

水災害頻発時代の河川整備

River Management in the Times of Frequent Flood Disaster Occurrence

福岡 捷二*

本文では、水災害頻発時代の防災、減災について、今後の河川整備のあるべき姿が論じられている。洪水時の観測水位縦断形から得られる水面形の時間変化の情報が、洪水流の時空間的な振る舞いを理解し、適切な洪水管理をするうえで不可欠であること、さらに、これらの情報を用いた河道やダムにおける洪水貯留量についての考慮が、今後の治水計画策定に重要な役割を果たすことが述べられている。

水災害頻発時代に向かつて、最も重要なことは、河川整備基本方針の着実な実行であり、超過洪水対策はその延長上にある。今後、治水の各段階で、治水施設のストックを流域全体で効果的に連携させ、統合的な管理を行なうことが洪水被害軽減のうえで重要になること、堤防破壊危険確率と堤防脆弱性指標を考慮した洪水氾濫リスクの検討が流域治水を進めるうえで必要であること、堤防余裕高を含む堤防構造の強化が、堤防脆弱性の低下を軽減し、洪水氾濫に対する危機管理対策として有効であることが述べられている。最後に、これらをまとめ、「流域総合河川計画」が示されている。

Key words : 洪水流, 河川整備, 堤防破壊, 氾濫リスク, 超過洪水, 流域総合河川計画

1. まえがき

近年の異常な豪雨の多発は、各地で甚大な洪水災害、土砂災害を引き起こしてきた。今後、河川における洪水流量のさらなる増大に伴う水害頻発

が予想される。2018年の西日本を中心とする豪雨災害では、これまであまり問題にされてこなかったタイプの大規模水災害が生じており、流域・河川の洪水、土砂災害について十分検証し、流域における総合的視点で治水および水災害リスクの軽

* Shoji FUKUOKA, 中央大学研究開発機構 工博 〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27, Ph.D., Research and Development Initiative, Chuo University, 1-13-27 Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8551 Japan
(E-mail : sfuku@tamacc.chuo-u.ac.jp)

減を図らねばならない。

わが国の河川は、そのほとんどが整備途上の状態にある。洪水外力が現在の治水計画の規模内であっても災害が起こることは多くの事例から明らかである。計画規模の洪水に対しては、治水施設による防災を確実にすることを目標とし、計画を超える洪水外力に対しては、氾濫を許容した減災を目指す政策展開が求められる。

2015年に、国土交通省社会資本整備審議会より、「水災害分野における気候変動適応策のあり方について～災害リスク情報と危機感を共有し、減災に取り組む社会へ～」について答申が出された¹⁾。そのなかで、水災害分野における気候変動適応策の基本的な考え方、気候変動適応策の具体的な内容などが提示された。また、国土強靱化による安全、安心の確保の観点から水災害軽減のために着実なインフラ整備と情報の発信が求められている。気候変動適応策の具体的な内容等については上記の答申等をみていただくことにして、本文では、予想される水災害頻発時代に向けての防災、減災の基本的考え方を中心に述べる。

2. 現況河川の防災対策を着実に進めるとともに、治水ストックを活用した流域治水を進める

気候変動が河川流域の治水に与える影響は、各流域の状況や整備レベルによって異なるが、いずれの河川流域にあっても、洪水被害軽減対策を継

続的に行ない、治水計画の完成形をできるだけ早く実現することが必要である。このことは、現況河川の防災力の強化の延長上に、気候変動等による計画規模を超える「超過洪水」対策が位置付けられることになる。整備が十分でない河川流域で洪水・土砂氾濫によって甚大な被害が生じているが、一方において、2018年7月西日本豪雨に見舞われた各地で、これまで行なわれてきた防災事業が効果を発揮していたところも多くみられた。大きな災害が起こると、被災地域の再度災害防止や同様の事業が当座の重要な治水課題になり、着実な河川改修事業が滞りがちになることが多い。流域全体の安全性向上のための河川改修が、着実に進められなければならない。

近年、洪水流の観測技術と解析技術が著しく進展してきた。とくに、河道沿いに密に配置された水位計によって、洪水時の水面形が河道の長い区間にわたり容易に高い精度で観測可能になった。洪水水面形には、流域の地形、降雨特性、河道特性が反映されている。これらの活用より水面形観測値の河道計画・管理に果たす役割が明確になり、河川計画・管理の高度化が期待される^{2)~7)}。図1は、2015年9月に茨城県常総市で大災害となった鬼怒川下流域の洪水の観測水面形と解析水面形の時間変化を示す⁸⁾。この図には、洪水流に対する河道の応答の重要な水理情報がたくさん含まれており、この意味については文献⁸⁾を参照されたい。河道沿いに密な縦断間隔で測定される水位

