

橋梁リニューアル統合管理システムの開発

日 暮 一 正

国内の主要な高速道路は供用開始から50年以上を経た現在、老朽化とともに長い期間厳しい使用環境に暴露されたことで床版などに変状が顕在化してきており、これまでの部分的な補修の繰り返しのみでは十分に対応できないため、抜本的な大規模更新が必要となっている。限られた工期の中でいかに既存の交通量を確保しながら更新作業を行うかが課題となっている。今回、床版取替工事における全体工程の短縮および品質向上に向けて、調査・設計、床版製作、施工各プロセスの統合管理システムを開発したので、その概要について報告する。

キーワード：リニューアル、大規模更新、床版取替え、生産性向上、DX

1. はじめに

通常行われている床版取替工事（写真—1）の全体プロセスは「調査・設計」「床版製作」「現場施工」「維持管理」の4つに分類される。

これらプロセスの課題として、プロセス毎にデータがバラバラに存在しておりデータの受け渡しが非効率であることや、調査・設計から床版製作の遅延が生じると施工の着手が遅れリニューアル事業が遅延すること、現場施工の期間延長により規制期間が長くなり渋滞や事故リスクが増大すること、維持管理時に必要なデータ取得が困難であり適切な補修計画の策定・実施が困難とることが挙げられる。

一方、他の業界では設計データから施工を含めて、データの一気通貫による統合管理が既に行われており、各工程を立ち上げるためのデータの起こしが不要

となる他、システムが人間の作業をサポートする、自動化する、全体工程を短縮する手法が既にとられている。

今回はこのデータの一気通貫による管理をメインとしてシステム開発を行い、工期短縮、品質向上のためのアプローチを行った。

2. 橋梁リニューアル統合管理システム概要

開発した橋梁リニューアル統合管理システム OBRIS (Obayashi Bridge Renewal Integrated System) は、床版取替工事におけるプロセスを「調査・設計 (-Design)」、「床版製作 (-Production)」、「施工 (-Construction)」の3つのサブシステムにカテゴライズした（表—1）。

また、OBRISの3つのシステムは、設計や施工に関するデジタルデータおよび3次元モデルを次のシステムに引き継いで一气通貫で利用することを可能としたことで、データの生成過程において、重複作業をな



写真—1 床版取替工事の事例

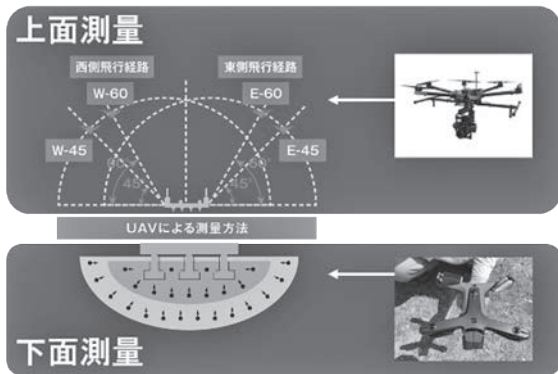
表—1 OBRIS 全体概要

橋梁リニューアル統合管理システム OBRIS (Obayashi Bridge Renewal Integrated System)	
OBRIS-D (Design) 調査・設計統合システム	<ul style="list-style-type: none"> ・3D測量から得られたデータを自動でCIM化 ・設計時に反映すべき情報を入力して一元管理 ・自動割付機能により設計を最適化
OBRIS-P (Production) 製作統合システム	<ul style="list-style-type: none"> ・Pca部材製作時の品質記録を一元管理 ・製作監視機能と品質管理データにより品質低下を防止 ・部材の製作出来形を反映した出来形シミュレーションにより施工時の不具合発生を防止
OBRIS-C (Construction) 施工統合システム	<ul style="list-style-type: none"> ・「設置座標データ一覧」を活用して設置作業を効率化 ・設置誤差を反映した修正シミュレーションを行い、設置座標データを日々修正して、翌日以降の施工に活用する ・出来形や現場品質管理データを確認、記録する

くして生産性を向上させるとともに、設計・施工における不具合の未然防止・品質の向上に寄与することを目的としたシステム体系である。

(1) 調査・設計システム (OBRIS-D)

