

河川砂防技術研究開発【成果概要】

①研究代表者	氏名 (ふりがな)	所属	役職
	まさき まもる 正木 守	(株)富士ピー・エス	主任研究員
②研究テーマ	名称	越水浸食に対する PC 矢板を用いた一部自立型による堤防補強の有効性評価技術の研究	
③研究経費 (単位: 万円) ※端数切り捨て。	令和3年度	令和4年度	合計
	990 万円	990 万円	1980 万円
④研究者氏名	(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3年3月31日現在)		
矢野 真一郎	九州大学大学院工学研究院・教授		
浅井 光輝	九州大学大学院工学研究院・准教授		
大塚 久哲	九州大学・名誉教授 ((株) 大塚社会基盤総合研究所・代表取締役)		
岩谷 将徳	八千代エンジニアリング(株)・課長		
渡辺 高志	(株)構造計画研究所・シニアエンジニア		
左東 有次	(株)富士ピー・エス・技術センター長		
⑤技術研究開発の目的・目標	(様式河指-2、河指-3に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)		
【目的】	矢板を用いた一部自立型は、越流水による矢板背後の洗掘量を算出でき、また、矢板の剛性が安全性に与える影響、堤体の状態や越流状況が矢板の安定性に与える影響等を再現する解析技術は確立されていない。そこで、プレストレストコンクリート矢板 (以下 PC 矢板と称す。) を用いた一部自立型の構造を対象として、越流水による矢板背後の洗掘量を推定可能な解析手法の確立、及び矢板の安定性に与える影響等の要素を再現できる流体・地盤・構造連成解析技術の開発し、あわせて、PC 矢板の効果について数値解析によって実証する。		
【目標】	<p>①一部自立型 (PC 矢板) の適用性の検討 堤防補強構造の被覆型と一部自立型の構造特性と特徴、施工性、耐久性、維持管理性、経済性などの適用条件や、現地条件による堤防補強構造の使い分けについて、既往の研究論文や調査報告等を調査し整理表にまとめて提案する。</p> <p>②越流水の外力条件や現地条件を考慮した補強堤防のモデル化の検討 モデル化に必要な、外力条件・現地条件・PC 矢板の解析条件を整理する。水と地盤の 2 相系の粒子モデルを用いた浸透流解析及び有効応力解析の要素技術を確立する。これらの整理した条件と要素技術を適用した流体・地盤・構造連成解析(以下、連成解析と称す)手法を確立する。</p> <p>③各種条件が PC 矢板の安定性に及ぼす影響とその評価方法の検討 連成解析技術を用いて各種条件を変更させた解析を行い、以下の要素を再現可能な連成解析技術を確立する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・既存の破堤箇所の調査等で確認されている土質条件や越流状態 (破堤事例) ・PC 矢板と堤体土との隙間や開き ・PC 矢板の剛性 (一重, 二重矢板の接合の有無), 打込み長 ・越水外力 (越流水深, 越流時間, 越流流速) <p>④今後の同技術の研究開発への提言</p>		

⑥研究成果

①一部自立型（PC 矢板）の適用性の検討

洪水の越水による堤防侵食・破堤に対しては、堤防内部に自立壁を構築する一部自立型と、堤防天端～川裏を耐侵食材で被覆する堤防被覆型が、強化工法の形式として挙げられる。

