

柔構造透過性シェルネット型表面被覆工の堤体 侵食抑制効果に関する実験的研究

○関谷 勇太¹・小林 薫²・松元 和伸³・辻 勲平⁴
武田 茂樹²・孫 冉²

¹ ナカダ産業株式会社

² 茨城大学学術研究院

³ 飛島建設株式会社

⁴ 東北大学大学院

1. 研究の背景と目的

防災と環境を両立した建設技術の開発

◆令和元年台風19号による洪水被害

信濃川水系千曲川(長野県長野市)



阿武隈川水系阿武隈川(福島県須賀川市他)



引用元) 国土交通省, 資料6 令和元年台風19号による被害等, 令和元年11月22日.

粘り強い河川堤防

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の発揮する河川堤防。

Eco-DRR

自然の持つ力によって災害による被害を防止又は軽減させる取り組み・考え方。

※(図5-1) 水害リスクの軽減に資するEco-DRR



引用元) 環境省, 持続可能な地域づくりのための生態系を活用した防災・減災(Eco-DRR)の手引き, 令和5年3月.

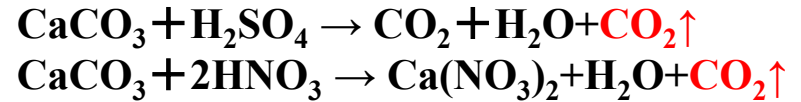
NBI

自然環境が持つ機能をインフラ資産として捉え、防災・減災などの課題を解決するアプローチ。



引用元) NATURE-BASED INFRASTRUCTURE GLOBAL RESOURCE CENTRE, <https://nbi.iisd.org/resources/>.

貝殻による環境問題



大量のホタテ貝殻は処分方法が確立されていないため、漁港周辺に高く野積み状態にある

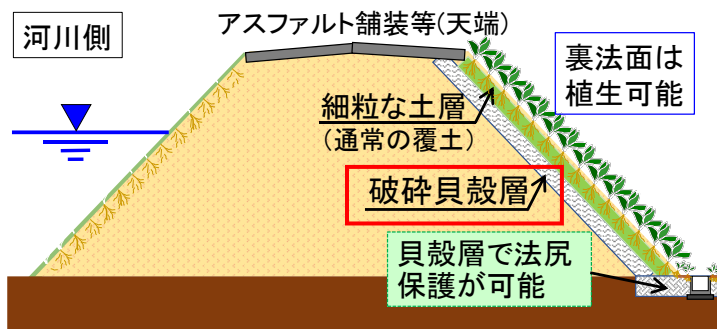
- ・ 悪臭
- ・ 景観悪化
- ・ CO₂の排出

貝殻の軽量による**施工性**、**経済性**や**環境性**に着目した粘り強い河川堤防を実現

1. 研究の背景と目的

貝殻型キャピラリーバリア（CB）堤防

粗粒層（破碎貝殻）に細粒層（覆土）を敷設することで、キャピラリーバリア（CB）機能により堤体内への雨水浸透抑制を発揮する河川堤防



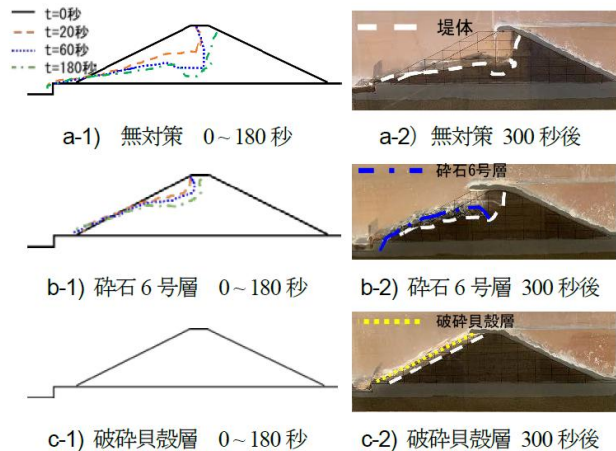
引用元) 大楚ら：貝殻を用いたキャピラリーバリア土層で被覆された堤防法面における雨水浸透抑制効果，2024.

