

第66回(2022年度) 北海道開発技術研究発表会論文

河川構造物の設計業務におけるBIM/CIM活用 — 柏木川サイフォン工事における事例 —

札幌開発建設部 千歳川事務所 計画課 ○関 洵哉
橋本 嶺
松本 卓也

国土交通省では、令和4年度から大規模構造物の全ての詳細設計でBIM/CIMが原則適用され、河川事業でも活用が進められているが、柏木川で改築が予定されているサイフォン工では、既設との近接施工や、周辺の道路・用排水路への影響を回避するため、3次元モデルを用いた施工計画の検討に取り組んでいる。この事例について、設計業務におけるBIM/CIMの活用の取組を報告するものである。

キーワード：BIM/CIM、i-Construction、施工計画

1. はじめに

近年、我が国では人口減少による働き手の減少が課題となっており、土木業界では生産性の向上による新たな需要の創出が求められている。国土交通省では、建設生産システム全体の生産性向上を目的とする「国土交通省生産性革命プロジェクト¹⁾」を平成28年より行っており、その一環として、ICTなどの新技術を積極的に活用するi-Constructionを推進している。

こうしたi-Constructionの取り組みの一つとして、BIM/CIM(Building / Construction Information Modeling)が挙げられる。BIM/CIMとは、調査・設計・施工・維持管理の各段階で3次元モデルを導入し、事業全体の関係者間で情報共有することにより、一連の建設生産システムの効率化・高度化を図るものである。3次元モデルには各種データを紐づけることができ、情報共有を容易に行うことが可能となる。これまでは施工段階で活用されるケースが多かったが、国土交通省は令和4年度からは大規模構造物の全ての詳細設計で、令和5年度には小規模を除く全ての構造物でBIM/CIMを原則適用することを目標としている。

設計段階でのBIM/CIM活用の利点として、3次元空間で構造物を再現することにより、構造物の位置や離隔を直感的かつ事前に確認しつつ設計を行えるという点が挙げられる。しかしながら、設計業務でのBIM/CIM活用は未だ積極的には実施されておらず、その効果の報告も多くないのが現状である。

上記より、本論文では、樋門やサイフォン等多数の河川構造物が設置されている千歳川流域において、新旧の構造物が隣接する柏木川サイフォンを対象とし、BIM/CIM活用の有効性と課題点の報告を行う。

2. 千歳川河川整備計画の概要

千歳川は、支笏湖を源とする幹線流路延長108 km、流域面積1,244 km²の一級河川である(図-1)。中流域から下流域は低平地を約17,000の緩勾配で流れ、洪水時には石狩川本川の高い水位の影響を長時間受けるという特徴を有している。未曾有の大洪水となった昭和56年8月洪水では石狩川の高い水位の影響を受け、千歳川流域の複数箇所にて堤防からの越水、破堤が発生する等甚大な被害が発生した²⁾。

千歳川流域では平成17年に「石狩川水系千歳川河川整備計画」を策定し、石狩川の高い水位の影響を受けることに対応した整備が進められている。その具体的な対策として、堤防整備や遊水地群の整備が位置づけられ、特に堤防は石狩川と同様の堤防高と天端幅を確保した整備を行うこととしている。

上記の背景から、堤防整備(拡築)に伴い多数の河川構造物の改築を実施している。



図-1 千歳川流域と柏木川の位置図

3. 柏木川サイフォン改修計画

(1) 柏木川サイフォンの概要

柏木川サイフォンは、昭和44年以前の国営土地改良事業で設置されたサイフォン工（旧サイフォン）で、現存するサイフォン（既設サイフォン）は、平成元年に改築されたものである。既設サイフォンの諸元を表-1、図-2に示す。

表-1 既設柏木川サイフォン諸元

項目	諸元
名称	北島地区第1集水路逆サイホン工
完成年度	平成元年
水路名・横断河川名	北島地区第1集水路・柏木川
函渠断面形状	1.75 m×1.75 m×98.01 m～2連
基礎形式	杭基礎（PHC杭）