この2形式についての比較検討を行った結果を表-1に示す。

表-1 堤防強化構造の比較表

	一部自立型	堤防被覆型
治水 安全性	<ul style="list-style-type: none"> ■堤体や川裏・表の侵食状況に関わらず、完全自立する壁体が構築されていることから、越水が長期化しても堤防としての機能を保持するための安定性・信頼性が高い。 ■二重壁体とすることで、堤防天端が保持されるため、防災活動等における堤防天端の道路等としての機能確保の信頼性が高い。 ■越水が堤内→堤外に戻る際の侵食(川裏法面)が生じても、壁体により堤防が自立した状態を維持できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ■越水の流速が大きい場合や長期化する場合には、被覆材(コンクリートブロック・根固め工等)の変状リスクがある。また、被覆材の変状に伴い、堤体土砂の吸出しや侵食の発生が懸念される。 ■変状により堤防天端部がダメージを受けた場合、天端道路の機能が失われ、防災面でデメリットとなる懸念がある。 ■越水が堤内→堤外に戻る際の侵食により川裏・堤防天端が損傷するリスクがある。
直接 工事費	5,500,000 円/10m ※堤高5.0mでの試算に基づき、コンクリート矢板を適用した場合の概算直接工事費。	3,700,000 円/10m ※堤高5.0m・2割法面の場合の概算直接工事費。
施工性	<ul style="list-style-type: none"> ■矢板打設に大型重機が必要であり、川裏・表にある程度広い施工ヤードが必要。 ■矢板の大量の打設が必要だが、現場打RC等の現地製作が少ないため、施工速度は堤防被覆型と同等と考える。 	<ul style="list-style-type: none"> ■一部自立型に比べ小規模な重機で施工可能であり、施工ヤードとして堤防天端を活用可能。 ■被覆材(コンクリートブロック等)を大量に敷き並べる必要があり、基礎コン等の現場打RCもあるため、施工速度は一部自立型と同等と考える。
維持 管理性	<ul style="list-style-type: none"> ■コンクリート矢板を使用することで腐食に強くメンテナンスフリーの構造とすることが可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ■被覆材の状態(変状・劣化等)について、巡視等による維持管理を要する。 ■剛体(練瓦ブロック等)で被覆する場合は、内部堤体の空洞化等に対する管理が必要。
景観・ 環境性	<ul style="list-style-type: none"> ■矢板は土中に隠れるため、景観は通常の土堤と同様。 ■環境に対しても、デメリットとなる要素は無い。 	<ul style="list-style-type: none"> ■景観・環境への配慮を行う場合は、被覆材(コンクリートブロック等)の構造・材質等に対する工夫が必要。
その他	—	<ul style="list-style-type: none"> ■川裏法尻部の浸食対策として根固め工を設ける場合、用地買収が必要。
検討に おける 課題	<ul style="list-style-type: none"> ■川裏側の侵食範囲(深さ)の推定が不可欠である。 ■侵食程度が、堤防形状(比高・勾配)、土質、越流水深・継続時間、浸透の有無、内水湛水状況等の複数要素に影響され、条件が限定された実績や実験結果からは定量的な推定が困難。 ■侵食範囲をケースバイケースで求めるには、上記要素を反映し、堤体(土)・越流水(水)・自立壁(剛体)の異材質の連成解析による推定手法を確立する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ■尻部浸食対策として根固め工が不可の場合(用地上の理由等)、矢板等での深掘れ対応が必要。 ■被覆材の安定確認のため、越水の水利諸元(流速・継続時間・跳水等)の定量評価が必要。
総合評価	直接工事費が高価だが、治水安全性・維持管理性・景観環境性で優れ、整備における用地買収等が不要。	直接工事費が安価なため早期の整備実現性が高いが、治水安全性・維持管理性・景観環境性で課題がある。また、整備における用地買収等が必要になることが想定される。

■：メリット、■：デメリット、■：同評価

上記を踏まえ、【一部自立型】は、堤防被覆型との使い分けを考慮し、以下条件適合箇所への適用が考えられる。

- ・民地が近接し用地買収が困難な箇所
- ・景観・環境への配慮が必要な箇所
- ・防災活動時等に天端道路確保が必要な箇所
- ・樋門等との境界で、自立壁体を遮水矢板と接合する等により、局所発生が懸念される水みちの抑制が期待できる箇所 等。

