

## 報告 GERCC の配合設計と施工方法

天明 敏行<sup>\*1</sup>・村上 祐治<sup>\*2</sup>・菊地 保旨<sup>\*3</sup>・森田 浩二<sup>\*4</sup>

**要旨**：GERCC とは、敷均された RCC にグラウトミルクを添加して、内部振動機による締固めを可能にしたコンクリートである。型枠際の施工時に有スランプコンクリートを打込む従来の方法に対し、作業の効率が格段に優れているが事例は少なく、体系的に設計や施工方法が検討された報告は稀有である。施工にあたっては室内試験による基本配合設計を行い、施工時には細部技術の検討を行った。その結果、グラウトミルクの粘性を小さくして、RCC への良好な浸透性を確保することが配合設計や施工上重要であることがわかった。

**キーワード**：GERCC, RCC, グラウトミルク, 浸透性, 粘性

### 1. はじめに

RCCとはRoller Compacted Concreteの略であり、振動ローラ転圧によって締固められるコンクリートのことである。ダム建設への適用は1970年代より開発、普及が始まり、現在では世界各国で採用されている。日本ではRCD (Roller Compacted Dam-concrete) 工法が採用されており、同様の施工方法であるが、在来工法による重力式コンクリートダムと同じ品質を目指している点が特徴的である<sup>1)</sup>。

RCC工法では、型枠際や岩着部の施工に際し、振動ローラによる転圧が困難であることから、一般的には有スランプコンクリートによる打込みが行われているが、この部分の合理化を図ったのがGERCC<sup>2)</sup>である。GERCCとはGrout Enriched Roller Compacted Concreteの略であり、敷均されたRCCにグラウトミルクを添加し、内部振動機で締固める方法で施工する。

打込み場所において RCC と有スランプコンクリートに区画を分ける必要がないため、打込み作業の効率が有スランプを打込む場合

と比べて格段に優れている。採用されている国や設計者によって細部の施工方法や手順などに違いがあり、” GEVR (Grout Enriched Vibratable RCC) “などとも呼ばれているが、基本的な思想や施工方法は同じである。

GERCC は RCC の合理化を図った事例としていくつか報告されているが、体系的に設計が行われ、施工方法について検討された報告はあまりない。

さらに、RCC にグラウトミルクを添加して締固めるという発想は一見簡単であるが、グラウトミルクの濃度を適切に設定しない場合には、バイブレータの穴が空くだけでグラウトミルクが RCC に浸透せず、相当の工夫が必要なことがわかる。

マレーシアのスガイキンタダムで採用された GERCC の施工に際しては、その施工方法の確立を目的として、まず室内試験でグラウトミルクの配合設計を行い、施工時に細部技術の検討を行った。さらに実施工で得られた圧縮強度試験のデータを検証して GERCC の有効性について確認した。

\*1 (株)間組 土木事業本部技術第二部 (正会員)

\*2 (株)間組 技術環境本部技術研究所 工博 (正会員)

\*3 (株)間組 国際事業統括支店

\*4 (株)間組 国際事業統括支店

## 2. RCC の配合

RCC と GERCC の材料を表-1に示す。骨材は3分級した粗骨材と粒径5mm以下の碎石を使用した。購入砂はマイニングサンドと呼ばれる砂で、かつて錫を採掘した際に産出された砂を使用した。

RCC の骨材の粒度分布を図-1に、RCC の示方配合を表-2に示す。

一般のRCD用コンクリートの細骨材率は、実績から 28%~34%の範囲にある<sup>3)</sup>が、本RCCの細骨材率は41%であり、細骨材率が大きいことがわかる。粒径 75 $\mu$ m以下の比率も多く、細骨材率や微粒分を多くすることにより、RCCの粘性を大きくしてモルタルリッチな配合とし、粗骨材の材料分離の防止や水平打ち継ぎ面のペースト確保などを配合設計の段階で考慮していると推察される。

セメントとフライアッシュの単位量は各100kg/m<sup>3</sup>であり、ハイペーストなRCCである。

また、一般のRCD用コンクリートの単位水量は 85~105 kg/m<sup>3</sup>である<sup>3)</sup>が、本RCCの単位水量は 150kg/m<sup>3</sup>であり、細骨材率や微粒分、単位結合材量が多いために、単位水量が多い配合となっている。

