

LPデータと過年度の河川定期横断測量成果を用いた横断図生成手法に関する研究

田中 成典¹・今井 龍一²・中村 健二³・窪田 諭⁴・梅原 喜政⁵

¹正会員 関西大学教授 総合情報学部 (〒569-1052 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 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) / 関西大学大学院総合情報学研究科連携大学院客員教授

E-mail:imai-r92ta@nilim.go.jp

³正会員 大阪経済大学准教授 情報社会学部 (〒533-8533 大阪府大阪市東淀川区大隅2丁目2番8号)

E-mail:k-nakamu@osaka-ue.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 関西大学大学院 総合情報学研究科 (〒569-1052 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号)

E-mail:k214724@kansai-u.ac.jp

河川は古来より私たちに恵みをもたらし、時折猛威をふるってきた。私たちの安心安全で豊かな生活を確保するうえで、河川管理の社会的責務は極めて重大である。河川管理で取り扱われている様々な資料の内、横断図は堤防の現況把握に加え、堤防改修計画や流下能力の把握などでも利用されており、全国の一級河川で定期横断測量を実施して調製されている。実測による横断図調製の代替手法として、航空レーザで取得した点群データの利用が研究されているが、計測誤差や植生のノイズに影響される課題などがある。本研究は、これらの課題を解消し、点群データから高精度な横断図を生成する手法を提案する。

Key Words : River, Past and Current Cross Section, Laser Profiler, Point Cloud Data, Three Dimensions

1. はじめに

河川は古来より私たちに恵みをもたらし、時折猛威をふるってきた。私たちの安心安全で豊かな生活を確保するうえで、河川管理の社会的責務は極めて重大である。河川管理の対象は、河川法¹⁾が適用されている約35,000河川²⁾ (144,000km)、そのうち一級河川は約14,000河川 (約88,000km)もある。河川管理では、現場の点検、流出や流下能力の解析などの現況把握や予測などの様々な業務にて河川定期横断測量成果の横断図³⁾ (以下、定期横断図)を用いている。定期横断図は、200m間隔の距離標を対象に実測して調製されている。また、河川管理の対象が広域のため多額の調製費を要するが、測量断面以外の地点の形状把握には不向きであり、面的さらには3次元で河川空間の把握はできない。

一方、近年のレーザ計測に着目すると、その技術革新は目覚ましく、遠隔から対象の3次元形状を計測するリモートセンシング技術⁴⁾が注目されている。特に航空

レーザ測量⁵⁾は、広範囲の地形を3次元で計測できる。この測量成果である点群データ (以下、LPデータ)は、氾濫シミュレーションや流出解析などに利用されており、河川定期横断測量への利用にも期待される。このため、既往研究ではLPデータを用いた横断図の生成手法の開発⁶⁾⁻⁸⁾に取り組みされている。具体的には、一定範囲の点群データを取得して横断図を生成するバッファ法⁹⁾や、点群データの標高値を用いて横断形状を推定する手法⁷⁾、ブレイクラインを推定し高精度な3次元モデルを生成する手法⁸⁾などがある。これらの手法は、横断図生成地点に指定した直線 (以下、横断側線)に沿って河川の長手方向に一定範囲の幅 (以下、バッファ幅)内の点群データを取得している。バッファ幅は、点群データの分布が一様ではなく、横断側線上に点群データが存在するとは限らないため、横断側線周辺の点群データを取得するために設けられている。しかし、バッファ幅を固定して横断図を生成しているため、多様な河川形状に対応できない汎用性の課題がある。例えば、湾曲部でバッファ幅が

大きすぎると、横断形状の変化に起因して横断側線周辺に存在する誤った断面変化点を取得する。また、直線部でバッファ幅が小さすぎると断面変化点の計測結果が得られないことから、バッファ幅を拡大する必要がある。

さらに、横断図の生成元であるLPデータの特性も考慮する必要がある。LPデータには、植生や計測誤差などのノイズがあった場合、地表面の部分計測となる課題がある。例えば、植生が繁茂した地点では、地表面にレーザが届かず、植生上部をLPデータとして計測する場合がある。この解決策として、LPデータのノイズをフィルタリングする研究^{9)・11)}や、植生や構造物などの特定地物を抽出する研究¹²⁾がある。グリッドを用いたフィルタリング手法^{9)・11)}は、グリッド内の点群データの標高値を計算することで、特異な点群データを除去できるが、精度がグリッドサイズに影響されるとともに微細なノイズには対応できない。2時期のLPデータを用いた樹木の抽出手法¹²⁾は、2時期のLPデータに含まれる差分に樹木だけでなく、地形の変状などの外部要因が含まれるため、正確な樹木の抽出が困難である。このように、LPデータからノイズを抽出する手法は考案されているが、それぞれの特徴を踏まえて利用する必要があり、横断図生成へのそのままの適用は困難である。

以上を踏まえ、LPデータを用いて横断図を生成するには、「バッファ幅の固定による多様な河川形状に対応できない汎用性の課題」と「植生や計測誤差などによる地表面の部分計測となるノイズの課題」の解決が必要であるといえる。本研究では、これら2点の課題を解決し、LPデータを用いた横断図の生成手法を提案する。まず、2章にて課題への対応方針と提案手法の概要を説明する。次に、3章、4章にて提案手法の詳細を説明する。そして、5章にて提案手法の再現精度の評価実験を実施する。最後に、6章にて本研究を総括する。

2. 研究の概要

本研究では、「バッファ幅の固定による多様な河川形状に対応できない汎用性の課題」と「植生や計測誤差などによる地表面の部分計測となるノイズの課題」の2つの課題を解消するために、LPデータから高精度に横断図を生成する手法を提案する。

(1) 汎用性の課題への対策

本研究では、バッファ幅を動的に調整することで植生や計測誤差などによる地表面の部分計測となるノイズの課題に対応する。バッファ幅を調整する時の基準となる指標を検討した結果、取得した点群データの数が横断形状を表現する上で直接影響を及ぼすパラメータであるた

