3次元河道内地形測定における 水域データの取り扱いに関する研究

WATERS DATA TREATMENT ON 3-DIMENSIONAL MEASUREMENT OF THE LANDFORM OF THE RIVERBED

松本健作¹・名倉 裕²・玉置晴朗³・小葉竹重機⁴・清水義彦⁵・秋山圭史郎⁶

Kensaku MATSUMOTO, Hiroshi NAGURA, Haruo TAMAKI, Shigeki KOBATAKE, Yoshihiko SHIMIZU,
Keishirou AKIYAMA

¹正会員 博(工) 群馬大学工学部建設工学科 (〒376-8515 群馬県桐生市天神町 1-5-1)

²非会員 株式会社数理設計研究所 (〒373-0019 群馬県太田市吉沢町太田リサーチパーク 1-101)

³非会員 株式会社数理設計研究所 (〒373-0019 群馬県太田市吉沢町太田リサーチパーク 1-101)

⁴正会員 工博 群馬大学工学部建設工学科 (〒376-8515 群馬県桐生市天神町 1-5-1)

⁵正会員 博(工) 群馬大学工学部建設工学科 (〒376-8515 群馬県桐生市天神町 1-5-1)

⁶非会員 群馬大学大学院工学研究科建設工学専攻 (〒376-8515 群馬県桐生市天神町 1-5-1)

3D laser scanner used on this study can not measure the landform under the water. However, the absence of data shows existence of the water in the other. It is important for the elucidation of the deformation mechanism of the riverbed to grasp the landform of the riverbed in detail. In this study, we tried to discriminate the water route from the measured data by using the trimming algorism and reflectivity. The shoal and water route was elucidated by an analysis of the trimming algorism and reflectivity. Some important characteristics of the waters area in measurement data of the landform of the riverbed by the 3D laser scanner were showed

Key Words: 3D Laser scanner, rive bed, water area treatment, reflectivity, water route, shoal

1. はじめに

レーザプロファイラを河川工学に応用しようとする研究が昨今試みられている。従前、河道内の地形を測定する手段としては任意の間隔での断面測量に頼らざるを得なかったが、面的な情報が求められる場合には、労力あるいは資金面において現実的に困難、もしくは精度に問題があることが多い。また昨今、大容量な数値計算が比較的簡便に実行可能となってきたが、それら数値計算に用いる初期条件や精度検証の対象としてのデータなどが求められるとき、実河川における河道内地形のデータを求めることは難しかった。著者らは2年前より国土交通省との共同研究である河川懇談会の取り組みの一環として、下館河川事務所の協力を得、鬼怒川における河床変動の実測を行ってきたが、その中で3Dレーザスキャナ(数理設計研究所開発)^{1), 2), 3)}とよばれるレーザプロファイラを用いた河道内地形の測定を行ってきた⁴⁾。その中

で出水前後における測定結果の比較検討によって河床変動過程の考察を行い、また橋脚周りの局所洗掘に関してその変動量分布求めている。レーザプロファイラ自体が比較的新しい技術であるため、それを用いた河道内地形の最適な測定方法に関しても依然として模索中であり、また解決すべき課題も多い。その課題の中で最たるものが水の取り扱いである。現在の3Dレーザスキャナのシステムでは水底の地形を測定することは一般的にはできない。比較的水深の浅い限られた条件下での測定、もしくは高価・高出力な機材を用いた測定等によって水底部の地形が測定されたケースはあるが、一般的には依然として水底部の測定は難しい。よって現状では得られた測定データを見ると水が存在するものと思われる領域にデータが存在しない。河道内の地形変化を考察するにあたり、その地形を把握することは言うまでも無く重要なことであるが、もし仮にレーザプロファイラによって水の有無によらず水底部の地形も一様に測定可能であったとする

と、得られた一連の地形データのどの部分に水が存在したのか、という情報が今度は逆に失われてしまうことになる。湖底や海底など、一般的に水域が変化しない場合にはこのことは問題にならないが、河道内では水域は出水時の大規模変動を始め、日常的にも変化しており、その分布を把握することは重要となる。特に滞筋形状の把握は、河道内地形の変遷過程を考察する上で非常に重要なものである。

