

平成30年度

第3回 河川研究セミナー

測量技術等の進展を踏まえた河川管理の展望

福島雅紀 氏（国土交通省 国土技術政策総合研究所
河川研究部 河川研究室 室長）

開催日：平成30年9月27日（木）

場 所：AP 秋葉原

測量技術等の進展を踏まえた 河川管理の展望

国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室 室長
福島 雅紀氏

福島 皆さん、こんにちは。どうぞよろしくお願ひいたします。国土技術政策総合研究所河川研究室（国総研）の福島と申します。7月1日に室長職を拝命いたしました。もともとの予定では前任の諏訪と一緒に発表させていただく予定だったのですが、今日は私一人で発表させていただきます。

（スライド1）「測量技術等の進展を踏まえた河川管理の展望」というタイトルで発表をさせていただきますが、前半は民間の方がお持ちのいろいろな技術とか、大学の先生方が研究された内容とか、既に測量技術を使ってこんなことをやっているという話を紹介させていただこうと思います。

また、私たちは地方整備局の方ともいろいろと情報交換をさせていただいていますので、地方整備局の方はこのようなことを考えているとか、既にこのように使っているとか、そういう話をさせていただこうと思っています。それが「2. 3次元データ活用への期待」というところです。

では、国総研は何を考えているのかということ、私たちはこんなことを考えています、ということ



もこの2番のところでお話をさせていただきます。

3番目は、こうした測量技術が進展してかなり密な3次元データが取れるようになってきましたので、それを堤防点検に使えないかということで、河川財団さんなどもやられているかもしれませんが、私たちなりに堤防点検に使うとしたらどのぐらい使えるのかを、まず草の影響がどのぐらいあるのかということを検討したのと、草の影響がないように草刈りをした後で3次元データを取得したら、どの程度堤防点検に利用できるのかについて確認した結果を紹介します。

最後は、これらをまとめて終わりたいと思いますが、講演の概要ということで当初お伝えしていたような活用法、つまりこう使えば堤防点検に活用できるということを紹介したいと思っていたのですが、これはなかなか難しいと思っています。やはり堤防点検というのは見落としがあってはいけません。さらに、点検した結果、堤防が健全かどうかについて確認しないといけないわけです。例えば、堤防点検の結果を踏まえ、変状が確認された区間の健全度をA・B・C・Dで評価していますが、なかなか立体図

● スライド1

国土技術政策総合研究所
平成30年度河川研究セミナー
H30.9.27 (Thu.) 16:00-18:00

測量技術等の進展を踏まえた 河川管理の展望

本日の話題

1. 導入が進む測量技術について
2. 3次元データ活用への期待
3. 点群測量成果の堤防点検への適用性検討
4. おわりに

国土交通省 国土技術政策総合研究所
河川研究部 河川研究室
室長 福島雅紀

だけでは評価ができません。そこで、今日は皆さんにその感覚も共有していただきたいと考えます。皆さんの中で、同様な取り組みをされていて「もうそんなのはできるよ」というようなことがあれば、逆に教えていただければ助かります。

(スライド2) まず「導入が進む測量機器について」ということで、もう皆さんご存知の方も多いと思いますが、今日紹介させていただくのは、これら5つの技術です。

1つ目が、(a)の「航空レーザ測量」です。最近「グリーンレーザ」というのが出てきて、水の中まで測量できるようになったということは、皆さんご承知のとおりだと思います。ただし、やはり水の中が濁っていたら測量するのは難しく、その場合には2つ目の「音響測深」という技術を活用することができます。また、水深が深い場合にも、グリーンレーザの適用は難しく、ここでも「音響測深器」が活用されます。

3つ目は、除草機械にレーザ測量機器をつけて、除草と同時にレーザで堤防の表面を測量するものです。今は試行段階ですが、これから展開されると、点検以外の活用も想定され、興味深い技術と思っています。

4つ目は、これは数年前から展開していますが、「MMS」です。車にレーザ測量機器をつけて堤防天端を走ることで、堤防天端や法面の形状を測量するものです。

5つ目は、レーザ測量機器を現地に据え付けて周辺の地形を測量するものです。大体50mぐらいだと思いますが、遠くまで計測するとやはり精度が落ちてしまいますので、円形に50mぐらいずつの範囲を測量するものです。

(スライド3) これは、四国地方整備局さんから提供していただいたデータですが、ALB (Airborne Laser Bathymetry) による吉野川の河床の測量結果です。吉野川は水が非常にきれいですから、かなり深いところまで測量可能です。このあたりは滯筋ですが、滯筋の中まできれいに測量できるように見えます。航空写真の右下は、レーザ測量成果から切り出した横断面形です。ここで示した図面では、すべての範囲で測量できているようですが、深いところ、吉野川の場合は6m程度以深ではデータが飛んでしまうこともあります。

「ALBを使えば、日本の川だと河川地形をすべて測量できる」と言う方もおられますが、当時「河川砂防技術研究開発公募」でALBについて検討してもらった結果によりますと、実際には半分ぐらいの河川では濁りがあって難しいことが確認されています。その半分の中で、さらにどのぐらいのところの河川地形を測量できるのかというと、やはりもう少しちょっと少なくなってしまうと思います。「すべての河川に適用できる技術ではない」ということを踏まえて、今後展開していく必要があります。

これに関連して、国土交通省では、今年度実施す

● スライド2

導入が進む測量機器 2

- 三次元地形データを取得するための技術として、レーザ光や超音波を用いる手法を導入
- 陸上部ではレーザ光を、水中部では超音波を用いることが一般的
- グリーンレーザの導入により、水中部でもレーザ光の利用が可能(濃度や水面変動の影響あり)

(a) 航空レーザ測量 (b) 音響測深 (c) 大型除草機械設置型レーザ測量機器 (d) Mobile Mapping System (MMS) (e) 地上設置型レーザ測量技術

資料提供: 徳島河川国道事務所提供資料に加工。a)は「省央、徳島、徳島川下流域のメッシュ測量計画」について、国土技術開発センターから引用。b)は「種別、国境 (GM) における地上レーザ計測」により取得した地形三次元データの活用について、国土技術開発センターから引用

● スライド3

航空レーザ測量の活用事例 3

- 航空機から照射されたレーザ光は、地盤で反射されて航空機に戻ってくるだけでなく、樹木やその他の施設等の表面で反射されて戻ってくる。そのため、地盤高だけでなく、樹木や建物などの標高を同時に計測可能
- 地盤データから、横断測線に沿って標高データを切り出すことで横断面を作成可能
- レーザ計測と合わせて撮影された航空写真はオルソ画像として利用可能

地盤高の投影図
横断測線
同時に撮影されたオルソ画像
レーザ計測と合わせて撮影された航空写真はオルソ画像として利用可能
切り出した横断面図

資料提供: 徳島河川国道事務所

地盤高の投影図とオルソ画像

る河川定期縦横断測量において、各地方整備局1河川程度で検証を行っています。その結果が整理されますと、どの程度の樹木の繁茂状態であれば利用できるのか、どの程度の濁りであれば利用できるのか、どの程度の水深であれば利用できるのかが明らかになる予定です。

(スライド4) これは河川財団さんで検討されたものですが、平成27年の関東・東北豪雨の時に、音響測深器を使って鬼怒川の河床の洗掘状況を調べたものです。横断測量のピッチは200mピッチぐらいですから、局所洗掘の状況を把握することは難しいです。こうした3次元データを得ることで局所洗掘の状況を詳細に把握できます。これは、河川技術論文集に掲載されたもので、この時に合わせて、音響測深の反射強度を見ながら河床のやわらかさを確認する上でも有効であることが示されています。

● スライド4

音響測深器の活用事例

- 音響測深においては、流れ方向に移動しながら、超音波発信器を左右に振り、例えば船体の両舷に取り付けられた受信器で反射してくる音波を分析し、河床高を計測
- 最近では、左右の振り角の大きい機器が開発されており、水深0.5mの場所でも河床高の計測が可能

出水前後での河床の洗掘状況調査への活用事例
(上段:鬼怒川12.9~13.0m区間、下段:12.25m付近を拡大) (左側:出水前、右側:出水後)

出典:河川財団「鬼怒川下流区間の河床特性の検討」河川技術論文集、第22巻、2018

● スライド5

MMSの活用事例

- 堤防天端を走行する自動車からレーザー光を放射し、走行する堤防天端や堤防法面の地形を計測する技術
- 比較的川幅の狭い河川(都市河川等)では、対岸の堤防形状やその変状を把握可能

鋼矢板の傾き 解析結果
(川側)に0.6~2.9°の傾斜を確認

資料提供:関東技術事務所

(スライド5) これは「MMSの活用事例」です。関東技術事務所さんからの提供です。MMS (Mobile Mapping System) というのは、法面を測量しようと試行したが草が生えており、また法面の傾斜によりうまく計測できないことから、天端しか測量できず適用が難しいと言われることがありますが、実は都市河川での適用性は高いです。例えば、都市河川では、法面にあまり草が生えていませんし、しかも都市部ではUAV (Unmanned Aerial Vehicle) の飛行が難しいことから、MMSの適用が有効です。また、川幅が200m程度以下であれば、対岸の堤防形状も測量できるようです。この図がその事例となります。対岸の天端とか法面とか、護岸の基礎の矢板まで確認できます。特に、護岸の矢板の傾きを確認できます。

平場が沈下している箇所では、矢板が前にせり出していることも確認できます。また、これらのデータを保管することは、修繕のタイミングを決める上で有効な情報となります。

(スライド6) これは地上設置型レーザであり、北陸技術事務所さんの発表資料から引用させていただきました。3次元の測量点と合わせて、写真も記録していますので、測量点に写真の色を載せて、この写真のような形で点群データを表示したものです。

国土交通省では、「i-Construction」を推進していますが、堤防等を設計する上で地上設置型レーザ

● スライド6

地上設置型レーザ測量機の活用事例

- 地上設置型レーザ測量機を堤防天端等に設置し、レーザ光によって地形を測量(同時に写真撮影)
- 断面データでは分らなかった掘り付け部の形状をイメージすることができるなど、断面データを用いた改修計画に比べ、より詳細な改修計画を立案可能

地上設置型レーザ測量機によって得られた3次元形状データ(点群データに写真の色を付けて立体写真として表示)

3次元形状データによる詳細な改修計画の作成

出典:河川財団「GMにおける地上型レーザ計測により取得した地形3次元データの活用について」、河川技術論文集



で取得された3次元データは有効と思います。具体的には、先ほどの航空レーザ測量ですと50cmピッチぐらいの点群密度になりますが、地上設置型レーザですと、1cmピッチぐらいの点群密度となります。こうした3次元データを使って、堤防のCIMモデルを作成し、坂路や樋門等の取り付け部等の詳細な設計に活用しています。

(スライド7)最後の事例ですが、これは朝日航洋株式会社さんがSIPで取り組まれている、大型除草機械によるモグラ穴の面的検出システムです。国総研では、モグラ穴だけでなく、他の変状への適用を併せて検討しています。先ほど(スライド2)の写真で見ていただいたように、大型除草機械にレーザ測量機器を取り付けて、除草もしくは集草時に、レーザ測量機器で堤防の形状を測量するものです。

また、同時に写真撮影を行います。低いところから撮影するので、あまり広い範囲を撮影することが

できず、小さい写真となります。これらの写真をつないで、このような色付き点群データを作成することができます。地上設置型レーザと同様に、地表面の近くから計測しますので、1㎡当たり約1万点~4万点ぐらいの箇所で測量を実施することができますので、堤防の形状を正確に記録することができます。ただし、これだけ密度の高いデータがあっても、変状の有無の確認では、現場での目視にはなかなか勝てそうにもないということを後ほどお話しします。

一方で、こうしたデータを長期間記録し、前回の記録と比較すると、その差分から変状を把握できるとの期待もあります。

(スライド8)ここからは2つ目の話題になります。これは、想定される活用場面を整理した表です。縦軸には調査、計画、設計、施工等々のいろいろな利用の段階を書いています。横軸は今回の3次元測量データと従来の河川横断測量と何が違うのかということを書いていきます。

表の下ですが、「主な効用」と記載しました。やはり3次元データの計測にはコストが掛かります。コストが掛かっても計測するには、相応な効用がないと実施しないと考えます。

いくつか考えたのですが、情報の共有、具体像の共有、合意形成とかそういうものに役立つと思ったのが①です。計画段階における事業説明などにはとても有効であろうと思います。

②は、私たちは川づくりには横断面、断面ごとに

● スライド7

大型除草機械設置型レーザ測量機器の活用事例 7

- 戦略的イノベーション創造プログラム(インフラ維持管理・更新・マネジメント技術)の一つの課題「大型除草機械によるモグラ(小動物)穴の面的検出システム」として、平成28年度に開発
- 本機器は、除草機械にレーザ計測機器を取り付け、除草しながら、もしくは除草後に集草しながら、堤防表面の地形を測量する技術(今後の実用化に向けて実証実験中)
- 当初は、モグラ穴等の堤防表面の変状を把握するためのシステムを開発したものであったが、結果として堤防形状を面的に計測可能

・ レーザは5mm格子に1点程度の密度で測定されるため、高密度な点群データによって堤防表面の形状が記録(右側の立体点群)。

・ レーザ測量と同時に写真撮影が行われ、それらをモザイク状に重ねるとポイント/画像(画像の大きさを約1mm)を作成可能(右側の地形モデル)。

・ 二時期(例えば、出水前と出水後)で記録された堤防形状を比較することで、その期間で発生した変状を特定(左側の平面)。

・ この変状を特定し、出水後点検を行うことで、点検効率の向上が期待

出典:「河川維持管理」(大型除草機械によるモグラ(小動物)穴の面的検出システム)
http://www.pj.go.jp/aid/1607/index1607-028.pdf

