

水工学シリーズ 22-A-1

流域管理のための数値計算に必要な
デジタルトランスフォーメーション

神戸大学 教授

大石 哲

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2022年9月

Digital Transformation for Numerical Simulation to Manage Basins

大石 哲

Satoru OISHI

1. はじめに

自然現象と社会現象の組み合わせによる数理的推論を行おうとすると、かなり大きな工数が必要になり、それは経験でカバーしてきた。例えば、海の人工島のいくつかは廃棄物を受けいれて埋め立てられた。その処分場について考えると、処分場が埋め立てられて人工島として活用できるようになるまでにかかる年数は、現状の廃棄物搬入量と人口動態などから外挿して決められる。そこでは、産業構造、リサイクル率、他の処分場への流出や他からの流入などを検討することは希である。

一方で水工学に関係した自然現象と社会現象の組み合わせの顕著な例は、災害被害の推定である。水害の被害などのように自然現象と社会現象の組み合わせによる数理的推論にシミュレーションを用いようとすると、かなり大きな工数が必要になる。しかしフェルミ推定的手法も使うことができない。そこで、フラジリティカーブの算出を通して計算がなされてきた。これは経験による外力と被害の関係およびその間が線形に近い関係であることを前提としている。

気候変動を踏まえた国土交通省 水管理・国土保全局 水災害対策検討小委員会（2020）では、提言の中で、気候変動にともない気温が2度上昇するに相当するような気候変動の場合の降雨量変化倍率は1.1程度と試算している。試算にしたがって基本高水が1.1倍になったときの既存河川における計画高水流量発生時の被害量の推定を行う際に、被害を線形外挿的に1.1倍と見積もるわけにはいかない。既存施設の活用、堤防の余裕高と堤内地の資産分布を与えてシミュレーションによって求めることになる。既存施設の種類、堤防の使用、堤内地の資産分布は人為的に形成された社会的データであり、有無を言わせぬ正確な値があるように思えるが、その値を調査し与えることはかなりの困難が伴う。

さらに、気候変動対策で計画高水流量が $(1+\alpha)$ 倍になったときの既存河川における計画高水流量発生時の橋梁橋脚の影響による河床変動とそれが堤防に与える影響を推定しようとするとは実験かシミュレーションに頼るほかはなく、いくつかの実験とシミュレーションを比較した上で他地点のシミュレーションを行うのが現実的な手法と考えられる。しかしその計算をしようとした際に、ゼロから橋梁橋脚の位置や形、現況河床や上流からの供給土砂量を入力しようとする、コンピュータが行う時間積分計算以前にデータの準備に大きな工数がかかる。その工数はデータを用意することと、それを変換して計算への入力情報にすることが大部分である。情報の制約から「仮に〇〇とおく」といったことをせざるを得ないことも多い。

筆者が2022年の理化学研究所の新技术説明会において行ったインタビューでは、大手建設コンサルタントの技師が河川断面の作成にかかる工数は1ヶ月程度であるという。また、筆者が東京大学のコンクリート研究室との共同研究を実施した際にはコンクリート床版のFEM解析をする際に計算準備が全体の62.5%の時間をしめ、計算実行にかかった時間は37.5%であった。FEM解析をする際に計算準備はほとんどが人が画面の前で行う作業であり、計算実行では計算開始から終了までは人は関与しない。

一方で、デジタルトランスフォーメーション（DX）が叫ばれ、DXの覇者がビジネスの覇者のような側面もある。

昔から水を制するものが地域を制するというような考え方がある。

組み合わせると、DXで水を制するものが次世代の覇権を握ると考えるのは短絡的であろうが、目指す世界ではないかとも思う。特に国などの行政が、国家予算を使って実施する河川管理では、DXによる省力化が求められていて、今後も求められ続けると考えられる。そこで、本論では、大石（2021）で展開した「データの活用のためには計算プログラム以外に大容量データの高速検索、自動変換による非BIMデータのBIM活用」をさらに進めて、DXで水を制しようとするときの問題点と解決方法について述べる。具体的には、シミュレーションを用いた河川管理を実施する目的を想定して、必要なオリジナルのデータは存在するとして、それらを統合・変換してシミュレーション用の入力ファイルを作る際の工数削減方法について述べる。その際にデータ処理プラットフォーム（DPP）（大谷ら、2019）の考え方を紹介する。また、実際には水工シミュレーション用入力ファイルが準備できる状態ではないので、筆者らが実施した橋梁分野の3次元可視化やコンクリート分野のシミュレーションで用いられた事例を紹介する。

2. シミュレーションを用いた河川管理について

過去には水理現象、河川の流れ、河床変動について国内外で膨大な研究がある。筆者の力量ではそれらについて十分なレビューを行うことは不可能である。そこで、シミュレーションを用いた河川管理の歴史を振り返るため、山梨大学名誉教授の砂田先生の業績を中心に紹介して、年代毎の進展を説明する。

砂田（1985）では、昭和58年台風第5号（T8305）に伴う20年確率程度の出水（2000m³/s）による河床変動計算を行った。富士川本川釜無川71km地点の長さ1.5km区間で、調査および一次元河床変動計算を実施しているが、直上流の橋脚の影響と河幅の影響を無視したため一次元河床変動計算はうまくいかなかった。すなわち、橋脚の影響を考慮に入れずに計算を行っている。

砂田・手塚・林（1987）では、昭和57年台風第10号（T8210）で100年確率程度の出水（4000m³/s）による最大15mにおよぶ浸食を調査および一次元河床変動計算をしていて、大出水であれば一次元河床変動計算が有効であることを示している。

その後、教科書として日野・太田・砂田・渡辺（1989）が出版された。タイトルに「洪水の数値予報＜その第一歩＞」とあり、シミュレーションを用いた河川管理を意識した最初の著作として筆者は認識している。

2000年ぐらいまでは研究者が独自に「ソルバーを作る」時代だった。オープンソースソフトウェア（OSS）やライセンスの概念も十分に水工学の分野に浸透していなかった。研究者・技術者毎に自力でソルバーを作る状態になっていたという懸念がある。また、海外の商用ソフトウェアが東南アジアを席卷してしまった。

そのようなタイミングでiRICが生まれた。ホームページによると「iRIC（International River Interface Cooperative）は、2007年に清水康行教授（北海道大学）とJon Nelson博士（USGS）の提唱によりはじまった活動で、河川をはじめ水や土砂など水工学に係る数値シミュレーションのプラットフォーム（iRICソフトウェア）の開発やそれに係る情報発信、講習会開催などを行っている団体です。」とあり、現在、22個のソルバーを提供している。また、iRICの開発者である株式会社RiverLinkの旭一岳さんは、QiitaやGitHubで情報発信を行っている。

