

令和 5 年 5 月 24 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H00786

研究課題名（和文）河川堤防のパイピングメカニズム解明と維持管理法のパラダイムシフトに向けた研究

研究課題名（英文）On the mechanism of backward erosion piping for river levees

研究代表者

岡村 未対（Okamura, Mitsu）

愛媛大学・理工学研究科（工学系）・教授

研究者番号：50251624

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 27,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、河川堤防の洪水時パイピング破壊の詳細なメカニズムを解明し、破壊発生時の河川水位の予測法を構築するための知見を得た。特に、パイプ内の水の流れと砂粒子の運搬がパイプ進展と同時に発生することを見出し、砂粒子の移動条件としてShieldsダイヤグラムが適用できることを遠心模型実験で明らかにした。さらに、遠心加速度に応じてパイピング進展条件が変化する、いわゆる堤防の寸法効果も力学的に説明することができた。

堤防の形状変化からパイピングの進展度を推定する技術については、遠心模型実験に加えてパイピングが発生した堤防に対する高密度化緩急試験を実施し、妥当性と適用性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

パイピング破壊の詳細なメカニズムは未解明であり、パイピングが発生している堤防に対してパイピング部を特定やその進展度を評価する技術も現状では無い。本研究緻密な独創的な実験によってパイピングのメカニズムを解明し、単純化した力学モデルの基礎を築いたことは、学術面での大きな進展点である。

パイピング部を探知し特定する技術については、堤体表面形状の詳細計測からパイピング進行度を評価する方法の開発と、パイピング部を直接検知できる高感度・高密度急速貫入試験機の開発を行った。これらは実務において有力な堤防管理手法となるだけでなく、現場での状態解明により実堤防におけるメカニズム解明のにもつながる成果である。

研究成果の概要（英文）：Centrifuge tests were performed to facilitate a better understanding of the mechanism of the backward erosion piping for river levee. The hydraulic conditions that cause sand transportation in pipes was clarified and the critical Shields number obtained from flume tests can be applicable to piping problem. It has provided a basis for establishing prediction method of the gradient. The scale effect of levees, which is a major engineering concern, was also investigated based.

This study proposed a method for estimating the pipe progress based on the characteristic shape of the levee surface. Validity of the method was verified through a series of centrifuge tests.

Moreover, this method was applied to a levee along the Naka River, where significant sand boiling occurred. Furthermore, a number of penetration tests were conducted at small intervals to identify the pipe locations in a more direct manner, confirming the validity of the method.

研究分野：地盤工学

キーワード：河川堤防 パイピング 洪水 メカニズム

### 1. 研究開始当初の背景

わが国では激甚な豪雨が頻繁に発生し、毎年幾つもの河川堤防が破堤している。地球温暖化に伴う豪雨強度と頻度の増加が想定され、また破堤による社会へのインパクトは大きい。膨大な延長を有する堤防の維持管理と強化のより合理的な実施が課題となっている。

河川堤防の主な破堤メカニズムは、越流等による堤体浸食、堤体への浸透による不安定化・裏法面滑り破壊、およびパイピング破壊に分類できる。このうち、堤体浸食と裏法面滑りは破壊のメカニズムが明確で対策法も確立されている。これに対しパイピングは、堤内地での噴砂をきっかけに、地盤中の砂が噴砂孔から継続的に排出され地中のパイプが堤外側に進展し、最終的に河川水と繋がりパイプが急拡大して破堤に至るものであるが、その詳細な進展メカニズムは未解明である。

近年のパイピングによる破堤は、わが国では2012年に矢部川で発生したほか(矢部川堤防調査委員会, 2013)、2015年の鬼怒川破堤(合同調査団関東グループ, 2016)や2018年の小田川破堤でもパイピングで堤体が弱体化していた疑いがあるなど、直接、間接的に関係した破堤が生じている。高水継続時間の長い海外の堤防では破堤の2~4割がパイピングによるものと報告されており、繰返し高水作用を受け劣化が進行しているわが国の堤防でも、今後はパイピングによる破堤が増加するものと考えられ、研究の必要性が高い。

