

レーザースキャナーデータを用いた 中小河川河道モデルの作成手法に関する研究

STUDY ON METHOD TO DRAW CROSS SECTIONAL PROFILES OF
SMALL/MIDDLE SCALE RIVERS FROM LASER SCANNED GROUND HEIGHT
DATA

川本一喜¹・館健一郎²・武富一秀³・金木 誠⁴

Kazuki KAWAMOTO, Kenichiro TACHI, Kazuhide TAKEDOMI and Makoto KANEKI

¹正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 交流研究員（〒305-0804 つくば市旭1番地）

²正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 研究官（〒305-0804 つくば市旭1番地）

³正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 研究員（〒305-0804 つくば市旭1番地）

⁴正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 室長（〒305-0804 つくば市旭1番地）

Hazard mapping is an effective way to mitigate flood damage. However, most of the small/middle scale rivers in Japan scarcely have necessary data to conduct flood simulation. Although cross sectional profiles are indispensable to calculate flood level, it takes cost and time to prepare them.

Laser scanner gained much attention recently. It can make topographic maps with a very high accuracy at a relatively low cost. Ground height data obtained by laser scanner are now beginning to be used in various fields, however, applicability to data collection of river channels is not verified. In this paper, the procedure to draw cross sectional profiles of rivers from laser scanned ground height data is studied.

Key Words : Laser scanner, Cross sectional profiles, Flood simulation

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7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地形標高や，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は，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といった課題もあることから，これまで，その作成手法は確立されていない。

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，IMU（ジャイロ）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，その時間差を計測すること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次元の高密度地表面形状を取得することが可能

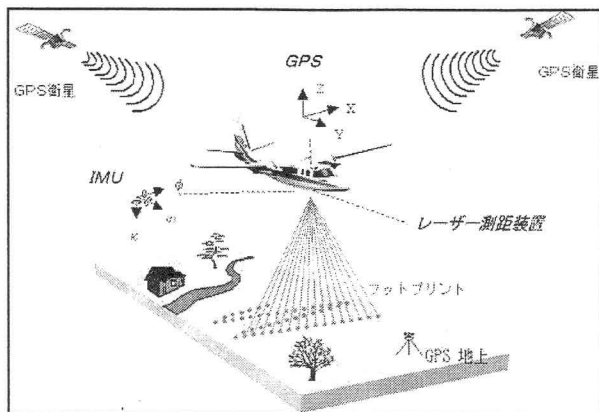
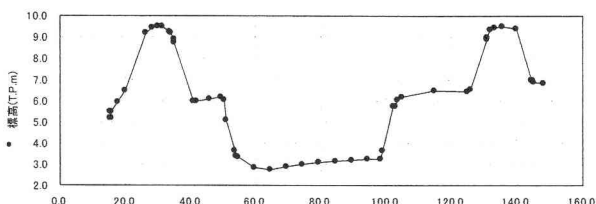
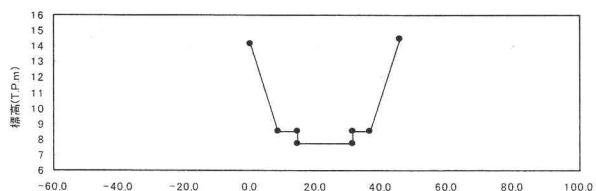


図-1 レーザースキャナー計測原理

(出典：アジア航測(株) <http://www.ajiko.co.jp/>)



a) 鶴見川 15.4km地点



b) 鶴見川 21.4km地点

図-2 現況横断面図(対象区間代表断面)

となる(図-1)。データの精度は、レーザースキャナーによる計測と地上測量との標高差の標準偏差が0.29mという検証結果が報告されている²⁾。

樹木高の計測に関しては、レーザー光のモード(ファーストパルスモード、ラストパルスモード)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る場合があり、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可能性がある。しかし植生の種類や密生度によっては計測が困難な場合もある³⁾。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

(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り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、



写真-1 鶴見川15km付近から上流の様子(H14.3.8撮影)

表-1 レーザースキャナー計測諸元

項目	諸元
レーザーパルス射出頻度	5000Hz
スキャン頻度	11Hz
スキャン角度	±15~±20Degree
飛行高度	700m~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

