

9.2.3 RMC ダムの運用と性能

RMC ダムは、水密性を保持するまでに漏水というよりも浸潤が生じます。この過程で、エフロレッセンスと方解石がダムの下流面に層状に沈積し、白い縞模様が形成されるため、視覚的な仕上がり（美観）を損なうこととなります。しかし、浸潤の減少に伴い、方解石の湿り気と有機物の増加の程度に応じて、方解石の沈積物は乾燥風化し緑がかった茶色に変色します。一般的に、上述した方法で施工された RMC ダムは、従来のコンクリートダムのような乾燥収縮や温度ひび割れが見られません。

この特長は広く理解されておらず、工学的説明もなされていませんが、設計への信頼は RMC ダムの「亀裂が発生しない」という性能に依っています。この性能を説明するために、幾つかの仮説を立てることができます。

- 1) 堤体が薄く、建設速度が遅いため、水和反応中及び冷却中に発生する偏差応力が、無視できるほどに小さい。
- 2) 微細亀裂が RMC のモルタル内で発生する可能性はあるが、ランダムに分布する岩石が、連続性のよい亀裂と単一の大きな亀裂の発生を妨げる。
- 3) 巨視的には、大きな礫とその噛み合わせにより、高い引張強度の構造物が構築される。

経験によれば、モルタル量が多い RMC は亀裂が発生する可能性があり、岩石量が多い RMC よりも好ましくないことは間違いありません。

9.2.4 RMC ダムの構築

RMC ダム施工に伴う雇用創出は、同規模のフィルダムの約 5 倍です。この技術を通じて開発された石積技術は多くの他の型式のダム建設においても有用であることが示されました。

施工が円滑に行うことができる RMC ダムの技術導入と技術移転が促進されました。RMC ダム建設の成功の大きな鍵は、その「単純さ」であり、最小限の熟練工、プラント、仮設備で建設できることです。

ダム高 23 m の Aloe Cove ダムは、体積 13,000 m³ 以上の RMC で構築され、レジャーリゾート所有者が農閑期の農場スタッフを労働力として、4 年間

で建設しました。所有者は、簡易な建築工事の経験しかありませんでしたが、ダムは 2006 年以来問題なく機能しています。

小規模 RMC ダムは、モルタルを人力で混合して運搬できますが、規模が大きなダムでは機械式ミキサを使用し、モルタルと岩石を連続的に打設する方が有利です。

南アフリカで「次世代」RMC ダムに成功した事例では、高さ 400~600 mm の「乾いた」石壁を最初に建設した後に、比較的流動性の高いモルタルを流し込み、人力で岩石をモルタル内に落下させて、ハンマーによってしっかりと埋め込まれます。ハンマーによる作業はモルタルの締固めにも寄与します。ほとんどの岩石は、リフト間の結合を促すために、各リフト表面から突き出た状態になっています。「乾いた」石壁は、従来の石積擁壁と同じように施工します。すなわち、堅いモルタルを使用して表面の岩石を互いにセメントで固め、壁面の安定性が最大となる形状となるように施工します。

9.2.5 RMC の構成

アーチ式ダムにとって RMC は、モルタルにより結合された岩石からなる構造ではなく、モルタル内に存在する巨石からなる構造体と見なす必要があります。コストを最小限に抑えて構造を最適化するには、適切な岩石の占有量を確保する必要があります。岩石占有量は 60% が達成可能ですが、通常の RMC は岩石 55% とモルタル 45% で構成されます。通常、モルタルはセメント 1 (1 袋= 33 リットル= 50 kg) に対して砂 (体積比) 4~6 で構成されており、材齢 28 日で RMC の圧縮強度は 9~14MPa 程度となります。圧縮強度 14 MPa の RMC は、約 3.2 袋のセメント (合計 160 kg)、660 kg の砂及び 1460kg の岩石で構成されます。コンクリートは、質量比でセメント 1 と骨材 (砂と石) 13.25 であり、「貧配合」といえます。使用される骨材寸法は、最大が約 50mm から 300mm までさまざまです。骨材最大寸法は、建設するダムの諸元と施工管理が可能な岩石重量によって異なります。