● スライド8

想定される活用場面～従来の測量成果との比較～

	3次元地形等データ	従来河川横断測量	効用
調査	<ul style="list-style-type: none"> 河運変化とその影響の分析 橋梁の設置状況・生草後の把握 局所洗掘等、災害調査における原因分析 	<ul style="list-style-type: none"> 河運変化とその影響の分析 	② ②
計画	<ul style="list-style-type: none"> 流下能力評価、河床変動解析のための基礎データ(局所洗掘箇所等の明確化) 立基盤のための基礎データ 事業説明 	<ul style="list-style-type: none"> 流下能力評価、河床変動解析のための基礎データ 	② ② ①③
設計	<ul style="list-style-type: none"> 完成イメージのすり合わせ 詳細設計のための基礎データ 	<ul style="list-style-type: none"> 維持断面、平面図、粘土模型等 	① ⑥
施工	<ul style="list-style-type: none"> ICT土工への活用(一部、補測が必要となる可能性) 	<ul style="list-style-type: none"> 詳細設計で測量した成果を合わせて施工計画として利用 	⑤
維持管理	<ul style="list-style-type: none"> 河運状況の見える化 堤防・堰等・堰等の変状把握 堤防面の腐食劣化 堤防法面勾配の管理 2階層の区分による樹木の生長状況の確認 中洲の移動、深掘り・堆積等の状況把握 	<ul style="list-style-type: none"> 河道管理基本シートの作成など、河運の経年変化を把握(内河航、堆積、洗掘、河岸侵食等) 橋梁、堰等の河川横断構造物の実状把握 	④⑥ ④⑥ ④⑥ ⑥ ⑥
危機管理	<ul style="list-style-type: none"> 災害時の洪水範囲の特定 大規模洪水被害時の緊急治水計画策定 		⑧ ⑧

主な効用 ①具体像の共有(合意形成) ②きめ細かな川づくり ③提案をすくりに制にできる設計ツール ④施工結果を踏まえた維持管理 ⑤設計思想等の継承 ⑥各段階の高度化・効率化 など

使っていますが、例えば流下能力を上げるという時にも、砂州のここを切れば本当に効果的なのに、そこに断面がないからなかなかそこに触れることができないということがよくあります。そういうきめ細かな川づくりをする時、特に多自然川づくりにおいては、こうした3次元データは非常に有効と考え、計画段階での利用を想定しました。横断形状の設定、樹木の伐採計画とか、流下能力の評価に活用できます。

③ですが、3次元データですからそれをすぐに設計に活かしていけるということで、提案をすぐに形にできる設計ツールになるのではないかと、事業説明にもとても役に立つのではないかとということで、効用に挙げています。

④「施工結果を踏まえた維持管理」ですが、施工した形をそのまま維持管理に移していかなければいけません。維持管理のためのデータを保存・活用することは私たちが苦手とするところです。施工した結果が残されていないことがしばしばありますが、設計の段階から3次元データを利用し、維持管理で更新等を実施した箇所を3次元データを適宜更新することで、維持管理に使えるのではないかと考えています。

施工段階ですが、当初の想定と異なることも生じて、設計通りには施工できない場合もあります。特に、河川は河床の状態がすべてわかって設計しているわけではありませんので、河床を掘って岩盤が出てきたなど、施工を進めながら現場の対応で工法や施設の形状を変えざるを得ない場合も生じます。こうした時、施工が終わった段階、もしくは途中の段階で3次元データを計測し、それを維持管理に使っていくこととなります。ただし、測定のコストが掛かりますので、その効果が十分に得られることが重要ですし、どの段階で測量することが効果的かについて検討する必要があります。

⑤の「設計思想等の継承」ですが、「なぜそのような設計をしたのか」ということを3次元データの中に組み込んでおくことが重要と考えています。後

程、CIM (Construction Information Modeling) に関して、熊本大学の小林先生のアイデアを紹介させていただきますが、その中には「設計思想を継承しよう」というような発想もあります。

⑥は、2次元から3次元になるので、各段階の高度化・効率化に役立ってくるということで記載しています。

調査段階について見ると、従来の河川では河道変化とその影響の分析にしか使えなかったものの、3次元データがあることで植生分布や植生高等を簡単に把握できます。先ほどの局所洗掘についても、災害調査における原因分析にも役立ってくるかと思えます。

3次元データの据え置き型のレーザの測量機器については、民間の会社さんにヒアリングさせていただいたところ、警察でも利用されていて、交通事故や殺人事件などの現場の記録に利用しているようです。例えば、血痕の記録をすべて3次元データに記録しておく、あとあとの検証にも使えるようです。

災害現場の記録にこうした測量技術を活用すると、どんな壊れ方をしたのかを検証する上で有効になると期待します。災害現場では、次の出水に備えて、すぐに応急復旧をしなければいけないので、われわれが現場に到着した時には被災状況を確認できないこともあります。最新型の地上設置型レーザを持っていくと、20分ほどの間に半径50m範囲ぐらいの3次元データが計測可能とのこと。被災直後の3次元データは、被災状況の把握やその原因分析に極めて有効です。

想定される活用場面ですが、時間の関係で、赤字のイタリック体になっているところを紹介します。

(スライド9) これは東北地方整備局さんから提供していただいたデータなのですが、東日本大震災後に名取川の閑上水門のところの計画を、住民の方や有識者の方々と意見交換をする際に、この土地の3次元データを使って、またその後の再開発も3次元データで表現することで、そのイメージを共有し

た時の資料です。右下に会議の風景の写真がありますが、皆さんでこの映像を見ながら、ここはどうなるだとか、そういう議論をしながら進めると、やはり合意形成が図りやすいという話です。すでに多方面で利用されていると思います。

これに絡んで北陸地方整備局さんとも少し議論をしたのですが、やはり住民の方とお話をすると、自分の家の目の前がどうなるかを知りたいので、こういう大画面ではなくて、タブレットのような画面で自分が見たいところが見られるような仕組みがあるといい、という話も出ていました。

このような形で、事業の大枠が合意されると、あとは詳細設計に移ることができ、大枠で合意されているので、事業が手戻りなく進められると思っています。

(スライド10) これは九州地方整備局さんから提供していただいた資料です。山国川の沿川にある「青の洞門」という、耶馬溪の中の観光地です。これは着工前後の写真ですが、岩盤自体が天然記念物であり、改変してよい箇所とそうでない箇所があり、景観上非常に重要な場所でした。

流下能力が足りないのでここを切らないといけない。あとは川底を掘ったりしなければいけないのですが、切った後に景観がどうなるのかを事前に検討したいということで、3次元データがあるからできるのではないかとということで、単純にCGを作ったらしいのですが、やはりCGだと限界がありました。

ここで3次元データがすごくうまく使われているなと思ったのが、CGだと大きな範囲、広い範囲の話であればそこそこイメージができるのですが、個別のものになってしまうとやはり、詳細のところの見た目はどうなのかというのはなかなかイメージがつかみにくくなってしまいます。それで、3次元データから3Dプリンターを使ってこの岩場の模型を作ったらしいのです。その場で模型を使って議論して、この模型に修正を加える。粘土模型のようなものに修正を加える。それを再度レーザスキャナで測量して、さらにまた3Dプリンターで作って、この繰り返しをやって、最後に皆で合意をするというような、うまい使い方だと思って紹介をしました。これが、完成後の写真です。

ただし、こうした作業だけではちょっとうまくいかないところがあります。施工は誰がやったのかというと、九州の地場の建設会社の方とのことです。このような建設会社さんがCIMに興味を持たれて、自分のところで工夫をされたらしいのです。建設会社さんがこの一連のことをやられて、最後の仕上げまでその建設会社さんが頑張ったということが肝だったように思います。やはりこうした作業を別々にやってしまうと、その「つなぎ」がなかなかうまくできないので、そういった「つなぎ」の部分まできめ細かくやっていくというのが、川づくりには大事なところなのかなと感じた事例でした。



(スライド11) これは中国地方整備局さんから提供していただいたデータです。「ICT土工への活用」事例です。起工測量もUAV測量でやりますし、その測量成果に従ってマシーンコントロールを、「MC (Machine Control) ブルドーザ施工状況」と書いてありますが、3次元データに従った情報で自動的にある高さに掘っていく、均していくというような施工方法です。

後に紹介する多自然川づくりだとどうしても場所が小さくなってしまいますので、大規模なところに適するICT土工にはなかなか馴染まないということがあるようです。大規模工事では既に使われていますが、コストの観点では、中小規模の工事では自動化のメリットが少ないようです。

(スライド12) これは、福井河川国道事務所の山本課長から提供していただいた事例です。3次元データを堤防管理に適用した事例です。

ここが堤防の天端です。法面がこのようにあるのですが、法面の3次元データ、これは航空レーザですが、50cm四方に1点ほどある航空レーザを使って、TIN (Triangulated Irregular Network) を作成し、TINの傾きに依じて色づけをしています。勾配が急なところほどオレンジ色で、緩いところほど青くしています。

そうすると、天端から法尻ですから、天端付近ほど勾配が急で、法尻に行くほど緩くなっています。いわゆる寺勾配化している状況が見えてくるという

ものです。寺勾配というのは堤防点検で発見すべき変状の1つです。寺勾配については、目視で確認しにくい変状の1つですので、こうして勾配を平面図にプロットすると、寺勾配化している箇所が平面的に確認できるといった事例です。3次元データを加工すれば、こういうものが見える。維持管理における活用事例です。

(スライド13) これも福井河川国道事務所から提供していただいた事例です。第2回河川研究セミナーで中村上席研究員 (国立研究開発法人 土木研究所) が発表していたと思いますが、以前、中村さんが福井の所長をやられていて、この取り組みを先程お話しした山本課長さんらとともに進められたと聞いています。航空レーザ測量成果をどう見せるかという点で工夫があります。「河道状態の見える化」と言っていますが、3次元データの表示方法を工夫することで調査段階や維持管理段階における活用が期待されます。

特に見やすいのが、左下のこの図面です。これは比高の段彩図ですが、単純な標高の段彩図を作ると、例えば上流から下流に向かって色が変化します。この図では堤防の天端がほぼ同じ色になっています。これは、各横断面の平水時の水面の高さから比高差を取って作成しています。そうすると堤防の天端もはっきりと見えてきますし、滲筋もこのようにはっきりと見えてきて、水の中で深い部分は「ここは深い」とか、「瀬がある」とか、「淵がある」

● スライド11

ICT土工への活用～江の川門田地区築堤工事の事例～ 11

- 起工測量は、UAV空中写真測量で実施。
- TIN構築機械の施工により、自営の作業量は約1.5倍に向上。
- 出来形管理は、GNSSロバーを用い効率的に実施。

UAV起工測量 MC:ブルドーザ 出来形管理

資料提供:中国地方整備局

● スライド12

堤防法面勾配の管理～維持管理における活用事例～ 12

保持点線は目標にしているのが現状、寺勾配化の状況を目視で判断するのは困難

TINサーフェスを生成し法面勾配を算出

大塚勾配図

目標で設定しにくい変状(寺勾配化状況)を自動的に把握
→ 線上で設定する断面を設定することで効率的に基準値のない点検を実現。例えば、ピンク色の測線上では、ここでは、法面付近が1割、法面付近が5割勾配で寺勾配化している。

資料提供:福井河川国道事務所

とか、あとはこのように「広い瀬がある」とか、こういうことが見えてきます。また、高水敷上には旧河道を確認することができ「ここに複数の流路があった」などを確認することができます。また、「こういうところが侵食される可能性がある」とか、もしくは「大きな出水があった時にはこうした流路が広がる可能性があるのではないか」とか、そういうことを想像できる図面です。3次元データがあれば、そのデータの見せ方を工夫することでいろいろなことが見えてくるといふ事例です。右下の図面は、水深のコンター図であり、瀬や淵の形、その形成過程などを想像することができます。

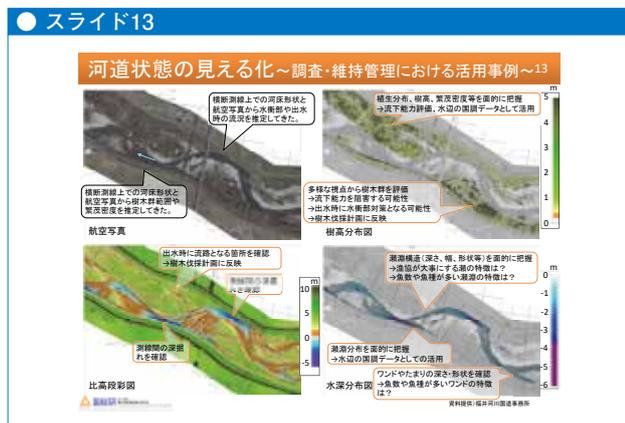
例えば、『河川水辺の国勢調査』も今は人が現場に入って、大体水深50cmのところまで分けるなどして図面を作成していると思いますが、こういうデータがあれば『河川水辺の国勢調査』も人の感覚に頼らずに、バサッと50cmのところまで切って、瀬淵を分類することも可能です。

右上はよくある図ですが、植生や樹木の高さを色分けをして描いたものです。この図面だけ見ると植物だけ取り出した航空写真のように見えますが、植生高について高いところは緑を濃くして、低いところは緑を薄くして描いた図面です。こうしたデータを定期的に記録することで、植生の高さの増加傾向などを生データとして記録することが可能となり、「そろそろ樹木を切らないと危ない」とか、維持管理上、重要なデータだと思えます。

