

一般財団法人日本建設情報総合センター研究助成事業報告書

助成番号 第 2021-3 号

建設 DX のための建設技術者育成に関する研究

松江工業高等専門学校 環境・建設工学科

大 屋 誠

助成研究者紹介

おおや まこと
大屋 誠

現職：松江工業高等専門学校 環境・建設工学科 教授・博士（工学）

主な著書

- 1) 河原 達哉, 大屋 誠, 武邊 勝道, 広瀬 望, 耐候性鋼橋梁の除錆度判定への深層学習の適用に関する検討, AI・データサイエンス論文集, 3 巻 J2 号, pp.248-254, 2022.
- 2) 小瀧 初音, 河原 達哉, 大屋 誠, 武邊 勝道, 広瀬 望, 敵対的生成ネットワークを用いた耐候性鋼橋梁の素地調整画像生成検討, AI・データサイエンス論文集, 3 巻 J2 号, pp.287-292, 2022.
- 3) 表 真也, 安食 正太, 大屋 誠, 浅田 純作, 広瀬 望, 岡崎 泰幸, 河原 莊一郎, 上口 剛秀, 地域住民による UAV 空中写真測量等の利活用で実現した日本初の市街地カートレース開催, 応用測量論文集, 第 33 巻, pp.67-74, 2022.
- 4) M.Ohya, J.Asada, N.Hirose, Y.Okazaki, S.Arao, S.Kawahara, M.Takebe, M.Suto, T.Yamaguchi, Y.Matsuzaki, S.Omote and S.Ajiki, DESIGN OF THE CONSTRUCTION ENGINEER EDUCATION FOR i-CONSTRUCTION AND ITS APPLICATION FOR THE RECURRENT EDUCATION PROGRAM, 13th International Symposium on Advances in Technology Education, ISATE 2019, 2019.9.
- 5) 大屋誠, 浅田純作, 広瀬望, 岡崎泰幸, 3次元モデリングを用いた建設技術者教育と地域連携の可能性, 第60回土木計画学研究発表会・講演集, Vol.60, 50-02, 2019.11.
- 6) 大屋誠, 浅田純作, 広瀬望, 岡崎泰幸, 表真也, 安食正太, 遠藤和弥, 小山真人, 高専における i-Construction に対応した建設技術者教育と地域リカレント教育, 令和元年度土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会講演概要集, CS1-20, 2019.9.

共同研究者紹介

ひろせ のぞむ
広瀬 望

現職：松江工業高等専門学校 環境・建設工学科 教授・博士（工学）

目 次

1. はじめに	1
1. 1 研究の背景.....	1
1. 2 建設 DX のための建設技術者像と高等教育機関の現状.....	3
1. 3 本研究の目的.....	5
2. 松江高専環境・建設工学科の BIM/CIM 教育の特徴	5
2. 1 BIM/CIM に対応した建設技術者育成のためのカリキュラム	5
2. 2 BIM/CIM に対応したカリキュラムの教育効果	10
3. 建設 DX のための建設技術者教育教材開発	15
3. 1 建設 DX を実現する建設技術者教育教材.....	15
3. 2 BIM/CIM モデルのカスタマイズ技術教材の改善	25
引用文献	29

1. はじめに

松江工業高等専門学校（以下、松江高専と略称）は、中国地区の山陰に位置する島根県の県庁所在地である松江にあります。島根県は、**図1**に示すように、人口総数：全国46位、働き手の数：全国46位、財政力：全国47位、高齢化率：全国3位です。島根県内の中学生3年生の人口（**図2**）は、2017年（平成30年）に6,000人を切り、2027年（令和9年）には5,500人を下回る状況で、少子化による労働力不足と就業者の高齢化が顕著であり、今後、日本が直面する少子高齢化による『課題先進県』です。また、**図3**に示すように、山陰は全国の中で高速道路網の建設が最も遅れている地域で、地域創生のために社会インフラの整備と既存インフラの適切な維持管理が求められているが、建設技術者や技能者の不足が深刻な課題となりつつある。



図1 島根県の概要

1. 1 研究の背景

国土交通省では、建設分野の労働力不足に対する問題を解決する一つの取組として、デジタル技術の活用（建設デジタルトランスフォーメーション：DX）により、建設業界全体の生産性の向上に向けた取組が進められています。具体的な取組として、i-Constructionの導入や対象となる地形や位置情報、構造物等の形状を3次元で表現した「3次元モデル」に「属性情報」、「参照資料」などを組み込んだBIM/CIM（Building/ Construction Information Modeling, Management）の導入が図られ、受発注者双方の業務効率化・高度化が推進されています。2020年度に国土交通省は、「BIM/CIMを活用し、公共事業において、設計・施工から維持管理に至る一連のプロセスやストック活用をデジタルで処理する」と打ち出

し、全直轄事業で2025年までにBIM/CIMを原則適用化の方針が決定されましたが、世界規模でのコロナ禍を迎え、小規模工事を除く全ての公共事業でBIM/CIMの原則適用化を2023年施行に2年前倒しが決まり、現在、国土交通省をはじめ各行政や企業が建設分野のBIM/CIM活用に向けての取組や技術開発が加速的に実施されています。現在、山陰道の建設では、BIM/CIMやi-Constructionなどの最新のICTが積極的に活用されており、今後整備される区間では、計画・調査・

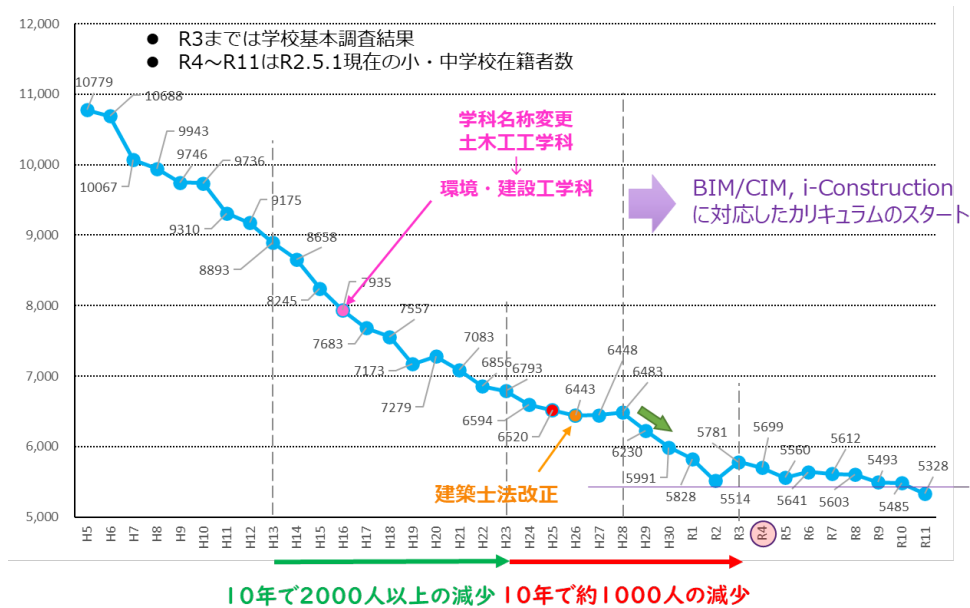


図2 島根県内の中学生人口の推移

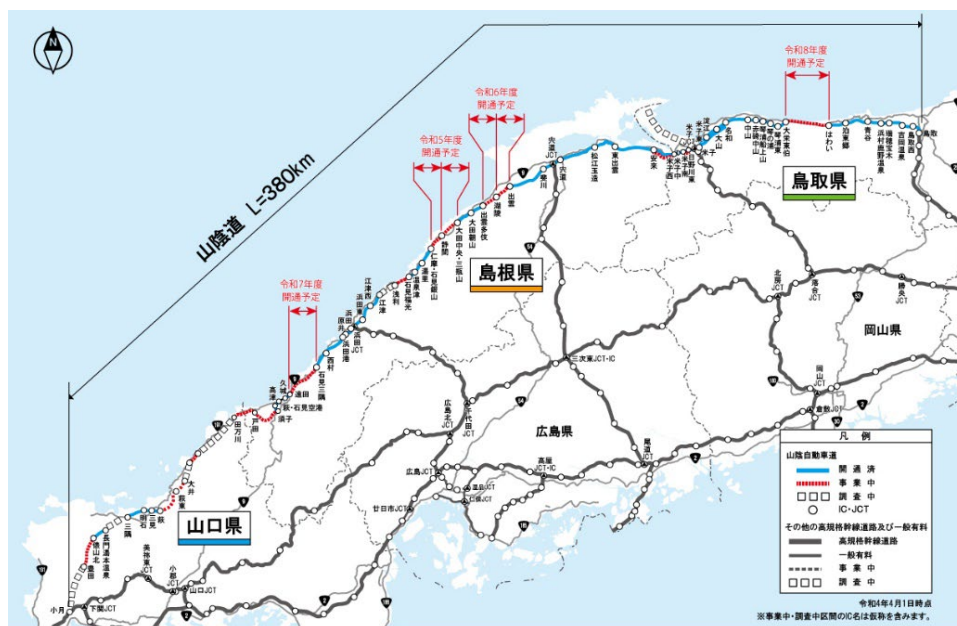


図3 山陰道の概要 (山陰道ポータルサイト)

引用 : <https://www.cgr.mlit.go.jp/sanindo/overview/index.html>

設計段階から BIM/CIM による属性情報を付与した 3 次元モデルを導入することにより、その後の施工・維持管理においても 3 次元モデルを連携・発展させて事業全体にわたる関係者間の情報共有や利活用を容易にすることで、効率的で質の高い建設生産・管理システムの構築が進められている。

このように、山陰は建設分野の最新のデジタル技術が積極的に活用されている地域であるが、これらの技術に対応できる人材は不足しており、建設技術を学び、BIM/CIM や i-Construction など建設 DX に対応可能なデジタル技術に強い建設技術者の育成が求められている。しかしながら、建設系の高等教育機関において、一部の大学や高専を除いて BIM/CIM や i-Construction の教育¹⁾は進んでいないのが現状である。

1. 2 建設 DX のための建設技術者像と高等教育機関の現状

土木学会建設マネジメント委員会 i-Construction 小委員会の活動報告書 Part1 WG1「職能・人材育成・教育」¹⁾の中では、デジタル技術に強い建設技術者として、以下の i-Construction 人材像（図 4 参照）を示している。

【 i-Construction 人材像 】

- 土木工学の根源を理解し、核となる専門技術と専門技術に関連する幅広い知識を有する専門技術能力
- 必ずしも ICT に精通している必要はないが、BIM/CIM の基本ソフトに対する基礎操作力を有し、AI や ICT に関する知識を有する ICT 技術力
- 土木専門技術力を駆使して社会課題の解決の道筋を立てることが出来る構成力やフロントローディングやコンカレントエンジニアリングによって、建設生産プロセスの省力化や省人化の着想を得ること出来るなどの課題解決力・マネジメント力
- ICT を用いて、建設生産プロセスを変革することに意欲を持ち、楽しむことが出来るモチベーションを有するマインド

