

山陰西部国道事務所における i-Constructionの取り組み

濱永 貴史¹・山村 嘉治²・石田 高嗣²・福井 真吾¹

¹中国地方整備局 山陰西部国道事務所 工務課 (〒758-0041 山口県萩市大字江向318番地2-3)

²中国地方整備局 山陰西部国道事務所 (〒758-0041 山口県萩市大字江向318番地2-3)

中国地方整備局のi-Construction推進計画のモデル事業に位置づけられたことを受け、3次元設計、CIM活用（ICT含む）及び必要な測量データの取得など、測量、設計及び施工に向けた取り組みを実施。点群データの取得から3次元ベクトルデータの作成、CIMを用いた協議、ICT施工用データ作成からICT施工と各段階では一定の成果を得た。しかし、測量の精度に合わせた再度の設計、設計から施工まで一貫した互換性の確保といった課題が残る。設計の流れ、設計成果の納品方法を抜本的に変革していくことが対応策として求められる。現時点では改変に向けた過渡期であり、現有、活用可能な知見、技術を探求することが重要であると思料する。

キーワード i-Construction, CIM, AR, 3次元設計, ICT

1. はじめに

山陰西部国道事務所は、主に山口県内の山陰道整備を推進するため、令和2年度に新設された事務所である。木与防災事業（平成27年度事業化）、俵山・豊田道路（平成28年度事業化）は令和2年度に起工式を行い本線工事を促進。また、令和3年度4月には、大井・萩道路、益田・田万川道路が新規事業化され、調査設計に着手。

その中、令和元年度に中国地方整備局のi-Construction推進計画（以下「推進計画」）の「早期段階から一貫したBIM/CIMを導入するモデル事業」に木与防災事業、俵山・豊田道路が位置づけられたことを受け、事務所としてi-Construction（CIM）を本格的に推進している。

本報告は、i-Constructionの実現に向けて、3次元設計、CIM活用（ICT含む）及び必要な測量データの取得など、測量、設計及び施工に向けた一連の取り組みと、その内容と結果から見える課題について、主に俵山・豊田道路で取り組んだ結果を報告する。

2. 令和2年度の取り組み

令和元年度に推進計画に位置づけられた時点で、事業は一定の進捗が図られていたため、事業進捗の度合いに合わせて対応可能な取り組みを基本方針とし、必要なデータ取得、作成を各段階毎に実施した。

<基本方針>

・豊田工区：詳細設計概成⇒工事への展開（ICT施工デ

ータ作成）

・俵山工区：詳細設計中 ⇒道路、構造物設計への展開（3次元設計、CIMの導入活用）

<取り組み段階>

(1) 測量段階 (2) 設計段階 (3) 施工段階

基本方針と各段階の関係を表-1に示す。

豊田工区、俵山工区に進捗度合いの差があるものの、工事施工の全面展開に変化させていく時期であることから、CIM導入にあたっては、設計に必要な測量及び施工時に必要な設計について検討・実施した。

3. 各段階の取り組み

(1) 測量段階

過年度、航空写真・レーザー測量により数値図面化された図面作成が完了。現地路線測量、縦横断測量が実施済みであり、航空レーザー測量にて点群データを取得済み。後述する設計段階の意見を聴取し、既存点群データ

表-1 基本方針と各段階の関係

	豊田工区	俵山工区
測量段階	施工実施箇所以外	全線実施
設計段階	不足データの作成 要求項目の実現（施工）	不足データの作成 要求項目の実現（協議）
施工段階	ICT施工データの作成	未実施

では点群密度が粗であり、詳細な点群データを必要とすることからUAVレーザー測量を実施した。

＜要求点密度＞

・既存成果（航空レーザー）

⇒要求点密度 1点/m²（地図精度：1/1000）

・新規取得（UAVレーザー）

⇒要求点密度 20～200点/m²（地図精度：1/500）

設計と並行して測量を実施するため、迅速な測量成果取得が必要であり、施工段階を見据えた、設計段階で必要な範囲を実施。

＜データ取得範囲の考え方＞

・地形精度が用地取得幅に影響する可能性がある範囲

⇒官民境界（幅杭範囲）、切盛境界周辺

・将来返却（借地）する土地

⇒工事用進入路など原形復旧時に必要なデータ取得

・施工計画立案に必要なとなる範囲

⇒正確な電線の位置

本線中央部については、立木の繁茂状況が地表面のデータ取得精度に影響するため、立木伐採後に地表面データを施工段階で取得することとした。また、工事着手箇所は工事受注業者にて点群データを取得するため、業務では測量を実施しないこととした。