コンシステンシーは VB 値で管理しており、12-17 秒を目標とした。VB 試験は RCD 用コンクリートで用いられる VC 試験と類似の試験であるが、VB 試験の方が振幅や錘が小さい試験を行う。VC 試験と VB 試験の比較を表-3に示す。

RCC の設計基準強度は材齢 90 日の圧縮強度で 15MPa であった。フライアッシュの品質にばらつきがあり、圧縮強度の変動係数は 20%程度であった。

## 3. GERCC の配合設計

### 3.1 設計条件

GERCC の施工範囲は型枠や岩着部より 400mm 程度である。当初の設計条件では、洪

表-1 使用材料

材料	記号	適用
セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度:3.15g/cm <sup>3</sup> 比表面積:3,500cm <sup>2</sup> /g
フライアッシュ	F	TNBJ 火力発電所産 密度:2.09g/cm <sup>3</sup> 粉末度:10-30% (45 $\mu$ m 残)
碎石	G1 G2 G3	原石:花崗岩 表乾密度:2.62g/cm <sup>3</sup> 吸水率:0.5% G1:63-40mm , G2:40-20mm , G3:20-5mm
砕砂	Qs	原石:花崗岩 (碎石と同じ) 表乾密度:2.62g/cm <sup>3</sup> 吸水率:0.5% FM:2.5~3.0 75 $\mu$ m 以下:10~15%
購入砂	Ms	表乾密度:2.62g/cm <sup>3</sup> 吸水率:0.5% FM:2.9~3.1 75 $\mu$ m 以下:2.0~3.0%
混和剤	Ad	遅延型減水剤 (P100Ri)

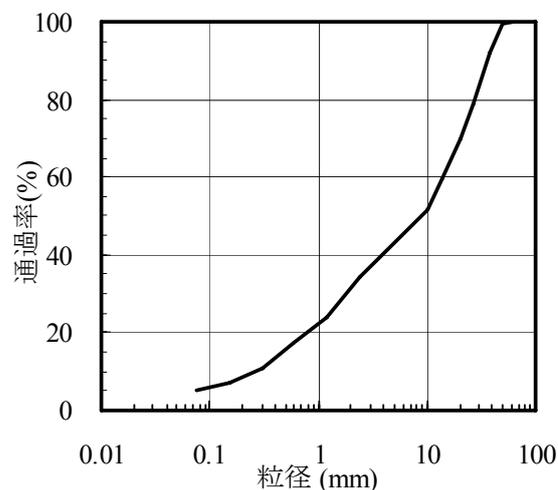


図-1 RCC 骨材の粒度分布

表-2 RCC の示方配合

Gmax (mm)	W/B (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )								
				W	C	F	Ms	Qs	G1	G2	G3	Ad (liter)
63	75	0	41	150	100	100	329	493	221	441	529	0.8

水吐きの水叩き部を除いて材齢 90 日の設計基準強度が 20MPa であった。

### 3.2 配合設計の考え方と室内試験

母材の RCC が一定の場合、GERCC の性質を決めるのは、グラウトミルクの配合と、その添加量のみである。GERCC の設計基準強度は母材の RCC のそれよりも 30% 以上も高いものであり、設計上の不具合も予想されたが、GERCC 最適配合を求めるために、「必要な強度が得られる範囲で、最大の水セメント比となるグラウトミルクの配合とその添加量」を選定することを基本的な考え方とした。ここで、グラウトミルクの添加量は RCC を締固めない状態でのかさ容積に対するグラウトミルクの容積の比率で表すこととした。

予備試験として強度を机上で予測し、必要な強度を得るために、水セメント比 45%、添加量 20% で室内試験を行った。写真-1 に示すような透明アクリル板を用いた縦 50cm × 横 50cm の容器に RCC を詰め、赤く染色したグラウトミルクを添加してこれを観察した。その結果、グラウトミルクが RCC と混ざらず、バイブレータによる締固め後には大量のグラウトミルクが RCC に浸透せず、上部に集まることが確認された。この原因は水セメント比が 45% 程度のグラウトミルクでは粘性が大きすぎて RCC に浸透しないことおよびグラウトミルクの量が多すぎるためであった。

