

マレーシアにおけるRCCダムの施工

—スンガイキンタダム建設工事—

菊地保旨・武内浩之・森田浩二

スンガイキンタダムは、マレーシアにおいて初めてRCC工法が採用された、堤体積約100万 m^3 の重力式コンクリートダムである。日本国内ではRCD工法と呼ばれるダムの実績は多いが、海外のコンクリートダムではRCCダムが主流となっている。基準・指針類の整備されたRCD工法と異なり、設計者、施工者の高い自由度を含み持つRCC工法では、適切な計画が一層重要となる。本報文では、当工事で採用されたRCC工法の、仮設備、コンクリート、施工方法等について、これまでの実績や課題について報告する。

キーワード：RCCダム、RCDダム、GE-RCC、スロープレイヤ工法、連続練りミキサ

1. はじめに

RCC (Roller Compacted Concrete) 工法とは、超硬練りコンクリートをブルドーザ等で敷均し、振動ローラで締固める工法で、舗装やコンクリートダムに適用されている。コンクリートダムの建設においては、ケーブルクレーン等でスランプを持つコンクリートを運搬し、柱状に積上げて行く従来工法（柱状打設）から、土工事等で使用する汎用機械類を用い、安全かつ高速で安価に施工可能な面上打設が主流となっている。面上打設とは、ダムの同一水平面を同時に打上げていくもので、打設面に大きな高低差がつかない。

面上打設の方法として、日本では、独自に開発されたRCD (Roller Compacted Dam) 工法や拡張レイヤ工法等が採用されているが、海外においてはRCC工法が一般的である。どちらも超硬練りコンクリートを用いることから、RCC工法の内のひとつとして分類されるRCD工法ではあるが、RCDとRCCは、使用機械等に大きな差異はないものの、設計思想、施工方法にはかなりの相違が見られる。

RCD工法では、内部コンクリート、外部コンクリートといった部位や目的によって区分された範囲に、異種配合のコンクリートを打設する。外部コンクリートには特に水密性、耐久性が要求されるため有スランプコンクリートが用いられ、超硬練りコンクリートは内部コンクリート部に用いられる。RCC工法では基本的に外部、内部の区別なく同一配合の超硬練りコンクリートが用いられ、ダムの上下流表面のみ特別な施工

を行う。当現場ではGE-RCC (Grout Enriched RCC) とよばれる方法で上下流表面を処理している。コンクリートの撒出し方法も、RCDが1層20~25cmで3~4層ブルドーザで敷均した後、振動ローラで締固める（1リフト75~100cm）のに対し、RCCでは一層30cmを敷均し締固め、これを10層行い、1リフト3mとするのが一般的である。

2. 工事概要

スンガイキンタ（キンタ川の意味）ダムは、マレーシア国ペラ州イポー市に位置する。イポー市は首都クアラルンプールの北約200kmにあり、かつて錫の採取で栄えた場所である。

当ダムは、この地の発展に伴う水道水確保を目的とする、堤体積98万 m^3 、堤高92m、堤頂長780mの重力式コンクリートダムである（写真-1）。

当工事には、ダム下流の浄水プラントまでの4.5kmのパイプラインの敷設や付帯道路工事を含んでいるが、2003年1月に工事着手、2006年6月の完成を目指している。この間、半川締切により2004年2月堤体コンクリート打設開始、3月転流河床掘削着手、8月河床コンクリート開始、今後は2006年2月打設完了、湛水開始を予定している。

