

2次元CADデータを用いた3次元モデル自動構築技術

水野裕介・井上 直・青山憲明・坂藤勇太・大谷英之

1. はじめに

国土技術政策総合研究所（以下「国総研」という。）では、調査・設計・施工・維持管理までの建設生産プロセスを通じて、情報を蓄積・連携・共有する取り組みであるBIM/CIM（Building / Construction Information Modeling, Management）の研究を推進している。BIM/CIMでは、3次元データを建設プロセス全体で活用することで、生産性の向上を目指している。

今後老朽化する既存構造物を維持管理・更新していく必要があるため、維持管理の効率化に向けた3次元モデル活用による点検・診断等の新技術が開発されている（図-1）。

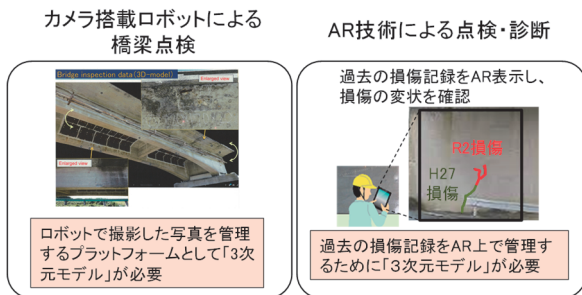


図-1 既存構造物における3次元モデルの活用シーン

しかし、上記技術等を用いた維持管理におけるBIM/CIMの活用は進んでおらず、その一因として、既存構造物の3次元モデル化が困難であることが挙げられる。

従来技術による3次元モデル化は、作業者の高度な熟練技術が必要なことや作成コストが大きくなるのが課題である。国総研ではこの課題解決に向けて、既存構造物の3次元モデルを省力化・低コストにて作成できる技術の開発を実施している。本稿では、この技術開発の一環として、理化学研究所計算科学研究センターへの委託研究として実施された「2次元CADデータを用いたAIによる3次元モデル構築技術に関する研究」における2次元CADデータを用いた3次元モデル自動構築

技術について報告する。

2. 従来の既存構造物の3次元モデル化技術

従来の既存構造物の3次元モデル化は、3次元CADソフトウェアを用いて、2次元図面を技術者が判読して作成することが一般的である。しかし、3次元CADと2次元の土木図面の両方に精通する技術者が少ないことや、作業に長時間を要することが課題である。

また、3次元の計測技術の進歩により、写真測量やレーザーによる既存構造物の点群データ取得によって、3次元モデルを作成する技術も開発されているが、コストが大きいことや、計測できない不可視部分の3次元モデル化が課題である。

このため、本研究では、3次元モデル作成の省力化・低コストの観点から、工事完成時に納品される2次元CADデータを用いて3次元モデル化する技術に着目し、研究を行った。

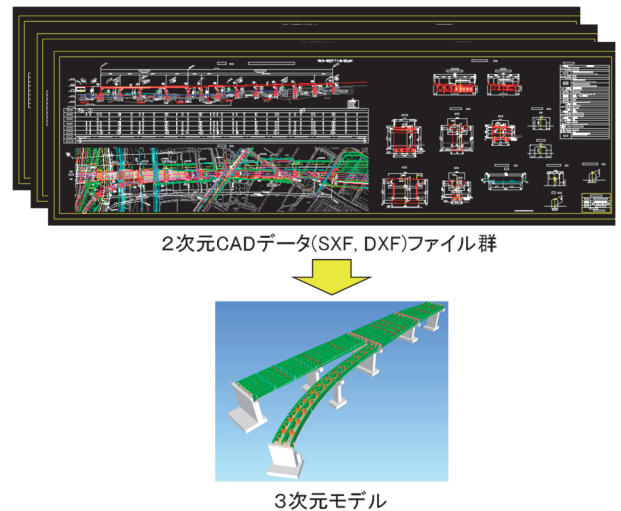




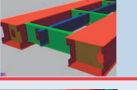

図-2 2次元CADデータからの構築技術

3. 維持管理にて要求される詳細度

維持管理に用いる3次元モデルは、3次元モデルをプラットフォームとしたデータの一元管理や点検計画等への活用を想定し、主部材の外形形状を正確に表現したモデルでよいとしている^{1),2)}。

つまり、表-1における詳細度300程度の3次元モデルを作成すれば、維持管理にて要求される3次元モデルを満足できる。このため、本研究では、詳細度300を目標とした3次元モデルを作成する技術の開発を行う。

