

論文の内容要旨

河川構造物と堤内地の洪水応答特性と減災への反映

Response Characteristics of River Structures and the Inside of Levees
against Large Floods and Reflection toward the Disaster Risk Reduction

都市人間環境学専攻 諏訪義雄

Civil Human and Environmental Engineering, Yoshio Suwa

本論文は、洪水に対する河川構造物と堤内地の応答特性を整理・考察し、減災への反映方法を提案している。

第1章「本論文の位置づけ」では、河川構造物の応答とは洪水流・周辺の地形変化・構造物間の相互作用を言い、堤内地の応答とは大洪水による一般被害の発生・拡大から再建・復興の成功・失敗までの物的・人的・社会的な反応を言っている。

第2章「河川構造物の洪水に対する応答特性」では、堤防の破堤は越流が圧倒的に多く、侵食破堤はセグメント1の計画高水位を上回る洪水・セグメント1以外でも高水幅幅が狭い箇所の護岸・根固め工の安全性検討が重要であり、護岸の主たる破壊形態を示した。浸透応答の代表であるパイピングについて、三木ら(1996)の実物大実験結果から、堤防基盤内の砂粒子の応答状態を3つに分類し、それぞれの状態は、砂層内は干渉沈降速度で、噴砂口は単粒子沈降速度及び粒径の5倍の管径長を代表長さとするフルード数1に相当する流速を用いて評価可能であることを示した。堤防基盤砂層内では、噴砂状態・パイピングを発生して液状化し、小高・李(2018)指摘の広義のパイピング崩壊が生じることを示した。

越流の応答は、堤防3次元形状の影響で危険となる箇所、吸出し防止材による裏法補強のメカニズム、堤体の越流外力と耐力の評価方法を示した。ウォータークッション減勢を行う遮水構造被覆工型の越流堤は、高速流の池水への突入による水面押し下げを見込んで設計・照査する必要があること、被覆工の破壊は単位要素の揚力・重量比ではなく曲げ応力で決まることを明らかにした。

第3章「堤内地の特性を踏まえた減災と実現上の障害」では、洪水流に対する堤内地の応答では、氾濫被害とその助長要因8つを示し、水害訴訟の最高裁判例から管理瑕疵成立要件を整理した。水害被害者救済は、設計外力以下の破堤氾濫では国家賠償制度が、設計超過外力破堤では被災者再建支援制度等があり、資産集中河川で国家賠償額が莫大となり再建支援金額が制度能力を超過する課題を指摘した。氾濫制御の課題を整理し、再建・復興の成功例と教訓例からその成否を分けるポイントを整理した。これら堤内地の応答特性から、意図的な越流区間を設定して危険箇所を絞り込み、耐越流と二線堤・宅地自衛による氾濫流制御、それを反映した土地利用・避難支援対策を連動させる氾濫流制御減災を提案した。氾濫流制御減災では上下流・左右岸のバランス調整方法が大きな論点であり、堤防天端高評価で上流流下能力が下流のそれを上回らない制約下で氾濫固定の合意形成に成功したブロックが減災で優先されるべきこと、氾濫ブロックの再建・復興を被害の回避を得たブロックが支援する等を通じた両者の利害対立克服および運命共同体化を提案した。河川構造物、自衛減災の洪水応答特性が整理・蓄積・関係者で共有され、また事後の損害賠償や刑事責任追求の分離あるいは適切なバランス整理を行う等減災対策が絶えず改善されることが望まれる。これまでの氾濫流制御減災は、流域治水包括的治水対策と氾濫原対策が必要という点で共通する一方、前者が河川管理者の危機管理行為とするのに対し、本論文は自衛水防とする点に違いがあり、両者は相互補完する関係にある。

第4章「結論」では、設計超過洪水の頻発が懸念され、施設管理者だけでなく幅広い関係者が関わる減災を追求し、「応答特性」及び「減災」研究の益々の発展が必要とされており、本論文はその先駆けとなるものである。

論文審査結果の要旨

河川構造物と堤内地の洪水応答特性と減災への反映

Response Characteristics of River Structures and the Inside of Levees
against Large Floods and Reflection toward the Disaster Risk Reduction

