

# 吸出し防止材で覆われた 堤防裏法面に越水時に 作用する流速に関する検討

- 西嶋 貴彦 共和コンクリート工業株式会社 技術部  
(元国土交通省 国土技術政策総合研究所河川研究部 河川研究室)
- 三好 朋宏 国土交通省 国土技術政策総合研究所河川研究部 河川研究室)
- 三尾 奈々恵 国土交通省 国土技術政策総合研究所企画部 企画課  
(元国土交通省 国土技術政策総合研究所河川研究部 河川研究室)
- 福島 雅紀 国土交通省 北陸地方整備局 信濃川河川事務所  
(元国土交通省 国土技術政策総合研究所河川研究部 河川研究室)

- 越水した場合でも決壊しにくく、堤防が決壊するまでの時間を少しでも長くするなどの減災効果を発揮する粘り強い河川堤防の技術開発が求められている。
- 吸出し防止材により堤防裏法面を被覆する構造について、堤体侵食を抑制する効果を確認するためには、吸出し防止材表面に作用する越流水の流速と吸出し防止材と堤体との隙間の流速の関係を把握し、堤体に作用する流速を適切に算定することが重要。



本研究では、吸出し防止材等の厚さや密度、隙間高の違いによる流速低減効果の違いについて確認することを目的として、以下のことを実施した。

- 大規模越水実験で、隙間の流れの有無を確認。
- 小規模越水実験で、厚さの異なる複数の吸出し防止材や材質の異なるシート材(以下「吸出し防止材等」という。)を対象に隙間の流速を計測。
- 既往の知見を参考に、吸出し防止材等の表面と隙間の流速の関係を求めた。

## 2. 大規模越水実験の概要

3

- 吸出し防止材と堤体との隙間の流れの有無の確認を行い、吸出し防止材を設置することによって、堤体土羽表面に作用する流速をどの程度低減できているかを把握。
- 実物大スケールの堤防模型を製作し、裏法面の堤体土表面に7号珪砂で1m間隔のラインを引き、その上から河川護岸用の吸出し防止材(厚さ10mm)を敷設した。
- 越流水深30cmで3時間越水させ、裏法面を流れる越流水の表面流速を計測(PTV)した。
- 3時間通水後に吸出し防止材を剥がし、珪砂によるラインの残存状態を目視で確認した。

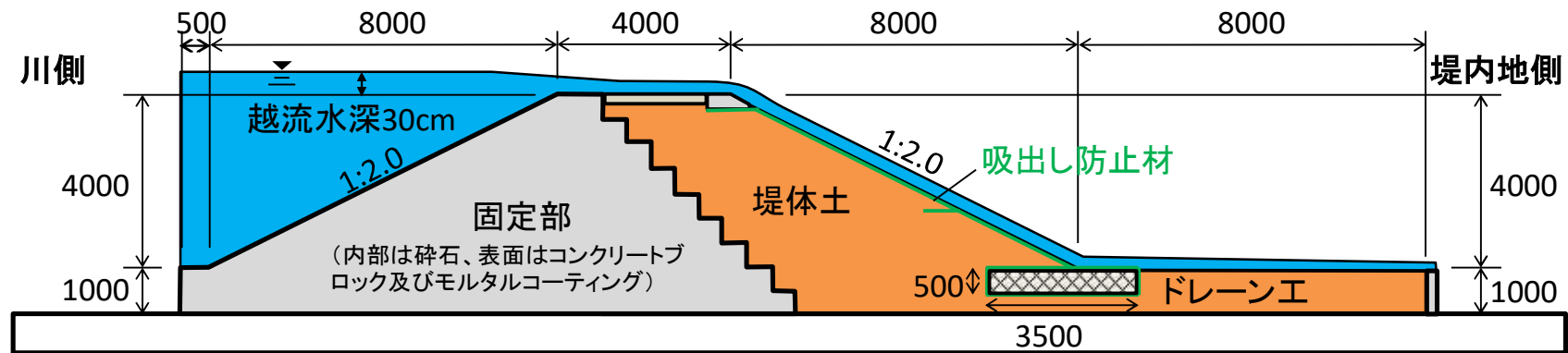


図-1 実験模型の形状図



堤体土に珪砂でラインを引いた状況(通水前)



越流水深30cmでの通水状況

### 3. 小規模越水実験の概要

- 吸出し防止材等の種類を変えて6ケース実験を行った。
- 裏法面を流れる越流水の表面流速および隙間の流速、裏法面の水深を計測
- 表面流速はPTV解析により算定
- 隙間の流速の算定は、60fpsの高速度カメラを使用し、隙間に染料を注入して0.15mの計測区間を染料の流れの先端が通過する時間から流速を算定