表-1 3次元モデルの詳細度の定義²⁾

詳細度	共通定義	サンプル(橋梁)
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ワイプさせて作成する程度の表現	
300	付属物等の細部構造、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、付属物、接続構造等の細部構造及び配筋も含めて、 正確に表現したモデル	
500	対象の 現実の形状 を正確に表現したモデル	

4. 2次元CADデータからの構築技術の課題

従来の2次元CADデータから3次元モデルを構築する技術は、いわゆる「ボトムアップ処理方式」と呼称される技術である。ボトムアップ処理方式とは、2次元図面の細部（構成物）のデータを抽出し、その3次元の座標データと構成物の形状を特定して、順次接続することで3次元モデルを構築する方式である。

このため、一部の判読ミスがあれば全体に波及し、最終的に3次元モデル化が破綻してしまうケースがあった。特に、複雑な形状の構造物に対応できない問題があり、ボトムアップ処理方式による3次元モデル作成は困難であった。

また、近年における自動車部品等の3次元モデル化技術として、2次元図面をCADソフトウェアに取り込み、一部の作業を人が判別して入力を行うことで、細かい部品も半自動的に3次元モデル化する技術が開発された。しかし、この技術の利用には、CADソフトウェアと設計図面の両方の知識を持つ技術者が必要であり、多数の構造物を3次元モデル化する場合、膨大な時間・コストが必要等の課題がある。

5. 3次元モデル自動構築技術

5.1 技術概要

本研究にて開発した3次元モデル自動構築技術

は、「トップダウン処理方式」と呼称される技術であり、2次元CADデータの情報より構造物と適合するテンプレートを自動的に選択し、このテンプレートに寸法等の形状を示すパラメータが設定されることで、3次元モデルを自動構築することが可能となる。また、テンプレートの選択及びパラメータの設定は、人工知能の一種であるプロダクションシステムにより自動で行われる。

5.2 3次元モデル自動構築方式及び手順

本研究におけるトップダウン処理方式は、2次元CADデータより作成される投影図とテンプレートを比較する方式を指す。図-3に橋脚の3次元モデル自動構築手順を示す。

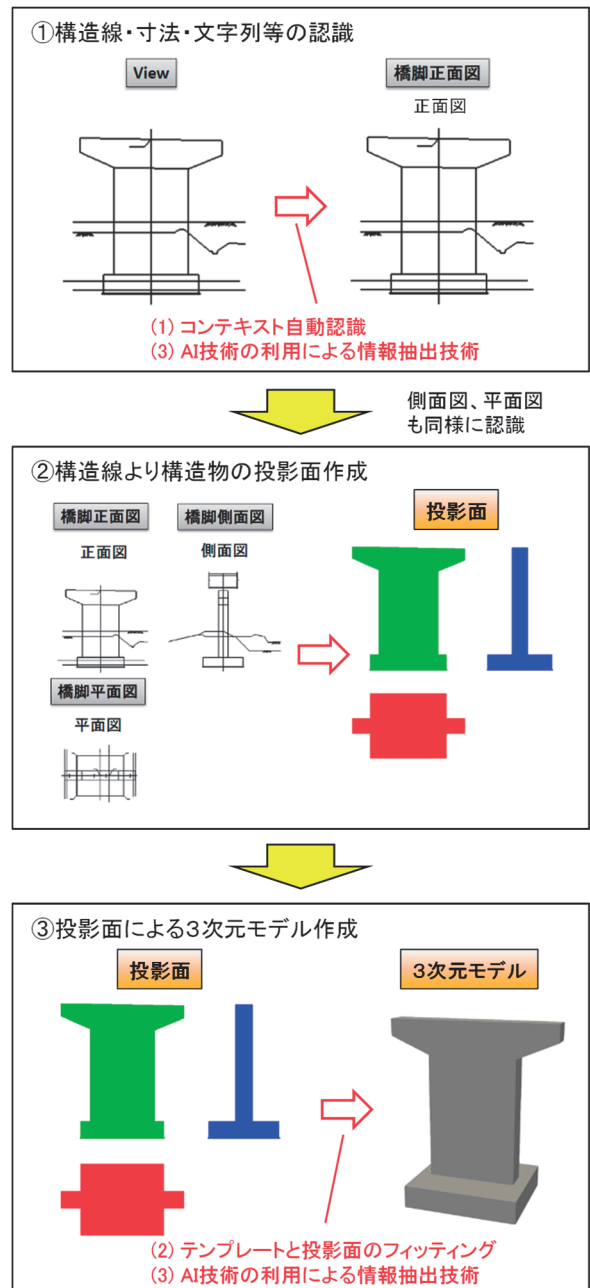


図-3 3次元モデル自動構築手順（橋脚）

(1) コンテキスト自動認識

本研究におけるコンテキストとは、図面要素（線・文字・図形等）の組が持つ意味を示している。2次元CADデータにあるコンテキストを自動的に読み取り、様々な線・数値・文字の中から、構造物の構造線・図形名称・寸法値等の情報を自動的に判別する技術を開発した。

