

ため池堤に敷設したスマートガビオンに生じる越水流れの水理解析

Flow Analysis of Overtopping on Embankment Dam Protected by Rockfill Gabion (Smart Gabion)

小林龍平*・小林秀一*・板垣智也*・高橋直哉**・鈴木哲也***・稲葉一成***・○森井俊廣****

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

1. ため池堤の耐越水性能の創出

ため池堤の天端および下流斜面に鉄線かご枠石詰め層を平張り状に敷設し、斜面土の水食を防止し堤体損傷が起きないようにしながら越水流れを安全に放流できる耐越水補強工（スマートガビオン）の開発を進めてきた（図1）¹⁾。流下接近する洪水流 Q_f は、石詰め層の厚さと通水性能に応じてスルーフローとオーバーフローとして流入し下流斜面を流下していく。スルーフローはオーバーフローに比べ相対的に減速されるもののいずれの流れも大きな流速をもち、掃流・滑動により石詰め層の構造安定性を損なうリスクがある。大量の越水下での掃流に対する安全性は、すでに大型傾斜水路実験で確認した²⁾。滑動への評価には、適正に計算された越水流れの水面形・水深が必要となる。今後、スマートガビオンの標準的な設計法を策定していくにあたり、越水流れの水理を明確にしておく必要がある。本文では、 Q_f の越流によって生じるこれら2つのフローの流況（水深・水面形と流量・流速）を算定する水理解析法を開発し、その実務性を室内水路実験により検証する。

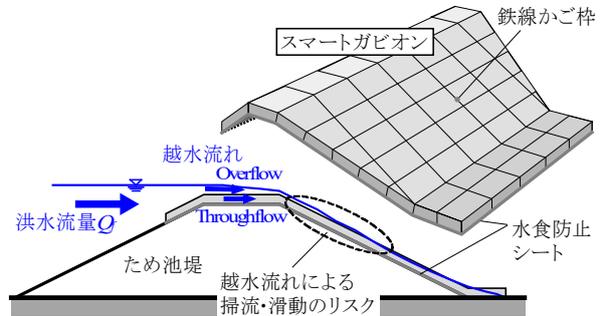


図1 ため池堤に敷設したスマートガビオンおよび越水時に生じるスルーフローとオーバーフロー
Overtopping flow on embankment dam protected by rockfill gabion (Smart Gabion).

2. 連結水理解析法の開発

スルーフローとオーバーフローは、それぞれ、多孔質体を通る非線形浸透流と開水路流れの不等流として記述できるが、2つのフロー間には速度差があり境界面に発達するせん断層で局所的に流量と運動量の交換が起きて弱連成的な水理挙動をとる。図2に示すように、石詰め層内を流れの方向 x に沿って被圧状態で流れるスルーフロー $Q_{rf}(x)$ は、層表面でのオーバーフロー水深の負荷に起因する動水こう配にしたがって局所的に流量 $\Delta Q(x)$ を出し入れする。オーバーフローは、これを受けて、流れに沿って場所的に流量が変化する流れ

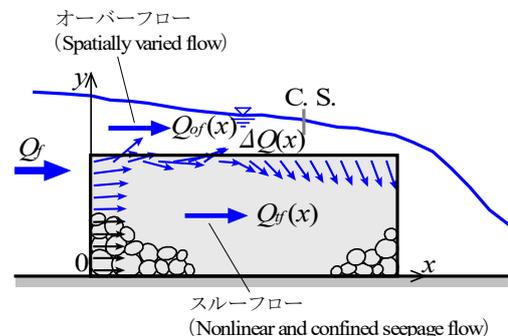


図2 スルーフローとオーバーフローとの間の局所的な流量交換
Overflow and throughflow in the rockfill gabion, and their interactive exchange of flow mass.

(spatially varied flow) $Q_{of}(x)$ となり、運動量変化にしたがって自身の水深を決めていく。したがって、スルーフローに対する非線形浸透流解析³⁾とオーバーフローに対する場所的に流量が変化する流れの不等流計算（数値積分法）⁴⁾を、 $\Delta Q(x)$ を介して2つのフローの流況に合理的な収束がえられるまで繰り返していけば、実現象と整合性のある越水流れを算定することができる。

3. 水路実験による検証

室内水平水路および傾斜水路（いずれも幅 0.5m）に、粒径 100~150mm および 150~200mm の粗石を用いて鉄線かご枠石詰め層を敷設し、越水実験を実施した。流下流量を数段階変え、それぞれで

*株式会社水倉組 Mizukuragumi Co. Ltd., ** 東網工業株式会社 Tomokogyo Co. Ltd., ***新潟大学自然科学系 Institute of Science and Technology, Niigata University, ****新潟大学名誉教授 Professor Emeritus, Niigata University
キーワード：水利構造物，浸透流，構造物の設計手法，ため池，スマートガビオン，越水，水理解析

