

◆ 報 文 ◆

レーザースキャナーデータを利用した 中小河川河道横断形状データの作成

川本一喜* 館健一郎** 武富一秀*** 金木 誠**** 崎本英二*****

1. はじめに

近年、都市型水害が頻発する中で、東海豪雨災害を契機として平成13年6月に「水防法」が改正された。これにより、浸水想定区域の作成のために氾濫解析を実施しなければならない河川は、従来の国土交通大臣管理河川に加え、都道府県知事管理の河川にまで拡大されることとなった。後者には中小河川が多数含まれており、それらにも適用可能な氾濫解析手法の確立が急務である。

氾濫解析を実施するには、氾濫原の浸水深を算定するための標高や、河道の水位を算定するための河川横断形状をはじめとする各種データが必要となる。このうち河道横断形状について、これまでは河道計画や河川改修計画等のために実施された定期横断測量の成果を利用してきた。しかし中小河川に関しては、未だ測量が実施されていない区間も多く、氾濫解析を実施するための十分な河道データが整備されているわけではない。また、中小河川の氾濫解析のために新たに測量を実施することは、費用や時間の面でも課題が残る。

一方、近年では航空機搭載のレーザースキャナーを利用した3次元地形計測が注目を集めており、各分野での利用が検討されている。氾濫解析においても、細密な地形標高データを用いて、氾濫原の微地形に応じた浸水状況を表す場合などにレーザースキャナーデータを活用することは始まっている¹⁾。しかし河道横断形状データの作成に関しては、定期横断測量の成果が水位計算に十分な精度を有していたことや、レーザースキャナーデータにいくつかの課題があったことから、これまで、その手法は確立されていない。レーザースキャナーデータの課題には、堤防天端高のような局所範囲の計測、河道内植生の取り扱い、水面下の河道形状の取得等があげられる。

本研究では、レーザースキャナーで取得した細密な標高データを利用して、河道の水位・流量計算のための河道横断形状データを簡易に作成する

手法を検討した。

2. レーザースキャナーの概要

航空機搭載レーザースキャナーは、航空機の位置、姿勢をGPS、ジャイロの一種であるIMU (Inertial Measurement Unit) により計測しながら、航空機から地上に向けて照射したレーザーの反射光を受信し、その時間差で航空機と地物との間の距離を算定する。横方向にスキャンしながら飛行することで、3次元高密度地表面形状の取得が可能となる(図-1)。データの精度については小荒井ら³⁾が報告している。樹木高の計測に関しては、レーザー光のモードを変更することで、レーザー光が樹木の葉や枝などで反射するものと、葉や枝の隙間から地表に到達して反射するものを取得でき、これらを組み合わせることで植生部の地表面高さを計測できる。しかし植生の種類や密度によっては計測が困難な場合もある⁴⁾。水面の高さの計測は、水の反射率が地表面に比べて低いことや、水面(静水面)ではレーザー光が鏡面反射となり、その反射光の受信が難しいため、困難である。

3. 検討対象河川と収集したレーザースキャナーデータの概要

3.1 検討対象河川

本研究では、既にレーザースキャナーによる

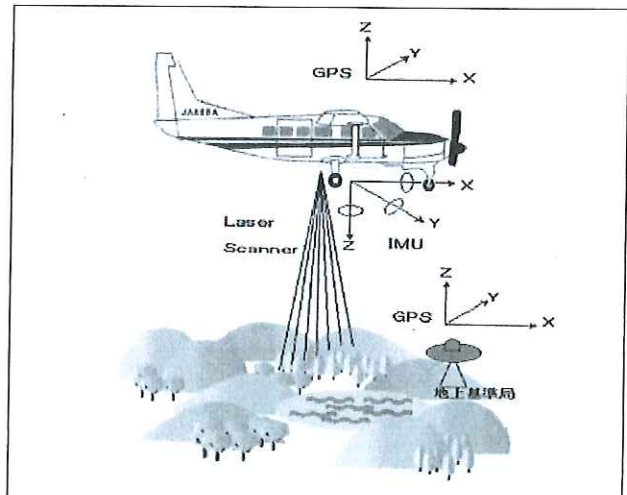


図-1 レーザースキャナーの計測原理²⁾

Method to Draw Cross Sectional Profiles of Small/Middle Scale Rivers from Laser-scanned Ground Height Data



