

レーザープロファイラによる中小河川河道情報の取得及び応用に関する研究

水文気象研究室 鹿野友和
指導教員 陸 旻皎

1. はじめに

近年、台風や梅雨前線の活動に伴う局地的な豪雨により、中小河川での堤防の破堤による被害が目立っている。例としては、平成 16 年 7 月新潟・福島豪雨がある。この豪雨により信濃川水系の刈谷田川、五十嵐川、中之島川の堤防 11 箇所が破堤し、大きな被害をもたらしたと共に、地域住民の水害に対する不安も募らせた。

現在多くの河川において堤防築堤や補修等による防災対策を進捗させているが、その多くは大河川で行われている。その理由として、中小河川は大河川と比べて数が多く、また河川延長も長いことから予算的、時間的制約からハード整備のための十分な水文データが収集できていない河川が多く存在する。そのため、中小河川では十分なハード整備を行うことができず、防災対策に不安を抱える河川が少なくない。

その結果として、局地的な集中豪雨に対して河川の流下能力が耐え切れず、堤防が破堤することによる被害が各地で発生しているひとつの要因となっている。このようなことから、大河川に比べて中小河川では、水文データ整備と、防災対策において遅れをとっている状況にある。

一方、近年では航空機に搭載されたレーザースキャナを利用した測量技術が注目されており、短期間に広範囲の測量が可能なることから河川情報の取得にも利用されている。安田ら(2003)はレーザープロファイラ(以後 LP とする)データから河道形状の作成手法について研究を行っており、定期縦横断測量データとの比較から良好な結果を得ている。しかしながら、この手法では予め河道横断面の左右岸の測量端点の把握が必要となり、定期縦横断測量が行われていない中小河川等での適応は難しいと考えられる。

そこで本研究では、河道情報が少ない中小河川において、LP データのみを用いた空間的な河道情報の取得及び、その応用について検討することを研究目的とする。

2. 使用データ

航空 LP 計測は、まず航空機から地上に向けてレーザーパルス照射装置により照射する。照射したレーザーパルスが地上で反射し、レーザーパルス受信装置に受信されるまでの時間差を計測し、得られた時間差と航空機の位置情報を用いて計算を行うことで地上標高値を得るシステムである。計測原理としては、GPS 受信アンテナと受信機、IMU、スキャナ装置付きレーザー照射装置、及び受信装置を搭載した航空機または、ヘリコプターを使用してデータを計測しており、計画された計測コース位置上空から進行方向に直交するようにスキャンさせて、発射したレーザーにより緯度、経度、高度の三次元座標を計測するものである。また、レーザーの特性により水面下の標高は測定できない。

LP データは、地表面だけの標高データで作る数値標高モデル、通称 DEM (Digital Elevation Model) と呼ばれるものと、建物や樹木の高さを含んでいるデータから作成した地表モデルを数値表層モデル、通称 DSM (Digital Surface Model) と言う。本研究では DSM データのみを用いて高水敷に存在する樹木等構造物のフィルタリングを行い河道情報の抽出を行う。

本研究の対象地域は信濃川水系の支流の一級河川刈谷田川の平野部の流域面積約 69 km²、流路延長約 27 km を対象地域としており、朝日航洋株式会社による航空レーザー計測により、平成 16 年 7 月新潟・福島豪雨の直後に観測されたものを使用した。LP データは 1m メッシュの標高データであり、水平方向分

解能 1m, 鉛直方向分解能 0.15m, 水平方向誤差 $\pm 0.5m$, 鉛直方向誤差 $\pm 0.15m$ である。また, 図 1 に研究対象地域を示す。

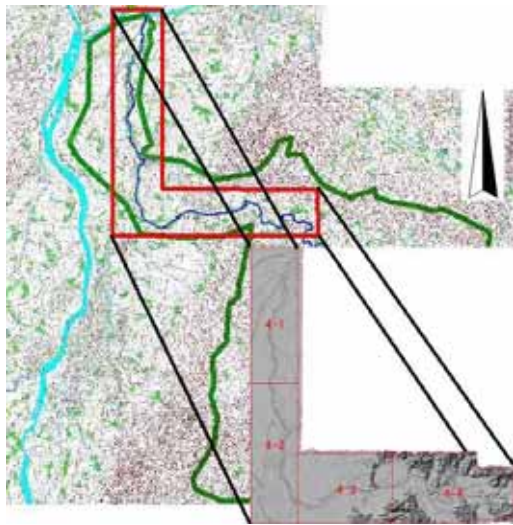


図 1 研究対象地域

3. LP データからの河道情報の取得手法

LP データから河道情報を取得するにあたり, 本研究では河道情報抽出アルゴリズムを構築した。このアルゴリズムは大きく 3 つに分かれており, PCI を用いて行う手作業による河道位置の把握, 河道横断面抽出プログラム, 樹木等構造物除去プログラムから構成される。特に, 河道横断面抽出プログラムと, 樹木等構造物除去プログラムはこのアルゴリズムの両翼を成しており, ここから得られる河道情報を用いて結果の検討を行う。

