


 原著論文
 

点群座標データを用いた3次元モデルの自動生成に関する研究[†]

田中 成典^{*1}・今井 龍一^{*2}・中村 健二^{*3}・川野 浩平^{*4}

公共事業では、工期短縮、品質確保やコスト削減を目的に、ライフサイクル全般で建設CALs/ECが導入されている。特に最近では、工事段階を対象に3次元データを活用した情報化施工の環境の整備が注目されている。そのため、トータルステーションやレーザスキャナなどで現場計測した点群座標データから、3次元モデルを作成することが期待されている。しかし、測量時に取得した大量な点群座標データの扱い方の課題と、情報化施工の要求精度の課題とを解決する必要がある。

著者らは、これまでに大量な点群座標データから情報化施工の要求精度を満たした河川堤防の3次元モデルを作成する技術を考案してきた。これは、レーザスキャナを用いて計測した河川堤防の点群座標データと河川堤防のDMデータとを併用して、河川堤防の天端面と法面との境界線(ブレイクライン)を自動的に抽出し、CAD上に3次元モデルを生成するものである。しかし、DMデータの更新サイクルによる鮮度の課題と、河川堤防の天端面と法面との間に植生などのノイズを原因とするブレイクラインの誤抽出の課題が残された。本研究では、これらの課題の解決策として、点群座標データから河川堤防の天端面領域を推定してブレイクラインを自動的に抽出する手法と、堤防の天端面上に存在する植生などのノイズの点群座標データを除去する手法を考案する。そして、評価実験を行い、考案した解決策の有用性を立証する。

キーワード：情報化施工、CAD、3次元モデル、ブレイクライン、点群座標データ

1. はじめに

公共機関では、公共事業の工期短縮、品質確保やコスト削減を目的にライフサイクル全般で建設CALs/EC(Continuous Acquisition Lifecycle Support / Electronic Commerce)や情報化施工など、ICT(Information and Communication Technology)を利用したデータ流通環境の構築に向けた施策が推進[1-4]されている。昨今は、工事段階を対象に道路中心線形データ交換標準[5]の策定などプロダクトモデルへの利用を念頭にした取り組みや、情報化施工の先進的な取り組み[6-10]が産官学で進められている。情報化施工の具体例として、トータルステーションを用いた出来形管理

では、平面図、横断図や縦断図などから土工の形状に関するX、Y、Zの値を読み取り、トータルステーションに入力するデータを手動で作成する[6-8]。また、建設機械(振動ローラなど)の走行軌跡から盛土の締固め回数を管理[9、10]する事例がある。

こうした背景の下、官学を基軸とした新技術開発の促進を目的として、国土交通省近畿地方整備局内に河川事業のデータ流通環境の構築に関する研究会[11]が設置された。この研究会では、河川の現況地形に対する測量成果(以下、「点群座標データ」)から高い再現精度の3次元モデルを生成する技術を開発し、情報化施工に適用して作業効率化や施工品質向上を図ることを目的としている。研究会の目的に関連した研究として、高い計測精度のレーザスキャナ[12]より取得した点群座標データから自動的に3次元モデルを生成する手法[13-17]が提案されている。レーザスキャナによる点群座標データの計測技術の発展は目覚ましく、情報化施工に導入することで様々な場面で効果が享受できる。しかし、レーザスキャナで取得した点群座標データを用いて、情報化施工で利用可能な3次元モデルを生成するには、次の2つの課題が潜在している。

ひとつ目は、大量な点群座標データの扱い方の課題である。現在、市場のCADやCGソフトウェアでは、点群座標データが大量で高密度だと読み込めない場合

[†] Research on Automatic Generation of 3D Model Using Point Cloud Data
Shigenori TANAKA, Ryuichi IMAI, Kenji NAKAMURA and Kohei KAWANO

*1 関西大学総合情報学部

Faculty of Informatics, Kansai University

*2 国土交通省国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

*3 立命館大学情報理工学部

College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

*4 関西大学大学院総合情報学研究所

Graduate School of Informatics, Kansai University

がある。そのため、既存研究では、点群座標データを一律に間引き処理して3次元モデルを生成する手法[13]を考案している。この手法では、対象物の特徴を直感的に理解しやすい3次元モデルが生成できる。しかし、土木構造物の形状を考慮していないため、面の境界を示す重要な点も取り除かれ、工事や維持管理で利用できる3次元モデルの精度が確保できていないことが懸念される。

ふたつ目は、断面変化の境界線(以下、「ブレイクライン」)の誤抽出に関する課題である。既往研究では、点群座標データの相対的な位置関係を用いる手法[14-16]や点群座標データに付与された色情報を用いる手法[17]からブレイクラインを抽出する手法が考案されている。この手法は、境界線が明確な幾何形状の3次元モデルを生成する条件には有効である。しかし、河川堤防は、人工物と自然物が共存した空間であり、面と面の境界線を一意に特定できないため、ブレイクラインを誤抽出する可能性が高い。そのため、情報化施工で利用できる3次元モデルの再現精度を確保することが困難である。

これらの課題に対して、既存研究[18]ではブレイクラインの誤抽出を抑制する支援策を考案(以下、「既存手法」)した。具体的には、まず、公共測量で全国的に整備されているDM(Digital Mapping)データ[19, 20]と点群座標データとを重ね合わせた。次に、DMデータに含まれる道路線を手がかりに3次元モデルを自動的に生成した。しかし、既存手法では次の2点の課題が残された。

ひとつ目は、DMデータの更新サイクルによる鮮度の課題である。各公共機関は、所管範囲を対象に測量法に則して公共測量を実施し、台帳図や都市計画図などをDMデータとして整備している。しかし、各DMデータの更新サイクルは不定期であり、必ずしもリアルタイムな情報が取得できるとは限らない。例えば、既存研究[18]で利用した河川管理で調整しているDMデータは、およそ5年に1度の頻度で更新されている。また、国土地理院の公共測量データベース[21]を確認したところ、各公共機関でDMデータを定期的に更新しているとは言い難い実情も見受けられた。したがって、常に最新の地形を反映したDMデータを利用できるとは限らない。この結果、必要なブレイクラインの候補線が取得できない場合がある。また、DMデータに含まれる誤差の課題も潜在する。一般的にDMデータは地図情報レベル2,500の精度が多く、水平許容誤差は175cmと規定[22]されている。このため、DMデータを用いたブレイクラインの候補線には、1m以上のズレが生じることを加味しなければな

らない。実際、既存研究でもズレの影響でブレイクラインの抽出精度が低下する現象が見られた。

ふたつ目は、河川堤防で最頂部の面(以下、「天端面」)に生息する植生などのノイズの影響により、ブレイクラインを誤抽出する課題である。つまり、天端面と河川堤防の斜面(以下、「法面」)との境界付近に植生などのノイズ(以下、「壁状ノイズ」)が存在した場合、面と面の境界を示す点群座標データが計測されず境界線が曖昧になり、正確な3次元モデルを構築できない問題が発生した。

以上の課題を踏まえ、本研究の目的は、大量な点群座標データから、河川堤防の各面の境界を考慮した3次元モデルの自動生成手法の確立とした。この手法では、DMデータを用いず、点群座標データから推定した天端面の外形線を用いてブレイクラインを抽出する。さらに、天端面上に存在する点群座標データから壁状ノイズとして自動的に除去し、ブレイクラインの誤抽出を抑制する。

2. 研究の概要

本研究では、「DMデータの更新サイクルによる鮮度の課題」と「壁状ノイズにより面と面の境界が曖昧となりブレイクラインを誤抽出する課題」の2つの課題を解決した3次元モデルの自動生成手法を提案する。

2.1 DMデータの更新サイクルによる鮮度の課題への対策

本手法では、点群座標データから天端面を示す領域を特定し、その領域の外形線をブレイクライン候補線とする。したがって、DMデータに依存することなく、点群座標データから3次元モデルを構築する。

2.2 壁状ノイズにより面と面の境界が曖昧となりブレイクラインを誤抽出する課題への対策

本手法では、河川堤防の形状と計測ノイズの特徴に基づき、壁状ノイズを自動的に除去して曖昧な地表面を推定する。本手法の基礎となる河川堤防の形状と計測ノイズの特徴の調査結果および各課題の解決策次に示す。

2.2.1 河川堤防の形状の調査

(1) 調査内容

本調査では、河川堤防の形状の特性を把握するため、国土保全上または国民経済上で特に重要な水系と河川法で定められている一級河川の河川管理で利用している横断図を整理した。具体的には、淀川の横断図175枚(河口からの管理延長である距離標に対し200m

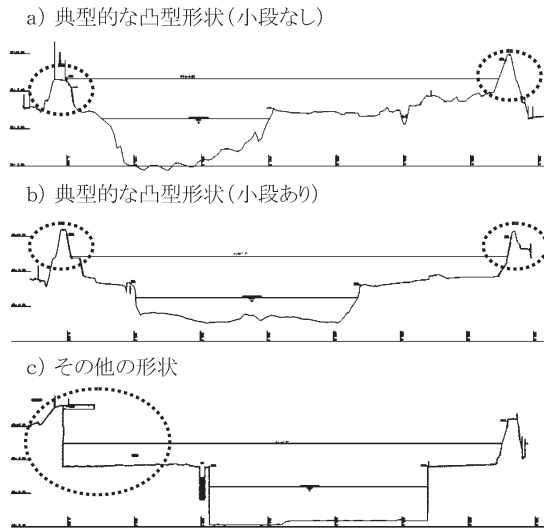


図1 堤防形状の分類グループ

表1 堤防形状の分類結果

分類		件数	割合
淀川 流域	小段あり堤防	61	34.86%
	小段なし堤防	104	59.43%
	その他	10	5.71%
	合計	175	100%

間隔で16.8kmまでの範囲で作成)を調査対象とした。横断面の整理では、河川管理施設等構造令[23]にて定められた河川堤防の形状を参考にして分類した。

(2) 調査結果

河川堤防の横断面を整理した結果、河川管理施設等構造令に定められた典型的な凸型形状(図1 a, b)とその他の形状(図1 c)の3つのグループに分類された。表1に示すとおり、淀川では、約17kmの延長に対して約9割(165枚)が典型的な凸型形状であった。また、その他(表1)に分類された横断面10枚を詳細に分析したところ、構造物に覆われた地区であることがわかった。これらの調査結果から、典型的な凸型形状(図1 a, b)を対象とした3次元モデル構築手法を考案することで、一般的な河川堤防に広く適用できることがわかった。