越水流れの水面形とピエゾ水頭を測定した。

図3は、水平水路実験の測定値を連結水理解析による計算値と比較したものである。オーバーフローの水面形および Q_f が少なくスルーフローのみが生じる場合の自由水面、ピエゾ水頭のいずれも、連結水理解析により良好に再現されている。解析により得られた石詰め層内の流速ベクトルからは、石詰め層表面部における局所的な流量の出入りをもたらす流況をみることができる。

図4は、30°の傾斜水路での越水実験で測定したオーバーフロー水面形を、連結水理解析による計算値と比較したものである。同図中の写真に示すように、気泡の混入がありかなり荒い流下水面状況であったにもかかわらず、計算値はおおむね良好に再現できている。図4の上側図には、解析で得られたスルーフローとオーバーフローの流下流量を直交水深で割った平均流速を示す。図中の破線は、発泡スチロール球を流して測定した表面流速をもとに6割水深位置で算定した平均流速であり、半測定値ではあるが、計算値はこれと良好に対応している。

4. まとめ

スマートガビオンを越水するスルーフローとオーバーフローの流況（水深、流量・流速）をおおむね適切に計算できるようになった。これにより、越水時に滑動に対する安定性が確実に保持されるよう、鉄線かご砕石詰め層の厚さと使用する石粒子の粒径を決定できるようになり、スマートガビオンの合理的な設計が可能となった^{5,6)}。本研究は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深謝申し上げます。

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, 農業農村工学会大会講演会, #3-25, 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, 農業農村工学会大会講演会, #3-26, 2022.
- 3) 森井俊廣他: スマートガビオンを越水するオーバーフローとスルーフローの連結数値計算, 農業農村工学会第79回京都支部研究発表会, pp. 28-29, 2022.
- 4) Chow, V. T.: Open-channel Hydraulics, McGraw-Hill, Inc., pp. 327-353, 1959.
- 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, 農業農村工学会大会講演会, 2023.
- 6) 小林龍平他: 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試験施工, 農業農村工学会大会講演会, 2023.

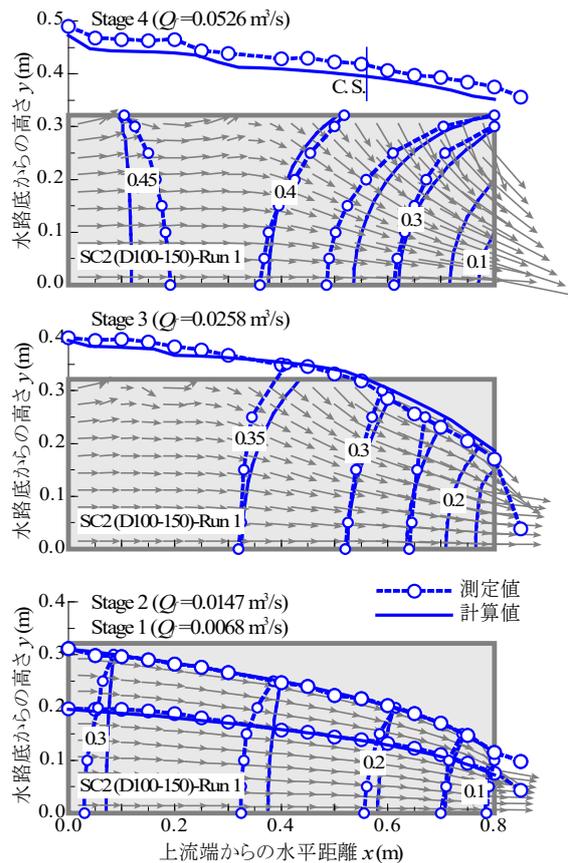


図3 水平水路実験と連結水理解析との比較
Comparison of the overtopping flow measured in the laboratory water flume with the calculations by the flow analysis proposed.

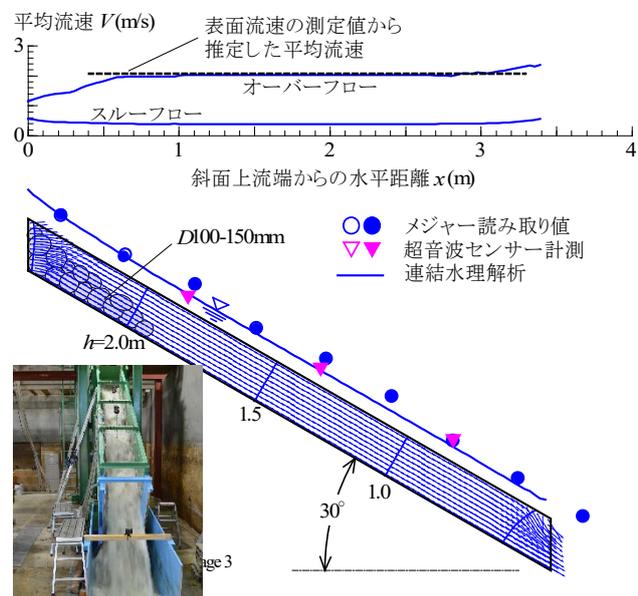


図4 傾斜水路実験と連結水理解析との比較
Comparison of the overtopping flow measured in the sloping rockfill gabion with the calculation by the flow analysis proposed.