

3D レーザスキャナによる河道内地形測定における 測定対象の識別に関する研究

A DISCRIMINATION METHOD OF MEASUREMENT DATA OF THE RIVERBED
LANDFORM BY USING 3D LASER SCANNER

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 was applied for measurement of 3-dimensional shape of the landform of riverbed of Kinu River. The results show that the 3D laser scanner can measure the 3-dimensional shape of the landform of the riverbed shape with good accuracy. The riverbed deformation of the local scour around the bridge pier was also calculated. The result shows that accumulation and scouring distribution around the bridge pier in detail. These results show that the 3D laser scanner is able to use for river engineering by measurement of 3-dimensional shape of the landform of riverbed. Measurement of the landform under the water was indicated as problem in the future.

Key Words: 3D Laser scanner, discrimination method, river bed deformation, local scouring

1. はじめに

レーザプロファイラ技術によって測定対象の形状を面的に捉えようとする試みが盛んに為されている。レーザの反射を捉え座標上で認識する技術自体は日進月歩で進み一応の確立をみているが、その実際の適用に関しては、将に今現在多くの研究者によって様々な検討が為されているところである。三戸ら¹⁾はのり面・崖地の形状取得に3Dレーザスキャナを用い、応用地質分野への活用を検討している。また平田ら²⁾による航空機レーザスキャナを用いた森林計測に関する取り組みなど、リモートセンシングの分野でもその注目度は高い。河川工学の分野でも安田ら³⁾は数値標高情報に基づいて河道形状情報を作成する試みを行っており、また最近では地形形状の取得という本来

の目的の他にも、流下する浮子の追跡から実河川の表面流速や水面勾配を計測しようとする岡田ら⁴⁾の試みなどもある。

著者らは数年前より3Dレーザスキャナ(Riegl製)による測定結果を独自のデータ解析システム((株)数理設計研究所^{5),6),7)}開発)によって解析することによって河道内地形の3次元地形形状を把握する試み^{8),9)}を進めてきた。

3Dレーザスキャナによる測定技術を河道内地形に適用する場合には、水域の取り扱いが特に重要となる。河道内地形への適用に際して最も期待されることは濤筋や砂洲といった複雑形状を面的に把握することである。これは従来の横断測量ではカバーしきれない問題であり、3Dレーザスキャナのように面的なデータの取得を得意とする技術にとって大いに有効な適用分野といえる。

レーザの受光によってそこに何がしかの対象が存在することは分かるのであるが、その測定対象自体がいったい何なのか、という情報は取得することはできない。それらは現状では人間の判断によって取捨選択されており、それ無しでは検討に耐える結果を得ることが難しい場合が少なくない。3D レーザスキャナは高密度で多量の面データを測定する点に大きな優位性があるのであるが、それに伴って手作業の必要性が激増したのでは真に有用な技術とはならない。そこで本研究では 3D レーザスキャナによる測定結果の自動処理による効率化の一環として、測定対象の自動識別に向けた取り組みを行うこととした。すなわち河道内に存在する砂礫、水域、コンクリートおよび植生についてその測定データの特徴を調べ、それらを用いた測定対象の識別アルゴリズムの作成を目指すものである。