写真-1 鶴見川 15km 付近から上流の様子 (H14.3.8 撮影)

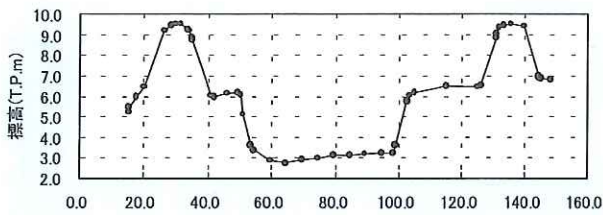


図-2 現況横断面図 鶴見川 15.4km 地点

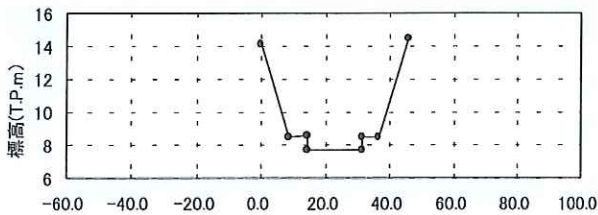


図-3 現況横断面図 鶴見川 21.4km 地点

計測が実施されている鶴見川流域において、鶴見川 13.0k~27.3k、恩田川 0.0k~7.1k、早淵川 0.0k~3.0k を対象とした。河道の様子を写真-1 に、横断面を図-2, 3 に示す。なお、鶴見川の計画流量は、亀の子橋地点 (14.0km) で $1,000\text{m}^3/\text{s}$ であり、13.0km~20.0km が複断面で、20.0km より上流部は単断面となっている。

3.2 収集したレーザースキャナーデータ

収集したレーザースキャナーデータは、鶴見川流域を対象に、平成 12 年 2 月と平成 13 年 3 月 (計測範囲が異なる) に計測されたものである。計測諸元を表-1 に示す。データは、レーザースキャナーの照射点位置 (照射間隔は約 2.5m) での建物や樹木等の高さを含んだデータ (以下、数値表層モデル・ランダムデータ) と、そのデータから建物や樹木等の不要なデータを除去し、2.5m 間隔の直交格子に再配列したデータ (以下、数値標高モデル・直交格子データ) の 2 種類である。2.5m 間隔の直交格子データの精度について、1/2,500 地形図の標高点との比較では、標準偏差が 0.52m であった (表-2)。なお、両方のデータともに地上測量結果

表-1 レーザースキャナー計測諸元

項目	緒元
レーザースキャナーパルス射出頻度	5000Hz
スキャン頻度	11Hz
スキャン角度	$\pm 15 \sim \pm 20$ Degree
飛行高度	700~900m
対地速度	50m/s
パルスモード	ラストパルス
照射点密度	2.5m

表-2 収集データと 1/2,500 地形図標高点との誤差

データ属性	標準偏差	対象地点数
全データ	0.52	228
道路	0.47	158
グラウンド・公園	0.47	33

によるキャリブレーションは実施していない。

レーザースキャナーのスキャン幅にも限界があるため、広い範囲を計測する場合には、航空機の飛行コースを複数設定してデータを取得する。この場合にスキャンの範囲が重複するような箇所では、飛行コースの違いによるデータの誤差も発生するが、本研究で用いたデータは飛行コース間のデータ補正は行っていない。

4. 検討方針

4.1 レーザースキャナーデータから河道横断面形状を作成する場合の問題点

問題点として以下の 3 点が挙げられる。

(1) 堤防天端のような局所的な標高データの特定が困難

レーザースキャナーで取得する標高データは、計測密度によって 0.5~5.0m 程度の計測間隔で面的に分布しているため、計測間隔が大きい場合は、堤防天端のような局所的な標高データを特定することが困難である。

