

## 河川砂防技術研究開発【成果概要】

<b>①研究代表者</b>	<b>氏名</b> (ふりがな)	<b>所属</b>	<b>役職</b>
	後藤岳久 (ごとう たかひさ)	中央大学研究開発機構	機構准教授
<b>②研究テーマ</b>	名称	堤防越水時に表面被覆型対策工周辺で生じる激しい擾乱を伴う流れとそれによる堤体裏法侵食の評価手法の開発	
<b>③研究経費</b> (単位: 万円) ※端数切り捨て。 ※契約金額を記載	令和5年度	令和6年度	合計
	998 万円	999 万円	1,997 万円

<b>④研究者氏名</b> (研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)	
氏名	所属機関・役職 (※令和7年3月31日現在)
高 嶽 裕也	中央大学研究開発機構 機構助教

### ⑤技術研究開発の目的・目標

令和元年東日本台風で発生した堤防決壊のうち、約86%は越水による堤防決壊であるため、越水した場合においても決壊しにくく、決壊するまでの時間を少しでも長くすることの出来る粘り強い堤防の技術開発が求められている。堤防を粘り強い構造に強化するためには、越流水による堤防裏法の侵食を抑制することが極めて重要であり、堤防裏法の侵食抑制対策として、裏法部全面に連節ブロックを設置し、さらに、その下の堤体裏法材料の吸出しを防止するため、吸出し防止シートで堤体裏法材料を被覆する対策（表面被覆型）が提案されている(図-1)。

これらの対策工について具体的設計を行うためには、接続ブロックに作用する流体力や、吸出し防止シートと堤体との隙間でどの程度の流速が生じ、それに伴い堤体裏法部の堤体侵食がどの程度生じるかを適切に評価出来る解析法の開発が求められる。このためには、空気混入を伴う接続ブロック上の流れと、吸出し防止シート内およびその下の堤体との隙間の流れ、それに伴う堤体侵食を評価可能な解析法の構築が必要である(図-2)。

本研究では、広域の河川区間の3次元流れと圧力分布を高精度で解析可能な準3次元解析法(Q3D-FEBS法: 竹村・福岡, 2019)をベースとし、これに「①空気混入を伴う接続ブロック上の流れ」、「②堤体裏法部の吸出し防止シート内およびシート下の流れ」、「③吸出し防止シート下の流れに伴う堤体侵食」を適切に解析出来る解析法を開発する。その際、計測が困難な吸出し防止シート内の流速分布およびその抵抗則の評価方法については、材質の違いを考慮した3次元LES解析(APM法, Fukuokaら, 2014)により詳細な数値実験計算を行い、その評価方法を検討する。構築した解析法を、堤体侵食を伴う国総研の大規模越流実験に適用し検証した。実験は堤体表面に初期に侵食(ガリ)がある場合と無い場合の2ケース実施されており、両ケースに本解析法を適用することにより、堤体表面に形成された初期侵食が、その後の越流水による侵食に及ぼす影響について力学的に分析し、その機構を明らかにしている。

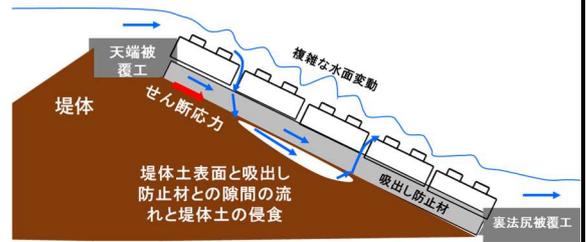


図-1 表面被覆型対策工が設置された堤防

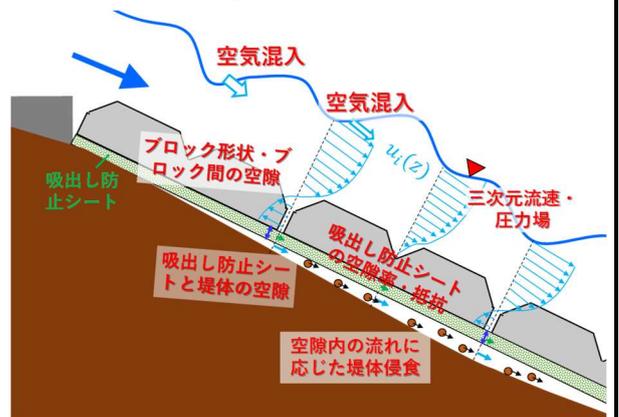


図-2 対策工周辺の考慮すべき流れ場

## ⑥研究成果

### 1. 吸出し防止シート内及びその下の堤体との隙間の流れおよび空気混入を伴う接続ブロック上の流れを評価可能な準三次元解析法(Q3D-FEBS法)の開発

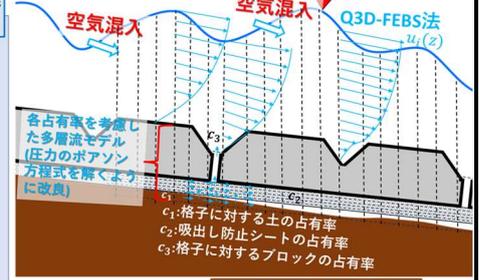
図-3は本解析法の枠組みを示す。本研究では、水深積分モデルの枠組みで流れの3次元性を解析出来るQ3D-FEBS法に、堤体裏法部に設置された接続ブロックとその隙間、吸出し防止シート内及びその下の堤体との隙間の流れを解析するため、各材料の占有率を考慮した多層流モデルを組み込んでいる。また、接続ブロック上の流れは空気混入を伴うことから、Q3D-FEBS法を気液混相流モデルに拡張する。堤体侵食については、土の粘性、締固め土等の影響を考慮した侵食速度式を用いて評価し、侵食された土砂は堤体土砂の移流方程式により輸送されるものとした。具体的支配方程式を以下に示す。

