

効果的に既設堰堤の機能、性能を長期維持確保 濁川砂防堰堤改築設計について

静岡コンサルタント株式会社 技術一部 設計一課
塚田 俊貴

1. はじめに

静岡県では、砂防関係施設の健全度を把握し、維持、修繕、改築、更新にかかるライフサイクルコストの縮減及び修繕等に要する費用の平準化を図る「予防保全型維持管理」を導入した「長寿命化計画」を進めている。

今回改築設計の対象となった濁川砂防堰堤は、昭和 31 年に施工された練石積の砂防堰堤であり、建設後 66 年が経過している。令和 2 年に行われた砂防設備パトロールにおいて、経年劣化による老朽化が顕著なことから、現行基準（「砂防設計の手引き」^(※1)）を満たす機能・性能が確保されていないことを理由に“要対策”と判定された。

当該設計業務は、単に堰堤を新設設計するものではなく、既設堰堤について現地調査や資料収集・解析を行い保有する機能及び性能を確認し、それを現行基準まで高める最も効果的な改築工法を提案するものである。

ここでは、既設構造物の機能・性能の確認や改築工法の提案など、業務を進める上で発生した様々な課題に対して行った提案や検討、対策について報告する。

2. 業務箇所

本業務の対象施設（濁川砂防堰堤）は、^{ほうきやま} 箒木山を源とし東伊豆町を北西から南東方向に流下する濁川（流域面積 2.0km²）の下流部に位置する。（図 1, 2 参照）

当該堰堤の右岸側削部には温泉旅館があり、下流には保全施設である民家が多数存在する。



図 1. 業務箇所



写真 1. 濁川砂防堰堤

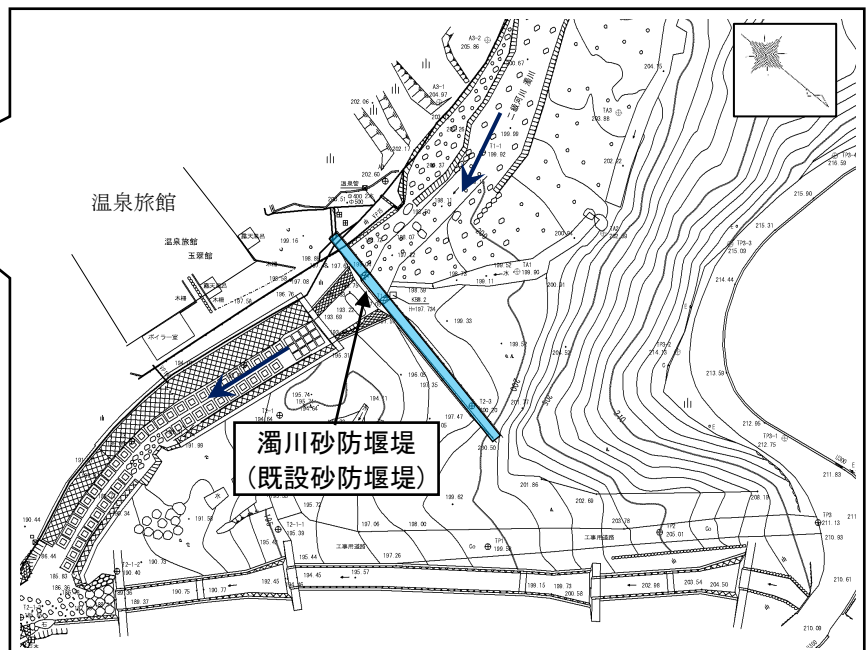


図 2. 業務箇所図

3. 業務を進める上での課題

今回の業務の流れを図3に示す。

①から⑤の業務は、今回の改築設計で独自に行った調査・検討業務であり一般的な砂防堰堤の新設設計では行わない。

設計業務を進める中で、以下の3点が課題となった。

課題1 当該施設が昭和31年に施工されたものであり設計当時の資料がないことから「④既設堰堤の耐荷性能の照査」を行う際の既設堰堤の形状及び内部構造、基礎地盤状況等の詳細な把握。