(スライド14) これはちょっと3次元データとは違う話なのですが、これも「点検」という意味では非常に大事なかなと思っています。これはグーグルアースで多摩川をのぞいた航空写真です。この航空写真を思いっきりクローズアップし、堰直下の床止めの状態を確認したのがこの図面ですが、やはりグーグルアースだと床止めの状態を確認することはできません。

ところで、なぜ航空写真を確認したかというところ、私たちは堤防の点検は結構一生懸命にやっていますが、河道の点検についてはなかなか実施できていないと思います。と言いますのも、河道を点検するためには、確認する箇所を堤防天端に行き、川の中に向かって護岸や高水敷を超えて、床止めまで移動する必要があります。堤防上やその周辺で車を止められるところを確認し、歩いて行って30分。それで確認して30分と、1箇所あたり1時間ぐらいの時間が少なくとも必要となります。多くの箇所を確認するのは難しいことがわかります。

(スライド15) これは、京浜河川事務所さんから提供していただいた資料です。UAVで多摩川のある区間の河道を撮影した結果です。画像は大体1ピクセル当たり2cmぐらいありますので、かなり詳細に河床の状態を確認できます。PC画面上でざっと河道を見ると、川の上空をグライダーで移動しながら河床の状態を確認しているような感覚になります。



堰直下にクローズアップすると、「どうもこのあたりは土砂が減ってきた」とか、「このあたりはブロックに変状がありそうだ」とかを確認できます。さらにクローズアップすると、「このブロックの間の土砂が抜け出してきた」とか、「左から5番目のブロックが傾いている、ずれている」とか、そういう詳細な変化まで確認することができます。こうした情報を使って、川の中を事前に点検することで、先ほど言ったように場所ごとに1時間かかるかもしれませんが、特に危険と思われた箇所を特定しておき、例えば3箇所であれば半日ぐらいで何とか点検できるのではないかと考えます。

なぜこのような事例を紹介したかと申しますと、実は、河川事務所の方々は人員削減に伴い事務作業が増えたことで、なかなか現場に行けない状況とのことです。川をなかなか見られない中で、UAVの映像だけでも日ごろからよく見て、川がどうなっているのか、どう変化するのかというのを見ておくと、その後の工事を発注する際にも役に立つのではないかと思います、これは単純に写真だけですが、事例として紹介しました。

(スライド16) これは東北地方整備局さんから提供していただいた資料です。3次元データの危機管理への適用事例になるかと思えます。これは、東日本大震災の時に津波が来て、そこら中が水浸しになったというような状態の写真です。この時、東北地方整備局さんとしては、排水ポンプ車をどこに何

台出せばいいのかということを決定しなければなりませんでした。そういう中で、「どの場所に排水ポンプ車を何台」というのを容易には決定することができず、実際に現地に職員が行って、「この辺はこのくらい溜まっているから何台」というのを個々に数えて決定したようです。現場に行くだけでも大変な困難が予想される中で、調査をして報告することは本当に大変だったと思います。

こんな時に地形の3次元データがあれば、「水が溜まりやすい箇所を推定し、その場所に排水ポンプ車を配置すれば、その一帯は水が捌けます」とか、職員が現地で確認する労力を省力化できたと思います。川の中だけでなく堤内地も含めた3次元データがあると、大規模浸水被害時の緊急排水計画にも使えるのではないかという発想を地方整備局の方が持たれていました。ここでは、良い事例として紹介させていただきました。

熊本地震の時にも、沿川の3次元データがあれば、地震後に航空レーザ測量を行うことで沈下等の変状の激しい箇所を瞬時に特定できた可能性があったということで、非常に有効なツールではないかなと思います。実際には各場所に人が行って点検をして、どのくらい下がったというのを確認しながら緊急復旧の必要性を個々に判断したということですが、航空レーザ測量成果等の3次元データを比較した結果が地震直後に作成できれば、地震後の対応を効率的に進める上で非常に有効です。

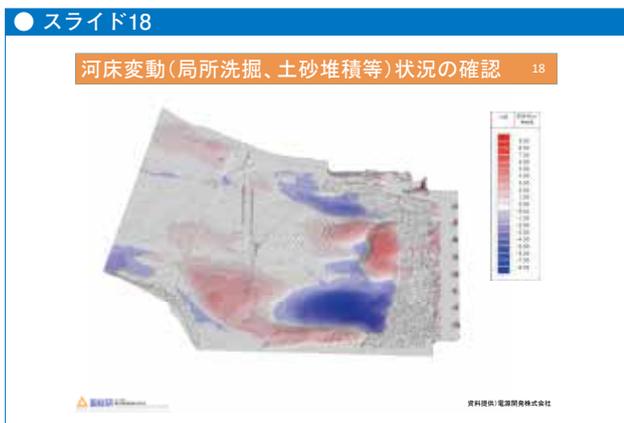
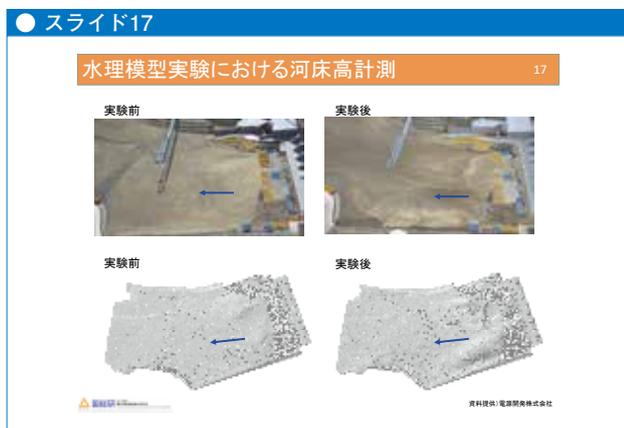
ただし、航測会社さんに聞くと、どうもLP



(Laser Profiler) の測定の成果というのは1週間とかもう少し時間がかかるようです。測定のキャリブレーション等の測量精度を確保するための各種作業があるようですが、災害時には迅速に、精度は二の次でも良いので、例えば地震後1日以内で報告していただけるような仕組み、ソフトウェアを開発していただくと助かります。

(スライド17) これは先ほどの表には書いていないのですが、国総研としては水理模型実験での河床高計測に利用できると思っています。これは、電源開発株式会社さんがあるダムの下流の洗掘状況を調査するのに据置型の地上設置型レーザを使った事例です。

(スライド18) 水理模型実験において河床形状及びその変化を調査する場合、私たちは測線で測ってしまいます。200mピッチの測線、模型では1mピッチ程度となることが多いですが、それを3次元



データとして記録できれば、実験前後の地形変化を詳細に把握することができます。こういう形で1cm四方ぐらいに1点の標高を確認することができます。また、これらの差分を取れば簡単に洗掘箇所や堆積箇所を確認できます。この技術、私どもも室内実験だけでなく、現地での堤防の変状を記録する手段としても利用したいと考えています。

(スライド19) 国総研では、多自然川づくりにこうした3次元データを活用できないかなと考えています。私は、多自然アドバイザーとして、災害後の改良復旧の現場において多自然川づくりの観点から改修方法についてアドバイスさせていただいています。その中で、平成28年に北海道・東北豪雨で被災した安家川の多自然川づくりにも協力させていただきました。

その時、岩手県さんは独自に3次元データを合意形成に活用していました。その事例の紹介となります。これは、安家川の被災状況です。流れは右から左で、区間としては2~3kmとなります。赤い線が河川で、青が浸水範囲を示します。右下に被災後の写真がありますが、河川区域と人家の境界がわかりません。人家の背後には山がそびえるような中山間地の河川です。よく言われている谷底平野のような、平野にもなっていないような、本当にもう谷筋のちょっと平らなところに人が住んでいるといった場所ですが、まさにそこで洪水が発生したため、人家も多数流失しました。



(スライド20) 前のスライドに示したように、改修計画では90tの流下能力を800tまで上げようとするものです。単純に河積を広げることはできるかもしれませんが、安家川周辺の方々は、この土地に愛着を持たれており、川に降りられる階段が各所に設置されているなど、川と触れ合う、もしくは利用する生活を希望されているようです。

そこで、改良復旧の計画にあたり、土木研究所の萱場上席研究員とともにアドバイスさせていただき、ここに記載の3点を指摘させていただきました。

まずは、「護岸の見え方には気をつける」ということです。護岸前面に、寄せ土とか河畔林を残すことで、護岸の圧迫感をなくすということです。

2つ目は空間利用ということで、ここを「人々が使う場所」にしたいということです。日ごろから使う場所ですので、日影が欲しいので樹林帯をある程度は残すこと、加えて親水エリアも欲しい、散策スペースも欲しいということで、そうした場所を確保する箇所を提案しました。

3つ目は、河床に露出する岩盤についてです。岩盤が出ているという景観も大事ですし、岩盤はやはり川の水の流れをいろいろ変化させてくれますし、流れの速さを弱めてくれるということで、適切に岩盤を残すということを提案しました。河積を阻害する岩盤は当然掘削するのですが、瀬を形成するような岩盤を残すこととなります。そういうことを私たちが勝手に言ったのではなくて、現場の方と話をし、こういう方針がいいということで設定された留意点です。

(スライド21) こんな計画にしたいということで、平面図を描いたり、横断図を描いたり、今はこんな細い川なのですが、それを倍ぐらい広げて、ここを散策路に使ってとか、そういうことを考えて断面図を描きました。あとは航空写真にイメージを描いたりしたのですが、やはりこれだけだとなかなか住民の方には伝わらない。

(スライド22) そこで、合意形成のために、岩手県さんが工夫されたのがこの空中写真です。上側が改修後のイメージです。これはUAVで写真を撮って、改修前の写真を「SFM (Structure From Motion)」という方法で3次元化して、色を付けてこういう3次元データを作ったものです。

改修後の画像については、想像して描いた部分もありますが、大体の川幅とか、散策路の位置、岩盤の残し方などは計画に合わせて作っています。景観

● スライド20

安家川での川づくりにおける主な留意点 20

- 護岸の見え方
 - ✓ 寄せ土や河畔林を残すことで護岸の圧迫感を減らす
- 空間利用
 - ✓ 樹林帯、親水エリア、散策スペース
- 露岩の活用
 - ✓ 河積を阻害する岩盤の掘削
 - ✓ 瀬を形成する露岩の残置

● スライド21

改修後のイメージ 21

● スライド22

空中写真(動画)の事業説明への活用 22

資料提供: 岩手県

のイメージを住民の方たちと共有するには有効です。なお、流下能力については別途評価します。

(スライド23) さらに、よりわかりやすくするために動画を作成しています。これは前の写真があって、改修後の写真があって、動いていく。こういうのを住民の方に見せながらお話をしたということです。2分ぐらいの動画なので、ちょっと見ていただければと思います。(動画再生)

岩盤が大きく露出した箇所では、ここは河積を阻害しているので削りますよとか、瀬を形成する岩盤なので残しますよとか、改修前後の岩盤の変化もわかりやすく示しています。また、日陰となる河畔林の残し方や散策路の位置などもわかりやすく示すことができていると思います。ちょっと見にくいのですが、時々、川へ降りられるように階段やスロープを設置しています。平面図や横断図に加え、動画を見ていただくことで、住民の方だけでなく、有識者の会議でも確認のために資料として利用することで、円滑な意見交換を進めています。写真測量の事例ですが、参考事例として紹介しました。

(スライド24) これまで紹介してきた3次元データですが、「CIM」との親和性が高いと思っています。「CIM」という言葉、皆さんご存知だと思いますが、「Construction Information Modeling」とか「～Management」とか言われていて、少し前だと「CALS」とかそういう言葉だったかもしれません

が、改めてまた新しい展開で測量技術の進展する中で、私は何となくCALSの次のものだという事に位置づけています。

このCIMは設計段階から3次元モデルを導入して、施工・維持管理とか各段階でこのモデルを活用することで、一連の建設生産システムの業務効率化や高度化を目指すものです。ただ、道路や下水道などの他の分野では比較的設計図どおりに、また計画どおりに物が完成すると思うのですが、川はどうしても図面通りにはいかないと思っています。例えば、川底を掘ったら岩盤が出てきたとか、堤防を作ろうしたら基礎地盤に想定していなかった砂層が出てきたとか、施工段階で現場状況に応じて変更を余儀なくされることが多々ありますので、すべての段階を通じて3次元データを利用することは川では難しいのではないかと思います。ただし、調査から計画、もしくは設計から施工、施工から維持管理など、各段階で利用するには有効であると考えます。

(スライド25) 講演の最初に「小林先生の話」をいたしました。先生はCIMの理解が十分でないことがあることを危惧されておりました。3Dモデルを作ることがCIMだと思われる方は、モデルさえできればうまくいくのではないかと考えがちであるという点です。そうではなくて、やはり人間と人間の意見交換を円滑に進めるための支援ツールとしてCIMを考えるということです。

CIMは、当初、「Construction Information

● スライド23

空中写真(動画)の事業説明への活用 23



資料提供: 新子島

● スライド24

CIMとは 24

CIM(Construction Information Modeling / Management)は、調査設計段階から3次元モデルを導入し、施工・維持管理の各段階でも3次元モデルを活用することで、一連の建設生産システムの業務効率化や高度化を目指す取り組み

