

I-8 情報化施工に必要な3次元設計データに関する一提案

A discussion on 3D design data required for intelligent construction

篠原雅人¹・上石修二²・藤島崇³・椎葉祐士⁴

Masato Shinohara, Shuji Ageishi, Takashi Fujishima and Yushi Shiiba

抄録：設計段階から施工段階に提供される現状の図面データは、情報化施工技術で直接的には現状利用できない。これに起因し、情報化施工を行う施工現場では、3次元設計データの作成に多くの時間を要することが課題となっている。そこで、情報化施工技術で利用する3次元設計データを効率的に作成できるよう、現状の図面データの利用上の課題を抽出し、図面データでは不足する情報を補足して簡易に3次元設計データを作成できるソフトウェアを研究開発した。

本稿は、この研究開発の概要と検証実験で確認した3次元設計データ作成の時間短縮効果を報告し、施工段階で利用するための図面データにおけるデータ仕様の要件について考察するものである。

Abstract: Currently, the drawing data sent from designers to builders cannot be put to practical use directly. This bottleneck inevitably leads to time-consuming creation of 3D design data at the work site where intelligent construction is under way. The authors have successfully introduced software that helps the personnel concerned create the 3D design data easily, allowing them to effectively prepare the data indispensable to intelligent construction. The success has been gained through indication of factors that hinder smooth application of the current drawing data and through addition of necessary data to the previous data.

This paper outlines the process of R&D of that software, reports the benefit of shortening the time taken for data creation as verified in the test, and discusses the requirements for drawing data to be effectively used during construction.

キーワード：情報化施工, ICT (情報通信技術), SXF, 施工管理データ交換標準, LandXML, プロダクトモデル, CALS/EC

Keywords : Intelligent Construction, Information and Communication Technology, Scadec data eXchange Format, Construction work control data Exchange format

1. はじめに

建設施工技術においては、コンピュータやネットワーク技術等を利用したICT（情報通信技術）の活用が進展し、特に近年の測量技術と制御技術の進歩により、施工段階で活用できるマシンコントロール技術、マシンガイダンス技術、トータルステーション・GNSSを用いた出来形管理技術などの様々な情報化施工技術が実用化されている。

これら技術を用いた情報化施工は、産学官が協調して取りまとめた「情報化施工推進戦略（平成20年7月）」¹⁾に示されるように、国土交通省が政策として戦略的に普及を進めている建設生産システムである。現在、国土交通省では、情報化施工の普及に向け、工事発注者、施工企業等の課題解決に取り組むとともに、情報化施工技術の導入を前提とした全国での試行工事等を実施している。

この課題のひとつに「建設機械への入力用設計データ作成の合理化」がある。この課題は、設計段階

から施工段階に提供される現状の図面データが、情報化施工技術で直接的には現状利用できないために起こる課題であり、情報化施工を行う施工現場では、実際に3次元設計データの作成に多くの時間を要している。このデータ作成時間の増大は、情報化施工を施工現場に導入する上で重大な課題であると認識し、早急に対応策を検討する必要があると考えた。

そこで、情報化施工技術で利用する3次元設計データ作成の効率化を目的とし、現状の図面データ(SXF)の利用上の課題を抽出するなど分析・検討を行い、図面データでは不足する情報を補足して簡易に3次元設計データを作成できるソフトウェアを研究開発するに至った(図-1参照)。

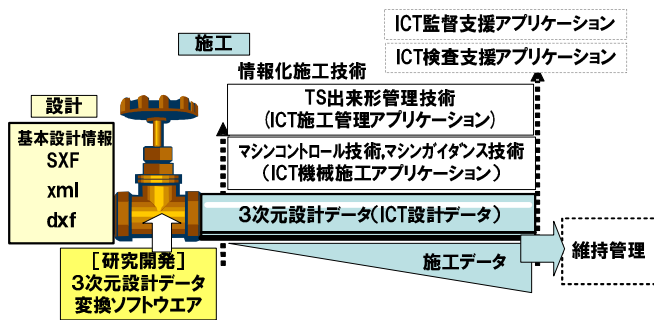
この研究開発では、このソフトウェアから出力される3次元設計データが、既に施工現場への普及が進んでいるマシンコントロール技術、マシンガイダンス技術およびトータルステーションを用いた出来形管理技術(以下、TS出来形管理技術と記す)で直接的に利用できることを目指した。

1：正会員 工修（社）日本建設機械化協会施工技術総合研究所 研究第三部 主任研究員
(〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154, Tel : 0545-35-0212, E-mail : shinohara@cmi.or.jp)