(2) 植生の種類や密生度により計測できない場合がある

植生の種類や密生度により、標高データに植生の高さが含まれてしまい、実際の標高との誤差が大きくなる可能性がある。

(3) 水面下 (低水路) の断面形状の取得が困難

レーザースキャナーは、レーザースキャナーの照射光が静水面で鏡面反射するため、水面下の形状を計測することが困難である。

4.2 検討手順

使用するレーザースキャナーデータに関しては、数値標高モデル・直交格子データは数値

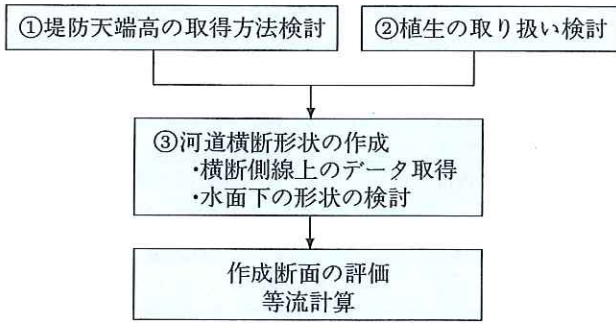


図-4 検討フロー

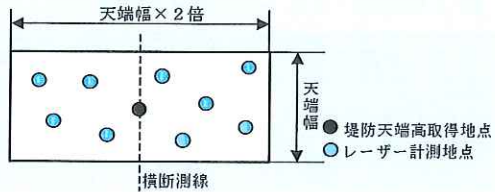


図-5 堤防天端バッファリング範囲

表-3 堤防高についてレーザーデータと測量データの誤差比較表

対象	項目	直近4点平均
右岸	2乗平均誤差 (m)	0.446
	相対係数	0.993
左岸	2乗平均誤差 (m)	0.252
	相対係数	0.997

※ 2乗平均誤差 : $\sigma = (\sum(X_i - Y_i)^2/n)^{1/2}$

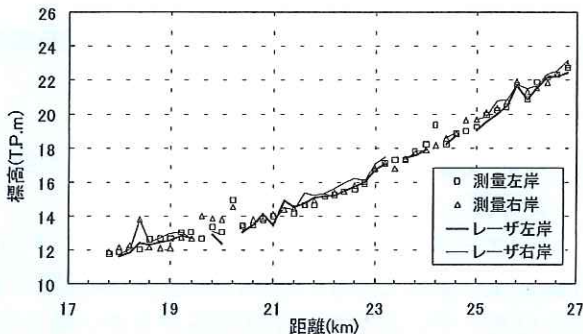


図-6 堤防天端高縦断面図

表層モデル・ランダムデータを平均して格子点の標高を算出しているため、堤防のような局所的な構造物も周囲と平準化されてしまう可能性がある。そこで、本研究では数値表層モデル・ランダムデータを使用して河道横断形状の作成手法を検討した。

レーザースキャナーデータから河道断面形状データを作成する場合の問題点を踏まえて、本研究の検討内容と手順を示す(図-4)。①氾濫解析で越水を考慮する場合に重要となる、正確な堤防高の取得方法、②河道内の植生の取り扱い方法について検討し、③レーザースキャナーでは計測が困難な水面下(低水路)の河床形状に関して、現況の

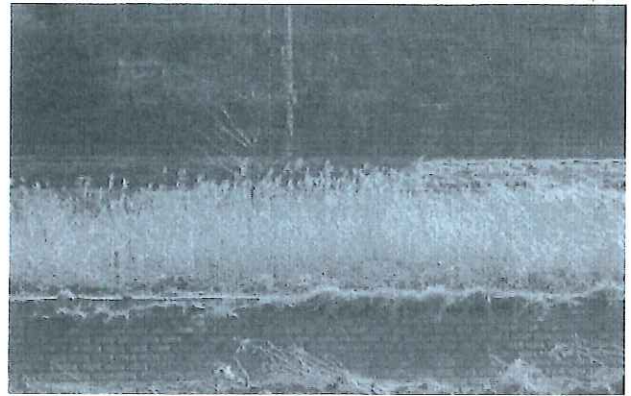


写真-2 鶴見川 16.4km 右岸のヨシ繁茂状況 (H14.3.8撮影)