3. 仮設備

(1) 仮設備概要

ダム建設において仮設備計画は全体工事の成否を握っ

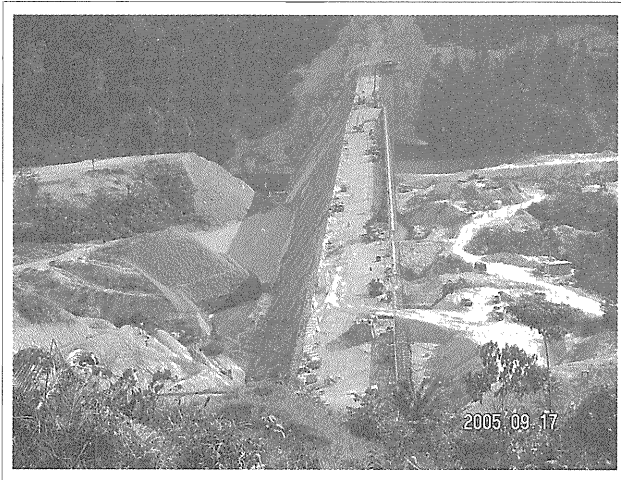


写真-1 左岸より現況のスンガイキンタダムを望む

ていると言っても過言ではない。

当ダムの主要仮設備はコンクリート製造設備、骨材製造設備で、コンクリート運搬設備はダンプ直送であるので、大きな運搬仮設備を設置していない。

一方、河川の幅が狭く、左右岸法面の急峻な日本では、ダムがV字形状となる事が多く、直接ダンプトラック進入路をつけることが難しい。そこでケーブルクレーンやタワークレーン、或いはベルトコンベヤ、インクライン等のコンクリート運搬設備が必要となり高コストの一因となっている。

(2) コンクリート製造設備

RCCコンクリートは、連続的に打設する事で高速施工が可能となるので、ミキサ能力の選定は重要である。通常の2軸強制練りバッチタイプと、海外では使用実績の多い連続練りタイプの比較検討の結果、

- ・当ダムではプラント用地が狭小である事、
- ・コスト的に優位である事、

等から、連続練りタイプを採用した。

プラントはオーストラリアAran社製のModumix-II(写真-2)である。生産能力400m³/h、2つのサイロ(各60t)、5つの骨材ビン(各14m³)、給水ポンプ、混和剤供給ポンプ、連続練りミキサからなる。計量は容積計量である。したがって材料の比重を適切に把握しておく必要があり、このキャリブレーションが重要である。計量誤差の規格は日本とほぼ同様である。

ミキサは2本のシャフトについた72本の羽根付きアームが材料を攪拌しながら連続的にRCCを練り出す。プラントはコンパクトにできており、据付け、解体は容易であるが、運転時のトラブルシューティングには時間を要した。特に羽根部(パドル部)の摩耗や



写真-2 連続練りプラント・サイロ

材料フィーダベルトコンベヤは頻繁に修理交換を要した。

ミキサを1系列としたため、ミキサの故障は即コンクリート打設の中断につながる。メンテナンス日を特定し定期的な点検を実施したが、今後の計画時の検討課題であろう。

(3) 骨材製造設備

骨材プラントは原石山とダム提体を結んだ線上(約800m)の中央に位置する(写真-3)。

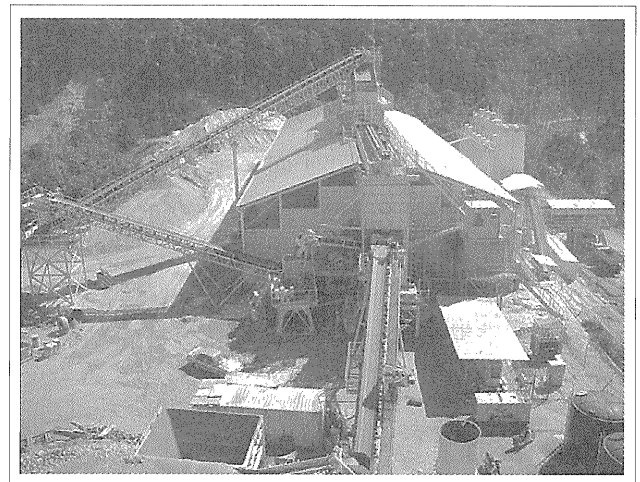


写真-3 骨材プラント全景

原石山はダムから約2km離れた南に位置し、中・細粒花崗岩が得られている。RCCに必要な粒径75μm以下の微粒分の多い碎石骨材を生産するために乾式製造とし、製砂用にインパクトクラッシャー(Barmac 9000)を採用したのが特徴である。

