

29. 無人化施工による鋼製スリットダム工事

株式会社フジタ 九州支店：○三鬼 尚臣、須郷 茂夫

1. はじめに

国土交通省雲仙復興事務所は、雲仙・普賢岳火山砂防計画に基づき、平成6年1月より、遠隔操作重機による無人化施工試験工事を開始した。平成7年9月には水無川1号砂防えん堤の築堤に着手し、平成10年3月末には水無川2号砂防えん堤が完成した。これら2つの砂防えん堤は、GPS施工管理システムを用いた無人化RCC工法により築堤され、完成後約170万 m^3 の土砂を補足することが可能となった。しかしながら、長期化・大規模化した火山災害から地域の安全を確保するためには、さらに上流部における砂防設備の整備が必要であり、無人化施工による適用工種の拡大を図るため、さらなる研究・開発が求められた。そこで、平成14年10月より水無川砂防えん堤スリット工事において、これまでの遠隔重機操作技術、映像通信技術、遠隔計測技術を駆使した鋼製スリットえん堤工事に着手した。1基当たり15トンの鋼製スリットを精度よく設置し、鋼製スリットの固定方法としてマスコンクリート規模の高流動コンクリート採用するなど、その全工程を遠隔操作にて施工した。



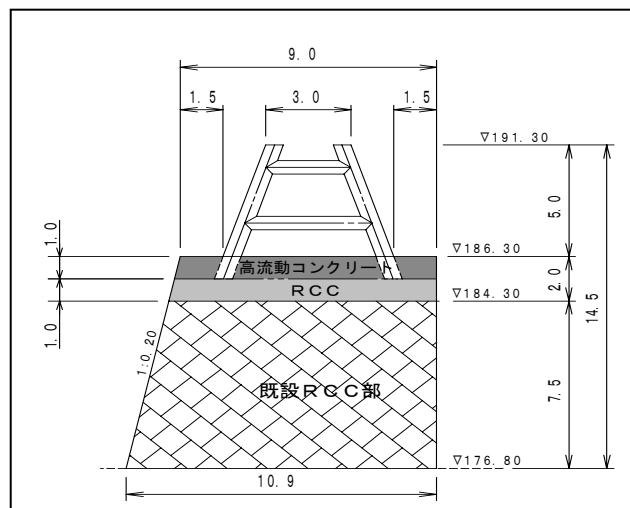
図－1 水無川3号砂防えん堤完成位置図

本報文では、水無川3号砂防えん堤スリット工事における施工成果の紹介と現在施工中の赤松谷川1号砂防えん堤スリット工事において実施予定している新規開発技術の紹介を行う。

2. 鋼製スリットえん堤の概要

鋼製スリットえん堤は堤体越流部を格子状（スリット）にすることにより、小規模な洪水の際に流下する土砂はスリット間を透過させ、大規模な土石流の発生に備えて、えん堤上流域の貯砂容量を確保することに優れた砂防施設である。また、鋼製スリット砂防えん堤は、従来のコンクリートえん堤と鋼製スリットを組み合わせた複合えん堤と言える。

図－1に水無川3号砂防えん堤の完成位置図を示す。水無2号砂防えん堤から上流に向かって右側が水無川3号えん堤、左側が赤松谷川1号えん堤である。既設RCC（Roller Compacted Concrete）部の上にRCC基礎コンクリート1.0mを打設後、鋼製スリットを設置し、厚さ1.0mの高流動コンクリートで根固めを行った。図－2に鋼製スリットえん堤標準断面図を示す。



図－2 鋼製スリットえん堤標準断面図

堤高 14.5m, 堤長 232.40m, 越流部 100m の区間に 16 基の鋼製スリットを設置し, 8 つのブロックに分割して高流動コンクリートを打設した。図-3 に鋼製スリットえん堤正面図示す。

