歴史的砂防堰堤の景観に配慮した堰堤補強工法の選定について

佐野　孝行[1]・岡本　良太[1]

[1]中国地方整備局　倉吉河川国道事務所　工務第一課　（〒682-0018 鳥取県倉吉市福庭町1-18）．

直轄砂防事業初期（1935年代）に天神川水系小鴨川流域で建造された砂防堰堤は，現行基準である「土石流・流木対策設計技術指針」の構造規格上の機能を満たす必要がある．歴史的砂防施設として登録有形文化財に指定された8基について本体の安定計算を行うと，現行基準を満たしていないことが明らかとなり補強対策を行う必要が生じた．堰堤補強として，腹付コンクリートを施工する案と，アンカーで補強する案が考えられ，ボーリング調査及び一軸圧縮試験，ボアホール調査を実施し，補強工法の選定を行った．安定性，維持管理性，景観保全，施工性，概算工事費の観点から比較検討を行った結果，腹付コンクリートを施工する案を採用した．

キーワード　天神川水系，砂防堰堤，補強対策，安定性，維持管理性，景観保全

1.　はじめに

天神川水系は鳥取県中部に位置しており，南北に流れる本流の流路延長が32kmであるのに対し，東西の幅は約42kmと，全体として東西に伸びた菱形の流域形状をしている（**図-1**）．また，**図-2**に示すように一級水系の中でも河床勾配が非常に急であり，洪水の流下が早い．さらに，本川天神川と支川小鴨川が倉吉市街地付近で合流し，流れが滞留することによって，地形的に洪水が発生しやすい特徴を持っている．このような特徴により，天神川水系では古くから災害が多発している．

1934年9月の室戸台風では，小田基準地点においてピーク流量が3,500m^3/sを観測する大雨となり，天神川水系各所で堤防が決壊した．特に被害の大きかった小鴨村では，全村の戸数647戸のうち被災戸数が450戸に達し，被災者は2,000人，流出家屋27戸，倒壊13戸，半壊37戸といった被害が発生した．また，**写真-1**に示す土石流も発生し，この台風による災害は，昭和以降において既往最大規模の災害となった．この災害を契機に，支川の小鴨川流域では1936年から直轄砂防事業への着手が始まった．さらに，1998年の台風10号により，天神川本川上流域



図-1　天神川水系の流域図

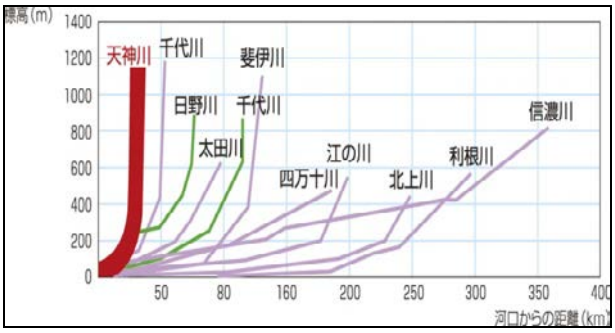


図-2　天神川における他の一級河川との河床勾配の比較



写真-1　清水谷川における土石流発生の様子（1934年室戸台風）



写真-2　本川上流における土砂流出の様子(1998年台風10号)

（三朝町）において土砂災害が多発し，甚大な被害をもたらした（**写真-2**）．これを契機に，本川流域においても直轄砂防事業を開始し，現在では天神川水系において，多くの砂防堰堤の整備を行っている．

しかし，昭和初期に建造された砂防堰堤については，防災能力を確保するため，構造規格上の機能・用途について現行基準を満足するように見直す必要がある．よって，本研究では，天神川水系の砂防堰堤について補強対策を行う必要があるかどうかを判断し，安定性，維持管理性，景観保全，施工性，概算工事費の観点から補強工法の選定を検討した．

