

世界初 無人化施工による鋼製スリット砂防堰堤工事

— 雲仙・普賢岳水無川3号鋼製スリット砂防堰堤工事 —

古賀省三・須郷茂夫・三鬼尚臣

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、無人化施工による水無川3号鋼製スリット砂防堰堤工事を実施することとした。雲仙・普賢岳の直轄火山砂防事業における無人化施工は、除石工事に始まり、RCC工法による砂防堰堤の建設にまでその適用範囲を広げてきた。今回工事は、最新の技術を駆使して、1基当りの重量が15トンの鋼製スリットを有人による設置精度と遜色なく無人で設置したほか、スリット固定工法としてマスコンクリート規模の高流動コンクリートを採用するなど、その全工程を遠隔操作にて施工したことは、世界で初めてであり、今後の無人化施工の適用範囲を大きく飛躍させたことになる。本報文では当工事の施工概要と成果について報告する。

キーワード：無人化施工，鋼製スリット，砂防堰堤，高流動コンクリート

1. はじめに

水無川では、無人化施工技術を採用した水無川1号および2号砂防堰堤の建設により、約170万 m^3 の土砂を捕捉することが可能となった。しかしながら、水無川流域には、いまだ1億7千万 m^3 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域への被害を防止・軽減するためには、さらに上流部における砂防設備の整備が必要である。

図-1に砂防施設設計画図を示す。今回の水無川3号砂防堰堤工事では、上流域における捕捉容量の確保に優れた透過型鋼製砂防堰堤を採用し、世界で初めての遠隔操作による鋼製スリット砂防堰堤工事を実施した。

2. 鋼製スリット砂防堰堤工事の概要

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、一方で小規模な洪水の際に流下する土砂は、鋼製スリットの間を透過させ、他方で大規模な土石流の発生に備えて、堰堤上流域の土砂を貯める容量を確保することに優れた砂防施設(高さ14.5m、延長232.4m)である。水無川3号砂防堰堤工事では、越流部の延長100m区間に16

