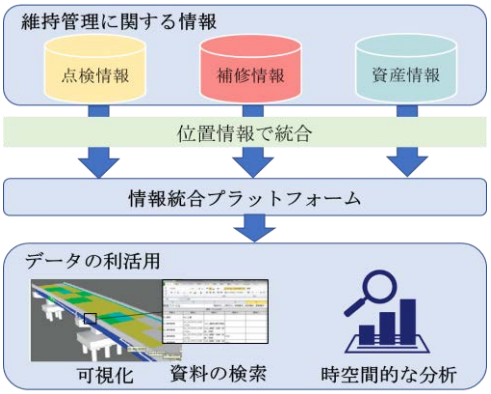


図-1 特殊橋の情報統合プラットフォームについて

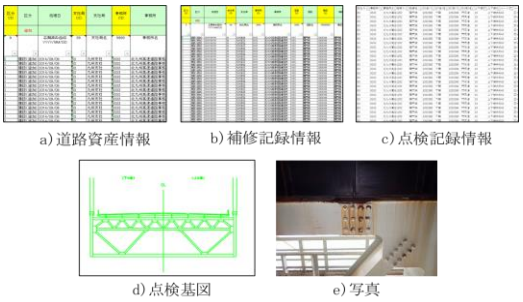


図-2 維持管理に関する情報

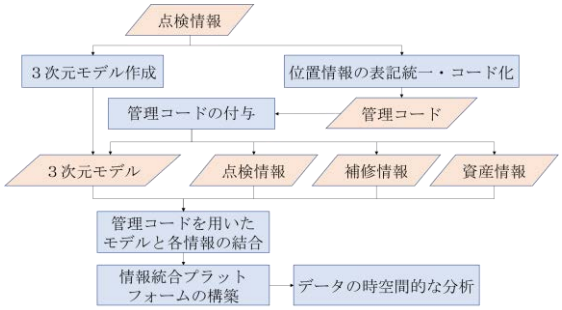


図-3 研究のフロー

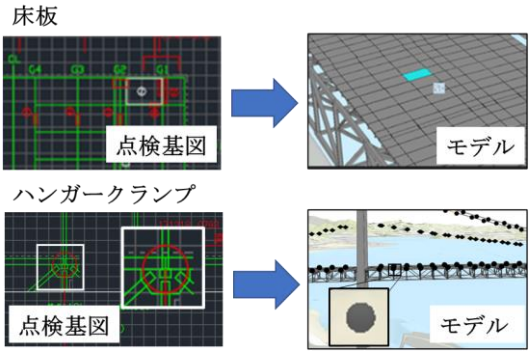


図-4 点検記録に合わせたモデルの作成，分割

表-1 モデル部材の形状

部材	形状	備考
主塔，橋台，補剛桁，床板	３Dポリゴン	外形形状を表現
ガセットプレート	３Dポリゴン	外形形状を表現，ボルトの位置は省略
ハンガーロープ，ケーブル	ライン	位置と構造形式を表現
ハンガーソケット，ハンガークランプ，振止金具	ポイント	位置を表現

は縦桁横桁を基準としメッシュに分割されて管理されているため，ポリゴンとよばれる厚みを持たない面状のモ

デルで作成し，その後メッシュに分割する．また，ハンガークランプは点検記録に合わせて位置のみを表すポイントを用いて部材単位でモデル化を行う．このように，部材毎の３次元モデルの形状を**表-1** のように決定した．以上の検討から，**図-5** に示すように点検記録情報，補修記録情報，道路資産情報の位置情報を過不足なく表現できるモデル化を行った．

⑵ 位置情報の記載様式の統一とモデルへの情報格納

作成した３次元モデルに特殊橋の各種情報を統合する方法を検討する．特殊橋の損傷の詳細な位置情報は，帳表の変状概要（自由記述欄）に部材名等を用いて記載されている．しかしこれらの情報は**図-6** のように「床トラス下段の斜材」が「斜材」と表記されている等，情報が不足しており部材を一意に特定できない．そのため，部材を特定するために記載すべき位置情報を検討する．

まず，特殊橋の構造の特徴に着目すると，トラス構造や吊橋構造は微小な寸法の違いを除くと，**図-7** に示すような縦桁を区切りとした構造パターンの繰返しで構成されている．また，特殊橋を上から見ると中央分離帯を対称の軸として左右対称の構造となっている．したがって，トラスの縦桁を基準とした格点番号，車線の上下線区分，構造体名，上下段，部材名（**図-8**，図には床トラスの部材名，構造体名を例として記載）といった情報を組み合わせることで部材を重複なく特定可能になる．そして，それらの項目に番号を割り振り**表-2** のようにコード化したうえで，３次元モデルの属性情報と維持管理に関する情報双方に同じコードを付与する．

