

フィルダムのブレンドコア材製造の工夫と新たな品質管理事例

鹿島建設(株) 正会員 ○小林 弘明
鹿島建設(株) フェロー会員 山脇 健治
鹿島建設(株) 増村 浩一

1. はじめに

福岡県朝倉市及び東峰村に堤高 139m, 堤頂長約 550m, 堤体積約 830 万 m³ のロックフィルダム型式の小石原川ダム（独）水資源機構）を建設中である。通常、遮水性を担うコアは、コア細粒材とコア粗粒材を互層状に積み上げたストックパイルを切り崩して堤体へ搬出する。当ダムでは、コア材製造時の課題としてコア細粒材の含水比が高いことが懸念されていた。また、コア細粒材の賦存量の観点からコア材のブレンド比（乾燥重量比）は細粒材：粗粒材＝1：2.5 にまで粗粒材の割合を大きくしたストックパイルを造成した。このことから、ストックパイルの切り崩しだけでは、コア細粒材である粘土塊が十分にほぐれず攪拌混合されないことが懸念された。

そこで、コア材の均質化を目的にコア材製造過程でストックパイルを切り崩した後に、コア材混合設備を使用して強制攪拌混合させて製造改善を図った。コア材混合設備は、内部に羽根を取り付けた混合筒の回転により内部を通過する材料を混合する SP ミキサ（Special Pipe Mixer）を採用し、コア材の均一性を向上させることとした。

また、コア材混合設備では、近赤外線水分計による含水比を常時監視し、必要に応じて加水・乾燥調整できる機能を取り付け、1 回/30 分で画像粒度解析システムにより粒度を確認する機能も取り付けた。これにより、堤体へ搬出する材料の品質（粒度、含水比）を従来にない頻度で確認し、所定のエネルギーで締め固めることで所定の密度、透水係数を満足する堤体の構築を進めた。

2. コア材混合設備の導入

コアストックパイルは、コア細粒材の層厚が 20cm, コア粗粒材の層厚が約 30～50cm で、盛立試験の結果を踏まえて細粒分含有率が約 22%となるように製造した。コア細粒材は全量一次仮置きして、粒度のバラつきを抑制しながらストックパイルを造成した。コア材は、コア細粒材とコア粗粒材を互層状にブレンドしたストックパイルをブルドーザで切り崩して搬出するのが一般的である（写真-1 参照）。当初、コア細粒材の含水比が高く団粒化することが懸念されており、解消するためにタイヤショベルでの攪拌混合だけでなく、



写真-1 スtockパイル切崩し・積み込み状況

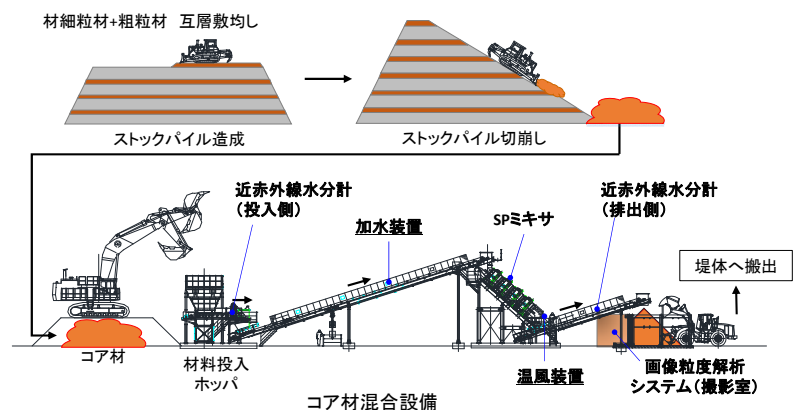


図-1 コア材製造フロー

キーワード ロックフィルダム, コア, コア材混合設備, 画像粒度解析システム, 近赤外線水分計

連絡先 〒838-0015 福岡県朝倉市持丸 786-3 小石原川ダム本体建設工事事務所 TEL 0946-23-8302



写真-2 コア材混合設備全景

セメント改良土やフィルタ製造で実績のある SP ミキサによる強制攪拌混合できるコア材混合設備を導入した。コア材製造フローを図-1 に、コア材混合設備全景を写真-2 に示す。