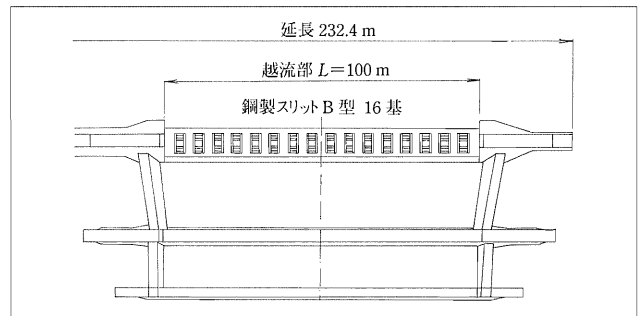


図-2 堰堤平面図

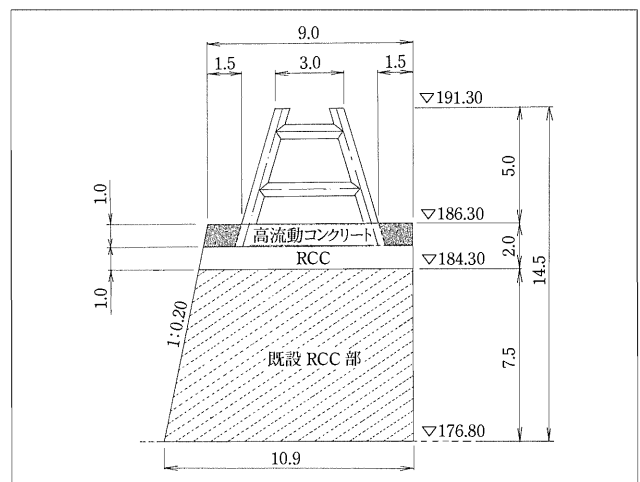


図-3 標準断面図



図-1 砂防施設設計画図

基のB型鋼製スリットを設置した。図—2に堰堤平面図を図—3に標準断面図を示す。

3. 鋼製スリット砂防堰堤の標準工法

今回の鋼製スリット砂防堰堤の施工においては、発注前に施工方法を提案する「施工方法提案型」を採用し、提案された施工方法をもとに、以下の標準工法を定めた。

(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

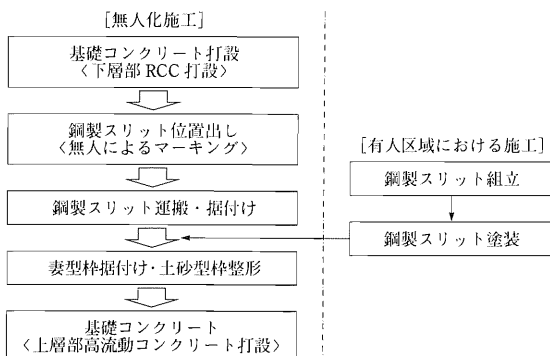
- ① コンクリートは、下層部RCCコンクリート、上層部有スランプコンクリートとする。
- ② 有スランプコンクリートの運搬は、品質確保からアジテータ機能付きトラックとする。
- ③ 有スランプコンクリートの打設は、平坦性等からポンプ車による。

(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. 鋼製スリット砂防堰堤工事における無人化施工フロー

上記の標準工法をもとに、鋼製スリット砂防堰堤工事の無人化施工フローを図—4のとおり設定した。



図—4 鋼製スリット砂防堰堤工事の無人化施工フロー

5. 鋼製スリット砂防堰堤の施工

鋼製スリット砂防堰堤の無人化施工については、品

質および出来形の管理として以下に示す項目に重点を置いて施工を行った。

① 鋼製スリットの品質管理

鋼製スリットの運搬、据付けにおいて塗装面を傷つけないよう剥離対策を行うものとする。

② 鋼製スリットの出来形管理

出来形管理項目および規格値を表—1のとおりとする。

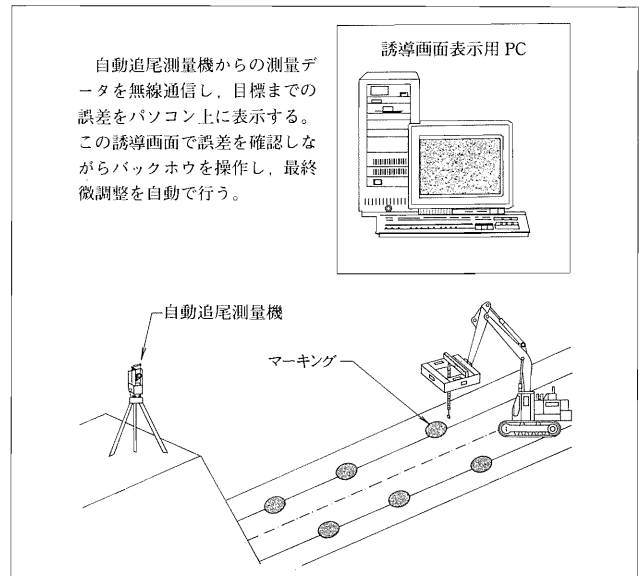
表—1 管理項目と規格値

管理項目	規格値 (mm)
根入れの深さ	-50
設置位置 (上下流)	±100

上記の管理項目を踏まえ、スリット据付けおよび高流動コンクリート打設の試験施工を行い、より高精度な施工が実現できるよう、以下に示す工法を採用した。

(1) 鋼製スリットの位置出し

鋼製スリット据付け位置のマーキングおよびスリット脚部位置の高さ計測を無人測量により実施した。この無人測量システムは、自動追尾式測量機で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無人バックホウを操作して、所定のマーキング位置に誘導することが可能なシステムである。図—5にシステム概要図を示す。



図—5 無人測量システム概要図

マーキング方法は図—6に示すように、1基のスリットに対してL型に4箇所マーキングを施す。マーキングの直径は100mmとし、脚部のベースプレートに接するように配置した。