(1) PCI による河道位置の把握

河道横断面を LP データから抽出するに当たり, LP データから河道位置を把握する必要がある。そこで本研究では, 様々な画像や地形データを処理, 解析, 出力可能な, PCI 社製の画像処理ソフトウェア Geomatica9(以後 PCI)を利用した。今回は, 対象地域内から 236 箇所の河道中央点をデジタイジングにより取得した。この際のデジタイジング間隔は任意の位置で可能となる。

(2)河道横断面抽出プログラム

前節で取得した河道中央点から河道情報を取得するために, 本研究では河道横断面抽出プログラムを構築した。このプログラムでは, 入力データとして河道中央点と LP データを使用する。

まず, 各河道中央点の平面座標上での位置を把握し, LP データのメッシュ上のどの位置に河道中央点が存在するのかを把握する。しかし, この際に必ずしもメッシュ上に河道位置抽出地点が存在するとは限らない。そこで, 補間手法のひとつである最近傍法により, 必ずどこかのメッシュ上に河道中央点が存在するように補間を行った。

次に, 河道横断面を抽出するため必要となってくる河道中心線を求めるにあたり, 2 つの方法により求めた。

一つ目として, 各河道中央点間を通る 2 点間の直線をそれぞれ 1 次の連立方程式から河道中心線を求めた。この河道中心線に対する直交線が河道横断面に相当することから, 各河道中央点上で法線の方程式を用いて, 河道中心線に対する直交線を求めた。これにより求めた直交線が各河道中央点を通る河道横断面とした。

また, 河道中心線を求めるもうひとつの方法として, 各点間を 3 次の自然スプライン補間により河道中心線を求めた。河道横断面はスプライン曲線上にある河道中央点上における接線の方程式を求め, その接線に対する直交線を求めることにより河道横断面とした。

その後, 河道横断面が通過するメッシュ上の標高値をレーザープロファイラデータから抽出することで, 各断面での河道横断面図を作成した。なお, 河道横断面は必ずしもメッシュの交差点上を通過するとは限らない。この場合も先に述べた最近傍法による補間を行い河道横断面の抽出を行った。

図 2 に河道横断面抽出概念, 図 3 に 3 次の自然スプライン補間を用いた場合の河道横断面抽出概念をそれぞれ示す。

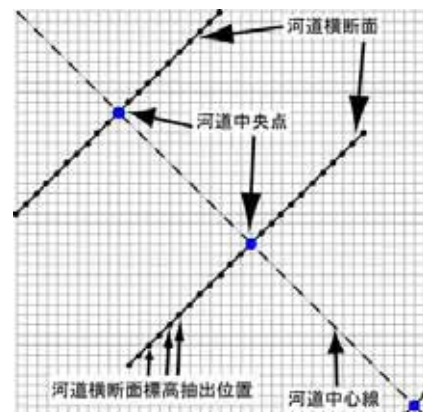


図 2 河道横断面抽出概念図

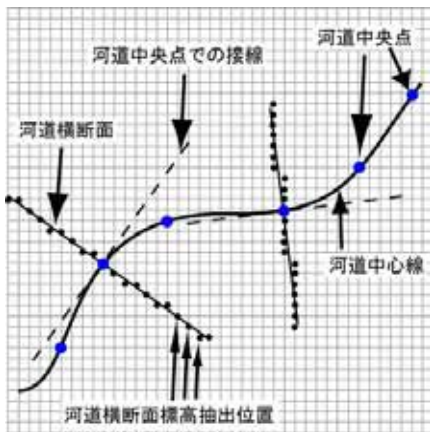


図3 スプライン補間による河道横断面抽出概念

(3) 樹木等構造物除去プログラム

本研究では高水敷での樹木等構造物の影響を除去する手法について、堤防の基本断面形状と、刈谷田川での堤防高と河川敷高の標高差、さらに、刈谷田川における堤防築堤計画を使用して樹木等構造物除去プログラムの作成を行った。

