

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03305

研究課題名（和文）マルチスケールでみた河川堤防の浸透破壊のダイナミクス：維持管理の効率化をめざして

研究課題名（英文）Multi-scale Dynamics of Seepage Failure in River Levee for Efficient Maintenance

研究代表者

前田 健一（Kenichi, Maeda）

名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：50271648

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,500,000円

研究成果の概要（和文）：頻発する激甚洪水被害を軽減するために、長大なインフラである河川堤防の様々な変状の発生から発達、破堤に至る過程の統一メカニズムを模型実験、粒子ベースの数値解析、事例分析を用いて解明した。また、浸透履歴による堤防の劣化を考慮し、変状の形態や大きさに及ぼす水位波形・履歴と基礎地盤の複層性など堤防の構造特性との関係を明らかにした。変状発生から破堤に至るダイナミクスを土粒子～土塊～層～構造物のマルチなスケールなメカニズムに基づいて示すとともに、弱部抽出方法の提案や破壊抑制としての水防工法を科学的に明らかにした。力学ベースの簡易な点検フローも提案することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

パイピング現象は、土質力学の伝統的問題で局所動水勾配を基に発生条件が算定され、その発達は水みちが短くなるのが原因として定性的に説明されてきたが、その発達のダイナミクスは未解明であった。本研究によって、土粒子から構造物レベルまでのマルチスケールの相互作用に着目することで噴砂動態・変状の発生・発達・破堤までの過程に統一的解釈の一端を与えた。固体・液体の両面性が現れる現象は理学・工学の様々な研究分野で難題とされている中で、本成果は高い学際的波及効果が見込まれる。さらに、外力履歴と堤防特性を一体で堤防の応答を理解できたことは、洪水対策技術の革新と効率的な維持管理に繋がり、社会的・経済的貢献度が高い。

研究成果の概要（英文）：Sand boiling dynamics, looseness and liquefaction of soils due piping growth and pore water pressure distributions in the combinations of the properties of river levee body and base ground, and river water level were discussed by performing site investigation and three-dimensional seepage analysis. The key parameters for occurrence and consequence conditions of piping were revealed: layer structures properties in permeable base layer, existence and location in dead-end and the unevenness of inside-land. Based on mechanical mechanism of sand boiling holes in which sand particles were erupted due to the localization of pore water flow, the efficiency conditions on traditional methods in leakage control works also were proposed. Moreover, based on the survey results for levees damaged and mechanical mechanism of sand boiling holes in which sand particles were erupted due to the localization of pore water flow, an inspection flow of piping risk in river levees was proposed.

研究分野：土木工学、地盤工学、応用力学

キーワード：河川堤防 パイピング マルチスケール マイクロメカニクス 噴砂 漏水 局所化 液状化

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 構造物としての堤防の特徴

防災上重要なインフラである河川堤防は、長い歴史の中で順次拡築された堤体と古い時代の地学・地質学的作用によって形成された基礎地盤から成る構造物である。堤防内部は不明であることが多く、局所的な安全性の欠落が全体の安全確保に影響する。そのため、科学・工学に基づいた新たな堤防の健全性評価や維持管理の方法の提案は重要課題である。

(2) 洪水の外力特性(水位波形・履歴)と河川堤防の構造特性を一体に考える必要性

平成24年に九州北部で発生した豪雨による矢部川堤防の決壊は、河川水が透水性基礎地盤に浸透し、堤内に濁った漏水の発生後、パイピングが進行したことが原因とされている。また、破堤には至らなかったものの、噴砂とともに裏法すべりが複数回に分けて進行した複合的な被災事例もある。さらに、近年の豪雨の多発が高水位の頻度の増加や継続時間の長期化をもたらし、既知の形態や規模とは異なる被災の発生も懸念されている。基礎実験でも水位の上昇速度によって変状発生時の水位が異なるなど、マクロにはレオロジー的な応答も示す可能性があることが分かってきた。堤防の構造的特性のみでその力学特性が決定されわけなく、外力特性と堤防の構造特性の組み合わせを考慮した被災発生機構の体系化を科学的・工学的に進める必要がある。