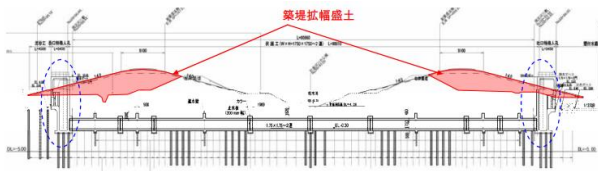


図-2 既設柏木川サイフォンの横断面

(2) 改築概要

柏木川サイフォンの改築方法は、既設函体の一部を残す継足しと、施設すべてを改築する全面改築が考えられたが、継足しの場合、堤防拡幅で逆サイフォン工延長が長くなり損失水頭が増加し流下断面不足となることや、施工時の排水機能確保が困難となることから、全面改築することとした。

新設サイフォン工の構造諸元、標準断面を表-2及び図-3に示す。

表-2 新設柏木川サイフォン諸元

項目	諸元	備考
函渠断面形状	Φ2,200 mm × L=151 m～2連	内管：2,200 mm 外管：2,600 mm
函渠構造	二重鞘管構造	内管：FRPM管 外管：高耐圧コンクリート推進管

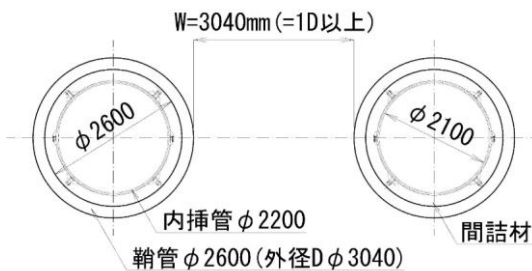


図-3 新設サイフォン工標準断面

改築位置は、周辺構造物の少ない既設サイフォン下流案を第1候補として検討していたが、周辺耕作地への影響によりやむを得ず既設サイフォン上流案とした。

また、施工方法は、既設の排水機能を維持し新設施工が可能な推進工法を採用した。推進工法は、一般的に用いられ安価な泥水加圧式を採用することとしたが、泥水加圧式は土中に障害物が存在する場合、目詰まりが生じ、推進不能となる可能性がある。改築位置には、基礎等の詳細が不明な旧サイフォンの一部が残置されており、土中の支障物を確実に避ける設計が求められる。

(3) 周辺構造物

柏木川サイフォン周辺には、下記の通り、複数の構造物が存在している。

- ① 旧サイフォン残置部(昭和44年以前設置)
- ② 柏木川頭首工跡(平成28年撤去の際の残置部)
- ③ 既設サイフォンの呑口部（オープントランジション）
- ④ 第7号分水工(既設構造物)

各構造物の位置関係を図-4及び図-5に示す。

新設するサイフォンの設計にあたっては、工事施工段階におけるリスク（現地不整合等に伴う工法変更等）を回避するため、周辺構造物の基礎杭等の位置を把握し、工事中の不測の事態に備える必要があることからBIM/CIMを活用した詳細設計を行うこととした。



図-4 柏木川サイフォンと周辺構造物

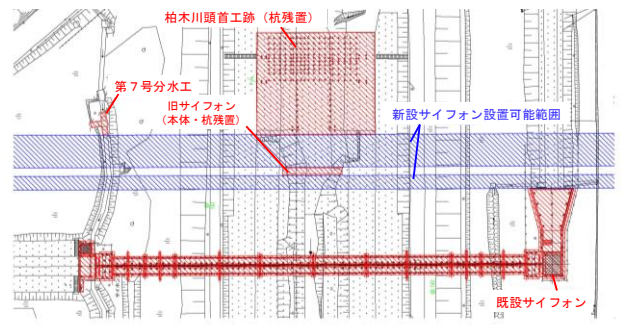


図-5 柏木川サイフォン平面図と施工不可部分

4.BIM/CIMモデルの作成

(1)作成項目

BIM/CIMモデルは、①地形モデル、②構造物モデル、③統合モデル（地形モデルと構造物モデルの統合データ）の順序で作成した。なお、モデル作成にあたり、複数の構造物モデルを統合モデルにまとめる際にデータ管理が容易であること、施工ステップを作成する場合において、ビューポイント機能やスケジュール機能（工程機能）により各施工ステップを分かりやすく表現できることから、Autodesk社のソフトを使用した。使用したソフトを表-3に示す。