生産能力は1次破碎が550t/h、2~3次が350t/hであるが、骨材製造能力が打設スピードに対し余裕がなく、最盛期には24時間のプラント稼働、デッドス

トックのバックホウによる押込みにて対処した。

コンクリート骨材の有効利用は、コストの削減の面からも、環境破壊を減じる観点からも関心事であるので、現場状況に応じた品質規格緩和、設備の見直し（1次移動式クラッシャの使用）等、具体的な動きもあるが、当ダムではむしろより厳格な管理を要求されている。RCC コンクリートの品質は、骨材の粒度分布に大きく左右されるので、原石の質はもとより、破碎システム、貯蔵方法等について、十分検討し計画する必要がある。

4. RCC の配合

(1) 配合概要

仕様書では、目標 VB 値 12~17 秒、設計基準強度 15 MPa（材齢 90 日圧縮強度）、1.0 MPa（材齢 90 日直接引張強度）、断熱温度上昇量 15°C 以下、材料の分離が起こりにくく、締固めが容易で相対密度 98% 以上が得られる配合が要求されている。

RCD はコンクリート理論に裏付けされたものであるが、RCC は、その発展の背景にソイルセメントがある事や、粒度分布、含水比、締固め密度等を重要視する事からも明らかなように、土質理論に基づいた設計思想も取入れられていると言える。

(2) 配合

代表的な RCC の配合を表一に示す。細骨材は粗骨材製造時に生産される砕砂のほか、粒度調整のため近郊の錫採取場の跡地に存在するマイニングサンドを使用している（表中 Ms, Qs は砕砂）。

表一 RCC の配合

G_{max} (mm)	W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							Ad (liter)	
				W	C	F	Ms	Qs	G1	G2		G3
63	75	0	41	150	100	100	329	493	221	441	529	0.8

RCD コンクリートに比べ W/C, s/a が高めであるが、これによって材料分離の少ない、ワーカブルなコンクリートを得る事ができる。RCC では設計者の自由度が大きく配合自体かなりのばらつきがあるが、微粒分、粉体量を増やしペースト分の多いコンクリートとする事が基本となっている。

(3) フレッシュ RCC

(a) VB 試験

コンシステンシーの管理では VB 試験を毎時実施した。RCD で使用する VC 試験機と比較すると、お

もりが 12.5 kg と軽く、振幅が 0.35 mm と小さい。VB 試験時に、RCC の単位容積質量、含水率などを同時にチェックした。

(b) 現場密度試験

現場で RCC を敷均し、転圧後に RI 密度計によって、フレッシュ RCC の密度と含水率を、深さ 250 mm, 200 mm, 100 mm の位置で測定をしている。

(4) 圧縮強度

特記仕様書の要求では 90 日材齢で 80% 以上が 15 MPa を超えることとなっている。8 月末現在平均 20.1 MPa, 変動係数は、18% 程度である。品質のばらつきの大きなフライアッシュを使用せざるを得ないが、ローリ毎にサンプリングを行い、配合の微調整を行っている。

5. RCC の施工

(1) RCC の施工概要

連続練りミキサから排出された RCC はダンプトラックで堤体へ運搬される。これをフルドーザで敷均し、振動転圧をする。ダム上下流面及び岩着面の施工は、GE-RCC で行う。RCC は狭隘な場所を除き、勾配を付けた連続打設を行うスロープ・レイヤ工法（Slope Layer Method）で行う。この工法により RCC の始発時間以降に必要な各層打継ぎ面の敷モルタルの数量、手間を低減している。主要機械を表二に示す。