建設されるダムの諸元に関連し、使用する岩石

が小さ過ぎても大き過ぎても、ダム性能が低下します。図 9.3 に、RMCゾーンと岩石分布の状態を示します。

9.2.6 RMC ダムの表面仕上げ

ジンバブエのダムで採用されている表面仕上げ方法は、漆喰の表面仕上げ方法の 1 つであり、部分的に岩石が見える場合があります。これには、均一で平坦な表面を可能にするフラッシュポインティング技術が使われています。仕上げ面を見た印象は、整形が不十分で変色したコンクリートです。しかし、モルタルに水が浸透すると、表面は発泡性の方解石堆積物で覆われ、表面に白い縞が生じます。

南アフリカでは、堤体表面に地場の岩石を並べて自然石のような外観を呈するようにしています。モルタルで約 15 mm の凹みを作り、そこへ岩石を埋め込めばできます。その結果、自然環境に溶け込み、湛水後の貯水池は、「歴史を思わせる」景観を呈しています。RMC ダムの表面仕上げは、フレッシュブラスト、表面張または表面石張か、岩石をモルタルに埋め込む方法など様々な選択肢があります。

9.2.7 結論

RMC アーチ式ダムは、中小規模のダムに労働集約的な施工を行うことにより、高い費用対効果と耐久性をもたらしています。このダム建設技術は、低賃金で近代的な施工設備が少なく、熟練労働者のいない地域では特に有効です。RMC ダムの施工技術は、大規模ダムで人件費が高い場合は間違いなく適用できませんが、サハラ以南の南部アフリカではかなりメリットがあることが実証されています。

RMC アーチ式ダムを適用するためには、良好な基礎岩盤条件と適当な建設資材が入手できなければなりません。しかし、RMC アーチ式ダムの要件と性能に関する幅広い知識と理解があれば、本技術は南部アフリカ以外の発展途上(国/地域)のダムの建設に大きな利点をもたらす可能性が高いと考えられます。

9.3 Colcrete 及び Colgrout 石積ダム

9.3.1 英国の Colcrete ダム

Coroidal Concrete ダムまたは Colcrete ダムは、英国(スコットランド)の 3 ダムで採用されました。

施工の良否は、事前に敷設した骨材に注入されるコロイド状グラウトに依存します。最小寸法 37mm の骨材を所定の位置に敷設し、グラウトを上から打設して下向きに充填させるか、事前に配管したグラウトパイプまたは暗渠(半割管、U字管)を介して打設箇所の底部近くに注入して上向きに充填します。この方法を正しく採用すれば、骨材が全方向に点接触することになります(DEMPSTER et al., 2004)。

図 2.3 に示すように、Loch Dubh ダムは、Ullapool の北東約 10 km に位置し、1956 年に完成しました。従来の断面形状を有する重力式ダム構造で、基礎岩盤は化石層(Fucoid)と珪岩の 2 種類からなります。珪岩を基礎岩盤とする堤体の範囲は、体積で 2:1(砂/セメントグラウト)の混合物と 37mm から 225mm の骨材寸法からなる Colcrete で施工されました。越流部敷は、構造用コンクリートで施工され、化石層を基礎岩盤とする堤体の範囲は従来のマスコンクリートで施工されました。

Mullardoch 重力式コンクリートダムの建設中にダム嵩上げが決定されたため、下流面を増厚する必要が生じました。ダムの下流面にコンクリートスラブが斜めに設置され、幅 0.91m の溝(slot)に Colcrete が充填されました。打設空間は狭隘で、粗骨材とグラウトの混合物が溝(スロット)にポンプ打設されました。グラウトは、3:1 の砂/セメント混合物で、水セメント比は 0.9、粗骨材は粒径 89~63.5mm の碎石でした。57 箇所のコア試験の結果、強度は 21.6 MPa、密度は 387 kg/m³でした。

最後に、スコットランドの Tummel Bridge 水道橋は、重力式コンクリート構造のスマルトベイ(smolt bay)の追加と、扶壁式による既存の水道洪水吐き部の拡張のため、1957-1959 年に大規模な改造がなされました。既存の重力式コンクリート