裏法面の一部はアクリル製  
隙間の流れを模型内部から撮影可能

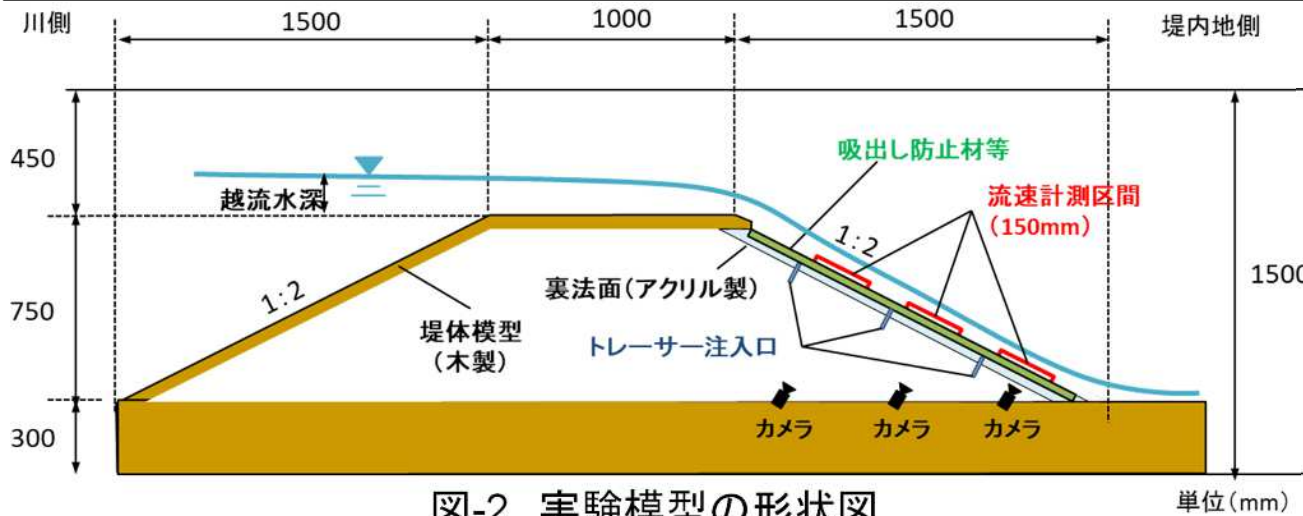
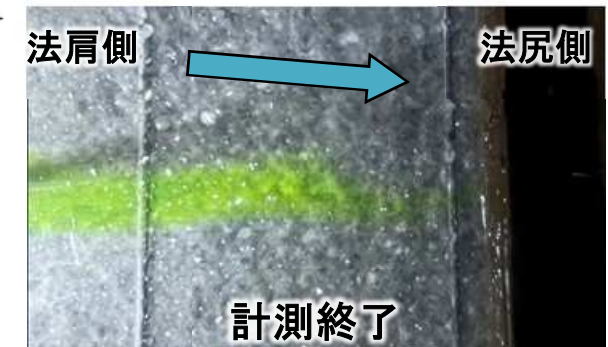
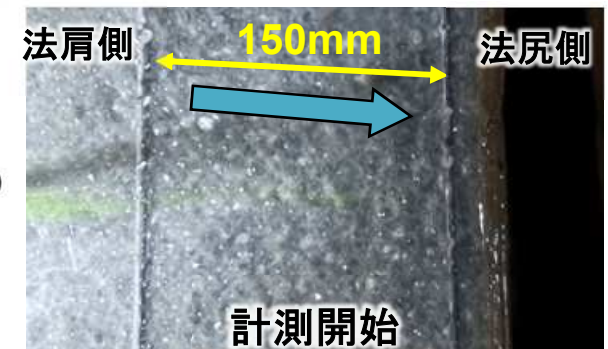
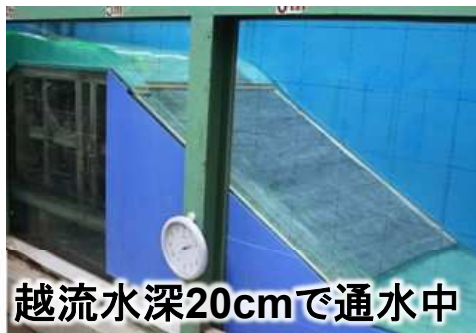


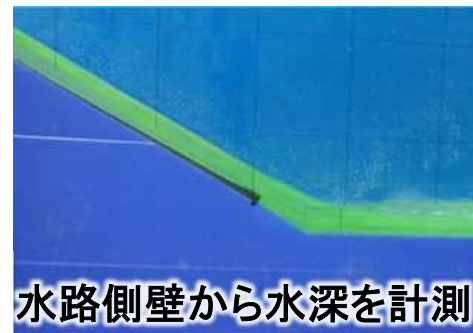
図-2 実験模型の形状図



隙間の流速計測状況



越流水深20cmで通水中



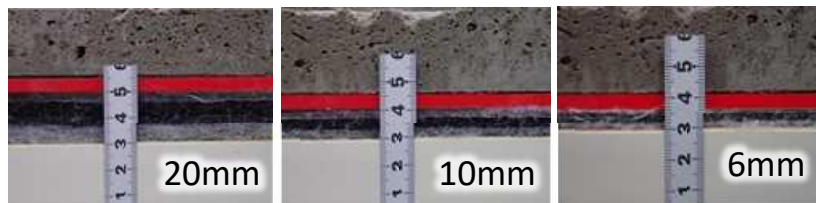
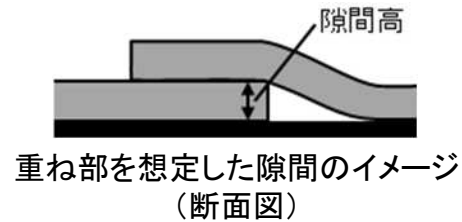
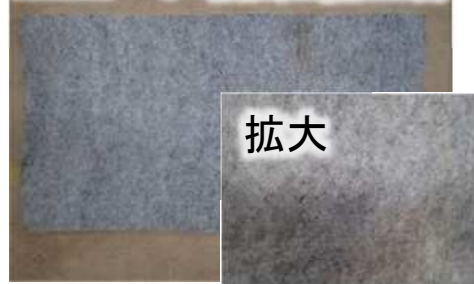
水路側壁から水深を計測