2.　歴史的砂防施設

(1) 直轄砂防事業初期の歴史的砂防施設

直轄砂防事業初期に小鴨川流域において建造された砂防堰堤は，長年にわたって地域の安全を守っている．また，**写真-3**に示す清水谷川第5号砂防堰堤のように，長い年月を経て地域の景観と調和し，歴史的価値を有する近代土木遺産にもなっている．特に，**図-3**に示す8基の砂防堰堤については，「建設後50年を経過したものの内，①国土の歴史的景観に寄与しているもの，②造形の規範になっているもの，③再現することが容易でないもの」に該当していることから，2004年度に国の登録有形文化財（建造物）に登録された．**写真-4**に登録有形文化財の石碑の様子を示す．



写真-3　清水谷川第5号砂防堰堤



写真-4　登録有形文化財の石碑

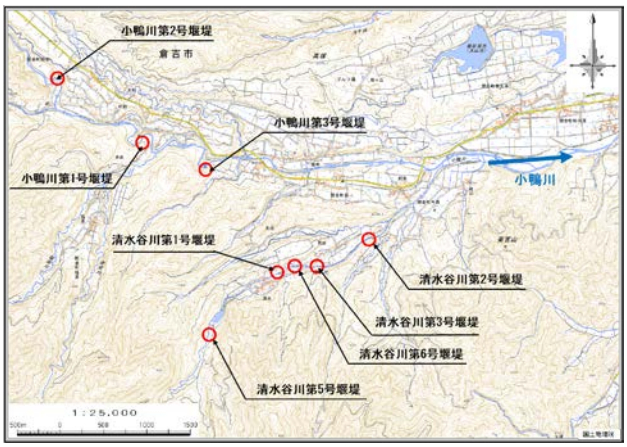


図-3　対象となる砂防堰堤

本研究では，**図-3**に示す8基の砂防堰堤を対象として，景観保全を考慮し，補強対策について検討を行った．

(2) 現況堰堤の安定照査

砂防堰堤の機能については，現行基準である「土石流・流木対策設計技術指針」の構造規格上の機能を有する必要がある．具体的には，設計外力に対して「転倒，滑動，支持」の安定条件を満足させる必要がある．

各堰堤について**表-1**に示す安定性の評価基準を用いて安定性照査を行った．その結果，いずれの砂防堰堤においても転倒，滑動，支持のうち1つ以上でNG1またはNG2を示し，現行基準を満たしていないことが明らかとなった（**表-2**）．そのため，現行基準に基づいて補強対

表-1　過年度評価基準

評価の種類		現行の安定条件を満たす状態（OK）	一定の安定性を有する状態（NG1）	早急な対策が必要な状態（NG2）
堤体の安定	転倒に対する安定度	合力の作用線がミドルサード内である状態	合力の作用線がミドルサード外であるが，底版内におさまる状態	合力の作用線が底版から外れる状態
	滑動に対する安定度	所定の安全率（砂礫基礎で1.2，岩盤基礎で4.0）が確保される状態	滑動の安全率が1.0以上であるが，安全率が不足する状態	滑動の安全率が1.0未満である状態
	地盤支持力度に対する安定度	地盤反力度が許容応力度以下である状態	地盤反力度が許容応力度以上であるが，極限支持力（許容支持力の3倍）を上回らない状態	地盤反力度が極限支持力（許容支持力の3倍）を上まわる状態
水通し	流下能力	現況水通し高で設計流量を流下でき，所定の余裕高も確保される状態	現況水通し高で設計流量を流下できるが，所定の余裕高が確保されない状態	設計水深が現況水通し高を越える状態

表-2　既設砂防堰堤8基の安定計算結果

堰堤名称	完成年	本体の安定計算		
		転倒	滑動	支持
清水谷川第1号堰堤	1937.7	NG1	OK	OK
清水谷川第2号堰堤	1938.1	NG1	NG2	NG1
清水谷川第3号堰堤	1938.3	NG2	NG2	NG2
清水谷川第5号堰堤	1939.3	NG2	OK	NG2
清水谷川第6号堰堤	1944.6	NG2	NG2	NG2
小鴨川第1号堰堤	1940.12	NG1	OK	OK
小鴨川第2号堰堤	1942.3	NG1	NG2	NG1
小鴨川第3号堰堤	1943.6	NG1	OK	NG1

