

RCC 工法による砂防ダムの築造

Construction of Sediment Control Dam by Roller Compacted Concrete Method

石原 和征* 森田 豊信**
Kazuyuki Ishihara Toyonobu Morita

要 約

長崎県島原半島のほぼ中央部に位置する雲仙・普賢岳（標高1,359m）は、平成2年11月17日に198年ぶりに火山活動を開始した。翌年の平成3年6月3日には大規模火砕流が発生し、死者・行方不明者合わせて43名が犠牲者となった。水無川や中尾川流域では火砕流や土石流が頻発し島原市は一時的に孤立状態となった。このような災害から地域住民の生命や財産を守ることを目的として、水無川砂防計画基本構想の一つ「想定規模の土砂移動現象に対し、水無川と赤松谷川合流点付近から上流にダムを配置し、長期的に地域の安全を確保する」に基づき40基の砂防ダムが計画された。噴火から10年経った今でも約1億7千万m³もの土砂が不安定な状態で存在し、大雨により土石流が発生する恐れがある。また地震などにより溶岩ドーム崩壊の恐れがあるため警戒区域内では無人化によるRCCダムの建設工事が進められている。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 施工方法
- § 4. 試験施工
- § 5. 施工計画
- § 6. 施工結果および今後の課題
- § 7. おわりに

§ 1. はじめに

雲仙・普賢岳における砂防ダム工事は、警戒区域内の工事となるため、無線操縦式重機による無人化施工が行われている。区域内は基本的に人が立ち入ることが制限されているため、施工方法も省力化、省人化が求められる。RCC (Roller Compacted Concrete) 工法はダムの工期短縮とコスト縮減を目的としてアメリカで開発された工法である。当工事における特徴としては、①打継目のグリーンカットを行わない、②敷きモルタルを行わない、③横継目を造らない、④貧配合である等が挙げられる。これらの特徴により、RCD工法に比べ省力化・工期短縮が望めるため無人化施工に向いている工法といえる。本報告では当社としては初めてであるRCC工法による砂防ダムの築造に関する施工方法と今後の課題につ

いて述べるものである。

§ 2. 工事概要

2-1 工事概要

工 事 名：水無川3号砂防ダム本体部一期建設工事
発 注 者：国土交通省
施工場所：長崎県島原市南上木場町地内～北上木場町地内
工 期：自 平成12年9月30日
至 平成13年3月21日
工事数量：堤体掘削 34,073m³
基面整正 1,342m²
残土処理工 50,330m³
RCC 堤体打設 11,078m³
土砂型枠工 10,139m³
転流工掘削 49,400m³

水無川に設置される予定の40基の砂防ダムの内、既に1号および2号砂防ダムは完成しており、RCC工法とCSG工法を併用して築造している。本工事は2号砂防ダムの約500m上流に位置し、すべてRCC工法によりダムを築造した。