2：正会員（社）日本建設機械化協会施工技術総合研究所 研究第三部 次長

3：正会員（社）日本建設機械化協会施工技術総合研究所 研究第三部 主任研究員

4：正会員（社）日本建設機械化協会施工技術総合研究所 研究第三部 研究員



図一 1 研究開発による成果のイメージ (平成 20 年度)

本稿では、まず、この研究開発の概要と研究開発成果であるソフトウェア（機能と入出力データ）を説明し、検証実験で確認したソフトウェアを導入した場合の設計データ作成の時間短縮効果を報告する。

また、研究開発の考察として、情報化施工を研究する立場から、施工段階で利用するための図面データのデータ仕様に対する要件を提案する。

2. 3次元設計データに関する研究開発の概要

本研究開発の目的は、情報化施工技術で利用する3次元設計データ作成の効率化に寄与するソフトウェアの開発である。

本ソフトウェアで対象とする情報化施工技術は、全ての情報化施工技術とするのは困難であると判断し、施工現場への普及度を勘案して、①マシンコントロール技術、②マシンガイダンス技術、③TS出来形管理技術に限定することとした（図一 2～図一 4 参照）。

また、ソフトウェアで扱う3次元設計データは、上記の技術で必要となる形状に限定することとした。

本研究開発の概要として、研究開発内容の一部を以下に報告する。

(1) 情報化施工を実施する施工現場での課題

施工現場で情報化施工を行う上で必要不可欠な作業として、数値制御値や施工目標値を情報化施工技術へ与える3次元設計データの作成作業がある。

3次元設計データは、一般的には、設計段階で作成された図面データを基本とし、施工計画にしたがい編集・加工されて完成するが、現状では、基本とする図面データが、情報化施工技術で直接的には利用できない。このため、現状での3次元設計データの作成は、施工現場では図面データから必要なデータを抽出し、手作業でパソコンへ入力する作業を繰り返し行う必要がある（図一 5 参照）。

このデータの抽出・入力作業には、多くの時間を要し、この作業手間が情報化施工の導入する際、あるいは導入を検討する上で一つの懸案となる。

なお、この課題の本質は、CALS/EC²⁾、情報化施工で本来目指している「設計段階から施工段階への情報の流通」が確保できていないことにある。

(2) 情報化施工技術に必要な3次元設計データ

まず、マシンコントロール技術、マシンガイダンス技術に必要な3次元設計データについて、これら技術を開発した測量機器メーカ3社に対し、聞き取り調査などを行った。

この結果、情報化施工技術に必要な3次元設計データは、メーカに依らず①サーフェイスデータ（不等三角網データ）とブレイクラインデータ（図一 6 参照）であること、②データ仕様はLandXMLおよびDXFであることが判明した。

また、TS出来形管理技術は、国土交通省において要領³⁾が既に通達・運用が開始されるとともに、この技術で流通する情報に対しては、既に標準化がなされている（施工管理データ交換標準 (Ver2)⁴⁾）。

このデータ交換標準にしたがった3次元設計データでは、中心線形要素（平面・縦断）と横断形状要素（以下、基本設計データと記す）が必要となる。

ここで、この基本設計データとサーフェイスデータあるいはブレイクラインデータの関係性について分析すると、サーフェイスデータ等を構成する座標点群(x, y, z)が、基本設計データから抽出できることがわかった（図一 6 参照）。

また、現状での3次元設計データの作成作業で用いる入力データに着目すると、①仕上がり面を構成する座標点群（主に造成工事）か、②中心線形要素（平面・縦断）と横断形状要素（主に道路土工、河川土工）かに大別できる。