②越流水の外力条件や現地条件を考慮した補強堤防のモデル化の検討

②-1 モデル化の要素技術の確立

本研究では河川堤防越水時の浸透や洗堀による影響を評価し、また PC 矢板による一部自立型構造の設計に資する断面力等を取得可能な解析手法を確立するため、大変形問題と界面捕捉精度に優れる Lagrange 記述の数値解法を河川水、地盤、構造物のすべてのモデル化に適用した。自由水から間隙水までの流体は代表的な粒子法である SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法、堤体や基礎地盤には個別要素法、矢板構造には有限要素法などで設計検討に用いられる梁要素モデルを適用し、流体・地盤・構造連成解析手法を確立するための技術開発と検討を行った。本解析手法の特徴を以下に示す。

- ・自由水/間隙水のシームレス計算 (Darcy-Brinkman 型方程式の採用)
- ・Full Lagrange 記述の相互作用モデル (流体・地盤・構造連成) を採用
- ・Full Lagrange 記述であるために地表形状の変化を逐次追跡可能
- ・Full Lagrange 記述であるために骨格変化に連動する透水性/有効応力の変化を考慮可能
- ・Full Lagrange 記述であるために高精度な外力評価に基づく構造解析が可能

本研究に必要な主要素技術は、地盤構造と間隙水の 2 相粒子間に働く浸透/抗力のモデル化である。これらは水の動粘度と Darcy 流速および地盤構造の固有透過度や抗力係数によってその大きさが決まる。低速度の流れではいわゆる Darcy 則に従い流速に線形であり、流速が大きくなると速度の 2 乗に比例する抗力が主体となることは知られており、間隙水流れを取り扱うためにこれらの作用項をプログラムに組み込むとともに開発した技術の動作検証を行った。

②-2 流体・地盤・構造連成解析手法の確立

河川堤防越水時の浸透や洗堀による影響を評価するには、確立した要素技術や既往の解析技術を複

合し、自由水や間隙水による堤体/地盤や構造物の変形を精度よく解析できる必要がある。また、解析においては河川流量や水位を自由に制御し、また長時間に渡って流入出が生じる数値解析を継続する必要がある。このような観点から必要な検証と開発を行った。

②-1 で確立した要素技術を複合した地盤変形の解析評価の精度検証としては既往文献を参照し、**図-1**に示すように水と堆積した固体粒子の水柱崩壊実験の結果と比較することで行った。また、**図-2**に示すように堤体や地盤の強度評価に必要な要素シミュレーションを実施し、文献に基づく一般的な地盤条件の取り扱いに必要な解析パラメータを取得した。さらに、2次元解析手法の変更、流砂式ベースの破壊判定の導入、低透水性地盤の解析における工夫を行って、連成解析手法を改良した。また、矢板近傍において生じる可能性がある隙間を考慮するために、間隙率評価手法を導入した。析手法の動作確認については、**図-3**に示すような対象地盤は実験的な体系とし、平均粒径 10mm の小さなスケールで、比較的透水性の小さい 2 ケースを対象として行った、透水性を大きくすることで、浸潤が進行すると間隙水圧作用で表面粒子は流れやすくなり、浸食が速くなることを確認した。本改良により、地盤モデル (DEM 粒子) と河川水を同一のモデルで解くことができ、堤体表面の侵食を再現可能な解析手法を構築できた。