課題2 「⑤改築工法の比較検討（3案）」の中で改築工法として増しコンクリートによる補強工を提案する際の単位体積重量の異なるコンクリートで一体となった構造物の安定計算手順の設定。

課題3 既設堰堤と補強コンクリートの一体性の確保。

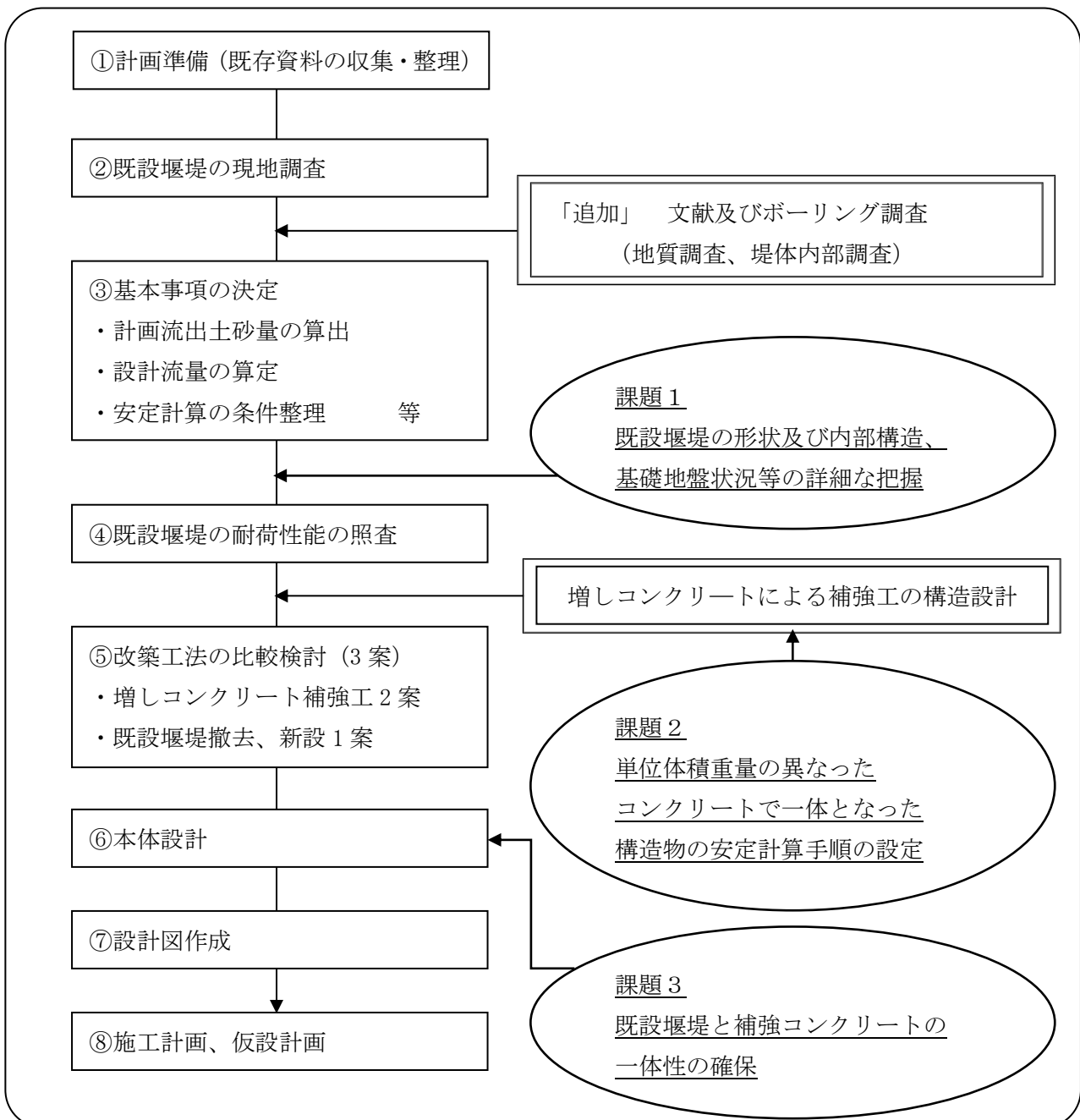


図3. 堰堤改築設計フロー

4. 課題への対応

4-1. 課題1 (既設堰堤の形状及び内部構造、基礎地盤状況等の詳細な把握)

