

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

FIELD MEASUREMENT OF 3-DIMENSIONAL SHAPE OF THE LANDFORM OF RIVER
BED OF KINU RIVER 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 and
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, river bed shape, river bed deformation, local scouring

1. はじめに

河川整備における新技術の適用が近年盛んに行われている。河川行政の変化や周辺住民などの河川に対する期待・要望に伴い、そのための新たな技術の導入が試みられているのである。

社会全体の中で特に目覚ましい発展を遂げているのが IT 革命に代表される情報技術であるが、それらの技術を河川技術としていかに応用していくか、ということが、現在の河川工学者に課せられた大きな課題の1つといえる。河川 GIS への取り組みをはじめとする、河川に関する種々の情報をデータ化し有効に利用していく試み等がこれにあたる。

著者は現在、河川懇談会(平成 13 年度、河川構造物周辺の局所洗掘の実測と予測精度の向上)に参

加し、鬼怒川を対象として河床変動や局所洗掘といった問題に対する検討に取り組んでいるが、この、河道内の土砂の管理・制御といった問題も、第2次河川技術開発五カ年計画の分科会における課題に挙げられているように、大きな進展が要望されている分野である。

本研究はこれらの背景を鑑み、鬼怒川を対象とした河床変動、局所洗掘を検討するにあたり、新たに 3D レーザスキャナという 3 次元地形計測器を用いて河道内地形の 3 次元計測を行った。そして結果の検討を行い、これらの取り組みが、河床変動、局所洗掘のといった問題に対してどのような知見を提供し、河川技術の向上に資することができるかということに対して考察を行った。

2. 3D レーザスキャナの概略

河床変動や局所洗掘等の検討を行うにあたって、まず必要となるのが、その河道内の地形を正確に把握することである。従来これは、横断測量を行って代表断面における形状を計測することによって行われてきた。大まかな傾向を掴むためにはこれで十分である場合も多いが、土砂移動現象に関する種々の素過程を検討しようとする際、やはり面的な情報を与える3次元地形データがあることが望ましい。

本研究で用いた3Dレーザスキャナ(数理設計研究所 <http://www.madlabo.com/mad/>)¹⁾は地形の3次元形状を比較的容易に計測できるものである。

写真-1及び2はそれぞれ長距離型(LPM-2K)及び中距離型(LMS-Z210)の3Dレーザスキャナである。有効距離は対象の反射率にもよるが、長距離型が2km程度であり、中距離型は250m程度である。両者共に一旦セットすると自動的に周囲の地形の3次元プロフィールを計測できるものであるため、計測中の人的労働は必要ない。300m内であれば数分、それ以上の広範囲な対象に対しても数時間で測定が可能である。また光波測距儀による測定の際に必要な反射板は無くても計測できるため、崖の対岸や山腹の崩壊危険地域、あるいは滞筋に分断された砂洲等も安全な遠隔地から計測できる。通常の雨天においても計測可能であるため、例えば出水中に橋の上など安全な場所から河道内地形を計測することも可能と思われる。しかしながら欠点として現状では水中の地形が計測できない。河川工学への適用を考えた場合、水中の地形が計測できないことは大きな欠点となるが、これについては今後の課題とし、現状で得られた結果の範囲で、河川工学にとっての有効性を検討することとする。

2. 現地観測の概略

計測の対象としたのは鬼怒川の、利根川合流点より上流約55km付近の大道泉サイトと22km付近の石下サイトである。鬼怒川は約45km付近の川島を境にして河床勾配が1/700程度から1/1400程度に急変する。それを境にして上流では礫・砂の混合から下流では砂のみというように河床材料も急変する。