以上を踏まえ、本研究開発においては、情報化施工技術に必要な3次元設計データとして、現状での施工現場の作成作業に倣った、基本設計データが必要であると結論づけた。

(3) 図面データに基づく3次元設計データ作成上の課題

3次元設計データの基本とする図面データは、現状、設計業務における電子納品要領にしたがい作成されるSXF形式（レベル2）の2次元図面である。

この2次元図面に基づき情報化施工技術に必要な3次元設計データを作成するためには、人の介在を前提としなければならない。

具体には、①完成形状を表す線に対し、要求する形状の標高や寸法などの数値は人が判断すること、②平面線形、縦断線形、横断形状等が別々の紙面あ



図-2 マシンコントロール技術



図-3 マシンガイダンス技術



図-4 出来形管理用TS

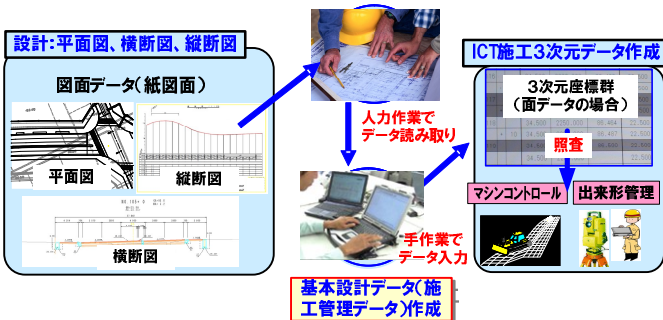


図-5 現状での3次元設計データの作成方法

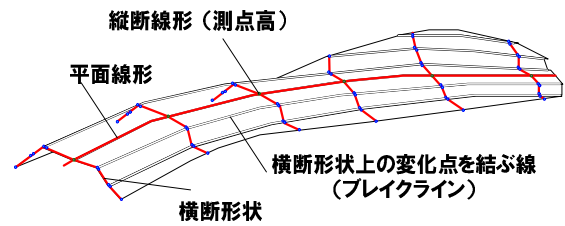


図-6 情報化施工技術に必要な3次元設計データ

るいは同じ紙面へ不規則に描かれており、これらの組合せは図面の種類、図面上の文字情報を人が判断すること、③図面により縮尺が異なる、あるいは1紙面上に複数の縮尺で描かれていることなどである。

ただし、本研究開発時点での最新の電子納品要領にしたがえば(SXFレベル2 ver3)、2次元図面の他に中心線形要素(平面線形・縦断線形)が付与されることがわかった(道路中心線形データ交換標準(案)⁵⁾にしたがったroadGM.xml)。

以上を踏まえ、本研究開発では、3次元設計データ作成に対する図面データの課題としては、①図面の縮尺や横断形状要素等のデータが不足すること、②不足するデータの判読、抽出に手間を要することにあると結論づけた。

(4) 3次元設計データ作成上の課題への対応策

本研究開発では、前述(1)～(3)の現状分析成果を踏まえ、施工現場での図面データを用いた3次元設計データの作成時間短縮には、横断面図面(SXF)上の線分を選択することで、各横断形状要素の入力が行える機能等を有するソフトウェアが必要であると考え、このコンセプトのもと実装した。

開発したソフトウェアの特徴を以下に列挙する。

- 入力データとして、SXFに加え、a)道路中心線形データ(roadGM.xml)、b)TS出来形管理技術のデータ交換標準として既に実装される施工管理データ交換標準(ver2)の取り込みが可能である(図-7参照)。
- 読み込んだSXFに対し(図-8①参照)、図面の縮尺、図面上で選択した位置の標高を与えることで(同図②参照)、線分の選択(始点、終点の選択等)により横断形状要素を入力できる(同図③参照)。
- 出力データは、①マシンコントロール技術と②マシンガイダンス技術で利用するLandXML形式のサーフェイス、ブレイクライン(図-9参照)と、③TS出来形管理技術で利用する施工管理データ交換標準にしたがった基本設計データである(図-7参照)。
- TS出来形管理技術のデータとして横断形状

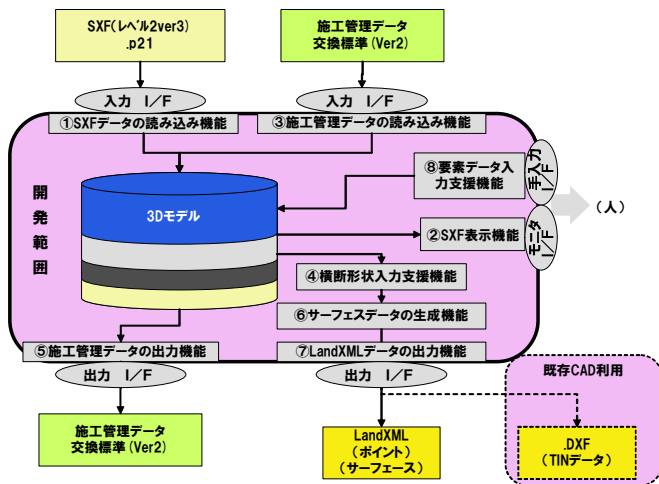
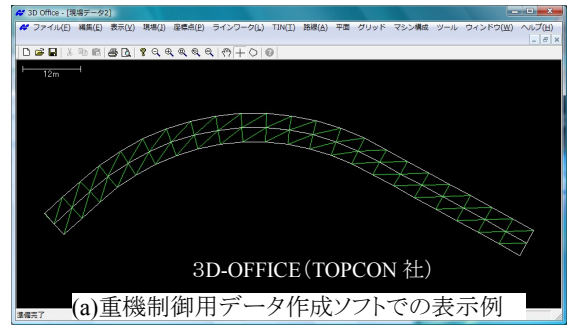
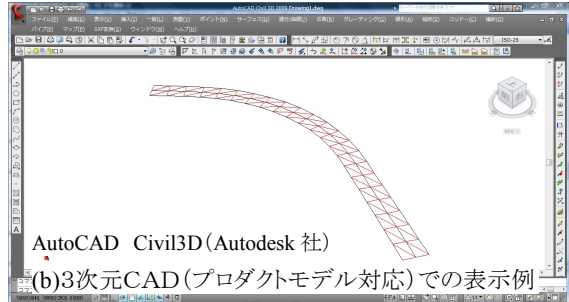