シェルネットの概要

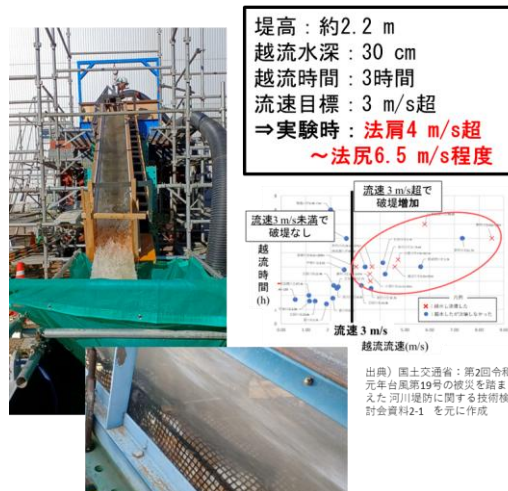
内部を小部屋に区切ったマット状の合成繊維網
(透水性柔構造の被覆工)



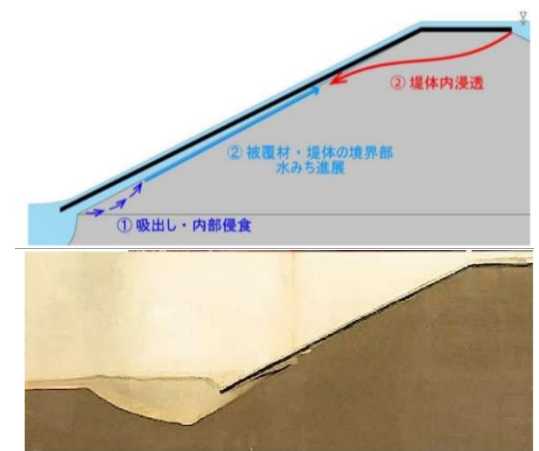
◆ 破碎貝殻層による堤体の侵食抑制・防止効果



◆ シェルネットの侵食防止・抑制効果



◆ 遮水性剛構造の堤防裏法面被覆工下におけるパイピング



引用元) 夏目ら：堤体と基礎地盤の浸透を考慮した堤防越流時の表面被覆工とドレーン工の効果の検証，地盤工学ジャーナル，Vol. 20，No.3，pp. 367-380，2025..