2.2.2 計測ノイズの特徴の調査

(1) 調査内容

本調査では、まず、淀川の河川堤防を現地踏査し、天端面、法面の植生や人工物などのノイズ候補を確認した。次に、確認結果と、三菱モービルマッピングシ

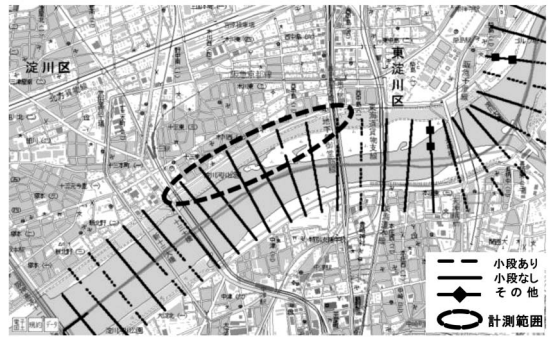


図2 MMSでの計測の範囲

(【出典】国土交通省国土地理院：電子国土ポータル、2011年5月現在)

表2 ノイズの整理結果(29断面)

種類	天端面	法肩	法面
植生	26	19	1
人工物	11	1	8

ステム(MMS: Mobile Mapping System, 以下、「MMS」)[24]を用いて河川堤防を計測した点群座標データとを照らし合わせて計測ノイズの特徴を整理し、ノイズの特徴を分析することとした。計測ノイズの特徴の整理では、まず、図2の楕円で示す計測範囲の点群座標データを抽出した。次に、走行方向と垂直な横断面を50m間隔で指定し、各横断面の前後25mの範囲に存在する点群座標データの投影により横断面を作成し、ノイズを整理した。

(2) 調査結果

本調査で作成した横断面(29断面)に含まれるノイズを整理した結果を表2、各計測ノイズの例を図3に示す。植生ノイズの多くは、天端面と法肩に存在している。天端面の植生ノイズは約9割(29断面中26断面)、法肩の植生ノイズは約7割(29断面中19断面)存在し、天端面と法面の境界や地表面が曖昧な箇所が多く存在することがわかった。一方、人工物ノイズの多くは、天端面と法面に集中している。天端面の人工物ノイズには、通行人や通行車両が見られた。また、法面の人工物ノイズには、手すり、電柱や電線などが見られた。人工物ノイズは、法肩に存在することが少なく、天端面と法面の境界が曖昧になるケースは見られなかった。これらの調査結果から、天端面と法肩に存在する植生ノイズと、天端面に存在する人工物ノイズとを除去する手法を考案することで、曖昧な境界線や地表面を明らかにできることがわかった。

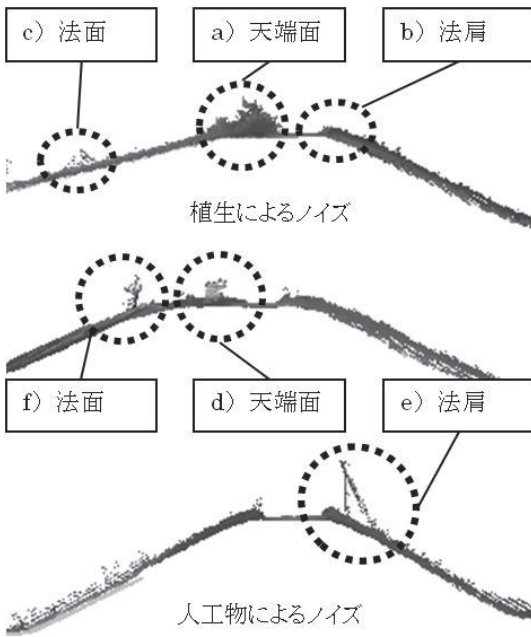


図3 ノイズによる横断面の類型化

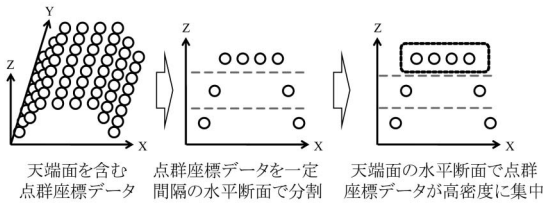


図4 天端面の特定処理

2.2.3 課題の解決手法

本研究では、河川堤防の形状の調査(第2.2.1項)と計測ノイズの特徴の調査(第2.2.2項)の結果を踏まえ、曖昧な境界線や地表面を明らかにする手法を提案する。本手法は、天端面の特定処理、計測ノイズの除去処理および地表面の推定処理の3つの処理を行う。

天端面の特定処理では、河川堤防の凸型形状の特徴を考慮したアルゴリズムを考案する。具体的には、まず、天端面の特徴を考える。図4に示すように、凸型形状の点群座標データを一定間隔の水平断面で分割すると、天端面を含む水平断面で点群座標データが高密度に集中する特徴がある。そのため、本処理では、各水平断面の密度を比較して点群座標データが高密度に集中している水平断面を天端面と判断して特定する。天端面上部の計測ノイズの除去処理では、壁状ノイズが天端面上部に集中していることから、天端面上部に存在する点群座標データを除去する。地表面の推定処理では、図5に示すとおり周辺の点群座標データから

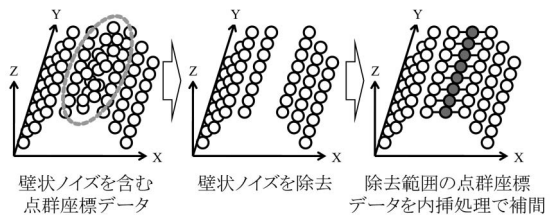


図5 地表面の推定処理

内挿点の位置を計算する。本手法では、これら3つの処理を組み合わせ、曖昧な堤防形状の境界線を推定する。

2.3 河川堤防の既往研究との関係

本研究で提案する処理の流れを図6に示す。本研究では、既存手法[18]に対して、ブレイクライン候補線生成機能と壁状ノイズ除去処理とを追加する。ブレイクライン候補線生成機能では、既存研究でDMデータからブレイクライン候補線を取得していたのに対して、点群座標データから生成する。具体的には、まず、点群座標データから堤防形状の特徴を利用して天端面の点群座標データを推定する。次に、堤防形状の天端面の点群座標データの外形線を取得する。以後、この点群座標データの外形線を領域外形線とする。そして、取得した領域外形線をブレイクライン候補線として利用する。壁状ノイズ除去処理では、天端面上に存在する点群座標データをノイズとして除去する。具体的には、まず、点群座標データから堤防形状の断面モデルを生成する。次に、堤防形状の断面モデルから、天端面を特定し、その天端面より上方にある点群座標データをノイズとして除去する。そして、壁状ノイズを除去した範囲に地表面を表現する点群座標データを内挿処理により補間する。これらの処理を経て、ブレイクラインの誤抽出の課題を解消する。

2.4 処理の流れ

提案手法(図6)は、ブレイクライン候補線生成機能、ブレイクライン抽出機能と点群座標データ間引き機能が構成される。各機能の処理手順を次に示す。

ブレイクライン候補線生成機能(図7)は、標高分割処理、密度クラスタリング処理と天端面特定処理の3つの処理で構成される。標高分割処理では、点群座標データを入力し、標高の値を用いて複数のレイヤに分割する。密度クラスタリング処理では、まず、分割された各レイヤに含まれる点群座標データを点間の相対距離に基づきクラスタリングする。次に、各クラスタの領域外形線を取得し、その面積を算出する。以後、

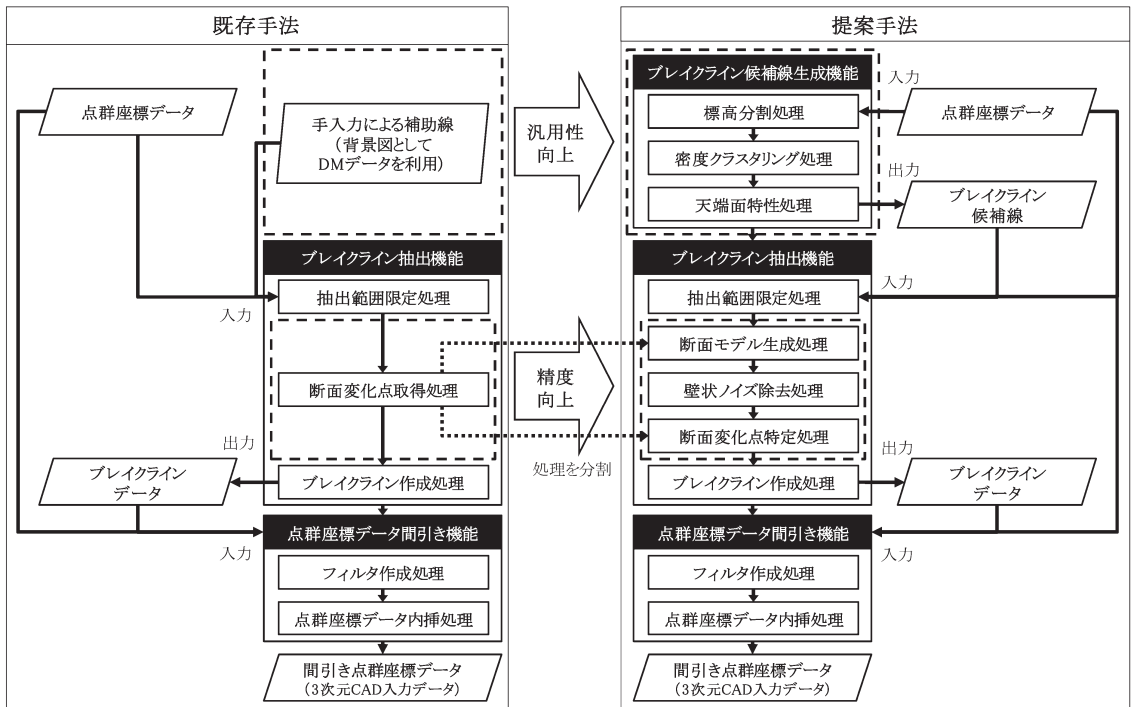


図6 既存手法を拡張した提案手法の処理の流れ

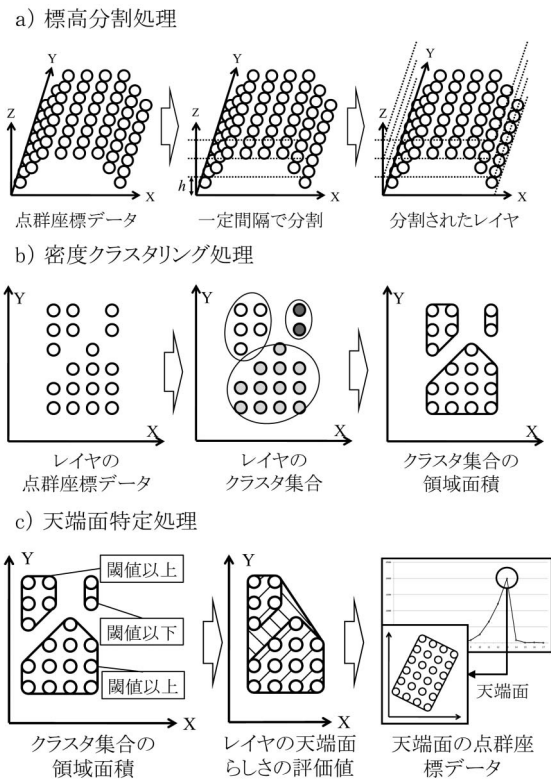


図7 ブレイクライン候補線生成機能

この領域外形線で囲まれた範囲の面積をクラスタの領域面積とする。天端面特定処理では、まず、各レイヤのクラスタ集合の中から、クラスタの領域面積が閾値以下の微小クラスタを除去する。次に、各レイヤに含まれる点群座標データの領域外形線を取得し、その領域面積を算出する。以後、この領域外形線で囲まれた範囲の面積をレイヤの領域面積とする。そして、各レイヤの領域面積とそのレイヤに含まれるクラスタの領域面積の総和との割合を算出し、クラスタの領域面積の総和が占める割合が最も高いレイヤを天端面と推定する。最後に、天端面に含まれる点群座標データの領域外形線をブレイクライン候補線として取得する。

