

国土基盤モデル小委員会 活動報告書

平成 25 年 6 月

1. はじめに

国土基盤モデル小委員会では、山岳トンネルを題材として、プロダクトモデルの作成、活用、3次元表現等の研究を実施している。

平成24年度は以下の4つのWGに分けて、研究活動を行った。

- ・ 統合モデルWG（主査 有賀委員）
- ・ プロダクトモデル検証WG（主査 宇野委員）
- ・ 3次元モデルWG（主査 千葉委員）
- ・ データ連携WG（主査 藤澤副小委員長）

本報告は、各WGの中間研究報告をとりまとめたものである。

山岳トンネルプロダクトモデルの作成と活用方法、山岳トンネルA計測の3次元表現等、実務に適用可能な技術も含まれている。

平成25年度は中間報告の結果および課題を受けて、WGを見直し、具体的な成果を取りまとめる予定である。

平成25年6月現在の国土基盤モデル小委員会のメンバーは下表の通りである。

No.	氏名	役	所属
1	村井 重雄	小委員長	西松建設(株)
2	藤澤 泰雄	副小委員長	八千代エンジニアリング(株)
3	城古 雅典	副小委員長	前田建設工業(株)
4	矢吹 信喜	委員	大阪大学大学院 工学研究科 環境・エネルギー工学専攻
5	有賀 貴志	委員	(株)コンポート
6	宇野 昌利	委員	清水建設(株)
7	北川 悦司	委員	阪南大学 経営情報学部
8	坂上 裕信	委員	(株)構造計画研究所
9	佐田 達典	委員	日本大学 理工学部 社会交通工学科
10	竹内 幹男	委員	福井コンピュータ(株)
11	千葉 洋一郎	委員	(株)トリオン
12	徳永 貴士	委員	大日本コンサルタント(株)
13	西垣 重臣	委員	(株)キック
14	西木 也寸志	委員	日本工営(株)
15	藤津 克彦	委員	(株)建設技術研究所
16	古屋 弘	委員	(株)大林組
17	宮本 勝則	委員	(一財)日本建設情報総合センター
18	緒方 正剛	委員	(財)先端建設技術センター
19	浅賀 泰夫	委員	(株)大本組
20	岡嶋 正樹	委員	パシフィックコンサルタンツ(株)
21	椎葉 航	委員	伊藤忠テクノソリューションズ(株)
22	松尾 健二	委員	前田建設工業(株)
23	井上 修	委員	オートデスク(株)
24	児玉 直樹	委員	(株)建設技術研究所

統合モデル WG

メンバー 有賀，城古，西木，宮本，松尾

活動記録

- 2012 年 9 月 11 日 山岳トンネルモデルに対する検討事項の整理について
出席者：有賀，城古，西木 場所：土木学会
- 2012 年 10 月 24 日 山岳トンネルモデル作成プランについて他
出席者：有賀，城古，西木 場所：土木学会
- 2013 年 3 月 8 日 山岳トンネルモデルの作成方針について他
出席者：有賀，城古，西木，宮本 場所：土木学会
- 2013 年 5 月 1 日 山岳トンネルモデルおよび数量算出モデルの概念の整理他
出席者：有賀，城古，宮本，松尾 場所：土木学会

目次

1. 統合モデル WG の活動の概要
2. 山岳トンネルのプロダクトモデル
 - 2.1 プロダクトモデルの有効性
 - 2.2 要素の構成概念
 - 2.3 IFC の拡張
 - 2.4 プロダクトモデルによる形状の表現方法
3. 数量算出モデル
 - 3.1 数量算出モデルの目的
 - 3.2 要素の構成概念
 - 3.3 数量エンティティの定義
 - 3.4 数量エンティティと形状エンティティの関連

1. 統合モデル WG の活動の概要

統合モデル WG は、「IFC 山岳トンネルプロダクトモデルスキーマとデータ実装」を研究テーマとして活動を開始した。

IFC 山岳トンネルプロダクトモデルスキーマの作成については、その準備段階として、プロダクトモデルの要素を整理するための要素の概念構成図を作成し、IFC への対応の検討および、プロダクトモデルによる形状の表現方法の研究を行った。

データの実装においては、3次元プロダクトモデルの作成により、多大な効果が得られると考えられる数量算出に着目し、従来手法ではプロダクトモデルに属性として数量情報を付加していたものを、積算・見積りの精度を向上させるために、新たに数量算出モデルを定義し数量エンティティと形状エンティティの関連についての研究を行った。

2. 山岳トンネルのプロダクトモデル

2.1 プロダクトモデルの有効性

建築分野で用いられている BIM (Building Information Modeling) は、建物のライフサイクルを通じて、プロダクトモデルのデータを異なる専門分野の技術者が共有しながら、設計・施工・維持管理等の業務を進めるもので、業務の効率化、低コスト化、ミスや手戻りの削減、高品質化等への取り組みが行われている。この手法を土木分野における情報化施工等に応用する CIM (Construction Information Modeling) の方向性が示されている。

プロダクトモデルは、用途、目的などに応じた無数の使い方が可能であり、様々な場面や文脈に柔軟に対応することが可能である。プロダクトモデルにより山岳トンネルのデータを共通化することで、ライフサイクルの様々な局面においてデータの一貫した運用、交換が可能となる。

山岳トンネルのデータを構成するプロダクトモデルの中核として、形状モデルを想定する。図 2.1 に示すような山岳トンネルのライフサイクルにおける様々な局面において、形状モデルを共通化することで目的に応じた情報の展開が可能なデータ構成を想定する。



図 2.1 プロダクトモデル運用の概念

2.2 要素の構成概念

山岳トンネルのプロダクトモデルの要素を整理するため、図 2.2 に示す構成概念を作成した。図 2.2 は、主として NATM 工法による山岳トンネルを想定し、構造物を構成するための主要な要素を示したものである。

設計および施工条件によっては図 2.2 に示す要素以外に必要な要素や、さらに要素を細分化する場合もある。そのような場合、プロダクトモデルの利点の一つとして、既存の要素構成を変更することなく、必要な要素を加えることができる。

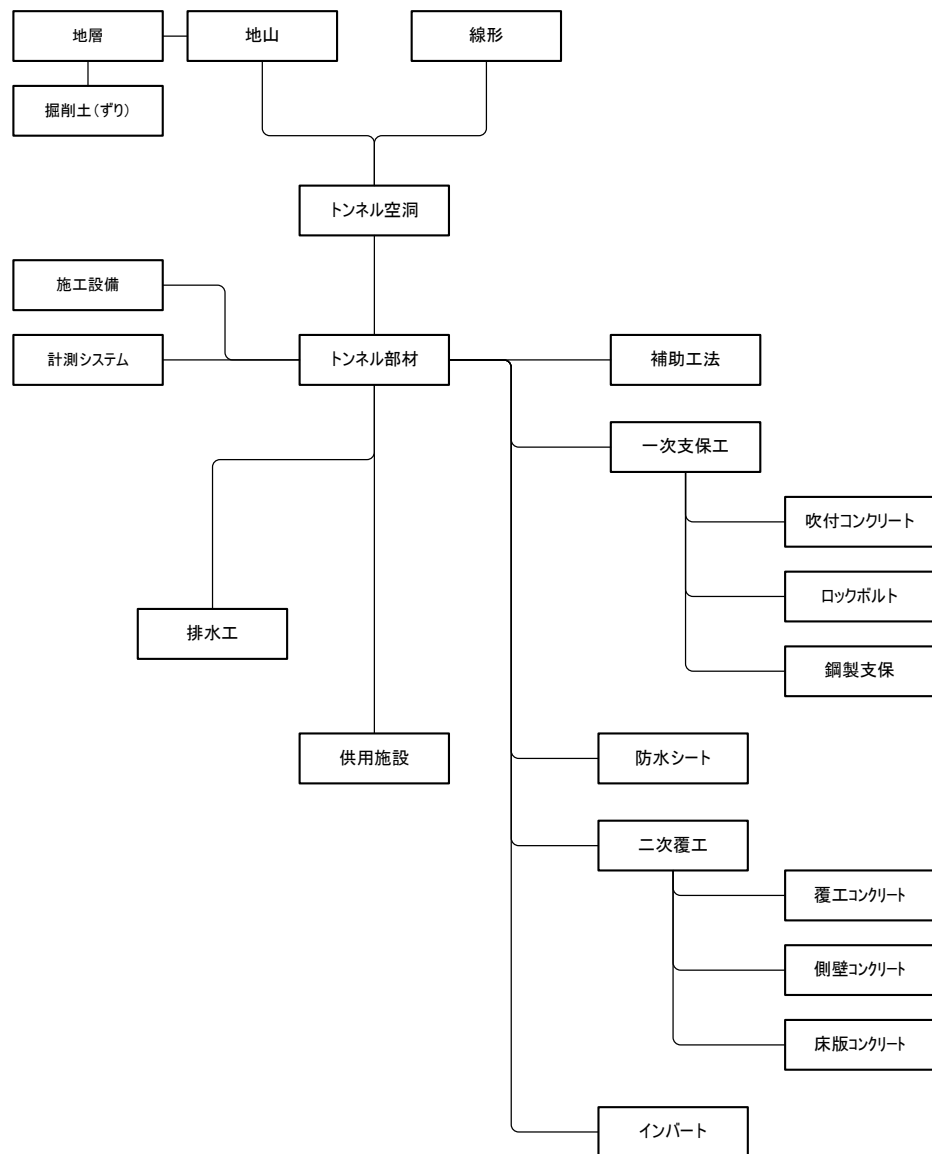


図 2.2 山岳モデルに関する要素の構成概念

2.3 IFC の拡張

BIM におけるデータフォーマットの中心として IFC (Industry Foundation Classes) が用いられている。IFC では、建築分野の構造物等に関する形状、空間関係、属性情報等が定義されている。また、対応する市販の 3 次元 CAD システムも多く、BuildingSMART により IFC の国際標準化について本年 3 月 21 日付で正式に国際規格として発行された。

既存の IFC の要素（以下、エンティティという）には山岳トンネルに関するエンティティは定義されていないため、スキーマを拡張して新たにエンティティを加える必要がある。IFC は、エンティティが持つ特性値（以下、アトリビュートという）は上位型から下位型に継承できる。山岳トンネルのエンティティの拡張は、この関係を利用し、既存のスキーマに新たなエンティティを加えることとした。新たに加えたエンティティ（以下、拡張エンティティという）を既存のエンティティと区別するため、土木分野が対象であることを示す「IfcCivil」を、エンティティの名称につけるものとした。図 2.3 に拡張エンティティの一部を示す。

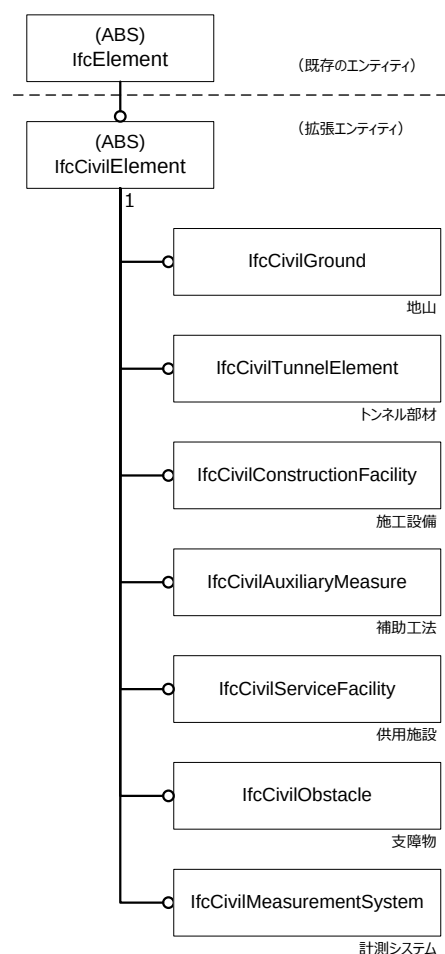


図 2.3 山岳トンネルに関する拡張エンティティ（一部）

2.4 プロダクトモデルによる形状の表現方法

プロダクトモデルの利点は、コンピュータ内部に物体を 3 次元形状として表現したものに、さまざまな属性を付加できることにある。精巧な 3 次元モデルを作成することで、現実に近いシミュレーションを行うことは非常に魅力的であり、結果の信頼性も期待できる。しかし、現実世界に 3 次元モデルを近づけるためには、時間、予算、人員など多くのリソースを必要とする。そのため、プロダクトモデルの用途に応じたレベルで 3 次元モデルを作成する手法が合理的である。

IFC では、プロダクトモデルの形状は、図 2.4 に示すように、エンティティのアトリビュートで幾何要素を参照する。これにより、主体となるエンティティと形状を表現するためのエンティティが分離され、プロダクトモデルを用途に応じたレベルで表現することが可能となる。例として、図 2.5 に異なる表現レベルのロックボルトに関する 3 次元モデルの形状表現の例を示す。