パイピング現象は地盤工学と水工学の境界領域にあって研究が遅れており、特にわが国ではそれを対象とする研究活動は活発ではなかった。それでも噴砂の発生条件まではほぼ解明されているが、そこからパイプが進展するメカニズムや条件は明らかでなく、進展速度(破堤までの時間)はさらに不明である。欧米(特にオランダ)を中心に一様な基礎地盤中に発達するパイピングの模型実験によるメカニズム解明とモデル化の研究が精力的に行われてきた(Sellmeijer, 1988; Van Beek ら, 2015)。その結果、パイピング部は高さが数mm~数cm程度の大きさで、およそ0.1~0.3程度の小さな平均動水勾配のもと、地盤の局所的な弱部に選択的に発達してゆくことが明らかにされている。パイプ内の水の流れから、パイプ内面の土の侵食によってパイプが進展するモデルが提案され、オランダではそれをういた実務設計や点検照査が行われているが、そのモデルには重力の影響が適切に取り込まれていないなど、不十分なものに留まっている。日本では、矢部川のパイピング破堤を契機に幾つもの研究が行われ、そこでは小型模型実験ベースで矢部川の破堤を引き起こした二層地盤が主な対象とされた。二層地盤の場合には均一地盤よりもパイピングが生じやすい等、一定の成果が得られたが、現象の定量的な解明とモデルの構築には未だ至っていない。さらに、これまで行われてきたこれら多くの小型模型実験では、実物の数倍の動水勾配(天端をはるかに超える高水位)を与えないとパイピングが発生せず、模型実験の妥当性が明らかでないという、研究の根幹にかかわる問題を有している。地盤工学分野で用いられる遠心模型実験でも、土質力学と流体力学の双方の力学的相似を満足する条件が明らかになっていない。(i)パイピングのメカニズムを解明し、続いて(ii)それを単純化し実務に適用できる力学モデルが構築できれば、設計や点検・照査の合理化につながる。そのために、(iii)適切な模型実験のための相似則の確立は必須で、これら3つが重要な研究課題である。

一方、わが国の河川堤防の多くは江戸時代から徐々に築堤、嵩上げを繰返してきたため、内部の土質や構造が不均一である。また、基礎地盤は堆積時の層構造を有するため、通常は均質と見なせる地盤でもパイピングのスケール(mm~cmオーダー)から見ると不均一性が非常に高い。さらに過去の高水により、既にパイピングが生じている堤防も数多く存在する。このような堤防に対し、これまでに縦断方向におよそ数百m~1km毎のボーリング調査が行われ、それを基に安定性の点検・照査が行われてきた。堤体と基礎地盤の高い不均一性、およびごく局所的な弱部が選択的にパイピング部となる現象の特徴と、極めて離散的な地盤情報しか存在しない現状では、局所的な弱部を精度良く抽出できない。そのため高水のたびに噴砂やパイピングが発生する堤防が少なからず生じる。そのような堤防については、放置しても安定性に問題ないパイピングと、決壊につながり得る危険なパイピングを判別し、必要な堤防の対策に集中投資するべきで、パイピング部の進展度を調査により明らかにすることが必要である。これについて、研究代表者らの研究において、堤防の内部構造や力学特性が不明であっても、数mm~数cmオーダーの詳細な堤体の応答(表面変位分布)を知ることにより、パイピング進展度の判定に結びつけられる可能性が高いことを明らかにし、微小だが特徴的な形状を呈する法面表面形状変化からパイピングの位置と大きさを特定するモデルを構築した。さらに、近年の高水で噴砂及びパイピングが発生した実際の堤防現場において、堤体表面形状をUAVからのレーザー測量で詳細に測定し、特徴的な形状変化が表れていることを明らかにしている。

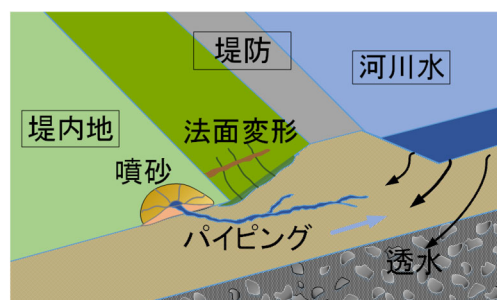


図1 河川堤防の洪水時パイピング

## 2. 研究の目的

本研究では今後増加するであろう河川堤防のパイピングによる破堤を防止してゆくために、「パイピングのメカニズム解明と単純化した力学モデルの開発」、ならびに「現場でのパイピング調査方法の開発」の両面から維持管理に資することを念頭に、具体的に以下のことを目的とする。すなわち、

- ① パイピングの発生・進展条件と進展速度を支配するメカニズムを解明し、それを単純化した力学モデル構築のための知見を得る。
- ② その基礎となる模型実験の実施と解釈のために、実際の堤防のパイピング現象を再現する縮尺模型実験の相似則を確立する。
- ③ 地表面形状情報を基にした新たなアプローチによるパイピング探知法を開発し、高水中リアルタイムでパイピング進行度を評価法する方法を開発する。
- ④ パイピング部を直接検知できる高感度・高密度急速貫入試験機を新たに開発し、表面形状による探知法と併せて効率的にパイピング部を特定する原位置地盤調査法を開発する。