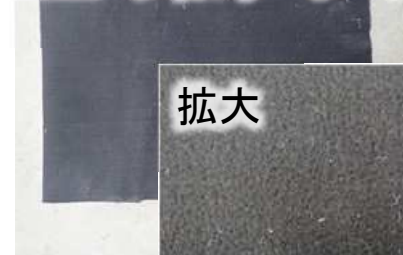
# 4. 小規模越水実験のケース

Case	吸出し防止材等の名称	厚さ (mm)	隙間高 (mm)	透水係数 (cm/s)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	材質
1	吸出し防止材	20	0	$2.35 \times 10^{-1}$	0.13	PET不織布
2	〃	10	0	$1.16 \times 10^{-1}$	0.14	〃
3	〃	10	10(重ね部)	〃	〃	〃
4	〃	6	0	$3.27 \times 10^{-1}$	0.11	〃
5	フィルターシート	3	0	$2.1 \times 10^{-1}$	0.12	PP不織布+PET
6	侵食防止シート	28.4	0	—	0.05	PP

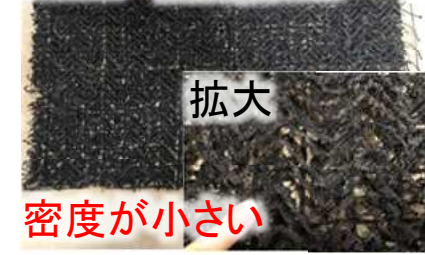
Case1~4 吸出し防止材



Case5 フィルターシート



Case6 侵食防止シート



※赤と白の間がシート材の断面(厚さ)

