

建設・施工でのDXに向けた3DEXPERIENCEプラットフォームの活用

清水卓宏

人手不足や新型コロナウイルスによる社会環境の変化は激しい。働き方改革と生産性向上を両立するにはどうすればいいのか。労働時間を減らしても、仕事の質と量を下げることではできない。各企業は生き残りをかけてDX（デジタルトランスフォーメーション）に取り組んでいる。本稿では、DX推進に効果をもたらす以下の項目について報告する。

- ・バーチャルツインとパラメトリックモデル…複数の条件設定に対して結果を検証し、短期間に最適解を導く方法は、生産性向上に貢献する。特に、パラメトリックモデルは重要なカギとなる。
- ・プラットフォームで作業する効果…新たなワークスタイルに対応でき、技術情報、ナレッジ蓄積の基盤となる。

キーワード：DX, プラットフォーム, バーチャルツイン, パラメトリック

1. バーチャルツインによる最適化

(1) バーチャルツインとは

複数のバリエーションを持つパラメトリックモデルから、デジタルツインモデル（現実と双子の仮想モデル）を自動生成し、検証（シミュレーション）を行い最適な検証工程を進めることを『バーチャルツイン』と呼んでいる。以下のプロセスを短期間で繰り返すことで最適化を進め、設計、施工の各段階で適用できる（図-1）。また、シミュレーションとは、複数の設定条件に対して結果を予測し、「条件Bの場合、結果がどうなるか」を検討し、設定条件を評価することである。

- ①複数のバリエーションを持つパラメトリックモデルを作成
- ②パラメータ指定で、デジタルツインモデルを自動生成

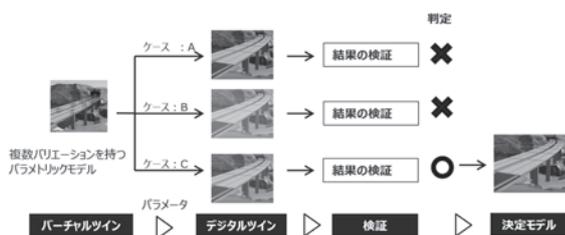


図-1 3DEXPERIENCE/CATIAのパラメトリックの機能でデジタルツインのモデルを作成し、結果の検証を行うことを繰り返すことで、短期間に適正な検討結果に近づけることができる

- ③デジタルツインモデル上で結果を検証する

- ④パラメータを変更し②、③を繰り返して短期間に最適解を出す

(2) バーチャルツインの起源

3D DMU（3D デジタルモックアップ）の手法を1989年頃より航空機産業で推進してきた。航空機の各ユニットは、同時並行（コンカレント）で各社の工場設計／製造が行われ、主工場に集めて航空機として組み立てられる。従来は実寸模型を作成して整合性の検討を行ってきたが、その方法に変わり3Dのデジタルモデル上で検証するようになった（60万点以上の部品で構成される詳細な3Dデジタルモデル上で整合性の検証と調整を行っている）。原寸模型に比べ検証精度の向上、コスト削減、仕様変更への対応時間が短縮され、検証可能な範囲も広がっている。この手法はバーチャルツインの原点となり、自動車、ハイテク、

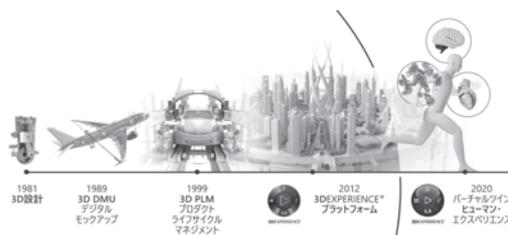


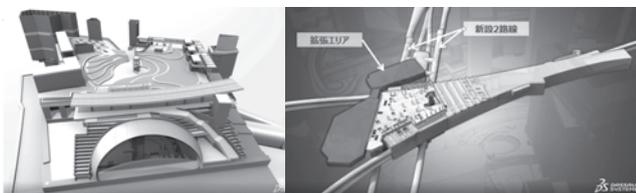
図-2 3D DMUの手法は、3D PLMを経て、3DEXPERIENCEプラットフォームに実装されている。一連の業務を情報基盤としてのプラットフォーム上で実行できる