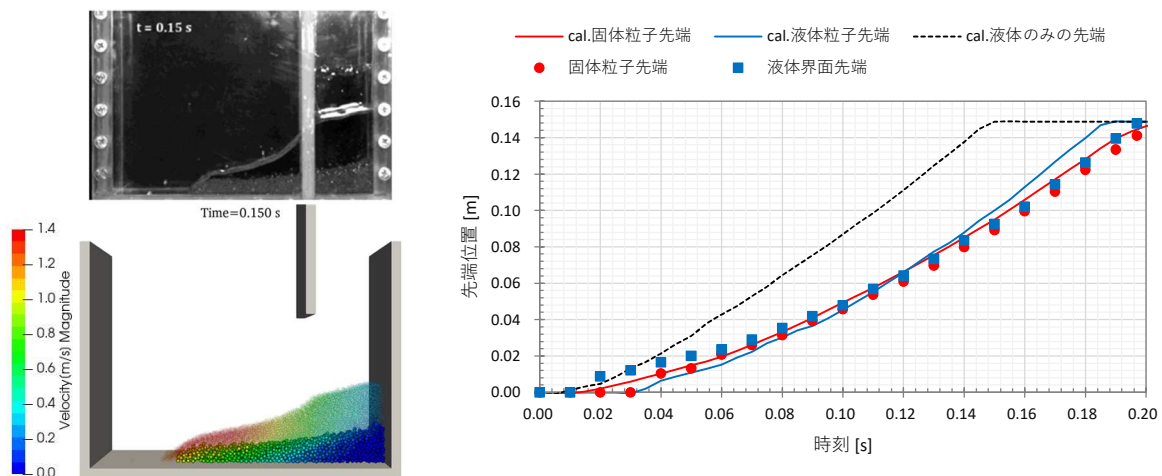


図-1 要素技術を複合することで既往の水柱崩壊実験を再現することで実施した精度検証

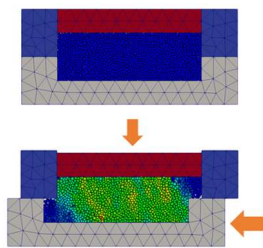
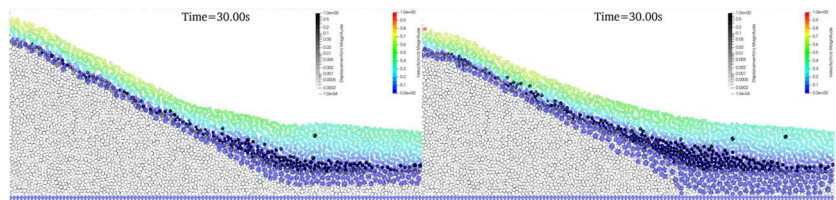


図-2 要素シミュレーションの実施



透水性：小 透水性：大
図-3 動作確認の試解析結果

③各種条件が PC 矢板の安定性に及ぼす影響とその評価方法の検討

③-1 連成解析による無補強堤防及び自立型 PC 矢板による補強堤防の解析

2019 年 10 月 13 日に長野市穂保地先の千曲川で発生した破堤事例を対象として**図-4**に示すような破堤事例のモデル化を行い、破堤事例の再現解析を行った。さらに、破堤事例の解析モデルに自立型 PC 矢板による堤防補強を実施した場合の解析を実施し、補強の有無による影響を確認した。

解析では地盤の透水性を大きく評価して時間加速を考慮し、表層の浸食過程をより考慮し易くするため想定地盤材料の 1000 倍の透水係数を設定した上で 180 倍の時間加速を考慮した。地質条件は簡略化し、粘性土の基礎地盤は不透水層として扱った。透水性地盤としては桜づつみ想定砂質土と、それより 2 桁透水係数の小さい粘性土のみを考慮し、モデル境界は固定かつ不透水層である。地盤の初期含水は考慮せず、川表側は越水直前の河川水位から計算を開始し、1 年目に開発した降雨流入境界により増水後の河川水位を一定に制御した。

