

20 世紀前半の砂防堰堤の構造について

筑波大学大学院生命環境科学研究科 ○西本晴男
(株) ダイヤコンサルタント 尾関信幸, 亀澤奈央

1. はじめに

砂防堰堤は明治 20 年代から多く造られるようになり、空石積から粗石コンクリート練石積を経て純コンクリートへと主要材料が変わり、昭和 50 年代から鋼製部材が使用されるなどの材料・品質の進化にともなう構造の多様化が進んだ。また、堰堤形態も材料変遷とともに、土砂処理思想の変化、技術書や技術基準類の発行、整備に伴い変化してきた。特に昭和 33 年（1958）には河川砂防技術基準が制定され計画設計における基本的考え方の全国統一がなされ、砂防堰堤の形態もほぼ統一された。

近年、20 世紀前半に造られた砂防堰堤を中心にその文化的価値が認められ有形文化財に登録されている。

20 世紀前半に造られた砂防堰堤のなかには砂防計画上重要な場所に設置されているものが多くあり、長期的にその効果を発現できるように管理を行っていく必要がある。本研究では、最も多く設置されている不透過型重力式コンクリート砂防堰堤の構造について、設計・施工・管理の視点から、特徴を総括するとともに長寿命化を図るための今後の管理のあり方について考察した。なお、堰堤構造考察の対象とした期間は、1900 年頃から粗石コンクリートが使用されなくなった 1960 年頃までとした。

2. 20 世紀前半の砂防堰堤設計の変遷

2. 1 材料変遷

江戸、明治期の砂防堰堤は空石積であったが、大正 5 年から粗石コンクリート堰堤（多くは表面を練石積）が施工されるようになった。昭和 20 年代頃まで粗石コンクリートは砂防堰堤の主要材料であったが、太平洋戦争中などの物資不足期を中心に、内部に粗石や土砂を充填する混合積堰堤が施工されることもあった。粗石コンクリートの使用は昭和 38 年までであり、昭和 30 年代頃から純コンクリートを主体的に用いるようになった。

昭和 30 年代頃から、表面を練石積から型枠処理とする施設が増えたが、天端保護のため、水通し部は練石積としていた。昭和 40 年代頃から富配合コンクリート、グラノリシックコンクリートなどの採用が増えてくる。

2. 2 形状変遷

砂防堰堤の形状は意匠的な側面より安定性が重視されてきた。水通し形状は V 字型、U 字型など多様な形状がみられた。粗石コンクリートを用いた大正期以降は、逆台形、緩やかな U 字型（円弧型）、水通しを片岸に寄せるなどの多様性がみられた。また袖小口に丸み（ラウンディング）を付

けたものも多い。逆台形の袖小口勾配は 1 割から 2 割と現在より緩い。これについては河川砂防技術基準では、昭和 33（1958）年版で 1 割、昭和 52（1977）年版で 5 分、昭和 60（1985）年版で 5 分を標準的としており徐々に急になっていることが分かる。

下流法勾配は、明治期の空石積を主体とした時代では、上流からの外力に対する堰堤の安定性から 1 割程度より緩かった。1917（大正 6）年には諸戸の著書：理水及砂防工学、工事編¹⁾によって 2～2.5 分が推奨された。最初の粗石コンクリート構造の砂防堰堤の施工は 1916 年であり、この時期にほぼ一致する。この当時それまでの、1 割程度からコンクリート使用を理由に一気に急勾配にすることは、下流法の対策とはいえ諸戸が昭和 6（1931）年に「堰堤の水裏法の如き従来一割乃至二割の緩勾配のものが二分乃至五分の急勾配となり（中略）堰堤を設計するに至つた。是実に非常の進歩で殊に堰堤の裏法を急にすることは大正四、五年迄我国多数の技術者に反対せられたるものであつたが今日に於ては到る処に此種の構造のものを見るに至り、従来之に反対した技術者も今日は賛成するのみならず却て自ら之を主張するに至つた」²⁾と述べているように当時の技術者間では大議論があったようである。図 1 は 9 直轄事務所等の砂防堰堤の年代に応じた下流法勾配である。最初の施設は 1 分勾配であり、以後、2～5 分となり、1 割前後の緩勾配は採用されていない。1958（昭和 33）年の河川砂防技術基準によってほぼ 2 分に統一された。図 2 は堤高と下流法勾配の関係である。（図 2）をみると、堤高 15m を超えるものは大部分が 2 分勾配である。これは、落下石礫の下流法への衝撃が大きいと考えられる。

このほか堤体の安定性について重要なものとして基礎地盤や地山への根入れ・嵌入がある。袖部の地山への嵌入深について技術書等で記述を経年的にみみると、表 1 のように徐々に小さくなり砂礫・土砂地盤で 2m 以上、岩盤で 1m 以上に収斂してきた。