## 5. 大規模越水実験の珪砂の残存状況

6

- 越流水の表面流速が大きくなる法尻部において、珪砂のラインが流出。
- 吸出し防止材を敷設していても、土質によっては堤体が侵食される恐れがあることを示唆。

**【実験結果】** 越流水深30cm時  
法尻部の流速7.34m/s 水深6.7cm

**【試算】**  
7号珪砂(平均粒径0.2mm)の限界摩擦速度  
岩垣の式より

$$u_{*c}^2 = 8.41d^{11/32}$$

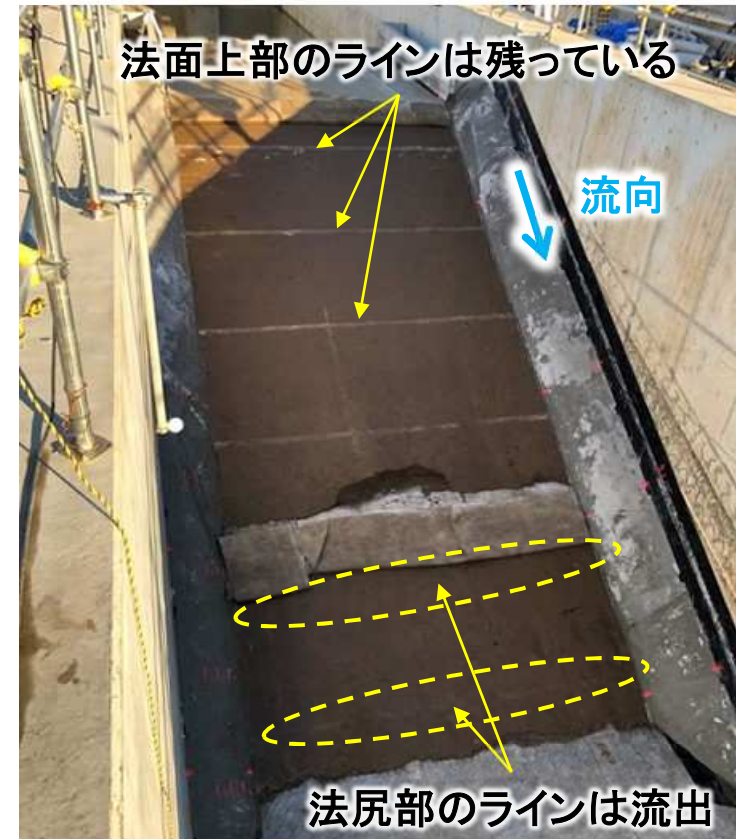
$$u_{*c} = 0.0148(m/s)$$

流速係数 $C$

$$C = \sqrt{ghi/v} = \sqrt{9.8 \times 0.067 \times 0.5/7.34} = 13$$

珪砂7号の移動限界流速(推定値)は、

$$V = C \cdot u_{*c} = 13 \times 0.0148 = \underline{0.19}(m/s)$$

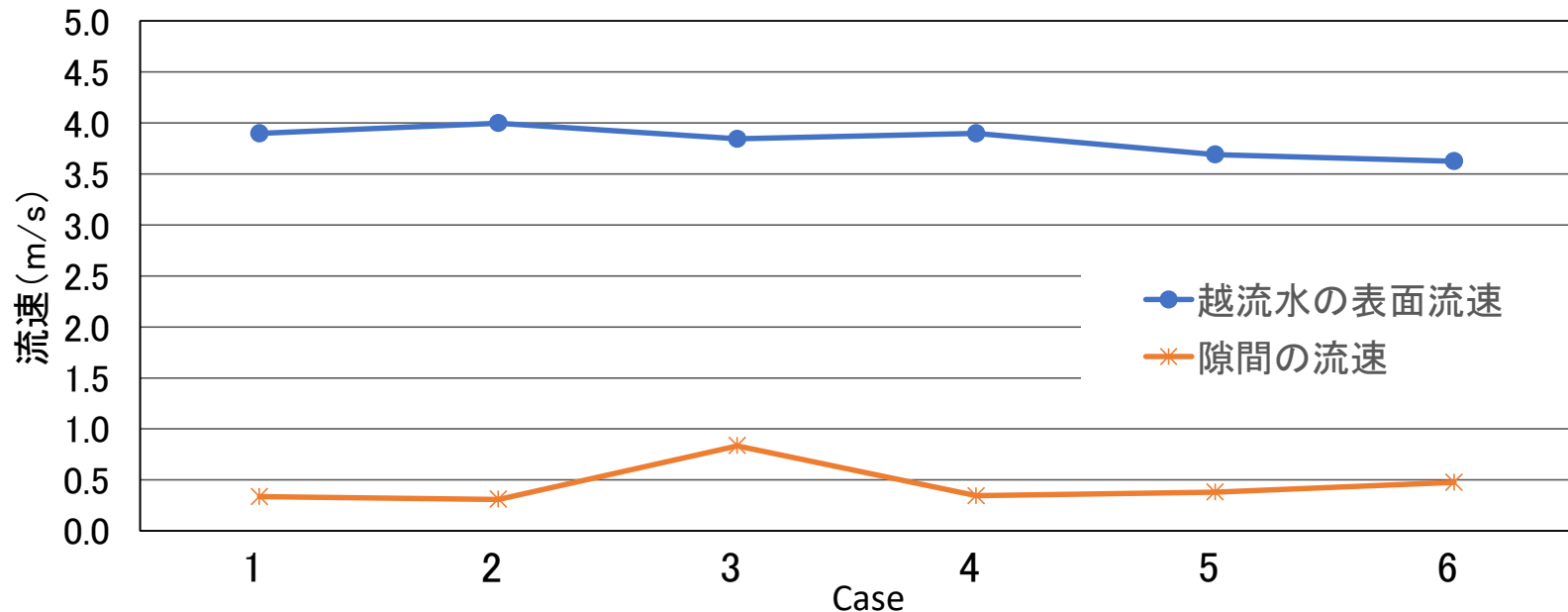


法尻部においては、隙間の流れがあり、隙間の流速は0.19m/s程度以上であることが推定される。

## 6. 小規模越水実験の越流水の表面流速と隙間の流速

7

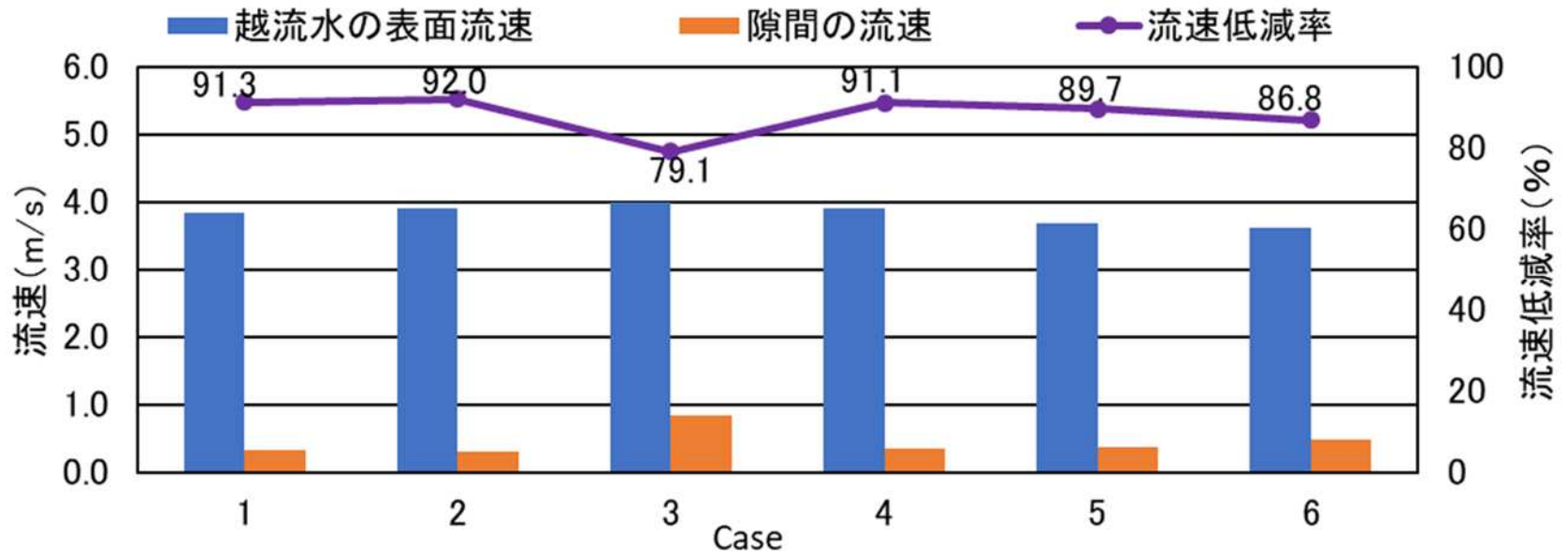
- 厚さや材質の違いによる越流水の表面流速や隙間の流速の影響は大きい。
- 重ね部を想定した(Case3)の隙間の流速が他のケースに比べ約2倍程度に大きい。
- 隙間高を大きくしたことで、抵抗が大きい浸透層内の流れではなく、局所的に平板間の流れになったと推察される。
- 侵食防止シート(Case6)についても他のケースに比べ隙間の流速がやや大きい。
- 侵食防止シートは、吸出し防止材に比べ密度が半分程度と小さく、空隙が大きいことから表面流の影響を受けやすかったものと考えられる。