造船の各業界に浸透し、建設業でも同様の手法の利用が始まっている（図一2）。

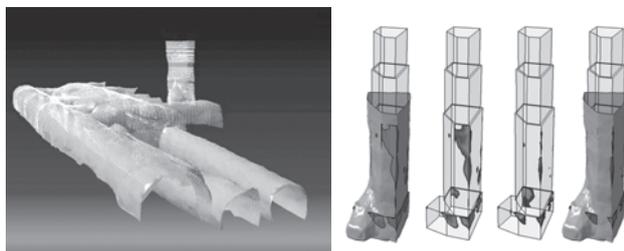
(3) バーチャルツインの事例

建設分野での事例として、香港メトロ 金鐘駅の地下工事がある。香港メトロのビジネス街に位置する乗換駅の地下工事は、シンテグレート社¹⁾が2年以上にわたり取り組み2016年末に完了した（図一3）。

地下コンコースから50m垂直に立ちあがる非常口のシャフトの掘削工事では、測量データから作成した岩盤面のモデルを使い、掘削位置を最適化し、20立米以上の掘削量を削減。2,000～4,000万香港ドル（2.8億円～5.6億円）のコスト削減となった（図一4）。



図一3 既存2路線に新たに2路線が追加される拡張工事で、3万平米を超える地下拡張工事の、34万立米を超える掘削工事でいくつかの技術的チャレンジが行われた（垂直方向が新設の2路線）



図一4 掘削位置を数十センチ単位でずらして、破碎した岩屑を最小化する検証を行い、20立米以上の掘削量を削減。岩屑を地上まで15m垂直に持ち上げて輸送する費用は1立米あたりは、100万から200万香港ドル

既設駅下にボーイング747機がすっぽり入る大空間を、既存の施設を支えながら掘削する工事は一番の難関だった。地下空間に比べ、地上部分はウィンブルドンのセンターコート程度の面積。各セクションをポールで持ち上げて施工する方法の検討がBIM/CIMモデルを使い、繰り返し行われた（図一5、6）。

2. インフラ構造物のパラメトリックモデリング

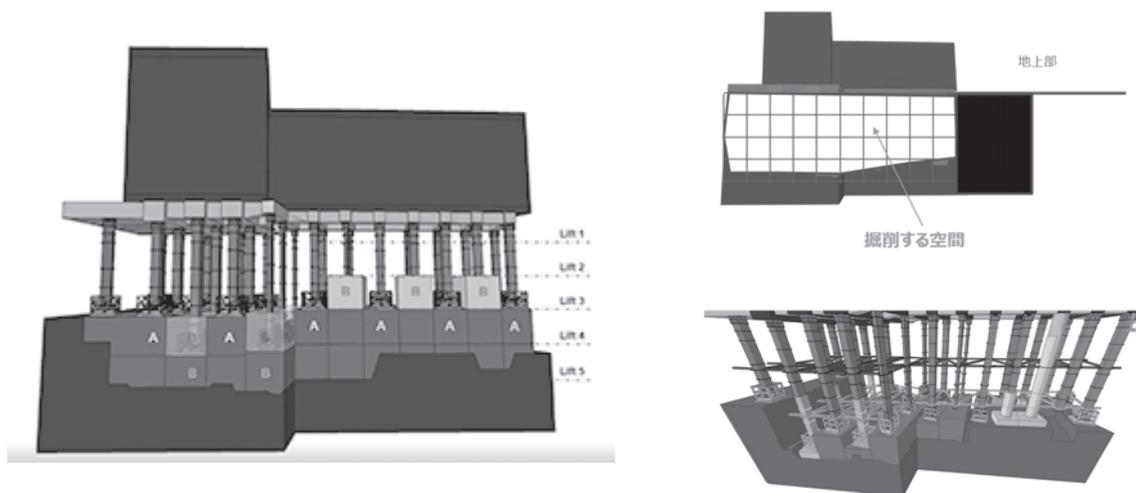
インフラ構造物のパラメトリックモデルの作成手法について、その概要を以下にまとめる。

