

2014 年度（第 50 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 14-A-1

近年の大規模水・土砂災害の特徴

九州大学 特命教授 名誉教授

小松利光

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2014 年 8 月

近年の大規模水・土砂災害の特徴

Characteristics of Recent Large-scale Water-related Disasters

小 松 利 光

Toshimitsu KOMATSU

1. はじめに

平成 24 年 7 月に九州北部を襲った集中豪雨は大きな被害をもたらし、我が国の防災基盤が未だ脆弱であることを如実に示した¹⁾。今回の災害に限らず、近年の豪雨災害で被災した住民が異口同音に口にするのは、「こんな雨は初めてだった」、「水位上昇が急でアツと言う間だった」であり、これまでの常識や経験が全く役に立たないような大きな災害に近年しばしば見舞われるようになってきている。

一方、我が国のインフラの大部分は高度成長期に建設・整備されており、老朽化の危機に瀕している。しかしながら世論の公共事業に対する視線は依然として厳しく、傷んだインフラの補修すらままならないのが実状である。ただ、政治も現状に対し、ある程度の理解を示すようになり、「国土強靱化政策」や「防災・減災ニューディール政策」等に添った政策がある程度実施されるようになってきた。しかしながら我が国の経済状況を考えると長年に渡る多額の投資は許されない。いずれにしても、今日の我々はもう既に待ったなしの状態にまで追い込まれており、自然環境と共生しながらあまりコストと時間をかけずに効率的に防災力を上げていくことが喫緊の課題となっている。

2. 地球温暖化による災害外力の増大

近年地球温暖化によると思われる豪雨、干ばつ、台風の強大化などの災害外力（災害を引き起こす力）の増大が実感されるようになってきた²⁾。今後も温暖化による様々な影響が顕著に現れてくるものと考えられる。また近年、社会の自然環境へのニーズも高まっており、増大する災害外力と社会の望む自然環境の保全に我々は今後同時に対応していかなければならない。

災害外力と防災力の関係を図-1 に示す。かつては防災基盤が貧弱であったため、災害外力と防災力の間に大きなギャップがあり、人々は自然災害に襲われてもほとんど抵抗する手段を持たず叩かれっ放しであったが、少なくとも何がどうなるかという災害の実相は経験により理解できていた。その後人々は営々とインフ

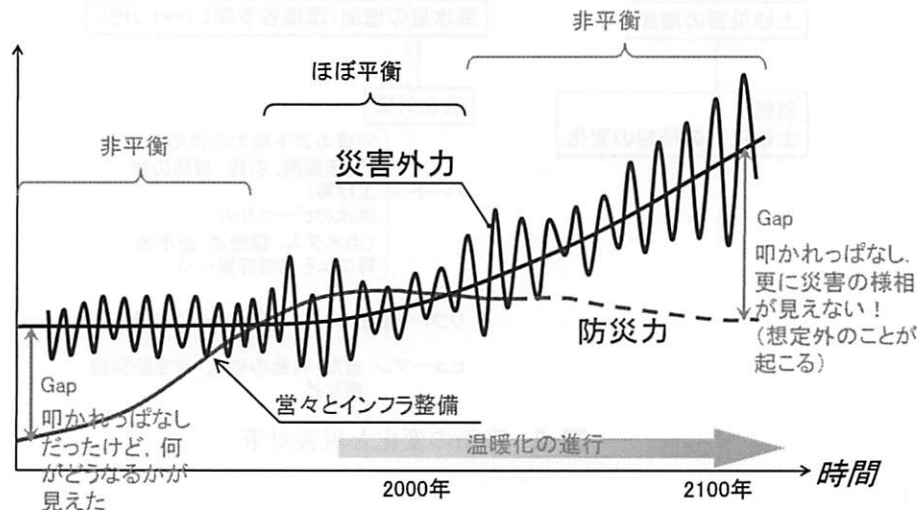


図-1 災害外力と防災力の関係

ラの整備に努め、現在に至って何とか災害外力と防災力が拮抗するところまでもってこることができた（勿論、大きな災害外力が働いたときは被害も発生するが）。しかしながら今後は、温暖化による急激な災害外力の増大により、また防災基盤の老朽化等による防災力の低下により、再び両者の間に大きなギャップが生じ、大きな災害外力がどこを襲っても必ずそこで甚大な被害（すなわち自然災害）が発生するという状況が起こってくる。これを防ぐために災害外力の増大を抑制しようとするのが緩和策であり、防災力を上げようとするのが適応策であるが、これらの策をもってしても災害外力と防災力の間のギャップを埋めるのは極めて困難な状況となっている。また、災害外力の増大下ではこれまでの経験が役に立たず、何が起こるか分からないため、想定外の大規模災害に発展する可能性が高い³⁾。災害外力の上昇は今我々が想像している以上に実は大変なことなのである。我々は気候変動に対し、叡智を結集して有効な適応策・減災策を講じていかなければならない。