壁断面の上に直接構築する構造物のスモルトベイに Colcrete 技術が採用されました。

Colcrete の施工実績は多数あります。Tummel Bridge 水道橋には追加の排水孔が穿孔されました。これは、構造物内の余剰水を減らして、異種コンクリートの境界面の排水を目的としています。凍結融解作用や剥離による外壁面の劣化も、コンクリートの補修が必要になるまで進行しており、劣化の程度は従来の重力式コンクリート構造物よりも大きいと考えられました。英国の Colcrete は、1950 年代に遡る珍しい施工方法であり、打設には高い水セメント比が必要なために、従来のマスコンクリートと比較して強度面での欠点がありました。もちろん、これは、高性能減水剤を使用前のことであり、その後は流動性と充填性を改善しながらグラウトの必要単位水量を減らしてきています。

9.3.2 インドの Colgrout 石積ダム

Colcrete の使用は、英国では事実上中止されましたが、インドでは Colgrout 石積ダムの建設が大いに推進されました。これはまさに Rock-Filled Concrete ダムの概念に近いものです。2010 年、Maharashtra 州政府水資源局は、Colgrout 石積ダムを対象とする計 39 章からなる公共事業部門 (PWD) ハンドブックを作成しました。Colgrout 石積ダム型式の必要性はその序文に要約されており、次のように述べられています。『Maharashtra 工学研究所 (MERI) の成果に基づいて、Nashik ダムだけでなく州内の石積及び M10 区分コンクリートの代わりに、石積ダムの上流面 (隔壁) に Colgrout 石積ダムを採用することを指示した。』

それ以来、ダムの上流面の一部または全断面に Colgrout 石積構造が採用され、11 年間で 39 基の重力式コンクリートダムが完成及び建設中です。

Colgrout 石積構造の採用事例は着実に増加しています。Colgrout 石積構造は、インド標準が適用できないため、MERI と Nashik の研究成果、Colgrout 石積ダムの原型となるダム建設から得られた経験に基づき、建設、研究スタッフにとって、指針・参考となるハンドブックが作成されました。

このハンドブックは全現場技術者に配布されました。Colgrout 石積構造に関するワークショップが、MERI、Nashik 及び Nagpur、Pune、Aurangabad の各地域トレーニングセンターでも実施されました。ハンドブック (案) は、現場技術者と綿密に議論され、彼らの有益な提案が反映されました。

インドのダム建設への Colgrout 石積構造の採用は 1995 年にまで遡ることができ、成功体験の積み重ねにより 2010 年までに技術を確立させました。過去 24 年間で、50 基以上の重力式コンクリートダムが Colgrout 石積構造で建設されました (WRD, 2018)。その間、Colgrout 石積ダムの建設に、バッチャープラント混合、非破壊検査、流量計など、さまざまな建設機械及び設備が導入されました。インド標準局 (BIS) は、2009 年 11 月にドラフト文書 WRD 9 (523) 「Colgrout 石積ダムの構造-実施基準」を策定しました。その後、BIS は 2017 年 6 月に「Colgrout 石積ダムの構造」として実施基準を改訂し、WRD 09 (689) と呼ばれています。

2009 年と 2017 年の実施基準改訂 (文書) の間には変更がありましたが、基本的な内容は同一です。この変更は、2010 年公共事業部ハンドブック (MERI、2010 年、以下「2010 PWD ハンドブック」という) に含まれている内容を反映しており、現場技術者向けの詳細な指針です。最新のインド標準局 (2017、以下「インドドラフトコード (インド暫定基準)」と呼ぶ) に基づいており、2010PWD ハンドブックは有用と考えられます。

9.3.3 Colgrout 石積ダムの建設

インドの Colgrout 石積ダムは、従来の石積壁により構築された「コンパートメント (区画・仕切り)」方式と本質的には同じで、仕切り壁は高さ 1m、厚さ 450mm で構築されます。ロックフィル (または「岩石」) をコンパートメント内に敷設した後に、事前に設置されたグラウトパイプを利用して下から上向きにグラウトを注入します。ロックフィルの寸法、グラウトとグラウト注入方法は、「インド暫定基準」に規定されています。従来の石積壁と同様の Colgrout 石積構造のコンパートメントの配置