都市人間環境学専攻 諏訪義雄

Civil Human and Environmental Engineering, Yoshio Suwa

河川堤防は自身の構造上の余裕をもたせる必要、橋梁等横断構造物設置箇所における流下能力確保の必要から設計水位上に余裕高をとり、その上に施工上必要な余盛を行う。このため、河道には設計水位上に洪水流の流下空間が存在し、設計超過状態が生じやすい。近年施設能力を上回る洪水災害が頻発しており、設計超過状態における河川構造物の応答とそれを減災に反映する知見が求められている。

第1章「本論文の位置づけ」では、河川構造物と堤内地の洪水に対する「応答特性」を整理・考察し、減災への工夫の必要性を述べている。河川構造物の応答とは、洪水流と構造物、構造物と周辺の地形変化、洪水流と構造物周辺地形変化間の相互作用であり、堤内地の応答とは、被害の発生・拡大から再建・復興の成功・失敗までの物的・人的・社会的な反応であり、本論文では、構造物災害の年間調査、現地調査、既往の災害教訓・知見、水理実験、解析による力学現象の解明等を行っている。

第2章「河川構造物の洪水に対する応答特性」では、堤防の被災実態を整理し、越流破堤が圧倒的に多いこと、侵食破堤はセグメント1の特性を持つ河道の計画高水位を上回る洪水で警戒が必要であり、浸透破堤はどの河道特性でも起こり得ることを示した。

侵食の応答については、基礎からの吸出し破壊、天端・のり肩からの破壊と流体力によるめくれ・基礎吸い出しと複合した上下流侵食破壊に警戒が必要であることを指摘した。

浸透の応答については、堤体内浸潤面上昇による浸透破壊、現地での空洞発見、空洞の進行応答に関するパイピング破壊研究が進展している。堤防基盤中の砂粒子の応答について干渉沈降速度の概念を用いた補正沈降速度の評価を半理論的及び限られた材料の実験で示されている問題に鑑み、現地の多様な砂地盤材料を用いて行なわれた三木ら(1996)の系統的な実物大実験の漏水量及び浸透量の変化に着目し、砂層の応答状態を「パイピング」、「噴砂状態」、「浮遊状態」に分けて整理・考察した。漏水口と砂層内で応答状態を評価するため、砂層内では空隙比に応じた体積密度の干渉沈降速度で、単粒子沈降速度及び粒径の5倍の管径長を代表長さとするフルード数1に相当する流速を用いることで、堤防下の噴砂口では砂層内でフルード数1以上となって液状化すること、小高・李(2018)指摘の広義のパイピング崩壊が生じることが明らかになった。

越流の応答は、堤防頂部の凹部に集中した越流水が堤体斜面を流下し底部を危険にさらす。堤防裏法補強としての吸出し防止材シートは、堤体土との間に遅い流れを生じさせ、堤防のり面の侵食を抑制する効果があること、吸出し防止材補強の効果を高めるには、ドレーン・土留め・水叩き等、裏法尻保護工が重要な役割を果たすことを明らかにした。堤体土の越流耐力の把握には、植生根毛量分布と引張り破壊応力の測定に基づく検討が有効であること、ウォータークッション減勢では、越流水が高速流で湛水中へ突入することによる池水面の押し下げを見込んで遮水構造で被覆された越流堤を、設計・照査する必要があること、被覆工の破壊は単位要素の揚力・重量比ではなく曲げ応力で決まることを明らかにした。

第3章「堤内地の特性を踏まえた減災と実現上の障害」では、堤内地の洪水への応答は、氾濫被害・それを助長する要因に、「生産の場として成立しないことによる貧困スパイラル」、「土石流・流木、山地河川洪水・中下流の破堤口付近で発生する高流速による流体力」、「氾濫域を動き回らる中の溺死」、「要介護者の溺死」、「氾濫・浸

水の長期化」、「事前準備情報の不足による不意打ち」、「交通・気通信等インフラ被害からの波及」、「生活再建がうまく支援できない等による復旧・復興の失敗」があることを示した。