(1) 道路の計画手順

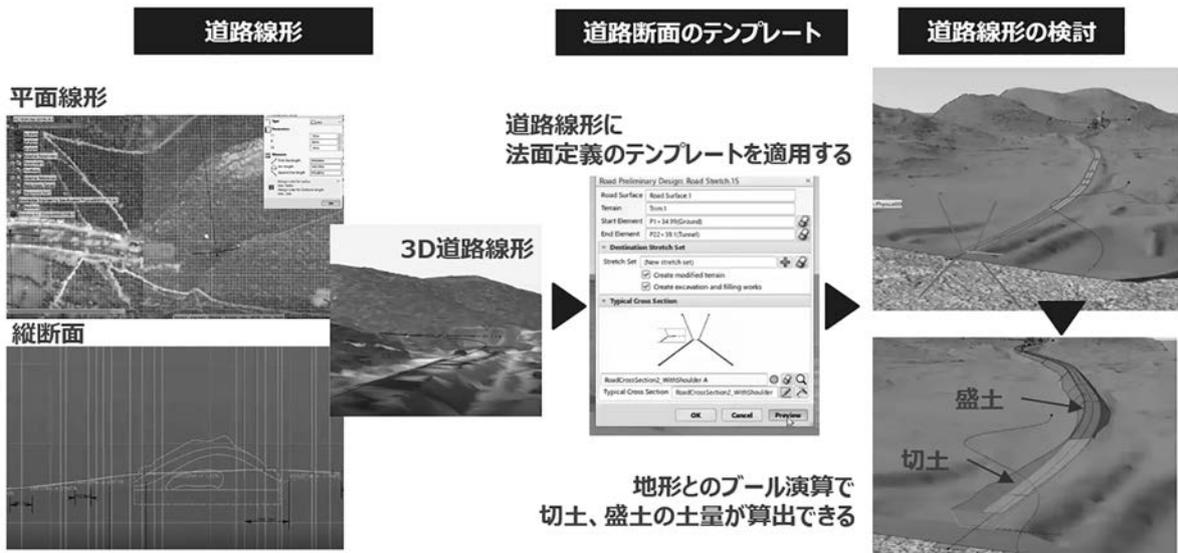
3Dの道路線形は平面線形と縦断面から合成され3D空間に表示される。その線形に対し、各種テンプレートを適用して構造物のモデリングを進める。法面形状を定義したテンプレートを道路線形に適用すると、地形面とのブール演算で切土・盛土の数量が算出できる。この結果を評価し、道路線形の調整を進める（図一7）。



図一5 地下大空間を、既存施設を支えながら掘削する工事は一番の難関。各セクションをポールで支持しながら掘削を進める方法と手順の検討がBIM/CIMモデルで何種類か検討された



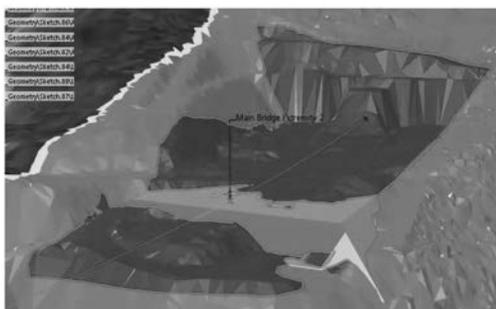
図一6 土塊をブロックとして扱い、施工プロセスをシミュレーションする方法は、適正工法と手順、正確な土量とコンクリート量を把握でき、適正なタイミングでの手配を可能にする



