

# 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

## Design and construction guidelines 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\*\*・青木勇武\*\*・鈴木哲也\*\*\*・稲葉一成\*\*\*・森井俊廣\*\*\*\*

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

### I 越水保護工による豪雨耐性の強化

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きた。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。実規模越水量の水路実験等に基づく設計解析<sup>1)</sup>および試験施工<sup>2)</sup>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、設計・施工の技術試案を提示する。

### II 越水保護工の設計・施工技術試案

#### 1. 越水保護工の目的

ガビオンマットレス(以下ガビオンという。)を堤体表面に被覆敷設し、越水流れの流速を抑制して、堤体土の侵食と局所引張り破壊に因る越水破壊を防ぎ、ため池堤体の豪雨耐性を確保する。

#### 2. 適用ため池(越水量の適用上限)

流域面積1~2 km<sup>2</sup>、高さ10 m程度までの土質堤体が対象となる。想定される越水量を堤頂長で除して単位越水量 $q_f$ とすると、約0.4 m<sup>3</sup>/s/mが適用上限となる。

#### 3. 越水保護工の構造

ガビオンの厚さ0.3 m、中詰め石(玉石または割栗石)の粒径100~200 mmを標準とする。ガビオン底面と堤体表面の間には、水食防止マットとして、不織布ジオテキスタイルを設置する。

越水保護工には、堤体斜面に沿った表層滑動に対する構造安定性を確保するため、堤頂から堤体上流斜面に延長した上流ガビオンアンカー(迫出し(ランアウト))および下流斜面先に基礎地盤に沿って水平方向に敷設した下流ガビオンアンカーを設ける(図1)。後者はエプロン工の機能を兼ね、ガビオン表面に沿った射流状の越水流れによる流下エネルギーの減勢を担う。

ガビオンを設置することにより越水流れの水深が大きくなるため、地山取付け部では、土の侵食が起きないように、この水深に対応した高さまで地山地形に擦り付ける形でガビオン側壁を設ける。

#### 4. 越水流れの水深と流速の算定

4.1 越水量の設定 土地改良事業設計指針「ため池整備」により算定した設計洪水流量、あるいはそれより洪水吐の流下能力を差し引いた流量を堤頂長で除して、 $q_f$ を設定する。

4.2 水深と流速の算定 越水流れは、ガビオンを通る非線形浸透流とガビオン表面上を流れる不等流で形成され、両者は流れに沿って局所的に流量を出し入れしながら流下していく。その水理挙動は連結水理解析<sup>12)</sup>で求められるが、単純な堤体断面形状に沿った流れであるため、3の材料・寸法条件に限定すれば、図2により $q_f$ に対応して水深と流速を算定できる。

4.3 堤体表面に作用する水理せん断応力の算定 越水流れにより堤体表面に水理せん断応力 $\tau_s$ が作用し、土の侵食と局所引張り破壊が起きる。堤体表面近傍の流速を抑制するため、ガビオンと堤体表面土との間に水食防止マットを設置する<sup>13)</sup>。市販の不織布ジオテキスタイルで厚さ0.01 m、透水係数0.01~0.001 m/sほどであれば、堤体土の限界せん断応力をはるかに下回るレベルまで $\tau_s$ を低減できる。

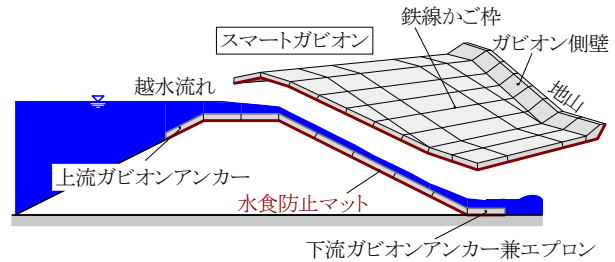


図1 スマートガビオンを用いた越水保護工

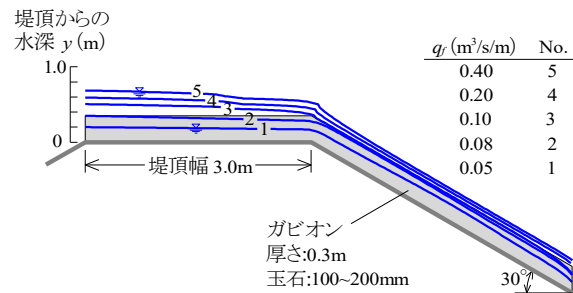


図2 越水量に対応した越水流れの流況

\* (株)水倉組 Mizukura-gumi Co. Ltd., \*\* 東網工業(株) Tomo-kogyo Co. Ltd., \*\*\* 新潟大学 Niigata University, \*\*\*\* 新潟大学名誉教授  
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, 水食防止マット

## 5. 越水保護工の構造設計

5.1 表層滑動に対する構造安定性 越水時に、ガビオンに対し浸透力、浮力およびガビオン表面上の流れによる表面掃流力が作用するため、これらがガビオンと堤体土との間に生じるせん断摩擦力を上回らないようにして、表層滑動に対する構造安定性を確保する。このため、堤頂から堤体上流斜面に延長したランアウトを設け、アンカーと