取得した点群データは「UAV搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル（案）（以下「マニュアル」）」に準拠し、①点群オリジナルデータ、②点群グラウンドデータ、③地形モデル（サーフェス）、④等高線データ、⑤点群グリッドデータを作成。しかし、設計段階において「草木で隠れる水路断面等は点群だけでは正確に把握できない（エッジの取得）」「①～⑤のデータを設計ソフトに反映すると、データ容量が大きすぎ、設計ができない（動かない）」など、3次元設計を行うことが困難となるため、3次元ベクトルデータ（図-1）を追加作成した。

また、草木で隠れている箇所等の位置、高さを特定するために現地において補備測量を実施した。

(2) 設計段階

設計は主に「道路設計」「構造物設計（橋梁・トンネル）」を実施。3次元設計及びCIM活用を具体的に進めるため、発注者が要求事項（リクワイアメント）を選定し、設計各社と何ができるのか具体的な計画立案を行った。選定した要求事項を表-2に示す。

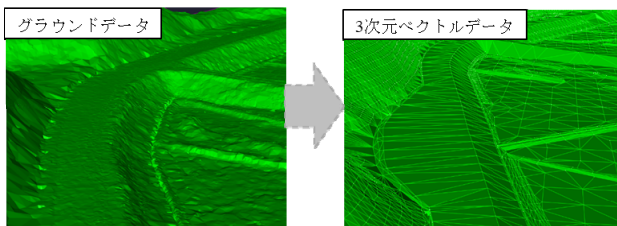


図-1 3次元ベクトルデータ

要求事項を満足するためのCIM作成の詳細度は、各社と協議を行い、道路設計及びトンネル設計については詳細度300を基本として実施した。橋梁については、PC上部、鋼橋上部等の橋種により難易度が変化、CIM作成費用に影響する。そのため、下部・PC上部は、鉄筋干渉チェック等に必要の詳細度400、鋼橋上部については、工事受注業者が原寸図に変わるCIM作成（400）を行うことから、重複を避けるため詳細度300とした。橋梁付属物（伸縮装置、排水施設等）についてもCIM作成コストを踏まえ詳細度300とした。橋梁の詳細度について図-2に示す。

道路設計について、過去の業務成果においてサーフェスモデル（LandXML）の作成が実施されていたが、要求事項を満たす3次元設計を行うために、前述で記載した3次元ベクトルデータを基に、3D設計ソフトを使用した3次元設計、CIM統合モデルを作成した。

道路設計、構造物設計ともに3次元設計及びCIMを業務成果として納品するものではなく、設計プロセスを効率化することに着目、目標を設定した。

道路設計では、3次元設計から得られたCIM統合モデルを活用。3次元設計データから3Dプリンターを用いた模型の製作やARを用いた視覚的に分かりやすい地元説明を実施した。

橋梁設計では、県道、河川及び電線類等の支障物件と

表-2 選定した要求事項

要求性能
情報共有システムを活用した関係者間における情報連携
工期設定支援システム等と連携した設計工期の検討
CIMモデルを活用した自動数量算出
CIMモデルを活用した効率的な照査
後段階におけるCIMモデルの効率的な活用方策の検討

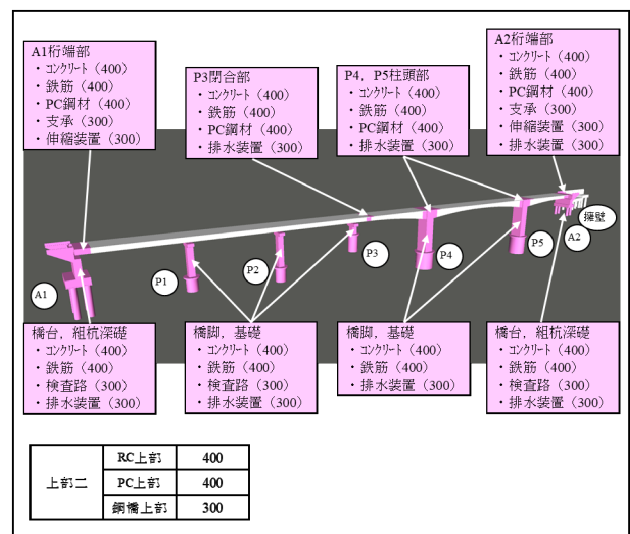


図-2 橋梁の詳細度

の影響を具体的に示すため、下部工施工時及び上部工施工時の一連作業の施工ステップ（4次元）CIMを作成。また、道路への影響範囲（俯角）や、上部工架設時の高圧線への影響範囲を示したCIMモデルを作成した。