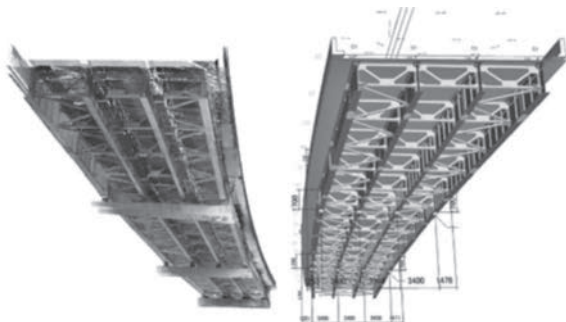
既設橋梁の現況を3次元レーザースキャナやUAV(図一1)にて点群データを取得(図一2)し、既設鋼桁の3次元モデルを精緻に作成する(図一3)。また床版および鋼桁の線形データをもとに、新設床版、壁高欄、既設床版割付けを自動処理可能な「床版割付けBIM/CIMシステム」を用いて床版の設計を行う。従来、割付け図の作成は、CADオペレータが手作業で主構造との取り合いを確認しながら、形状パターン数が最小となる割付けとなるよう、トライアンドエラーを



図一1 撮影に使用した UAV



図一2 橋梁上下面をレーザースキャナにて計測



図一3 点群データと3次元モデル

繰り返して作成するために多大な時間を要していた。この従来作業を今回の開発システムにより自動化した。

(2) 床版製作システム (OBRIS-P)

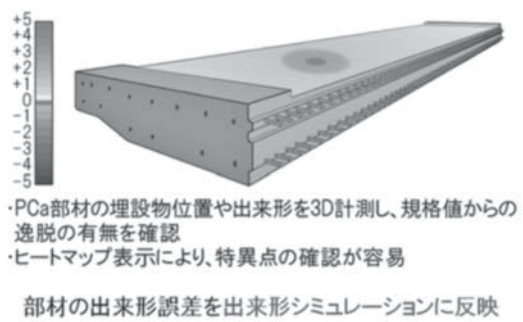
決定した割付けプランの設計データをもとに床版製作の形状寸法を自動計算し、製作図(3次元モデル)を作成する。遠隔で床版製作の作業状況を見ながら品質記録データを確認するなど製作工程を監視・指導することで所定の品質を確保する(図一4)。製作済みのプレキャスト床版を3次元レーザースキャナで計測し(写真一2)、解析ソフトウェアで設計時の3次元モデルと比較しヒートマップ表示させて合否判定を行う(図一5)。床版出来形の誤差をパソコン上で事前にシミュレーションすることで、現地設置時の誤差を早期に確認し対策することを可能とした。



図一4 床版製作工場の監視システム



写真一2 製作した床版の計測状況



図一5 3次元モデルによるヒートマップ表示

(3) 施工システム (OBRIS-C)

現地設置時のシミュレーション結果の目標座標データと施工済床版の出来形座標データを重ね合わせ、バーチャルとリアルデータを日々照合しながら施工管理に反映させることを可能とした(図-6)。また、日々の進捗をBIM/CIMクラウドに属性情報として反映させることで、進捗確認と翌日以降の作業打合せをインターネット上で実施することが容易となり、手戻りのない確実な工程の進捗管理に貢献できる。

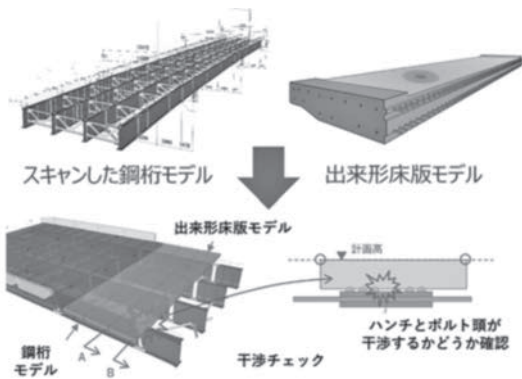


図-6 3次元モデルを用いた干渉チェック

3. 床版割付け BIM/CIM システムの概要

調査・設計フェーズ (OBRIS-D) で利用するシステム体系のうち、新設床版、壁高欄、既設床版割付け、ハンチ形状設計、3次元モデル作成を行うシステムの作業手順を以降に示す。

