

3次元モデルを活用した特殊橋の維持管理プラットフォームの構築

宮脇智士*・三谷泰浩**・谷口寿俊**・本田博之***・川野浩平***・境田伸哉****

Establishment of Maintenance Platform for Complex Structure Bridge Using Three-Dimensional Model

Satoshi MIYAWAKI*, Yasuhiro MITANI**, Hisatoshi TANIGUCHI**, Hiroyuki HONDA***, Kohei KAWANO***, Shinya SAKAIDA****

Abstract: In the inspection work of complex structure bridge, the inspection results are directly applied on the two-dimensional inspection drawing at the site. However, since the inspection drawing is a plan view or a cross-sectional view, it is difficult to grasp the three-dimensional position of the inspection points and the changes of damage. In this research, we established a platform for future maintenance on GIS based on the three-dimensional model of complex structure bridge that can be easily created from drawings and can be used for better inspection work. We created management codes to link the inspection data with each component of the three-dimensional model, storing the inspection data in these models. This paper has enabled better understanding of defective parts of complex structure bridge in visual mapping, and advanced visualization of the two-dimensional inspection records on the three-dimensional model, and accompanying searchability in later inspection work.

Keywords: 3次元モデル (three-dimensional model) , 維持管理 (maintenance) , 点検 (inspection) , 特殊橋 (complex structure bridges)

1. はじめに

近年,供用年数の経過した橋梁が全国的に増加している.国土交通省道路局の道路メンテナンス年表(2019年度)によると,建設後50年を経過した橋梁の割合は,現在は約30%であるのに対して,10年後には約55%となる.

橋梁の点検業務に関しては,平成26年7月1日より道路法施行規則の一部を改正する省令及びトンネル等の健全性の診断結果の分類に関する告示(国土交通省道路局,2014)が施行され,それまでの遠望目視から,近接目視を基本とする点検を5年に1回の頻度で行うことが定められている.そのため,橋梁の点検業務にかかるコストは大幅に増加しており,これらを効率的に維持管理していくことが求められている.

この課題に対して,近年我が国で鋭意推進されている i-Construction では,建設生産プロセス全体の生産性向上のために,様々な検討がなされている(i-Construction 委員会,2016).特に,維持管理では,既設

構造物の長寿命化を図る「予防保全的管理」を目標としており,その実現には,構造物の変形や変状を3次元空間情報として計測・把握し,経時的に管理することが有効とされている.そのため,橋梁分野においても様々な3次元モデリングやその活用が提案されており,既設橋梁の3次元モデル作成に関しては,計測データからモデルを作成する方法が検討されているが(清水ら,2013;塚田ら,2015;川野ら,2018),トラス橋などを含む複雑な構造を持つ特殊橋の部材すべてを欠測なく計測し,そのデータからモデルを作成することは非常にコストがかかる(板倉ら,2014).

3次元モデルの要求性能は主に2つあり,一つは,対象物の形状の経年変化を表現できること,もう一つは,3次元モデルと現実の部材の対応が把握でき,点検結果の入力や表示が視覚的にできることである.そこで,複雑な構造を持ち部材数が多いことから3次元モデルの作成が容易ではない特殊橋や長大橋の3次元モデルを作成する際には,形状の経年変化を把握するためのモデルと属性情報の管理を行うため

* 学生会員 九州大学大学院工学府土木工学専攻 (Kyushu University)

〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 ウェスト 2 号館 1105 室 Tel : 092-802-3396

** 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 (Kyushu University)

*** 非会員 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 (Kyushu University)

**** 非会員 九州大学工学部建設都市工学コース (Kyushu University)

のモデルに分けてモデルの作成手法を考えることが有効であると考えられる。

そこで本研究では、図1に示すように、設計図面から容易に作成でき、点検業務で利活用可能な3次元モデルの作成手法を提案する。そして、作成した3次元モデルをベースとした将来の維持管理のためのプラットフォームをGIS上に構築する。

具体的には、まず関門橋の設計図面から構造を把握し、点検記録の記録や管理に適した簡易な3次元モデルのモデル作成手法を提案する。次に、点検記録と3次元モデルの各部材を紐づけるための管理コードを導入する。最後に、GIS上で点検記録をモデルに格納し、その効果を確認する。