恩田川0.0k~7.1k、早淵川0.0k~3.0kを対象として検討を行った。対象区間の河道の様子を写真-1に、その横断面を図-2に示す。なお、鶴見川について、亀の子橋地点(14.0km地点)で計画流量1,000m³/sであり、対象区間の横断面は、13.0k~20.0kが複断面で、20.0kより上流部は単断面となっている。

(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、鶴見川流域について、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。収集したデータは、レーザー光の照射点位置(照射点間隔は約2.5m)での建物や樹木等の高さを含んだデータ(以下、ランダムデータ)と、ランダム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、直交格子データ)の2種類である。

4. 検討方針

(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

河道横断面形状を作成する場合の問題点を整理する。

a) 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、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。

b) 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、標高データに樹高が含ま

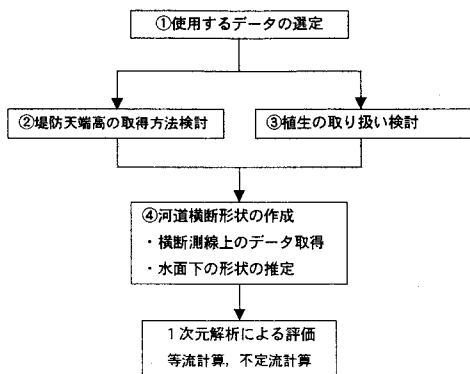


図-3 検討フロー

表-2 レーザースキャナーデータと1/2,500都市計画図標高点データとの比較

対象地点	データ種別	1/2500 図面標高 (m)	レーザースキャナーデータ			
			直近1点	直近4点 平均	半径2.5m 以内平均	直近4点 加重平均
1	直交格子	8.9	8.44	8.29	8.32	8.29
	ランダム		8.94	8.62	8.62	8.66
2	直交格子	22.8	22.63	22.59	22.58	22.60
	ランダム		22.57	22.66	22.66	22.63
3	直交格子	13.9	10.61	10.58	10.74	10.61
	ランダム		12.95	13.07	13.15	13.08
4	直交格子	23.3	20.67	20.70	20.74	20.69
	ランダム		23.16	24.00	23.16	23.77
5	直交格子	6.5	5.30	5.61	5.54	5.53
	ランダム		6.30	6.07	6.26	6.26

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。

c) 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。

(2) 検討方針

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-3)。まず、①使用するレーザースキャナーデータの形式を選定する。次に、②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、③河道内の植生の取り扱い方法について検討し、④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、現況の断面特性を的確に反映する方法を推定し、河道横断形状を作成する。

5. 河道横断形状データの作成手法検討

(1) 使用するレーザースキャナーデータの選定

収集したランダムデータ、直交格子データに関して、バッファリング方法や平均方法を変更することで、今回の検討に適したデータ形式を決定した。①対象地点に1番近い1点、②対象地点に近い4点の平均、③対象地点を中心として半径2.5m以内に存在する点の平均、④対象地点に近い4点について、距離の逆数を重みとした平均

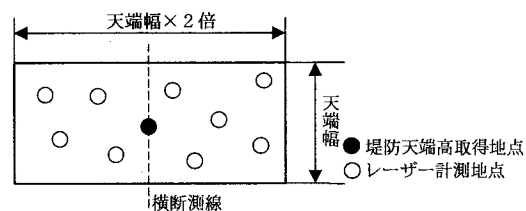


図-4 堤防天端バッファリング範囲

表-3 堤防高についてレーザーデータと測量データの比較

対象	項目	①直近1点	②直近4点平均	③2番目	④2～5番目平均
右岸	2乗平均誤差(m)	0.624	0.363	0.883	0.438
	相関係数	0.986	0.994	0.978	0.991
左岸	2乗平均誤差(m)	0.266	0.261	0.933	0.395
	相関係数	0.996	0.996	0.966	0.988

