

3次元ポリラインを用いた 基本設計データ生成システムの開発

田中 成典¹・中村 健二²・今井 龍一³・窪田 諭⁴・近藤 弘嗣⁵・櫻井 淳⁶

¹正会員 関西大学教授 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号)

E-mail: tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp

²正会員 大阪経済大学准教授 情報社会学部 (〒533-8533 大阪市東淀川区大隈2丁目2番8号)

E-mail: k-nakamu@osaka-ue.ac.jp

³正会員 東京都市大学准教授 工学部 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1丁目28番1号)

E-mail: imair@tcu.ac.jp

⁴正会員 関西大学准教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)

E-mail: skubota@kansai-u.ac.jp

⁵非会員 国土交通省国土技術政策総合研究所防災・メンテナンス基盤研究センターメンテナンス情報基盤研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

E-mail: kondou-k87rj@nilim.go.jp

⁶学生会員 関西大学大学院 総合情報学研究科 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号)

E-mail: k400448@kansai-u.ac.jp

情報化施工の代表的な取り組みとしてTS出来形管理がある。TS出来形管理では、2次元の発注図から3次元の基本設計データを手作業で作成しており、施工者の負担となっていることから、自動生成する技術が求められている。この技術の実現に利用できるデータとして、MCMGの元データで用いられる3次元ポリラインがある。3次元ポリラインには、基本設計データの生成に必要な対象物の形状が含まれている。さらに、MCMGは、TS出来形管理と併用される場合があるため、3次元ポリラインから基本設計データを自動生成できれば作業の省力化につながる。

本研究では、3次元ポリラインからTS出来形管理のための基本設計データを生成する技術を開発し、その有用性を検証する。

Key Words : intelligent construction, as-built management, 3D data, 3D polyline

1. はじめに

国土交通省では、公共事業の生産性向上、品質確保やコスト縮減などを目的として情報化施工推進戦略¹⁾を策定し、情報化施工²⁾を鋭意推進している。その代表的な取り組みとして、トータルステーション (TS: Total Station) を用いた出来形管理³⁾ (以下、TS出来形管理) やマシンコントロール・マシンガイダンス⁷⁾ (以下、MCMG) がある。TS出来形管理は、巻尺・レベルに代わってTSを用いて工事目的物が発注図に示す形状に対して適合することを検査する手法であり、「TSによる出来形管理に用いる施工管理データ交換標準 (案)⁹⁾」に基づいて出来形管理項目などを含む3次元設計データ (以下、基本設計データ) が作成されている。この技術は、平成25年度より10,000m³以上の土工を含む直轄工事において使用することが原則¹⁰⁾とされている。一方、

MCMGは、3次元データを用いて機械の自動制御やオペレータの操作を支援する技術であり、面 (TIN) を含む3次元データを利用している。また、そのデータを3次元ポリライン化して施工状況を管理するシステム¹¹⁾も提案されている。施工現場では、複数の情報化施工技術が一つの工事に適用¹²⁾される場合があるが、それぞれの技術に必要となる3次元データが個々に作成されており、作業の重複や負荷¹⁴⁾が生じている。そのため、TS出来形管理に必要となる3次元データをMCMGの3次元データから自動生成ができれば、作業の省力化につながる。

本研究では、MCMGの元データとして利用される3次元ポリラインからTS出来形管理のための基本設計データを生成する技術を開発する。そして、実務で利用されるデータを用いて、基本設計データの生成精度の評価および生成時間の調査を行い、本技術の有用性を検証する。

2. 研究の概要

本研究では、TS出来形管理が適用される土工全般を対象に、3次元ポリラインから基本設計データを生成する手法を提案する。具体的には、図-1に示すように、著者らが開発した3次元CADデータを用いた出来形管理支援システム¹⁷⁾に、3次元ポリラインから基本設計データへの出力までの流れを追加する。提案手法の流れを図-2に示す。入力データは、MCMGの設計データなどに使用されるDWG形式の3次元ポリラインとする。3次元ポリラインとは、断面変化箇所を延長方向に繋いだ折れ線のことであり、設計業者がCADソフトを用いて発注図から手作業で作成している。まず、入力データの3次元ポリラインに道路中心線形などの情報を付加し、属性付き3次元ポリラインを作成する。次に、その3次元ポリラインをシステムに読み込み、基本設計データの生成に必要なパラメータを設定する。最後に、基本設計データ生成機能により基本設計データを生成する。

