

砂防堰堤における性能設計

株式会社 インボックス ○廣瀬隆浩 松村和樹

1. 序

砂防堰堤の性能については、「砂防堰堤が機能を発揮するために必要となる構造上保持すべき強度、安定性等のこと」と定義され、性能設計とは、「構造物に要求する性能を明示し、その性能を設計供用期間に構造物が保持することを客観的に確認する」ことである。したがって、要求性能が示されれば、施設の必要な性能が明確になるとともに、それを定量的に満足させることで、設計者の創意工夫を活かした構造物が提案される可能性が高まることとなる。本予稿では、重力式堰堤の設計方法の変遷を調査し、砂防堰堤における性能設計について考察したので研究の一部を紹介する。

2 重力式堰堤の設計手法の起源

重力式ダム設計は、「滑動、転倒、許容応力」の安定性要素を検証する手法でなされてきた。このことは古くから変わりはない。Simon (Belgique 1586) が「水圧が三角形分布で作用点が水深の 1/3 である」ことを発表し、Belider (France 1750) が、ダム下流端を中心とした「転倒モーメントによる安定公式」を提案、Sazilly (France 1853) が「均等抵抗力断面決定方法」を、Bouvier (France 1870) が、「主応力が材料の耐圧強度を越えない」ように設計する手法を提言して、現在の設計手法はほぼ確立した。その後、設計方法が変化した事柄は、「荷重項」や「滑動に対する安定性」そして「築堤材料」の扱いである。今回は「揚圧力」と「滑動の安定性」について記述する。

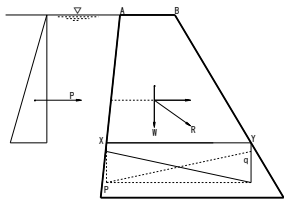


Fig 1 profile of equal resistance

3 設計の課題と性能設計

3.1 揚圧力

Bouzey ダム (France 1895) が破壊し、それが「揚圧力」によるものであることを Levy (France 1899) が明らかにし、揚圧力の取扱いが注目されるようになった。水道用布引五本松ダム (1900 年) の設計では「自重と静水圧」のみで「揚圧力」を考慮してはいなかったが、経験に基づき「揚圧力を低減させるため水平排水管」を設けている。一方、砂防堰堤で揚圧力に関する最も古い記述が残る内務省資料¹には「揚圧力は水抜を設ける等の工法によって其作用を防止することが出来、また砂防堰堤は貯水を目的としないから一般に揚圧力は考慮しない」と書かれており、昭和 33 年河川砂防技術基準には荷重項としてこの揚圧力は記載されていない。しかし、現在の技術指針等では、1932 年に発表された観測値をもとに揚圧力係数²として 1/3 ~ 1.0 といった値が用いられている。

このため、新設や改築する砂防堰堤の断面肥大化が散見される。そこで、筆者らは砂防堰堤でこの揚圧力をどのように考えるか、そして仮に揚圧力を見込むとしたらどのような解決策があるか、一案を Fig 2 示す。

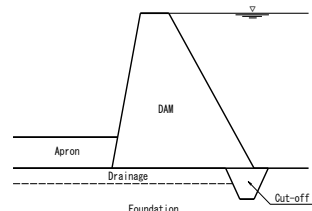


Fig 2 Drainage System

3.2 滑動の安定性

「Design of Small Dams³」には、「水平力はダムを移動させようとする。この力にはコンクリートあるいは基礎の摩擦抵抗および剪断抵抗で抵抗する。一般に大ダムに使用する基準の剪断抵抗は、それを使用しない場合、良好な岩盤上のコンクリートダムを経済的に設計することは不利であることは確かであるが、低ダムの設計では推薦しない。剪断抵抗に大きく影響するコンクリートあるいは岩盤の特性は、安易には定められないので、小規模な構造物は、一般的な方法として摩擦抵抗で決めることを推奨する」と記述されている。

滑動に対する安全性検証は、摩擦抵抗と剪断+摩擦抵抗の検証方法が併記されているが、米国は剪断+摩擦抵抗による検証、フランスは両者の選択 (不連続な地盤においては摩擦抵抗のみ)、スペイン⁴では、剪断は信頼度が低いとして現行の技術基準に留意するとされている。なお、「堰堤工学⁵」には滑動に対する安定について次のように記載され摩擦係数による設計が示されている。

➤ (原文) 堰堤の滑動に対する安定に関しては先に本節 (1) に於て述べたる如く、 f =摩擦係数とし、考ふる水平線上に於て、 R_h = 堤體に作用する總水平力、 R_v = 堤體に作用する總鉛直力とする時、 $F \geq R_h / R_v$ なることを要す。一般に $f=0.7 \sim 0.8$ 位にとるも、地震力を考ふる場合は、 R_h / R_v の値は往々之以上となる場合あるを以て、堰堤コンクリートの施工に充分の注意をなし、特に施工目地又は岩盤との接觸面には凹凸を附し、其の抗剪力を利用して滑動安定を著しく増進することが出来る。

いずれにしても、滑動の安定性についてどの手法を用いるかは、砂防堰堤の荷重の作用をよく調査して要求性能を定めることが重要である。

なお、前述の剪断+摩擦抵抗の検証方法は、現行指針等において台形水通しの袖の安定性の検証に用いられ「礫衝突等に耐える」検討に用いられて

¹ 内務省神戸土木出張所資料 (砂防堰堤断面決定の一考察、S14.11)