表-4 植生地点のレーザースキャナーデータと測量データの比較

No.	対象地点	標高 (m)	レーザーデータ (植生地点)				
			直近1点	2番目	3番目	4番目	直近4点平均
1	鶴見川 11.2km	1.9	2.04	2.07	1.85	1.95	1.98
2	鶴見川 12.2km	5.3	4.80	4.80	4.68	4.68	4.74
3	鶴見川 13.0km	7.0	7.09	6.32	6.66	7.11	6.80
4	鶴見川 16.4km	6.8	6.93	7.06	6.91	6.64	6.85
5	鶴見川 19.4km	10.2	10.15	10.82	10.11	9.85	10.14

断面特性を的確に反映する方法を検討し、河道横断形状を作成して妥当性を評価する。

5. 河道横断形状データの作成手法検討

5.1 堤防天端高の取得方法

氾濫計算では堤防からの越水の有無が重要であり、その越流量は氾濫解析の結果に大きく影響する。よって、正確な越流量を算定するには、堤防天端高を正確に取得する必要がある。堤防天端上に図-5の範囲のバッファを設定し、バッファ内で堤防天端高取得地点に最も近い4点の平均(距離の逆数による重み付き)として、堤防天端の測量データ(横断測量データ40断面)と比較した(表-3, 図-6)。図-6においてレーザースキャナーデータが欠落している箇所は、橋梁の標高を取得している断面や、計測時に何らかの物体が堤防上に存在していたため、上下流の断面と比較して整合性のとれていない断面であり、評価の対象外として削除した。現地調査でパラペットを確認したが、このような局所的な構造物に関しては、その天端幅が小さいため、計測間隔が約2.5mのレーザースキャナーデータでは、その高さを計測することは困難である。

5.2 植生がある場合のデータの取り扱い

本研究の対象区間では、ヨシが広く生育していることから(写真-2)、ヨシがレーザースキャナー

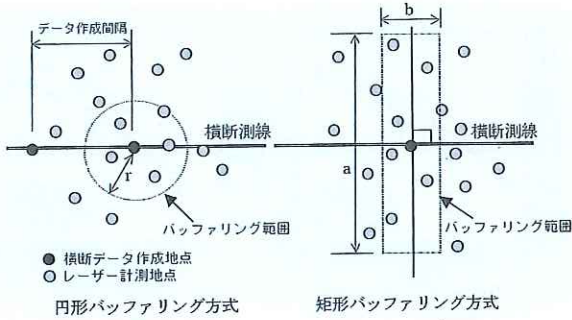


図-7 バッファリング範囲の概念図

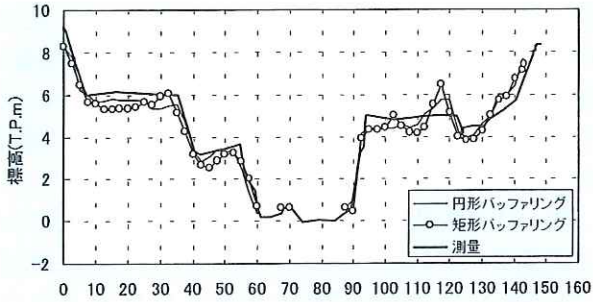


図-8 バッファリング別横断面図 (鶴見川 13.2km)

データに与える影響と、横断形状を作成する場合におけるヨシの樹高の取り扱い方法を検討した。ヨシが繁茂している箇所において、レーザースキャナーデータと測量横断データを比較したところ、両者の標高データは概ね一致している(表-4)。このことから、レーザースキャナーがヨシの頂上部の標高を計測しているとは考えにくい。この原因として、本研究で使用したレーザースキャナーデータの計測時期が冬季(3月)であり、ヨシのほとんどが枯れた状態で、その密生度が低く、レーザ光がヨシの隙間から地表に到達したためにヨシの頂上部を計測していないことが考えられる。現地調査(H14.3.8実施)からも、ヨシの密生度が低いことが確認でき、その頂上部でのレーザ光の反射の可能性が低いことを確認した。以上のことから、冬季の計測ではヨシの影響は少ないということが考えられる。本研究では、ヨシの密生度が低い場合は、樹高の補正を行わずに標高データとして使用することが可能であると判断した。