吸出し防止材等の名称	吸出し防止材	吸出し防止材	吸出し防止材	吸出し防止材	フィルターシート	侵食防止シート
厚さ(mm)	20	10	10	6	3	28.4
隙間高(mm)	0	0	10	0	0	0
密度(g/cm <sup>3</sup> )	0.13	0.14	0.14	0.11	0.12	0.05
材質	PET不織布	PET不織布	PET不織布	PET不織布	PP不織布+PET	PP

## 7. 小規模越水実験の吸出し防止材による流速の低減効果<sup>8</sup>

- 吸出し防止材の厚さの違い(Case1,2,4)で、隙間の流速や流速低減率に大きな差はない。
- 重ね部を想定した(Case3)は、隙間の流速が大きくなるため流速低減率も小さい。
- 侵食防止シート(Case6)は、他のケースに比べ越流水の表面流速は遅くなるが、隙間の流速が大きくなり、流速低減率は劣る。
- 密度が小さいため、粗度は大きくなり表面流速が遅くなるが、水が浸透しやすいため隙間の流速は大きくなるものと推察できる。
- フィルターシート(Case5)の流速低減率は、吸出し防止材(Case1,2,4)と比べるとやや低下。
- 透水係数に大きな差が無いことを考えると厚さの違いによる影響があると考えられる。



吸出し防止材等の名称	吸出し防止材	吸出し防止材	吸出し防止材	吸出し防止材	フィルターシート	侵食防止シート
厚さ(mm)	20	10	10	6	3	28.4
隙間高(mm)	0	0	10	0	0	0
密度(g/cm <sup>3</sup> )	0.13	0.14	0.14	0.11	0.12	0.05
透水係数(cm/s)	$2.35 \times 10^{-1}$	$1.16 \times 10^{-1}$	$1.16 \times 10^{-1}$	$3.27 \times 10^{-1}$	$2.1 \times 10^{-1}$	-



## 8. 既往の算定手法による試算

- 染料が拡散するため吸出し防止材等の表面での流速の計測ができなかった。そのため、表面流速と隙間の流速の計測結果から、既往の知見を参考に、吸出し防止材等の内部及び法面垂直方向の流速分布を算出し、吸出し防止材等の表面の流速を求めた。
- 固定床上に浸透層(多孔質体や植生等)を設けた場合での流れ場の特徴として、山田ら<sup>1)</sup>や清水ら<sup>2)</sup>によって、浸透層内の流速は、浸透層表面から底面に向かって減少する指数関数で近似できること、浸透層上の流速は、対数分布で近似できることが示されている。

山田ら<sup>1)</sup>は、浸透層上での流速 $u_1$ を次式で表している

$$\frac{u_1}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{z + z_0}{z_0} + \frac{u_0}{u_*}$$

$u_*$ : 浸透層表面での摩擦速度

$\kappa$ : カルマン定数

$z$ : 浸透層表面を原点とする鉛直座標

$z_0$ : 対数分布式に合わせるための補正量

$u_0$ : 浸透層表面での流速

清水ら<sup>2)</sup>は、浸透層内の流速 $u_2$ を次式で表している

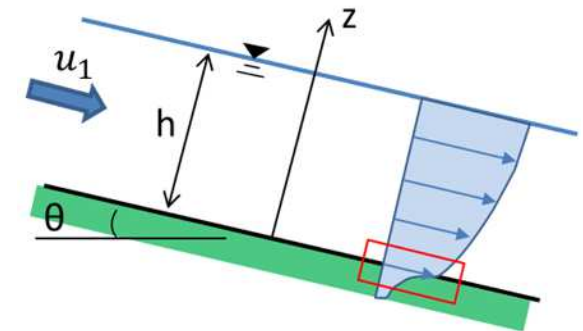
$$\frac{u_2 - u_s}{u_0 - u_s} = \exp(\beta z)$$

$u_s$ : 浸透層内の固有浸透流速

$u_0$ : 浸透層表面での流速

$\beta$ : 定数

$z$ : 浸透層表面を原点とした鉛直座標



浸透層表面において、 $u_1$ と $u_2$ の速度勾配が等しいことから、 $\beta$ は次式で表される

$$\beta = \frac{u_s}{\kappa z_0 u_0}$$

1) 山田正ら: 浸透層上の流れの抵抗則に関する理論的研究, 土木学会論文報告集, 第325号, pp.69-80, 1982.

