

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 福田正晴

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）、土工研究グループ（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手法の高度化（「河川堤防の弱点箇所抽出マニュアル」「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、河川堤防の地形・地質学的概査手法の提案）
- （2）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）
- （3）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）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）
- （3）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）
- （4）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）
- （5）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）

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19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手法の高度化

1) 河川堤防の弱点箇所抽出手法に関する研究

現状の安全性照査手法の課題を抽出するため、平成19年9月の出水で被災が発生した米代川、北上川において漏水等の被災箇所を現地調査するとともに、当該箇所の安全性照査を行った。被災箇所の土層構成や土質定数等を用いた照査においては、パイピングのおそれがあると判定され、被災の状況と対応する結果となった。この

結果と堤防詳細点検結果とは必ずしも一致しないが、その原因は、検討断面の形状や基礎地盤、堤体の土質構成等の設定における差異にあるものと推測された。

堤防の安全性照査は、通常、堤防の横断方向に二次元で行われるが、堤体や基礎地盤は上下流方向に変化することが多い。堤防の浸透に対する安全性に関し、その影響を把握するため、モデルケースを設定して三次元浸透流解析を行った。その結果、堤体の透水係数が縦断的に変化する場合、堤体内水位は縦断的に変化するものの、安全性照査においては大きな差異は生じなかった。一方、堤体が蛇行する旧河道上にある場合、旧河道と堤防裏のり尻が交差する部分付近で、二次元解析では水平局所動水勾配を過小に評価する可能性があることが分かった。

今後は、堤防の浸透安定性に及ぼす縦断土質構造の影響について引き続き調査し、高精度な弱点箇所抽出手法の検討を行う予定である。

2) 統合物理探査による堤防弱点箇所の効率的検出手法の開発

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。統合物理探査を千曲川、荒川、黒部川、小貝川において現地適用した結果、現地作業性および異常部の検出能力に優れていることが明らかとなった。

統合物理探査は比抵抗とS波速度を計測するが、これを用いて浸透性や強度を推定する手法を千曲川堤防において検討した。その結果、細粒分含有率（D20）と比抵抗値はよく対応し、比抵抗値から透水性の2次元分布を推定できることがわかった。これらの検討結果を用い、千曲川堤防の透水性分布を推定したところ、過去の漏水発生区間と調和的な結果が得られた。

今後は比抵抗、S波速度および透水性を原位置で測定する手法・装置の開発を進め、統合物理探査を用いた弱点箇所の効率的な抽出技術をマニュアルとして取り纏める予定である。

3) 河川堤防の基礎地盤の透水特性調査手法に関する研究

地形と堤防被災の関係を全国の主要河川における堤防概略点検結果を用いて調査した結果、旧河道・落掘では被災度が高く、漏水に関しては自然堤防で被災度が高いことが確認された。また、荒川中流部および利根川中流部における堤防被災箇所を現地調査するとともに空中写真判読調査を行った。いずれの地点も自然堤防あるいは破堤堆積物が基礎地盤を構成している可能性があることなどが分かった。

微地形を判読することによって、堤防の基礎地盤を地形学的に類推することができるが、地形改変が著しい日本においては、過去の空中写真の確保が重要となる。昭和20年代初頭に撮影された米軍の空中写真の活用について、デジタル空中写真測量技術を用いて検討した結果、作業上の留意点はあるものの、過去に失われた微地形を客観的に表現できる可能性があることが明らかとなった。

今後は、問題となる基礎地盤を明確化し、信頼性の高い地形・地質学的概査手法の検討を行う予定である。

（2）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

基礎地盤のパイピングは堤防を不安定にする要因であるが、そのメカニズムは明らかになっていない。そこで、今後の浸透対策の検討に資するため、模型実験において堤防の基礎地盤にパイピングを発生させ、これに伴う堤体の陥没・ゆるみ・空洞の発生状況を把握した。

今後は、堤防強化対策を施工した場合の上下流の堤防に対する影響について、三次元浸透流解析により把握し、浸透に対する堤防強化対策選定手法の検討を行う予定である。

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・樋管の空洞・ゆるみ対策として、遮水矢板工法、押え盛土工法が行われることが多い。地盤沈下の影響下にある樋門・樋管構造物において、これら工法の効果確認を行うため、模型実験を行った。その結果、遮水矢板工法、押え盛土工法の有効性、河川堤防におけるパイピングの評価基準の妥当性を確認した。なお、押え盛土工法においては、押え盛土に潤みや水の溜りが発生し、対策実施上の留意点が明らかとなった。

また、構造物と基礎地盤との境界における土砂の吸出し現象について実験的検討を行い、土砂の吸出し現象は、地盤の密度差に比して、土質材料の違いによる影響の方が大きいことを確認した。

今後は、構造物と周辺堤防との境界における土砂吸出し現象が堤体へ与える影響を考慮し、空洞対策選定手法の検討を行う予定である。

（3）侵食に対する堤防強化対策の提案

越流が破堤のメカニズムとして堤防に作用する場合は多い。そこで、実物大の土堤を用いた既往の越水実験データを収集し、土堤の耐侵食機能を整理した。これによって、土堤の侵食量は、越流量に対し比例的であり、同一材料でも締固度、飽和度によって3倍～4倍程度異なることが把握された。

堤防の耐侵食機能を向上させるため、堤防天端から裏のり尻にかけて吸出し防止シート等で覆う方法が有効であるが、堤体からの空気や水の供給がシートの安定性に影響を及ぼすおそれがあるため、模型実験を行った。実験の結果、水によるシートの膨れは越流直前で最も大きくなるものの、越流後は越流水によって膨れは小さくなり、シートの捲れは生じないことを確認した。

堤防の浸透対策として裏のり面を被覆強化する方法があるが、短繊維混合補強土を用いる覆土工法について、耐侵食機能の向上効果を模型実験により調査した。短繊維混合補強土は、土にポリエステル等の繊維を混ぜて土の強度増加を図ろうとするものであるが、耐侵食機能を向上させるため、固化材としてセメントを混合した。今回の実験においては、短繊維混合補強土の透水性、変形追随性に改良の余地があるものの、短繊維混合補強土工法は堤防の耐侵食機能を向上させることを確認した。

今後は、各種対策手法の耐侵食機能改善効果を引き続き調査するとともに、施工法の詳細やコスト削減策の検討にも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