始めに河道横断面データから両岸の堤防天端の位置を把握する。川本ら(2002)によれば、堤防付近での最高標高地点を堤防天端高とすることは、その点の標高が堤防上の通行人や自動車等の標高値を取得している特異点になっている可能性があり、使用は好ましくないとされている。そこで、本研究では、まず河道横断面データで低水路を中心にして左右岸に分けて考え、左右岸それぞれで標高値の移動平均を計算し、最も高い値を持つ地点を堤防天端の中央とした。このようにして、堤防の標高値が爆発的に大きな値を示す誤差要因の排除を行い、堤防高を妥当なものにする。なお、移動平均には現地点と左右4点ずつの計9点を用いて計算を行った。しかし、安易に左右岸それぞれの標高の移動平均値が最も高い地点が堤防天端に当てはまるとは限らない。取得した河道横断面に堤防以上に大きな構造物等があると、その構造物を堤防だと誤認してしまう可能性がある。

河道断面形状は短い区間において大きく変化することはほとんどない。つまり、堤防の位置も短い区間において急激に変わらない。そこで、1つ前の河道横断面での堤防位置情報を与え、かつその周辺で標高の移動平均値が最も高い地点を堤防天端中央地点とすることで誤認を防ぐこととした。

今回は1つ前の河道横断面での堤防天端中央地点を中心にして幅15m範囲内の最高移動平均値地点を現在の河道横断面の堤防天端中央地点とした。

さらに、誤認防止の手法として「建設省河川砂防技術基準(案)同解説 設計編[]」と「建設省河川砂防技術基準(案)同解説 計画編」に記載されている河道形状の特徴を利用した。ここでは、堤防天端幅、法勾配、堤防高を上記の著書から設定し、これに基づいて高水敷の樹木等構造物除去を行った。

前者の記述による設計基準では、刈谷田川における堤防の法勾配は2割勾配とし、天端幅を5mと設定することとなっている。本研究でもこの設計基準を採用し、樹木等構造物除去プログラムに利用した。

次に堤防高は後者に記述されている計画基準によると、計画高水位と余裕高の和となっている。ここで計画高水位とは、計画河道に計画高水流量を流過させる場合に達するであろう水位を計算で求め、その水位をもとに計画高水流量を安全に流過させるように決めた水位であって、堤防の設計は計画高水位を基準に行われるものである。また、余裕高とは各河川での計画高水流量により設定される高さのことである。堤防高はこの2つにより設定されるのだが、厳密にはこの限りではない。その理由として、全区間において厳密に設定を行うと堤防高が場所によって異なり民生安定上好ましくない。このため、明確な基準設定がないため、この情報を基にしたアルゴリズムの作成は困難であると考えられる。

そこで今回は打開策として、刈谷田川にある水位観測所での現況堤防高を利用し、堤防高の設定を行った。本研究の対象地域内では概ねその標高差は5m付近であった。この結果を受けて今回は堤防天端から高水敷までの標高差は研究対象地域で一律5mと設定し、堤防天端高と高水敷高を関連付けた。

以上の条件を用いて、堤外地内において法面以外の箇所でも堤防天端からの標高差が5mに満たない箇所は樹木及び構造物であると見なし、高水敷の標高までその箇所の標高を下げることにより樹木等構造物除去プログラムを作成し、樹木等の除去を行った。図4に樹木等構造物等除去手法の概念図を示す。