4-1-1. 文献及びボーリング調査

既設の濁川砂防堰堤の機能及び性能を確認する上で、当該施設が昭和31年に施工されたものであり、当時の設計資料や施工記録等が無く、堰堤内部の状態を詳細に把握することが課題となった。

そこで、当時の堰堤の構造及び施工に関する文献^(※2)を調べるとともに既設堰堤本体のボーリング調査を行い、堰堤形状、基礎地盤状況、コンクリートの単位体積重量の確認を行った。

上記の調査結果より当該既設堰堤は、

- ・ 堰堤高は4.3mであり、基礎地盤は許容支持力度250kN/m²の砂質層。
- ・ 練石積堰堤(粗石コンクリート構造)に該当する。
- ・ 施工の精度が低く、老朽化も進み、健全部と脆弱部が層状に分布する構造となっている。
- ・ ボーリングの調査結果から、コンクリート単位体積重量は20.0~22.3kN/m³であり、新設の22.56kN/m³(「砂防設計の手引き」^(※1))に比べて軽い。

ボーリング調査の結果を下記に示す(表1、写真2,3参照)。

コンクリートは、コアの状況が、短柱状コアと礫状コアに分かれるものとなった。この短柱状コアが健全部、礫状コアが脆弱部となる。

既設堰堤の安定計算をする場合は、安全性を考慮して、脆弱部の単位体積重量の20.0kN/m³の値を使用する。

表1. ボーリング調査による既設堰堤の材料表

岩種	コアの状況	単体重量 (kN/m ³)	堤体に占める割合(%)
玉石	安山岩	25.7	47.4
コンクリート	短柱状コア	22.3	36.3
コンクリート	礫状コア	20.0	16.3



写真2. 短柱状コア
(健全部)



写真3. 礫状コア
(脆弱部)

※2 当時の堰堤の構造及び施工に関する文献について以下に抜粋

「練石積砂防堰堤(粗石コンクリート構造)の特性と重点的な管理・補修施設の選定の考え方」平成22年度

砂防学会発表論文 著者 (財)砂防フロンティア整備推進機構 尾関信幸 森俊勇 星野和彦

・練石積の粗石コンクリート構造の砂防堰堤は、大正5年以降、昭和39年頃まで全国で多数、造られてきた。

・練石積堰堤の築造方法は、表面の積石を一段(概ね30cm)積んでから、粗石を配置し、内部にコンクリートを充填する打設方法を取っていた。特に昭和20年代頃まではバイブレータはなく、作業員が突き棒でコンクリートを充填していた、とされる。このため、粗石下部などにコンクリートが十分に充填されない部分が水平に広がり、健全部と脆弱部が、層状に分布する構造とされている。

4-1-2. 既設堰堤の耐荷性能の照査

堰堤の安定性の検討は、下記の3項目によって行われる。(砂防設計の手引き^(※1) P1-52より)

1. 原則として、砂防堰堤の上流端に引張応力が生じないように、砂防堰堤の自重および外力の合力の作用線が底部の中央1/3以内に入ること。
2. 砂防堰堤底と基礎地盤との間で滑動を起こさないこと。
3. 砂防堰堤内に生じる最大応力が材料の許容応力度を超えないこと。地盤の受ける最大圧が地盤の許容支持力以内であること。

この3項目の検討は、堰堤の自重と静水圧、堆砂圧、土石流流体力及びそのモーメントによって評価されるものである。

4-1-1の結果を基に、既設堰堤の形状、構造を図4、5の通りに推定して安定計算を行った結果、表2のとおり、既設堰堤は転倒、滑動、支持力すべての項目で耐荷能力が不足する結果となった。よって、既設堰堤を補強改築して、土石流に対応できる構造を検討することとした。