## 3. 研究の方法

### ①パイピングメカニズム解明と力学モデルの構築のためのデータ収集

パイピング部は実験においても発生位置が不確定で、発生後も蛇行や分岐をしながら進展するためこれまでの研究では内部の観察がほとんどできなかった。本研究では図に示すように透明なアクリル堤体を設置することで堤体直下の地盤表面に発生するパイピング内の現象を詳細に観察した。

パイプ内の水の流れとそれによるパイプ先端部の安定性、パイプ孔壁の侵食とパイプ内土砂運搬の現象を解明するため、パイプ内および特に先端部付近の地盤内の水圧分布を詳細に計測するとともに高速度カメラでパイプ内を観測し、さらに3次元浸透流解析を行った。パイプ周辺及びパイプ内には小型間隙水圧計を設置するとともに、パイプ内を流れる水にトレーサーを入れ流速を測定した。また、地盤材料の粒径、地盤の層構成、および遠心加速度を変化させた多くの実験を系統的に行い、地盤及びパイプ内の現象を明らかにした。

### ③地表面形状変化によるパイピング探知法と④原位置調査法の開発

パイピングの進展に伴うたい表面形状の変化を調べるために、堤体の強度を数種類変化させて遠心模型実験を行った。パイプ直上の堤体表面に現れる凹部の形状を力学的な考察からモデル化し、パイピングの位置を推定するモデルを構築した。

これまで実堤防直下のパイピング部について、面的な広がりをも明らかにした例はほとんどない。また、その厚さは、薄い場合にはmmからcmオーダーである。このようなパイピング部を特定するために、高密度貫入試験を実施した。パイピングが生じた実堤防において、水平方向にはなるべく高密度で実施することとし、今回は最小で50cmと非常に狭い間隔とした。また、パイピング部では貫入抵抗がゼロになると考えられるので、貫入ロッド周面摩擦の影響を排除して先端抵抗のみが計測でき、また薄層も検知できるものとした。

## 4. 研究成果

### ①パイピングメカニズム解明

(a) 40gの遠心加速度場におけるパイピング実験で観察したパイプ内流れの一例を図4に示す。これは堤体透明な堤体の上から地盤表面のパイプ部内の流れであり、パイプ部の先端付近では周辺地盤からパイプに流入する水が可視化できている。パイプ内の流れについては、先端付近の流線は明瞭で、出口付近の流線は確認できないことから、パイプ先端付近の流れは層流、出口付近では乱流であることがわかる。トレーサーの移動速度からパイピングが進展する瞬間の流速分布を測定し、実験後に測定したパイプの断面形状(図5)からパイプ内流れのレイノルズ数(Re)とシールズ数( $\theta c$ )を求めた。シールズ数算出にあたり、パイプ内流れの摩擦損失係数 $f$ は、層流状態では $f=64/Re$ 、乱流ではパイプ内壁の相対粗度 $ks$ よりColebrook式より求めた。実験で得られた $\theta c$ をシールズダイアグラム上にプロットしたのが図6である。パイピング現象では、パイプ壁面の粗度が非常に大きく、周辺地盤からの水の流入があり、さらにパイプが蛇行・分岐するなど形状が複雑であるなど水路実験とは大きく異なるにもかかわらず、パイプ内の砂が侵食運搬されパイプが進展する条件として限界シールズ数が適用できることがわかった。