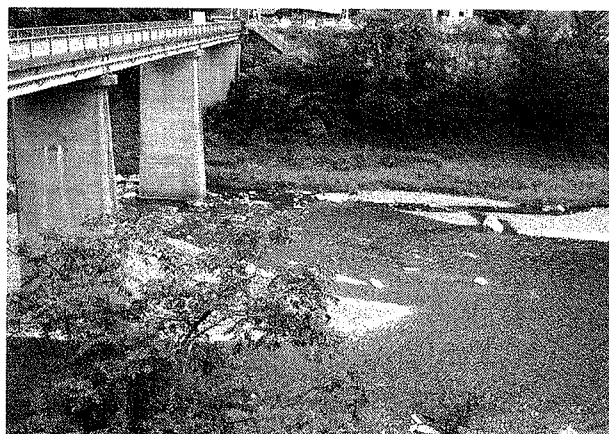
2. 測定結果の考察

図—1 に測定結果の 1 例を示す。



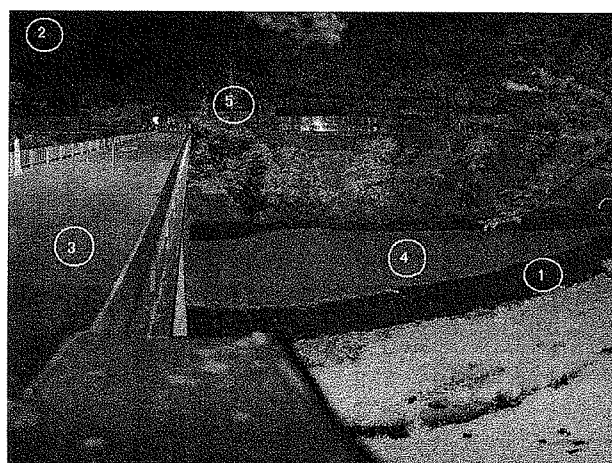
図—1 測定距離イメージ

図—1 は測定器からの距離が 0.056m から 347.776m までの対象地形の測定距離をグレースケールで示したものである。近いほど濃く、遠いほど薄く表現されている。測定対象は河川(群馬県上野村の神流川上流部古鉄橋周辺)を対象とした測定結果で、左岸側の橋梁の袂から河道内を俯瞰するように測定した結果である。測定ポイントとアングルが多少異なるが、およその様子を写真—1 に示す。上流(写真右)側から流下する流れが橋の上流で左右に分離し、橋の直下付近は浅瀬となっており、それに挟まれるように中州が形成されて



写真—1 神流川古鉄橋上流部(左岸側より俯瞰)

いる。また左右岸には植生の繁茂が見られる。図—1 を見ても、このままでは対象地形の様子が写真—1 のようになっていることはよく分からない。図—1 はそもそも測定距離のイメージ図であるので、これから周囲の様子を認識するためのものではない。しかし実際の利用に際しては、この測定結果を 3 次元座標系に変換するなどしたうえで、目的に応じたデータ処理を行っていくのであるが、その際に目的に応じたデータを取捨選択しなければならない。



図—2 受光強度イメージ

測定対象が単一の材質である場合などは問題無いが、河道内地形の測定を行う場合には、砂礫、植生、水、河川構造物等の様々な対象が混在している場合が多い。例えば河床の変動量を算出するためには表層の植生分を除いた地形を把握しなければならないし、滞筋形状の把握には水域を正確に把握しなければならない。

図—1 中に①から⑤まで番号を付してあるが、①および②はデータを取得しなかった領域である。しかし①と②ではデータを取得しなかった理由が異なる。すなわち①は水面でありレーザの反射光

有効距離を越えたことでレーザが届かなかったことに起因するものである。③は橋梁である。③の橋梁を表す濃い形状が左岸の袂から右岸側に伸びており、①の滞筋等の河道内地形が遮蔽されている。④は河道内地形であり、滞筋に挟まれた橋梁下部の中州である。⑤は遠景に見える植生部分であり、一見しただけでは地形と植生を識別することは困難であるように見える。実際にはカラー画像を得ることができるが、その場合でも測定対象を正確に識別することは困難である。

図—2 は図—1 に対応する受光強度のイメージ図である。付された①～⑤の数字も図—1 に対応させてある。

3D レーザスキャナ測定では測定対象の座標と同時に受光強度を測定している。受光強度は0から255までの整数値で表され、その値は測定対象の材質、色、表面構造のみでなく測定を行う際の気象条件等によっても様々に変化する。