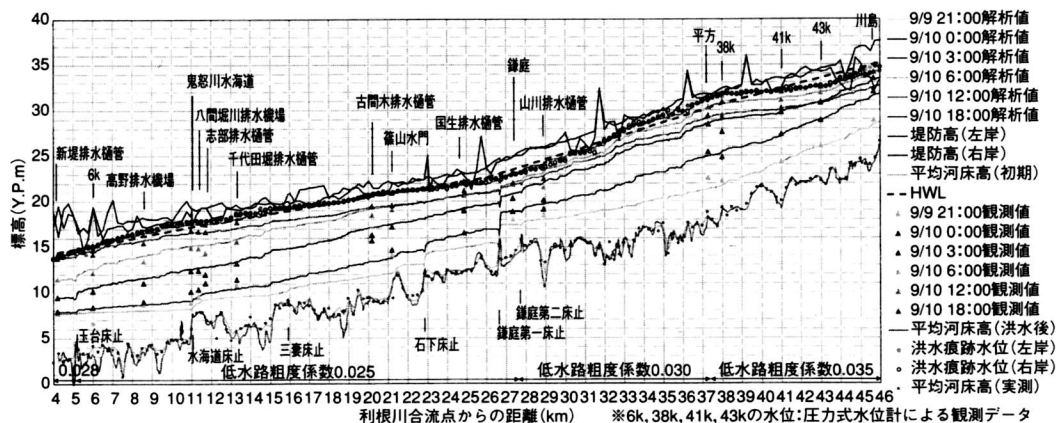


図1 2015年9月鬼怒川洪水下流部の水面形の時間変化の観測値と解析値の比較

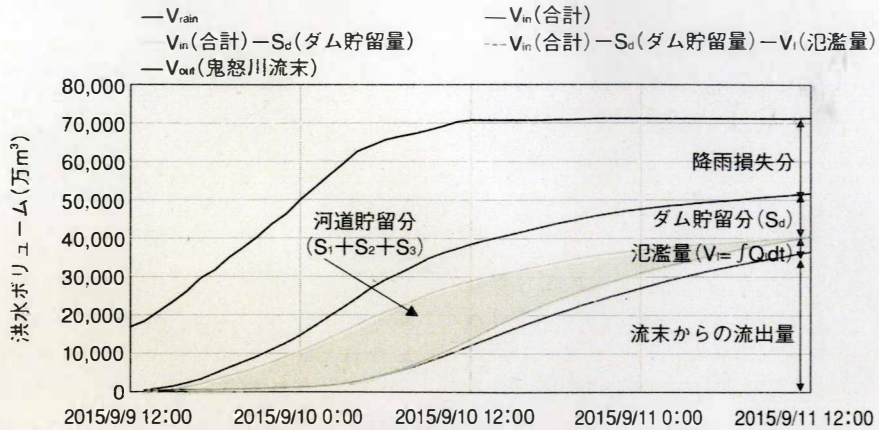


図2 全降雨量と水面形から求めた全洪水ボリューム、ダム群による貯留量、河道貯留量、氾濫量の関係

ハイドログラフから求まる洪水時の観測水面形の時間変化を、洪水時の水面形観測データと河道特性に適合する洪水解析法(一次元、平面二次元、準三次元解析法)に用いることによって、河道の流量ハイドログラフ、流速分布、河道貯留量分布、河床変動、など河道で起こっている水理現象が明らかになってきた。

さらに、水面形の時間変化から求まる任意地点の洪水流量ハイドログラフをダムや、河道区間で時間積分することによってダム群および河道各区間での洪水貯留量が求まる。その結果、流域内の治水施設ごとの当該洪水の水量時空間分布がわかり、この結果は流域全体でどのように治水が行なわれているかについての基本情報を与える。この情報が治水計画にもたらす意義はきわめて大きい⁸⁾。このことを、鬼怒川洪水流の具体例で図2に示した。2015年鬼怒川流域で測られた水面形から洪水量の時間分布を求め、流域全降雨量 V_{rain} 、河道へ出てきた全洪水ボリューム V_{in} 、ダム群による貯留量 S_d 、河道における貯留量 $(V_{in} - S_d)$ 、流域での洪水氾濫量 V_1 および海への流出量 V_{out} を算定し、洪水中に流域に存在する各治水施設における貯留量の時間分布を示している。流域平均雨量は約460mm/hであり、総流域面積での全降雨ボリュームは約7億 m^3 に達する。これに対して、河道に流入した洪水ボリュームは、9月9日12:00から徐々に増加していき、最終的に5億 m^3 と