(1) 入力条件

- ・既設堰堤のコンクリートの単位体積重量：20.0 kN/m³
- ・流域面積 A=2.00km² ・有効降雨強度 70.3mm/h ・現溪床勾配 i=1/9.90
- ・土石流ピーク流量 Q=20.0m³/s ・最大礫径 80cm ・地盤の許容支持力度：250kN/m²

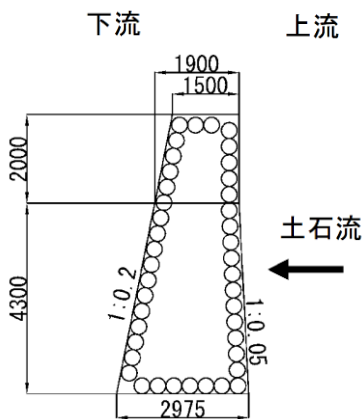


図4. 既設砂防堰堤断面図

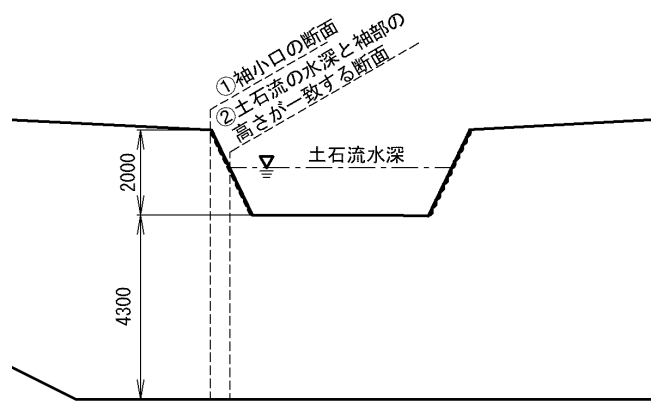


図5. 既設砂防堰堤正面図

表2. 既設砂防堰堤 安定計算結果一覧表

① 袖小口の断面

項目	土石流時		判定	洪水時		判定
	計算結果			計算結果		
転倒	荷重の合力の作用線から堤底の上流端までの距離 X(m)		0.99 < X < 1.99		0.99 < X < 1.99	
	計算結果	2.67	OUT	計算結果	3.78	OUT
滑動	安全率 N	1.20 > 0.75	OUT	1.20 > 0.52	OUT	OUT
支持力	鉛直応力 σ_{max} (kN/m ²)	250 < 329.25	OUT	250 < 595.70	OUT	OUT
	鉛直応力 σ_{min} (kN/m ²)	0 > -134.19	OUT	0 > -383.36	OUT	OUT
総合判定	OUT			OUT		

② 土石流の水深と袖部の高さが一致する断面

項目	土石流時		判定	洪水時		判定
	計算結果			計算結果		
転倒	荷重の合力の作用線から堤底の上流端までの距離 X(m)		0.99 < X < 1.99		0.99 < X < 1.99	
	計算結果	2.85	OUT	計算結果	3.49	OUT
滑動	安全率 N	1.20 > 0.67	OUT	1.20 > 0.53	OUT	OUT
支持力	鉛直応力 σ_{max} (kN/m ²)	250 < 328.69	OUT	250 < 520.45	OUT	OUT
	鉛直応力 σ_{min} (kN/m ²)	0 > -152.84	OUT	0 > -313.38	OUT	OUT
総合判定	OUT			OUT		

4-2. 課題2

(単位体積重量の異なったコンクリートで一体となった構造物の安定計算手順の設定)

4-2-1. 改築工法での安定計算手順の設定

「⑤改築工法の比較検討(3案)」の中で改築工法として増しコンクリートによる補強工を提案する際、単位体積重量の異なるコンクリートで一体となった構造物の安定計算手順が課題となった。

堰堤の安定性の検討は、前項のとおり、転倒、滑動、支持力の3項目によって行われる。

今回の既設堰堤の補強方法として検討している増しコンクリートを施工する工法については、既設堰堤のコンクリートの単位体積重量 (20.0kN/m^3) と増しコンクリートの単位体積重量 (22.56kN/m^3) が異なっていることから、従来の堰堤の自重計算に加え、コンクリートの単位体積重量の差分を新たに任意荷重として載荷して安定性を検討する計算手順により行った。

