

26. コンクリート構造物の無人化施工技術

～テレ・エレクションシステム～

（協）フジタ：*間野 実，須郷 茂夫

はじめに

雲仙普賢岳の復旧工事は、水無川砂防基本構想に基づき、流域を土石流被害から守り、安全な生活を確保することを目的に建設されている。特に上流部にあつては、土石流、溶岩ドームの崩落等の危険性があるため、無人化施工が実施されている。

平成6年に建設省の“試験フィールド制度”適用第1号として雲仙における無人化施工に関する技術提案が行なわれ、試験工事として発注された。その後再度の無人化施工試験工事を経て、除石工事は、ほぼ毎年無人化施工にて発注されている。現在までに、砂防ダム建設工事も出件され、水無川1号砂防ダムは土砂型砕工法にてRCC (Roller Compacted Concrete) 施工され、平成10年3月に完成している。水無川2号砂防ダムにおいては、さらに高度な無人化施工を目指し、技術開発が進められている。

その中で「遠隔施工によるコンクリート型枠ブロック技術」が技術活用パイロット事業として採用された。このシステムは、テレ・エレクションシステム（以下：本システムという）と呼び、砂防ダム本体にて実施された。本報告は、パイロット事業におけるブロック施工精度・サイクルタイム、コンクリート作業のサイクルタイム、圧縮強度試験等の結果報告をするものである。

1. 工事概要

工事名称	水無川2号砂防ダム越流部建設工事
発注者	建設省九州地方建設局
工事場所	長崎県島原市北上木場町地先
工期	平成9年10月8日～平成10年3月20日
請負金額	¥622,650,000-（消費税込み）
発注者	建設省九州地方建設局

表-1 主要工事数量

工事種別	単位	数量
提体掘削	m ³	49,594
工事用道路	m ³	15,926
導流堤	m ³	8,650
転流工	m ³	7,946
仮設道路工	m ³	1,492
流末処理工	m ³	4,107
作業残土処理工	m ³	3,365
RCCコンクリートダム工	m ²	12,162
濁水処理工	式	1
仮設備工	式	1

2. テレ・エレクションシステム

本システムは、移動カメラ車等の重機搭載カメラ・固定カメラの各種映像を遠く離れたコントロールルームで見ながら、遠隔操作により砂防ダムを構築する技術である。新たに技術開発した自立式型枠ブロックを把持装置により吊り上げ、型枠兼用ブロックとして積み、背面にコンクリートを打設する。これを繰返すことにより、構造物を構築する技術である。

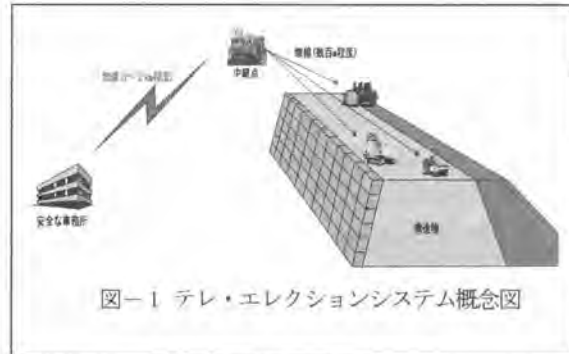


図-1に本システムの概念図を示す。安全な場所に設置したコントロールルームから現場付近に中継点を設け、中継点を核として各重機を遠隔操作する。

無線の種類は、コントロールルームと中継点間は、指向性のある到達距離の長い50GHz帯簡易無線、中継点と各重機間は、到達距離は短いが指向性のない特定小電力無線を使用している。離隔距離はコントロールルームと中継点が1～2km程度、中継点と各重機が数百mであり、各重機は2km以上離れた場所からの遠隔操作を可能としている。また、作業状況も各種カメラ映像を通して確認している。