2-2 地質概要

水無川3号砂防ダムの標高は190m程の山裾部に位置し、地質はN値50以上の土石流による砂礫である。所々に巨石も混入しているため、大型ブレーカによる転

* 九州（支）深江（出）

** 九州（支）島原（出）

石破碎の必要があった。基礎は直接基礎であり、平板載荷試験により 490kN/m^2 の支持力を確認した。

§ 3. 施工方法

3-1 施工サイクル

無人化施工による RCC 工法の施工手順は以下の通りである。

(1) 土砂型枠の設置

型枠材として重機で施工可能な土砂でコンクリートの留め型枠を造る (写真-1)。

(2) 打設面清掃

土砂型枠作成時にこぼれた土砂や埃を取り除く。

(3) 10t ダンプトラックによる運搬

生コンプラントで練ったコンクリートを 10t ダンプトラックで積替設備まで運搬する。積載量は過積載にならないように 1 台当たり 3.5m^3 に制限した。

(4) 積替設備

RCC 積替設備にて 10t ダンプから 45t ダンプへ積み替えを行う (写真-2)。

(5) RCC 運搬

45t ダンプトラックに 10t ダンプトラックで 4 台～5 台分を積み込み、堤体まで運搬する。

(6) 敷均し

ダンピングしたコンクリートは、16t ブルドーザで 25cm 程度の薄層に敷均し、2 層で 1 リフトの 50cm に仕上げる (写真-3)。

(7) 転圧

敷均しが終わった部分を 11t 振動ローラで 10 回転圧する。転圧は無振動 2 回、有振動 6 回、無振動 2 回行った。

(8) 養生

乾燥や凍結防止のためブルーシートをかけて養生す



写真-1 土砂型枠設置状況

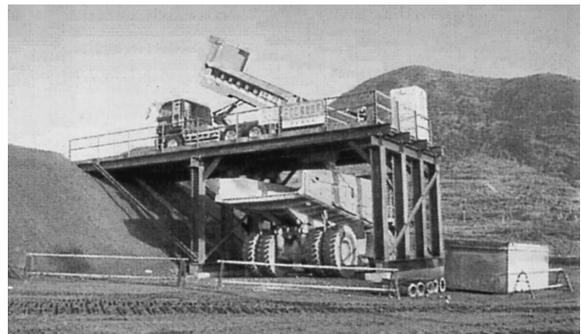


写真-2 積替設備



写真-3 敷均し状況

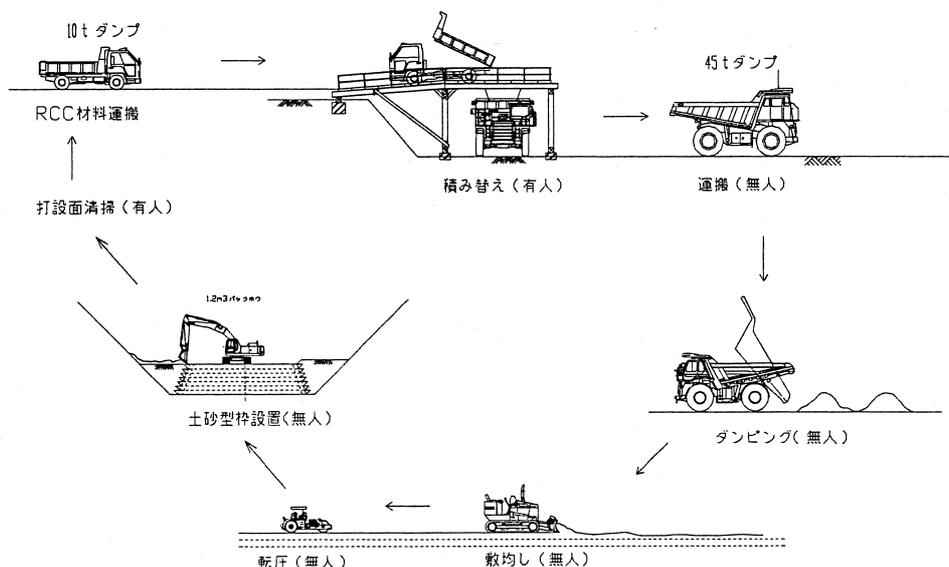


図-1 施工サイクル図

る。

図-1 に施工サイクル図を示す。

3-2 使用機械

RCC 工法で使用した建設機械は警戒区域内での作業となるためすべて遠隔操作式の重機を用いた。

表-1 に使用機械一覧表を示す。

表-1 使用機械一覧表

機械名	規格	形式	台数	無人化機械
バックホウ	3.5m ³	CAT375	1	○
ク	1.2m ³	EX350	1	○
ブルドーザ	62t	D10N	1	○
ク	16t	D6M	1	○
ダンプトラック	45t	CAT773B	2	○
振動ローラ	11t	SD451	1	○
スィーパー	930mm	40-3QGW9	1	
散水車	4t		1	

§ 4. 試験施工

4-1 目的

既設砂防ダムの設計基準強度は16.0N/mm²であったが、本工事より 18.0N/mm²へ変更となった。これに伴い、変更された配合の妥当性を確認するために試験施工を行った。また、当社としては初めての RCC 工法によるダムの築造であるため、本施工に先立って行う試験施工は、状況を知る良い手掛かりとなった。

4-2 配合

本施工前の試験施工より示方配合を「C140W90」と決定した。試験施工では2種類の配合を試した。「C140W90」は室内試験の結果、示法配合として提案されているもので、「C140W95」は施工中の乾燥などの事情によりコンシステンシーが確保できない場合を想定して単位水量を増量した配合である。いずれの配合も、供試体強度で 29.0N/mm² 以上を確保すれば設計基準強度を満足することがわかっているため、供試体強度

表-2 試験条件一覧表

使用材料	セメント	高炉セメント B 種
	粗骨材	大分県津久見産 石灰岩碎石
	細骨材	長崎県 壱岐郡郷ノ浦産
	混和剤	ポゾリス No. 8 (遅延形 I 種)
粒度特性	粗骨材の最大寸法	80mm
	細骨材率 s/a	31%
	粗骨材混合粒度	G1 : G2 : G3 = 35 : 35 : 30
配合量	単位セメント量	140kg
	単位水量	90kg および 95kg
	混和剤	C × 0.003kg/m ³
コンシステンシー特性	スランプ	0cm
	V C 値	20 ± 10秒
強度特性	設計基準強度	18.0N/mm ²
	配合強度	29.0N/mm ²