ブレイクライン抽出機能(図8)は、抽出範囲限定処理、断面モデル生成処理、壁状ノイズ除去処理、断面変化点特定処理とブレイクライン作成処理の5つの処理で構成される。抽出範囲限定処理では、点群座標データとブレイクライン候補線取得機能によって取得したブレイクライン候補線とを入力して、断面変化点の抽出範囲を限定する。断面モデル生成処理では、限定された各抽出範囲に含まれる点群座標データをY-Zの2次元空間に圧縮し、断面線の折れ線近似を断面モデルとして取得する。壁状ノイズ除去処理では、まず、断面モデルの天端面を示す線分を特定する。次に、天端面を示す線分よりも高い標高を持つ点群座標

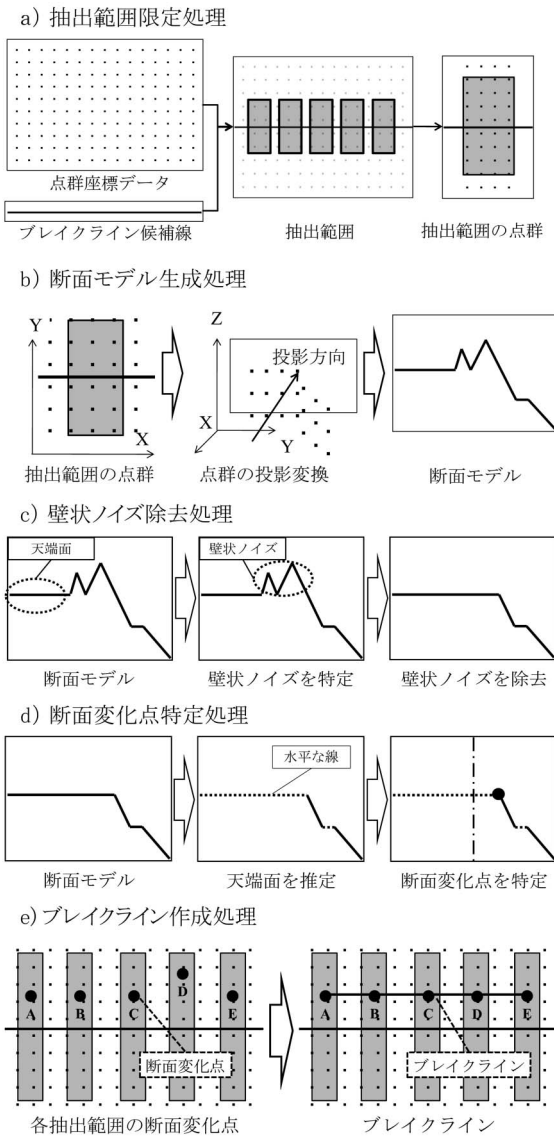


図8 ブレイクライン抽出機能

データを除去し、ノイズの影響を除去した断面モデルを取得する。断面変化点特定処理では、壁状ノイズを除去した断面モデルから天端面を示す線分と法面を示す線分とを抽出し、それらの交点を断面変化点として取得する。ブレイクライン作成処理では、断面変化点特定処理で取得した断面変化点を繋いでブレイクラインを作成する。

点群座標データ間引き機能(図9)は、フィルタ作成処理と点群座標データ内挿処理とで構成される。フィルタ作成処理では、ブレイクラインと格子状のフィルタを重ねたブレイクラインフィルタを作成する。次に、点群座標データ内挿処理では、ブレイクラインフィルタを用いて点群座標データの内挿処理を行う。

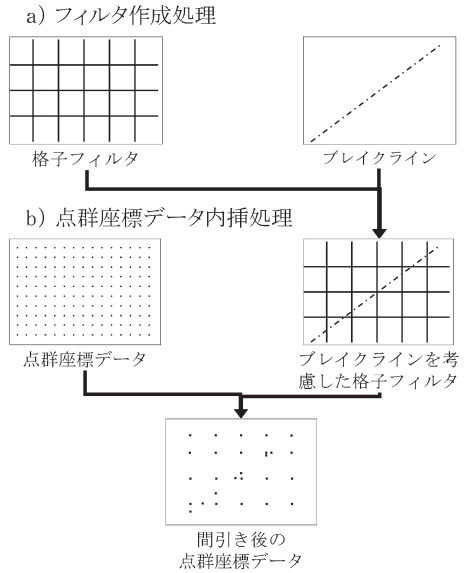


図9 点群座標データ間引き機能

この処理により、不規則な間隔で計測された点群座標データからブレイクラインを考慮した格子状の間引き点群座標データへ変換する。

本論文では、第3章にてブレイクライン候補線取得機能を記述し、第4章にて壁状ノイズ除去処理の内容を詳述する。なお、点群座標データ間引き機能およびブレイクライン抽出機能の詳細は、既存研究[18]を参照されたい。

3. ブレイクライン候補線生成機能

ブレイクライン候補線生成機能は、点群座標データからブレイクライン候補線を生成する。ここで、レーザスキャナで計測した現況地形の点群座標データを $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_i\}$ とする。本機能により、前述のDMデータの更新サイクルによる鮮度の課題を解消する。

3.1 標高分割処理

本処理では、点群座標データの中から天端面の領域を判別する前処理として、点群座標データを複数のレイヤに分割する。具体的には、図10に示すとおり、点

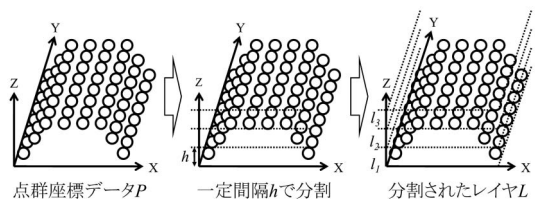


図10 標高分割処理

群座標データ P を高さ h ごとに一定間隔で分割する。この処理から得たレイヤ集合を $L = \{l_1, l_2, l_3, \dots, l_j\}$ とする。

3.2 密度クラスタリング処理

本処理では、点群座標データが集中しているレイヤを判別するため、レイヤに対する点の密度によるクラスタリングを行い、各クラスタの領域面積を算出する。MMSにて河川堤防を計測した点群座標データの特徴には、計測車両近くの天端面の点群座標データの密度は高く、計測車両から離れた法面や法尻などの点群座標データの密度は低くなる傾向が見られる。そのため、本処理では、密度に基づくクラスタリング手法として、データマイニングの一手法であるDBSCAN[25]法を用いた。DBSCAN法によるクラスタリングの概要を図11に示す。DBSCAN法とは、距離の閾値 Eps と対象数の閾値 $MinPts$ の2つの値を用いた点の密度に基づくクラスタリング手法である。密度クラスタリング処理の方法を図12に示す。まず、任意のレイヤ l_j に含まれる点群座標データ $P_{dbscan} = \{pd_{(j,1)}, pd_{(j,2)}, pd_{(j,3)}, \dots, pd_{(j,i)}\}$ をDBSCAN法にてクラスタリングする。点群座標データ P_{dbscan} 中の任意の点 $pd_{(j,i)}$ とその点から距離 Eps 内の近傍点 $N_{Eps}(pd_{(j,i)})$ に含まれる近傍点 $pd_{(j,i+1)}$ が次の条件式(1)と(2)を満たす場合、近傍点 $pd_{(j,i+1)}$ を点 $pd_{(j,i)}$ と同一のクラスタとして分類する。

$$pd_{(j,i)} \in N_{Eps}(pd_{(j,i+1)}) \tag{1}$$

$$|N_{Eps}(pd_{(j,i+1)})| \geq MinPts \tag{2}$$

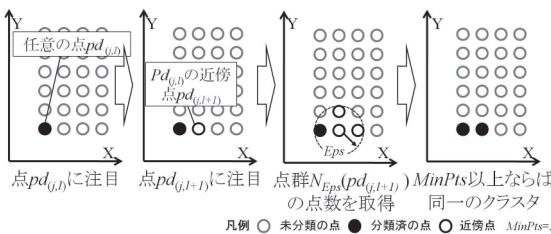


図11 DBSCAN法によるクラスタリング

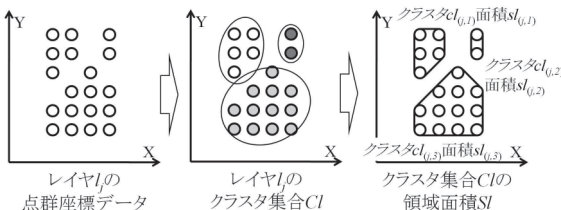


図12 密度クラスタリング処理

任意のレイヤ l_j からDBSCAN法によりクラスタリングした結果を $Cl_j = \{cl_{(j,1)}, cl_{(j,2)}, cl_{(j,3)}, \dots, cl_{(j,k)}\}$ とする。そして、クラスタ集合 Cl_j の各クラスタ $cl_{(j,k)}$ の領域外形線を動的輪郭法[26]によって取得する。また、動的輪郭法の対象となる点群座標データを $P_{snake} = \{ps_{(j,1)}, ps_{(j,2)}, ps_{(j,3)}, \dots, ps_{(j,m)}\}$ とする。

本研究で利用する動的輪郭法の概要を図13に示す。動的輪郭法とは、対象を内包する閉曲線が移動と変形を繰り返して対象の輪郭を捉える手法である。まず、対象となる点群座標データ P_{snake} に外接する円を作成する。次に、円周上に等間隔に配置した点列 $P_{tangent} = \{pt_1, pt_2, pt_3, \dots, pt_n\}$ と pt_n を通る円の接線 $T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\}$ を作成する。そして、図14に示すとおり、円周上の点 pt_n を通る円の接線 t_n を円の中心点に向けて対象の点群座標データ $ps_{(j,m)}$ と重なるまで平行移動する。このとき、 pt_n が平行移動した距離 $Range$ は式(3)を用いて算出する。ここで、 t_n は直線の公式 $ax + by + c = 0$ とする。また、 x_i, y_i は、平行移動する