その結果，**図-9** に示すように部材単位の各モデルから，各部材に関連する維持管理情報を参照可能となったことを確認した。

3. 情報統合プラットフォームの活用

研究対象の橋梁に対して統合された竣工時の道路資産情報，竣工時から 2022 年までの補修記録情報，2009 年から 2022 年までの点検記録情報を用いて維持管理におけるプラットフォームの有用性を確認する．

表-2 管理コードの凡例と作成例（一部）

格点番号		上下線区分		構造体名		上下段		部材名	
名称	コード	名称	コード	名称	コード	名称	コード		コード
格点0	0000	上下線共有	10	―	00	―	00	上弦材	48
格点0～1	0005	上り線	20	側面	01	上段	01	中弦材	49
格点1	0010	下り線	30	床トラス	02	中段	02	下弦材	50
格点1～2	0015	上下線無関係	40	上横構	03	下段	03	垂直材	62
格点2	0020			下横構	04			斜材	52
格点2～3	0025			床板	05			縦桁	39
格点3	0030			検査路	06			横桁	06
格点3～4	0035							主版部	01
	…								

管理コード作成例

変状概要	格点番号	上下線区分	構造体名	上下段	部材名	管理コード
格点14‘(上)(○○側) 床トラス下弦材ﾎﾞﾙﾄの腐食。	14’	上り線	床トラス	―	下弦材	
	190	20	2	0	50	19020020050

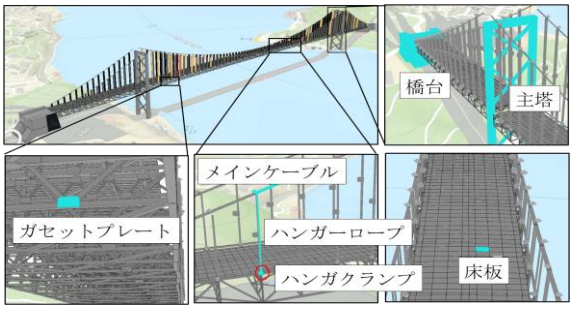


図-5 モデルの全体図と各部材の形状

変状概要		正確な部材名
格点9’（上）（○○側）斜材に塗膜劣化	→	床トラス下段斜材
格点9’，上り，○○側斜材に塗膜劣化	→	床トラス下段斜材

格点番号	上下線区分	構造体名	上下段	部材名
9`	上り線	補剛桁床トラス	上	斜材

自由記述の位置情報を項目分けし，規則化

図-6 位置情報の表記統一の例

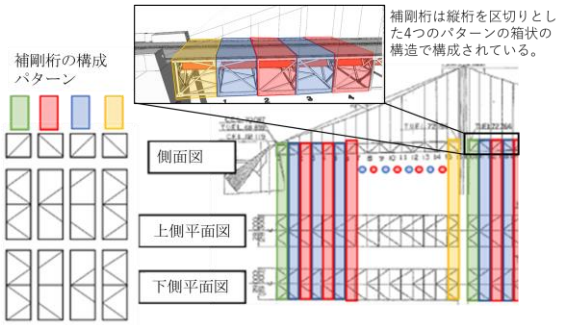


図-7 補剛桁の構成パターン

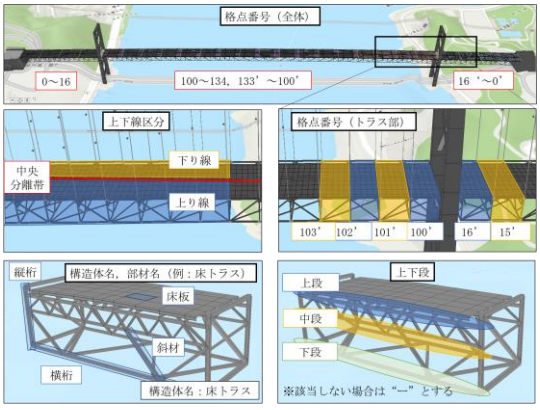


図-8 格点番号と上下線，上下段の区分



図-9 各部材からの各種情報の参照

図-10 に示すように，点検記録情報の属性情報に応じて発生した変状種類や変状の進行度による色分けを行うことで，変状の違いを３次元的に可視化でき，変状の相対的な位置関係が一元的に把握できる．そこで，これらの結果をさらに時空間的に分析を行う．まず，メインケーブルの変状の空間的な分布を図-11 に示す．その結果，メインケーブルの勾配が緩やかになる地点から中央付近まで連続的に変状が発生していることが確認できる．このことから損傷の要因としては，接合部であるケーブルバンドからケーブル内部に雨水が侵入し，緩勾配の箇所で雨水が滞留することによって腐食やそれに伴う被覆材変状が発生していると想定される．