**接続ブロック上の流れの準三次元解析(気液混相流のQ3D-FEBS)**

混相流の密度： $\rho = \rho_a C + \rho_w(1 - C)$   
 混相流の水深： $h = h_w / (1 - C)$   
 $\rho_a$ ：空気密度， $\rho_w$ ：水の密度，  
 $h_w$ ：水の実質水深， $C$ ：空気混入率

**流速・圧力分布・乱れの計算**

- 水深積分連続式  $\bar{z}_s, \bar{h}_w$
- 水深積分運動方程式  $\bar{U}_i, \bar{p}_b$
- 水面、底面の運動方程式  $\bar{u}_{si}, \bar{u}_{bi}$
- 水中の空気に関する連続式  $C$
- 水深積分、水面、底面の乱れエネルギーの輸送方程式  $\bar{K}, \bar{k}_s, \bar{k}_b$



質量・運動量交換，せん断力

**ブロック・シート内・シート下の隙間の流れの3次元解析(各材料の占有率を考慮した多層流モデル)**

- 各材料の占有率を考慮した連続式
- 各材料の占有率とシートによる抵抗を考慮した3次元の運動方程式  $u_{ki}, p_k$

$c_1$ : 格子に対する堤体土の占有率  $c_3$ : 格子に対するブロックの占有率  
 $c_2$ : 吸出し防止シートの占有率

**堤体の侵食の計算**

- 堤体侵食速度  $E_p$   
 $E_p = \beta(|U_i| - u_c)$   
 $u_c$ : 侵食限界流速， $\beta$ : 侵食速度係数
- 堤体への堆積速度  $E_d$   
 $E_d = C_s w_f$   
 $C_s$ : 移動土砂濃度， $w_f$ : 沈降速度
- 侵食された堤体土砂の輸送方程式

$$\frac{\partial C_s \delta_1}{\partial t} + \frac{\partial u_{ij} c_s \delta_1}{\partial x_j} = E_p - E_d$$

図-3 本解析法の枠組み

#### (1) 接続ブロック上の流れの解析

本解析では空気と水を1流体モデルの混相流として扱い、混相流の密度 $\rho$ を式(1)に示すように、空気混入率 $C$ で重み付けして評価する。ここで、 $\rho_a$ は空気の密度であり、 $\rho_w$ は水の密度である。混相流の運動量 $\rho u_i$ については、水中に混入した気泡は水の流速に速やかに追従するものとし、空気の流速 $u_{ai}$ は水の流速 $u_{wi}$ に等しいものと仮定し、式(2)に示すように空気混入率 $C$ で重み付けして評価する。ここで、 $u_i$ は混相流の流速で、 $i=1,2,3$ である。

$$\rho = \rho_a C + \rho_w(1 - C) \quad (1)$$

$$\rho u_i \approx u_i(\rho_a C + \rho_w(1 - C)) \quad (2)$$

式(3)は混相流の水に関する連続式を水深積分したものであり、左辺第三項には接続ブロックの隙間からの水の流入・流出の影響を考慮している。ここで、 $w_3$ は接続ブロックの隙間の水の鉛直流速、 $c_3$ は格子内におけるブロックの占有率、 $h_w$ は混相流の水の実質水深であり、水中の空気を含んだ混相流の水深 $h$ は水深平均の空気混入率 $C_a$ を用いて式(4)で表す。

$$\frac{\partial h_w}{\partial t} + \frac{\partial u_j h_w}{\partial x_j} - (1 - c_3)w_3 = 0, \quad j = 1,2 \quad (3)$$

$$h = h_w / (1 - C_a) \quad (4)$$

流水中の空気混入率については、混相流の空気に関する3次元連続式(式(5))より計算する。空気混入条件については、水面形の最急勾配を計算し、実験値を再現するように水面勾配2/5で、かつ、 $Fr > 2.5$ 以上の場合(N. Rajaratnam(1967))は空気混入するとし、周囲の水面に囲まれた単位面積当たりの空気塊 $V_{air}$ が水面流速 $u_{si}$ で輸送されるとして空気混入フラックス $F_{inair}$ を評価した。単位面積・単位時間当たりの空気の流出量 $F_{outair}$ は、気泡の終端速度 $w_{airt}$ と水面付近(最上層の格子内)の空気混入濃度 $C_{as}$ を用いて式(6)で評価した。また、気泡は吸出し防止シートを通過しないものとした。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial C u_j}{\partial x_j} = 0, \quad j = 1,2,3 \quad (5)$$