2. 研究の目的

頻発する激甚洪水被害を軽減するために、長大なインフラである河川堤防の様々な変状の発生から発達、破堤に至る過程の統一的メカニズムを模型実験、粒子ベースの数値解析、事例分析を用いて解明する。また、浸透履歴による堤防の劣化を考慮し、変状の形態や大きさに及ぼす水位波形・履歴と基礎地盤の複層性など堤防の構造特性との関係を明らかにし、変状発生から破堤に至るダイナミクスを体系化するとともに相似則を導出する。さらに、弱部抽出方法の提案や破壊抑制としての水防工法を科学する。特に、噴砂動態やパイピングを、浸透水の三次元的局所化による土粒子の搬送・堆積、応力が集中する粒子骨格(応力鎖)や土塊のアーチ作用の発生・消滅、構造物としての堤防の変状などマルチスケールで起きる様々な現象の相互作用として捉える。

3. 研究の方法

基礎地盤のマルチスケールで捉えたパイピングの発生・発達の統一的メカニズムを解明するために、音響、比抵抗、X線CT等の技術を活用・拡張した三次元可視化手法の試みと粒子レベルの数値解析の併用によって、間隙流れの局所化による粒子運動、ゆるみ、空洞の発達、噴砂動態の相互関係を調べる。また、可視化した堤防全体の変状の発生から発達、破堤に至る挙動が、堤体、基礎地盤、外力の水位波形の特性の組み合わせによって異なることを系統的な模型実験、数値解析から検討し、堤防の安全性評価・破堤条件の体系化を図る。相似則や現象を支配するパラメータの抽出も検討する。さらに、水位履歴を与え変状の累積を計測し、堤防の累積損傷理論の構築と検証を行う。これらを基に、伝統的な水防活動や対策工の効果、適用範囲を定量的に調べる。

4. 研究成果

(1) 河川堤防の被災予測の高度化に向けたメカニズムの考え方

飽和定常浸透流解析を実施し、実験結果との比較から、パイピングのきっかけとなる状態までは再現可能であることが分かった。また、堤体の揚圧力は、パイプ流れの形成までは平均動水勾配にほぼ比例するが、パイプの形成後は、砂の流出と共に平均動水勾配増加に対する揚圧力の増加割合が小さくなることも示された。本研究では、噴砂孔をモデル化した解析方法を提案し、実測値をほぼ表現できることを確かめている。さらに、外力特性と堤防特性を一体に考えた被災の総合的検討が必要であることをまとめている(図-1)。

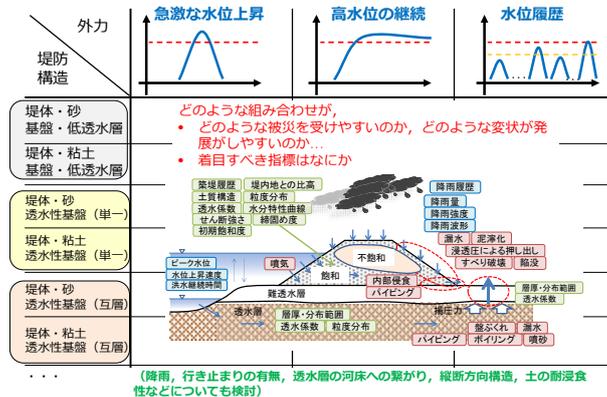


図-1 外力特性と堤防特性を一体に考えた被災の総合的検討

(2) 漏水と変状の進展メカニズムの解明および決壊条件の検討

実験、検証された数値解析、現地調査から、高水位の継続時間、繰り返し作用の影響を調べた結果、次のことが明らかになった。①緩みや空洞は堤内側から堤外側に伝播する（空洞貫通直前には堤外からも発展）②緩みは地層境界部・境界を結ぶ領域に強く発達する③緩みは出水後も地盤内に残存し、その後の高水の作用により緩みが再び発達することが分った。

