

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 Structural stability of overtopping protection of embankment dams using gabion mattresses

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

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

1. はじめに

ガビオンマットレス（角形じゃかご）を用いたため池堤体の越水保護工（図1）を提案し開発を進めている¹⁻³。鉄線かご枠に石詰めした単純な構造体であるが、越水流れをうまくコントロールできるなどの有能さを強調して“スマートガビオン”と呼称してきた。ガビオンマットレスを土質堤体における効果的な越水保護工として設計し実装化していくには、確実な侵食抑制機能を発揮する⁴とともに、それ自体は越水時に表層滑動に対して構造安定性を確保しうることが明らかになる必要がある。本文では、後者について安定性を照査するとともに、それを確保するうえで必要となる越水保護工の標準的な構造仕様について設計検討を行う。

2. 表層滑動に対する構造安定性

2.1 滑動に対する安全性の照査

図2(a)に、連結水理解析⁵により得られた、想定される最大の単位越水量 $q=0.4\text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ における越水流れを示す。堤頂部に入ってきた越水は、ガビオン表面における局所的な流量の出し入れに伴って波打つように流れ、やがて勢いをつけ斜面部に飛び込むようにして流下していく。その結果、ガビオンに対して浮力と浸透力、ならびにガビオンの天端表面に沿って掃流力が作用し、下方・下流方向に滑動するリスクが高まる。構造体としての安定性を、ガビオン断面の上下流端の鉛直面を水平変位固定境界に設定したFEM弾性応力変形解析により照査すると、図2(b)がえられる。すべり力 S は、ガビオンの底面に接する有限要素内で生じたせん断応力より、すべりに対する抵抗力 R は、要素内の直応力とせん断応力の堤体表面に直交する成分とを合算して垂直応力とし、これにガビオンと堤体土との間のせん断摩擦係数 μ を乗じて算定した。

前述の堤頂部における波打つような流れによりブリンク直前に局所的に不安定な箇所が現れるが、斜面部で掃流による表面力がガビオンを押さえつけ R を大きくする方向に働くため、 R/S は回復し、全体として滑動に対する安定性は十分に確保されるようになる。つまり、想定される最大の単位越水量でも表層滑動が起きるリスクはなく、ガビオンマットレスは構造体として健全に機能すると判断できる。

2.2 ガビオンアンカーの設置

滑動に対する安定性を担保するには、ガビオンの上下流端面における水平変位固定条件を成立させる必要がある。このため、上流側では、堤頂上流縁より上流側の斜面に沿ってガビオンマットレスを延ばし、カウンターバランスとして機能する上流ガビオンアンカーを設ける。一方、堤体の下流斜面先では、

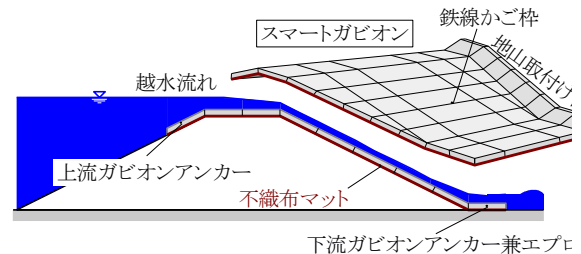


図1 スマートガビオンを用いた越水保護工

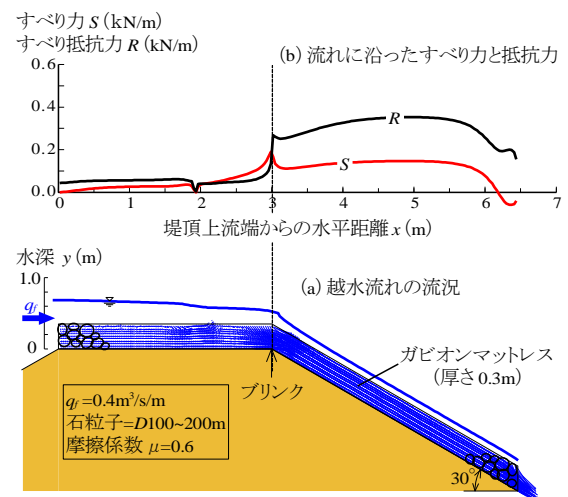


図2 浸透力、浮力および掃流力を受けるガビオンマットレスの滑動に対する安定性

* (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 Niigata University

キーワード: ため池堤体, 越水保護工, スマートガビオン, ガビオンマットレス, 滑動に対する安定性, せん断摩擦係数, 表層土の置換え

同じく、斜面上のガビオンマットレスを基盤面に沿って水平状に延ばし、斜面部下流端面に働く力に対抗する重しとして機能する下流ガビオンアンカーを設置する。これらのアンカーの水平長は、図3に示すように、上下流端面それぞれに作用する水平力によるアンカー構造体の転倒と滑動に関するつり合い条件から、これを決定することができる。