実際、ストックパイルの切り崩しだけでは、粘土塊が残り解砕され難い状況が確認された。これらのムラも SP ミキサによる強制攪拌で、粘土塊がほぐれよく混合されている（表-1 参照）。SP ミキサの傾斜角度はこれまでの実績と粘性土の付着による閉塞の可能性を踏まえて改善し、ドラム内の羽根の高さは調整した。コア材混合設備による製造量は、 $280\text{m}^3/\text{h}$ 以上で $6,000\text{m}^3/\text{日}$ 以上であった。2 回/日程度の清掃のみで大きなトラブルはない。

堤体を構築するうえで堤体への材料搬出時に、粒度、含水比を密に管理した盛立材料を所定のエネルギーで締め固めることが最も望ましい。そのため、コア材混合設備で攪拌されたコア材の粒度を高頻度で確認するために、礫材で多数実績のある画像粒度解析システムを導入した。また、コア材の粗粒材はブレンド比率の割合が多く、乾燥側の材料が多いため、切崩し時には加水調整する必要があると懸念していた。そこで、常時加水調整できるシステムと冬場の盛立を想定して乾燥設備も整えた。含水比を把握する近赤外線水分計は、ホッパ側、排出側の両方に設置して常時監視した。

これらコア材のような遮水材料に対して混合設備による強制攪拌混合や粒度、含水比の密な管理を行ったのは初めての試みである。

3. 画像粒度解析システムによる粒度管理¹⁾

(1) 画像粒度解析システム

画像粒度解析システムは、デジタルカメラで撮影した土質材料の二次元画像から粒子輪郭を識別し、各粒子

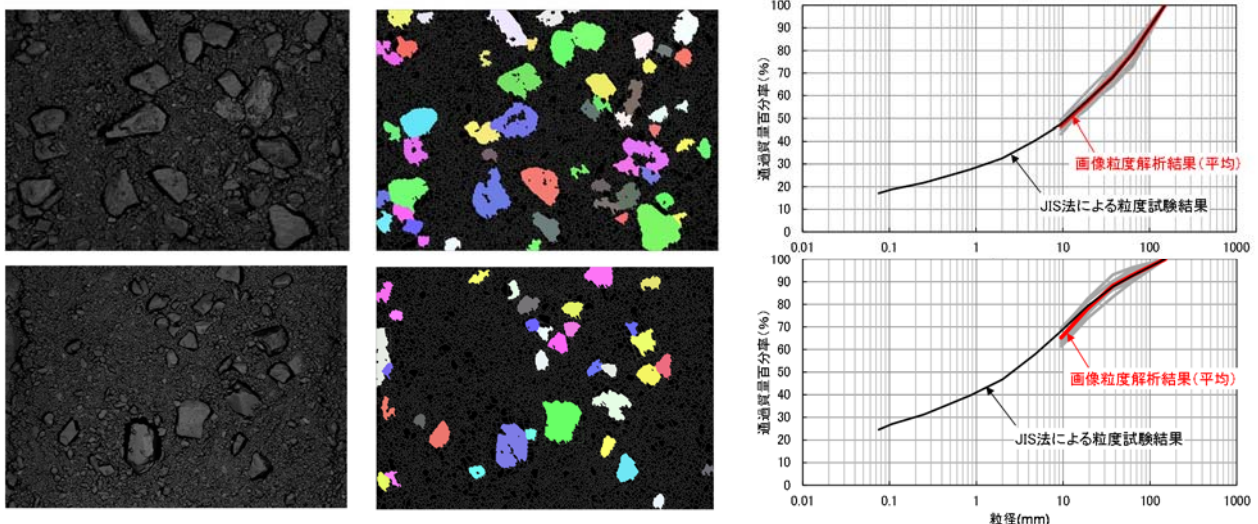


図-2 画像粒度解析システムによるコア材料の粒度分布評価結果（上段：粗粒側粒度 下段：細粒側粒度）

の面積割合と質量加積率の相関式から粒度分布を推定する簡易粒度測定法である²⁾。図-2は2種類の異なる粒度に調整したコア材を対象に画像粒度測定を各11回試行した結果（左側の撮影画像と粒子識別画像はそのうちの1回分）であり、解析対象粒径（63mm, 37.5mm, 19mm, 9.5mm）において測定毎の再現性やJIS法による粒度試験結果との整合性を確認している。材料敷き均し後、撮影・解析に要する時間は十数秒程度と短時間で結果が得られる利点がある。