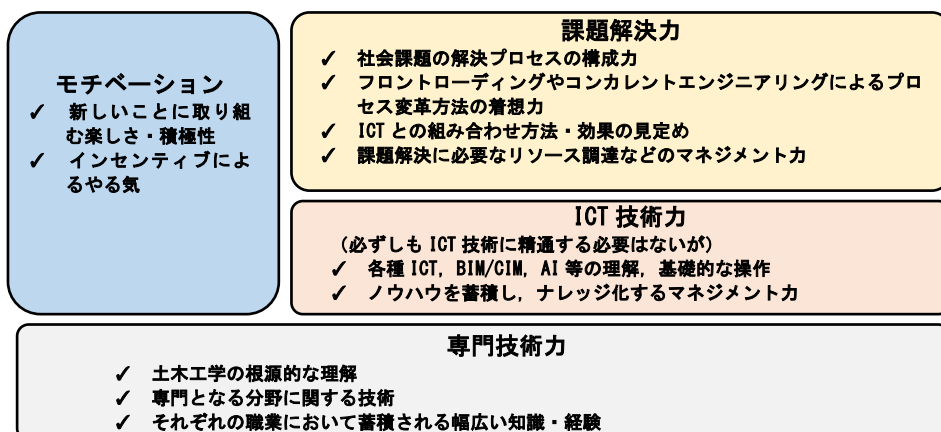
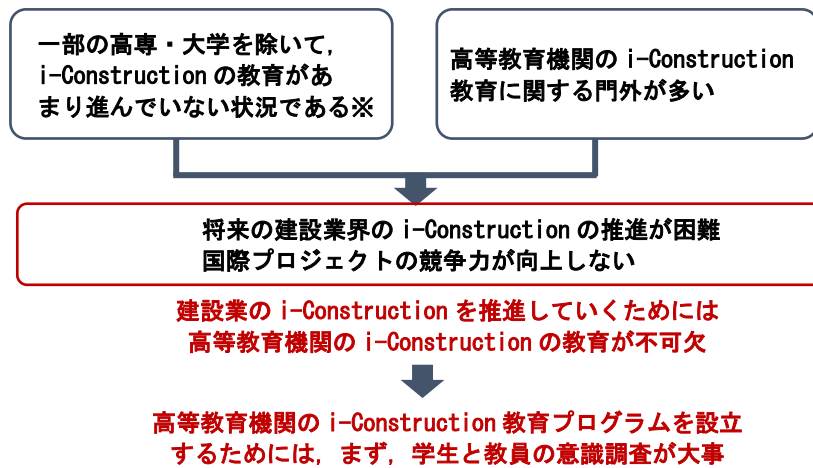


図 4 i-Construction 人材の職能

大学・高専等の高等教育機関の ICT 技術に対するアンケート調査において、**図 5** に示すように BIM/CIM 教育の状況は、理想的であるとは言い難く、一部の
高専・大学を除いて i-Construction の教育があまり進んでいない状況であると報
告している。その原因として、ハード面に関しては、i-Construction の授業を担当
できる教員が圧倒的に不足していること、i-Construction の研究室・研究環境の整
備も少ないことが課題として挙げられている。また、ソフト面では、i-Construction
の教育標準・目標指標がないため導入が難しく、i-Construction の授業科目の計
画・内容を定めることもほとんどできていないと報告されている。このような状
況から、高等教育機関での i-Construction に関する教育意識は、希薄な状況であ
り、建設 DX の推進や国際的な競争力を向上させる上で、大きな課題であると指
摘している。



※ BIM/CIM 教育を実施している割合は、大学で 1 割強、高専で 2 割である（図 6 参照）

図 5 土木系高等教育機関の教員の BIM/CIM・i-Construction 教育に
ついてのアンケート調査結果

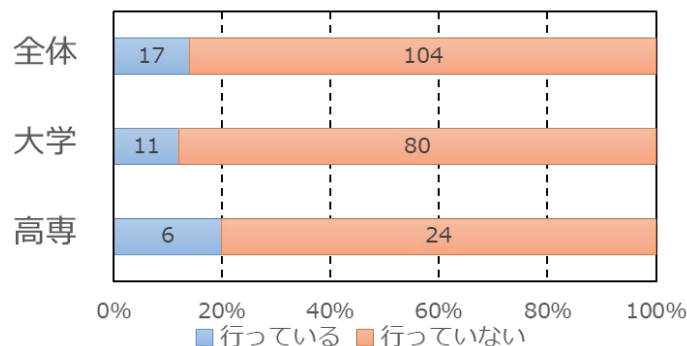


図 6 高等教育機関の「BIM/CIM 教育を行っているか」の設問に対する回答
(n = 121)

1. 3 本研究の目的

松江高専では、2016年度（平成28年度）より、JACICの研究助成を受け、高等教育機関として「CIMに対応した建設技術者を育成するためのカリキュラム構築」を試み、土木工学および建築学を根源的に理解し、BIM/CIMおよびi-ConstructionなどのICTの基礎的な操作をできる技術者を育成する教育を進めてきた。これまで、土木学会建設マネジメント委員会 i-Construction 小委員会が示す i-Construction 人材職能の中で、専門技術力と ICT 技術力の内、各種 ICT、BIM/CIM の理解、基礎的な操作を中心に、モチベーションを高めるための教育を進めてきた。

本研究では、これまでの BIM/CIM に対応した技術者教育に、BIM/CIM の各種技術を組み合わせて社会課題解決に取り組むための教材や AI 等の技術を活用するための教材、さらに建設 DX を実現するためのプロセス変革や課題解決を効率的・効果的に実施するためのカスタマイズ技術に関する教材開発を行うことを目的とする。

2. 松江高専環境・建設工学科の BIM/CIM 教育の特徴

松江高専では、学生が将来、創造性と実践力を兼ね備えた国際的エンジニアとして活躍していけるよう「(ま) 学んで (つ) 創れる (え) エンジニア」を合言葉として教育に取り組んでいる。環境・建設工学科では、2016年度入学生（平成28年度）より、建設系の全学生を対象とした BIM/CIM に対応した建設技術者育成のためのカリキュラム構築を行い、このカリキュラムを修了した学生が他大学や専攻科への進学、行政機関や各種企業に就職している。2016年度入学生（平成28年度）以降、島根県内の中学生人口は減少していますが、環境・建設工学科の志願者数は安定した一定数の志願者を維持できている状況である。また、入学者の中に占める女子学生の割合は、松江高専全体で2割程度ですが、環境・建設工学科は4割程度である。

2. 1 BIM/CIM に対応した建設技術者育成のためのカリキュラム

松江高専環境・建設工学科の BIM/CIM に対応したカリキュラムを図7に示す。カリキュラムは、高専5年間の課程で、建設系の各種資格要件を維持しつつ建設技術者育成のための専門技術者としての知識や実験実習を通じた実践的な技術者を育成することを目的に構築している。3年までに、建設技術者としての基礎知識や測量などの基礎スキルを習得し、新たに BIM/CIM に対応するスキルを身に付けるための 3D-CAD を増やし、UAV 等を用いた写真測量などの科目を加えた。調査・計画・設計・維持管理において、BIM/CIM を活用する場合、複数の3次元のソフトウェアを利用し、データ連携をしなければならない。図8に

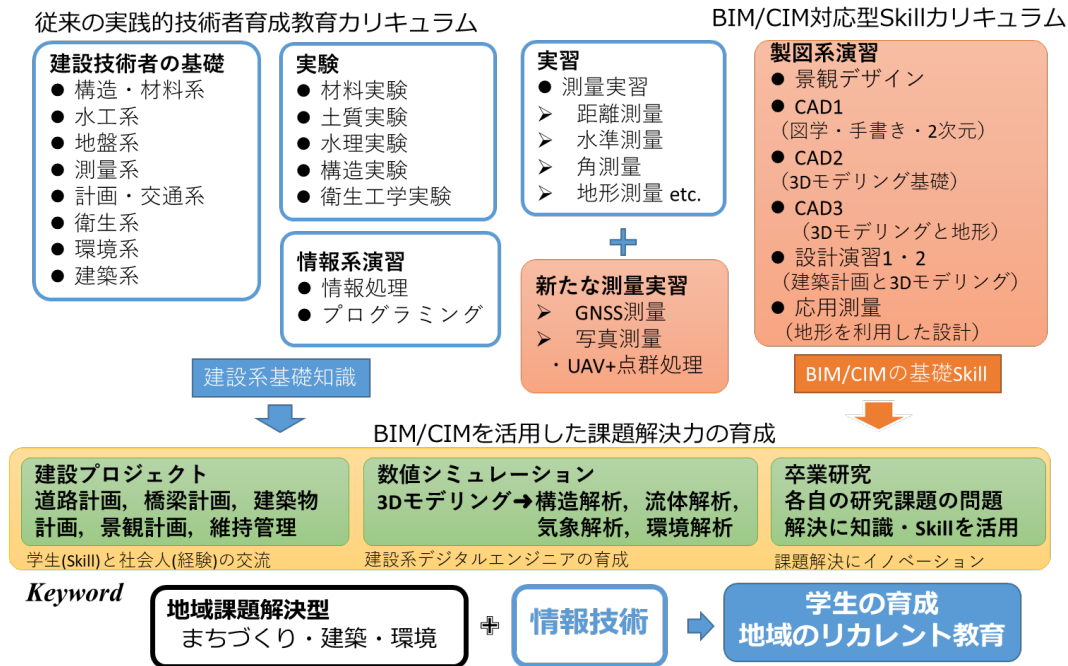


図7 松江高専環境・建設工学科のBIM/CIMに対応したカリキュラム

土木設計での Autodesk 製品の活用

調査から維持管理まで活用

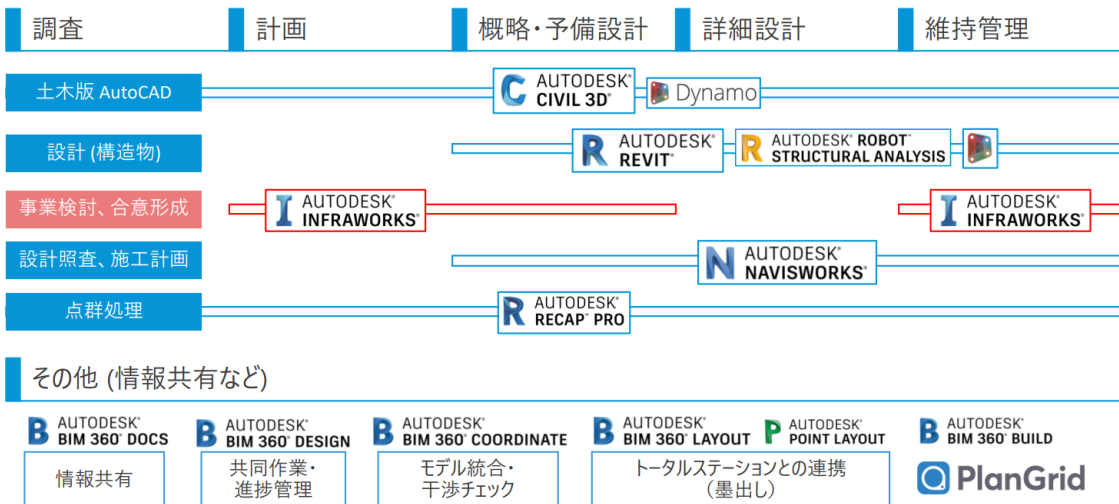


図8 調査・計画・設計・維持管理におけるBIM/CIM用ソフトウェア例

Autodesk社のソフトウェアを事例に、土木事業の調査・計画・設計・維持管理業務における利用される3次元ソフトウェアの一覧を示す。道路などの地形データを扱う場合や道路設計には、Civil3Dが用いられる。構造物の概略・予備設計にはRevitが用いられ、3次元形状に加え属性情報を組み込むことが可能である。

事業検討・合意形成では、地形や道路、河川、建物などのデータによるモデル空間を作成し、簡易に道路計画や景観検討が可能となる InfraWorks が利用される。施工計画では、3次元モデルに時間軸を加えた 4D による工程の作成が可能である。また、点群処理は、RECAP で行う。松江高専環境・建設工学科では、これまで BIM/CIM 教育として、2D-CAD、3D モデリングの基礎として、AutoCAD、Sketchup による演習をはじめ、計画・設計で用いる 3D-CAD として、Civil3D、Revit、InfraWorks の利用方法に関する教材による演習を行っている。図 9 に演習で取り扱う BIM/CIM モデルと利用する 3D-CAD の一覧を示す。