なる。河道に流入した洪水ボリュームのうち、上流ダム群では約1億 m^3 が、河道では最大で約1.5億 m^3 が貯留された。また、洪水氾濫によって約0.32億 m^3 が河道から堤内地へ流出した⁸⁾⁹⁾。これより、河道貯留量は上流の4つのダム群の貯留量の約1.5倍が生じていたことになり、河道・堤防システムは、ダムとともに洪水を貯留し、下流への伝搬を遅らせる重要な機能を有することがよくわかる。この貯留量関係より、常総市での氾濫水量 V_1 を、今後どのような対策で解決するのかについて考えるための有力な検討材料を与えている。

このような流域全体でみた洪水中の各治水施設での水収支量の検討は、これまでの治水計画では考慮してこなかったもので、流域の治水施設のストックを効率的に使い、また新たな施設計画を考えるうえできわめて重要な情報となる。この検討により、ダム群や、遊水地、河道と堤防などの各治水施設が、大規模洪水時にどのように機能しているかについて見える化ができ、また、計画規模の洪水に対して流域の安全性を確保するには、現存する治水施設の改善、強化、および、河道のどこにどのような施設が検討されるべきかなど、流域全体の効果的な治水(流域治水)のあり方⁸⁾、管理の検討手段を与え、洪水氾濫水に伴うリスク管理⁹⁾などを検討する有力な方法となる。

これまでの治水方式は、河道内の洪水水位を下げることを狙いに、できるだけ早く海へ洪水流を

流下させることが基本である。一方、ここで述べた洪水水面形を用いる計画・管理は、流域全体の治水安全度を考え、ダム群と河道で洪水を遊ばせながら流すことも考慮に入れた治水方式である。観測水面形を用いた洪水解析は、流域における治水施設のストックを活かしながら洪水流の時空間的な水量配分を適正化し、後述する「総合河川計画」への道を切り拓くものである。このような考え方の導入は、種々の制約のために効果を挙げるまでに至らなかつたり、また実行を躊躇してきた河川施策の展開、技術開発の活性化、河川事業への関心をよび起こすことになる。

3. 洪水氾濫のリスク管理：流域総合河川計画

前述したように、わが国の河川は整備途上が大部分であり、生起する洪水流が計画高水位を超えることは容易に起こり得る。土でできている堤防は、計画高水位に達しなくても、浸透や洗掘による破壊の危険性を有する。河川の計画を超える水位、すなわち計画高水位から堤防天端までの堤防余裕高部分は、風の吹き寄せやうねりによる水位の上昇や、洪水時の水防活動などのための構造上の余裕の高さである。河川計画に設定された高さではなく、異常時に、洪水が溢れ出ないような役割をもっている。余裕高が、計画に設定した高さではないとしても、洪水が計画高水位を超え、堤防の余裕高部分を流れるようになる場合が多くなると、堤防破壊の危険性が一層高まることになる。このことを等閑視することはできず、堤防構造上どの程度危険性が高まるかを見積もることが、洪水氾濫に対する危機管理上ますます必要になる。余裕高部分を含めた堤防の構造強化が、実質的に洪水の流下能力を高め、超過洪水に対して実効性が高く、堤内地の土地利用、各種インフラによる多重防衛を一体的に危機管理対策として、流域の水害リスクを小さくすることを考える必要がある。

堤防が、いつ、どこで、どのような機構で破壊するか、どのように強化すれば破壊しないのかを推定できる技術の確立は、地域の安全性を高めるうえで強く望まれているところである。近年、全

国河川の堤防ボーリング調査データが集められ、長大な土堤防については、堤体土質の不確実性を考慮した堤防の浸透、滑りの力学的解析と信頼性解析を組み合わせて破壊危険確率が求められることが行なわれている¹⁰⁾¹¹⁾。また、堤防の浸透破壊に対する脆弱性指標が力学的に求められ、破壊危険性の高い場所を推定する方法が提案され、実用に供され始めている¹²⁾¹³⁾。洪水水位が堤防天端に達する状況では、堤防土は浸透水によりほぼ飽和状態になっていると考えられる。この場合、堤防上を越流する水位が高くなっても、水流は飽和した堤防の天端の低い部分に集中し、そこから浸透と越流により弱体化した堤防が破壊を起こすことになる。したがって、堤防天端の高さが局所的に大きな凹凸が生じないように堤防高さの縦断管理が必要とされる。