² Ivan E. Houk Uplift Pressures in Masonry Dams 1932

³ 米国内務省開拓局

⁴ Spanish National Committee, Regulations and Recommendation for Desing, Construction and Operation of Large Dam, 1967

⁵ 堰堤工学 伊藤令二 (建設省関東地方建設局長) 昭和 28 年 6 月

いる。しかし、袖に関わる要求性能について赤木正雄⁶は次のように記述している。

- 梯形や弧形の何れの形状を採用すべきかは、堰堤の目的及び施工箇所によって自ら異なるものなれども、特に乱流せる河床上に水路の形成を目的とするが如き場合には、弧形によるを有利とするものなり

すなわち、荒れた河川に於いては、前庭保護の課題はあるが袖を形成することを除していたことが伺える。また、現行の河川砂防技術基準(案)においても、巻込み護岸や緩衝工によって袖に直撃することを緩和することも方策として記載されており、いたずらに袖を補強することはこれら経験則に反することと思われる。



Phot 1 Check Dam (Austria 1996 松村)

4. 結論

村幸雄⁷は、「ダム工学は各種基礎工学の応用工学的色彩が強い。ダムの設計に関係する技術者の大切な事の一つは各方面をある程度理解して、バランスのとれた設計を行うことを忘れてはならない」と記し、次のような設計に関する流れを示している。

- ① 堰堤が受け持たなければならない荷重
- ② ①に伴う作用外力の決定とメカニズム
- ③ 築堤材料・堰堤基礎の条件選定
- ④ ③に基づく抵抗力の決定
- ⑤ 安全評価の定義

これは、「要求性能＝設計シナリオ」と言えるもので、筆者らは「省資源・小原資」のもとで計画される堰堤について、「経験則や技術的な妥協」に留意して、「設計シナリオ」を検討することを推奨するものである。

Zienkiewicz⁸は「ダム設計基準委員会報告」で、「ダムの設計に携わる技術者のために、要綱等が政府機関などから発行されているが、これらは構

造物の安全性と信頼性を確保するために考慮しなければならない要件を明確にすることに主眼を置いている。この要綱は、十分な経験をもたない技術者にとって、極めて貴重なものであると信じるが、経験のない技術者によって無批判に適用されかねないという危険性も存在する。理解しないまま、特定のダム地点に要綱を適用すると、物理的もしくは施工上の特殊条件の存在を見落とすことがある。したがって、疑問ももたず、また修正も必要ではないかということを検討もせず、要綱を厳格な規則として、これを用いるのではなく指針として用いることを勧告する」と指摘し、我々が身近に区分している「ローダム」という用語について、フランス⁹では、「低ダムという言葉は普遍的に受け入れられる定義はない。国際大ダム会議は、大ダムを 15m 以上、場合によっては 10m 以上の高さのダムとみなしているが、実際低ダムと大ダムの境界を正確に定義することはあまり重要ではない」と述べており、設計基準において、区分を設けることは合理的ではあるが、区分によって設計条件を変えることは工学的連続性が損なわれる一要因になっていると指摘している。

Table 2 Stability Revaluation

Criteria	Load Case	Sliding ^{*1}	Overturning	Internal stability
Existing	Height ≥ 15m All-Case	1.5 ^{*1} (4.0 ^{°2})	B/6	$S \leq \sigma_s$
	Height < 15m All-Case	1.2 ^{*1} (4.0 ^{°2})	B/6	$S \leq \sigma_s$
Propose All-Height	Flood	1.2 ^{*1}	B/6	$S \leq \sigma_s$
	Earthquake, Mudflow, D95-impact	1.1 ^{*1}	B/3	$S \leq 1.5 \sigma_s$
	Extreme	1.0 ^{*1}	Base	$S \leq 2.0 \sigma_s$

*1 $\Sigma P_v \cdot \tan \phi / \Sigma P_h$

*2 Formula of Henny (Basement Rock)

なお、筆者らは現行の指針等を否定するものではなく、現行指針等の根幹の要求性能を過不足なく満たし、かつ定型の設計法に頼らず、現場状況を踏まえた「性能設計」のため表-2を提案するものである。今後砂防堰堤における性能設計について砂防学会において議論されることを望むものである。

Table 1 CURRENT STATE-OF-THE-PRACTICE FOR EXISTING GRAVITY DAMS TABILITY ANALYSIS

Load	Reclamation 1987 Shear-Friction			FERC 2002 Shear-Friction		Corps 2005 Limit Equilibrium			New York Dam Safety 1989 Shear-Friction			
	Dam Interface	Foundation		C>0	C=0	Well Defined	Ordinary		New Dam		Existing Dam	
		C>0	C=0				C>0	C=0	C>0	C=0	C>0	C=0
Usual	3	4	2	3	1.5	1.7	2	2	2	1.5	2	1.5
Unusual	2	2.7	1.5	2	1.3	1.3	1.5	1.7	2	1.5	1.5	1.25
Exterme	1	1.3	1	1.3	1.3	1.1	1.1	1.3	1.5	1.25	1.25	1

⁶ 高等土木工学 第十六巻 溪流及砂防工学 赤木正雄著 昭和 6 年

⁷ 「Engineering for Dams 1917」の翻訳者(土木研究所 1955)

⁸ 世界大ダム会議 Prof. O.C Zienkiewicz

⁹ PETITS BARRAGES COMITÉ FRANÇAIS DES GRANDS BARRAGES 1966