表-3 BIM/CIMモデル作成における使用ソフト一覧

モデル種別	使用ソフト
地形モデル	Autodesk recap(2022)
	Autodesk Civil3d(2022)
	Autodesk Revit(2022)
構造物モデル	Autodesk Infracore(2022)
	Autodesk Civid3d(2022)
統合モデル	Autodesk Revit(2022)
	Autodesk Navisworks Manage(2022)

(2)モデル作成の詳細

a)地形モデルの作成

地形モデルの作成にあたり、平成20年に実施された航空レーザー測量成果（点群データ）を使用した。まず、点群データの測量点を頂点とする不規則な三角形網（TINサーフェス）を作成し、測量データから地形を再現する。その後、必要な範囲をトリミングすることで柏木川サイフォン周辺の地形データを作成した。なお、本検討では構造物の再現を主眼としており、地形の再現性は重要度が低いと考えられるため、TINサーフェスの三角形の最小距離は、一般的に用いられている0.5mとした。作成した地形モデルを図-6に示す。

b)構造物モデル

構造物モデルは、既往検討での構造物の平面図および正面図の2次元図面を収集し、構造物外形に沿ってソリッドモデルを作成した。なお、3次元モデルは構造物ごとに作成した。構造物モデルの一例を図-7に示す。

c)統合モデル

統合モデルは、地形モデルと構造物モデルをソフト内で統合し作成した。構造物モデルの位置は、2次元の測量図面や既設図面から座標値を読み取ることで、可能な限り正確な位置を設定した。作成した統合モデルを図-8に示す。

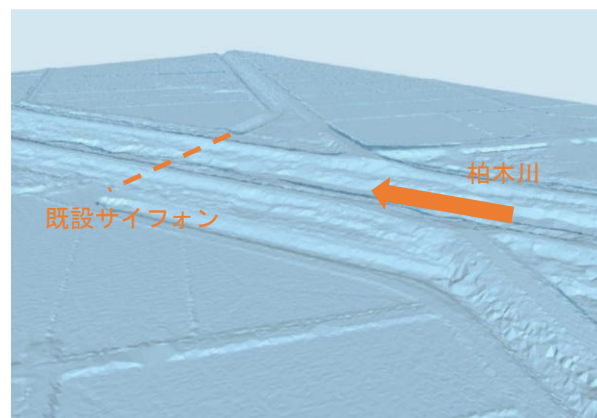


図-6 サイフォン周辺の地形モデル

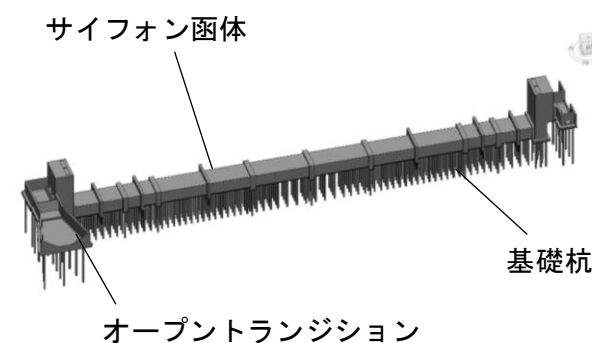


図-7 構造物モデルの一例
(上：既設サイフォン、下：新設サイフォン)

