

急速減圧法・オンサイト測定法による 原石山ロック材料品質の迅速定量評価

○櫻井 宏樹¹・竹内 祐治²・柘内 暁史³

¹元 独立行政法人水資源機構 思川開発建設所 ダム工事課 (〒322-0305 栃木県鹿沼市口栗野839-2)

現 独立行政法人水資源機構 成田用水事務所 設計工事課 (〒282-0011 千葉県成田市三里塚御料牧場1番地2)

²独立行政法人水資源機構 思川開発建設所 ダム工事課 (〒322-0305 栃木県鹿沼市口栗野839-2)

³元 独立行政法人水資源機構 思川開発建設所 ダム工事課 (〒322-0305 栃木県鹿沼市口栗野839-2)

現 独立行政法人水資源機構 早明浦ダム・高知分水管理所 (〒781-3521 高知県土佐郡土佐町田井6591-5)

南摩ダムのロック材は、堤体の沈下変形がフェイススラブのひび割れの原因となるため、所定の強度を有することに加え、締固め後の変形性が小さいことが求められる。中でも、外部ロック材は要求性能が高く、ダムサイト近傍で採取できる岩石のうち、最も密度の高い玄武岩のCM級以上を用いる設計としている。本体工事においては、外部ロック材（玄武岩のCM級以上）の品質を安定して確保することが重要であると考え、オンサイト測定法（帯磁率・リーブ硬度の計測）および急速減圧法による密度・吸水率試験に取り組んだ。本稿では、これらの取り組み内容を紹介するとともに、材料判定現場での適用効果について報告する。

キーワード 原石山, 材料判定, 急速減圧法, オンサイト測定法

1. はじめに

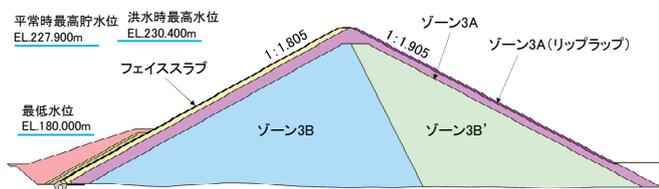
南摩ダムの型式はCFRD(Concrete Face Rockfill Dam)と呼ばれ、堤体上流面のコンクリート壁(フェイススラブ)で遮水する構造である。CFRD型式のダムは堤体の変形がフェイススラブのひび割れの原因となるため、ロック材には所定の強度を有することと締固め後の変形性が小さいことが求められる。ロック材は外部ロック材(ゾーン3A)と内部ロック材(ゾーン3B, 3B')に大別され、このうち外部ロック材は最も要求性能が高い(図-1)。

ロック材を採取する原石山では、南から北に向かってチャート、含ドロマイト珪質堆積岩類、玄武岩、砥石型頁岩の順に帯状に分布する。このうち、外部ロック材の

品質を満たすのは、玄武岩のCM級以上のみであり、この材料品質を確保することは、堤体の品質確保につながる重要な課題である。

この課題を解決するために、本工事においては2つのことに取り組んだ。1つは、岩種・岩級を定量的に判定するためのオンサイト測定法(帯磁率・リーブ硬度の計測)、もう1つは、高頻度での材料品質を確認するための急速減圧法による岩石の密度・吸水率試験である。

以降、筆者が工事を監督する中で行ったこれらの材料判定への適用に対する取り組み内容と現場での適用効果について報告する。



ゾーニング	岩種・岩級	絶乾密度	吸水率	内部摩擦角
ゾーン3A	玄武岩 CM級以上	2.72g/cm ³	2.0%以下	43°
ゾーン3B	玄武岩、チャート、含ドロマイト	2.41g/cm ³	3.0%以下	42°
ゾーン3B'	珪質堆積岩類 CL級以上		3.0%以下	

図-1 堤体標準断面図

2. オンサイト測定法

原石山での材料判定では、通常、目視やハンマーの打撃により岩種・岩級の区分と材料の分布範囲を判定するため、判定に個人差が生じやすい。特に、岩種や岩級の境界付近は目視判断が難しく、低品質材料の混入や安全側(厳しい)の判定をした場合に所要のロック材の採取率低下が懸念される。そのため、本工事においては、帯磁率とリーブ硬度の計測により、岩種・岩級を定量的に評価することとした。

