22. 水無川における鋼製スリットの無人化施工

株式会社 フジタ 中村 好典

1. はじめに

平成2年に雲仙普賢岳の噴火活動が再開し、頻発する火砕流・土石流により、水無川流域に壊滅的な被害を与えた。この復興のために、無人化施工技術を採用した砂防えん堤や導流堤等の砂防施設が下流より順次整備されてきた。しかしながら、水無川流域には、未だ1億7千万m³もの火山堆積物が不安定な状態で存在しており、土石流氾濫による下流地域への被害を防止・軽減するために、さらに上流部における砂防設備の整備が必要となっている。本報告は警戒区域として指定されている水無川・赤松谷川の合流地点の赤松谷川側に部分透過型鋼製スリット砂防堰堤を無人化施工により建設した施工結果についてである。

2. 工事概要

水無川流域の砂防事業では、水無川1号及び2号砂防堰堤に続き、その上流に位置する水無3号において部分透過型砂防堰堤の建設が行われてきた。部分透過型(鋼製スリット)砂防堰堤は、越流部に格子状の切れ目(スリット)を設けることにより、小規模な洪水の際に流下する土砂は、スリットの間を透過させ、大規模な土石流の発生の際に、巨石・巨木を拘束することに優れた砂防施設である。本工事では、RCC工法(Roller Compacted Concrete)で築堤された越流部の延長120m区間に19基の鋼製スリット(8t/基)を設置し、高流動コンクリートで根固めした(図一1)。

工事名称:赤松谷川1号砂防えん堤スリット工事 工事場所:長崎県島原市南上木場町地先

エ 期:H16年9月22日~ H17年11月30日発注者:国土交通省 九州地方整備局 雲仙復興

工事事務所

工事内容: B型鋼製スリット 19基

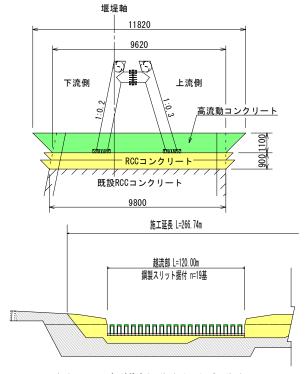


図-1 標準断面図及び平面図

3. 施工及びシステム概要

3-1 鋼製スリット砂防堰堤の施工

基礎下層部のRCCコンクリートをスリットの据付面高さまで打設完了する(①)。無人測量システムにより鋼製スリット据付位置へのマーキング及び据付面の基準高さを計測する(②)。鋼製スリットは工場で製作された二次製品とし、有人区域にて組立・仕上げ塗装を行う(③)。鋼製スリットの運搬は改造した65 t級の重ダンプによって行う。専用把持装置を装着したバックホウで、日に2基のスリットを据付けた後、左右岸方向の妻型枠の設置、上下流の土砂型枠整形を行う(④,⑤)。翌日1ブロックで約146m³の高流動コンクリートを打設する(⑥)。高流動コンクリートは有人区域で専用運搬機械に積替えられ、遠隔操作にて運搬、専用ポンプ車で打設する。このスリット据付・コンクリート打設を1サイクルとし、これを10回繰返し施

工する (図-2)。

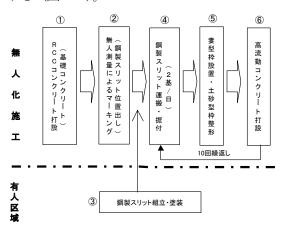


図-2 鋼製堰堤工施工フロー

3-2 遠隔出来型管理システムの導入

本工事では、入札時に測量業務に関する技術提案を行っており、その1つに「施工管理に伴う測量の無人化」を提案した。それには従来の無人測量システムによる日常施工管理に加えて、鋼製スリットの据付出来形測量を無人化することが含まれていた。これに対し鋼製スリット天端に取り付けたターゲットシールの測距測角情報を操作室で取得し、出来型管理を実施する手法を試みた。ターゲットシールにはトンネル断面計測等に使用される反射シート(70×70mm)を採用した。ターゲットの視準状況を確認できるように自動追尾型光波測距器の視準窓に CCD カメラを装着し、光波測距器の視準画面を操作室のテレビモニタ確認できるようにした(図ー3)。