今でいうところのローコード開発の先駆けとしてCommonMPプロジェクトがある。CommonMPプロジェクトのホームページは以下のように説明する。「CommonMP（Common Modeling Platform for water-material circulation analysis）は、水理・水文現象等の複合現象を解析するために、さまざまな異なった現象を再現する要素モデルを結合して一体的に協調・稼働させ、河川流域の複合現象をシミュレーションするための基盤ソフトウェアです。CommonMP上では、互いの演算時間間隔が異なる要素モデル同士を結合しても、

水文データ等を交換しながら演算を進めることができます。CommonMPの要素モデルは、開発仕様が公開されているので、誰でも開発することができます。この特徴により、CommonMPを用いると、異なる開発者が開発した降雨流出モデル、河道洪水追跡モデル、氾濫解析モデル等を結合して、開発者同士が協力しながらシミュレーションを実施することができます。CommonMPは、様々な水理・水文現象等の複合現象のシミュレーションの実施や解析モデルの開発を促進するための仕組みを提供しています。」

これらの活動を通して、個々の研究者がソルバーを作ることから、ソルバーを使って工学的な課題を解決するデータを提供する方向に前進した。

一方で工学的な側面を持つ社会問題を解決するためには、社会を形成する非構造的なデータを、シミュレーション用に加工する必要がある、それを「データ統合・データ変換」と呼んでいる。

3. 水工シミュレーションのデータ統合・データ変換

3.1 データプラットフォームの展開

2017年の国土交通省のインフラデータプラットフォーム構想では「共通中間データ」の概念が出されたが、データ量と更新頻度からインフラデータに関する共通中間データの形成はほとんど不可能であろう。それを改めて、国土交通データプラットフォーム（以下、国交PDF）が2019年に開発され、国交PDF V1.1が2020年9月8日に提供され、大幅改訂して、V2.0が2021年8月6日に提供された。2022年3月30日には、3D都市モデル（Plateau）と国土地盤情報を含めてV2.1として提供され、今に至る。

これらの先行的な取り組みを適切な方向に進展させ、シミュレーションに至る前の工数を削減させるための方法論について、藤原ら（2020）は、河川シミュレーションを対象にして、プログラムが必要とするデータが分散している状況を示し、インフラデータプラットフォーム（IDP）があることにより、シミュレーションの工数を削減できることを述べている。藤原ら（2020）がいう中間データを介したデータ変換を、本稿では要求に応じた自動データ変換と読み替える。すなわち、本稿では、中間データという「ファイル的な概念」を、DPPという「データ統合・データ変換機能」に置き換えて考える。したがって、本稿は藤原ら（2020）の図-1（本稿にも図-1として再掲）の「(3)中間データを介したデータ変換」の部分を詳述し、水工学のシミュレーションに役立てようとするものである。

藤原ら（2020）の発表では、iRICに横断測量データをインポートする方法はあるが、定期横断測量データは「行政機関の保有する情報の公開に関する法律」（情報公開法）に基づいて開示請求手続きを行って、データ提供してもらう必要があるとしている。また、ALB測量成果が国交PDFに公開されているのは一部の自治体にとどまっている。また、国交PDFにはない河床材料調査データを入手する必要がある。行政情報の提供に関する見解は本論ではないので、付録で紹介する。本論では行政情報データがすでに存在するものとしてデータ統合・データ変換する方法について述べる。

3.2 水工シミュレーションへのデータ入力

必要なオリジナルのデータが存在しているとして、水工シミュレーションの入力ファイルを作成するためには以下の手順を行う必要がある。

まず、被覆データはExcel形式の植生情報とshapeファイルの観測位置を「マッチさせて」、植生位置を確認し、航空写真などと「照らし合わせて」、面的な植生を把握する必要がある。粗度係数は河床材料と被覆の結果を、河道技術会議資料と「照らし合わせて」決定する。

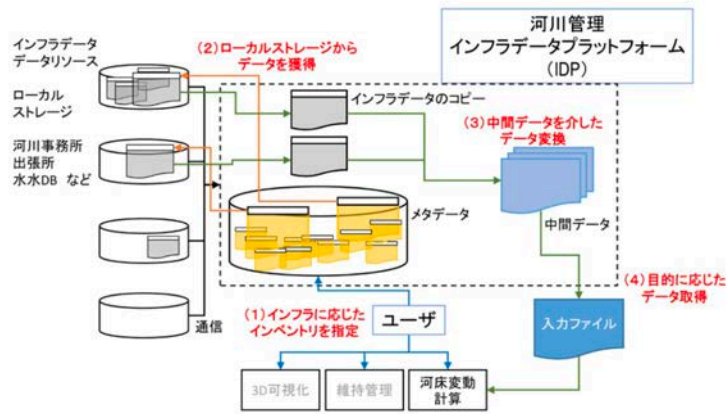


図-1 IDPを活用したデータ利用のフロー（藤原ら, 2020の図-1を再掲）

このような「照らし合わせる」作業はデータベース的であるが、水工シミュレーションを行う際には、2つの困難がある。1つは座標系の問題、もう1つは人間が見ることを前提に作られた資料の問題である。

水工学を含む建設関係では複数の座標系が使われている。図面内の座標、平面直角座標、緯度経度、住所、地番が主なものである。たとえば5つの座標が1つの概念を表しているときに、入力フォーマット x_i に対して、出力フォーマット x_j の組み合わせを考えると20通りあるので、20個のプログラムを作成する必要がある。一方でデータ変換を使えば、図-2のように5つの入力プログラム、5つの出力プログラム、5つの変換プログラムの15のプログラムを組み合わせれば、読み込んで、変換して出力することが保証される。

人間が見ることを前提に作られた資料の例として、河川独特のExcel形式の植生情報は〇〇地先の△△川左岸堤外地高水敷といった文字情報を用いることが多く、shapeファイルの観測位置とマッチさせるためには、住所の中にある河川およびその構成要素の位置と緯度経度をマッチさせる必要があり、多くの場合手作業で行われる。ここで「〇〇地先の△△川左岸堤外地高水敷」を、ノードを緯度経度で表現したポリゴンで自動定義できれば工数は削減する。（注1：Google Mapで「神戸市灘区六甲台町」と入力するとポリゴンで六甲台町が示されるイメージである。ちなみに、2022年6月1日現在、Google Mapでは「島田市稲荷町地先の大井川左岸堤外地高水敷」では検索できなかった。）

また、橋梁の橋脚をモデルに取り込もうとする際には、iRIC NaysCUBE_Ver_3_1_Tutorial（木村）のCase III の17ページ（図-3として再掲）によれば、障害物位置をGUIで手動入力する仕様となっている。入力ファイルあるいは設定ファイルを読み込んで障害物を与えることが可能であるので、自動化できる。実際、橋梁などの工事の成果として図-4のような下部工座標図として記録されている。

現状では水工シミュレーションに必要なデータを集めてくることは、手続きや工数が多く、また読み込みフォーマットが不明なデータを変換することが面倒なので、縦断方向数百メートルであれば現地調査に行った方が早い。しかし、現地調査に行かなくても広範囲での河川管理を可能とするシミュレーションを用いた河川管理を目指す必要がある。