実堤防における調査でも漏水・噴砂によって堤体下にまでゆるみが生じていることが分かった（図-2）。実堤防において、堤防内部、堤防下の被災状況を確認するために、トレンチ調査を行った（図-3）。トレンチ掘削調査は、現地で発生したパイピングの進展プロセスを断面で観察することができ、実験や解析で確認されたパイピングの進展プロセスとの比較が可能である。図に示すように宮崎県北川で実施したトレンチ掘削調査では、噴砂や陥没孔の直下付近には透水性下層の砂礫層から砂が上昇し地上に堆積していたことが確認され、現地でも模型実験で観察されるパイピングの進展と同様の現象が発生していることがわかった。また、図中の貫入試験実施箇所に関して、貫入試験を実施して貫入抵抗が極めて低い層は必ずしも空洞になっているわけではなく、砂が極端に緩く堆積していることもわかった。さらに、貫入試験や電気探査を組み合わせることで推測された地盤構造を実際に目視で確認でき、調査結果の解釈の向上にも繋がる。

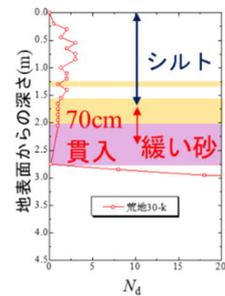
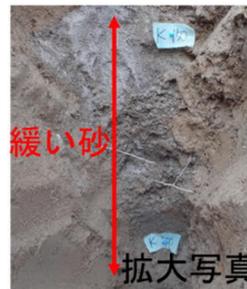
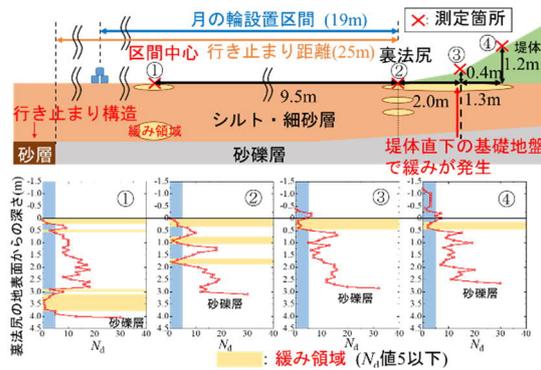


図-2 貫入試験結果の概要図（横断）：常呂川 図-3 緩い砂の拡大写真と貫入試験結果（北川）

模型実験、数値解析、理論・事例分析から単一の透水性基盤ではパイピングし難いこと、堤体に粘着性があり複層基盤（細砂層下に礫層層）で上層の細砂層が薄く（堤内地の不陸も含め）、堤内側の行き止まり境界・堤外側から下層の河川への露出を有し、支川の影響を受け易い場合、極めて危険性が高いことが明らかになった。

例えば、数値解析から得られた、平均動水勾配 $i=0.20$ における圧力水頭分布を図-4（左図）に示す。単一層は堤外から堤内に行くにつれて基礎地盤の圧力水頭が減衰しているが、複層では下層の圧力水頭の減衰が小さく堤内まで高い圧力が維持されている。さらに下層の透水層が堤外に露出しているケースでは行き止まり境界まで非常に高い圧力が伝播していることが分かる。以上より、基礎地盤が複層構造で特に透水層が堤外に露出している場合、法尻から離れた行き止まり境界まで、堤内の広い範囲で噴砂が発生しやすい条件であると言える。この結果は模型実験の噴砂動態の観察結果とも一致している。また、噴砂が発生した場合の水圧分布なども計測、解析し、土粒子～土塊～層～構造物のマルチなスケールなメカニズムのイメージを図-4（右図）にまとめている。