わが国の多くの都市は低地である洪水氾濫原に形成されている。そのような水災害を受けやすい地形上に堤防を築き、活発な社会、経済活動が行なわれている。氾濫原には旧河川がたくさん分布しており、そこでは浸透流による土中の砂の移動が原因となって、堤防のパイピング破壊が起こりやすい¹⁴⁾¹⁵⁾。パイピング破壊の調査、研究は精力的に行なわれているものの、きわめて複雑な現象のため、他の堤防破壊原因に比して技術的には十分解明されていない。水と土の移動によっておこるパイピング破壊機構の理解とその対策は、氾濫原の地盤データ、地下水データの収集とともに、地盤工学と水工学の分野の協働による調査・研究が不可欠であり、喫緊の課題となっている。

上述の堤防破壊危険確率と脆弱性指標を用いて、氾濫対象地域の水害リスクの検討に向けた考え方、検討事例が議論されつつある。このようにして得られる水害リスク解析結果を用いて地域住民に適切な氾濫リスク情報を示し、住民自らが洪水氾濫への対応を考える機運をつくっていくことが望ましい。流域を構成する各地域ブロックの水害リスク結果に基づいて、流域、地域の代表者や行政関係者から構成される協議会等が、流域、地域の特性、上下流バランス、内水氾濫と外水氾濫のバランス、氾濫流の制御、河川と下水道の整備、雨水貯留施設、洪水貯留施設などハードの整備と、

水災害頻発時代に入るに当たり、これまでの堤防技術の範囲にとどまらない「堤防工学」としての新しい地平を切り拓くことが求められている。

4. 下水道、砂防分野との連携、施設のネットワーク化

わが国では、山地地域や急傾斜地に近接して多くの集落が存在している。このような地域の特性から、豪雨時には、土石・土砂や流木の急激な流出により集落が襲われ、人的、物的に甚大な被害が生じている。2018年7月の西日本を中心とする豪雨によって、河川や砂防地域で壊滅的な被害が発生した。西日本豪雨の土砂災害による犠牲者のうち、約9割が土砂災害警戒区域等で被災しており、改めて土砂災害における警戒情報の提供方法や避難方法の重要性が叫ばれることになった。また、河川の氾濫と大量の土砂流出が一体となって平野部市街地を襲う「土砂・洪水氾濫」が発生し、これに対する対応策の検討が急がれている。このような土砂災害は、豪雨から災害発生までのリードタイムが極端に短い急激な現象であり、一度起こると地域は壊滅状態になることから、砂防ダム等のハード施設と土砂災害危険箇所、区域の周知や、警戒避難を行なう基準の設定、情報伝達体制の整備、避難方法や避難場所の周知などのソフト施策を適切に組み合わせて、災害の防止や減災を図らねばならない。とくに、砂防と河川の技術連携による災害軽減は急務である。

都市の浸水対策に対し、河川と同様に下水道において水位計を下水管内に設置し、内水氾濫に対する監視が始まった¹⁸⁾¹⁹⁾。河川と下水道施設のネットワーク化など一体化した施設整備が今後の都市の浸水対策の重要課題である。想定最大規模の内水に対する避難体制等の充実・強化のため、「管内の水位情報を周知すべき下水道」を指定し、「内水による災害発生を特に警戒すべき水位(内水氾濫危険水位)」を関係者に通知・周知するようになった。水位周知下水道の指定に至っていない浸水被害が発生した都市では、住民の避難行動を促すために、水位等の情報を活用したリスク情報の発信等が行なわれている。地域の安全性を高める都市の内水対策が、河川部局や他の部局と協力

しながら進められており、その成果が期待される。

5. あとがき：ハード技術とソフト技術の連携によるINOVATIVEな技術の創出

大洪水といえども洪水はゆっくり時間をかけて起こる現象と考えられるせい、地震災害に比して、人々の危機感は相対的に低く、ソフト対策で対応してもよいとする傾向がみられる。もちろん、ソフト対策は有効であるが、治水施設で守べきところは、時間がかかっても計画に基づいて着実に治水施設を整備していくことが大切である。大規模洪水災害に対しては、ハード技術をもっと有効に生かすソフト技術を考えるべきである。必要な技術開発には、これを支える制度や法律のソフト施策が求められる。このことが、効率的に必要なハード施設の検討に連なり、ソフトとハードの技術が影響し合っただけでなく、超過洪水対策にも有効な河川整備、防災、減災まちづくりにつながっていく。事業間の連携や都市、河川における多くの制度や法律を上手に運用して、古くから使われている技術を有効な技術に代えたり、連携から新しい制度を導き出すことによって、社会的にINOVATIVEなハードとソフトの技術につながることを望まれる。

