

ガビオンマットレスを用いたため池越水保護工の構造設計試案

Structural design of overtopping protection using gabion mattresses

小林秀一*・小林龍平*・板垣知也*・高橋直哉**・小林千佳子**・○森井俊廣***

KOBAYASHI S., KOBAYASHI R., ITAGAKI T., TAKAHASHI N., KOBAYASHI C. and MORII T.

1. 越水保護工による豪雨耐性の強化

越水保護工の導入により越水流れによる斜面侵食と洗掘を確実に防ぐことができれば、ため池堤体の安全性を確保しながら洪水流を流下させることができ可能になる。ダム規模の堤体にあっては、越水保護工を小規模な補助洪水吐として新設することにより、短期・経済的に、現行の洪水吐能力を上回る洪水流量の増加分を流下させる機能を追加できる。いずれにしろ、越水保護工の導入により、土質堤体の豪雨耐性を強化しうる有効なハード対策が実現する¹⁾。これまで、ガビオンマットレス（角形じやかご）を用いたため池堤体の越水保護工を提案し開発を進めてきた^{2,3)}。実規模越水量の水路実験等に基づく設計解析および試験施工を通して、おおむね実装化のレベルに達したと判断し、ここに構造設計の技術試案を提示する。

2. ガビオン越水保護工の越水時の構造安定性

2.1 堤体土の侵食防止

越水時における土質堤体の破壊は流水による土の侵食をトリガーとする。当該越水保護工は、ガビオンマットレスの底面に透水性の不織布マットを敷設し、これにより堤体土に接する流れの速度を抑え土に作用するせん断応力を小さくして侵食を防止するものである⁴⁾。ガビオンマットレスは、この不織布マットが常に堤体表面に圧着するよう、いわば重しの役割を担うことになり、平常時および越水時に滑動による構造不安定化が起きないようにしなければならない。

2.2 越水流れの水理

ガビオンマットレスの上部を流れるオーバーフロー（流れに沿って流量が増減する不等流；OFと略称）とガビオンマットレスの内を流れるスルーフロー（非ダルシー浸透流；TFと略称）は、互いに流量（運動量）を交換しながら流下していく。前者に対して数値積分法、後者に有限要素法を用いた連結水理解析⁵⁾によると、図1に示すように、この流量の複雑な出し入れは堤頂下流域から斜面頂部近傍に限られており、堤頂の上流域では常流の漸変不等流のOFと動水勾配0.01程度の被王浸透流のTFが、また下流斜面に沿って射流不等流のOFと斜面傾斜角の正弦を動水勾配とするTFといったように、シンプルな水理挙動で記述できる。このようにガビオンマットレス内の流れを規定する動水勾配が分かれれば、石詰めされた粗粒多孔質体の水頭損失特性から容易にTF流量を算定できる。さらにこれを越水量から差し引くとOF流量が分かり、それより漸変不等流としてOFの流速を推定することができる。このように非常にシンプルな水理挙動で越水流れをモデル化すると、それなりのプログラミング技術が必要となる連結水理解析に頼らなくても、電卓あるいは表計算ソフトを用いて、越水流れの水理とそこで生じる浸透力、浮力およびガビオンマットレスの天端面に作用する表面掃流力を容易に算定できるようになる。

透流のTFが、また下流斜面に沿って射流不等流のOFと斜面傾斜角の正弦を動水勾配とするTFといったように、シンプルな水理挙動で記述できる。このようにガビオンマットレス内の流れを規定する動水勾配が分かれれば、石詰めされた粗粒多孔質体の水頭損失特性から容易にTF流量を算定できる。さらにこれを越水量から差し引くとOF流量が分かり、それより漸変不等流としてOFの流速を推定することができる。このように非常にシンプルな水理挙動で越水流れをモデル化すると、それなりのプログラミング技術が必要となる連結水理解析に頼らなくても、電卓あるいは表計算ソフトを用いて、越水流れの水理とそこで生じる浸透力、浮力およびガビオンマットレスの天端面に作用する表面掃流力を容易に算定できるようになる。

