

2. 治水安全度向上のための河川堤防の質的強化技術の開発

研究期間：平成18年度～22年度

プロジェクトリーダー：技術推進本部長 中村敏一

研究担当グループ：技術推進本部（物理探査技術担当）、材料地盤研究グループ（土質・振動）、
材料地盤研究グループ（地質）、水工研究グループ（河川・ダム水理）

1. 研究の必要性

近年、気候変動に起因する集中豪雨の発生頻度の増大等により、計画規模を超える洪水や整備途上の河川において大規模な洪水が発生し、河川堤防の破堤に伴う被害が増加しており、堤防の質的強化による治水安全度の向上が急務となっている。このため、基礎地盤や内部構造の不確実性が大きい河川堤防の弱点を効率的かつ経済的に抽出・評価する手法や、浸透（堤体浸透・基盤漏水）および侵食に対する効果的な堤防強化対策など、河川堤防の質的強化技術の開発が強く望まれている。

2. 研究の範囲と達成目標

本重点プロジェクト研究では、全国で実施されている河川堤防概略・詳細点検のデータベースの分析、先端的な統合物理探査技術の実用化、地形・地質学的概査手法の高度化により、堤防弱点箇所への抽出精度を向上させるとともに、抽出された堤防弱点箇所に対し、現場条件や被災形態に応じ、確実な効果が得られる経済的な対策選定手法を提案することを研究の範囲とし、以下の達成目標を設定した。

- (1) 河川堤防の弱点箇所抽出・評価手法の高度化（「統合物理探査技術を用いた河川堤防内部構造探査マニュアル」の作成、河川堤防弱点箇所の調査・計測技術の開発、「河川堤防の弱点箇所抽出・評価マニュアル」の作成）
- (2) 基礎地盤と被災要因の関連性解明、および基礎地盤の透水性調査手法（地形地質学的手法）の提案
- (3) 浸透に対する堤防強化対策の高度化（「浸透に対する河川堤防の質的強化対策選定の手引き」、「樋門・樋管構造物周辺堤防の空洞対策選定マニュアル」の作成・充実）
- (4) 侵食に対する堤防強化対策の提案（「侵食に対する河川堤防の強化対策の手引き」の作成）

3. 個別課題の構成

本重点プロジェクト研究では、上記の目標を達成するため、以下に示す研究課題を設定した。

- (1) 河川堤防の弱点箇所抽出・強化技術に関する研究（平成18～20年度）
- (2) 河川堤防の弱点箇所の評価技術に関する研究（平成21～22年度）
- (3) 統合物理探査による河川堤防の内部構造探査技術の開発（平成18～20年度）
- (4) 堤防弱点箇所の内部物性構造詳細評価技術の開発（平成21～22年度）
- (5) 河川堤防の基礎地盤の透水特性調査手法に関する研究（平成19～22年度）
- (6) 樋門・樋管構造物周辺堤防の空洞対策選定手法に関する研究（平成18～20年度）
- (7) 河川堤防の耐侵食機能向上技術の開発（平成18年度～22年度）

このうち、平成20年度は（1）、（3）、（5）～（7）の5課題を実施している。

4. 研究の成果

本重点プロジェクト研究の個別課題の成果は、以下の個別論文に示すとおりである。なお、「2. 研究の範囲と達成目標」に示した達成目標に関して、平成20年度に実施した研究と今後の課題について要約すると、以下のとおりである。

(1) 河川堤防の弱点箇所抽出・評価手法の高度化

1) 河川堤防の弱点箇所抽出に関する研究

平成19年9月16日から18日にかけて秋雨前線と台風11号から変わった低気圧の影響により秋田県・青森県・岩手県の広い範囲で記録的な大雨が観測された。この豪雨により、米代川や北上川では計画高水位以上またはそれに近い洪水が観測され、河川堤防周辺の数十ヶ所において漏水やのり面のすべり破壊等の被害が発生した。被災時の水位・降雨データを用いて浸透流解析により、洪水時の堤体内浸透流を再現し、安全性照査を行った。この結果と詳細点検結果を比べると、米代川では、詳細点検結果の方が安全性が高くなっているケースが多かった。その原因として、基礎地盤表層の土層構成が詳細点検と若干異なっていたことや堤内地の地盤高さが検討断面と異なっていたことが挙げられる。以上のことから、弱点箇所の抽出を高精度化するためには、堤内地の微地形や基礎地盤表層の土質などを適切に把握することが、重要であるといえる。

詳細点検により浸透に対する安全性を満たさず要対策とされた区間について、微地形判読や統合物理探査を活用し、対策箇所を絞り込む、高精度な弱点箇所抽出手法を提案した。要対策区間の見落としの防止も同様に可能であると考えられる。