表-3 試験配合表

配合名	単 位 量 (kg/m ³)						水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	VC 値 (秒)	空気量 (%)
	水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G						
				2005	4020	8040				
C140W90	90	140	679	475	554	554	64.3	31	20 ± 10	1.5
C140W95	95	140	675	472	550	550	67.9	31	20 ± 10	1.5

29.0N/mm² を管理基準とした管理を行った。

表-2 に試験条件一覧表, 表-3 に試験配合表を示す。

4-3 試験方法

試験施工の方法は実際の施工を想定して, 約 9.0m × 20.0m のヤードに実施工で使用する 16t 級ブルドーザ (D6M) および 11t 振動ローラ (SD451) を使用し, 敷均しから転圧を特記仕様書に従って打設を行った。施工中の主な試験・測定項目を以下に示す。

- ① 転圧に伴う沈下量
- ② VC 値の経時変化
- ③ コアボーリングによる圧縮強度試験
- ④ コンクリート温度, 外気温
- ⑤ RI 密度試験
- ⑥ その他

4-4 試験結果

- ① 転圧による沈下量の測定では, 10 回転圧で沈下量の収束は見られないが, 概ね 7 回以降は沈下量が小さくなる傾向が認められた。10 回転圧後の平均沈下率は 5.6% であった。このため, 実施工では沈下量を考慮し, 約 53cm を敷均しの目標厚さとした (500mm × 5.6% = 28mm)。
- ② RCD 工法における練混ぜ後より転圧開始までの時間は冬季で 3~4 時間以内としているため¹⁾, コンシステンシーを示す VC 値の経時変化では 4 時間後まで 30 分おきに試験を行った。VC 値は, W=90 の配合では練混直後 12 秒であったが, 4 時間後では 30 秒, W=95 の配合では練混直後で 8 秒, 4 時間後 20 秒で, 概ね 20 ± 10 秒の範囲にあった。実施工では気温や天候によりコンシステンシーが大きく

変動することが予想されるため, 転圧完了までの時間を 4 時間以内としながらも, 極力早期に転圧を行うよう心がけた。

- ③ 供試体強度は 30~33N/mm² を示し, 配合強度 (29.0N/mm²) を満足した。コアボーリング (φ 200) による圧縮強度試験では W90 および W95 の両配合とも設計基準強度 (18.0N/mm²) を満足する結果が得られた (表-4)。

表-4 コアボーリングによる圧縮強度試験

配合	W90	W95
σ 28	24.0N/mm ²	20.0N/mm ²
σ 91	28.4N/mm ²	22.9N/mm ²

- ④ 試験施工中のコンクリート温度は, 11 月末での試験の為, 外気温と同等から 5 度ほど高い状況にあった。施工時期によっては外気温がコンクリート温度より高くなることもあるため, コンシステンシーへの影響を十分考慮する必要がある。
- ⑤ 締固めの程度を示す密度試験は RI を用いて行った。RI の線源は敷均しが 25cm の 2 層仕上げのため, 30cm のものを使用した。施工管理基準値は ρ_t = 2.40 であるが, 平均して 2.45~2.56 と十分な値を示した。
- ⑥ その他, 練混ぜから転圧開始, 転圧完了までの時間や敷均し時間の測定を行った。

以上の結果を踏まえ, W90 の配合を基本配合とすることに決定し, 実施工を行った。この試験施工においてはヤードの関係上, 有人による施工を行った。実施工は無人工化による施工となるため, 条件が悪くなることを念頭に置き, 本施工にのぞんだ。