(2) 粒度管理方法

写真-3に測定状況を示す。コア材混合設備から排出されたコア材をサンプリング（バックホウで採取）し、専用の材料ホッパに投入してベルトコンベアで運搬し、画像撮影室内で薄層に敷均したベルトコンベア上の材料を撮影する。撮影画像は設備管理室のPCに転送され、即時に解析し粒度分布を出力できる。



(a) コア材排出状況 (b) サンプリングした画像撮影試料

写真-3 画像粒度測定状況

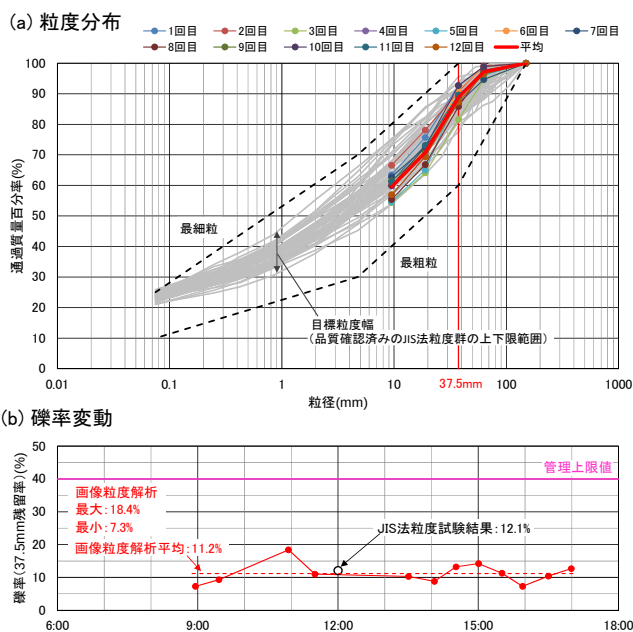


図-4 コア材製造時の粒度分布の連続監視結果の例

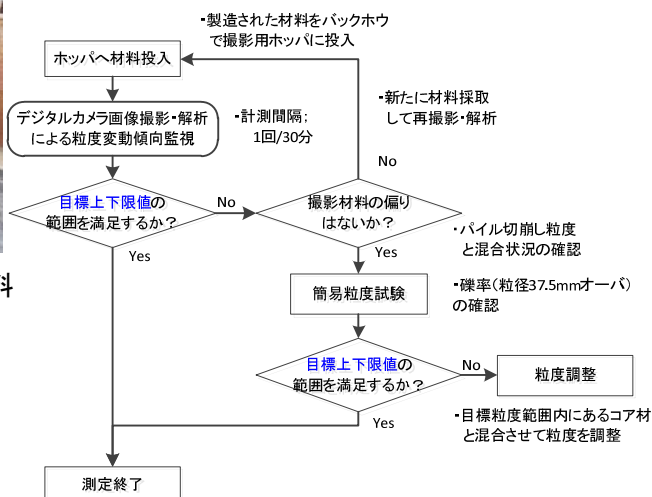


図-3 画像粒度解析による粒度管理フロー

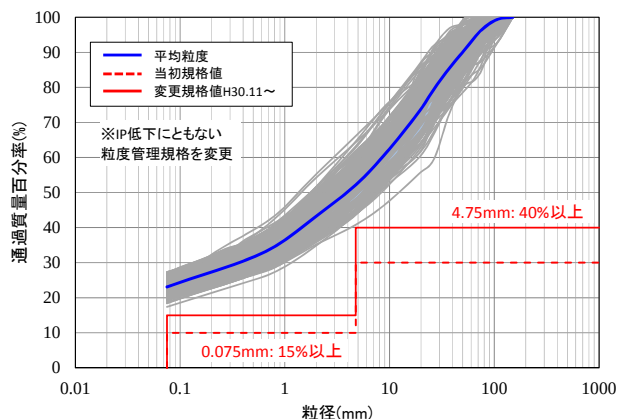


図-5 コア材の搬出時粒度分布

図-3に画像粒度解析システムによる粒度管理フローを示す。粒度測定は30分に1回の頻度で行い、コア材製造中の粒度変動を監視する。目標粒度の上下限値を逸脱する傾向が認められた場合は、ふるい分け試験により実際の粒度を確認し、必要に応じて粒度調整を行う。団粒化して粒度が確認できないことが懸念されたが、最適含水比付近を目標にした運転管理をしていることで、団粒化等はみられずJIS法による粒度の確認と比べてもほぼ一致する。図-4に実際のコア材製造時の画像粒度解析結果の一例を示す。図-4(a)に示すように製造中の測定結果が目標とするコア材の粒度範囲内にあり、適切な粒度が得られていることを常時確認している。また、図-4(b)に示すように、特に粒径37.5mm以上の割合（礫率）について着目し、細粒材の団粒化有無の