2. 関門橋の点検記録の管理に関する課題

本研究では、山口県下関市と福岡県北九州市門司区間に位置しており、1973年の供用開始から約48年が経過している関門橋を対象とする。

図2に関門橋の点検記録の管理フローを示す。まず、平面図または断面図の紙ベースの点検基図に現場で点検結果を記録する。次に、CADを用いて現場で記録した点検基図を清書する。最後に、点検補修管理システムと呼ばれる維持管理データベース上で、点検結果が記録されたDWGファイル形式の点検基図を登録する。また同時に、変状の点検記録とそれらを撮影した写真もデータベース上に登録される。

しかし、点検補修管理システムに登録されている点検記録は点検者が自由記述で記入している項目があり、表1に示すように、記入された情報からは変状箇所的位置を把握できない場合や表記ゆれが発生している項目がある。さらに関門橋は構造が複雑であり、部材名称も多様なため、適切な情報の登録ができない場合がある。

また、点検補修管理システム内の情報は2次元の点検基図を基にテキストデータで登録されているため、点検箇所の3次元的な位置や変状の経年変化の把握が困難である。その他にも、変状の位置や健全度を図面から調べることは労力が大きく、類似する変状の検索や統計的な分析は困難であるといった課題が存在する。そこで本研究では、管理コードを導入す

ることでこれらの課題を解決する。

3. 3次元モデルの作成

ここでは、図1で示した維持管理プラットフォームの中で属性情報の管理などを行う簡易な3次元モデルの作成手法とその利活用について示す。そして、関門橋の設計図面から構造を把握し、点検記録の記

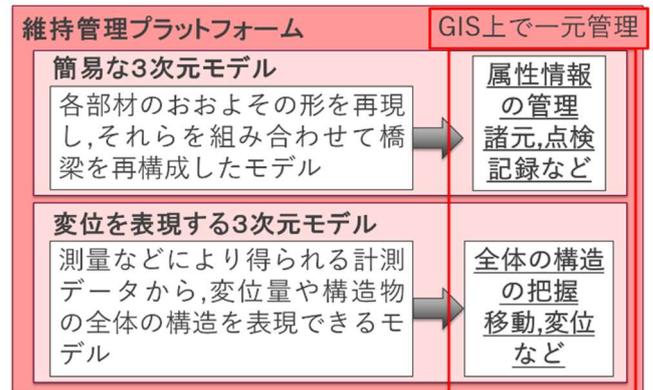


図1 3次元モデルの要求性能

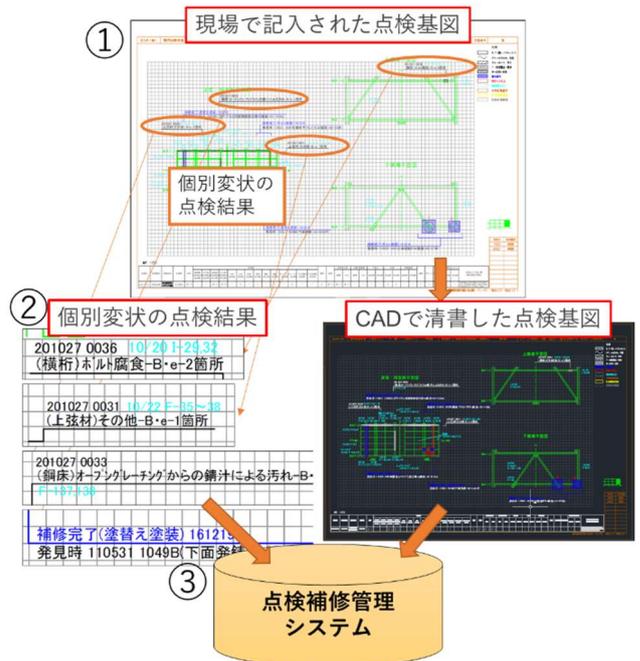


図2 関門橋の点検記録の管理のフロー

表1 点検記録内の情報不足と表記ゆれの例

変状概要	→	正確な部材名
格点9'(上) (門司側) 斜材に塗膜劣化。	→	床トラス下段斜材
格点10'(上) (門司側) 斜材に塗膜劣化。	→	床トラス下段斜材
格点102'~101' 縦桁に腐食。	→	縦桁の路肩から2番目
格点102'~101' 縦桁のボルトに腐食。	→	縦桁の路肩から2番目