無人化施工

雲仙・普賢岳 水無川3号 鋼製スリット 砂防堰提工事



⇩ 無人測量によるマーキング状況



⇩ 高流動コンクリート打設状況



⇩ 鋼製スリット据付状況



⇩ 鋼製スリットの運搬・把持状況



⇩ 高流動コンクリート積替状況



⇨鋼製スリット砂防堰堤完成全景



⇨コンクリート打設操作状況



⇨コンクリート天端押さえ状況



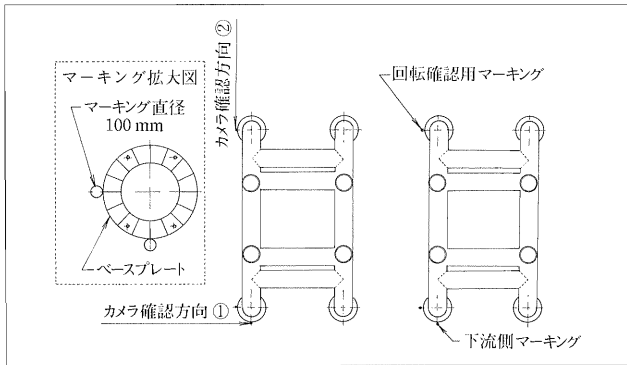


図-6 マーキングレイアウト

(2) 鋼製スリットの運搬、据付け

(a) 鋼製スリットの運搬

鋼製スリットの運搬は、図-7に示すように、45tダンプトラックのベッセルを取外し、専用の運搬架台を取付けたスリット運搬車にて行った。運搬架台には、走行中にスリットがずれ落ちたりしないよう、遠隔操作で開閉が可能な転倒防止装置を取付けた。また、バックホウでスリットを把持し、吊上げる際に、塗装面を傷つけないよう、後方の受台にスライド機構を取付け、地切り作業をスムーズに行えるようにした。

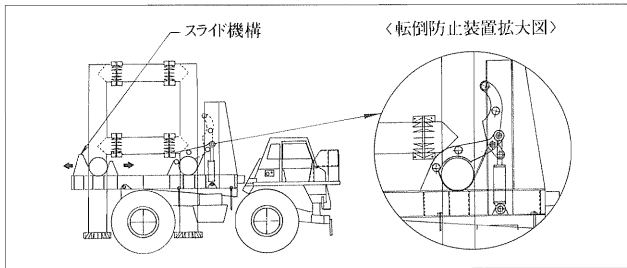


図-7 スリット運搬車

(b) 鋼製スリットの据付け

鋼製スリットの据付けは、専用の把持装置を搭載した4.0m³バックホウを使用して行った。把持装置の回転機構はバックラッシュや微調整の容易さを考慮して、油圧シリンダ方式を採用し、0~90°の範囲で回転させることが可能である。鋼製スリットに使用している鋼管材の厚みが、上流側と下流側で異なるため、把持装置の回転軸を67mmオフセットし、バランスウェイト(100kg)を取付けることで、スリットを把持した際の水平バランス調整を行った。バックホウのブーム、アームの角度に関わらず、常にスリットの自重バランスによって水平が保たれているため、据付け精度の向上と施工性の向上を図ることができた。図-8に把持装置の詳細図を示す。