1. 研究の背景と目的

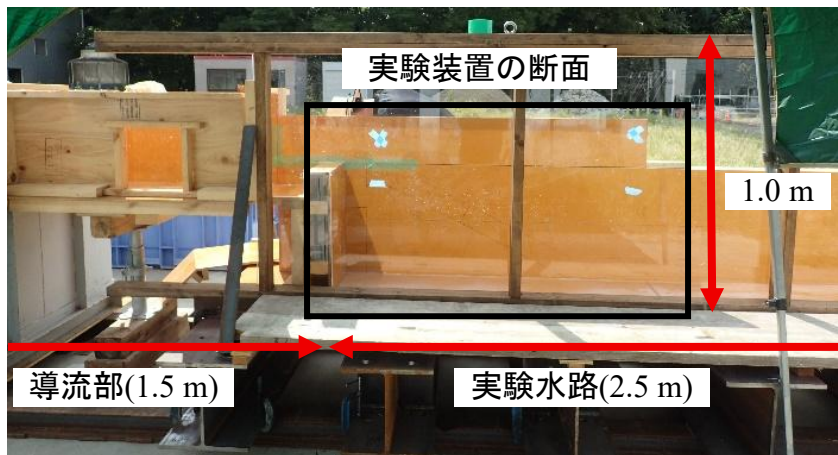
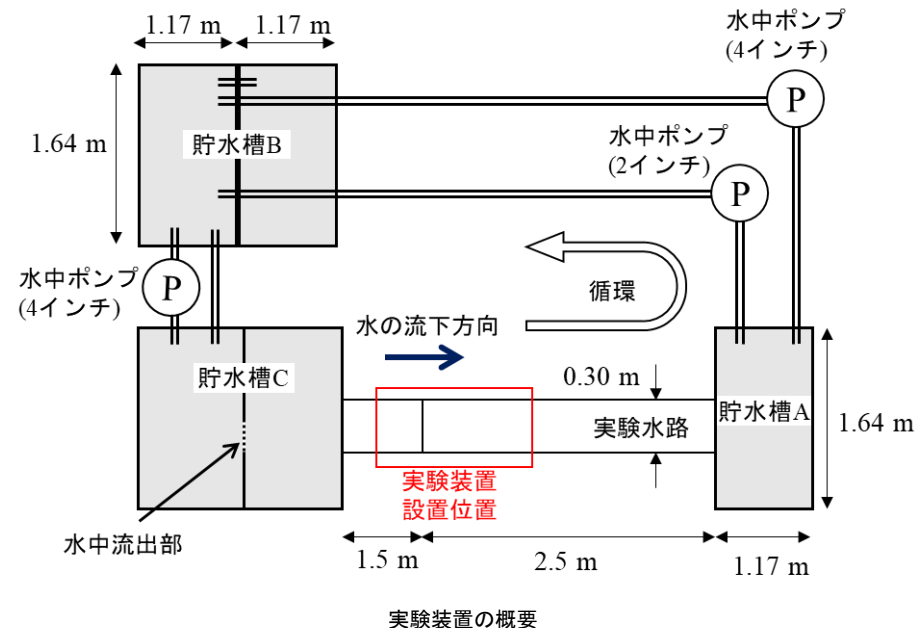
シェルネットと堤体土を含む堤防全体の安定性およびパイピングの発生有無を、全高0.50m規模の模型堤防を用いた越水実験により明らかにし、「粘り強い河川堤防」の構築可能性を検討した。

＜＜着目したポイント＞＞

- 表面被覆工下のパイピング現象の発生条件
- 越流水深0.10 m（0.50 m），越流時間3時間（約10時間）に対する堤体安定性
- シェルネットによる堤体安定性への寄与

2. 越水実験の方法

実験装置



実験装置

相似則

水路壁や被覆材で拘束された堤体土の変形に着目して重力場における地盤の相似則（式(1)）を適用

$$\lambda_t = \left(\frac{\lambda \lambda_\varepsilon}{\lambda_g} \right)^{0.5} \quad (1)$$

λ_t : 時間, λ : 寸法, λ_g : 重力加速度, λ_ε : ひずみの相似比

$\lambda_g = 1, \lambda_\varepsilon = \lambda^{0.5}$ を仮定

物理量	項目	相似比
x	長さ	λ
ρ	飽和土の密度	1
ε	ひずみ	$\lambda^{0.5}$
g	重力加速度	1
t	時間	$\lambda^{0.75}$