1. 設計の効率化、高度化
 - 設計成果の可視化による図面作成ミスの削減、フロントローディングの実施
 - 設計照査の省力化
 - 施工時の手戻り防止
2. 設計情報の共有、連携、データ活用→施工の効率化→工期短縮
 - 事業説明会、各種協議・会議等における合意形成時間の短縮と判断の迅速化
 - 情報化施工の推進による施工の自動化・ロボット化
 - 情報化施工との連携による監督・検査の効率化
3. 各種情報の蓄積による効果的な維持管理の実施

Model」であり、単なる「モデル」でした。しかし、「～Management」という表現を小林先生が提案されて、モデルとの併記になったと聞きます。CIMはもともとBIM、「Building Information Management」から派生したものです。具体的には、住宅を買ってもらう方に住環境を紹介するツールとしてBIMがありました。社会資本整備には多数の者が関係することから、Managementが大事だということで、何に使うかを意識するようになったとお聞きしました。

それで、小林先生とお話をさせていただく中で、では「〇〇に使うCIM」みたいなものを考えればいいのですよねということで、以下のようなCIMがあるということをお聞きしました。例えば、「案内CIM」、これは見学者と案内者をつなぐものです。「研修CIM」、これは講師と受講生をつなぐものです。「引継CIM」、これは維持管理の情報を次世代に伝えるために使うものです。国土交通省では、前任と後任が該当します。最後は、「語り部CIM」です。設計・施工の担当者から維持管理担当者へ維持管理上の留意点を伝えます。

(スライド26) 前のスライドに示した〇〇CIMをイメージ図にしました。これは私たちが主催したセミナーで小林先生が使われた図面を加筆修正したものです。「案内CIM」であれば、例えばダムのご案内というのを現場でされたことがある方もいると思いますが、監査廊の中に入ると、今ダムのどこにいる



かというのはなかなか案内ができないのですが、3次元のCIMデータがあると、「今はコンジットの下にいますよ」とか、「ゲートの直下を通過しています」とか、「今はダムの天端のちょうど真下です」とか、そういうことを話しながら案内ができるということです。ダムマニアもおり、ダムが観光施設化していますが、こうした情報はダムマニアだけでなく、一般の方にも楽しんでもらえると思います。

また、堤体内部の構造はなかなか理解できませんので、ダムの構造研修に利用すると研修生の理解が進むと思います。昔の3次元CGのイメージです。

また、この「引継CIM」というのは、CAD上で描くということと同じかもしれませんが、異常が発生した時に確認すべき箇所を今の3次元データの中で残しておく、これはダムの絵で描いていますが、具体的にどこなのかというのがわかりやすいという事例です。

また、「語り部CIM」は、例えばですが、ルジオ

● スライド25

人と人をつなぐCIM 25

① 案内CIM(見学者 ↔ 案内者)
 ② 研修CIM(講師 ↔ 受講生)
 ③ 引継CIM(前任 ↔ 後任)
 ④ 語り部CIM(設計・施工担当者 ↔ 維持管理担当者)

出典: 熊本大学 小林光彦教授資料を引用して作成

● スライド26

ツールとしてのCIMの活用事例 26

案内CIM
 研修CIM
 引継CIM
 語り部CIM

出典: 熊本大学 小林光彦教授資料を引用して作成

ン値の結果を記録しておき、値が高く漏水に注意すべき箇所を明確にします。地質的に注意しなければいけないところがあるとか岩盤調査の結果も合わせて保存しておくなど、維持管理で重要な情報となります。

こうした人と人をつなぐことがCIMの発想として重要です。

(スライド27) ここでは、「多自然川づくり」について考えます。多自然川づくりにおいては、設計の思想が施工に反映されにくいこと、関係者が多くて留意すべき点が多く、合意形成が難しいことなどが課題として挙げられます。こうした課題に対して、測量技術の進展を踏まえて、先ほどからお話をしているように情報共有ツールとして使えばよいと考えています。また、「i-Construction」の動きもあるので、そういう動きに乗っていけば、3次元データが普及し、設計等において容易に利用できるようになると考えます。測線の変更による設計から、平面形や縦横断面を鳥瞰図的に眺めながら河道を設計することで、よりフレキシブルな川づくりができるのではないかと、その結果として、より良い川づくりができるようになるのではと感じているところです。

今日の3点目の話題は、河川管理にも当然使えるということで、堤防点検を高度化するとか、定期横断測量の代替になるのではないかと考えています。スライドの右下の部分です。

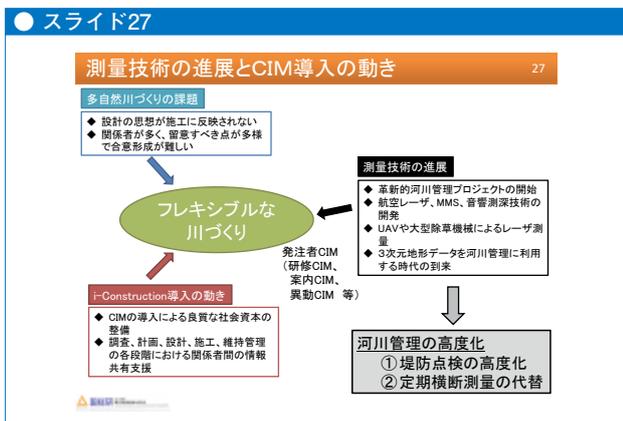
(スライド28) これは、多自然川づくりをいろいろな側面から捉え、各側面から見て、CIMの活用を検討したものです。

多自然川づくりにおいて、九州大学の島谷先生は模型を作ってよく議論され合意を図るというやり方をされていますが、その模型をなるべく使わずに、CIMで代替できないかと考えています。

治水の側面から見ますと、例えば平面形とか縦断面を活かして流下能力を確保することができるのではないかと思います。横断測量のデータは赤線で示す測線上しかデータがないのかもしれませんが、砂州の平面形を確認すると、この部分が張り出していて、その箇所を掘削するのが効果的だとか、この箇所にある樹木を伐採すべきだとか、測量断面以外のところの情報を確認できます。

また、生物生息場という観点では、先ほど福井河川国道事務所さんの事例を紹介しましたが、水深分布図を描くことで瀬淵分布、たまりやワンドの位置など、生物生息場に関する情報を詳細に把握することができます。こうした生物生息場の情報を改修図面に重ねることができると、「ここを掘削する」などという時に、その掘削の影響が水深にどう影響するのかというのも見えやすいということですので、イメージが共有しやすくなります。

また利用という面でも、周辺に公園があるとか、森林があるとか、堤内地も含めて利用図と重ね合わせることで、川のどこの部分をアクセスしやすい場



所にするかということも考えやすくなると思います。

例えばですが、ここに坂路を設けようとする、坂路の勾配が重要ですが、3次元データがあれば坂路の勾配を計測することができ、この地点とこの地点をつなぐことで勾配が緩くなり、使いやすくなるなどを容易に確認できるようになります。

最後に、もう1つ大事な点は施工についてです。私たちは現場に行って、ここの部分は斜めに切ってほしいという話をしたりするのですが、現場では出来高管理が重要であり、斜め切りでは検査が難しくなることから、斜めに掘削されにくい状況があるとのこと。そこで、3次元データを渡して、その3次元データのおりに20mごとの施工用の断面を作成し、その断面に従って施工してもらえれば、設計が反映されやすくなるのではないかと思います。

先ほどのCIM、「語り部CIM」のところに、「なぜそうするのか」という理由、設計思想も書いておけば、さらにそれが発展していく、設計思想を踏まえて、より良い施工方法を提案される方が現れるかもしれません。

(スライド29) さらに、CIMを展開しようと思うと、やはり誰もが使えるアプリケーションが欲しいなと思い、こんなアプリケーションがあったら便利だろうと、それを形にしたのがこの図面です。もちろん部分的にはできているのかもしれませんが、パッケージとしてであると非常に使い勝手の良いツールになると思います。①は3次元地形データと航空

写真から立体写真を作成・表示する機能です。グーグルアースのような形で地形が見えると掘削形状を検討しやすくなります。②は、流下能力を確保するために断面形や法線形を変更する際に利用します。②の図面上で横断面を決めると、それが①の立体図にも表現され、イメージ通りに掘削できているのかを確認することができます。斜めに切ることもできれば、縦断方向に斜めに切ることもできて、かなり自由度を持った形で川の形を変えることができるという機能です。

③は、そうした掘削後の景観を確認するための機能です。築堤する場合がありますし、法面を芝で覆うことや護岸ブロックで覆うこともあります。こうした改修後の景観をシミュレートする機能となります。また、樹木伐採後には当然、植生が生えてくるので、この植生が成長した後の景観を再現することが可能なものが望ましいです。

護岸もそうです。間知ブロックなのか自然石なのかと、ブロックもいろいろ多様になってきていますので、そういうブロックを要素モデルとして準備しておけば、景観のシミュレーションができるのではないかと、というようなことまで考えられたら、有効と思います。

しかし、いろいろ聞いてみると、やはり個別箇所の景観までは難しく、島谷先生がやられているような、河川の景観モデルを作成して検討する方がまだまだ現実的かなとも思います。また、九州地方整備局さんの事例で紹介した3Dプリンターで実際に形を作って、そこに具体的に色をつけたりして議論をするという方が、現実的かなというように思っています。

④は、こういう3次元データがあれば、iRICであるとかCommonMPとか、水理計算用のフリーソフトがありますので、改修後の水理計算は自動でできるといえるということになると、多自然川づくりが非常にやりやすくなりますし、皆さんも事前検討で疲れることなく、どう川を変えるのかについて、もっと議論ができるようになるのではないかと思います。河川管理者も考える時間が増え、合意形成のた



めの情報共有がしやすくなると期待します。

ここまでの大体前半のお話になります。

(スライド30) ここからは堤防点検に活用した結果について話します。検討フローはここに記載の通りです。同様な検討を実施されている方も多いかと思いますので、後程ご意見をいただけたらと思います。

まず、3次元データを取得し、得られた点群データからメッシュデータを作成します。メッシュデータには、いろいろな表示方法があります。等高線図、陰影図など、変状を見つけやすい図面を調べました。こうして作成した図面を用いて事前点検ということで、PC画面やそれを印刷した図面上で変状を確認できるかを検討しました。

上記の検討に先立って、法面上に草があると、どの程度UAVの計測を邪魔するのかということ、小貝川で試行しました。次いで、円山川において、まずは大型除草機械で3次元データを取得し、大型除草機械が走った後、すなわち除草された状態で、UAVで法面等の3次元データを取得しました。除草された状態で、UAVと大型除草機械のデータを使って変状がどのくらいわかるかということを確認しました。

メッシュデータの作成に当たっては、不良データが出てきますので、そういうものをフィルタリングして作成するというにしました。データ作成には先ほど申し上げたような植生の話と、今回やって

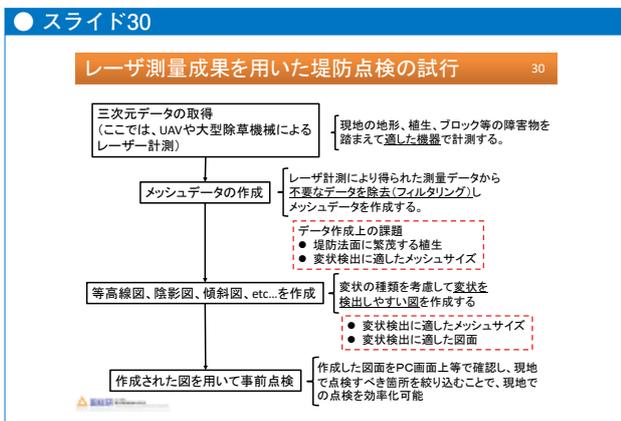
いて、どうもメッシュサイズによって見える形が違って来るなと思ったので、そういうこともあるのだということで紹介させていただきます。

あとは、いろいろな等高線図とか、最終的には傾斜図というのが一番見やすかったのですが、こんな図を作ってこんな見方をしましたという紹介をさせていただきます。変状検出に適した図面は、先ほど申し上げた傾斜図でした。

PCの画面上で確認して変状箇所を絞り込むことで、現地の点検を効率化できたらいいなと思っていたのが当初の予定だったのですが、なかなか全部は見つけられないということがわかってきました。

(スライド31) これが計測に用いたレーザ計測機器です。ご存知の方も多いと思いますが、図の左側はUAVです。自分の状態を把握するためのIMUとか、実際にレーザを飛ばすための機械を装備しています。広範囲を短時間で計測できるというのがUAVの特徴だと思います。広範囲と言っても、電池で動いているものなので、そんなに長い距離は飛ばせませんが、大型除草機械に比べれば広範囲となります。ただし、飛行制限を受ける箇所がありますので、都会での調査には不向きかもしれません。いろいろ申請が必要になってくるとか、もしくは飛ばない場所も出てくることになります。点群密度としては1㎡当たり100点~300点です。

図の右側は大型除草機械で、堤防の草刈りなどでよく使われているものです。これは、後ろから見た



ところですが、後ろ側には測量ユニットが取り付けられています。レーザスキャナとデジタルカメラを装備し、車両直下の地形を計測します。当たり前かもしれませんが、この機械は、法面を計測するのが得意です。除草もしくは集草しながら、同時に地形を計測できるという機器です。国土交通省では、年2回の除草をしていますので、堤防除草の折にこの機械に付けておくだけで同時に地形を計測することができます。出水期前後で除草しますので、出水を受けての変化を把握するのにも有効です。

ただし、1.5割以上の急勾配の法面では除草機自体が走行できません。また、降雨直後の法面は、表面が湿潤しており、機械が滑ってしまうため、計測することはできません。こうした場の条件の制約は、大型除草機械のほうが大きく影響されます。一方で非常に近いところからレーザ測量をしますので、点群密度としては、1㎡当たり1万点～4万点程度と聞いています。こういう2つの方法で測量を実施しました。