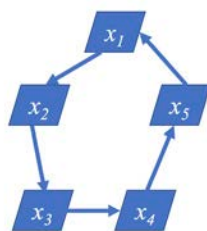


図-2 フォーマット間のデータ変換

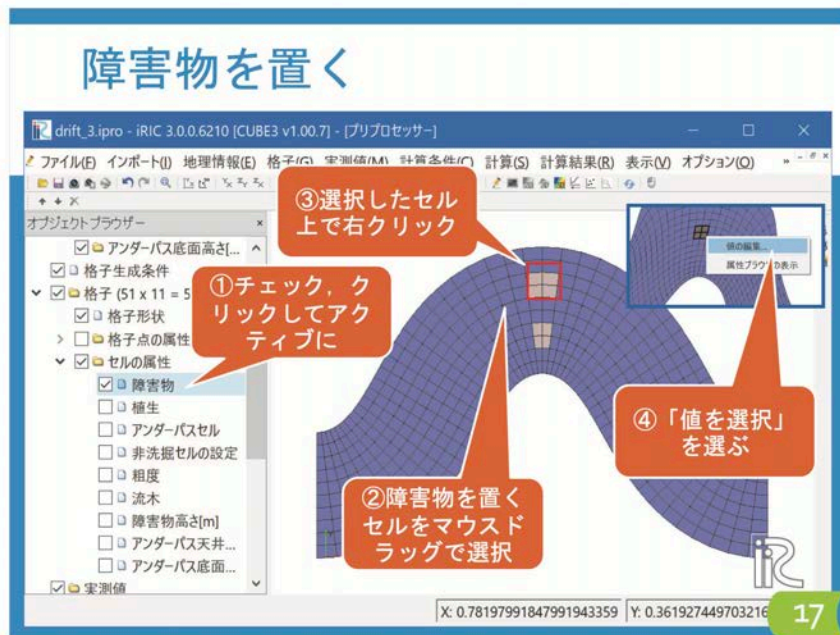


図-3 iRIC NaysCUBE_Ver_3_1で橋脚のような障害物を置く方法(木村によるチュートリアルより再掲)

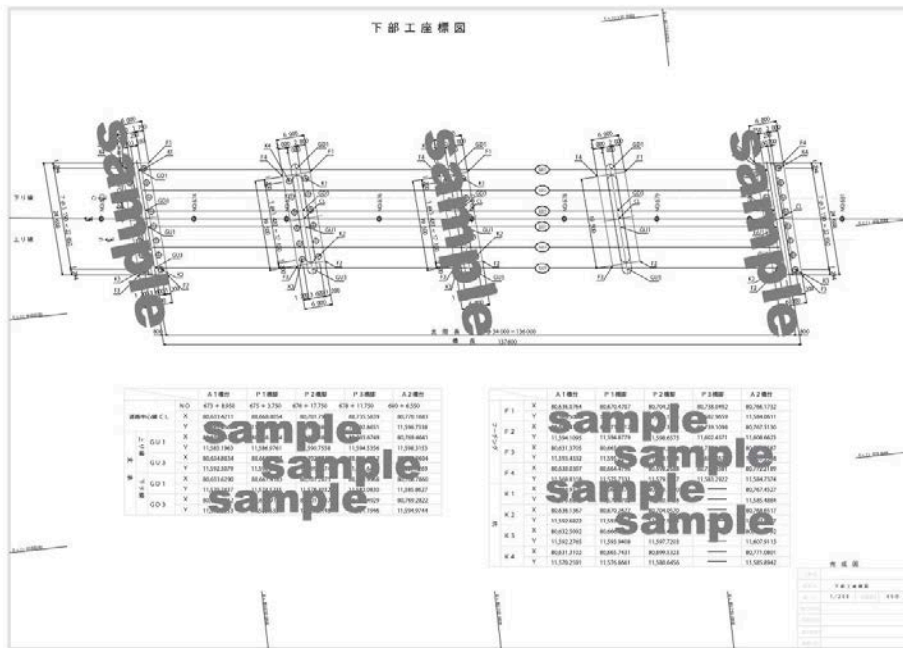


図-4 橋梁の下部工座標図。平面直角座標で記載されている。データ変換すれば緯度経度にすることも、iRIC内の座標にすることも可能である。

3.3 キャストと疎結合

ここでは、具体的に気候変動対策で計画高水流量が $(1+\alpha)$ 倍になったときの既存河川における計画高水流量発生時の橋梁橋脚の影響による河床変動を計算するという目標で、橋梁に関するデータを準備しようとする。

その際、1) 読み取りたい情報(テンプレート)を決めること、2) 疎結合なプログラム構成、3) クラス間のキャストによるデータ変換が重要である。

1) テンプレートの決定

ある橋脚の下部工座標図である図-4の設計図には3つの橋脚が、2つの橋台に挟まれていて、それらの中心座標や四隅の座標が記されていて、座標は平面直角座標となっている。

下部工座標図からソルバー（例えばiRIC）用の入力ファイルを自動生成するためには、ソルバーの入力ファイル内での橋脚の表現が重要である。たとえば図-3では左から*i*番目で、下から*j*番目の格子点は橋脚であるという情報のフォーマットのことである。

「データ統合・データ変換」の分野ではそれを「テンプレート」（大谷ら、2014a および 大谷ら、2014b）または「パラメトリックモデル」（国土技術政策総合研究所、2020）と呼んでいる。ここでは「テンプレート」で統一する。

入力すべき値とその表現方法である「仕様」がテンプレートとして定まれば、設計図から読み込んだ値あるいは値の組を変換して仕様にあわせて出力することになる。しかし、コンピュータは出力にあわせて入力ファイルをスキャンすることは得意ではなく、とりあえず入力ファイルを全部読み込み、入力ファイル内で体系化して、ある種のモデルを形成して、その中から出力の仕様にあわせて出力することになる。

2) 疎結合

一般的にはコンピュータによるファイルの読み込み、変換、出力を一つのプログラムで書ききろうとするが、そのようにすると、入力ファイルの組と出力ファイルの組の積だけプログラムが必要になることを上述した。それを回避する図-2のようなデータ変換を行うためには、疎結合の概念を導入しなくてはならない。

疎結合とは、システムの構成要素間の結びつきや互いの依存関係、関連性などが弱く、各々の独立性が高い状態のことである。プログラムはライブラリによって機能を向上することができ、ライブラリの間は疎結合とする。すなわち、入力して記憶領域に確保するプログラムライブラリ、変換のプログラムライブラリ、出力のプログラムライブラリが明確に分かれていれば、フォーマットの3倍（入力、出力、変換）だけのプログラミングの組み合わせで実装できる。大谷（2022）ではより数学的、論理的に上述の説明をしている。