本研究では、現状の3Dレーザスキャナによる測定システムの欠点ともいえる水底部の測定が不可能であるという点を、逆に水域の識別機能と捉え、そのデータ特性を検討し、測定データから滞筋等の水域を抽出する方法を提案する。これらの知見は、今後水底部の地形測定を可能とし、さらに砂礫や植生を自動識別するシステムの構築を行う際に、河道内地形の測定に適したアルゴリズムを構築するための知見となるものであると考えている。

2. 現地観測の概要

測定の対象としている鬼怒川は全国的にも河床の低下が著しい河川であり、その対策は急務である。去る平成15年8月9日、鬼怒川は台風10号による出水に見舞われている。流量は $1,000\text{m}^3/\text{sec}$ 程度であり、出水規模としては小～中規模であり特に大きなものではない。しかしながら、結果として過去のより大規模な出水と比べ、滞筋が大きく変動した。表—1に、鬼怒川における過去3年間の出水および著者らの測定の履歴を示す。

表—1 鬼怒川における過去5年の出水および測定の履歴

	出水(流量? /s)	測定
H13/9	台風15号出水(2400)	
H13/12		第1回測定
H14/7	台風6号出水(2800)	
H14/8		第2回測定
H15/8	台風10号出水(1000)	
H15/8		第3回測定

平成14年7月の台風6号出水は大規模なものであり、川島地区では警戒水位を超え、危険水位に残り7cmに迫る出水となった。随所に洗掘・堆積が引き起こされ、河道内地形は大きく変化した。しかし大道泉橋直上流で右岸側より迂回してきた滞筋が橋の中央部から左岸側にかけて流れ込み、またその上流約400m付近では左岸沿いを流れていた滞筋と合流する、といった、滞筋の全体的な構造には大きな変化はなかった。写真—1および写真—2にそれぞれ台風6号出水前後の大道泉サイト(利根川合流点より上流約55km付近、大道泉橋上流側約1km四方)の様子を示す。また、図—1に大道泉サイトの模式図を示す。

写真—1 大道泉サイト(平成14年台風6号出水前)

写真—2 大道泉サイト(平成14年台風6号出水後)

図—1 大道泉サイトの模式図

写真—1は大道泉橋上流左岸側より下流方向、写真—2は大道泉橋の左岸端より上流方向の様子をそれぞれ撮影したものである。いずれも右岸側に大きな滞筋がある。図—2および図—3にそれぞれ平成14年台風6号出水前後の3Dレーザスキャナによる測定(表—1、第1および2回測定)結果を示す。3DLSの測定は測定地点から水平・鉛直に一定の刻み角度で回転させながらレーザ到達距離を測定していくものであり、図の点群はそれを水平面上の標高データに変換した際のデータが得られた座標の分布を示すものであり、ここではデータの無い空白部分をおよその滞筋とみなすことにする。

図?2 3D レーザスキャナによる大道泉サイトのデータ
測定座標の分布(台風 6 号出水前)

写真—3 大道泉サイト(平成 15 年台風 10 号出水後)

図?3 3D レーザスキャナによる大道泉サイトのデータ
測定座標の分布(台風 6 号出水後)

図?4 3D レーザスキャナによる大道泉サイトのデータ
測定座標の分布(台風 10 号出水後)

図—2 および図—3 とともに左側が下流側, 右側が上流側であり, 縦横の座標単位は m である. 図中には見えないが横軸約-200m の位置に大道泉橋があり, 図は大道泉橋上流の様子である. 図—2 は 3 箇所, 図—3 は 1 箇所の図中「測定器設置位置」からの測定を行ったものである. それぞれ橋の直上流部では右岸側に沿っていた滞筋が橋中央部へと流れ込んでいるのが見て取れる. 図—3 では測定ポイントが左岸側 1 点のみであるため右岸上流側のデータが不足しているため判然としないが, 橋上流側約 400m 付近の位置で滞筋が合流している形状であった. これらの計測結果に関する考察は前報⁴⁾に譲る. 写真—3 に平成 15 年 8 月の台風 10 号出水後の同サイトにおける様子を示す. 写真—3 は大道泉橋上から上流側を撮影したもので, 写真右端が左岸である. 写真には写っていないが, 右岸側には従前の滞筋も存在している. 写真右上部付近の遠景に見える植生帯を迂回するような新たな滞筋が左岸に沿って出現している. 比較的小規模な出水で大きな変動がみられ, これらのメカニズムの解明には非常に興味を持たれるが, 本研究では実地形の把握を目的とした.