2.3 ガビオン越水保護工の滑動に対する安全性を担保するための構造設計

図2に、ガビオン越水保護工に作用する力を模式的に示す。これらの力が釣り合うようにして滑動に対する

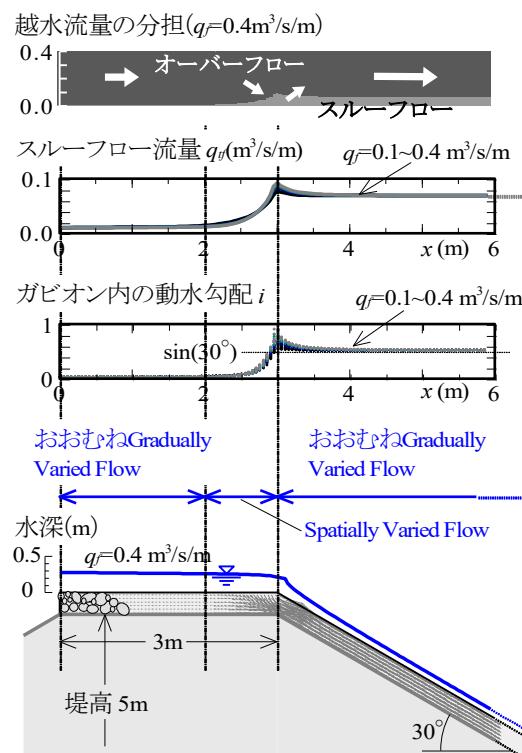


図1 越水流れの水理挙動と単純化

*(株)水倉組 Mizukura-gumi Co. Ltd., **東網工業(株) Tomo-kogyo Co. Ltd., ***新潟大学名誉教授 Prof. Emeritus, Niigata University

キーワード：構造物の設計手法、ため池堤体、越水保護工、ガビオンマットレス、越水の水理、石材粒子の代表粒径

る安全性を確保できるようにすれば、構造断面と寸法を決定できる。といつても、ガビオンマットレスは堤頂から斜面にかけて全面で平張りすることは決まっているため、断面構造が変わる余地はない。このことから、構造設計の要点は、図2の力が釣り合うよう、斜面先に設置するガビオンアンカー工の長さを決定することに帰着される。このアンカー工は、斜面部を下ってくる越水流れのエネルギーを減勢するためのエプロン工の役割も兼ねる。前述の簡単な漸変不等流の計算により斜面上のOFのフルード数(図2参照)と水深を算定すれば、跳水型減勢工(副ダム型)の設計指針^⑨にしたがってエプロン工の長さを算定できる。これを上記のアンカー工としての長さと比較し、大きい方をもってアンカー工・減勢工の構造寸法とする。

3. ガビオン越水保護工の構造試算

前述の単純化された越水水理にもとづくと、ガビオン保護工の構造設計に必要な情報は、①想定される越水流量、②対象となる堤体の高さ・堤頂幅・斜面傾斜角、および③ガビオンに用いる石材粒子の代表粒径(区分粒径の平均値)となる。図3にその試算結果をまとめる。滑動抵抗力の算定に必要なせん断摩擦係数は0.6とした^⑦。OFの不等流計算に必要な粗度係数は定評のあるManning・Strickler式によった。越水流量によって、堤高が小さく、斜面傾斜が緩くなると、越水流量に応じてアンカー工・減勢工の構造寸法に違いがでてくる。1.2m長×0.8m幅×0.3m厚のガビオンマットレスを重機で両端固定梁状に吊り上げて測定した弾性係数は3~6MN/m²であり、これにより試算すると、高さ7mの大きな堤体ではガビオンマットレスに座屈が起きる可能性がある。厚さを0.5mに変更するなどの対処が必要となる。