(1) 線形座標の読み込み

まず既設橋の路面と鋼桁、および新設床版の線形ラインを線形計算ソフトで計算し、座標をシステムに読み込む。読み込んだ線形座標はプレビュー画面(図-7)に平面図が表示され、既設橋梁全体の骨組みを確認することができる。次に、既設床版の切断時と新設床版の設置時の干渉チェックのために、主桁の上フランジ断面、継手位置、添接板サイズ、対傾構などの情報をを入力する。

(2) 割付けルールのパラメータ設定

床版の割付けを自動で計算するためのパラメータを入力し割付けルールを作成する(図-8)。設定可能なパラメータは、新設床版の標準寸法、最大・最小寸法、主桁との角度、端部パネルの後打ち幅、間詰めと中間支点上との必要離隔、などである。これらの組合せを複数登録できるようにした。

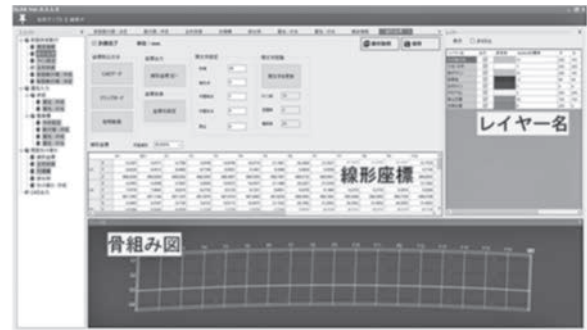


図-7 線形座標読込画面

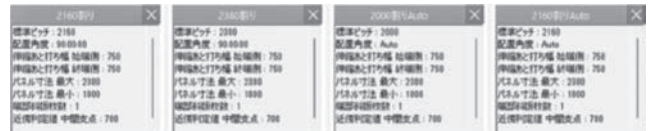


図-8 割付けルール作成画面

(3) 新設床版割付け図の自動作成

事前に登録した割付けルールを指定して実行すると、線形座標をもとにシステムが自動で割付け寸法表を作成し、プレビュー画面に割付け図を表示する。割付け図はマウスで拡大・縮小が可能で、寸法表の間詰めをクリックするとプレビュー画面にその位置をハイライト表示する。新たな割付け案を実行すると、新規タブに計算結果が表示され、タブの切り替えで割付け図を比べる(図-9, 10)。

自動処理が難しい細部箇所は寸法表を簡単に調整できるように、床版目地の削除・移動、台形パネルの割付け計算などの編集コマンドを実装した。割付け図は汎用CADに出力して検討資料として活用できる。標準版・異形版の枚数、製作・運搬・施工性などを関係者にて協議し、総合的に最適な割付けプランを決定する。