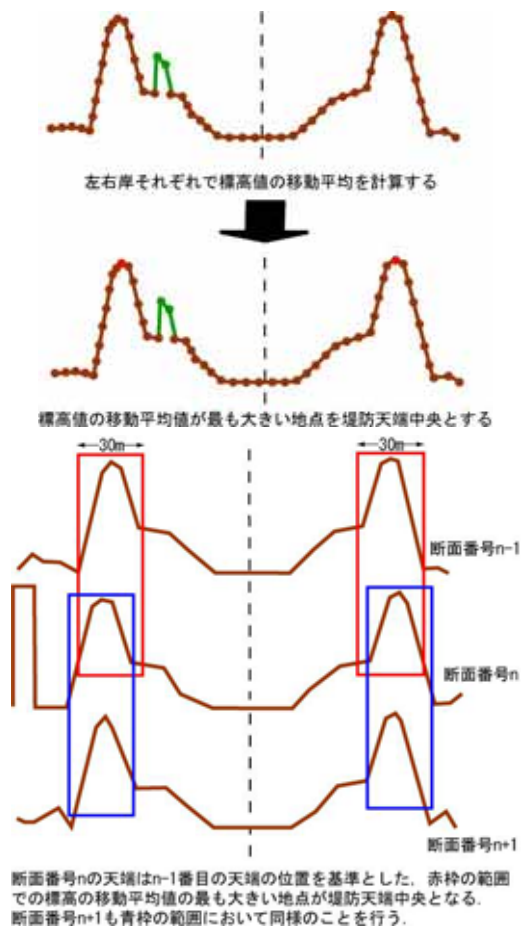


図4 樹木等構造物除去概念図

4. 河道情報抽出結果

(1) 実測河道横断面との比較

刈谷田川で実際に測量された河道横断面と本研究で構築した河道情報抽出アルゴリズムで作成した河道横断面との比較を行った。比較には、実測河道横断面位置と LP 抽出河道横断面位置がほぼ一致するように PCI で新たにデジタイジングを行い、河道情報抽出アルゴリズムにて河道横断面を作成し、実測河道横断面との比較を行った。

比較結果の一例として、見附市山吉町付近での結果を示す。図5にオルソフォトを示し、図6には実測河道横断面とLP抽出河道横断面の比較図を示す。

図6から見て取れるように、河道内においては各比較地点においてLPから抽出された河道横断面と実測河道横断面がほぼ一致していると言える。また、本研究の手法により高水敷部分の植生等の除去が上手く行っていた。

このことから、樹木等構造物除去プログラムが有効であったと言える。低水路での実測とLPとの差はLPによる測量の特性で水面下の標高を取得できないためである。



図5 見附市山吉町付近オルソフォト

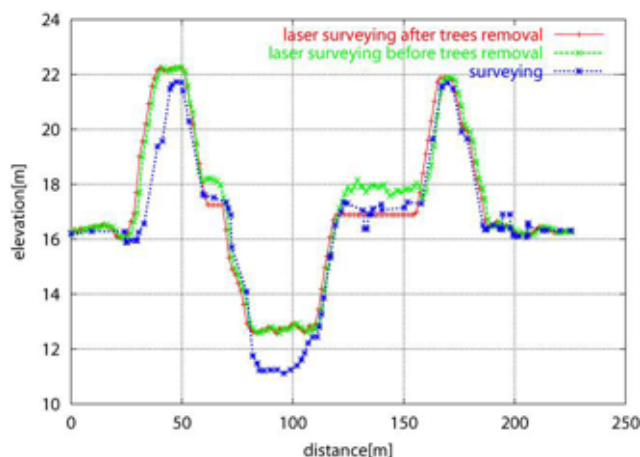


図6 実測とLP河道横断面との比較

(2) 実測河道横断面との比較

LPから抽出された236地点の河道横断面を用いて、刈谷田川で実際に測量された河道横断面との比較を行った。比較した結果の一例として、大堰水位観測所付近での実測河道横断面に最も近い地点でのLP抽出河道横断面を使用した。LP抽出河道横断面は、樹木等構造物除去後のものを使用し、河道横断面の比較には左岸天端を基準として、LPと実測河道

横断面の位置を合わせて行った．図7に大堰水位観測所付近での比較結果を示す．

低水路を除き，堤外地の断面形状はほぼ一致しているのが見て取れる．しかし，LP から抽出された河道横断面幅が実測断面幅と比較して横断面幅が広くなる結果となった．前節で比較を行った河道横断面抽出地点と実測河道横断面測量地点を一致させた場合には，河道横断面形状はほぼ一致していた．そのため，河道横断面を抽出する際に，アルゴリズムにおいて問題があったとは考えにくい．考えられるひとつの原因として，河道中心線が実測の河道中心線とずれが挙げられる．