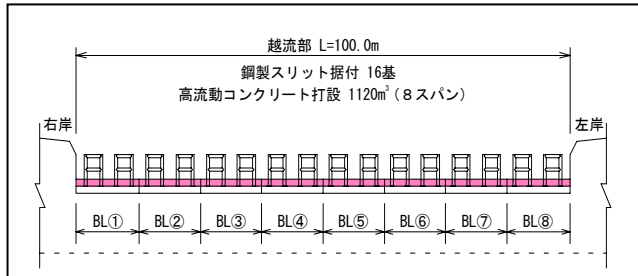


図-3 鋼製スリットえん堤正面図

3. 鋼製スリット砂防えん堤標準工法の策定

鋼製スリットの運搬・据付から高流動コンクリートの運搬・打設までの一連の施工過程を無人化により実施する前例のないものであった。そこで、「施工方法提案型」の方式を採用し, 技術提案がなされた。その提案技術は以下のとおり設計に反映され, 標準工法が定められた。

(1) 鋼製スリットの運搬・据付け

- ① 鋼製スリットの運搬は, 重ダンプトラックにより安全に運搬する。
- ② 鋼製スリットの据付けは, バックホウ（把持装置付き）により所定の精度で安全に設置する。

(2) コンクリートの運搬打設

- ① コンクリートは, 下層部を R C C 工法, 上層部を有スランブコンクリートとする。
- ② 有スランブコンクリートの運搬は, 品質確保を考慮しアジテータ機能付きトラックとする。
- ③ 有スランブコンクリートの打設は, 平坦性等からポンプ車による。