(3) 施工段階

設計段階で作成されたデータ（LandXML）は、道路完成形状が作成される。工事施工段階では、現地の工事進捗度合いや予算状況など工事規模発注ロットとして分割統合されるため、設計段階で作成されたデータがそのまま発注データとして活用できない。

また、現状のICT施工（土工）では、施工業者が工事受注後に契約図面（2次元）を基に、ICT建機用の3次元データの作成を行っており、工事契約後、工事着手までの一定期間、データ作成等に時間を要している。そのため、早期工事着工できる環境整備も含めて、工事発注図作成に合わせてICT施工機械用のデータも発注者が作成し、受注業者へ貸与する試行を実施した。また、ICTデータの作成に合わせて、発注工事を対象とした施工ステップを示す（4次元）CIMを作成し、工事工程表として活用した。

4. 取り組み結果及び考察

(1) 設計に必要な測量データ

設計の概念として、道路設計及び構造物設計に必要な図面は、必要設計段階に合わせて図面精度も向上させている。たとえば、道路の概略設計では1/5000、予備設計では1/2500、詳細設計では1/1000、構造物周辺は1/500等、設計を行う準備として図面精度を向上させ、精度が向上した図面を利用した設計が行われる。合わせて、2次元の平面図は、点群データでは得られない地図としての機能（地図記号）を有している。設計者が平面図を見ることで、様々な情報を読み取り、地図上に展開した平面図で設計している。

点群データは、レーザーが照射された地点のX、Y、Zデータの集合体で、精度は点群密度等で判断されるため、点密度を向上させることが業務遂行上の目的となる。UAVの運行経路や、レーザー照射角度、場合によっては、地上レーザーと組み合わせることで、必要範囲の点密度を向上させることが重要であり、国土地理院の精度検定の項目として求められている。

また、取得した点群データを用いてマニュアルに準拠した、点群オリジナルデータ、点群グラウンドデータ、地形モデル（サーフェス）、等高線データ、点群グリッドデータを作成する。しかし、現時点で点群データから得られる5つのデータには、地図としての機能を有する情報が無い。また、既存の地図と融合させる基準・精度検定も整備されていない。一方、道路事業実施段階では、

都市計画の縦覧図書など法的に必要な図面を準備する必要があり、現状においても法的に定められた従来の2次元図面の作成は必要不可欠である。

これらの背景を踏まえ、以下の点が考察として上げられる。

a) 3次元データを有した地図

測量関連基準の整備及び法律に付随する図書の基準等、環境が整備されるまでは、地図機能を有していない3次元データだけで事業遂行を行うことは困難である。そのため、3D設計、ICT施工等の活用方法を事業初期段階で明確にしたうえで、点群データ取得範囲を決定していくことが重要である。

b) 点群データの精度

道路設計を主に考えると、精度検定が整備されていない3次元ベクトルデータの活用が優位と考えられる。しかし、3次元ベクトルデータは、設計段階で使用するパソコン、ソフトの動作環境に依存し作業性に重きをおいたデータ形式となっている。地形データ別のデータ容量の例を表-3に示す。

3次元ベクトルデータの作成は、設計者の意見である既存構造物等のエッジを表現するためには必要な手法ではあるものの、3次元ベクトルデータを作成するためには、精度基準を満たす点群データをマスキングする作業を実施することとなる。一方で、測量技術者は精度基準を満たす点群データ取得に重点を置く傾向がある。3次元設計をスムーズに実施するため、現在の環境（測量規定等による点群精度基準、パソコン、ソフトの動作環境）では、マスキングした3次元ベクトルデータと精度基準を満たす点群データ両方の成果を求めざるを得ない結果となった。