本研究における計測はこれらの状況も鑑み、川島の上流側として大道泉、下流側として石下という2つのサイトを選定したものである。大道泉サ

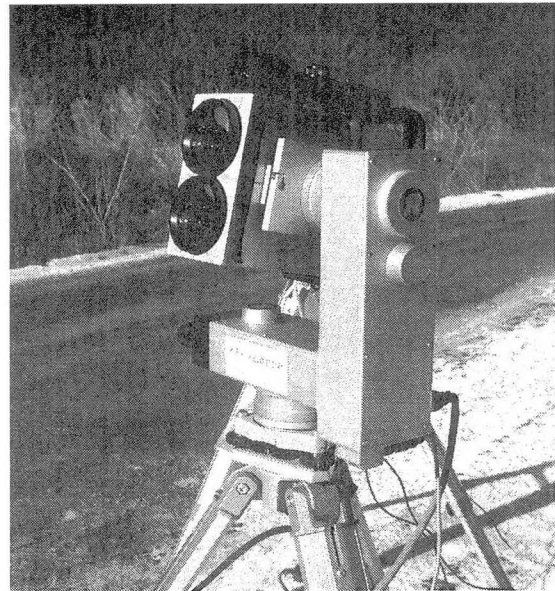


写真-1 長距離型レーザスキャナ

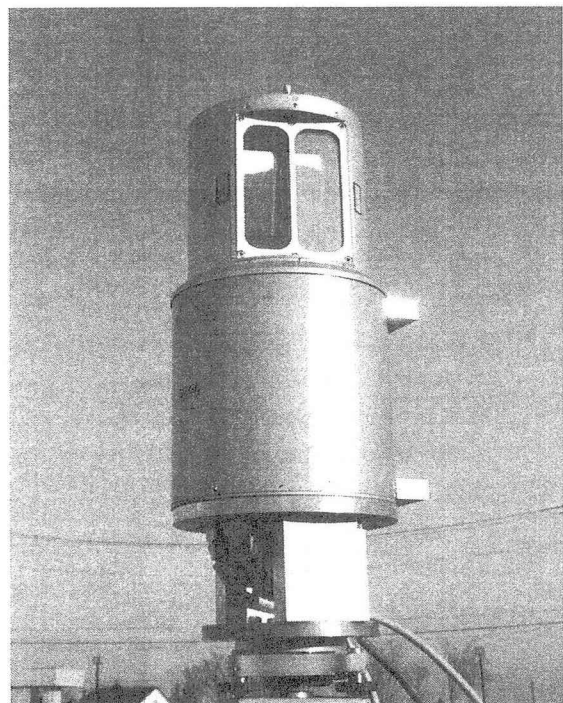


写真-2 中距離型レーザスキャナ

イトでは河道内全域にわたる河床変動の様子、石下サイトでは石下大橋第2橋脚における橋脚周りの局所洗掘にそれぞれ注目して検討を行った。

計測は、平成13年12月及び平成14年8月に行った。その間鬼怒川では平成14年7月に台風6号による出水に見舞われている。

この台風6号は本州の南海上を北東に進み、千葉県富津市付近に上陸し、その後茨城県東部を進みながら三陸沖を北上し、北海道へ抜けた。その間、鬼怒川流域でも雨が降り続き、日光で最大時間雨量39mm、総降雨量486mmというもので、

において警戒水位を上回り、水海道では危険水位に10cm程に迫る水位を記録した。

よって本研究では、この平成14年7月の台風6号による出水前後の地形データから、各サイトにおける河床変動の様子を3Dレーザスキャナの計測結果から把握し、それに関する考察を行うものである。

3. 結果及び考察

(1) 大道泉サイト

写真-3, 4は左岸よりそれぞれ下流, 上流を撮影した大道泉サイトの様子である。

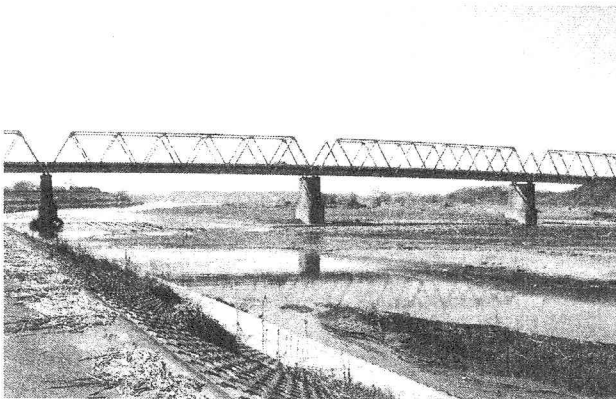


写真-3 大道泉サイト(左岸より下流を俯瞰)

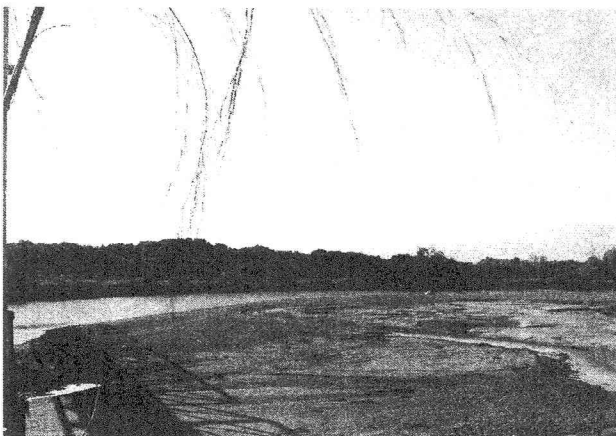


写真-4 大道泉サイト(左岸より上流を俯瞰)