例えば、構造線の場合、図面から線のみを抽出し、寸法についていない線の集合や主構造物のレイヤーに属さない線の集合を除外すると、残った線の集合が構造線となる。図面から表題となる文字列を抽出すると、その線の集合が表題に示されている図形の構造線として認識される。

(2) テンプレートと投影面のフィッティング

本研究では、従来方式での誤差蓄積による破綻を回避するために、「テンプレートフィッティング法」を採用した。テンプレートフィッティング法とは、あらかじめ3次元形状のテンプレートを複数作成しておき、その中から投影面と合致するテンプレートを選択する方法である（図-4）。

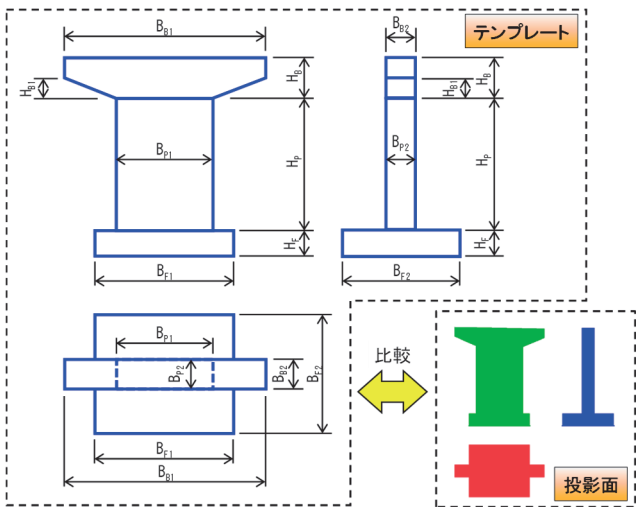


図-4 テンプレートと投影面のフィッティング

この方法では、構造や形状がある程度同じである土木構造物との親和性が高く、一部ダム等の複雑な構造物は不可であるが、概ね土木構造物全体のモデル化が可能である。

本研究におけるテンプレートフィッティング法は、次の通りである（図-5）。

- ① 構造物3次元モデルの規範的な構造テンプレート（例：橋脚）と、構造部材に対応する部材テンプレート（橋脚の場合：梁・柱・底部等）を複数作成

- ② 2次元CADデータの構造物に対応できる構造テンプレートを選択し、適切な部材テンプレートを組み合わせる形に修正

- ③ プロダクションシステムとしてのAI技術を利用して、修正された構造テンプレートに含まれる部材テンプレートのパラメータ（梁の場合：高さ、板厚等）を2次元CADデータから読み取った寸法値とフィッティング

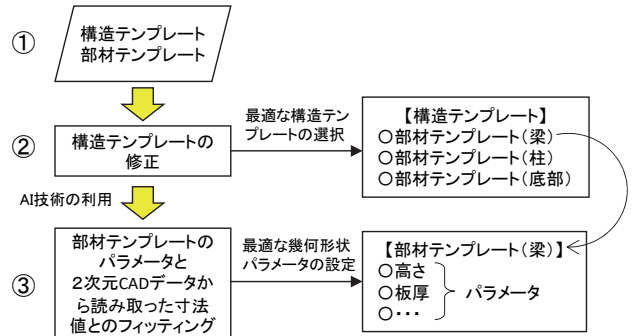


図-5 テンプレートフィッティング法（橋脚の場合）

テンプレートフィッティング法は、構造テンプレートに基づき、各部材テンプレートを正確に配置でき、部材テンプレート毎に寸法調整による最適化を行うため、一部の部材の判読失敗が全体に波及することではなく、詳細度300程度の3次元モデルが作成可能となる。

(3) AI技術の利用による情報抽出技術

AI技術の利用場面として、部材テンプレートのフィッティングの他に、部材テンプレートのパラメータ値に工学的に妥当な制限を与え、データ判読の失敗やデータの不具合そのものに対処する。部材テンプレートは、各種の構造物テンプレートと共通化し、最小限の部材テンプレートを準備しておき、それを柔軟に組み合わせることで、規範的な構造物テンプレートが構築可能とした。