(3) 型枠

- ① 上下流側の型枠は土砂型枠とする。
- ② 妻型枠は, 転用または埋設できるものとし, バックホウ（把持装置付き）により設置する。

4. 鋼製スリット砂防えん堤の無人化施工

図-4 に全体施工平面図を示す。水無川 2 号砂防えん堤の右岸袖部に, 遠隔操作室を設け 500m 程度

離れた場所から遠隔操作を行った。上記で述べた標準工法に基づき, 図-5 に示す施工手順を設定した。

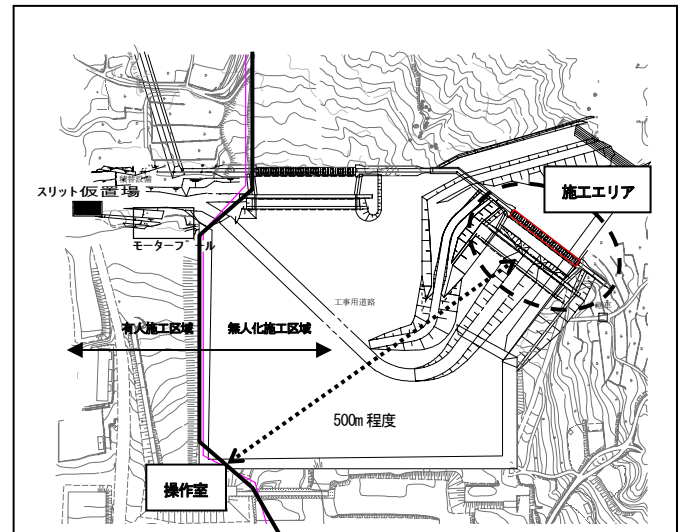


図-4 全体施工平面図

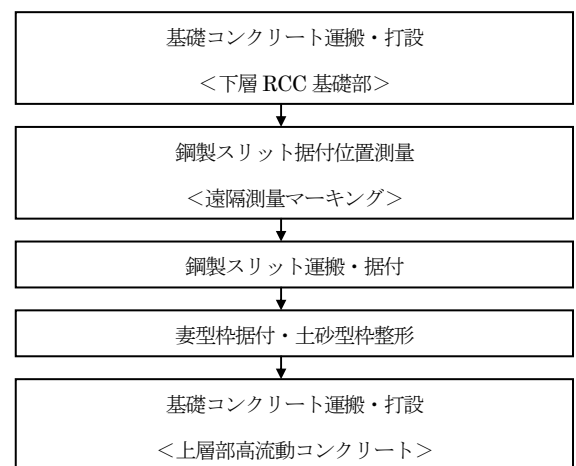


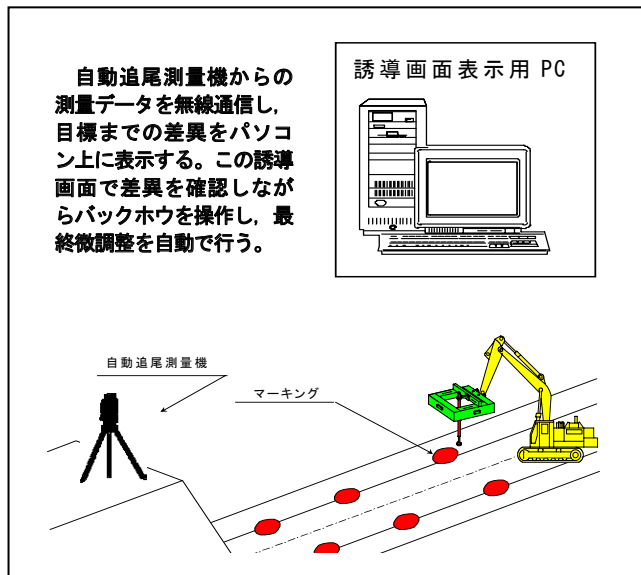
図-5 無人化施工手順

基礎コンクリート下層部の RCC を打設後, スリット据付位置を遠隔操作でマーキングする。高流動コンクリートの打設サイクルから, 打設ブロックを 8 箇所に分割し, 第 1 日目にスリット 2 基の据付と型枠の設置を行う。続いて第 2 日目に高流動コンクリート打設する。このサイクルを 8 回繰り返して越流部を完成させた。

5. 鋼製スリットの据付位置マーキング

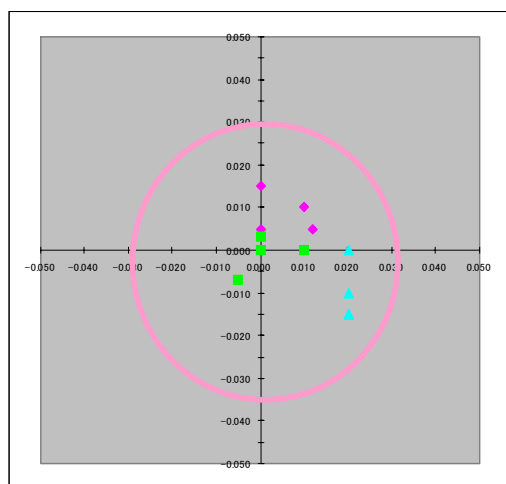
鋼製スリットの据付位置のマーキングおよび基準高さの計測は無人測量システムにより実施した。

無人測量システムは自動追尾式光波測距儀を用いて、リアルタイムに位置を計測しながら、マーキング機構を搭載したラジコンバックホウを目標点まで誘導するシステムである。図－6に無人測量システムの概要図を示す。



図－6 無人測量システム概要図

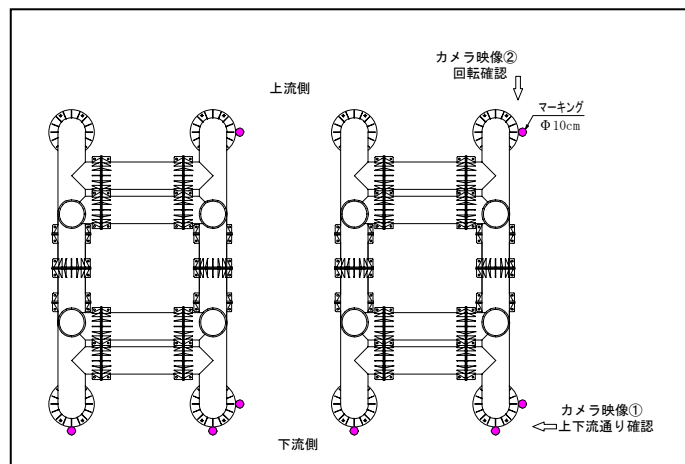
無人測量システムのマーキング精度については、事前に有人区域にて試験施工を行い、 $\pm 30\text{mm}$ 以内の誤差であることを確認した。図－7にマーキング誤差分布を示す。