3. 水・土砂災害の形態の変化

地球温暖化の影響は多方面に現れてくるが、ここでは水・土砂災害に限定して議論する。近年の日本の豪雨災害では時間雨量 100mm 以上の降雨も珍しくない。これまでになかったような大量の雨が降ると、洪水災害が引き起こされ、それに対する新たな対策が必要となるが、洪水災害だけでなく新たな土砂災害も引き起こされることとなる（図-2）。これは、従来の降雨には持ちこたえられた斜面も今までになかったような強い降雨には耐えられなくなるからである^{3),4)}。また従来は、表層崩壊が多く、土砂災害発生箇所の下部が限定的に被災していた。しかしながら強くかつ大量の降雨は深層崩壊を引き起こし（図-3）、大量の土砂を生産する。この土砂は発生箇所直下に大規模災害をもたらす（ex.台湾高雄県小林村で一村が全滅するという大惨事⁵⁾）だけでなく、天然ダムを構築することが多い。天然ダム上流側では洪水流が貯留して水位が上昇し、越水と共に天然ダムの崩壊が起こり、下流を段波が襲うことになる⁴⁾。また河道に流れ込んだ土砂は全てが海まで流送される訳ではなく、河道に残って河床の大幅な上昇を引き起こす。天然ダムの崩壊と河床の上昇は、かつては局所的だった被害の時空間的な拡がりを生じさせ、従来の河川計画を無用なものとしてしまう。また土砂災害に伴って起こる多量の流木の生産は、新たな流木災害を引き起こす。このような将来の水・土砂災害に対し、根本的な対策が新たに求められている。