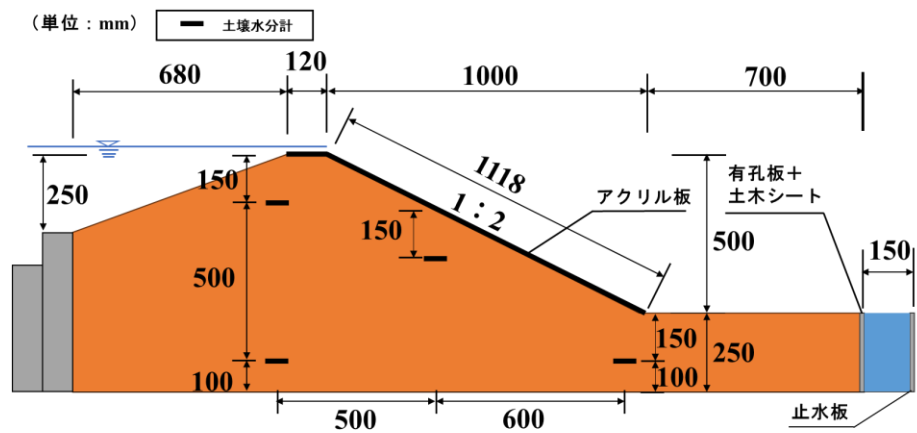
※参考値として模型実験の結果から実物大実験の適用可能性を検討するための解釈

2. 越水実験の方法

実験断面と実験ケース

◆パイピング現象の再現実験（ケース(a), (b)）

堤体土の飽和・不飽和の違いによる被覆工下のパイピング現象の発生傾向の違いを確認するための実験断面



堤防模型の断面図



堤防模型の作製状況



アクリル板の設置状況



堤体模型下流部の貯水状況

ケース名	越流水深 h_t	越流時間 T	堤体土	被覆工	吸出し防止材
ケース(a)	0.01 m (0.05 m)	—	珪砂7号 (飽和)	アクリル板 $t_a=0.005$ m ($t_a=0.025$ m)	—
ケース(b)	0.01 m (0.05 m)	—	珪砂7号 (不飽和)	アクリル板 $t_a=0.005$ m ($t_a=0.025$ m)	—

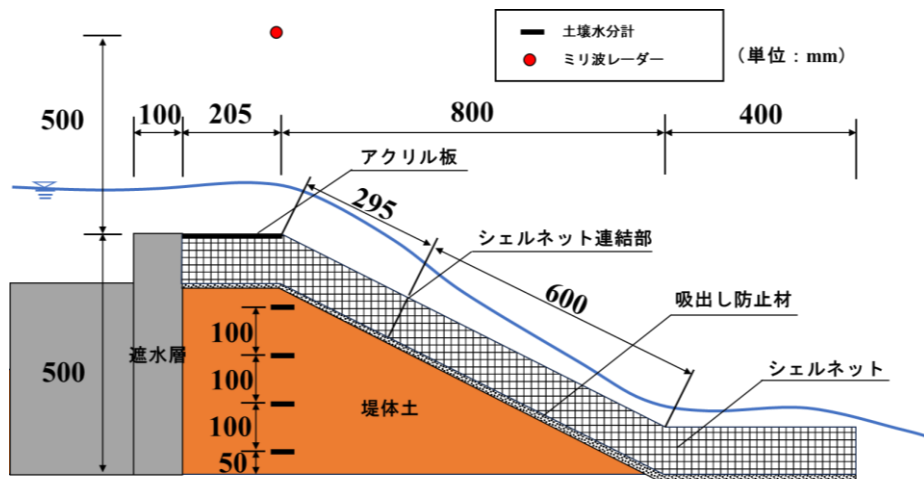
※括弧内の数値は現地換算値を示す

2. 越水実験の方法

実験断面と実験ケース

◆堤体侵食実験（ケース(c), (d)）

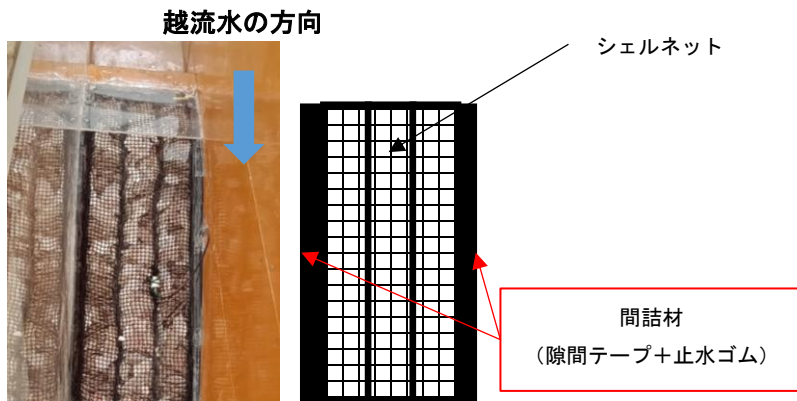
シェルネット+吸出し防止材2種で堤防裏法面を被覆した場合の、堤体の侵食抑制効果を確認するための実験断面