図—2 を見ると図—1 に比べて多くの情報を読み取ることができることが分かる。例えば図—1 では判然としなかった④の河床と⑤の植生の違いも一見して識別できる。データ処理に際して、別途撮影しておく写真画像等で測定地形の識別を行う手間を減ずるために、以下に、この受光強度イメージによる付帯情報を加味して測定対象の自動識別を行う方法を検討する。

3. データ特性による対象識別アルゴリズム

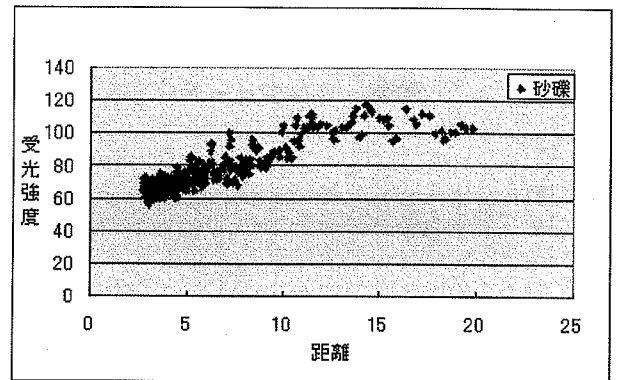
(1) 距離と受光強度の関係

まず、受光強度と距離の相関性について検討を行った。図—3 にサンプル用イメージ図を示す。



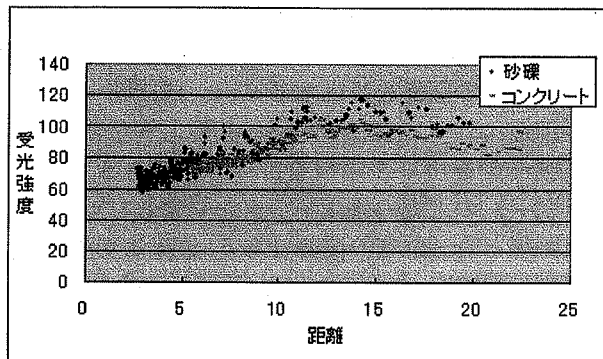
図—3 サンプルイメージ(河川堤防天端)

た測定距離のイメージ図である。受光強度は測定対象の材質や形状によって変化するため、受光強度と距離の関係を検討するには、ほぼ同一の対象が遠近に亘って存在する図—3 のようなサンプルイメージを用いて検討を行う必要がある。図—4 は図—3 の天端の地面データを対象として抽出した距離と受光強度の関係である。縦軸に受光強度、横軸に距離をとっている。