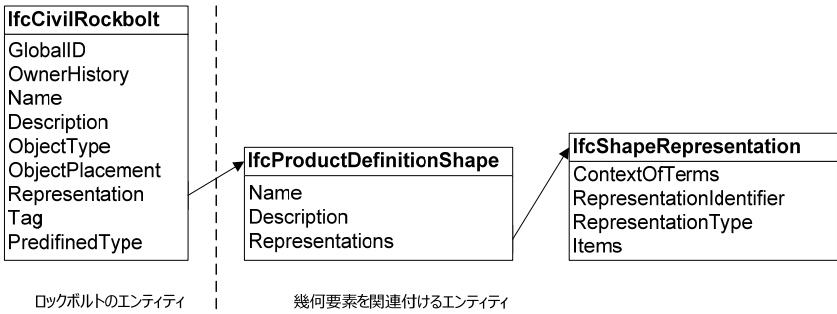


図 2.4 IFC における形状表現に関するエンティティの構成

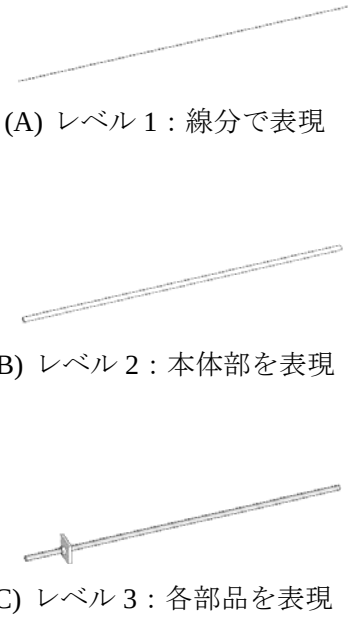


図 2.5 ロックボルトに関する 3 次元モデルの形状表現の例

3. 数量算出モデル

3.1 数量算出モデルの目的

積算・見積りは、対象とする工事を完成させるにはいくらかかるか、その金額を算出することである。土木工事の基本的性格な特徴として、一品生産、現場生産である。すなわち、土木工事は、工事ごとに異なる場所、異なる条件下の受注産業であり、すべての工事が積算・見積りを経て受注・契約につながるため、会社経営上、積算・見積りの果たす役割は極めて大きい。この基礎となる情報として数量の算出が行われる。

積算の信頼性を高めるために、積算大系に適用することができる数量算出モデルを構築することが重要であると考えた。数量算出モデルを構築することにより、積算に必要な項目が明確になり、必要な数量や条件等が明確になる。また、工事費全体をあらわしているかどうかの確認も可能となることに加え、3次元プロダクトモデルと積算データの連携が可能になるものと考えられる。

3.2 要素の構成概念

数量算出モデルの要素を整理するため、概念モデルを作成した。要素の構成概念図を図 3.1 に示す。概念モデルは、数量算出において、3次元モデルとの連携の有無および算出に用いる単位を想定し、要素を選定した。

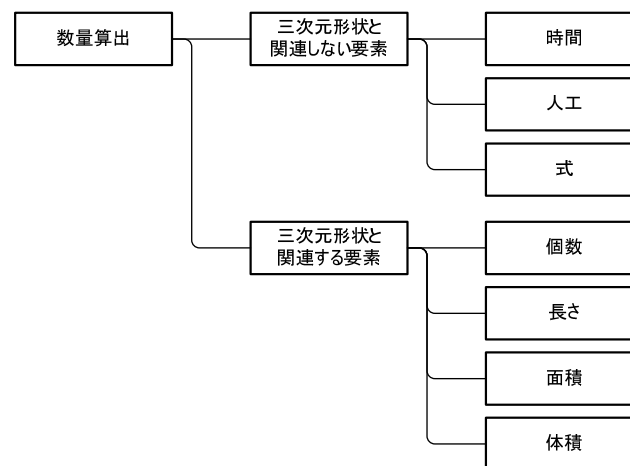


図 3.1 数量算出モデルに関する要素の構成概念

3.3 数量エンティティの定義

IFC に定義されている数量に関するエンティティは、物理要素との関連を前提としている。一方、積算大系への適用を想定すると、物理要素と関連を必要としないインスタンスを作成することが必要となる。さらに、積算大系以外へも適用できる汎用性を考慮し、図 3.2 のエンティティ（以下、数量エンティティという）を考案した。

```

ENTITY IfcCivilQuantity
    Name: IfcLabel;
    Description: OPTIONAL IfcText;
    Unit: IfcLabel;
    Value: IfcValue;
    UnitPrice: OPTIONAL IfcValue;
END ENTITY;

```

図 3.2 数量エンティティのスキーマ

3.4 数量エンティティと山岳モデルのエンティティの関連

山岳トンネルのプロダクトモデルは、2.3 に示した拡張エンティティを用いて山岳トンネルの形状寸法を表現する。山岳トンネルのエンティティは、IfcRelationship を通じて、数量エンティティと関連づけを行う。図 3.3 は、山岳モデルのエンティティと積算大系の構成を考慮した数量エンティティとの関連概念図を示す。数量算出項目のうち、山岳モデルのエンティティの形状寸法の情報と数量エンティティを関連づける項目と、数量エンティティのみの項目で構成することを例として示した。なお、数量エンティティは複数の階層で構成しているが、すべて図 3.2 に示したエンティティにより表現することができる。

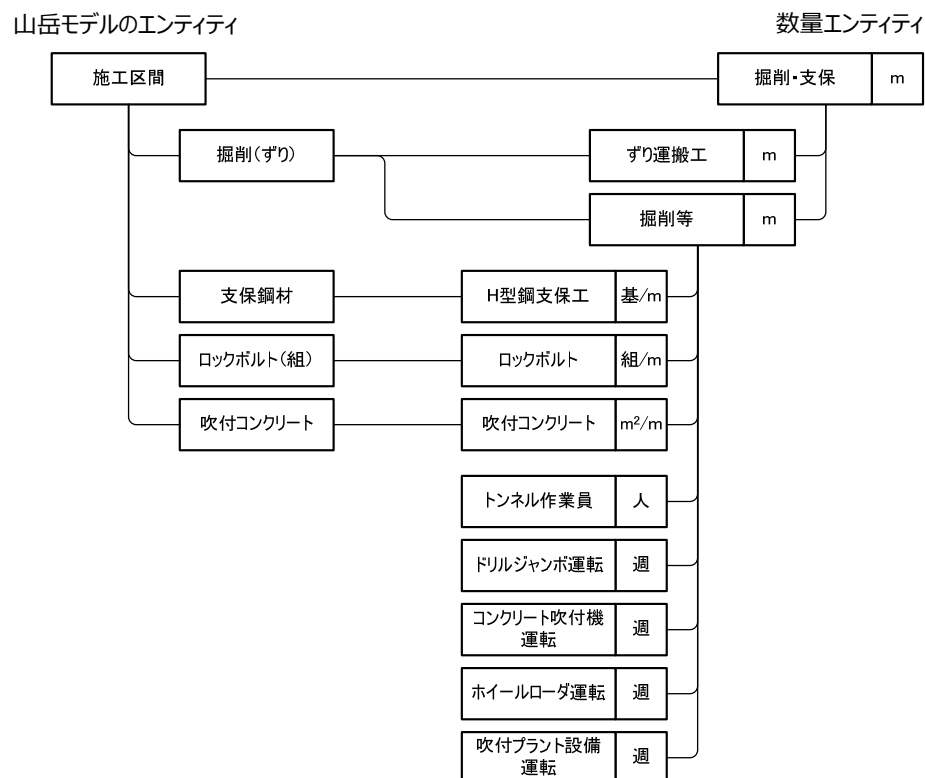


図 3.3 山岳モデルのエンティティと数量エンティティの関連概念

プロダクトモデル検証WG（施工）

2013/06/21

メンバー 宇野，村井，矢吹，古屋，浅賀，千葉

活動記録

2012/9/19 ブレインストーミングWGの進め方について 場所：清水建設

出席者：宇野，村井，矢吹，古屋，千葉，徳永，有賀

2013/1/10 WGの進め方について 場所：清水建設

出席者：宇野，村井，矢吹，古屋，浅賀，千葉

2013/5/30 報告書について 場所：清水建設

出席者：宇野，村井，浅賀，千葉，藤澤

----- プロダクト検証WG（施工）の目次（案）

1. プロダクトモデルの必要性
2. 山岳トンネルに適用したプロダクトモデルの事例
3. 山岳トンネルプロダクトモデルの活用方法
 - 3－1 施工管理への適用
 - 3－2 可視化のメリット
4. 今後の課題と方向性

1. プロダクトモデルの必要性

1-1 土木構造物の特徴

本研究の対象となる土木構造物は、要求される機能や立地条件が個々に異なることから、基本的にはオーダーメイドの一品生産の製品となる。また、使用される材料も土からコンクリート、鋼鉄など複数の複合された材料から構成され、コンクリートなどのように完成後から養生期間を経なければ機能を発揮できないものもある。さらに構造物が巨大である場合も多く、一度、建設されると造り直しができない。このため、建設（製造）段階における品質管理には常に多大な労力が注ぎ込まれている。

また、土木構造物は、社会活動や生活を支える基盤施設としての大きな安全性が期待されている。このためには、完成時の品質の確保や、使用状況とその構造物が位置する立地環境による影響を考慮し、数十年単位で品質確保の維持が必要である

1-2 建設プロジェクトの特性

土木構造物の建設においては、その規模にもよるが、長期に渡り多数の建設機械や複数の組織、大勢の人間が係わるが必要とされる。プロジェクトを円滑に進めるためには資材・建設機械調達から人員の管理、施工計画、品質、安全等々の数多くの管理項目について状況を的確に把握し、適切な対応を常に行っていかなければならない。

1-3 建設プロジェクトにおける情報管理重要性

前述したように土木構造物の特徴から、その建設過程や完成後の維持管理においては、多岐に渡り膨大な量の情報が発生し、これを適切に処理していく必要がある。通常、これらの処理は人間が図面や各種の報告書の形態で整理・記録されているが、情報の精査・整理、伝達、記録する過程においては取捨選択や記録漏れ等が発生することも多い。

また、最近では設計情報や施工品質データがコンピュータにより作成・処理されることが一般的である。さらに、情報化施工等で見られるように建設段階で利用される設計データが人間どうしのみならず、施工機械等とも情報共有が必要となってきた。

1-4 プロダクトモデルの特徴と役割

プロダクトモデルとは CAD 用語 JISB 3 4 0 1 で「製品を製造するために必要な、形状、機能およびその他のデータによって、その製品をコンピュータ内部に実現したモデル」と定義されている。その構築は対象物（概念）に共通の定義（意味）を与え、その特質を表現する情報に関する構成要素を明らかにする作業によって行われる。

プロダクトモデルを使用する主な利点としては、以下のようなものが挙げられる。

- ・ 同様の物（概念）に関する定義（モデル）の再利用を可能とする。

- ・ 情報（データ）の流通性を高める。
- ・ 対象構造物の寿命に合わせた長期におけるデータの利用性を担保する。
- ・ 製品統合情報管理システムの構築には必要不可欠である。

2-6 建設プロジェクトにおけるプロダクトモデルの必要性

以上、これまで土木構造物とプロダクトモデルの特徴や役割について整理を行った。土木構造物におけるプロダクトモデルの利用については、以下のような観点からその効用は大きいと言える。

- ・ プロジェクトを円滑に進めるためには資材・建設機械調達から人員の管理、施工計画、施工品質、安全等々の数多くの管理項目について状況を的確に把握し、適切な対応を常に行っていかなければならない。これを円滑に齟齬無く行うためにはプロダクトモデルに基づくデータの流通・蓄積を行うことにより大きな効果が期待できる。
- ・ 土木構造物は数十年に及び使用される製造物であり、当然ながらその情報も長期に渡る利用が想定されるため、プロダクトモデルによるデータ構造を明確に定義することにより、情報の一貫性と利用性が確保される。

2. 山岳トンネルに適用したプロダクトモデルの事例

通常の山岳トンネルの日常の施工管理では、計測Aをトンネルの縦断方法に一定間隔で実施する。計測Aの計測項目は、坑内観察調査、天端沈下測定、内空変位および地表沈下測定である。その内、施工現場では、天端沈下測定と内空変位の測量データの管理に、(株)演算工場の CyberNATM などの計測ソフトが使われていることが多い。その CyberNATM の計測データを Autodesk, CTC の3次元ソフトウェアと連携させることで、プロダクトモデルを構築することができる。モデル構築には、施工属性や3次元形状などを組み合わせてモデルを構築した(図-2. 1)。

トンネルデータ、計測データ、現況地形データをそれぞれモデル化して、管理用統合モデルを作成した。計測データは、日常管理である計測Aのデータを反映したプロダクトモデルである。

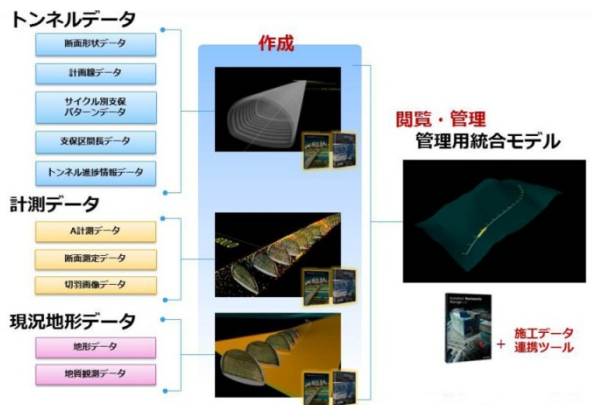


図-2. 1 トンネルプロダクトモデルの構成

トンネルプロダクトモデルは、地形データの中にトンネルをモデリングしている。図-2. 2にトンネルプロダクトモデル全景を示す。

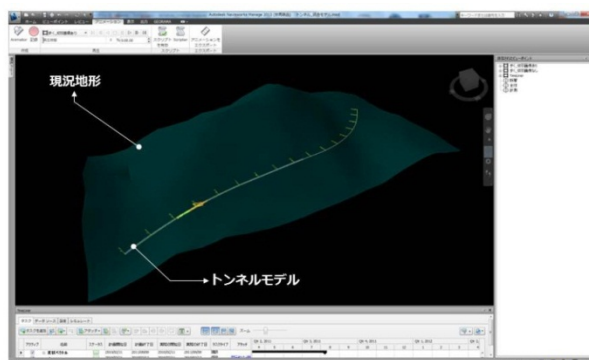
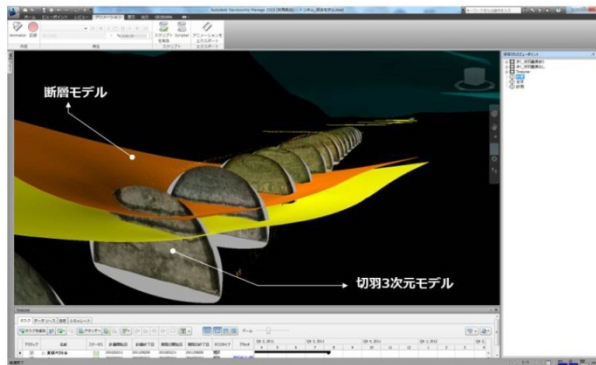