録や管理に適した簡易な3次元モデルのモデル作成手法を提案する。

3.1. 3次元モデル作成の方針

既設橋梁の3次元モデルを新たに作成する際には、変位量が取得できるレーザースキャナ等を用いて測量を行い、計測データから3次元モデルを作成することが望ましい。しかし、関門橋の補剛桁は上横構、下横構、垂直材、上弦材、下弦材、斜材、床トラスといった多種多様な部材が複雑に組み合わせられて構成されているため、計測データに欠測部が多く発生する。さらに、対象物が大きいことや、車両の通行による揺れが発生していることから、得られる計測データに誤差が発生しやすく、計測データのみから関門橋の3次元モデルを作成することは困難である。そこで、関門橋の補剛桁部分を対象として、設計図面から点検記録の記録や管理に適した簡易な3次元モデルを作成する。

関門橋の補剛桁は、図3に示すように、垂直材やハンガーロープの位置ごとに格点番号という管理番号が割り振られている。設計図面から、格点間での部材の組み合わせは、微小な寸法の違いを除くと4パタ

ーンに絞られる。そこで、格点単位のモデルを4パターン作成してそれらを配列複写することで関門橋の簡易な3次元モデルを作成する。

3.2. 3次元モデルの作成方法

関門橋の3次元モデルの作成手順を図4に示す。まず、設計図面から関門橋の補剛桁の主要部材を部材中心軸で描画する。また同時に、主要部材の部材断面図を描画する。次に、部材断面を部材中心軸に沿ってスイープし「3Dソリッド」として3次元の部材モデルを作成する。その際と同じ部材名の3Dソリッドはまとめて、レイヤーに分けて3次元モデルを作成する。このようにして格点単位の3次元モデルを4パターン作成し、最後に、配列複写を用いて格点単位の3次元モデルを適切に配置して関門橋の3次元モデルを作成する。

また、関門橋の3次元モデルの座標は、関門橋を地上と路面から測量した点群データを用いて、まず点群データから得られた関門橋の方向に合うように3次元モデルを回転させ、次に3次元モデルのスパン中央へ点群データから得られたスパン中央の座標値を与えてGIS上に取り込む。それにより、複数の3次