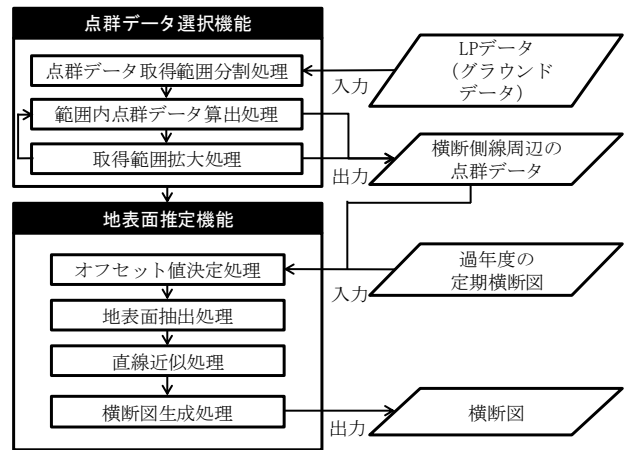


図-1 処理の流れ

め、点群データの取得数に着目した。まず、点群データ取得範囲を一定間隔で分割し、分割した取得範囲毎に点群データ数を評価する。そして、点群データの取得数が一定値に達するまでバッファ幅を拡大して対応する。

(2) ノイズの課題への対策

本研究では、日本測量調査技術協会¹³⁾ (以下、測技協) に対して、LPデータの特性や定期横断測量の実態に関するヒアリング調査を行った。その結果、河川定期横断測量では、現在と過年度の横断形状に大きな変化が生じることは少ないため、過年度の定期横断図を参考に現在の横断図を調製していることがわかった。本研究では、過年度の定期横断図に注目し、過年度の定期横断図周辺の点群データを抽出する。そして、抽出した点群データから近似直線を生成して、地表面を推定することで、植生や計測誤差などによる地表面の部分計測となるノイズの課題に対応する。

(3) 処理の流れ

本提案手法 (図-1) は、点群データ選択機能および地表面推定機能で構成される。入力、LPデータ (グラウンドデータ) と過年度の定期横断図とし、出力は、横断図とする。

点群データ選択機能は、河川状況に応じて横断図の生成に必要な点群データをLPデータから選択する。点群データ取得範囲分割処理は、横断側線とバッファ幅からなる点群データ取得範囲を横断方向に一定間隔で分割する。範囲内点群データ算出処理は、分割した範囲毎に含まれる点群データ数を見出す。取得範囲拡大処理は、閾値を超えるまでバッファ幅を広げて点群データを再取得する。

地表面推定機能は、点群データ選択機能で選択された点群データから、地表面を推定し横断図を生成する。オフセット値決定処理は、過年度の定期横断図とその最近

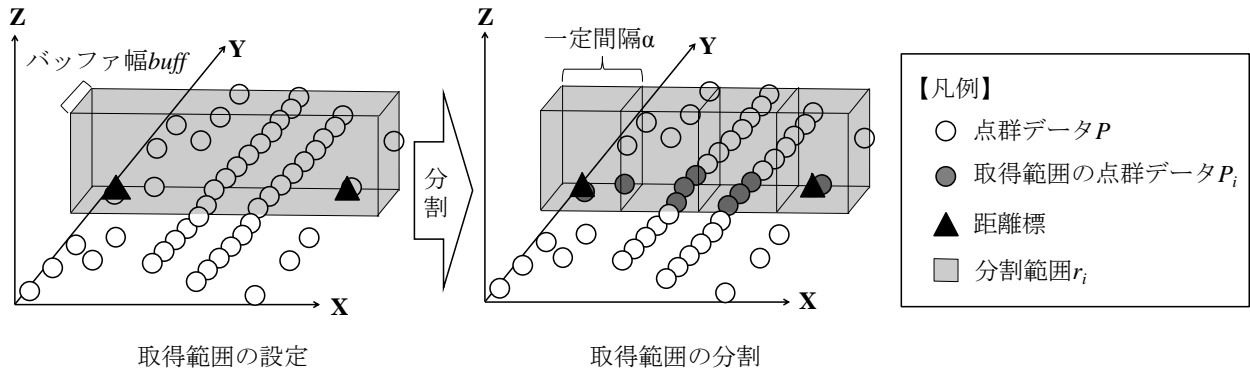


図-2 点群データ取得範囲分割処理

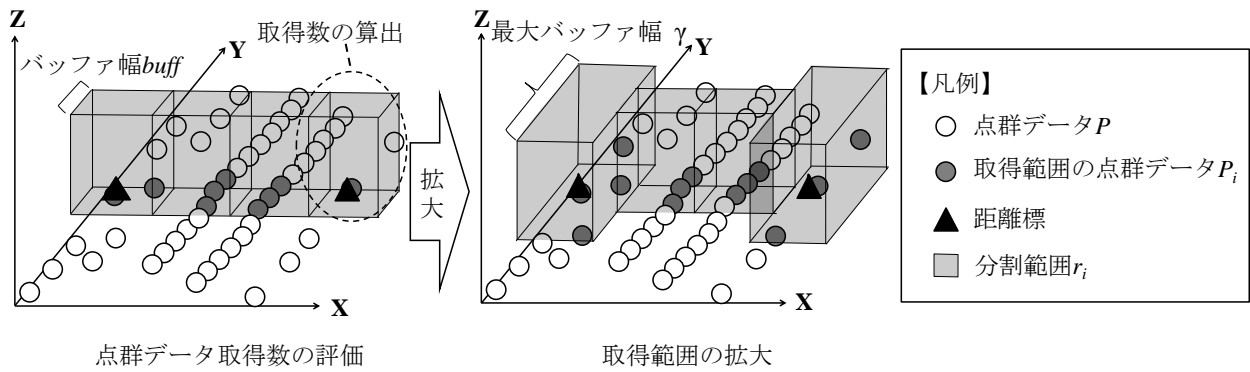


図-3 取得範囲拡大処理

傍点との距離を用いて閾値を決定する。地表面抽出処理は、その閾値を基準に、過年度の定期横断図周辺の点群データを地表面の点群データとして抽出する。直線近似処理は、抽出した地表面の点群データから近似直線を生 成する。横断図生成処理は、生成した近似直線の交点を 結ぶことで横断図を生成する。

3. 点群データ選択機能

本研究では、河川の状況に応じてバッファ幅を動的に調整し、点群データを取得する手法を提案する。バッファ幅を動的に調整することで、「バッファ幅の固定による多様な河川形状に対応できない汎用性の課題」へ対応できる。本機能は、点群データ取得範囲分割処理および範囲内点群データ算出処理、取得範囲拡大処理で構成される。なお、本機能では、3次元空間をXYZ軸で図示し、河川の横断方向をX軸、長手方向をY軸、高さ方向をZ軸とする。