図－7 無人マーキングの誤差分布

スリット1基に対してL型に4箇所のマーキングを施した。えん堤軸方向に2箇所、直角方向に2箇所ベースプレートに接するようにマーキングを配置

し、2方向からのカメラ映像でスリットの位置と回転を確認することとした。図－8にカメラ視認方向とマーキング配置図を示す。



図－8 カメラ視認方向とマーキング配置図

6. 鋼製スリットの運搬・据付

鋼製スリットの運搬はラジコンダンプトラック(45t)のベッセルを取り外して専用の運搬架台を取り付けたスリット運搬車にて行った。

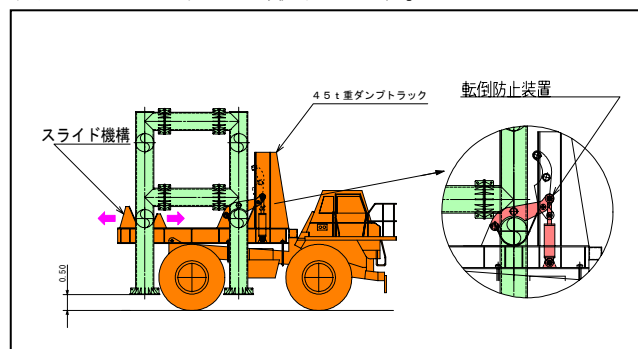
【施工上の留意点】

急な勾配(10%程度)の工事用道路を運搬する際に、鋼製スリットが転倒する可能性が考えられた。

【改善と工夫】

- ①運搬時に鋼製スリットがずれて転倒しないように、遠隔操作での開閉を可能にしたフックにより固定する転倒防止装置を考案した。
- ②バックホウにて鋼製スリットを把持する際に、把持抵抗を緩和するための検討を行い、後方の荷台にはスライド機構を設けた。

図－9にスリット運搬車を示す。



図－9 スリット運搬車側面図

鋼製スリットの据付は専用の把持装置を搭載したラジコンバックホウ（3.5m³）にて行った。

【施工上の留意点】

鋼製スリットの高さ（H6000mm）重量（W15t）と大型であるため①ラジコンバックホウの機種選定、②把持装置の製作・取り付け方法、③重心位置、④据付時の工夫等を検討する必要があった。

【改善と工夫】

- ①ラジコンバックホウの機種選定では同重量の鉄板でテスト行い、吊上げ限界範囲内であることを事前に確認した。
- ②把持装置は油圧機構により、フックの開閉による鋼製スリット鋼管を掴む構造とした。
- ③把持装置に重心位置を考慮したバランスウェイトを追加して、鋼製スリット据付け時のバランス調整を図った。
- ④据付時の工夫として、スリット把持装置を回転させる機構を、油圧シリンダー用いた機構とした。これにより、油圧モータ特有のバックラッシュの低減と把持装置の重量を小さくすることができた。