(1) 属性付き3次元ポリラインの作成

属性付き3次元ポリラインは、AutoCAD Civil 3Dを用いて作成し、LandXML形式で出力する。LandXMLは、仕様¹⁸⁾が公開されているため採用した。属性付き3次元ポリラインのデータ構造は、表-1に示すように、道路中心線形、道路中心線形構成点、3次元ポリラインの3種類の要素から構成される。各要素の情報をそれぞれAlignmentsタグ、CgPointsタグ、Surfacesタグに格納する。道路中心線形構成点の属性である「名称」は、表-2に示す命名規則で設定する。名称の設定例を図-3に示す。ここでは、構成点のオフセット値である幅員中心や横断面の方向角などの設定が可能である。属性付き3次元ポリラインは、図-2のi)からiv)に示す4手順で作成する。まず、図-2i)では、発注図の設計値を元に3次元ポリラインの入力を行う。この作業は、MCMGの元データとして利用される3次元ポリラインがあると省略できる。図-2ii)では、図-2i)で作成した3次元ポリラインの各ラインを指定してサーフェスを設定する。図-2iii)では、AutoCAD Civil 3Dの機能である線形作成ツールを用いて、基本設計データの生成に必要な道路中心線形を設定する。道路中心線形の計算手法¹⁹⁾には要素法およびIP法があるが、本手法では線形の変化点ごとに数値を設定する方式である要素法を対象とする。これは、プロトタイプ開発において、どちらの手法を用いても問題なく精度検証できたが、要素法の方が容易に実装可能であったためである。図-2iv)では、出来形管理断面の地点を指定するため、道路中心線形上に構成点を設定する。図-2i)からiv)の作業後、LandXMLの属性付き3次元ポリラインを出力する。

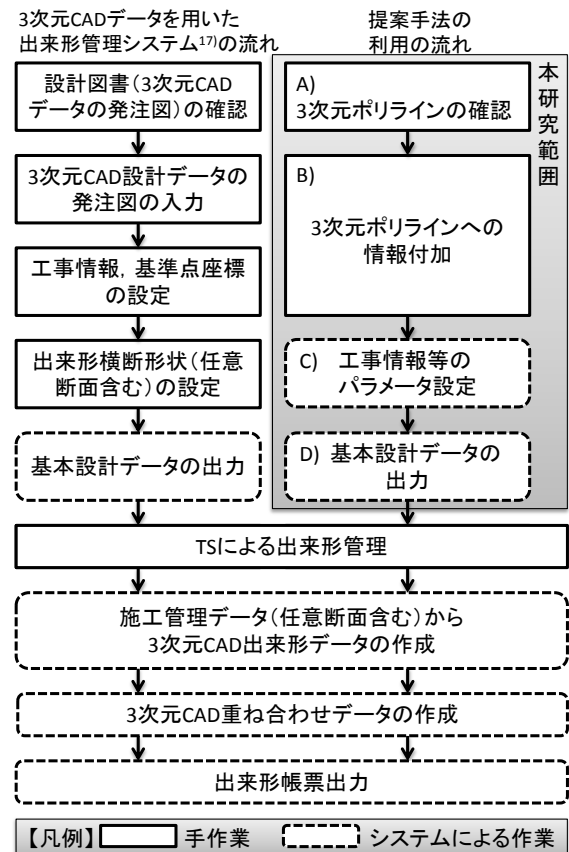
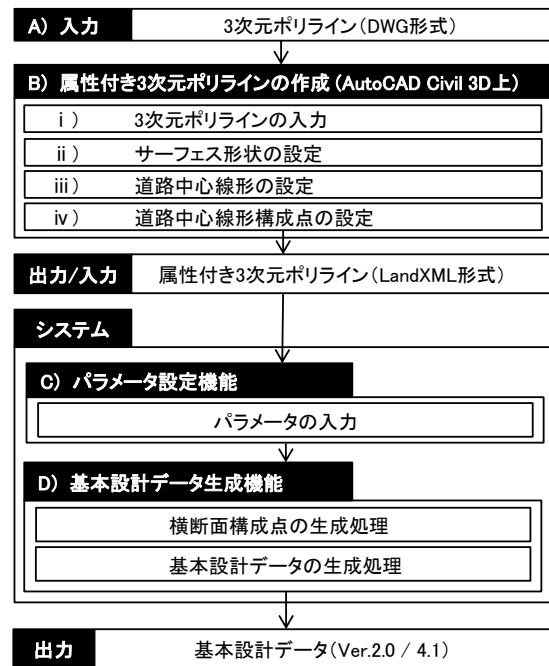


図-1 TS出来形管理の作業と本研究の手法の流れ



(※図-1と図-2のA)~D)が対応)

図-2 3次元ポリラインから基本設計データの生成手順

(2) パラメータ設定機能

本機能では、提案システムで基本設計データを生成するために必要な情報を設定する。設定項目の一覧を表-3に示す。項目には、工事名などの構造物情報や盛土工な

表-1 属性付き3次元ポリラインのデータ構造

属性付き3次元ポリラインのデータ構造			LandXML		
要素	属性	型	要素	属性	型
属性付き3次元ポリライン			LandXML		
道路中心線形構成点			CgPoints		
	名称 ※表-2 参照	string	CgPoint		
	X, Y, Z座標値	double		name	string
				InnerText	double
道路中心線形			Alignments		
	名称	string	Alignment		
	長さ	double		name	string
				length	double
道路中心線形の主要点			CoordGeom		
	主要点間の角度	double	Line		
	主要点間の長さ	double		dir	double
	X, Y, Z座標値	double		length	double
				Start	InnerText
3次元ポリライン (全ライン)			Surfaces		
			Surface		
			SourceData		
			Breaklines		
			Breakline		
				PntList3D	InnerText
					double
3次元ポリライン (1ライン)					
	各構成点	X, Y, Z座標値			