3) クラス間のキャストによるデータ変換

大谷（2019）では、外部のデータを参照しながらアップキャストとダウンキャストの両方が実行できる柔軟なデータ変換が可能と述べている。したがってDPPの中では読み込んだデータを適切な型にキャストしながら変換の連鎖をたどって必要な型形式に変換する。変換のプログラムはフォーマットの数より1つ少なくてもよい。それにより、例えば図面内の小座標から国土地理院の平面直角座標を経て緯度経度に変換するようなことが可能になる。

このことは文脈下での等しさの概念になる。図面の小座標の原点と国土地理院の平面直角座標のある点が一致しているという文脈（条件）において、図面内の位置は平面直角座標と等しい。また、平面直角座標の系番号が定まっているという文脈において、平面直角座標と緯度経度は等しい。（注2：DPPの中では変換の連鎖をたどることも自動で、ダイクストラ法を使った最短経路を用いる。したがって、利用者は変換経路があることさえ認識していれば、後は自動的なキャストに任せて変換が完了する。変換経路を追加して変換の効率を改善できる。）（注3：一般的には構造物の存在場所が〇〇県内だけであるという前提を使って、ある系番号だけを使ってプログラムを書いてしまう。すなわち文脈を暗黙的にプログラムに組み込んでしまう。また、変換プログラムの引数に系番号と座標点を要求する、すなわち文脈とのセットを意識する方法などがある。より柔軟には図面を読んだときに文脈として系番号を与える方法もあり得る。）

現代の土木工学のデータは、社会的データも含んで複数の構成要素からなっているので、オブジェクト指向言語のクラスを用いて表現される。この場合クラスは複数の型からなるデータと、そのデータを加工する関数の集合だと考える。

土木工学で扱う概念や、社会のデータが表現する概念は、スーパークラスとサブクラスの関係が一意に決められないものが多い。例えば、上述の例で河床材料と被覆の結果を、河道技術会議資料と「照らし合わせて」、粗度係数を決定する。すなわち、礫河川の粒径分布を観測した後でシミュレーションをする場合には代表粒径から粗度を推定する。しかし、大規模なシミュレーションをする時には、河道技術会議資料の粗度から逆に代表粒径を推定して、河床材料として与えることもある。すなわち、クラス間のアップキャストとダウンキャストを繰り返す必要がある。

4. 水工シミュレーション以外のデータ統合・データ変換

4.1 橋梁の3次元モデル作成

大谷, 大石, 堀 (2019) では, 2次元CADデータの中で図面に描かれている構造物名, 平面図なのか下部工座標図なのかといった図面名や, 担当事務所名などが記載された表題欄を読み込む仕組みが説明されている。ここでは, 読み込んだ情報木構造の発達が図面の認識に相当している。

例えば図-5では, 最上段の図は線分, 円, 文字列が読み込まただけで並列に認識されているが, DPPが持つ知識には, 「テキストバレーン: 円と文字列からなっていて, 文字列が円に含まれている」というルールがあるので, 円と文字列をテキストバレーンと認識し, また, 「テキストバレーンのサブクラスの引き出し線付きテキストバレーン: 円と文字列と線分からなっていて, 円と線分が近い」というルールがあるので, 一部を引き出し線付きテキストバレーンとして認識したことを示している。

DPPは表題欄だけでなく, 橋台・橋脚・支承・桁からなる橋梁のCADファイルを読み, その中の数字・文字・線などの組み合わせを, 対象としている橋梁のテンプレートの変数への当てはめに用いて, 図-6のように図面から橋梁の3次元モデルを作成することができる。

水工のシミュレーションで用いるためには, 下部工だけを図面から読み込めばよいので, 上部工に比べれば対象の多様性が限られ, また, 内部の配筋も必要でないことが多いので実際のシミュレーションに活用しやすいものとする。



図-2 図面解釈のための初期木構造

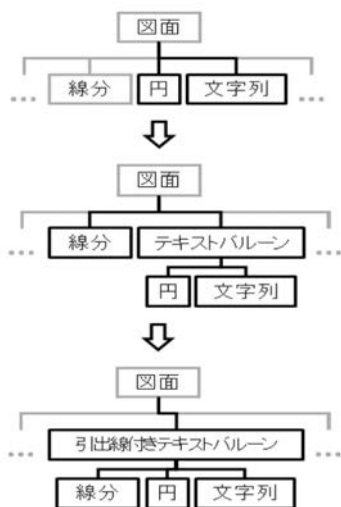


図-5 読み込んだ情報の木構造の発達
大谷ら (2019) を再掲

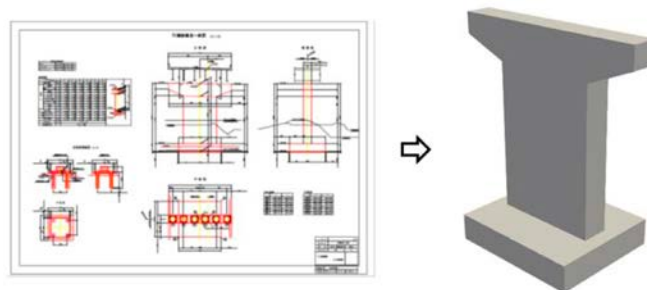
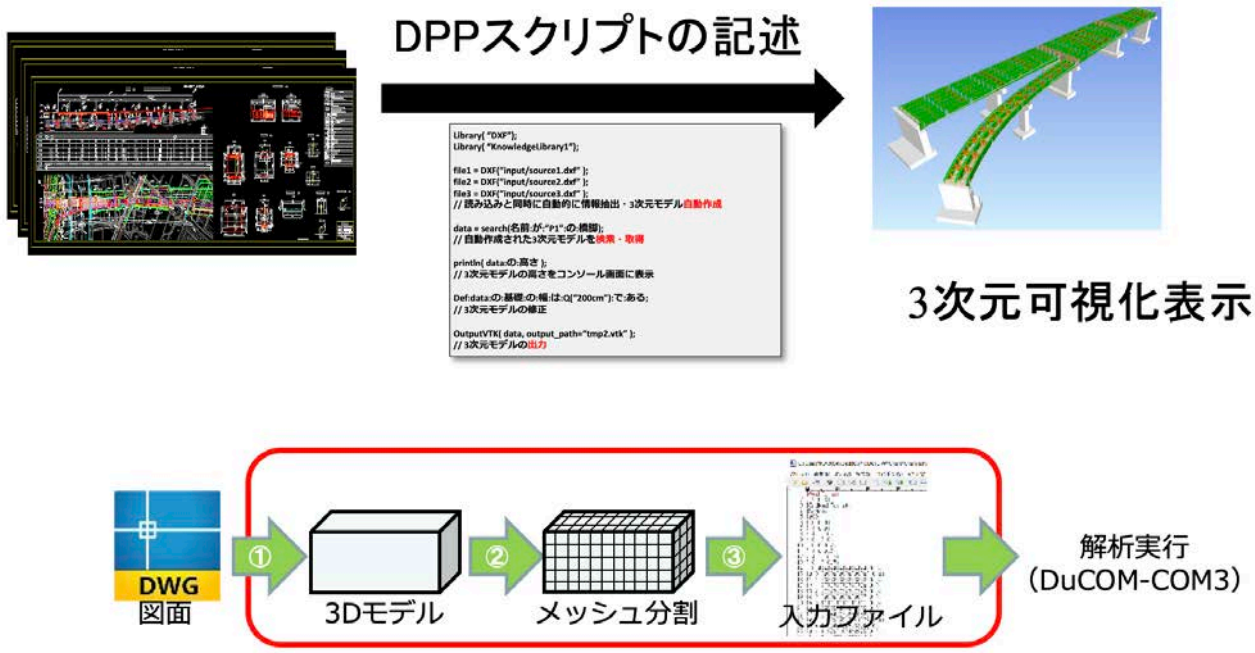