据付け作業は、図-9に示すように重機およびカメラ車を配置して行った。無人測量によるマーキングと

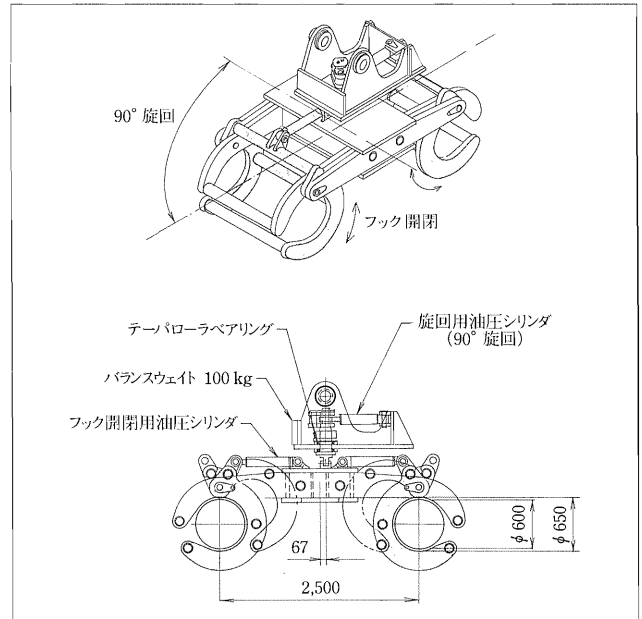


図-8 スリット把持装置詳細図

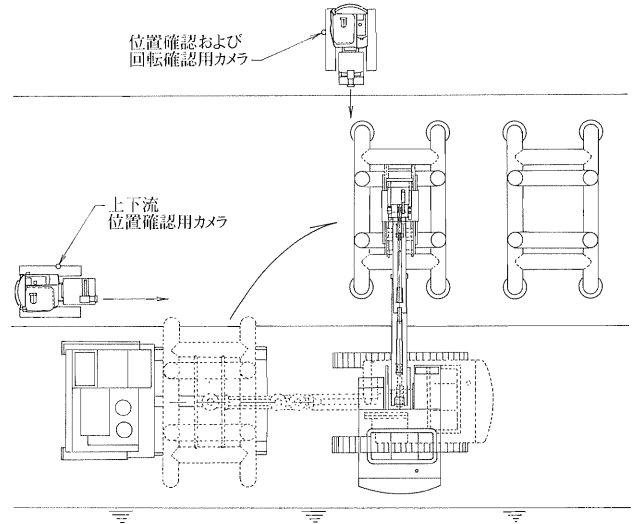


図-9 スリット据付け重機配置図

スリット脚部とのずれをモニタ映像で確認し、上下流の位置およびスリットの回転が据付け目標値内(±50mm)に収まるまで据付け作業を繰返し行った。

据付け高さについては、事前に無人測量にてスリット脚部位置の高さを測定し、ベースプレート底版に鋼材を溶接して調整を図った。

(c) 据付けサイクルタイムおよび据付け精度

1日当り2基のペースで据付け作業を行った。表-

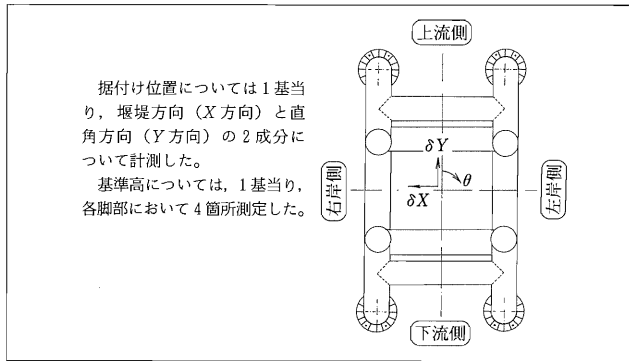
表-2 スリット運搬・据付けサイクルタイム

測定項目	最大時間：分	最小時間：分	平均時間：分
積み込み時間	1:20	0:55	1:10
運搬時間	0:50	0:35	0:44
据付け時間	2:40	1:20	2:00
合計時間	4:40	3:20	3:55

表—3 スリット据付け精度

測定項目	測定回数	測定値			
		最大値	最小値	平均値	
据付け位置 (mm)	δ_x	16	33	-37	-2
	δ_y	16	17	-33	-15
据付け方向 (度)	θ	16	0.24	-0.28	0.03
基準高 (mm)		64	23	-16	13

δ_x, δ_y : 据付け位置管理値 (±100 mm)
 θ : スリット回転管理値 (±0.96°)