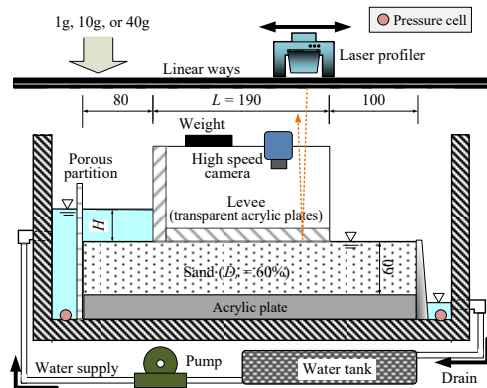


図2 パイピング実験に用いた模型と装置

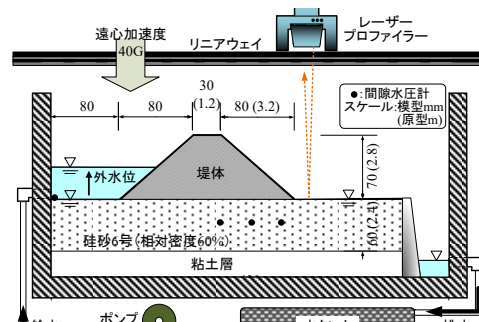


図3 堤体表面形状変化測定実験



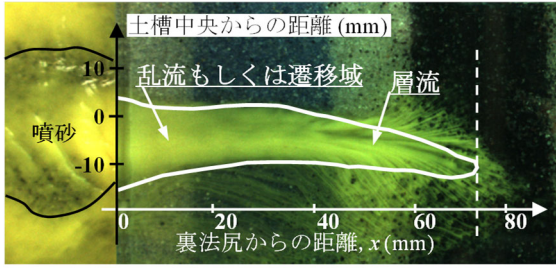


図4 パイプ内流れの様子

(b) 実験で明らかとなったパイピング進展メカニズムを基に、パイピング進展時の水位予測を行った。ここで用いたパイピング進展モデルは次のようである。

- パイピング部を設定した3次元浸透流解析を行い、パイプ内の流速を求める
- パイプの形状は、最も低い外水位で限界シールズ数に達し、かつパイプ内シールズ数が一様となるよう試行錯誤で決める
- パイプ内のシールズ数が限界シールズ数となるときの外水位をパイピング進展水位とする。
- パイプ内流れは層流だけでなく  $Re$  数に応じて乱流であることを考慮する。

モデルにより予測したパイピング進展水位の一例を実験結果と共に図7に示す。遠心加速度によるパイピング進展水位の変化を定性的にうまく捉えたものとなっている。本研究では、使用した砂の粒度分布や地盤の層構成についても実験を行っており、もでるによる予測結果はこれら実験パラメータによる進展水位の変化を定性的にうまく捉えたものとなった。定量的にはある程度の差があるものの、モデルの妥当性を示すことができた。

このモデルを用い、堤防のサイズを変えてパラメトリックな解析を実施した(図8)。その結果、パイプ内流れが層流であると、パイプ断面の大きさは堤防サイズの1/2乗に比例、パイプ内流速も1/2乗に比例し、レイノルズ数は堤防サイズに比例することが分かった。また、パイプ断面の大きさは地盤材料の透水係数の1/2乗に比例することもわかった。砂の透水係数が砂粒径の2乗に比例することを考えると、パイプ寸法と砂粒径の比が一定であることを意味する。これらより、パイピング現象の寸法効果および縮尺模型実験での相似則を得た。しかしながら実大堤防ではパイプ内流れの  $Re$  数が大きく、多くの場合に流れは乱流となると推測できる。乱流の場合の相似則については更なる検討が必要である。また相似則の検証を行うために、今後は大型の模型実験が必要である。

### ② 地表面形状変化によるパイピング探知法

図3に示した模型での実験結果の一例を示す。図9はパイピングの進展と共に生じた堤体表面の沈下分布である。図9(a)で裏法尻に小さな噴砂が発生し(図の灰色部は高さ0.5mm以上増加した領域)、この時点で噴砂脇の法尻から裏法面の中央部付近まで伸びる沈下領域が見られる。図9(b)では噴砂が大きくなり、堤体表面の沈下領域は天端に及び深さも増している。さらに貫通直前の図9(c)表面の沈下領域は裏法面の中央付近にまで達しており、その数秒後に貫通して堤体が大きく沈下した図9(d)。このように堤体表面の沈下領域の進展