(1) 点群データ取得範囲分割処理

本処理(図-2)は、バッファ法と同様にして得られた点群データ取得範囲を横断方向に一定間隔で分割する。まず、左右岸距離標を結んだ横断側線を中心に、長手方

向のバッファ幅 $buff$ を持った矩形を生成する。次に、その矩形を横断方向に一定間隔 α で分割する。そして、分割した矩形内に含まれる点群データ取得する。この処理から得た分割範囲の集合を $R=\{r_1, r_2, r_3, \dots, r_i\}$ 、分割範囲 r_i の点群データを $P_i=\{p_{i,1}, p_{i,2}, p_{i,3}, \dots, p_{i,\beta}\}$ とする。なお、本処理では、分割範囲 r_i ごとに次の処理を実施する。

(2) 範囲内点群データ算出処理

本処理は、分割範囲 r_i に含まれる点群データ P_i の数を評価することで、バッファ幅を拡大するか判定する。分割範囲 r_i の点群データ P_i の数が、 β 未満の場合は取得範囲拡大処理に移行し、 β 以上の場合は処理を終了する。

(3) 取得範囲拡大処理

本処理(図-3)は、分割範囲 r_i のバッファ幅 $buff$ を拡大して点群データを再取得する。まず、取得した点群データ P_i の数が β 未満の分割範囲 r_i について、バッファ幅を拡大する。次に、拡大したバッファ幅 $buff$ で再度点群データを取得する。その後、範囲内点群データ算出処理へ再度移行する。なお、水平精度が著しく低下することを防ぐために、バッファ幅 $buff$ が γ 以上の場合に処理を終了する。

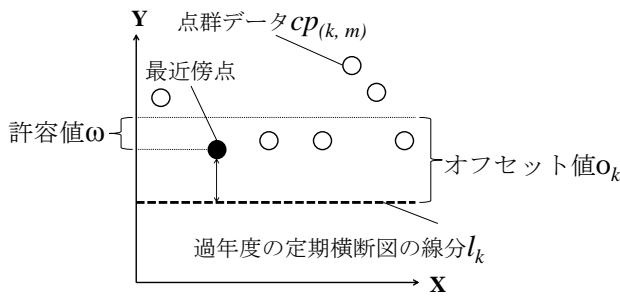


図4 オフセット値決定処理

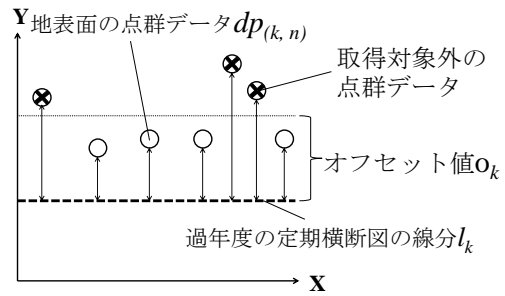


図5 地表面抽出処理

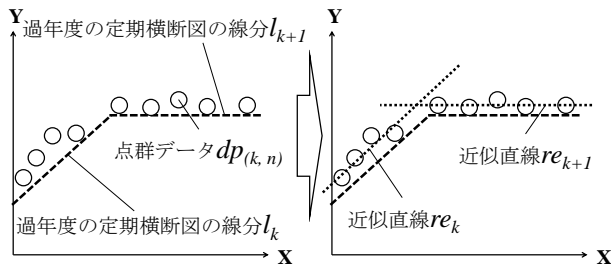


図6 直線近似処理

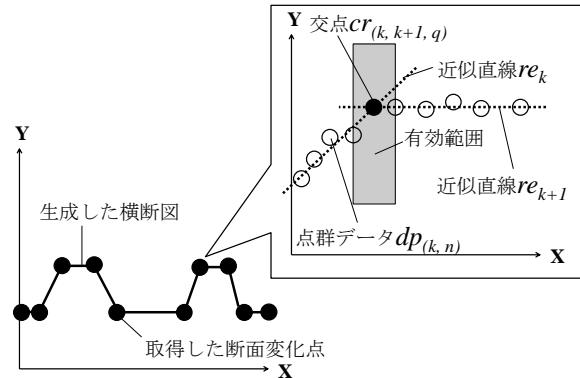


図7 横断面生成処理

4. 地表面推定機能

本研究では、過年度の定期横断面図を参照することで、地表面を推定する手法を提案する。地表面付近の点群データを抽出して地表面を推定するため、「植生や計測誤差などによる地表面の部分計測となるノイズの課題」へ対応することが可能である。本機能は、オフセット値決定処理および地表面抽出処理、直線近似処理、横断面生成処理で構成される。なお、本機能では、点群データを2次元平面上に投影するため、2次元平面をXY軸で図示し、河川の横断方向をX軸、高さ方向をY軸とする。

(1) オフセット値決定処理

本処理(図4)は、点群データ選択機能で取得した点群データと過年度の定期横断面図とを用いて、オフセット値を決定する。まず、点群データを2次元平面上に投影し、過年度の定期横断面図と重畳する。この時、過年度の定期横断面図を構成する線分の集合を $L=\{l_1, l_2, l_3, \dots, l_k\}$ とし、各点の垂線が線分 l_k と交差する点群データ $CP_k=\{cp_{(k,1)}, cp_{(k,2)}, cp_{(k,3)}, \dots, cp_{(k,m)}\}$ を取得する。次に、線分 l_k と CP_k に含まれる各点との距離を算出し、最近傍点との垂直距離を取得する。そして、計測誤差を考慮し、許容値 ω を垂直距離に加算した値をオフセット値 O_k として決定する。なお、本処理では、線分 l_k ごとに次の処理を実施する。

(2) 地表面抽出処理

本処理(図5)は、2次元平面上に投影した点群データ CP_k からオフセット値 O_k を用いて地表面周辺の点群

データを抽出する。まず、線分 l_k と点群データ CP_k との垂直距離を全て算出する。そして、算出した垂直距離がオフセット値 O_k 以内に存在する点群データを地表面の点群データ $DP_k=\{dp_{(k,1)}, dp_{(k,2)}, dp_{(k,3)}, \dots, dp_{(k,n)}\}$ として取得する。

