

小石原川ダムにおける飽和度と締固めエネルギーを重視した締固め管理

(独)水資源機構 正会員 坂本 博紀

(財) 国土技術研究センター 正会員 曾田 英揮

東京大学 名誉会員 龍岡 文夫

鹿島建設(株) 正会員 小林 弘明

1. はじめに

小石原川ダム(以後、本ダム)は2020年3月現在、福岡県内に(独)水資源機構が建設中の堤高139mの中央遮水壁型ロックフィルダムである。本ダムでは事業者の計画する標準工程において、コア盛立期間が22.5か月と短く、冬期休工期間を設定しないことから、築堤後の間隙水圧の残留や圧密沈下量が懸念された。これらの課題解決の一環として、飽和度と現場の締固めエネルギーに着目して締固め管理方法を高度化し、高密度、低透水、低含水、低圧縮なコア施工を実現した。本稿ではその検討内容と施工実績の概要を記す。

2. 締固め状態の管理範囲

一般的な盛土施工では、締固め土の含水比 w と乾燥密度 ρ_d (或いは締固め度 D_c)の管理を行うが、その際の w - ρ_d 平面(或は w - D_c 平面)における管理範囲は、フィルダムコアゾーンでは一般的には以下のように設定される。横軸 w の管理範囲は、「締固め土の透水係数は最適含水比 w_{opt} よりも乾燥側において急増しやや湿潤側で最小値となる」という特性があることから、 w_{opt} を下限値に $w_{opt}+3\%$ 程度を上限値に設定する人が多い。縦軸 ρ_d (或は締固め度 D_c)は下限値管理が一般的で、フィルダムコアゾーンでは $CEL=1.0Ec$ (標準プロ

クター)で現場を代表する試料を用いた締固め試験によって求めた最大乾燥密度 $[(\rho_d)_{max}]_{IEc}$ に対する比である締固め度 $(D_c)_{IEc}=95\%$ を許容下限値とする場合が多い。図-1に従来の締固め管理範囲①と本ダムの締固め管理範囲②の関係を模式的に示し、従来の締固め管理における諸課題と本ダムにおけるそれらの課題に対する対応について、図-1を参照して以下に論ずる。

第一の課題は、含水比管理の基準となる最適含水比 w_{opt} を求めるための室内試験での締固めエネルギーレベル CEL は慣用的に $1.0Ec$ (標準プロクター)である場合が多いが、近年では転圧機械の性能向上に伴い、現場の CEL は $1.0Ec$ を上回ることができる。このため含水比管理に適用する CEL を $1.0Ec$ のまま運用すると、過剰に湿潤側の含水比での施工を許容する可能性がある。本ダムでは、現場全粒度試料(最大粒径 $D_{max}=150mm$)の内部での $D_{max}\leq 37.5mm$ の部分に加わる CEL_f は $1.5Ec$ ¹⁾と評価し、それに合わせて含水比 w の管理範囲を検討した。

含水比 w が CEL_f に対する最適含水比 $(w_{opt})_{CELf}$ よりも低い乾燥側でも、図-1の領域③のように乾燥密度 ρ_d と飽和度 S_r が十分に高い状態にすれば、遮水性や強度・剛性などの所要の性能が十分確保できる。従来の管理法の第二の課題は、領域④での施工が無理なく実施できる場合でも排除されてしまうことである。

乾燥密度 ρ_d は管理基準 $((D_c)_{IEc}\square 95\%)$ を満足するが飽和度 S_r が十分に高くない領域(図-1の領域④)では、遮水性が不十分になる可能性が高く、浸水時の変形も大きくなる傾向にある。第三の課題は、図-1のように、従来の締固め管理の管理範囲①内に領域④の一部が含まれる可能性があることである。第二、第三の課題を解決するため、本ダムでは室内試験及び盛立試験結果(図-2)に基づき遮水機能を確実に確保できる S_r の下限値 $S_rL=85\%$ を設定することで、図-1に示すように、領域④を確実に排除しつつ、領域③を許容できるように、管理含水比の管理下限値を $(w_{opt})_{CELf}$ よりもさらに引き下げた。