4-2-2. 安定計算モデルの考え方と計算過程

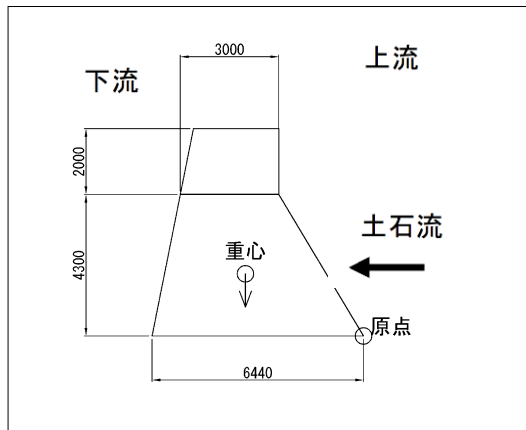
以下に、安定計算モデルの考え方を示す。

(1) 入力条件

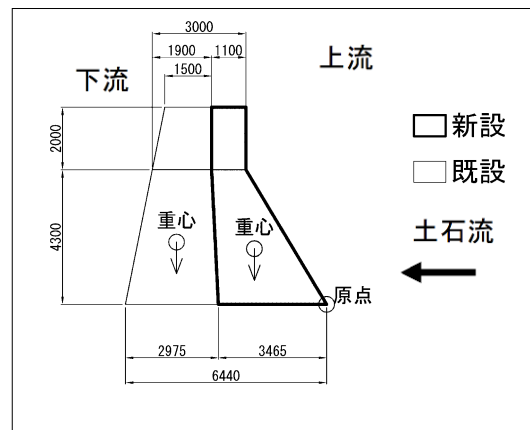
- ・ 増しコンクリートの単位体積重量 : 22.56 kN/m^3
- ・ 既設堰堤のコンクリートの γ : 20.0 kN/m^3
- ・ 流域面積 $A=2.00\text{km}^2$ ・ 有効降雨強度 70.3mm/h ・ 現溪床勾配 $i=1/9.90$
- ・ 土石流ピーク流量 $Q=20.0\text{m}^3/\text{s}$ ・ 最大礫径 80cm ・ 地盤の許容支持力度 250kN/m^2

一般的な砂防堰堤の安定計算のモデル(Aモデル)と増しコンクリートの安定計算のモデル(Bモデル)を下記に示す。

Aモデルは、一つの単位体積重量のコンクリートで一体となった構造物の安定計算モデルであり、Bモデルは異なる単位体積重量のコンクリートで一体となった構造物の安定計算モデルである。



Aモデル

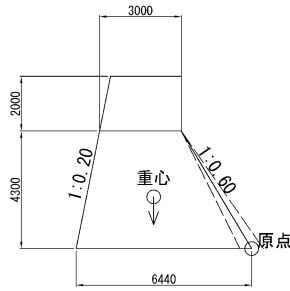


Bモデル

(2) Bモデルの算出手順

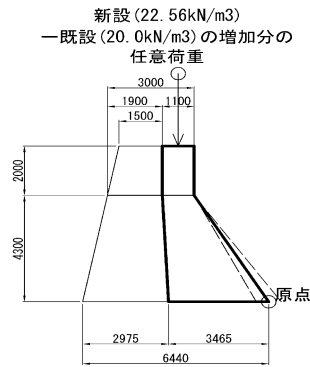
① Aモデルの検討

既設堰堤と同じ単位体積重量 (20.0kN/m^3) のコンクリートを用いて施工した構造物の安定計算を行う。



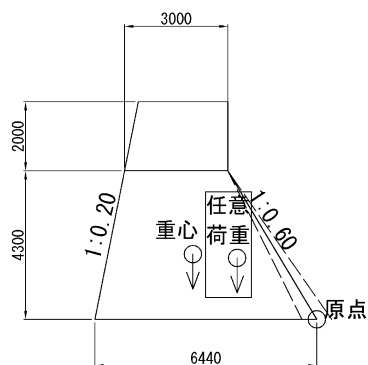
② Bモデルの検討。

増しコンクリート施工部について、増しコンクリートの単位体積重量 (22.56kN/m^3) と既設堰堤の単位体積重量 (20.0kN/m^3) の増加分を算出し、任意荷重とする。