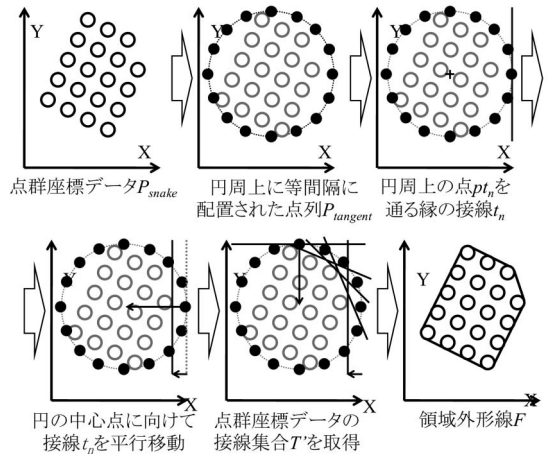


図13 本研究で利用する動的輪郭法の概要

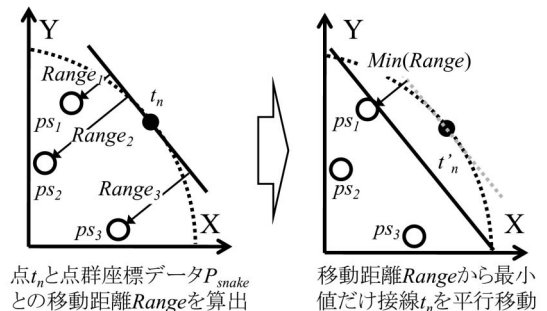


図14 円の接線 t_n の平行移動

点 pt_n の x, y 座標とし、 x_s, y_s は、対象の点群座標データ $ps_{(j,m)}$ の x, y 座標とする。

$$Range = \frac{|a \cdot x_i + b \cdot y_i + c| - |a \cdot x_s + b \cdot y_s + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (3)$$

この処理から得た点群座標データの接線の集合を $T' = \{t'_1, t'_2, t'_3, \dots, t'_n\}$ とする。また、接線集合 T' の交点の集合を領域外形線 $F = \{f_1, f_2, f_3, \dots, f_o\}$ とする。そして、動的輪郭法によって取得したクラスタの領域外形線 F からクラスタ集合 Cl_j の領域面積 $Sl_j = \{sl_{(j,1)}, sl_{(j,2)}, sl_{(j,3)}, \dots, sl_{(j,k)}\}$ を算出する。各クラスタの領域面積 Sl_j は、次の多角形の面積を式(4)により算出する。

$$sl_{(j,k)} = \frac{1}{2} \sum_{o=1}^{|F|} (x_o - x_{o+1}) \cdot (y_o + y_{o+1}) \quad (4)$$

式(4)の x_o, y_o は、領域外形線 F の頂点 f_o の x, y 座標である。また、 x_{o+1}, y_{o+1} は頂点 f_o と隣り合う点 f_{o+1} の x, y 座標である。

3.3 天端面特定処理

天端面特定処理方法を図15に示す。天端面特定処理では、ブレイクライン候補線を取得するため、天端面のレイヤを特定する。天端面のレイヤは、レイヤに属する点群座標データの領域面積と各クラスタの領域面積 Sl_j の総和との割合や、点群座標データが存在する領域の大きさを用いて推定する。このとき、各レイヤの領域面積をそれぞれ $S = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_j\}$ とする。なお、これらの領域面積は、各レイヤのクラスタリング処理の結果に依存するため、レイヤ単位で異なる。

まず、各クラスタの領域面積が閾値 $MinSize$ 以下の微小クラスタであった場合、任意のレイヤ l_j から微小クラスタを除去する。次に、任意のレイヤ l_j の領域外形線と領域面積を前項と同様に動的輪郭法を用いて算出する。そして、レイヤの領域面積とレイヤに含まれるクラスタの領域面積とを用いて、天端面となるレイヤ l_j を式(5)にて特定する。最後に、天端面のレイヤ

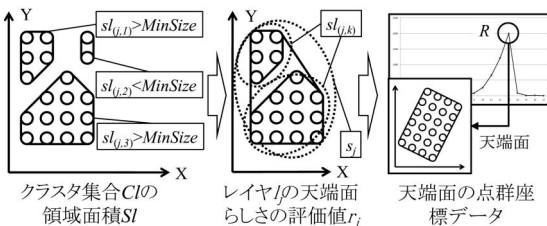


図15 天端面特定処理

l_j の領域外形線をブレイクライン候補線 BL として取得する。

$$R = \arg \max_j \left[\frac{\sum_{k=1}^{|Sl_j|} sl_{(j,k)}}{s_j} \right] \quad (5)$$

4. ブレイクライン抽出機能

ブレイクライン抽出機能は、ブレイクライン候補線生成機能によって取得したブレイクライン候補線 BL と点群座標データ P とを入力してブレイクラインを抽出する。本機能では、壁状ノイズ除去処理を追加することによって、前述した植生によるノイズが原因で断面変化点を誤抽出される課題を解消する。

4.1 抽出範囲限定処理

本処理(図16)では、まず、ブレイクライン候補線の始点から一定の距離ごとに矩形領域を作成する。次に、作成した領域の範囲内から点群座標データを抽出する。この処理から得た領域を $RC = \{rc_1, rc_2, rc_3, \dots, rc_o\}$ とし、 rc_o に含まれる点群座標データを $PO = \{po_1, po_2, po_3, \dots, po_p\}$ とする。

4.2 断面モデル生成処理

本処理(図17)では、抽出範囲限定処理によって取得した領域 RC に含まれる点群 PO を2次元空間に圧縮し、線形近似を行う。この処理から得た断面を示す折

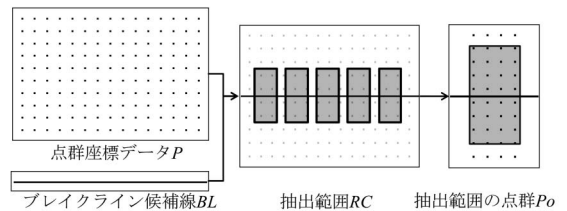


図16 抽出範囲限定処理

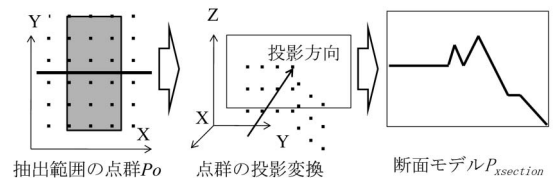


図17 断面モデル生成処理

れ線を断面モデル $P_{xsection} = \{px_1, px_2, px_3, \dots, px_q\}$ とする。

4.3 壁状ノイズ除去処理

壁状ノイズ除去処理では、断面モデル生成処理によって取得した断面モデル $P_{xsection}$ を利用して、天端面よりも高い位置に存在する点群座標データを壁状ノイズとして取り除く。また、内挿処理によって壁状ノイズで隠れていた天端面を補間する。本処理 (図18) では、まず、壁状ノイズに覆われた天端面を推定するため、断面モデル $P_{xsection}$ の中から、水平との角度が閾値 β 以内の線分を探索する。そして、その中から最も高い位置に存在する線分を特定し、天端面を示す線分として取得する。以後、この線分を天端面線分とする。そして、天端面線分を延長し、既存の断面モデルとの交点の中から、最も天端面線分との距離が離れた交点 px_{q+1} を断面モデル $P_{xsection}$ に追加する。最後に、断面モデル $P_{xsection}$ の中から、天端面上に存在する点群座標データをノイズとして除去する。

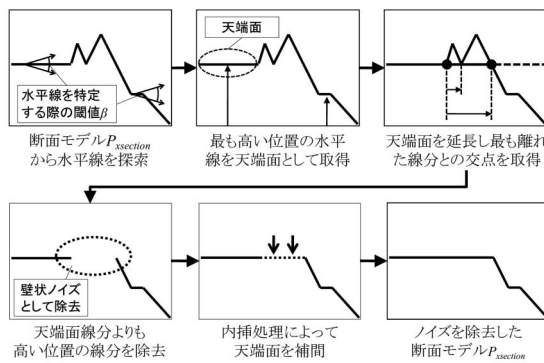


図18 壁状ノイズ除去処理

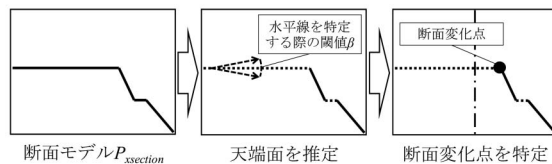


図19 断面変化点特定処理

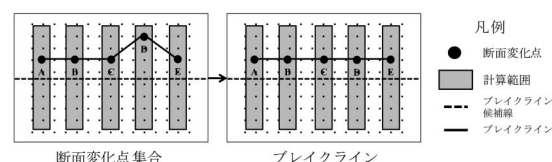


図20 ブレイクライン作成処理

4.4 断面変化点特定処理

本処理 (図19) では、まず、近似された各断面線分の中から、水平からの角度が閾値 β 以内の断面線分を水平線として抽出する。次に、抽出された水平線の端点の中から、最もブレイクライン候補線と距離が近い点を断面変化点として取得する。そして、断面変化点特定処理を各領域 rc_o に適用する。この処理から得た断面変化点の集合を $P_x = \{px_1, px_2, px_3, \dots, px_o\}$ とする。

4.5 ブレイクライン作成処理

本処理 (図20) では、取得した断面変化点の集合 P_x からブレイクラインを作成する。具体的には、断面変化点の集合 P_x の各点 px_o を結んで折れ線を作成する。次に、各点 px_o を取得した領域のブレイクライン候補線の始点からの距離を横軸、ブレイクライン候補線に対する各点の垂線の長さを縦軸としてメディアンフィルタ [27] によって平滑化する。この処理により、砂利や植生などのノイズによって誤抽出された断面変化点を除去できる。そして、平滑化された断面変化点の点列 P_x を各頂点とするブレイクラインを作成する。

5. 評価実験

本実験では、DMデータの更新サイクルによる鮮度と、壁状ノイズにより面と面の境界が曖昧となりブレイクラインを誤抽出する2つの課題が解決できているかを確認するため、既存手法と提案手法とで生成した3次元モデルの再現精度を比較・評価する。