判断指標として用いるとともに、礫率の日平均値をコア材盛立後（転圧後）の日々の締固め度(Dc 値)管理における室内締固め試験結果の礫率補正に用いた。このように盛立場へ搬出するコア材の粒度を把握しながら盛立管理を行っている。

また、コア材混合設備で搬出されるコア材の粒度分布を図-5 に示す。0.075mm 以下で目標 22%に対して平均して 23.1%のコア材を堤体に搬出している。

4. 近赤外線水分計による含水比管理³⁾

(1) 含水比管理方法

コア材混合設備のミキサの前後に近赤外線水分計（写真-4 参照）を設置し、ベルトコンベアで運搬される材料の含水比の変動傾向を全量測定し監視した。含水比管理フローを図-6 に示す。含水比が事前に設定した下限値より乾燥側に変化した場合には、ベルトコンベアの保護カバーに設置した散水ノズルより材料に加水し、最適含水比 $W_{opt}+0\sim1.0\%$ を目標として調整した。逆に投入ホッパへの供給材料が上限値より湿潤側に変化した場合は、ミキサ最下端部からジェットファンにより温風を送り、混合中の材料の乾燥促進を図った。

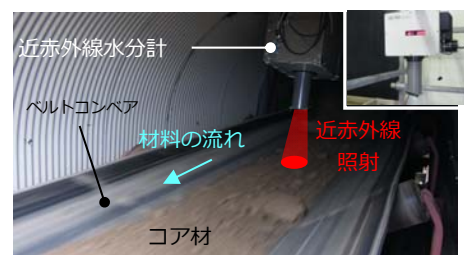


写真-4 近赤外線水分計

(2) 近赤外線水分計によるコア材の含水比測定

コア材の含水比を近赤外線水分計による測定結果と JIS 法（炉乾燥法）による測定結果を比較したものを図-7 に示す。近赤外線水分計は近赤外線照射位置における材料表面の局所的な水分量を測定するため、照射位置にある材料の礫分の偏り等によって測定される含水比が変化するが、平均でみると JIS 法の含水比と概ね一致する。コア材製造時にベルトコンベア上で測定する材料の含水比は、上記要因を考慮して移動平均値で評価し管理している。