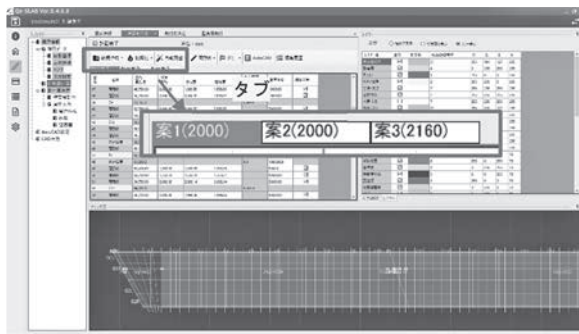
(4) 壁高欄割付け、既設床版割付けの自動作成

新設床版割付けの決定案に対して、プレキャスト壁高欄の割付け(図-11)と、既設床版の割付け、新設床版と壁高欄の属性入力を行う。

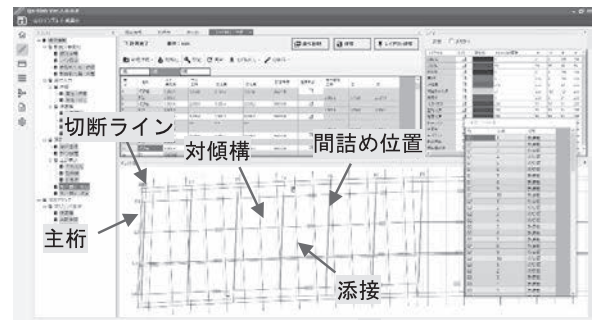
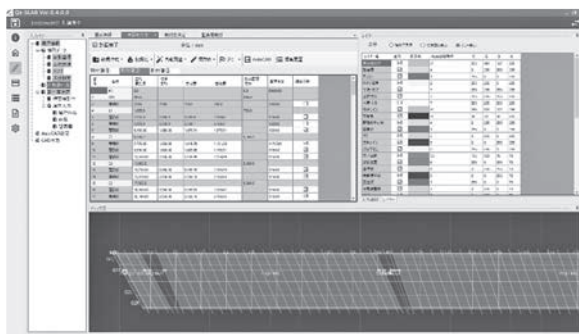
既設床版の割付けは、標準・最大・最小幅、上フランジ添接板や対傾構、排水柵、間詰めとの必要離隔などのパラメータをルール登録することで、新設床版の



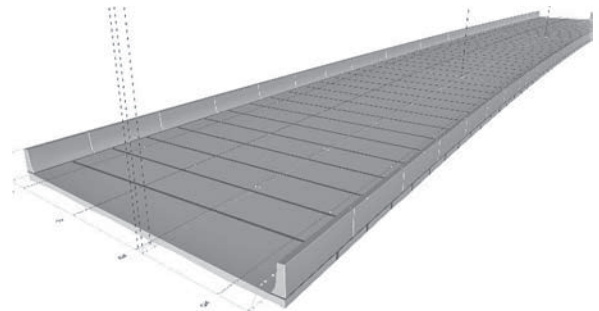
図-9 割付け図決定フロー



図一 10 新設床版の割付けプレビュー画面



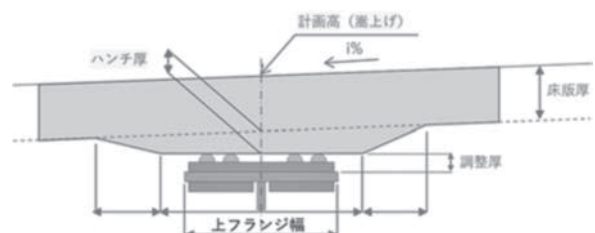
図一 12 既設床版カット割り入力画面



図一 13 床版・壁高欄の3次元モデル



図一 11 壁高欄割付け入力画面



図一 14 ハンチ形状決定機能

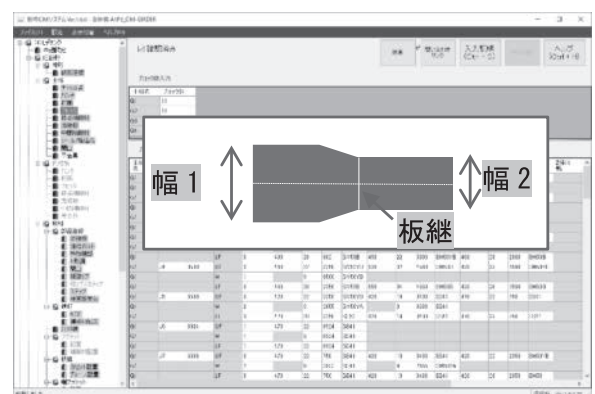
割付けと同様に自動計算する機能を実装した (図一 12)。新設床版と壁高欄, 既設床版割付けは 3 次元モデルに出力することができる (図一 13)。

(5) 3次元モデル上でのハンチ形状自動設計

新設床版の平面上でのプランニングが完成した後, 個別にハンチ形状を設定する。本システムでは床版の水平からの角度を考慮して, 自動でハンチ形状をプランニングする機能を開発した(図一 14)。これにより, 各床版の詳細設計に関する大幅な設計工数短縮が可能となる。