5.3 河道横断形状データの作成

5.3.1 河道横断形状の取得方法

レーザースキャナーデータの取得地点は、必ずしも作成する横断測線上にはないため、横断データを作成する地点の周辺のレーザースキャナーデータを用いて算出する必要がある。そこで、対象となる地点を中心として、一定範囲内にあるレーザースキャナーデータを取得し、対象地点の標高値を算出する方法を検討した。図-7に示すよ

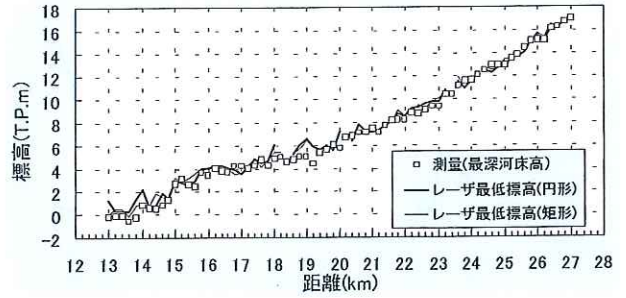


図-9 最低標高縦断面図 (鶴見川)

表-5 測量データとレーザーデータの最低標高の比較

項目	円形 バッファリング	矩形 バッファリング
2乗平均誤差 (m)	0.603	0.535
相関係数	0.995	0.996

うな、対象地点を中心とした円内部のデータを使用する方式(以下、円形バッファリング方式)と、横断測線に対して垂直方向(河道縦断方向)に設定した、矩形内部のデータを使用する方式(以下、矩形バッファリング方式)の2種類のバッファリング方式について比較検討した。

はじめに、円形バッファリング方式と矩形バッファリング方式の比較を行った。円形バッファリング方式の条件は、横断測線上のデータ作成間隔が2.5mで、半径 $r = 2.5m$ の円内で中心からの距離が近い4点の平均とし、矩形バッファリング方式の条件は、データ作成間隔2.5m、横方向幅 $b = 5.0m$ 、垂直方向幅 $a = 10.0m$ の範囲で垂直線からの距離が近い4点の平均とした。なお、ここでは低水路部分(水面下)の推定は行っていない。結果として、円形バッファリング方式と矩形バッファリング方式での横断形状は概ね一致しており(図-8)、大きな差異を確認することはできなかった。しかし、それぞれのレーザーデータの最低標高値と測量データの最深河床高との比較(図-9, 表-5)では、若干ではあるが矩形バッファリング方式のほうが小さい誤差となった。本研究では、河道横断形状の取得には矩形バッファリング方式を使用することとした。次に、矩形バッファリング方式について、データ作成間隔を変更して、最も精度の高い取得方法を検討した。データ作成間隔は2.5mと1.0mの2種とした。この結果、データ作成間隔が1.0mの場合は、標高データが鉛直方向に変動しており、データ作成間隔を小さくしたことでレーザースキャナーデータの変動が反映されたためと考えられる。よって横断測線上のデータ作成間隔は2.5mが適当であると判断した。

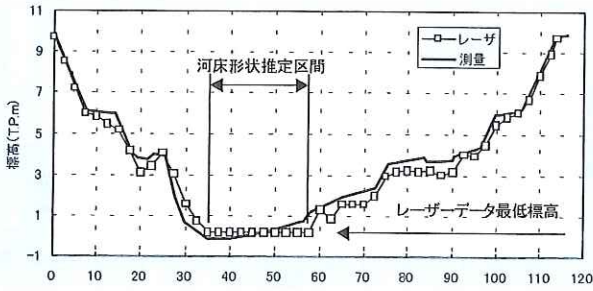


図-10 レーザーデータによる横断面 (鶴見川 13.4km)