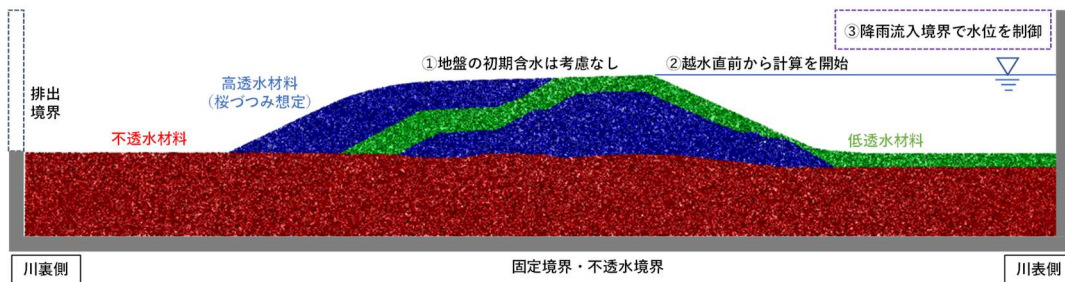


図-4 破堤事例の解析モデル

破堤事例モデルの解析結果と PC 矢板補強堤防モデルの解析結果を図-5 に示す。解析では千曲川堤防の破堤事例を参考に、最大越流水深を 0.8m に設定して解析を行った。

破堤事例モデルでは、川裏法肩の少し下方の法面から浸食が始まり、法尻に堆積層を形成している。越流水深の大きいケースの方が越流水の流速も水圧も大きいため、浸食過程の進行速度も大きく、最終的な崩壊量と排出量もより大きくなっている。川裏の浸食は堆積土砂がその強度に基づく緩い勾配の斜面を形成することで進行速度が低下し、いわゆる移動床の問題へと変化している。川表も法肩付近から崩壊が見られ、河川水位の上昇に伴う有効応力の低下や、越流水が法肩に集まることによる流速の影響を受けていると考えられる。今回の解析時間内では破堤まで再現することはできなかったが、川裏と川表の上部の浸食が進むことにより、天端が徐々に浸食されており、河川水位を一定に維持する条件下では外力が徐々に大きくなるためいずれ破堤に至ると考えられる。

PC 矢板補強堤防モデルでは、破堤事例モデルの場合と同様に、川裏法肩の少し下方の法面から浸食が始まり、法尻に堆積層を形成している。また、越流水深の大きいケースの方が越流水の流速も水圧も大きいため、浸食過程の進行速度も大きく、最終的な崩壊量と排出量もより大きくなっている。矢板補強の有無による違いは天端の浸食発生の有無にあり、越流水位一定条件の下では不透水構造によって被覆された堤防の方が川裏側の外力は小さくなる。そのため、川裏の浸食速度は小さくなっており、同じ越流水深と時刻における比較では矢板補強ケースの土砂の排出量が低減していることが確認できる。PC 矢板に生じる最大曲げモーメントは川裏側の矢板上部に発生し、 $14.7\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$ であり、PC 矢板のひび割れ発生モーメント (JIS A 5326 C-350-1000 の場合) は $193\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$ であるので余裕が大きいことが確認できた。

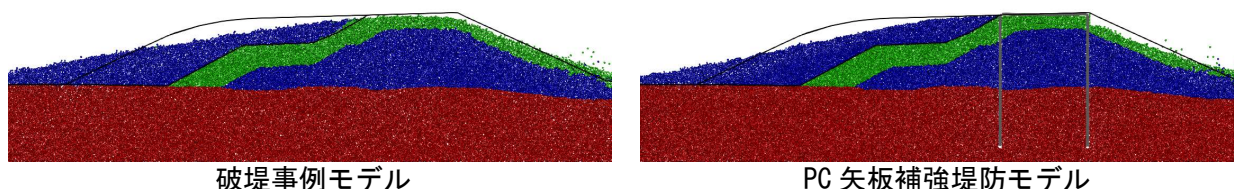


図-5 要素技術を複合することで既往の水柱崩壊実験を再現することで実施した精度検証

PC 矢板によって補強した堤防において、越流によって PC 矢板背面の堤体土が浸食された場合を想定し、図-6 に示すモデルを用いて解析を行った。本モデルでは堤内地側の法面は越流水によって浸食したことを仮定して取り去った状態を初期状態としている。本検討では、河川堤防に設置した PC 矢板の剛性 (一重、二重の接合の有無) や根入れ長の違いによる変位状態と地盤の変形状態を定性的に比較するため、4 種類の解析モデルに対して解析を行った。