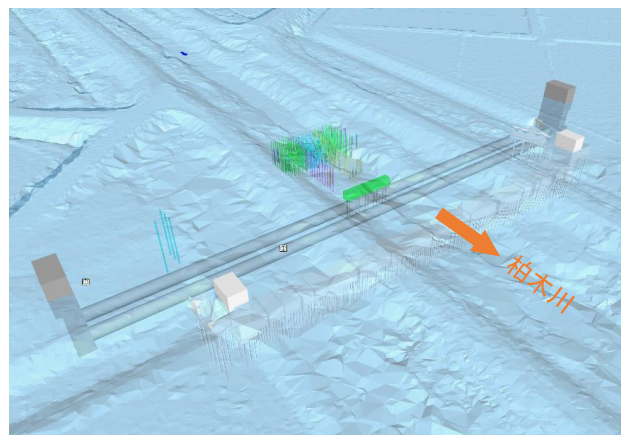


図-8 統合モデル

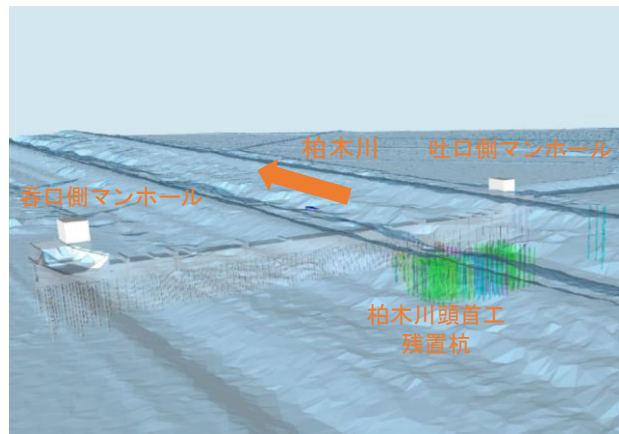
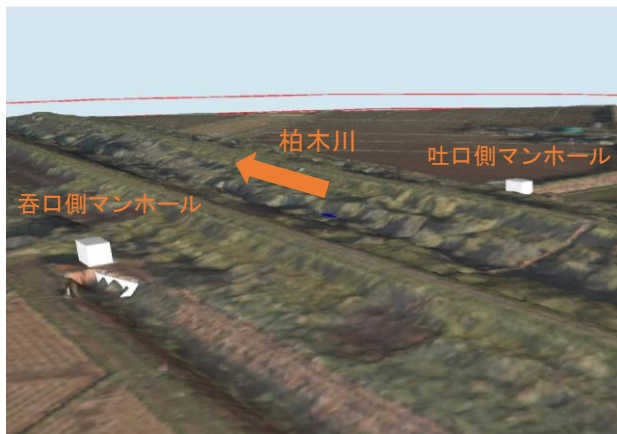


図-9 航空写真の有無による地形モデルの差異

表-4 CIMモデル詳細度

詳細度	共通定義
100	対象を記号や線、単純な形状でその位置を示したモデル。
200	対象の構造形式が分かる程度のモデル。標準横断で切土・盛土を表現、又は各構造物一般図に示される標準横断面を対象範囲でスイープさせて作成する程度の表現。
300	附帯工等の細部構造、接続部構造を除き、対象の外形形状を正確に表現したモデル。
400	詳細度300に加えて、附帯工、接続構造などの細部構造および配筋も含めて、正確に反映したモデル。
500	対象の現実の形状を正確に表現したモデル。

(3)モデル作成における工夫

BIM/CIM実施の目的である新設サイフォン工と周辺構造物との取り合い可視化、作業時間縮減などのため、以下の工夫を行った。

a) 地形モデルの透過

通常的手法では地形モデルに航空画像を反映するため、モデルの透過が不可能となっている。しかし、サイフォン工および構造物杭基礎は土中に存在することから、土中の構造物を表示できるよう透過表示が可能な航空写真無しモデルも作成した。航空写真の有無による地形モデルの比較を図-9に示す。この手法により、土中構造物の離隔確認が容易となった。

b) モデルの簡略化

地形モデルの作成範囲、構造物モデルの作り込みは、モデルの作成期間に大きく影響する。BIM/CIMモデルの作り込みに関する基準となるBIM/CIM活用ガイドライン(案)³⁾における、構造物のCIMモデル詳細度を表-4に示す。柏木川サイフォンにおけるサイフォン工や周辺構造物のモデル化は、構造物同士の離隔確認が主な目的である

