

砂防堰堤のグラウンドアンカーや鋼材による補強効果に関する 3次元 FEM 解析

日本工営株式会社 ○中村ゆかり, 伊藤隆郭, 長山孝彦, 三池力, 中野雅章
 京都大学名誉教授 水山高久 京都大学防災研究所 藤田正治
 (一財) 砂防・地すべり技術センター 池田暁彦

1. はじめに

砂防堰堤は長期的に土砂災害防止・軽減機能を発揮することが求められており, その長寿命化は近年の重要な課題である. 今後限られた予算の中で多数の堰堤の補強・補修を実施するには, 事業の低コスト化とそれを可能にする設計法や工法の開発が急務である. 古い堰堤の安定性評価においては, 現行設計基準を満たすか, 実際上の安定性が保証されることが必要となる. この要件は補強等の要否や工法選定に係わり堰堤の長寿命化対策の高コスト化につながる要因の1つであるため, より合理的な評価が求められている. 著者らはこれまでに既設堰堤の安定性評価において, 3次元 FEM 解析を用いて堤体岩着部の拘束条件の影響について検討を行ってきた¹⁾.

本稿では, 砂防堰堤の長寿命化対策技術の確立を目指すにあたり, 腹付け補強の適用上の課題となる堆砂除去(上流面)や外観保持(下流面)を解決できる可能性のある, 天端からのグラウンドアンカー挿入や鋼材補強(堤体への鉄筋挿入)による堰堤の変形や応力状態への影響を検討した. 既検討の既設堰堤の安定性評価と同様に基礎地盤や側方岩盤の拘束条件の影響も考慮するために3次元モデルによる FEM 解析を行った²⁾.

2. 3次元でのモデル化および解析条件

解析モデルを図1に示す. ハイダムを想定して堤高 23.0m の台形断面の堰堤とした. 解析条件および解析物性値を表1に示す. ひび割れ発生の目安となる引張強度は圧縮強度の 1/10 とした. 荷重の組合せは, 「河川砂防技術基準(案)同解説 設計編」に準拠し, 堰堤の高さと型式から洪水時荷重として考慮されている「静水圧(洪水時水深), 堆砂圧(満砂), 揚圧力」とした.

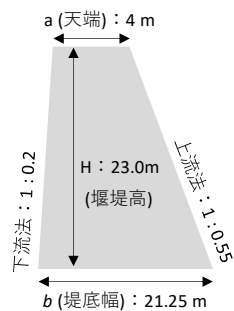


図1 対象堰堤形状

表1 解析条件および解析物性値

水圧分布		堆砂圧分布		揚圧力分布	
静水圧分布 越流水深6.8m		クーロン土圧(満砂) 土圧係数 Ce=0.41		$\mu = 0.36$	
材料	単位体積重量 (kN/m ³)	弾性係数 (kN/mm ²)	ポアソン比	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 ^{*1} (N/mm ²)
コンクリート	24	21.05	0.2	7.644	0.764
鋼材	77	200	0.3	-	-

※1 圧縮強度の1/10 (ひび割れ発生の目安)

材料	単位体積重量 ^{*2} (kN/m ³)	弾性係数 (kN/mm ²)	ポアソン比	粘着力 (N/mm ²)	せん断抵抗角 (度)
堆砂	8	1.92	0.35	0	25

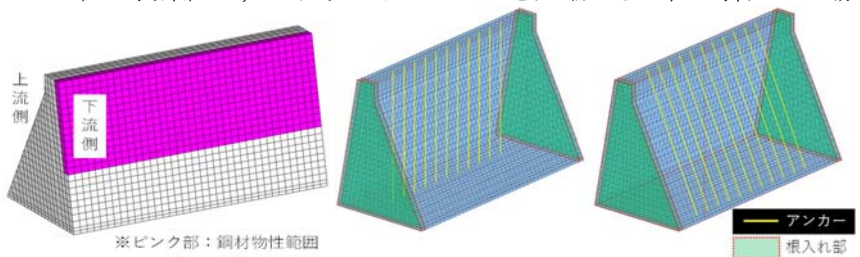
※2 水中重量

表2 拘束条件

位置	Case1	Case2
①底面	固定 ^{*1}	クーロン摩擦を考慮 (C=0, $\phi=35^\circ$)
②側面	固定	地盤ばね 2,105MN/m ³
③根入れ側方部	—	地盤ばね 2,105MN/m ³
根入れ深さ	—	1m