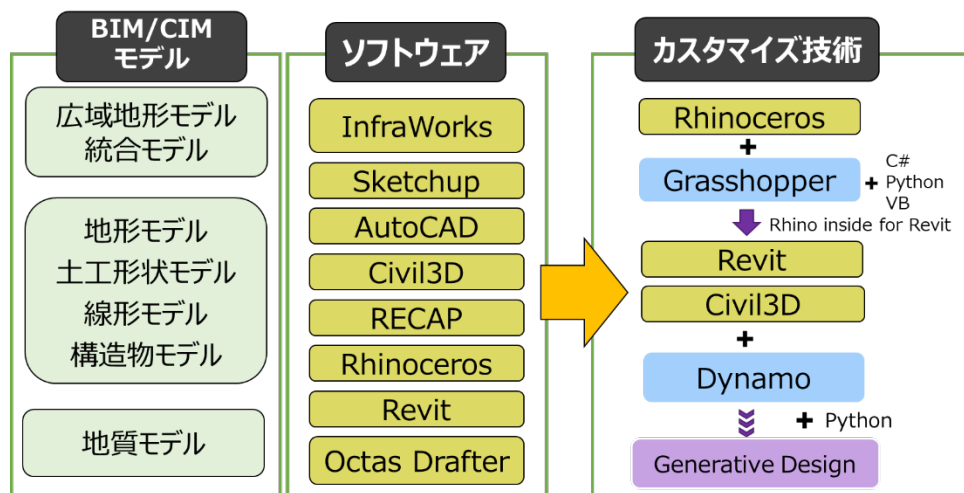


図 9 環境・建設工学科で演習する BIM/CIM モデルと 3D-CAD ソフトウェア

これまで BIM/CIM に対応した教材として、InfraWorks、Civil3D、Revit による 3D モデルの作成および SfM ソフトウェアと RECAP による点群データの作成に関する教材開発を行い、BIM/CIM の基礎スキルを習得するための演習を行っている。

《 BIM/CIM 教材 》

- InfraWorks のモデル空間の作成①
- InfraWorks の基本データの収集方法②
- Civil3D による地形 2D 等高線から 3D サーフェスの作成③
- Civil3D による 3 次元道路線形の作成④
- Revit の基礎⑤
- Revit による梁の作成と配筋⑥

《 i-Construction 教材 》

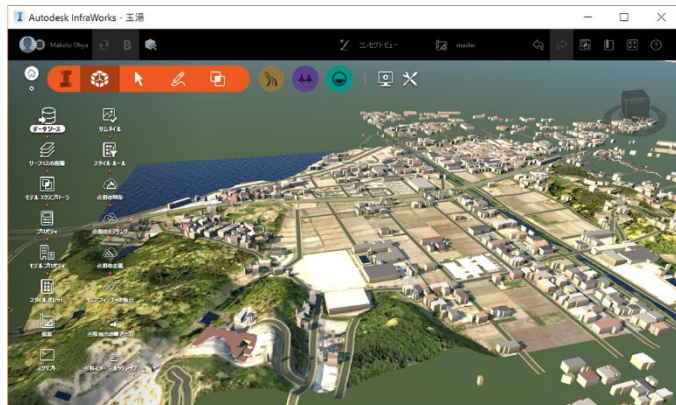
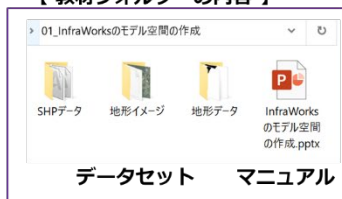
- UAV による空中写真を用いた三次元点群データの活用
- UAV で撮影した写真から点群データの作成

図 10 に、松江市内の玉湯地区を事例に、InfraWorks のモデル空間の作成①の教材の事例を示す。図 11 に、土木分野で重要な地形を取り扱うスキルとして、2次元の等高線データ（SFC データ）から3次元のサーフェス地形モデルを作成する教材と3次元地形サーフェスから道路の3次元線形モデルを作成するための教材の事例を示す。また、図 12 に、構造物の設計に用いる Revit の基礎操作および RC 構造物の配筋の作成のための教材を示す。

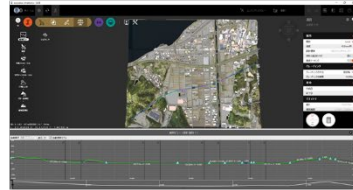
BIM/CIM教材① InfraWorksのモデル空間の作成

- ① 新規モデル空間の作成方法
- ② InfraWorksの基本操作
- ③ 視覚化の設定
- ④ オブジェクトの使用
- ⑤ 表示範囲
- ⑥ 道路の計画
- ⑦ 提案の活用
- ⑧ IMX形式による書き出し

【教材フォルダーの内容】



【道路の計画】



【土量計算】



図 10 InfraWorks の教材事例

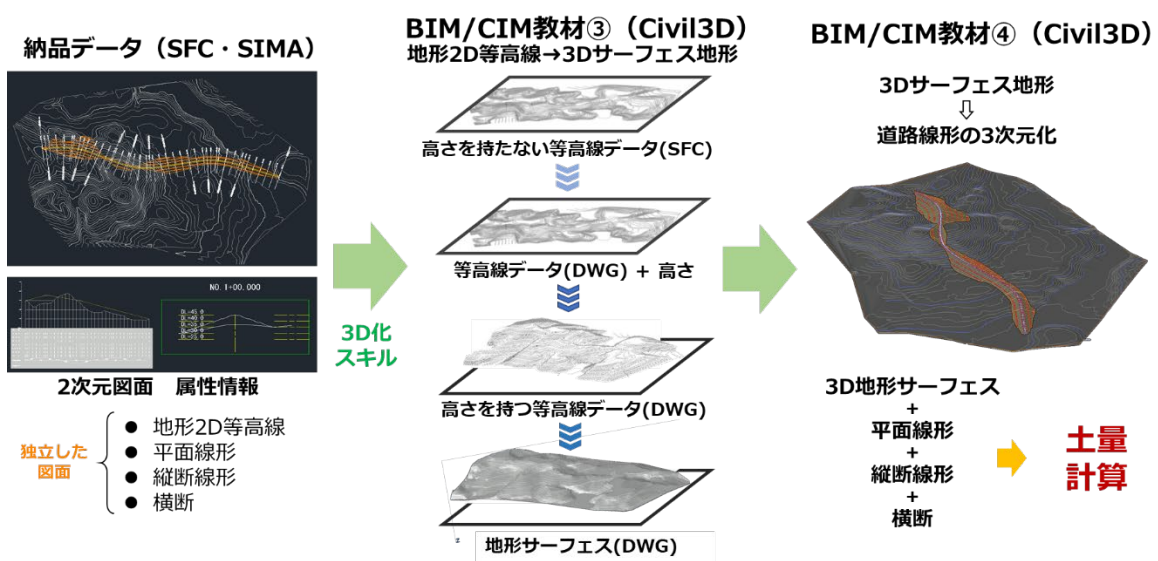
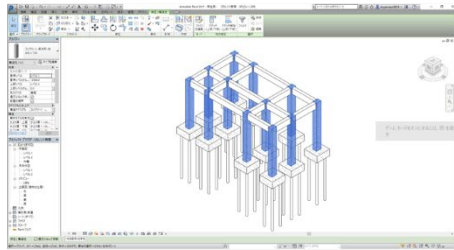


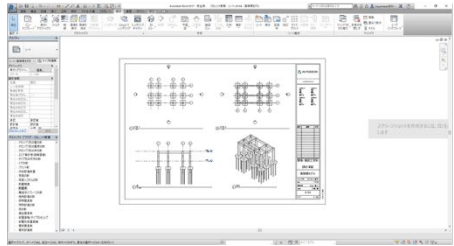
図 11 Civil3D の教材事例

BIM/CIM教材⑤, ⑥ (Revit)

Revitによる構造物モデルの作成



3次元モデルから2次元図面の作成



Revitによる梁の作成と配筋

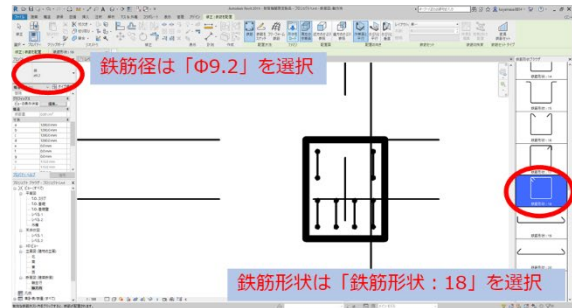
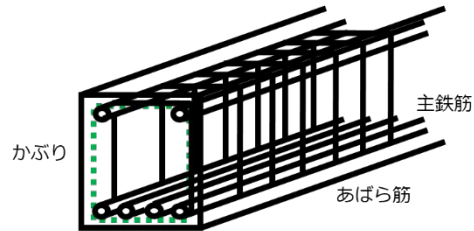
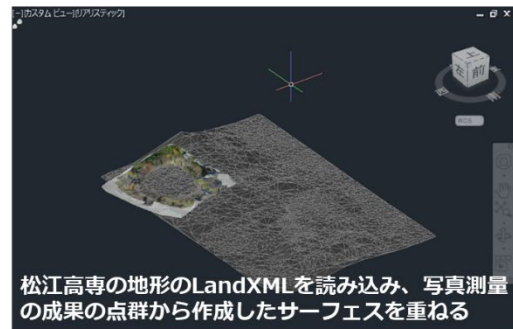


図 12 Revit の教材事例

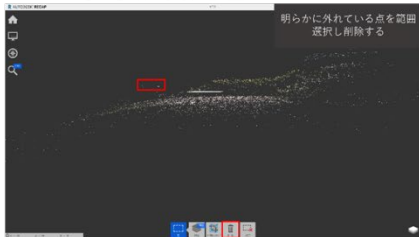
SfMソフトウェアによる点群データの作成



松江高専の地形サーフェスとドローンによる写真測量の成果を比較する演習



RECAPによる点群処理



【教材フォルダの内容】



データセット

マニュアル

図 13 点群データの作成の教材事例

図 13 は、i-Construction の基礎となる写真測量から点群データを作成する教材である。松江高専構内を UAV による写真測量で撮影した写真から点群を作成し、その精度および RECAP による点群の処理、作成した点群データと松江高専の地形サーフェスの LandXML と作成した点群データを重ね合わせる教材である。

2. 2 BIM/CIMに対応したカリキュラムの教育効果

4, 5年生では、専門的知識とBIM/CIMに対応する3Dモデリングスキルを用い、グループごとに地域課題を解決するための総合力を育成するPBL型の授業（建設プロジェクト1, 2）を新たに導入した。BIM/CIMの3Dモデリング技術や収集した情報を地形や位置情報を利用し整理することにより、現状の把握や課題解決のための提案をわかりやすく伝えるスキルを身に付けるための教育を実践できるようになった。このような課題への取り組みやBIM/CIMなどのICTの活用により、土木事業の重要性や土木分野に興味を持ち、専門知識を学ぶ重要性を理解し、土木技術の奥深さに興味を持つ学生が増えた。また、学びに対する取組姿勢が変化した。建設プロジェクト1では、以下のようなテーマで課題に取り組んでいる。

《 2019年度 》

山陰道の建設現場の工事用道路を3次元モデリング技術と切土、盛土量の差を最小とするようなルート案を検討（松江国道事務所からの課題提案）

《 2020年度 》

島根県が計画を進めている松江北道路の建設計画による課題の抽出とIC付近の地域活性化に関する提案



図 14 松江北道路の建設計画による課題の抽出と IC 付近の地域活性化

《 2021 年度 》

地形及び地盤と建設計画の関係を検討する課題

- 松江高専の地盤特性と新実習工場および松江北道路に対する検討
- 松江北道路（西浜佐陀ー古曾志地区）の地盤と道路構造物の検討
- しんじ幼保園の地形・地盤特性と杭基礎の検討
- 神戸川堤防と地盤沈下の検討

《 2022 年度（現在取り組んでいるテーマ） 》

- 隠岐の島の地形と土木施設の関係を検討する課題
- 3D-CAD を用いた中海・宍道湖 8 の字ルート（新たな計画）のペーパーロケーション（松江国道事務所長からの課題提案）

【 ペーパーロケーションの境界条件 】

- ① 事業中の松江北道路の古曾志地区を起点として西進し、供与中の東林木バイパスの東端に接続する。
- ② 道路構造令の 1 種 3 級，3 種 1 級または 3 種 2 級の道路とし，設計速度は 60km/h とする。計画交通量は 23,000 台とする。
- ③ 概算工事費は，以下の条件で算出する。
 - 土工部 切土：1,500 百万円/km，盛土：900 百万円/km
 - 橋梁部：7,000 百万円/km
 - トンネル部：4,000 百万円/km
 - 用地補償費 宅地：8,000 百万円/km，田畑：800 百万円/km
山林：300 百万円/km