策を行う必要性が生じた．

そこで，腹付コンクリート（第1案）とアンカー工（第2案）の2種類の補強対策工法ついて，安定性，維持管理性，景観保全，施工性，概算工事費の観点から比較を行い，堰堤補強に対する検討を行った．

3.　堰堤補強工法の選定について

(1) 堰堤補強工法

堰堤補強工法としては，「砂防堰堤マニュアル（案）」のとおり腹付けコンクリートを施工する案が基本となる（**図-4**）．しかし，現場条件等を考慮し，その他対策工としてアンカーで補強する案についても考えられる（**図-5**）．よって，腹付コンクリート及びアンカー工の2種類について両者の比較を行った．

アンカー工適用検討に際し，今回対象となる8基は，竣工年代が古く躯体コンクリートの健全度の評価が困難であったことから，詳細調査（堤体ボーリング・弾性波探査等）により内部構造を把握する必要があった．よって，第2案については，堰堤本体がアンカー工の受圧体として十分であるかどうかを把握した上で，補強工法の比較検討を行うこととした．対象堰堤8基については過去に堤体ボーリング調査が実施されているため，既往調査結果を基に検討を行った．

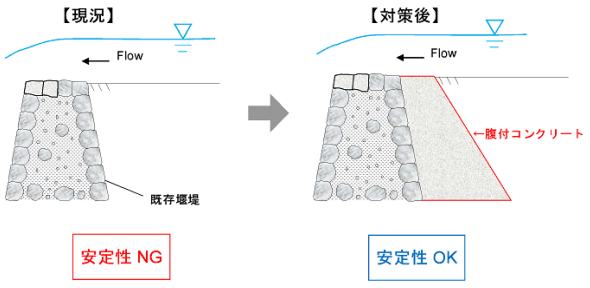


図-4　補強対策のイメージ

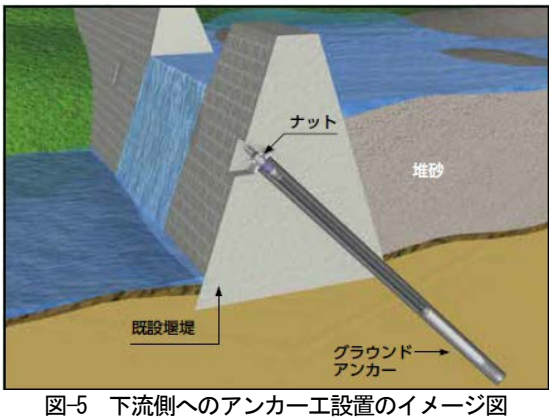


図-5　下流側へのアンカー工設置のイメージ図

(2) 既往調査結果

今回対象となる8基について，ボーリング調査及び一軸圧縮試験を2008年度の調査において実施していた．また，清水谷川第1号堰堤においては，ボアホール調査を実施していた．そのため，アンカーでの補強については，これらの調査結果に基づいて検討を行った．

2008年度の調査結果では，「堤体に局所的に砂礫状を呈する（空隙）部分がみられるが，堰堤の安全性に影響を及ぼすほどではない．」と評価した．しかし，これは堤体が堰堤としての機能を保持していく上で問題がないかどうかの判断であり，アンカー工の受圧体として十分であるかの評価については別途行う必要があると判断される．

清水谷川第1号堰堤について，ボーリングコア写真の観察及びボアホールカメラによる判断を行った結果を**写真-5**に示す．堤体内部において，**写真-5**に示すような空隙が複数見受けられた．また，柱状図（**図-6**）に示すように，ボーリング掘削時の送水量が2～12ℓ /分であったのに対し，排水量が0ℓ /分であった．このことから，亀裂や空隙部分がボーリング孔周辺だけでなく，他部分にも繋がっており，漏水が発生していると考えられる．