一重矢板 (根入れ長 40cm) とコの字型二重矢板 (根入れ長 40cm) の解析結果を図-7 に示す。一重矢板で根入れ長が長い場合は、水圧と土圧によって傾斜は生じるものの、粘り強く堤体の崩壊を防ぐ様子を確認できた。コの字型 PC 矢板構造の場合は、初期の水圧と土圧による若干の傾斜は生じているが、堤体の変形は他

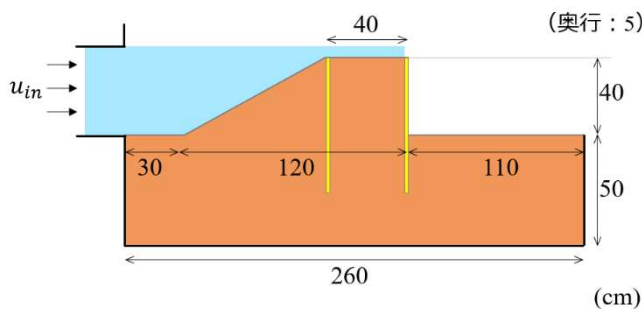
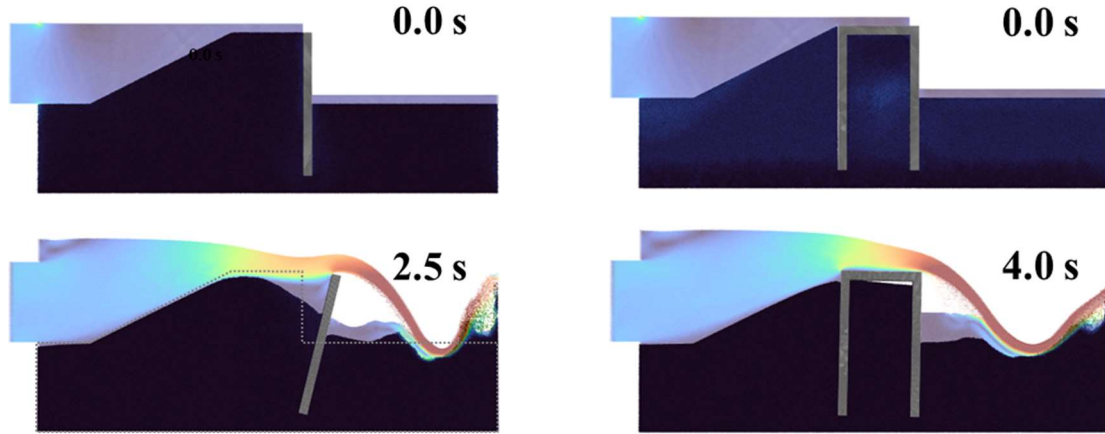


図-6 解析モデルの概略図

の矢板形状よりも小さくなった。このモデルは、PC 矢板同士をつなぎ材でつないだ PC 矢板二重締切構造に近い状態をモデル化したものであり、粘り強く地盤の変形を防ぐ減災効果を発揮されるためには、コの字型のような剛性の高い構造とすることが必要であることを確認した。いずれのケースでも、提案する流体・地盤・構造連成解析手法を用いることによって、越流に起因する離散的な洗掘破壊を表現できることも確認できた。



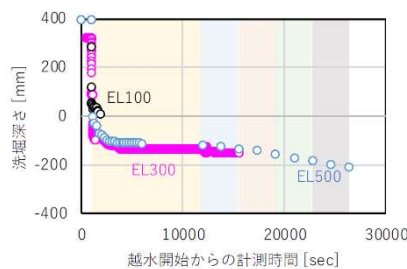
一重矢板_根入れ長 40cm

コの字型二重矢板_根入れ長 40cm

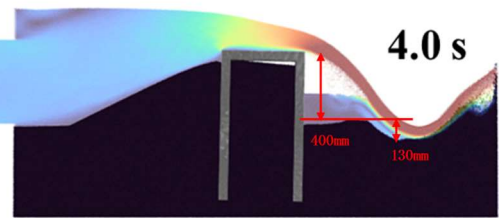
図-7 洗掘現象の解析結果

③-2 解析結果の妥当性の検証

③-1 で実施した解析結果の妥当性の検証は千曲川堤防調査委員会報告書および鋼矢板による堤防補強を想定したモデル実験に関する報告に対して実施した。PC 矢板補強堤防の洗掘現象解析について検証を行った結果を図



