

学位請求論文要旨

流域治水の実効性のある計画及び流域治水機能の質的向上

Study on effective and qualitative functional enhancement for flood control plan in basin

都市人間環境学専攻 尾澤卓思

Civil, Human and Environmental Science and Engineering, Takashi Ozawa

【研究の背景と目的】

近年10年程度の間に気候変動による影響を実感し、毎年のように氾濫による水災害が生じてきた。待ったなしの対応を迫られている中で、2020年流域治水が社会資本整備審議会から提唱され、流域治水プロジェクトが矢継ぎ早にまとめられて、治水整備の加速化が図られた。治水整備のスピード感を持った推進や気候変動の影響による計画の見直しだけでなく、外力の増加という厳しい状況下で流域対策などの効果的な対応を適切に実施するため、流域水収支などによる効果の評価方法や治水計画の不確実性を減少させる方策を技術的に考えることが必要である。流域治水が、治水を基礎に地域のまちづくりや環境保全等様々な課題に資することから、あらゆる関係者を対象とした実効性のある流域治水を如何に社会実装するか、こちらの方策も早急に具体化する必要がある。

こうした中で本研究において着目したのは、計画立案の視点から核となる計画の存在(第一の課題)と治水効果の視点から不確実性への対応(第二の課題)である。

第一の課題は、流域治水の核となる行動計画が不明確なことである。流域治水プロジェクトは、早期策定に向けて既存施策の集約が中心となっている。流域治水の核心である防災・減災が主流となる社会の形成に向けて地域のビジョンや治水及び関連するまちづくりや環境保全等の課題の解決への道筋が十分に示されていない。流域治水としての目標設定や各計画の有機的な連携が不十分な状況である。

第二の課題は、流域治水の不確実性の明確化とそれへの対応が必要なことである。気候変動による外力の増加や治水計画の見直しに伴う洪水調節施設等の分担の増加等による不確実性の増加が見込まれる。治水施設等の量的拡大と併せて治水計画の策定や実施のプロセスにおいて、できるだけ不確実性の減少または信頼性の向上を図るという質的充実による治水安全度の向上が不可欠になる。治水計画の不確実性を明確にして、技術的に減少を図る方策が重要となる。

このため、本研究では、以下の目的に資する研究を行う。

- ① 流域治水の特性を明確にして、様々な分野の関係者による計画や行動の統合・協働を可能にするシナリオ型の流域治水の行動計画を提示する。
- ② 気候変動及び流域治水における不確実性を考察し、流域対策や河川対策の整備量や施設数等の量的拡大と併せて、太田川の治水計画において、流域水収支に基づく治水計画の策定や実施のプロセスにおける不確実性の減少または信頼性の向上策を具体的に示し、治水計画及び施設等の質的充実による治水安全度の向上を実現する。

具体的には、研究目的を①シナリオ型の流域治水の行動計画提案、②-1 気候変動及び流域治水における不確実性の明確化と検討、②-2 流域水収支に基づく治水計画の策定や実施のプロセスにおける不確実性の減少または信頼性の向上による質的充実と設定した。また本研究の「シナリオ」は、地域の課題を流域治水関連の複数の計画等の有機的な連携により、解決するための脚本を意味する。

【本論文の内容と成果】

本論文は7章で構成される。各省の内容と成果の概要は以下のとおりである。

第1章「序論」

研究の背景、目的、本論文の構成を示した。

第2章「治水の変遷と流域治水」

これまでの治水の変遷の中で、治水は新旧河川法の成立とともに河川と流域に区分される結果となってきたが、河川と流域が一体となった合理的な(例えば地形や土地利用等の考慮)流域水収支に基づく流域治水が重要と考えた。

流域治水に関する河川技術の研究の動向から、目下流域治水プロジェクト2.0が推進されている中、流域治水の実効性を高める計画に関する研究や外力が増大する中、治水機能の質的向上に関する研究の必要性を示した。

流域治水を検討する上で、流域や河川における貯留量、湛水量の評価や本支川の各流域からの流出量の評価という水のボリュームに関する評価が重要となり、流域単位で洪水量の挙動をマクロ的に把握する流域水収支を明確にすることが基本となる。このため、これまでの研究成果から流域水収支図について、貯留・浸透等の水量に着目したものと流出特性に着目したものの2つの観点から活用方法の考察を行い、流域治水の検討に資することを示した。