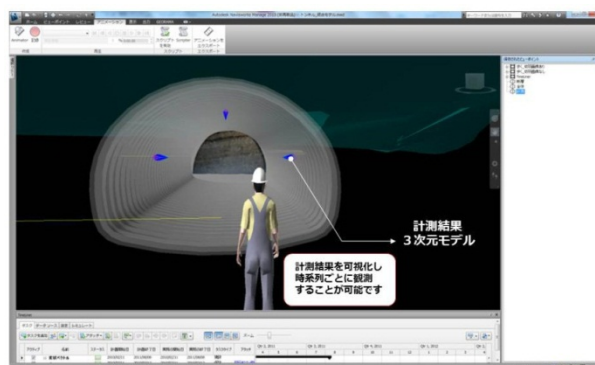
図-2. 2 トンネルプロダクトモデル全景

図－２． ３に計測 A の断面を 3 D 状に配置した状況を示す。デジタルカメラで撮影されたトンネルの切羽断面が、3 次元座標上に配置され、どの切羽の位置にどの断層が貫かれているか、一目瞭然にわかるシステムとなっている。



図－２． ３ 切羽の 3 次元配置図

図－２． ４に内空変位の変状状況を、ベクトル（矢印）で表示している。変位の大きさと方向が明示できている。切羽周辺にいるような表示となっている。そのため、現場坑内にいるかのような臨場感あふれる状況を見せることができる。ただ、内空変位が矢印表示だけであるため、3 次元で表示するメリットがほとんどない。今後改良の余地はあると考えられる。



図－２． ４ 内空計測結果を表示するモデル

施工が進んで、トンネルが構築されていけば、それぞれのトンネル断面において、支保工や補助工法、覆工コンクリートなどの情報に加え、時間的な履歴で内空変位などもクリック一つで表示させることが可能となっている。図－２． ５に支保工のパターンなど断面ごとの計測情報の属性情報を示す。図－２． ６では、トンネルの断面の簡易プロパティ情報表示することができる。

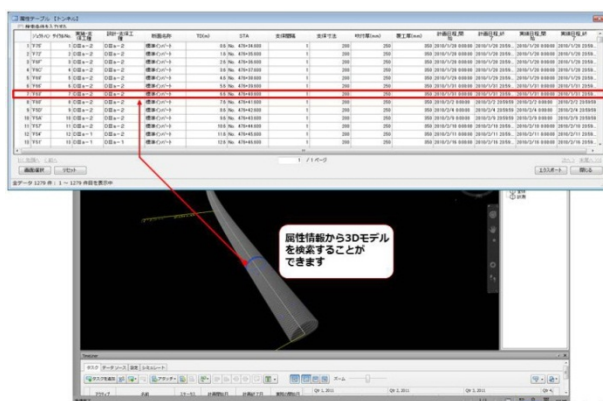


図-2.5 トンネル断面と属性データ

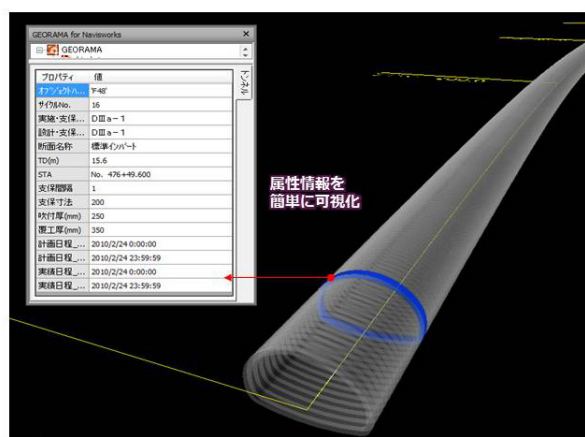


図-2. 6 トンネル断面のプロパティ

いままで、日常管理を2次元のデータで施工管理していたが、3次元化することで、立体的に地盤内の断層の位置関係も明確になった。さらに施工の進捗管理を組み合わせた時間軸を加え、4次元管理をすることで、施工履歴の管理や予測が可能となり、より安全で効果的なトンネル施工を進めることができると考える。今回の事例は、テスト的な運用であり、活用をしていくと、今後、様々な課題が出てくると考えられる。それらの課題を克服することで、施工現場にプロダクトモデルを適用する第一歩になると考える。

3. 山岳トンネルプロダクトモデルの活用方法

3-1 施工管理への適用

山岳トンネル施工時は日常管理として、坑内観察調査、天端沈下測定、内空変位測定が行われる。これらの計測で得られたデータは安全対策としての活用のみならず、地山予測や支保の妥当性など、次の施工ステップにフィードバックされるため、迅速な処理が重要である。現状では、計測機器を自動的に取得し、システムと連動した2次元の情報化施工が行われている。しかし、この方法は計測手法、管理手法が人手を介した時代の手法を自動化したものであり、情報化管理手法として適しているとは言い難い。また、切羽の進行や覆工コンクリート施工前に計測点を設定しながら管理する固定点の2次元計測であり、全体的な挙動を把握しづらい等の課題がある。

(1)坑内観察調査

坑内観察調査は支保工の妥当性判断を行うため、設計時の地山状況との比較確認を切羽進行（発破）毎に実施される。切羽断面を目視確認して、地質スケッチを作成する。数mごとに輪切りデータが作成されるが、縦断方向の地山推定は数枚の輪切りデータを比較参照しながら確認しなければならない。3次元プロダクトモデルを活用した場合、これらの輪切りデータの地層線を縦断的に接続して、1つのモデルで俯瞰することが可能となる。また、随時実施される地質ボーリングデータ結果も重ねて表現することができる。このように3次元データによる可視化により、判断スピードおよびフィードバックの迅速化が図られ、さらにアウトプットの一元化と図化により、閲覧性を高め、データ活用者の範囲も広がることが可能となる。

(2)天端沈下測定、内空変位測定

天端沈下、内空変位は掘削後の地山変位を監視するものであり、両者とも同じ断面で計測する。構造物の安定性を確認することが目的であるため、変位が収束するまで計測を行うことが必要となる。最も変位が大きくなるのは切羽部であり、支保工を設置して時間の経過とともに収束していく。変位の要因としては、掘削直後の応力開放の他、地山の強度、断層の有無、土被りの大きさ等がある。また、設置した支保工の種類によっても異なり、その妥当性判断が重要な項目となっている。現状では、計測断面毎にトータルステーションによる自動データ取得およびアウトプット作成が行われている。しかし、各計測断面の結果を横並びで見ながら収束を確認する必要がある、また、地層との関連や土被りの要因データと比較しながら考察する等、判断するには他の計測データとを併用した総合的な視点と判断能力が必要とされる。3次元データの可視化により、データの一元性や他の要因との組み合わせが容易となる。また、進捗との組み合わせ（4次元表現）により、リアルタイムな変位の遷移をモデルにより確認することが可能となる。さらに、現在の測点管理手法をレーザー計測等の面的管理手法に切り替えた場合にも表示が可能であり、計測精度が向上すると考えられる。

3-2 可視化（見える化）のメリット

現在、建設工事によって環境に与える負荷を軽減させる取り組みは各社の建設現場で行われている。環境に与える影響は、目視することが不可能なため、数値に置き換えて管理しているのが実情である。現状は数値置き換えという間接的な管理のため、対応が後手に回ることもある。

施工管理に必要なデータの可視化とともに、環境管理項目が可視化されることによって、後手に回っていた対応を素早く打つことができ、さらにはシミュレーションにより事前対策を講じることが可能となる。具体的は環境管理項目としては、気象条件や大気汚染、振動騒音などとともに、使用電力量や CO2 発生量があげられる。

トンネル内では、作業環境に気を配っているため、坑内の粉じん濃度や、騒音・振動の管理は重要となる。AR（拡張現実：オーグメンテッド・リアリティ）技術と組み合わせることにより、作業環境を視覚的に確認できるようになれば、その管理を省力化することができる。

また、CO2 削減も各社数値化しながら進めているが、その集計は手動によるものがほとんどである。センサ技術と組み合わせることによって、自動的に CO2 排出量が集計されることになれば、管理は大幅に省力化することができ、さらに可視化によって管理がしやすくなる。

可視化された環境管理項目のデータは、施工管理項目データとともに保管されることにより、工事記録としてデータ蓄積される。また、蓄積されたデータは該当工種開始前にシミュレーション解析に利用することもでき、環境管理項目について PDCA サイクルを回すことが可能となる。

4. 今後の課題と方向性

プロジェクトは、調査から設計、施工、維持管理へと続いていくが、現状の発注システムでは、それぞれ別会社に発注している。例えば、設計フェーズと施工フェーズだけに注目してみても、現状の設計の目的が、施工するための図面ではなく、積算のための図面となっており、再度施工図を作図し直して施工を進める必要がある。現状の業務プロセスのままであれば、プロダクトモデルの活用されにくい環境にある。

現在、国土交通省では、C I Mを推進している。C I Mは、建築で盛んに活用されているB I Mを土木に取り入れたものであるが、B I Mが盛んに活用されているプロジェクトは設計施工で発注されるプロジェクトである。業務プロセスの改善が進められると建設分野でのC I Mやプロダクトモデルがさかんに活用できるようになると考える。

今回は、施工時に限定してプロダクトモデルの活用方法を検討した。3 D化したプロダクトモデルが施工時の業務にどのような効果を与えることができるかを検証したものである。

今後の方向性としては、設計から施工へのスムーズなデータ移行、施工から維持管理に向けたデータ移行など様々な研究課題がある。

土木情報学委員会 国土基盤小委員会 3次元モデル WG

第 1 回 WG 議事録

日 時：2013 年 3 月 12 日 15:00～17:00

場 所：株式会社トリオン 会議室

出席者：千葉、古屋、緒方、竹内、椎葉

議事内容

1.WG の検討内容の方向性について

- ・ 2 月の小委員会で示された目次構成案に基づき、検討内容及び作業の方法について議論を行った。
- ・ 3 次元データの可視化事例の整理については、椎葉にアウトラインの作成をお願いし、まとめる方向とする。
- ・ その他の意見としては、以下のようなものが出された。
- ・ 3 次元データをその他属性データの関連についても入れてほうが良いのではと意見が出た。
- ・ データ利用については、現在の施工上の課題を解決するようなテーマがあれば良いのではないかと。

2.報告書作成作業について

報告書作成作業については、以下のように行う。

- ・ 次週の小委員会で作業の方向性が確認された後、椎葉氏がアウトラインを作成し、全員に配布する。
- ・ 各委員は、配布された報告書のベースにコメントを記述し、千葉に提出する。
- ・ コメントの内容については、アウトラインに沿ったコメントと当 WG のテーマに沿った各自の考えを自由に記述することとする。
- ・ 全員からのコメントを千葉が整理し、当 WG の報告書案を作成する。
- ・ 作成した報告書案については WG 等を開催し、調整後、最終案として小委員会に提出する。
- ・ 最終案の完成は、GW 前とする。

3次元データの可視化技術の現状と実際

ここでは、プロダクトモデルを雛形として作成されたデータの可視化技術の現状と実際の手順については、以降に述べる。

1. トンネルの設計・施工フロー

以下にトンネル工事の概要フローを示すが、データ作成の観点からすると計画・設計段階の最終結果となる設計モデルとこれに基づき施工を行った結果として実存する構造物を写した施工段階のモデルとに大きく分けて考えることができる。施工段階で発生するデータにおいては、出来形のみならず、出来上がった際の品質に関わるデータも重要となる。