(3) 直線近似処理

本処理(図6)は、地表面抽出処理により取得した点群データから近似直線を生成することで地表面を推定する。点群データ DP_k を用いて式(1)により近似直線を生成する。この時、点群データ DP_k の各点のX座標値を $dpx_{(k,n)}$ 、標高値を $dpy_{(k,n)}$ とする。また、生成した近似直線を $RE=\{re_1, re_2, re_3, \dots, re_k\}$ とする。

$$y = \frac{\sum_{n=1}^n (dpx_{(k,n)} - \overline{dpx})(dpy_{(k,n)} - \overline{dpy})}{\sum_{n=1}^n (dpx_{(k,n)} - \overline{dpx})^2} (x - \overline{dpx}) + \overline{dpy} \quad (1)$$

(4) 横断面生成処理

本処理(図7)は、直線近似処理により生成した近似直線の交点から横断面を生成する。まず、隣接する近似直線 re の交点 $CR_{(k,k+1)}=\{cr_{(k,k+1,1)}, cr_{(k,k+1,2)}, cr_{(k,k+1,3)}, \dots, cr_{(k,k+1,q)}\}$ を算出する。次に、点群データ DP_k から離れた位置の交点の取得を防ぐために、交点 $CR_{(k,k+1)}$ から式(2)と式(3)の範囲内に含まれる点のみを断面変化点として取得する。この時、交点 $cr_{(k,k+1,q)}$ のX座標値を cx_q 、標高値を cy_q とする。

$$\arg \max_n (dp_x_{(k,n)}) < cx_q < \arg \min_n (dp_x_{(k+1,n)}) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \arg \min_n (dp_y_{(k,n)}, dp_y_{(k+1,n)}) < cy_q \\ < \arg \max_n (dp_y_{(k,n)}, dp_y_{(k+1,n)}) \end{aligned} \quad (3)$$

そして、取得した隣接する断面変化点を結ぶことで、横断面を生成する。

5. 実証実験

本研究では、「バッファ幅の固定による多様な河川形状に対応できない汎用性の課題」と「植生や計測誤差などによる地表面の部分計測となるノイズの課題」の2つの課題が提案手法にて解消できているかを確認するため、次の3つの手法で生成した横断面の再現精度を検証する。

- 点群データ選択機能を用いる提案手法（以下、提案手法1）
- 点群データ選択機能および地表面推定機能を用いる提案手法（以下、提案手法2）
- 既存手法

既存手法としては、メッシュデータ¹⁴⁾からバッファ法にて横断面を生成する手法を採用する。メッシュデータは、実験データの計測密度から0.5mメッシュデータを採用する。既存手法で用いるバッファ幅は、測技協との議論の結果から、地図情報レベル2500の要求精度¹⁵⁾を確保するために3.5mと設定する。再現精度の確認には、生成した横断面と定期横断面とを比較して評価する。

(1) 実験条件と実験データ

本実験では、大和川において計測された平成25年度のLPデータと平成19年度の定期横断面とを利用して横断面を生成し、平成24年度の定期横断面と比較し再現精度を検証する。なお、LPデータは、近畿地方整備局大和川河川事務所にて計画された大和川下流域航空レーザ測量他業務および大和川上流域航空レーザ測量他業務の成果を用いた。評価対象の断面は、平成24年度に大和川河川定期横断面測量で対象とされた254断面から29断面を選定した。選定結果の対象断面を図-8に示す。実験断面の選定は、専門家である測技協のメンバーに依頼した。断面の選定手順は、次に示す通りである。

- Step1. 254断面の特徴を確認し、表-1に示す選定指標に基づき分類する。
- Step2. 整理した特徴が網羅的に含まれるように断面を選定する。
- Step3. 上流、中流、下流が網羅的に含まれるように調整する。

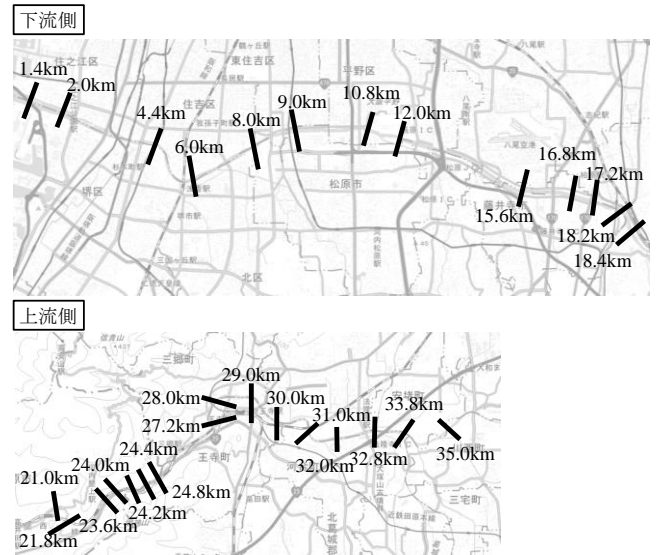


図-8 実験対象断面

【出典】国土地理院の淡色地図 200000 を使用

表-1 選定指標

指標	説明
セグメント	河川の縦断勾配（セグメント区分）を踏まえ、上流、中流、下流のバランスを考慮すること
堤防	「両岸とも堤防有」、 「片岸堤防有」 および 「両岸とも無堤」を含むこと
高水敷	「樹林地（針葉樹）」、「樹林地（落葉樹）」、「低木・草本地」、「人工草地」および「人工地（公園、グラウンドなど）」を含むこと
水際	水際に砂州が広がる箇所を含むこと
その他	パラペットなどの特殊堤区間、張出し、橋梁区間などを含むこと

(2) パラメータの設定

本研究では、各提案手法で用いる4つのパラメータ α , β , γ , ω を実験条件として設定する。パラメータ α は点群データ選択機能の点群データ取得範囲分割処理にて取得範囲を横断方向に分割する間隔の値である。パラメータ β , γ は点群データ選択機能の範囲内点群データ算出処理にて点群データの取得終了条件となる値である。パラメータ ω は地表面推定機能の地表面抽出処理にて点群データを抽出する時の許容値である。パラメータを設定するための予備実験は、本実験と同様の実験データを用い、本実験で対象とする29断面から8断面（1.4km, 8.0km, 15.6km, 17.2km, 18.4km, 24.4km, 27.2km, 32.8km）を選定して実施した。なお、対象断面は、様々な河川状況を考慮するために、5km区間ごとに1断面を任意に選定した。

a) パラメータ α

本パラメータは、点群データの取得範囲を河川の横断方向に一定間隔で分割する間隔の値である。本実験では、筆者らの既存研究¹⁶⁾を基に、分割間隔として $\alpha = 10m$ を

