

大源太川第1号砂防堰堤の安定性照査および補強対策基本設計

国土交通省北陸地方整備局湯沢砂防事務所 森下 淳（現、北陸地方整備局河川部）

○渡邊正一（現、信濃川下流河川事務所）

日本工営株式会社 村松広久、大橋広治、中野雅章、中村ゆかり

株式会社キタック 涌井正樹、江川千洋、島 健

1. はじめに

大源太川第1号砂防堰堤は、信濃川水系魚野川の支川大源太川の「四十八滝」と称する堅硬な狭窄部上流端に昭和14年に完成した練石積粗石コンクリート構造のアーチ式砂防堰堤で、現存している直轄砂防堰堤の中で日本最初期のアーチ式砂防堰堤である（図-1）。



図-1 大源太川第1号砂防堰堤の位置図

周辺一帯は「大源太キャニオン」と呼ばれ、年間約4万人の観光客が訪れる観光拠点となっている。また、平成15年に文化庁の登録有形文化財に、更に、平成23年には公益社団法人「土木学会」の選奨土木遺産に選定されるなど歴史的・文化的価値の高い砂防堰堤である。

完成後80年近くが経ち、漏水等が目立つようになったため、平成22年に老朽化に関する詳細調査を実施し、それを踏まえ補強対策設計を行い、平成26年度から補強対策工事に着手している。本稿では、これら検討の中の主に三次元FEM解析による現堰堤の安定性照査および補強対策基本設計について報告する。

2. 現堰堤の安定性照査

平成22年に実施した老朽化詳細調査では、堰堤下流面の劣化状況の観察および堰堤天端からの垂直ボーリングに加え、ボアホールスキャナーによりボーリング孔内の観察を行った。また、ボーリングコアを試料とした室内試験結果から得られた物性値を用いて、現堰堤の安定性照査および補強対策設計を行った。それらの関係を図-2に示す。

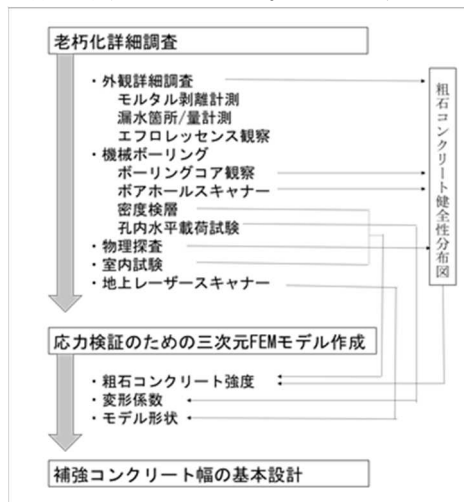


図-2 老朽化調査から基本設計までの検討フロー

2.1 応力照査モデル

大源太川第1号砂防堰堤は堤高15m以上のアーチ式であることから、河川砂防技術基準(案)設計編におけるアーチ式ダム設計に準じ、三次元FEMモデルによる応力解析を行うこととした。モデルは、既設堰堤および周辺岩盤を三次元でモデル化し、既設堰堤は、積石と粗石コンクリートで物性を分けることとした。安定性照査では、積石控え下部への粗石コンクリートの十分な充填、一体化の困難な状況を踏まえ、境界にはジョイント要素を設け、界面の直角方向に圧縮力が作用する場合には直応力とせん断応力共に伝達するが、引張力が生じる場合には直応力およびせん断応力の伝達を切断するような界面モデルとした（図-3）。

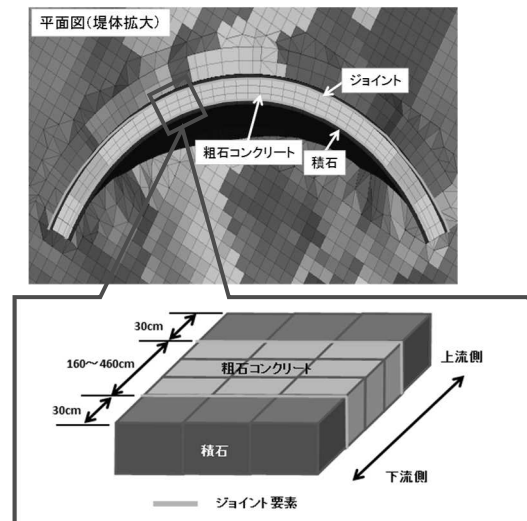


図-3 現堰堤の三次元モデルイメージ

2.2 粗石コンクリート強度の推定

圧縮強度に関しては、土木研究所「砂防ソイルセメントの材料特性に関する調査」によれば、一般的に単位体積重量は強度に比例する傾向があるとされている。そこで、密度検層から推定した単位体積重量と室内試験で得られた粗石コンクリートの強度との関係を整理したところ、単位体積重量と室内強度試験で得られた強度の間に概ねの相関が認められたことから、単位体積重量と粗石コンクリート強度の相関式を作成し、単位体積重量から推定強度の設定を行った。