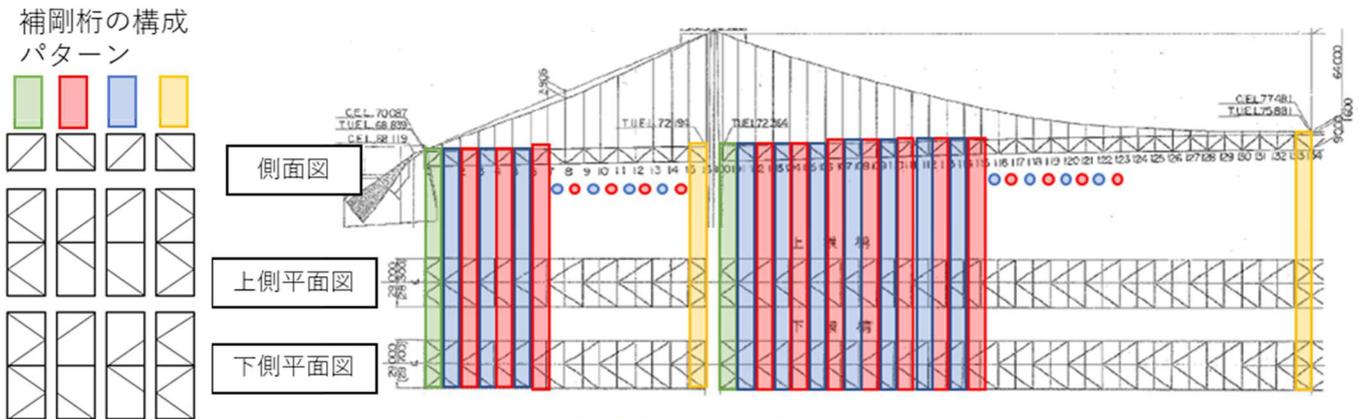


図3 関門橋の構造パターン

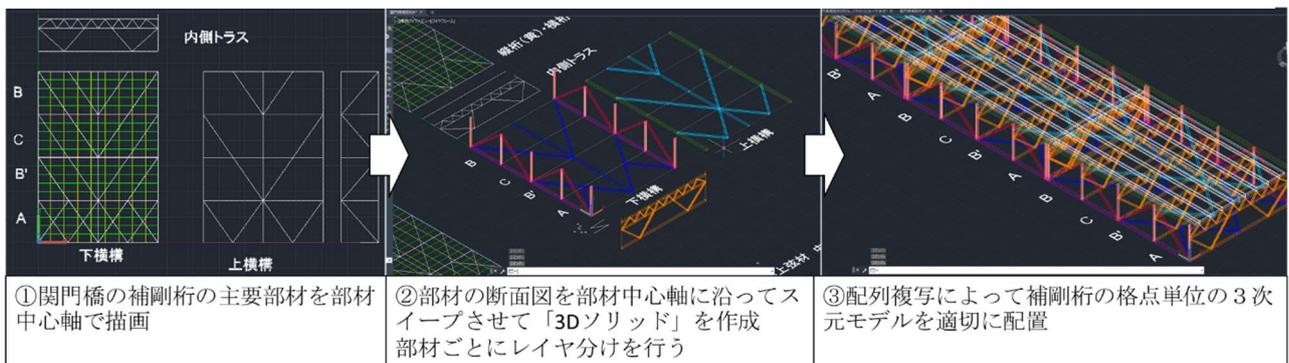


図4 関門橋の3次元モデルの作成手順

元モデルを同じ位置に取り込むことができるため、性能の異なる3次元モデルや作成時期の異なる3次元モデルを統合して管理できる。

4. 管理コードの導入

既存の点検基図に記録されている点検記録を作成した3次元モデルの対応する箇所に格納するためには、点検対象となる各部材と3次元モデルの各部材を紐づけるために、部材ごとに固有のコードを与える必要がある。本研究ではこのコードを管理コードと呼び、ここでは、管理コードの構成と、点検記録および3次元モデルへの管理コードの付与方法について述べる。

4.1. 管理コードの構成

管理コードは点検記録の対象となる各部材と3次元モデルの各部材を紐づけるために作成して付与する。そのため、管理コードは橋梁を構成する全ての部材の中から1つの部材を特定でき、コードの重複や欠落が起きないようにする必要がある。本研究では、橋梁を構成する部材が持つ複数の属性を組み合わせることで管理コードを作成する。管理コードの構成と凡例を表2に示す。格点番号とは、関門橋にあらかじめ与えられている番号であり、図5に示すように下関側の橋台からスパン中央にかけて0~16（下関側から主塔までの間）、100~134（主塔からスパン中央までの間）と与えられており、また門司側の橋台からスパン中央にかけても同様に、0~16（門司側から主塔までの間）、100~133（主塔からスパン中央までの間）で与えられている。上下線区分は門司から下関に向かう車線側が上り線、下関から門司に向かう車線側が下り線である。部材名は、図6に示すように、関門橋の補剛桁がトラス構造であることから、「床トラス上弦材」や「床トラス上段斜材」、「下横構斜材」といった複雑な名称の部材が多数存在する。そのため、点検者によって部材名の表記ゆれが発生する可能性があり、重複管理やデータの欠落の原因になる。そこで、部材名は、「構造体」、「上下段」、「部材名」の3つの属性に分けて重複等が起きないように管理する。管理コードはこれら5つの属性を組み合わせることで数字12桁で作成する。

しかし、縦桁や横桁は同一の管理コードであっても複数の部材が存在する。また床板は、対象範囲が大きく12桁の管理コードによるモデルの管理では、変状位置の表示に適さない場合がある。そこで、縦桁・横桁と床板については12桁の管理コードの末尾に識別IDを追加し、3次元モデルをそれらに対応するように分割することで、同一の管理コードの部材をより詳細に管理できるようにする。図7に示すように、識別IDは横桁には橋台側からスパン中央へ向かって1から連番を与え、縦桁には路肩側から中央分離帯へ向かって1から連番を与える。頭文字のアルファベットは、実際の部材に付与されているアルファ