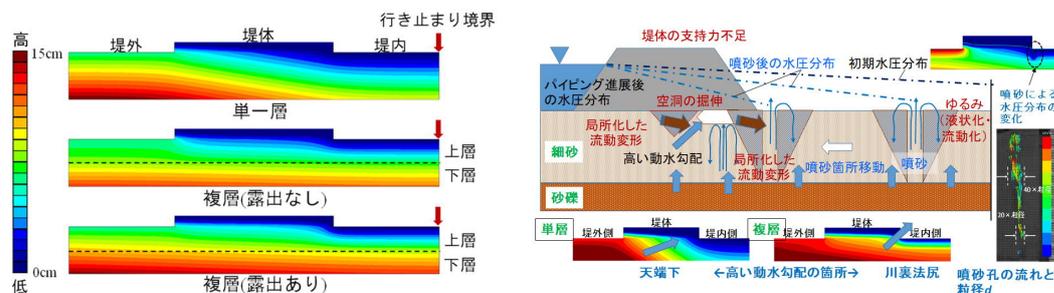


図-4 層構造が異なる透水性基礎地盤の圧力水頭分布（左図）と土粒子～土塊～層～構造物のマルチなスケールなメカニズム（右図）

また、「要事前対策箇所」、「決壊危険度の低い箇所」、「水防活動で破壊を抑制可能な箇所」を簡単な指標で分類できることが分かった。力学的考察に基づき、既存の調査技術で判断可能なパイピング破壊に進展しやすい地盤構造条件を見分ける力学に基づいた簡易点検フローの提案(図-5)、噴砂動態の記録の利用の仕方などの被災記録の高度化の方法を示した。提案したフローが実堤防の被災状況のある程度予測可能であることを示した(図-6)。これらは、堤防の維持間管理の効率化に繋がる。また、データの蓄積で更新・発展させる必要がある。

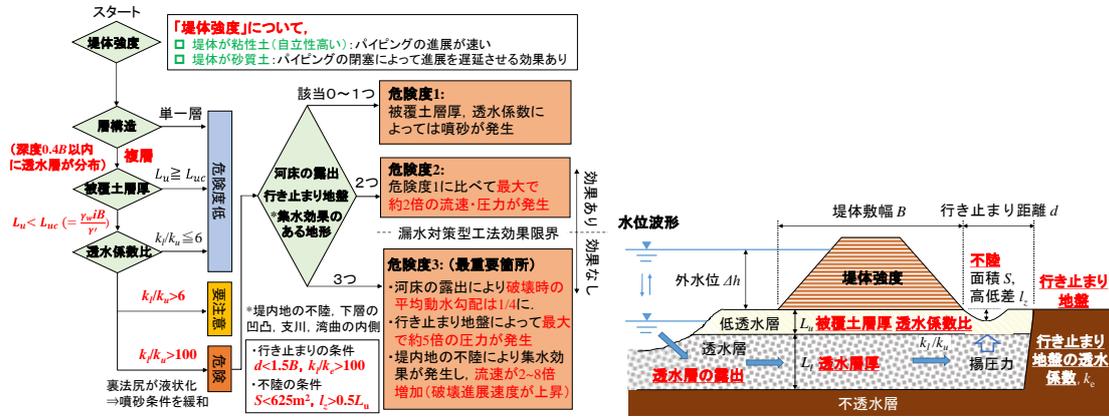


図-5 力学的知見に基づいた簡易パイピング危険箇所点検フロー

実堤防の被災事例	パイピング進展危険度	堤体	層構造	被覆土層の土質と層厚	L_u/L_{uc}	透水係数比 k_i/k_u	行き止まり境界の有無と法尻からの距離 d	d/B	行き止まり地盤との透水係数比 k_i/k_u	河床への透水層の露出	集水効果のある地形
①子吉川右岸 10.8k付近、(噴砂・すべり)、2013	危険度1	砂質土	複層	粘性土+砂質土1m	0.20	100程度	○9.6m	0.44	2.6	×	湾曲
②常呂川左岸 26.8k付近、(噴砂)、2016	危険度3	粘性土	複層	砂質土2m	0.43	100程度	○25m	0.93	100程度	○	不陸・支川
③矢部川左岸 6.2k付近、(無被災)、2012	危険度1	粘性土	複層	シルト層2m	0.31	100程度	-	-	-	×	不陸
④矢部川右岸 7.3k付近、(決壊箇所)、2012	危険度3	粘性土	複層	粘性土1m	0.10	100程度	○13m	0.77	100程度	○	不陸・湾曲
⑤矢部川右岸 11.8k付近、(噴砂)、2012	危険度1	砂質土	複層	砂質土2.5m	0.60	1000程度	-	-	-	○	×
⑥矢部川左岸 16.0k付近、(噴砂)、2012	危険度1	砂質土	複層	砂質土2.5m	0.57	100程度	-	-	-	○	×
⑦鬼怒川左岸 13.1k付近、(噴砂)、2015	危険度1	砂質土	複層	粘性土0.4m	0.07	100程度	○4.1m	0.25	100程度	×	×
⑧北川左岸 13.1k付近、(噴砂・陥没)、2018	危険度2	砂質土	複層	シルト層1.6m	0.39	1000程度	-	-	-	○	不陸
⑨長良川右岸 49.0k付近、(噴砂・陥没)、2018	危険度2	砂礫	複層	砂質土1.7m	0.37	200程度	-	-	-	○	不陸・湾曲