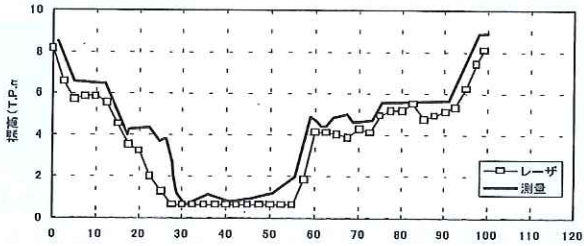


図-11 レーザーデータによる横断面 (鶴見川 14.2km)

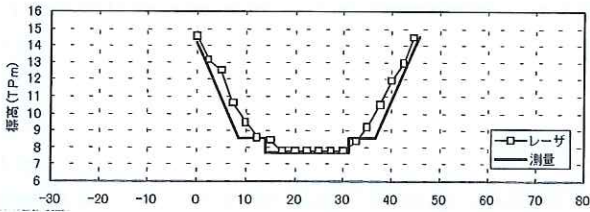


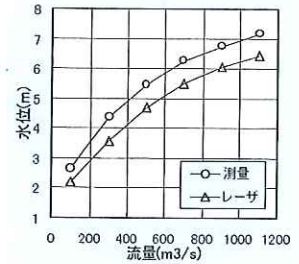
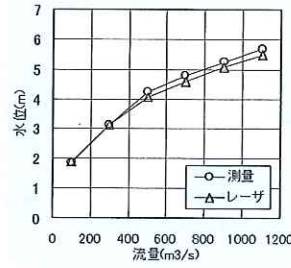
図-12 レーザーデータによる横断面 (鶴見川 21.4km)

5.3.2 水面下 (低水路) の河道形状の取り扱い

レーザースキャナーで水面高を取得することは困難とされており、本研究で使用したデータにおいても、低水路の部分は欠測がほとんどであった。本来、水面箇所 (低水路幅) を明確にした上で、水面下の断面形状を検討する必要があるが、今回の検討では、水面箇所を特定するための資料 (計測時の低水路の位置を確認できるオルソフォト等) が不足しており、レーザースキャナーデータのみから水面箇所を判断することはできなかった。しかし、レーザースキャナーの計測時期が冬季であったことから、流量は少なく、水面下の断面形状が計算水位に与える影響は小さいと判断した。よって、本研究ではレーザースキャナーで取得した最低標高データを最深河床高とし河道横断形状を作成することにした。図-10 に低水路推定断面を示す。

5.3.3 作成断面の評価

横断測線上において、矩形バッファリング方式 ($a=5m \times b=10m$, 直近 4 点平均) により横断形状を作成し、このデータを基に、堤防天端高と低水路の形状データを加えて河道横断形状データを作成した。上下流の断面と比較することで、縦断



(a) 鶴見川 13.4km

(b) 鶴見川 14.2km

図-13 水位・流量曲線

的に整合性のとれていない断面や橋梁の標高を取得している断面など、明らかに問題のある断面は除外した。作成した断面で代表的なものを図-10, 11, 12 に示す。また、作成断面特性について等流計算を実施したものを図-13 に示す。

図-10 (13.4km) ではレーザースキャナーデータと測量データは概ね一致している。しかし、図-11 (14.2km) では形状は概ね一致しているものの、レーザースキャナーデータが測量データに比べて低い傾向となっている。図-13 (14.2km) の水位・流量曲線においても曲線の形状は一致しているものの水位の差は大きくなっている。

等流計算結果において、流量 $700m^3/s$ (亀の子橋地点 13.8km の S42~H11 の平均年最大流量) の場合の 13.0km~20.0km 区間の 33 断面についての水位の 2 乗平均誤差は 0.45m であった。

このような標高値の絶対的なズレが生じる理由としては、レーザータと地上測量標高の較差に加え、飛行コースの重複部分におけるデータのばらつき等が影響していると考えられる。また、今回使用したデータは地上測量による補正が行われていないことも原因である。現在ではレーザースキャナーデータの補正手法が向上していると考えられるため、レーザータ自体の精度に関しては、今回使用した以外の比較的新しい計測時期のデータでの検証も必要である。