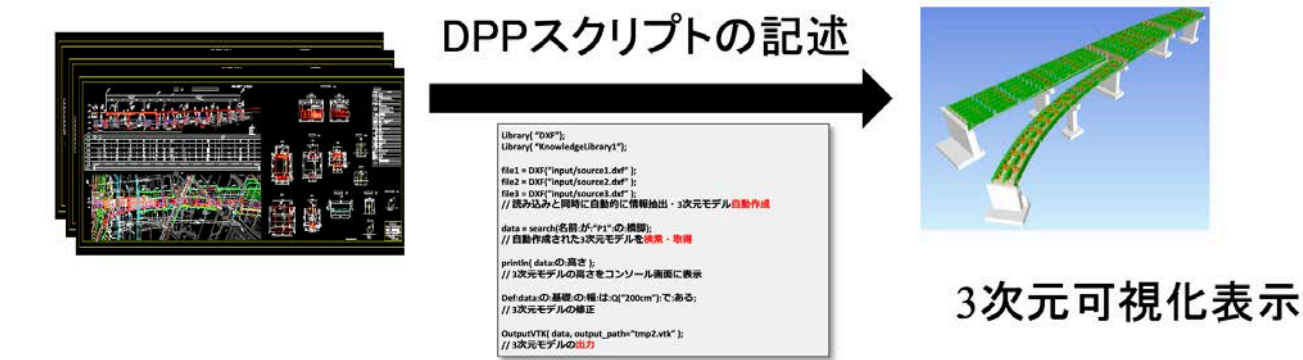
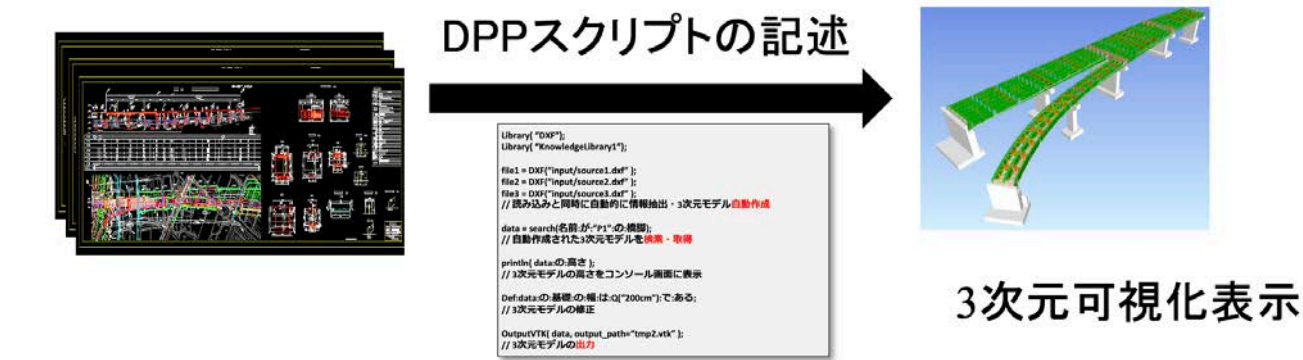
図-6 2次元CADデータから3次元モデルを生成

4.2 コンクリート床版の内部の疲労シミュレーション

Yoneda *et al.* (2022) では、DPPが自動で解読してテンプレートにあてはめた橋梁の床版について、配筋情報も含めて自動でGmshファイルに書き出してメッシュを切り、大型トラックのような重量物体がその上を通過する際のFEMを実施している。通過回数を交通量にあわせることで現状の疲労を、今後の交通量を見込むことで余寿命を、算出することができる。また、計測可能な場所で残留ひずみを計測してシミュレーションと比較すれば、計測不可能な場所の致命的な疲労をあらかじめ探知することが可能になる。

具体的には、7でコンクリート床版のCADデータから3Dモデルを出力する①の部分は4.1節で説明した方法を用いている。3Dモデルからメッシュ分割をするためのメッシュャーに用いるファイルを出力する②の部分が本節の内容である。メッシュ分割から入力ファイルを作る③の部分はメッシュャーが行っている。

本研究では東京大学コンクリート研究室が開発してきたDuCOM-COM3プログラムを解析に用いるので、専用のメッシュャーが用いられている。しかし、例えばメッシュ分割をGmshで行う場合には②の部分への入力はgeoファイルになる。

有限要素法の入力ファイル（有限要素法モデル）は形の他に力学に関するパラメータを持っていて、それはコンクリートの体積当たりの鉄筋量（鉄筋比）などで決まる。したがって、体積当たりの鉄筋量すなわち鉄筋の位置や径が必要になる。DPPでは鉄筋に関する配筋図などを読み込み、鉄筋の位置と径などを把握して出力することが可能になる。8の左下は床版の配筋について示したものであり、8の右上はそこから得られたものをメッシュャーにかけた有限要素法モデルである。