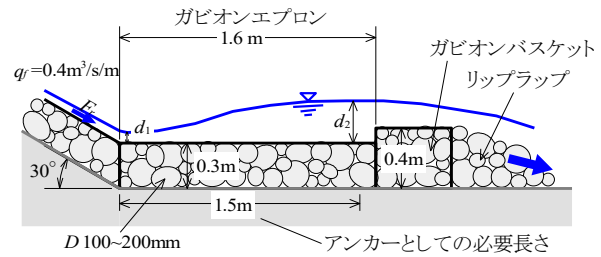


図3 ガビオンエプロン（減勢工）の構造設計

してカウンターバランスの機能を持たせる。下流斜面先では、下方に滑動しようとするガビオンを抑えるため、斜面先から基礎地盤に沿ってガビオンアンカーを設ける<sup>14)</sup>。これは次のエプロン工の機能を兼ねる。

5.2 ガビオンエプロン（減勢工） ガビオン表面上を下る流れは、斜面の中腹辺りから射流等流となり、堤高 10 m、斜面傾斜 30°までの範囲では、下流斜面先のフルード数は 5~7 ほどに達する。その構造設計は、土地改良事業設計指針「ため池整備」にある跳水型減勢工のうち副ダム型式の算定方法に準拠する（図3）。

5.3 水食防止マット 厚さ 0.01 m 程度、透水係数 0.01~0.001 m/s 程度以下の不織布ジオテキスタイルを用いる。ガビオンは、水食防止マットと堤体表面との密着性を確保するための押え（重し）の役割を担う。

## 6. かご枠の材料仕様

かご枠には、メッキ防食したメッキ鉄線を用いる。かご枠の骨線に対する最大の引張りは堤頂水平部から下流斜面部に移る屈曲部に生じるが、大きな越水量  $q_f=0.4 \text{ m}^3/\text{s/m}$  においても 1 本の骨線に掛かる引張り応力は  $10 \text{ N/mm}^2$  程度であり、JISG 3547 で亜鉛めっき鉄線に求められる引張り強度  $290 \text{ N/mm}^2$  よりはるかに小さい。このため、一般に流通する  $\phi 5\sim 6 \text{ mm}$  の線材を用いる。野外環境下で 30 年程度の耐久性をもつこと、ならびに作業中および供用後の維持管理における安全のため、摩擦抵抗（滑りにくさ）を有する必要がある。

## 7. 施工時の留意事項

7.1 下流斜面表層土の鋤取り・整地整形および強度管理 堤体表層土は植物根や小動物の活動により非常に柔らかく、そのままだとガビオン設置後に局所沈下が起きる。これを防ぎ、また土の耐水食性を高めかつ所要のせん断摩擦係数を確保するため、表層土を鋤取りし細粒土に置き換え整地整形を行う<sup>14)</sup>。簡便さから、ポータブルコーン貫入試験を品質管理に用いる場合、 $q_c=100\sim 500 \text{ kN/m}^2$  程度が目安となる。

7.2 落石に対する転石防止柵 石詰め作業の際、中詰め石が転がり落ちることが想定されるため、下流斜面先に落石保護柵などの安全設備を設ける必要がある。

## III 謝辞

本開発研究は、令和 3~5 年度官民連携新技術研究開発事業（新技術開発研究）の一環で進めてきた。事業を所管しご支援いただいた農林水産省農村振興局の関連の皆さまに厚くお礼申し上げます。

## IV 設計・施工技術試案に関連した参考文献

- 1) 小林秀一他:スマートガビオンを用いたため池堤の耐越水補強工の開発, 第 71 回農業農村工学会大会講演会, 205-206, 2022.
- 2) 小林龍平他:越水掃流に対するスマートガビオンの構造安定性, 第 71 回農業農村工学会大会講演会, 207-208, 2022.
- 3) 小林千佳子他:スマートガビオンを敷設したため池堤の斜面安定性, 第 71 回農業農村工学会大会講演会, 209-210, 2022.
- 4) 小林龍平他:ため池堤越水時における斜面土の水食防止効果の実験検証, 農業農村工学会第 79 回京都支部研究発表会, 2022.
- 5) 小林秀一他:スマートガビオンを用いた農業用ため池の耐越水補強工の設計, 第 72 回農業農村工学会大会講演会, 589-590, 2023.
- 6) 小林龍平他:ため池堤のスマートガビオンに生じる越水流れの水理解析, 第 72 回農業農村工学会大会講演会, 593-594, 2023.
- 7) 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.
- 8) 小林龍平他:スマートガビオンを用いたため池の耐越水補強工の試験施工, 第 72 回農業農村工学会大会講演会, 591-592, 2023.
- 9) 小林龍平他:スマートガビオンを用いた越水保護工の試験施工と安定性モニタリング, 農業農村工学会京都支部研究発表会, 2023.
- 10) 小林龍平他:ため池堤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.
- 11) Kobayashi, R. et al.: Hydraulic and structural stability of overtopping protection of soil embankment using gabion mattresses, *Procs. of 13<sup>th</sup> GEOMATE*, 344-349, 2023.
- 12) 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理解析, 農業農村工学会論文集, 318 (92-1), I\_13-20, 2024.
- 13) 小林龍平他:越水破壊のメカニ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, 2024.
- 14) 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, 2024.