(1) オンサイト測定法の概要

a) 帯磁率計測

帯磁率とは、誘導磁気と磁場の比で定義される物理量である。一般に、外部ロック材に用いる玄武岩は、チャートや頁岩に比べて磁鉄鉱の含有率が高いことに着目し、帯磁率計測により数値化することで、玄武岩とそれ以外の岩種を明確に区分することを目的とする。

b) リーブ硬度計測

リーブ硬度とは、はね返り速度と衝撃速度の比で定義され、岩片が硬いほど値が大きくなるものである。岩級区分には、岩片の硬さが最も大きく影響することに着目し、これを数値化することで、玄武岩の岩級を定量的に評価することを目的とする。

(2) 基礎データの収集

オンサイト測定法の適用に先立ち、岩種・岩級判定の基準値を定めるため、既往のボーリングコアと原石山の上位標高部でみられた代表的な地質・岩級を対象に、帯磁率とリーブ硬度を計測した。

(3) 計測結果

図-2 に帯磁率の計測結果を示す。玄武岩は $0.341 \sim 66.7 \times 10^{-3} \text{SI}$ を示し、岩級毎では明瞭な差は見られなかった。チャートは、 $0.010 \sim 0.207 \times 10^{-3} \text{SI}$ を示し、玄武岩よりも帯磁率が低かった。玄武岩とチャートの帯磁率結果を比較すると $0.3 \times 10^{-3} \text{SI}$ に明瞭な閾値があることが分かり、この値を玄武岩とそれ以外の岩種を区分する基準値と定めた。

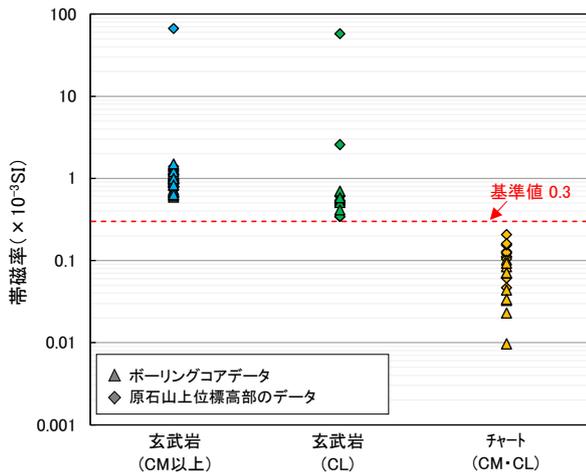


図-2 帯磁率計測結果

図-3 にリーブ硬度の計測結果を示す。玄武岩の CM 級以上は 561~840、CL 級は 391~740 であり、CM 級の方がリーブ硬度の値は高い傾向を示したが、リーブ硬度の結果だけでは岩級を明瞭に区分することは難しいことが分かった。一方、玄武岩の CL 級のボーリングコアでみ

られるような軟質な玄武岩を外部ロック材から除く指標として活用可能と考え、試験結果から 550 を玄武岩の CM 級の下限値と定めた。

これらの結果から、帯磁率が $0.3 \times 10^{-3} \text{SI}$ を超え、リーブ硬度が 550 以上であることを、玄武岩の CM 級の基準値として設定し、材料判定現場で活用することとした。

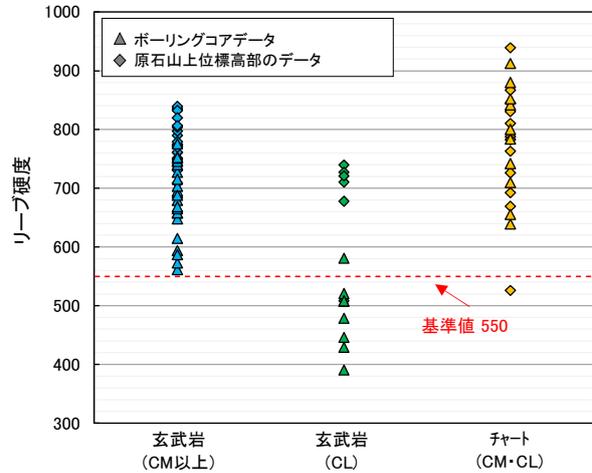


図-3 リーブ硬度計測結果

3. 急速減圧法による密度・吸水率試験

ロック材の品質管理としては、岩石の密度・吸水率試験を実施する。本工事の品質管理基準(表-1)では、JIS法に定められた手法で、1ヶ月に2回の頻度で実施することとしているが、継続的かつ高頻度で材料の性状を確認し、品質を安定的に確保することが重要であると考え、より簡易な急速減圧法による密度・吸水率試験を併用する手法に取り組むこととした。