図を図 9.4 に示します。

使用するセメントの種類は、普通ポルトランドセメント、高炉セメント、超硫酸化セメントなどがあります。フライアッシュや混和剤などのポゾランも適しています。

グラウトやモルタルに使用する砂については、2017 年の暫定インド基準に規定されていますが、2010 年の PWD ハンドブックには、より具体的な要件と推奨基準が記載されています。

石積に使用する岩石やロックフィルについては、暫定インド基準では、『岩石は硬く、密度が高く、耐久性があり、丈夫で、堅硬で、清潔でなければならない』と規定されています。それらは、腐食、風化面、柔らかいシーム、微粉末付着、穴、鉱脈、傷、ひび、汚れ及びその他の欠陥があってはならず、可能な限り均一な色と質感を持っている必要がありますが、色、質感あるいは汚れに関して不均一な岩石であっても適切な試験を行って使用可能となる場合があります。

岩石は、地質学的・工学的観点で承認された採石場から採取されなければなりません。岩石の体積は通常 $0.05 \text{ m}^3 \sim 0.01 \text{ m}^3$ で、重量は 25 kg 未満であってはなりません。重量 75 kg \sim 150 kg の岩石は粒径 225 mm 未満であってはならず、重量 25 kg \sim 75 kg の岩石は、粒径 150 mm 未満であってはなりません。

2 種類のモルタルを混合することが指定されています。それらは、1) 水/セメント比が 0.62 \sim 0.70 で 2:1 の砂/セメント配合 と 2) 水/セメント比が 0.78 \sim 0.84 で 3:1 の砂/セメント配合です。ただし、インド暫定基準では、モルタルが水とセメント混合物から水とセメントと砂の混合物に徐々に変化してきているので、ダブルドラムミキサを用いることと各ドラムの混合に必要な速度と時間を規定しています。

混和剤の使用、試験方法及び試験要件が、インド暫定基準に記載されています。グラウト試験は、15 cm の立方体を用いて実施され、1 つのバッチからの 3 試料の許容強度偏差は、平均強度の 15% 以下とされています。また、圧縮強度が必要強度の 80%

未満となるのが、全試験データの 10% 以下と規定されています。両種類のモルタル混合物について必要強度値が示されています。砂/セメント比 2:1 のモルタル混合物の場合は、材齢 28 日の室内試験強度が 18.6 MPa 以上、現場強度は 15.0 MPa は以上とされています。砂/セメント比 3:1 のモルタル混合物の場合は、材齢 28 日の室内試験強度が 14.7 MPa 以上、現場強度は 11.5 MPa 以上と規定されています。

Colgrout 石積構造の打設前の準備作業は、通常のコンクリートダムの場合と違いはなく、打設前清掃とグリーンカットが必要です。また、チゼル、ピッキング、バーリング、ウェッジによって、泥滓化部や浮石または緩んだ塊を取り除きます。インド暫定基準は『風化または分離した岩石が残っている場合は除去する必要があり、疑わしい部分は十分な深さまで清掃し、富配合のコンクリートで埋め戻す。基礎岩盤の条件により、コンソリデーショングラウチングが必要となる場合には、Colgrout 石積構造を 2 リフト立ち上げた後に実施する。』としています。

さらに、『Colgrout 石積構造を打設する直前に、基礎岩盤を湿らせ、セメントスラリー（体積でセメント：水＝1：約 2 \sim 3）を厚くブラシで塗布する必要がある。これは、Colgrout を打設する直前の数分内に行う必要がある。このセメントスラリーは、一度に約 1 平方メートルに塗布し、その直後にモルタルを敷設する。厚さ 50 \sim 75 mm のモルタル層をスラリーの上に敷設し、鋤、棒、またはブラシで岩盤の表面のすべての凹凸に行き渡るようにしなければならない。このモルタルの配合は、Colgrout の打設の際に使用するものと同じとする。最初の岩石の敷設時に、モルタルが隅々に行き渡るように岩石をモルタルに注意深く施工する必要がある。』