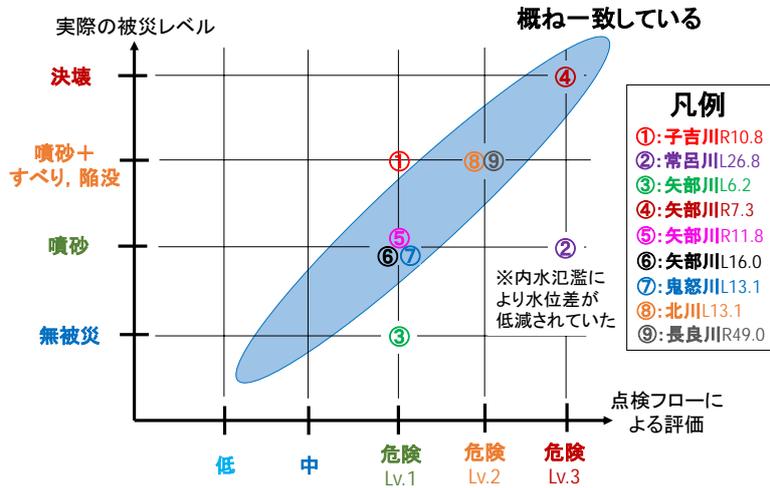


図-6 実際の被災事例と点検フローによる評価の比較（上表：検討した実河川の諸元を記述）

(3) 複合的変状、局所変形の進展を考慮した解析法の開発

降雨や高水位による大変形や破壊現象を再現可能な解析モデルを検討した。単に破壊パターンの分類をするのではなく、透水性基盤～堤体～外力を一体で整理し、破壊モードが連続的に変化し、どのような条件でどのような破壊形態を示しやすいのかを示すことが可能になってきた(図-7)。

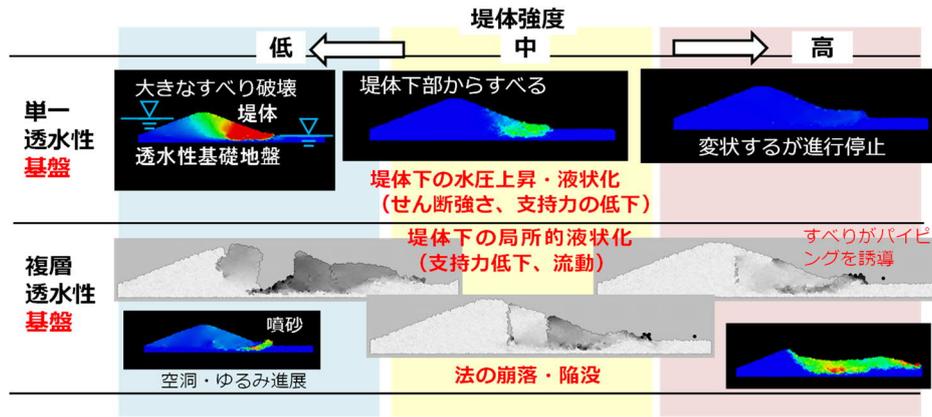


図-7 堤体-基礎地盤を一体と考え浸透破壊モードと発生条件を検討するために破壊解析が可能な数値解析モデルの提案

(4)堤防決壊抑制のための水防工法の効果の力学的視点からの評価及び効率的な運用条件

釜段・月の輪工を用いた伝統的漏水対策型水防工法では噴砂による土砂流のモードと速度を低下させ緩みの進展を抑制する効果があることが分かった。しかし、複層で上層の細砂層が薄く下層の砂礫層が河床に露出している場合など基礎地盤条件によっては対策工の効果が十分に発揮されないことを明らかにした。これらの条件は点検フローに記載している。