—参考文献—

- 1) 社会資本整備審議会：水災害分野における気候変動適応策のあり方について～災害リスク情報と危機感を共有し、減災に取り組む社会へ～答申、平成27年8月(2015)。
- 2) 福岡捷二：洪水流の水面形観測の意義と水面形に基づく河川の維持管理技術、河川技術論文集、12、1～6(2006)。
- 3) 福岡捷二：河道設計のための基本は何か－水面形時系列観測値と洪水流－土砂流の解析を組み合わせた河道水理システムとその見える化、河川技術論文集、17、83～88(2011)。
- 4) 福岡捷二：実務面から見た洪水流・河床変動解析の最前線と今後の調査研究の方向性、河川技術論文集、20、253～258(2014)。
- 5) 福岡捷二：洪水流の水位と流量の今日的考え方－多点で観測された洪水水位と水面形から河道の水理システムを見る化する一、土木学会論文集B1(水工学)、73(4) I_355～I_360(2017)。
- 6) 福岡捷二：洪水水面形観測情報の広域的・統合的活用による流域治水の考え方の構築に向けて、河川技術論文集、23、251～256(2017)。
- 7) 大野純暉、福岡捷二、時岡真治、田辺裕和：多点水位観測に基づく山地河川の洪水流量算定法に関する研究、

- 土木学会論文集B1(水工学), 74(4)I_799~I_804(2018).
- 8) 福岡捷二, 田端幸輔, 出口桂輔:平成27年9月洪水における鬼怒川下流区間の流下能力, 河道貯留及び河道安定性の検討, 河川技術論文集, 22, 373~378(2016).
 - 9) 田端幸輔, 福岡捷二, 吉井拓也:平成27年9月鬼怒川流域における洪水流・氾濫流の一体解析に基づく水害リスク軽減策に関する研究, 土木学会論文集B1(水工学), 74(4)I_1399~I_1404(2018).
 - 10) 田端幸輔, 福岡捷二, 瀬崎智之:超過洪水時における堤防破堤確率評価手法に関する研究, 土木学会論文集B1(水工学), 71(4)I_1273~I_1278(2015).
 - 11) 福岡捷二, 田端幸輔:堤体基礎地盤の透水性・堤防強化対策を考慮した堤体内非定常浸潤線解析法の開発と堤防破壊危険確率の低減効果の見積りに関する研究, 河川技術論文集, 22, 261~266(2016).
 - 12) 田端幸輔, 福岡捷二, 内堀寿美男, 上村勇太:堤防脆弱性指標に基づいた堤防破壊危険性評価に関する研究—鬼怒川中下流部平成27年9月大洪水を例として—, 河川技術論文集, 23, 387~392(2017).
 - 13) 福岡捷二, 田端幸輔:浸透流を支配する力学指標と堤防浸透破壊の力学的相似条件—堤防浸透流ナンバーSF₀と堤防脆弱性指標 μ *, 土木学会論文集B1(水工学), 74(5)I_1435~I_1440(2018).
 - 14) 佐藤 豊, 大淵 貴, 福岡捷二:梯川における基盤漏水が発生する地形・地質及びバイピングによる堤防変状, 土木学会論文集B1(水工学), 74(4)I_1237~I_1242(2018).
 - 15) 佐藤 豊, 河原武志, 大淵 貴, 福岡捷二:千曲川堤防における裏のり尻付近の噴砂発生箇所の土質・地下水位と旧河道特性の関係, 河川技術論文集, 24, 571~576(2018).
 - 16) 福岡捷二:基調講演, 都市の水害リスクの軽減に向けて, 日本不動産学会誌, 31(2)5~10(2017).
 - 17) 福岡捷二:国土マネージメントに関する政策立案の視点, JICE REPORT, 33, 32~47(2018).
 - 18) 沼田麻未, 福岡捷二, 持田智彦, 中井隆亮:神田川流域における河川及び下水道施設による台風性豪雨の排水機構と連携排水に関する研究, 河川技術論文集, 20, 431~436(2014).
 - 19) 宮崎達文, 福岡捷二, 中井隆亮, 神田浩幸:神田川流域における河川及び下水道施設による豪雨排水・調節機構に関する研究, 河川技術論文集, 22, 31~36(2016).