表-1 ロック材の品質管理基準

種別	実施時期	試験項目	管理基準			
			試験方法	品質規格	試験頻度	備考
外部ロック材 (3A材)	ロック材採取場 (搬出時)	粒度試験	JIS A 1204:2009	最大粒径500mm リップアップは1,000mm) 4.75mm以下20%以下	2回/月	1点/回
		密度・吸水率試験	JIS A 1110:2006	絶対密度G _{2.72} 以上 吸水率2.0%以下		
内部ロック材 (3B、3B'材)	ロック材採取場 (搬出時)	粒度試験	JIS A 1204:2009	最大粒径500mm (ゾーン3B'は1,000mm) 4.75mm以下30%以下	2回/月	1点/回
		密度・吸水率試験	JIS A 1110:2006	絶対密度G _{2.41} 以上 吸水率3.0%以下		

(1) 急速減圧法の概要

急速減圧法とは、①脱気水中に試料を浸水し、②真空ポンプで円筒管内を減圧して材料中の気泡を膨張させて外に追い出し、③亀裂間隙を水で飽和させ、表乾密度を計測する試験方法である。

図-4 に JIS 法(JIS A 1110)と急速減圧法の試験方法の概要を示す。JIS 法による試験では、表乾密度と絶対乾密度

をそれぞれ計測し、その関係から吸水率を算出する。表乾密度は試料を24時間吸水させた後に計測し、絶乾密度は24時間炉乾燥させた後に計測する。この方法は、絶乾密度を直接計測するため、試験精度は高いが、密度の計測で最低でも2日を要するため、試験に時間を要する難点がある。

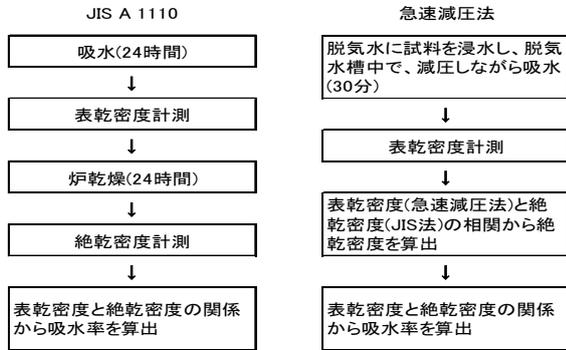


図-4 試験方法の比較

一方、急速減圧法は、上記の方法で吸水時間を短縮し、絶乾密度は表乾密度(急速減圧法)とJIS法での絶乾密度との関係から換算することで、試験時間を約30分と大幅に短縮できる利点がある。ただし、品質管理基準で定める絶乾密度は表乾密度から換算するため、現場での適用にあたってはそれぞれの試験結果の相関関係から、換算式を求める必要がある。

(2) JIS法と急速減圧法による試験値の相関

図-5から図-8は試験方法の違いによる表乾密度と絶乾密度の相関を整理したものである。この試験に用いた試料は、原石山の上位標高部で見られた材料を対象とし、同様の試料に対してそれぞれの試験方法で密度を算出した。なお、急速減圧法の絶乾密度は、急速減圧法で吸水後に表乾密度を計測した試料を、24時間炉乾