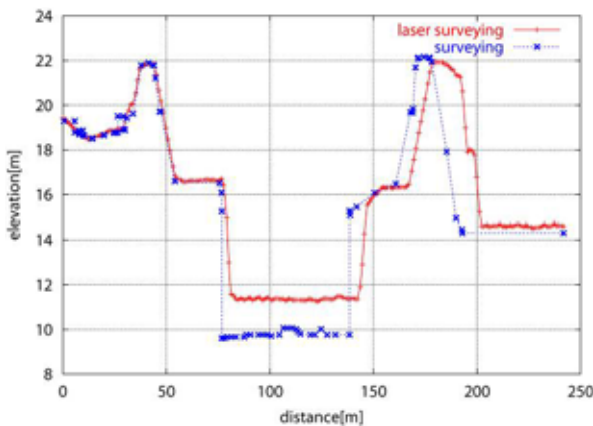


図7 大堰水位観測所付近での実測とLP比較

そこで，PCIによるデジタイジング時の実測位置との誤差により発生する河道中心線角度差と，その際発生する河道横断面幅の増加の割合の関係を調べた．図8に河道中心線の角度差と横断面幅の関係の概念図を示す．河道に対して中心線が水平に引かれているならば，図8での実線のように長さLが河道横断面の片側の長さとして抽出される．しかし，実測により水平に引かれた中心線よりも，LPから得た中心線が，破線のようにある角度 θ だけずれていたならば，抽出される河道横断面の片側の長さはL'となる．すなわち， θ だけずれると，実測河道横断面幅との差がL' - Lだけ生じる．

図9には θ と河道横断面幅増加率との関係を示す． $\theta = 20^\circ$ 程度までは横断面幅の違いは，さほど大きくないと言える．河道断面幅増加率で見ても， $\theta = 20^\circ$ では約6.5%となっている．その後， θ の増加に伴い $\cos \theta$ の逆数に比例して河道横断面幅増加率が上昇していく傾向が見られた．

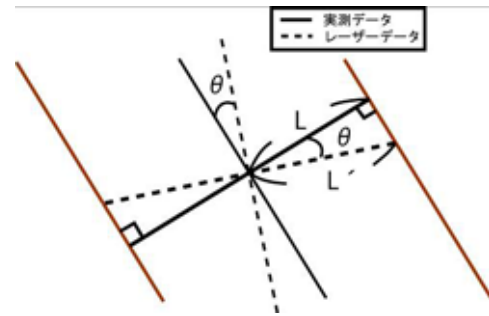


図8 角度 θ と実測断面幅L，LP断面幅L'の関係

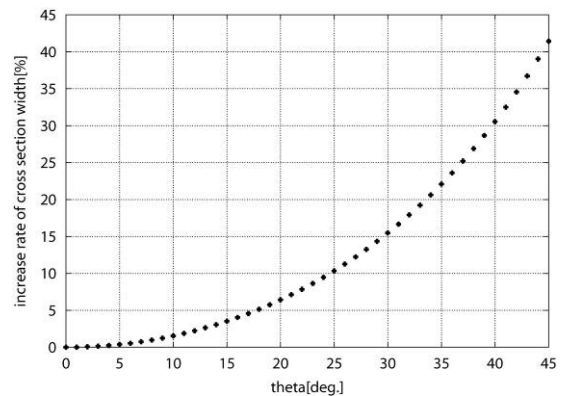


図9 角度 θ と河道断面幅増加率の関係

河道横断面のずれの原因に挙げられる角度 θ を抑えるために2点間の直線からなる河道中心線から河道横断面を求める方法と，3次自然スプライン補間による河道中心線から河道横断面を求める方法での河道横断面形状の比較を行った．実測河道横断面も加えた比較結果を図10に示す．

堤外地側での河道横断面形状はほぼ一致しているが，左岸堤内地にある構造物の標高がスプラインによる河道横断面では確認でき，2点間との直線からなる河道横断面では確認できないことから， θ は2つの手法で異なることが分かる．

実測河道横断面幅との比較を見ると，2点間との直線から求めた河道横断面幅よりも，スプライン補間により求めた河道横断面幅の方が僅かではあるが実測河道横断面幅に近づいた．このことからスプライン補間を用いた場合， θ に改善が見られた．

しかしながら，スプライン補間を用いた場合でも， θ を小さくするにはPCIによるデジタイジング作業において，実測の河道中心線に沿うように，もしくは近い場所に河道位置抽出地点を選択することが重要であると考えられる．河道が湾曲する箇所では細かくデジタイジングを行うなどの細心の注意を払いデジタイジング作業を行う必要がある．