2) 清水義彦ら: 直立性植生層を伴う流れ場の構造に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.438, pp.31-40, 1991.

# 9. 既往の算定手法による試算

- 隙間がある場合の試算ができないためCase3を除く5ケースについて、吸出し防止材等の内部及び法面垂直方向の流速分布を試算した。
- 実験で計測した隙間の流速を $u_s$ とし、 $z_0$ や $u_0$ の値を変えることで、表面流速と隙間の流速の実験値に合致する流速分布及び $u_0$ の最大値を調べた。
- $z_0$ の最大値は $1/2 h$ とした。

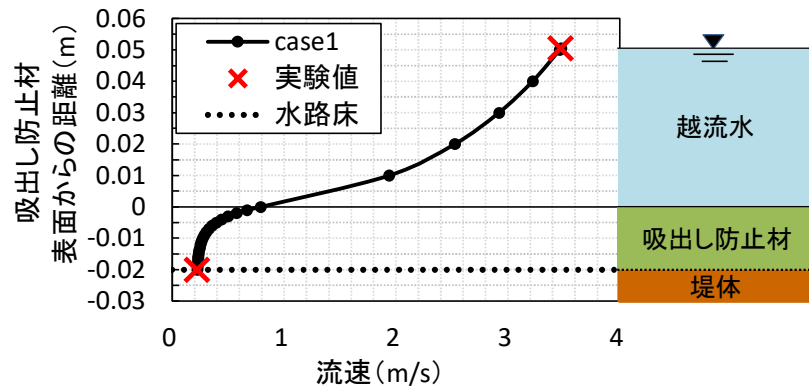


図-3 Case1の流速分布の試算結果

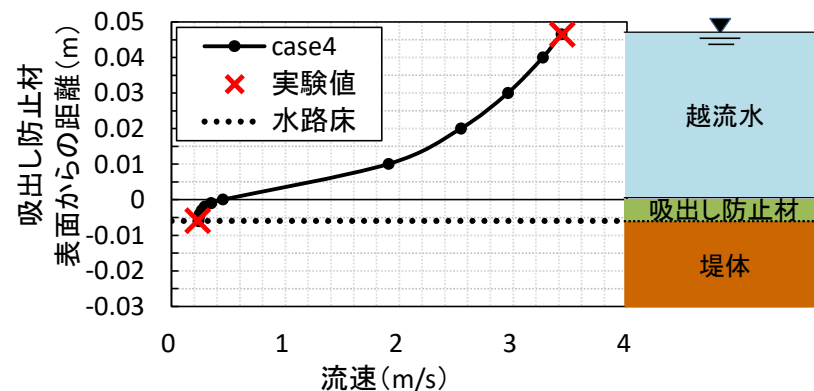


図-4 Case4の流速分布の試算結果