今回の計測は写真-3にある大道泉橋の上流側約500m四方の領域を対象とした。写真-4に低水路右岸に沿って湾曲している滞筋が見られる。

図-1は平成13年12月における、大道泉サイトの3Dレーザスキャナによる計測結果で、標高データの取れた座標の平面分布である。横軸は左右がそれぞれ下流および上流方向であり、縦軸は上下がそれぞれ右岸および左岸方向である。以下、

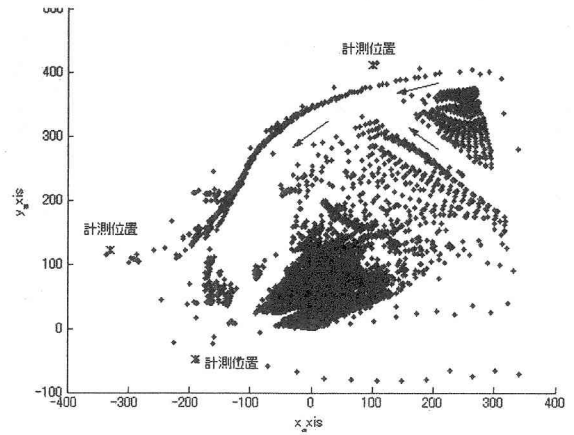


図-1 3Dレーザスキャナによる大道泉サイト(平成13年12月)のデータ計測座標分布

文中の各図とも同様の座標方向をとるものとする。縦横それぞれにおよそ500m四方の地形に対して、データ処理の段階で間引きをし、今回の計測においてはおよそ19万点の測点における標高データを取得した。3Dレーザスキャナはプログラム制御によって一定の刻みで水平方向に回転しながらレーザを照射して計測を行うものであるため、データは計測器に近いほど密に、遠方ほど疎になる。また、図中データの無い空白部分が集中している領域があるが、それらは水面もしくは極端な凹凸や障害物によってレーザが届かず計測出来なかった部分である。水中に関しては現在のところ計測することはできないが、凹凸に関しては複数方向からの計測結果を合成することで補完することができる。図中3箇所の「計測位置」は計測器の設置場所で、本計測の際には、3方向からの計測結果を合成しデータの補完を行った。その結果、対照領域に関して、滞筋以外のほぼ全域の標高データを得ることができた。図中に示した矢印は、現地の状況から判断できる滞筋の流下方向である。

これらの座標上における標高データから得られた等高線図を図-2に示す。図-1の比較的データの密な領域を対象として10cm間隔の等高線図として作図した。計測器の高度を基準とした高低差で表しているため、標高が負の値で表されている。図中3箇所の矢印は図-1のものと同様の滞筋の流下方向である。図中、X軸で280m付近に横断方向に1列に並んだ3つの点は国土交通省下館工事事務所設置の砂面計である。本研究の考察にはそれらの結果は用いていないが、座標を規定する基準として参考までに付してある。水中部に関しては作図の段階で周囲の地形から単純な線形補完を施したものであるため、定量的な評価はここではしない。しかしながら、現地の状況を考慮に入れて

把握するうえでは十分役立つ知見を提供できそうである。X軸で-50~100, Y軸で0~200辺りの領域は他の地形より2~3m程度低くなっており、これらの様子は現地の様子を良好に再現できている。

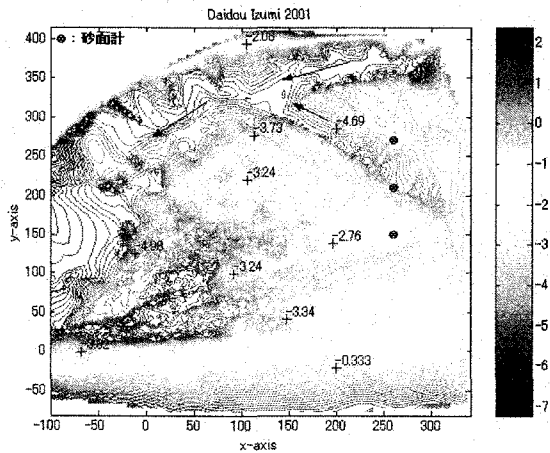


図-2 3Dレーザスキャナによる大道泉サイト(平成13年12月)の計測結果(10cm間隔等高線)