堤防模型の断面図



堤防模型の作製状況（ケース(d)）



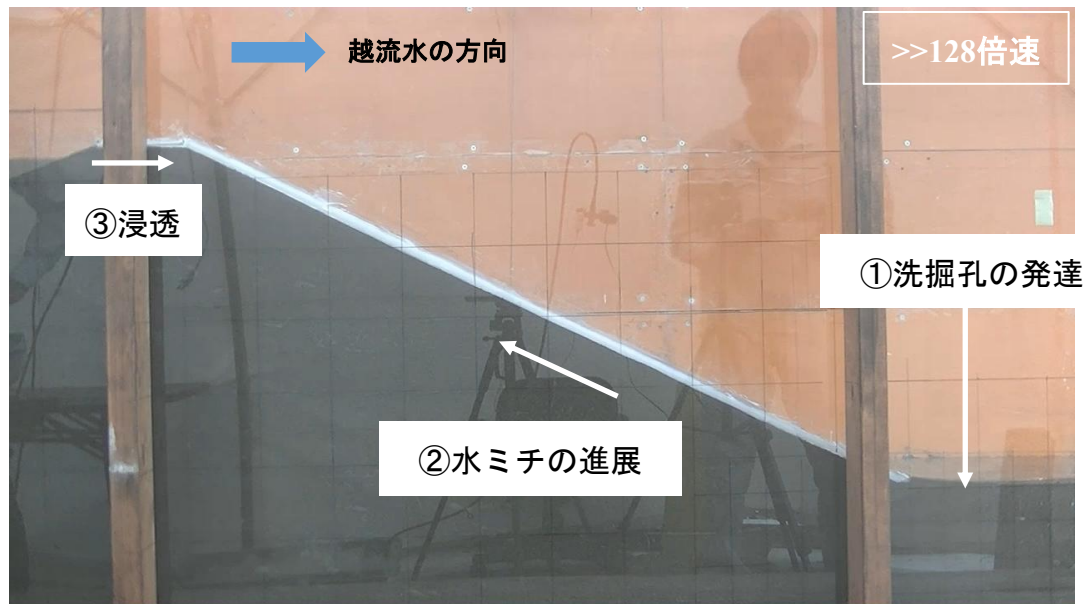
水路境界部の処理方法

ケース名	越流水深 h_t	越流時間 T	堤体土	被覆工	吸出し防止材
ケース(c)	0.06 m, 0.10 m (0.30 m, 0.50 m)	3時間 (10時間)	稲城砂	シェルネット $t_n=0.10$ m ($t_n=0.50$ m)	不織布 $t_s=0.01$ m ($t_s=0.05$ m)
ケース(d)	0.06 m, 0.10 m (0.30 m, 0.50 m)	3時間 (10時間)	稲城砂	シェルネット $t_n=0.10$ m ($t_n=0.50$ m)	破碎貝殻 $t_b=0.02$ m ($t_b=0.10$ m)

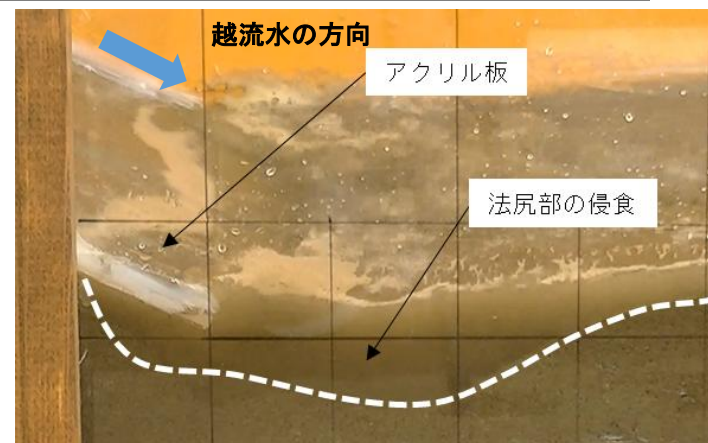
※括弧内の数値は現地換算値を示す

3. 越水実験の結果と考察

被覆工下のパイピング現象の再現と発生条件



堤体崩壊前の状況（ケース(a)）（動画）



越流時の裏法尻部の洗掘状況（ケース(a), (b)）



崩壊時の天端被覆工下面の状況（ケース(a)）（動画）

- ・ ケース(a)では、越水開始から $T=35.5$ 分後（ $T=118$ 分後）には堤体が一気に崩壊した。
- ・ ケース(b)では、裏法尻部の洗掘孔は発達するものの、 $T=2$ 時間（ $T=6.6$ 時間）以上経過後も崩壊には至らない