図-7 研究開発したソフトウェアの機能と情報



(a)重機制御用データ作成ソフトでの表示例



(b)3次元CAD(プロダクトモデル対応)での表示例

図-11 出力データの読み込み状況 (LandXML)

ごと（管理する横断面ごと）に必要な出来形管理の計測位置，項目（図-10参照）と，管理項目（基準高，幅，長さ）が設定できる。

- ・サーフェイスデータ作成時に，指定した任意の間隔で横断形状を発生させ，管理断面間を補足したサーフェイスデータを作成することが可能である（図-11参照）。

また，3次元設計データの作成作業において，このソフトウェアを用いた場合，従来の手順と比べ次に示す合理化効果などが期待できる（図-12参照）。

- ・最も時間を要する横断形状要素データの入力作業が，SXF上の線分等の選択といった簡単な方法で行えるので，作業時間を短縮できるなどの効率化が図れる。
- ・現状では，異なる複数の情報化施工技術を導入した場合，個別に作成していた3次元設計データが一度に作成できる。例えば，マシンコントロール技術と出来形管理用TSの組み合わせが想定される。

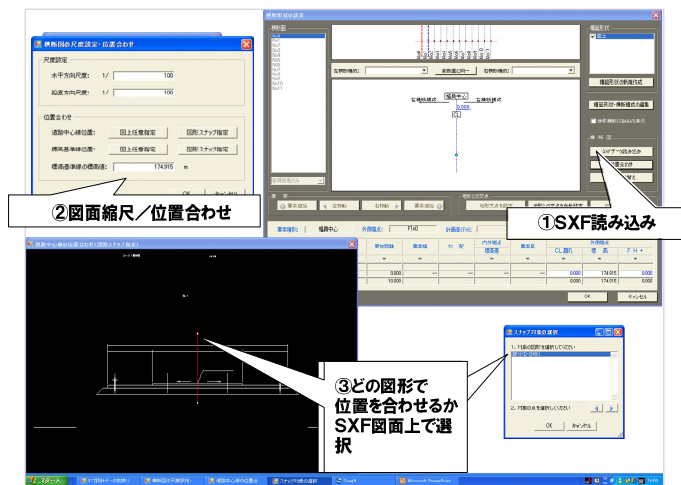


図-8 横断形状要素の入力方法（ソフト上の機能）

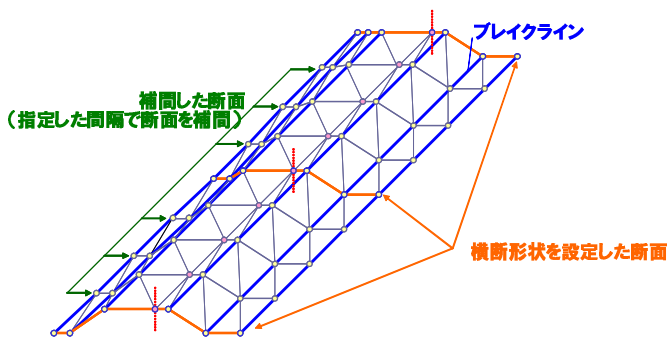


図-9 サーフェイスデータ補足（ソフト上の機能）

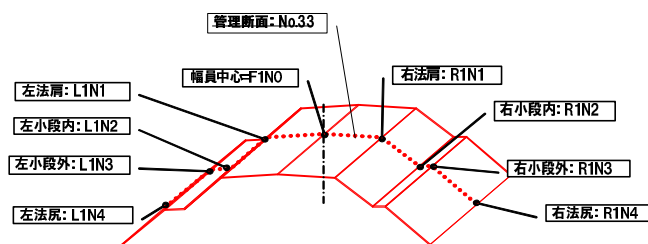


図-10 出来形管理の計測位置，項目の与え方

なお，このソフトウェアは，図面データを基本に施工計画にしたがったデータを作成できるよう（例えば段階的に仕上げる場合，各施工段階の仕上がり面のデータを作成したい），①基本設計データの数値変更が手入力可能，②中心点からの離れ距離，高さを指定することで，横断形状を変えずにの位置を移動することなどが行える機能を付加している。