表-2 道路中心線形構成点の名称の命名規則

項目	条件	説明
設計を示す記号	必須	d
構成点名	必須	構成点名
追加距離	任意	構成点名 + 追加距離
方向角	任意	a + 方向角 (度分秒)
幅員中心 (横幅)	任意	w + 幅員中心の横幅 (m)
幅員中心 (縦幅)	任意	h + 幅員中心の縦幅 (m)

※名称は、項目間を「」で繋げて設定

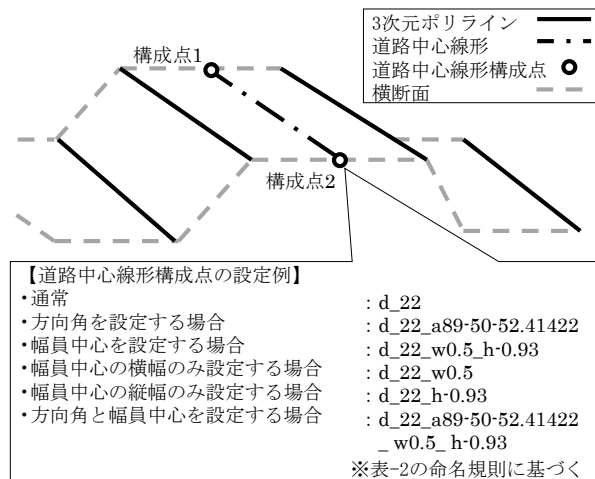


図-3 道路中心線形構成点の名称の設定例

どの横断構成種別などがある。各項目は、基本設計データの仕様で明記することが義務付けられている項目を「必須」、任意記述の項目を「任意」で設定できる。

表-3 パラメータの設定項目

項目	条件	説明 (入力例)
バージョン	必須	基本設計データのバージョンを指定 (Ver.2.0,4.1)
構造物情報	構造物種別	必須 構造物種別を指定 (道路土工など)
	工事名	任意 工事の名称を入力
	施工業者名	任意 施工業者の名称を入力
	測点形式	必須 測点形式を指定 (NO, SP, STA, 距離標)
参照座標系	測地原子	必須 測地原子を指定 (JGD2000など)
	鉛直原子の基準面名	必須 基準面名を指定 (TPなど)
	鉛直原子のTPとの標高差	必須 TPとの標高差を指定 (淀川の場合, -1.3(m))
	水平座標系	必須 水平座標系を指定 (平面直角座標系第5系など)
	垂直座標系	必須 垂直座標系を指定 (H: 平均海面からの高さなど)
道路中心線形	道路規格	必須 道路規格を指定 (第1種第1級など)
	設計速度	必須 設計速度を指定 (120, 100, 80, 60, 50, 40, 30, 20 (km/h))
	設計交通量	任意 1日あたりの台数を入力
測点間隔	主測点間隔	必須 主測点間隔を入力 (100(m)など)
	副測点間隔	必須 副測点間隔を入力 (20(m)など)
横断面の横断構成種別	必須	横断構成の種別を指定 (掘削工, 盛土工など)
出来形管理対象の対象範囲	必須	対象範囲を指定 (掘削工, 盛土工など)

(3) 基本設計データ生成機能

本機能は、横断面構成点の生成処理と基本設計データの生成処理により構成される。各処理の詳細を次に示す。

a) 横断面構成点の生成処理

本処理では、属性付き3次元ポリラインを用いて、基本設計データに必要な横断面構成点を生成する。処理の流れを図-4に示す。図-4 i) では、道路中心線形構成点ごとに、道路中心線形と直交する直線を作成する。表-2の命名規則に従い方向角を設定している場合、その角度で直線を作成する。図-4 ii) では、作成した直線と各ポリラインとの交点を取得し、横断面構成点を生成する。