表二 主要打設機械一覧

機 械	メーカー	モデル	台数	用 途
1 (アーティキュレイト)ダンプトラック	Volvo	A 30 CV	6	RCC 運搬
2 (アーティキュレイト)ダンプトラック	Volvo	A 25 CV	1	RCC 運搬
3 ダンプトラック (10t)			4	RCC 運搬
4 トラックミキサ			2	モルタル運搬
5 ブルドーザ	Caterpillar	D 6 D&H	2	RCC 敷均し
6 ブルドーザ	Caterpillar	D 5 H	1	RCC 敷均し
7 ブルドーザ	Caterpillar	D 4 H	1	RCC 敷均し
8 振動ローラ	Ingarsoll	SD 100 D	2	RCC 転圧
9 振動ローラ	Sakai	E 60-ENB	2	RCC 転圧
10 ホイールローダ	Caterpillar	CAT 950	2	ブロック移動など
11 目地切り機 (油圧ブレーカ)	Kobelco	SK 0911	2	目地切り
12 エアコンプレッサ	Airman	PDS-175 S	4	清掃・グリーンカット
13 清掃機 (ロードスイーパー)	Bucher	PKD 211	2	清掃・グリーンカット
14 高圧洗浄機 (プレッシャークリーナ)	Karcher	HD 1090	2	清掃・グリーンカット
15 散水車	Fuso	—	1	清掃・グリーンカット・養生
16 ブラシ付きトラクタ	Ford	6600 BP	2	清掃・グリーンカット
17 グラウトミキサ			2	GE-RCC
18 アジテータ			2	GE-RCC
19 エンジンバイブレータ			6	GE-RCC

(2) 打設要領

(a) 打継ぎ目処理

打継ぎ目の処理基準は、

- ① コンクリート凝結始発時間内は無処理、清掃のみで打継ぐ。減水型遅延剤を使用しているため、添加量によって異なるが、約5時間に設定した。
- ② 始発時間以降、積算温度で $1,200^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr}$ 以内ではモルタルを敷均す。積算温度は、(外気温 $+10^{\circ}\text{C}$) \times 時間で計算し、 $1,200^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr}$ は、外気温 30°C で約30時間となる。
- ③ さらに、②を超えるとグリーンカットとモルタル敷均しを行う。

即ち、諸条件を整えれば、①の状況で中断無く打設し続ける事が可能となり、高速施工を成し遂げられるわけである。実際には、降雨、プラント故障、打設面清掃の遅れ、下流型枠の移動等、様々な事由で②で打継ぐ場面が多々あった。

(b) 運搬、敷均し、転圧、GE-RCC

打設面への運搬道路は幅6~8m、最大15%の下り勾配となっている。RCCは30tダンプトラックにより運搬・荷下ろしされた後、ブルドーザにより30cm層に敷均され、振動転圧機により無振動2回、振動6回の計8回締固めを行う(写真-4)。

敷均し時の厚さ管理にはブルドーザにレーザーレベル

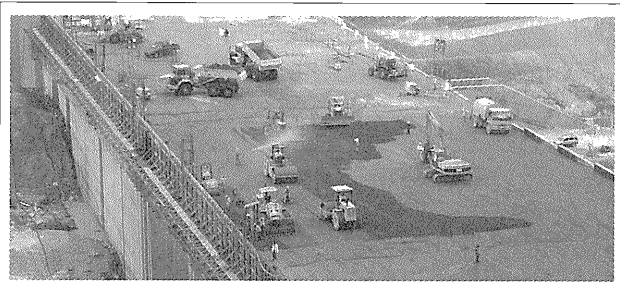


写真-4 運搬道路の施工状況

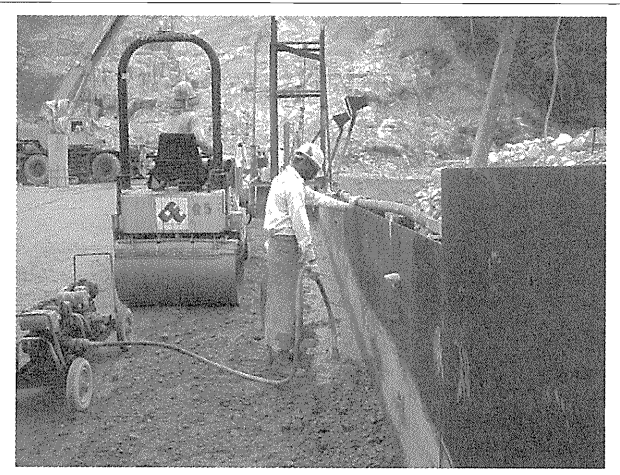


写真-5 GE-RCC 工法 (上流面)