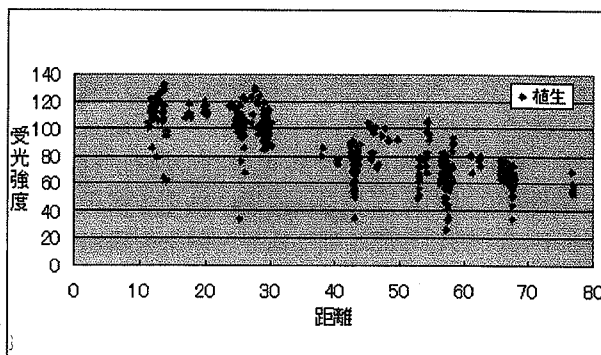


図—4 距離と受光強度の関係

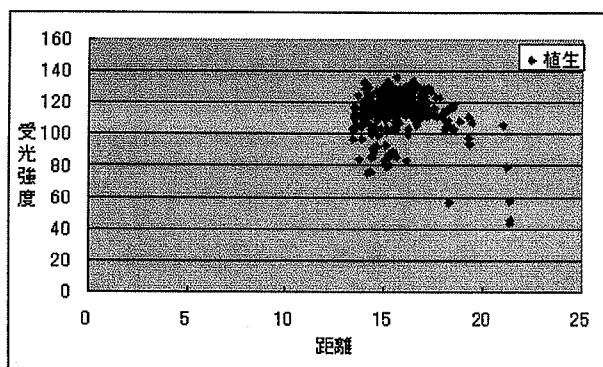
図—4 を見ると、約12～15mほどまでは距離の増加とともに受光強度が増加し、その後ほぼ一定の値を保っている傾向が見て取れる。一般的にレーザ強度は距離とともに減衰することが考えられるため15m以内で距離の増加にともなって受光強度が増加していることは予想に反する結果であった。図には示していないが、他の測定結果を用いた検討においても同様の傾向を確認することができた。測定器内部の受光強度算出方法の詳細が不明なため正確には分からないが、受光強度は反射光の強度と距離の何らかの関数値として算出される値であり、一定の距離においてピーク値を持つという特性を持っていることが分かる。あるいは鉛直角度やレーザスポット形状の変化による影響など、様々な要因が考えられるが、ここではその詳細については議論せず、これらの特性を踏まえたうえで、その知見によって、いかに測定対象を識別するか注目することにする。図—5 および図—6 は同じく距離と受光強度の関係を砂礫、コンクリートおよび植生について表したものである。これらはそれぞれ同じ測定画像から抽出してあり、測定条件は同じである。ここでの砂礫は河道内における陸地部分の総称として用いており、その礫径や材質に関しては区別していない。植生のデータは同一の図に示すと判別が困難となるため図—6 に別途示すこととした。



図—5 距離と受光強度の関係
(砂礫・コンクリート)



図—7 距離と受光強度の関係(植生)



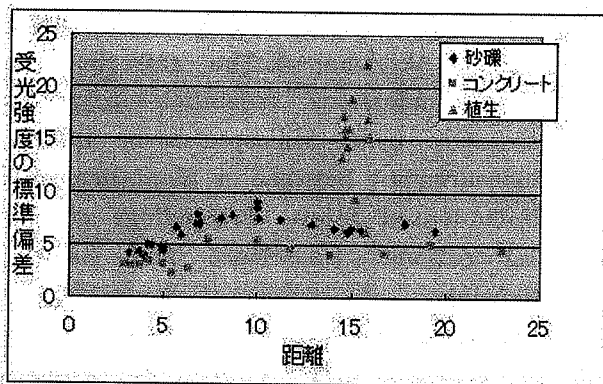
図—6 距離と受光強度の関係
(植生)

砂礫およびコンクリートに関しては、図—4 と同様に約10m前後まで距離とともに増加しその後一定の値を保つ、もしくは漸減しているように見える。両者を比較すると、距離と受光強度の関係はほぼ同様の傾向を示すことがわかり、このことは距離と受光強度の関係から砂礫とコンクリートを識別することが困難であることを示している。次に植生であるが、ここでの植生とは芝生等の下草ではなく数10cmから数mの範囲で繁茂する草本類を指している。広いレンジに亘ってほぼ同種の植生の分布している画像を得ることができなかった為、およそ13m～22mほどの距離に存在する植生に限定された結果になっているが、その分布は砂礫やコンクリートとは明らかに異なる傾向を示すことが分かる。すなわち植生域の受光強度は、一定の距離であってもその変動が他の対象と比較して大きいという傾向である。植生域では繁茂している葉によってレーザが反射する際、その葉の向きや形状もしくは色などによって強く影響を受けると考えられる。図—7に様々な測定画像の中から植生域のみを対象として距離と受光強度の関係を示す。

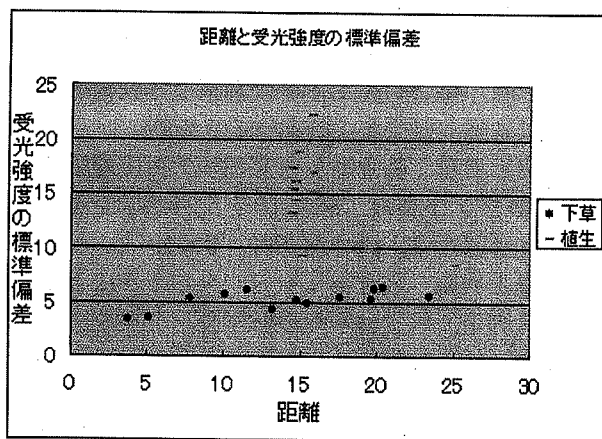
植生帯は連続して分布しておらず、そのため断続的なデータ分布になっている。雑多な植生のデータが混在していることにもよると思われるが、同一距離においてもその受光強度の分布に大きなバラつきがあることが確認できる。この同一距離における受光強度の大きな変動は3Dレーザスキャナ測定に際しての植生域の大きな特徴の1つであると考えられる。