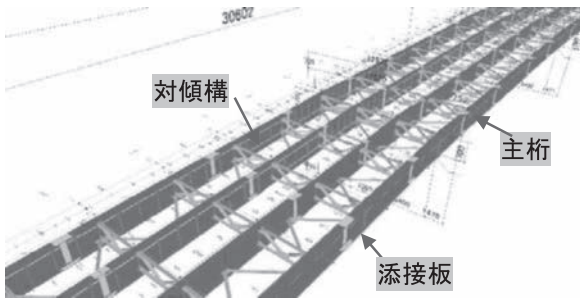
(6) BIM/CIM 統合モデルの作成

既設橋の鋼桁 3 次元モデルは, 数値入力により BIM/CIM モデルが作成可能な鋼橋 CIM システムで作成する。今回, 既設橋に多い主桁断面の板継変化に対応できるように鋼橋 CIM システムの機能を拡張した (図一 15)。



図一 15 鋼橋 CIM システムの主桁断面入

これにより既設橋梁の床版と鋼桁 (図一 16) および新設床版と壁高欄の 3 次元モデルを統合でき, BIM/CIM を活用した設計照査, 施工シミュレーションを実施し, 迅速な合意形成が可能となった。



図一 16 既設鋼桁の3次元モデル

4. 現場への適用

本システムは、施工中の床版取替工事の現場で検証を行った。なお、検証にあたっては、工期の関係から、今回は現在施工中の現場へシステムごとに適用を行った内容について報告する。

(1) 調査・設計統合システム (OBRIS-D)

(a) UAV を用いた現況測量

既設橋の計測においては、従来であれば、橋面上部では交通規制後によるスキャナでの計測、橋面下部では足場を設置した後、鋼製のスケールで各所を確認、計測するのが一般的であるが、当該システムを用いた方法によると、足場を建設する前に UAV を用いた計測が可能となり、交通を止めることなく橋面上部・下部の正確な計測が可能となった。図一 17 は、既設橋 1 径間約 65 m 程度の橋梁下面、上下線往復合計約 130 m を 1 日 8 時間以内にてスキャナを用いて計測した図である。計測当日は橋梁上面の交通規制を行うことなく実施できた。実際に計測したデータと各所比較し、± 5 mm 以内の精度であった。

点群データ取得後、CIM モデル作成と同時に設計部門にデータ供与可能となることから、施工直前での主桁寸法（特に上フランジの幅と高さ）が正確に伝わり、詳細設計の二度手間を防ぐことができた。さらに、隅々まで点群データを取得することで、付設物に関する情報を入手出来ることから、既設床版切断時に避けてカットラインを引くことが出来るなどのメリット

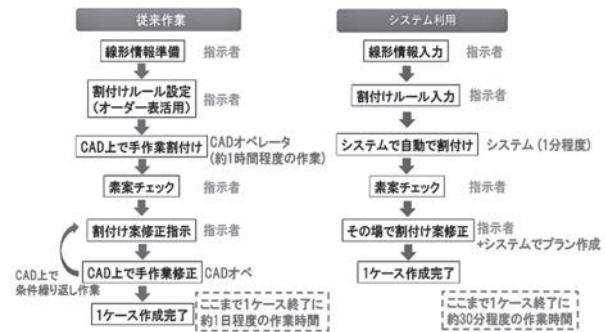


図一 17 既設橋梁計測点群データ

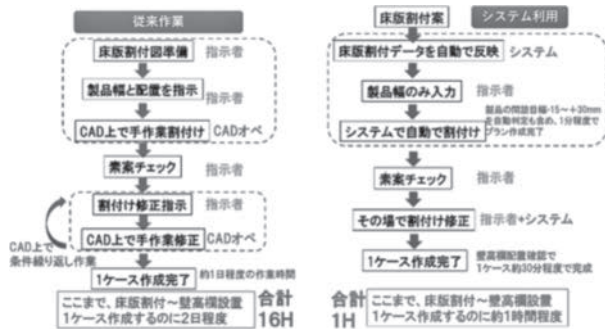
も享受できた。また、現場と設計部門間においては専用のクラウドサービスにてデータ共有が可能のため、常に最新のデータに関する情報を得ることができた。

(b) 床版割付け BIM/CIM システム

当該システムを用いて、床版割付けにおける従来作業との比較を行ったところ、1 ケース当たり要する工数が、約 1 日 (8 時間) から 30 分程度となった。また、壁高欄についても自動で配置が可能であることから、壁高欄自動配置システムを用いることで、1 ケース約 16 時間の工数がわずか 1 時間で作成ができた (図一 18, 19)。さらに、断面部分におけるハンチ厚の自動設計機能を用いることで、床版 1 枚あたりに 1 時間程度要していた設計、CAD 製作作業が 5 分程度で終えた。本システムを業務に適用することで、設計工数が大幅に短縮されたことを確認できた。