b) 基本設計データの生成処理

処理の流れを図-5に示す。基本設計データの生成では、まず、道路中心線形と横断面構成点の生成処理の結果と

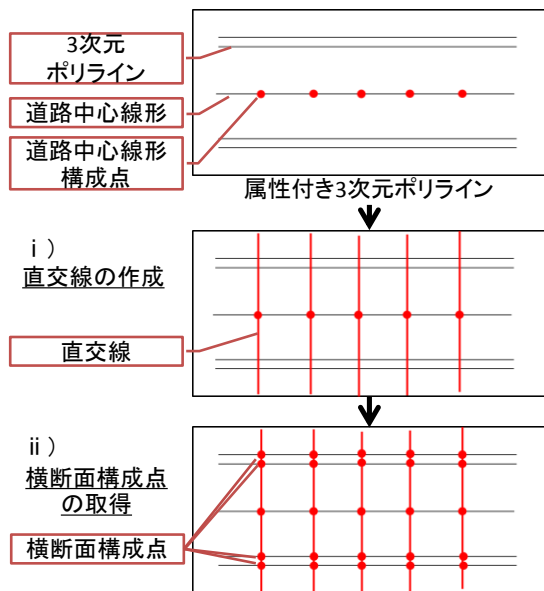


図-4 横断面構成点の生成処理手順

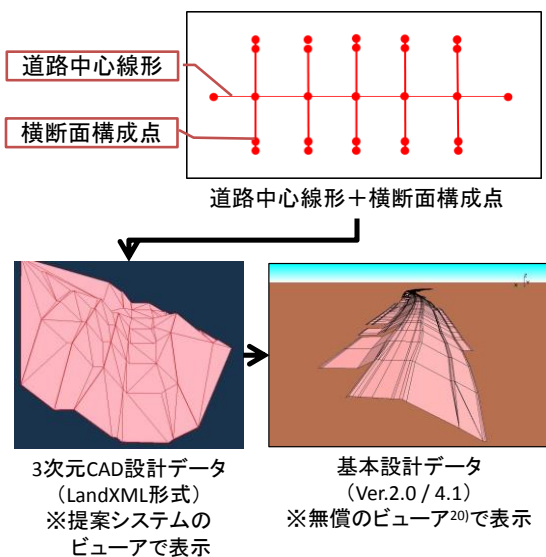


図-5 基本設計データの生成処理手順

を用いて、既存手法¹⁷⁾で定義するLandXML形式の3次元CAD設計データを生成する。そして、その設計データから、既存手法¹⁷⁾の処理で基本設計データを出力する。

3. 実証実験

実証実験では、提案手法の有用性を明らかにするために、基本設計データの生成精度の評価および基本設計データ生成時間の調査を実施する。

(1) 基本設計データ生成精度の評価

a) 実験対象の工事概要

本実験では、山梨県南巨摩郡身延町大島地先の道路土工の完成図書を用いる。この工事では、中部横断自動車道建設工事のうち、長戸地区の工事延長248mを対象に切土約3,500m³、盛土約20,000m³を施工している。

b) 実験内容

本実験では、提案手法の基本設計データの精度を評価する。評価方法は、現場で使用される3次元ポリラインから生成した基本設計データ（以下、作成データ）の設計値と、実工事で使用した基本設計データ（以下、設計データ）の設計値とを構成点ごとに比較して誤差を算出する。そして、その誤差値が20mm未満であれば適合する構成点として評価する。20mm未満の適合基準に関しては、TSを用いた出来形管理²⁾で測定機器に求められる測距精度が±5mm、最小角度が20"以下であるため、二点間の測定距離で20mm程度は測定誤差が生じることから決定した。比較対象の断面は、設計データに記載されている8断面（No.100+80～No.102+20）とする。

c) 実験結果と考察

全8断面の構成点の評価結果を表-4に示す。表-4の集計結果から幅員差69件、比高差56件が適合する構成点、幅員差21件、比高差34件が不適合の構成点であった。また、個々の断面の結果として、2断面を抜粋して設計データと作成データとの比較結果を図-6に示す。図-6の丸印で示す箇所値に誤差が発生した。各値の誤差の原因を確認するため、3次元ポリラインを分析したところ、3種類に大別できた。3種類の誤差の発生箇所を図-7に示す。これらの誤差発生箇所に関して原因を解明するため、3次元ポリラインを作成した技術者と協議した。

原因Iは、3次元ポリラインの長さを現況地盤面まで伸ばす修正作業を行っており、それが起因して設計値との誤差が発生していることがわかった。原因IIは、図-8に示すように、法面が途中で折れ曲がっている箇所に対して、横断面を法面方向に合わせる修正作業がなされたことが原因であることがわかった。このような箇所は、図面と寸法値とが異なるため、受発注者の協議により出

表4 基本設計データ生成精度の評価結果

測点 No.	適合点 (件)		不適合点 (件)		誤差の 原因
	幅員差	比高差	幅員差	比高差	
100+80	7	2	2	7	I/II/III
101	9	7	2	4	I/II/III
101+20	10	8	0	2	II/III
101+40	13	11	2	4	I/II/III
101+60	9	7	2	4	I/II/III
101+80	2	2	5	5	I/III
102	6	6	5	5	I/III
102+20	13	13	3	3	I/III
合計	69	56	21	34	—