(2) 距離と受光強度の標準偏差の関係

そこで次に、受光強度の標準偏差について検討を行った。サンプリングにあたっては、距離依存性を消すため測定画像内で横方向にデータを抽出し、大きな距離変動が起きないように心がけた。実際には、植生に関してはレーザの通過率が場所毎に大きく異なる場合もあるため、横方向断面でのデータ抽出が必ずしも距離の影響を消すことにならない場合がある。そのため抽出データの距離の標準偏差を求めそれが1未満のものについて考察を行うこととした。図—8に砂礫、コンクリートおよび植生に関しての、距離と受光強度の標準偏差の関係を示す。標準偏差の算出にあたっては測定画像の状態に応じて100～500程度のサンプリングデータを用いて行った。図—8をみると、図—5でははっきりしなかった砂礫とコンクリートの違いが現れている。すなわちコンクリートに比べ砂礫の方が大きな標準偏差となり、表面形状の起伏の有無によるデータ特性が抽出できているものと思われる。また、受光強度に大きなバラつきが見られた植生に関しては、やはり標準偏差にも大きな変動を示している。図—8をみると受光強度の標準偏差を用いると砂礫、コンクリートおよび植生といった河道内地形を代表する諸相がある程度識別することが可能であることが分かる。ここで図—9に植生と下草に関する、距離と受光強度の標準偏差の関係を示す。



図—8 距離と受光強度の標準偏差の関係
(砂礫・コンクリート・植生)

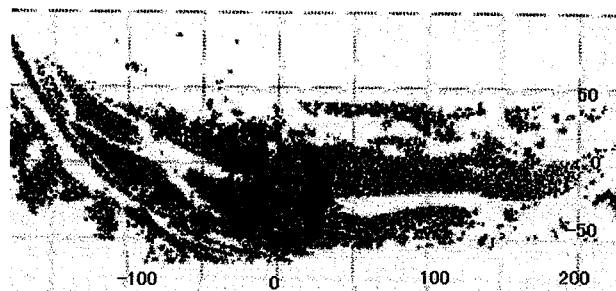


図—9 距離と受光強度の標準偏差の関係
(植生・下草)

ここでの下草は、雑草のような比較的背の低い植生の総称として用いている。下草に関しては受光強度の標準偏差は植生と大きく異なることが分かる。下草の受光強度の標準偏差値は平均5程度で距離によらずほぼ一定の値を示しており、これは図—8 中に見られるようにむしろコンクリートに近い傾向を示している。受光強度の標準偏差による識別では雑草等の下草かそれ以外の植生か、という識別はできても、下草とコンクリートとの識別ができない。雑多な植生相の混在が考えられる河道内地形への適用にあたっては、今後さらに様々な識別方法の確立が必要である。

(3) 測定対象の識別

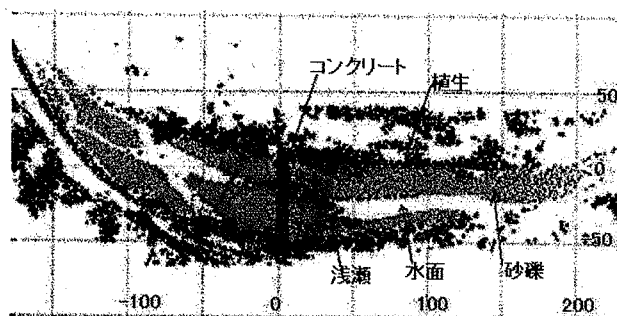
以下に、これまでに述べた測定対象の識別手法に、水面および浅瀬の識別手法⁹⁾を加えて行った、測定結果の識別例を示す。図—10 は神流川古鉄橋付近の測定結果である。直行座標に変換し、複数の測定結果を用いて合成したものであり、黒い点群はデータを取得した座標を表している。