図-10 にスリット把持装置詳細図を図-11 にスリット据付重機配置図を示す。

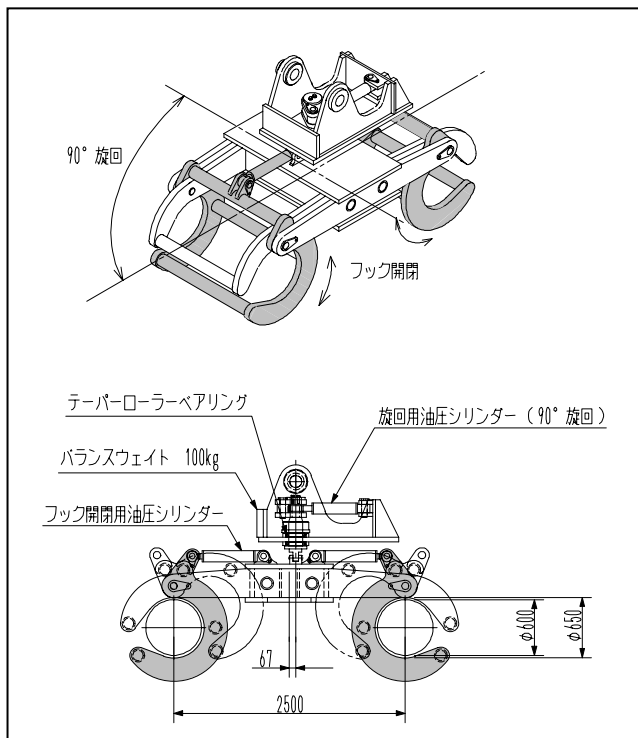


図-10 スリット把持装置詳細図

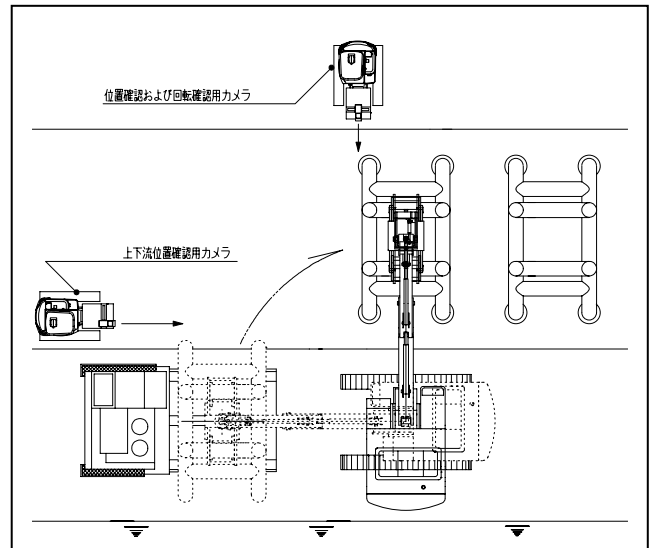


図-11 スリット据付重機配置図

スリット据付作業は無人測量システムによるマーキングとスリット脚部とのずれをモニター映像で確認し、据付目標値内（±50mm）に達するまで繰返し据付作業を行った。据付高については、事前に鋼製スリット脚部位置の高さを無人測量システムで計測しておき、ベースプレートの底面に鋼材（H-100）を溶接して調整を行った。

鋼製スリット据付1基あたりの平均サイクルタイムは約2時間であり、1日あたり2基の据付が標準である。据付完了後は妻型枠の設置と土砂型枠の整形を行う。

鋼製スリットの据付精度は、平面位置で最大37mm（据付精度規格値±100mm）、基準高さは23mm（据付基準高規格値±50mm）であり、規格値を十分満足する値が得られた。

7. 高流動コンクリートの運搬・打設

鋼製スリットの根入れ部となる基礎コンクリートについては自己充填性と自己レベリング性に優れたコンクリートが必要とされる。このため、打設エリア内のスリット（障害物）の間隔および無人化施工による天端の平坦性確保の観点から自己充填性ランク2の高流動コンクリートを採用した。高流動コンクリートの運搬にはラジコンダンプトラック（45t）を改造し、移動中の材料分離を防止するためのアジテータ機能を付加した18m³積タン