5.1 実験概要

3次元モデルの再現精度は、3次元モデルから抽出したブレイクラインを用いた比較、3次元モデルから生成した横断図を用いた比較と3次元モデルの可視化による比較の3つの指標を用いて評価する。ブレイクラインを用いた比較では、各手法で生成した3次元モデルのブレイクラインと評価基準として手作業で取得したブレイクラインとの誤差を用いて評価する。横断図を用いた比較では、各手法で生成した3次元モデルから作成した横断図と実際の河川管理で利用している実測横断図とを比較して評価する。可視化による比較では、各手法で生成した3次元モデルをAutoCAD Civil3D 2010で可視化し、ブレイクラインを考慮した3次元モデルが生成されているかを確認する。

5.2 実験環境と実験データ

本実験で用いた機器の仕様を表3に示す。また、本実験で利用する点群座標データは、処理時間や河川管



図21 MMS点群座標データの可視化結果
(G-Viz Lite1.0 三菱電機社)

表3 実験環境

種類		仕様	
ハード	実験機器	CPU	Intel® Core™2 Duo CPU 2.50Ghz
		メモリ	4.0GB
		HDD	280GB
ソフト	開発環境・言語		Visual Studio 2010
			Visual C#
	CAD		AutoCAD Civil3D 2010

表4 実験データの詳細

項目	MMS データ
点数	約 410 万点
計測距離	800m
絶対精度	水平 10cm 鉛直 15cm
相対精度	1cm

理の距離標の関係から200m毎(幅約40m, 面積約8,000m²)に区切って用いる。本実験で対象とする計測エリアは、図2の楕円で囲まれている淀川堤防沿いの区間の右岸とした。これは、2章の調査結果からも明らかのように、河川堤防の典型的形状で構成されており、天端面付近には壁状ノイズが多く含まれているためである。MMSの点群座標データの可視化結果を図21、点群座標データの詳細を表4に示す。また、既存手法では、ブレイクライン候補線としてDMデータに含まれる道路線を背景図として用いる。本実験では、淀川河川堤防(図2)のDMデータ(地図情報レベル2,500)を採用した。

5.3 予備実験

5.3.1 パラメータの設定

本項では、提案手法で用いる4つのパラメータ h , Eps , $MinPts$ と $MinSize$ を実験条件として設定する。パラメータ h は、ブレイクライン候補線生成機能の標高分割処理にて、DBSCAN法の閾値として設定する。

パラメータ Eps と $MinPts$ は、ブレイクライン候補線生成機能の密度クラスタリング処理にて、点群座標データをクラスタリングする際に用いる値である。パラメータ Eps は、任意の点をクラスタに含めるかどうかを判定するための閾値で、パラメータ $MinSize$ は、ブレイクライン候補線生成機能の天端面特定処理にて微小クラスタを除去するための値である。このうち、パラメータ h , $MinPts$, $MinSize$ の値は、予備実験の結果から経験的に値を設定した。予備実験では、本実験と同様に典型的な凸型の堤防形状の点群座標データを用いた。これは、典型的な凸型の堤防形状を対象とすることで、本実験とほぼ同様の値を設定することが可能であると考えたためである。なお、ブレイクライン抽出機能で用いるパラメータの閾値は、既存研究[18]と同様の値を用いた。

(1) パラメータ h

予備実験では、パラメータ h の最適な値を決定するために0.1mから0.6mまで、0.1m間隔で点群座標データを分割し天端面の特定処理(図22)を行った。0.1mと0.2mでは、点群座標データが疎な状態となっており、天端面を特定できていない。0.3m以上は天端面を特定可能であるが、外形線の幅が徐々に広がっており、法面部分も天端面として誤抽出していると考えられる。これらの結果から、本実験では $h=0.3(m)$ を採用する。

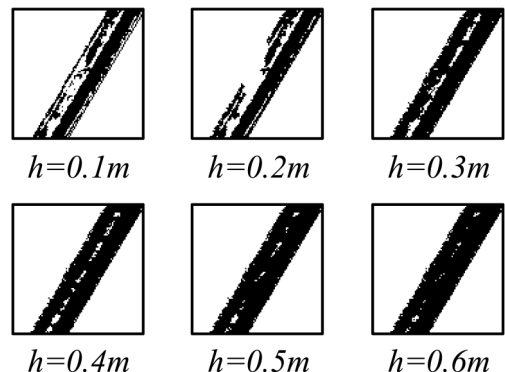


図22 パラメータ h の予備実験



図23 パラメータ *MinPts* の予備実験

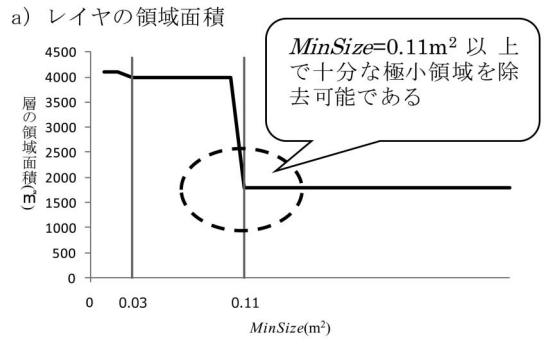
(2) パラメータ *Eps*, *MinPts*

パラメータ *Eps* は、本実験で利用する点群座標データから、各点の最近傍点までの距離の平均値を算出して、*Eps*=0.79cmを採用する。

予備実験では、パラメータ *Eps* の値を固定して、*MinPts* の値を1から5まで変化させ、密度によるクラスタリング処理(図23)を行った。その結果、*MinPts* の値が2以下の場合、図23に示すとおり複数の領域が結合された1つのクラスタが形成される結果となった。それに対し、*MinPts* の値が3以上の場合、領域単位にクラスタリングされ、正常に点群座標データを分割される結果となった。この結果から、本実験では *MinPts*=3 を採用する。

(3) パラメータ *MinSize*

予備実験では、パラメータ *MinSize* の最適な値を決定するために0.01m²から1.0m²まで、0.01m²間隔の閾値で天端面特定処理(図24)を行った。グラフでは、レイヤの領域面積(m²)と *MinSize* との関係を表示している。レイヤの領域面積(m²)の値が大きい場合、微小クラスタを含めた領域外形線を取得しており、ノイズ



b) レイヤの領域外形線



MinSize=0.01m² MinSize=0.03m² MinSize=0.11m²

図24 パラメータ *MinSize* の予備実験

が混入している可能性が高いと考えられる。具体的には、0m²から0.11m²未満の場合にはコンクリート柱(電柱など)の領域外形線がノイズとして含まれており、領域外形線を誤抽出する原因となった。そのため、本実験では、*MinSize* に設定する値として、コンクリート柱の断面積を用いる。コンクリート柱の断面形状は、JIS規格(JIS A 5373)に従ってNTTや各電力会社で独自に規格を定めている。本実験では、各規格の中で最大直径であるNTTの407mmから面積を算出して *MinSize*=0.13m² を採用する。

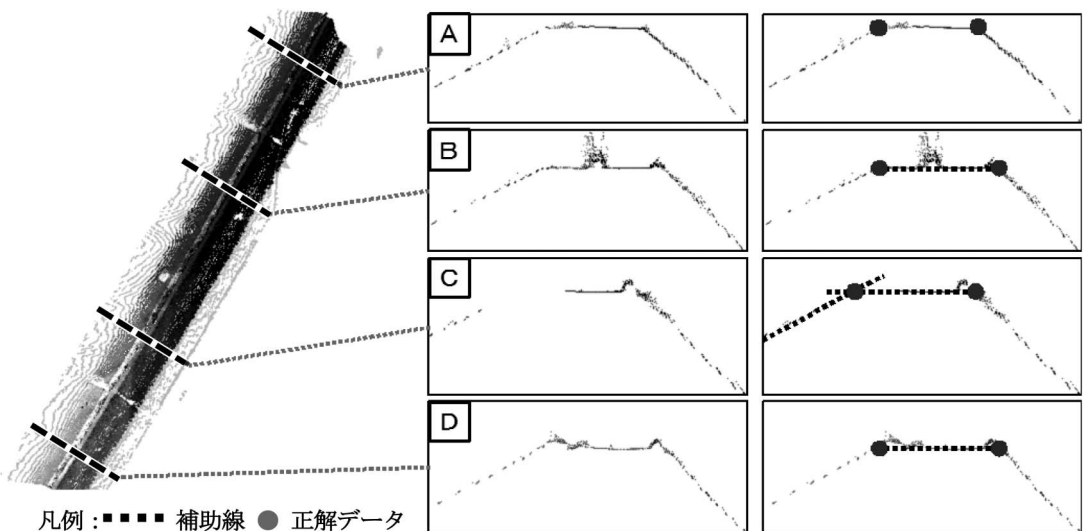


図25 正解データの判断基準

5.3.2 ブレイクライン正解データ

ブレイクラインの正解データは、点群座標データから人手で作成(以下、「ブレイクライン正解データ」)した。ブレイクライン正解データは、点群座標データから任意の間隔で横断面を取得し、その横断面内で断面変化点を目視で確認しながら作成した。断面変化点の判断基準を図25に示す。Aの地点は、断面変化点が明確に確認可能な例である。この場合、天端面と法面の交点を断面変化点とした。Bの地点は、道路の縁石に壁状ノイズが存在する例である。この場合、道路面を延長し、法面と交差した点を断面変化点とした。Cの地点は、天端面と法面の双方が途切れている例である。この場合、天端面と法面をそれぞれ延長し、交差した点を断面変化点とした。Dの地点は、道路面両端に草むらなどのノイズが存在する例である。この場合、草むらをノイズとするため、道路面を延長した直線と法面とが交差する点を断面変化点とした。

5.4 既存手法との比較実験

5.4.1 実験内容

本実験では、既存手法[18]と本提案手法とで生成した3次元モデルの再現精度の比較により検証する。実験手順を次に示す。まず、図2の楕円で囲まれた地域の点群座標データを入力として、次に示す3つの手法にて3次元モデルを生成する。

- 既存手法(手法 a)
- 既存手法にブレイクライン候補線生成機能を追加した提案方法(手法 b)
- 既存手法にブレイクライン候補線生成機能と壁状ノイズ除去処理を追加した提案手法(手法 c)

次に、生成した3次元モデルからブレイクラインと横断面図とを取得する。横断面図は、正解データの実測横断面図の距離標の経緯度を用いて同一箇所の情報を抽出する。なお、距離標の経緯度は、国土地理院が公開する電子国土ポータル[28]を用いて目視で取得する。最後に、横断面図とブレイクラインそれぞれの正解データと比較して精度を評価する。

本実験にて、手法 a と手法 b とを比較して既存手法で指摘していたDMデータから取得した補助線が必要である課題が解消できているかを確認する。また、手法 b と手法 c とを比較し、河川堤防の天端面と法面との間の壁状ノイズに起因したブレイクラインの誤抽出の課題を解消しているかを確認する。