遮水性剛構造体＋堤体土が飽和状態の時にパイピング現象が発生しやすい

3. 越水実験の結果と考察

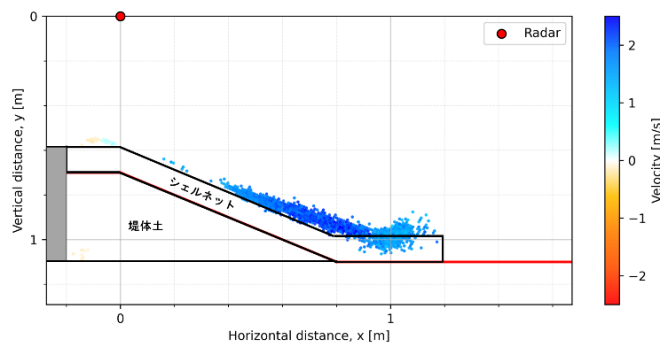
越流外力とシェルネットの堤体侵食抑制効果



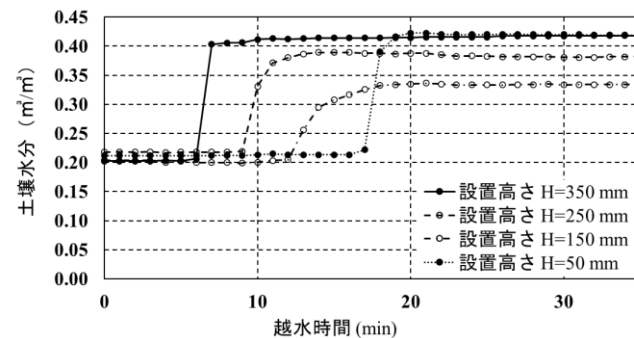
堤体の越水状況（ケース(c), 越流水深 $h_t=0.10\text{ m}$ （0.50 m））（動画）