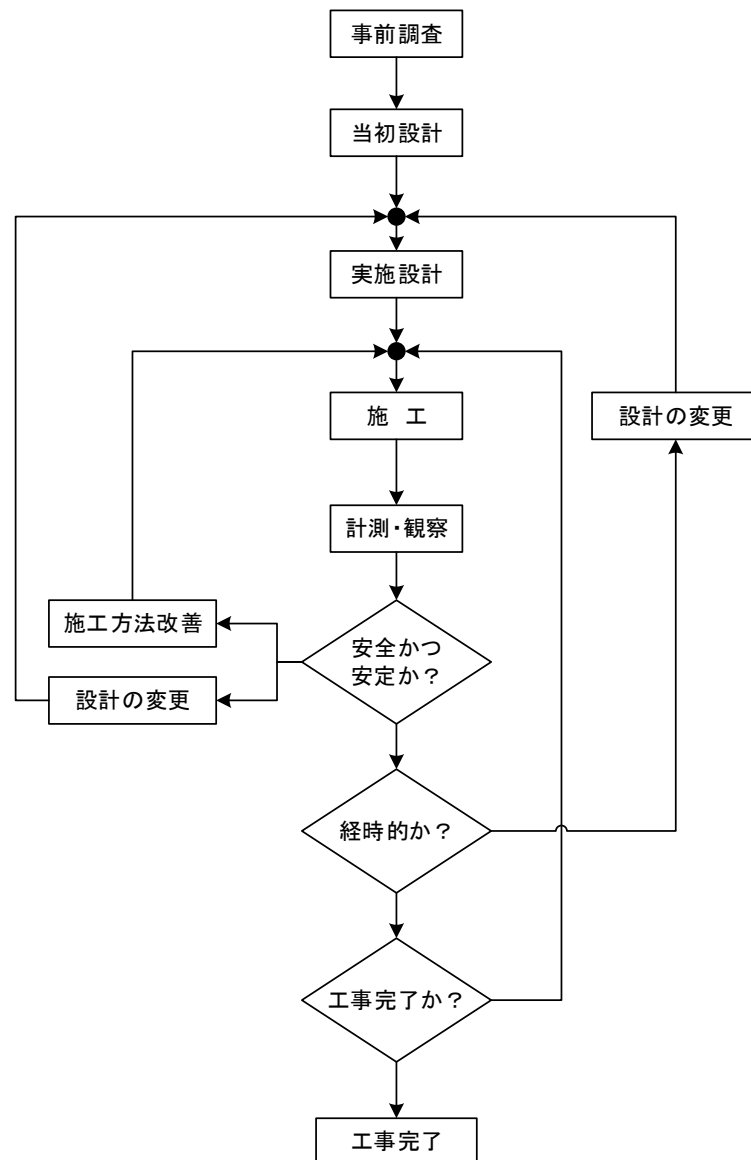


図 2.1.1 トンネル工事の流れ

(トンネル施工管理要領 平成22年7月 東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社より抜粋)

2.モデル作成と可視化技術の現状

現状において一般的に使用可能なアプリケーションを使用してトンネルに関わるデータを作成・可視化するには、複数のアプリケーションを適切に組み合わせて使用する必要がある。

2.1.データの種類と処理

トンネルの建設に関しては、以下に示すように大きく3種類のデータがある。

- ① トンネル（設計・計画）データ → トンネル本体の形状、支保パターンなどの設計の成果
- ② 計測データ → 施工中あるいは施工の結果として記録されるデータ
- ③ 現況地形・地質データ → そのトンネルが存する位置の環境として重要な地形や地質に関するデータ。設計時に推定されたものと実際の施工による確認されたものがある。

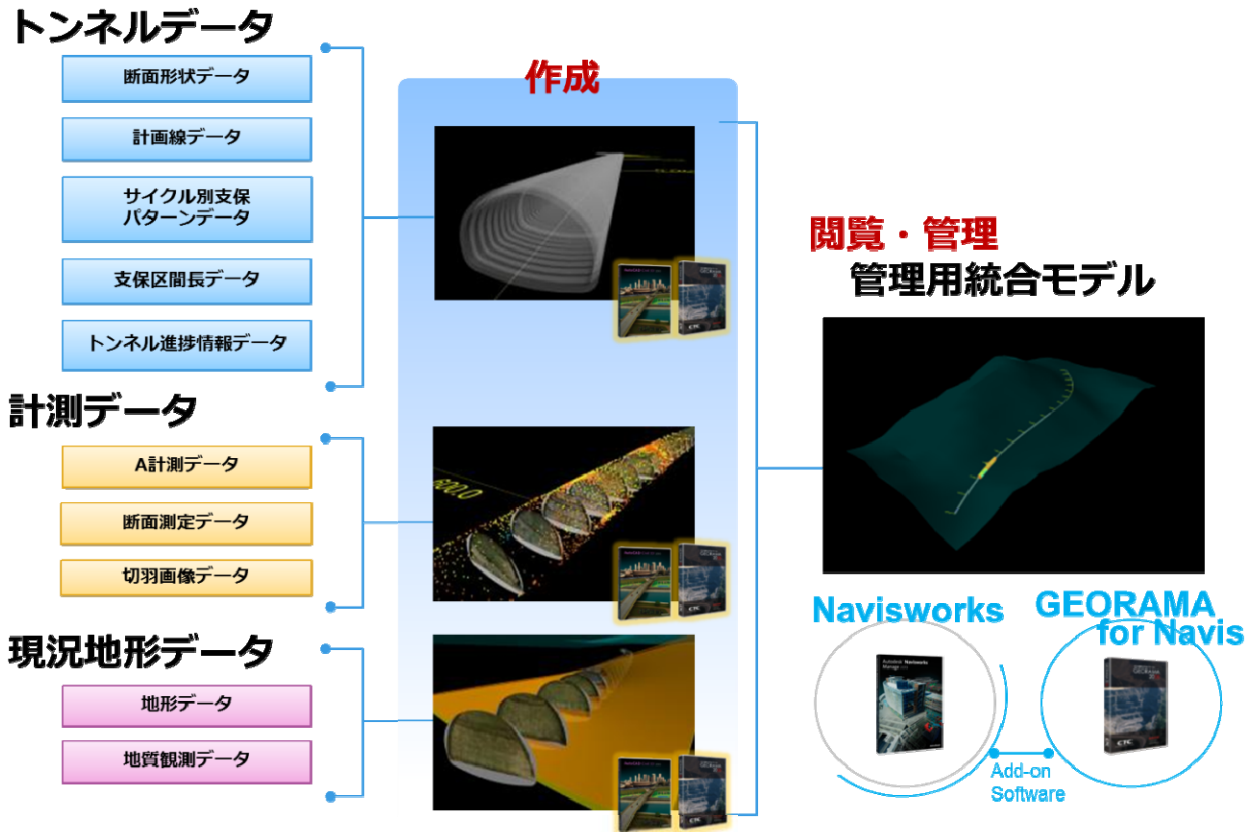


図 2.1.1 統合モデル作成に使用するデータ

2.1.使用アプリケーション

前述したようにトンネルに関わるデータを可視化し、属性データを扱いシミュレーション等を行うためには、現状においては、以下に示すようにその用途と各アプリケーションの特性及び機能に応じて使い分けるを行い、組み合わせて作業を行う必要がある。（現状において、これらの作業を全て行えるソフトウェアは存在していない。）

表 2.1.1 使用アプリケーションとデータ

アプリケーション名	メーカー名	処理対象データ
Autodesk AutoCAD Civil 3D	オートデスク社	・ トンネル本体の 3 次元形状
GEORAMA for AutoCAD Civil 3D	伊藤忠テクノソリューションズ社	・ 計画・設計時及び施工中の地形・地質データ
Autodesk Navisworks	オートデスク社	・ 付属する属性データ ・ 時間要素等を入れたシミュレーション
GEORAMA for Navisworks	伊藤忠テクノソリューションズ社	・ トンネル特有のデータを扱うための上記アプリケーションの機能拡張
Microsoft EXCEL	マイクロソフト社	・ 計測データ等のデータ受け渡し及び簡易データベース

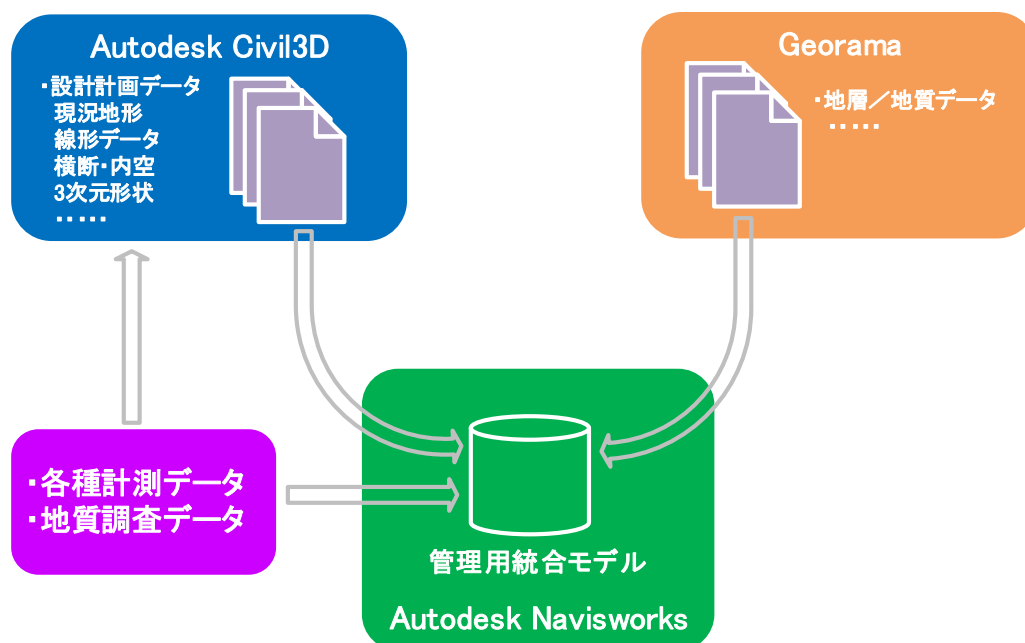


図 2.1.1 使用するアプリケーション間の関係

2.2. プロダクトモデル作成作業手順

トンネルのプロダクトモデル作成にあたっては、次に紹介する各ソフトウェアを使用する。基礎となる図面（*.dwg）には、測量座標系の設定を予め行っておく必要がある。また、各 3D モデルとエクセルファイルを関連付けることで、モデル作成を除けば、特別な操作をすることなく、トンネルのプロダクトモデルが作成できる。

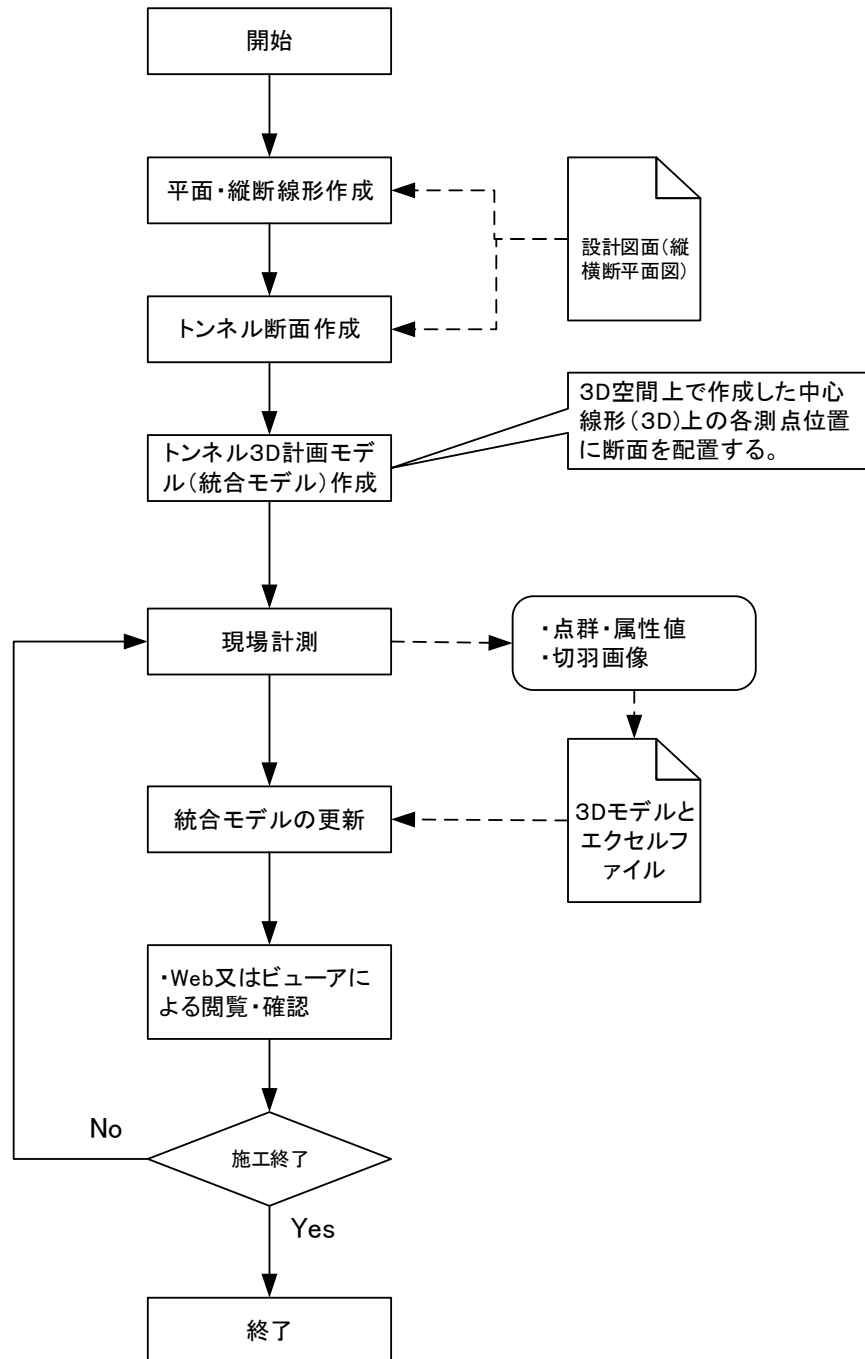
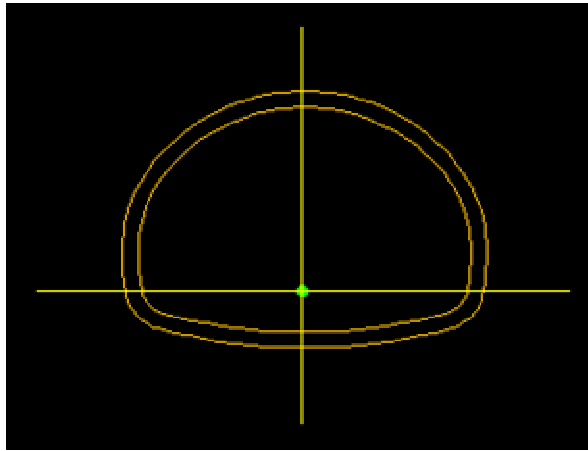
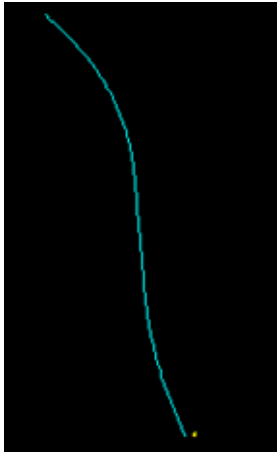