※ 用地補償費以外には，間接費として 0.6 を乗じたものを加える。



図 15 3D-CAD を用いた中海・宍道湖 8 の字ルートのペーパーロケーション課

ペーパーロケーションの評価については、

- (1) 種級（道路構造令の1種3級、3種1級または3種2級の道路）を選択した理由とどういふ地域の課題を解決するためにその種級を選択したのか。
- (2) 概算事業費
- (3) コントロールポイント（中心線を引く上で計画用地から外すように避けた場所や区域）の考え方について

をポイントに成果の評価を行う予定にしている。

建設プロジェクト2では、以下のようなテーマで課題に取り組んでいる。

《 2020 年度 》

まちづくりのデザインを行うために、地形学・考古学の分野および地理学・地質学・地球物理学・地球環境温暖化問題などから山陰地域（特に、出雲から大山圏域）の地形、地質、文化等の特徴をさぐり、3次元モデリングを用いて、その特徴を可視化してください。

※ 山陰地域は、過去の地形、文化、建造物などがそのまま現在に残っている日本の中でも数少ない貴重な地域である。

【 課題 】

- ① 縄文海進により、山陰地域はどのような地形だったか、現況海水面による地形、海水面 10m, 20m, 30m, 40m の地形 3次元モデリングを用いて確認する。
- ② 山陰地域の地名や記録、歴史のある神社の位置などから①の作成の地形との関係を考察する。
- ③ 山陰地域の生物多様性に関する資料の収集と特徴を整理しなさい。（日本列島が世界中で一番自然環境が豊かで、世界中で一番生物多様性がある地域である。）

《 2021 年度 》

まちづくりのデザインを行うために、地形学・考古学の分野および地理学・地質学、インフラや防災の面から出身地域の地形、地質、文化、観光、防災等の特徴をさぐり、3次元モデリングを用いて、その特徴を可視化してください。

【 課題 】

- ① 各班の出身地域から対象地域を選定し、地形の3次元モデリングを用いて、地域の特徴が分かるマッピングやモデリングを行い、地域特性を分析してください。
- ② ①の地域特性の分析を裏付ける資料収集を行い、まちづくりや防災に関する

地域課題の抽出を行ってください。

- ③ まちづくりや防災に関する地域課題の解決方針を検討し、整理して下さい。

《 2022 年度 》

大田市の市役所新庁舎建設によるまちづくりのデザインを行うことを課題とする。各班で大田市の現状を分析し、新大田市役所本庁舎建設を中心とした市街地の活性化にぎわいの創出を3次元モデルを活用して提案してください。

【 プロジェクトの Point 】

- ① 大田市の既存計画やまちを分析し、まちの現状を評価する。
- ② 新大田市役所本庁舎建設の建築計画と大田市の将来を考えた行政サービスをデザインする。
- ③ 新大田市役所本庁舎建設を中心としたまちの空間（にぎわい等）をデザインする。

図 16 に本年度の建設プロジェクト 2 の地域課題解決のための課題に対する学生の提案（ポスター）の一部を示します。成果は、大田市長や職員の皆様へ報告し、評価いただきました。

建設プロジェクト5班

人々に親しまれる新庁舎計画・まちづくり

大田市本庁舎の建設・「小さな拠点」づくりのロードマップ

START → 1. 大田市本庁舎の建設 → 2. 「小さな拠点」づくり → GO

各段階の具体的な目標と実施内容が記載されています。

人々に親しまれる新庁舎の計画について

- 業務・行政サービスの電子化**
 - 背景: 大田市の人口は減少傾向にある。高齢化率の高まりによる平均年齢の上昇。
 - 課題: 人手不足による業務の効率化、ICTによる業務の効率化、ICTサービスの向上。
- バリアフリー化**
 - 背景: 大田市の高齢化率の高まりによる高齢者の増加。
 - 課題: 高齢者の移動手段の確保、高齢者の生活の質の向上。
- デジタルデバイド対策**
 - 背景: デジタルデバイドによる高齢者の生活の質の低下。
 - 課題: デジタルデバイドの解消、高齢者のデジタルリテラシーの向上。

~新庁舎および別庁舎の施設整備案~

- 新庁舎のコンセプト**
 - 高層部の確保として本庁舎等に大田市の目的に即応できるように設計した。
 - 大田市の未来を念頭に置いて、大田市の未来を志向する。大田市の未来を志向する。
- 新庁舎の利用法**
 - 庁舎内で必要最低限の部署のみを配置する。
 - 「緊急窓口」として、相談室、市民相談室、市民生活課の行政サービス利用者のための窓口を設ける。
 - 市民生活課の業務を一元化することで、業務の効率化と市民サービスの向上を図ることができる。
- 新庁舎の耐震性およびコスト**
 - 新庁舎の耐震性: 新庁舎の耐震性を向上させる。
 - コスト: 新庁舎のコストを削減する。
- 別庁舎の利用法**
 - 別庁舎は、庁舎を確保し、庁舎として利用する。
 - 別庁舎は、市民生活課の業務を一元化し、市民生活課の業務を一元化する。

図 16 大田市新庁舎の計画案（2022 年度建設プロジェクト 2）

BIM/CIM に対応したカリキュラムでは、各種 3D-CAD のスキルを身に付けるための時間を増やすために、従来の建設系の科目に対する時間数を減らした。ただし、内容は建設技術者として必要な知識や技術を維持することを目標とした。しかしながら、本カリキュラムを導入する前に比べ建設系の知識や実験実習の時間が減少したことによる建設技術者のレベル低下が懸念された。図 17 に松江高専環境・建設工学科の卒業時の技術士 1 次試験の合格割合を示す。2018 年度入学生は現在 5 年生で、2019 年度入学生は現在 4 年生である。今年度も多くの学生が技術士 1 次試験を受験している。図 17 より、技術士 1 次試験の合格者は、BIM/CIM に対応したカリキュラムに取り組むようになり、試験を受験する学生が増加し、クラスの 30%以上が卒業までに技術士 1 次試験に合格している。特に、技術士 1 次試験の対策のための授業等を行っていないが、BIM/CIM に対応したカリキュラムにおいて、建設技術者としての基礎知識を十分修得していることが確認できる。BIM/CIM 等をカリキュラムに積極的に取り入れてから土木や建築の建設分野に興味を持ち、意欲的に勉学に取り組む学生が増えている。

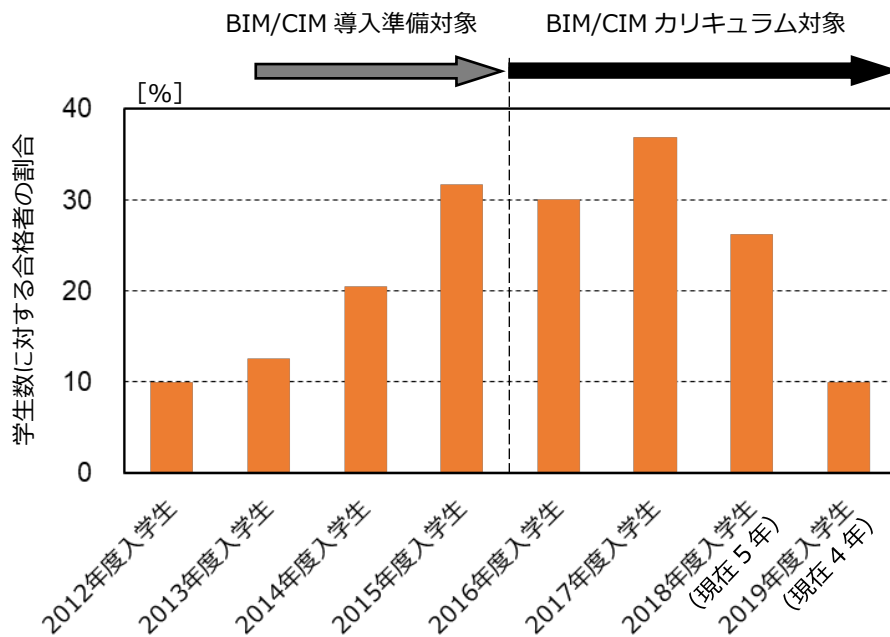


図 17 松江高専環境・建設工学科の卒業時の技術士 1 次試験の合格割合

3. 建設 DX のための建設技術者教育教材開発

BIM/CIM に対応した教育教材を開発し、講義の中で受講した学生に BIM/CIM 教材に対する評価や建設 DX に向け必要なスキルについて検討を行い、BIM/CIM の各種技術を組み合わせて社会課題解決に取り組むための教材や AI 等の技術を習得するための教材、さらに、建設 DX を実現するためのプロセス変革や課題解決を効率的・効果的に実施するためのカスタマイズ技術を習得するための教材開発を行う。

3. 1 建設 DX を実現する建設技術者教育教材

土木学会建設マネジメント委員会 i-Construction 小委員会の活動報告書 Part1 WG1「職能・人材育成・教育」の中で示されているデジタル技術に強い建設技術者としての i-Construction 人材像では、「BIM/CIM の基本ソフトに対する基礎操作力を有し、AI や ICT に関する知識を有する ICT 技術力」を有することが求められている。図 18 に日本における建設 DX の取組状況を示す。建設 DX の段階には、建設プロセスの各段階の情報をデジタルツール（3D モデル等）を用いてつくること（デジタルイゼーション）、それらのデジタルデータを建設の各段階の情報のやり取りや共有、ビッグデータ等とのデータ連携をデジタルツールで行い、活用すること（デジタルライゼーション）、さらに建設 DX（デジタルトランスフォーメーション）を実現するためには、デジタルデータの利活用で建設プロセスそのものが変わることが求められている。

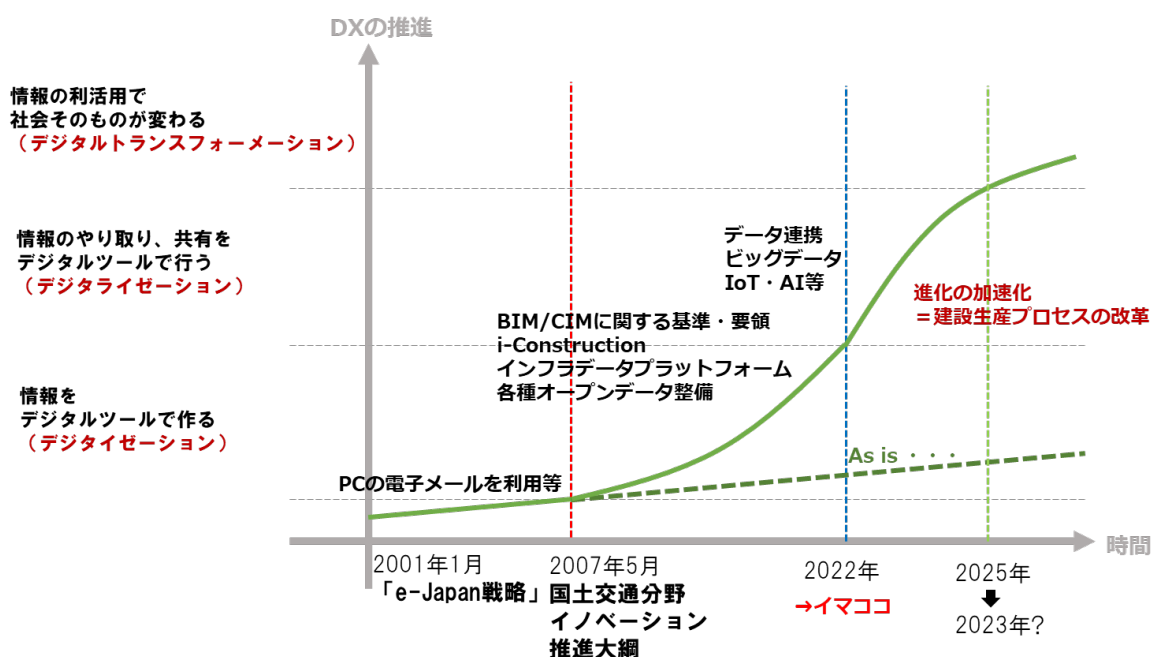


図 18 建設 DX の取組状況

本研究では、松江高専環境・建設工学科で作成した教育教材をベースに、その評価より、図 19 に示すような各ソフトウェアを連携するスキルを習得するための教材開発、BIM/CIM モデルをつくる業務フローを既存の業務フローと併せて改良するスキルであるカスタマイズ技術を習得する教材開発、今後、土木分野でも必要となる AI 利用技術を活用するための基礎スキルを習得する教材開発、さらにデジタルデータを活用する xR 活用技術のための教材開発を行う。