(2) 3次元設計・CIMの活用

取り組みに示すとおり、道路設計及び構造物設計にて3次元設計、CIMの作成を行った。特に「何ができるのか」を更に具体的に実施するため、業務実施段階で活用し、その有用性が確認できたので、道路設計、構造物設計それぞれの結果を以下に示す。

a) 道路設計における活用

俵山工区の道路設計は、本線の設計が概成し、道路周辺の地元設計協議の熟度を上げる作業を実施していることから、地元協議へCIMを活用した。CIM統合モデルを用いることで、パソコン上でも視覚的に分かりやすいデータの作成が可能となるが、更に地元へ出向いて地元関係者の理解が深まるよう、データを3Dプリンターで作

表-3 地形データ別のデータ容量

	グラウンドデータ	等高線データ	3次元ベクトルデータ
データ形式	点群データ (.txt)	ポリライン等のCADデータ (.dwg等)	ポリライン等のCADデータ (.dwg等)
データ容量	約29MB	約9MB	約5MB
データ容量 (サーフェス作成後)	約100MB	約11MB	約10MB

成した模型と、ARを用いた地元協議を実施。地元協議に使用した資料を図-3に示す。

地元協議の流れとして①従来型の2次元図面で説明、②PCにて統合モデルを提示、③3Dプリンターの模型を提示、④現地にてARで確認の順序で進めた。また、構成は、男性60歳代、30歳代、女性60歳代の3名が対象であった。説明者の視点では、①で説明する場合、平面図を理解してもらい説明が必要となるが、②③④ともに土木知識がなくとも理解力が向上しており、平面図を見るための一定の技術力を引き出す作業を削減することが可能となる。②は相手方が見たい箇所を眺望を確認することができる一方、狭い範囲がPCに表示されるため、全体をイメージするには時間を要する。また、説明者がシステムに不慣れな部分もあり、説明に使用するシステムの熟練度が、相手方の理解度に直結した。③は詳細部分まで確認できないまでも、全体のイメージをつかむことには優れていた。①から③については、説明者の説明と合わせ相手方が受動的に理解する必要があるが、④については見たい場所、見たい情報を地権者自らが主導的に見に行くことが可能となった。

また、相手方の理解度から考えると、年齢を含めて個人の習熟度合いによって興味を示す傾向が変化した。全年齢的に③模型は興味を示し、理解が促されている傾向があった。②パソコン④ARについては、30歳代は、興味も含め積極的に情報を得るための行動が見られたが、60歳代は、主導的に情報を取得できる環境であっても、説明と合わせた受動的な手法を求める傾向が見られた。また男女の差は無かった。

なお、地元設計協議は、対話により相手の意向を聞き出し設計に反映させることが大きな目的である。相手の理解度が向上し、具体的な意向を聞き出すことが可能ではあったが、意向に対する対応方針は、既存①に絵を描

いて説明した。

これまでの説明を主体とする受動的な説明ツールとは異なり、主導的に情報収集可能なツールを活用することで、相手方の理解が深まり、説明者と相手方の思い違いを防止するには有用であった。ただし、各ツールともに相手方の興味と習熟度に依存する傾向にあった。また、相手方の意向に対する対応方針を示すには現時点では説明者側の熟練度が高い①平面図を使用せざるえない。今後、説明者の熟練度が高まり、PC上で加工が可能となれば、②PCを使用して、具体的な方針を示す検討も望まれる。

b) 構造物設計における活用

構造物設計における活用は、過密配筋に関する活用事例は多数あり、本事業も同様に実施した。その中、一般的な下部工だけでなくPC上部工においては、PCケーブルと上部工の配筋が干渉する箇所を特定し、干渉を防ぐ配筋方法を検討し、干渉対策完了後の配筋図を設計成果に納めた。また、橋梁施工手順をCIMで再現し4次元CIMを用いた施工計画の検討、関係機関協議に活用した。

関係機関協議に活用した構造物は、道路、河川を横断する橋梁を用いた。特に地形的な制約により電線類の移転候補地が限られることから、電線類の移転可否が橋梁の施工計画に大きく影響を及ぼす箇所であった。関係機関協議は作成した4次元CIMを机上にて説明。電線類が支障となる橋梁の施工内容及びヤードや、上部工架設時の高圧線との保安距離を示した。(図-4)その後、現地にてARで橋梁位置を確認いただいた。

協議を通し、協議先である電線事業者から、説明に関する反応・質問は無かった。一般的な協議の場合、相手方から「どのような施工をするのか」「時期はいつ頃になるのか」「移転先はどこなら大丈夫か」等、伝えられていない情報に対する質問を答えていくが、橋梁の完成