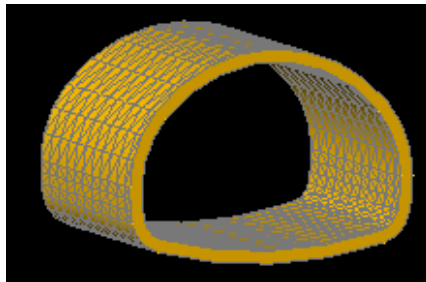
図 2.2.1 統合モデル作成フロー

2.3.概略作業手順

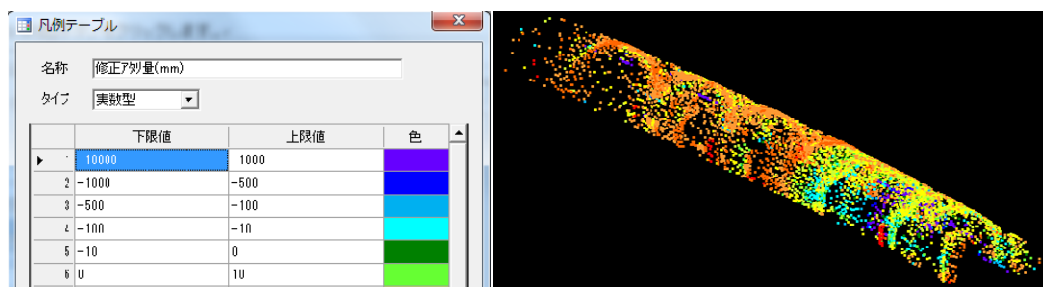
(1) Civil 3D にて、線形とトンネル断面を作図します。



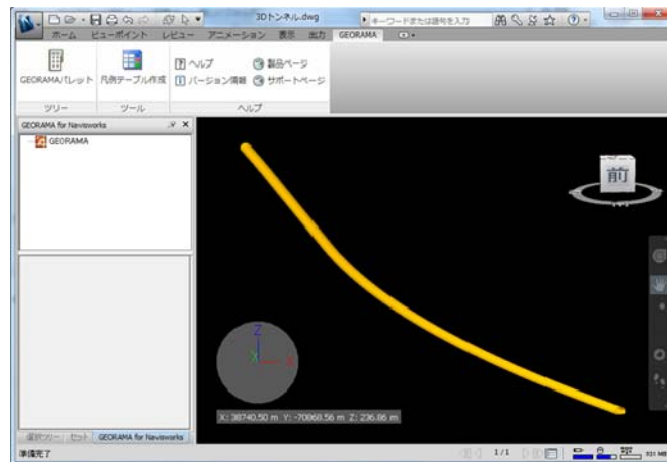
(2) 線形とトンネル断面を関連付けて、3D のソリッドモデルが作成されます。



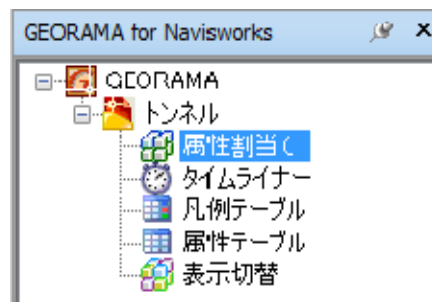
(3) 点群データを取り込み、属性値で分類したものを割り当てることで、色分けして表示できます。



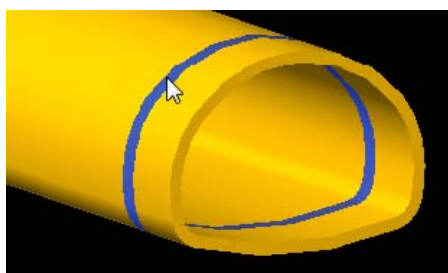
(4) データを出力し、Navisworksに取り込みます。



(5) エクセルファイルより属性を割り当てます。

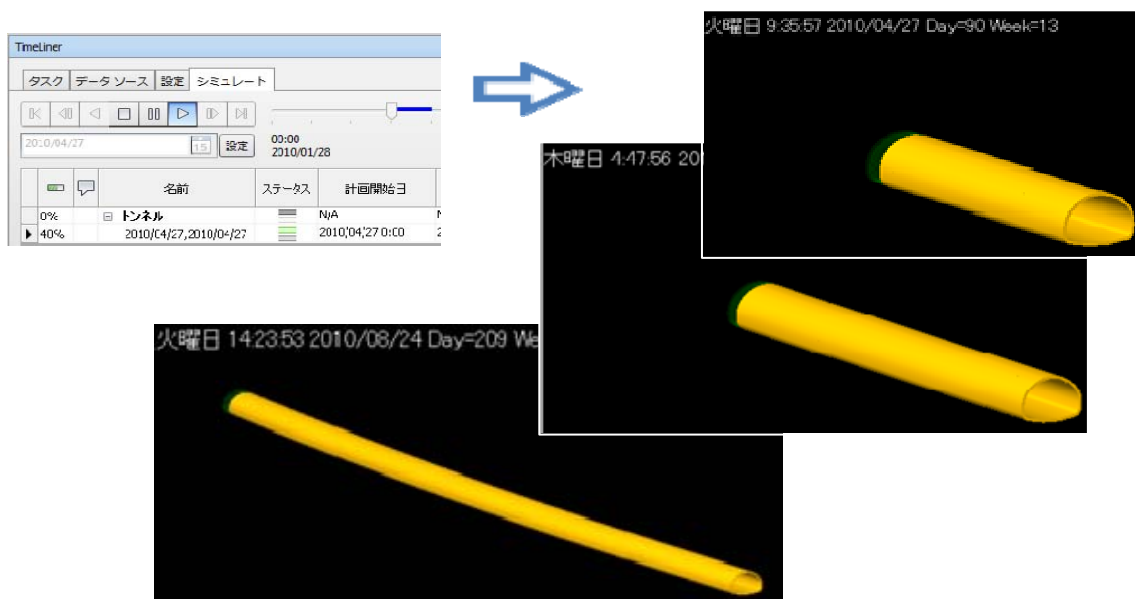


(6) 各セグメントに割り当てられた属性が確認できます。エクセルファイルを編集することで、属性情報の修正や追加ができます。

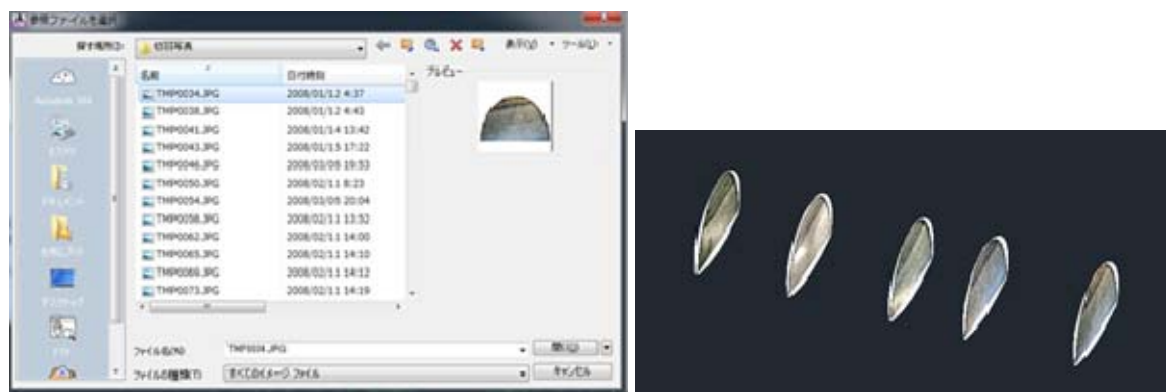


プロパティ	値
オブジェクトハンドル	'F69'
サイクルNo	5
実施・支保工種	DⅢ a-2
設計・支保工種	DⅢ a-2
断面名称	標準ハット
TD(m)	4.6
STA	No. 476+38.600
支保間隔	1
支保寸法	200
吹付厚(mm)	250
覆工厚(mm)	350
計画日程_開始	2010/1/29 0:00
計画日程_終了	2010/1/29 23:59
実績日程_開始	2010/1/29 0:00
実績日程_終了	2010/1/29 23:59

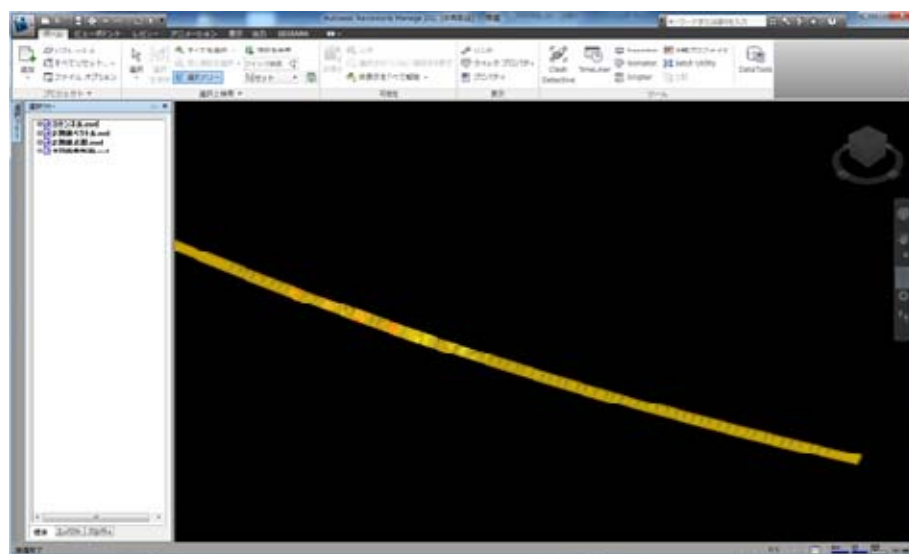
(7) 同様にエクセルファイルの日程情報を関連付けることで工程シミュレーションができます。



(8) 作成した 3D モデルに切羽の画像を割り当てます。



(9) 3D モデル、属性値、切羽画像を統合モデルとして確認することができます。



3.3 次元形状の表現現状とプロダクトモデル利用の効果

3.1.計画設計データの3次元化

トンネルは、本来は地中構造物であり直接の構造物を見ることはできない。しかし、以下の画像のように3次元設計をコンピュータにより可視化することにより、その姿を見ることができるとトンネル形状の全体像を把握する上で非常に有効な手段となる。