$$F_{inair} = V_{air} u_{si}, \quad F_{outair} = C_{as} w_{airt} \quad (6)$$

式(7)は気液混相流の水深積分された水平方向運動方程式であり、右辺第1項の静水圧の圧力勾配項については、混相流の密度の鉛直分布を考慮して評価する。 $\rho_{ave}$ は混相流の密度の水深平均値である。また、左辺第三項には接続ブロックの隙間から水の流入・流出による運動量交換の項である。

$$\frac{\partial U_i h}{\partial t} + \frac{\partial U_i U_j h}{\partial x_j} - (1 - c_3)w_3 u_{bi} = -\frac{1}{\rho_{ave}} \int_{z_b}^{z_s} \left( \frac{\partial(\rho g(z_s - z) + dp)}{\partial x_i} \right) dz - \frac{\tau_{bi}}{\rho_{ave}} + \frac{1}{\rho_{ave}} \frac{\partial h T_{ij}}{\partial x_j} \quad (7)$$

水面・底面流速の運動方程式においても、同様に、その場の混相流の密度分布を考慮して計算した。

(2) 接続ブロックの隙間・吸出し防止シート内・吸出し防止シート下の隙間の流れと堤体侵食の解析

接続ブロック間の隙間と吸出し防止シート内部、吸出し防止シート下の隙間の流れについては、ブロック等の不透過物質の格子内占有率 $c_k$ を考慮した3次元解析を行う。ここで、 $c_1$ は堤体土の占有率、 $c_2$ は吸出し防止シートの占有率、 $c_3$ は接続ブロックの占有率である。 $p_s$ は圧力の静水圧成分、 $p_d$ は圧力の非静水圧成分、 $\delta_k$ は格子の鉛直厚さである。

$$\frac{\partial(1-c_k)u_{kj}\delta_k}{\partial x_j} = 0, \quad k = 1, 2, 3 \quad (8)$$

$$\frac{\partial(1-c_k)u_{ki}\delta_k}{\partial t} + \frac{\partial(1-c_k)u_{ki}u_{kj}\delta_k}{\partial x_j} = -\frac{(1-c_k)\partial p_s\delta_k}{\rho \partial x_i} - \frac{(1-c_k)\partial p_d\delta_k}{\rho \partial x_i} - g_i(1-c_k)\delta_k + \frac{(1-c_k)\partial \tau_{ij}\delta_k}{\rho \partial x_j} - \frac{(1-c_k)F_k\delta_k}{\rho} \quad (9)$$

吸出し防止シートによる抵抗 $F_{2i}$ については、透過係数 $K$ を用いて次のように表す。

$$F_{2i} = \frac{\rho g u_{ki}}{K^2} \sqrt{u_k^2 + v_k^2}, F_{1i} = 0, F_{3i} = 0, K: \text{透過係数}$$

堤体侵食は式(10)に示す侵食速度式を用いて評価する。ここで、 $u_c$ は侵食限界流速、 $\beta$ は侵食速度係数である。

$$E_p = \beta(|U_1| - u_c) \quad (10)$$

堤体変形については、格子内に堤体土がある場合と無い場合の条件に分け、格子内に堤体土がある場合は格子内の土砂の占有率を変化させ(式(11)),

$$\delta_1 \frac{\partial c_1}{\partial t_b} = -E_p + E_d \quad (11)$$

格子内に堤体土が全て流出した場合( $c_1 = 0$ )、格子の高さを変化させるようにしている(式(12)).

$$\frac{\partial \delta_1}{\partial t_b} = -E_p + E_d \quad (12)$$

侵食された堤体土砂の輸送については、式(13)に示す土砂の移流方程式で評価する。

$$\frac{\partial C_s \delta_1}{\partial t_b} + \frac{\partial u_{1j} C_s \delta_1}{\partial x_j} = E_p - E_d \quad (13)$$

堤体への単位時間当たりの土砂堆積 $E_d$ については、諏訪ら(2021)に倣い Richardson-Zaki による干渉沈降速度 $w_f$ (式(14))を用いて式(15)で評価する。

$$w_f = w_{f0}(1 - \phi)^{2.4} \quad (14)$$

$$E_d = C_s w_f \quad (15)$$

2. 吸出し防止シートと接続ブロックが設置され、吸出し防止シートと堤体との隙間の流速が計測された小規模越水実験(国総研実施)への適用と検証

(1) 接続ブロックと吸出し防止シートが設置された小規模越水実験(R4年度国総研実施)と解析条件

構築した解析法を、接続ブロックと吸出し防止シートの両方が設置され、吸出し防止シートと堤体との隙間の流速が計測された小規模越水実験(国総研実施)に適用し、本解析法を検証する。尚、ブロックに作用する流体力の測定は実施されていないため、本解析法の圧力の検証は実施していない。

図-4は小規模越水実験の堤体諸元および接続ブロックの諸元、吸出し防止シートの配置を示す。実験水路の幅は1mであり、そこに堤体高0.75m、天端幅0.50m、裏法面勾配2割の模型堤防が設置されている。堤防裏法面に設置されたブロック1つの大きさは縦0.15m×横0.15mであり、ブロックの突起の高さは0.015m、ブロック突起部の大きさは縦0.05m×横0.05mである。吸出し防止シート