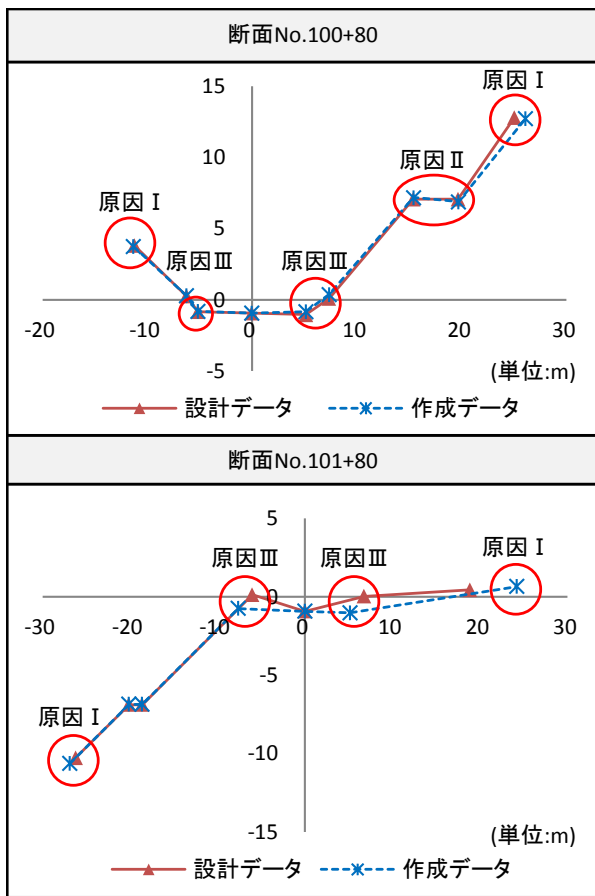


図6 基本設計データ生成精度の評価結果 (断面抜粋)

来形管理対象外とされている。原因Ⅲは、工事途中で出来形管理対象の箇所が変更されたことが原因であることがわかった。

以上のことから、原因ⅠとⅢは現場合合せによる設計値と施工データとの齟齬が原因であるため、誤差が発生していることは正しい。また、原因Ⅱは本研究では対象外であることがわかった。本実験結果より、提案手法で3次元ポリラインから生成した基本設計データは、実務に適用できる可能性があることが明らかになった。

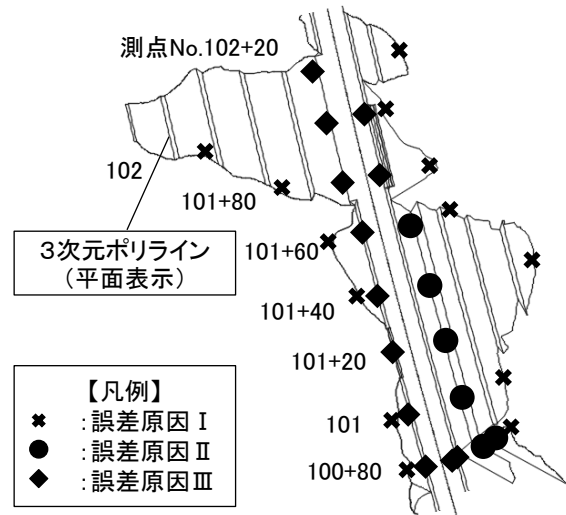


図7 誤差の発生箇所

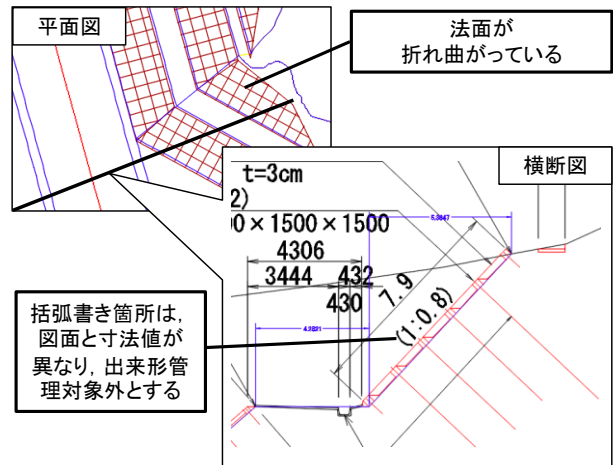


図8 原因Ⅱの詳細

(2) 基本設計データ生成時間の調査

a) 実験対象の工事概要

本実験では、茨城県常総市大生郷町地先の圏央道の道路土工の完成図書を用いる。この工事では、工事延長約1,943mを対象に路体盛土工約471,000m³を施工している。

b) 実験内容

本実験では、提案手法による3次元ポリラインの作成から基本設計データの生成までにかかる時間を調査する。対象の管理断面は、横断面図に記載される123断面とする。提案手法により生成した基本設計データを図-9に示す。

c) 実験結果と考察

提案手法の生成時間の結果を表-5に示す。入力データである3次元ポリラインは、設計時に作成されることを想定しているため、作成時間がかからないものとした。実験結果より、提案手法では123断面の基本設計データを約3時間で行えることがわかった。既存研究¹⁴⁾では、発注図から手作業で基本設計データを作成する場合、工事延長783mを対象に約16時間を要した。これを本実験の延長に換算した場合、作成に約40時間が必要となる。