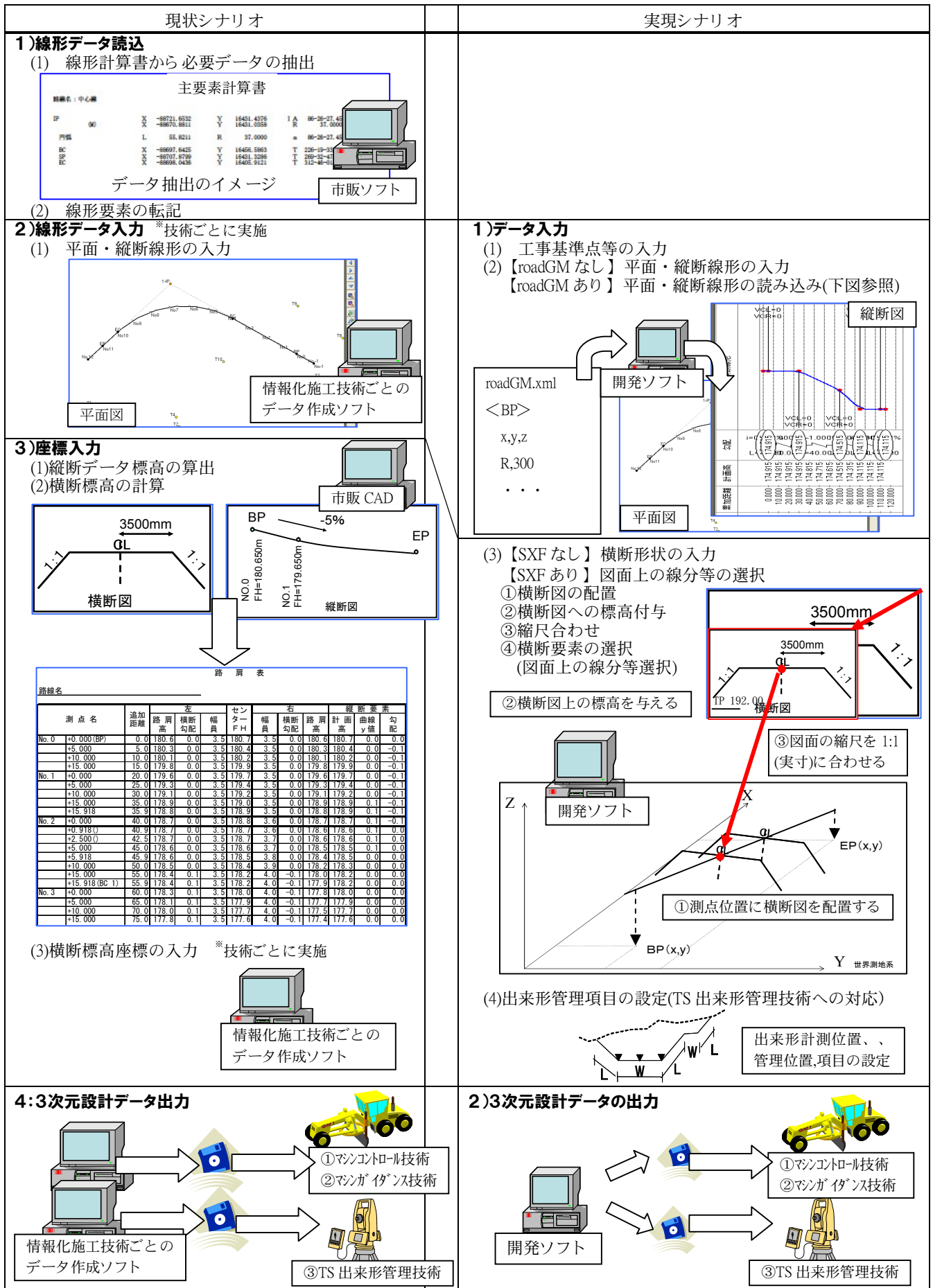


図-12 ソフトウェアを用いた3次元設計データ作成手順

3. 3次元設計データ作成に要する時間短縮効果

前述2.に示すソフトウェアの導入効果として期待する、3次元データの作成時間に対する短縮効果について検証実験により確認した。

(1) 検証条件

検証実験は、従来手法とソフトウェアを用いた手法（以下、実現手法と記す）の両方を実際に行い、これらを作業時間の比較する内容とした。

また、従来手法には、実現手法と同様に中心線形要素と横断線形要素を入力する手順（以下、従来A法：線形入力型と記す）と、中心設計要素と横断線形要素からサーフェスを構成する3次元位置座標を算出し入力する方法（以下、従来B法：面データ作成型と記す）の2つがあるため、検証実験ではこの両法を実施することとした。

なお、従来B法は、入力項目が単純であるという利点はあるが、特に横断構成要素が多い場合などで入力ミスが発見し難いという欠点がある。

a) 作業範囲

3次元設計データの作成から、情報化施工技術に必要な3次元設計データとして変換するまでの作業を対象とした（作業内容は図-12参照）。

b) 提供情報

提供する図面データは以下のとおりとした。
（設計条件は表-1参照、対象工種は路盤工）

- 線形計算書（PDF資料）
- 中心線形データ（RoadGM.xml）
- 平面図・縦断図・横断図（全10枚：SXF）

c) 被験者

作成作業は次の要件を満足する者が実施した。

- 従来手法は、情報化施工技術に必要な3次元設計データの作成に慣れた者が実施する。
- 実現手法は、ソフトウェアの扱いに慣れた者が実施する。

d) 対象技術

作成する3次元設計データは、路盤施工の敷き均し作業で用いる、つまりグレーダに搭載するマシンコントロール技術で使用を想定することとした。

(2) 検証成果

検証実験で確認した従来手法と実現手法の作業時間を比較成果によれば、以下の時間短縮効果が検証できた（表-2、図-13参照）。

- 中心線形データの読み込みにより、3次元設計データ作成・変換に要する作業時間は、15%程度作業時間を短縮できる（図-13に示す従来A法と従来B法との比較）。