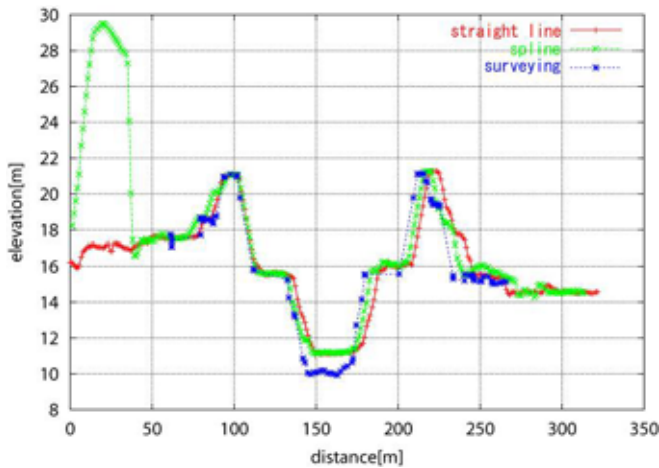


図 10 2 手法による LP 河道横断面と実測との比較

5. LP データを用いた応用例

本節では財団法人国土開発研究センターより配布されている、河床変動計算システムを用いて抽出された河道横断面データの応用について述べる。

一般的に流れの計算を行うには、定期縦横断測量成果が必要不可欠になる。今回使用したシステムも定期縦横断測量成果を必要とする。そこで、本研究では定期縦横断測量成果の代用として LP 抽出河道横断面を用いた。河床変動計算システムを使用するにあたり、流れモデルの選択、定期縦横断測量フォーマット形式データ、計算パラメータデータ、境界条件データを準備する必要がある。今回使用する流れモデルは JICE モデルを使用し、定期縦横断測量フォーマットデータには取得した LP 河道横断面データをフォーマットに従い使用した。計算パラメータデータ、境界条件データについては表 1 に示す。境界条件で用いた下流端水位と上流端流量については、平成 16 年 7 月 13 日 0 時から 14 日 24 時までの 48 時間の今町水位観測所でのデータを使用した。計算のタイムステップは十分細かいとし、定期縦横断測量データとして用意した河道横断面は、大堰水位観測所と今町大橋手前までの約 1.1 km 区間に 8 断面を設けた。図 11 に初期条件となる上流端流量を示す。

表 1 計算パラメータ設定

粗度係数	n=0.030
河床勾配	1/2000
計算開始時間	0 hour
計算終了時間	48 hour
河床変動計算の有無	流れ計算のみ

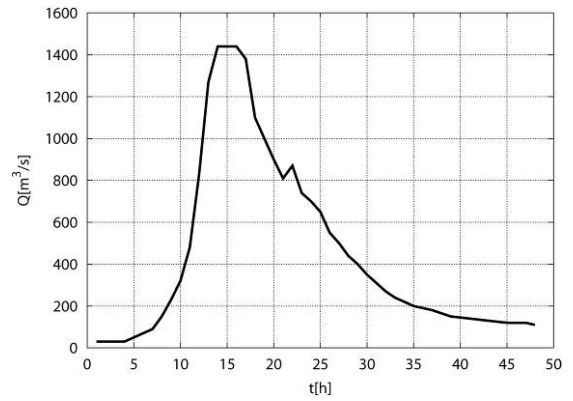


図 11 上流端ハイドログラフ

以上の入力データから流れの計算を行ったところ、LP 河道横断面を用いての動作を確認した。

なお、実際に測量された横断面を用いての比較を行うべきではあるが、刈谷田川では定期縦横断測量が行われていないため比較は行っていない。しかしながら、定期縦横断測量成果の代用として、LP から抽出された河道横断面を用いることができる可能性は示唆できた。

7. まとめ

本研究は刈谷田川流域の一部を対象地域として、LP データから、空間的な河道情報の取得を行った。

- LP データのみを用いた手法での河道情報取得にあたり、河道情報抽出アルゴリズムを構築し、河道内の任意の地点で河道横断面データが抽出可能であることを示した。
- 高水敷での樹木等が LP による計測結果に与える標高誤差を考慮し、計画堤防形状と現況堤防高を利用して樹木等構造物除去を行い、実測河道横断面と比較を行いその妥当性を示した。
- 実測河道横断面形状と LP から抽出された河道横断面形状との比較を行い、LP 抽出河道横断面形状の妥当性を示した。
- 実測河道中心線と LP による河道中心線との角度差が河道断面幅等に与える影響について考察を行い、その影響の軽減策として 3 次自然スプライン補間を行うことを提案した。
- LP から抽出された河道横断面を定期縦横断測量成果の代用として使用し、中小河川のような定期縦横断測量が実施されていない河川においての水文データ取得の可能性を示唆した。