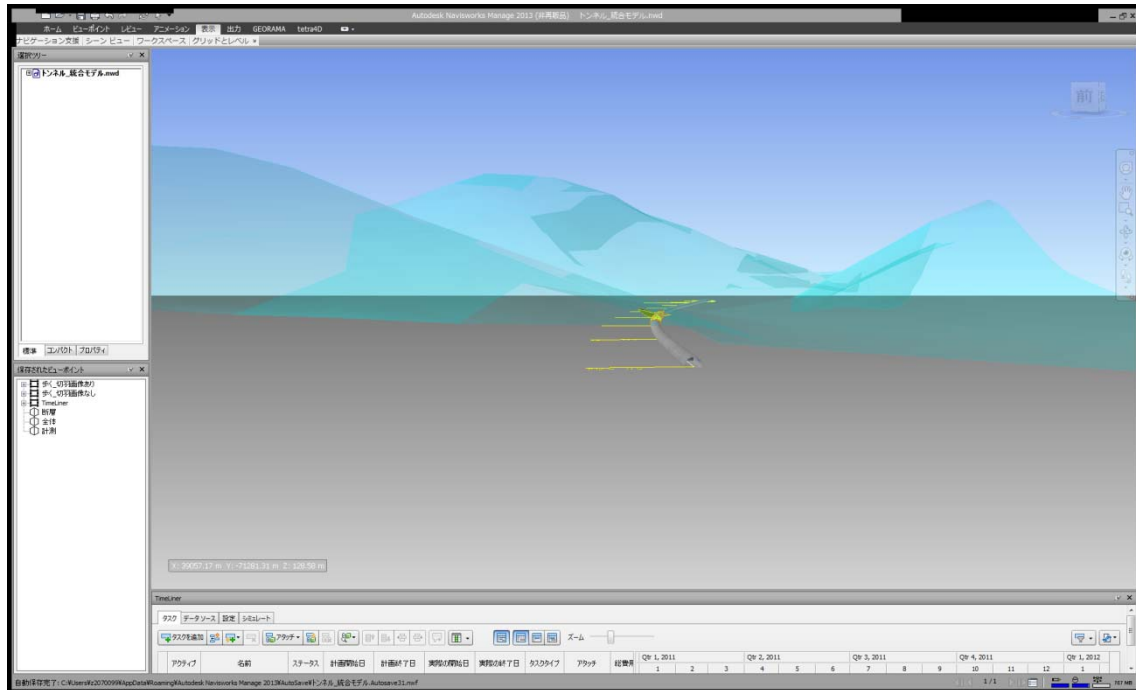


図 3.1.1 トンネルモデル、地形モデル、計測モデルの統合表示

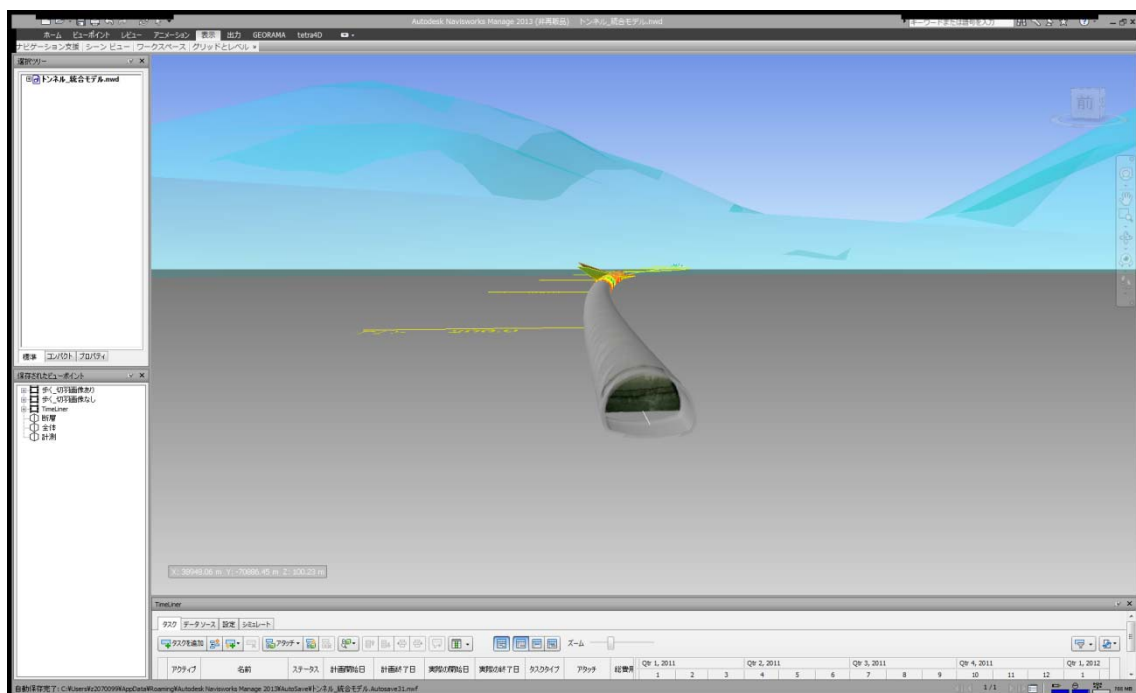


図 3.1.2 トンネル本体部断面拡大図

3.2.調査・計測データの可視化

次の事例は、施工中に計測が行われる重要な管理指標を可視化したものである。ここでは、切羽画像及びアタリ量のレーザー測量のデータ、及び想定される地層を同じに表示した例である。これにより、実際に計測により明らかになった部分と推定された地層の関係を十分に確認することができるため、施工計画において非常に有効となる。

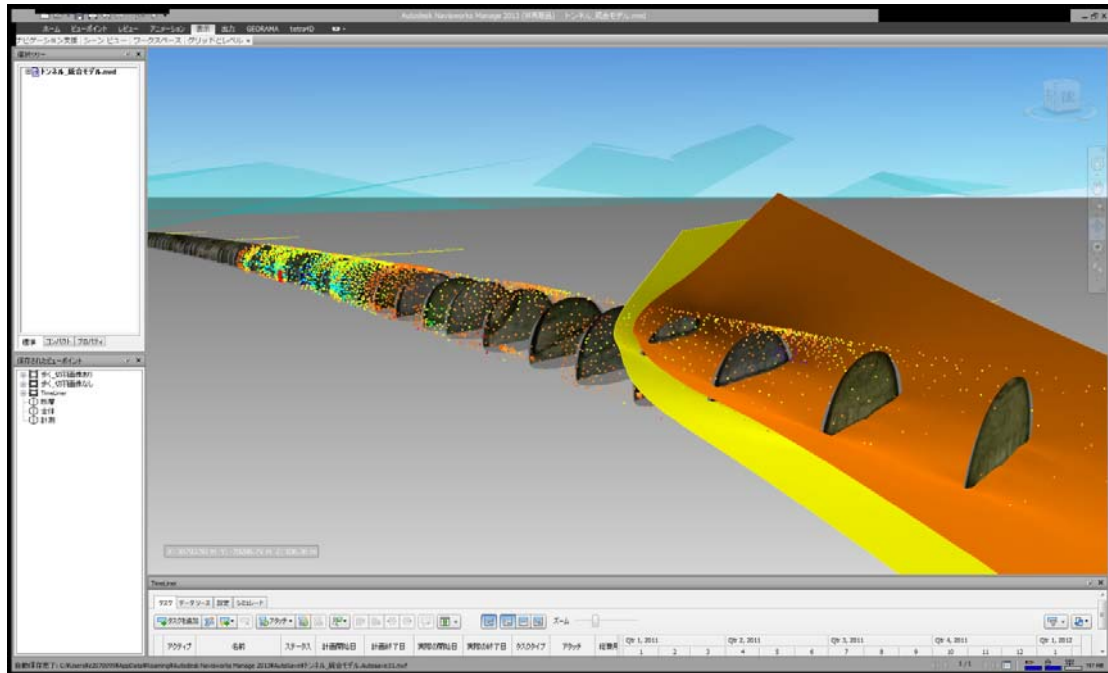


図 3.2.1 アタリ量のレーザー測量のデータを可視化した状態

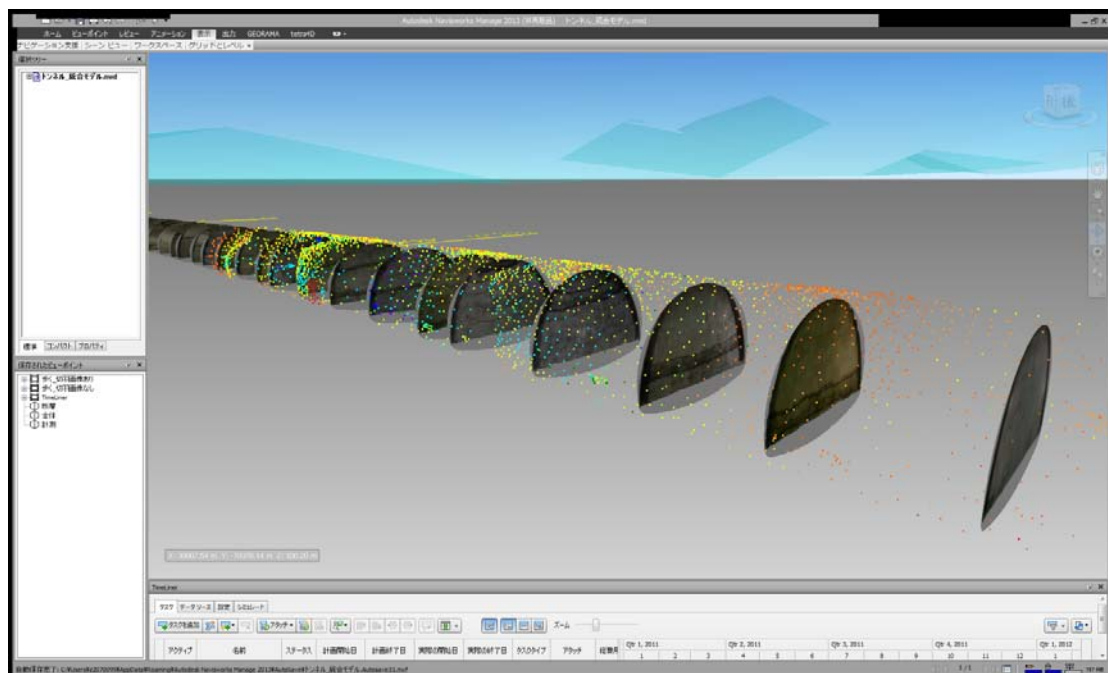


図 3.2.2 切羽とアタリ量の表示

3.3.時間軸（4D）を考慮した可視化

次の例は時系列データを使用した例である。この例では内空変位量（A 計測）の時間的な変化の可視化例である。トンネル内にある矢印は、変位の方向と大きさを表しており、これをアニメーション化することにより時間的な変化を一目で把握することが可能であり、施工中のトンネルの状態変化を的確に捉えることが可能となる。

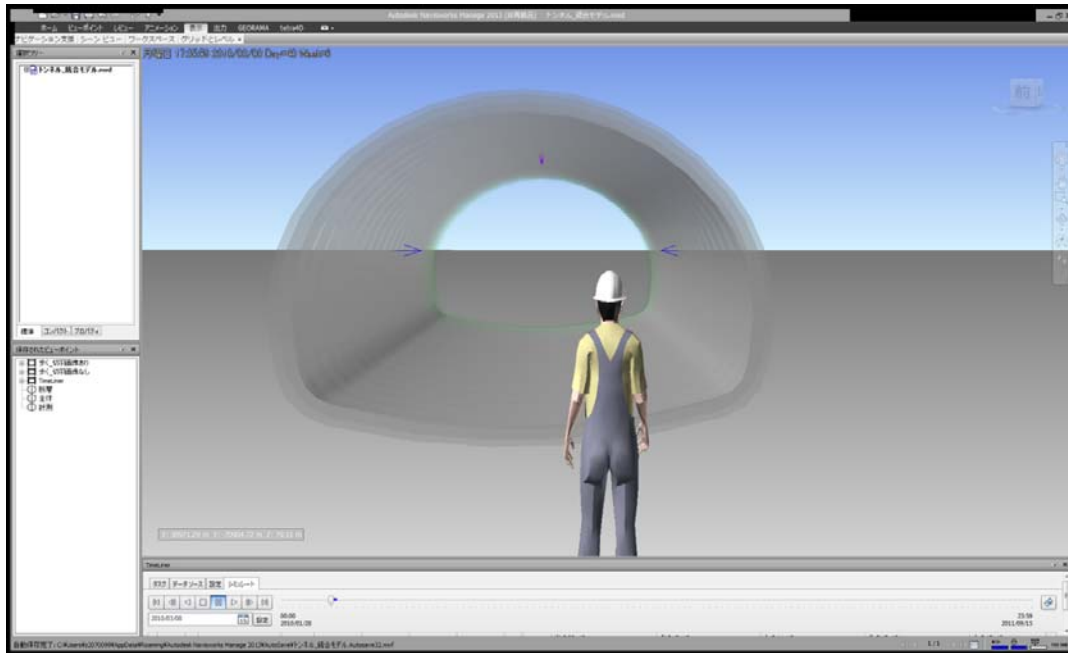


図 3.3.1 施工の内空変位（その 1）

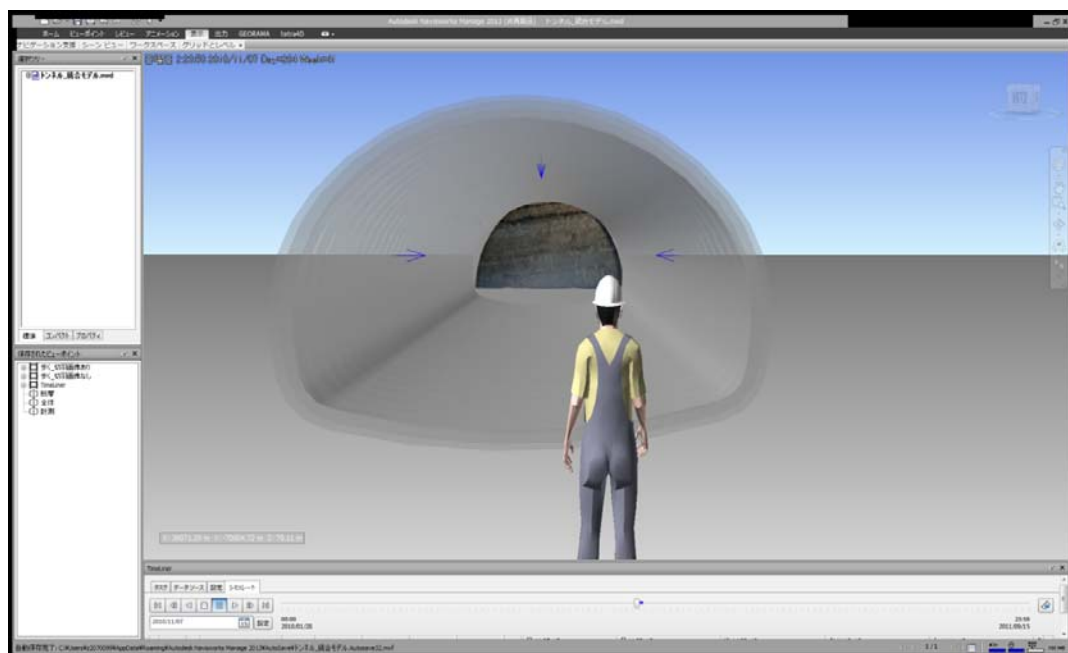


図 3.3.2 施工中の内空変位（その 2）

3.4.属性情報の有効活用性

次の例は、3次元の形状のみではなく、その構造物が持つ属性情報を使用したものである。データモデルでは、形状データだけではなく対象物の特質を現す情報も同時に保持し、関連するデータ群はデータベースとして使用することが可能である。この例では、属性データからその空間的位置を示すこと（その逆もまた加）や属性データの値を一定のルールで空間上に可視化することが容易にできることを示すものである。