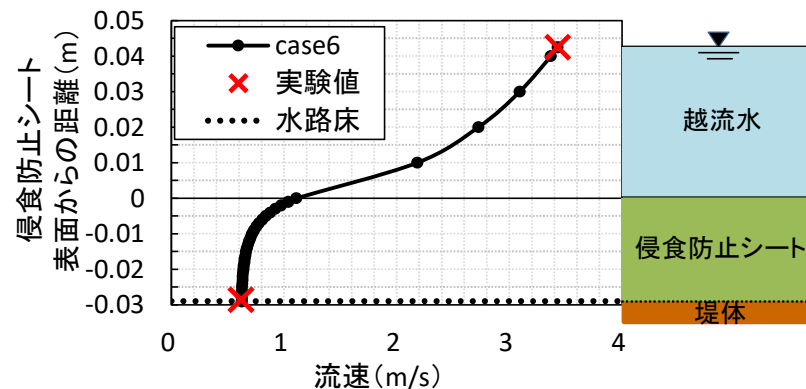
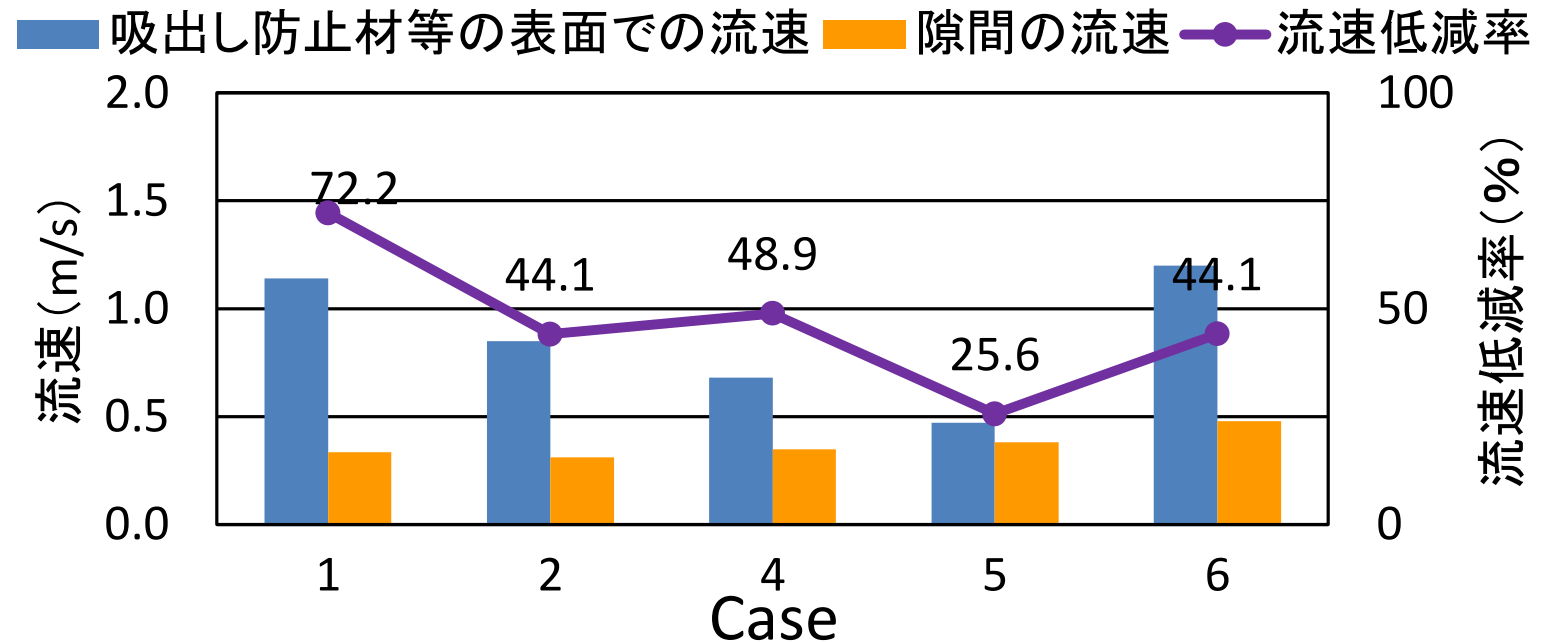


図-5 Case6の流速分布の試算結果

## 10. 試算から求めた $u_0$ と隙間の流速から算出した流速低減率<sup>11</sup>

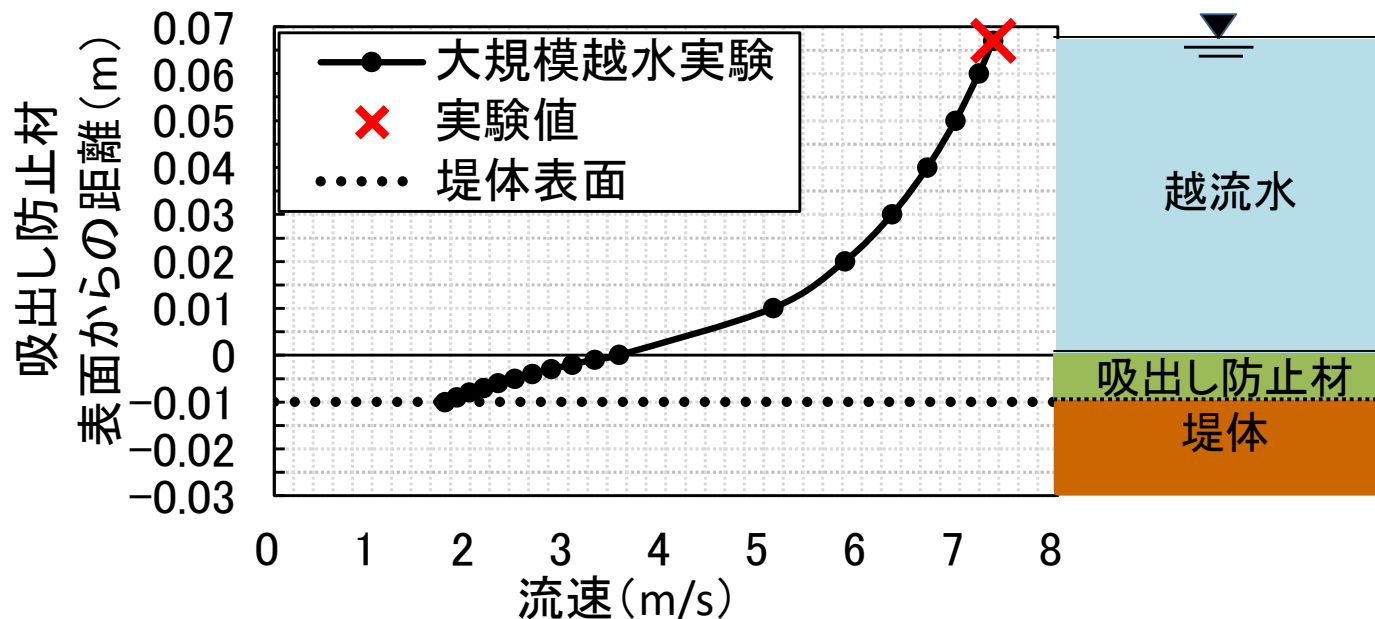
- Case1,2,4,5の結果から浸透層の厚さが薄くなるにつれて流速低減率が減少する傾向が見られた。これは、浸透層が薄くなるほど固定床の粗度の影響を受け、浸透層での流速の低減の影響が相対的に小さくなったためと考えられる。
- Case1,4,6の結果から、3ケースのうち、最も浸透層厚が大きいCase6の流速低減率が最も小さくなっている。
- 吸出し防止材等の表面の流速の低減率においても、厚さだけでなく、密度が小さい(空隙が大きい)ことによる影響が確認できた。