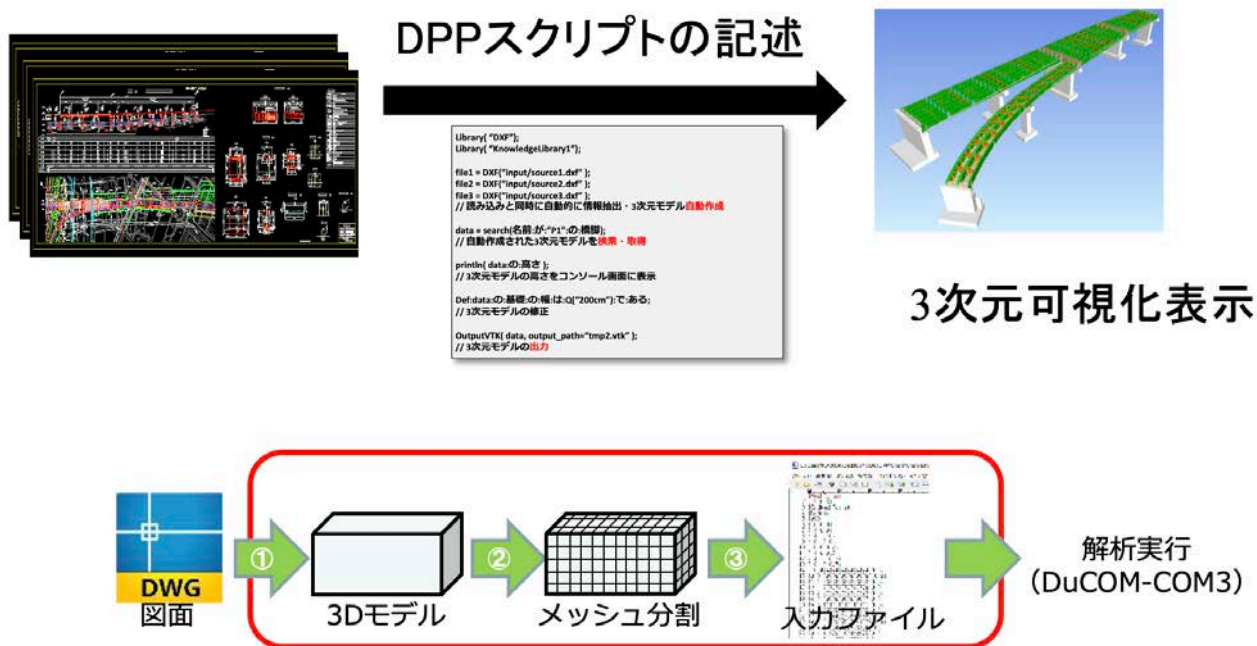


図-7 2次元CADデータからFEM解析用の入力ファイルを作成するためのスクリプトと解析の流れ

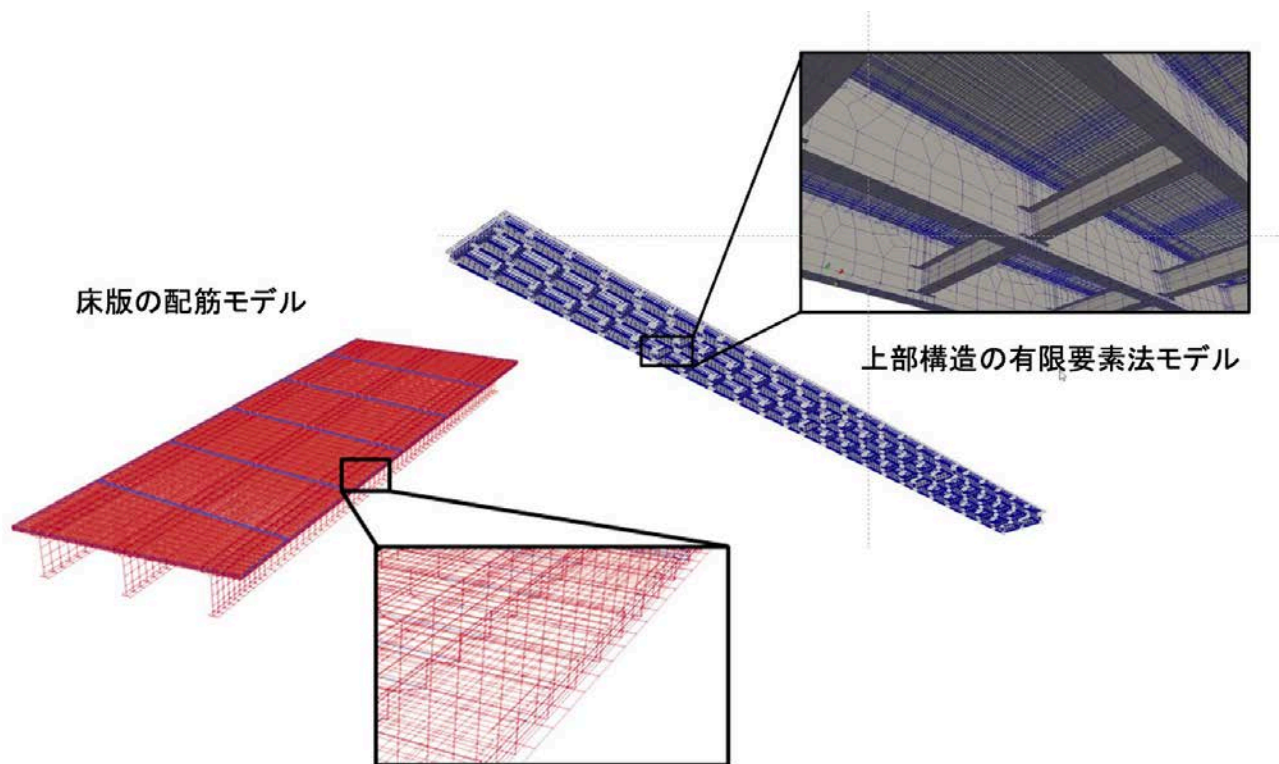


図-8 2次元CADデータから3次元モデル化した床版の配筋（左下）とそれを変換したFEMモデル（右上）

4.3 地盤シミュレーションへのデータ統合・データ変換の活用

Takeyama *et al.* (2021) は、地盤のDEMとボーリングデータを入力情報として、DPPを使ったデータ統合・データ変換を行うことでFEM用の地盤グリッドモデルを作成した。

図-9では、ボーリングデータ（左上のXML）とパラメータマップ（右上のCSV）から、データ統合・データ変換を行う流れについて示している。Ground::GridModelはGroundというネームスペースでのGridModelという関数を使ってボーリングデータとパラメータマップを統合する。図-10は図-9中の破線部「DPP」を実施するスクリプトを示していて、わずか12行で地盤グリッドモデルの出力まで完了している。上述したGround::GridModelはスクリプト中では7行目から10行目に表されていて、ボーリングデータに土質タイプを統合してグリッド化する部分が9行目で、その出力結果はgmodelというクラスとして生成される。gmodelクラスの関数gmodel.ApplyにN値と土質タイプを使うパラメータマップを適用することで統合がなされている。1行目から5行目は用いるライブラリをインポートしていて、6行目はインターネット上のXMLファイルの読み込み、9行目と10行目で図-11に示すN値から材料パラメータを決める式群などを用いて変換を行う。11行目と12行目は出力であり、図-12に示すような出力がなされる。

実際にはGround::GridModelはC++で書かれたクラスの定義や関数のプログラムになっていて、それをDPPで使えるようにするためにはある程度の訓練が必要になる。現在はわかりやすいドキュメントやチュートリアルを用意している段階であり、図-11に示すN値から材料パラメータを決める式群などをC++言語を用いてプログラムを書き、DPPに入れられる研究者・技術者を養成している。Pythonの発展によって誰かが作ったプログラムが容易に再利用できることで、データの処理が容易になったように、DPPも誰かが1回変換プログラムを書いてそれをライブラリとしてDPPに登録すれば、後は数行のスクリプトでそれを使うだけになり、工数を大きく削減することができる。