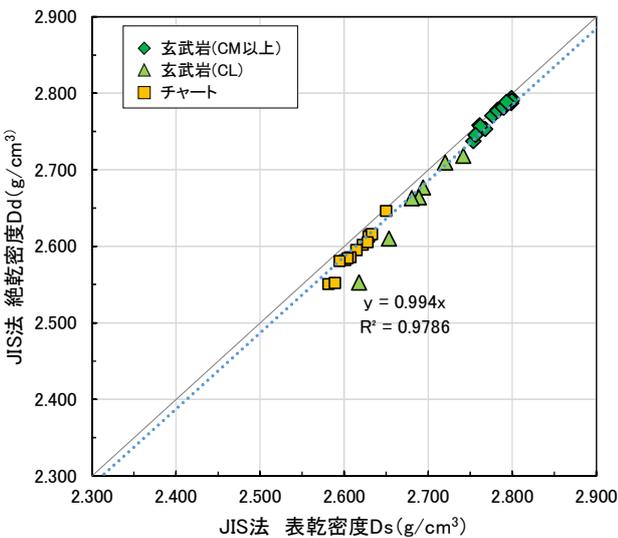


図-5 JIS法による表乾密度と絶乾密度の相関

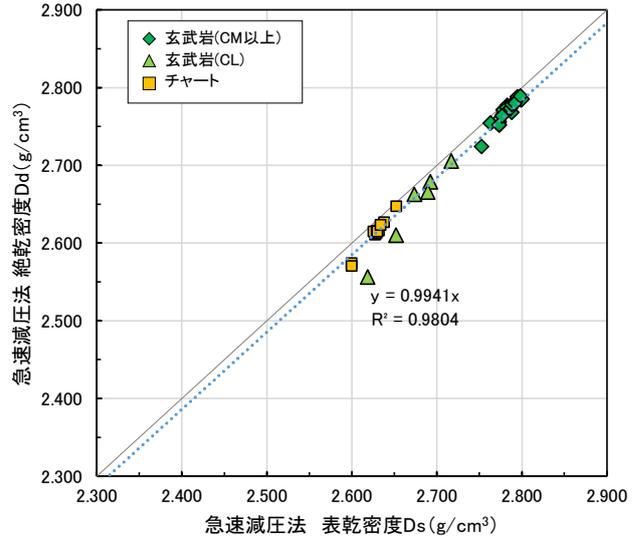


図-6 急速減圧法による表乾密度と絶乾密度の相関

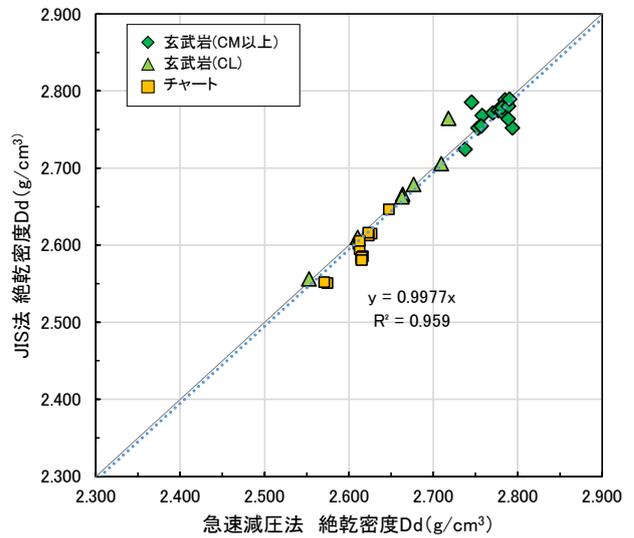


図-7 急速減圧法とJIS法による絶乾密度の相関

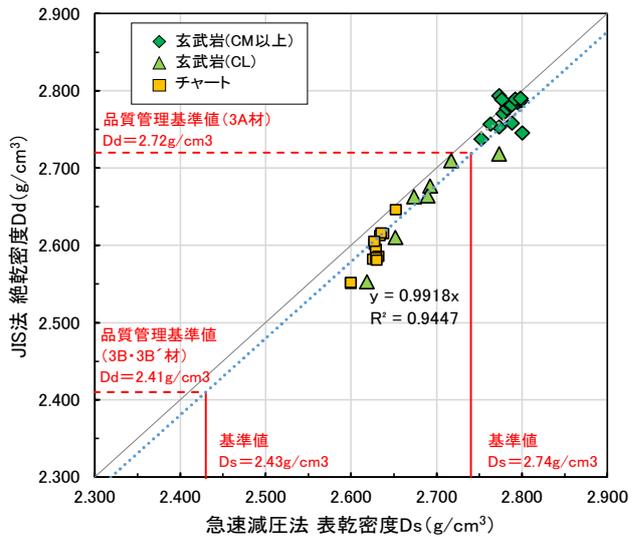


図-8 表乾密度(急速減圧法)と絶乾密度(JIS法)の関係

燥させて計測したものである。

図-5から7より、表乾密度と絶乾密度には非常に高い相関関係があること、急速減圧法とJIS法による絶乾密度同士にも非常に高い相関関係があることがいえる。これらの結果を踏まえ、図-8から表乾密度(急速減圧法)から絶乾密度(JIS法)換算する次式を得た。

$$\text{絶乾密度 (JIS法)} = \text{表乾密度 (急速減圧法)} \times 0.9918$$

当式より、3A材と3B・3B'材の品質管理基準(絶乾密度)を満足する表乾密度(急速減圧法)の基準値は、3A材で2.74g/cm³、3B・3B'材で2.43g/cm³と求められる。

4. 材料判定における適用

(1) 材料判定の方法

ロックフィルダム の原石山での材料判定は、15m ベンチで行うことが一般的であるが、南摩ダムでは品質を確保しつつ採取効率を高めるため、7.5m 毎のスライスで判定を行っている。スライス上では、12.5m 間隔の測線上で筋堀りを行い、岩種・岩級の変わり目を判定する。