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

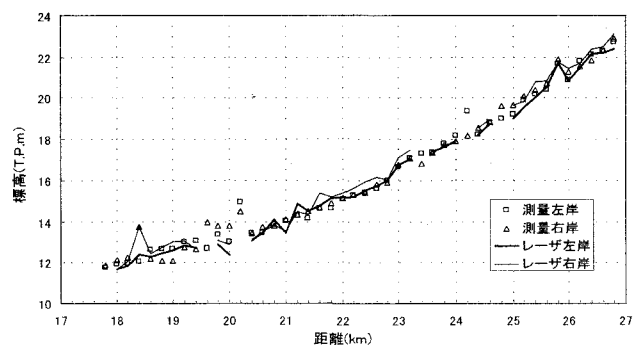


図-5 堤防天端高縦断面図

の4ケースについて、堤防天端におけるデータの精度を縮尺1/2,500の都市計画図に記載されている標高点データと比較した(表-2)。これによると、都市計画図の単点標高に関しては、ランダムデータが直交格子データに比べて精度が良いという結果になった。この原因として、直交格子データは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では、実際の高さより低く算出される可能性があるということが考えられる。直交格子データに再配列する手法についても検討する必要があるが、本研究では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。

(2) 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。しかし、レーザースキャナーデータの取得地点は必ずしも河道横断形状を作成する測線上にはない。そこで、最も精度が高くなるような堤防天端高の取得方法を検討した。レーザースキャナーデータについて、①対象地点に1番近い1点、②対象地点に近い4点の平均、③天端上に設定したバッファリング範囲内で2番目に高い標高、④同様に、標高の高い方から2番目か

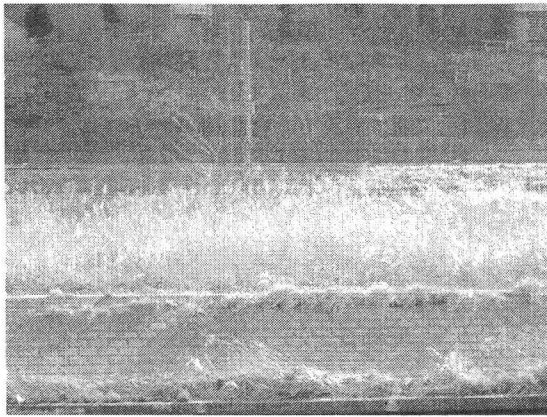


写真-2 鶴見川16.4km右岸のヨシ繁茂状況 (H14.3.8撮影)

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	4.98	1.85	1.95	1.98
2	鶴見川12.2km	5.3	4.80	2.62	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

ら5番目までの4データについて平均したもの(1番目のデータを除外した理由は、車や人といった特異点を排除するためである)の4ケースについて、堤防天端の測量データ(40断面)と比較した(表-3、図-5)。図-5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、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。なお、バッファリング方法は、横断形状を作成する堤防天端の測線から、上、下流方向に堤防天端幅の矩形範囲でバッファリングを行った(図-4)。この結果から、比較的精度の高い直近4点平均データを堤防天端高とすることが適当であると考えられる。

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。パラペット等の構造物に関しては、現地調査による確認が必要である。

(3) 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樹高を計測しているとは考えにくい。この原因として、本研究で利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、レーザー光がヨシの隙間から地表に

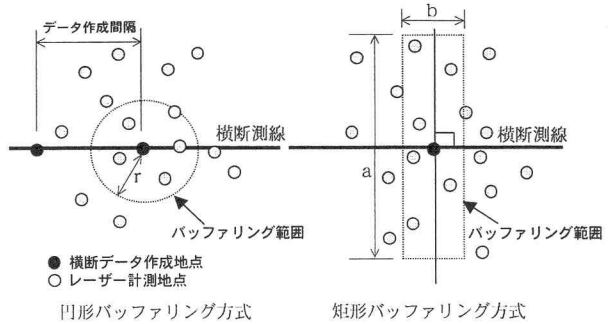


図-6 バッファリング範囲の概念図

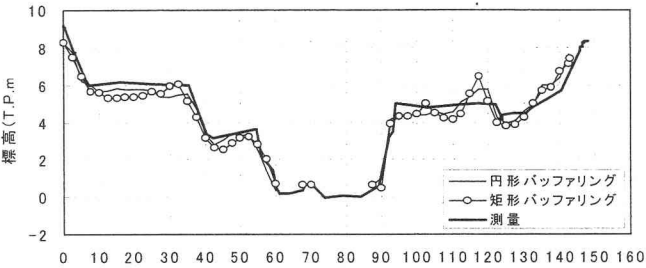


図-7 バッファリング別横断面図(鶴見川13.2km)