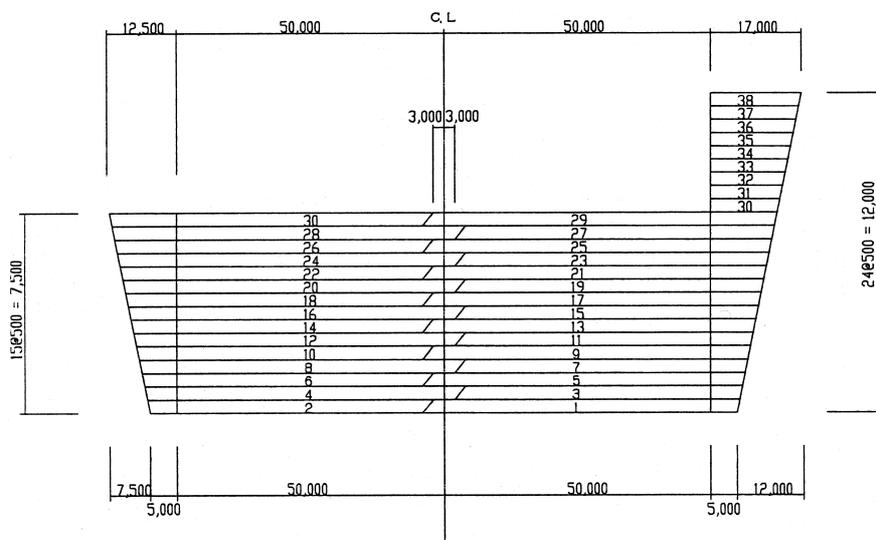


図-2 打設リフト計画図

§ 5. 施工計画

5-1 打設リフト計画

水無川3号砂防ダムは越流部および非越流部からなる砂防ダムで底延長110m、幅12m、堤高は越流部で7.5m、非越流部で12.0mである。各リフト高さは50cmと決められているため、1リフトの打設数量は700m³前後となる。作業時間より計算して、1リフトを2日で打設する様計画した。図-2に打設リフト計画図を示す。

5-2 RCC 搬入経路

1リフトを2回に分割して打設するため、ダム中央の下流側に幅15.0mの工事用道路を取り付けた。



写真-4 RCC 搬入経路

5-3 打継目処理・清掃

1リフト中の右岸部および左岸部の打継目における打止めは1:4で仕上げた。また、打ち止め部の法尻および法肩部は薄層となるため、15cm程の厚さでカットすることとした。

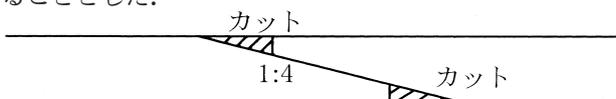


図-3 打継ぎ目処理方法

RCC工法はRCDの様にレイタンス処理を行わないが、打設面に浮いた小石や埃はコンクリートの付着の妨げとなるため、取り除かなければならない。当現場ではハンドガイド式のスイーパ（有人）を使用した（写真-5）。



写真-5 スイーパ

5-4 土砂型枠

無人化施工による型枠は土砂を用いて行う。土砂型枠は法面バケットを取り付けた1.2m³バックホウで行うが、土砂型枠上に乗って作業を行うスペースがないため、コンクリート上に乗っての作業を余儀なくされた。そのため、キャタピラの幅にベルコンマットを敷き詰め、コンクリート面を極力乱さないようにした（写真-6）。



写真-6 ベルコンマットによる打設面養生状況

5-5 RCC 敷均し・転圧

16t湿地ブルによるRCCの敷均しは、その方法手順によりRCCの品質に直接影響するため、特に敷均し延長の管理を行った。敷均し方向はダム軸に平行に行い、転圧が無理なく行える延長を確保し、かつブルドーザが敷均しのために待避するスペースを確保して転圧を開始した。この延長の決定は、その日の打設延長を2分割、3分割、4分割したスパンで試験的に敷均し・転圧を行い、転圧開始までの時間と仕上がり状態を観て決めることとした。2分割では転圧開始までの時間が3時間以上かかってしまい、4分割では2時間程で転圧が開始出来るが、転圧可能な延長が10m以下となるため、ステアリングを大きく切ることにより、打設面が乱されてしまった。3分割（転圧延長15m程度）では転圧面もあまり乱すことなく転圧ができ、転圧も2時間30分程で開始可能であった。これらの結果より15mを目標にブロック分けを行い施工を進めた。

5-6 養生

転圧完了後の養生は、

- ①表面の乾燥を防ぎ硬化に必要な水分を確保する。
- ②初期凍害を防止する。

の2つの目的で行った。養生方法は平年最低気温は1月および2月に0℃を下回り、0℃から-3℃程度が3から4日ほどであるため、基本的にブルーシートのみで行い、凍結が予想される日にはブルーシートの下に養生マットを敷き詰める事とした（写真-7）。