図一七 道路線形に法面定義のテンプレートを適用する。法面テンプレートの上部が切土、下部が盛土の角度を定義している



図一八 道路線形に床板と橋脚のテンプレートを配置する



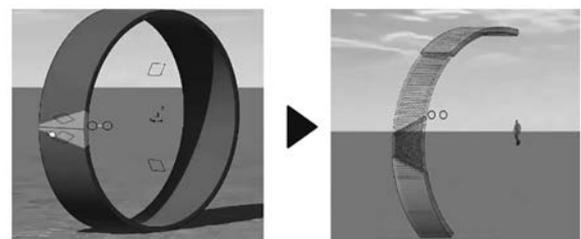
図一九 切土、盛土の形状、土量も表示可能

橋梁部分では、道路線形に床板と橋脚テンプレートを配置する。橋脚の高さは適正な高さに自動調整される(図一八)。

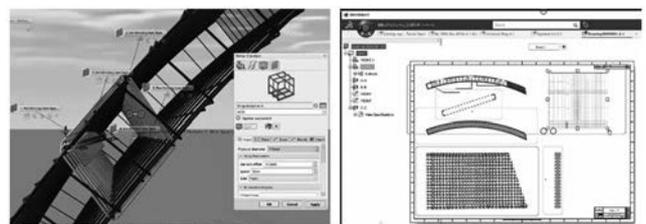
道路取付け位置に部材を配置すると、切土・盛土の量が確認でき、取付位置の調整が行える(図一九)。

(2) 詳細モデルの自動生成

予備設計段階では、LOD 200のモデルを作成し、詳細設計では、LOD 200のモデルに関連付けて配筋詳細まで含むLOD 350のモデルを自動生成する(図



図一〇 左: LOD 200 右: LOD 200 から自動生成した LOD 350 のモデル



図一一 配筋のモデルから、配筋の製作図を自動生成する

一〇)(2つのモデルは関連付けられたモデルとしてプラットフォームで管理される)。

(3) 3Dモデルから図面を生成するテンプレート

製作図は、3Dモデルから図面作成のテンプレートを使用して自動生成する。3Dモデルが更新されると、2D図面も同期して更新される。図面はDWGファイルとして出力ができる(図一〇)。

3. 配筋モデルの作成

(1) テンプレートによる配筋モデルの作成

対象曲面に開始位置とピッチを指定して、配筋テンプレートを適用して配筋モデルを作成する(図一〇

左図)。

各配筋は単独のオブジェクトになり、干渉する場合は位置の調整ができる。配筋の優先順位・移動ルールなど、干渉回避のルールに応じた位置変更の自動処理もできる。

(2) 定着長さ、曲げ方向の変更

配筋テンプレートは、鉄筋径、かぶり厚、定着長さなどのパラメータをもつので、配筋モデル作成後にパラメータを指定してモデル形状を変更できる(図-12右図)。

(3) 鉄筋数量の Excel シート出力

各配筋の属性は、EXCEL シートへの出力もできる。対象の配筋を選択して鉄筋種類、径、長さ、曲げなどのプロパティを EXCEL シートに出力できる(図-13右上図)。

EXCEL と双方向連携しているので、EXCEL シートの値を更新してモデル形状、プロパティの変更ができる。配筋の姿図も出力できるので、工場に渡す加工帳としても使用できる(図-13右下図)。

海外、特に中国では、この数値データを直接加工機に渡し、切断、曲げ加工、タグ付けによる在庫管理、

出荷管理などを行っている。数値データで加工機と連携することは、多大な効果が見込まれる。

4. 施工工程のシミュレーション

(1) 工程シミュレーションの目的

既に決定された工程を時系列で可視化することが工程シミュレーションの目的ではない。他の条件下で工程がどうなるか検証し、最適な工程を選択することが目的だ。工程のシミュレーションツール、3DEXPERIENCE/DELMIA ではパートチャート(ネットワーク型の工程管理ツール)を使用して、工程を組む。構造物の各部位はアイコンとして表示され、工期と資源(重機や労務など)の情報をアイコンに設定できる(図-14)。