図-8(a), (b)に水防工法の有無によるパイピング進行挙動の違いを示す。また、図(c)に噴砂動態および対策工の様子を示す。法尻付近における噴砂に対して月の輪工を設置し、月の輪工内に水位が生じたことで対策工内の噴砂は完全に停止したが、一方で、行き止まり付近の噴砂は活性化した ($t=3\text{mi}n32\text{s}$)。また、堤内全域で噴砂が発生したことにより基礎地盤が液状化状態となり対策工が沈下し噴砂が再発した ($t=10\text{mi}n20\text{s}$)。その後、漏水が増大し、対策工が押し流され破堤に至った ($t=14\text{mi}n2\text{s}$)。よって噴砂を完全に塞いでしまうと他の箇所でも噴砂が発生・活性化することが考えられる。また、噴砂単体に対策工を設置しても噴砂による基礎地盤の液状化に伴い、対策工の外側で別の噴砂が容易に発生する。以上より噴砂を完全に塞がず、噴砂単体に対し対策工を設置するのではなく噴砂箇所を含む広い範囲に対策を施す必要がある。また、液状化の危険性が高い基礎地盤構造の場合は対策工が沈下し、効果が十分に発揮されない可能性がある。

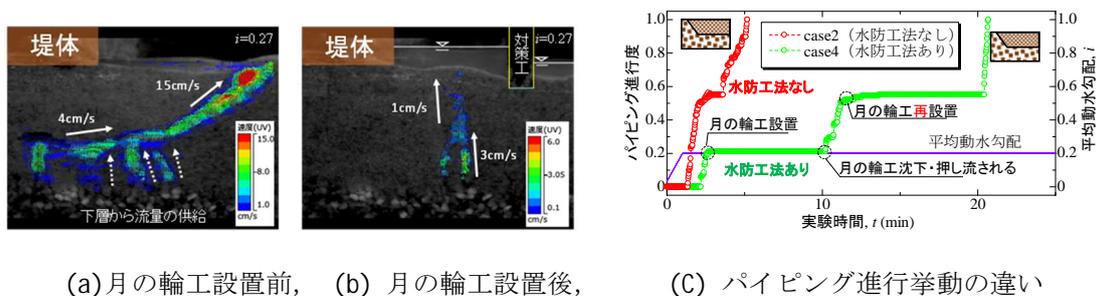


図-8 PIVによる対策工（月の輪）設置前後の噴砂孔下部の噴砂速度と水防工法の有無によるパイピング進行挙動の違い

噴砂が法尻で発生すると堤体直下の土粒子が流出しパイピングを助長する可能性がある。また、噴砂を完全にふさぐことや、噴砂単体に対策工を施すことで他の箇所でも噴砂が発生したり、活性化したりしてしまう危険性も示された。そこで対策すべき噴砂と対策範囲について「水防活動の三原則」、①噴砂を堤体に近づけない（法尻付近の噴砂を優先）②噴砂は完全にふさがらない、③法尻付近の群生した噴砂は大きく囲う、を提案した。さらに、砂質土の法勾配がゆるい堤体では、小規模なすべりや崩壊によってパイピング孔を塞ぎ大きな変状に進展するのを抑制する破壊抑制の能力がある可能性が示された。今後の効率的な堤防の維持管理に有用な科学的な知見である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 17件）