2.3 ガビオンマットレスと堤体土との間の摩擦係数

図4の副図に示すように、バックホウ重機を用いた引張りせん断試験により μ を測定した。不織布マットを敷かないケースを含め、図中に記した試験因子を組合せて計12ケースの試験を行った。不織布マットの種類および地盤強度の違いに対し、有意な因子効果は認められなかった。不織布マットを敷かないケースの μ は、全体的にみて、不織布マットを敷いた11ケースより大きめのようであるが、1点のデータのみであるため断定できない。この不織布マットを敷かないケースを含め全12点の μ 値は、 χ^2 適合度検定から偏りはなく正規分布にしたがうとみなせるので、95%信頼区間の下限値をとって、 $\mu=0.6$ とした。

3. 堤体表層土の置換え

堤体の表層部は、小動物の活動や植物根の生育などにより非常に柔らかい状態にあるため、上記のせん断摩擦係数を確保するとともに、ガビオン敷設後の自重による局所沈下を避けるため、越水保護工の敷設施工に先立って、表層土を鋤取り細粒土で置き換える必要がある。この細粒土による置換えは、土の限界せん断応力を高め越水流れによる土の侵食を軽減するうえでも効果的である⁴⁾。置換え後の整地整形において強い締固めまでは必要ないが、局所沈下(局所せん断破壊)を防止する点から、一軸圧縮強度で $q_u=50\sim 100$ kN/m²程度を確保することが望ましい。必ずしも標準的なものではないが、図5の調査例を参考にみると、鋤取り・置換えの深さは0.05~0.1 m程度とそれほど大きくはならない。

4. まとめ

ガビオンマットレスを用いたため池堤体の越水保護工には、越水流れによる堤体土の侵食を抑えるとともに、越水流れ下での表層滑動に対する構造安定性が求められる。後者について、想定される最大の越水量に対しても十分に構造安定性を確保できることを示すとともに、それを担保するために必要となるガビオンアンカーの構造設計法を提案した。

参考文献：

- 1) 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回農業農村工学会講演会, 2024.
- 2) 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(4), 2024.
- 3) 小林龍平他:ため池堤体の越水保護工の試験施工と安定性モニタリング, 農業農村工学会誌, 91(11), 48-49, 2023.
- 4) 小林龍平他:越水破壊のメカニクスに基づくため池堤体の効果的な越水保護, 第73回農業農村工学会大会講演会, 2024.
- 5) 森井俊廣他:ため池堤体の鉄線かご枠石詰め層に生じる越水流れの水利解析, 農業農村工学会論文集, 318 (92-1), I_13-20, 2024.

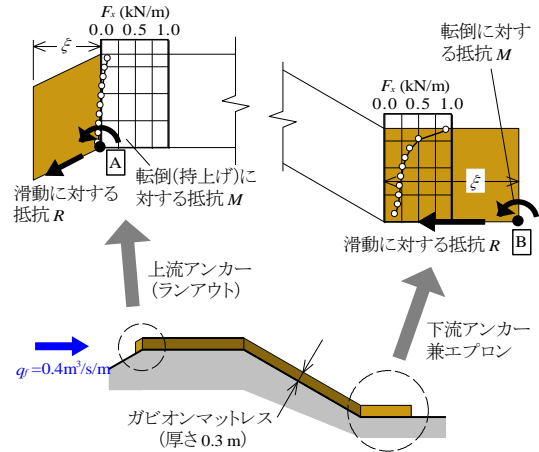


図3 表層滑動に対する安定性を担保するための上流および下流ガビオンアンカーの構造設計

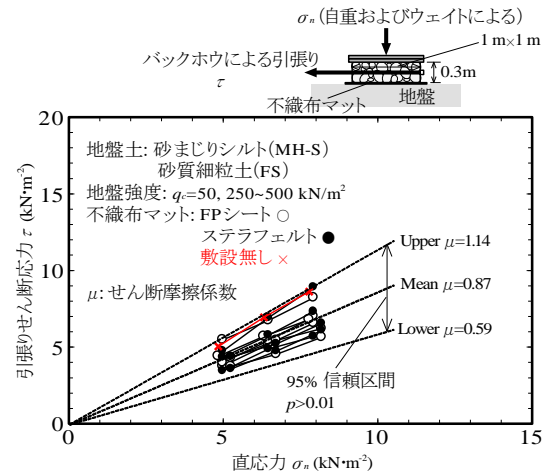


図4 現地引張りせん断試験によるせん断摩擦係数

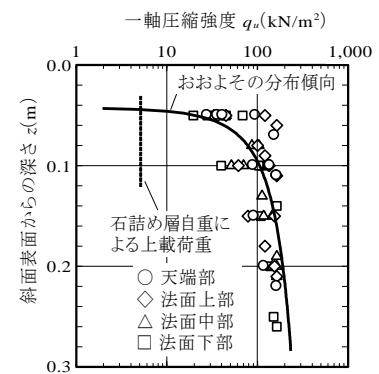


図5 小規模なため池堤体においてポータブルコーン貫入試験により測定された堤体表層土の強度