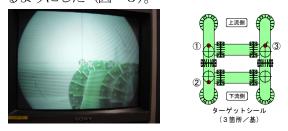


図-3 視準画面及びターゲット取付位置

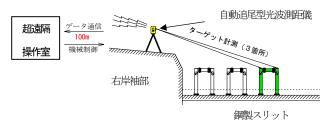


図-4 据付出来型管理システム概念 また、カメラ付光波測距器の遠隔制御と計測情報及

び誤差量の定量的取得に必要な管理ソフトを製作し、 操作室内において光波測距器の遠隔制御及びスリット の出来型管理を可能とした(図-4)。

自動追尾光波測距器をスリット上下流リブ継目の通り上に据付けて、CCDカメラ取付ける(①)。光波測距器の視準窓には照準を合わせる十字線が設けてあるため、リブ継目の通りと十字縦線を合わせることでスリットの上下流の位置を決めることができる。次に無人測量システムによって予め位置出し測量をしておいたスリット脚部のマーキングに合わせてスリットを据付ける(②)。スリットリブ継目と合わせてスリットを据付ける(②)。スリットリブ継目と合わせていたカメラ付光波測距器を遠隔操作し、各ターゲットを計測、データを操作室パソコンへ転送(③)、設計値との差異を算出する(④)。差異が規格値内に収束するまで②~④の操作を繰返し、スリット据付を完了する(図-5)。

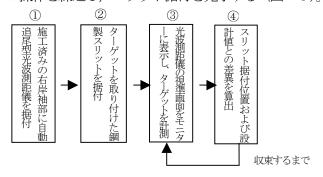


図-5 鋼製スリット施工フロー 繰返し

4. 施工結果及び経過

4-1 スリット据付精度及び問題点

水無3号堰堤のスリット施工では無人測量システムによるマーキングとスリット脚部の誤差をモニター映像で確認しながら据付作業を行っていたため、据付完了が観念的な判断によるところが大きく、施工に時間を要していた。今回は光波測距器の十字縦線とリブ継目の通りとを合わせることでスリットの上下流位置を決めた上で、マーキングに合わせてスリットを据付けることができたことによりマーキングのみの据付作業に判断基準がもう1つ付加されたことで、作業時間の短縮が図れた。遠隔出来型管理システムの導入で誤差量の定量的な取得が可能となり、据付精度において規格値±100 mmに対しておおむね±30mm 以内の結果が得られ、据付作業の施工性を向上できた(表-1)。

表一1 スリット据付精度

測定項目		測定値		
		最大値	最小値	平均値
位置(mm)	左右岸	47	0	4
	上下流	42	6	16
基準高(mm)		-31	0	-5

スリット据付出来型管理に活用したシステムは精度 面において一定の成果が得られたが、施工性・操作性・ 汎用性に関して以下に考察を述べる。

- (1)同形状のスリットとターゲットが並んでいる為、施工が進むにしたがって視準しているスリットが何基目であるかの判別が難しい。これに対してスリット 1 基ごとに番号をつけることでそれぞれのスリットが判別可能となる。それだけでは距離の離れたスリット番号認識はできないことからピント調節の可能な CCDカメラを採用とカメラのピント調節に関する制御を新たに追加する必要がある。
- (2) ターゲット中心に照準を合わせるまでに、移動 角度の大きい角度でおおよその位置合わせをした後に 徐々に旋回角度を細かくすることで最終的に中心に照 準を合わせてきた。この手法に特に熟練度は必要ない が、パソコンを十数回操作する煩雑さが伴う。しかし 予め据付位置の設計座標が明確な場合においては、そ の座標まで光波測距器を自動誘導させる機能を付加す ることで操作性が向上する。
- (3) CCD カメラ映像の転送が光波測距器から操作室まで有線であることから、適用範囲に限界がある。有線部を無線化することで、見通しが確保できる範囲では光波測距器の視準画面を取得できる。例えば、無人測量システムで光波測距器の視準画面が確認できれば、計測データにより信憑性が得られることが予想される。

4-2 ステレオ写真測量技術の導入

スリット施工部と土砂型枠材等の工事に必要な土砂 採取エリアの着工前現地測量を実施する必要があった。 しかし採取エリアに指定された水無3号堰堤上流部は 未だに土石流の痕がそのままの巨石の多い荒れ地で, ある程度の機動力を備える無人測量システムであって も立ち入りは困難で,現況地形の測量を開始するため には,重機が走行できる程度の事前整地が必要であっ た。それ以前に,遠隔操作室を含め多くの無人化設備 の立ち上げが不可欠であり、これにはある程度の時間がかかることが想定されていた。これらの不具合を補完するため、「ステレオ写真測量」を概要現況地形データの取得という位置付けで導入した。写真測量とは座標の既知である基準点に対空標識などのターゲットを設置して写真に写し込み、写真上のポイントとその地上での3次元座標値を解析することにより撮影位置、撮影方向を求める非接触式計測手段である。これにより、後の無人測量システムによる詳細測量の着手範囲を決定した。