インド暫定基準には、新たな Colgrout 石積を施工する前に、既に施工した Colgrout 石積を処理するための要件も詳述されています。既施工の Colgrout 石積が新鮮な場合、以下の注意が必要とされています。

- 1) 緩い石がある場合は、それを取り除く。
- 2) モルタルの目地は鉄棒でこすり、岩石の露出面はワイヤーブラシで磨く。
- 3) 岩石の表面と削り取られたモルタルは、エアウォータージェットで洗浄する。
- 4) 石積の窪みに溜まった水は、スポンジまたは布で取り除く。
- 5) 次のリフトを施工する僅か数分前に、表面を厚いスラリー（体積比でセメント：水=1：2～3）で塗布する。

既施工の Colgrout 石積が長期間、つまり 28 日以上放置される場合は、次のように処理することを推奨しています。

- 1) 緩い石がある場合は、それを取り除く。
- 2) 古いモルタル目地を 15 mm の深さまで削るか、湿潤砂を吹き付けてエアウォータージェットで洗浄する。
- 3) Colgrout を施工する直前に、打設後の Colgrout 石積の表面を基礎岩盤と同じように処理する。打設区画内で Colgrout 石積構造を形成する方法について、ある程度詳細に仕様が決められています。インド暫定基準は、次のように記述しています。

『各打設区画の面積は、1 リフトの作業で継続的に Colgrout を打設できるように設定する必要がある。面積は 25～30 m² を超えてはならず、堤高は 1.0m を超えてはならない。ダムの上・下流表面は、表面工事に細心の注意を払う必要がある。表面仕上げは、打設区画壁方式または型枠を使用した Colgrout 石積構造で行うことができる。開口部では、Colgrout に代えて適切な規格のコンクリートを使用する。』

インド暫定基準は、一度に施工できる Colgrout 石積構造の最大打設高さ（最大リフト高）は 1 m とし、24 時間以内に新たなリフトを打設することを禁止しています。同一ブロック内で石積層間の標高差は 1.5m を超えてはならないとしています。

先述したようにインド暫定基準では、『Colgrout 石積構造の打設区画を形成する石積壁は、厚さが 450 mm で高さが 1 m を超えず、平面作業を行わず、同じモルタル比率の石積でなければならない。石

積壁は Colgrout 石積の型枠として機能し、その後 Colgrout 石積構造として一体化させることに留意する。さらに Colgrout 石積構造の水平・垂直方向の結合をより確保するために、適当なヘッダー石とストレッチャー石を設置する必要がある。Colgrout 石積構造のヘッダー石は、その長さ方向が壁面に垂直に置かれ、ストレッチャー石は壁面に平行に置かれる。』と記述しています。

岩石（ロックフィル）の敷設方法の詳細説明は、インド暫定基準に記載されていますが、打設区画内に設置される岩石は、層厚 350mm で敷設する必要があるという推奨事項以外の説明がありません。岩石の敷設と同時に、有孔グラウト注入用（GI）パイプが設置されます。GI パイプは直径 75mm で、1.5 m x 1.5 m の打設小区画の中心か、2.25 m² 当たり 1 本のパイプが設置されます。インド暫定基準は、次のように記述しています。

『Colgrout モルタルは、設置された GI パイプを通じて上方向へ充填させるが、十分な圧力で注入すべきである。Colgrout 石積のいかなる断面もモルタルの高さが均一になるように一方の端から順番にモルタル注入を進める必要があり、モルタルが充填されたら順次 GI パイプを引き上げる。換言するとパイプは Colgrouting が進むにつれて撤去される。モルタルは、岩石の頂部まで充填するのではなく、次リフトとの良好な噛み合わせを確保するために、最上部の岩石の約半分の高さまで充填するものとする。』