図-3に、同断面の3Dレーザスキャナと横断測量による計測結果の比較を示す。利根川合流点より55km, 図-1及び図-2においてはX軸で-25にあたる断面である。

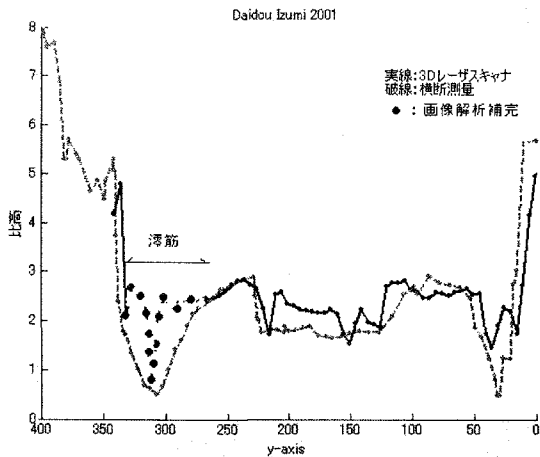


図-3 3Dレーザスキャナと横断測量の比較

図中の実線および破線は、それぞれ3Dレーザスキャナおよび横断測量による計測結果である。Y軸で270~330付近は明らかに滞筋にあたり、3Dレーザスキャナでは計測を行っていない。それら区間のデータは周囲の地形を用いた画像処理によって算出したものである。図中にはその画像解析による補完値のみを点で表記してある。最深部に関しては結果的によく一致しているように見える

この水中地形に関しては考察を行わない。それ以外の領域を見てみると、まずまずの一致を見せていることが分かる。Y軸で100~220付近の中州のくぼ地では3Dレーザスキャナの計測結果の方がやや過大気味である。この原因としては植生等の障害物にレーザが照射されたときにそれを地形と誤認してしまっている、ということが考えられる。こればデータ処理の段階である程度労力をかけることにより精度向上を望むことはできるが、画像処理等による有効な植生-地形分離のアルゴリズムを開発していくことも今後必要であろう。また、3Dレーザスキャナによる計測後約3ヵ月後に行われた横断測量との比較であり、大きな出水はなかったものの、その間に起きた多少の変動の影響も含まれていることが考えられる。現システムの精度は1kmで最大1m程度の誤差と想定されている。しかしながら3Dレーザスキャナで計測するのは面データであり、測量データのような点データの計測と一概にその精度を比較することはできない。高密度なデータの集合であるならば、いわゆる「精度」が多少落ちたとしても、データとしての価値は減るものではないと思われる。周囲に多数存在するデータを考慮に入れながら計測結果の意味を類推することも可能であるし、また例えば全体的な地形分布を俯瞰した上で必要と思われる箇所を任意の断面形状として抽出する等、従来の地形計測と比べ利用方法も多岐にわたる。

(2) 石下サイト

石下サイトでは、石下大橋第2橋脚の周囲における局所洗掘に注目することとした。ここは平成12年に大規模な局所洗掘に見舞われ、その後根固め工が施されたが現在また橋脚まわりで局所洗掘が起こっている地点である。写真-5は、その第2橋脚の下流側から上流側向かって撮影した、平成13年度時点で様子である。平成13年12月の第1回計測の時点で既に写真のような局所洗掘に見舞われていた。洗掘形状は、写真にあるように左岸下流側が洗掘されずに残る馬蹄形であった。出水時に右岸側から左岸側に向かう流れが出水時にこの第2橋脚付近で起きていたことが伺える。図-6は同地点の3Dレーザスキャナによる計測結果で、シェーディングを施した3次元地形形状である。計測は写真-2に示した中距離型を用い、橋脚周囲からの複数回の計測結果を合成して補完したものである。左岸下流側の様子等写真と比較してもよく再現できている。橋脚周りの局所洗掘に関しては兼ねてより多くの研究^{2),3),4)}がなされてきてい