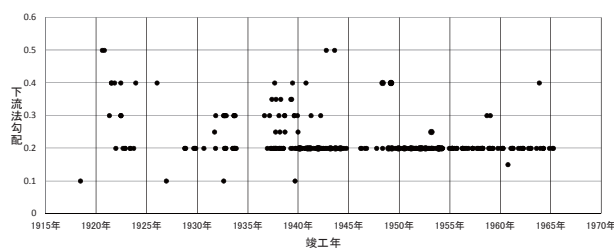


図 1 下流法勾配と施工年代の関係

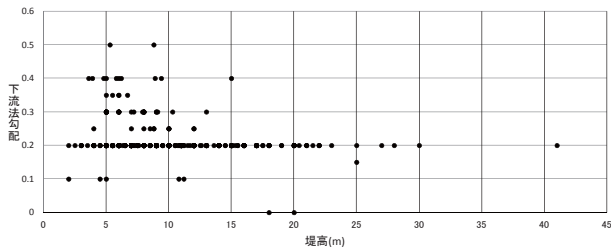


図2 堤高と下流法勾配の関係

表1 袖取り付け部の嵌入深に係る砂防技術書の記述

発行年	技術書等(著者)	砂礫・土砂地盤	岩盤
1958(S33)	河川・砂防技術基準(案)	記載なし	記載なし
1958(S33)	砂防工学(遠藤隆一)	2-4m	0.5-1m
1968(S43)	現場技術者のための砂防・地すべり 防止工事ポケットブック (矢野義男 他)	2-3m	1-1.5m
1980(S55)	砂防設計公式集	2m以上	1m以上
1985(S60)	河川・砂防技術基準(案)	2m以上	1m以上

3. 砂防堰堤の設計と被災要因

砂防堰堤の被災要因と被災形態を表2にまとめる。

この被災原因は、大きく以下のふたつにわけられる。

- ①堤体本堤の主要構造に係るもの：堤体の安定性の不足、堤体材料の内部応力に対する抵抗性の不足（経年劣化や施工時の社会情勢等に起因するもの）
- ②堤体の部分的な問題：袖の地山取り付けの問題、表面石材の欠落等

表2 砂防堰堤の被災要因と被災形態

	内的要因	外的要因	損傷	被災形態
本体耐久性(材料)	材料、施工方法	凍結融解、化学反応	コンクリート劣化 (通水に伴うセメント成分溶脱)	本体破壊
本体下流対摩耗性	下流法勾配	砂礫衝突	コンクリートすり減り・破損、張石欠落	本体破壊危険性増大
水通部対摩耗性	天場保護工の有無、天端石材の固定状況、袖小口勾配	砂礫衝突(溪床勾配、流域の荒廃状況、土砂流出頻度等)	コンクリートすり減り・深掘、張石欠落	流水集中による下流法損傷、前庭部洗掘進行
袖部安定性	地山嵌入深 地山の地質(未固結砂礫層)	流水偏流	地山侵食	袖抜け
前庭部安定性	副ダム・水叩きの有無	落下水衝撃 河床低下	局所洗掘、底抜け	本体不等沈下・転倒

4. 砂防堰堤の長寿命化に向けた対策

上記の被災を受けた施設の多くは災害復旧事業によって補修を行っている。しかし、1洪水によって堆砂敷き土砂が流出するなど、保全対象への被害の加害要因とならないように、施設管理者には適切な補修、維持管理が求められる。

上記①は、本堤構造そのものを補強、造り替えが必要になる。一般には腹付対策がとられるが、内部材料が所定の強度を確保していない場合など、既存堤体の活用が困難な場合がある。施工時期等から、内部材料の問題が想定される場合には、調査によって内部材料の確認が望まれる。

上記②のケースでも損傷、劣化が大きく進行すると、砂防上の機能の喪失につながることもある。ただし、①と比べて、弱点となる箇所が限定され、部分的な補修、補強で対応可能なことも多く、大規模な被災を受ける前に対処することが望まれる。対処の必要性有無については、事前に石材欠落など、軽度の損傷・劣化が現れることも多く、小規模な損傷の段階で拡大進行性の有無などを調査、評価したうえで、対処することが望まれる。

5. 諸外国の堰堤維持管理の事例

フランスのサニエル溪谷では19世紀中頃から砂防堰堤群が施工されている。土砂流出の著しい溪流であるため幾度となく施設は被災しているが、維持管理を適切に行っており現在も施工当時の構造物が機能を果たしている。

オーストリアのラングバートバッハは1899年に土石流被害を受けたため床固め工群による工事が実施された。これらの施設は大きな損傷もなく現在立派にその機能を果たしている。オーストリアでは100年以上前の砂防工事についての計画図・設計図が担当事務所に保管されており施設の維持管理についても力を入れている。



図3 ラングバートバッハの床固め工(オーストリア)



図4 サニエル溪谷の砂防堰堤(フランス)

6. 施設の管理

砂防堰堤の長寿命化を考える上では、施工数が多い粗石コンクリート構造の砂防堰堤の適切な維持管理を行っていく必要があるが、こうした堰堤の全国的な状況(基数、施工時期、堰堤規模など)は把握されていなく、また砂防堰堤の被災事例調査は1984年以降実施されていない。

さらに、破損、被災施設や補強は県、直轄事務所単位で対策が行われ、全国的にこれらの知見を集約するかたちになっていない。

破損、被災箇所の補修履歴の調査を行うとともに、今後の補修履歴もあわせてそのデータを管理する体制を確立させることが望まれる。これにより、破損箇所及び補修箇所・方法と砂防施設台帳の施工年代、設計図、使用材料、施工状況等とを比較・分析することが可能となり、効率的な補修・補強等の長寿命化対策に資することになると考える。

<参考文献>

- 1) 諸戸北郎：理水及砂防工学 工事編，三浦書店，280pp.，1917
- 2) 諸戸北郎：砂防工事の回顧，山林，大日本山林会，p. 38-41，1931