グラウトミルク添加後に特別な練混ぜを行わない本工法において、RCC にグラウトミルクをよく浸透させるためには、グラウトミルクの粘性を小さくすること、すなわち水セメント比の大きいグラウトミルクを添加することが必要である。このため、設計条件における圧縮強度の強度保障材齢の規制を外し、配合設計の基本的な考え方を、「必要な浸透性が得られる範囲で最小の水セメント比となる配合とその添加量」となるように変更した。

### 3.3 マーシュコーン値 (MCV)

グラウトミルクの浸透性を管理するために、

その粘性を測定する器具として、マーシュコーン<sup>4)</sup> (写真-2) を用いた。2 リットルのグラウトミルクを直径 150mm、28° の角度をもつコーンに注ぎ、下部の真鍮製の排出口からすべてのミルクが排出されるまでの時間を秒単位で測定し、マーシュコーン値 (以下 MCV (Marsh Cone Value) と記述する) として記録

表-3 VB 試験と VC 試験

	VB 試験	VC 試験
規準	BS1881: Part 104	JSCE
振幅	0.35mm	0.5mm
振動数	50Hz	50Hz
錘	12.5kg	20kg
透明板	スリット無	スリット有
作製方法	1 層, 突固めなし	2 層, 突固め



写真-1 透明型枠を用いた室内試験



写真-2 MCV 測定状況

する。水のMCVは 31 秒である。アクリル製透明型枠を使用した室内試験による目視観察により、セメントミルクがスムーズにRCCに浸透していく目標MCVとして 40-45 秒と設定した。

### 3.4 水セメント比と MCV

セメントの種類を変えたケースや混和剤を使用したケースで室内試験を行い、水セメント比と MCV の関係を調べた。

グラウトミキサは 50 リットル傾胴式ミキサを使用した。練混ぜ時間は状況観察の結果、10 分とした。

#### (1) セメントの種類

セメントの種類を変えて MCV を測定した結果を図-2 に示す。縦軸は MCV を、横軸は W/B を示している。普通ポルトランドセメントとフライアッシュは RCC と同じものを用いた。フライアッシュセメントのフライアッシュ置換率は 30% であり、グラウトセメントの比表面積は  $6500\text{cm}^2/\text{g}$  である。

フライアッシュセメントでは僅かに小さい MCV となる傾向が見られたが、セメントの種類による差はほとんどないと考えられる。

#### (2) 混和剤

グラウトミルクの粘性を小さくするために混和剤の使用を試みた。1 種類の減水剤と 2 種類の流動化剤（ポリカルボン酸エーテル系化合物）を使用した。図-3 および図-4 に示した結果から、流動化剤の効果が大きく、セメント量に対して 0.6% 程度使用することによって粘性が著しく小さくなり、水セメント比を 60% 程度まで下げても、MCV は 45 秒程度まで流動性を高められることがわかる。

## 4. GERCC の施工

### 4.1 施工概要

RCC はリフト厚さ 300mm、練り混ぜから転圧完了まで 45 分以内を目標とした。

グラウトミルクは当初、 $1\text{m}^3$  の 2 軸強制型のバッチングプラントで練混ぜ、トラックミ

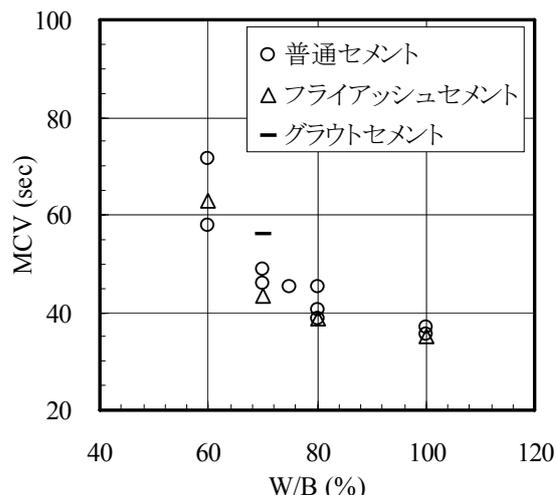


図-2 水セメント比と MCV  
(セメントの種類)