また，ボーリングコアを利用した一軸圧縮試験の結果を**表-3**に示す．**表-3**より，小鴨川第3号堰堤を除く全ての堰堤において，一軸圧縮強度が現行基準における堰堤に利用するコンクリート設計基準強度18N/mm^{2}を上回っ

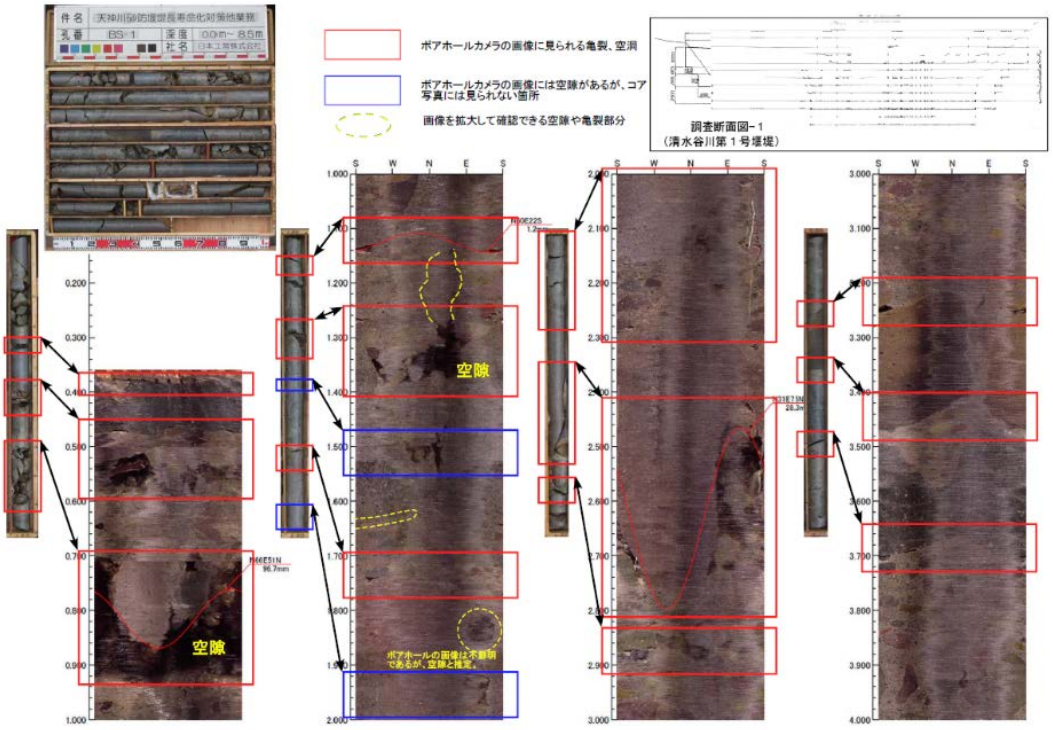


写真-5　コア写真及びボアホール調査結果（清水谷川第1号堰堤）



写真-6　供試体深度とボーリングコアの比較

ている．しかし，例として，清水谷川第1号堰堤及び清水谷川第2号堰堤における供試体採取深度をボーリングコアと照らし合わせると（**写真-6**），空隙や亀裂が多い箇所を除き，比較的コンクリートが充填されている健全な箇所を選んで採取されていることが分かる．そのため，空隙が無い部分において，内部材強度は健全であるが堰堤全体の評価として用いるには過大な評価となると考え