このアイコンを矢印でつなげて工程を組む。工程はガントチャートとして表示され、これを時系列に再生してプロセスを確認する。ガントチャート上でも、工程の入れ替えや先行工程の制約、日程調整などが行える。工程の順番を変更するには、アイコン間の矢印を繋ぎ変えるか、ガントチャートの関連付けの変更で行なう(図-15)。

例えば、工期遅れの対策は、アイコンの組み換え、またはガントチャートの条件変更で結果を確認し、適切な対策を検討する。アイコンを→でつなぐ処理は自動化もでき、標準的な工事手順はライブラリ化し、他の工事に流用することができる。

(2) 設計モデルから施工モデルへ構成変更

施工シミュレーションでは最初に、取り込んだ BIM/CIM の設計モデルを施工の作業単位のモデル構成に組み替える。複合モデルは分離し、場合によりモデルを補足、追加する必要がある。設計モデルを製造(施工)のためのモデルに構成変更することは、他産業でも「BOM 変換」と呼ばれる作業で行われている。

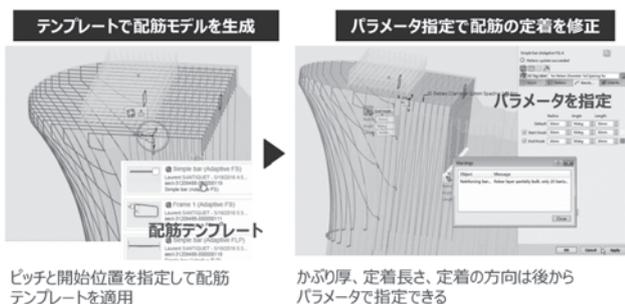


図-12 左図：選択した曲面に配筋テンプレートを適用。曲面に沿って、かぶり厚のパラメータ値で配筋がモデリングされる。右図：定着の方向をパラメータで指定して定着方向を変更する。その他、定着長さもパラメータ指定で変更が可能