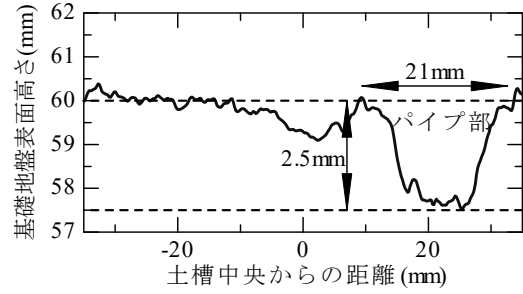


図5 パイプ断面形状の例

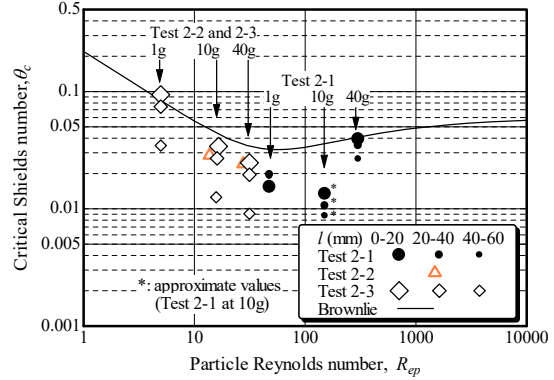


図6 実験で得られた限界シールズ数とシールズダイアグラム

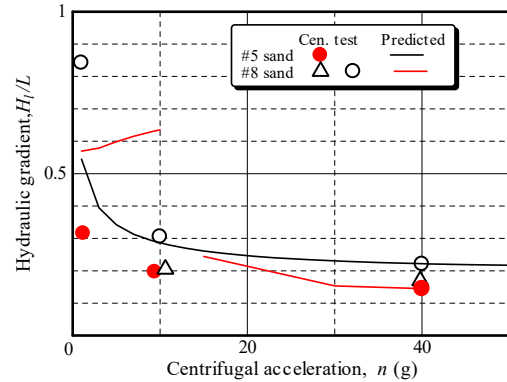


図7 実験と予測によるパイプ進展水位の比較

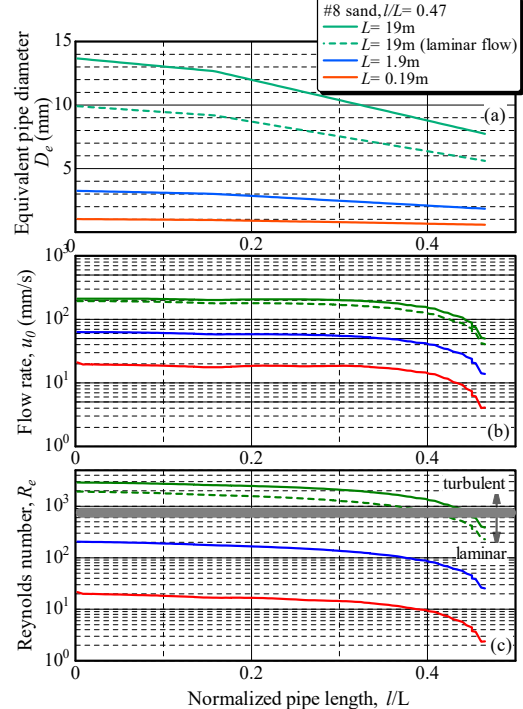


図8 異なる堤防サイズの予測結果

は、パイピング部の進展と密接に関係し、パイプ部の貫通及び破堤切迫度の良い指標となることが確認できた。実験終了後に堤体を丁寧に除去し撮影した基礎地盤表面の写真を図10に示す。実験終了時の堤体表面凹部の形状をガウス曲線で近似し、パイプ部から直上の法面表面までの

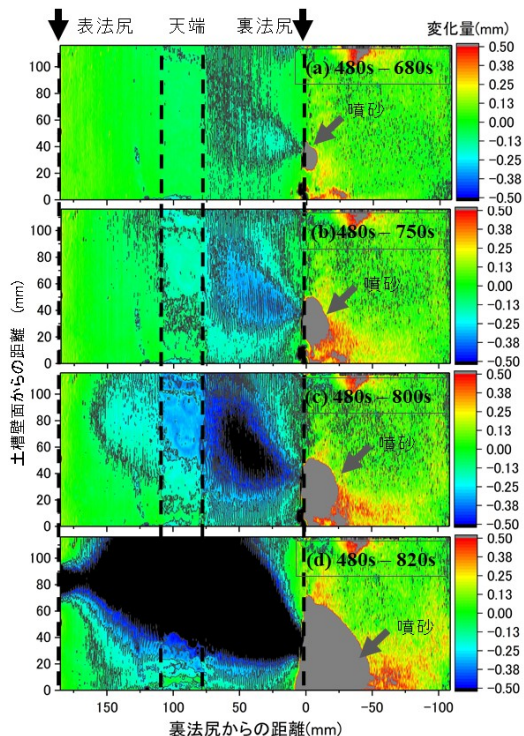


図9 実験と予測によるパイプ進展水位の比較

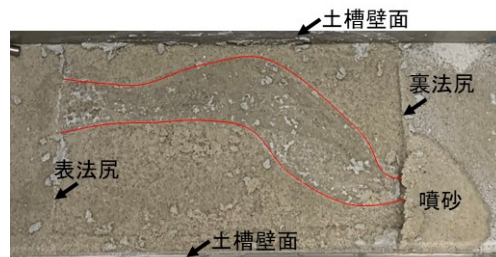


図10 実験と予測によるパイプ進展水位の比較

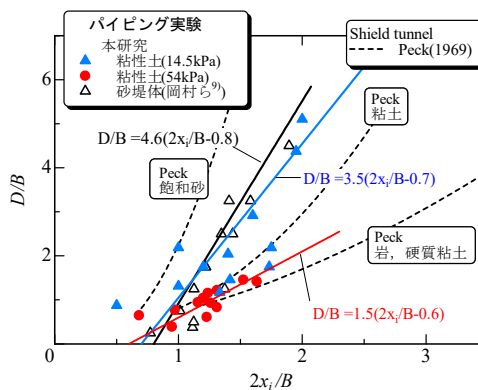


図11 実験と予測によるパイプ進展水位の比較

高さとおパイプ部幅の比  $D/B$  と、無次元化した地表面沈下幅 ( $2x_i/B$ ) の関係が図10である。この関係は、シールドトンネル直上の地表面に現れる凹部を同様に調べた Peck)や Mair らの結果と良く対応したものとなっており、これを用いて地表面形状からパイプ部の位置と大きさを推定することが可能となった。