クを搭載した。

【施工上の留意点】

- ①材料の分離
- ②運搬車のタンク内部壁面に付着した粘性の高い高流動コンクリートの清掃。
- ③高流動コンクリート打設中のタンク内残量が操作室で確認することができない。

【改善と工夫】

- ①タンク内部に攪拌用のパドルを取り付けた攪拌軸2本装備し、コンクリートの引抜きをスムーズに行うためのスクリュコンベヤを搭載した。
- ②特殊な樹脂系のシートを選定して張り付けることによって、粘性の高い高流動コンクリートが内部壁面に極力残らないよう考慮した。
- ③高流動コンクリートの残量検知は、タンクを支持する4箇所の支柱にひずみゲージを取り付け、重量変化に伴うひずみ値を検出して、残量1/4でランプが点灯するように設定した。

図-12 に高流動コンクリート運搬車を示す。

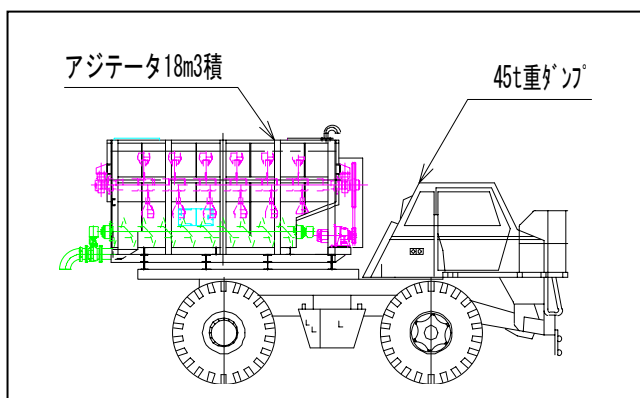


図-12 高流動コンクリート運搬車

高流動コンクリートの打設は、ラジコンブルドーザで牽引するラジコンポンプ車（4t ベース、ブーム長16m）により打設を行った。

【施工上の問題点】

事前実施した試験施工より次の項目が問題となった。

- ①高流動コンクリートの流動距離が4mを超えると材料分離の傾向が見られる。
- ②打設範囲が広く、セルフレベリング性能だけでは、十分な天端の平坦性が得られない。

【改善と工夫】

- ①ポンプ車の筒先を頻繁に移動させ、流動距離を短くし、同時に天端の平坦性も確保する。
- ②バックホウに均しコテを取り付け、打設天端を揺動することで、セルフレベリング性能を助長する。