インド暫定基準では、Colgrouting は日中に行う必要があり岩石（ロックフィル）に注入するモルタル量は、施工する石積ダムの総容積の 40～45% とするとしています。Colgrout 注入前の岩石を敷設した打設区画を図 9.5 に、完了した Colgrout 石積層の原位置透水試験を図 9.6 に示します。

これは、Colgrout 石積ダムを採用しているインドの自信の表れであり、従来の石積ダムあるいはコンクリートダムに対してさえも代替になることは明らかです。インド暫定基準では、『洪水吐き、非常用洪水吐き及び水力発電所の上・下流面工事は、石積壁による打設区画方式または型枠を使用

したColgrout 石積構造のいずれかで施工できる。』と記述しています。次に、インド暫定基準では、石積壁区画方式の石積壁をどのようにして施工するかについて、詳細な施工仕様を示しています。

インド暫定基準は、勾配のついたダムの上・下流面に対して、型枠と組み合わせてColgrout 石積ダムを施工する方法についても具体的に示しています。『石積面での作業ではなく、傾斜した上・下流面に型枠を使用するのが実際の方法である。型枠を使用する場合は、Colgrout 石積を制限し、目標とする線形に型枠を成形する必要がある。型枠は、石積構造を保持し、所定の線形から過度に撓むことなく、Colgrout モルタルからの圧力を保持するのに十分な強度と剛性がなければならない。鋼製型枠のみによる型枠は反りがなく、所要の線形と形状にしたがって製造されていなければならない。内側表面は、清潔で、硬く、密実、滑らかで、汚れ、削りくず、欠け、その他の異物がないようにする。

内側表面は、付着を防ぐために清冽な油性剥離剤を塗布処理する。石積からのスラリーの漏れを防ぐために、型枠は施工した表面に確実に設置しなければならない。Colgrout が完全に固まり、次リフトの施工により作用する自重と活荷重に耐えられる程度に硬化するまで、型枠を取り外してはならない。通常、型枠の脱型は、Colgrout モルタルの注入から48時間経過後に実施しなければならない。ただし、型枠がその位置に保持する時間は、担当技術者が決定する。石積構造の全表面は、型枠が施工される時に空隙や空気穴がなく、滑らかで堅固でなければならない。石積は、セメント・モルタルがフレッシュ(まだ固まらない状態)で、かつ適当にコテ仕上げしている間にその表面の粗さや凹凸を埋める必要がある。このような表面補修は、担当技術者の許可を得て実施する必要がある。』

インド暫定基準は、フレッシュな石積を急速な乾燥から保護すること、また石積を適切に養生することを推奨しています。石積構造の損傷を避けるために、施工後4~12時間「穏やかに」噴霧された散水を使用して石積構造を養生することを勧められています。また、石積構造の全露出面を少なくとも

連続的に21日間湿潤養生することとしています。

インド暫定基準の新旧版(2009年版と2017年版)と2010PWDハンドブックに、Colgrout 石積ダムの個々の構成部材とその最終性能に関する試験について、広範な要件が記載されています。これらの文書の内容から、インドがColgrout 石積ダムの建設において広範な成功体験を積み上げてきたことは明らかです。また、ダムの構造的妥当性、堤体の均質性及び水密性の点でも、満足のいくものであったことも明らかです。

9.4 モロッコのCemented Blocks ダム

モロッコ(Morocco)の北部に位置し、1981年から運用しているMohamed Ben Abdelkrim El Khattabi ダムは、厚さ35mの沖積層上に建設され、転圧により施工された、玉石フィルダムです。左岸側のアバットメントに重力構造の洪水吐きがあり、洪水吐きには幅10.5m高さ18.5mのラジアルゲートが4門設置されています。設計洪水流量は6800 m³/sで、減勢池に放流されます。減勢池は水理模型実験を行って設計されました。

初期湛水開始以来、洪水吐きはほとんど通水していませんでしたが、数百m³/sを超える放流後に水理模型実験の予想を超える洗掘が発生しました。2008年の洪水時に放流量が2300 m³/sに達した後数時間でダムの安全性が危機に晒されました。2005年に補強工事が完了していたにもかかわらず、フィルダムとコンクリート構造物の接合部と左岸の護岸が脅威に晒されました。洪水後の2010年の現場状況を、**図9.7**に示します。