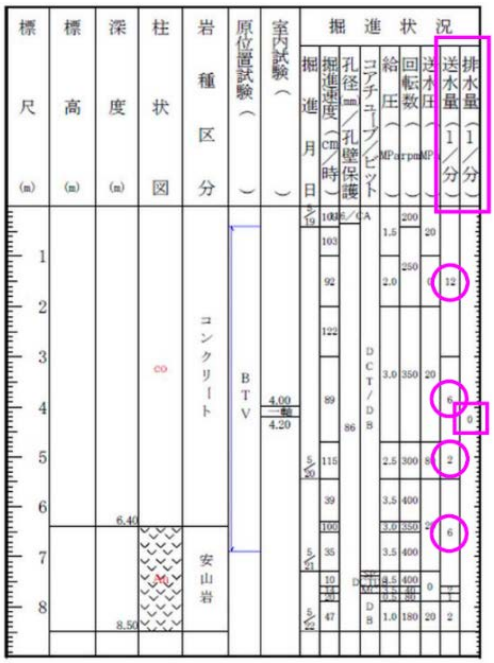


図-6　ボーリングの柱状図（清水谷川第1号堰堤）

表-3　室内試験結果

堰堤名	サンプル採取深度（m）	一軸圧縮強度（N/mm²）	単位体積重量（g/cm³）
清水谷川第1号堰堤	4.00～4.20	33.2	2.258
清水谷川第2号堰堤	2.40～2.60	27.9	2.121
清水谷川第3号堰堤	1.00～1.25	25.2	2.201
清水谷川第5号堰堤	1.05～1.25	29.6	2.134
清水谷川第6号堰堤	0.75～1.00	35.1	2.163
小鴨川第1号堰堤	3.15～3.45	30.8	2.232
小鴨川第2号堰堤	2.55～2.75	24.0	2.191
小鴨川第3号堰堤	2.80～3.00	13.3	2.146

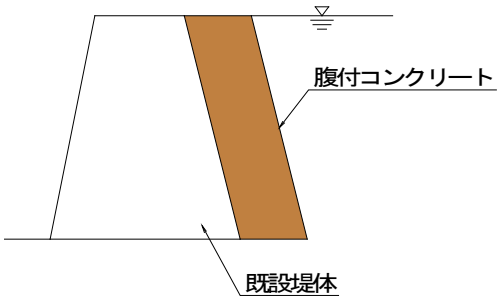


図-7　上流側腹付のイメージ図

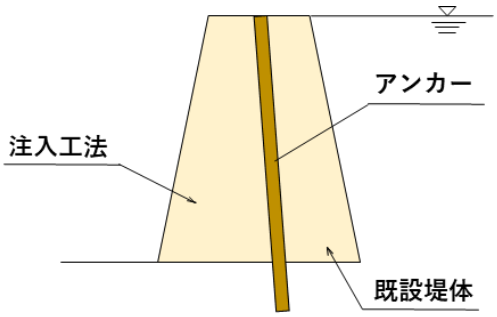


図-8　堤体補修＋アンカー工法のイメージ図

られる．

以上の結果より，ボアホール堤体内部には空隙が複数あることや，亀裂や空隙部分がコア周辺だけでなく，他部分にも繋がっており，漏水が発生していると考えられることから，アンカー工の受圧体として健全とみなす評価は難しいと判断した．したがって，第2案については，堤体補修工法として注入工法により堤体内の空隙を充填した上で，アンカーを設置するという案として比較検討を行った．腹付コンクリートと堤体補修及びアンカー補強の最終的なイメージ図を**図-7，8**に示す．なお，対象の砂防堰堤はいずれも登録有形文化財であり，下流側への腹付コンクリート及びアンカー設置については，文化財の登録解除が必要となるため対象外とした．

(3) 堰堤補強工法の選定

清水谷川第1号堰堤を例として，上流側腹付コンクリート（第1案）及び堤体補修＋アンカー補修（第2案）について，安定性，維持管理性，景観保全，施工性，概算工事費の観点から比較検討を行った結果を**表-4**に示す．上流側腹付け（第1案）を見ると，床堀のための水替えなどで仮締切規模が大きくなり施工性が劣るものの，概算工事費が安く（腹付コンクリートを1.00とすると，ア