したがって、手作業と比較して10分の1以下の大幅な省力化が実現できたといえる。

4. 提案手法の課題と解決策

実証実験より、提案手法で生成した基本設計データは

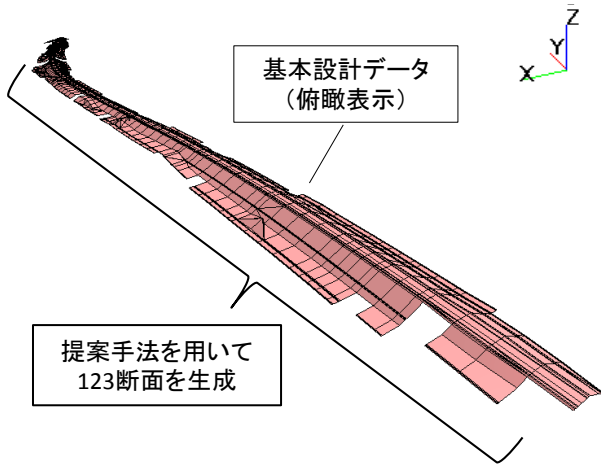


図-9 提案手法による基本設計データの生成結果

表-5 提案手法による基本設計データの作成時間

作成手順		作成時間
3次元ポリラインの作成	3次元ポリラインの入力	無し (提供データのまま活用)
	サーフェス形状の設定	約 120分
	道路中心線形の設定	数分
	道路中心線形構成点の設定	約 60分
基本設計データの生成 (プログラム)		数秒
合計		約 3時間

実務へ適用可能であり、また、提案手法を用いることで作業の省力化につながる事が明らかとなった。しかし、実証実験の中で、実務で利用するためには、いくつかの課題があることがわかった。課題は、表-6に示すように、作業負荷の課題、3次元ポリライン作成時の課題、システム設定の課題の3種類に分類される。これらの課題に対して、技術者と協議して解決策を検討した。各課題に対する解決策の詳細を次に記述する。

(1) 作業負荷の課題への解決策

提案手法では、システムとの親和性があるLandXMLを採用したが、実務で利用されている3次元ポリラインはDWG形式である。そのため、DWG形式の3次元ポリラインの情報をそのままシステムに読み込むことができず、LandXMLへ変換するための作業が必要となり、さらなる作業の省力化につながる。しかし、DWG形式はバイナリデータであるため、システムへの読み込みが困難である。そこで、DWG形式のファイルをAutoCADの中間フォーマットであるDXF形式で保存し、属性を付与する方法が一案として考えられる。

(2) 3次元ポリライン作成時の課題への解決策

3次元ポリラインの長さ不足の課題に対しては、その作成時に、3次元ポリラインと横断面が交差するように留意することで解決できる。

また、不要な3次元ポリラインの混在の課題に対しては、出来形管理に利用する要素のみを格納したレイヤを作成する方法がある。そのことで、レイヤ分けによって、システムで必要な3次元ポリラインのみを取り扱うことができる。

表-6 提案手法の課題一覧

分類	項目	内容	参照
作業負荷の課題	3次元ポリラインの設定	実務で利用される3次元ポリラインはDWG形式であるが、提案手法で作成する属性付き3次元ポリラインはLandXML形式である。そのため、AutoCAD Civil3Dを使用して、DWG形式からLandXML形式へ変換するための作業が必要となる。	-
	道路中心線形の設定		
	道路中心線形構成点の設定		
3次元ポリライン作成時の課題	3次元ポリラインの長さ不足	実務で利用される3次元ポリラインは、横断面と3次元ポリラインが交差していない場合がある。その箇所では、交点が得られないため、横断面構成点が作成できない。	図-10
	不要な3次元ポリラインの混在	実務で利用される3次元ポリラインは、出来形管理に不要なポリラインが混在している場合がある。その箇所では、設計図には存在しない構成点が作成されることになる。	
システム設定の課題	種別と工種の設定	基本設計データでは、横断面単位および出来形管理対象点単位により、種別(法面, 小段, 道路面, その他)と工種(掘削工, 盛土工など)を設定可能である。提案システムでは、全横断面および全出来形管理対象点に対して、同一の種別(その他)と工種(任意名称)を設定している。	図-11
	線形計算手法のIP法への対応	基本設計データは、道路中心線形の線形計算手法として、IP法と要素法があるが、提案システムでは、要素法のみを対象としている。	-