減勢池下流端にある垂直な階段とリップラップ下流端の垂直ステップを撤去し、高速の放流水を構造物から保護するための構造物が設計されました。洪水吐き/減勢地放水路の再設計は、長さ180m、勾配4%の耐侵食性水路で水路幅は上流端66mから下流端132mまで変化します。建設から7年後の減勢池と水路は、グーグルアース(google earth)の画像に示されています(**図9.8**参照)。

耐侵食性水路のライニングは、2つ代替案が検討されました。厚さ600mmの鉄筋コンクリート、ま

たは厚さ 2m の Cemented Blocks です。いずれも、揚圧力を緩和するために排水層の上に設置するものです。

厚さ 2m の Cemented Blocks が、次の理由で採用されました。

- 1) コンクリートよりも厚くて密度が高いため、重量がはるかに大きくなる。
- 2) 工事は夏期（洪水期以外）に実施するものの、冷却設備なしで鉄筋コンクリートを打設するのは好ましくない。
- 3) Cemented Blocks が、わずかに経済的である。
- 4) 予定の工期内に工事を完了することができる。

ライニングは、互いがしっかり固定された大ブロック（ブロックサイズ 800～1500 mm）でできており、それらの間に高スランプコンクリートが打設されます。ライニングの総厚は 2m で岩石（ロックフィル：粒径 100～800 mm）が、転圧により築造され、厚さ 1.5m の排水層を覆っています。図 9.9 は、敷設されたブロックとグラウトの施工状況を示しています。

セメント固化ブロックに関連する主なデータは次のとおりです。

- 1) コンクリート：打設時のスランプ > 180 mm（バッチ処理プラントでは > 200 mm）、W / C < 0.45、材齢 28 日の一軸圧縮強度 35 MPa。
- 2) コンクリートは、ライニングの総体積の 31% を占め、空隙が適切に充填される。