5.4.2 実験結果と考察

(1) ブレイクラインの抽出精度の評価

本実験では、各手法で生成した3次元モデルに含まれるブレイクラインの再現精度を評価するため、ブレイクライン正解データと比較した。植生ノイズが含まれない箇所は、各手法ともにほぼ同様のブレイクラインが抽出できていたため、本実験では、植生ノイズが多く含まれる距離標7.8km~8.0kmの区間を対象とした。ブレイクライン正解データと各手法とで生成した3次元モデルとの比較手順を次に示す。

まず、ブレイクライン正解データを10cm間隔で分割した点(以下、「ブレイクライン構成点」)を取得する。次に、ブレイクライン正解データを分割したブレイクライン構成点から3次元モデルを構成する面への最短距離を算出する。そして、算出した最短距離に基づきブレイクライン構成点をグループ化し、その集計されたブレイクライン構成点の数で比較する。また、集計の際、手法 a はDMデータの誤差が精度に影響を与えている可能性が高いと考えられるため、補正処理を行った結果を用いた。手法 a の抽出結果の補正手順を次に示す。

まず、手法 a にて3次元モデルを作成する。次に、ブレイクライン構成点と3次元モデルとの最短距離を算出する。そして、算出した最短距離から0cm~87.5cmの範囲内から無作為に取得した値を減算する。ここで、87.5cmは、DMデータ(地図情報レベル2,500)に含まれる水平標準誤差175cm[29]の1/2の値である。これにより、DMデータと正解データとの間に存在する水平標準誤差を考慮した結果の算出が可能となる。

集計結果を図26と図27に示す。図26は、縦軸をブレイクライン構成点の数、横軸を3次元モデルの構成する面とブレイクライン正解データの構成点との距離(cm)とした。図27では縦軸をブレイクライン構成点の累積数とした。これらの図は、3次元モデルと正解データの距離が短い集計グループに集中していることを示す。

図26の手法 a と b を確認すると、ほぼ同様の軌跡をたどっていることがわかる。そこで、手法 a と b の最近傍面の数の差を図28に示す。図28から、0 cmの集計結果を除き、ほぼ中央値である0で遷移していることがわかる。また、0 cmの集計結果の詳細を確認したところ、手法 a に対してDMデータの水平標準誤差を考慮した補正を適用したことにより発生したノイズであることがわかった。これらの結果から、ブレイクライン候補線取得機能により生成したブレイクライン

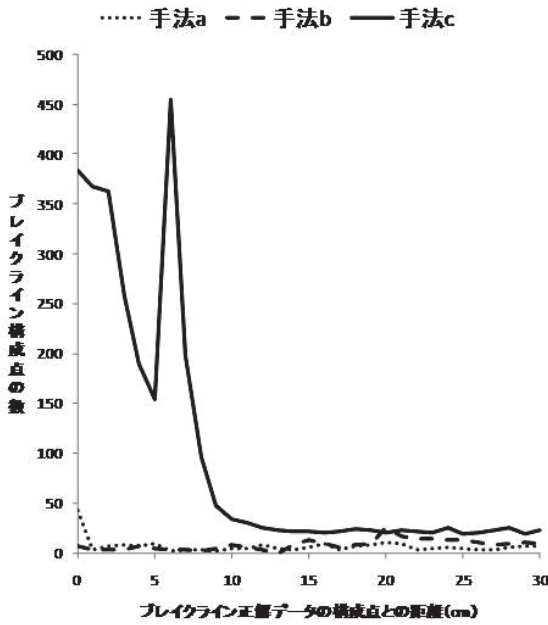


図26 断面変化点における近傍面の集計結果

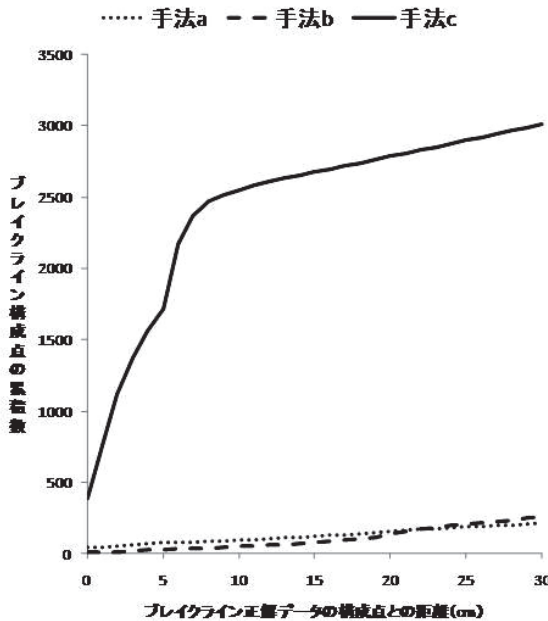


図27 最近傍面の累積グラフ

は、手法 aと同様の精度で断面変化点を発見できることが判明した。したがって、手法 bでは、DMデータの道路線をブレイクライン候補線として用いずに3次元モデルを生成できているため、既存手法で課題となっていたDMデータ準備の問題を解消できていることがわかった。

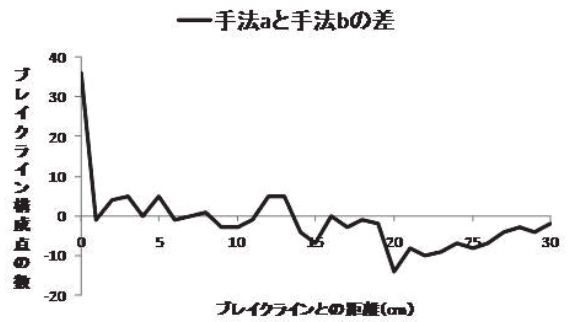


図28 手法 aと手法 bの差分グラフ

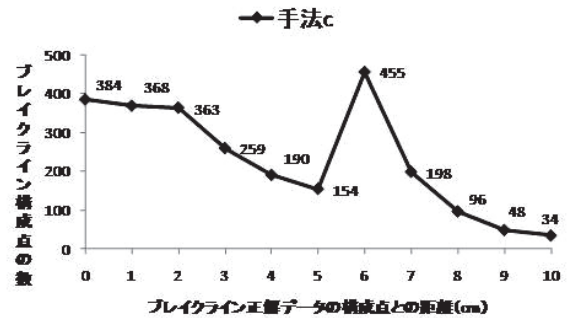


図29 手法 cの10cm以内の集計結果

図26と図27の手法 bとcのグラフを確認すると、手法 bでは7 cm以内には35件(全体の0.8%)であるのに対して、手法 cでは7 cm以内に2,371件(全体の54%)含まれていることがわかる。この結果から、壁状ノイズ除去処理により正確にノイズが除去されていることがわかる。また、手法 cの10cm以内の集計結果(図29)を確認すると、正解データと同様の点を抽出した件数は、計測範囲200mに対して384点であった。本提案手法を利用することで、出来形管理の品質向上に寄与できると考えられる。

(2) 実測横断面を用いた精度評価

本実験では、各手法による3次元モデルの横断面図と実測横断面図とを重ね合わせ、各横断面の標高差を用いて精度を評価する。精度評価の指標に、標高差を用いることで、断面変化点を正確に再現した3次元モデルが作成できていることと、天端面に存在する壁状ノイズを適切に除去できていることの2点を評価できる。本実験で用いる実測横断面図は、MMSの計測エリアに含まれる距離標7.2km地点から8.0km地点までの間200m毎の5図面とした。横断面図の比較のイメージを図30に示す。ここで、標高差の比較は、実測横断面図を

1 cm間隔に区切って作成した評価点を対象に算出する。また、図31に示すとおり、比較結果を全体、A区間とB区間の3つの区間に分類して集計する。

A区間は、天端面の幅に両端5 cmを加えた範囲とする。これは、河川土工の盛土工の出来形管理基準では、天端面の幅の誤差を10cm以内と定められているため、その値を参考に決定した。

B区間は、A区間に含まれない天端面以外の範囲とする。それぞれの手法で生成した3次元モデルと実測横断面図との集計結果を表5に示す。本実験では、横断面図間の標高差が15cm以内にどの程度含まれているかを5 cm間隔で集計した。これは、MMSによる計測データには、15cm(鉛直方向)の絶対誤差が存在するためである。また、それぞれの集計区間に対し、3手法で生成した3次元モデルの横断面図と実測横断面図との誤差が最も低い値に下線を付与した。実験結果から、次の3つの内容が明らかとなった。

1つ目は、表5の全体平均を確認すると、全体、A区間、B区間のすべてを通して、提案手法である手法cが最も実測横断面図との誤差が小さくなった。また、A区間の集計結果の平均を確認すると、MMSの許容誤差である15cm以内に約95%が含まれており、高精度な3次元モデルが生成できていることがわかる。これは、天端面の上方にある植生ノイズを適切に除去できているためである。