水害訴訟と主な最高裁判例から河川管理瑕疵は、改修途上の河川では河川計画に著しい不合理がある場合、改修計画の手順を変える特段の理由が生じている場合に、改修済河川では計画の洪水流量・計画高水位以下の洪水を安全に流せない状態にある場合に成立すると整理され、資産集中河川は水害被害額が大きく、国家賠償額は莫大となり再建支援金額が制度能力を超える可能性が高くなる課題があることが示された。氾濫区域制御は江戸時代の主たる治水手段だったが氾濫の痛みを強いる地域に対するケアがないため、受益地と当該地域、地先間・輸中間の利害対立が深まる副作用が大きかった。氾濫区域限定に伴う利害対立や水資源開発に伴う受益地と水源地の利害対立克服事例から、痛みを強いられた側に対する思いやりを持ち利害対立する双方にプラスとなる解決策を提示できる調停者の存在が重要であること、復旧・復興支援は統治（人材・財政）が安定しないと機能しないこと、復興成功例には視野の広いリーダーがいることが多いこと、復興には「希望が持てること」が重要であり、撤退や高齢化社会の生活再建に「希望が持てる成功事例」を作ることができていないことが課題であることが示された。これら応答特性から、施設能力超過洪水に対し水防及び自衛減災の観点から意図的な越流区間を設定して破堤危険箇所を絞り込み、越流区間堤防強化と二線堤・宅地自衛策による氾濫流制御、それを反映した土地利用・避難支援対策を行う氾濫流制御減災を提案した。さらに、氾濫流制御減災を実現する上での障害とそれを克服する手がかりを整理し、新たなリスクガバナンス、治水のパラダイムシフトを提案した。

氾濫流制御減災では、超過洪水における上下流・左右岸のバランス調整方法が大きな論点であり、治水計画・河川管理で培ってきたバランスを踏襲する方向と、治水計画・河川管理と別に上下流・左右岸の調整ルールを新たにつくる方向の2つが考えられることを示し、新たなバランスとして、余盛を含む堤防天端高で流下能力を評価した場合に下流に流量増を引き起こさない制約の下、氾濫の痛みの固定についてその合意形成をとりまとめたブロックの減災が優先される「健全な競争」を提案した。減災には被害発生が避けられず、被害ブロックと被害回避ブロックの利害が対立する。被害ブロックの再建・復興において受益地となった対岸・下流のブロックが支援する共助、事前復興やブロック相互の役割分担に関して共同検討、その体制構築を通じた運命共同体化が重要であること、水害被害の国家賠償制度が、原告側と被告側の間に意図しない対立を引き起こしている可能性があり、資産集中河川での国家賠償制度の限界、自立再建支援の支払能力超過の課題等、改善の検討が必要であることを述べている。

第4章「結論」では、河川構造物の破壊は、設計時に未知の現象・想定外の状態への変化により生じる場合があり改善が欠かせないこと、自衛減災は成功を保証できず、絶えず改善することが重要であり、関係者で共有され減災対策が絶えず改善されることが重要であり、本質的改善検討と事後の損害賠償や刑事責任追求との分離あるいは適切なバランス整理が望まれること、提案された氾濫流制御減災は、社整審の流域治水及び清治（2011）の包括的治水対策と超過洪水対策には氾濫原対策に乗り出す必要性を指摘する点が共通する一方、超過洪水対策の実施者に違いがあること、前2者は、河川管理者による危機管理行為として扱うのに対し、本論文は自衛及び水防も加える点に違いがあるが、両者は相互補完する関係にあることを述べている。

気候変動により設計超過洪水の頻発が懸念される中、施設管理者だけでなく幅広い関係者が氾濫流による減災を一体的に追求することが求められている中、超過洪水外力に対する河川構造物と堤内地の洪水応答特性に基づく防災と減災の政策を深め、地域の安全性を高めるうえで本論文の学術的、工学的貢献は著しく大きいものがある。よって本研究論文は、博士（工学）に値すると判断された。