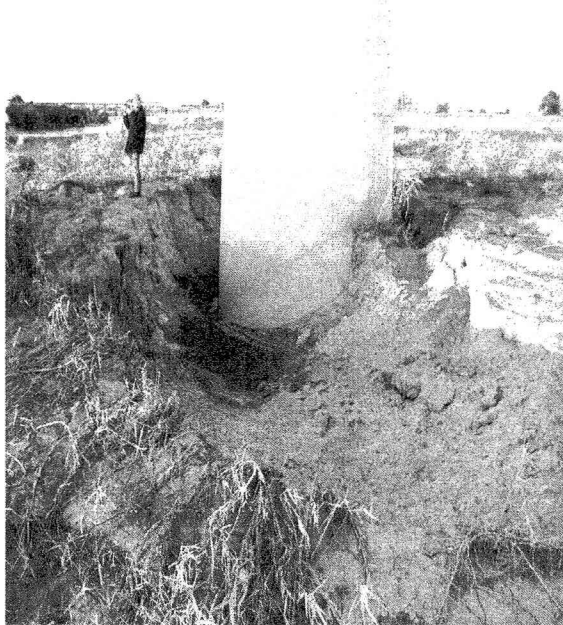


写真-5 石下大橋第2橋脚における局所洗掘
(平成13年5月)

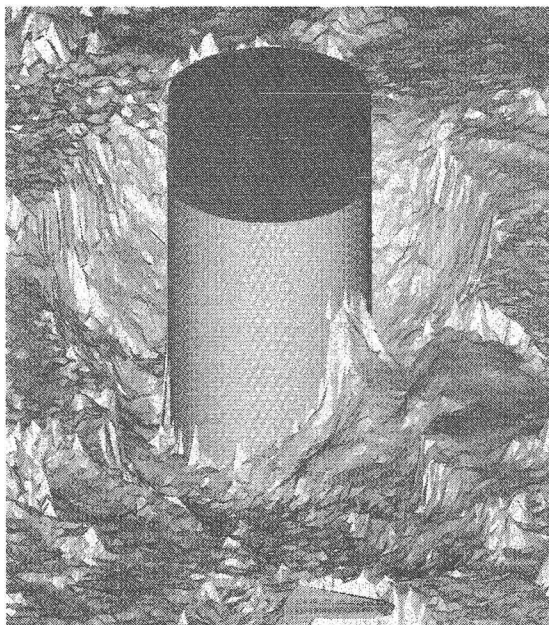


図-4 石下大橋第2橋脚における局所洗掘形状の3Dレーザスキャナによる計測結果(シェイディング図)

るが、実河川を対象とした現地観測の多くは、最大洗掘深などに注目したものであり、局所洗掘の面的なデータが計測された例は少ない。

図-5、6はそれぞれ平成13年12月、平成14年8月における石下大橋第2橋脚周りの局所洗掘形状の等高線図である。X軸は橋脚の上流側の先端付近を原点として左右がそれぞれ上流側及び下流側、Y軸は橋脚の中央付近を原点として上下がそれぞれ左岸および右岸側である。近距離からの

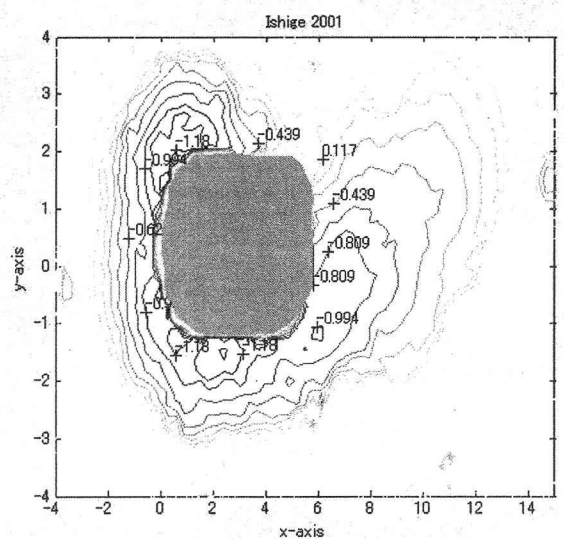


図-5 石下大橋第2橋脚における局所洗掘形状の3Dレーザスキャナによる計測結果(等高線図, 平成13年)