表2 管理コードの構成と凡例

格点番号	上下線区分	構造体名	上下段	部材名	識別ID
0000 格点0	10上下線共有	00-	00-	48上弦材	A1~
0005 格点0~1	20上り線	01側面	01上段	49中弦材	B1~
0010 格点1	30下り線	02床トラス	02中段	50下弦材	C1~
0015 格点1~2	40上下線無関係	03上横構	03下段	62垂直材	D1~
0020 格点2		04下横構		52斜材	E1~
0025 格点2~3		05床板		39縦桁	G1~
0030 格点3		06検査路		06横桁	Y1~
0035 格点3~4				01主版部	F1~
...					

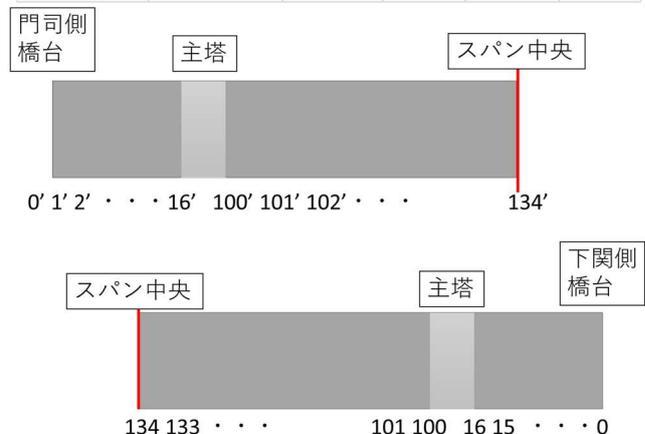


図5 格点番号の例

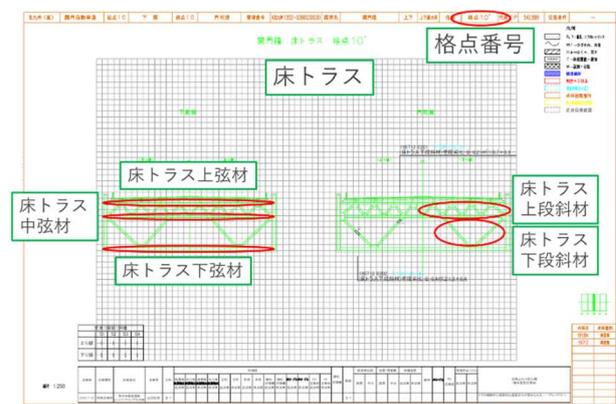


図6 床トラスを構成する部材の名称



図 10 点検記録を関門橋の3次元モデルに格納した結果

いる変状を撮影した写真の保存場所のパスを利用することで、480枚以上の変状を撮影した写真を1つのプラットフォームでそれぞれ各部材のモデルに紐づいた形で表示できる。

また、変状の種類や判定区分などによるモデルの色分け表示ができるため、点検記録の可視化が可能となり、検索性も向上する。さらに、点検基図による点検記録の管理では困難だった、3次元的な変状の位置関係の把握が可能となる。

例えば、格子状に分割して作成した鉄筋コンクリート床板の3次元モデルのうち、「鉄筋の露出・腐食」が発生しているモデルの個数を道路縦断方向に10列に分けて集計した結果を図11に示す。このグラフから、最も路肩側の列の床板モデルで発生している鉄筋の露出・腐食の個数は他の列と比べてほぼ2倍以上多く、また、全体で発生している鉄筋の露出・腐食のうちの4割以上を占めることがわかる。さらに、3次元モデルで変状の空間的分布を確認することで、「剥離」や「豆板」についても、路肩付近に多く発生していることがわかる。

関門橋は、中央分離帯から路肩側へ向かって下向きに2%の勾配がつくように設計されており、降雨時には降った雨水が路肩側に流れて集水される。したがって、関門橋の門司側側径間の鉄筋コンクリート床板の路肩側では、雨水などの水分による浸食が生じ、微細なひび割れが発生し、そのひび割れから水や二酸化炭素や塩化物イオンが侵入して鉄筋と接触することで、鉄筋の露出・腐食やコンクリートの剥離が発生しているということが原因の一つと考えられる。