設定した。

b) パラメータ β

本パラメータは、取得する点群データ数の最大値である。予備実験では、本パラメータを50点から700点まで、50点間隔で変化させて横断面を生成し、平成25年度の定期横断面と比較することで再現精度を確認した。パラメータ毎のA評価(表-2)の平均値を図-9に示す。図から、350点が最も再現精度が高く、400点より再現精度が低下していた。そのため、本実験では、 $\beta = 350$ 点を設定した。

c) パラメータ γ

本パラメータは、バッファ幅を広げる時の上限値であり、測技協との議論の結果から地図情報レベル2500の要求精度を確保するために $\gamma = 3.5m$ を設定した。

d) パラメータ ω

本パラメータは、過年度の定期横断面と最近傍点との垂直距離に加算する許容値である。加算した値をオフセット値として利用し、ノイズの判定を行う。本パラメータは、LPデータの垂直誤差(±15cm)を考慮し、プラスマイナス方向への誤差から $\omega = 30cm$ を設定した。

(3) 実験の手順

本実験では、各提案手法を用いて生成した横断面と既存手法を用いて生成した横断面の再現精度を比較・評価する。横断面の再現精度は次の手順により評価する。

- Step1. LPデータと過年度の定期横断面とを用いて各提案手法により横断面を生成する。
- Step2. 50cmメッシュデータを用いて既存手法により横断面を生成する。
- Step3. Step1とStep2で生成した横断面と正解データの定期横断面とを重畳する。
- Step4. 図-10に示す通り、横断面上に10cm間隔で評価点を設定し、評価点毎に垂直誤差を算出する。
- Step5. Step4で算出した垂直誤差を堤防地点において集計する。なお、集計の評価基準は、既存研究¹⁷⁾の精度評価の方式を参考にしつつ、航空レーザ測量の精度向上も勘案し、表-2の通り設定する。

本実験にて、各提案手法と既存手法とを比較することで、「バッファ幅の固定による多様な河川形状に対応できない汎用性の課題」と「植生や計測誤差などによる地表面の部分計測となるノイズの課題」の2つの課題が各提案手法で解決できているかを確認する。

(4) 結果と考察

各提案手法と既存手法の精度の集計結果を表-3に示す。表中のA評価の中で、断面毎に最も再現精度の高い値の

表-2 評価基準

評価基準	垂直誤差の範囲
A評価	0cm以上 5cm未満
B評価	5cm以上 10cm未満
C評価	10cm以上 15cm未満

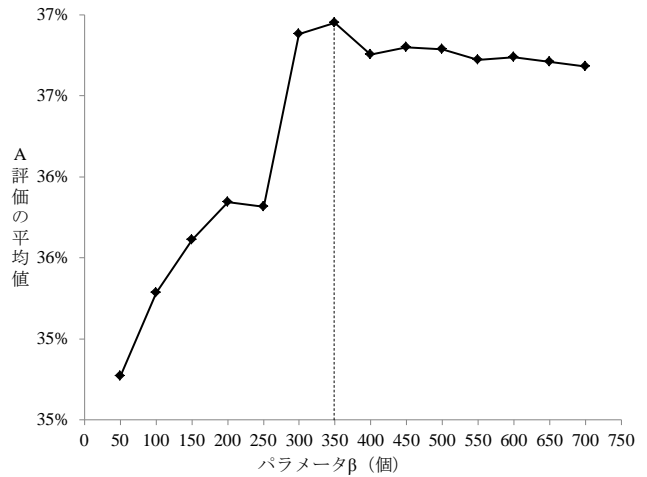


図-9 予備実験の実験結果

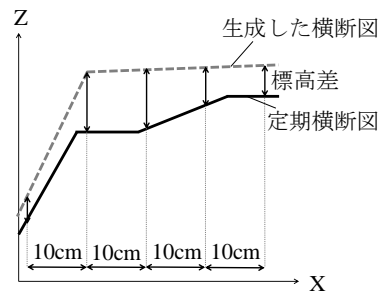


図-10 垂直誤差の算出方法

色を反転している。また、特徴的な箇所を拡大を図-11に示す。実験結果から次のa)~f)が明らかとなった。

a) 提案手法1と提案手法2は既存手法よりも高精度に横断面を生成できる

表-3の提案手法1と既存手法の差を確認すると、提案手法1の方が精度が良く、最大9.6%の精度向上を得られた。また、表-3の提案手法2と既存手法の差を確認すると、提案手法2の方が精度が良く、最大14.5%、平均3.2%の精度向上が見られた。本実験では、この平均点の差が統計的に優位であるか確認するために、t検定を実施した。提案手法2と既存手法は、等分散であったため、スチューデントの方式によるt検定を行った結果、 $t = 14.36$, $p < 0.01$ となり、提案手法2と既存手法は有意水準1%で有意差があることが明らかとなった。