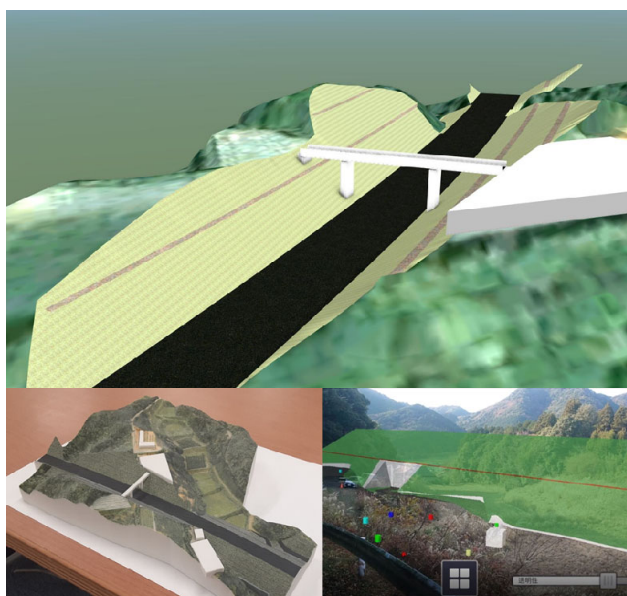


図-3 地元協議に使用した資料

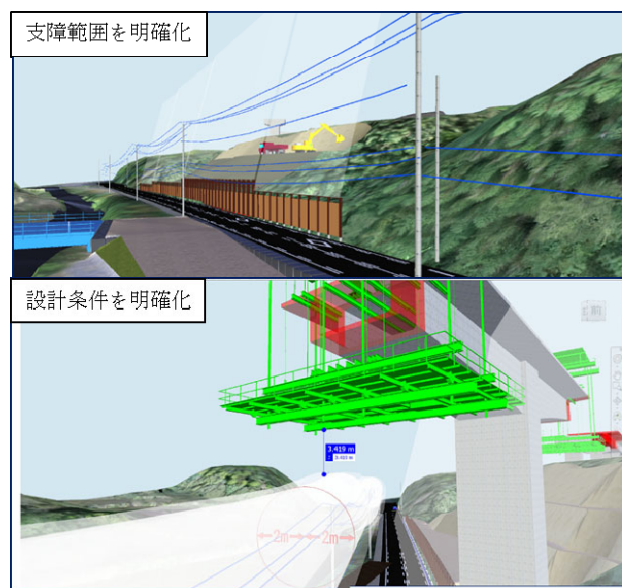


図-4 関係機関協議に使用した資料

計画だけでなく、全ての施工ステップを示すことで、関係者が必要な情報を自らが情報収集することが可能となり、説明時間の短縮、理解度の向上につながった。

今後、更に4次元CIMが推進することで、協議方法が対面からWEBに変革する現在においては、有用な技術であることが確認できた。

(3) ICT施工を見据えた設計

ICT施工機械に入力するデータは、工事発注後に施工業者で作成することが一般的である。道路設計を行う設計コンサルにはノウハウが無いため、実績を有する業者へのヒアリングを実施した。

ICT施工用データは、発注された2次元CADデータを専用ソフトで読み込み、データ照査を行ったうえで、必要なデータを追加するのが一般的である。また、設計成果として納品されるLandXMLデータは追加変更等の改変ができないデータであるため使用されていない。そのため、ヒアリング業者と同様に、契約図を基本とし必要な測線を増加させていくこととした。将来的に、地形の変化点、設計断面の変化点を全てを押さえた詳細データ（マシンコントロール）を作成することが目標ではあるが、測線を細かくすることの注意点として以下の点が上げられる。

- ・精度を上げるには費用と時間が必要
 - ・点群データが無いと実際地形が再現できないため、モデル作成が出来ない。
 - ・ラウンディング等の細かい処理を設計で行うと、機械施工時にエラーが出る可能性がある。
 - ・データピッチが狭すぎるとエラーが出る可能性がある。
- 以上の課題に配慮し、施工可能データ（マシンガイドン

ス）の作成を実施した。施工データ作成のモデル比較を表4に示す。

作成したデータは、今後、ICT機械にデータを搭載させ、実施工を踏まえた検証を行う予定である。

5. 取り組み課題と対応策（案）

設計を軸とした3次元設計及びCIM活用に取り組んだ結果、段階毎には解決可能な課題と効果が確認できたが、更に効率的に進めるためには、様々な課題があり、その対応策（案）をまとめた。