3. 要素技術

本システムの主な要素技術は、自立式型枠ブロック（無人化施工対応型）と把持装置である。前者は無人化施工により型枠として積み上げられ、本体利用するブロックである。

後者は型枠ブロックを確実につかみ、精度良く据付けるためのアタッチメントである。

3. 1 自立式型枠ブロック（無人化施工対応型）

自立式型枠ブロックは写真-1に示すように、砂防ダムや擁壁などを合理的かつ安全に構築すると共に、無人化施工にも対応可能な自立式の型枠兼用プレキャストコンクリートブロックである。標準仕様は高さ1000mm、幅996mm、奥行920mm、重量約2tである。用途に応じてブロック勾配や形状が変更可能となっている。なお、ブロックは平成9年10月に財団法人・砂防地すべりセンタより、技術審査証明を取得している。ブロックの特徴は以下の通りである。



①自立式構造

形状が立方体に近く自立式構造で、吊上げ・据付時にも安定している。

②容易な据付

ブロック嵌合のため凹凸部を設け、その線接触によりスムーズに精度良く据付けができ、せん断抵抗も期待できる。

③景観に配慮可能

二次製品であることから模様や着色により、景観に配慮が可能である。

④本体利用

ブロック背面のU型アンカー鉄筋により、背面コンクリートと十分密着し、一体化して十分な強度が得られる。

3-2 把持装置

把持装置は、無人化施工でブロックを安全かつ確実に積み上げるために開発されたものであり、油圧ショベル先端に取付使用する。把持装置は、写真-2に示すように把持部と2台の監視カメラにより構成されている。

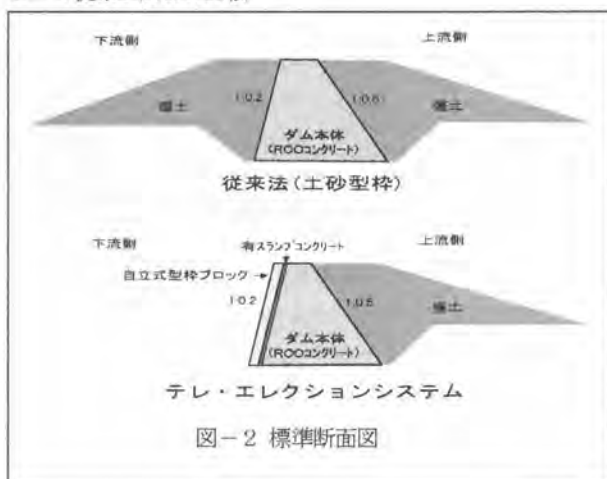
2台の監視カメラは、ブロックの吊り金具並びに隣接ブロックの詳細映像をオペレータに提供している。これらの映像を見ながら遠隔操作で把持部のシャックルを旋回させ、シャックルピンを吊り金具に通し、ブロックを吊る構造となっている。最大吊り荷重は、2.8tである。

把持装置の特徴は以下の通りである。

- ①シャックルピンの挿入・引抜き・シャックル旋回(左右各150°)が遠隔操作できる。
- ②吊り金具の挿入を容易にするため把持部先端にガイドを取付けてある。ブロック吊り金具およびピン位置の確認は、マーキングを実施しており、カメラ映像での遠隔操作を容易にしている。
- ③2方向のカメラを装備し、把持部分の詳細カメラ映像が得られる。
- ④重力により常に垂直になるようピンおよびユニバーサル構造を採用している。



3-3 従来工法との比較



従来工法は、ダムの上下流に型枠となる土砂を盛立てる工法(土砂型枠)が採用され、その間にコンクリートを打設しながら、順次ダムを築造する。ダムは完成後、下流側の土砂型枠を撤去する計画となっており下流土砂の撤去と共に、撤去個所のコンクリート表面をハツリ整形する必要がある。

テレ・エレクションシステムは、下流側に本体利用のブロックを据付

け、背面にコンクリートを打設する。このため、土砂撤去やコンクリート表面のハツリの作業が省略でき、工期短縮やコスト縮減が図れるものである。図-2に従来工法と本システムにより、砂防ダムを無人化施工により築造する場合の比較標準断面図を示す。