③ 安定性の確認

①のAモデルに②で求めた任意荷重を増しコンクリート施工部の重心位置に載荷し、堰堤の安定性の3項目(転倒、滑動、支持力)について確認を行う。



④ ①～③を繰り返し、耐荷能力を満足し、増しコンクリートの体積が小さくなり、最も経済的となる形状を決定する。

耐荷能力を満足し、最も経済的となる形状を決定するため、堰堤の上流側勾配を変更し、安定計算を繰り返す。

4-2-3. 補強改築工法の検討

補強改築工法として、上流側及び下流側に増しコンクリートを補強（4-2-2の安定計算モデルで安定性を確認）した2案と、新設堰堤を施工した場合の計3案について比較検討した結果、最も経済的かつ、

- ・ 既設石積堰堤を利用することにより周辺の自然環境と調和し、
- ・ 建設廃材の発生を削減できる

既設石積堰堤の上流側に増しコンクリートを施工する工法を最適工法として提案した。（表3参照）

表3. 補強改築工法比較検討表

比較案	上流側増しコンクリート補強案	下流側増しコンクリート補強案	新設案
概要	既設石積堰堤の上流側に増しコンクリートを施工	既設石積堰堤の下流側に増しコンクリートを施工	既設石積堰堤を取り壊して新設堰堤を施工
構造図			
4-2-2による安定計算モデル	Bモデル	Bモデル	Aモデル
概算工事費 直接工事費 (千円)	本堤工 11,669千円 側壁工 2,367千円 水叩き工 883千円 水替え費 1,960千円 土工 5,320千円 合計 22,199千円	本堤工 18,617千円 垂直壁工 1,669千円 側壁工 2,367千円 水叩き工 883千円 水替え費 1,555千円 土工 2,978千円 合計 28,069千円	本堤工 24,455千円 側壁工 2,367千円 水叩き工 883千円 水替え費 1,960千円 土工 6,636千円 コンクリート取壊し 6,530千円 合計 42,831千円
比率	1.00	◎ 1.26	○ 1.93
景観性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 堰堤の全容が視認される下流側に既設石積堰堤が残ることから、周辺の自然環境と調和した景観を残すことができる。 ・ 歴史的土木建造物である既設石積堰堤を残存することができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 堰堤の全容が視認される下流側がコンクリート構造物となることから、周辺の自然環境と調和せず景観が劣る。 ・ 歴史的土木建造物である既設石積堰堤を残存することができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ コンクリート構造物となることから周辺の自然環境と調和せず景観が劣る。 ・ 歴史的土木建造物である既設石積堰堤を残存することができない。
機能性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 上流側に新設のコンクリートを施工することにより、既設石積堰堤への土石流の直接的な衝撃を防ぐことができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既設石積堰堤に直接土石流の衝撃がかかることにより、表面の積石の欠落等の損傷が発生する危険性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 土石流の衝撃に対して十分対応できる。
施工性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既設石積堰堤を利用することにより、建設廃材の発生を削減できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既設石積堰堤を利用することにより、建設廃材の発生を削減できる。 ・ 下流に増し厚をすることで、下流側の水叩き部及び垂直壁の改築が必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既設の堰堤を取り壊すことにより建設廃材が発生する。
総合判定	◎	○	△

4-3. 課題3 (既設堰堤と補強コンクリートの一体性の確保)

4-3-1. 既設堰堤と増しコンクリートの接続部の施工

今回、既設堰堤を増しコンクリートで補強して施工する場合、既設堰堤と増しコンクリートの接続部の付着強度が構造物の一体性、安定性に大きく影響することから、接続部の付着を高める以下の3つの施工方法を提案した。(図6参照)