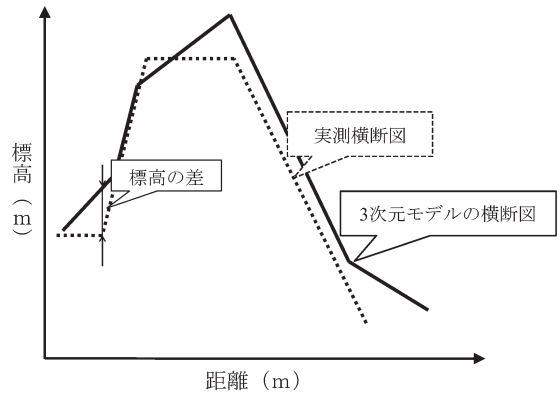


図30 横断面図の比較のイメージ

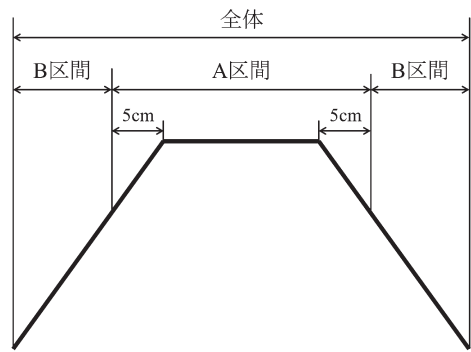


図31 比較結果の集計グループ

表5 3次元モデルと実測横断面図との比較結果

計測箇所		全体(%)			A区間(%)			B区間(%)		
		手法 a	手法 b	手法 c	手法 a	手法 b	手法 c	手法 a	手法 b	手法 c
距離標 7.2km	～ 5cm	22.68	20.45	<u>23.64</u>	64.86	81.08	<u>91.89</u>	<u>17.03</u>	12.32	14.49
	～10cm	29.71	29.07	<u>37.38</u>	72.97	<u>100.00</u>	<u>100.00</u>	23.91	19.57	<u>28.99</u>
	～15cm	35.46	33.23	<u>45.37</u>	78.38	<u>100.00</u>	<u>100.00</u>	29.71	24.28	<u>38.04</u>
距離標 7.4km	～ 5cm	6.33	<u>10.67</u>	8.33	0.00	0.00	0.00	6.99	11.76	<u>9.19</u>
	～10cm	16.00	<u>25.33</u>	21.67	0.00	0.00	<u>3.57</u>	17.65	<u>27.94</u>	23.53
	～15cm	29.00	41.33	<u>49.33</u>	60.71	7.14	<u>75.00</u>	31.99	44.85	<u>46.69</u>
距離標 7.6km	～ 5cm	2.33	2.33	<u>2.84</u>	0.00	0.00	<u>2.44</u>	2.69	2.69	<u>2.99</u>
	～10cm	5.43	5.43	<u>15.50</u>	0.00	0.00	<u>90.24</u>	6.29	6.29	<u>6.89</u>
	～15cm	11.37	8.79	<u>20.67</u>	12.20	0.00	<u>100.00</u>	<u>11.68</u>	10.18	<u>11.68</u>
距離標 7.8km	～ 5cm	23.49	16.95	<u>24.94</u>	53.06	0.00	<u>73.47</u>	<u>19.51</u>	19.23	18.41
	～10cm	37.29	<u>37.77</u>	<u>37.77</u>	81.63	81.63	<u>91.84</u>	31.32	<u>31.87</u>	30.49
	～15cm	50.36	<u>50.85</u>	49.15	100.00	100.00	<u>100.00</u>	43.68	<u>44.23</u>	42.31
距離標 8.0km	～ 5cm	15.38	15.38	<u>21.47</u>	48.94	59.57	<u>85.11</u>	9.43	7.55	<u>10.19</u>
	～10cm	27.88	27.56	<u>33.65</u>	89.36	<u>100.00</u>	<u>100.00</u>	16.98	14.72	<u>21.89</u>
	～15cm	53.21	50.96	<u>54.49</u>	<u>100.00</u>	<u>100.00</u>	<u>100.00</u>	<u>44.91</u>	42.26	46.42
全体平均	～ 5cm	14.04	13.15	<u>16.25</u>	33.37	28.13	<u>50.58</u>	<u>11.13</u>	10.71	11.05
	～10cm	23.26	25.03	<u>29.20</u>	48.79	56.33	<u>77.13</u>	19.23	20.08	<u>22.36</u>
	～15cm	35.88	37.03	<u>43.80</u>	70.26	61.43	<u>95.00</u>	32.39	33.16	<u>37.03</u>

2つ目は、表5の距離標7.6kmのA区間を確認すると、手法cで生成した3次元モデルが他の2手法で生成した3次元モデルと比較してより高精度に天端面を再現できていることがわかった。距離標7.6kmの横断面図と各手法の3次元モデルから作成した横断面図を重ね合わせた結果を図32に示す。図32から、手法aとbで作成した3次元モデルの横断面図は、天端面が実測横断面図と一致しておらず、実測横断面図よりも上方に3次元モデルが生成されていることがわかる。一方、手法cで作成した3次元モデルでは、天端面が実測横断面図と同様の形状を示しており、現況形状を再現できている。この距離標7.6km地点の点群座標データを分析したところ、天端面上部に法肩を含む壁状ノイズが存在していた。一方、提案手法を用いて生成した3次元モデルは、天端面の壁状ノイズを高精度に除去できていた。

3つ目は、表5のB区間を確認すると、すべての手法で、約3割程度の点数が標高差15cm以内に収まっていることが明らかとなった。これは、MMSによる計測では、計測車両の正面や近傍エリアは大量の点群座標データを取得可能であるが、法面や法尻などの

レーザが届きにくい場所は取得可能な点群座標データの件数が減少する特性の影響と考えられる。そのため、B区間では、少数の点群座標データに依存して3次元モデルを生成する必要がある。天端面の精度と比較して精度が低下したと考えられる。

(3) 3次元モデルの可視化による評価

手法bと手法cにより出力された点群座標データをAutoCAD Civil3Dにて可視化(図33と図34)した。図33では、ブレイクラインが正しく認識できておらず、壁状ノイズの影響を受けていることがわかった。それに対して、図34では、壁状ノイズを除去できており、ブレイクラインを正しく抽出できていたことがわかった。

図21の点群座標データに対して、壁状ノイズ除去処理を適用した手法cの結果を図35に示す。図35から壁状ノイズを正確に除去できていることがわかった。これらの結果より、壁状ノイズの除去が行われ、ノイズによって曖昧であった現況地形の断面変化点を正確に再現できた。

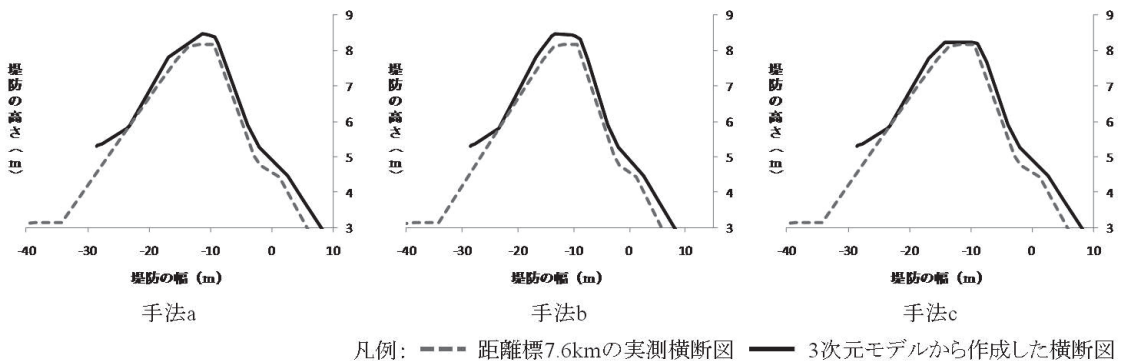


図32 3次元モデルの横断面図と実測横断面図との重ね合わせ結果(距離標7.6km地点)

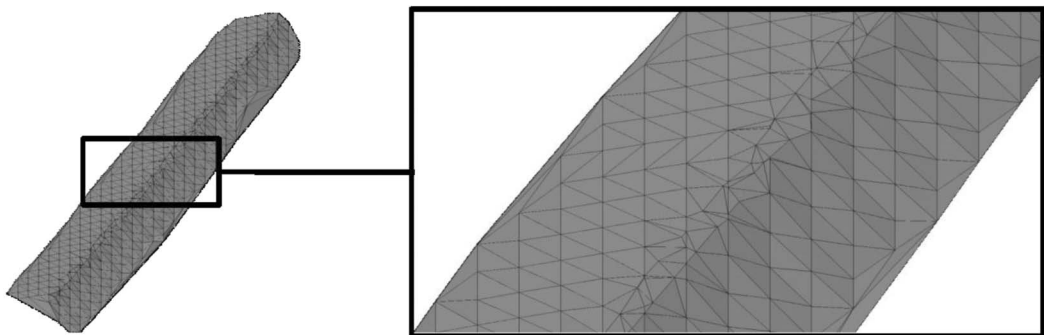


図33 手法bの3次元モデル

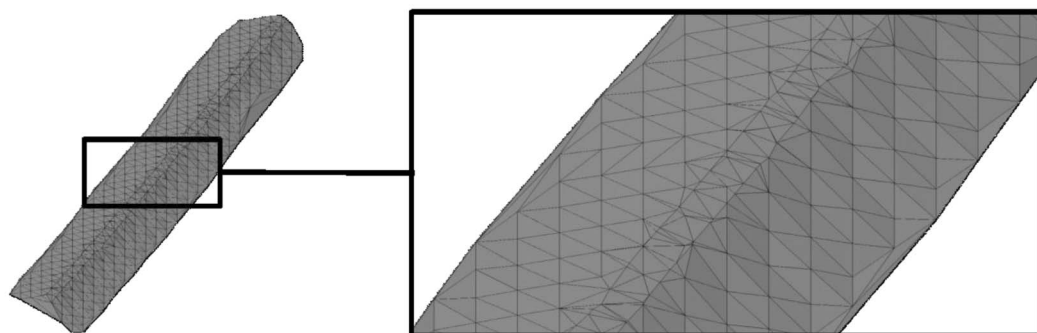


図34 手法cの3次元モデル

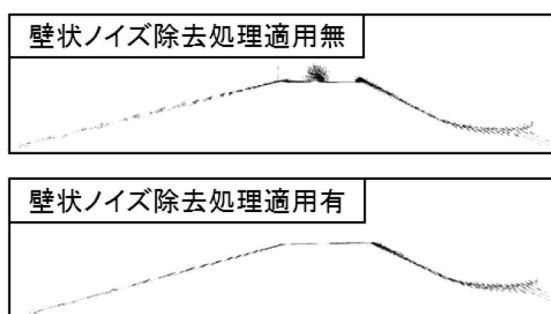


図35 壁状ノイズ除去処理前後の点群座標データ

6. おわりに

本研究では、大量な点群座標データから、河川堤防の各面の境界を考慮した3次元モデルを自動生成する手法を提案した。提案手法では、DMデータを用いず、点群座標データから推定した天端面の外形線を用いてブレイクラインを抽出した。さらに、天端面上に存在する点群座標データを自動的に特定し、壁状ノイズとして除去した。実験結果から、既存手法に残されたDMデータの更新サイクルによる鮮度の課題と河川堤防の天端面と法面との間の壁状ノイズに起因したブレイクラインの誤抽出の課題の2点を解決した。すなわち、境界面が曖昧で大量な点群座標データのみを参照して、現況地形を高精度に再現した3次元モデルを自動生成する技術開発に成功した。具体的には、次の点群座標データを取り扱う技術を開発した。

- MMSにて計測された点群座標データの密度に着目し、河川堤防の典型的な形状である凸型形状を対象として、天端面を推定する手法
- 河川堤防の形状に着目し、点群座標データに含ま

れる壁状ノイズを自動的に特定、除去する手法

- 点群座標データから壁状ノイズを除去した範囲の地表面を周辺の標高情報から推測して補間する手法

本研究では、点群座標データによって表現された曖昧な面の境界線を推定するために、天端面上に存在する点群は全てノイズと判断した。今後、こうしたノイズ除去手法を用いて生成された3次元モデルと実際の現況地形との間にどの程度の差異が生じたかを検証する実証実験を実施し、実務への適用性や享受する効果を明らかにする。

今回は河川堤防を対象に3次元モデルを生成したが、本研究の提案手法は汎用性が高いことから、今後、他の土木構造物(道路、トンネル、ダムなど)への適用性を検証する。また、工事段階(情報化施工)に主眼を置いて適用性を検証したが、今後の課題としては、維持管理の台帳図の作成支援手法、時間軸を加味した時空間モデルによる管理手法への展開があげられる。