表-4　堰堤補強工法の選定結果（清水谷川第1号堰堤）

比較位置	上流側腹付け		堤体補修＋アンカー補強	
計画概要	堰堤上流側に安定計算を満足する天端幅になるように腹付けコンクリートを施す．		安定計算上不足する抵抗力について，堤体を貫通するアンカー工により負担させ，設計外力に対して安定させる． アンカー緊張力により堤体内部が破壊しないように注入工法で内部の空隙を補修した上で実施する．	
堤体安定性	・基準における安定性を確保可能	○	・基準における安定性を確保可能 ・アンカーのみでは安定性が困難なため，注入工法による補修を併用する．	○
維持管理性	・施工後の維持管理は基本的に不要である．	○	・点検時には，アンカー頭部の目視点検と近接調査・打音調査などを実施する必要があるが，水通し部では水替えが必要であり，維持管理性が最も劣る． ・残存引張力の確認はロードセルにより管理可能．	△
景観保全	・背面躯体は土砂の中となり腹付けの天端しか視認できないため，景観への影響は少ない．	○	・既存天端にアンカー頭部のみが露出し，頭部も堤体内に埋め込み可能であるため，景観への影響は少ない．	○
施工性	・床堀のための水替えなど，仮締切規模が大きくなる． ・既存躯体との一体性を図る必要がある．	△	・土工がなく仮設工も第1案に比べ小規模となり，施工性に優れる． ・注入後にアンカー施工となり，工事工程が増える．	○
概算工事費	仮設工　4,800千円 堰堤コンクリート　6,438千円 直接工事費　計（工事費率）　11,238千円（1.00）		注入工法　13,789千円 アンカー工（公称径：73.0mm）　13,843千円 直接工事費　計（工事費率）　27,632千円（2.46）	
経済性評価	第2案に比べ安価．	○	第1案に比べ経済性で劣る．	△
判定	○		△	

ンカー工は2.46），かつアンカーのように施工後に維持管理をする必要が基本的にないことが分かる．次に，堤体補修＋アンカー補強（第2案）を見ると，土工がなく仮設工が小規模となる一方，点検時に水通し部において水替えが必要なため維持管理性が悪く，概算工事費が第1案に比べ高くなることが分かる．以上の結果より，維持管理性，概算工事費の観点において優れていると考えられる第1案（上流側に腹付コンクリートを施す案）を採用した．また，他の堰堤についても，同様の結果が得られたため，維持管理性，概算工事費の観点から第1案（上流側腹付け）を採用した．

4. まとめ

今回補強対象となった既設砂防堰堤では，腹付コンクリートとアンカー工の2つの補強工法について，安定性，維持管理性，景観保全，施工性，概算工事費の観点から比較検討を行った．その結果，概算工事費が安く，維持管理の必要性が基本的にないといった理由から，上流側に腹付コンクリートを用いる案を採用した．

本研究により，今回対象となった堰堤のように古くに建造され，内部に空隙が多数存在し，内部構造が不安定であると考えられるものにおいては，安定性，経済性といった観点から，従来通り腹付コンクリートで堰堤自体を拡幅し補強する方法が妥当であると考えられる．

天神川水系の砂防堰堤には，今回の8基以外にも昭和中期から後期に建造された砂防堰堤が10基以上存在している．そのため，今後，これらに対しても補強を検討していく可能性が考えられる．近年，気候変動に伴って集中豪雨による土砂災害が頻発するようになっており，砂防堰堤の重要度は増している．したがって，さらなる砂防堰堤の新設だけでなく，古い砂防堰堤の現行基準に基づく機能の向上が今後の課題となると考えられる．

参考文献

1) 倉吉河川国道事務所管内の歴史的砂防施設～登録有形文化財堰堤群～（平成30年5月製作）．
2) 70年のあゆみ　国土交通省中国地方整備局倉吉河川国道事務所　平成17年12月1日発行