### ③ パイピング部を特定するための原位置地盤調査法の開発

これまでの申請者らによるパイピング現地調査により、実地盤におけるパイピング部やそれによる地盤のゆるみ領域の厚さは1cm~10cm程度と薄く、面的にも幅は数10cm程度と狭いこと、そこでの土の強度はほぼゼロであることがわかっている。このような箇所を直接的に検出するためには、専用の貫入試験機を開発した。薄い層を検知するために、貫入装置の直径が2, 3cm以下と小さく、貫入ロッド周面摩擦の影響を排除するため、先端に高感度ロードセルを取り付け、レキ当たりなどで簡単に壊れない強靱性を有することが必要である。また、パイピング部の幅が狭いことから、貫入試験の実施間隔を狭くして多数の貫入を行うため、高い作業性が求められる(目標: 2人で作業, 40箇所/日)。本研究ではこのような要求を満足する新たな貫入試験機を試作し、現場試験を実施して適用性を確認した。

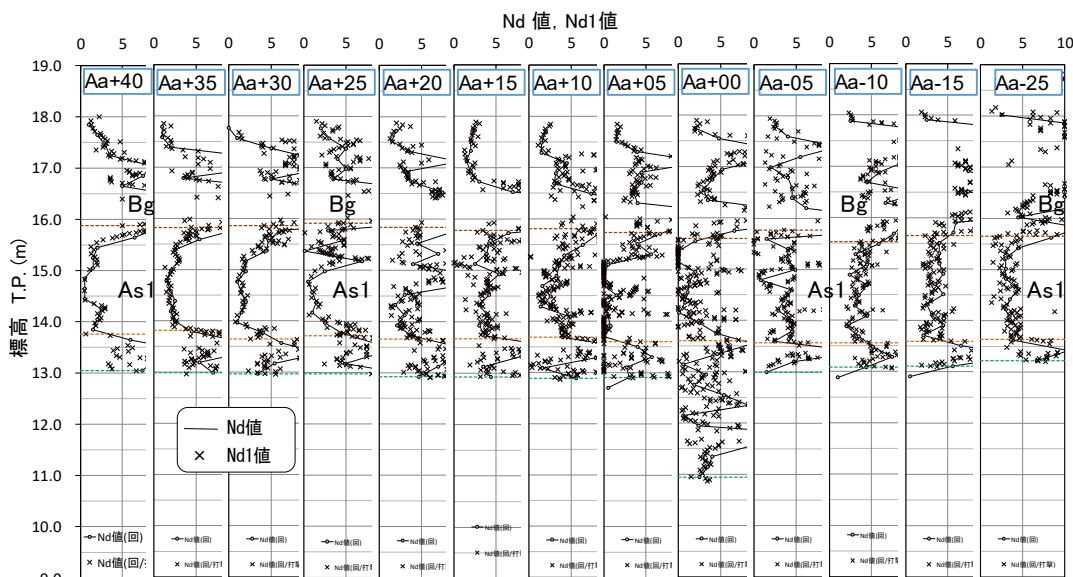


図8 高密度貫入試験によるパイピング部の調査結果 Aa+40, Aa+05, Aa+00, Aa-05 のNd=0がパイピング部

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Mitsu Okamura, Yusuke Tsuyuguchi, Norihiro Izumi, Kenichi Maeda	4. 巻 62
2. 論文標題 Centrifuge modeling of scale effect on hydraulic gradient of backward erosion piping in uniform aquifer under river levees	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 101214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sandf.2022.101214	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 伊神 友裕, 前田 健一, 澤村 直毅, 一瀬 守	4. 巻 28
2. 論文標題 パイピング孔進展と水位履歴に着目した河川堤防のパイピングメカニズム	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 97-102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/river.28.0_97	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 露口祐輔, 岡村未対, 内田崇亮	4. 巻 27
2. 論文標題 遠心実験による堤体基礎地盤パイピングの寸法効果の研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 169-174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/river.27.0_169	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 井澤良太, 楠部寧々, 岡村未対	4. 巻 29
2. 論文標題 パイピング模型実験におけるパイプ部の進展に伴う形状変化の精密測定	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 169 - 174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mitsu Okamura, Yusuke Tsuyuguchi, Norihiro Izumi, Kenichi Maeda	4. 巻 62
2. 論文標題 Centrifuge modeling of scale effect on hydraulic gradient of backward erosion piping in uniform aquifer under river levees	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 101214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sandf.2022.101214	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 泉典洋, 前田健一, 岡村未対	4. 巻 76(2)
2. 論文標題 簡易なモデルを用いた複層状堤防周辺地盤の浸透流解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1	6. 最初と最後の頁 I_325-I_330
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.76.1_325	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 岡村未対	4. 巻 1(J1)
2. 論文標題 堤体表面形状に基づく河川堤防のパイピング進行度評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AI・データサイエンス論文集	6. 最初と最後の頁 429-436
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/jsceiii.1.J1_429	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 岡村未対	4. 巻 141
2. 論文標題 令和元年台風第19号災害における河川堤防の破堤	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 消防の科学	6. 最初と最後の頁 13-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 岡村未対, 陣内尚子, 小野哲治, 大藪剛士	4. 巻 76(4)
2. 論文標題 2018年7月高水で肱川堤防に生じたパイピングの進展度調査	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集C	6. 最初と最後の頁 363-373
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejge.76.4_363	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 高辻理人, 前田健一, 牧洋平, 伊神友裕, 泉典洋	4. 巻 26
2. 論文標題 内外の基礎地盤特性が河川堤防のパイピング破壊に及ぼす影響と堤防調査方法の提案	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 467-472
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/river.26.0_467	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 安江絵翔, 前田健一, 鈴木悠真, 丹羽俊介	4. 巻 76(2)
2. 論文標題 砂質地盤内で生じる浸透流が開水路流れの抵抗特性に及ぼす影響	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 木学会論文集B1	6. 最初と最後の頁 I_319-I_324
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.76.1_319	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 安江絵翔, 前田健一, 松田達也, 鈴木悠真	4. 巻 76(2)
2. 論文標題 高速流体作用下で地盤内に生じる浸透及び過剰間隙水圧が洗掘現象に及ぼす影響	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集A2	6. 最初と最後の頁 I_301-I_312
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -



1. 著者名 今村衛, 岡村未対, 露口祐輔	4. 巻 26
2. 論文標題 高水時のパイピング進展による堤体変形挙動の遠心模型実験	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 473-478
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/river.26.0_473	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 前田健一, 岡村未対, 石原雅規, 新清晃, 上野俊幸, 西村柁哉, 高辻理人, 品川俊介, 笹岡信吾	4. 巻 25
2. 論文標題 北川で繰返し発生した噴砂による堤内・裏法尻箇所のゆるみ調査	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 535-540
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/river.25.0_535	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 岡村未対, 前田健一, 西村柁哉, 高辻理人, 石原雅規, 品川俊介, 今村衛	4. 巻 25
2. 論文標題 北川で繰返し発生した陥没を伴う噴砂の詳細メカニズム調査	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 487-492
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 西村柁哉, 前田健一, 高辻理人, 牧洋平, 泉典洋	4. 巻 25
2. 論文標題 実堤防の調査結果に基づいた河川堤防のパイピング危険度の力学的点検フローの提案	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 499-504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/river.25.0_499	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計29件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 M. Okamura, M. Imamura Okamura, M. Imamura
2. 発表標題 Monitoring of backward erosion piping in river levees using distribution of surface settlement
3. 学会等名 Proc. 17th Asian Resional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Mitsu Okamura and Ryota Izawa
2. 発表標題 Observation of Pipe Geometry with Progression of Backward Erosion Piping
3. 学会等名 Proceedings of the 11th International Conference on Scour and Erosion (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Mitsu Okamura
2. 発表標題 Predictions on Backward erosion piping of river levees
3. 学会等名 The 5th Int. Conf. on Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 坪井勇樹, 岡村未対, 大畠慧介
2. 発表標題 パイピングにより堤体表面に現れる沈下形状とパイプ形状の関係
3. 学会等名 令和 3 年度土木学会四国支部技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内田崇亮, 楠部寧々, 露口祐輔, 岡村未対
2. 発表標題 高水によるパイピングの進展とその形状に関する模型実験
3. 学会等名 第 56 回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 楠部寧々, 内田崇亮, 露口祐輔, 岡村未対
2. 発表標題 パイピング進展時の平均動水勾配に及ぼす遠心加速度と粒径の影響
3. 学会等名 第 56 回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 陣内尚子, 岡村未対
2. 発表標題 江の川で繰返し発生した大規模噴砂発生メカニズムの考察
3. 学会等名 第 56 回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 陣内尚子, 岡村未対
2. 発表標題 江の川で繰返す大規模噴砂発生メカニズムの現地調査
3. 学会等名 令和 3 年度地盤工学会四国支部技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 露口祐輔, 岡村未対
2. 発表標題 堤防直下のパイピング進展メカニズムに関する実験と考察
3. 学会等名 第55地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 露口祐輔, 岡村未対
2. 発表標題 遠心実験による堤体直下のパイピングの観察とその発達条件の考察
3. 学会等名 第7回河川堤防技術シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今村衛, 岡村未対
2. 発表標題 高水時に生じるパイピングとそれによる堤体表面沈下性状
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安江絵翔, 前田健一, 松田達也, 鈴木悠真