以上のことから、提案手法1と提案手法2は既存手法よりも高精度に横断面を生成できることがわかった。

表-3 実験結果

対象断面	既存手法(単位:%)			提案手法1(単位:%)				提案手法2(単位:%)			
	A評価	B評価	C評価	A評価	B評価	C評価	提案手法1 - 既存手法 (A評価の差分)	A評価	B評価	C評価	提案手法2 - 既存手法 (A評価の差分)
1.4km	62.3	18.8	5.0	63.9	17.8	6.3	1.7	64.6	19.2	6.0	2.4
2.0km	48.3	26.5	7.7	49.1	25.2	7.4	0.8	50.3	25.4	9.1	2.1
4.4km	69.6	11.7	9.4	70.8	11.3	8.0	1.3	70.0	12.8	8.5	0.4
6.0km	44.2	10.8	5.4	45.7	9.0	5.9	1.5	49.3	7.9	3.9	5.1
8.0km	50.9	12.1	7.8	51.2	11.5	8.8	0.3	55.7	13.4	7.6	4.8
9.0km	51.6	26.6	7.5	52.8	24.9	8.1	1.2	59.5	21.2	5.4	7.9
10.8km	52.4	9.8	2.5	53.1	9.4	2.4	0.7	55.0	11.6	3.1	2.6
12.0km	52.3	17.7	10.4	50.8	17.6	12.5	-1.5	46.5	16.7	11.8	-5.8
15.6km	33.8	18.1	9.6	32.9	18.3	10.5	-0.9	36.9	19.0	8.4	3.1
16.8km	33.8	20.0	15.3	36.3	18.8	14.7	2.5	37.4	22.1	17.9	3.7
17.2km	29.0	16.0	11.7	29.9	16.4	12.8	0.9	30.2	21.3	14.1	1.2
18.2km	26.9	9.8	6.0	28.7	7.2	5.4	1.8	28.1	9.6	4.9	1.2
18.4km	21.8	11.7	9.6	22.0	12.1	9.5	0.2	23.2	22.6	8.5	1.3
21.0km	51.7	19.4	11.5	54.5	18.3	10.7	2.7	66.2	11.9	7.3	14.5
21.8km	2.9	5.8	7.4	1.2	2.3	5.5	-1.7	1.1	1.6	4.3	-1.7
23.6km	37.4	10.9	8.7	38.2	11.0	9.3	0.8	33.4	7.9	9.3	-4.0
24.0km	33.6	27.5	8.6	32.4	29.1	11.1	-1.2	37.5	26.4	6.4	3.8
24.2km	25.2	4.6	3.8	25.7	5.2	3.4	0.5	26.7	3.5	5.3	1.5
24.4km	29.6	12.6	10.6	34.9	13.2	8.7	5.3	37.0	11.9	10.7	7.4
24.8km	29.8	12.3	15.1	27.3	13.6	13.2	-2.5	32.4	13.9	16.1	2.7
27.2km	15.2	22.4	26.1	17.6	23.3	25.6	2.4	14.0	20.8	30.6	-1.2
28.0km	13.6	45.2	15.0	11.4	45.1	16.8	-2.2	13.7	45.9	18.0	0.1
29.0km	27.1	28.9	14.1	28.2	28.5	14.3	1.1	30.8	27.4	18.3	3.8
30.0km	46.2	22.1	11.8	50.4	21.5	9.9	4.2	48.7	22.2	20.1	2.5
31.0km	28.1	22.4	15.0	29.2	24.7	13.6	1.1	39.1	20.7	14.0	10.9
32.0km	37.4	19.9	13.8	36.9	22.2	14.8	-0.5	36.2	14.2	25.0	-1.2
32.8km	18.1	32.2	13.7	19.5	34.6	13.4	1.4	25.5	30.5	19.6	7.4
33.8km	22.5	18.8	18.3	26.6	21.3	14.7	4.1	26.5	24.6	18.6	4.0
35.0km	39.0	24.3	12.8	48.6	16.7	10.7	9.6	51.2	15.0	13.2	12.2
平均	35.7	18.6	10.8	36.9	18.3	10.6	1.2	38.9	18.0	11.9	3.2

b) 提案手法1はバッファ幅の固定による多様な河川形状に対応できない汎用性の課題を解決できる

提案手法1により再現精度が最も向上した35.0km地点の横断面(図-11③, 図-12③)を確認すると、既存手法では、横断側線周辺の取得すべきでない点群データを取得し、横断面に大きな凹凸が生じていたのに対して、提案手法1では、河川の状況に応じて点群データを取得することで、大きな凹凸の発生が抑制された。このことから、点群データ選択機能により「バッファ幅の固定による多様な河川形状に対応できない汎用性の課題」を解決できることがわかった。

c) 提案手法1は植生に影響される

提案手法1により再現精度が低下した15.6km地点の横断面(図-11①, 図-12①)を確認すると、植生の影響で提案手法1の横断面が定期横断面とは異なる事例が見られた。このことから、横断側線周辺に植生が存在していた場合、植生により地表面とは異なった点群データを取得することがわかった。

d) 提案手法2は植生や計測誤差などによる地表面の部分計測となるノイズの課題を解決できる

提案手法1において、「植生や計測誤差などによる地表面の部分計測となるノイズの課題」が顕著に見られた15.6km地点の横断面(図-11①, 図-12①)を確認すると、提案手法1では植生の影響を受けているのに対して、提案

手法2では、ノイズを含んだ点群データから地表面が推定でき、より定期横断面に近い形状の横断面であった。このことから、地表面推定機能により「植生や計測誤差などによる地表面の部分計測となるノイズの課題」を解消し、高精度に横断面を生成できることがわかった。

e) 提案手法2ではLPデータの計測精度が低く地表面を取得できていない場合に正しく横断面を生成できない

提案手法2により再現精度が低下した28.0kmの横断面(図-11②, 図-12②)を確認すると、取得した点群データと定期横断面との間に大きな形状の差異がある場合、正確でない横断面を生成する事例が見られた。このことから、植生が繁茂して一面を覆うような地点では、地表面周辺に点群データが存在せず、地表面から離れた位置に横断面を生成することがわかった。本課題については、直線近似処理にて近似直線を生成する時に、両隣の近似直線の位置関係から地表面を推定することで、解決できると考えられる。

f) 提案手法2では上流側と比較して下流側の再現精度が高い傾向にある

提案手法2のA評価が50%以上の場合は黒色直線、30%以上50%未満の場合は灰色直線、30%未満の場合は灰色点線として左右岸毎に地図上で表現した。図-13を確認すると、下流側では12地点が50%であり、21地点が30%以上の再現精度であった。一方、上流側では6地点が