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ー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、その樹高の補正を行うことなく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。

(4) 河道横断形状データの作成

a) 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、対象となる地点付近にバッファを発生させ、内部のレーザースキャナーデータを取得する方法を検討した。図-6に示すような、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、

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

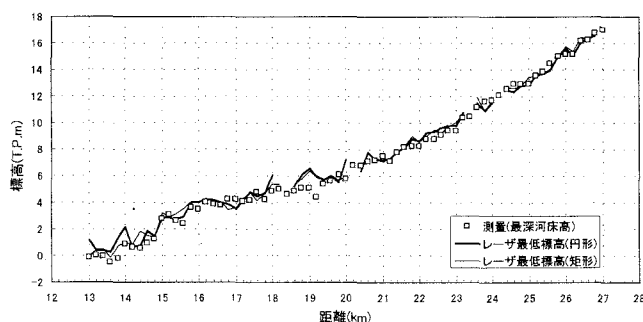


図-8 最低標高縦断面図 (鶴見川)

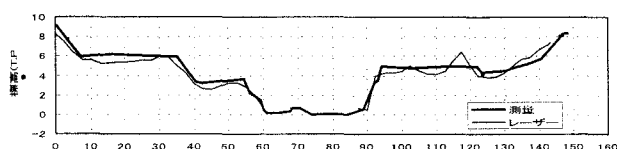


図-9 レーザーデータ横断面図 鶴見川13.2km
(データ作成間隔2.5m)

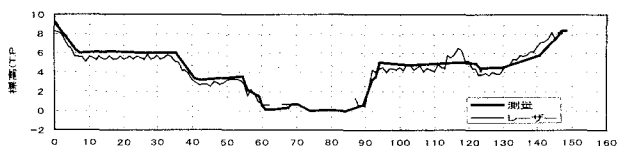


図-10 レーザーデータ横断面図 鶴見川13.2km
(データ作成間隔1.0m)

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面形状は概ね一致しており (図-7), 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-8, 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, 河道横断面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いるため (図-9, 10), 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.

b) 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, 本研究で使ったランダムデータにおいても, 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

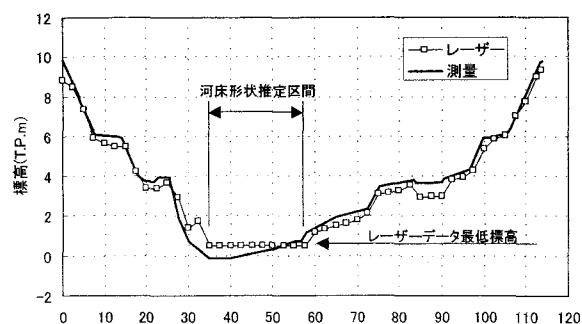


図-11 河床形状推定横断面図 (鶴見川13.4km)

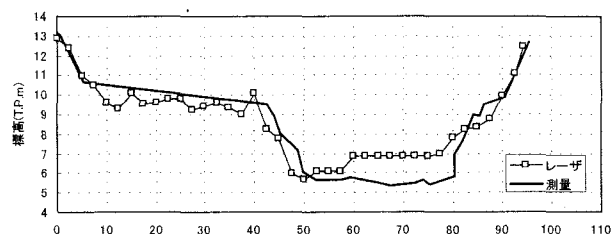


図-12 レーザーデータによる横断面図 (鶴見川18.2km)

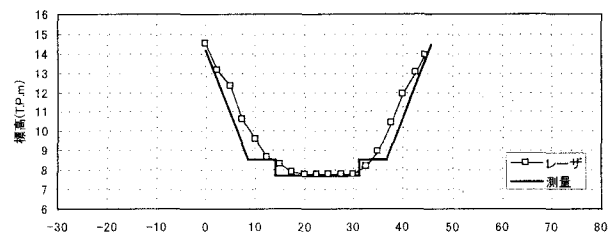


図-13 レーザーデータによる横断面図 (鶴見川21.4km)

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や, 最低標高の誤差から, 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面形状を作成することにした. 図-11に低水路部の断面を推定した横断面図を示す.

c) 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) により横断面形状を作成し, 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面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-12, 13に示す. 図-13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面形状を正確に再現できない場合がある.