4.まとめ

透水性不織布マットを導入すれば、越水による堤体土の侵食を確実に防止できることをすでに明らかにしている。今回、単純化した越水の水理挙動に基づき、簡便にガビオン越水保護工の構造設計を行うことが可能となり、ガビオン保護工の技術設計はほぼ実装レベルで確立できたと考える。今後、多面的機能を有し、農業生産インフラとして貴重な役割を担うため池に対し、経費が低廉で工期が短いガビオン保護工が効果的な保全技術として普及していくことを期したい。本研究の成果を取りまとめるにあたり、(一社)北陸地域づくり協会所管の研究助成事業よりご支援をいただいた。ここに記してお礼申し上げるだいたいです。

参考文献

- 森井俊廣他：ため池堤体への越水保護工の導入と補助洪水吐機能の創出、農業農村工学会誌、92(2), pp.7-10, 2024.
- 小林秀一他：スマートガビオンを用いたため池堤体の越水保護工の設計・施工技術試案、第73回農業農村工学会大会講演会講演要旨集, pp.71-72, 2024.
- 小林秀一他：スマートガビオンを用いたため池堤体の越水保護工の開発、農業農村工学会誌、92(11), pp.25-28, 2024.
- 小林龍平他：越水破壊のメカニックスを考慮したため池堤体の越水保護工、第73回農業農村工学会大会講演会講演要旨集, pp.73-74, 2024.
- 森井俊廣他：ガビオンマットレスを用いた越水保護工によるため池堤体の侵食抑制と越水時の表層滑動に対する構造安定性、農業農村工学会論文集, No.319(92-2), pp.1_213-1_221, 2024.
- 農林水産省農村振興局整備部：土地改良事業設計指針「ため池整備」、農業農村工学会, pp.65-90, 2015.
- 小林龍平他：スマートガビオンを用いたため池堤体の越水保護工の構造安定性、第73回農業農村工学会大会講演会講演要旨集, pp.75-76, 2024.

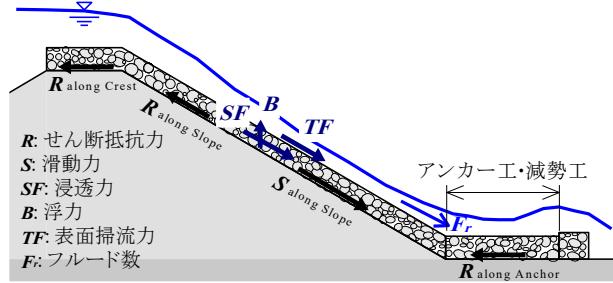


図2 ガビオン越水保護工に作用する力、ならびにアンカー工・減勢工の配置

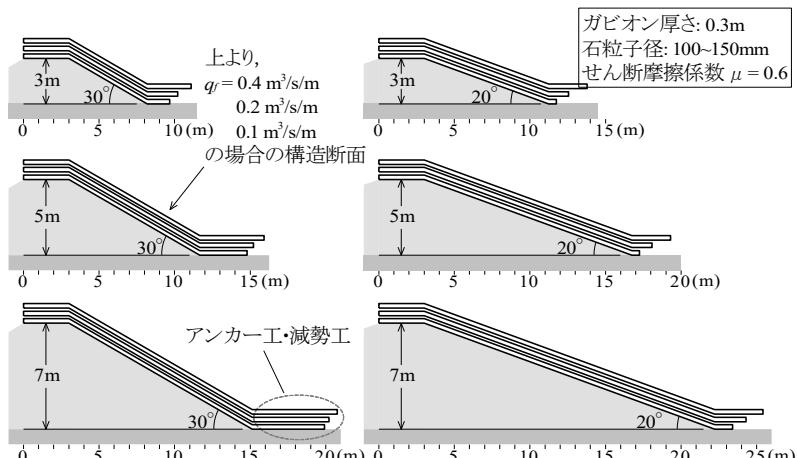


図3 ガビオン越水保護工の構造設計試算