

災害復旧設計におけるマルチビーム測深機の活用

株式会社 第一コンサルタンツ 正会員 ○森木 雅陽
正会員 酒井 寿彦
正会員 片岡 寛志

1. はじめに

マルチビーム測深機は、音響ビームを発射し水中の地形を3次元で計測する機器である。

本論文は、令和元年度8月に発生した大雨に伴う洪水により被災したダム湖の護岸復旧設計において、水没している被災箇所の測量に、マルチビーム測深機を活用した事例について取りまとめたものである。

2. 災害発生状況と現場特性

令和元年8月6日にマリアナ諸島付近で発生した台風10号は、12日には超大型の台風となり速度を速めながら日本海を北上したのち、16日21時に北海道西方で温帯低気圧に変わった。

高知県近辺では台風の接近に伴い風雨が強まり、室戸岬で8月15日8時に最大瞬間風速41.1mを観測した。8月17日までの総雨量は馬路村魚梁瀬で872.5ミリを観測するなど各地で500ミリを越える大雨となった。

大渡ダム観測所では8月15日6時までの1時間雨量が45ミリであった。最大流入量は8月15日9時頃に2700m³/sを観測した。この結果、大渡ダム湖岸の各所において洗掘等による護岸の損傷が発生した。大渡ダム管理所では被災した護岸の災害認定を受けるとともに、災害復旧工事を計画し工事発注に向けて測量が必要であった。大渡ダムは多目的ダムであるため、洪水収束後に夏季制限水位を確保する必要があり護岸の損傷部分は水没した。10月以降は制限が撤廃されさらに水位は上昇し、通常の地上測量は実施できなかった。

3. 計測機器について

大渡ダムでは毎年の定期深浅測量によりダム湖の地形変化や堆砂状況を把握している。測量にはシングルビーム測深機が使用され、約200m間隔に設置された距離標毎に断面形状を計測し過年度との対比を行っている。災害復旧設計の実施には、水没した被災箇所の平面図及び断面図が必要である。図面は地上測量と同程度の精度が必要であるため、水中を高精度で3次元計測できるマルチビーム測深機を使用した。

使用したマルチビーム測深機は、最大165°の扇状に512本の音響ビームを照射し、リアルタイムにXYZの3次元データを取得するシステムである。計測精度の向上を図るため、デュアルGNSSによる高精度な位置情報の取得と、計測時の舟の傾きや動きを補正するため、X/Y/Z方向の立体的な動き検出する3軸加速度センサ及び角速度を検出するジャイロセンサにより姿勢・方位精度0.008°の高精度の慣性航法システムを搭載した。この構成による位置精度はXY方向で1cm、高さ方向で5cmとされており、計測時の様々誤差を考慮しても約10cm精度の計測が期待できる。

計測には図.1のようにマルチビームソナーと必要な機材を艀装したリモコンボートを使用し、同時に地上部を計測できるレーザスキャナを搭載した。



図.1 リモコンボート搭載マルチビーム測深機

4. 計測作業

計測にあたっては、計測機材の微少な艀装誤差により取得した測線間のデータにズレが発生する。このデータの整合を図るため、地形変化のある場所を選定しパッチテスト計測を行いロール・ピッチ・ヨーの補正係数を算出した。また、鉛直方向の音速度を補正するため、計測範囲の最深部で10cm毎の音速度を計測した。

計測作業は被災箇所が水没しているため、図.2のように計測状況をリアルタイムに地上局のPCと操縦者のスマートフォンで確認し場所を特定した。岸際の浅瀬部分は地形変化が大きく一定の速度・方向による航行では欠測部が多数発生するため、計測状況を確認しながら手動操縦により計測し、中央付近はプログラミングよ

る自動航行により計測した。

データ取得密度は、通常の深淺測量においては 1 m²あたり 3 点以上となっているが、本測量の目的は地上測量レベルの平面図と断面図の作成である。構造物の法肩・法尻のほか微地形の取得が必要であり、1 m²あたり 100 点以上の点群を取得することとし、航行測線と速度、スワス角の調整を行った。この結果、取得したデータは図.5 のように、地物の法肩・法尻や微地形まで詳細に確認できる。