堤体の越水状況（ケース(d), 越流水深 $h_t=0.10\text{ m}$ （0.50 m））（動画）



越流水の流速分布（ミリ波レーダー）



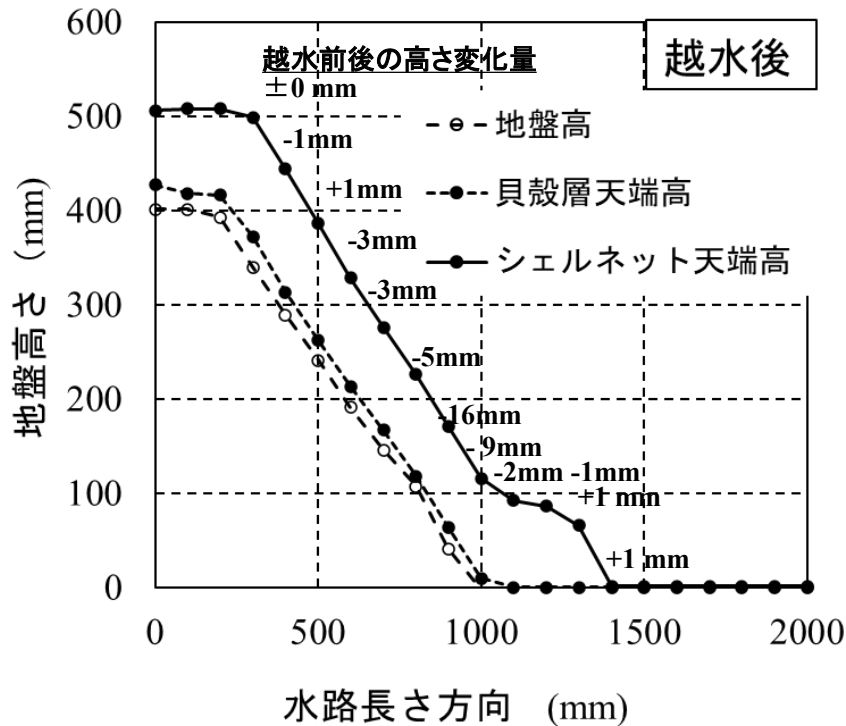
堤体内の飽和状況（土壌水分計）

- ・ 越流流速 v_s は法面に沿って加速し、越流水深 $h_t=0.06\text{ m}$ （0.30 m）の条件で最大約1.2 m/s、越流水深 $h_t=0.10\text{ m}$ （0.50 m）の条件で最大約1.6 m/sが確認できた。
- ・ 堤体内部は飽和状態にあるが、被覆工下のパイピング現象の発生は確認されない。

両ケース共に、 $T=3$ 時間（約10時間）後も大きな変状がないことを確認した

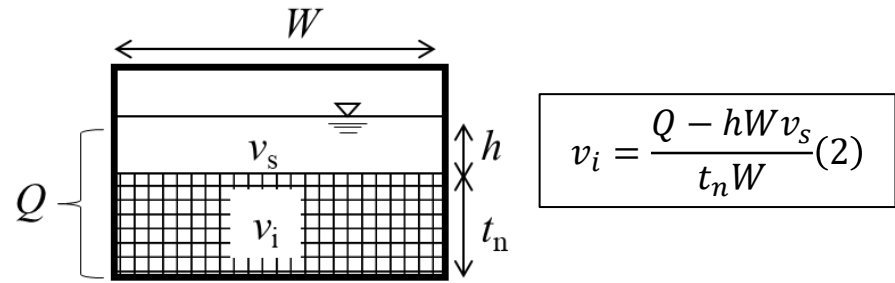
3. 越水実験の結果と考察

越水前後の地形変化状況



- ・ 堤体構造の著しい変形は確認できない
- ・ 破碎貝殻層が吸出し防止シート代替になり得る可能性も示唆

シェルネットによる越流水のせん断力低減効果



v_i : 浸透水の流速(m/s)

v_s : 越流流速(m/s)

Q : 越流流量(m^3/s)

W : 水路幅(=0.30 m)

h : シェルネット表面の水深(m)

t_n : シェルネット厚さ(=0.10 m)

計測位置 (m)	0.4	0.6	0.8
Q (m^3/s)	0.0191	0.0191	0.0191
v_s (m/s)	1.329	1.361	1.345
h (m)	0.052	0.035	0.032
v_i (m/s)	-0.05	0.16	0.15
v_i/v_s	-0.037	0.117	0.111

※計測誤差により負の値を示す場合もある

シェルネットによる**流速低減効果**により堤体に作用するせん断力を低減できる可能性を示唆

4. まとめと今後の課題

本研究によって以下に得られた知見を以下に示す.

- (1) 表面被覆工下のパイピング現象は、堤体が飽和状態の場合に生じやすいことが確認できた.
- (2) 吸出し防止材として破碎貝殻層を用いた実験ケースでは、越流外力（越流水深 $h_t=0.10$ m ($h_t=0.50$ m), 越流時間 $T=3$ 時間 ($T=約10$ 時間)) に対して、著しい侵食や変形、パイピングを伴う堤体崩壊は確認されず、堤体は健全な形状を維持していた.
- (3) 越流流量 Q と表面流速 v_s 、表面水深 h を基にシェルネット内部の浸透流速 v_i を推定した結果、 $h_t=0.10$ mの条件で 0.16 m/s程度であり、シェルネットの流速低減効果が示唆された.



シェルネット型表面被覆工のある一定の構築可能性を示すことができた。



今後は数値解析や実規模大堤防を用いた検証も検討していきたい。

謝辞

本研究は国土交通省の建設技術研究開発助成制度JPJ000094ならびにJSPS科研費 JP24K17481の助成を受けた。

また、本研究における越流実験装置の製作および装置の構築、実験の実施にあたり、（有）TNSの皆様および中日本建設コンサルタント（株）の吉野公崇氏に多大なご協力を頂いた。
ここに記して謝意を示す。

ご清聴ありがとうございました