1. 著者名 栗原直範, 前田健一, 松田達也	4. 巻 74 (2)
2. 論文標題 防波堤の津波時の挙動特性把握に関する基礎的研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集 (B2)	6. 最初と最後の頁 1-6
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 鈴木悠真, 前田健一, 松田達也	4. 巻 74 (2)
2. 論文標題 水平流れが作用する地盤への浸透現象に伴う過剰	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集 (B2)	6. 最初と最後の頁 721-726
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 松田達也, 高橋浩司, 阿部和樹, 川瀬良司, 前田健一	4. 巻 74 (2)
2. 論文標題 護岸擁壁前面の消波工の幾何学的条件が越波挙動に与える影響に関する数値流体解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 1-6
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 西村 征哉, 前田健一, 櫛山総平, 高辻理人, 泉典洋	4. 巻 24
2. 論文標題 河川堤防のバイピング危険度の力学的簡易点検フローと漏水対策型水防工法の効果発揮条件	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 613-618
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 田中敬大, 前田健一, 堀耕輔, 牛渡裕二, 川瀬良司, 鈴木健太郎	4. 巻 64A
2. 論文標題 二次元個別要素法を用いた落石防護土堤の衝撃緩衝性能に関する数値解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 構造工学論文集	6. 最初と最後の頁 1-10
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 前田健一	4. 巻 101
2. 論文標題 数式のない土木の数値解析 地盤工学における粒子ベースの数値解析の可能性 - 地盤を科学し好學するために	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 土木学会誌 (土木学会)	6. 最初と最後の頁 44-45
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 西村 柁哉, 前田健一, 榎山 総平, 泉典洋, 齊藤啓	4. 巻 23
2. 論文標題 異なる基礎地盤特性の堤防の噴砂動態・パイピング挙動と漏水対策型水防工法の効果	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 381-386
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 齊藤啓, 前田健一	4. 巻 23
2. 論文標題 二次元浸透流解析によるパイピング照査の高度化に向けた基礎研究	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 375-380
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, 平尾優太郎, 前田健一	4. 巻 23
2. 論文標題 パイピングにより堤体表面に現れる沈下分布の特徴	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 河川技術論文集	6. 最初と最後の頁 399-404
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 ZHANG Wei-jie, GAO Yu-feng, HUANG Yu, MAEDA Kenichi	4. 巻 40
2. 論文標題 Normalized correction of soil-water-coupled SPH model and its application	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chinese Journal of Geotechnical Engineering	6. 最初と最後の頁 262-269
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 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 土木学会河川技術論文集	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) 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 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 土木学会河川技術論文集	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) 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, 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 土木学会河川技術論文集	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 オープンアクセスとしている (また, その予定である)	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 75
2. 論文標題 定常流下での防波堤マウンド内に発生する浸透流の局所化が洗掘に及ぼす影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会B2 (海岸工学)	6. 最初と最後の頁 709-714
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 小山宏人, 前田健一, 安江絵翔, 鈴木悠真	4. 巻 75
2. 論文標題 鉛直上向き浸透流を受ける水平飽和砂地盤上の基礎の沈下挙動	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集A2 (応用力学)	6. 最初と最後の頁 455-466
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 内藤 直人, 布川 修, 前田健一	4. 巻 75
2. 論文標題 不飽和土の斜面流下・衝突挙動に関する粘着力を考慮した個別要素法解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集A2 (応用力学)	6. 最初と最後の頁 433-444
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 栗原直範, 前田健一, 松田達也	4. 巻 75
2. 論文標題 防波堤基礎の地盤特性を踏まえた津波による支持力破壊モードに関する有限要素解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	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 オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 栗原直範, 前田健一, 松田達也	4. 巻 75
2. 論文標題 津波を受ける防波堤の破壊モードと 支持力降伏曲面の適用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会B2 (海岸工学)	6. 最初と最後の頁 847-852
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 -