図—4 に, 3D レーザスキャナによる, この平成 15 年 8 月における台風 10 号出水後の地形測定の結果を示す. 図中の点は, 図—2 および図—3 同様, 測定によって標高データが得られた座標を意味している. なお, この図—4 は後述の水域データの処理を既に施したものである. 図の左側が下流側, 右側が上流側であり, 横軸で-200 の断面に見えている直線分布のデータ群が大道泉橋の上流側形状である. 測定は左岸側 4 点および右岸側 1 点の計 5 点から行った. 3 点からの測定を行った図—2 や 1 点からのみの測定によって求めた図—3 と比較するとより詳細にデータが得られていることが伺える. しかしながら前述のとおり河道内の形状はかなり複雑になっている. まず, 図—2 および図—3 中にも見られた右岸側に沿う大きな滞筋は, 図中①に示したように依然として存在している. また左岸側から図中②で示した滞筋が合流している様子も伺える. 最も大きな変化は(250,-50)付近から図中③で示した新たな比較的大きな滞筋が分岐していることである.(300,-150)に④として「植生帯」と示しているが, この位置に分布する植生帯の存在が今回の大きな滞筋変遷に寄

与した影響が強いものと推察される。④の植生帯付近にデータが存在しないが、これは植生の遮蔽効果によってレーザが到達しないためである。③の滞筋左岸形状より左岸側の空白部分は全てこの植生および極端な起伏による遮蔽効果によってデータが得られなかった領域であり、水の存在を示すものではない。このような明らかに水域と陸域の区別ができる場合は問題ないのであるが、図—4中には視覚的には判別しにくいデータが現れている。図中⑤～⑥の位置に示した③の滞筋を遮るような湾曲した形状である。このような陸域が滞筋を遮るように存在することは考えにくいし、無論現地調査の際にも確認していない。考えられるのは浅瀬である。写真—3の下部がちょうどこの図—4中の⑤の辺りに相当するが、確かに一見一様に水域と見える領域にも浅瀬が数箇所存在しているようにも見受けられる。

今回の測定ではもう1つ水面の存在に起因する特徴的なデータが得られた。前述したが、3DLSの測定は測定地点から水平・鉛直に一定の刻み角度で回転させながらレーザ到達距離を測定していく。その結果得られるのは測定地点より、ある俯角をもって斜めから見た座標系における到達距離のデータである。そのデータを平面座標上の標高データに変換したものが、例えば図—4のような図である。図—5に座標変換前の、水平・鉛直角座標系における到達距離を測定した座標分布図を示す。図—4において横軸で-200～0、縦軸で-200～200ほどの領域に対応している。前述でふれた浅瀬が図中下部中央にある。データの得られている部分が白く、無い部分が黒く表示されている。図中丸く囲んだ部分の右岸側滞筋の水表面に遠景の形状が映し出され白く表示されており、水面であるにもかかわらずデータが得られていることが伺える。写真—4に、それにほぼ対応する付近の様子を示す。

図—5 座標変換前の測定座標分布

図—5の座標軸では、水平角 0.5° 、鉛直角 0.05° と測定の角度刻みが異なるため、図—5の段階では縦横の縮尺が異なる。よって比較用の写真—4も図—5と同様のスケールに縮尺を変えてある。写真右側に左岸側の滞筋があり、

写真—4 遠景を映す水面の様子

中央部の砂洲を挟んで対岸、写真左側に右岸側滞筋が見えている。問題はこの右岸側滞筋の水面に遠景の樹木の影が映っている部分である。図—5をみるとこの部分にデータを計測しており、一見流路を遮るように陸域が存在しているように見える。滞筋の抽出にあたってはこの部分の取り扱いが必要となる。以下でこれら3Dレーザスキャナによる測定結果中に現れる水域データの特徴とその取り扱いに関して考察を行い、全体的な滞筋抽出のアルゴリズムの構築を試みる。