空隙は、コンクリート打設中に小石で充填されている。

- 3) ライニングの最終密度は約 2.6 kg/m^3 。
- 4) セメント固化の岩石（ロックフィル）の総量は 42000m^3 。

このプロジェクトでは、セメント固化された岩石（ロックフィル）が、鉄筋コンクリートの代替として、高速流に晒される水路のライニングに採用されました。



図 9.1 南アフリカの粗石積ダム（RMC）



図 9.2 RMC の打設状況

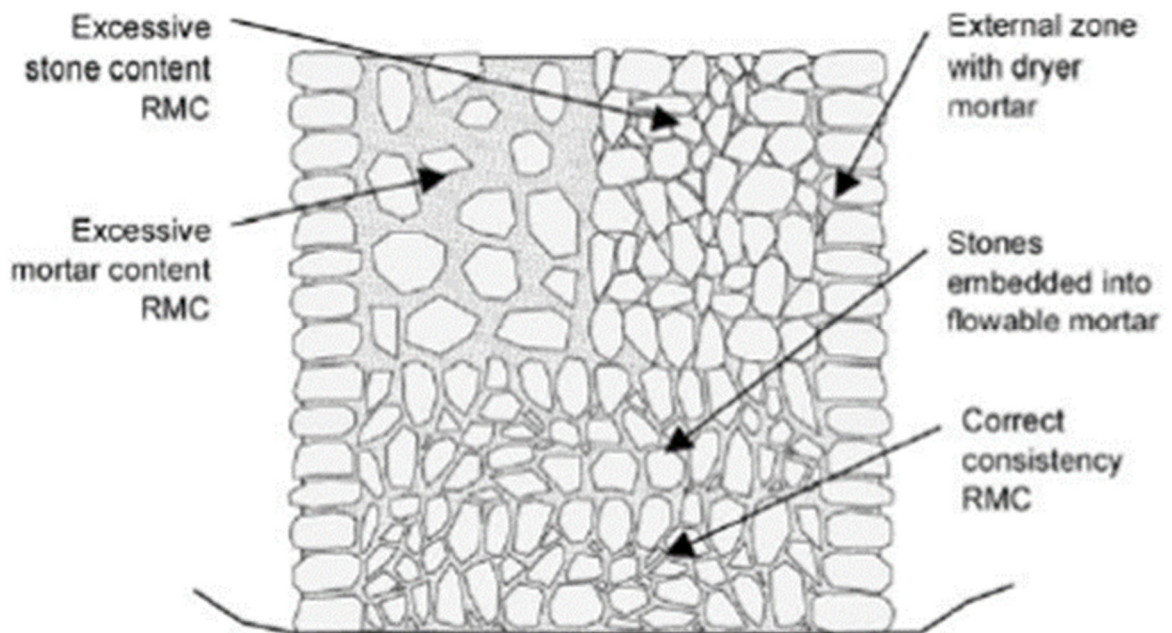


図 9.3 典型的な RMC の断面および適切な岩石比率



図 9.4 Colgrout 石積打設前の隔壁の状況



図 9.5 Colgrout ロックフィルあるいは岩石配置前の状況



図 9.6 Colgrout 石積打設面における原位置透水試験

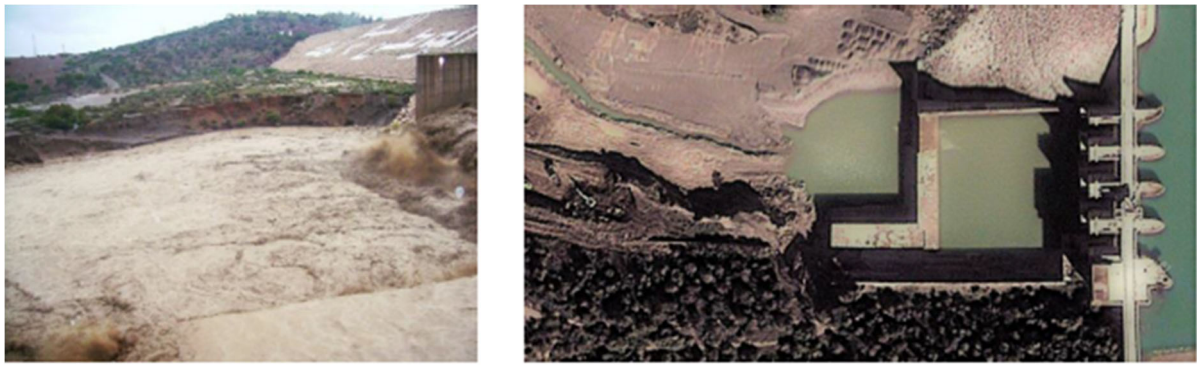


図 9.7 2010 年の下流河道と減勢池



図 9.8 2019 年の下流河道と減勢池



図 9.9 Cemented 巨石の施工状況

表 9.1 南部アフリカにおける最新の RMC ダム事例

ダム	最大高さ(m)	アーチ半径 (内弧面)	アーチ肉厚 (m)	アーチ角度 (°)	竣工年
Azambi 転流堰(DRC)	7	N/A	N/A	N/A	2018
Port St. Johns (曲線重力)	23.2	62.5 (外弧面)	3.5-12.5	68.5	2016
Mndwaka	30	30	2-7	160	2015
Molepo	18	14	1.8-3.6	140	2010
Mesica (モザンビーク)	32.4	81	4.0	116	2009
Zir Thangi	12	13	1.5	120	2006
Ghorqand Ghuriah	13	14	1.8	140	2005
Lucilia Poort(ジンバブエ)	42		4-7		2005
Bellair	20	14	2	140	2005
Keta	9		N/A	N/A	2001
Aloe Cove	21	25	2	140	2005
Star	11	21	1.0-1.6	120	2000
Welgevonden	15	28	1.8	100	1999
Hogsback	11.5	20	1.0-1.6	143	1999
Genadendal	9	N/A	N/A	N/A	1996
Bakubung	14.5	12	0.9-1.6	120	1996
Maritane	18	60	2.4	105	1996
Castle Coombe	12	12	1.0-1.8	120	1990