

博士論文の内容と審査結果の要旨

近年、地球温暖化の影響と思われる異常な豪雨によって、水災害が多発している。IPCC 報告では、21世紀末までに気温が4℃上昇した場合には、降雨量が現在の約1.3倍、洪水流量が約1.4倍、洪水発生頻度が約4倍になるとされている。国土交通省では、平成19年から堤防の安全性照査や堤防脆弱性指標による危険性の検討を全国の直轄河川で実施し、2019年にはこれらの技術を新しく「河川砂防技術基準 設計編」に位置づけ、河川管理技術の向上を図っている。しかし、河川堤防は、その基礎地盤の多くが河川の氾濫原で、かつての河道すなわち旧河道上に分布している。この事実は、洪水時の堤防基礎地盤の安全性確保のためには、現堤防と旧河道の位置関係、旧河道と氾濫原の土質構造の理解に基づく確かな技術対応が重要であることを示している。

本論文は、堤防基盤の漏水・噴砂に及ぼす旧河道の影響評価と堤防弱点箇所抽出方法を明らかにすることを目的に全8章から構成されている。

第1章「序論」では、研究の背景と目的、研究概要を述べている。

第2章「旧河道と堤防弱点箇所に関する既往の研究」では、現在の治水地形分類図の持つ有効性と改良すべき課題、堤防の安定性の評価の現状とその課題等をレビューをしている。特に、堤防安全性診断に関する現行の2つの方法が重点的に調べられている。一つは、浸透流の力学に基づく新しい評価基準である堤防脆弱性指標 t^* を用いる方法であり、過去に被災した河川堤防の場所と規模を説明できる重要な無次元指標ある。この指標は、本研究が対象とする堤防基盤の漏水、噴砂発生原因解明に対し、応用の可能性を論じている。他の一つは、堤防詳細点検法であり、基盤の地質が複雑な旧河道、氾濫原等の地形を反映した堤防沿いの地質構成、土質特性の把握が堤防詳細点検の精度向上にとって重要であり、本研究で扱う問題との関係を述べている。

第3章「研究方法と対象河川、漏水形態」では、千曲川の概要と千曲川を研究対象河川に選定した理由、研究方法とこれまで起こった漏水、噴砂とその発生形態を述べている。

第4章「地形・地質分布図の作成と堤防基盤漏水発生位置」では、空中写真判読と現場踏査から作成した地形・地質分布図を用いて、千曲川100kmから25kmまでの河道区間の旧河道、氾濫原特性と漏水発生の関係を調べている。犀川・裾花川扇状地では、支川等の影響の少ないために漏水は発生していないこと、谷底堆積低地形を示す千曲川扇状地では、支川合流点付近で漏水が発生していること、飯山盆地では断層活動による地盤の沈降・隆起が河道の変遷をもたらし、新・旧に区分される旧河道の地形の特徴は、河道の連続、不連続性や堤防との交差点付近の段差状況から識別できることを示している。

第5章「基盤漏水・破壊形態に及ぼす旧河道の影響」では、地表面から透水層まで細粒分の多い土質からなる場合には、漏水のみの現象であり、粒径均一で細粒分の少ない砂層が分布する場合には漏水を伴う噴砂が発生すること、噴砂の粒度組成は、液状化しやすい砂質土の粒度と同範囲であることを明らかにしている。堤防裏のり尻付近の基盤の土質縦断図を

作成し、氾濫原、旧河道における土質構造と漏水の発生箇所との関係を示した。扇状地では旧河道と氾濫原の土質に明瞭な区分は無く、礫混り土が主体で、噴砂発生粒度範囲外であること、そのため漏水のみの発生であることを明らかにしている。長野盆地の氾濫原(河床勾配 1/700)の表層土は、砂質土で噴砂発生粒度範囲内にあり、旧河道との境界付近で噴砂を伴う漏水が発生していること、飯山盆地の氾濫原(河床勾配 1/1,100)では、氾濫原と旧河道の土質は、細粒分と砂分の混合土質であること、穂高地区の旧河道部分では、旧河床堆積物の礫層が分布しており、周辺氾濫原の砂礫層より透水性が高い土質であることを示した。これらの結果より、旧河道の表層土質は粘性土が主体であり、氾濫原の表層土質は砂質土が主体であること、さらに、旧河道と氾濫原の透水層(主に砂礫層)について、旧河道の透水係数は氾濫原の透水係数より 1 オーダー大きいことを明らかにした。また、千曲川飯田地区、信濃川須田地区の地下水コンター、地下水位変動から、旧河道水位は氾濫原の水位より高くなっており、これらは、河川水位変動と連動していること、さらに、堤防裏のり尻付近に旧河道が平行する場合には、抵抗側のすべり円弧に粘性土が厚く分布することで、噴砂の無い漏水のみが生じ、堤防裏のり尻付近に砂層が厚く分布する場合には、漏水を伴う噴砂により、すべり破壊に至ることがわかった。

第 6 章「堤防弱点箇所の抽出方法」では、堤防変形を起こすプロセスに応じ、浸透による基盤漏水のしやすさ、漏水を伴う噴砂のしやすさ、すべり破壊のしやすさの 3 段階評価を行い、弱点箇所と漏水形態の抽出を行っている。浸透による漏水のしやすさに浸透流の支配方程式を無次元化して導き出された堤防脆弱性指標 t^* に準ずる基礎地盤の浸透のしやすさを表現する堤防基盤無次元指標 t_b^* を用いて、現地における基礎地盤の漏水、漏水を伴う噴砂、滑り破壊の発生を t_b^* の値の範囲で示した。漏水発生は $t_b^*=0.20\sim 1.20$ 、噴砂発生は $t_b^*=1.20$ 以上であること、噴砂発生となる基礎地盤の表層土質構成をみると、上位から粘土、砂、砂礫の土質構成となっていること、広域地下水の影響を受けた漏水、常襲型漏水は $t_b^*=0.03\sim 0.20$ の範囲で発生していることを明らかにした。

第 7 章「旧河道の影響評価を踏まえた既設対策工の考察」では、前章まで明らかにした検討結果を用い、千曲川で施工された漏水対策工の効果を考察し、堤防漏水に係る旧河道の漏水対策をしなかった場合には、次に襲来した洪水で再び漏水が発生していることを示し、対策の重要性を述べている。さらに、漏水・噴砂発生を旧河道と現堤防の位置関係、表層土質構造、漏水形態ごとに分類し、対策工の考え方、対策優先順位を示した。

第 8 章「結論及び展望」では、各章で示してきた研究結果をもとに成果を総括し、安全な堤防設計のための今後の課題と展望を述べている。

以上要するに、本論文は今後の気候変動に伴う洪水流量の増大、災害の激甚化に対し、重要な治水施設である堤防の基礎地盤の漏水危険個所の抽出法について、学術、技術の両面から新しい考え方、検討方法を提示し有用な結果を与えるものであり、学術上、河川技術上重要な貢献を与えている。よって本論文は、博士(工学)の学位請求論文として十分なものであると判断する。