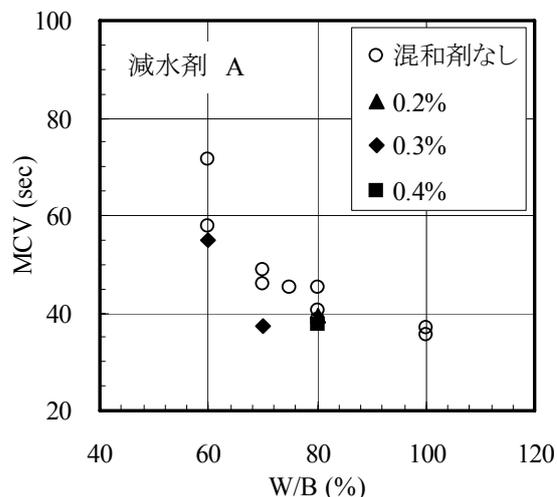


図-3 水セメント比と MCV (減水剤 A)

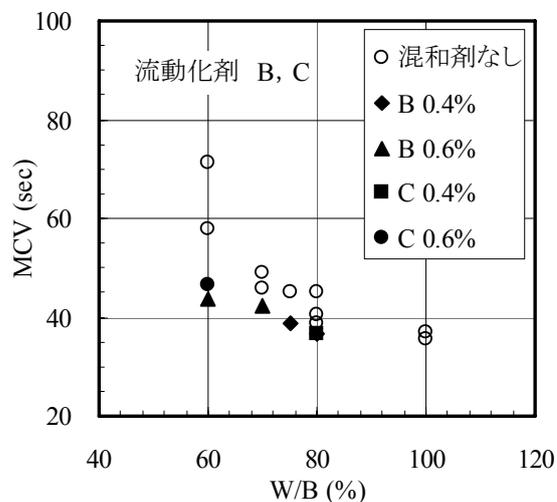


図-4 水セメント比と MCV (減水剤 B, C)

キサで運搬し、大型容器に移した後、小容器で打込み場所まで運搬していた。しかし、練混ぜの状況がよくなく、セメントの塊が残ることと、数分後には容器内でブリーディングがおきてしまうことから、打込み箇所グラウトミキサ(写真-3)を使用して練混ぜ、写真-4に示すようなアジテータ搭載のトラックで直接打込み場所まで運搬する方法に変更し、均一なグラウトミルクを供給できるように改善した。

実施工ではグラウトミルクの MCV や RCC の VB 値などの性状が室内試験よりも変動することから、W/C を 70%、流動化剤の添加率をセメントに対して 1.0% とし、浸透性に対して安全側になるように設定した。また、目標 MCV は 40 秒とし、45 秒以上は廃棄した。

実施工におけるグラウトミルクの添加量は 5% とした。これよりグラウトミルクの量が多いとブリーディングが多くなり、少ないと内部振動機の穴が跡に残り、締固め不足が懸念された。

GERCC の浸透性を確保するためには RCC をルーズな状態に保つ必要がある。このために、ブルドーザで敷均しをした後、作業員や監督員がエア付近に立ち寄らないこと、振動ローラの転圧前に速やかに GERCC の施工をすることなどが重要である。さらに、型枠際の施工幅 400~450mm のエリアに 150mm ピッチで 2 列の穴をあけ、そこにグラウトミルクを流し込む方法とした。流し込み後、ミルクを十分に浸透させるため、約 3 分経過後にバイブレータをかけた。

RCC との境界付近の締固めは慎重に行い、GERCC の締固め後、2t の振動ローラで GERCC 部をラップするようにして RCC の締固めを行った。

施工時には、写真-5 に示すような透明アクリル型枠を用いた状況観察とコア採取を行い、密実なコンクリートが施工されていることを確認した。

## 4.2 GERCC の圧縮強度

GERCC の圧縮強度試験のサンプリングは現場において、締固め終了直後に行った。各材齢における母材の RCC と GERCC の圧縮強度試験の結果を図-5 に示す。ばらつきはあるが、GERCC の圧縮強度は RCC の圧縮強度とほぼ同等であったことがわかる。