模型実験の洗掘深さ



PC 矢板補強堤防の洗掘現象の解析結果

図-8 PC 矢板補強堤防の洗掘現象解析結果の検証

-8 に示す。解析による洗掘深さは 130mm となり、模型実験の 180~200mm よりは小さくなったが、越流水の叩きつけによる洗掘現象は再現できた。

④ 今後の同技術の研究開発への提言

本研究で実施した PC 矢板を用いた一部自立型堤防強化構造の設計手法について、破堤事例の整理および再現解析結果、自立式 PC 矢板による補強堤防の解析結果より考察した。整理結果を表-2 に示す。今回の堤防の浸食現象と落水による洗掘現象を合わせた解析手法を構築することで、

越水時の時間軸を考慮した解析が可能になり、PC 矢板を用いた堤防強化構造について終局時まで解析できる(粘り強い堤防強化構造の評価手法の構築)可能性を見出した。

表-2 設計手法の評価

安全側の設計となる点	配慮が必要となる点
<p>【川裏側の堤体土の抵抗について】 再現解析によりPC矢板を用いた堤防強化構造では無補強の場合よりも川裏の浸食が遅くなることを確認した。粘り強い堤防強化構造を評価するためには、越流によって川裏側の堤体土が浸食されるまでの時間を考慮する必要がある。</p>	<p>【越流時の設計断面について】 川裏側の堤体土を無視した設計としているが、基礎地盤までとしており、洗掘によって矢板基部の基礎地盤が流出することは想定していない。破堤事例および連成解析によって越流水の落水によって基礎地盤が洗掘されることが確認されているため、洗掘を考慮した安定性および根入れ長の検討が必要となる。</p>
<p>【PC矢板の根入れ長について】 連成解析によって任意の位置のPC矢板の断面力を抽出することが可能となる。現在の設計では2枚の矢板の根入れ長を同じ長さとしているが、解析結果をもとに最適な根入れ長の設計が可能になる。堤体幅が小さい場合、遮水効果(浸透路長)に対する根入れ長によって根入れ長が決定する可能性があるが、連成解析では基礎地盤も含めた堤防の流速分布、圧力分布の把握が可能であるため、遮水効果に対する根入れ長に関しても最適化できる可能性がある。</p>	<p>【PC矢板補強堤防の堤体(コア部)高さの想定について】 コア部は天端までの土圧を考慮しているが、越流によって天端が浸食されることが連成解析で確認されている。連成解析によって天端部の浸食を把握することで、コア部の高さについて設計で考慮することが可能と考えられる。</p>
<p>【PC矢板の設計について】 現在の設計ではPC矢板に作用する最大曲げモーメントがひび割れ抵抗曲げモーメントを上回らないようにPC矢板の断面を決定しているが、PC部材はPC鋼材の弾性限界値以下であれば復元能力がある。越流時に作用する断面力は一時的なものと考えられるため、連成解析によって越流時のPC矢板に作用する断面力を精度よく把握することで、制限値に裕度を持たせることが可能と考えられる。</p>	<p>【内水浸食による検討について】 現在の設計手法では河川側からの越流に対して設計を行っているが、河川条件によっては内水(堤内側からの浸水)による越流現象も想定される。PC矢板の種類によっては、荷重の作用方向を想定した設計となっている場合もあるため、適用条件によっては内水浸食による検討も必要になる。</p>