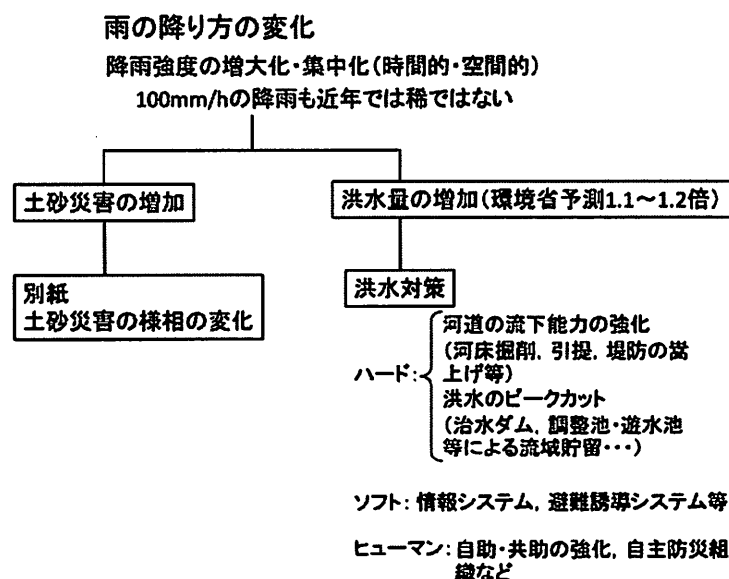


図-2 降雨の変化と災害対策

過去:従来は表層崩壊がほとんど→発生箇所が被害を受ける

現在→未来:降雨強度の増大

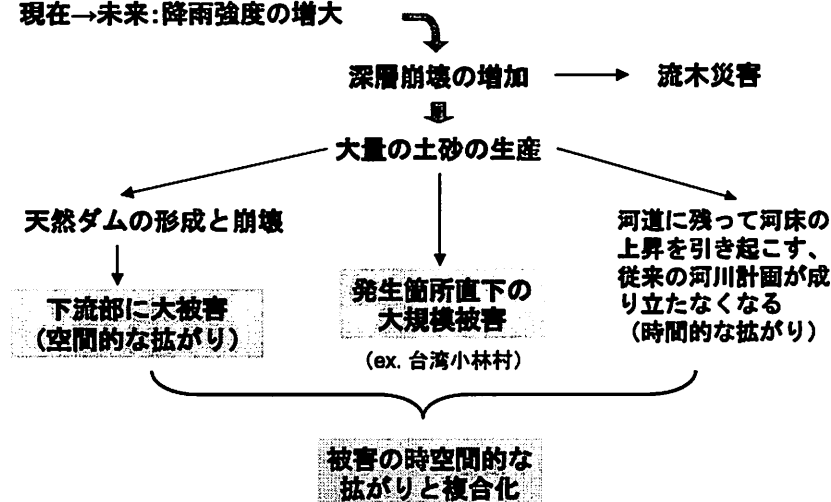


図-3 将来の水・土砂災害の様相

4. 平成24年7月の九州北部豪雨災害から教訓として学ぶこと

4. 1 九州北部豪雨災害の特徴

近年の代表的な豪雨災害としてここでは著者等が調査した平成24年7月の九州北部豪雨災害を取り上げる。本豪雨災害の特徴を以下に記す。

(1) 圧倒的な降雨が短時間に集中した豪雨であり、洪水流量・水位の立ち上がりは極めて早かった。『浸水は束の間の出来事だった。二時間くらいで水は引いた』（大野川水系玉来川の洪水氾濫でご主人を亡くされた婦人の談）。全ての被災一級河川水系で既往最大もしくは観測史上2～3位の規模の出水が発生した。筑後川水系花月川では花月地点の整備計画流量が1,100 m³/s、計画高水流量が1,200 m³/s、基本高水流量が1,400 m³/sであるが、推定された氾濫流量を含まない発生ピーク流量は7月3日が1,300 m³/s、7月14日が1,400 m³/sとなっていた。その他、矢部川(船小屋)、筑後川水系隈上川(西隈上)、菊池川水系合志川(佐野)、六角川水系牛津川(妙見橋)、大野川水系玉来川(拝田原)で計画高水位を超えていた。雨の降り方が変わってきており、従来の河川計画論を根底から覆すような大災害であった。

(2) 10日間に2度の既往最大規模流量が発生した(山国川・花月川)。山国川と筑後川水系花月川では、7月3日に既往最大の出水が発生し大きな被害が出たが、その応急復旧作業や被災住宅などの後片付けが終了した直後である7月14日に同規模の2度目の洪水が発生した。特に、花月川は7月3日に2カ所で堤防の決壊が発生している。応急復旧が完了したのがそれぞれ7月11日8:30と7月13日12:00であり、直後の7月14日7:30には既往最大水位に達したことを考えるとまさに綱渡りの復旧状況であったことが分かる。

(3) 多数の堤防決壊が発生した(矢部川・沖端川・花月川)。7月14日に矢部川本川7k300右岸において約50m幅で堤防が決壊した。本川の堤防決壊であり、また越水が起こっていないにも拘らず湾曲部の内岸側が破堤したこともあり、国は同年8月に矢部川堤防調査委員会(委員長:秋山壽一郎九州工業大学教授)を立ち上げ、決壊メカニズムについての検証を行った。その結果、計画高水位を長時間にわたり超えたことにより、基礎地盤内の砂層に水が浸透し、最終的にパイピングが発生し決壊に至ったという結論が得られている。九州の国直轄河川では22年ぶりの堤防の決壊であった。花月川については、7月3日に国直轄区間の5k800左岸と6k200右岸の2カ所において決壊が発生した。現状では、水衝部に強い流れが当たり堤防前面基礎部分に洗掘が生じ決壊に至ったと考えられている。矢部川支川の沖端川(福岡県管理)では、越水の発生により決壊したとみられている。

(4)山腹崩壊や河岸の侵食に伴い発生した多量の流木が、主に橋梁に集積することにより流下能力を低下させ、氾濫を助長した箇所が多数の河川で見られた。『玉来川に架かる阿蔵新橋では、まず水位が上昇して橋桁に水がかかり始め（計画高水以上の流量による）、同時に左岸側に越水を始めた。その後流木が橋桁に引っかかり始め、一挙に水位が上昇した』（玉来川沿川の住民談）。また玉来川の沿川の稲荷神社の近くの稲荷橋が流出したが、『橋の流出後水位が急に下がった。流木の集積による堰上げがあった』（地元住民談）。これらの例や阿蔵新橋・玉来新橋、また花月川の夕田橋、山国川の耶馬溪橋、矢部川上流の多くの橋等のように、水位の上昇に伴い橋桁ならびに橋脚に流木が集積して洪水を堰上げし、その結果越水・氾濫して甚大な被害を堤内側にもたらした事例が数多く見られた（図-4）。また固定堰や取水ダムなどの多くの河川横断構造物も洪水の流下阻害を引き起こしていた。なお、竹田市内の玉来川に架かる阿蔵新橋は今後の流木災害を防ぐため撤去されている。