また，2009 年から 2020 年にかけて実施された終点側の側径間および中央径間の床版の点検と補修の結果を図-12 に示す．2009 年時点では，中央径間の路肩の一部と，終点側側径間の床板下面に鋼板腐食が発生している．2014 年と 2016 年には補修及び防錆工が実施され，その後，実施された点検では中央径間のグレーチングおよび路面路肩部に変状が発生しているのに対し，終点側側径間には床板全体に広く変状が分布している．これらより，終点側側径間は中央径間と比較して床板のコンクリート部分の劣化が進行していると予想できる．この要因としては，海風の影響による塩分の滞留などが考えられる．

以上のように，情報統合プラットフォームを用いて情報を統合することで，時空間的な分析による変状の原因推定が可能となり，変状の進行性や原因を考慮した補修実施などの維持管理への活用が期待できる．

4. まとめ

本研究では，まず複雑な構造を有する特殊橋に対して，各部材について点検記録の管理単位をもとに３次元モデル化する新たな手法を提案した．次に，特殊橋の構成部材と点検情報を正しく紐づけるために記載すべき位置情報を検討し，部材を一意に特定可能な管理コードを作成した．そして，コードを用いて道路資産情報，補修記録情報，点検に関する情報を３次元モデルに統合するプラットフォームを構築した．その結果，特殊橋に関する様々な情報の同時参照や３次元空間上での可視化が可能となることを示した．さらに，このプラットフォームを用いることで，補修記録情報と点検記録情報を同時に閲覧することが可能となり，今までの情報管理では困難であった，部材ごとの変状の時系列変化やその空間的な分布などの過去データの利活用が可能になることを示した．

以上のことから，提案した情報統合プラットフォームは特殊橋に関する情報の一元的な管理や可視化が可能であり，変状の時空間的な分析等の維持管理への活用の有用性を示すことができた．

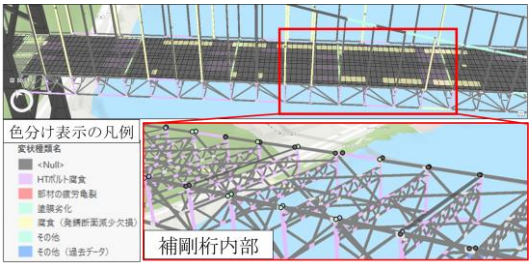


図-10　変状種類の色分け表示による可視化

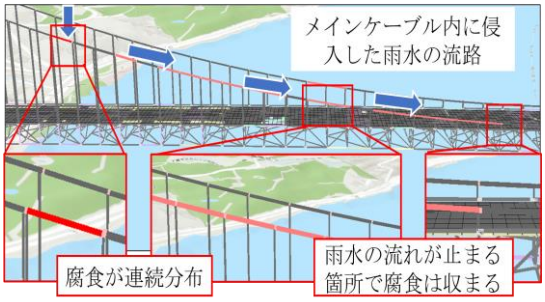


図-11　メインケーブル変状の空間的な分布

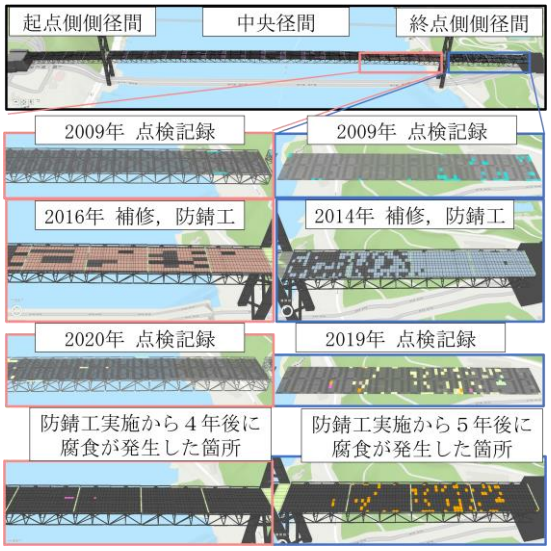


図-12　床版の補修，点検記録情報の時系列変化

謝辞： 本研究にご協力いただきました西日本高速道路（株）および西日本高速道路エンジニアリング九州（株）に，この場を借りて感謝申し上げます．

参考文献

1) 国土交通省：持続可能で的確な維持管理・更新, 2012, <https://www.mlit.go.jp/common/000229315.pdf>,（入手 2023.05.23）.
2) 川野浩平，青山憲明，寺口敏生，関谷浩孝：維持管理段階に適した CIM モデルの情報連携プラットフォームの開発，土木学会論文集（土木情報学），vol.73, No.2, pp.I_134-I_140, 2017.
3) 井上明日香，関和彦，窪田諭：橋梁の点群データとパラメトリックモデルを用いた 3 次元モデルの構築，情報処理学会第 83 回全国大会講演論文，No.4, pp.597-598, 2021.
4) 山岡大亮，青山憲明，谷口寿俊，藤田玲，重高浩一：維持管理での利用を想定した橋梁の 3 次元データモデル標準の策定，土木学会論文集（土木情報学），vol.71, No.2, pp.I_204-I_211, 2015.