(スライド32) 最初に植生の話をします。写真は小貝川の堤防ですが、除草後、植生が成長し、人の背丈の半分ぐらいの植生が堤防の法面を覆っています。これは秋に撮影した写真ですが、除草して1ヶ月から2ヶ月を経過すると、堤防表面はこんな状態になります。右下は、参考であり、除草後の円山川の状況です。

これは、セイバンモロコシという、イネ科の植物

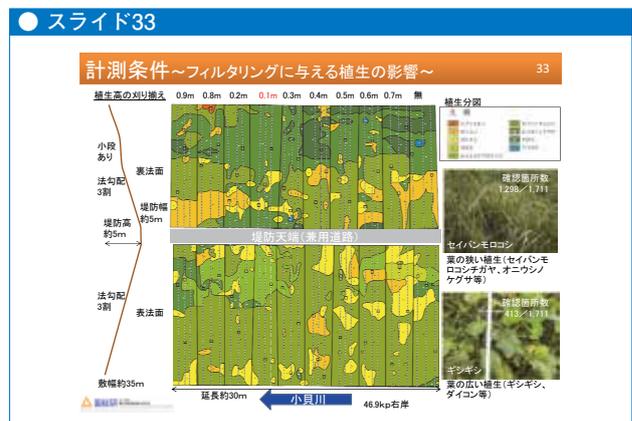
です。葉の面積が比較的狭い植物です。一方、葉の面積が広い植物もあります。

今日紹介するのは葉の面積の狭い植物の場合ですが、葉の面積が広いと葉でレーザ光がほぼ遮られてしまって、法面の形を計測できません。結論を先に申し上げておきますが、葉の面積の狭い植物の場合、50cmぐらいの背丈であれば、レーザ光の1割ぐらいは堤防表面まで届いているようです。小貝川の事例だけなので、植物の種類や時期によっては結果が変わっている可能性があります。

(スライド33) これは、調査地点の植生分布図です。縦断方法に3m程度の幅で調査区間を設け、その3mの調査区間では草丈を刈り揃えました。左から90cm、80cm、20cm、10cm等に刈り揃えました。10cmというのは、除草直後の草丈に相当します。「無」は、草がないという意味ではなく、刈り揃えを実施していないことを表します。

図の左端に書いてあるのが堤防断面のイメージです。高さは約5mの堤防であり、表法勾配は3割程度です。裏法は小段が一段あります。ここに、セイバンモロコシ、チガヤ、ギシギシなどが分布します。

地面の高さは、図に白い破線が見えるかと存じますが、この破線上で横断測量、通常のレベル測量を実施しました。同じところをUAVによってレーザ測量を実施し、両者を比較しました。



(スライド34) これは、植生高が0.1m、主にセイバンモロコシが繁茂する場でのフットプリントの分布です。航空写真にざっくり重ね書きしたものですので、おおよその位置と考えてください。多少はずれていると思いますが、この程度の密度でレーザ測量が実施されていることとなります。10cm四方の枠の中に、先ほど申し上げたような密度の点があります。パッと見ただけで10点以上ぐらいあります。これが30cm枠だと、約9倍の90点程度はあると思います。

1mごとにレベル測量を実施していますので、その結果を用いて、測量していない部分の標高を内挿し、レーザ計測した地点の標高との較差を算定しました。その結果をプロットしたのがこの図面です。

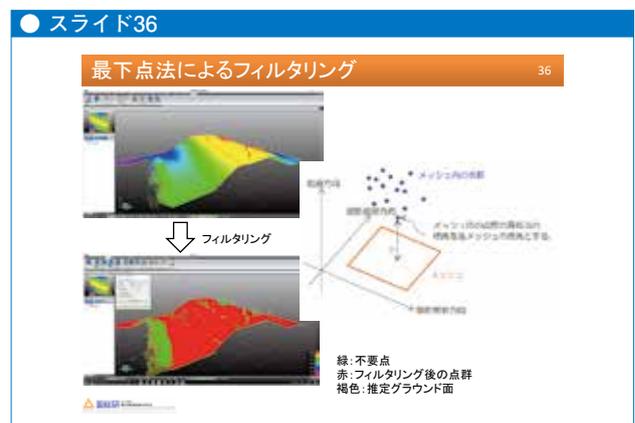
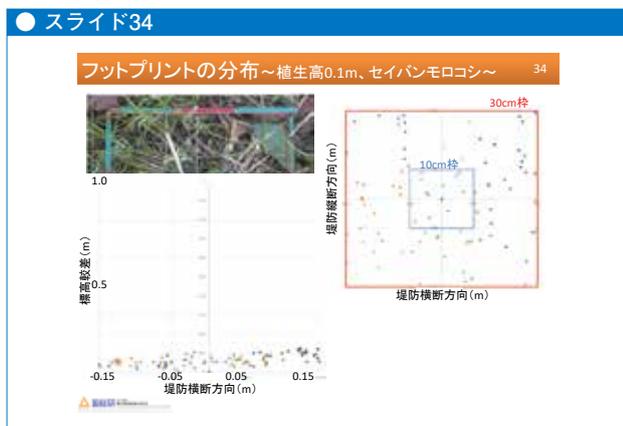
ここには最大で10cmぐらいの背丈の植生しかありませんので、ここが10cmの高さなのですが、大体10cmぐらいの較差のところに入っていて、ほぼ10cmという植生高のところぐらいの精度が得られています。精度というか「10cmぐらいの較差に収

まっている」ということです。このうちの何点が堤防表面に到達しているか、という話になるかと思えます。

(スライド35) これは、植生高が1mと高い調査区間について、同じくイネ科の植物が繁茂する場でのフットプリントの分布です。同様に標高の較差をプロットすると、1mの植物の影響で、較差10cmのところにはほとんどデータはなく、1mから80cmの範囲に多く分布しています。したがって、堤防表面を計測することは難しいと思います。

(スライド36) これは、フィルタリング方法を説明したイメージ図です。一般的な最下点法です。左はイメージなのですが、各メッシュに入っている点が多くありますが、例えば点群データを使うとしたら10cmメッシュの中に入っている一番低い点を10cm枠で捉えられた堤防の高さということで評価し、10cmのメッシュデータを作成します。

(スライド37) これは、10cm、30cm、50cmのメッシュについて、上記した最下点法を用いて、レーザ測量成果とし、レベル測量結果の内挿値と比較した結果です。10cmメッシュぐらいでやらないとあまり意味がないと思うので、10cmメッシュで見たいと思いますが、大体10cmぐらいの精度の較差のところに入っているのがわかるかと思えます。植生高が50cmを越えると、較



差が20cm近くになります。

除草直後の堤防では、植生高は10cmぐらいになりますので、この10cmを閾値として、この値を越えた時には堤防の形を計測できないというように、割り切って考えることとしました。そう考えると、葉の面積の小さいイネ科の植物では、50cmぐらいの植生高であれば、堤防の形状を何とか計測できると考えました。

(スライド38) これは、植生高とレーザ透過率の関係を示します。先程のフットプリントの図面で、何割のレーザ光が法面に到達したかをレーザ透過率と考えました。横軸は植生の高さですが、高さ10cmの時には8~9割のレーザ光が法面に到達しているのに対して、植生高が50cmを越えると透過率は1割ぐらいになってしまいます。50cmぐらいになると1割を切ってしまうということです。

航空レーザ測量ですと、大体50cmメッシュに1点の点群密度です。今回50cmメッシュに10点以上

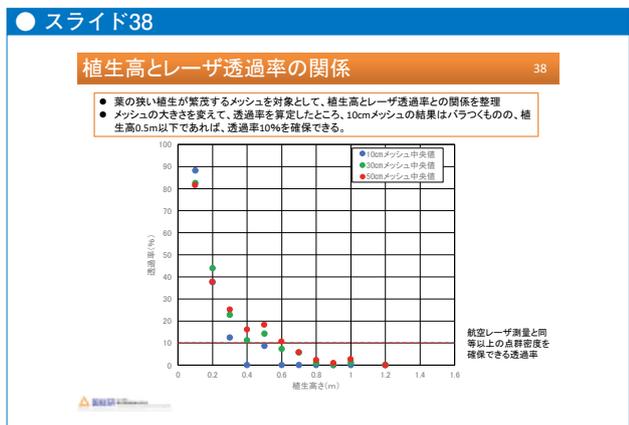
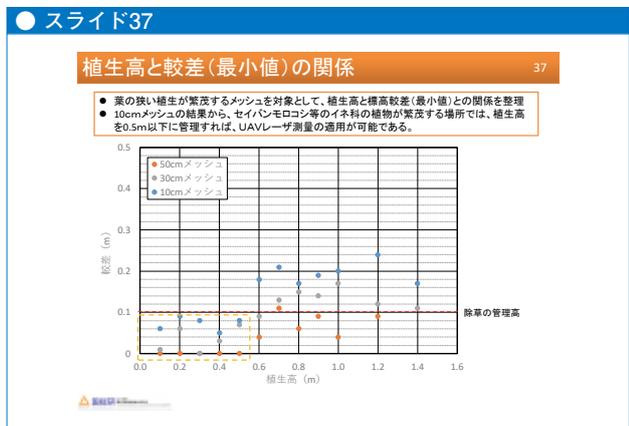
とかなりの点群密度ですが、1割が透過するとなると、大体航空レーザの測量の点群密度と同程度になると考えることができます。この透過率10%に引かれたラインは、航空レーザ測量の点群密度相当という意味です。

先ほどの10cmの較差という話とこの透過率の話からすると、航空レーザ測量と同程度の点群密度を確保しようと思うと、植生高50cm以下、葉の面積は比較的狭い植物であれば、堤防形状の測定にUAVレーザを適用できると考えます。1箇所のデータなので、今後他にも展開してみないとわからないのですが、1つの事例として紹介させていただきました。

UAVというのはたくさん点を打つから、堤防の表面まで通るのだという意見を聞いたこともあります。それほど単純ではなく、なかなか難しいと思います。やはり堤防の変状、表面の形の変化を捉えようと思うと除草する必要があり、除草後の堤防法面に適した事例として円山川の事例を紹介しました。円山川では大型除草機械で植生を刈り取った後に調査を実施しました。また、UAVも比較の対象としました。

(スライド39) 場所が変わって円山川の事例になります。

これは堤防点検の要領にある表ですが、対象とした変状となります。土堤の変状を対象として、亀裂、沈下、寺勾配など、これら12の変状を対象にしました。



● スライド39

対象とした変状 39

変状区分	特徴	種別別対応措置	調査
土堤	<ul style="list-style-type: none"> 亀裂及び陥没 陥没陥没 陥没陥没 陥没陥没 	<ul style="list-style-type: none"> 沈下 寺勾配 傾斜 	[1] 亀裂
			[2] 陥没
			[3] 陥没
			[4] 陥没
			[5] 陥没
			[6] 陥没
			[7] 陥没
			[8] 陥没
			[9] 陥没
			[10] 陥没
			[11] 陥没
			[12] 陥没

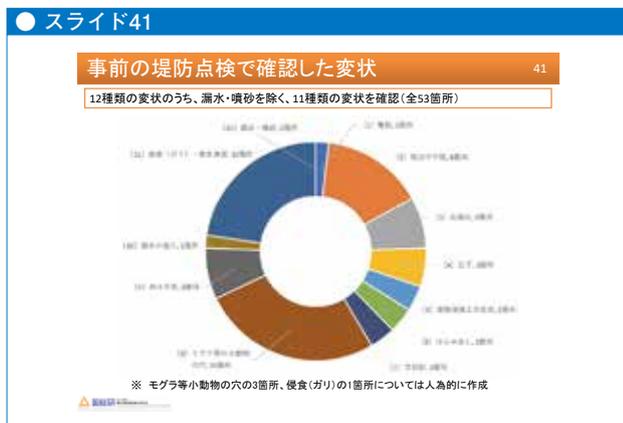
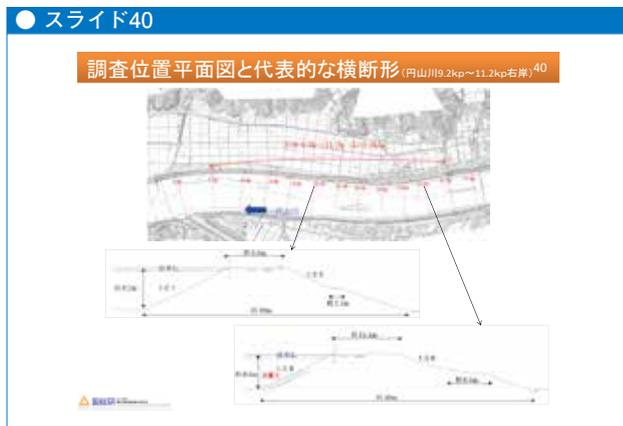
出典) 堤防等河川管理施設の点検結果評価要領、平成28年3月、国土交通省水管理・国土保全局河川環境課
各施設に求められる機能と機能低下の状態より

(スライド40) どのくらい変状があるのかということについて、円山川で事前に調査しました。調査の範囲は右岸側の9.2km～11.2km、約2kmの区間を対象としました。堤防の形としてはここにも書いてありますが、高さが約6mで、天端幅が約8mと結構広い堤防です。法面の勾配は2割～3割程度の箇所となります。

現場の堤防点検は既に完了していましたが、大きな変状については修繕されておりました。確認された変状は、bランクの変状となります。

(スライド41) 点検の結果、53箇所に変状が確認されました。大きさの異なる変状を作成し、測量結果での見え方を確認したかったため、一部の変状を人為的に作成しました。モグラ穴を3箇所、ガリを1箇所作成し、合わせて53箇所としました。