(5)阿蘇地域では圧倒的な降雨量のため崩壊土砂が土石流化した。また矢部川上流域では、大量の流木が流出し、流木・土砂・水よりなる混相流の様相を呈し、破壊力を増して流下した。このような新しい現象が見られ始めている。ただ今回の災害全般を通じて表層崩壊が主で深層崩壊はあまり見られなかった。雨の降り方が短時間の集中豪雨型であったためと思われる。これらの崩壊により供給された土砂は河道に残り、堆積して河床の上昇を引き起こしたため河床掘削が必要となっている（矢部川上流部等）。

(6)本豪雨災害では多くの橋梁が超過洪水と流木により被災した。中には橋台が大幅に沈下するなど(阿蘇地方)、新しい現象も発生している。

(7)九州電力管内で15箇所の水力発電所が被災し発電を停止する事態に至った。福島第一原発事故後の原子力発電所が再稼働できないという電力供給が切迫する状況下での発電停止であり、既存水力発電施設の災害脆弱性について再認識させられた。



中摩橋（山国川）



阿蔵新橋（玉来川）



耶馬溪橋（山国川）

図-4 流木の集積による氾濫

4. 2 九州北部豪雨災害の位置付け

本豪雨災害では防災力を大幅に上回る災害外力が働いたため、至るところでなす術もなく発災した。被災の状況が第2章で述べたいわゆる叩かれっぱなしの状態に近づいている。超過外力に対する備えが十分でなかったことも災害の規模を助長した。今我々は、災害外力と防災力の差が大きくなり始めた時点に在ると言えよう（図-1）。災害外力の上昇を抑える緩和策と同時に防災力を上げて何とか減災につなげる『賢い適応策』を講じなければならない。すなわち、（1）災害の影響を出来るだけ局所化する。（2）人命の損失をなくし、災害から再び速やかに立ち直ることが出来るレジリエントな社会の構築を目指すこととなる。

4. 3 今後の既往最大規模の河川災害への適応についての提言

今後超過洪水もしくは既往最大規模の河川災害の発生頻度は上がってくるものと思われる。今回の水・土砂災害から我々が学ぶべき教訓を以下に記す。

（1）玉来川下流部において発生した洪水氾濫の原因と特徴として、「これまでに経験のないような大雨」が短期間に降ったこと、それにより多数発生した斜面崩壊が大量の流木を生み出したこと、その流木が橋梁に集積して流水断面積を減少させたこと、等が挙げられる。近年、地球温暖化によると思われる災害外力の増大下では、現存する取水ダム、橋梁、頭首工などの河川横断構造物が、洪水に対して水位を上昇させるだけでなく流木の集積と相俟って、極めて危険な状態を作り出すことが、近年の洪水災害から明らかになってきた。超過洪水に対する河川横断構造物のチェック・改善・撤去などの対策が急務であると共に新設の橋梁や堰等については計画高水を流せるというだけでは不十分で、超過洪水に対してもこれらの横断構造物がネックとならないような配慮が必要である。また、気候変動下にある今日、超過洪水となるような豪雨の下では、どこであつても斜面崩壊が発生して土砂だけではなく多量の流木も生み出される。土砂だけでなく流木の影響も併せて考慮した河川計画・管理が不可欠である。なお、平成25年10月の伊豆大島災害においても土石流や洪水流により運ばれた流木が橋梁部に集積して閉塞し、洪水が兩岸から住宅地に溢れて大きな被害をもたらしている。

（2）同時多発的に大規模水害が発生した場合への備えとしての“事前防災・事前復興”が必要である。事前防災・事前復興とは、災害が発生した時のことを想定し、被害の最小化につながる都市計画やまちづくりを推進することと定義されている。今回の災害では交通が麻痺し、河川管理者による迅速な現場サポートができないような状況も発生した。また復旧のために必要な資材と供給できる資材との間にミスマッチなども見られた。大規模災害への適応が可能な総合的な計画の策定が求められる。