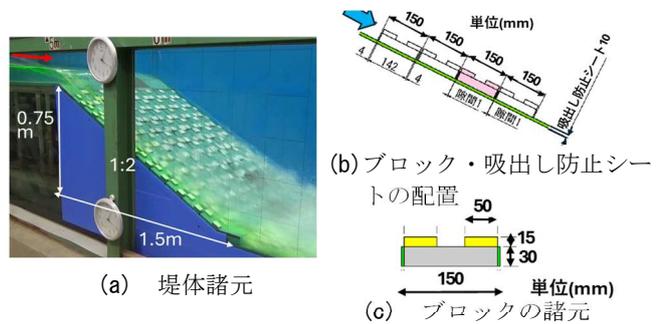


図-4 小規模越水実験(国総研実施)の堤体・ブロック諸元

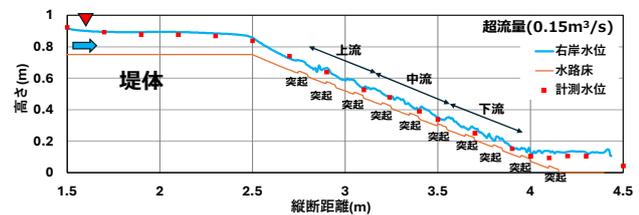


図-5 水位縦断分布の計測値と解析結果

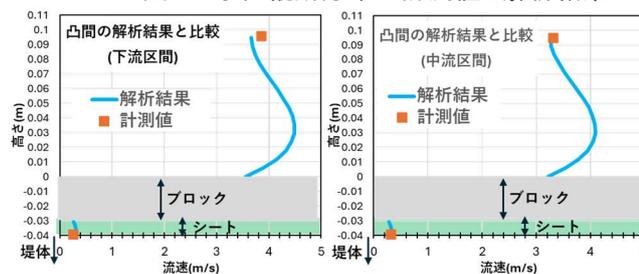


図-6 流速分布の計測値と解析結果の比較

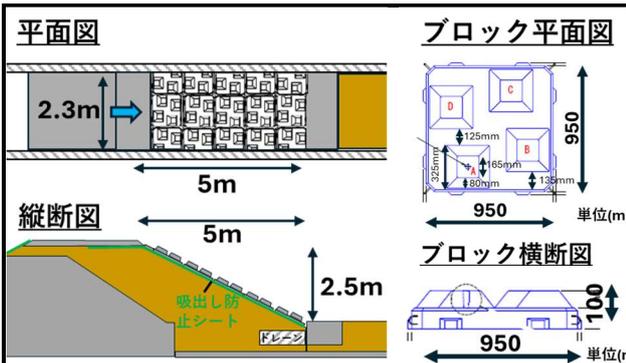


図-7 大規模越水実験(国総研実施)の堤体・ブロック諸元

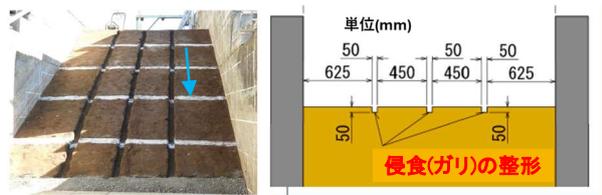


図-8 ガリの設置状況

の材質はPET不織布であり、その空隙率は0.91、吸出し防止シートの厚さは10mmである。

実験の越流水深は20cmであり、越流流量は越流公式により0.15m<sup>3</sup>/sである。本解析では上流端に力勾配・流速勾配をゼロの条件を与えた。

### (2) 解析結果

図-5は水位縦断分布の計測値と解析結果を示す。実験・解析ともに、法肩から2つ目のブロックの突起の直上流から空気が混入しており、空気混入を考慮した解析水位縦断分布は計測水位縦断分布を再現している。

図-6は堤防裏法部の中流部および下流部における流速鉛直分布の解析結果と水面流速の計測値、吸出し防止シートと堤体の隙間の流速の計測値を示す。接続ブロックは不透過であるため、流速鉛直分布は不連続な形状となっている。解析結果における水面流速は3.0~4.0(m/s)であり、水面流速の計測値をほぼ説明している。吸出し防止シートと堤体との隙間の流速の解析結果は0.2~0.3(m/s)であり、解析結果は計測値をほぼ再現している。ここで、吸出し防止シートによる抵抗を評価する透過係数については、計測値を説明する $K=0.5(m/s)$ を使用している。

## 3. 構築した解析法による表面被覆型対策工の設置された堤防裏法部の侵食機構

### (1) 堤体侵食を伴う大規模越水実験(国総研実施)の概要

構築した解析法を表面被覆型対策工が設置され、堤体侵食の生じた大規模越水実験(国総研実施)に適用し、堤防裏法部の侵食機構について検討する。図-7は、R5年度国総研実施の大規模越水実験における堤防・接続ブロックの諸元を示