ことから、離隔を確認できる範囲で極力縮小・簡素化することで、作成期間の短縮や作成コスト削減を図った。以上により、構造物モデルは構造物外形のみ(配筋除く)をモデル化する、詳細度300で実施した。

4. BIM/CIM活用の効果と課題

(1)モデル作成の効果

詳細設計においてBIM/CIMモデルを作成することで以下の効果があった。

a) 空間把握の補助

新設サイフォン推進管と構造物の離隔について、既設サイフォンのオーブントランジション基礎杭との近接箇所および、旧サイフォン基礎杭との近接箇所を図-10に示す。図に示す通り、既設サイフォンとの離隔は500mmと離隔が非常に小さいことがわかる。また、旧サイフォンとの離隔は880mmと既設サイフォンより余裕はあるものの、旧サイフォンの杭を避けるように2本の推進管を通す必要があることがわかる。このように、BIM/CIMを活用することで、従来の2次元図面では確認困難な複数の干渉箇所を発見することが可能となり、工事施工段階で手戻りが生じるリスクを大きく軽減する効果があった。

b) 合意形成

二次的な効果として施設管理者等への説明において、3次元モデルを使用することで、改築する構造物の状況を直感的に伝えることができた。千歳川流域のように関係機関の多い地域においては、合意形成に時間を要することから、説明の容易さは大きな利点である。