図-12 に示すように、レーザースキャナーデータでは、堤防の法尻のように、急激に断面が変化する点の付近での横断形状を正確に再現できない場合がある。これは、レーザースキャナーデータが実際には点情報であるため、計測点間にある標高とその位置を正確に取得できないことと、横断測線上の測点間で標高データが平均化されてしまうことが原因である。

6. まとめ

本研究では、相対的に安価でかつ短時間に河道

横断形状データを作成するため、レーザースキャナーデータを用いて河道横断形状を作成し、横断測量結果と比較してその妥当性を検討した。

以下に本研究で行った河道横断形状データの作成手法を整理する。

- ①横断測線を設定し、数値表層モデル・ランダムデータより矩形バッファリング方式(測線方向5m×垂直方向10m、直近4点平均、測点間隔2.5m)にて標高データを作成する。
- ②堤防高については、天端幅の矩形範囲でバッファリングし、直近4点平均で堤防高を算出し、①の標高データを補正する。
- ③レーザ計測時期が冬季の場合には、ヨシの密度が低くなるため、ヨシの高さを考慮する必要はない(植生によっては考慮する必要がある)。
- ④レーザースキャナーデータが欠測である低水路部は、水深が小さい場合において、最低標高データを河床高として断面を推定する。
- ⑤作成した各断面をチェックし、問題のある断面は除去し河道横断形状データとする。

本研究の検討範囲では、水理解析に用いることが出来る精度の横断形状データの作成を全断面で行えるまでには到らなかった。その一因としては、レーザースキャナーデータと地上測量の誤差補正が行われていなかったことが考えられる。

今後、レーザースキャナーの活用可能性をより定量的に示すためには、下記の課題の検討が必要である。

- (1) 河道形状作成に使用するレーザースキャナーデータについては、地上測量との誤差が十分に補正されているデータを用いることで、補正の影響を検討する必要がある。
- (2) 収集するレーザースキャナーデータを更に高密度なデータ(照射間隔は50cm程度まで可能⁵⁾)

とすることで、より正確な断面を作成することが可能になると考えられる。

- (3) 植生に関して、樹高が低く密度が低いものについては、標高データへの影響が小さく補正の必要はないが、樹高が高いものや密度が高い植生については、そのデータの特性や補正方法を検討する必要があると考えられる。
- (4) 水面下の形状に関しては、感潮区間のように水深が深くなると予想される区間については、その推定手法を確立する必要がある。例えば、低水路を流れる濁水流量を想定し(日本の平均的濁水比流量:0.0116m³/s/km²等)等流を仮定することで水深を算定する手法等が考えられる。
- (5) 正確な断面形状を作成するためには、機械的な作成手法に加えて、必要に応じた現地調査の実施が重要である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、国土交通省関東地方整備局京浜工事事務所にはデータを提供していただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 館健一郎、武富一秀、川本一喜、金木誠、飯田進史、平川了治、谷岡康：内水を考慮した氾濫解析モデルの構築と検証—大垣市を対象として—, 河川技術論文集, 第9巻, pp.145-150, 2002.6
- 2) 吉岡邦夫、土方聡：レーザ計測を利用した地形モデルの構築—氾濫解析等を事例として—, 平成14年度建設コンサルタント業務・研究発表会論文集, pp.85-88, 2002.6
- 3) 小荒井衛、鈴木宏昭：航空機レーザ測量技術の公共測量作業規程における展開, 写真測量とリモートセンシング(社)日本写真測量学会, Vol.39, No.2, pp.48-51, 2000.2
- 4) 廣瀬葉子、深見和彦、金木誠：リモートセンシングを活用した河川流域情報収集, 土木技術資料, Vol.43, pp.14-19, 2000.1
- 5) 政春尋志：航空レーザースキャナー, 全測連2001年新年号, pp.21-26, 2001.1

川本一喜*



(前 国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター水害研究室交流研究員)
Kazuki KAWAMOTO

館健一郎**



同 水害研究室研究
官
Kenichiro TACHI

武富一秀***



同 水害研究室研究
員
Kazuhide TAKEDOMI

金木 誠****



同 水害研究室長
Makoto KANEKI

崎本英二*****



同 水害研究室交流
研究員
Eiji SAKIMOTO