図-13 にコンクリート打設時の機械配置図を図-14 に天端仕上げ状況を示す。

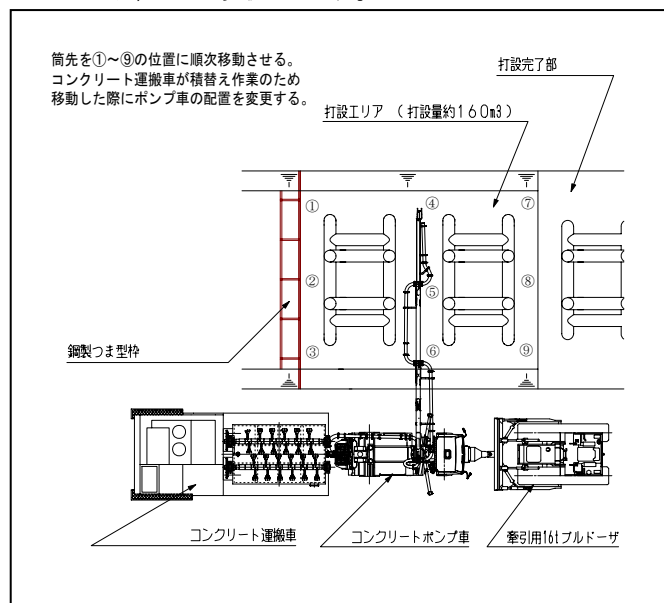


図-13 高流動コンクリート打設時の機械配置図

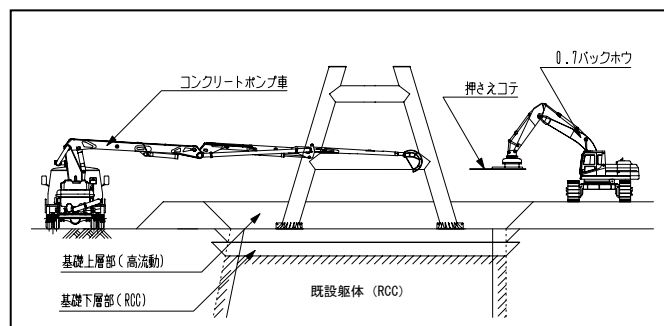


図-14 天端仕上げ状況

高流動コンクリートの日平均打設量は160m3程度、1日の平均打設時間は8時間37分であった。コンクリート天端の仕上げ高さは、最大・最小ともに30mm以内に収まっており、平坦性についても高精度に施工できたと考えられる。

ラジコンポンプ車のポンプ圧力などをカメラでモニタリングしながら打設したため、配管閉塞による打設中断や、打設を途中で中止する事態も発生しなかった。事前の試験施工による問題抽出と改善対策が功を奏したと考える。

8. 新規技術開発と問題改善への取り組み

鋼製スリットの運搬・据付、高流動コンクリートの運搬・打設は上記に述べた問題点の抽出とその改善を実施することで、規格値を十分満足する施工精度が得られた。しかしながら、完成後の精度確認や段階確認検査などは、有人測定に依存している。以下に今後の課題とその対処案を紹介する。

鋼製スリット据付作業の改善

今回の据付作業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、トライアンドエラーを繰り返して、据付作業を行った。この方法では、誤差量を定量的に把握することができないため、モニター映像による観念的な判断で据付完了を決定した。

【新規改善策】

無人測量システムで用いた自動追尾式光波測距儀をリモート操作し、スリットの天端に取り付けた反射シートを計測しながら据付作業を行う。反射シートの場合、レーザー反射率が低いため自動追尾機能が使えない。このため、新たにリモート操作機能と視準状況を確認するためのCCDカメラおよびピン

写真-1にCCDカメラおよびピン調整機構を示す。



写真-1 CCDカメラおよびピン調整機構取付

この改善策により、据付時のトライアンドエラーの回数を低減し、誤差量を定量的に把握して出来形計測の遠隔操作化を図る。

もうひとつの新たな試みとして、デジタル写真測量技術の導入を検討している。これまで遠隔計測に利用してきたGPSや自動追尾式光波測距儀は、計測ポイントにGPSアンテナやミラーをラジコン操作によってセットする必要がある。このように接触式の計測方法の場合、鋼製スリットなどの複雑な形状した構造物のそばでは、ラジコン操作で計測ポイント近傍に誘導することが困難である。また、構造物の陰に隠れて計測が不可能になる可能性が高い。そこで、非接触方式で計測可能な方法として、複数のデジタル写真を画像処理して3Dモデルを作成するデジタル写真測量技術の導入を検討している。

デジタルカメラの性能が飛躍的に向上しており、高解像度のデジタル写真撮影が可能。デジタルカメラをSS無線LANにより遠隔操作し、シャッター操作や、画像ファイルの自動転送が可能。既存の遠隔操作技術と組み合わせることで、被写体に近づいて撮影することが可能。鋼製スリット脚部とマーキングを撮影することで、据付誤差の確認を行い、画像データとして保存することが可能になると考えている。

6. おわりに

雲仙・普賢岳における砂防事業は、今後より一層危険な上流警戒区域における施工を計画している。より複雑な構造物の施工を目指すためには、計測・制御技術の更なる向上が必須となる。IT技術やリモートセンシング技術を積極的に取り入れ、無人化施工の適用範囲拡大に努めていきたいと考える。