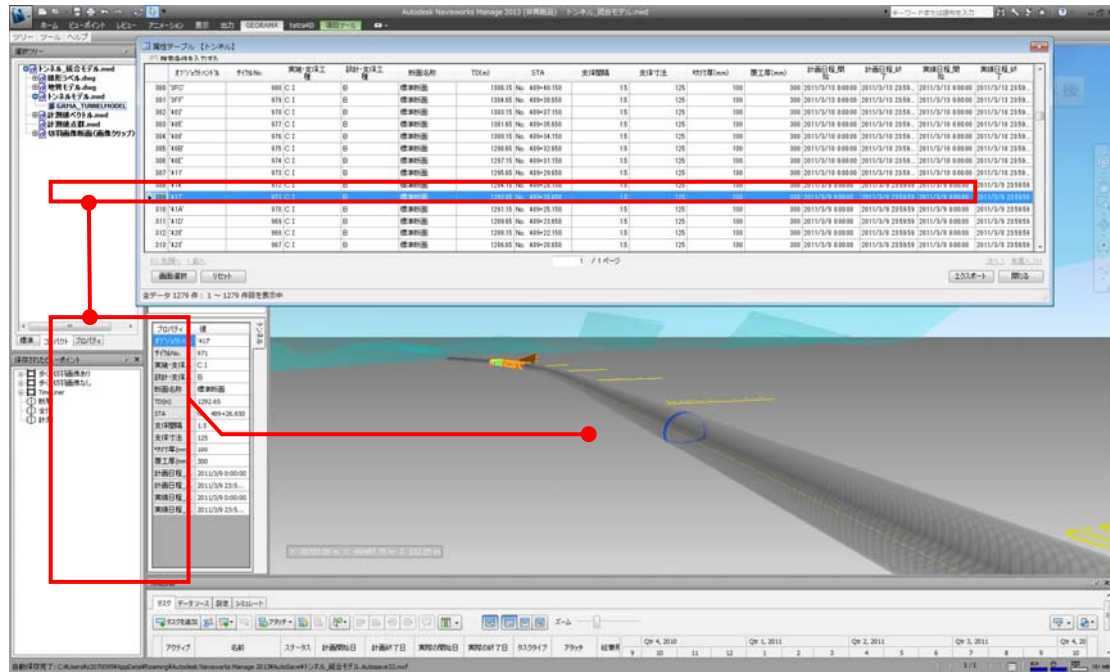


図 3.4.1 躯体属性情報と形状のリンク

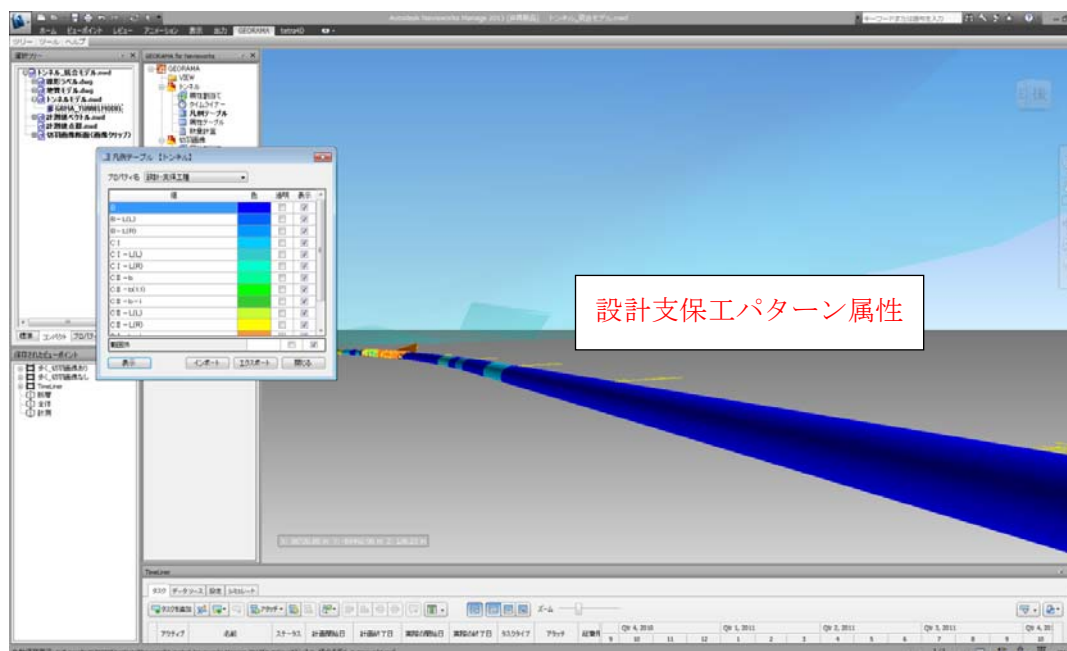


図 3.4.2 属性の情報でモデルを色分け表示

4.まとめ

以上、プロダクトモデルのインスタンスである 3次元データ及びその属性データについて、概要ではあるがその作成手順と可視化について整理を行った。可視化、つまり「見える化」はこれらデータを作成する一つの目標であるが、工程シミュレーション等が目的ではなく、予想工程に対し、実工程がどのような様であるか、計画と施工結果の差異の確認などへの活用することが効果的で効用も大きいと考えられる。

特にトンネルについては地中構造物でその外観を実際に見ることはできないため、トンネル本体だけではなく、地層や地下水の状態を把握するため手段として可視化の効果は大きいものと考えられる。

ただし、データ作成手順でも示したようにその作成には使用するアプリケーションの操作もの含めて高度なスキルが要求されることも事実であり、アプリケーションの購入コストも含め全体として現状ではコストが高くなる傾向にある。よって、作成されたデータをできる限り活用し価値を生み出す方策について、今後も検討していく必要がある。

データ連携 WG

2013.6.13.

メンバー 藤澤、千葉、西垣、北川

活動状況

- 2013.2.6. WG1 報告書（案 1）をメールにて WG メンバーに送付
- 2013.3.14. WG1(進め方について) 場所 トリオン、出席 藤澤、千葉、西垣
- 2013.3.15. WG1 報告書（案 2）をメールにて WG メンバーに送付
- 2013.6.4. WG1(報告書案 2 について) 場所 キック、出席 藤澤、西垣

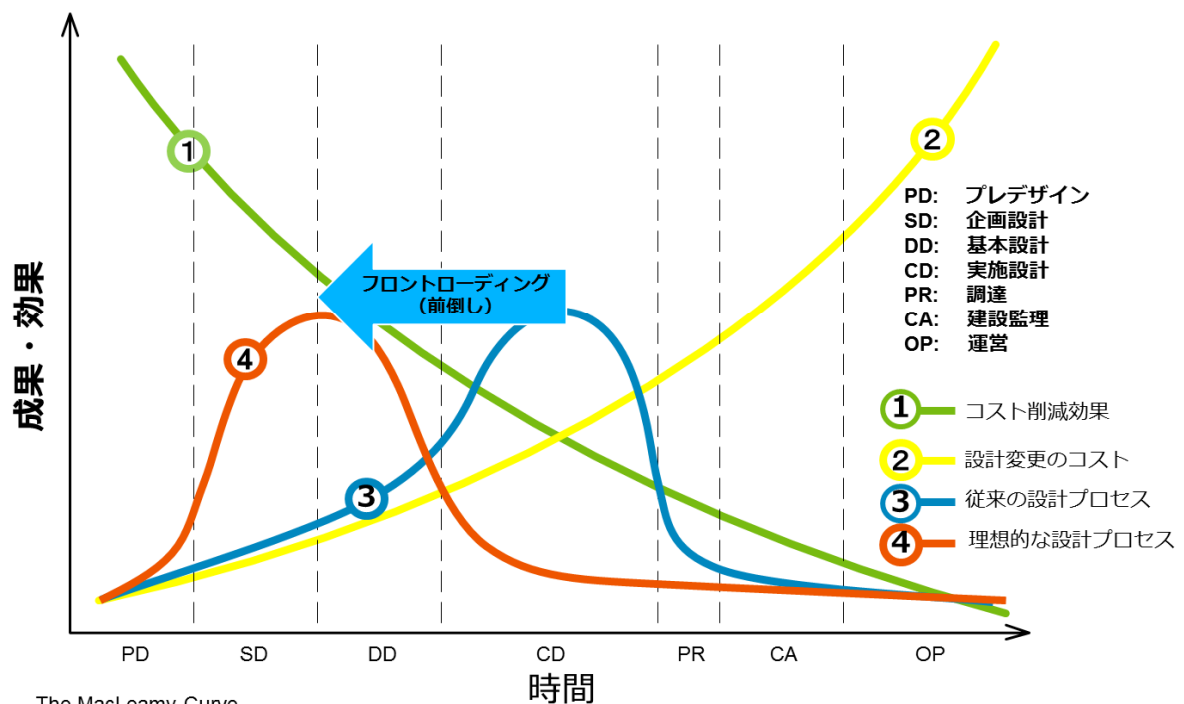
1. データ連携の必要性

プロダクトモデルを設計・施工に利用すると、さまざまな場面で、従来に比べて上流側のプロセスで情報が決定されるフロントローディングが行われると考えられている。また、従来のように、設計だけ、施工だけといった単一の役割だけでなく、設計と施工が密接に連携した作業が効率を上げるためには必要となる。特に、IPD（Integrated Project Delivery）のように、設計・施工一括発注方式のような考え方においては、施工者のノウハウを設計の初期段階で取り入れることで、低コスト、短工期、高品質を確保することを目指しており、より低コスト、短工期、高品質な成果を納めることで、報酬（フィー）が上がる仕組みをつくり、設計者、施工者のモチベーションを高めながらプロジェクトを成功に導くことを意図している。

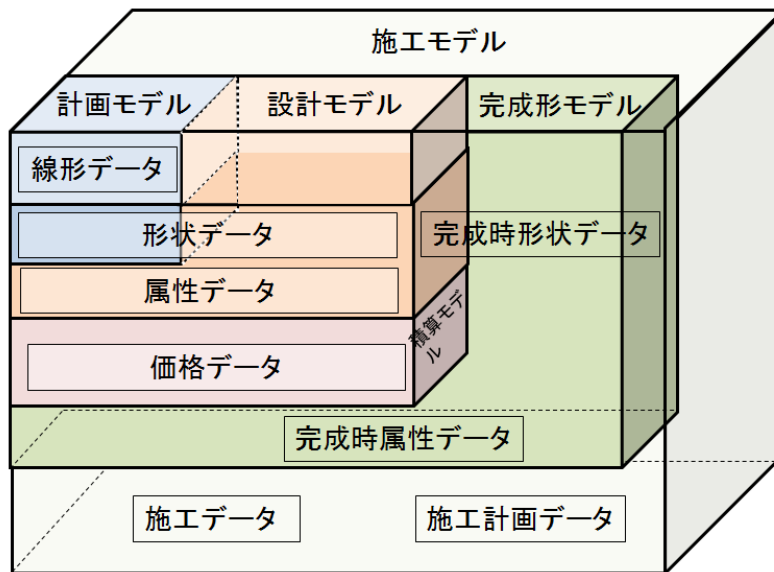
このような考え方の中では、従来のように各種のデータを連携するのではなく、共通した基盤をもとに、この中でデータを共有して利用していくことの方が効率化されると思われる。したがって、データを連携させる基盤が重要となる。

建設プロセスでのリスクの軽減（手戻りの軽減）

Make better decisions earlier in the process...