6. 既存橋梁における実証試験

国土交通省が管理する新荒川橋について、3次元モデル自動構築技術を用いて、杭基礎を除く下部構造の3次元モデルを作成した。

自動構築技術にて作成した3次元モデル及び比較対象として手入力にて作成した3次元モデルを図-6に示す。図-6の3次元モデルを比較した結果、2つのモデルは正確に重なっており、3次元モデルが正確に作成できることを確認した。

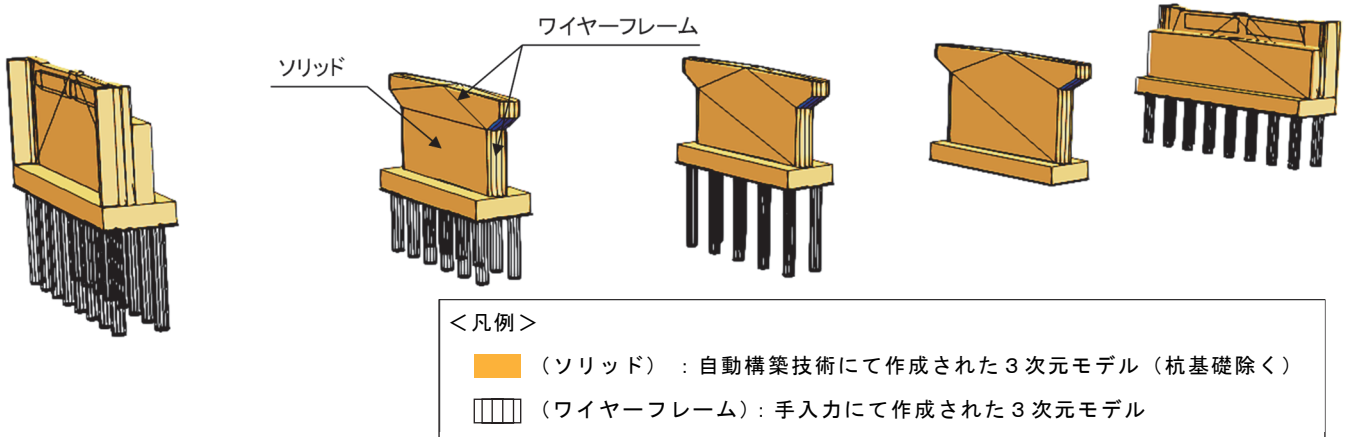


図-6 既存橋梁における3次元モデル自動構築結果 (橋梁)

本研究にて開発した3次元モデル自動構築技術を用いることで、手入力による作業が不要となり、省力化・低コストでの3次元モデル作成が可能となった。

7. まとめ

本研究では、2次元CADデータの情報を読み込み、AIによる3次元モデルを自動作成する基礎技術を開発し、実際の橋梁下部構造において外形形状を正確に3次元モデル化することができた。今後は、鉄筋等の内部構造についての研究も実施する予定である。

また、国土に関する情報をサイバー空間上に再現するインフラデータプラットフォームとの連携により、電子納品・保管管理システム (電子成果品を一元管理するシステム) に保管されている電子成果品の2次元図面を用いて、3次元モデルを自動構築することも想定している。

参考文献

- 1) 青山憲明、川野浩平、山岡大亮、重高浩一：橋梁の維持管理におけるCIMの利用と3次元モデルの作成、土木技術資料、第58巻、第4号、pp.20～23、2016
- 2) 国土交通省：CIM導入ガイドライン (案) 第5編 橋梁編、令和2年3月
- 3) 国土技術政策総合研究所：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)、令和2年3月
- 4) 大谷英之、大石哲 他：インフラデータの汎用的自動3次元可視化のための基礎的研究、土木学会建設マネジメント委員会 第2回「i-Constructionの推進に関するシンポジウム」、令和2年7月
- 5) 太田順、肥塚隆、有田秀昶、中村武史、富山健：機械図面自動認識システム、精密工学会誌、Vol.60、No.4、1994
- 6) オフィスケイワン：橋梁3次元モデリングシステム click 3D、<https://click3d.office-k1.co.jp>.

水野裕介



国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本情報基盤研究室 研究官、博士 (工学)
Dr. MIZUNO Yusuke

井上 直



国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本情報基盤研究室 主任研究官
INOUE Tadasi

青山憲明



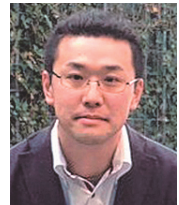
国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本情報基盤研究室 主任研究官
AOYAMA Noriaki

坂藤勇太



国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本情報基盤研究室 交流研究員
SAKAFUJI Yuta

大谷英之



理化学研究所計算科学研究センター総合防災・減災研究チーム 研究員、博士 (工学)
Dr. OOTANI Hideyuki