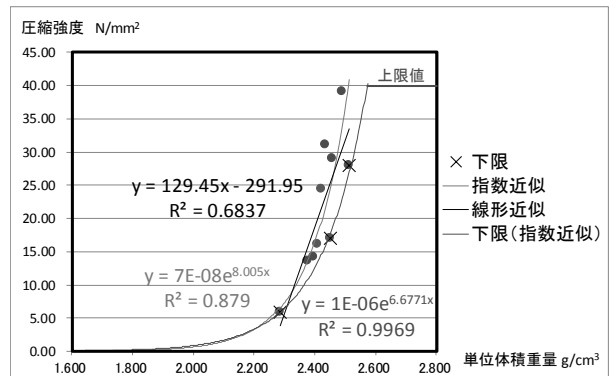


図-4 単位体積重量と圧縮強度の関係

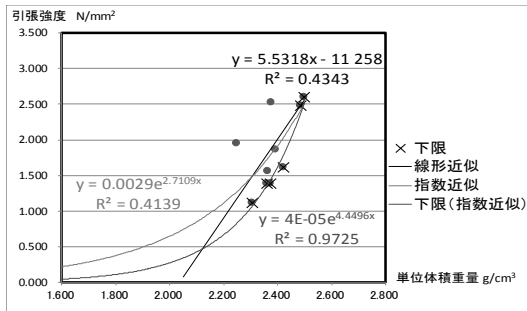


図-5 単位体積重量と引張強度の関係

2.3 照査荷重および現堰堤の応力検証結果

現堰堤の安定性検討に用いる照査荷重については、河川砂防技術基準(案)のアーチ式コンクリートダム設計で定められている静水圧、堆砂圧、揚圧力、地震時慣性力、地震時動水圧、温度荷重を考慮した。平常時および洪水時における照査結果について表-1, 2 に示す。引張応力に関しては、平常時、洪水時共に粗石コンクリートおよび間知石で、また、圧縮応力に関しては、洪水時の粗石コンクリートで許容応力を超過する応力が発生する結果となった。

表-1 現堰堤の引張応力照査結果

現況堤体	①発生応力 (N/mm²)	②許容 応力度	③評価
平常時	積石	0.266	NG
(地震時)	粗石コンクリート	0.587	NG
洪水時	積石	0.239	NG
	粗石コンクリート	0.539	NG

※③評価は、①≧②ならばOK、①<②ならばNG

表-2 現堰堤の圧縮応力照査結果

現況堤体	①発生応力 (N/mm²)	②許容 応力度	③評価
平常時	積石	-0.424	OK
(地震時)	粗石コンクリート	-0.967	OK
洪水時	積石	-0.391	OK
	粗石コンクリート	-0.898	OK

※③評価は、①≧②ならばOK、①<②ならばNG

3. 補強対策工の基本設計

3.1 工法の選定

大源太川第1号砂防堰堤の強度不足に対して、補強対策工法の候補として、上流側或いは下流側への腹付コンクリート設置とアンカーによる補強が考えられた(表-3)。しかし、アンカーによる補強については、アンカーによる恒常的な応力が堰堤に作用するため、また、下流側への腹付けについては、文化財及び観光資源として重要な外観に大きな変更が生じるため、上流側への腹付コンクリート案を補強対策工法として採用した。なお、同案は上流面からの浸透水を遮断し、漏水による劣化の進行を止めるとともに、上流面の引張力を負担し耐荷性を確保する点においても有利な工法である。