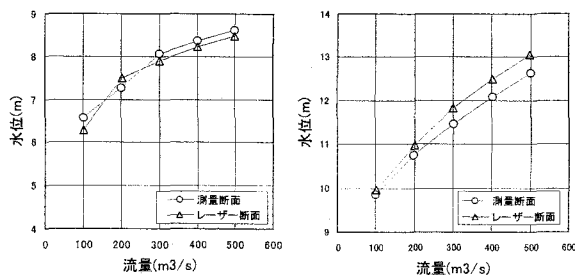


図-14 H-Q曲線(鶴見川18.2km) 図-15 H-Q曲線(鶴見川21.4km)

表-6 レーザースキャナーデータと測量データの水位誤差

項目	等流計算	不定流計算
2乗平均誤差(m)	0.474	0.226
相関係数	0.997	0.999

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. 一次元解析による河道横断形状データの評価

作成した断面形状を用いて、等流計算と一次元不定流計算を実施し、計算結果の比較から河道形状データの評価を行った。図-14, 15に、流量規模100, 200, 300, 400, 500m³/sについて図-12, 13の断面で等流計算を実施した結果を示す。また、表-6には、等流計算については流量300m³/sの場合の対象区間全断面(64断面)の水位誤差を評価し、不定流計算については、流量300m³/s流下時のピーク水位の誤差を評価した。図-16に一次元不定流計算結果のピーク水位縦断面図を示す。レーザースキャナーデータと測量データでは、ピーク水位縦断面の勾配は概ね一致しているが、水位に差のある断面も確認できる。

7. おわりに

レーザースキャナーを利用した河道横断形状の作成について、その可能性は示された。以下、本研究で提案し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、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レーザー計測時期が冬季の場合には、ヨシの密生度が低くなるため、ヨシの樹高を考慮する必要はない(植生によっては除去の必要がある)。
- 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

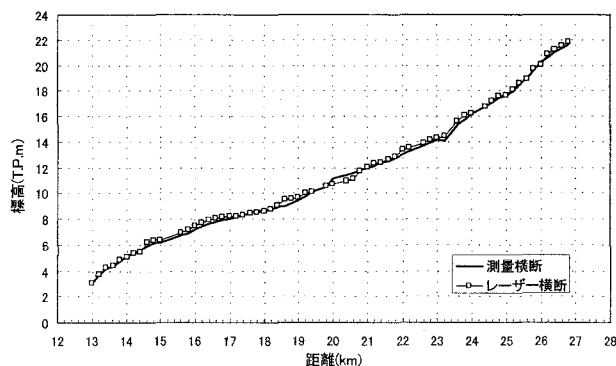


図-16 一次元不定流計算によるピーク水位縦断面図
(鶴見川, ピーク流量300m³/s)

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

今後の課題としては、収集するレーザースキャナーデータを更に細密なデータ(レーザー光の照射間隔は50cm程度まで可能⁴⁾)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。植生に関して、樹高が低く密生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生度が高い植生については、そのデータの特長や補正方法を検討する必要がある。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、低水路を流れる渇水流量を想定し(日本の平均的渇水比流量: 0.0116m³/s/km²等から算出), 等流を仮定することで水深を算定する手法などが考えられる。なお、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。また、(株)東京建設コンサルタントには、データ整理、解析等にご協力いただいた。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, 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, 2002. 6.
- 2) 小荒井衛, 鈴木宏昭: 航空機レーザー測量技術の公共測量作業規定における展開, 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.
- 3) 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, pp. 14-19, 土木技術資料43-1, 2000.
- 4) 政春尋志: 航空レーザースキャナー, pp. 21-26, 全測連2001年新年号.

(2002. 4. 15 受付)