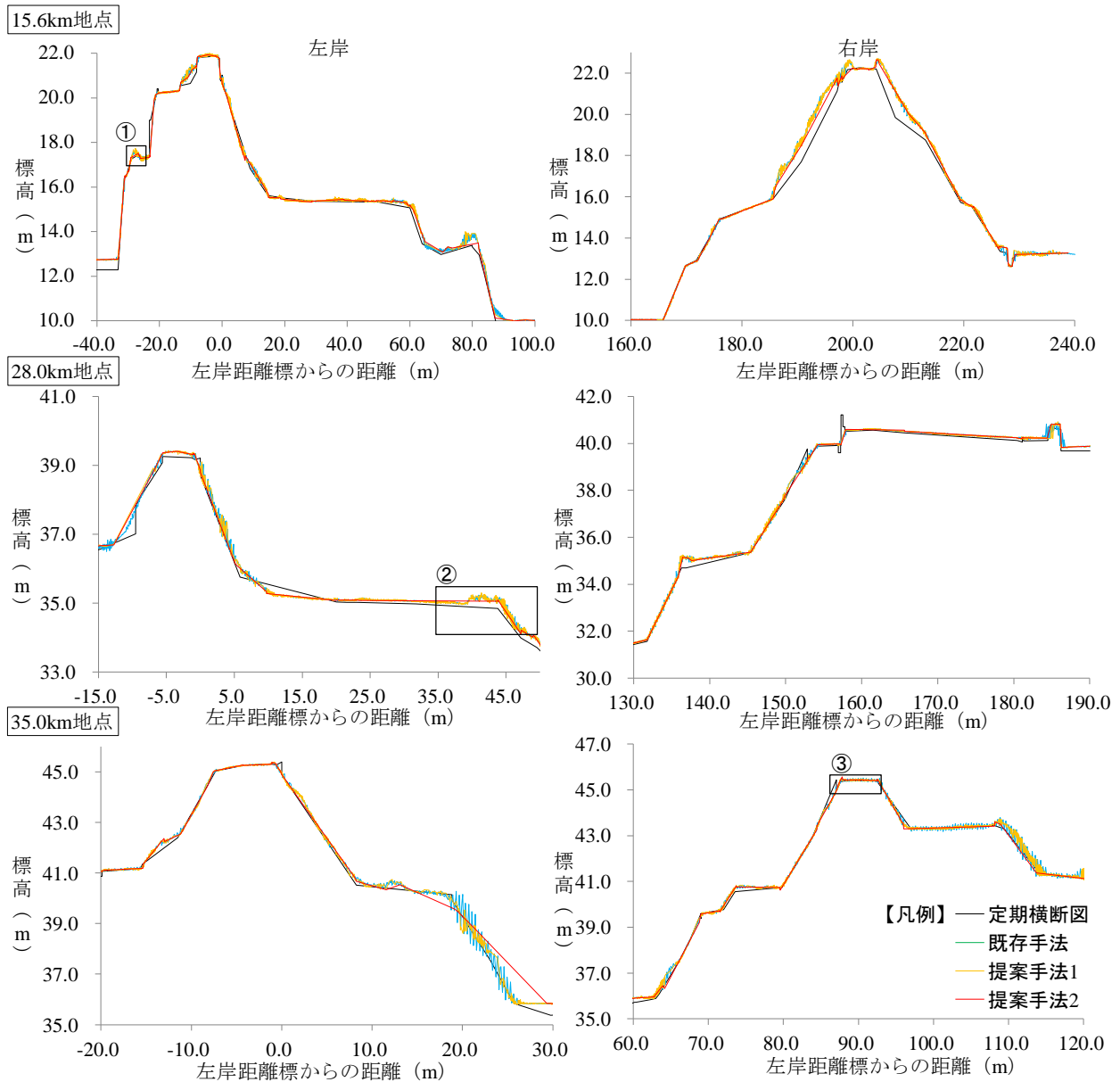


図-11 特徴的な傾向が見られた横断面

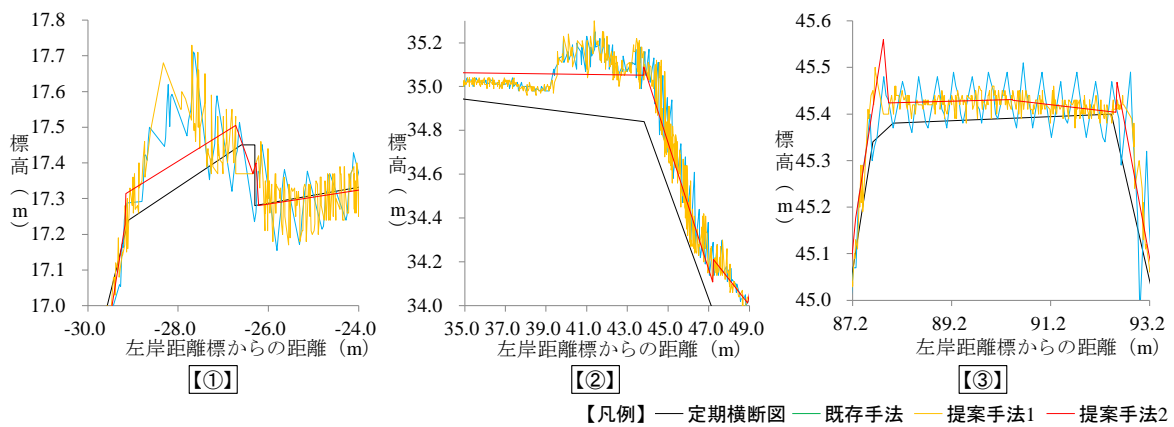


図-12 特徴的な箇所拡大図

50%以上であり、16地点が30%以上の再現精度であった。このことから、提案手法2では、上流側と比較して、下

流側の再現精度が高い傾向にあることがわかった。原因を調査するために、オリジナルデータとグラウン

ドデータの一図郭当たりの平均点群データ数を確認した。結果(表4)から、下流側はオリジナルデータとグラウンドデータ間で平均点群データ数が61%減少し、上流側は78%減少した。また、上流側は下流側と比較して、グラウンドデータの平均点群データ数が少ない結果となった。以上のことから、上流側は、植生などのノイズが多く、横断図の再現精度が低下したと考えられる。

6. おわりに

本研究では、LPデータと過年度の定期横断図を用いて高精度な横断図を生成する手法を提案した。提案手法では、点群データ取得範囲を動的に調整して点群データを取得した。さらに、点群データと過年度の定期横断図との位置関係に基づいて地表面の推定を行い、直線近似を行うことで横断図を生成した。実験結果から、点群データ選択機能により「バッファ幅の固定による多様な河川形状に対応できない汎用性の課題」を解消し、地表面推定機能により「植生や計測誤差などによる地表面の部分計測となるノイズの課題」を解消した。これらのことから、LPデータに適した定期横断図の生成技術の開発に成功した。具体的には、点群データを取り扱う次の技術を開発した。

- 取得した点群データの数を評価し、河川の状況に応じて点群データ取得範囲を動的に調整する手法
- 過年度の定期横断図を参照することで、植生や計測誤差などの大小様々なノイズが含まれる点群データから地表面を推定する手法

これらより、様々な河川状況やノイズを含んだLPデータから高精度な横断図の生成が可能となり、河川管理のコスト削減および品質向上に寄与したと言える。

本研究では、河川堤防を対象として、LPデータから横断図を生成する手法を提案し、実証実験によって有用性を明らかにした。しかし、実験結果から点群データが実際の横断形状から大きく離れた場合に、正しく横断図を生成できない課題が明らかとなった。また、現在、LPデータを用いた定期横断図生成に関する規準が制定されていない。そのため、LPデータを用いて生成した定期横断図を実運用するために必要な再現精度が決まっていない課題がある。今後は、直線近似処理などの地表面推定機能を改良し、本課題へ対応すると共に、規準制定に必要な基礎資料の作成に取り組んでいく。