センサを取付けた。施工中は水分維持のため噴霧養生を行う。練混ぜ後45分以内に転圧まで完了させなければならない。型枠際の施工はGE-RCC工法による(写真-5)。

GE-RCC工法では、先にRCCの敷均しを行い、後からセメントミルクを添加して内部振動機で締固めるもので、打設中に配合を変更する必要がなく、配合切替えによるロスが無い。GE-RCC部は、対象コンクリート体積の5%に相当する量のセメントミルクを流込み、1~2分程度の浸透時間を経てバイブレータにより締固める。GE-RCCとRCCの境界部は、GE-RCCを施工後、2t振動ローラを用いて縫合わせ部を入念に転圧した。コア抜きにより目視確認を行っているが、良好な結果を得ている。

(2) 目地切り、RCC 端部処理、上下流面型枠施工

横継ぎ目間隔は20mで、上流面のみ2列の止水板を設置し、その後方に継ぎ目排水孔を配する。目地は油圧ブレーカにブレードを取付けた目地切り機を用いて垂鉛引き鉄板を挿入する。

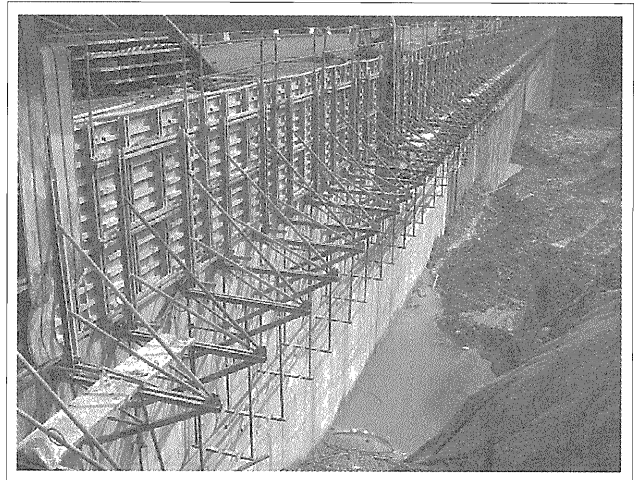


写真-6 上流面スライドフォーム

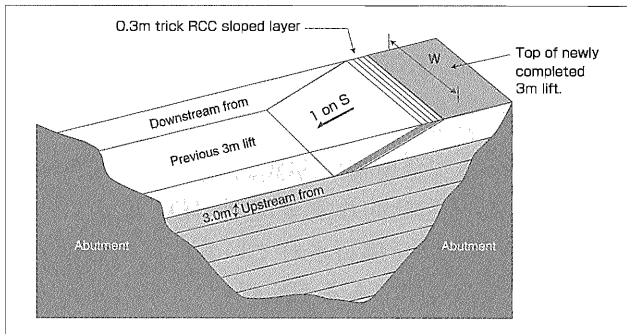


写真-7 下流面ブロック型枠

RCC コンクリートは転圧完了後に、端部のフェザージェッジを10 cm 以下の厚みについて削取る。型枠は1リフト3 m の打上がりに合わせて、上流面はスライドフォームを、下流面ではGE-RCC の上面を均し、コンクリートブロック型枠（長さ1.5 m、高さ0.6 m、表面鉄板付け）を積上げた（写真—6、写真—7）。

(3) スロープ・レイヤ工法

スロープ・レイヤ工法は、RCC を1リフト3.0 m に対して300 mm 層毎に1:10~1:20 の勾配で敷均し、振動転圧をすることにより連続打設する工法である。概要を図—1 に示す。