写真-3 グラウトミキサ



写真-4 アジテータ搭載トラックによる運搬



写真-5 透明型枠を用いた現場試験

## 5. まとめ

グラウトミルクの配合とその添加量は、机上検討、室内試験、施工時の各段階で変わっているが、その遷移をまとめると表-4 に示すようになる。

GERCC の室内試験、施工時の細部技術の検討を通じ、本施工における条件で得られた知見を以下に述べる。

- ・ 流動化剤によって粘性を少なくし、MCV を小さくすることができる。
- ・ グラウトミルクの浸透性を考慮した場合、施工に適した MCV は 40 秒程度である。
- ・ フライアッシュセメントや微粒子セメントはグラウトミルクの浸透性改善にあまり効果がない。
- ・ ブリーディングが過大とならないことや締固め易さを考慮するとグラウトミルクの添加量は締固め前の RCC のかさ容積の約 5% である。
- ・ RCC の敷均し後、作業員などの立入りによって踏み固められないようにルーズな状態に保つとよい。
- ・ 直径 3cm 程度の穴を 15cm 間隔程度で開けておくとグラウトミルクの浸透性がよくなる。
- ・ 施工において、グラウトミルク添加後、バイブレータをかける前に約 3 分おき、浸透させることが重要である。
- ・ GERCC の圧縮強度は、母材である RCC の強度とほぼ同程度の強度が得られた。
- ・ コアや表面の仕上がりはおおむね良好で、十分な締固めが可能である。

## 6. おわりに

グラウトの浸透性に配慮して GERCC の配合設計を行ったが、強度は母材の RCC とほぼ同じであり、この改善が今後の課題といえる。施工時にもグラウトミルクの浸透に留意し、内部振動機の締固めにより良好な施工が実施できたことを確認できた。

表-4 グラウトミルクの配合と添加量

段階	配合(%)		添加量 (%)	根拠
	W/B	流動化剤		
机上検討時	45	—	20	強度より決まる
室内試験	60	0.6	—	浸透性より決まる
施工時	70	1.0	5	浸透性の変動を考慮

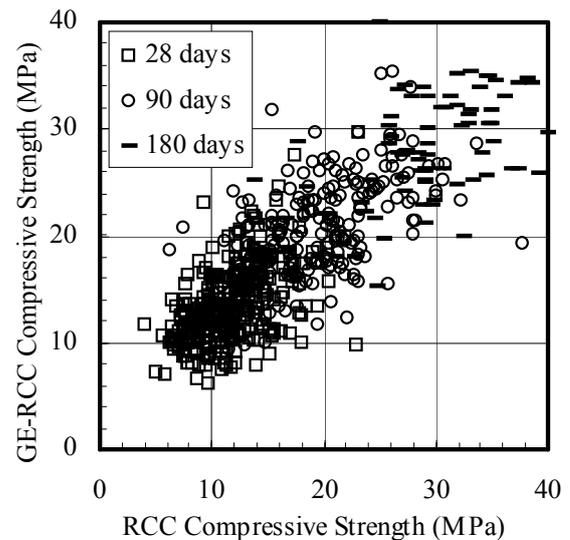


図-5 RCC と GERCC の圧縮強度

## 【参考文献】

- 1) Isao Nagayama, Shigeharu Jikan: 30years' history of Roller-Compacted Concrete dams in Japan. 2003. Proceedings of the Fourth International Symposium on Roller Compacted Concrete Dams, Madrid, Spain, pp.27-38, Nov.2003
- 2) Forbes, B. A., "Grout Enriched RCC: A History and Future," International Water Power & Dam Construction, Wilmington Business Publishing, Dartford, Kent, UK, pp.34-38, June.1999
- 3) 財ダム技術センター編：RCD 工法技術の進歩， p.4-3， 2005. 12
- 4) P.C.Nkinambanzi and B.Fournier, Materials Technology Laboratory, Report MTL 2003-44 (CF), p.6, 2003