変状の種類が11種類となっていますが、漏水・噴砂は当然ないので、他の11種類でこれぐらいありましたということです。亀裂が1箇所、陥没が8箇所、法崩れが4箇所です。法崩れといっても少し法面が滑ったように見える箇所です。沈下が3箇所、堤脚保護工の変形が2箇所です。それから、はらみ出しが2箇所、寺勾配が2箇所です。通常の点検では無視するような軽微な変状まで含めて調査しました。草刈直後に2km区間を重点的に調査したことで確認できた変状もあったと思います。



所、法崩れが4箇所です。法崩れといっても少し法面が滑ったように見える箇所です。沈下が3箇所、堤脚保護工の変形が2箇所です。それから、はらみ出しが2箇所、寺勾配が2箇所です。通常の点検では無視するような軽微な変状まで含めて調査しました。草刈直後に2km区間を重点的に調査したことで確認できた変状もあったと思います。

(スライド42) 次に、3次元データを立体図表示し、その画像を確認しながら変状を探していくのですが、変状の種類によっては表現方法を変えたほうがいいのではないかとということで、まずは変状の特徴による大まかな分類を行いました。先ほどの12の変状について、形状で分類しました。線状、点状、面状の3種類です。

2つ目は、輪郭が明瞭か不明瞭かで分類しました。

3つ目は、植生異常とか、噴砂とか、排水不良とかは、形とか輪郭ではなく、土とは異なる物質が露出する変状としました。いろいろご意見があるかもしれませんが、こうしたグループ分けを行った上で試行しました。

「A」グループは、形状が線状であり、輪郭が明瞭なものです。主な変状はガリ侵食や亀裂です。当然、これらの変状でも明瞭ではないものがあるかもしれませんが、今回はこのように分類しました。

2つ目の「B」グループは、幅が比較的広く輪郭が明瞭なものです。主な変状は陥没や侵食です。

3つ目の「C」グループは、樹木の有無で分けます。

● スライド42

変状の特徴による大まかな分類 42

- 形状が線状、点状(幅が小さい)、面状(幅が大きい)
- 輪郭が明瞭、不明瞭
- 樹木や植生の有無、水の有無や湿潤状態

グループ名	主な変状	特徴
A	[1] 亀裂 [8] モグラ穴等の小動物の穴 [11] 侵食(人為的に作成したガリ) [12] 噴砂	● 形状:線状または点状(幅が小さい) ● 輪郭:明瞭
B	[2] 陥没 [5] 堤脚保護工の変形 [11] 侵食	● 形状:面状(幅が大きい) ● 輪郭:明瞭
C	[10] 樹木の侵入 [11] 植生異常	● 樹木や植生の有無
D	[2] 不陸 [3] 法崩れ [4] 沈下 [5] 堤脚保護工の変形 [6] はらみ出し [7] 寺勾配	● 形状:面状(幅が大きい) ● 輪郭:不明瞭
E	[9] 排水不良 [12] 漏水・噴砂	● 水の有無や湿潤状態

ここで、「D」グループを飛ばして、「E」グループですが、主な変状は排水不良や噴砂が該当します。水や土砂の有無で分類しました。

赤い破線で囲んだ「D」グループですが、形状は面状と書いてありますが、線状もあったり、点状もあったりします。輪郭が「不明瞭」と書いてあるように、実は結構ここに入ってくるものが多いのではないかと考えています。主な変状は不陸、法崩れ、沈下、堤脚保護工の変形、はらみ出し、寺勾配などがこれに該当します。これらの変状は、目視では確認しにくいものです。

このように5グループに分けて、グループごとに適切な表示法がないかを確認しました。例えば、Aグループは傾斜図がいいとか、Bグループは等高線図がいいとか、Cグループは写真がいいとか、何かそういう分け方ができたらおもしろいなと思い、最初にこんな大まかな分類をしました。

(スライド43) これは、変状の確認に用いた表示法の一覧です。私は画像処理の専門家ではないので、GISで使えるような一般的な表示法だけです。

左上は等高線図です。各点の標高から同じ標高となる点を結んだものです。左下は、等高線図に着色して影をつけた表示法であり、段彩図と呼ばれます。真ん中は、陰影図(レリーフ図)です。陰影図は、北西から地表面に光を当てて凹凸を見たとき

に、影の部分が見えてくるというものです。これは人為的にモグラ穴を作った事例ですが、影があって非常に見やすくなっているという事例です。

右上は傾斜図です。各地点の最大傾斜を算出して、傾斜の大きさを白黒の濃淡で表現したものです。白いほど傾斜は緩いということで、モグラ穴のところは急勾配ですので、そのところが黒くなっています。

右下は、地上開度図です。地上開度図は、各地点で周囲8方向を見てどのぐらい空が開いているかという、開けた角度を表現した図面となります。モグラ穴のある箇所は、開度が小さくなるものと思います。

このような5つの表示法を、先ほどのA、B、Dのグループに適用しました。CグループとEグループは形状では判別しにくいと思いますので、別な方法を検討します。

(スライド44) これらの5つの表示法を使って、どの程度変状を検出できるかを確認しました。人数は少ないのですが、堤防点検に関する知見を有する5人の技術者を集めて、変状の記録された図面を見ていただき、この表示法を変えて、「これならわかりますか」ということを聞いて、「わかる」と言ってくれたらカウント1を増やして行って、5人中5人がわかれば100%わかっていると、そういう方法で検出率を算出しました。

● スライド43

変状検出に用いた表示法 43

各点の最大傾斜を算出し、傾斜の大きさを白黒の濃淡で表現した図。白いほど傾斜が緩い。

各点の標高から同じ標高となる地点を推定し、線で結んだ図

北西から地表面に向かって光を当て、凹凸のある地表面の北西側を白く、南東側を黒く表示した図

各点における周囲8方向の斜面の鉛直方向への平均的な開き具合(開度)を表現した図。白いほど開度が大きい。

等高線図を着色もしくは影を付けることで地形を立体的に表現した図

● スライド44

表示法が変状検出率に与える影響の評価方法 44

堤防点検に関する知見を有する技術者(5人)に、変状の記録された図面を確認させ、それぞれの変状が明瞭に認識できるかどうか評価。以下の表示法で検出できると考えられるグループA、B、Dに適用。

(スライド45) これらは、表示例として紹介する主な変状とその位置です。モグラ穴、ガリ侵食、陥没、不陸等に適用しました。

(スライド46) これは、人為的に作成したモグラ穴を大型除草機器で測量し、5つの表示法で描画した結果です。UAVに比べ、大型除草機械の方が点群密度が大きく、変状を鮮明に確認できますので、その結果をまずは紹介します。また、メッシュの大きさについて、5cmメッシュのものが最も見やすかったことから、その結果を示します。後程、メッシュの大きさの影響についても紹介します。

ちなみに、現場の状況は右下の写真の通りです。これだけ鮮明であれば写真を見たほうがわかりやすいかもしれません。

等高線図、傾斜図、陰影図、地上開度図、段彩図ですが、皆さんはどれが点検に使いやすいと感じるでしょうか。人為的に作成した変状だからかもしれませんが、どの表示法でも変状を確認できます。

(スライド47) これは、陥没の表示例です。赤い丸がついているところが、陥没があったところです。これらの図面から陥没を確認するのは難しく感じます。各図の下側に記載された数字が、「わかった」と言ってくれた人の数です。

傾斜図では、3人は何とかわかると言ってくれましたが、他の図面でわかると言った人はいませんでした。多分、傾斜図以外の図面では「ここが怪しいよね」、「もっとこっちのほうが怪しいかな」など、いろいろ怪しい部分が見えてくるようです。現場では、この写真のように見えているのですが、怪しい部分が他にも見えてきてしまうので、結局どこがどこかわからないという、そういう見え方をしてしまうのかなと思います。こんな中、傾斜図は陥没の特徴を捉えることができたように思います。

(スライド48) これはガリ侵食と寺勾配の表示例です。ガリ侵食については、人為的に作成したものです。ガリ侵食の表示結果を見ると、こんな感じで



非常にわかりやすいです。評価結果は2段で書いていますが、下段がガリ侵食です。人為的に作成したガリは、図面から確認しやすく、ほぼほぼ5人の方にわかると言っていました。右下の写真にあるように目視でも鮮明に確認できます。

寺勾配については、10cmぐらいの寺勾配、箱尺を用いて高さを測ると高さが約10cmありました。10cm程度の寺勾配なので、発見しにくい変状であると思います。この寺勾配の表示結果ですが、皆さんはわかると言えるでしょうか。傾斜図では3人、陰影図では2人、地上開度図では1人、その他の表示法では変状を確認できませんでした。

寺勾配については、先ほど紹介させていただいた福井河川国道事務所さんの表示方法がよいと思います。また、現場には坂路があったり、勾配が異なる区間があったりするので、現場を知っていることが重要です。

(スライド49) ここまでは確認しやすい結果を紹介させていただきました。表示方法を変えて変状確認の可否を確認しましたが、やはりなかなか全部を捉えるのは難しいというのが、試行した印象です。

また、表示にあたって難しいと思ったのは、メッシュサイズで見え方が異なる可能性があることがわかった点です。点群データを高密度で取得し全部使えばよい結果が得られると思っていましたが、最適にメッシュ間隔があるようです。すなわち、点群データを間引いて使おうと思うと、こうした問題が

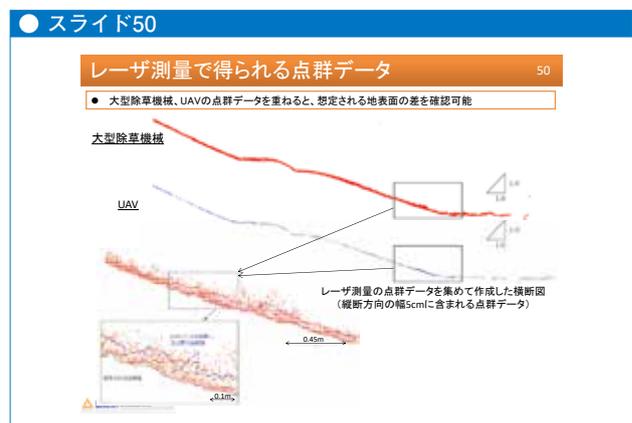
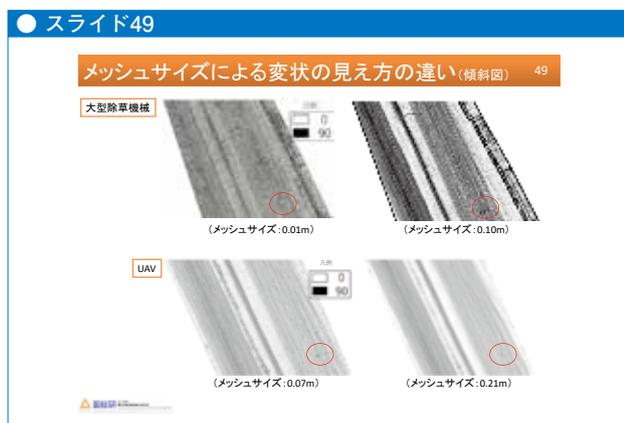
あるということです。

図は、上が大型除草機械、下がUAVで測量した3次元データの表示例です。すべて傾斜図としていますが、メッシュサイズが異なります。大型除草機械の場合、1cm四方に1点程度の点群密度なので、1cmのメッシュサイズが最小です。左上の図面です。ちょっと大き目にして10cmのメッシュサイズとしたものが右上の図面です。同じ陰影図を描いているのですが、異なる図に見えます。勾配が、メッシュサイズを10cmにすることで鮮明になりました。

UAVだとそもそもデータが少ないので、勾配自体がなまってくるようです。勾配がきつい部分だとか緩い部分がちょっと目立たなくなって、色も強調されるところがなくなって見えにくくなります。

ちなみに、UAVの点群密度では、最小のメッシュサイズが7cm程度です。左下がそれに該当します。このメッシュサイズを3倍にしたのが右下の図面です。大型除草機械と同様に、メッシュサイズを変えると色が鮮明になります。

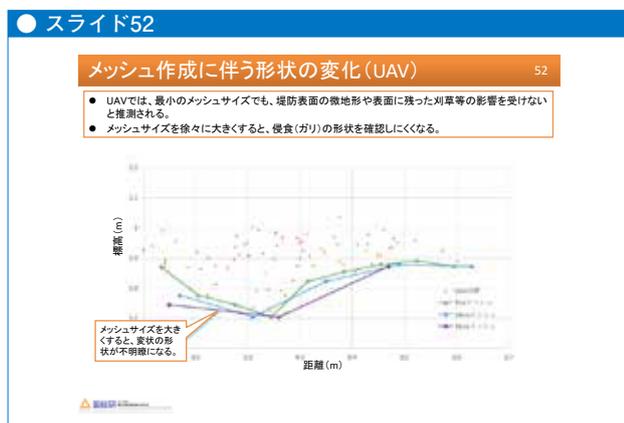
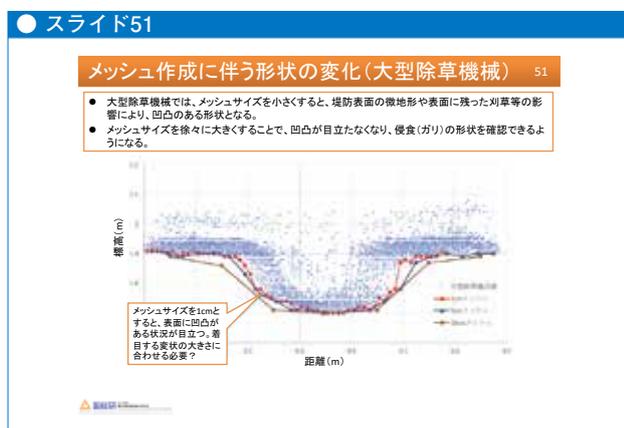
(スライド50) UAVと大型除草機械でどのぐらいデータの質が違うのかというのを表現しています。横断面に沿って幅5cmのところに落ちた点群データを全部プロットしてみると、法面の形状はこのぐらい(赤点)たくさん点が打たれているというのが、大型除草機械です。一方、同じところのUAVのデータを持ってくると、このぐらい(青点)透けて見えるという状況です。