飽和度 S_r が最適飽和度 $(S_r)_{opt}$ よりも高い領域(図-2での領域⑤)のうち特に高含水比条件では、トラフィカ

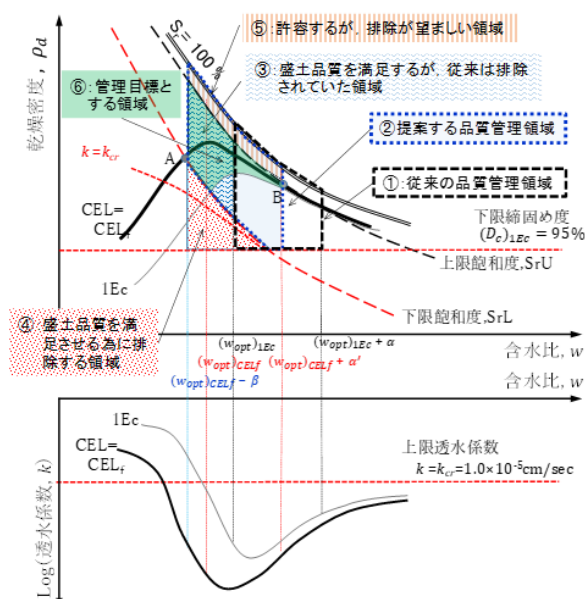


図-1 小石原川ダムの締固め管理範囲

キーワード フィルダム, 締固め管理, 飽和度, 締固めエネルギー

連絡先 〒330-6008 埼玉県さいたま市中央区新都心11-2 (独)水資源機構 TEL:048-600-6500

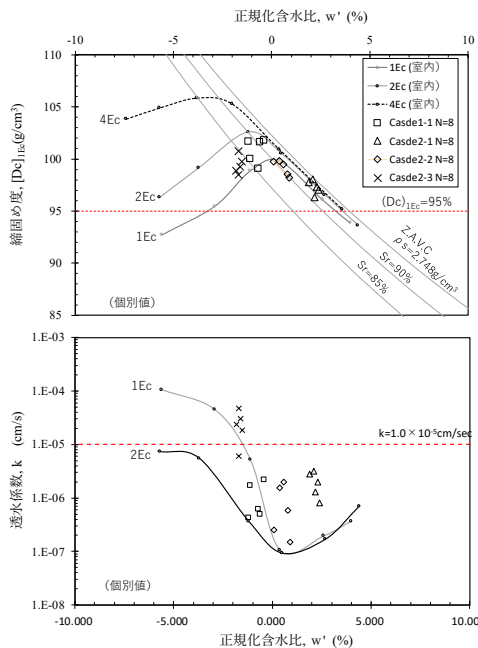


図-2 盛立試験結果

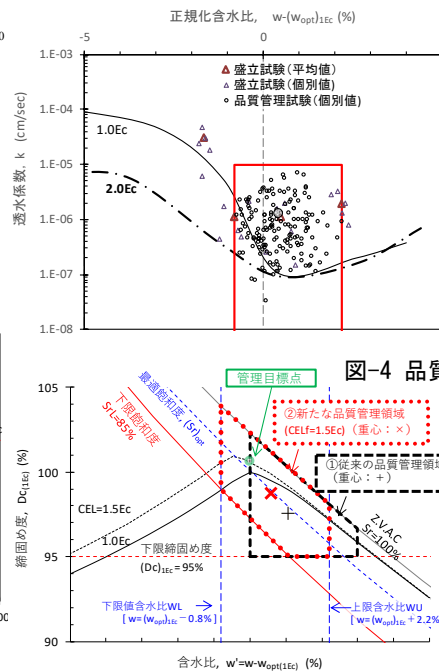


図-3 小石原ダムにおける締固め状態

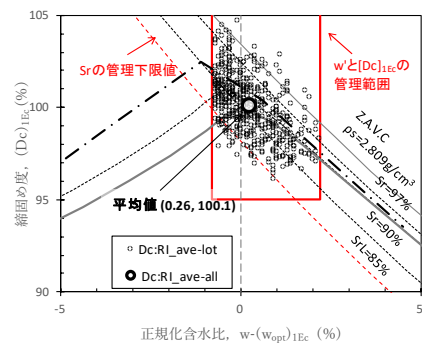


図-4 品質管理試験結果

表-1 他ダムとの比較 (一般コア品質管理結果)