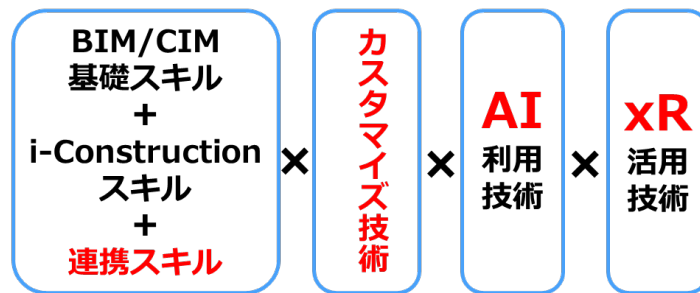


図 19 インフラ×デジタルによる建設 DX を実現する建設技術者育成教材

(1) BIM/CIM モデルの連携スキル

例えば、橋梁構造物の 3D モデル作成する場合、橋梁の 3D モデルだけではなく、建設予定地の地形、地盤モデルと連携した BIM/CIM モデルの作成が必要である。これらのモデルは、1つのソフトウェアだけで作成することが難しく、複数のソフトウェアを連携するスキルが必要となる。図 20 に InfraWorks で作成し

《 BIM/CIM 教材 》

- 橋梁と地盤データの BIM/CIM モデル連携⑦

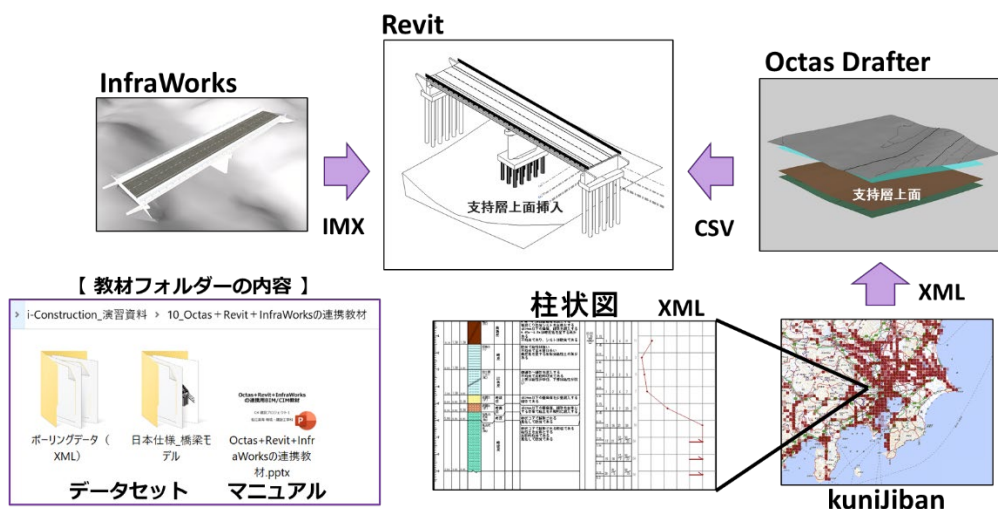


図 20 橋梁と地盤データの BIM/CIM モデルの連携用教材

た橋梁モデルを IMX 形式に書き出し、KuniJiban のボーリングの柱状図のデジタルデータ (XML データ) を Octas Drafter を用いて支持層上面や各地層面、水位面をデータ化し、Revit で橋梁モデル、地盤各データを統合する教材を開発した。

(2) BIM/CIM モデルのカスタマイズ技術

建設分野の DX を実現するためには、BIM/CIM モデルをつくる業務フローを既存の業務フローと併せて改良するスキルが必要となる。例えば、従来の業務フローでは、業務効率の向上には、図面を描く人数の増加が必要だが、BIM/CIM モデルは、一つのモデルを複数人が同時に触る必要があり、コーディネーションが複雑になるため、少人数でいかに効率を高めるかという課題解決が重要となる。少人数で効率化を図るには、プログラムによる業務改善 (カスタマイズ) が必要となる。松江高専では、図 9 に示す BIM/CIM モデルを扱う 3D-CAD におけるカスタマイズ (自動化技術) の基礎を Rhinoceros の Grasshopper と Autodesk の Dynamo を用いて学ぶ。Dynamo は、AutoCAD, Civil3D, Revit で行う作業の自動化を進めるためのビジュアルプログラミングツールである。以下に、本研究で作成した BIM/CIM モデルのカスタマイズの基礎に関する教材を示す。

《 BIM/CIM モデルのカスタマイズの基礎 》

- Rhinoceros の基本操作
- Rhinoceros+Grasshopper によるコンピューテーショナルデザイン
- Dynamo の基本操作
- Revit+Dynamo による RC 構造物の自動配筋
- Revit による構造解析用モデルの作成と構造解析
- 3D 地形モデルと CFD による風況解析

図 21 は、構造物モデル用の Revit で Dynamo を利用して RC 橋脚の配筋を自動配筋する教材である。ビジュアルプログラミングツールである Dynamo は、3D-CAD ソフトウェア (AutoCAD, Civil3D, Revit) の操作を自動化することが可能で、パラメータによる条件 (形状や属性情報) の設定、外部データ (Excel, テキスト) と図面や各種モデル連携、手作業では困難な、複雑な形状や膨大な数のオブジェクトの作成などができる。3D-CAD をカスタマイズする教材に関しては、学生から、「3D-CAD をカスタマイズする技術は、将来的な可能性があり、非常に興味を持った」、「3D モデルの作成だけでなく、自分の考えを自動化できるので BIM/CIM に興味を持った」という意見をもらった。教材に関しては、「Dynamo による教材は、プログラミング手法や作成手順は理解することができたが、単なる操作のみとなっているので、構造物の設計を学ぶことができ、設計された値と構造物の形が理解しやすい教材を作成してほしい」という要望があった。

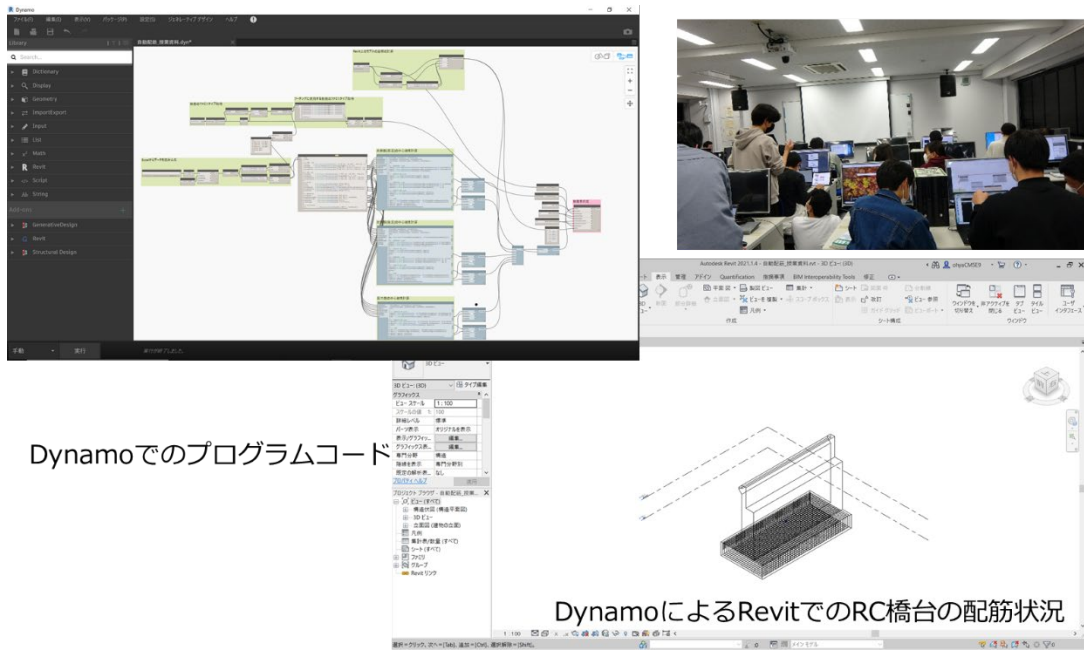


図 21 Revit+Dynamo による RC 構造物の自動配筋教材

BIM/CIM を活用した課題解決力の育成を目的に、作成した 3D モデルを用いて構造解析する方法や流体解析 (CFD) への応用方法について教材開発を行った。図 22 に Revit で作成した 3 次元の骨組構造モデルを Robot Structural Analysis を用いて部材断面力を計算する教材を示す。また、図 23 は、国土地理院の基盤地図情報 (標高データ) から地形サーフェスを作成し、数値流体解析を行う教材である。数値流体解析では、地形サーフェスのままでは解析を行うことができないため、カスタマイズ技術を活用して地形ソリッドモデルを作成している。

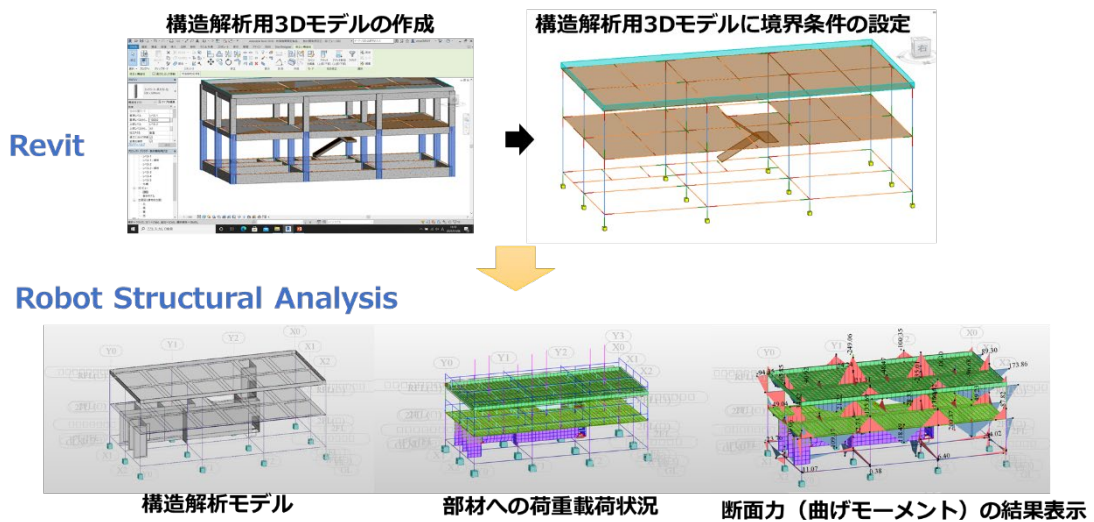


図 22 Revit による構造解析用モデルの作成と構造解析 (Robot Structural Analysis)