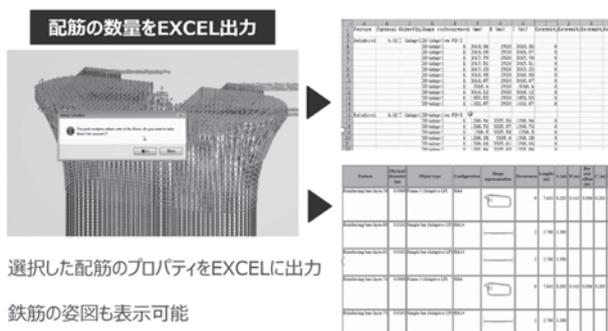


図-13 選択した鉄筋の属性は、EXCEL シートに出力が可能。EXCEL シートの数値指定で、配筋のモデルを更新できる

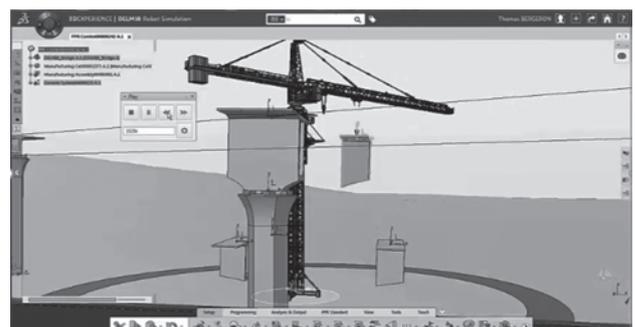
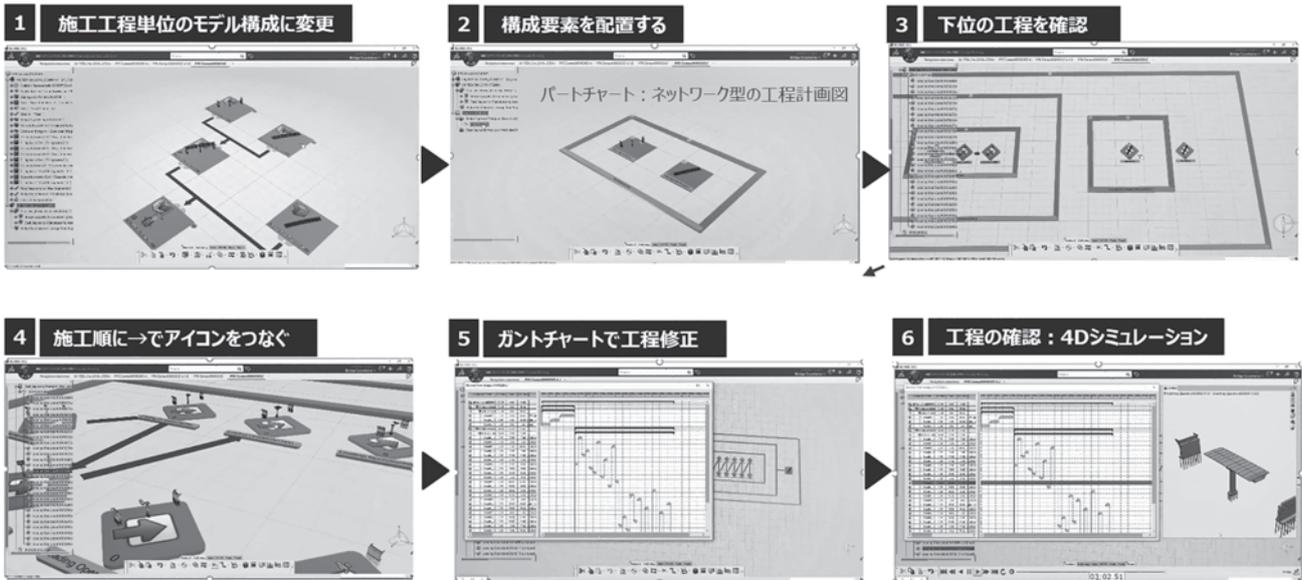
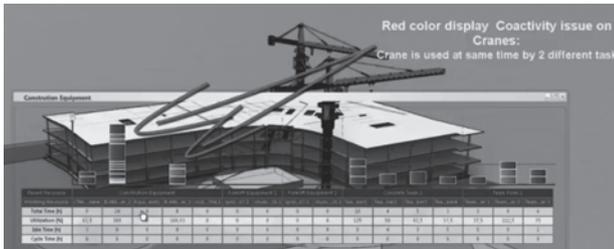


図-14 重機も含めて工程を時系列で確認ができる



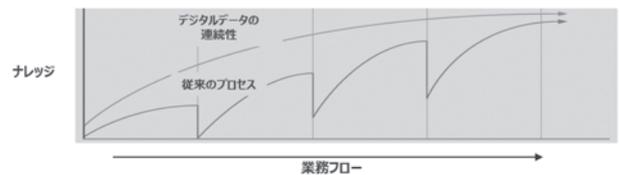
図一 15 構造物の部位のアイコンを配列し、工程順に→でつないで工程を組む。ガントチャートでも工程の修正、工程間の関連を設定ができる。標準的な工程はライブラリ化し、他の工事への流用が可能。アイコンを→でつなぐ作業は、スクリプトで自動処理することもできる



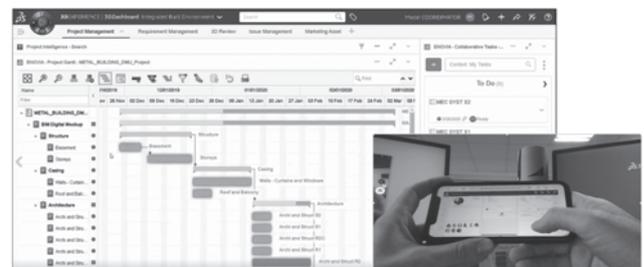
図一 16 クレーンの稼働状況を山積みグラフで表示。矢印部分が複数工程で同時に予約していることがわかる