この四角で囲った部分を取り出して重ねて書いたのが左下の図なのですが、大型除草機械の赤い点が多数を占め、少し上のほうにぼつぼつと青い点が見えます。ちょっとこれだと見にくいので、一番左下の図を見ていただきますと、大体この長さが10cm、先ほどの草の高さが10cmぐらいなのですが、大型除草機械はやはりたくさん打っている分、堤防表面まで届いているというのがよくわかります。一方、刈った後の10cmの植生だとはいえ、UAVはなかなか下まで全部届いているわけではなくて、結構近くまで到達しているものもあれば、10cm程度離れているものもあるという、そういう状態がわかります。

先ほどの表示例は、このようなデータを処理した結果です。

(スライド51) 点群データからメッシュデータを作成する際、傾斜図の見え方が異なる理由を確認するために作成した図面がこれです。ここが人為的に

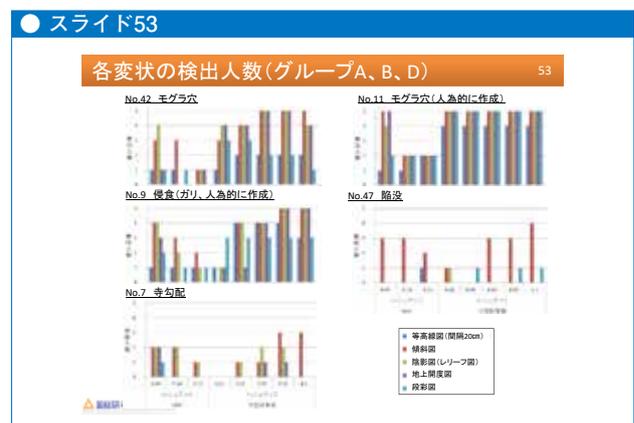


つくったガリ侵食の部分です。この図は、その横断形を計測した点群をプロットしたものです。一番細かい1cmメッシュだと赤い線になるので、細かい変化まで確認できます。それを3点の最下点を抽出するように処理すると、3cmメッシュの青い点になります。さらに10cmメッシュにすると、茶色の線、低い点に落ちてきます。

これだけ見ますと、傾斜図でくっきりとした形が現れましたが、たまたま10cmメッシュが鮮明に見えたようです。ガリの形が違えば、変状が鮮明に見えるメッシュサイズも異なると考えられます。私自身は、画像処理の専門ではありませんので、これを解決する方法を持ち合わせていません。どなたか開発していただけると助かります。

(スライド52) 同じようにUAVのデータでも先ほどのガリの部分を描いたのですが、UAVだと最も細かい7cmメッシュのデータでもなまっていて、そのデータを間引いて、14cm、21cmのメッシュデータを作成しても、同じようになまっている状況でした。恐らく見たい変状の大きさに応じて、最適なメッシュサイズがあるのだらうと思います。

(スライド53) 先程のモグラ穴、陥没、ガリ侵食、寺勾配に対して、変状を確認できた人数を検出人数としてヒストグラムを作成しました。棒グラフの色はこれらの表示法に該当します。紺が等高線図、赤が傾斜図、緑が陰影図、紫が地上開度図で、



青が段彩図になっています。さらに何人わかったかというのを、横軸の左側にUAVをメッシュの大きさを3つに分け、横軸の右側に大型除草機を、これもメッシュのサイズを分けて表示しています。このぐらい差が出てきます。

(スライド54) これは、先程の図面を集計した結果です。Aグループ、Bグループ、Dグループの各変状の検出人数を単純に足し合わせた結果です。

UAVの場合はメッシュサイズが小さい方が、すなわち最小のメッシュデータをそのまま使った方がよくわかります。また、大型除草機械ですと、ある程度点群データを均して使った方がわかりやすくなります。

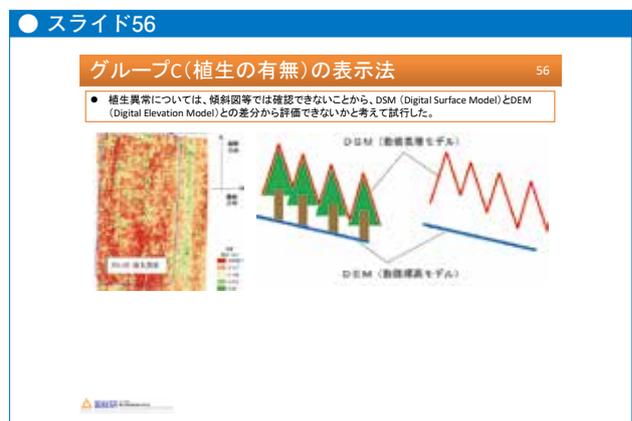
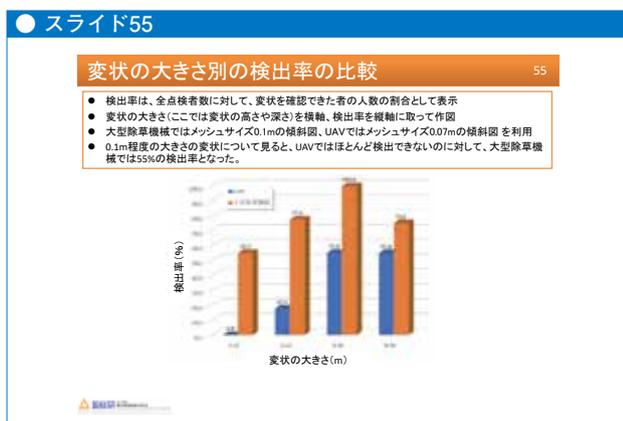
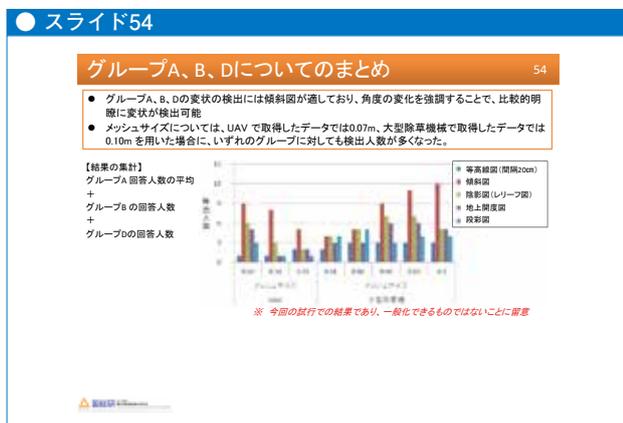
また、これらの表示法の中では傾斜図が一番わかりやすいという結果です。ただし、ここにも書きましたが、これは試行の段階のものなので、一般化できるとは思っていません。3次元データがあるからといって、すぐに堤防の変状を検知できるというよ

うなものではありませんので、画像処理等の自動検出手法の開発が望まれます。

(スライド55) これは、変状の大きさ、ここでは高さとしましたが、ガリ侵食でいえば深さでして、変状の大きさ別に、検出率（5人中、何人がわかるとしたか）をプロットした図です。青がUAV、オレンジ色が大型除草機械の検出率の結果ですが、やはり小さい変状についてはわかりにくいようです。一番左のグラフから10cm、15cm、20cm、30cmの大きさの変状ですが、大型除草機械の1万点という点群を使っても、10cmの大きさの変状について、その検出率は50パーセント程度でした。なお、UAVではほとんど検出できませんでした。

UAVで検出できるようになるのは、20cmくらいの変状からです。やはり点群をたくさん打たなければいけないとは思いますが、実はたくさん打ったとしても見落としなく変状を発見できるものではなさそうです。ここまでが変状のAグループ、Bグループ、Dグループの結果です。

(スライド56) グループCの植生異常については、思いつき程度で試してみた結果になります。樹木の高さを判別するのに、DSMとDEMを使って評価しますが、法面に繁茂する植生の高さ分布から、植生異常を検出できないかを確認しました。この赤いところがDSMとDEMの差が小さいところです。



(スライド57) 上が大型除草機械で、下がUAVです。四角で囲った植生異常箇所がありますが、わかると言えばわかりますし、この箇所だと何とかわかるような気がします。

(スライド58) 一方、同じように植生異常があるところを別の場所で確認すると、こちらはほとんどわかりません。簡単に試したのですが、これでは少し難しそうで、別な方法が必要と感じました。こうした変状に対しては、レーザ測量成果ではなく、写真の方がわかりやすいと感じました。

(スライド59) これは、排水不良の状況です。法尻付近に水が溜まっている状況、法尻付近ではジメジメしている状況などを確認できます。

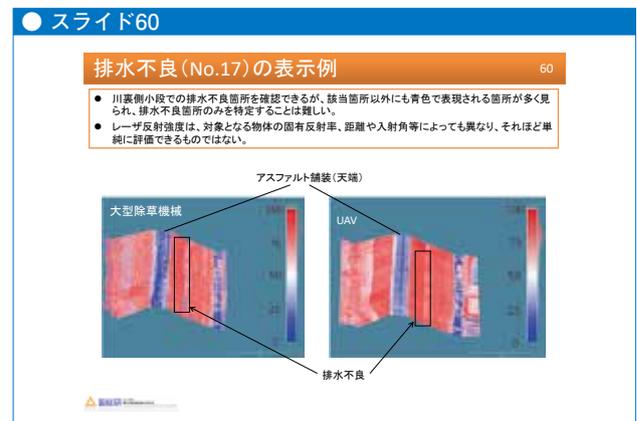
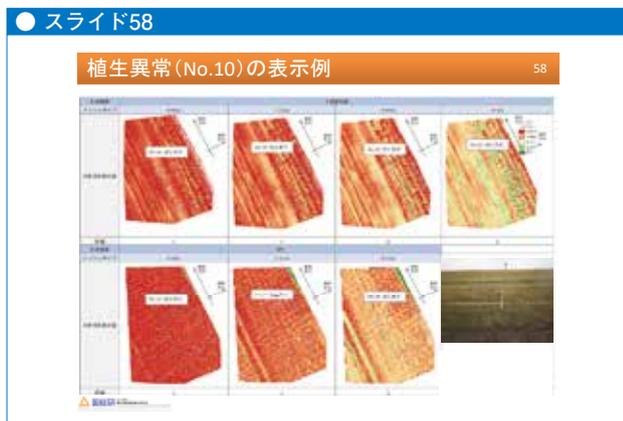
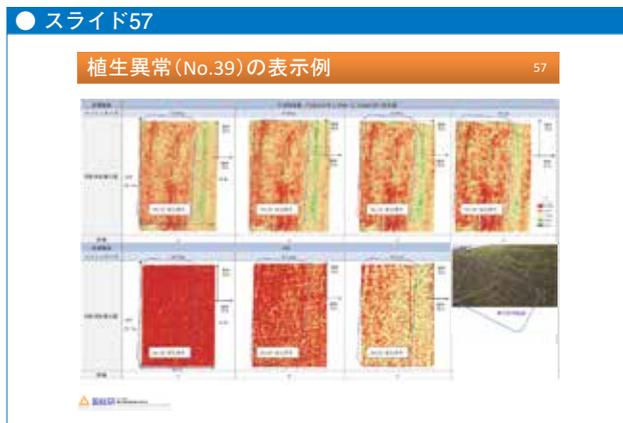
(スライド60) これも簡単に試した結果の報告となります。排水不良区間を確認するため、レーザの反射率の分布図を描きました。左側が大型除草機

械、右側がUAVの結果です。

ちょうど黒い線の四角く囲ったところが排水不良の場所なのですが、青いほど反射率が低いことを表します。レーザの特性から、水分があるところは反射率が低くなります。排水不良区間は、それなりに反射率が小さくなっていますが、他にも反射率が低い箇所が多々見られます。実はレーザの反射率は、対象となる物体の固有反射率とか、距離とか、入射角によっても異なるようです。排水不良区間を特定できるものではありませんが、抽出された箇所の中には、排水不良区間がありそうだということがわかります。

(スライド61) これは飛ばします。

(スライド62) 最後にまとめになります。1つ目は、3次元データの計測技術について紹介させていただきました。本当にいろいろな技術が出てきています。その中でも、植生の影響がこれまで大きかっ



たのですが、それを打ち破った大型除草機械を紹介しました。

2つ目ですが、現場の方にもいろいろ聞いてみると、既に3次元データとしては活用しているのですが、まだそれを個々に活用している段階で、3次元データによって生産性革命が進んでいるかということ、今後に期待といったところと感じています。多自然川づくりだとか、川づくりのためのCIMの世界に持ち込んでいくと少し発展していくのかなというように思っています。CIMのガイドラインというのはJACICさんのほう、本省のほうで作られています。そういうガイドラインを今後どうするかという中で、河道のCIMというのは実はまだできていないので、河道のCIMをどうするかということを考えていくのに、多自然川づくりとの連携みたいなものを考えていきたいなと今思っているところです。