図—10 スリット据付け管理位置図

2に据付けサイクルタイムの結果を、表—3に据付け精度を示す。

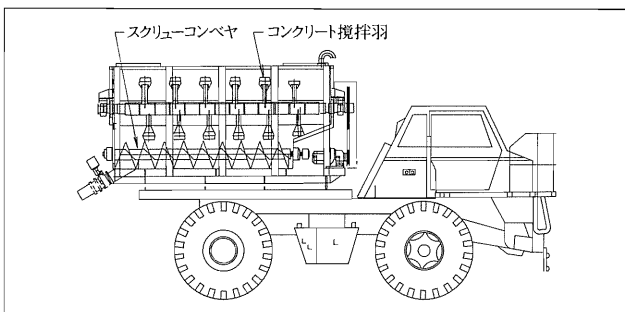
(3) 高流動コンクリートの運搬、打設

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適用した。

(a) 高流動コンクリートの運搬

高流動コンクリートの運搬には、45tダンプトラックを改造したコンクリート運搬車を使用した。搭載したタンクは18m³積載可能で、材料分離を防止するためのアジテータ機能を有する他、以下に示す機能を付加している。

- ・残量検出機能：タンクを支持する4箇所の支柱にひずみゲージを取付けて残量を検



図—11 コンクリート運搬車

出し、4分の1以下になるとランプが点灯する。

- ・居着き防止：粘性の高い高流動コンクリートが内部壁面に残るのを防止するために、特殊な高分子樹脂系のシートを張付けた。

(b) 高流動コンクリートの打設

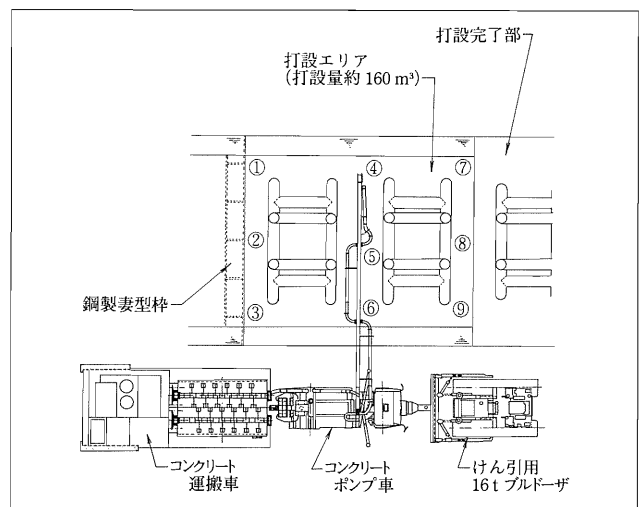
高流動コンクリートの打設に当っては事前に試験施工を実施した。その結果、以下に示す2項目について問題点を改善する必要があった。

【問題点】：

- ・流動距離が4mを超えると材料の分離が大きくなる (採取したコアから分離状況を確認した)。
- ・高流動コンクリートの自己レベリング性能のみでは、天端の十分な平坦性が得られない (流動距離6mで最大20cmの高低差が生じた)。

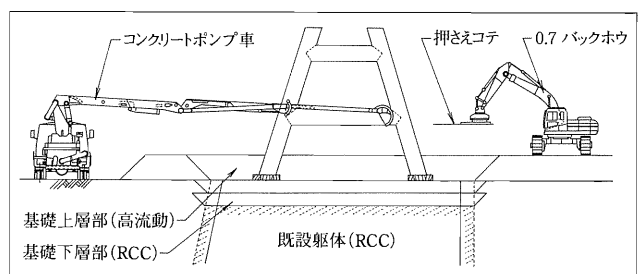
【改善策】：

- ・ポンプ車の筒先を頻繁に移動させることで、コンクリートの流動距離を短くし、天端の高低差を小さくする。
- ・バックホウにコテを取付け、天端押さえを行うことにより、コンクリートの表面を上下に振動させ