プロダクトモデルは、各フェーズでのデータに、次々にデータを付加するように、大きなモデルとなる。

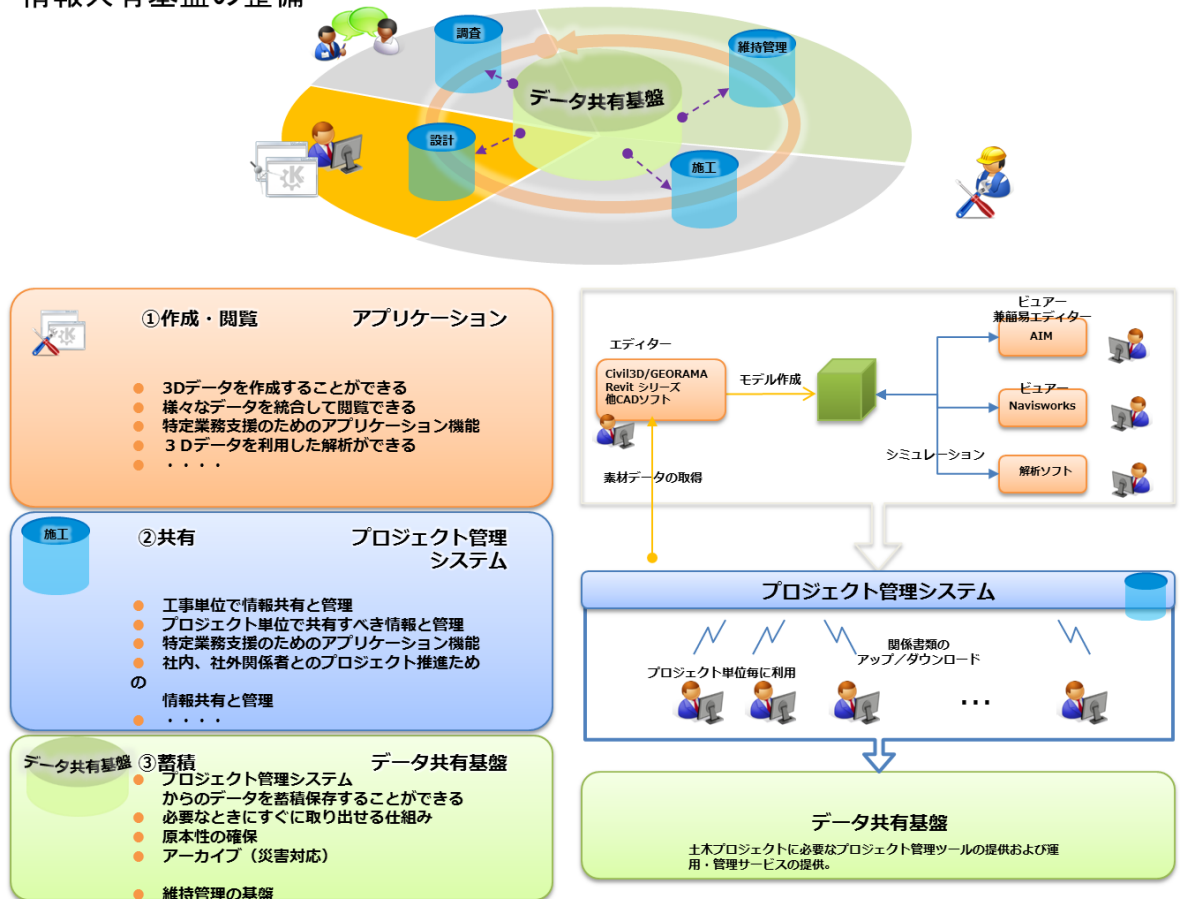


2. データ連携の考え方

(1) 建設段階での連携

建設段階では、発注者、設計者、施工者という3者でのデータ連携・共有となり、図に示すような形態が考えられる。

情報共有基盤の整備



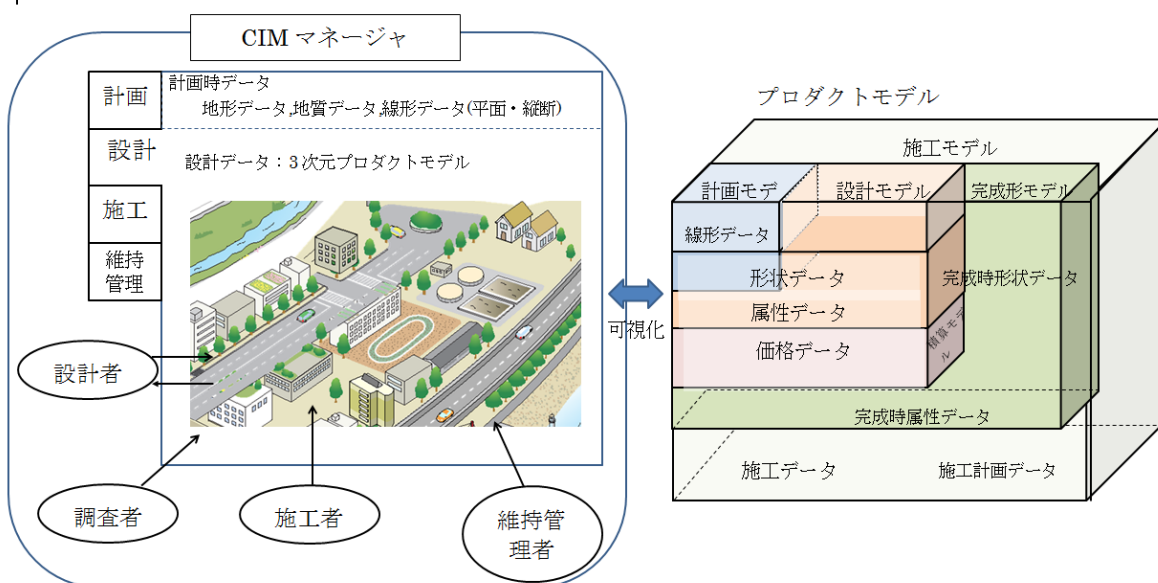
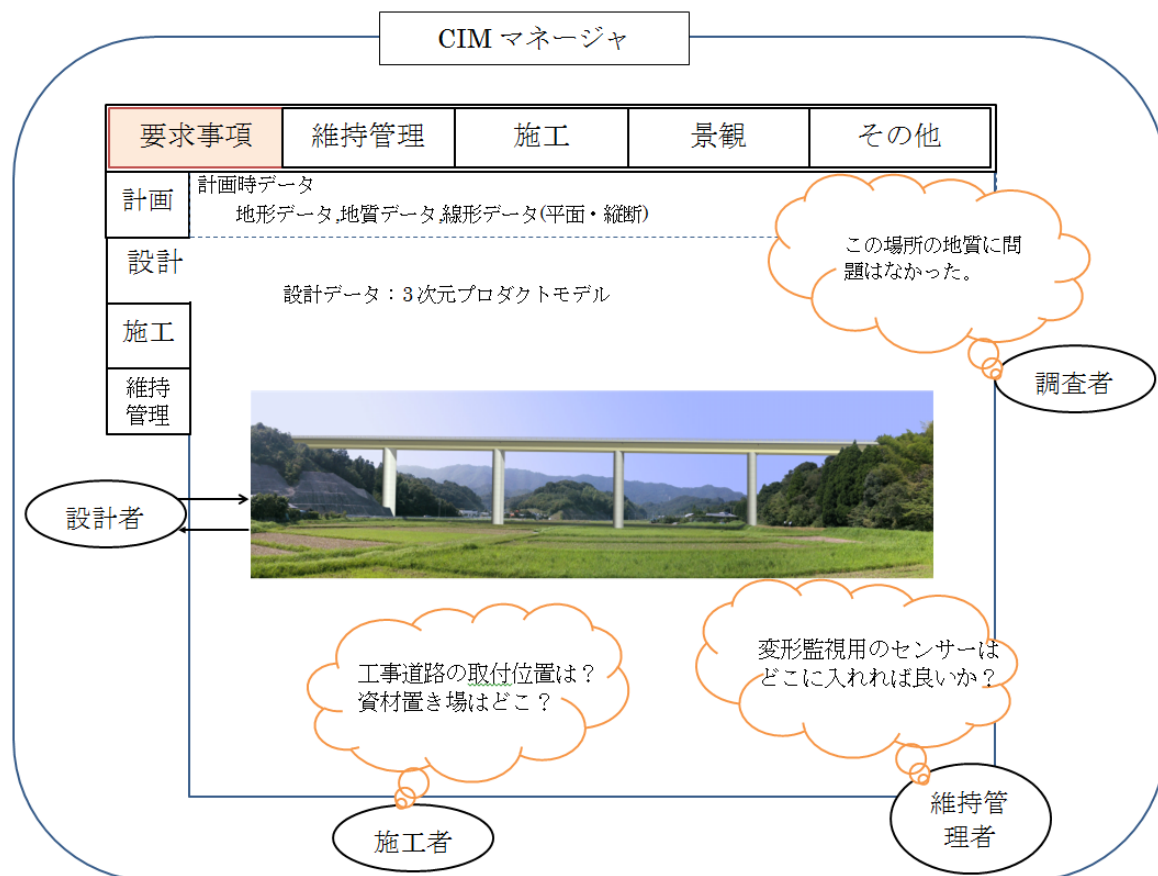
(2) 維持管理段階での連携

維持管理段階においても、点検・補修設計・補修工事と建設時とほぼ同じサイクルが回るが、今後は、センサーなどの情報も取り込んでいくことを考えなければならない。さらには、点検結果・センサー情報などから得られる知見を元に、劣化予測を行うなど、構造物を総合的に分析した維持管理を行うことが求められる。

個々の構造物の劣化度が予測可能となると、これらを統合して管理するアセットマネジメントとして活用される。

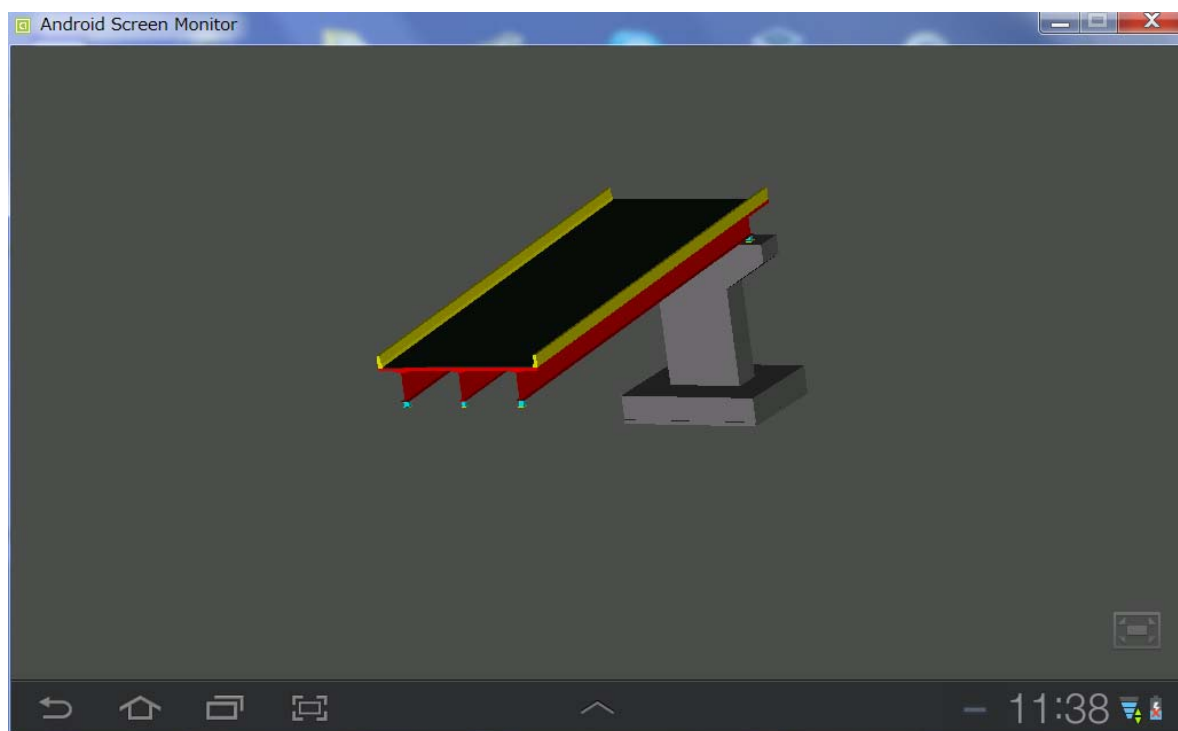
(3) データの管理

構造物をプロダクトモデルとして管理していくに当たっては、構造物全体の長期間に渡って維持管理していくための、データ構造などを明確にし、これを管理するマネージャ（CIM マネージャ）が必要となる。



3. 現状のツール

(1) Autodesk 360



運営：Autodesk

利用方法：登録制、利用料：無料

主な機能：AutoCAD, Revit の表示

制限：1人当たりのディスク容量 5GB

(2) kolg

The screenshot displays the kolg web application interface. The top navigation bar includes links for Home, Community, Members, Calendar, Map, and Management. Below this, a search bar and a secondary navigation bar with links like TOP, Members, Calendar, Noticeboard, Tasks, Workflow, Files, Map, and 3D Model are visible. The main content area features a calendar view for June 2015, with a list of tasks and their statuses. A sidebar on the left contains a list of members. Below the calendar, a 3D model viewer is shown, displaying a 3D model of a desk and chair. The viewer includes a toolbar with various manipulation tools and a dropdown menu for view and animation settings.

Home Community Members Calendar Map Management

CIM試行

このコミュニティを検索

TOP メンバー カレンダー 掲示板 タスク ワークフロー ファイル マップ 3次元モデル

6/12 (水) 6/13 (木) 6/14 (金) 6/15 (土)

新着投稿

★ 03/10 (日) 小林>全員 【進捗状況】配筋モデル

★ 02/11 (月) 小林>小林 Re: 【進捗状況】配筋モデルの作成状況

★ 02/10 (日) 小林>全員、関係者 【進捗状況】配筋モデルの作成状況

★ 12/05 (水) 小林>小林、関係者 業務計画書確認の御願 未対応

★ 11/22 (木) 小林>関係者各位 Re: 第2回・第3回社内打合せ議事録の確認 完了

★ 11/20 (火) 小林>小林、関係者、関係者、関係者 Re: 11/20 打合せの御願

★ 11/20 (火) 小林>小林 Re: 11/20 打合せの御願

★ 11/20 (火) 小林>関係者、関係者、関係者、関係者 11/20 打合せの御願

★ 11/19 (月) 小林>小林 Re: 先方対応資料作成について

★ 11/19 (月) 小林>小林 Re: 先方対応資料作成について

Home Community Members Calendar Map 設定 Management

COMMUNITY

TOP メンバー カレンダー 掲示板 タスク ワークフロー ファイル マップ 3次元モデル

CIMモデル.nwd

00 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000

運営：CTC

利用方法：登録制、利用料：有料

主な機能：掲示板、電子会議室、スケジューラ、ファイルキャビネット、地図表示

3次元モデル表示

制限：契約容量による

4. 今後の課題と方向性

今後の課題としては、以下のような点が考えられる。

(1) セキュリティの確保

一つのプロジェクトには非常に多くに関係者が利用するが、一人ひとりが使用する情報はあまり多くはない。しかし、全体の進捗は見渡せた方がよいため、編集できる情報と閲覧だけの情報をきめ細かく制御していくことが重要である。

(2) 長期間のシステムメンテナンス

建築などでは、工期は比較的短いが、土木ではトンネルやダムなどでは、計画から完成までに10年以上、供用開始からさらに50年以上も利用されるなど、ライフサイクルが非常に長い。

この長い期間には、多くの担当者が入れ替わるうえ、ハードウェア、ソフトウェア、OSなどの環境も変化していく。

こうした長いメンテナンス期間にどう対応していくかが課題となる。

(3) 時系列データの保管・更新

図のように、プロダクトモデルは、各フェーズのデータを保持している。設計・施工時でもいろいろな時期のデータが含まれ。どの時期を最終と考えるのか、どこまでのデータを保管するのが課題である。現時点でのデータが必要かどうかは、その先の時期にならないと判断できないことが多いため、すべてを残すべきだという意見も多い。