4. 施工

本システムによる、砂防ダム施工断面を図-3に示す。施工前に準備工として、ブロックの据付精度を確保するため、均しコンクリートと定規を予め有人施工しておく。

①ブロック据付

把持装置を装着した無人油圧ショベルにより、ブロックを下流側に据付ける。

②RCCコンクリート打設

無人ダンプトラックによりRCC用コンクリートを運搬・打設後、無人ブルドーザにて1層25cm程度で2層敷均す。

③土砂型枠盛立て

無人油圧ショベルにより土砂型枠を上流側に盛立てる。土砂型枠盛立て後、1リフト50cmとなるようにRCC用コンクリートを無人振動ローラにより締固める。

④有スランブコンクリート打設

無人クローラダンプで有スランブコンクリートを運搬・打設後、パイプレータを装着した無人油圧ショベルにより締固める。

⑤～⑦ (②～④の繰返し)

次リフトのRCC用コンクリート打設、土砂型枠盛立て、有スランブコンクリート打設を同様に繰返す。

⑧次ブロック据付

①と同様に次ブロックを据付ける。以下計画高さまで②～⑧を繰り返す。

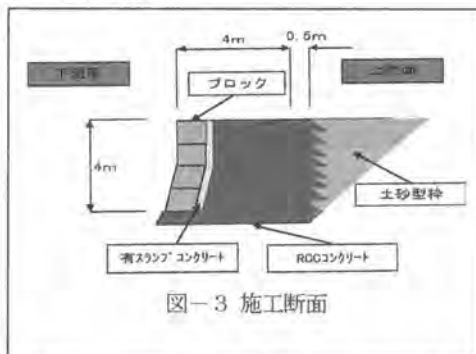


図-3 施工断面

5. 施工結果

試験施工は、水無川2号砂防ダム越流部建設工事において技術活用パイロット事業として、ダム本体の左岸端30mにブロック1段当たり30個、4段合計120個を施工した。

砂防ダム構築を無人化施工する場合の基礎データを蓄積すること及び施工法の確立を目標に実施した。

1) 施工精度

据付精度をダム軸直角方向、ダム軸方向、高さ方向について計画値と比較した。

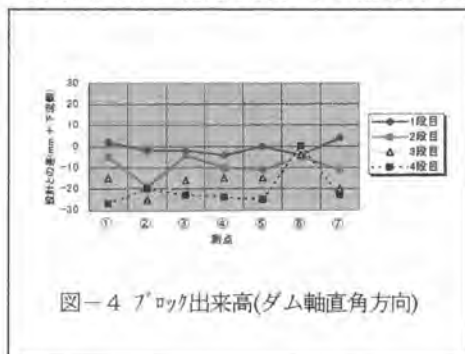


図-4 ブロック出来高(ダム軸直角方向)

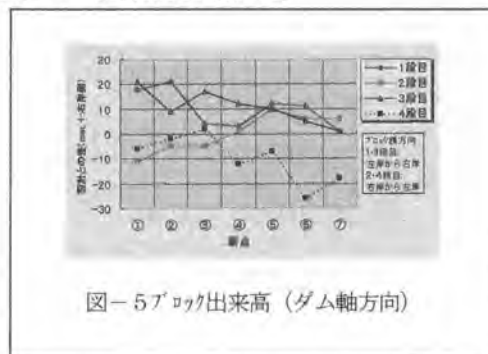


図-5 ブロック出来高 (ダム軸方向)

(a) ダム軸直角方向

2段目以降でわずかに誤差が累積され、上流側に移動している。

(b) ダム軸方向

各段とも±20mm程度の値であり、基準値以内である。

(c) 高さ方向

ブロックを積み上げるにつれ、高さ方向の誤差が累積する傾向がでる。1ブロックあたり、5mm程度である。

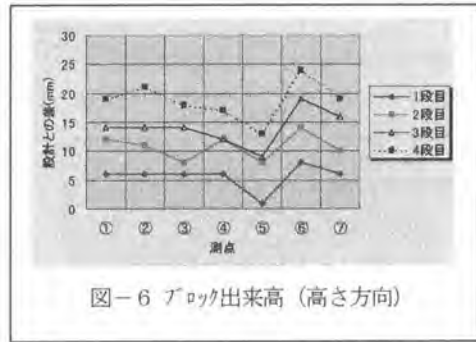


図-6 ブロック出来高（高さ方向）

2) 施工能力

ブロック据付の一連の作業を把持、旋回、据付に分けて各段ごとのサイクルタイムを測定した。

結果は、把持約1分、旋回行き約1分、据付3分強、旋回戻り1分強となり、トータルでは6分強を費やした。施工量の増加に伴うオペレータの慣れにより、時間短縮は可能と思われる。