（3）充実した応急復旧体制の確保が必要である。応急復旧に必要な資材・重機類などの充実化を図り、迅速に適切な工法が選択できるようにする。そのためには、ある程度の範囲毎にそれらを集積させるなどの体制が必要であると考えられる。

（4）河岸近辺の流木発生源への対策が必要である。河川上流域の河岸付近まで拡張・繁茂してきた樹林について整理し、水害時の流木発生をできるだけ抑制することが必要である。またダムは流木の捕捉に対し大きな機能を有しているので、国管理のダムだけでなく、自治体や電力会社管理のダムについても流木の捕捉を義務付けることを早急に検討する必要がある。

（5）橋梁の設計において洪水氾濫防止の視点が必要である。道路計画の立場からはコスト面から川幅の狭い場所へ橋梁を架けることが多いが、今後は特に中小河川において河川計画との整合性をとりながら橋梁を設計すべきであると考ええる。流木の影響が今後益々大きくなることが想定されるため、橋脚スパンや橋桁の高さの決定において計画高水流量を流せるというだけでは不十分であり、超過洪水等に備えて十分な余裕を見込むことが必要である。中小の橋は出来るだけワンスパンにして高くする。災害外力の上昇下では、橋などの横断構造物に対する国の設計基準を見直して変える必要がある（構造令や設計指針など）。なお、湾曲部の水衝部での架橋や橋台をせり出して構築するなどは決して許されない。

(6)水位計、監視カメラの運用管理の強化が必要である。大野川水系玉来川では水位計が被災しデータが得られていなかったため、その後の検証が困難となった。また、近年監視カメラの運用が多点で行われているが、リアルタイムでの画像配信に重点が置かれており、記録データとしてはほとんど残されていない。少なくとも数日間分は記録し、洪水発生後に保存できるような運用方法をとることで、被災メカニズムの解明などへ利用できると期待される。水位や映像のデータは、原因究明の際は航空機のフライトレコーダー、ボイスレコーダーに匹敵するほど貴重なデータといえる。「欠測でした」では済まされない。担当部局の緊張感をもった対応をお願いしたい。

(7)白川流域の事例から、河川災害リスクには都市開発を抑制する効果はほとんどないということが明らかとなった。危険地域の土地利用に対しては用途規制、建築規制などが必要である。

(8)熊本市の白川の事例から、防災情報の重要性を改めて認識させられた。情報がリアルタイムで流れていたところでは対応できたが、情報伝達がうまくいかなかった隣接地では軒下まで水が来ても人々は動かなかった。水害情報の伝達体制の再構築が必要である。

(9)今後必要な河積の確保のため河床掘削が行われる機会が増えてくると思われる。環境への影響を極力少なくしていくことが必要である。

(10)自治体の防災担当者は、数時間で150～250 mmの雨が降るとどういことが起こるかという物理現象に対して想像・理解することが必要である。

(11)大野川支流稲葉川の稲葉ダムは網場により多くの流木を捕捉したことが下流の災害を大幅に軽減した。今後増えてくると思われる流水型ダム（穴あきダム）にも流木捕捉機能をもたせるための技術開発が必要である（例えば玉来ダムなど）。

(12)今回の水害で矢部川の堤防が越水以前に破堤したが、他の河川の堤防の中には材料に玉石等を使っていて被災した箇所も見られる。また決壊箇所周辺には多くの噴砂や漏水も見られた。堤防の信頼を取り戻すためにも河川堤防の点検・補修・強化が急務である。

(13)阿蘇市の水・土砂災害は深夜から早朝にかけて起こった。日中に起こって比較的人命の損失が少なかった2010年の奄美豪雨災害と好対照となっている。夜間は避難等が極めて困難となるので、夜間の災害に対する十分な配慮と備えが必要である。

(14)超過外力に対する配慮が電力会社や道路関連部局にほとんど見られない。従って橋や取水ダムの防災策が遅れがちである。橋や電力会社管理の河川構造物の点検・見直しが急務である。このことは企業のBCPにも関わってくる。イギリスでは電力会社や公共交通機関に温暖化適応策を検討することを義務付けている。