- (1) 差し鉄筋 (D25) により既設堰堤と増しコンクリートの連結

既設堰堤本体のボーリング調査により既設堰堤のコンクリート強度及び健全部と脆弱部の互層状況から既設堰堤の性状を把握し、その結果を基に差し鉄筋と既設堰堤コンクリートとの付着力、さらに接続部に作用するせん断に対する応力計算を行い、図6のとおり鉄筋の径、長さを決定した。

- (2) 接続面のチッピング処理

既設堰堤と増しコンクリートとの接続表面をチッピング処理する。

- (3) 接続面の不陸整正

既設堰堤の接続表面を高圧水で十分に洗浄し、モルタル (こて仕上げ3cm) を吹き付け、不陸を整正する。

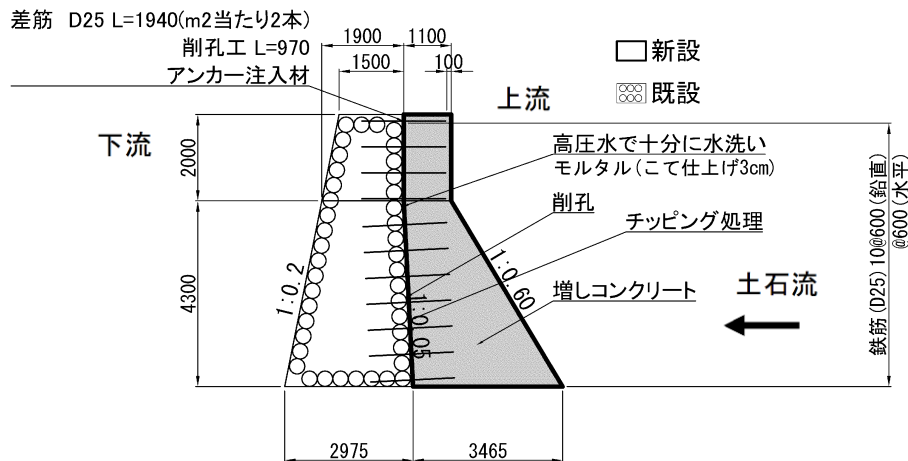


図6. 石積堰堤構造図 (鉄筋入り)

5. おわりに

平成30年7月豪雨に伴い、古い石積砂防堰堤が被災する事例が発生したことを受けて、石積形式の堰堤の調査、改築・補強等の早急な対策が必要となり、静岡県でも既設石積堰堤の点検作業を進め、被災のおそれが高い施設について優先的な対策が実施されることとなった。しかし、県ではこれまでに石積堰堤の改築事例がほとんどないことから、本業務を進めるにあたっては、広島県での改築事例を踏まえ県砂防課と協議を重ねて設計を進めた。

その結果、ボーリング調査等の結果のみに頼ることなく、建設当時の施工状況について記述された文献を紐解くことによって既設堰堤の構造、形状等を正確に把握することができた。さらに、単位体積重量の異なるコンクリートで補強した構造物の安定計算手順を提案して工法比較検討を行った結果、既設堰堤の機能や性能を長期的に維持、確保できる経済的かつ効果的な改築工法を提案することができた。

砂防関係施設は地域住民の生命と財産を守る重要な社会資本であるが、県内には老朽化等により性能が低下した施設が多数存在している。特に重要な施設については豪雨被害を受ける前に優先的に対策を行うなどの配慮が肝要である。

さらに、将来の劣化予測に役立つ貴重な情報となる点検データ結果や改築の履歴などを記録・保存する施設情報データベースシステムの構築・管理が必要であると考えます。

最後になりましたが、今回論文作成にあたり、県砂防課、下田土木事務所様をはじめ多くの方々からお力添えをいただきましたこと、心より感謝申し上げます。

— 参考文献 —

(※1) 「砂防設計の手引き」平成29年9月改訂 静岡県 交通基盤部 河川砂防局 砂防課

(※2) 「練石積砂防堰堤(粗石コンクリート構造)の特性と重点的な管理・補修施設の選定の考え方」平成22年度砂防学会発表論文 著者 (財)砂防フロンティア整備推進機構 尾関信幸 森俊勇 星野和彦