

## 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、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）
- (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）
- (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) 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21年度は（2）、（4）、（5）、（7）の4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21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の評価技術に関する研究

本研究では、土堤区間についてはすべり安定性と堤体内浸透流、樋門周辺堤防については構造物周りの浸透流と函体下の空洞に伴う土砂の吸い出しを対象として、浸透安全性評価技術を高度化することを目的としている。

21年度は、以下の調査を実施した。

##### ①砂質土堤防のすべり安定性評価に関する検討

砂質土堤防のすべり安定性評価に関する検討は、主に細粒分含有率50%以下の砂質土堤防を対象として、浸透による崩壊現象を詳細に検討するため実大規模の模型実験を行った。その結果、のり面の変状は、堤体内水位がのり尻に到達した後、水平距離でのり尻から1m程度まで表面に浸出した時点で生じ始めたこと、のり尻から泥濘化し、のり尻に向かって流動するような変状形態を示すことなどがわかった。また、今回の実験のような泥濘化を伴う崩壊形態の場合、円弧すべり安定計算による安全性照査は、対象とする現象が異なるため困難であると推察された。一方で、河川堤防設計指針では円弧すべり安定計算の所要安全率を1.2に規定しており、メカニズムは異なるものの今回の実験は結果的に安全率1.2以下であり、要対策箇所として抽出されることがわかった。

##### ②始良川堤防の現地モニタリング

鹿児島県の大隅半島に位置する肝属川水系始良川の堤防において、現地モニタリングを開始した。当該箇所では、平成20年度に浸透に対する堤防強化工法であるドレーン工法、表のり面被覆工法が施工されており、堤防現地モニタリングは、洪水時の堤体内の浸透流を把握するとともに、堤防強化工法の長期耐久性を検証することを目的としている。今年度の観測期間においては洪水が生じなかったものの、観測態勢を整備するとともに降雨による微小な水位変化を捉えられた。

##### ③樋門・樋管周辺堤防模型の浸透実験

樋門・樋管構造物の有無による堤体内水位への影響を検討するため、中型土層を用いて模型を樋管有りのケース、樋管無しのケースの2種類作製し、浸透実験を行った。堤体内水位の上昇状況に差異が観測され、樋管が存在することで構造物と地盤の境界部分に水みちやゆるみが顕在化し、堤体内水位の浸透速度を速め、堤体内水位の高さを上昇させたと推察される。さらに、基礎地盤等の沈下に伴い樋管上部周辺堤防にゆるみが発生すると、そのゆるみの影響により堤体内水位の高さをさらに上昇させることが推察できる。一方で、基礎地盤の沈下量の増加に伴う堤体内水位の変化は、明確には現れなかった。

##### ④円山川における排水樋門周辺堤防の陥没調査

平成21年8月10日、円山川右岸に位置する新田排水機場樋門（許可工作物）において、裏小段樋門周辺の陥没が発見された。今回の樋門周辺堤防に陥没が生じた原因として、「周辺堤防との不同沈下で生じた函体下の空洞により土砂が流出」、「函体の損傷により函内に土砂が流出」のいずれかが考えられた。現地踏査において被災メカニズムに関する検証を重点的に実施した。その結果、樋門と周辺堤防との不同沈下で生じた函体下の空洞により堤体土砂が吸い出されたことが、陥没の主因として推察された。

平成22年度は、堤防の大型模型実験と堤防現地モニタリングを引き続き実施するとともに、三次元浸透流解析によるモニタリング結果の検証を行い、弱点箇所の評価方法及び対策工法選定の高度化の提案及び維持管理方法に関する考え方を取りまとめる予定である。

#### 2) 堤防弱点箇所の内部物性構造詳細評価技術の開発

先行研究において開発した統合物理探査によって、堤防弱点箇所を経済的かつ高確度で把握することが可能となった。ただし、統合物理探査が対象とするのは、堤防縦断方向に連続する数10m～100m程度の規模の弱点箇所であり、その内部の詳細な物性構造や異常部を特定・把握するには、統合物理探査とは異なる手法の開発・適用が求められる。そこで堤体および基礎地盤の浸透やすべりに関わる物性、あるいは材料物性自体を非破壊ないし低侵襲的手法で把握/評価する手法の開発に着手した。