(15)近年の豪雨は短時間に集中して起こることが多い。従って計画雨量を日雨量だけでなく時間雨量でも考えていく必要がある。

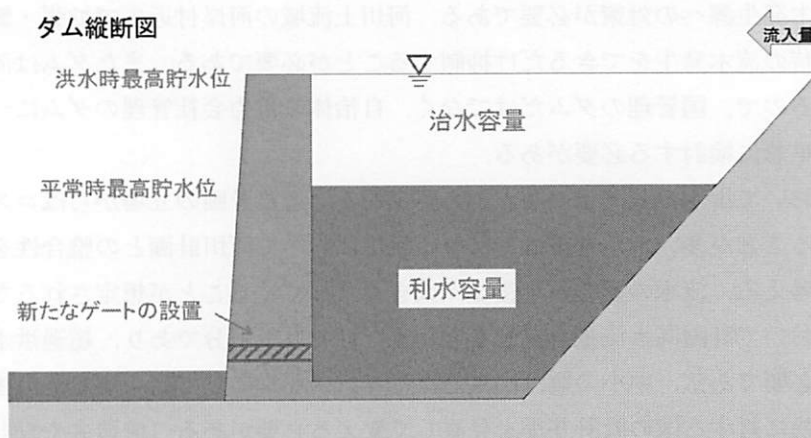


図-5 将来に備えての配慮

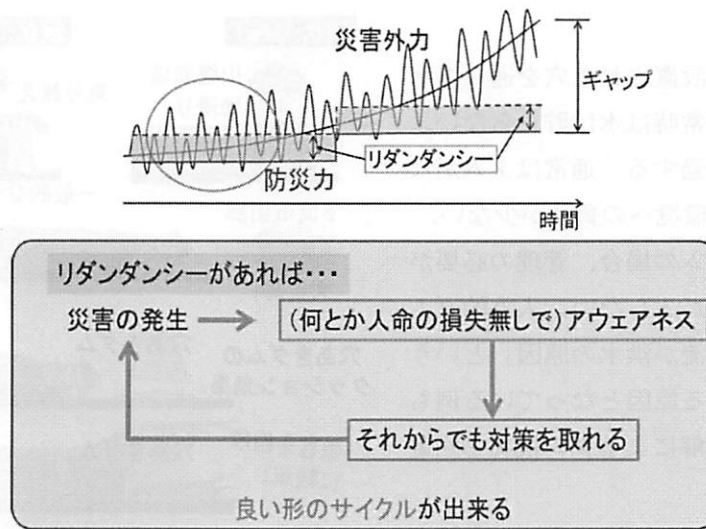


図-6 リダンダンシーの重要性

(16) 被災現場の復旧工事のための重機や資材の運搬は、被災後の道路事情の悪さや渋滞のため困難となることが多い。白バイでの先導を依頼するなど警察との連携が重要である。

(17) ダム操作は計画洪水に対する操作だけで良いのか？昔は情報がなかったから仕方ないが、今は不十分ながらも降雨情報がある。状況に応じてダムの能力を十二分に引き出せるような柔軟な対応（例えば事前放流など）が必要である。そのためにはダム操作の瑕疵に対し刑事責任を問わないような法整備が必要である。

(18) 将来降雨情報が更に高精度化するとダムの機能が大幅にアップすることが期待されるが、そのためのためにダム堤体の低い部分にゲートを建設当初から設置しておくなどの先見性が必要である（図-5）。

(19) 『後悔しない戦略・対策』のためには、担当者は「考えたくないことは考えない」に陥ってはならない。

(20) 今後の最大の教訓は『先の甚大な災害から得られた多くの貴重な教訓を教訓として発出しているにも拘らず、これまで教訓として活かされていない。これを十分活かしていくための知恵・工夫・仕組みが必要である』であろう。

(21) 今後我々は災害との際どい闘いを強いられることとなる。これまでは防災面でも効率性を追求してきたが、災害外力の上昇下で人々の命を守っていくためにはリダンダンシー（redundancy, 余裕・冗長・ムダの意）が重要になってくると思われる（図-6）。超過洪水などに襲われたとき、ムダな部分が力を発揮する。財務省や会計検査院に納得してもらうのは容易ではないが、必要不可欠な生命線であることを上手に説明して、新規の事業に対しては是非とも少しでもリダンダンシーを盛り込んでいきたいものである。