最後に、本論文は、官学を基軸とした新技術開発促進を目的として、2008～2010年度国土交通省近畿地方整備局内に設置された「河川事業のデータ流通環境の構築に関する研究会」の活動成果の一部である。今後も引き続き、円滑なデータ流通環境の実現に向けて鋭意取り組んでいく予定である。

謝辞

本論文を遂行するにあたり、国土交通省近畿地方整備局の各氏には貴重なご意見を賜った。日本工営(株)および三菱電機(株)には、本研究で利用した点群座標データの計測でご協力を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- [1] 国土交通省: ICTが変える、私たちの暮らし〜国土交通分野イノベーション推進大綱〜, 2007.
- [2] 国土交通省: 「国土交通省 CALS/EC アクションプログラム 2005」の策定について, 2006.
- [3] 国土交通省: 「国土交通省 CALS/EC アクションプログラム 2008」の作成について, 2009.
- [4] 国土交通省情報化施工推進会議: 情報化施工推進戦略, 2009.
- [5] 金澤文彦, 青山憲明, 阿部寛之, 今井龍一, 上坂克己: 道路中心線形データ交換標準 (案) 基本道路中心線形編 Ver.1.0, 国土技術政策総合研究所資料, 第371号, 2007.
- [6] 金澤文彦, 田中洋一, 神原明宏: 土工におけるトータルステーションを用いた出来形管理の検討, 国土技術政策総合研究所資料, 第505号, 2009.
- [7] 国土交通省: 施工管理データを搭載したトータルステーションによる出来形管理監督・検査の手引き (案), 2009.
- [8] 国土交通省: 施工管理データを搭載したトータルステーションによる出来形管理要領 (案), 2008.
- [9] 椎葉祐土, 田中洋一, 遠藤和重, 藤島崇: 施工管理データを搭載したRTK-GNSSによる出来形管理手法の提案, 土木情報利用技術論文集, 土木学会, Vol.18, pp.59-66, 2009.
- [10] 土工締め管理情報化施工検討委員会: TS・GPSを用いた盛土の情報化施工締め管理要領 (案), 2003.
- [11] 田中成典, 今井龍一, 中村健二: 公共事業のデータ流通環境の整備に関するフレームワークの一考察, 土木情報利用技術論文集, 土木学会, Vol.18, pp.37-46, 2009.
- [12] 福森秀晃, 佐田達典, 大久保秀晃, 清水哲也, 村山盛行: 3次元レーザーキャナーの測定精度に関する基礎的実験, 土木情報利用技術論文集, 土木学会, Vol.18, pp.193-200, 2009.
- [13] 大津慎一, 佐田達典: 三次元形状計測における大量点群データの処理手法, 土木情報利用技術論文集, 土木学会, Vol.16, pp.27-36, 2007.
- [14] 谷口健男, 真下啓治: 3次元体表面上の点群を用いた形状生成と要素分割, 応用数理, 応用数理学会, Vol.15, No.4, pp.310-319, 2005.
- [15] Gumhold, S., Wang, X. and MacLeod, R.: Feature Extraction from Point Clouds, *Proc. of 10th International Meshing Roundtable*, Sandia National Laboratories, pp.293-305, 2001.
- [16] 古谷隆志, 真鍋友和, 谷口健男: point cloudsからの特徴線抽出とそれを利用した3次元領域形状の生成, 計算工学講演会論文集, 計算工学会, Vol.9, pp.773-776, 2004.
- [17] 小林一郎, 宮下征士, 坂口将人, 上田誠: MMSデータを用いた視距改良設計, 土木情報利用技術論文集, 土木学会, Vol.18, pp.1-8, 2009.
- [18] 田中成典, 今井龍一, 中村健二, 川野浩平: 点群座標データを用いた3次元モデルの生成に関する研究, 土木情報利用技術論文集, 土木学会, Vol.19, pp.165-174, 2010.
- [19] 国土交通省: 拡張デジタルマッピング実装規約 (案), 2005.
- [20] 国土交通省: 大縮尺地形図図式 拡張デジタルマッピング取得分類基準表 (案), 2005.
- [21] 国土交通省国土地理院: 公共測量データベース, <<http://psgsv.gsi.go.jp/asp/index.asp>>, (入手2011).
- [22] 日本測量協会: 作業規程の準則 解説と運用, 2009.
- [23] 国土技術研究センター: 改定 解説・河川管理施設等構造物令, 日本河川協会, 2001.
- [24] 三菱電機: 三菱モービルマッピングシステム高精度GPS移動計測装置, <<http://www.mitsubishielectric.co.jp/pas/mms/>>, (入手2010)
- [25] Ester, M., Kriegel, H.P., Kriegel, Sander, J. and Xu, X.: A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise, *Proc. of The 2nd Int'l Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining, AAAI*, pp.226-231, 1996.
- [26] Kass, M., Witkin, A. and Terzopoulos, D.: Snakes: Active Contour Models, *Proc. of 1st International Conference on Computer Vision, IEEE*, pp.259-268, 1987.
- [27] Pratt, W.: *Digital Image Processing*, Wiley-Interscience, 1978.
- [28] 国土交通省国土地理院: 電子国土ポータル, <<http://portal.cyberjapan.jp/>>, (入手2011).
- [29] 国土交通省: 作業規程の準則 (昭和26年建設省告示第800号), 2008. (2010年12月16日 受付)
(2011年6月16日 採録)

[問い合わせ先]

〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2-1-1

関西大学大学院総合情報学研究所

川野 浩平

TEL: 072-690-2151

E-mail: kawano@kansai-labo.co.jp

著者紹介



たなか しげのり
田中 成典 [正会員]

1986年関西大学工学部土木工学科卒業、1988年関西大学大学院工学研究科土木工学専攻博士課程前期課程修了。同年、(株)東洋情報システム(現在、TIS)に入社。人工知能に関する研究受託開発業務に従事。1994年関西大学総合情報学部専任講師として着任、1997年助教授、2004年教授、2006年から学生センター副所長、現在に至る。2002年8月から1年間、カナダのUBCにて客員助教授。博士(工学)。専門は知識工学と社会基盤情報学。CAD/CG、GIS/GPS、画像処理及びWebソリューションビジネスに関する研究に従事。2000年(株)関西総合情報研究所を起業。設立当初から現在まで取締役会長。2006年(株)フォーラムエイトの顧問に就任、現在に至る。建設省土木研究所CAD製図基準検討委員会委員長、土木学会土木情報システム委員会幹事長、同委員会土木CAD小委員会委員長、ISO/TC184/SC4国内委員などを歴任。現在、国土交通省日本建設情報総合センター社会基盤情報標準化委員会委員、同委員会CAD/データ連携小委員会委員長、土木学会情報利用技術委員会副委員長、主に、ISOに準拠したCAD製図基準とCADデータ交換基盤の開発に従事。



いまい りゅういち
今井 龍一 [非会員]

1975年生。1998年関西大学工学部土木工学科卒業。2000年関西大学大学院工学研究科土木工学専攻博士課程前期課程修了。同年、日本工営(株)に入社。公共事業へのICT導入のコンサルティングや研究開発に従事。2004年～2010年9月東京大学空間情報科学研究センター協力研究員。2009年、博士(工学)東京大学。2010年10月～現在、東京大学空間情報科学研究センター客員研究員。2010年8月国土交通省国土技術政策総合研究所高度情報化研究センター情報基盤研究室研究官、現在に至る。道路基盤地図情報(GIS)、地理空間情報、動線解析、位置参照方式、CAD、業務分析等に関する研究に従事。土木学会情報利用技術委員会常任委員。土木学会、情報処理学会、地理情報システム学会、経営情報学会、各会員。



なかむら けんじ
中村 健二 [非会員]

1981年生。2004年関西大学総合情報学部卒業。2006年関西大学大学院総合情報学研究科知識情報学専攻博士課程前期課程修了。2009年関西大学大学院総合情報学研究科総合情報学専攻博士課程後期課程修了。2010年立命館大学情報理工学部情報システム学科助手、現在に至る。博士(情報学)。知識情報処理、Webマイニング、テキストマイニング等の研究に従事。2002～2010年(株)関西総合情報研究所にて活動。システム設計、データモデル設計等の研究開発に従事。情報処理学会、土木学会、日本データベース学会、各会員。



かわの こうへい
川野 浩平 [非会員]

1985年生。2009年関西大学総合情報学部卒業。2011年関西大学大学院総合情報学研究科知識情報学専攻博士課程前期課程修了。現在、関西大学大学院総合情報学研究科総合情報学専攻博士課程後期課程在学中。修士(情報学)。2007年(株)関西総合情報研究所入社、現在に至る。画像処理、3次元モデルの生成、VR空間の生成、3次元CADデータの利用などの研究開発に従事。土木学会会員。

Research on Automatic Generation of 3D Model Using Point Cloud Data

by

Shigenori TANAKA, Ryuichi IMAI, Kenji NAKAMURA and Kohei KAWANO**Abstract :**

Construction CALS/EC is introduced in public works projects over the whole life cycle for the purpose of reduction of the construction period, quality guarantee, and cost reduction. Especially recently, environmental improvement of the information-oriented construction using 3D data attracts attention for engineering works stage. In the construction site, it is expected to create 3D model from the point cloud data obtained by surveying the site with the total station or the laser scanner. However, it is necessary to solve the problem of how to handle the great amount of point cloud data obtained at the survey based on their characteristics, as well as the problem of required accuracy for the information-oriented construction.

The authors have devised a technique to make 3D model of the river embankment, which satisfy the required accuracy of the information-oriented construction from a large quantity of point cloud data. This technique used the point cloud data of the river embankment measured with the laser scanner and DM data of the river embankment. Then, the boundary line (break line) between the crown surface and the slope face of the river embankment is extracted automatically to create 3D model on CAD. However, the following problems were revealed; the freshness depending on the update cycle of DM data, and wrong extraction of a break line due to the noise such as the vegetation between the crown surface and the slope face of the river embankment. In this study, we devised a method for automatically extracting a break line by inferring the crown surface area of the river embankment from the point cloud data, and a method for removing any point cloud data that are the noise such as the vegetation on the crown surface of the embankment. Then we performed evaluation experiments and proved the usability of the devised solution.

Keywords : Intelligent construction, CAD, 3D model, Break line, Point cloud data

Contact Address : **Kohei KAWANO**

Graduate School of Informatics, Kansai University
2-1-1, Ryozenji-cho, Takatsuki City, Osaka 569-1095, JAPAN
TEL : 072-690-2151
E-mail : kawano@kansai-labo.co.jp