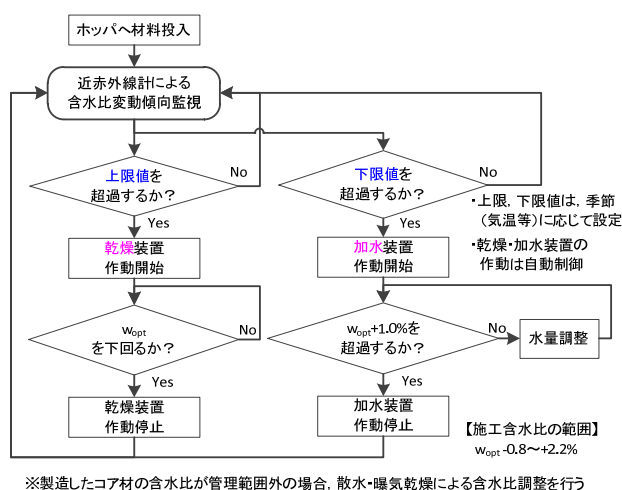


図-6 コア材混合設備における含水比管理フロー

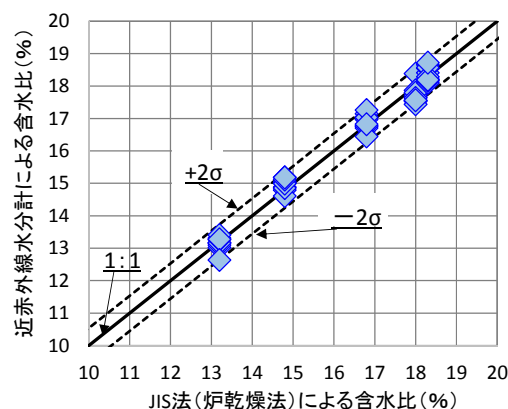


図-7 近赤外線と JIS 法 (炉乾燥法) により測定した含水比の比較

(3) 含水比測定記録と含水比調整

コア材製造時の含水比の連続測定記録例を図-8 に示す。測定は 1 回/秒でサンプリングし、5 分間の移動平均値で含水比を評価した。製造中のベルトコンベア上の材料の近赤外線水分計による含水比測定結果は、JIS 法の含水比測定結果と概ね一致しており、含水比の変動傾向を適切に捉えている。

図-9 は製造中に供給材料の含水比が徐々に低下し、加水装置が作動したときの測定記録例である。投入側

の含水比が管理下限値を下回ると同時に加水が始まり、供給材料の含水比が上昇して加水が停止するまでの間に排出側の含水比は規格範囲内 ($w_{opt} - 0.8 \sim +2.2\%$) に収まっていることが分かる。

図-10 は供給材料の含水比が管理上限付近で温風装置が作動したときの測定記録例である。温風開始後、排出側の含水比が平均で 0.2% 程度低下しており、温風による乾燥促進効果が確認できる。