※1 面直方向に引張力発生後は法線・せん断方向共に自由

各 Case の拘束条件を表2, 解析モデルを図2に示す. Case1は, 堤体下流面補強の影響を検討するために, 既設堰堤の結果において下流面上半分で引張応力が卓越していた拘束条件で, その引張応力範囲の一部に相当量の鉄筋を挿入した場合を想定して鋼板(挿入全面を鋼材物性)としてモデルとした. Case2では, グラウンドアンカー挿入による影響を検討するために, 既設堰堤の結果において天端変位が卓越していた拘束条件(根入れ部は堅固な岩盤(立山砂防管内の堰堤の地層段丘砂礫層の10倍相当の剛性=地盤ばね 2,150 MN/m³)で拘束)で, グラウンドアンカーを天端から垂直に挿入した場合(Case2-1)と上流法に並行に挿入した場合(Case2-2)の2パターンとした. アンカー効果は緊張力を頂部からアンカー軸方向に作用させることにより考慮した. なお, 解析にはセンチュリテクノ社の ISCEF を用いた.



(a) Case1 (b) Case2-1 (c) Case2-2
 図2 解析モデル

3. 鋼材補強に対する検討結果

Case1では, 下流面の堤体の一部を鋼材で補強した場合について検討を行った. 解析結果の一部を図3に示す.

比較として鋼材補強なしのケースも図 4 に示す。

鋼材補強を行った場合、堤体剛性が高くなるため上流面中央部に発生していた引張応力は一部解消されていることが分かる。しかし、上流面側方の岩着部の応力は 0.74MPa と引張強度相当となっており大幅な低減は見られなかった。また、変形については堤体全体ではなく鋼材の設置標高のみで変形量が小さくなっていた。下流面の補強部では、下部中央と上部端が引張、上部中央が圧縮となっている。これは両端固定梁のようにになっているため補強部自体が下にたわんでいるためと考えられる。本結果から下流面の鋼材補強は上流面側方の発生応力や堰堤全体の変形の抑制効果は低い可能性があると言える。

4. グラウンドアンカーによる補強に対する検討結果

Case2 では、グラウンドアンカーによる補強を行った場合について検討を行った。解析結果の一部を図 5、図 6 に示す。比較としてグラウンドアンカーなしのケースも図 7 に示す。

グラウンドアンカーの挿入を行った場合、堤頂部の変位量はほぼ変わらないが、上流面中標位と下流面側方の引張応力範囲が縮小し、最大値も減少した。Case2-2 では上流面から内部への引張応力範囲も縮小し、内部の引張応力分布が若干下に移行した。上流側底面の一部で 0.62MPa の引張応力が発生しているが、これはコンクリートとアンカーを一体モデルとしているためであり、実際には発生しないものと考えられる。圧縮応力についてはアンカーの緊張力により堤体が地盤に押さえつけられるため上流面下端で若干増加したが、下流面下端では低減した。本結果から同じ本数のグラウンドアンカーを挿入するとした場合には、引張応力の卓越箇所付近で、主応力方向に並行して挿入する方が発生応力の抑制効果があると言える。

5. まとめ

3次元モデルを用いて基礎地盤や側方岩盤による拘束条件を考慮しつつ、グラウンドアンカーや鋼材補強による堤体への影響について検討を行った。一部補強条件のモデルへの反映方法に課題はあるものの、腹付け以外の補強工法についても3次元FEM解析による影響評価が行えることを示した。本検討のような手法を用いて供用条件下での堰堤の弱部を把握し、その状態に応じて補強位置や方法を選択することは、より合理的な補強を可能とし、砂防堰堤の長寿命化対策における低コスト化につながるものと考えられる。