表-2 ブロックサイクルタイム

	把持	旋回行き	据付け	旋回戻り	トータル
1	1分 4秒	1分 7秒	3分13秒	1分31秒	6分55秒
2	1分 2秒	0分54秒	3分11秒	1分11秒	6分18秒
3	0分57秒	1分 1秒	3分 5秒	1分40秒	6分52秒
段数	1分 4秒	1分 9秒	3分 2秒	1分24秒	6分39秒
平均	1分 2秒	1分 5秒	3分 8秒	1分26秒	6分41秒
最大	1分 4秒	1分10秒	3分13秒	1分40秒	6分55秒
最小	0分57秒	0分54秒	3分 2秒	1分11秒	6分18秒

3) 品質

有スランブコンクリートおよびRCC用コンクリートの各部分のボーリングコア供試体を採取し、圧縮強度試験を行った。有スランブコンクリートの圧縮強度は、設計基準強度 $18\text{N}/\text{mm}^2$ 以上で、全て目標強度を満足した。RCC用コンクリートとの接合部は、数箇所締め固めが十分でなかった。これは、バイブレータの起振力が小さすぎたことに起因する。

今後は、締め固め能力を向上させることで圧縮強度不足を補う予定である。

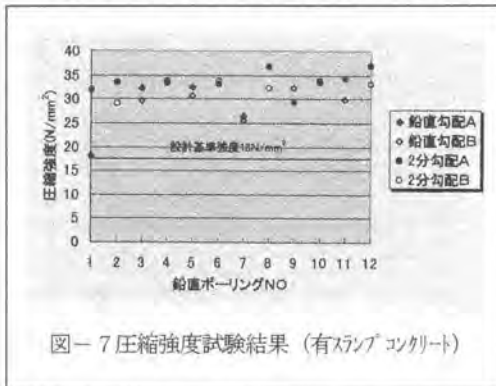


図-7 圧縮強度試験結果（有スランブコンクリート）

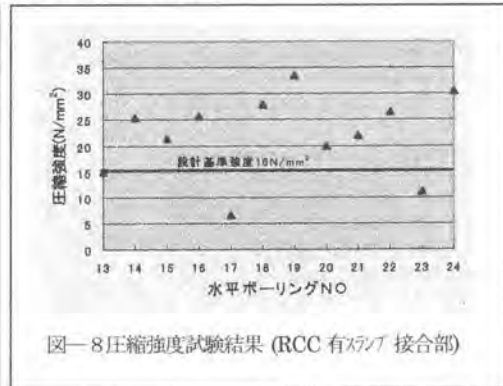


図-8 圧縮強度試験結果（RCC有スランブ接合部）

6. 今後の課題

無人化施工によりブロックを用いて砂防ダムを構築することは精度を要する難度の高い技術である。今回の試験から種々のデータが蓄積できた。本試験結果を考察すると以下のような技術的課題が挙げられる。

①把持装置の改良

油圧ショベルをベースマシンとするため、動きが曲線的となる。ブロックを水平移動させる機能を付加し、ブロック据付時の微調整により、精度の高い効率的な施工が可能となると考える。

②RCC コンクリート締固めの施工性

有スランブコンクリートと RCC 用コンクリートの接合面で締固めが不十分な箇所が見られた。150mm 程度の起振力の大きなバイブレータを使用することを計画しており、適切な締固めが期待できる。

③施工管理手法の確立

ブロック据付けは、オペレータがカメラ映像を見ながら行った。映像画面上にブロック据付位置表示等の作業支援を実施することが必要である。さらにデータ収集により最適な施工法ができると考える。



7. あとがき

今回技術活用パイロット事業の結果から砂防ダムの築造におけるブロック、有スランブコンクリート、RCC 用コンクリートの品質が確認された。従来工法による土砂型枠の盛り立てや撤去及び RCC 法面のハツリ・整形作業が不要となりコストの削減、工期の短縮が図れることも確認された。さらに施工性を高めるため、今後もシステムの高度化に取り組む予定である。