[学会発表] 計24件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Kenichi Maeda, Masaya Nishimura and Masato Takatsuji
2. 発表標題 Micro - macro modelling of piping progressive failure in river levee
3. 学会等名 IS-Atlanta 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenichi Maeda, Masaya Nishimura and Masato Takatsuji
2. 発表標題 Micro - macro modelling of piping and internal erosion in river levee
3. 学会等名 9th International Conference on Scour and Erosion (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 前田健一
2. 発表標題 地盤・流体・構造物の連成問題の解析・分析手法構築にむけて ～ 混成堤式防波堤マウンド下部からの吸出現象を例に ～
3. 学会等名 第65回海岸工学講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 前田健一
2. 発表標題 平成28年北海道豪雨における被災事例と教訓 堤防関係
3. 学会等名 土木学会全国大会研究討論会「気候変動環境下における北海道の地盤災害対応と社会基盤整備」（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 前田健一
2. 発表標題 堤防における土粒子・土・地盤構造と水の連成ダイナミクス
3. 学会等名 土木学会応用力学シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西村 征哉，前田健一，櫛山 総平
2. 発表標題 浸透流の局所化に着目した河川堤防の基礎地盤の不安定メカニズム
3. 学会等名 計算工学講演会論文集
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 前田健一
2. 発表標題 OPS2:「堤防浸透破壊はどこまで解明できたか」
3. 学会等名 2017年度・河川技術に関するシンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 前田健一
2. 発表標題 堤防における土粒子-土-地盤構造と水の相互作用
3. 学会等名 土木学会・水工学夏期研修会(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西村 征哉, 前田健一, 榑山総平, 高辻理人, 泉典洋
2. 発表標題 透水性基礎地盤を有する河川堤防のパイピング条件に基づく簡易な点検フローの提案
3. 学会等名 土木学会第5回河川堤防技術シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西村 征哉, 前田健一, 榑山総平
2. 発表標題 異なる基礎地盤特性の堤防の噴砂動態・パイピング挙動
3. 学会等名 平成29年度全国大会第72回年次学術講演会(土木学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 榑山総平, 前田健一, 李兆卿, 西村柁哉, 泉典洋, 齋藤啓
2. 発表標題 河川堤防における漏水対策型水防工法の浸透破壊に対する効果
3. 学会等名 第52回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西村柁哉, 前田健一, 榑山総平, 李兆卿, 泉典洋, 齋藤啓
2. 発表標題 三次元浸透流に着目した透水性基礎地盤を有する河川堤防の噴砂孔のモデル化
3. 学会等名 第52回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 柏木淳, 前田健一, 森河由紀弘, 内藤直人
2. 発表標題 集中豪雨下の地盤内部の浸潤前線及び流路形成の挙動
3. 学会等名 第52回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高木健太郎, 前田健一, 山口敦志
2. 発表標題 電気抵抗法を用いた種々の外力作用下の飽和地盤のゆるみ挙動把握の試み
3. 学会等名 第52回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 牧洋平
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
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
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

1. 発表者名 西村 征哉
2. 発表標題 矢板によるパイピング抑制効果と噴砂動態の関係
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 高辻理人
2. 発表標題 基礎地盤の締固め効果を考慮したパイピング進展メカニズム解明
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 鈴木悠真
2. 発表標題 水平流れが作用する地盤内部への浸透と洗掘の相互作用
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 安江絵翔
2. 発表標題 水平流れに起因する浸透流が防波堤マウンド基礎の洗掘に及ぼす影響
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 牧洋平
2. 発表標題 透水性基礎地盤中の粒子配列に着目した河川堤防のパイピング進展挙動
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 平子ともみ
2. 発表標題 空洞発生及び進展条件と空洞上地盤の耐力に着目した陥没発生の危険度評価
3. 学会等名 第31回中部地盤工学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高辻理人
2. 発表標題 簡易動的コーン貫入試験による宮崎県北川の被災メカニズム解明
3. 学会等名 第74回土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 日本土木史編集特別委員会 (担当： 分担執筆)	4. 発行年 2018年
2. 出版社 土木学会	5. 総ページ数 100
3. 書名 日本土木史 平成3年～平成22年 1991～2010	

1. 著者名 地盤工学会	4. 発行年 2020年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 149
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〕

前田研究室HP <https://www.maeda-lab.org/>
地盤工学会「令和元年台風19号および10月末豪雨災害に関する中間報告会」
土木学会中部支部・地盤工学会中部支部「令和元年台風19号豪雨災害に関する速報会」
平成30年7月豪雨を踏まえた豪雨地盤災害に対する地盤工学の課題 地盤工学からの提言-
https://www.jiban.or.jp/file/saigai/houkoku/H30_TeigenSaishu.pdf

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
--	---------------------------	-----------------------	----