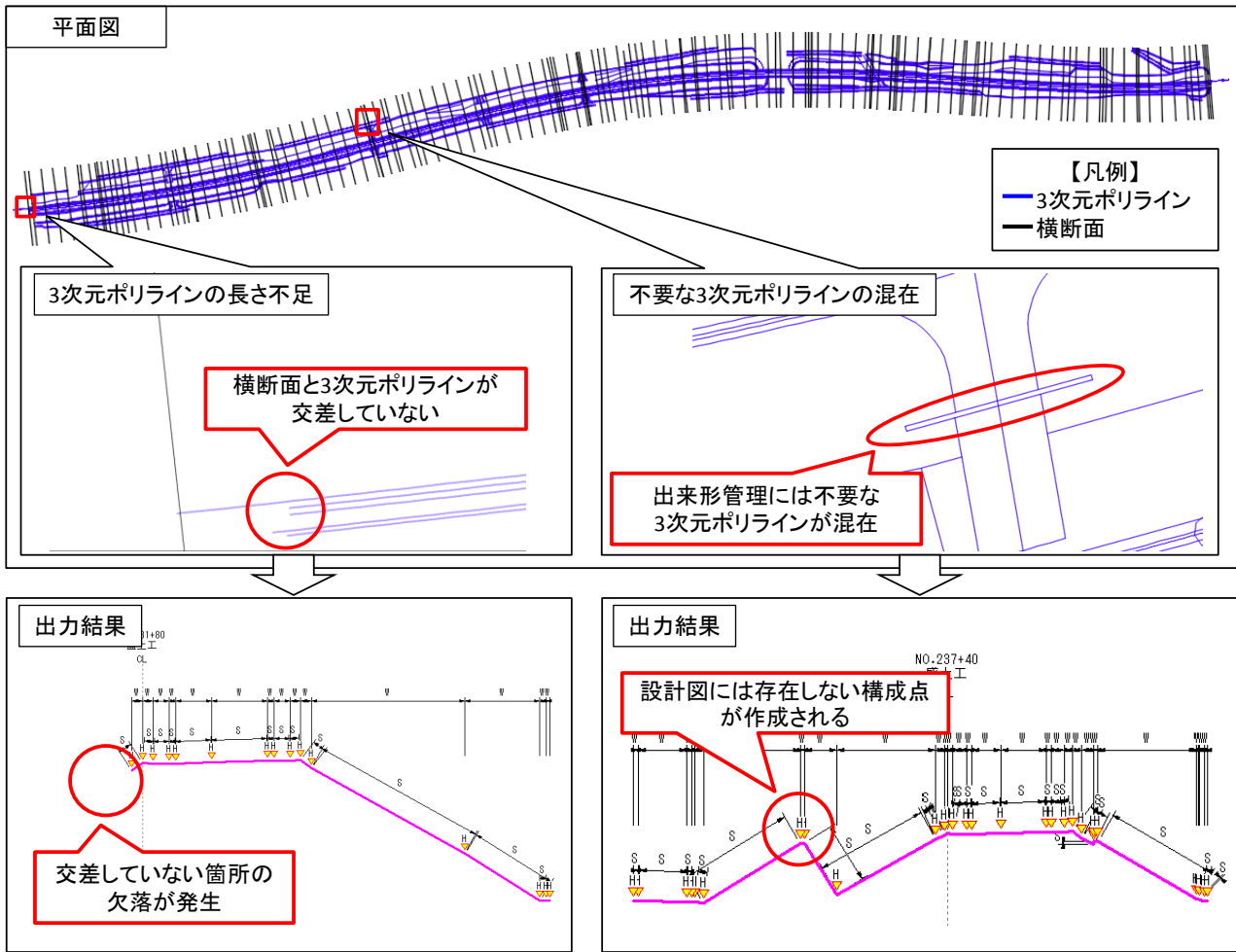


図-10 3次元ポリライン作成時の課題

(3) システム設定の課題への解決策

基本設計データの種別と工種の設定の課題に対しては、そのデータをシステム上に表示し、横断面単位および出来形管理対象点単位で属性情報を設定する機能を開発することにより解決できる。この開発に当たっては、種別と工種を設定するためのインターフェイスが必要となる。また、線形計算手法のIP法への対応の課題に対しては、IP法で作成した道路中心線形を要素法のデータに変換する技術を開発して解決することが一案として考えられる。

5. おわりに

本研究では、まず、3次元ポリラインからの基本設計データの生成手法を提案した。次に、提案手法で生成した基本設計データの精度を検証し、技術者との協議により提案手法の有用性を示した。また、基本設計データの生成時間を計測し、作成の省力化が可能であることを示した。最後に、実証実験を通して複数の課題が得られたため、課題の整理とその解決策を考察した。今後は、こ

	正解例	提案システムの出カ例
種別	 構成点ごとに種別 (法面, 小段, 道路面, その他) を設定可能	 全構成点の工種が「その他」に設定される
工種	 横断面単位および出来形管理対象点単位で工種を設定可能	 全横断面および全出来形管理対象点に同じ工種が設定される