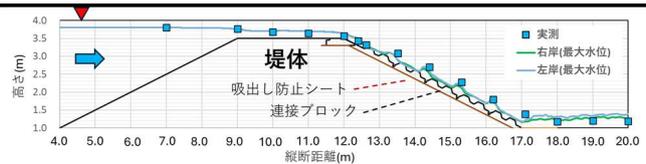


図-9 水位縦断分布の計測値と解析結果(通水30分後)

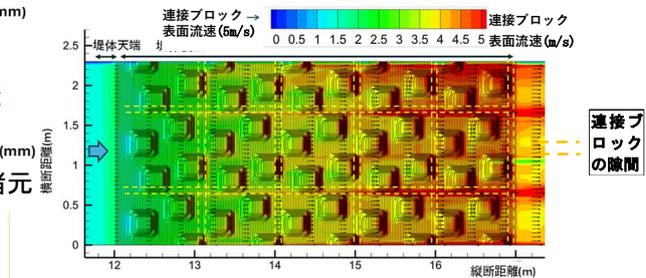


図-10 接続ブロック表面の流速分布(通水15分後)

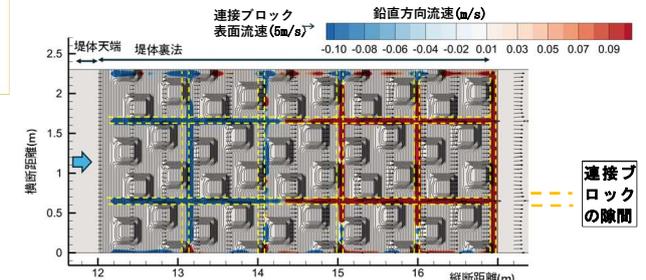


図-11 接続ブロック上から吸出し防止シートに流入・流出する流れの鉛直方向流速(通水15分後)

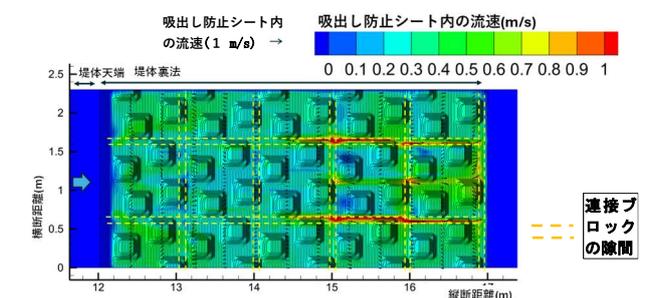


図-12 吸出し防止シート内の流速場(通水15分後)

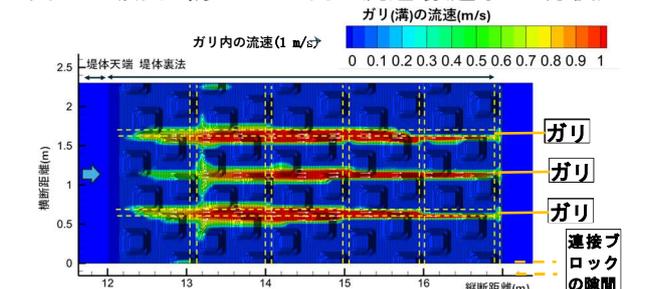


図-13 ガリ内の流速分布(通水15分後)

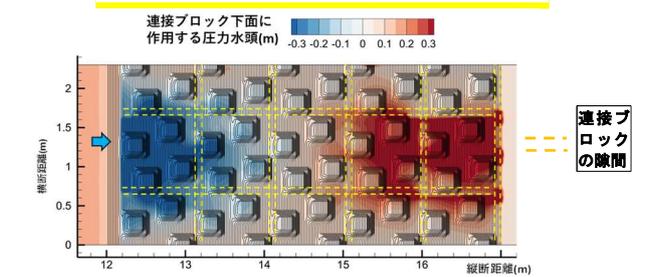


図-14 接続ブロック下面に作用する圧力分布(通水15分後)

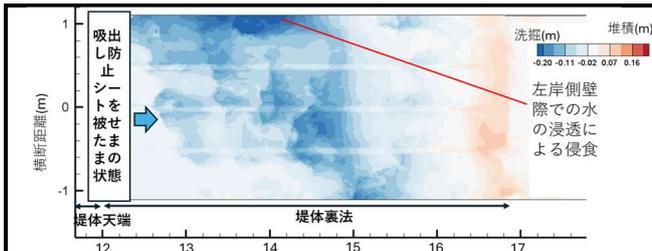


図-15 実験結果における通水 60 分後の堤体侵食

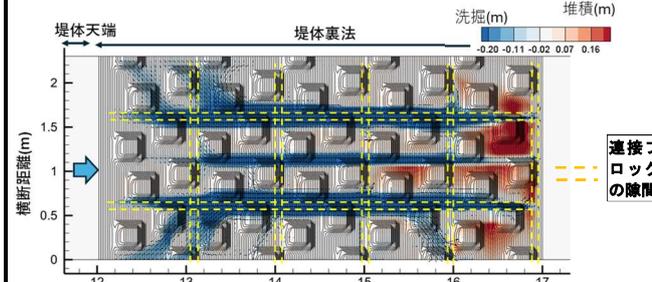


図-16 計算結果における通水 60 分後の堤体侵食

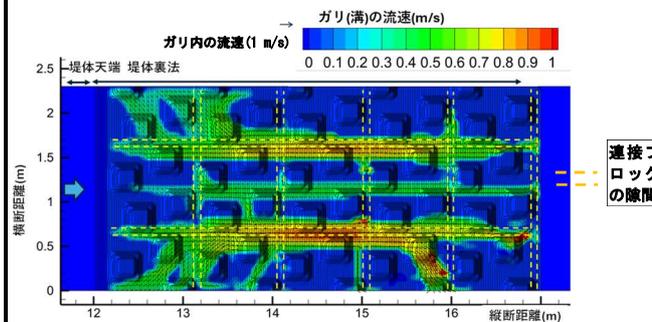


図-17 堤体表面およびガリ内の流速分布(通水 60 分後)