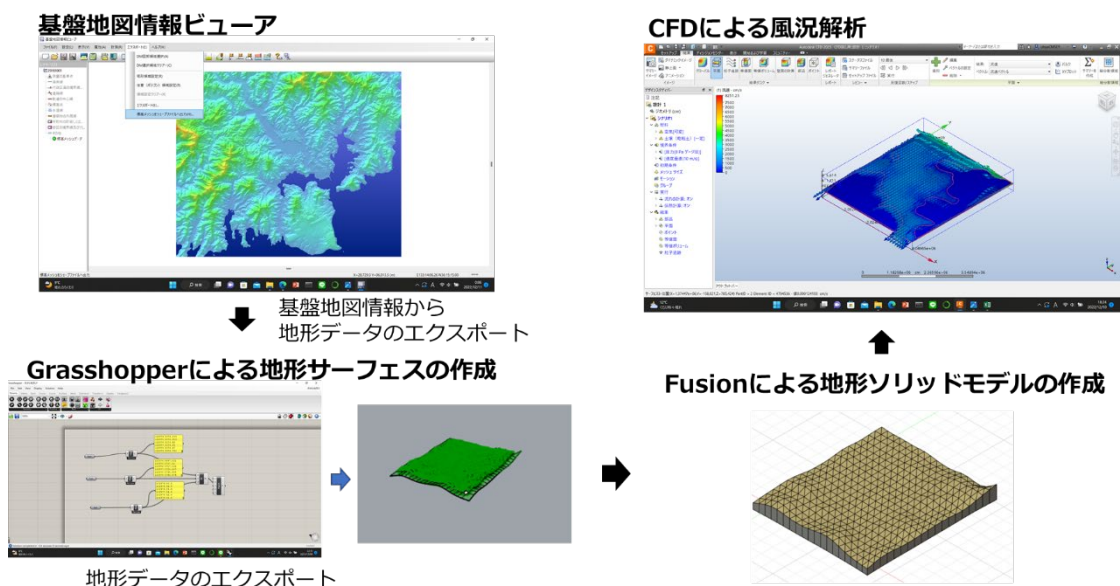


図 23 地形データを考慮した風況解析

(3) BIM/CIM のカスタマイズ技術の拡張と AI 利用のための Python のコーディング技術

人工知能 (AI) を実装する際には、さまざまなプログラミング言語でコーディングが可能であるが、プログラミング言語として Python が用いられることが多い。Python は、AI のプログラミングに適した特徴を数多く持つプログラミング言語である。また、3D-CAD をカスタマイズする際に、ビジュアルプログラミングである Grasshopper のコンポーネントや Dynamo のノードで用意されている機能がない場合は、プログラミング言語によるコーディングにより新たな機能を追加することが可能である。図 9 に示すように、Grasshopper は、C#、Python、VB が利用可能で、Dynamo は Python が利用可能である。以上の状況を鑑み、建設 DX のための建設技術者教育として、Python によるコーディング技術の習得は有効であると考え、Python のコーディングの基礎技術と機械学習に必要な基礎スキルを学ぶための教材開発を行った。

《 Python によるコーディング技術 》

- Python のコーディングの基礎技術
 - 変数・型・演算子
 - リスト・タプル・辞書・プログラミングの概要・種類
 - if 文・for 文・while 文・内包表記
 - 関数・変数のスコープ
 - クラス
 - NumPy

- 機械学習に必要な基礎スキル
 - データの重要性
 - Python 可視化ツールの紹介
 - グラフの種類と書き方 (Matplotlib 演習)
 - データの理解と加工 (pandas 演習)

図 24 と図 25 に Python 可視化ツールの Matplotlib と pandas の教材の一部を紹介する。

グラフの種類と書き方 (Matplotlib演習)

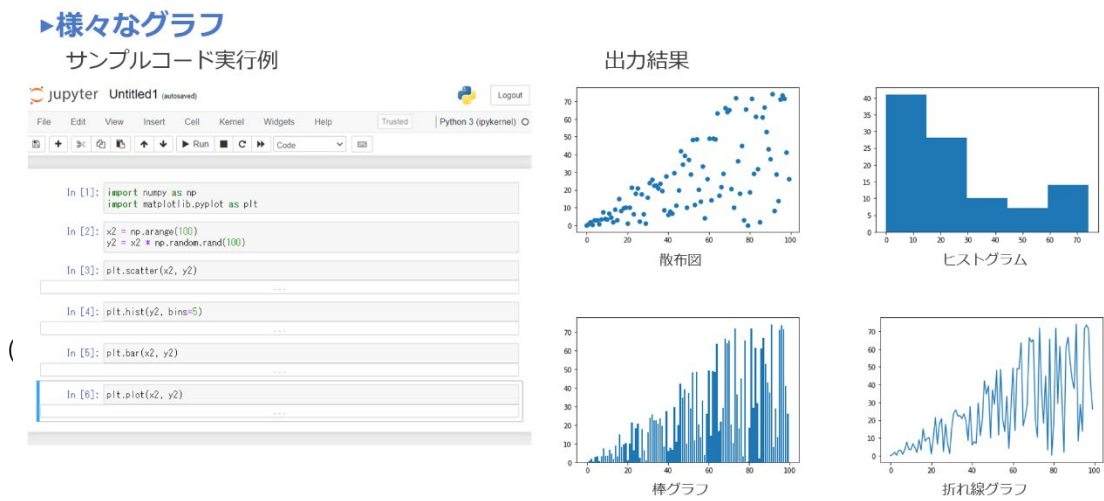


図 24 Python の Matplot によるグラフの種類と書き方

データの理解と加工 (pandas演習)

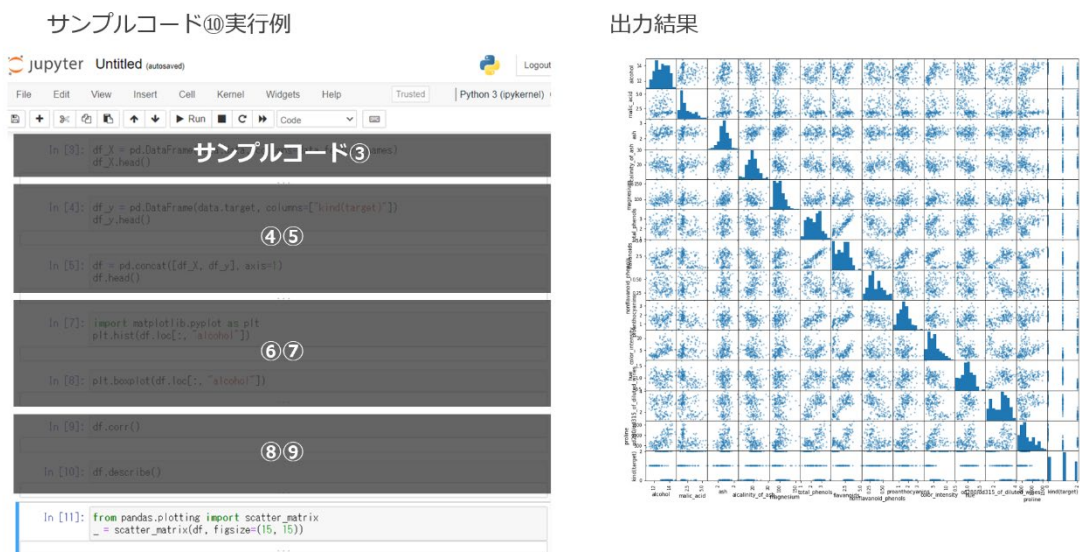


図 25 Python の Pandas を用いたデータの理解と加工

(4) 人工知能 (AI) 利用技術

人工知能 (AI) とは、人間の知的ふるまいの一部をソフトウェアを用いて人工的に再現したものである。経験から学び、新たな入力に順応することで、人間が行うように柔軟にタスクを実行する。この技術を応用すると、大量のデータからパターンを認識させることで、ビジネスや生活における様々な難しいタスクをこなせるようにコンピュータをトレーニングすることができる。

「インフラ分野の DX」は、インフラ分野の変革で、”社会経済状況の激しい変化に対応し、インフラ分野においてもデータとデジタル技術を活用して、国民のニーズを基に社会資本や公共サービスを変革すると共に、業務そのものや、組織、プロセス、建設業や国土交通省の文化・風土や働き方を変革し、インフラへの国民理解を促進すると共に、安全・安心で豊かな生活を実現”するものとしている。インフラ分野の変革に必要な技術は、BIM/CIM や i-Construction などの建設プロセスのデジタル化と AI 技術等の活用である。

本研究では、建設 DX を推進するために必要な AI の各種技術の概要とサンプルデータを用いて AI の基礎技術を習得する教材を開発した。

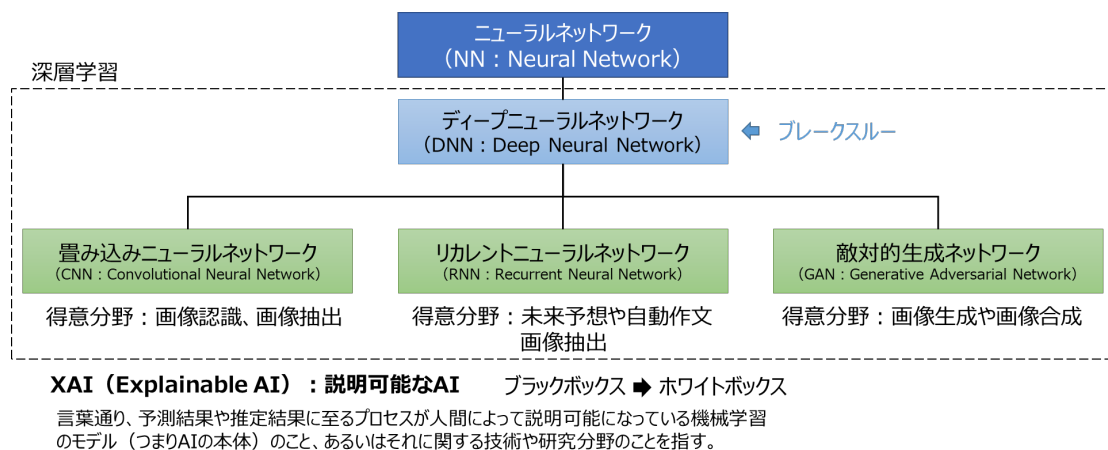


図 26 深層学習の概要と XAI

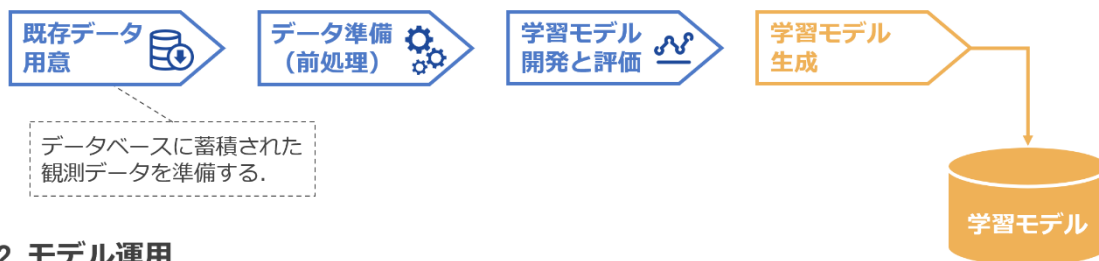
図 26 に、AI 技術の概要と説明可能な AI (XAI) の概要を示す。AI 利用技術の教材は、AI 技術の概要、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) について、リカレントニューラルネットワーク (RNN) について、敵対的生成ネットワーク (GAN) について、説明可能な AI (XAI) について、である。それぞれの教材は、各技術の概要を説明し、サンプルデータを用いて、Python コーディングにより、AI 技術の利用方法を学ぶ。図 27 は、RNN の LSTM の学習の流れの説明資料の一部である。また、図 28 は、GAN の生成器の実装のプログラミングの方法を説明する教材の一部である。教材は、実装の流れとプログラムコードの意味を理解できるように工夫している。

《 AI 利用技術 》

- AI 技術の概要
 - 機械学習と統計解析
 - ディープラーニングの概要・種類・XAI について
- CNN について
 - CNN の概要
 - CNN の学習と事例
- RNN・LSTM について
 - RNN の概要
 - LSTM の学習と事例
- 敵対的生成ネットワークについて
 - GAN の概要
 - GAN の学習と事例
- 説明可能な AI (XAI) について
 - XAI の概要
 - XAI による学習モデルの理解

LSTMの学習

1. モデル作成



2. モデル運用

作成したモデルから問題を予測



図 27 RNN に関する教材 (LSTM の学習の流れ)



続いて、生成器を実装します。
 左上の+をクリックして2つ目のセルを作り、以下を入力します。

```

セル②
def build_generator():
    noise_shape = (z_dim,)
    activation = Activation("relu")
  
```

z_dimとは、生成器に入力するノイズのことです。
activation = Activation("relu")とは、今後**relu**という関数を**activation**と省略するという宣言です。

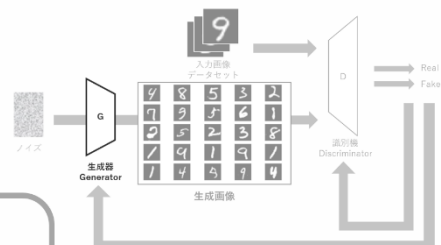


図 27 GAN に関する教材（生成器の実装）

（5）xR の利用技術

本研究では、BIM/CIM で作成した 3D モデルと xR を連携する技術について、建設分野での利用を想定し、BIM/CIM モデルから xR を活用する手順をまとめ、教材作成を行った。xR とは、VR（仮想現実）、MR（複合現実）、AR（拡張現実）等の仮想空間技術、空間拡張技術をまとめた総称である。それぞれの技術の違いは、仮想現実への没入具合である。