人は左右の網膜上に移った実像によって樹木先端の 角度と根元の角度を認識する。これらの情報と眼基線 によって樹木の立体形状を把握する。樹木の大きさは, 経験上既知の大きさの物体と比較し,その大きさを比 較想像する。例えば車や屋根の高さと比較すると樹木 の大きさが想像できる(図ー6)。

人の左右の目をカメラに置き換えたのが写真測量である。人は同時に左右の目で実像を捉えるが、カメラの場合は撮影基線長 B だけ移動して同じ対象を撮影し、2 枚の画像から画像解析により立体化することになる。画像に写った対象の中に座標の既知点を設ける代わりに既知の大きさのもの、例えば、測量用スタッフであっても、スケールを決定することができる。

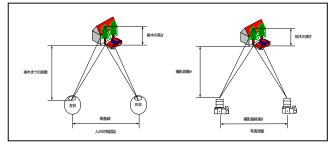
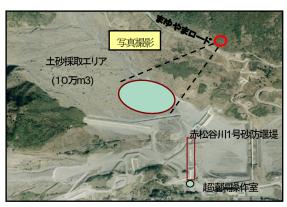
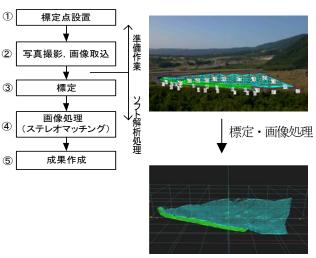


図-6 写真測量の原理イメージ

撮影対象の土砂採取エリアに座標の既知である基準 点を設定し、対象をある撮影基線長だけ離れた位置か らデジタルカメラで撮影する(①, ②)。解析ソフトに 取込んだ2枚の画像に対し、標定と呼ばれる相互対応 点(パスポイント)の指定を行う(③)。画像処理により、 3次元モデルを自動計測する(④)。出来上がった3次 元モデルは任意断面図、等高線図、面積計算等、必要 に応じた成果として表現できる(⑤)(図-7)。





成果 (3D) モデル 図-7 写真測量フロー

5-2 ステレオ写真測量施工経過

写真測量で作成した3次元モデルの現況断面図と無人測量システムで計測した地形断面図を基に土砂採取エリアの土量を算定し比較すると、実際の土量に対して写真測量から求められたものは10%程度大きかった。ただし、無人測量システムによる断面図は、転石や大きな段差を無くして重機の走行が可能な状態の地形データである。2つの手法で得られた断面を比較すると、撮影距離の短い水無川側の法肩付近は、写真測量結果と無人測量結果で近似した地形データが得られている。一方で撮影距離が長い背割り堤側では、高さ方向に大きな違いがある。地形の勾配についても、写真測量では表現できていないことがわかる。

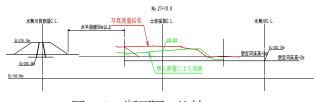


図-8 断面図の比較

土砂採取エリアの地形解析をするにあたって、計測範囲全体を撮影した。このときの撮影距離が 450m~700m程度で、撮影基線長は撮影距離に対して 1/5~1/3 が理想であることから撮影基線長は 150m程度に決定した。この撮影条件で奥行き方向の地上分解能を算出すると 540mm~1330mm程度となる。全景を撮影したため、写真全体のうち計測対象範囲が占める割合は約 1/5 と小さくなった。その結果、特に奥行き方向に誤差は顕著となり、撮影位置から遠いエリアでは誤差が大きく、撮影位置から近い箇所は比較的良好な結果となった。

奥行き方向の誤差を低減させるためにはなるべく高い位置からの撮影が理想的である。しかし、水無川流域において対象エリア全体を高い位置から撮影するための撮影位置は限られている。また、水無川流域での工事が上流部に移っていくにつれ、着工前測量に適した撮影位置を確保することが困難になることが予想されることから、条件を満たす撮影手法は航空写真の活用が考えられるが、飛行方法、基準点の形状や設置方法等の課題について検討する必要がある。

6. 終わりに

新たな測量技術としてステレオ写真測量技術を補助的に展開し、土砂採取エリアの概算地形計測を行い、採取可能土量と詳細測量の着手範囲を決定し、土砂採取計画を立てる上で事前整地する範囲を無駄なく定めることができた。遠隔操作による無人化施工技術とともに無人測量システムや GPS を使用した工事管理に必要な測量技術も進歩してきた。雲仙普賢岳における砂防事業は、より危険な上流警戒区域の施工を計画している。それに伴い求められる技術の水準も高まると予想されることから、計測・制御に関する技術のさらなる向上を目指し無人化施工への適用範囲拡大に努めていく必要がある。