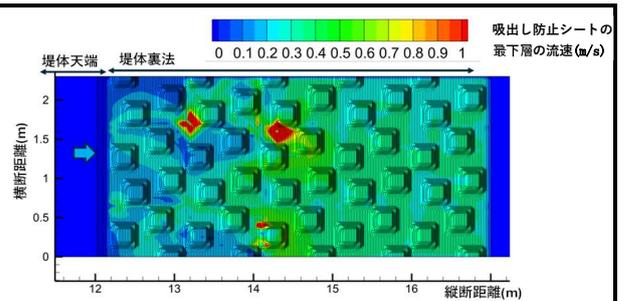


図-19 通水 180 分後の吸出し防止シート最下層(堤体表面)の流速分布の解析結果(ガリ無し)

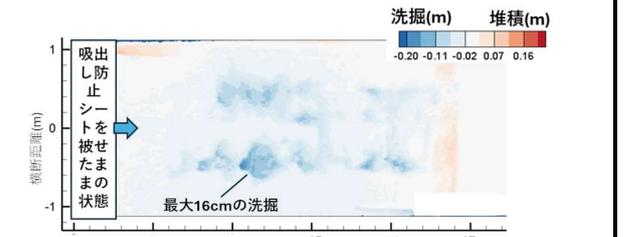


図-20 通水 180 分後の堤体侵食の実験結果(ガリ無し)

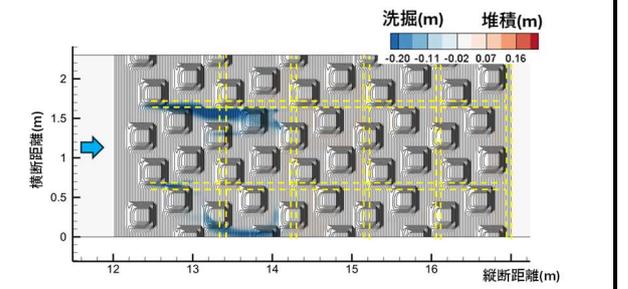


図-21 通水 180 分後の堤体侵食の解析結果(ガリ無し)

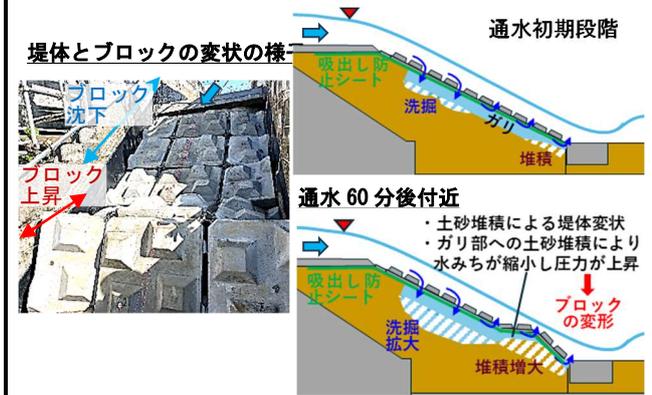


図-18 越流水による堤体とブロックの変形機構のイメージ

計算し、初期に堤体にガリがあることによる堤体侵食への影響を検討する。図-8 は、堤防裏法部における初期のガリの設置状況を示す。ガリは堤防裏法部に幅 0.05m×深さ 0.05m×長さ 4.4m で、左右岸側及び中央部の計 3 本設置されている。このうち、左右岸側の 2 本のガリは、接続ブロックの継ぎ目の位置と一致するように設置され、中央のガリは接続ブロック中央の下に設置されている。実験における越流水深は、両実験とも 30cm である。

(2) 解析条件

解析では接続ブロックの凸部の形状を考慮できるように、格子間隔は縦断方向 5cm、横断方向 5cm 間隔とした。鉛直方向の格子については、堤体土表面から接続ブロックまでを鉛直方向に 8 分割した。最上層の格子には接続ブロックおよびその空隙部を割り当て、接続ブロックの鉛直厚さの空間変化に応じて最上層の格子間隔を 12~22cm と設定した。吸出し防止シート内の格子については、吸出し防止シート厚を等分割で 6 分割し、鉛直方向の格子間隔は 0.16cm とした。最下層の格子には堤体土表面を割り当て、鉛直方向の格子間隔は初期のガリの深さと一致させて 5cm とし、堤防裏法部の侵食の進行