本研究では、BIM/CIM のモデリング用 3D-CAD ソフトで作成した 3 次元モデルを MR と VR に連携する手法を教材とした。MR は Hololens2 を出力デバイスとし、VR は Oculus を出力デバイスとする。3D モデルデータを各デバイスへ出力する方法は、Unity Pro を使用する。Unity はゲーム開発ツールであるが、作成した 3D モデルを複数のデバイスへ出力することが可能なソフトウェアである。Unity で作成した仮想空間のデータは、各デバイスに対応したプラットフォームを用いてアプリケーションという形で出力が行われる。Unity では、仮想空間における操作設定やモデル面の細かな設定を行うことが可能である。

図 28 は、InfraWorks で作成した BIM/CIM モデルを Unity Pro でインポートが可能な FBX ファイルで書き出し、MR（Mixed Reality）に対応した複合現実のデバイスである Hololens2 へ Unity Pro で作成したデータをアプリケーションとして生成する。まず、Mixed Reality アプリケーション向けのオープンソースのプラットフォーム開発キットである MRTK（Mixed Reality Toolkit）の 4 つのパッケージの内、Foundation のみ GitHub からダウンロードする。ダウンロードした Foundation を Unity Pro へ Import すると MR に適応した設定が可能となる。また、

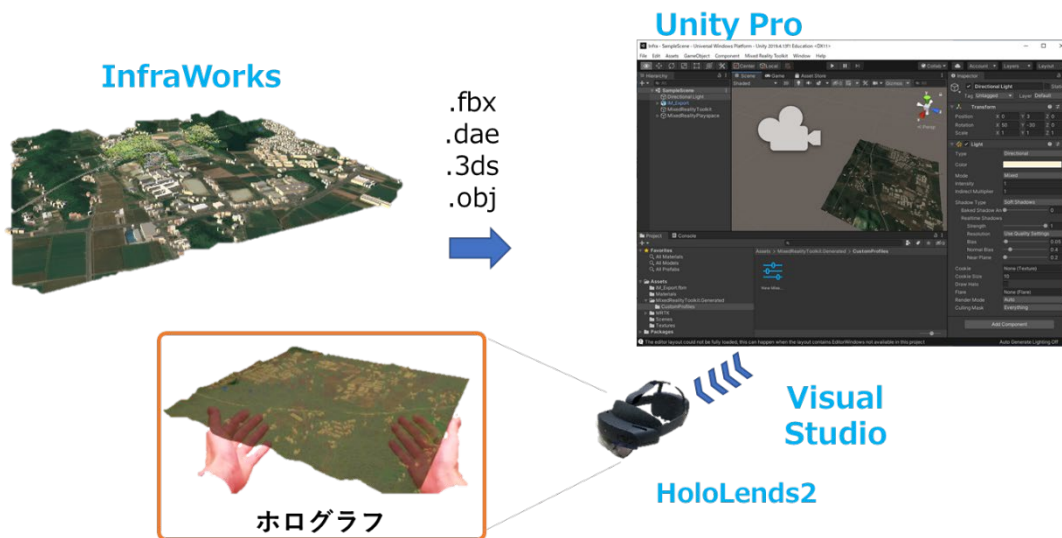


図 28 BIM/CIM モデルから MR への出力の概要

プラットフォームを UWP (Universal Windows Platform) に切り替える。これにより HoloLens2 で動作するアプリケーションを作成可能な環境ができる。これらの設定の後に、3次元モデルの FBX ファイルを Unity へ Import する。モデルの配置設定を行い、Build を実行する。Build により生成された .sln ファイルを Visual Studio で開き、Debug を行わずに HoloLens2 へアプリケーション作成を行う。HoloLens2 へアプリケーションを作成する際には、PC と HoloLens2 のペアリングが必要となる。ペアリングは、Wi-Fi による接続と USB による接続の 2 つの方法があり、USB を使用する場合には、Windows 10 SDK が必要となる。また、いずれの方法にしても HoloLens2 と PC の設定で開発者モードに変更する必要がある。この操作により、提供元不明のアプリケーションを開くことが可能となる。以上のプロセスで、3次元モデルを HoloLens2 へ出力することが可能となる。

図 29 は、トンネル内で撮影した写真から静止画像から高密度ポイントクラウド、テクスチャーポリゴンモデルの生成が可能な Metashape を用いて 3D モデルを作成し、Unity Pro を用いて VR (Virtual Reality) デバイスの Oculus で出力する概要である。追加する Asset は MRTK ではなく、Asset Store から Oculus Integration をダウンロードし、Import する。これは Oculus アプリ開発のための機能を拡張する統合パッケージである。3次元モデルデータを配置し、プラットフォームを Android に切り替え、Build and Run を実行すると Oculus アプリが作成される。作成されたアプリケーションをデバイスで開くには、開発者モードに切り替える必要がある。

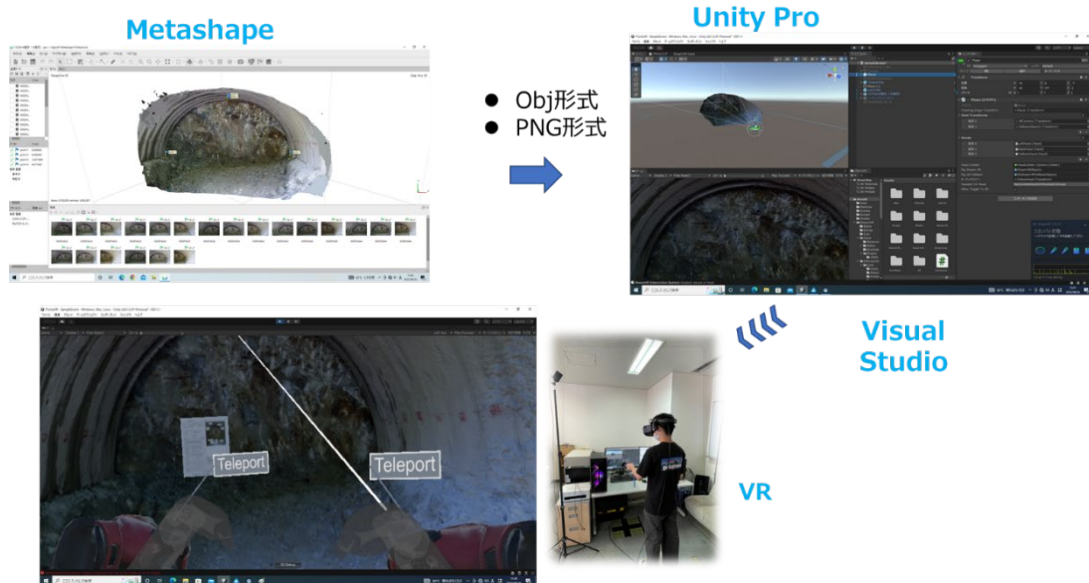


図 29 3D モデルの VR への出力の概要

3. 2 BIM/CIM モデルのカスタマイズ技術教材の改善

BIM/CIM のカスタマイズ技術として、RC 橋脚の配筋を自動配筋する教材を開発したが、学生からの意見を参考に、土木設計の考え方・手順を学び、BIM/CIM の 3 次元モデリングとカスタマイズ技術を学ぶことができる教材を開発した。教材としては、図 30 に示す RC 逆 T 形擁壁の設計を題材に、設計条件から形状を決定するプロセスを 3D モデルと安定計算ロジックにより、Generative Design を用いて条件を満たす複数案の形状を提案する教材を開発した。また、決定した形状から構造計算により必要鉄筋量を算出し、その結果から 3D 配筋図と図面を自動作成する教材を開発した。

《 BIM/CIM モデルのカスタマイズの基礎 》

- Generative Design を用いた土木構造物の設計

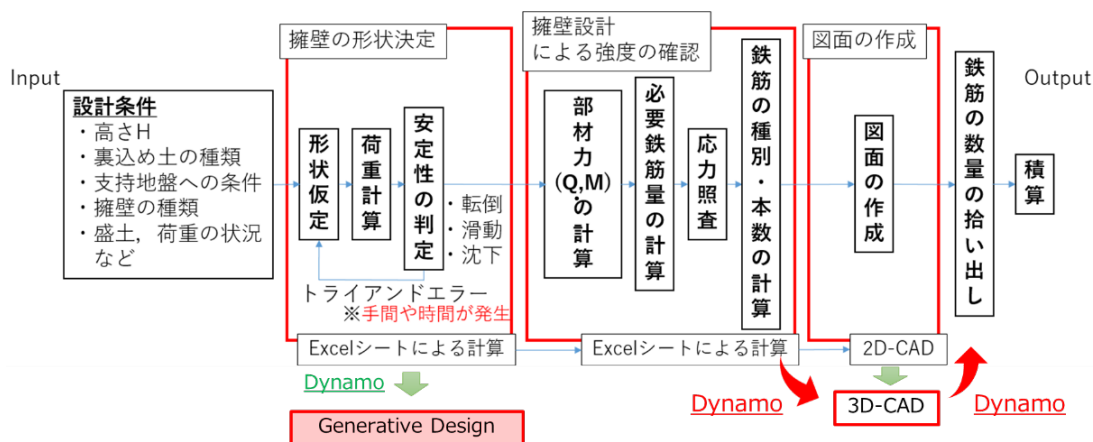


図 30 RC 逆 T 形擁壁の設計の流れと BIM/CIM モデルとカスタマイズ技術

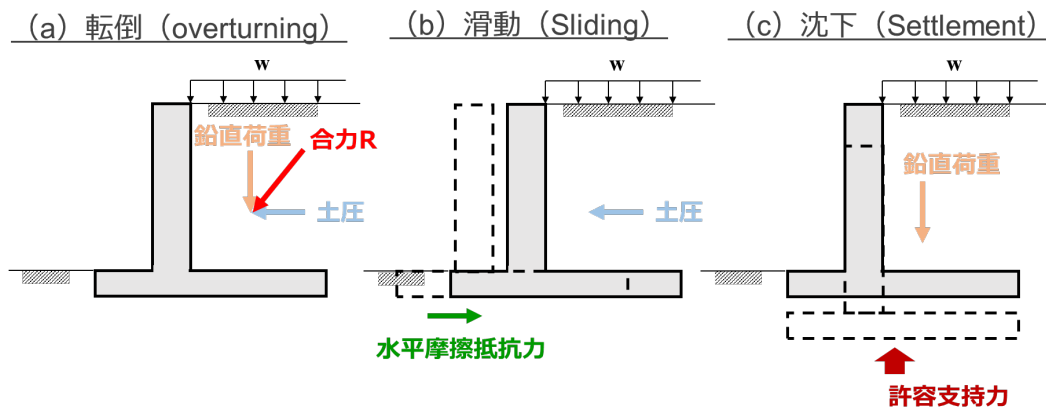
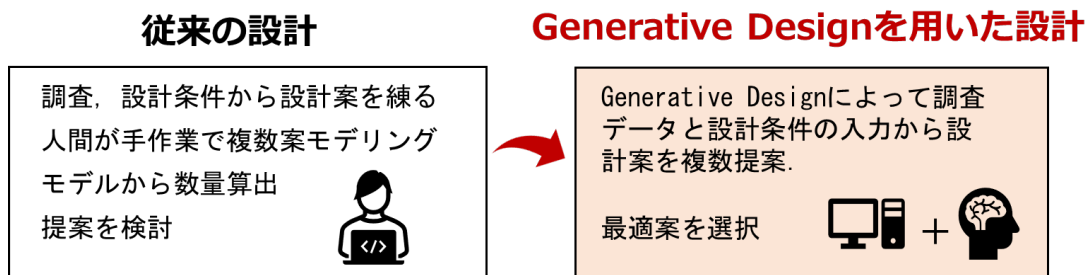