2. 発表標題 急激な水位変動を伴う水平開水路流れが飽和地盤の洗掘に及ぼす影響
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 牧洋平, 前田健一, 高辻理人, 伊神友裕
2. 発表標題 出水履歴の有無を考慮した河川堤防のパイピング進展メカニズム
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊神友裕, 前田健一, 高辻理人, 牧洋平
2. 発表標題 堤体下の空洞進展度を考慮した河川堤防のパイピング破壊のメカニズム解明
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 丹羽俊介, 前田健一, 鈴木悠真, 安江絵翔, 渡邊諭, 内藤直人
2. 発表標題 水平流体の作用時に防護工下で生じる地盤内浸透流が洗堀に及ぼす影響
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 牧洋平, 前田健一, 高辻理人, 伊神友裕
2. 発表標題 堤外側の基礎地盤条件が河川堤防の安全性に及ぼす影響と堤防調査方法の提案
3. 学会等名 第75回土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊神友裕, 前田健一, 牧洋平, 岡田類
2. 発表標題 河川堤防のパイピング破壊における間隙水圧の消散および浸透流の局所化の影響
3. 学会等名 第32回中部地盤工学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉山直優, 前田健一, 峯祐貴, 磯合凌弥, 鈴木健太郎, 今野久志
2. 発表標題 落石防護土堤の性能設計法の確立に向けた重錘衝突実験
3. 学会等名 第32回中部地盤工学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安江絵翔, 前田健一, 鈴木悠真, 丹羽俊介
2. 発表標題 砂質地盤内で生じる浸透流が開水路流れの抵抗特性に及ぼす影響
3. 学会等名 第65回水工学講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 牧洋平, 前田健一, 伊神友裕
2. 発表標題 河川堤防における噴砂とパイピング孔進展に伴う間隙水の圧力伝播と流れの局所
3. 学会等名 第65回水工学講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 牧洋平, 前田健一, 高辻理人, 伊神友裕, 岡田類
2. 発表標題 河川堤防における間隙水の圧力伝播と限界流速から見た噴砂動態とパイピング進展の機構
3. 学会等名 第8回河川堤防技術シンポジウム論文集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 露口祐輔, 岡村未対
2. 発表標題 堤防直下のパイピング進展メカニズムに関する実験と考察
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今村衛, 岡村未対
2. 発表標題 高水時のパイピング進展による堤体変形挙動
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 露口祐輔, 岡村未対
2. 発表標題 高水による堤防パイピングの遠心模型実験におけるスケール効果
3. 学会等名 第54回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田村元希, 岡村未対, 金子奨一郎
2. 発表標題 河川堤防の高水時パイピングの進展に及ぼす粒径の影響
3. 学会等名 第54回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 陣内尚子, 岡村未対
2. 発表標題 2018年西日本豪雨で被災した肱川堤防の調査
3. 学会等名 第54回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 牧洋平, 前田健一
2. 発表標題 河川堤防の安定性に及ぼす堤内地の行き止まり境界の影響
3. 学会等名 第7回河川堤防技術シンポジウム論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高辻理人, 前田健一
2. 発表標題 堤外側の基礎地盤特性が河川堤防の安全性に及ぼす影響
3. 学会等名 第7回河川堤防技術シンポジウム論文集
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 泉典洋, 岡村未対, 前田健一
2. 発表標題 複層を有する堤防周辺地盤の浸透現象
3. 学会等名 第7回河川堤防技術シンポジウム論文集
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 岡村未対, 前田健一, 他26名	4. 発行年 2020年
2. 出版社 地盤工学会	5. 総ページ数 360
3. 書名 河川堤防の調査・検討から維持管理まで	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	泉 典洋  (Izumi Norihiro)  (10260530)	北海道大学・工学研究院・教授   (10101)	
研究分担者	前田 健一  (Maeda Kenichi)  (50271648)	名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授   (13903)	
研究分担者	全 邦釘  (Chun Pang-jo)  (60605955)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・特任准教授   (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------