3. 水域の取り扱い

(1) 水面の虚像

まず、前述の水面に写る遠景の虚像データの取り扱いに関して検討を行う。今回このようなデータが得られた要因としては、俯角が小さいこと、および遠景に高い樹木が存在したことが挙げられる。図—6に水面におけるレーザの反射と虚像の誤測定の模式図を示す。水面で反射したレーザは図—6中の点線で示したように入射角で反射し、遠方にある樹木などの対象を捉えてしまう。そのため水面と思しき部分にあたかも陸域が存在するように見えてしまうのである。この誤測定に対して本研究では公開中の特許アルゴリズムを応用することでデータの修正を試みる。すなわち俯角の上昇に伴って得られる距離では減少しない、というものである。基本的にレーザ照射の俯角が上昇すればその分遠方を捉えることになるので測定される距離は増加する。直立壁等でさほどの増加がない場合もあるが減少することはない。俯角の増加に伴って距離が減少する場合にその部分を除去するというものである。これらはそもそも陸域の樹木帯を除去し陸地の形状を抽出する際に用いられるものであったが、樹木ではなく水面の反射によっても同様の測定結果となることが分かった。図—6中の点線の距離は本来測定したい水面までのものではなく、遠方水面での反射を経由した遠方の樹木までの距離となっている。図中の実線で示した陸域は正常に測定されるので距離11は水面より遠方の陸域までの測定距離12よりも大きくなっている。

図—6 水面でのレーザの反射と虚像の誤測定の模式図

図—5 の滞筋上にデータが存在する領域の断面を抽出し、その断面における低水路右岸までの距離の測定結果を図—7に示す。図中測定距離と示したものは実際の測定結果、A～Eの各点とそれら各点を結ぶ線分は説明のための模式的なもの、および算出された水面の位置である。

図—7 右岸側滞筋の右岸までの測定距離の断面図

A の位置にある 3D レーザスキャナからのレーザは本来 B の水面までの距離を測定するために照射されたものであるが水面で反射することによって遠景の C 地点の地形を捉えてしまう。そのためそのままこれを距離に換算するとこの角度で照射されたレーザが捉えた対象までの距離は $AB+BC$ であるので、D の位置に測定対象が存在しているように見える。俯角を上昇させた測定では正常に E 地点まで距離を捉えるので、この右岸側低水路の右岸形状は図中の測定距離と示したラインのようになる。そこで E 地点付近の測定距離が極値を持つ部分を水面とし、それ以下の部分を虚像の誤測定として除去するのである。このアルゴリズムは実際にオーバーハングしている地形を消してしまうものであるため、その適用には注意を要する。今回対象としている領域に関しては問題な

いことを確認しているが、河岸がオーバーハングすることは珍しくないだけに、今後それらを統一的に扱えるよう、さらにアルゴリズムを改良する必要がある。これらのアルゴリズムを用いて水面の虚像による誤測定を除去したものが図—4 に示した平面図である。

(2) 浅瀬

次に図—4 の⑤～⑥付近に見られる滞筋を遮断するような地形について考察を行う。写真—4 の下部中央付近がこれにあたり、浅瀬が存在することが分かる。現状の 3D レーザスキャナによる測定システムでは、本研究のように俯角の小さい条件での測定においては、基本的に水面では反射を起こしデータを得ることができない。前述の水面反射による虚像の誤測定はその例外である。しかし浅瀬では波立つ水面や見え隠れする河床、そして浅い水深などの条件によって、データが取れてしまうことがあるため、一見そこに陸域が存在するように見える。一旦それが陸域と判定されるとこれまでは他の完全な露出部と区別ができなかった。しかしながら滞筋を抽出する際にはそれらの領域を他の領域と区別し、流れが存在する浅瀬として取り扱うことは重要である。本研究では測定の際に得られる反射率をパラメータとした浅瀬の識別を試みる。3D レーザスキャナでは照射したレーザと受け取る反射光の比によって反射率を計測している。図—8に、図—5 に対応するデータの反射率の等高線図を示す。