第3章「流域治水の特性及び重要性」

本研究では、対象となる流域治水の特性や重要性を治水のみならずまちづくりや環境保全等の観点から整理し、研究目的①の流域シナリオの総合性を示すとともに、流域治水による地域課題解決の可能性や社会インフラ構築上の重要性を示した。まちづくり等との連携の重要性では、氾濫・浸水防御、危機管理、まちづくり一体の観点から考察した。環境保全上の役割の重要性では、生物多様性の損失と気候危機の課題のもと、「生物多様性国家戦略2023-2030」に掲げられた「2030年ネイチャーポジティブ」を目標に、自然を活用した課題の解決(NbS)として、生態系を基盤とした防災・減災(Eco-DRR)やグリーンインフラによる流域治水が期待されることを示した。また、NbSによる洪水管理において、世界的にNbSの増加を確認し、英国におけるNFM、米国におけるEWNなど先進事例を調べ、流域治水の参考とした。

第4章「シナリオ型の流域治水の行動計画」

研究目的①については、流域治水プロジェクトの課題や流域治水の先行事例の分析から、流域治水の本格的な実装にあたっては、流域水収支を活かして、流域における個別計画の連携・統合と関係者の協働を可能にする統合協働のシナリオの構築が重要であることを示した。そして実行のために統合協働のシナリオと行動計画からなる流域治水計画(仮称)を提案した。流域治水計画(仮称)については、計画の構造や共有事項、立案にあたっての留意事項、計画の法的位置付け、計画の運用及び普及・活用の方法まで以下の①～⑤の社会実装に向けて必要な事項の考察を行った。

- ① 計画の構造:流域治水として各治水計画等の重層構造からなる構造モデルを提示し、ハザード対策としての治水計画と暴露・脆弱性対策としての水防・避難活動等における防災を中心とした地域計画等の2つの計画群が一体となって効果を発揮することを示した。
- ② 計画の共有事項:流域対策は、各治水計画で共有されるため、流域水収支を用いて各々の効果を把握し、最適な配置や運用、費用負担等を考えることが必要となる。また、共有する情報は、レーダーチャートの治水安全度のように計画の重層構造を理解して作成することが重要である。さらに、各法律や計画で定められる規制区域も、災害ハザードエリア(レッドゾーン、イエローゾーン)のようにわかりやすい概念での共有も重要であることを述べた。
- ③ 計画立案にあたっての留意事項:従来不確実な扱いをしていた事象も、水理・水文現象の明確化と流域水収支のもとにできるだけ不確実性を減少させる。気候変動の影響により、ハザードの発生確率等の変化が見込まれるため、順応的に適応を考える。
- ④ 計画の法的位置付け:流域治水計画(仮称)の法定化は難しいが、民間に委ねる措置等の恒久的な扱いを考えると法定化は重要で、流域水循環計画もしくはその行動計画としての位置付けが考えられる。総合治水のように条例での位置付けも考えられる。
- ⑤ 計画の運用及び普及・活用のための方法:流域治水計画(仮称)の存在が重要で、これに基づき流域治水協議会と

関係する既存の協議会等との役割や構成者を考え、共同開催や一本化等運用を検討する。また、データ連携を可能にする流域治水プラットフォームの構築は必要である。

第5章「流域対策と河川対策の役割と不確実性の検討」

研究目的②-1, 2 を検討するにあたって、本研究における治水計画の不確実性の概念を明確にした。治水計画の不確実性を計画の策定プロセスと実施のプロセスに分けて、対象を明確にし、知見不足による不確実性は、観測や分析・解析等技術の向上で減少させることが可能で、施策の確実性を高めることが重要とした。

研究目的②-1 として、流域治水を構成する流域対策と河川対策の役割を流域水害対策計画の分析等で考察し、対策の特性(例えば流域対策では貯留機能が主となる)から、それぞれの不確実性を検討した。河川対策は、河道と洪水調節施設等では特性が異なるため、分けて検討した。