ダム名	小石原川	阿木川	奈良俣	味噌川	徳山
ダム高	139 m	102 m	158 m	140 m	161 m
(Dc)IEC (全期間)	100.1%	99.1%	98.7%	98.4%	97.6%
現場透水係数 (cm/sec)	1.1E-06	4.4E-06	1.4E-06	7.7E-07	2.2E-06
W _w -W _{opt} (全期間)	0.5%	1.0%	0.9%	-	1.2%
W _w -W _{opt} (室内試験)	0.3%	-	-	1.1%	-
室内試験のD _{max}	37.5 mm	15.9 mm	15.9 mm	15.9 mm	37.5 mm
含水比試験法	炉乾燥法	迅速法	RI法	迅速法	迅速法
現場密度試験法	RI法	RI法	RI法	併用 (RI法, 空気浮力法)	RI法

ビリティの低下、重度のウェーピングの発生、過転圧状態の発生などの懸念があるため、可能な限り排除することが望ましい。第四の課題は、領域⑤を排除できない問題である。本ダムでは S_r の管理上限値 S_{rU} は、例えば含水比の管理上限値 $WU (=w_{optIEC} + 2.2\%)$ と $CEL=1.5Ec$ の締固め曲線との交点における飽和度（盛立試験では $S_r=97\%$ ）で設定することが考えられた。しかし、盛立試験での個別孔の試験値では $S_r > 97\%$ となる点は複数点存在するが、これらでは ρ_d と k は規格値を満足しており、試験施工時の現場状況も重度のウェーピング等の問題となる事象は生じてなかった。このため、 S_{rU} は規格値としての管理上限値 (=規格値) ではなく努力目標値として取り扱うものとした。

以上の検討に基づき、本ダムで定めた (w, Dc) による締固め状態の管理範囲を図-3 に示す。これにより、同一材料を使用した場合に従来よりも、高密度、低透水かつ築堤後の沈下が小さいコアの施工が可能となり、また平均的な施工含水比も乾燥側にシフトするため間隙水圧が発生しにくくなることが期待された。

3. 実施工での品質管理結果

図-4a)に日常管理試験 (w : 炉乾燥法, ρ_d : RI法)での締固め状態を示す。一般的な盛土管理では締固め状態は $w-\rho_d$ 面で管理する。しかし、実施工では、土質と現場の CEL を一定の範囲に収まるよう管理をするが、管理の幅の中で発生する不可避的なばらつきのために計測地点毎に締固め特性が変化し、それに影響を受けて地点毎の基準となる締固め曲線 (すなわち、基準値 $(w_{opt})_{IEC}$ と $[(\rho_d)_{max}]_{IEC}$ は変動し、同一の締固め状態 (w, ρ_d) でもその評価が変動する。そこで、これらの影響を排除して統一的に締固め状態を評価するために、図-4a),

b)のとおり、ロット毎の $(w_{opt})_{IEC}$ と $[(\rho_d)_{max}]_{IEC}$ を用いて管理範囲図の横軸を $w' = w - (w_{opt})_{IEC}$ で、縦軸を $(Dc)_{IEC}$ で正規化し整理した。図-4 に示す通り、全期間の平均値は $w' = 0.26\%$ 、 $(Dc)_{IEC} = 100.1\%$ であり、目標値 ($w' = 0$; $(Dc)_{IEC} = 100.6\%$) に近い状態を実現できた。本ダムでは従来は多くのダムで許容していなかった含水比である $w' < 0$ ($w < (w_{opt})_{IEC}$) の乾燥側の点が非常に多いことが特徴である。図-4a)に定期管理試験における現場透水試験結果に基づく (w, k) の分布を示す。全点で透水係数は許容上限値より小さい。従来許容していなかった $w' < 0$ ($w < (w_{opt})_{IEC}$) の所謂乾燥側領域でも透水係数は十分低く、本ダムの現場 CEL の条件において実現した全データの分布範囲において、むしろ低透水な領域となっている。

表-1 に本ダムと水資源機構の管理する他のロックフィルダムにおけるコアの品質管理記録の比較を示す。本ダムの完成後の平均的な $(Dc)_{IEC}$ は約 100% であり、既往のダムと比しても高い品質が確保されている。

4. まとめ

小石原川ダムでは飽和度と現場の CEL を考慮することで、従来よりも合理的な締固め状態の管理法を設定し、実施工に適用した。実施工の品質管理記録により、提案する管理法で施工したコアゾーンの品質は、水資源機構が管理する既設ダムと比較して高いことを確認した。最後に本ダム事業の推進にご協力頂いた関係各位への謝意を記し、本稿の結びとする。

参考文献

- 1) 坂本博紀, 福島雅人, 日野浩二: 小石原川ダムにおけるコア盛立の高度化・合理化の検討, ダム技術, No.390, pp.52-65, 2019