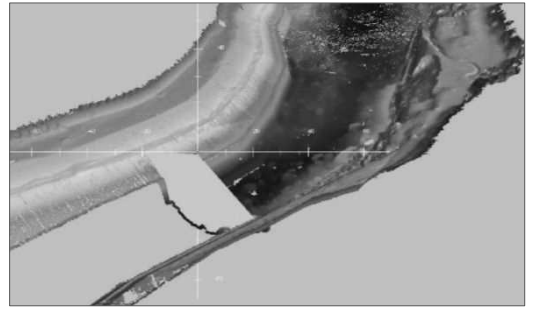


図.2 計測状況

5. データ解析及び図面作成

取得したデータは、パッチテストで得られたロール・ピッチ・ヨーの補正係数及び鉛直方向の音速度、ダム湖の水位による補正を行い一連の 3 次元点群を作成した。作成したデータには多重反射等によって発生したノイズ等の不正確なデータが存在する。ソフトウェアによるフィルタリングを実施し、最終的には人による作業によりノイズを除去した。

ノイズ除去した 3 次元点群をもとに等高線を自動抽出し、平面図に表記する構造物等の地物は、PC 画面上でマップトレースにより作成した。同じく横断線上の 3 次元点群から横断線を自動抽出し、不正な結びの線は手動で修正し横断図を作成した。



図.3 点群から作成した平面図

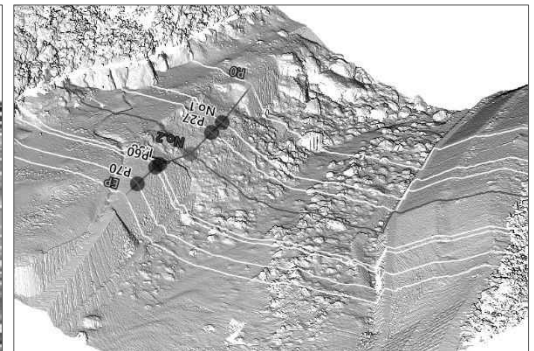


図.4 点群から抽出した断面データ

6. 精度確認

計測範囲が水中であるため、地上測量と同程度の計測ができているか直接的な精度確認は困難である。マルチビームによる深淺測量のマニュアルに則り、本計測とは別に点検計測を実施し、双方の断面上の 50cm ピッチの高さを比較した結果、最大値で 8.6cm、標準偏差は 3.5cm であり 10 cm 以内の計測精度は確保できた。

シングルビームで計測した定期横断図では、経年変化の起こらない部分において過年度データ間に 2m 程度のバラツキがあり、マルチビーム測定精度の比較評価に用いることは困難であった。

水没前に撮影された被災状況写真との比較では、図.5 のように構造物や崩壊地形、廃屋などの形状が正確に合致しており、相対的な形状の正確さは評価できた。

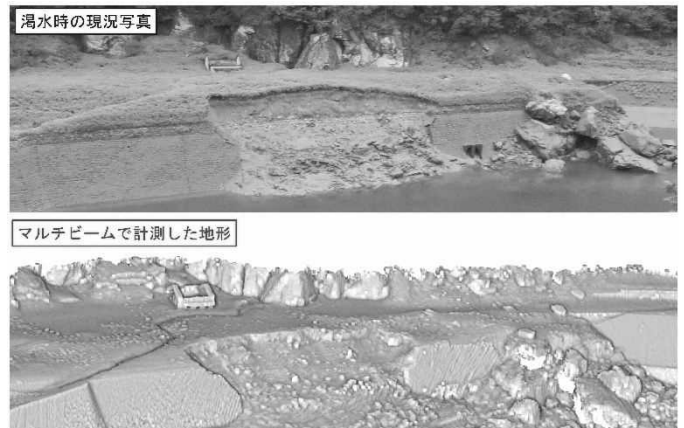


図.5 洪水時の現況写真と計測した 3 次元点群

7. おわりに

マルチビーム測深は古くからある技術である。機器が非常に高額であることと、船舶の手配や機器を艀装し調整作業等に 1 日程度の時間を要し手軽に扱える機器ではなかった。近年では、高精度のセンサ等が開発され計測精度も飛躍的に向上し、測量分野の 3 次元化への移行に伴った需要により少しずつ低価格化が進んできた。また、リモコンボートに艀装し一体となって利用できる機器が開発され、ボートごと車で持ち運びが可能となった。計測までの機器のセッティングは 1 時間程度となり、小規模の計測においても活用が広がってきた。

今回の計測では絶対位置に対する精度の確認ができていない。今後、水没した範囲が地表に現れた段階で計測の機会があれば、地上測量により今回の取得したデータを評価したい。