気候変動の影響による大きな外力の変化に対して、従来の個々の治水対策から治水計画の重層構造を踏まえた流域治水へ転換し、河道対策を基本に洪水調節施設等や様々な流域対策を、課題に応じて効果的に組み合わせることが重要である。そこで、流域治水を実践する特定都市河川の流域水害対策計画を分析し、3 パターンの課題(流下能力不足、流下ネック、排水困難)に応じて、流域対策と河川対策の組み合わせによる目標設定の違いを示した。また、効果的な組み合わせには流域水収支の評価が有効であることにも言及した。

次に、気候変動の影響による河川整備基本方針の見直しに伴う流域対策、河川対策の流量分担等の変化傾向を 27 水系 39 基準地点で分析し、不確実性に関する課題を考察した。

流域対策は、これまでの見直しにおいて計画への位置付け及び流量の分担はなく、分担するためには継続性、持続性の確保が課題となり、これを確保する仕組みが必要となる。また、計画上流量の分担が無くても、貯留の観点から何らかの効果を期待でき、治水計画の不確実性を一部補完する機能が考えられる。

河川対策は、見直しにおいて、河道よりも洪水調節施設等を増加する傾向にあり、河道分担率は平均で 0.8 から 0.75 へ下がり、洪水調節施設等の分担率は、0.2 から 0.25 へと上がった。洪水調節施設等の分担増加により、調節効果の発現や事業の実効性等から治水計画の不確実性の高まりが懸念される。こうしたことから、計画上の分担率よりも河道や堤防への負荷が大きくなる可能性があり、河道や堤防の信頼性や機能の向上(例えば堤防の余裕高の活用)を図ることが重要となることを示した。見直しの傾向を考慮すると、治水計画の不確実性がより厳密に問われることになり、治水計画の策定段階から実施の段階において不確実性の存在や影響を考慮し、新たな技術体系を構築する必要性を示した。

さらに、治水計画の観点から河道での洪水対応力を、計画高水流量と基本高水決定の際の主要洪水波形群の関係から考察した。計画高水流量は、主要洪水波形群の平均的な流量(平均値の流量、50%カバー流量)に相当しており、治水安全の基盤となる流量(計画規模の平均量)であることがわかった。また河道分担率が、河道対応(計画高水流量)による主要洪水波形群の流量のカバー状況の目安となり、基本高水の河道分担を考える際に、治水計画の不確実性の観点(主要洪水波形群のカバー率)からも検討が重要であることを示した。河道分担率の低下に伴い、治水計画の不確実性が高まるとそれを補う対応(例:河道・堤防の機能向上、流域対策の補完機能)を考える重要性を示した。

不確実性の減少や信頼性の向上に向けて、洪水流の流下に対し安定的な河道や堤防の洪水流の侵食や浸透に対する質的確保、堤防の余裕高の活用など機能向上を図り、危機管理への対応等新たな河川整備による河道対応の重要性を示唆した。

第6章「流域治水の質的向上－太田川を事例に－」

研究目的②-2 流域治水機能の質的向上として、太田川水系の治水計画の策定を事例に、①小流域における多点水位観測と ALB 測量による詳細な河道測量で洪水の流出解析の再現性を向上②再現性の良い流域水収支の解析により洪水調節施設の必要性及び安全度を評価③全エネルギー水頭により水位上昇のリスクを評価④高リスク箇所において堤防脆弱性指標により堤防破壊のリスクを評価及び堤防余裕高の活用を提案を行った。解析方法は、太田川中上流部の床上浸水対策事業箇所及びその上流域において多点水位観測を行い、本支川流域(小流域)から流量ハイドログラ

フを作成、これを基にタンクモデルによる流出解析と準三次元洪水解析(Q3D-FEBS 法)を一体的に行い、洪水流を再現するものである。令和 4 年洪水で多点水位観測を行い、流量ハイドログラフを作成して各解析モデルを構築し、平成 17 年洪水で検証した後、昭和 26 年計画降雨で治水計画を検討した。流出量に着目した流域水収支図を作成して本支川からの流出量を検討し、既存ダムのない流出量の多い本川に洪水調節施設の設置を考えた。洪水調節施設による調節効果は、準三次元洪水解析による水位低下の結果と併せて、貯留量に着目した流域水収支図を作成して、洪水調節施設の貯留量の増加量(約 1990 万 m^3)と河道貯留量の減少量(約 1000 万 m^3)から洪水調節施設による下流流量の減少、河道貯留量の減少による水位低下の要因を確認した。流域を基本に流域水収支を把握する方法は、洪水の時空間的な流出形態と貯留形態を明確にすることができ、流出解析や洪水流解析から得た結果(流出量や水位低下等)に至るプロセスを見える化している。このため、流域水収支図が治水計画の策定段階で有効であることを示した。