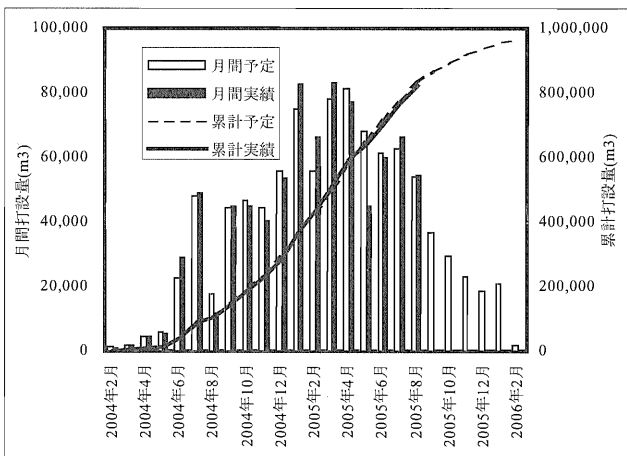
図—1 スロープ・レイヤ工法概念図

勾配は、前述①の条件で打継ぐ事を前提に、1レイヤ当りの打設量と打設スピードによって決定される。

スロープ・レイヤの長所は、打設切羽をコントロールすることで、打設量と打設スピードの調整が可能となり効率化を図る事ができる。またフレッシュなコンクリートを打継ぐ事で、品質的にも漏水の危険性のある水平打継ぎ目を減らす事ができる。さらに降雨時の排水にも効果的である。

(4) 打設実績

打設実績を図—2 に示す。十分な打設場所を確保し



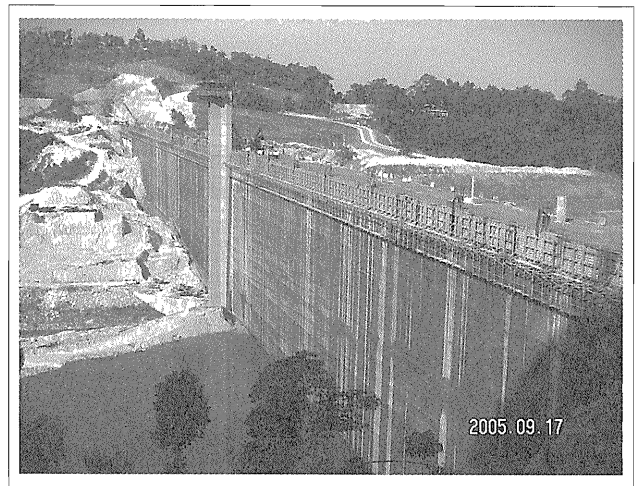
図—2 打設実績

た2004年9月以降当年8月までの12カ月で、月最大83,248 m³、月平均60,728 m³、日最大打設4,200 m³、日平均2,024 m³である。

RCD 工法に比べ、格段に高速施工であるとは言い難いが、スピードアップへの改善の余地はまだ残されていると考えている。

6. おわりに

2005年8月末現在RCC 総量98万 m³のうち83万 m³を打設し、残り15万 m³というところまで来た（写真—8）。この間RCD 工法とRCC 工法の予期せぬ相違に試行錯誤の連続であった。



写真—8 右岸上流より見たスンガイキンタダムの現況

日本のダム建設技術は成熟の域に達しているとも言えるが、環境破壊、社会資本の無駄使いといった逆風にさらされているのも事実であろう。

こうした状況の中、合理化施工法として開発されたRCD 工法と、コンクリートダムの枠にこだわらない発想によるRCC 工法とを、同一レベルで比較することはできないものの、経済性を追求するうえで検討すべき点は少なくないと思われる。本報文が今後のダム建設にあたる技術者の参考になれば幸いである。

JCMA

[筆者紹介]

菊地 保旨（きくち やすし）
株式会社ハザマ国事支店
キンタダム作業所所長

武内 浩之（たけうち ひろゆき）
株式会社ハザマ国事支店
キンタダム作業所副所長

森田 浩二（もりた こうじ）
株式会社ハザマ国事支店
キンタダム作業所工事主任