要対策区間に対し、微地形判読の技術を用いて、被災関連性の高い治水地形を判読し、抽出する。つぎに、堤防縦断方向に統合物理探査を実施し、連続的な土質構造を把握、要対策区間を細分する。細分した区間毎に、必要に応じて横断方向の統合物理探査を実施し、横断方向の土質構造を把握する。得られた横断土質構造に基づいて、浸透安全性の再評価を実施する。以上のような手順により、数百m～数kmの単位で抽出していた弱点箇所を数十m程度の精度まで細かく絞り込むことができ、堤防強化対策の延長を削減、ひいては質的整備に対するコストを縮減することが可能になると考えられる。

今後は、堤防モニタリング、物理探査、微地形分類等の結果を利用し、より高精度な堤防の浸透安定性評価技術を検討する予定である。

2) 統合物理探査による河川堤防の内部構造探査技術の開発

河川堤防の弱点箇所を精度よく抽出するためには、堤防本体とその基礎地盤について構造と物性を縦断的に把握することが必要となる。二次元的に地下構造を把握する物理探査手法を堤防調査に利用する上で、従来、探査深度や作業性などに課題があった。このため、牽引型比抵抗探査法と土木研究所が開発したランドストリーマーを活用した高精度表面波探査法を併用する方法（以下、統合物理探査と呼ぶ）を開発した。これまでの現地検証実験の結果、統合物理探査は、作業性に優れ、かつその組み合わせによって異常部を効果的に抽出できることがわかってきた。これらの手法の普及展開をはかることを目的とし、現地計測および解析検討の過程のマニュアル化を進めている。マニュアル化した過程の妥当性を検証するため、洪水被害を受けた実堤防（米代川、黒部川）に対して統合物理探査を適用し、被害実態との関連性を検討するとともに、現場計測時の技術管理および品質管理について検討を加えた。

その結果、統合物理探査によって求められるS波速度値と比抵抗値を指標に、基礎地盤部の浸透特性を概略的に評価することが可能であることが検証された。統合物理探査による評価結果は被害実態と概ね調和的であったが、それだけで全体を説明することはできないことが明らかになり、他の地盤情報、特に河川地形および堆積相解析が重要な補強情報を提供することが示唆された。開発した統合物理探査を普及展開するためには、本研究で得られた技術情報の開示と民間への移転が不可欠である。前者に対してはマニュアルの発行に向けた準備が進行しつつある。技術移転にあたっては特に取得データの品質管理に対する判断基準の明確化が必要であることが明らかになった。

今後は提案した統合物理探査手法の適用手順および評価基準を確立し、河川堤防調査への適用を全国的に普及展開することを進めるとともに堤体内部の不均質構造と地下水の挙動を把握することが可能な原位置計測手法の開発に着手する予定である。

(2) 基礎地盤と被災要因の関連性解明、および基礎地盤の透水性調査手法（地形地質学的手法）の提案

基礎地盤の浸透性に関する調査では、概査段階で、治水地形分類図・旧版地形図などにより高透水性地盤を示唆する旧河道と落堀の位置を抽出し、これらの情報を加味して代表地点を精査する。しかしながら、自然堤防と後背湿地の境界部など、地形・地質学的に認定できる要注意地形が見落とされている。また、自然河川によって形成された沖積地盤の構造は複雑であり、空間的な広がり把握可能な地形地質情報の有効利用が必要である。特に、見落とされた箇所は以後の調査で対象とならないため、見落としを少なくするための概査手法の高度化が必要である。本研究は、河川堤防の基礎地盤の弱点箇所を把握する概査段階において、特にその透水特性を地形・地質学的知見を活用して、安価に面的に把握する手法を提案しようとするものである。

河川堤防周辺の地形と被災履歴との関係に基づき、基礎地盤の浸透に対する安全性を概略評価するためのツールおよび評価指標（基礎地盤漏水ポテンシャル）を開発し、荒川を対象に試行した。その結果、開発した指標や平均動水勾配は、荒川においては被災に寄与する割合が小さいものと推測され、指標については今後、検討を深める必要があることがわかった。

過去の地形情報を客観的に把握するツールの開発を目的に、国土地理院撮影の空中写真を用いてDEMの作成を試み、その精度を検証した結果、本手法の有効性を確認した。また、作成する手法として、自動化手法（ステレオマッチング法）が利用可能であることが判った。

堤防基礎地盤の物性調査手法として、地盤注水試験を実施した。その結果、注水圧の急な減圧が見られた後、土砂の流出が確認されたことから、注水圧を管理することで地盤の浸透破壊抵抗性が測定できる可能性が示唆された。

（3）浸透に対する堤防強化対策の高度化

1) 河川堤防の浸透対策選定手法に関する研究

堤防強化工法の設計は、浸透安全性の照査と同様に、横断面の土質構造に基づいて行われている。しかしながら、堤防強化を実施したにもかかわらず、再度漏水するなどの事例が見られていることから、効果的な対策を実施するためには、堤防縦断方向の浸透流が堤防強化対策に与える影響を明らかにする必要がある。川表で遮水する対策として、表のり面被覆工法と矢板工法を、川裏で排水する対策として、ドレーン工法と透水トレンチ工法を検討対象とし、三次元浸透流解析を実施した。結果より、川表で河川水を遮断する工法は、いずれも対策効果発現の遷移区間が存在する可能性があることがわかった。遷移区間の長さについては、堤体や基礎地盤の透水係数の大きさ・組み合わせ等様々な影響因子があると考えられる。また、川裏から浸透水を排水する工法は、対策区間の端部に水が集中する可能性があることがわかった。対策区間の端部においては、ドレーンや透水トレンチの目詰まりに対する監視等維持管理について特に留意が必要であると考えられる。