図—10 神流川古鉄橋付近の測定データの分布
(識別処理無し)

横軸が流下方向であり、図の右側が上流、左側が下流である。施してあるグリッド線は50m間隔であり、図—10 では判別しづらいが横軸0の位置に古鉄橋が存在している。現地の様子が分かっているならば、データの無い領域がおよその滞筋であることなどの判断がつくが、このままでは利用しづらい。

そこで各種対象識別アルゴリズムを用いて識別を施した結果を図—11 に示す。



図—11 神流川古鉄橋付近の測定データの分布
(識別処理有り)

まず、砂礫帯の形状を浮き立たせ、それに挟まれるデータの無い領域を水面とした。コンクリート部分を抽出すると古鉄橋の形状が浮き出ている。そして古鉄橋直下の中州周辺には水面でありながら陸域のようにデータが存在している領域があるが、これが浅瀬である。砂礫部分を囲うように植生域がある。図—11 を見ると、河道内地形の様子を直感的に把握できる。図では上部より見た平面的な表現になっているが、これらは標高情報を有する3次元地形形状であり、この状態まで加工してデータ供与できれば様々な用途に資することのできる有益な情報足りえるものと思われる。

しかし砂礫の礫径や植生種の識別、また依然として大きな問題として残る水底部の地形情報の取得、ひいては安定して測定を行い、データを提供できる体制の確立など、残された課題も多い。

4. まとめ

以上、本研究では 3D レーザスキャナによる測定結果に各種データ特性を用いた対象識別アルゴリズムを用いることにより、測定結果を種々の用途に対してより有益な情報へ変換することを試みた。本アルゴリズムを用いれば人的労力の著しい増加無しで識別情報を付帯させることができ、今後 3D レーザスキャナを河川工学の分野で活用するにあたって大いに有益である。しかしながら河道内にはさらに雑多な砂礫、植生等が存在することから、今後さらなる詳細かつ簡便な識別手法を検討していく必要がある。

謝辞：本研究は、神流川を対象として進められている群馬県との共同研究の一環として進められた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 三戸嘉之, 本多政彦, 小野尚哉, 藤井徹, 安原裕貴, 浅野広樹, 石井靖雄: のり面・崖地の高密度三次元座標データの取得と応用地質分野への活用—2 点間の高精度計測から, 面的な高密度計測へ—, 応用地質, 第 42 巻, 第 6 号, pp.351-364, 2002.
- 2) Hirata, Y., Sato, K., Sakai, A., Kuramoto, S., and Akiyama, Y.: The extraction of canopy-understory vegetation-topography structure using helicopter-borne LIDAR measurement between a plantation and broad-leaved forest, Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium-IGARSS'03(CD-ROM), 2003.
- 3) 安田浩保, 武富一秀, 舘健一郎, 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の作成に関する研究, 河川技術論文集, 第 9 集, pp.247-252, 2003.
- 4) 奥平崇, 岡田将治, 清水真人, 山田正: 3D レーザスキャナを用いた河川表面流速と水位計測, 第 31 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集(CD-ROM), 2004.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) <http://www.madlabo.com/mad/>
- 8) 松本健作, 名倉裕, 玉置晴朗, 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, 第 9 集, pp.253-258, 2003.
- 9) 松本健作, 名倉裕, 玉置晴朗, 小葉竹重機, 清水義彦, 秋山圭史郎: 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, 水工学論文集, 第 48 巻, pp.727-732, 2004.

(2004. 4. 7 受付)