図-11 システムの課題

これらの課題に対する解決策を実装し、実務で利用可能な技術へと発展させる予定である。

謝辞：本研究の一部は、国土交通省国土技術政策総合研究所委託研究「平成26年度レーザプロファイラ等の既存資産を用いた3次元CADデータの生成・活用技術に関する研究」により実施した。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省：情報化施工推進戦略，2013.
- 2) 国土交通省大臣官房技術調査課，総合政策局公共事業企画調整課：情報化施工技術の一般化・実用化の推進について，国官技第23号，国総公第18号，2013.
- 3) 建山和由：情報化施工の現状と今後の展望について，地盤工学会誌，地盤工学会，Vol.58, No.5, pp.6-9, 2010.
- 4) 国土交通省：TSを用いた出来形管理要領（土工編），2012.
- 5) 国土交通省：TSを用いた出来形管理の監督・検査要領（道路土工編），2012.
- 6) 国土交通省：TSを用いた出来形管理の監督・検査要領（河川土工編），2012.
- 7) 国土交通省近畿地方整備局近畿技術事務所：マシンコントロール/マシンガイダンス技術の手引書【施工者用】，2013.
- 8) 国土交通省近畿地方整備局近畿技術事務所：MC・MGブルドーザ技術の現場対応集【施工者用】，2014.
- 9) 国土交通省国土技術政策総合研究所：TSによる出来形管理に用いる施工管理データ交換標準（案）Ver.4.1，2013.
- 10) 国土交通省大臣官房技術調査課，総合政策局公共事業企画調整課：情報化施工技術の使用原則化について，国官技第291号，国総公第133号，2013.

- 11) 山陽測器：面的施工管理システム ロードランナー，<http://www.sanyou-sokki.co.jp/NETIS/products/product_01.html>，（入手2015.6.11）.
- 12) 国土交通省：情報化施工推進会議（第16回）資料2 情報化施工導入実績，2014.
- 13) 国土交通省近畿地方整備局：平成26年度情報化施工技術活用対象工事一覧表，<http://www.kkr.mlit.go.jp/plan/sekou/pdf/h26_jyohoka_list.pdf>，（入手2015.10.23）.
- 14) 北川順，梶田洋規，重高浩一，藤島崇，椎葉裕士，篠原雅人：情報化施工に用いる3次元設計データ作成の課題分析，土木情報学シンポジウム講演集，土木学会，Vol.37, pp.69-72, 2012.
- 15) 山口崇：情報化施工推進戦略の状況，建設の施工企画，日本建設機械化協会，No.740, pp.4-9, 2011.
- 16) 田中洋一，阿部寛之，青山憲明，今井龍一，金沢文彦：出来形管理トータルシステムで利用するサポートソフトウェアの開発，土木情報利用技術論文集，土木学会，Vol.16, pp.137-148, 2007.
- 17) 田中成典，今井龍一，中村健二，川野浩平：3次元CADデータを用いた出来形管理支援システムの開発，電子情報通信学会論文誌D，電子情報通信学会，Vol.J96-D, No.10, pp.2425-2439, 2013.
- 18) LandXML.org：LandXML-1.2Doc，<<http://www.landxml.org/schema/LandXML-1.2/documentation/LandXML-1.2Doc.html>>，（入手2015.10.23）.
- 19) 国土交通省国土技術政策総合研究所：道路中心線形データ交換標準（案）基本道路中心線形編 Ver.1.1，2013.
- 20) 建設システム：TS出来形検査ビューア <<https://www.kentem.jp/viewer/tsviewer/>>，（入手2015.10.23）.

(2015.10.26 受付)

DEVELOPMENT OF GENERATING SYSTEM OF THREE-DIMENSIONAL DESIGN DATA FOR TOTAL STATION

Shigenori TANAKA, Kenji NAKAMURA, Ryuichi IMAI,
Satoshi KUBOTA, Koji KONDO and Jun SAKURAI

Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) in Japan is promoting the intelligent construction for productivity improvement, quality assurance, and cost reduction. In the intelligent construction, as-built management using Total Station (TS) is conducted. In this situation, a three-dimensional design data is manually created based on a two-dimensional drawing. And this puts a burden to contractors. Therefore, it is necessary to create a three-dimensional design data automatically. In order to solve this problem, there is a three-dimensional polyline utilized in Machine Control and Machine Guidance (MCMG). This polyline data has the information required to create a three-dimensional design data. In addition, there are sites where MCMG is combined with as-built management using TS. Therefore, if a three-dimensional design data is automatically created using a three-dimensional polyline, it could reduce the time and cost to create it.

In this research, a system of generating three-dimensional design data based on three-dimensional polyline was developed. And we verified feasibility in the actual construction site.