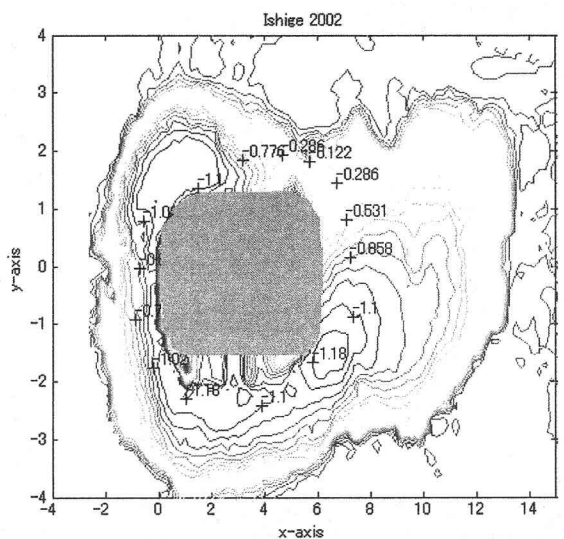


図-6 石下大橋第2橋脚における局所洗掘形状の3Dレーザスキャナによる計測結果(等高線図, 平成14年)

計測であるので誤差は最大で3cm程度である。両図共に、下流左岸側の洗掘深が浅く、前述のような右岸側から左岸の流れを連想させる。最大洗掘深は共に1.5m程度であり、平成14年7月の台風6号による出水後、最大洗掘深に大きな変化は見られなかった。またその位置も上流左岸側の角付近と橋脚の右岸側に沿った辺りに分布している。全体的な洗掘形状も若干の変化は見られるものの、一見したところでは変化は把握しにくい。そこで、図-5及び図-6から変動量を算出し、図-7に示す。図-7は平成13年12月の標高から平成14年8月の標高を減じたもので、よって正の値は洗掘、負の値は堆積がそれぞれ起きたことを意味する。橋脚

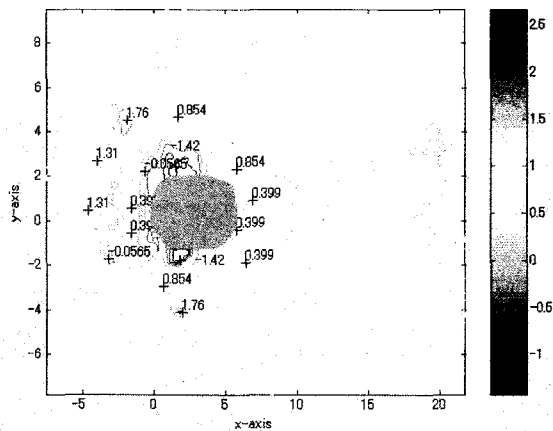


図-7 3D レーザスキャナによる計測結果より算出した
石下大橋第2橋脚における地形変動量の等高線図

の上流側5m 辺りから馬蹄形におよそ1~1.5m 程度の洗掘が起きていることが見て取れる。堆積が起きているのは洗掘孔の内部で、やや上流側寄りの、橋脚の左右にほぼ同様の形状で1m 程度の堆積が起きている。前述のように左岸側には洗掘を受けていない箇所があり、そこに取り込まれる形でこの橋脚左岸側に沿った堆積が引き起こされたであろうことが想像できる。橋脚右岸側に沿った堆積は現時点ではうまく説明ができていない。これらについての議論はさらにデータを蓄積し、室内実験などを行って研究を進めていく必要があるが、ここでは3D レーザスキャナによる計測によって、それらの研究に資するデータを提供できそうである、ということを目指すとどめおく。

4. まとめ

以上、本研究では3D レーザスキャナと呼ばれる3次元地形計測器を用いて、河道内地形の計測

河道内の面的な地形データが得られるため、出水前後での比較を行うことによって、濡筋や砂洲形状の変遷を把握したり、種々の検討に用いるために任意の断面形状を抽出したりというように、河床変動問題に関する有益な知見を提供できるものと思われる。

しかしながら、植生—地形の分離や水中地形が取れない点等、河川工学への応用を考える場合にはまだ解決しなければならない課題も浮き彫りになった。これらに関しては今後の課題としたい。

謝辞：本研究は、国土交通省下館工事事務所との間で進められている鬼怒川における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) 吉川秀夫, 福岡捷二, 岩間 汎, 小曾川久貴: 橋脚の洗掘ならびにその防止に関する考察, 土木学会論文報告書, 第194号, pp.83-90, 1971.
- 3) 中川博次, 鈴木幸一: 橋脚による局所洗掘の予測に関する研究, 京都大学防災研究所年報, 第17号B, pp.725-751, 1974.
- 3) 福岡捷二, 宮川朝浩, 飛石勝: 円柱橋脚まわりの流れ, 河床変動と流体力, 水工学論文集, 第41巻, pp.729-734, 1997.

(2003. 4. 11受付)