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、学会抄録、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

辻 勲平, 佐伯 勇輔, 浅井 光輝: 粒子法に基づく流体-地盤-構造連成解析の侵食対策工の事前検討への応用, 第26回応用力学シンポジウム, 2023.5

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。)

特になし

⑨表彰、受賞歴

(単なる研究成果発表は⑧⑨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。)

特になし

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。)

本研究では、2次元の解析モデルにより堤防横断方向の越流現象に対する堤体・越流水・PC矢板・基礎地盤の挙動を把握し安全性を評価する技術の開発を行った。解析手法の性質上、解析に非常に長い時間を要するため、千曲川の破堤事例をモデルに行った解析では、破堤するまでの解析に至らなかったが、今回再現できた堤防の浸食現象と落水による洗掘現象を合わせた解析手法を構築することで、越水時の時間軸を考慮した解析が可能になり、PC矢板を用いた堤防強化構造について終局時まで解析できる(粘り強い堤防強化構造の評価手法の構築)可能性を見出した。本技術の今後の課題として、①破堤事例を再現するためには、解析条件の設定、解析時間低減のための工夫などの改良が必要、②粘性土に対する浸食について改良が必要、③法尻からの浸食については一般的な掃流砂式では再現できる現象とは異なる可能性が高い、④越流条件と洗掘量の関係について検証を行う必要がある、⑤河川流下方向と堤防軸線の向きとの関係が破堤に及ぼす影響について解析的な検討が必要、などが挙げられる。そのため、今後は3次元的な視野で、河川流下方向の洪水流の影響や対策範囲上下流部の地盤の緩みやその対策など、より具体的な構造や適用箇所の影響を検討可能な解析技術とする必要があると考えている。その場合、解析モデルはさらに複雑になると考えられ、解析時間についても2次元の場合と比較して長時間に及ぶことが予想される。解析モデルや解析条件をより精緻にするほど(実現象を反映したモデル、条件にするほど)精度の良い解析結果が得られると考えられるが、解析に長期間を要するようでは実務に活用することが難しくなる。より実用的な解析技術とするためには、より精度良い結果が得られる解析技術の開発と並行して、ある程度の解析時間でも実務に適用可能な一定の精度と安全性を有する結果が得られる解析技術への改良(モデル化手法の高度化と時間短縮の工夫)が必要である。

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。)

PC矢板を用いた一部自立型の堤防強化構造は、以下の箇所への適用が効果的であると考えている。

- ①民地が近接し用地買収が困難な箇所
- ②景観・環境への配慮が必要な箇所
- ③防災活動時等に天端道路確保が必要な箇所
- ④樋門等との境界で局所的な水みち等発生が懸念される箇所

しかし、これまで堤体内にPC矢板を打ち込んだ事例がないことから、PC矢板を用いた一部自立型の堤体強化構造を実現するためには、供用時(河川が氾濫した場合ではなく通常の河川水位の状態)の堤体内の状態や越流時のPC矢板背面の洗掘性状の確認およびPC矢板の効果を事前に検証する必要がある。

本解析技術の精度を高め、活用することにより、越流時の堤防の浸食現象だけではなく、PC矢板背面の洗掘性状(洗掘深さ)を予測できるようになると考えている。また、本解析技術ではPC矢板に作用する応力を抽出できることから、解析におけるモデル化や現地条件の設定を適切に行うことで、越流時にPC矢板に発生する応力を予測しPC矢板の設計結果の妥当性を確認することが可能となる。これらの結果をもとに、PC矢板を用いた実物大規模の施工試験を実施し、解析結果の検証とPC矢板の一部自立型堤防強化構造への適用性について確認を行うことが必要である。その後は、実構造への適用へ向けて、まずは、小規模なパイロット工事を実施するとともに、本解析技術によりシミュレーションを行うことでPC矢板を用いた一部自立型堤防強化構造の効果を評価することが必要である。