21年度は計測手法対象として、簡易貫入試験および貫入孔を利用した高分解能検層手法開発および適用実験、

## 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

採取コア比抵抗測定手法および装置開発を、また調査計測対象としては、堤防に植栽される樹木の根系の分布を非掘削で把握する手法について実験的な検討を加えた。また、堤防護岸あるいはのり覆工に使用されるコンクリート覆工背面の空洞把握手法を検討するための基礎的な実験を実施した。

樹根調査実験の結果、高密度弾性波探査を適用し、伝播する表面波の速度と分散に着目することによって主根の卓越伸張方向を判定できる可能性があることがわかった。また、コンクリート覆工に対する基礎的な実験の結果、非接触で表面を伝播する振動を計測することができるレーザードップラー振動計を適用することで、内部亀裂に特有な応答を検出できることがわかった。

平成 22 年度は、サウンディングなどの低侵襲的手法によって堤体および基礎地盤の浸透特性に関わる物性情報を原位置で直接計測する手法について、装置開発を含めた現地実験を予定している。また、レーザードップラー振動計によるコンクリート内伝播弾性波動の特性把握とそれを利用した内部亀裂および背面空洞検出手法について実験を継続する予定である。

### 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

適切な 3 次元地盤構造の推定のために、堆積構造との関連性に着目した平野の地形分類試案を作成し荒川において試行した結果、河川堆積物との関連が深いと考えられる地形区分を抽出できた。また、荒川中流域において、ボーリング資料を基に地層の堆積環境を区分し、微地形と堆積構造を考慮した自然堤防周辺の地質構造の推定を試みた。

堤防基礎地盤の原位置パイピング特性調査手法を検討するため、室内パイピング抵抗性試験を実施した結果、パイピング破壊に至るまでの各種観測値が得られた。さらに、原位置パイピング試験装置の改良を図り、自然地盤に対して適用試験を実施した。

平成 22 年度は、河川堆積物との関連が深いと考えられるいくつかの地形区分を対象にボーリング資料を収集し、地形と地質構造との関係を検証するとともに、堆積構造と地盤物性との関係を把握する。また、地形・地質情報を利用した河川堤防基礎地盤の安全性に関するスクリーニング手法をとりまとめるとともに、原位置パイピング試験を実施し、基礎地盤のパイピング特性評価手法を提案する予定である。

### (2) 浸透に対する堤防強化対策の高度化

上記の通り、「河川堤防の弱点箇所抽出に関する研究」において、堤防強化対策を実施済みの始良川堤防の現地モニタリング等を開始した。今後、浸透に対する河川堤防の質的強化対策選定の高度化対策工法選定の高度化の提案及び維持管理方法に関する考え方を取りまとめる予定である。

### (3) 侵食に対する堤防強化対策の提案

堤防の耐侵食機能の向上策として①裏法を吸い出し防止シートで補強する工法（シート工法）と②短繊維混合土による被覆工で補強する工法が効果的であることを実物大堤防模型実験等によってこれまでの本研究で確認している。

現地の新堤防のり面で表層崩壊の発生した事例が堤防のり面表層に土羽土を施工した場合に多いことから、実物大の堤防模型において表層土の材料（粒度分布）と締固度に注目して、試行錯誤的な実験によって表層崩壊現象を再現させ、吸出防止シートを用いた「シート工法」が、表層崩壊の防止策としても有効に働くことを確認した。

短繊維混合補強土による工法については、実際の堤防に導入する際に課題となる耐侵食機能の持続性、植生に対する適応性について実験的検討を行った。その結果、被覆工は時間の経過とともに凍結・融解等により表層 10mm 程度がゆるんだものの約 1 年後については耐侵食性が維持されていたこと、植生については貧配合のセメントの影響は受けなかったものの生育密度が初期の播植条件に依存することなどがわかった。

平成 22 年度は、吸い出し防止シートや短繊維混合土被覆工を現地に適用する場合の課題について、水路実験等により検討する。また、それらの設計・施工に関する考え方を取りまとめる。

## DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR STRENGTHENING RIVER LEVEES AGAINST FLOODS

**Research Period** : FY2006-2010

**Project Leader** : Director of Construction Technology Research Department  
Toshikazu NAKAMURA

**Research Group** : Construction Technology Research Department (Special Unit on Geophysical  
Exploration)  
Material and Geotechnical Engineering Research Group (Soil Mechanics and  
Dynamics , Geology)  
Hydraulic Engineering Research Group (River and Dam Hydraulic  
Engineering)

**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