- 横断形状要素をSXFを利用して入力することで、前述の作業時間は45%程度短縮できる（同図の従来B法と実現手法との比較）。
- 実現手法（中心線形データの読み込み、横断形状要素をSXFを利用して入力）は、従来手法と比べ、60%程度短縮できる（同図の従来A法と実現手法の比較）。

表-1 設計条件（効果検証実験）

項目		設計条件
平面線形		延長：110m,測点間隔：10m
	No.0+0.0~No.3+7.0	直線：37m,
	No.3+7.0~No.6+2.5	曲線：62.5m (R=50m)
	No.6+2.5~No.11+0.0	直線：10.5m
縦断線形	No.0+0.0~No.3+0.0	縦断勾配=0.0%
	No.3+0.0~No.7+0.0	縦断勾配=-1.0%
	No.7+0.0~No.9+0.0	縦断勾配=-2.0%
	No.9+0.0~No.11+0.0	縦断勾配=0.0%
横断形状	No.0+0.0~No.1+0.0	幅=6.0m,横断勾配=0.00%
	No.2+0.0	幅=6.0m,横断勾配=1.00%(右下がり)
	No.3+0.0	幅=6.0m,横断勾配=1.00%(左下がり)
	No.6+0.0	幅=6.0m,横断勾配=4.00%
	No.10+0.0~No.11+0.0	幅=6.0m,横断勾配=0.00%

表-2 3次元設計データの作成時間の比較

作業項目	詳細	従来手法		実現手法 (開発ツール型)	削減率 ^{※4} (%)	
		A)線形 入力型	B)面 ^テ 作成型			
基本情報 作成	工事名 基準点等	8 ^{※1}	同左	同左	-	-
線形データ 作成	平面	10	6.5	1 ^{※2}	90	85
	縦断	10	6.5		90	85
横断データ 作成	天端面 (10断面)	40 ^{※3}	25 ^{※3}	14 ^{※3}	65	44
出来形 管理設定	基準高 幅	1 ^{※1}	同左	同左	-	-
3次元 設計データ		1	2	3	200増	50増
合計		70	49	27	61	45

- ※1：従来方法では、重機制御データ作成のみを対象。
- ※2：roadGMで道路線形が提供されると想定。
- ※3：個別の調査結果は10断面の天端面のみの入力時間に換算
- ※4：削減率の左欄は従来A法を、右欄は従来B法をそれぞれ基準とした場合の実現手法の時間短縮効果を示す