3つ目は、植生がどのぐらいレーザ測量に影響を与えるかということで紹介させていただきました。小貝川の事例のようにイネ科の植物であれば草丈を50cm以下に管理することで、大体航空レーザ測量と同じぐらいの点群が法面に到達することになるのではないかと期待できると思います。やはり堤防点検に活用しようと思うと、まだまだ難しい。草がある状態では難しいということです。

一方、先ほどお話をしたとおりですが、堤防点検に適用しようと、除草後に使っても、対象としている変状を見落とさなく見つけることは難しい。この技術に対する期待は高いとは思いますが、机上点検



に使うためには、見落としがなく、自動抽出できることが必要です。こうして変状を抽出できれば、それらを平面図上にプロットし、予防保全段階、要監視段階、要対策段階など、堤防の健全度を評価するのに利用できます。現場での確認は、限定的になります。ところで、3次元データの容量は非常に大きいため、こうしたビッグデータをどう保存し、処理するのか、3次元データを河川管理に適用する上で解決すべき課題の1つです。

ビッグデータの扱いが得意な方はたくさんいると思いますので、堤防点検にも興味を持ってもらえると、ありがたいと思っています。今日はそういう方にも聞いていただけるとよいと思って話をさせていただきました。まとまりのない話となりましたが、これで終わります。どうもありがとうございました。

● スライド61

グループE(排水不良)について 61

【結果】

- UAV・大型除草機ともに小段川表側の湛溜状況を過半数が認識できると回答した。

グループEの現出特性

- 反射強度により、湛溜箇所を明確に検出することは困難である。今後、検出を進める必要がある。
- 大型除草機とUAVの図の色味を合わせることで検出人数が同じになる可能性がある。

● スライド62

おわりに 62

- 3次元データの計測技術に紹介(航空レーザ測量、音響測深、大型除草機械、MMS、地上設置型レーザ測量、UAVレーザ等)
- 河川分野における3次元データ活用の期待について紹介(調査、計画、設計、施工、維持管理、CIMとの連携、多自然川づくりへの応用)
- 堤防天端に繁茂する植生がUAVレーザ測量に与える影響を評価
 - 小貝川で適用した結果によると、イネ科の植物であれば草丈を50cm以下に管理することで、1割のレーザ光が法面の表面に到達することを期待できた。ただし、以下で検討する堤防点検への適用は植生が繁茂している状況では難しいことを示唆するものであった。
- レーザ測量成果(大型除草機械、UAV)を用いて堤防点検(机上点検)への適用性について検討
 - 円山川で適用した結果によると、UAVで取得したデータを0.07mメッシュ、大型除草機械で取得したデータを0.10mメッシュに加工し、傾斜図で表現することで、亀裂、陥没、がり、寺勾配等の変状を検出しやすくなるが確認された。
 - ただし、全ての変状を机上で確認できるものではなく、その検出率は変状の大きさが0.1mの場合で、大型除草機械で半分程度、UAVではほとんど検出できなかった。
 - こうしたレーザ測量成果の堤防点検への適用の期待は高いが、レーザ測量成果を机上点検に用いるためには、全ての変状、特に予防保全段階と判断される変状を見落とさなく検出することが求められる。今回適用した変状は要監視段階のものであり、予防保全段階に比べれば、検出しにくい変状であった。

<質疑応答>

質問者1 本日はありがとうございました。最初のところで5種類くらい、測量手法ということでご紹介いただいたところなのですが、こういう測量を発注しようとなると、測量技術がある程度普及している方がいいという思いがありまして、どのくらい普及しているのかご存知でしたら教えていただければと思います。

福島 ご質問ありがとうございます。普及という意味では、航空レーザはほとんど実用化されています。ただ、河川定期横断測量に使えるかどうかという話は、まだ今は検証しているところです。地形測量としてはいろいろなところで使われているのはご存知のところかと思います。

音響測深も測量に使われています。河川定期横断測量でも、水中部は基本的に音響測深を使っています。

地上設置型レーザ測量も、各所で利用されています。MMSも同様です。大型除草機械は去年から今年ぐらいにかけて実証実験をされているので、実証実験の結果、これは使えるということになれば来年度からはかなり（今年度からかもしれませんが）これを展開していくことになると思います。逆に、今日は大型除草機械を扱われている会社さんも来られているので、後で聞いていただければいいと思います。もしかしたら今コメントをいただけるかもしれませんが、そこはMさんあたりでしょうか、指名してよいでしょうか。

M氏 大型除草機に設置して堤防を計測する技術については、3年間かけてSIPの技術開発の研究を進めてきました。平成28年まで研究開発を進めてきたわけです。それで実は平成29年度と今年度に、国土交通省の一部の事務所にご協力をいただきながら試行的に今、試験を進めているという段階です。来年ぐらいにかけて、ある程度国土交通省さまが示すリクワイアメント等に応じてその性能要求をクリアできれば、わが社としても国土交通省さまに広く使っていただけるということであれば舵を切っていく

いなと、そういうような考えで、今は実証している最中というところでございます。

福島 ありがとうございます。突然話を振ってすみませんでした。大型除草機械は規模が大きく取り回しが難しいので、できればもう少し小型化してほしいとMさんをお願いしています。もっと簡単に使えるようになると、広く使われるようになると思います。

質問者2 今年度、河川定期横断測量でグリーンレーザ測量を使うことができないかということで一回、測量業者等に確認していろいろやったのですが、その測量業者の方から出してもらった精度というのが、今回30年度の河川定期縦横断測量実施要領・解説等と照らし合わせて精度を見ていたのですが、河川定期横断測量というのはある程度精度が必要なもので、まだちょっと現実的にはそれに見合うかどうかということで、難しいということで発注を断念した経緯があります。

実際に測量作業を進められた際に性能的にも満たす業者があるという話をされていましたが、測量業者が使っているどういうメーカーのものがいいのかというのを教えていただけないかというのが1点です。

あともう1つが、グリーンレーザ測量というのは航空機を使って行いますが、そうするとやはり費用としてもばかにならないところがあります。そこでUAVを使って、UAVにグリーンレーザの機械を乗せたものを発注できないかといういろいろ検討をして調査したのですが、東北管内ではそういうものを扱っている業者が存在しないということもあり、一方で別なところから、実際にそういう業者があって既に現実に使っている、業務の中で実践に堪え得るものを使っている事例もあるという話も聞いております。実際にその辺はどうか、精度の話と、UAVを使ったグリーンレーザ測量といったものが実現しているのか、その2点について教えていただければと思います。

福島 ご質問ありがとうございます。本日は航測会

社さんも多数来られているようですので、そういう方のほうが本当は詳しいと思いますが、私の知っている範囲でお答えすると、航測会社さんのほとんどの会社があるレーザ測量機器を使っていて、それはもうほとんどその1種類だと聞きました。ある会社1社さんだけが別の機械を持っているが、性能はほとんど同じだと聞いていますので、航測会社さんの機器の性能についてはそんなに変わらないのかなと私は思っています。これが1点目ですね。

2点目のUAVレーザは、本省の革新的河川管理プロジェクトで進めてこられていて、確か2社が競ってそのグリーンレーザを考えられていたのですが、うち1社さんが試験できる段階に来ていて、実は私たちの業務の中でも、その業者さんに協力していただいて、水域で計測していただきました。

航空レーザは、レーザを振って計測しますが、そのような機構を付けるとその分だけ機器が重くなるので、単純に機器の直下1点のみで計測するグリーンレーザがその時点では開発されていて、その機械を使わせてもらいました。今日はグリーンレーザの話はしなかったのですが、荒川の入間川が合流するあたりで、大体水深が7~8mあるのですが、航空レーザ測量（グリーンレーザ）を試しました。その結果、濁りがあって、2m60cmぐらいまでしか計測できませんでした。われわれ行政としても深いところを計測できないとやはり使えません。

UAVについているグリーンレーザなら、深い水深でも計測できるといった期待がありましたが、結果は航空レーザとほとんど同じで、やはり深い箇所は計測できませんでした。やはり上のほうから、400mぐらいの高さから計測するとたぶんそれなりに強い強度のレーザを使う必要があると思います。一方、UAVでは、たかだか30m~60mの高さから計測していますので、そもそもそれなりに弱い強度のレーザを利用しているようです。人の目にも影響してしまいますので、弱い強度のレーザを使っています。また、航空レーザは、フットプリントの半径が50cmから1m程度でレーザが広がってしまうの



で、減衰して深いところまで届かないと聞きました。UAVですと、フットプリントの大きさが2cmぐらいであり、一点に集中するので深いところまで届くのではと期待したのですが、結果は同じでした。やはり強度を強くしたり、別の波長のレーザを使うことが必要かもしれません。今後の開発に期待します。

冒頭にちょっと申し上げましたが、平成18年ぐらいに国総研で、河川砂防技術開発制度の関係で検討させていただきましたが、その時の結果だと、国内だと大体見込みだけで水中を計測できる河川が直轄で半数くらいでした。恐らくですが、樹木の繁茂状況を考えると、さらに半分くらいとなって、4分の1ぐらいの河川が航空レーザ測量が適用可能な河川になるかと、そんな感覚を持っています。

質問者3 質問ではないのですが、今日の午前中に土木研究所の情報化のセミナーに行ってきたのですが、自動化運転のためのセンサーとして、確か日立さんだと思いましたが、路面の状況を確認するセンサーを今開発しているということでした。それでコンクリートかアスファルトか、濡れているか、雪か氷かはわかるということでした。それも文献から拾った数字なので、これからは実際にそのセンサーを使って現地実験をやっていきますということでしたので、そのセンサーを先ほどの大型除草機械につけておけばよいのではないのでしょうか。先ほどレーザだとよくわからないというのがありましたが、排

水不良とかがセンサーでよくわかるようになるのではないかという、ただの情報提供でございます。すみません。以上です。

福島 コメントありがとうございます。先ほど話をしていたMさんもそういうことは考えられていたようなのですが、やはりそこは「需要と供給」ではないですが、「こういう需要があれば」ということのように。センサーをつけることはできると思いますが、やはりどのぐらい目視でわかるか。多分、写真だとかなりわかると思います。なので、写真を撮っておけばいいのかとか、そういうことも少し考えているところがあります。

質問者3 自動運転自体が2025年の完全実用化を目指していて、その実用化レベルでの検証は22~23年ぐらいまでには終わるという話ですから、そういう意味では、確か日立さんだっと思いましたが、「そちらのほうのセンサーをちょっと貸して」というぐらいだったら、話をしたら、「計測したデータを渡しますよ」とご協力いただけるかなと思いました。素人考えですが。

福島 わかりました。そういうのがうまく成立するといいかもしれませんね。

質問者4 後半の発表の堤防の点検で、堤防というのはまだまだ難しいということでしたが、例えば大型除草機械を使うと反復で複数回データが取れていくことがあるかと思えます。そういう時に差分解析みたいなものできると、進行性の変状であったり、ノイズの除去とか植生などはやりやすいかと思えます。一時期ですと人にかなうものはないのですが、そういう反復で、複数期繰り返すとデータとしてメリットが出てくるような、何かそういう活用方法はあるのではないかなと思っています。

福島 ご質問ありがとうございます。それは私が考える前に先ほど紹介したMさんも考えられていて、この差分図から作ることはもう考えられているようです。ただ、計測する時にデータの精度が必要であり、一時期であれば相対的にデータが整合していれば十分です。しかし、差分図を作成するには、

絶対値で誤差を小さくする必要があります。高さの情報を精度よく取ろうとすると、それだけいろいろ途中で作業、GPSの初期化等の作業を入れなければいけないので、手間やコストがかかってしまうようです。また、精度を確保するための後処理も入ってきます。少し課題を述べましたが、当然、ご指摘の使い方はあると思います。

ただ一方で、それもなかなか難しいなと思ったのは、堤防というのはそもそも沈下をちょっとずつしたりしています。砂利道であれば人が使うことで変わるものもあるし、舗装であってもまた沈下すればオーバーレイ、削ればオーバーレイとかをして、人が変えることも入ってきてしまうので、そういうものも全部見えている中で、差分解析でうまくいくところをまた見つけていく必要があるかと思うと、どのぐらい現実的なのかということも少し考えてやっていく必要があると思っています。そんなに簡単ではないと思っていて、一時期のデータでわかればいいなと思ったのが最初の発想でした。

<閉会>

司会 それでは、閉会に当たりまして最後に当財団の参事であります藤山より閉会の挨拶をさせていただきます。

藤山 どうも長時間にわたりましてご聴講いただきありがとうございます。今日は福島室長から「測量技術等の進展を踏まえた河川管理の展望」ということで講演をしていただきました。今の世の中はIoT、ICT、ビッグデータ、AI等の話題で溢れ、皆さんは乗り遅れてはいけないという気持ちでここに来られているのではないかと思います。先ほどの質問にもありましたように、私たち、川の仕事をしておりますと、言うまでもなく水と土と動植物が絡んできますので、公物管理の中ではこの世界でも一番難しい領域なのかなということを皆さまも実感されておられることと思います。

ここにおられる方々はコンサルタントの方々とは河川管理を実際に行っている方々が多いと思いますが、

新しい技術や研究成果を取り込んでいくということで、このセミナーが少しでもお役に立てれば河川財団としてもありがたく思っております。また、来年度も国土技術政策総合研究所さん、及び土木研究所さんとも相談をしながら、皆さまに有意義な情報提供ができればと思っています。本日はどうもありがとうございました。

(了)





〒103-0001

東京都中央区日本橋小伝馬町11-9

TEL : 03-5847-8304 FAX : 03-5847-8309