吸出し防止材等の名称	吸出し防止材	吸出し防止材	吸出し防止材	フィルターシート	侵食防止シート
厚さ(mm)	20	10	6	3	28.4
密度(g/cm <sup>3</sup> )	0.13	0.14	0.11	0.12	0.05
透水係数(cm/s)	$2.35 \times 10^{-1}$	$1.16 \times 10^{-1}$	$3.27 \times 10^{-1}$	$2.1 \times 10^{-1}$	-

# 11. 大規模越水実験での法尻部における流速分布の試算<sup>12</sup>

- 越流水の表面流速を既知として試算を行う場合、 $z_0$ が大きくなるにつれて、吸出し防止材表面の流速や隙間の流速も大きくなる。
- 安全側の試算とするため、ここでは、 $z_0$ の最大値(5.0mm)を用いて試算を行った。
- 吸出し防止材表面の流速は3.52m/s、隙間の流速は1.74m/sとなった。
- 令和元年東日本台風による越水箇所での現地調査の対象となった堤防の侵食限界流速が3m/s程度以上<sup>3)</sup>であること考えると、吸出し防止材を敷設することによって、粘り強くなる効果が期待できる。



3) 福島雅紀ら: 越水による河川堤防の壊れ方に関する考察, 河川技術論文集, 第28巻, pp.85-90, 2022.



# 12. 試算に用いた実験結果及び試算結果の一覧表

Case	小規模越水実験						大規模越水実験
	1	2	3	4	5	6	
吸出し防止材等の名称	吸出し防止材	吸出し防止材	吸出し防止材	吸出し防止材	フィルターシート	侵食防止シート	吸出し防止材
厚さ(mm)	20	10	10	6	3	28.4	10
隙間高(mm)	0	0	10	0	0	0	0
透水係数(cm/s)	$2.35 \times 10^{-1}$	$1.16 \times 10^{-1}$	$1.16 \times 10^{-1}$	$3.27 \times 10^{-1}$	$2.1 \times 10^{-1}$	-	$1.16 \times 10^{-1}$
密度(g/cm <sup>3</sup> )	0.13	0.14	0.14	0.11	0.12	0.05	0.14
越流水の表面流速(m/s)	<u>3.47</u>	<u>3.35</u>	<u>3.43</u>	<u>3.43</u>	<u>3.52</u>	<u>3.43</u>	<u>7.34</u>
裏法面での水深(cm)	<u>5.1</u>	<u>4.6</u>	<u>4.6</u>	<u>4.6</u>	<u>4.5</u>	<u>4.2</u>	<u>6.7</u>
隙間の流速(m/s)	<u>0.22</u>	<u>0.33</u>	<u>0.91</u>	<u>0.23</u>	<u>0.32</u>	<u>0.62</u>	1.74
吸出し防止材等の表面での流速 $u_0$ (m/s)	0.79	0.59	-	0.45	0.43	1.11	3.52
$z_0$ (mm)	6.6	5	-	4.2	3.4	6.4	5
$u_0$ の低減率(%)	72.2	44.1	-	48.9	25.6	44.1	50.6
表面流速の低減率(%)	93.7	90.1	73.5	93.3	90.9	81.9	76.3

※下線の数値は実験による計測値(小規模越水実験では法面中腹での計測値、大規模越水実験では、法尻部での計測値を用いた)

## 実験及び既往の知見を参考とした試算により確認できたこと

吸出し防止材等の厚さや密度、隙間高の違いによる流速低減効果の違いについて、以下の知見が得られた。

- ① 越流水の表面流速と隙間の流速から算出した吸出し防止材等の流速低減率については、吸出し防止材の厚さの違いによる影響はみられなかった。
- ② 吸出し防止材等の厚さや密度の違いよりも、隙間高の影響の方が大きいことが示唆された。このことは、実際の現場においても吸出し防止材の重ね部では隙間の流速が速くなり、堤体に作用するせん断力が大きくなることを示している。
- ③ 吸出し防止材等の表面での流速と隙間の流速から算出した流速低減率については、浸透層の厚さが薄くなるにつれて流速低減率が減少する傾向が見られた。
- ④ 大規模越水実験での試算から、吸出し防止材を設置することによって、堤体土羽表面に作用する流速を侵食限界流速以下にできる試算結果を示した。

## 今後の課題

- 越流水の表面流速が4m/s以上となるような高流速が作用したときの吸出し防止材による流速低減効果の評価は今後の課題である。
- 不同沈下等により大きな隙間が発生した際の堤体に作用する流速の算出方法の検討が必要である。