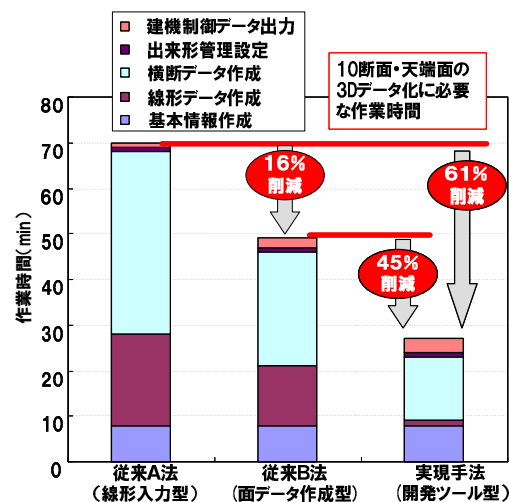


図-13 3次元設計データの作成時間短縮効果

(3) 検証実験の考察

作業時間の短縮効果は、限定された情報化施工技術を対象とした場合である。異なる複数の情報化施工技術を対象とした場合は、1回の作成作業により複数の情報化施工技術への3次元設計データが出力でき、作業時間の短縮効果はさらに大きくなる。

よって、現状において、「建設機械への入力用設計データ作成の合理化」の解決策のひとつとして、十分有効な手段であると評価した。

ただし、3次元設計データの作成時間は、作成者の技量・慣れなどの人的要因、図面データから抽出するデータの煩雑さなどの要因も関係するため、今後、施工現場での効果確認を行う必要がある。

4. 施工段階で利用するための図面データの要件

本節では、本研究におけるソフトウェア開発および検証結果を踏まえ、情報化施工技術で必要とする3次元設計データを図面データから直接的に取り出すためのデータ仕様に対する要件を提案する。

(1) 平面図・縦断図への要件

平面図・縦断図については、道路の中心線形要素（平面線形、縦断線形）がXML形式で設計段階から施工段階に交換できるよう標準化が既になされており、情報化施工技術に必要な3次元設計データとして、直接的に利用することが可能である。

このため、今後は、河川土工（河川堤防など）や造成地での土工、一般構造物などにも対応可能とできるように、線形の表現手法を拡張していく必要があると考える。

(2) 横断図への要件

現状の横断図は、図面の位置が“No.”“STA”といった測点としての数値で記載されている。

情報化施工技術で直接的に利用するためには、中心線形と横断要素の関係を機械が自動的に判定できなければならない。横断図から機械が自動的に判定するためには、横断図に次のデータを属性として与えておく必要があると考える。

- ・ 各横断図の対象とする線形
- ・ 横断形状の向き（線形に対する横断面の左右の向き）
- ・ 横断図ごとの配置（測点）
- ・ 横断形状ごとの中心線形と合わせる位置（幅方向、高さ方向）と横断図の縮尺

(3) 3次元設計データ（形状）として利用するための要件

情報化施工技術に必要な3次元設計データとして

は、サーフェイスデータあるいはブレイクラインデータである。

中心線形要素と横断形状要素に基づきこのデータを作成するには、欠落する断面間の補完処理が必要となり、隣接する断面の横断形状要素をどのように結線するかが重要な情報となる。

このため、例えば、結線する横断形状要素に対し、図-10に示す計測項目といった同じ属性を持たせる必要があると考える（なお、TS出来形管理技術におけるデータ交換標準は、既に実装されている）。

(4) 3次元設計データ（形状、品質）として利用するための要件

本研究開発で対象とした情報化施工は、マシンコントロール技術、出来形管理用TSといった形状に限定される3次元設計データを必要とするが、例えば、走行軌跡管理等による面的な品質管理システム（転圧回数、敷き均し厚さ、仕上がり厚さなど、図-14参照）も含めた場合は、3次元設計データとして、形状、品質（要求品質）が扱えるようにしておく必要があると考える。

特に、土工、舗装工、ダム提体工などでは、①土、コンクリート、アスファルト材など流動的に形がかわる材料であること、②施工企業の施工方法に対するノウハウの違いにより施工計画が異なることで、施工現場が求める段階的な仕上がり形状が異なることを踏まえ、品質データの持たせ方に工夫を施す必要があると考える。