図—8 反射率の等高線図

同様に図の右側が上流側、左側が下流側である。図の中央やや上部に右から左方向に右岸側の滞筋が見えている。横軸で-160、縦軸で50付近に前述の水面に映った遠景の虚像データによるものと思われる高い反射率が現れているのが分かる。右下付近に左岸側の滞筋の一部が見えている。その流れの先横軸で-140、縦軸で-100 辺りが問題の浅瀬であるが、反射率が急激に落ちていることが分かる。反射率は0～255の値で表現されており、図—8中では完全に露出している陸域において最大で約120程

度の値である。問題の浅瀬部分では1ケタから10程度であるので、およそ陸域の1割程度の反射率となっており、これによって一見様な陸域のように見えるデータ群を通常の陸域と浅瀬に分離することが可能であると思われる。測定領域全般に渡りこの反射率によって陸域と浅瀬を分離すると、およそ図—9 のようになった。図の下側に左岸側の植生帯が示してあるが、それより上部の黒い部分が陸域、白い部分が水域である。浅瀬は1~4の番号を付して示してある。①および②の部分の浅瀬では10程度、③および④の浅瀬では30程度の反射率であった。③および④に関しては水域であることは確認しているが、極端に低い反射率であるといえるかどうか疑問もある。条件によっては30程度の反射率を示す陸域も存在するからである。また、右岸側滞筋は図中の対岸形状にそって滞筋が存在することを確認しているが、それが再現しきれていない。ここでは③の部分の浅瀬として識別するだけでは不十分なようである。

図—9 反射率フィルターによる滞筋の抽出

閾値を高くすることによって不足分の水域を浮かび上がらせることは可能であるが、それに伴って陸域も削除されていくため、その設定には慎重を要する。これらは今後さらにデータを蓄積し検討を進めていく必要がある。しかしながら、図—9を見ると、事前に植生帯と分かっていた領域以外に関しておよその滞筋形状は抽出できているものと思われる。

4. まとめ

以上、本研究では、現状の3Dレーザスキャナによる測定システムの、照射レーザが水面で反射し測定が不可能となるという特徴を用いて、河道内地形に対する測定結果から滞筋や浅瀬といった水域を抽出するアルゴリズム

を検討した。以下に、本研究で得られた主な結果を示す。

- (1) 3Dレーザスキャナで河道内地形を測定した場合、基本的には遮蔽物によって測定できなかった部分を除き、データの無い部分が水面となっている。
- (2) 測定の俯角が小さく遠景に比較的高い物体が存在する場合には、照射レーザが水面で反射し遠景の物体を誤測定することによって本来水面域であるはずの部分にデータを測定してしまうことがある。
- (3) 水面反射による誤測定は俯角上昇に反して距離が減少する領域を捉えることによって除去することができる。測定距離の極地が水面と考えられるが、もともとオーバーハングしている地形には適用できない。
- (4) 陸域として測定されているデータの中には反射率が極端に低い部分があり、本研究においては浅瀬がそれにあたる。反射率データは種々の測定条件(測定日の天候等)によって変化することが予想されるため、最適な閾値の特定に関しては、今後さらにデータ収集と検討が必要である。
- (5) 水面反射による誤測定データの除去および反射率パラメータによる浅瀬の抽出によって、河道内地形データ中のおよその水域を把握することができた。

謝辞：本研究は、国土交通省下館河川事務所との間で進められている鬼怒川を対象とした河川懇談会共同研究の一環として行われたものである。ここに記して関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 藤永清和, 名倉裕, 永島明: 大西山崩壊地の3Dモデル作成, 平成13年度砂防学会研究発表会概要集, pp.394-395, 2001.
- 2) 藤永清和, 名倉裕: レーザスキャナによる地形の形状測定, 平成14年度砂防学会研究発表会概要集, pp.276-277, 2002.
- 3) 数理設計研究所, <http://www.madlabo.com/mad/>
- 4) 松本健作, 名倉裕, 玉置春朗, 小葉竹重機, 清水義彦, 秋山圭史郎: 3Dレーザスキャナによる鬼怒川の河道内地形の実測とその河川工学的応用, 河川技術論文集, Vol9, pp.253-258, 2003.
- 5) 安田浩保, 武富一秀, 館健一郎, 金木誠: 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お作成に関する研究, 河川技術論文集, Vol.9, pp.247-252, 2003.

(2003.9.30 受付)