(1) 設計に必要な測量データとその関係性

前述で説明したとおり、測量データを先行した場合には、設計に必要な範囲以外にもマスキング等の処理（3次元ベクトルデータ作成）を行う可能性があり、費用・時間を無駄にする可能性が高い。

そのため、設計の流れを抜本的に変化させる必要がある。地図に必要となる点群データ取得以外は、設計の流れに合わせ、設計を更新するのではなく点群精度及びデータを更新していくことが必要だと考える。（図-5）そのため、現在納品されていない設計技術者が使用する3次元設計データ（設計要素データ）を設計の各段階に引き継ぎ、使用することが1つの方法だと考えられる。

測量基準、パソコン環境の過渡期である現時点においては、設計を先行実施しつつ、高密度点群が必要な範囲と3次元ベクトルデータを活用することで、従来の線

表4 施工データ作成のモデル比較

	① 簡易データ	② 施工可能データ	③ 詳細データ
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・現在の発注に沿った2次元契約ベースの3次元設計データ ・断面が20mごとしかない3次元設計データ ・断面が20mごとがなくICT機械では施工不可 	<ul style="list-style-type: none"> ・要領等に沿った3次元設計データ ・3次元起工測量から得られた地形TINデータを重畳し地形に沿った3次元設計データ ・オペレータの扶量必要（マシンガイダンスのレベル） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ICT機械に搭載する3次元設計データ ・要領等に沿った3次元設計データに現場オペレータ作業容易性・丁寧不要の施工可能データ ・オペレータの扶量はほとんど必要ない（マシンコントロールのレベル）
作成データ 全景			
データ 作成範囲			
作成時間	1	2倍	2.7倍
作成費用	1	2倍	2.7倍

設計要素 (保存データ) 一元管理

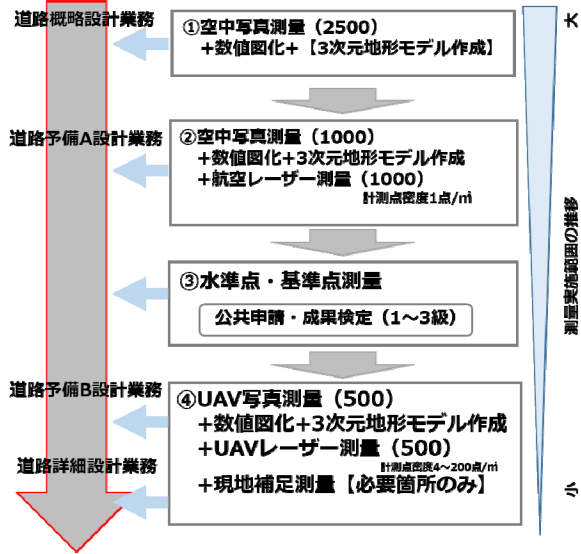


図-5 設計の流れ

形計算を基にした路線測量等、現地測量作業を最小限にすることが可能だと考える。

(2) 設計から施工まで一貫した互換性の確保

LandXMLデータを基本とした現在の取り組みでは、軽微な修正すら困難であり、設計から施工までを一連のデータで進めることが出来ない。

また、3次元設計で使用している設計ソフトは、設計

会社毎に異なっており、ソフト間の互換性は低い。かつ、ICT施工に必要な土工データを作成するソフトは、建設機械と互換性の高いソフトを使用して作成されており、山口県内のリース業者は全て同じソフトを使用しているが、設計会社が使用しているソフトと異なっている状況にある。

今後、フロントローディングを進める上で、設計から施工まで一貫したデータ互換性を確保することが必要である。建設機械への入力を見据えた設計ソフトの互換性を向上させるため、設計ソフトを特定し、ソフトの保存データを納品させ、後工程（設計、施工、管理）に受け渡しできるようになれば、生産性向上につながるものと思料する。

6. まとめ

CIM活用を推進していく中で様々な効果、課題が見つかった。CIMは納品するものではなく業務遂行時に活用するものと考え、新たな技術の進展に伴い、道路設計の進め方を抜本的に見直すことで、更なる生産性向上が期待できる。

しかし、現時点では法律、基準、PC環境など、様々な段階で改変に向けた過渡期であり、現有、活用可能な知見、技術を探求することが重要である。