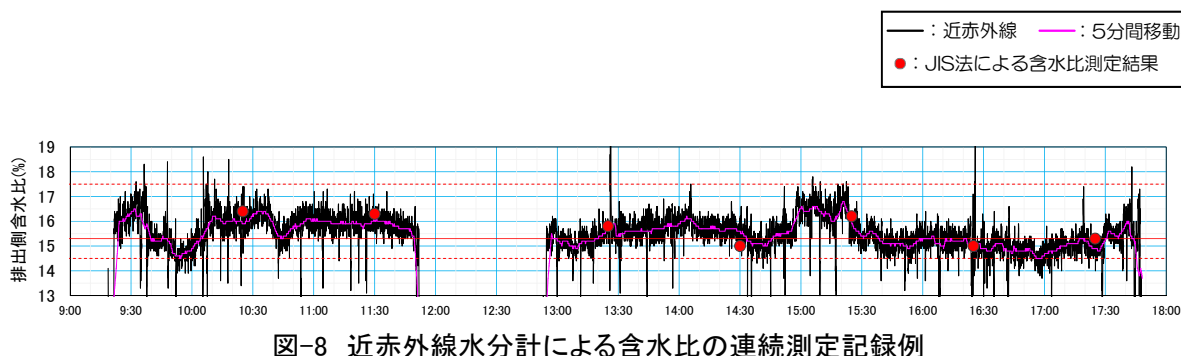


図-8 近赤外線水分計による含水比の連続測定記録例

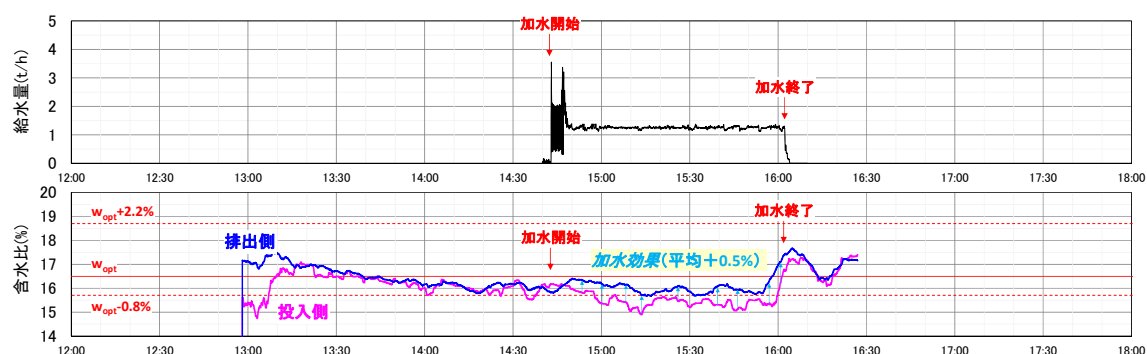


図-9 加水による含水比調整記録例

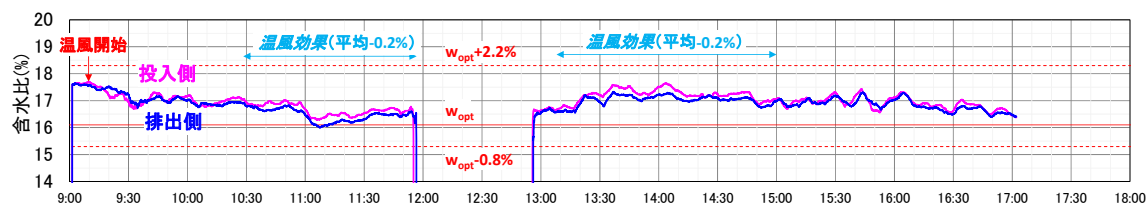


図-10 温風による含水比調整記録例

5. タブレット端末での情報共有

コア材混合設備で得られる粒度や含水比の常時監視記録の品質管理データや盛立場の転圧記録だけでなく、作業予定内容などもクラウドサーバに自動転送され、タブレット端末から閲覧できるシステムを構築しており、発注者とも情報共有している (図-11 参照)。

6. おわりに

当初懸念されていたコア細粒材の団粒化に対して、コア材混合設備を導入することでコア材の均一化を図ることができた。また、遮水材料に対してコア材混合設備で強制攪拌したが、日最大製

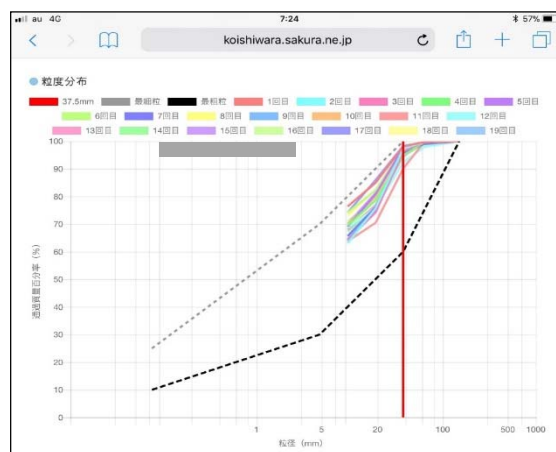


図-11 タブレット端末で閲覧できる粒度分布情報

造量 6,000m³/日以上でも大きなトラブルはなく製造できた。さらに、画像粒度解析システムによる粒度の確認や近赤外線水分計による含水比の全量変動傾向時監視により、コア材製造中の高頻度かつリアルタイムな材料のバラつきの確認を可能にした。盛立場への搬出前の密な品質管理（粒度，含水比）を行い、盛立場では一定の締固めエネルギーで転圧することで堤体の品質（密度，透水係数）を十分満足する結果を得た。

参考文献

- 1) 小原ら：ロックフィルダム盛立におけるコア材製造時の新しい品質管理（その１）－画像粒度解析システムによる粒度管理－，土木学会第 73 回年次学術講演会，2018.
- 2) 藤崎ら：デジタルカメラ画像を用いた土質材料の粒度変動監視システム，地盤工学会誌，Vol.62, No.8, pp.20-21, 2014.
- 3) 小林ら：ロックフィルダム盛立におけるコア材製造時の新しい品質管理（その１）－近赤外線水分計による含水比の全量管理－，土木学会第 73 回年次学術講演会，2018.