2) 樋門・樋管構造物周辺堤防の空洞対策選定手法に関する研究

樋門・樋管構造物の周辺では空洞・ゆるみを生じる事例があり、洪水時の浸透に対する堤防の安全性に重要な影響を及ぼす可能性があるため、その適切な評価と効果的な対策工法の確立が求められている。

平成20年度は、

- ① 堤防で行われた調査結果（本研究に用いたデータは、国土交通省武雄河川事務所による「樋管周辺空洞化対策事業（平成14年度～平成18年度）」で実施したものである。なお、対象水系は嘉瀬川水系、六角川水系および松浦川水系）から樋管周辺部の空洞・ゆるみ発生状況に関して検討した。
- ② 樋管下の空洞としてはグラウト注入による空洞充填が広く普及しているが、他工法の効果確認を目的として押え盛土工法、遮水矢板工法の2対策工法について模型実験を実施した。押え盛土工法は、土工のみであり施工性に優れるとともに安価である点より選定した。遮水矢板工法は、樋管周辺部の空洞・ゆるみに対して局所的に対策を行い水みちの遮断ができることに加え、押え盛土工法と異なり堤内地側に用地確保を要しないことから選定した。
- ③ 樋管上部のゆるみ発生状況、ならびに洪水時の安定性を把握するための模型実験、模型実験をもとに樋管上にゆるみを想定した3次元浸透流解析を実施した。

その結果、①現地の樋門・樋管周辺堤防における空洞・ゆるみの発生頻度・分布幅・連続性の傾向が確認できた。②樋門・樋管下の空洞対策工法として、押え盛土工法、遮水矢板工法の有効性が確認できた。③樋門・樋管上のゆるみが浸潤線に与える影響について評価することができた。

今後の課題として、樋管上のゆるみによる強度低下を含めた定量的評価を目指すとともに、現地観測を行うことで実験や解析結果の検証をする研究が必要である。

(3) 侵食に対する堤防強化対策の提案

堤防の耐侵食機能向上のための対策の一つとして、堤防裏のりをシートで覆った場合のシートの揚圧力に対する安定性の実験的検討および、現在質的整備として実施されている堤防裏のり浸透対策の耐侵食機能向上効果を把握することを目的として、短繊維混合補強土を用いた堤防のり面被覆工の耐侵食機能向上効果について実験的検討を行った。

主な検討結果は次の通りである。

- ① 遮水シートの揚圧力に対する安定性について理論的裏付けをした。遮水シート下に空気溜まりが発生しないように排気装置等を設けることは、十分な施工・管理を前提とすれば非常に有効であるが、万一排気管が詰まった等の不測の事態を想定すると、排気層の空隙が空気溜まりの発生を助長させるという面も持ち合わせており、経済性・効率性も考慮した対策が重要である。
- ② シートの種類及び設置方法による堤防の耐侵食機能について実験的に比較検討した。遮水シートで繋ぎ部を溶着しない場合には、繋ぎ部への越流水の集中に伴って急激に堤体侵食が進行する可能性が高くなる。吸出防止シートの場合、重ね幅（15cmと30cm）による影響の差異は見られず、また溶着による耐侵食性の向上も見られたが、溶着部分の強度の長期的保持や施工性なども含めた検討が今後必要である。
- ③ 短繊維混合土を用いた堤防裏のり被覆工の耐侵食機能について調査した結果、堤防高さ3m、のり面勾配1:3、越流水深30cm という一定の条件下では機能向上効果が確認された。一方で、既設堤防ののり面被覆材として使用する場合に必要な基本的性能のうち、植生に対する適応性や、吸い出し以外の変形追従性、透気性、維持管理については、長期的な検討が必要なこと、照査方法が確立されていないことなどから、引き続きの課題として取り組む予定である。

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR STRENGTHENING RIVER LEVEES AGAINST FLOODS

Abstract : More frequent concentrated rainfall caused by recent climatic change has increased damage caused by the breaching of river levee. Purpose of this project is to improve flood safety by strengthening of levees. Goals of the project are shown as follows ;

- (1) To improve river levee vulnerability assessment method and prepare the Manual of River Levee Investigation Using Integrated Physical Investigation Technology.
- (2) To improve levee strengthening measures against seepage
- (3) To improve levee strengthening measures against erosion due to overflow of river water

Key word : river levee, flood safety, vulnerability assessment, integrated physical investigation technology, levee strengthening measures