に伴い鉛直方向の格子間隔が拡大するようにしている。

解析における接続ブロックの継ぎ目は幅方向に 2 メッシュで評価することとし、該当するメッシュにおいてブロックの占有率を設定することで継ぎ目の空隙を評価した。また、水路側壁とブロックの隙間からも水が進入していたため、同様に評価した。堤体表面のガリについても幅方向に 2 メッシュで評価し、該当メッシュの堤体土の占有率を設定することにより評価した。実験の堤体材料の代表粒径は 0.8mm である。シートの占有率  $c_2$ 、透過係数  $K$  は 3 章と同様とした。侵食限界流速  $u_c$  と侵食速度係数  $\beta$  は、既往文献を参考として実験値を再現するように  $u_c=0.3(\text{m/s})$ 、 $\beta=0.00024$  とした。

### (3) 初期堤体にガリ（溝）が設置された場合における流れ場とそれに伴う堤体侵食の解析結果

図-9 は水位縦断分布の計測値と解析結果の比較を示し、解析結果は観測された水位縦断分布よりもやや低めに計算されているものの、実測値をほぼ説明している。

図-10 は、堤体変形がそれほど生じていない通水 15 分後の接続ブロック表面における斜面沿いの流速ベクトルを示しており、接続ブロック表面では接続ブロックの継ぎ目付近で高速流が生じている。

図-11 は通水 15 分後の接続ブロック間の隙間から吸出し防止シートへ流入・流出する鉛直流速のコンター図を示し、鉛直上向き流速を正としている。図より、堤防裏法上流付近では、接続ブロック間の隙間から吸出し防止シート内に流れが進入し、進入した水は堤防裏法下流付近で接続ブロック間の隙間から接続ブロック表面に流出していることが分かる。図-12 は通水 15 分後における吸出し防止シートの最下層の流速を示し、図-13 は同時刻の堤体表面およびガリ内の流速の解析結果を示す。解析結果より、図中の黄色破線で示す接続ブロックの継ぎ目と同じ位置の左右側のガリに水が集中し、その付近の吸出し防止シート内の流速も大きくなっている。図-14 は、同時刻の接続ブロック下面に作用する圧力水頭分布を示す。ガリに集中した流れは法尻部で行き止まりとなり、その付近の圧力を上昇させ、その結果、前述の様に鉛直上向き流速が生じている。

図-15 は通水 60 分後における堤防裏法部の侵食の実測値を示し、図-16 は同時刻の堤防裏法部の侵食の解析結果、図-17 は同時刻の堤体表面及びガリ内の流速の解析結果を示す。通水 60 分後の実測・解析結果より、左岸側壁際から水が進入し、それに伴い堤体左岸側および裏法中流部付近から侵食が発達し、侵食された土砂が法尻付近に堆積している。図-18 より、実験では通水 60 分後に法尻付近で接続ブロックの変形が生じている。この変形は、図-16 に示す結果より、土砂がガリを含む法尻付近に堆積し堤体変形が生じたこと、法尻付近の土砂堆積によって、初期のガリに比べて水みちが縮小しブロック下面の圧力が上昇したことが影響したものと考えられる。

### (4) 初期堤体にガリ（溝）が無い場合における流れ場とそれに伴う堤体侵食の解析結果

図-19 は、初期に堤体表面にガリが無い場合における通水 180 分後の吸出し防止シート内の最下層流速の解析結果を示す。通水 180 分後までは、一部で流速がやや大きくなっているが、吸出し防止シート最下層の流速は全体的に 0.2m/s～0.3m/s 程度に抑制されている。ここで、本実験では水路側壁際から水が浸透しないように対策が行われたため、解析においても水路側壁際からの水の浸透は無いものとした。図-20 は実験結果における通水 180 分後の堤体侵食を示し、図-21 は解析結果における通水 180 分後の堤体侵食を示す。解析結果は実験結果と同様に、法肩部から 2 段目と 3 段目のブロックの継ぎ目付近で最大 10～20cm の洗掘が生じているが、堤体初期にガリが無い場合には、越流水が 3 時間継続してもほぼ堤体形状を維持していることが分かる。

## 4. 結論

本研究は、2 つの主な結論から成る。第 1 は準三次元解析法の枠組みで空気混入を伴う接続ブロック上の流れと吸出し防止シート内部とその下の流れ、それに伴う堤防裏法部の侵食を算定可能な解析法を構築した。第 2 は、本解析法を国総研で実施された接続ブロックと吸出し防止シートの両方が設置され、かつ、初期の堤体表面にガリ侵食がある場合と無い場合の実験に適用し、解析法を検証・検討した。その結果、初期の堤体表面にガリがある場合、ガリ付近に流れが集中し、その付近で洗掘を生じさせ、洗掘した土砂は法尻付近に堆積し、堤体変形を引き起した。また、法尻付近に土砂が堆積したことにより、初期のガリに比べて水みちが縮小したため、その付近のブロック下面の圧力が上昇した。これらが接続ブロックの変形を引き起こしたものと考えられる。一方、ガリが無い場合、本実験条件では、通水 3 時間までは、堤体表面の流速は概ね一様に 0.3m/s で抑えられ、堤体変形は殆ど生じなかった。