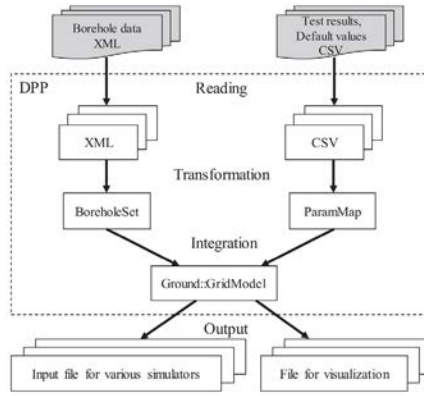


図-9 DPPを使った地盤グリッドモデル作成のフローチャート
(Takeyama *et al.* 2021のFig.2, IEEE許可番号5330081326046)

```

1 library("Quantity");
2 library("XSD");
3 library("CSV");
4 library("ParamMap");
5 library("Ground");
6 bdata = BoreholeXML( dir_xml );
7 table1 = ParamMap( "condition1.csv", "parameter1.csv" );
8 table2 = ParamMap( "condition2.csv", "parameter2.csv" );
9 gmodel = Ground::GridModel( bdat, table1, 5 );
10 gmodel.Apply( table2 );
11 OutputCSV( gmodel, "grid.csv" );
12 OutputParticle( gmodel, "grid.particles", param_name="Nvalue");

```

図-10 地盤グリッドモデル作成のためのDPPスクリプト
(Takeyama *et al.* 2021のFig.11, IEEE許可番号5330100896705)

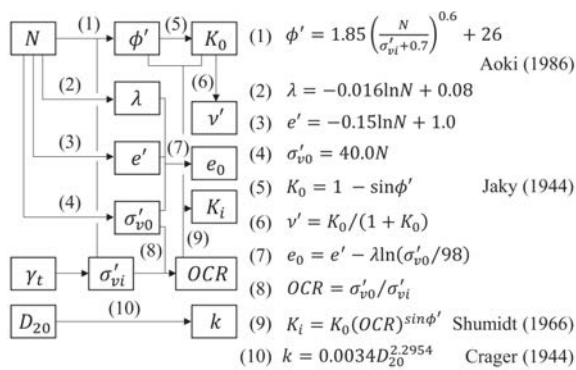


図-11 N値から材料パラメータを決める式群
(Takeyama *et al.* 2021のFig.6, IEEE許可番号5330081326046)

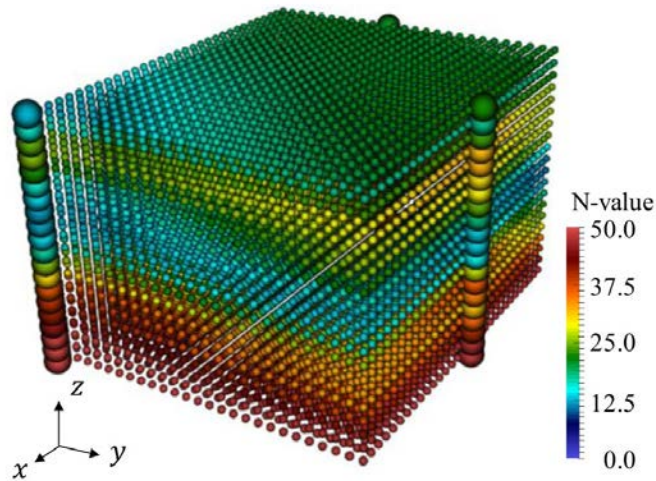


図-12 得られた地盤グリッドモデルのイメージ
(Takeyama *et al.* 2021のFig.12, IEEE許可番号5330081326046)

伊藤ら（2022）は、上述の方法を用いて神戸市灘区のボーリングデータ157本を用いて図-13に示すような地盤グリッドモデルを作成し、3次元有限要素法による地震時の地盤応答シミュレーションをFLIPで実施して図-14に示すような結果を得た。その際に地盤グリッドモデルの作成に要した時間は30分であったと報告している。このようにシミュレーションの工数を大幅に削減することが可能になってきている。

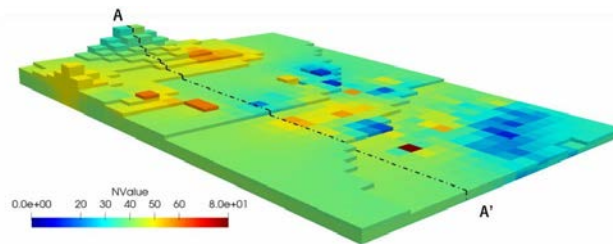


図-13 神戸市灘区の3次元地盤グリッドモデル（伊藤ら，2022の図-3）

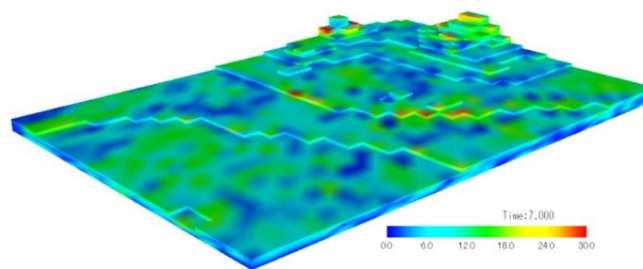


図-14 FLIPを用いて解析した振動中の地盤加速度（伊藤ら，2022の図-5）

4.4 管水路問題の自動化

山本（2020）は、図-15の上図のような管水路問題を2次元CADデータに変換して、自動でその解を算出する手法を開発する際にDPPを用いた。管水路のCADでは図-15の下図として示すように管路長さ、勾配、径が管路の脇に添えられている。DPPを使って2次元CADデータを読み込み、テンプレートに当てはめて出力し、出力された代数方程式を制約付き最適化問題として解いた。それを応用して論文では5本の管、その後の検討では20本の管が順次合流するような問題にも適用して、解けることを確認した。

この例は水理学の問題を解く際に使われるだけでなく、下水道のGISあるいはCADデータから満管時の流量や水圧を計算することに応用可能である。

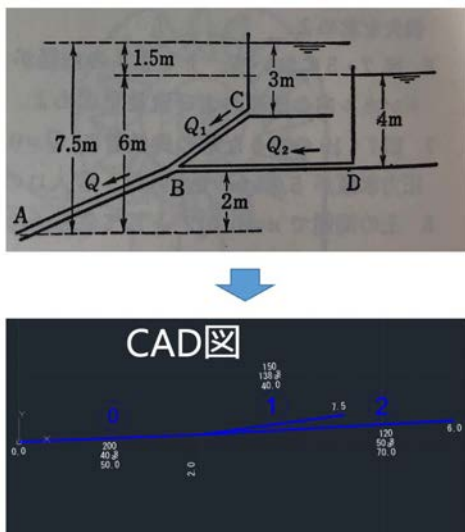


図-15 管水路の2次元CADデータから流量を解く問題の例（山本，2020より）

5. おわりに

ここでは、シミュレーションを用いた河川管理を実施することを想定して、シミュレーション用の入力ファイルを作る際の工数削減方法について述べてきた。その際にデータ処理プラットフォーム（DPP）（大谷ら，2019）の考え方を紹介した。