5. 適応策としての流水型ダム

このような状況の下、近年治水専用流水型ダム（穴あきダム）（図-7）の長所や新たな機能が最近の研究から見出されてきたため、島根県の益田川ダムに代表されるように各地で流水型ダムが計画されてすでに施工されるようになってきた^{6), 7), 8)}。今後適応策の一つとして有望と思われる流水型ダムは、以下のような特

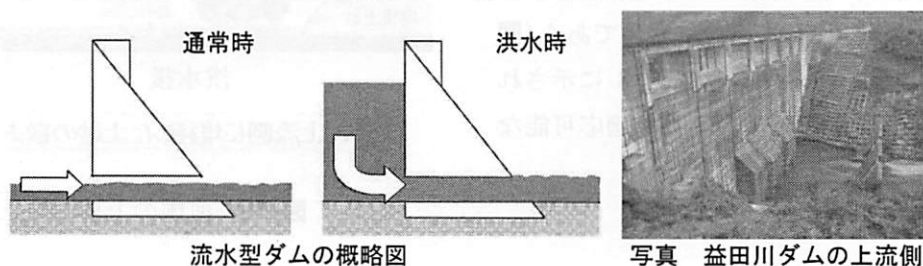


図-7 流水型（穴あき）ダム

長を有している⁴⁾。

- ① 河床とほぼ同じ高さに設置された穴を通して水は常時流れるため、通常時は水は貯まらない。従って土砂や魚類も通過する。通常はダムがないのと同じ状態なので環境への負荷が少ない。
- ② 洪水自然調節方式のダムの場合、管理の必要がなく人為的なダム操作が入らない。人為的ダム操作が「ダムからの放流が洪水の原因」という誤解を下流住民に与える原因となっている例もあり⁹⁾、このような誤解によるダム批判を回避できる。
- ③ 天然ダムや上流の既存ダムが万一崩壊した場合、また大量の降雨や地震などで大量の土砂がダム湖内に崩落してダムサイトを越水した場合などに生じる段波を、下流に流水型ダムがあると一旦受け止めて、下流側の被害を大幅に軽減してくれる¹⁰⁾ (図-8)。
- ④ 人口減少・高齢化等による将来の我が国の国力の低下、ならびに地球温暖化の進行や食糧の増産などによる農業用水・飲料水の不足など将来水資源問題が深刻化したとき、地域住民の合意のもとで、治水専用流水型ダムを低コスト・短期間で容易に貯水ダムに転換できる。従って、水資源システムの中に組み込むことができる。ちなみに、このような流水型ダムの貯水ダムへの転換については、近年では益田川上流の笹倉ダムにおいて既に行われている (図-9)。
- ⑤ 流水型ダム上流部で洪水時には貯水するため、流れ込んできた洪水の流速が急激に低下し、ダム湖内に土砂が沈降・堆積することになる。洪水後は貯水状態が解消されて通常の空の状態に戻るため、当初より設置されている取り付け道路を通じて湖底まで重機等の持ち込みが可能で、ダムが無ければ河道に長く拡がってしまう堆積土砂もダムがあればダム湖内に集中するため、その処理や運び出しも格段に容易である (図-10)。このように流水型ダムは図-3 に示された新たなタイプの水・土砂災害にも適応可能なものとなっている。

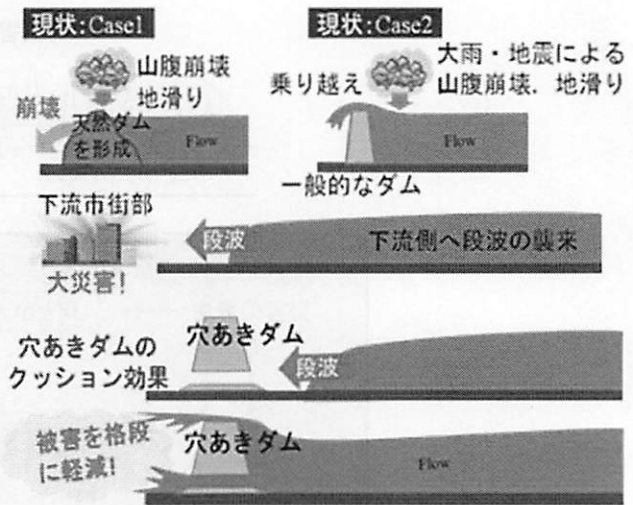


図-8 段波対策



図-9 流水型ダムから貯水ダムへの転換
(島根県の笹倉ダム)