判定にあたっては、想定地質図や、岩石の色調、ハンマーでの打診音など、様々な要素を総合的に判断し、岩種・岩級の分布および堤体材料としての適否を判定する。これに加えて、オンサイト測定法と急速減圧法による岩石の密度・吸水率試験を判定に先立って実施し、その結果を判定の際に活用することとした。

(2) 適用効果

図-9は、原石山の材料判定現場で採取した試料の帯磁率とリーブ硬度の計測結果を示す。玄武岩の帯磁率は基準値の0.3×10⁻³SIを上回っている一方、チャートと含ドロマイト珪質堆積岩類の帯磁率は0.3×10⁻³SIを下回った。リーブ硬度は、玄武岩7試料のうち6試料はCM級の下限值である550を上回っていたが、1試料は550を下回っていた。ハンマー打撃による岩片の硬さの評価は個人差が生じやすい指標であるが、定量評価により、外部ロック材には不適な軟質な玄武岩を抽出することができ、外部ロック材の品質確保につながったと言える。

図-10は同じ試料の急速減圧法による試験結果を示す。玄武岩のCM級と判定したもののうちほとんどの試料は3A材の基準値(Ds=2.74g/cm³)を上回っているが、2試料で基準値を下回った。これは、岩種・岩級の定量的評価だけでは、密度が品質管理基準値を満足しない材料を3A材として判定してしまうところを、高頻度に密度試験を実施したことで3B材と適切に判定でき、材料の品質確保につながったといえる。一方で、玄武岩のCM級

(3A材)とCL級(3B材)の境界部付近は、スライス上では判定しにくく、目視やハンマー打撃だけでは安全側に下位材料(3B材)と判定していたような箇所を、密度試験の結果を判定時に持ち寄ることで、上位材料(3A材)として判定でき、採取率を上げることができた。

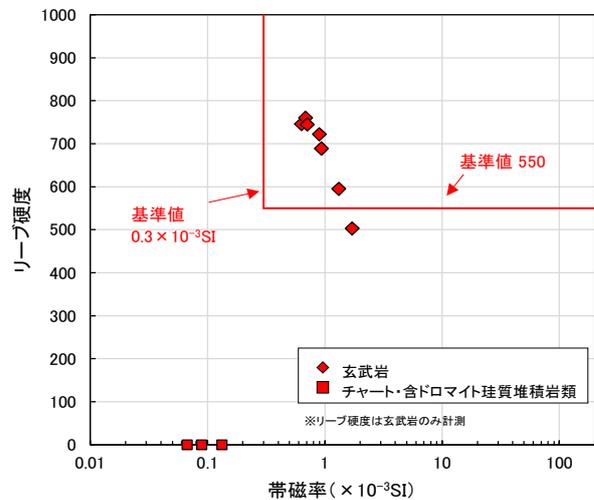


図-9 採取前試験試料の帯磁率とリーブ硬度計測結果

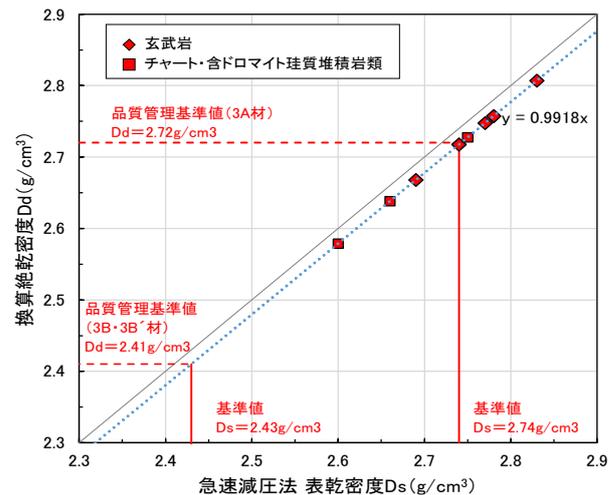


図-10 採取前試験試料の密度計測結果

5. まとめ

従来、ロックフィルダムの材料判定は目視やハンマー打撃などの定性的な評価で材料判定が行われてきたが、帯磁率やリーブ硬度の計測、急速減圧法による密度・吸水率試験といった既存の技術の中から現場条件に適合するものを組み合わせることで、材料品質の安定した確保が可能となった。現在も材料採取と堤体盛立は継続中であることから、今後も、堤体の品質確保に継続して取り組む。