5. おわりに

本稿で述べた主な成果を以下にまとめる。

(1) 図面データを最大限に利用した3次元設計データの作成手法

情報化施工の普及に向けた課題である「建設機械

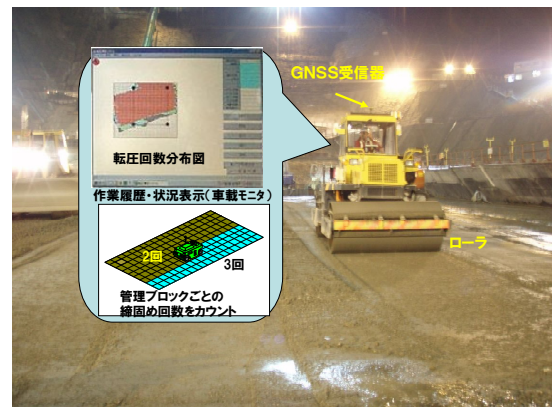


図-14 走行軌跡管理等による面的な品質管理システム

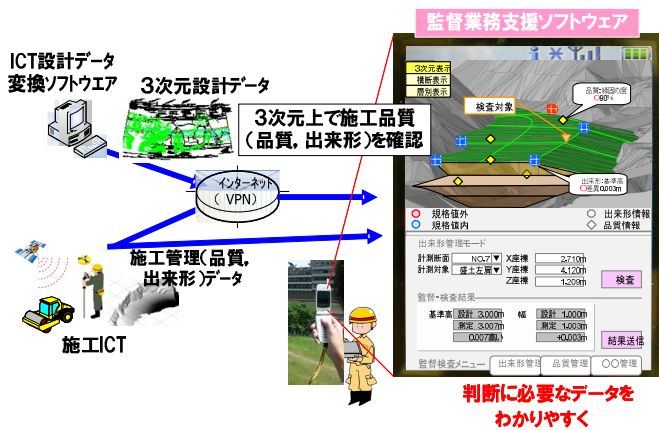


図-15 平成21年度研究開発の成果イメージ

への入力用設計データ作成の合理化」の解決策として、開発したソフトウェアを用いた3次元設計データの作成手法の有効性が確認できた。

この開発したソフトウェアは、限られた条件で検証した研究開発レベルのものであり、実務レベルに適用した場合には不具合の発生が懸念される。

このため、本手法は、情報化施工の技術者育成のために実施する「情報化施工研修会⁶⁾」((社) 日本建設機械化協会、情報化施工委員会主催) での活用を主体にし、この研修会での活用により得た不具合や改善点などのノウハウは、3次元設計データ作成に係わる関係者や関係企業に公開していきたいと考える。

(2) 情報化施工技術への適用するための図面データに対する要件

情報化施工技術に適用する観点から、図面データ(SXF)に求める要件について提案した。

「建設機械への入力用設計データ作成の合理化」の抜本的な解決には、図面データの標準化が重要であると認識しており、本稿で提案した図面データに対する要件が、今後計画されるSXFの検討(プロダクトモデル導入)の一助となると考える。

結びに、今後の研究開発として、本稿で扱った3次元設計データをベースとし、建設工事の施工品質を全面的かつ効率的にチェック可能な新たな監督・検査支援方法の検討、この支援方法に対応したソフトウェアの開発を計画している(図-15参照)。

今後の研究開発成果についても、積極的に情報公開を行うことなど、今後も情報化施工の普及促進に寄与していきたいと考えている。

謝辞: このソフトウェアの開発は、「平成20年度建設技術研究開発助成制度(政策課題解決型)」⁷⁾の支援を受けて行なった。また、検証実験の実施にあたり、ご協力いただいた情報化施工機器メーカーの関係各位に深

い感謝の意をここに表す。

参考文献

- 1) 情報化施工推進戦略：情報化施工推進会議,2008年7月.
- 2) 国土交通省 CALS/EC アクションプログラム 2008：国土交通省 CALS/EC 推進本部,2009年3月.
- 3) 施工管理データを搭載したTSを用いた出来形管理要領(案)(土工編)：国土交通省総合政策局政策課,
<http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha08/01/010415_2_.html>, 2008年4月.
- 4) 施工管理データ交換標準(案)：国土交通省国土技術政策総合研究所トータルステーションを用いた情報提供サイト,<<http://www.gis.nilim.go.jp/ts/index.html>>,2008年4月.
- 5) 道路中心線形データ交換標準に係わる電子納品運用ガイドライン(案),
<http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha08/13/130401_.html>, 2008年4月.
- 6) 情報化施工研修会,(社)日本建設機械化協会,
<<http://www.jcmanet.or.jp/>>
- 7) 建設技術研究開発助成制度：国土交通省
<<http://www.mlit.go.jp/tec/gijutu/kaihatu/josei.html>>