(2)課題

以下に、BIM/CIMモデルを作成・活用する上で課題と

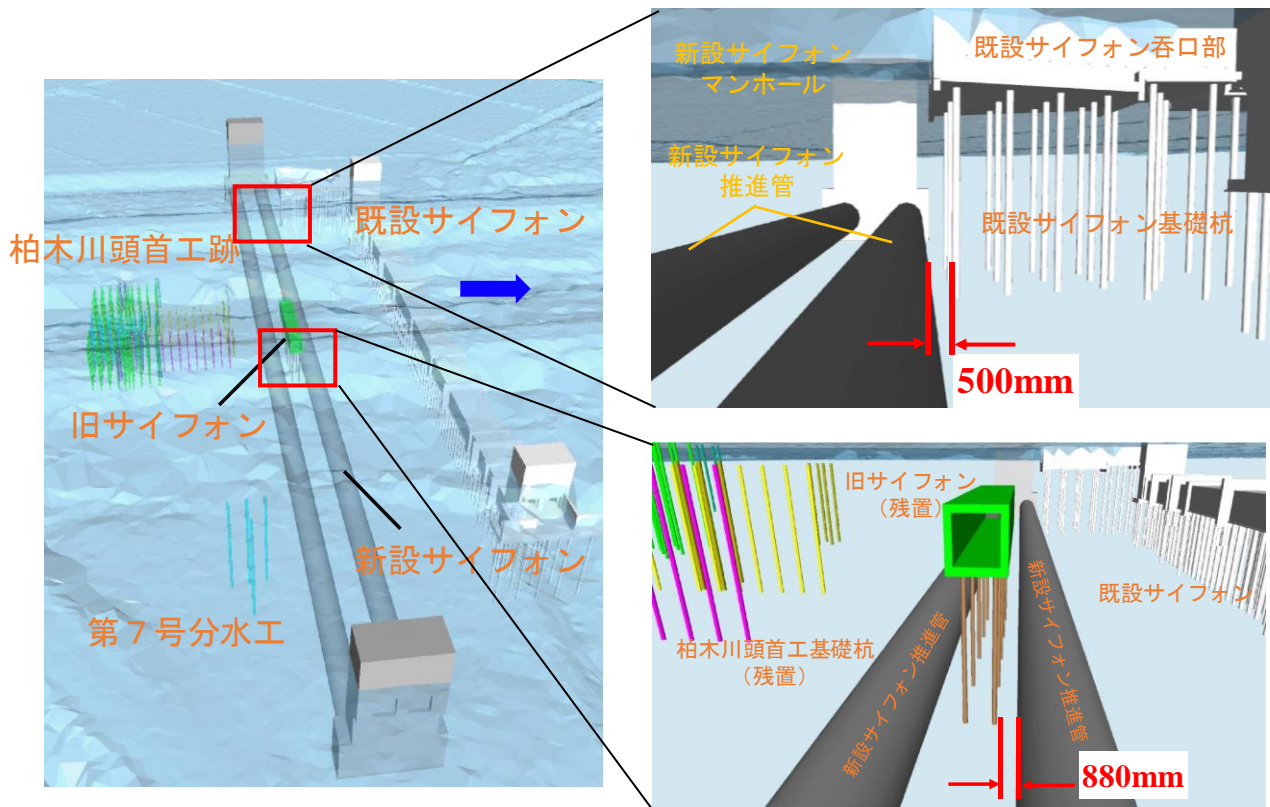


図-10 BIM/CIMモデルによる構造物の分離の確認

なった点を記載する。

a) 元データの反映の精度

土中の構造物モデル作成においては、既設構造物の図面を読み取り、それをモデルに反映させる必要があるが、紙媒体の図面しか存在しない場合は、文字が不鮮明で判読不可となる箇所が存在する。本検討における不鮮明箇所は、新設サイフォンとの分離確認に影響しない箇所であったが、必要に応じて現地で実測等を実施しなくてはならない。

b) 地形データの更新

本検討で使用した点群データは、平成20年の航空測量成果であるため、柏木川頭首工が撤去される以前の地形であり、現在の地形とは一致しない部分がある。本検討の目的である新設サイフォン工と既設構造物との分離確認には影響は無いが、工事の施工段階でも同一のBIM/CIMモデルを活用する場合には、起工測量から点群データを再度作成し、地盤モデルを更新することが望ましい。このように、元データの作成された時期によってモデルの再現性が左右されるため、その都度データの更新が必要な場合があり、効率性に欠ける状況が存在するといえる。

c) モデル作成時間

本検討では地形および複数の構造物をモデリングしたが、既設サイフォン工で2週間程度、地形モデルやその他構造物では2～3日程度の時間を要した。既設サイフォン工の2次元図面作成に要する時間が2～3日程度であることを考慮すると、3次元モデルの

作成は多大な時間がかかるといえる。しかしながら、3次元モデルの作成は元の構造物の複雑さ、杭の種類や本数に依存するため、簡易なものであれば数日の差で済む場合もある。

5. まとめ

本論文における、設計業務でのBIM/CIM活用について、以下にまとめる。

- 1) 柏木川サイフォンのような土中に構造物が近接する箇所において、BIM/CIMを活用することにより構造物同士の分離を直感的に確認できることが示され、構造物の干渉箇所の確認が容易となることが期待できる。
- 2) 元となる図面データの作成時期によっては、地形モデル、構造物モデルともに再現性に留意する必要がある。場合によっては測量を伴うデータ更新が必要となる。
- 3) 3次元モデルは、2次元図面に比べ作成に多大な時間がかかることがあるため、モデルの詳細度の設定を適切に行う等、モデル作成の負担を軽減するような工夫が肝要である。

千歳川流域では、令和5年度に航空レーザ測量を実施する予定である。今後の設計業務でのBIM/CIM活用においては、こうしたデータを積極的に活用し、施工、維持段階での3次元モデルの活用も見据えたモデル作成を進

めていきたい。一例として、周辺の構造物や地盤状況等、施工段階でも有用な属性情報をモデルに付与することで、作成したモデルを長期的に活用していくことが可能となり、BIM/CIM活用がさらに活発となることが期待される。

謝辞：本論文の作成にあたり、株式会社リブテックの皆様にはデータを提供いただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省：総合政策 国土交通省生産性革命プロジェクト、https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/point/sosei_point_tk_000021.html（閲覧日：2022/12/19）
- 2) 国土交通省：石狩川水系千歳川河川整備計画〔変更〕、2015
- 3) 国土交通省：BIM/CIM活用ガイドライン（案）第1編共通編、2022