具体的に水工学に関連する活用を行うことができる状態で講習すべきとも考えたが、いち早くデータ統合・データ変換に関する先駆的研究を紹介して水工学の分野で多くの方が取り組めるようになることが重要と考えて、既存の他分野の成果の資料をまとめて提供する。

2022年5月に愛知県を流れる矢作川の明治用水頭首工で漏水が起きた。漏水の原因解明のための1つの手段はシミュレーションによる解析であろう。そのためには河床地盤のモデルと頭首工のモデルが必要になる。今回は事故が起きたので、おそらく詳細な現地計測がなされて数値シミュレーションが行われるであろう。その結果、同年代に作成された同種の頭首工を調査することになった場合にはシミュレーションによる対応が可能であろうか？現状では解析の準備にかかる費用と工数のためにそのような対応をとることは困難ではないかと考えられる。しかし、データ統合・データ変換による自動化ができれば、既存データを使ってシミュレーションによる解析が可能になる。

付録

A.1 国交DPPにおける表現

2022年6月1日時点で国交DPPに登録されている橋梁に関するデータ

```
{
  "type": "Feature",
  "geometry": {
```

```

"type": "Point",
"coordinates": [
  135.24908,
  34.71545
]
},
"properties": {
  "分野名称_1_code": "04",
  "分野名称_1": "道路",
  "分野名称_3": "国道2号",
  "分野名称_4_code": "D010",
  "分野名称_4": "橋梁",
  "施設名称": "石屋川橋",
  "管理者名称_1_code": "021",
  "管理者名称_1": "国の機関-国土交通省",
  "管理者名称_2_code": "06",
  "管理者名称_2": "近畿地方整備局",
  "管理者名称_3_code": "-",
  "管理者名称_3": "-",
  "都道府県_code": "28",
  "都道府県": "兵庫県",
  "施設所在地1": "神戸市",
  "位置_緯度": 34.71545,
  "位置_経度": 135.24908,
  "時期_完成もしくは供用開始年": "1926",
  "橋長": "9.6",
  "幅員": "28.1",
  "点検の結果 総合": "I",
  "点検実施年度": "2020年度",
  "施設名フリガナ": "(イヤガワハシ)"
}
},

```

これではシミュレーションはほぼ不可能である。短絡的に考えれば、一般財団法人日本建設情報総合センター（JICIC）のコリンズやテクリスに登録されている工事実績情報と国土交通データプラットフォームが結びつけられて設計図を見ることができれば、基礎データは入手可能である。しかし、セキュリティの観点から、コリンズやテクリスや詳細な設計図を全部公開することは困難であろう。一方で、シミュレーション用のテンプレートを用意して、DPPが自動でテンプレートにあった情報を出力するのであればセキュリティの問題は解決されるのではないか。すなわち、設計図そのものをダウンロードすることでセキュリティの問題が生じるのであれば、クラウド上で設計図から必要情報だけを抜き出してユーザーが必要な情報だけを提供する方法を提案する。現状では国土交通データプラットフォームなどはクラウド上のシステムであるので、クラウド間でAPI（Application Program Interface）を使ってセキュリティの問題のない情

報だけをやりとり可能である。さらに言えばシミュレーションプログラムもクラウド上において無駄なデータトラフィックをなくし、要求に対して結果だけが出力されるようになるのが望ましい。

参考文献

Takeyama, T., O-tani, H., Oishi, S., Hori, M., Iizuka, A., Automatic Construction of Three-Dimensional Ground Model by Data Processing, in IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 26, no. 6, pp. 2881-2887, 2021, doi: 10.1109/TMECH.2021.3105062.

Yoneda, T., Fang, J., Otani, H., Tsuchiya, S., Oishi, S., Ishida, T., Development of a 3D Finite-Element Modelling Generation System Based on Data Processing Platform and Fatigue Analysis of Full-Scale Reinforced-Concrete Bridge, ABSE Congress Ghent 2021 - Structural Engineering for Future Societal Needs, 2021.

伊藤輝, 竹山智英, 大谷英之, 広域の三次元有限要素モデルの自動構築とFEM解析プログラムへの適用, 地盤工学会研究発表会要旨, 2022.

大石哲, 日本インフラの「強み」と「オリジナリティ」はどこに? —求められる将来に向けた『進化』— [第27回|No.26] 大量データの管理と活用 —土木分野における大規模数値シミュレーションの展開—, 土木学会誌 Vol.106-6, 2021.

大谷英之, 陳健, 堀宗朗, 異種GISデータに記録された構造物の3D形状と属性情報の自動関連付け, 土木学会論文集A2 (応用力学), Vol.70 No.2, pp.I_631-I_639, 2014a.

大谷英之, 陳健, 堀宗朗, 地震応答解析の堅牢な自動構築のための床形状判読手法の開発, 土木学会論文集A2 (応用力学), Vol.70 No.2, pp.I_1124-I_1131, 2014b.

大谷英之, 大石哲, 堀宗朗, 2次元図面の自動判読の精度に応じた柔軟かつ堅牢なデジタル橋梁自動構築手法, 第1回 i-Constructionの推進に関するシンポジウム論文集, II-④-4, 2019.

大谷英之, 記述形式の自動変換に基づくデータの抽象化がもたらすプログラム再利用性の向上, 地理情報システム学会講演論文集(CD-ROM), 2019.

大谷英之, データ解釈装置、方法及びプログラム、データ統合装置、方法及びプログラム、並びにデジタル都市構築システム, 特許第7042545号, 2022.

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), 2020.

国土交通省 水管理・国土保全局 水災害対策検討小委員会, 気候変動を踏まえた水災害対策のあり方について, ～あらゆる関係者が流域全体で行う持続可能な「流域治水」への転換～ 答申, 2020.

砂田憲吾, 釜無川(富士川)における一洪水による河床変動, 土木学会論文集 第363号/H-4 (報告), pp.235-243, 1985.

砂田憲吾, 手塚裕紀, 林直人, 大出水に伴う富士川上流部の大規模河床変動, 第31回水理講演会論文集, pp.641-646, 1987.

日野幹雄, 太田猛彦, 砂田憲吾, 渡辺邦男, 洪水の数値予報<その第一歩>, 森北出版, 1989.

藤原圭哉, 佐藤誠, 亀田敏弘, 堀宗朗, インフラデータプラットフォームを活用したデータ連係による河床変動解析の効率化に関する研究, 河川技術論文集 第26巻, pp.645-650, 2020.

山本悠生, 下水道管路網自動作成による下水道管理, 神戸大学工学部卒業論文, 2020.

参考ホームページ

CommonMP <https://framework.nilim.go.jp>

iRIC Software <https://i-ric.org/ja/>

木村一郎, iRIC NaysCUBE_Ver_3_1_Tutorial <https://i-ric.org/download/nayscube-iric-v3-tutorial/>

国土交通データプラットフォーム <https://www.mlit-data.jp/platform/>