- (1) 筒先を①～⑨の位置に順次移動させる。
- (2) コンクリート運搬車が積替え作業のため移動した際にポンプ車の配置を変更する。

図—12 コンクリート打設機械配置図



図—13 天端仕上げ状況図

て、自己レベリング性を助長する。

以上の2点を考慮して、図—12 および図—13 に示す機械配置で、コンクリート打設を実施することとした。

4t車をベースに、ブーム長が16mのポンプ車を改造して、ブーム操作、ピストン操作およびエンジン回転数の遠隔操作を可能にした。ポンプ車の移動については、16tのラジコンブルドーザを用いて牽引する方式とした。

図—13 に示すように、上流側の土砂型枠付近は、筒先が十分に届かないため、天端の高低差が大きくなる可能性が高い。そこで、天端押さえ用のコテを装着したラジコンバックホウを使用して、天端を上下に波立たせ、高流動コンクリートの自己レベリング性能を向上させた。

表—4 に天端高さの誤差を測定した結果を示す。鋼製スリット2基の範囲を1ブロックとして、全体を8ブロックに分けて打設した。鋼製型枠の脱型は2日養生後に実施した。打設実績、サイクルタイムを表—5 に示す。

表—4 コンクリート天端平坦性測定結果

測定項目	規格値	最大値	最小値	平均値
基準高 (mm)	+100 -50	86	39	59
根入れ (mm)	-50	82	12	49

表—5 コンクリート打設サイクルタイム表

打設場所 (打設順)	打設量 (m ³)	積替 時間：分	運搬 時間：分	打設 時間：分	計 時間：分
① 1 BL	171	2:11	2:34	4:29	9:14
② 8 BL	162	1:49	2:00	5:14	9:03
③ 2 BL	162	1:35	1:59	4:45	8:19
④ 7 BL	160	1:28	2:10	4:53	8:31
⑤ 3 BL	161	1:13	1:51	4:38	7:42
⑥ 6 BL	161	1:21	1:46	5:08	8:15
⑦ 4 BL	162	1:43	1:40	5:24	8:47
⑧ 5 BL	168	1:26	2:01	5:33	9:00
平均	163.4	1:36	2:00	5:01	8:37

6. おわりに

鋼製スリット据付けは、位置出しマーキングから運搬・据付けまでの一連の作業を無人化施工により実施

した。マーキング位置やカメラ配置の工夫、試験施工によるオペレータの熟練および据付け作業を反復して実施することにより、据付け精度を規格値±100mm (施工目標値±50mm) に対し、±40mm以内という精度で行うことが出来た。今後は操作室において、リアルタイムに誤差を計測、確認しながら据付け作業を行うシステムの確立が必要である。

打設作業に関しては、ポンプ車や筒先移動およびコンクリート天端均し用バックホウにより高低差を±50mmの範囲で平坦に仕上げることが出来た。今後は、コンクリート天端高さの確認をカメラ映像によるマーキングの目視確認ではなく、遠隔で計測管理できるシステムに移行することが課題となる。

水無川周辺の砂防事業は、今後より一層危険な上流警戒区域での施工となる。今回、世界で初めて実施した鋼製スリット砂防堰堤の無人化施工は、今後の完全無人化に向けての大きなステップになったと考えられる。

JCMA

《参考文献》

- 1) 古賀省三：地域とともに歩んできた（雲仙復興工事事務所10年）、島原新聞、17939～17956号
- 2) 水無川3号砂防堰堤スリット工事特記仕様書、国土交通省九州地方整備局
- 3) 高流動コンクリート技術指針、土木学会

【筆者紹介】

古賀 省三（こが しょうぞう）

国土交通省
九州地方整備局
雲仙復興事務所
所長



須郷 茂夫（すごう しげお）

株式会社フジタ
九州支店土木部
水無川3号鋼製スリット砂防堰堤工事
所長



三鬼 尚臣（みき ひさおみ）

株式会社フジタ
土木本部
土木統括部
機械部