謝辞: 本論文を遂行するにあたり、国土技術政策総合研究所の重高氏、松井氏、日本測量調査技術協会レーザWGの各氏には貴重なご意見を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

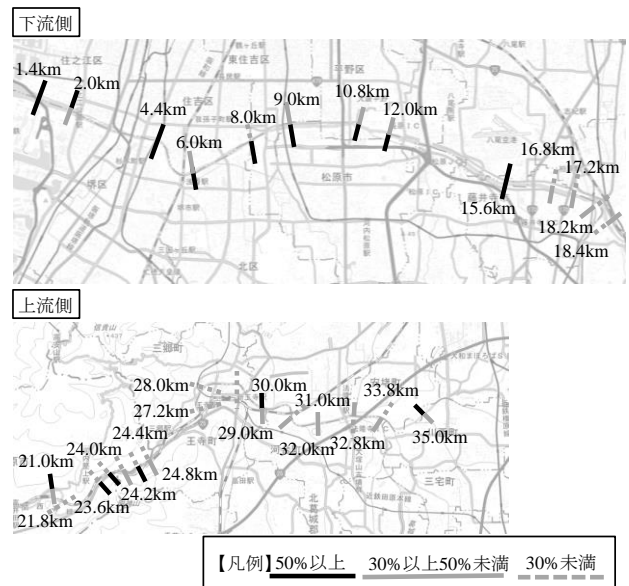


図-13 地図上での確認結果

【出典】 国土地理院の淡色地図 200000 を使用

表4 一図郭当たりの平均点群データ数

データ種別	下流側 (単位: 点)	上流側 (単位: 点)
オリジナルデータ	10,347,931	11,100,265
グラウンドデータ	4,012,703	2,495,564

参考文献

- 1) 河川法 (昭和三十九年七月十日法律第百六十七号)
- 2) 国土交通省水管理・国土保全: 統計・調査結果, <http://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/>, (入手 2014.10.15) .
- 3) 国土交通省: 河川定期縦横断測量業務実施要領・同解説, 1997.
- 4) 山崎文雄: リモートセンシングの防災利用の最新動向, 土木技術, 土木技術社, Vol.68, No.12, pp.9-14, 2013.
- 5) 横尾泰広: 航空レーザ測量の概説と最新動向, フォレストコンサル, 林業土木部門技術士会, Vol.137, pp.17-25, 2014.
- 6) 鶴飼尚弘, 鈴木浩二, 外山康彦: 既存航空レーザデータを活用した河川縦横断測量業務, 先端測量技術, 日本測量調査技術協会, Vol.102, pp.48-50, 2010.
- 7) 安田浩保, 武富一秀, 舘健一郎, 金子誠: レーザスキャナにより取得した数値標高情報に基づく河道形状情報の作成に関する研究, 河川技術論文集, 土木学会, Vol.9, pp.247-252, 2003.
- 8) 田中成典, 今井龍一, 中村健二, 川野浩平: LP データを用いた震災前後の被害箇所自動検出結果の可視化に関する研究, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), 土木学会, Vol.68, No.2, pp.I_197-I_205, 2013.
- 9) 杉盛啓明, 恩田裕一, 村手直明, 徳村公昭, 大森博雄: 樹高の空間分布を考慮した航空機レーザスキャナデータからの地表面推定法, 写真測量とリモート

- センシング, 日本写真測量学会, Vol.42, No.1, pp.4-11, 2003.
- 10) 垣内力, 近津博文: ヘリコプター搭載レーザスキャナによる雑木林における小規模古墳群の分布調査, 写真測量とリモートセンシング, 日本写真測量学会, Vol.47, No.1, pp.36-43, 2008.
 - 11) Vosselman, G.: Slope Based Filtering of Laser Altimetry Data, *Proceedings of 19th International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, International Society for River Science, Vol.1, pp.935-942, 2000.
 - 12) 鈴木浩二, 松村和樹, 松岡滋治: 航空レーザを用いた風倒木の判別, 砂防学会誌, 砂防学会, Vol.61, No.1, pp.39-42, 2008.
 - 13) 日本測量調査技術協会: 日本測量調査技術協会, <<http://www.sokugikyo.or.jp/>>, (入手 2014.10.15) .
 - 14) 国土交通省国土地理院: 航空レーザ測量による数値標高モデル (DEM) 作成マニュアル (案), 2006.
 - 15) 国土交通省: 作業規程の準則, 2010.
 - 16) 田中成典, 今井龍一, 中村健二, 窪田諭, 梅原喜政: 河川横断面生成のための LP の点群データ選択手法, 第 39 回土木情報学シンポジウム講演論文集, 土木学会, Vol.39, pp.21-24, 2014.
 - 17) 田中成典, 今井龍一, 中村健二, 下野公仁, 平城正隆, 中村圭吾, 川野浩平: レーザプロファイラ等を用いた 3 次元 CAD データの作成及び活用に関する研究~東日本大震災の復興支援及び大規模災害への備え~, 平成 23 年度国土交通省国土技術研究会, 国土交通省, 2011.

(2014. 10. 27 受付)

RESEARCH CONCERNING METHOD FOR GENERATING CURRENT CROSS SECTION USING LASER PROFILER DATA AND PAST PERIODIC CROSS-SECTIONAL SURVEY DATA IN RIVER

Shigenori TANAKA, Ryuichi IMAI, Kenji NAKAMURA,
Satoshi KUBOTA and Yoshimasa UMEHARA

Rivers have been bringing us benefits since ancient times, while occasionally raging. Living spaces and rivers are closely related with each other, and the social responsibility of river management is extremely important in ensuring secure, safe, and comfortable life. Among river management duties, periodic cross-sectional survey in river, which actually measures the open space along river to create cross sections, is performed over class-A rivers nationwide since it can be used for embankment improvement plans or grasping discharge capacity etc. Actual comprehensive measurement of all the class-A rivers nationwide incurs a huge cost. Therefore, efforts have been made on generation of cross sections using point cloud data obtained by the airborne laser. However, there still remain measurement errors or problems such as the noise of vegetation having an influence on the result. Thus this paper proposes a method of solving the remaining problems and creating a cross section with high precision from point cloud data.