また、貯留を主とした河川や流域の対策には不確実性があるため、負荷の増加が懸念される河道対策の信頼性を高めることは重要である。このため、今後流量負荷の増加が懸念される河道・堤防において全エネルギー水頭を算出して水位上昇リスクを考察した。計画堤防高を全エネルギー水頭が越えたのは、支川合流や堰等がある箇所、治水対象の床上浸水事業箇所はなかった。計画堤防高以下でも全エネルギー水頭の高い所では、従来の計画高水位もしくは堤防天端高—余裕高すなわち計画高水位相当を越えると堤防は破堤するという評価をするのではなく、余裕高の活用による実質安全度の向上が重要と考えた。そこで、水位ハイドログラフと同様に全エネルギー水頭最大ハイドログラフを作成し、最大の水頭及び参考計画堤防高を用いて、堤防脆弱性指標(t^*)による堤防の浸透破壊の安全性を評価した。結果は、最も水位の高くなる飯室地点の全エネルギー水頭の場合で $t^* = 8.84 \times 10^{-4}$ 、参考の計画堤防高の場合で $t^* = 1.06 \times 10^{-3}$ となり、堤体漏水の目安の下限値 0.001 と比較して安全性を確認した。こうしたことから安全性を評価した上で危機管理として堤防の余裕高を活用することは問題ないと考えた。なお、堤体侵食に関しては、高水敷の無い山間狭隘部の河道では、既設護岸が計画高水位までであるため検討していない。また余裕高の活用は、治水のみならず水防・避難活動(例えばリードタイムの確保)等にも有効な対応となることを示した。

気候変動や治水計画の不確実性に伴う流量等の負荷の増加により、水位が計画高水位より上昇しても余裕高の範囲内であれば、安全に洪水の流下が可能となるように堤防の安全性評価方法と必要な強化措置の確立が重要である。

太田川の事例を基に、上述の①～④までの検討、提案を行ってきた。気候変動等により治水計画の不確実性が高まる中、流域水収支や全エネルギー水頭による洪水現象の把握、堤防脆弱性指標に基づく堤防の安全性評価など河川技術の高度化が今後必要となることを示した。

流域治水において、整備量や施策数という治水対策の量的拡大と併せてこうした治水計画の不確実性の減少や施設等の信頼性の向上という質的充実による流域治水機能の向上が、安全を考える上で重要な取り組みとなる。

第7章「結論」

本論文で得られた結果(各章の結言等)をとりまとめ、本研究の課題と今後の河川整備の方向性を示した。

課題としては、本研究において得られた知見を活かし、流域治水の実効性をさらに高めていくため、継続して研究を進めていく課題を記載した。(1)流域治水計画(仮称)の効果検証(2)洪水調節施設等の調節流量の分析(3)危機管理型堤防の設計技術の検討(4)流域治水における土砂災害対策等の検討

今後の河川整備としては、治水計画の対象となる事象や事項の不確実性を正しく認識し、知見不足に伴う不確実性を減らすとともに治水機能の向上と確実性を定着させるため、技術基準の確立及び改訂を行うことが必要である。その上で、気候変動による水災害が激化する中、流域治水は、特定都市河川において流域治水の実績を積み重ね、流域水収支をもとに河川対策と流域対策の効果的な分担を明らかにすることにより、特定都市河川と同様に法定化に向けた検討を行うことが重要と考える。また、不確実性を考慮した治水整備の目標として、危機管理対応の河道や堤防の機能向上(質的充実)の目標や治水計画の不確実性を補完的に補う流域対策等の目標を提案し、従来の基本高水のピーク流量による目標と組み合わせた多層的な目標を設定する多層防御を順応的に行うことが重要だと考えた。