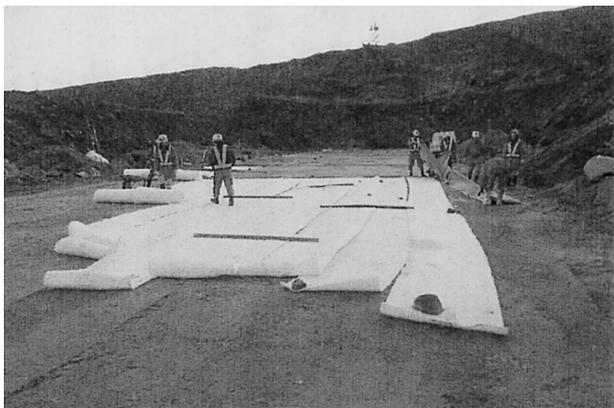


写真-7 養生マットによる養生

§ 6. 施工結果および今後の課題

6-1 RI による湿潤密度試験

湿潤密度試験は、RI にて1日2点、1点当たり4回測定した。実施工の無人化施工においても $\rho_t = 2.40$ を満足することができた。

1日の打設の中で午前中に打設するコンクリートと、午後の日差しが強いときに打設するコンクリートでは明らかに RCC のコンシステンシーは異なってくる。RCC はほぼ同じサイクルでの運搬、打設となるため、転圧開始時の RCC のコンシステンシーは変化することになるため、外気温や日射、さらには風の有無に応じた現場の管理が必要と考える。今後の施工においては転圧前のコンシステンシーに対する転圧回数と密度の関係について試験を行い、相関関係を導き出せれば、なお詳細な施工管理が可能と考えられる。

6-2 コアボーリングによる圧縮強度試験

全リフトの打設完了後、ダム天端より深さ 1.0m でコアボーリングを行い、圧縮試験を行った。どの供試体も設計基準強度を満足する結果が得られた(表-5)。

コアの外観は打継目でジョイントができ、一部ポーラス部が見られたが、良好であった(写真-8)。

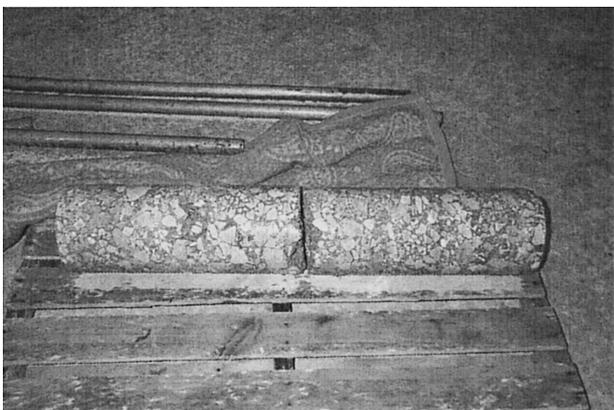


写真-8 コア外観状況

表-5 圧縮強度試験結果

測点	σ_{28} (N/mm ²)	σ_{91} (N/mm ²)
ダム軸①	20.6	28.0
ダム軸②	25.0	25.3
ダム軸③	27.6	25.4

6-3 骨材分離

RCC は RCD と同じくスランプが 0 であるため、大きな骨材が分離しやすい。分離する可能性としては

- ①プラントでの荷積み時
- ②10t ダンプで運搬中
- ③積替設備での積替え
- ④45t ダンプで運搬中
- ⑤現場でのダンピング時

が考えられる。特に③および⑤の時点で分離しやすい。現場では、必ず2山でダンピングするようにし、骨材の分離を押さえた。敷均しは分離した骨材を混ぜるように指導はしたが、無人化施工のため限界があり、所々にポーラスな部分が発生した。ポーラスになりやすい要因の1つとして、ペースト/細骨材空隙比 (α) とモルタル/粗骨材空隙比 (β) があるが、今回の配合では、 $\alpha = 0.999$, $\beta = 1.275$ であった。RCD 工法における値 $\alpha = 1.08 \sim 1.68$, $\beta = 1.21 \sim 1.52$ ¹⁾ と比較すると低い値であることが分かる。今後は無人化施工ということを考慮した配合を考えるべきであろう。

§ 7. おわりに

本工事は当社では初めての RCC 工法による砂防ダムの施工で、かつ無人化施工に関しては初めての無線中継車を使用した、超遠隔操作による施工を行った。操作室からは現場が全く目視できない環境の中、カメラの映像だけが頼りで行うという、施工しづらい環境の中での工事であった。平成 13 年 3 月に無事竣工を迎え、現在 2 期工事として 3 号砂防ダムの副堰堤工事を施工中である。RCC 工法はその施工方法の簡易性により無人化施工に適用しやすいが、工期短縮が望めるため、水密性をあまり必要としない砂防ダム等であれば、有人区域での施工も実用性があると考えられる。しかし、大規模ダムのようにダムサイト近くに専用のプラントを作成できないため、一般の生コン工場からの出荷となる場合は、距離や運搬時間を十分検討する必要がある。

最後に、本工事の施工に関して適切なお助言、ご指導を頂いた関係各位のみなさまに謝意を表する。

参考文献

- 1) 改訂 RCD 工法技術指針(案), pp. 49, pp. 83, 1988.