謝辞：本研究は、河川砂防技術研究開発公募研究・地域課題（代表：藤田正治、「既設砂防堰堤の長寿命化に関する検討」、H29～H31年度）により推進した成果の一部と拡張成果である。記して感謝致します。

参考文献：1) 藤田正治ら：砂防堰堤の拘束条件および堰堤厚の影響に関する3次元FEM解析,2020年砂防学会研究発表会概要集,p.109-110,2019.4 2) 渡邊正一ら：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,2018年砂防学会研究発表会概要集,p.101-102,2018.4

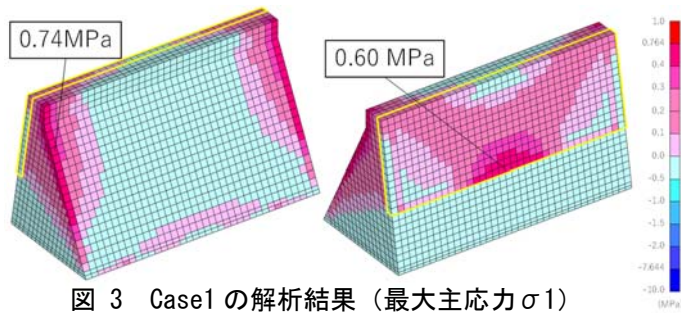


図 3 Case1 の解析結果（最大主応力 σ_1 ）

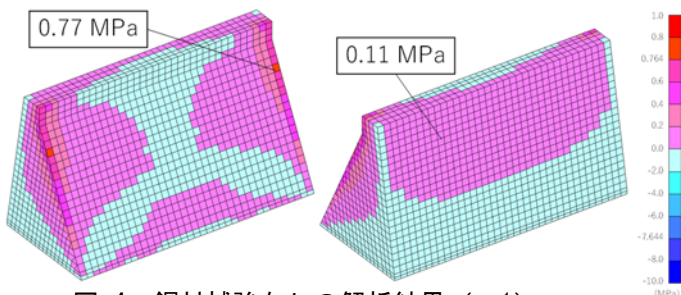


図 4 鋼材補強なしの解析結果（ σ_1 ）

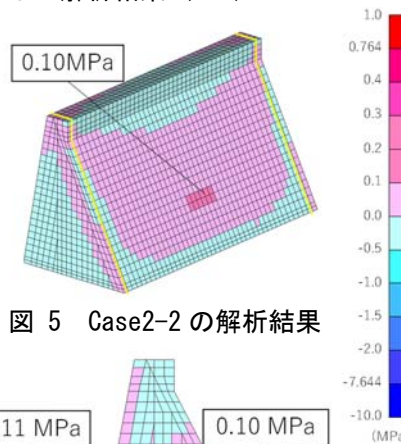
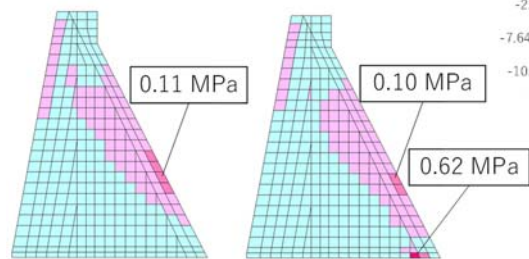


図 5 Case2-2 の解析結果



(a) Case2-1 (b) Case2-2
図 6 中央断面の解析結果

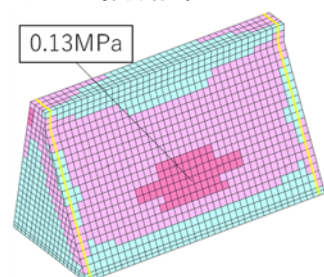


図 7 アンカーなしの解析結果