今後、洪水流の 3 次元エネルギー分布に基づき、堤防裏法部の侵食対策が必要な箇所を選定する。そして、その場の流れやエネルギー条件や堤体調査に基づく空隙分布を与え、本解析法に基づく表面被覆型対策工の設計検討を行い、現地河川に適用することを考えている。

### ⑦研究成果の発表状況・予定

(本技術研究開発の成果について、論文や学会への投稿等又はその予定があれば記入して下さい。)(以下記入例)

- ・ これまでに発表した代表的な論文
- ・ 著書(教科書、学会妙録、講演要旨は除く)
- ・ 国際会議、学会等における発表状況
- ・ 主要雑誌・新聞等への研究成果発表
- ・ 学術誌へ投稿中の論文(掲載が決定しているものに限る)
- ・ 研究成果としての事業化、製品化などの普及状況
- ・ 企業とのタイアップ状況
- ・ 特許など、知的財産権の取得状況
- ・ 研究成果による受賞、表彰等

研究代表者が所属する中央大学研究開発機構が学内外に研究成果を発表・公表する場である「中央大学理工学研究所・研究開発機構研究発表会(開催日:R6年11/29(金))において、今年度の研究成果をポスター発表した。

また、2025年度河川技術論文集に投稿し、R7年6月19日(木)、20日(金)の河川技術シンポジウムで発表予定である。

### ⑧研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

- ・ 本研究の成果は、下記URLの中央大学福岡ユニットのHPで公開し、常に情報発信する。  
(URL: <https://sfuku.r.chuo-u.ac.jp/top/sfuku/>)
- ・ 河川流域技術研究会(中央大学研究開発機構主催、来場人数:40人程度)において、国土交通省の水資源国土保全局等の技術職員、国土技術政策総合研究所等の研究職員および大学の研究者の方々に対して成果を発表する。
- ・ 中央大学理工学研究所・研究開発機構研究発表会/大学院理工学研究科RA研究発表会において、学内・学外研究者および一般向けに成果を発表している(開催日:R6年11/29(金))。
- ・ 研究室の公開イベント(中央大学の学園祭(開催日:R6/11/2(土)、11/3(日)),来室人数:100人程度,オープンキャンパス(開催日:R6/8/7(水),8/8(木)),来室人数:100人程度)において、一般および一般学生向けに研究成果の情報を発信している。

### ⑨表彰、受賞歴

(単なる研究成果発表は⑦⑧に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)

なし

### ⑩技術研究開発の今後の課題・展望等

(研究目的の進捗状況・達成状況や得られた研究成果を踏まえ、技術研究開発の更なる発展や河川政策の質の向上への貢献等に向けた、技術研究開発の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

本研究法では、実河川に適用し易い準三次元解析法の枠組みで、表面被覆型対策工が設置された堤体裏法部の越流時の流れとそれに伴う侵食を評価出来る解析法を構築している。しかし、超過洪水時に対する実際の堤防の安定性を評価するためには、堤体裏法部の耐侵食性の議論だけでなく、複断面的蛇行流れ等の大規模洪水時の流れと砂州の変形・発達を伴う河床変動、それに応じた洪水流の全エネルギーの変化を適切に見積もり、洪水流の全エネルギーによる堤防の破壊ポテンシャルを評価する必要がある。特に、堤防表法前面の高水敷の侵食および堤防表法面の侵食、堤防余裕高部分の侵食についても適切に評価した上で、表面被覆型対策工等の堤体裏法部の侵食対策について検討する必要がある。

著者らは令和元年多摩川洪水を対象として、超過洪水時の複断面的蛇行流れを伴う流れと砂州の大規模変形・発達を伴う河床変動と、それに応じた洪水流の全エネルギーの変化と被災の関係について明らかにしている。今後、大規模洪水時の河道内の流れと河床変動の解析法を堤防表法面とその前面の高水敷の侵食を解析出来るように改良し、これと本研究で構築した解析法を組み合わせることで、超過洪水に対する堤防の安全性とその対策法について議論できるようにする。

### ⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本技術研究開発で得られた研究成果の実務への反映等、河川政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

今後起こり得る計画規模を超えるような大規模洪水時に対して、堤防越水が生じる危険性の高い箇所については、越流水による堤防裏法侵食が生じにくく、堤防決壊の生じにくい粘り強い堤防とすることが求められており、その対策工の一つとして、堤防裏法部全面に連節ブロックと吸出し防止シートを設置する表面被覆型対策工が検討されている。本研究で開発した解析法は、表面被覆型対策工を実施した場合において、堤防越水時にどのような流速が堤体土表面に作用するのか、どの程度の流体力が接続ブロックに作用するのか等を解析することが可能であり、必要な接続ブロックの諸元、吸出し防止シートの厚さ等を評価するためのツールとなり得る。

しかし、⑩に示したように、超過洪水時に対する実際の堤防の安定性を評価するためには、堤体裏法部の耐侵食性の議論だけでなく、複断面的蛇行流れ等の大規模洪水時の流れと砂州の変形・発達を伴う河床変動、それに応じた洪水流の全エネルギーの変化を適切に見積もり、河道で生じる現象と堤体侵食を一体的に評価する必要がある。これについては今後の課題である。