図一 17 プラットフォーム上で業務が実行され関連する全データは、リレーショナルデータベースで管理される



図一 18 プラットフォームでは、シングルソースのデータを複数アプリで使用するのでデータの欠落がない

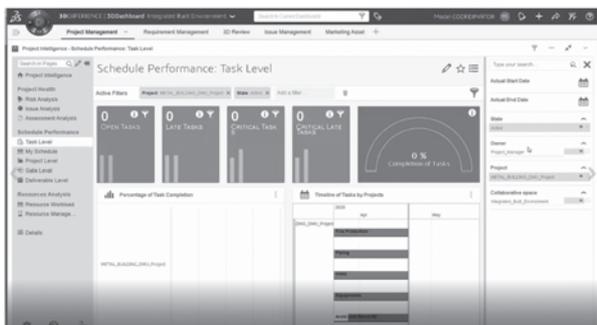


図一 19 モバイルデバイスから情報アクセス、更新可能

5. プラットフォームで作業する効果

(3) 重機に着目して工程を評価する
 各工程には、工期とリソース（重機や労務）が定義されているので、工程をリソースの観点で評価することもできる。
 例えばクレーン稼働状況に着目すると、複数の工程で同じクレーンを重複して予約していることがわかり、工程間で調整が必要なことが検出できる（図一 16）。

(1) 業務のつなぎ目でデータの欠落をなくす
 各アプリは、3DEXPERIENCE プラットフォーム上で実行され、作成したデータはプラットフォーム内にシングルソースで管理される（図一 17）。
 同じデータが各業務アプリケーションで使われ、データの連続性が保たれ、業務のつなぎ目でデータの欠落がない。ファイルベースのBIM/CIMアプリを使用する場合、アプリケーション間でファイル変換が必要なので、変換のロスが発生する（図一 18）。



図一20 ダッシュボードの表示内容は、個人別にカスタマイズ可能

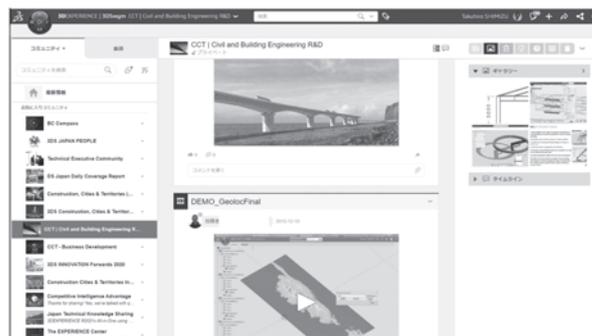
(2) プロジェクト管理

作業の割り当てはプラットフォームから行われ、進捗報告はプラットフォームで管理する。ブラウザベースで情報の参照，入力ができるので，オンサイトでタブレット・携帯電話などでスケジュール確認や情報の入力ができる（図一19）。

進捗や課題を集約して，プロジェクトの状況がダッシュボードにグラフで表示される。案件別，組織別など，様々な切り口で状況の確認ができる（図一20）。

(3) 技術情報のコミュニティ

社内版 SNS のような仕組みがプラットフォームに組み込まれており，蓄積した情報の共有ができる。社内の有識者のアドバイスやアイデアを共有する技術情報のコミュニティを構築できる（図一21）。



図一21 プラットフォームのコミュニティで，情報を公開して，社内有識者のアドバイスやアイデアを共有できる

6. おわりに

働き方改革と生産性向上の両立が求められており，バーチャルツインはそれを実現する有効な手法である。また，プラットフォームの作業環境は，リモート，オンサイトなど，クラウド環境で仕事をするには最適であり，社内のナレッジを集約する仕組みでもある。

JICMA

《参考文献》

- 1) シンテグレート合同会社 <https://syntegrate.jp/>

〔筆者紹介〕

清水 卓宏（しみず たくひろ）
 ダツソー・システムズ(株)
 技術部
 建設・都市・地域開発事業担当