表-3 大源太川第1号砂防堰堤の補強対策方法の評価

対策案	問題点・課題	評価
堤体 上流側 腹付け	・既設堤体との一体性の確保が課題となる。 ・仮締切り規模を極力小さくし環境・利用への影響の最小化を図る。	対応可
堤体 アンカー 補強	・アンカー受圧部での既設堤体強度が不足する。 ・プレストレス力の堤体伝達に不確実性がある。 ・アンカーヘッドを水通し天端内に格納する必要があるが、再緊張等のメンテナンスが必要で維持管理が大掛かりとなる。	適用困難
堤体 下流側 腹付け	・歴史的建造物(登録有形文化財、土木遺産)の外観保持が不可能となる。	適用不可

3.2 補強基本設計の応力検証モデル

補強対策を検討する応力検証モデルは、現堰堤の応力検証を行った三次元 FEM モデルを基本としたが、現堰堤と腹付コンクリートの接合部にジョイント要素を設け、腹付コンクリートの変形量>現堰堤の変形量となった場合には、現堰堤と腹付コンクリートは密着していることから、現堰堤と腹付コンクリート間で応力は伝達される。一方、腹付コンクリートの変形量<現堰堤の変形量となった場合には、現堰堤と腹付コンクリートは分離し、それぞれの応力は他方に伝達されない条件とした(図-6)。

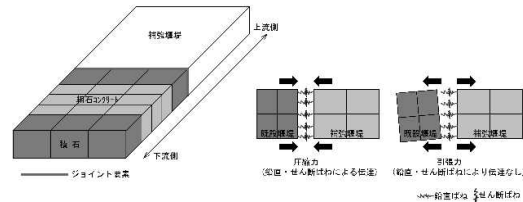


図-6 腹付コンクリートの応力検証モデルイメージ

3.3 腹付コンクリート厚の検討

現堰堤に対して、上流側に接して設ける腹付コンクリートの厚さを検討するため、2m, 3m, 4m のケースについて堰堤全体の応力照査を実施した。応力照査は現堰堤の解析結果から全体的に発生応力が大きくなる平常時(地震時)で行った。その結果、表-4 に示すとおり、腹付コンクリート厚を基本的に 3m とすることで既設堰堤および腹付コンクリートの発生応力が許容応力内となる結果を得た。補強対策の基本設計イメージを図-7 に示す。

表-4 腹付厚 3m における応力検証結果

平常時（地震時）		①発生応力 (N/mm ²)	②許容 応力度	③照査値 (①/②)	④評価※3
引張 力 ※1	積石	0.064	0.18	0.36	≦1.0 OK
	粗石コンクリート	0.083		0.46	≦1.0 OK
	腹付コンクリート	0.605※4		0.98	≦1.0 OK
圧縮 力 ※2	粗石コンクリート	-0.227	-1.03	0.22	≦1.0 OK
	粗石コンクリート	-0.300		0.29	≦1.0 OK
	腹付コンクリート	-1.415		0.23	≦1.0 OK

※1 腹付コンクリートは設計基準強度 (24N/mm²) の 1/10 (引張強度) に対する許容応力度

※2 腹付コンクリートは設計基準強度 (24N/mm²) に対する許容応力度

※3 ④評価は、③≦1ならばOK、③>1ならばNG

※4 腹付コンクリートの引張応力は、着床部1要素分の高さを平均応力として評価

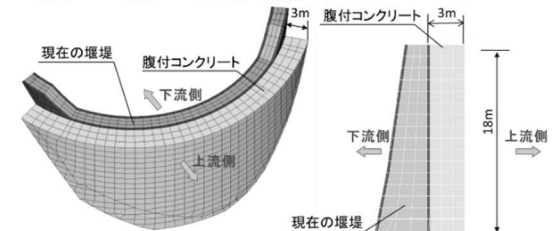


図-7 補強対策のイメージ

4. おわりに

大源太川第1号砂防堰堤は、信濃川下流水系砂防における根幹となる砂防堰堤の一つであるとともに、歴史的・文化的価値が高く、観光資源としても重要な存在であることから、適切に維持管理を行っていく必要がある。

本検討では、粗石コンクリートの単位体積重量と室内試験で得た強度に着目し、両者の相関式から現堰堤の安定性照査および補強対策の基本設計において必要となる現堰堤の全体的な強度の設定を行った。この方法については、同様な構造を持つ砂防堰堤にも適用できるものと考えている。また、老朽化に関する詳細調査から補強対策設計までの一連の流れを整理した。これは補強対策設計を視野に入れた効率的な調査内容の検討に際して参考となるのではと考える。

おわりに終始暖かいご指導、ご助言をいただきました、岩手大学農学部、井良沢道也教授に謝意を表する次第です。