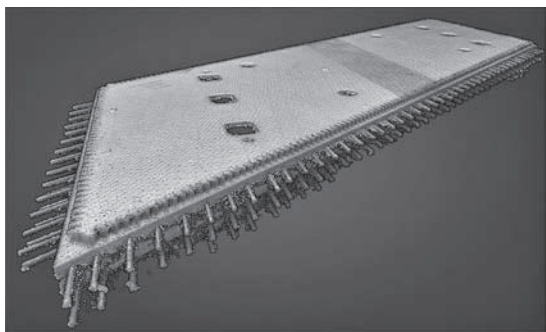
図一 18 床版割付け業務フロー



図一 19 壁高欄割付け業務フロー

(2) 床版製作統合システム (OBRIS-P)

床版製作工場の連携については、プレキャスト工場における計測手法により、全ての設計、製作工程でデジタル化できないケースも確認された。特にスキャナの精度や撮影モード、撮影位置や構台の高さによってはデータの欠損を伴うため、様々なケースを考慮して撮影を行い、3次元点群データ化を行った。図一 20 は、構台高さ 1.2 m、市販レーザー スキャナを用いて High Mode で新設床版を 6 箇所から計測して得られた点群データ図である。鋼尺との実寸精度も ± 2 mm 以内で



図一 20 新設床版出来形計測状況

あり、正確な3次元形状を取得することができた。

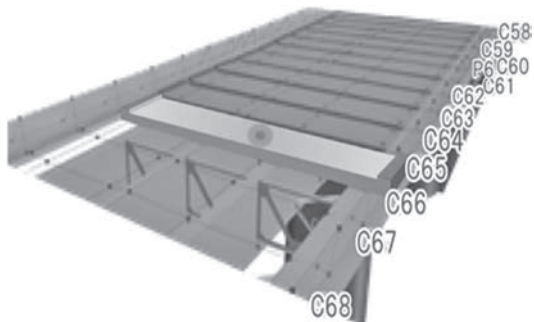
(3) 施工統合システム (OBRIS-C)

施工においては、工場で製作された床版の出来形計測データを現場へクラウドを通じて施工前に情報共有出来たことで、設計とは若干異なる床版の出来形誤差を考慮した設置方法について、現場にて事前に確認、検討することが可能となった。これにより、床版設置における四隅の目標設置座標を検討することが可能となり、現場の設置に掛かるタイムロスや施工箇所全体の上質な線形確保がクラウド上で可能となった (図一 21, 22)。

一方、床版設置に要する計画値と日々のデータ入力との連携により作業効率が向上したが、現場にて日々発生するデータのメンテナンス要員確保、システム利用に関する教育の必要性など、今回開発したシステムの運用に向けた課題も確認できた。



図一 21 クラウド上での一覧表示



図一 22 床版設置位置確認

5. おわりに

今回開発したシステムは、現地調査としての点群データ取得から BIM/CIM データ作成、既設桁と新設床版の調整、床版製作、施工時での利用、測量やメンテナンスデータ保管など、すべての工程においてデジタルデータと3次元モデルの活用が可能なフローを目指した (図一 23)。BIM/CIM データが設計時のみの活用に留まらず、床版製作、出来形管理、施工シミュレーションなど様々なフェーズに連携できることは、今後の DX を中心とした業務改善活動において重要となる。一方で開発システムが現場にとって属人化しないように、誰にでも使いやすいインターフェースとするなどの工夫も必要である。

これまでの2次元図面を中心とした熟練技術者のノウハウによる設計・施工の作業フローから BIM/CIM を活用したデジタルデータで DX を実現し、高速道路の大規模更新事業の生産性・品質向上に取り組んでいく所存である。



図一 23 OBRIS を用いた業務フロー遷移図

J C M A

【筆者紹介】

日暮 一正 (ひぐれ かずまさ)
 (株)大林組
 土木本部 先端技術推進室