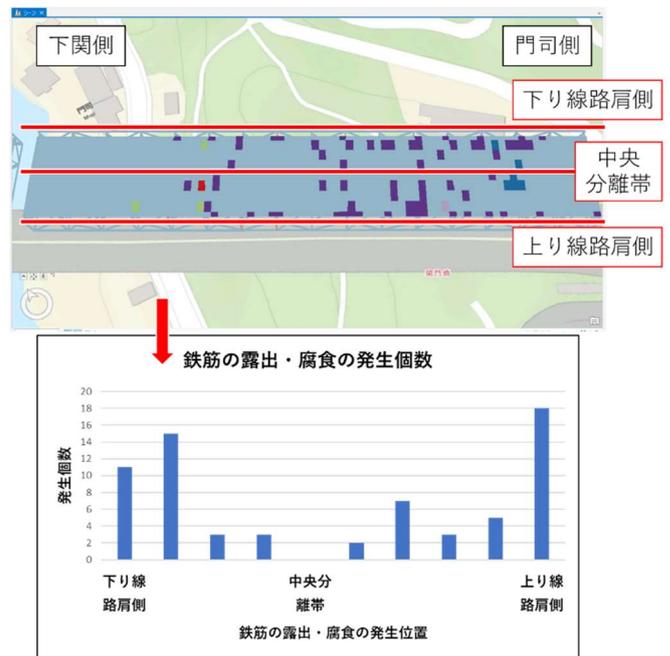


図 11 鉄筋の露出・腐食の発生個数と発生位置

以上のように、3次元モデルを用いて点検記録の統合を行うことで、複数の点検基図に分けて管理されていた点検記録や変状を撮影した写真等を1つのプラットフォームで一元的に管理できる。また、点検記録の可視性や検索性が向上し、点検基図による管理では困難であった3次元的な変状の位置関係の把握が可能となる。

6. おわりに

本研究では、まず関門橋の設計図面から点検記録の記録や管理に適した簡易な3次元モデルを作成した。その後、点検記録と3次元モデルの各部材を紐づけるための管理コードを導入し、実際に点検記録を3次元モデルに格納した。その結果、点検記録の可視

性や検索性が向上し、3次元的な変状位置関係の把握が可能となった。

将来的には、計測データを用いた変位量を表現できる3次元モデルの検討を行い、その3次元モデルと本研究で提案した3次元モデルをGIS上で統合する予定である。

謝辞

本研究にご協力いただきました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

板倉崇理・矢吹信喜・福田知弘・道川隆士 (2014) 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.「土木学会論文集 F3(土木情報学)」,70 (2) ,42-49.
大橋昭光・高田俊郎・佐伯彰一 (1970) 関門吊橋の

概要と近況.「溶接学会誌」,39 (10) ,44-48.
川野浩平・青山憲明・寺口敏生・関谷浩孝 (2018) 土木分野における既存構造物の簡易3次元モデル作成方法に関する研究.「土木情報学シンポジウム講演集」,43 (46) ,181-184.
国土技術政策総合研究所 (2020) データ交換を目的としたパラメトリックモデルの考え方(素案)
国土交通省道路局 (2014) 道路の維持修繕に関する省令・告示の制定について
国土交通省道路局 (2020) 道路メンテナンス年報
清水智弘・吉川眞・瀧浪秀元・御崎哲一・高橋康将・中山忠雅・内田修・近藤健一 (2013) 3Dモデルを用いた橋梁維持管理システムの開発.「土木学会論文集 F3(土木情報学)」,69 (2) ,45-53.
塚田義典・田中成典・窪田諭・中村健二・岡中秀騎 (2015) 点群データを用いた橋梁の3次元モデルの生成に関する研究.「知能と情報(日本知能情報ファジィ学会誌)」,27 (5) ,796-812.
i-Construction 委員会 (2016) i-Construction～建設現場の生産性革命～
< <https://www.mlit.go.jp/common/001127288.pdf> >
(参照 2021.08.26)