図 31 RC 逆 T 形擁壁の形状決定のための安定性の概要

(1) Generative Design の概要

Generative Design とは、従来、技術者が経験に基づき、時間をかけて作成していた提案をコンピュータに設計案の作成や評価を任せようという考え方で、遺伝的アルゴリズムを用いて、複数の条件を最適にするようにコンピュータが設計案をアップデートして提案するものである。図 32 に従来の設計と Generative Design による設計の違いを示す。Generative Design では、図 33 に示すように、設計案を大量に生成、設計案を分析、順位付け、設計案を進化させ、設計案を一つに絞り込み（調査）、実際の設計に適用する（統合）。このプロセスを人間（設計者）とコンピュータが共同で行うのが、Generative Design である。設計案を生成するためのパラメータ（入力値）の定義や設計案を生成するロジックの定義、設計案を分析し、順位付けを行うための評価に関する定量的な指標（出力値）の定義は、コンピュータが勝手に行うのではなく、人間（設計者）が行なわなければならない。また、コンピュータが提案する設計案の中から、最後に一つの設計案に絞り込むのも人間の仕事である。



技術者の知識や経験とデジタル技術を融合

図 32 従来の設計と Generative Design による設計の違い

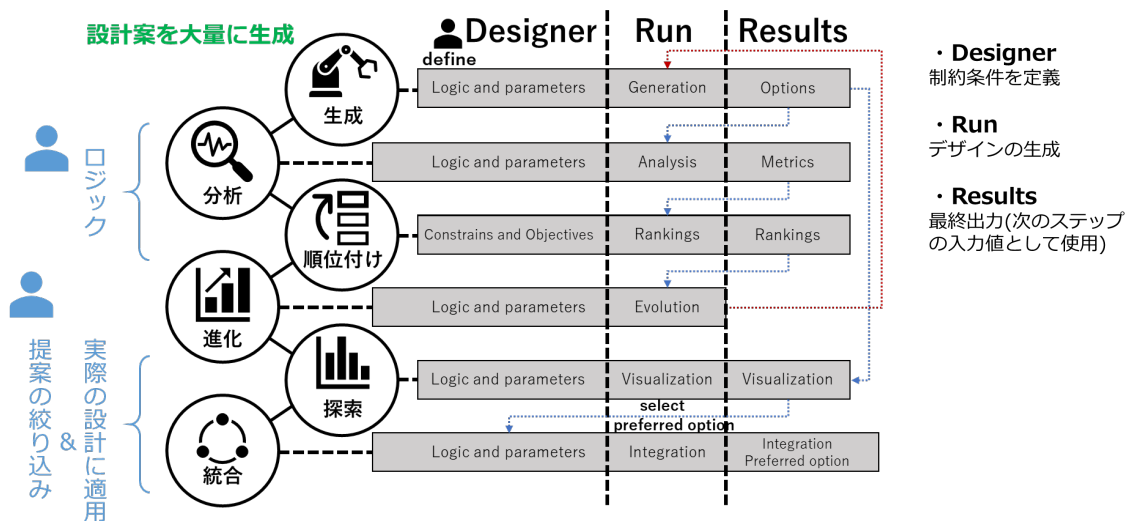
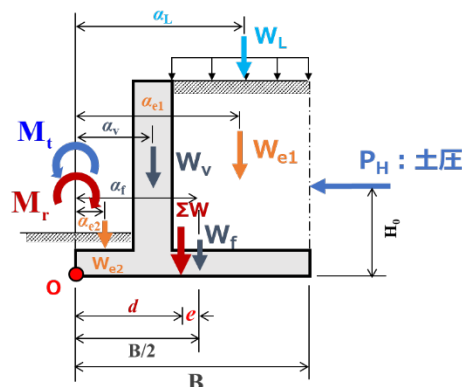


図 33 Generative Design の流れ

(2) Generative Design を用いた安定計算による形状決定

擁壁を設置するがけの高さや勾配などの設計条件を踏まえ、概略的な擁壁の寸法から安定計算を行い、擁壁の形状を決定する。擁壁は、図 31 に示す (a) 転倒、(b) 滑動、(c) 沈下の 3 条件を満足する形状を決定する。図 34 転倒の安定性に対する照査を示す。一般的な設計では、設計者が経験に基づき擁壁形状を仮定し、仮定した形状寸法で 3 条件を満足するか検討する。満足しない場合は、再度形状を仮定し、条件を満たすように繰り返し計算を行う。本教材では、3D モデルに基づいた安定計算の内容をロジックに組み込んだ Generative Design を用いて条件を満たす複数案の形状を提案する方法を学ぶ。概要を図 35 に示す。

【転倒の安定性に対する照査】



転倒の安定性の判断基準

$$F_1 = \frac{M_r}{M_t} \geq 1.5 \Rightarrow F_1 - 1.5 \geq 0$$

◎ 土圧による転倒モーメント (M_t)

$$M_t = P_H \times H_0 \quad (\text{反時計まわり})$$

◎ 鉛直力による抵抗モーメント (M_r)

$$M_r = W_v \cdot \alpha_v + W_f \cdot \alpha_f + W_{e1} \cdot \alpha_{e1} + W_{e2} \cdot \alpha_{e2} + W_L \cdot \alpha_L \quad (\text{時計まわり})$$

◎ 底版の偏心距離 (e)

- 底版の地盤反力中心位置 d

$$d = \frac{M_r - M_t}{\Sigma W} = \frac{M_r - M_t}{W_v + W_f + W_{e1} + W_{e2} + W_L}$$

- 偏心距離 e

$$e = \frac{B}{2} - d$$

図 34 転倒の安定性に対する照査

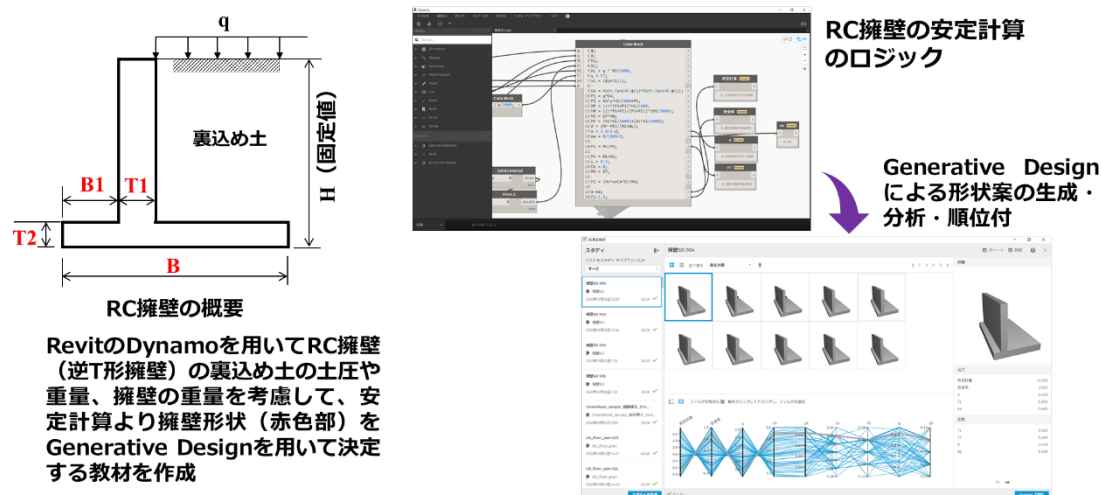


図 35 Generative Design を用いた安定計算による擁壁サイズの複数提案

(3) RC 逆 T 形擁壁の自動配筋及び図面の自動作成

次に、RC 逆 T 形擁壁の自動配筋を行う。Generative Design による安定計算で決定した形状寸法を書き出し、逆 T 形擁壁の各部材に生じる断面力から Excel シートで作成された強度計算により、必要鉄筋量を算出する。算出された必要鉄筋量の情報と形状寸法から Dynamo を用いて 3 次元の配筋図を自動作成するコードを作成する。作成された配筋図は、Revit に反映され、3D 形状と属性情報を組み込んだ BIM/CIM モデルが作成される。その BIM/CIM モデルから必要な 2D 図面を作成し、積算用部材リストとして、鉄筋集計表を Excel シートに書き出す教材を開発した。図 36 に概要を示す。

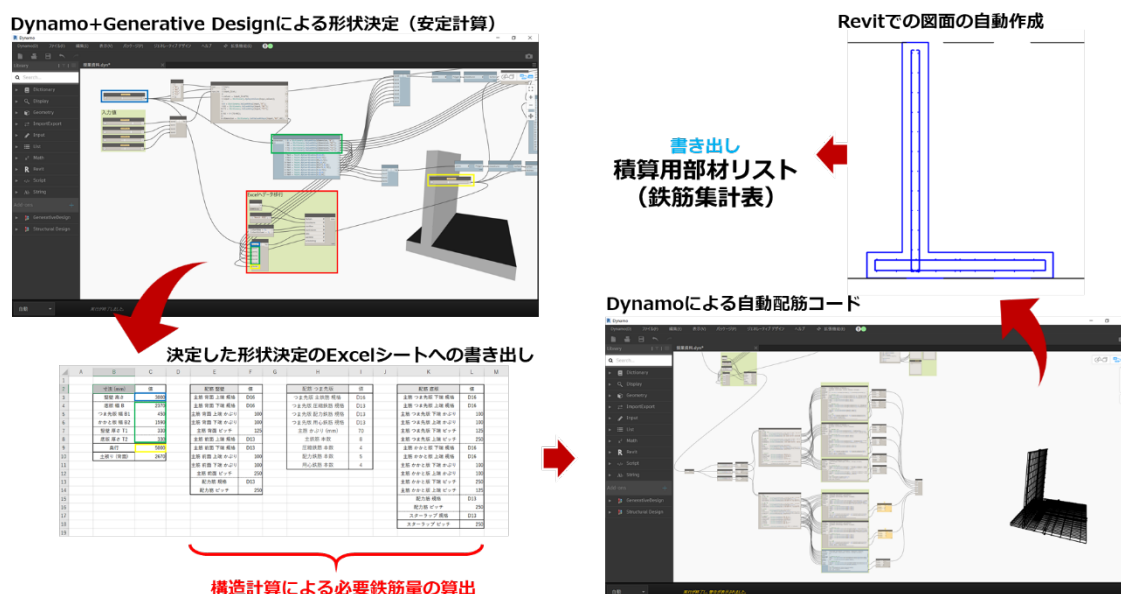


図 36 Dynamo による RC 逆 T 擁壁の自動配筋

5. おわりに

BIM/CIM に対応した建設技術者育成のためのカリキュラムを構築し、7年目を迎えた。当初、複数ソフトウェアによる BIM/CIM モデルの作成技術による教材で講義を進めてきたが、建設 DX を推進するためには、BIM/CIM を活用し、その業務フローを改良および業務を根本的に変革するためのカスタマイズ技術や AI 技術を活用できる建設技術者の育成が必要である。

本研究では、建設 DX に向けた建設技術者を育成するために BIM/CIM モデルの連携スキルやカスタマイズ技術、AI 技術を習得するための教材を開発し、学生の教育に適用した。BIM/CIM を導入することによる建設技術者教育の効果を以下にまとめる。

- (1) BIM/CIM 教育の導入により、建設技術者としてのレベル低下が懸念されたが、学生の学ぶ意欲が向上し、技術士 1 次試験の合格の割合より、レベルが向上した。
- (2) カスタマイズ技術に興味を持ち、建設生産プロセスを変革することに意欲をもった、モチベーションの高い学生が増えた。
- (3) BIM/CIM を用いて建設技術の理解が増し、課題に取り組むことを楽しむ学生が増えた。
- (4) 仮想空間を利用し、建設プロセスの各段階を 3D モデルを用いて構築することが可能となり、これまで建設技術者教育でスケールの問題で難しかった実践的な技術者教育を実施できるようになった。
- (5) デジタル技術により、コロナ禍においても遠隔授業に対応が可能で、教育の幅が広がった。

本研究で開発した建設 DX に向けた建設技術者教育教材は、40 人の学生が 1 コマで学習できるように、また、コンピュータの能力を考慮し、データセットのサイズと内容を工夫した。教材は開発途上であり、今後改善しながらさらに有効性のあるものにして行きたい。また、社会人に対するリカレント教育にも開発した教材を活用し、デジタル技術に強い、建設技術者を育成したい。

引用文献

- 1) 土木学会建設マネジメント委員会 i-Construction 小委員会, Part I WG1 「職能・人材育成・教育」, i-Construction 小委員会滑動報告書 (第 2 期), 2022.7.