大雨による斜面の深層崩壊により大量の土砂が流出
洪水時のダム湖に堆積

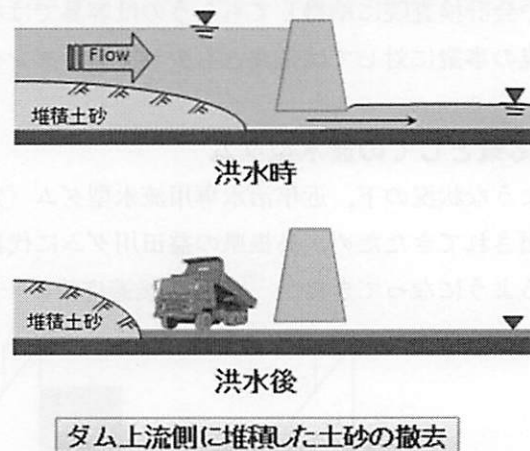


図-10 河床の上昇の防止

6. 河道内遊水池の概念の導入

今後の災害外力の増大に対抗する治水策として流域への遊水池の積極的な設置は有力な手法と考えられるが、流域内の河道近接地に遊水池のスペースを確保するのは困難な場合が多い。ところで、治水専用流水型ダム機能の再吟味してみると遊水池機能と類似点が多いことに気付く。横越流堰をもつ遊水池は洪水のピーク時しか水を貯めないが、河道トンネルをもつ流水型ダムも洪水時しか水を貯めない。貯水する場所が河道外か河道内かの違いだけである。したがって、流水型ダムは「河道内遊水池」とも見なすことができる¹¹⁾。河道内遊水池は以下の特徴をもつ。

- ① 河道空間を横方向・縦方向に広げて有効利用することになる。
- ② 普段は水を溜めないのが通常の遊水池と同じであり、環境への負担は少ない。
- ③ 上流部に小規模の河道内遊水池（山間遊水池）を多数作ることによって大規模ダムに代え得る。
- ④ 従来型の大規模貯水ダムとは大きく異なった有力な治水策となり得る。

オーストリアでは、貯水量が 50,000m³ 以下のかなり小さい流水型ダムがアースフィル形式で多数造られている（図-11）^{12), 13)}。我が国でも大規模ダムに代わり環境と調和できる治水対策として、オーストリアの例のような景観にも配慮した堤高の低いアースフィルダムやロックフィルダム形式の小規模な河道内遊水池群による防災策の導入が、今後現実的かつ有効な治水対策になるものと思われる。

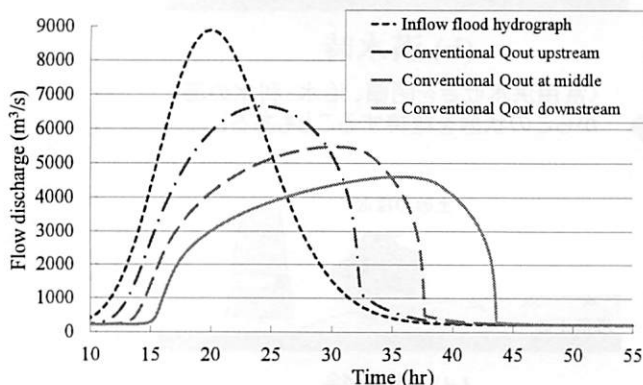


図-11 オーストリアの流水型（穴あき）ダム

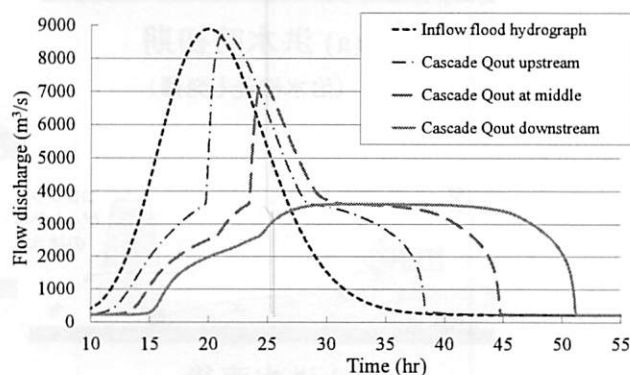
7. 流水型ダムの新たな機能

7. 1 カスケード方式による治水技術

図-12 に三つの流水型ダムを直列に配置した場合の洪水制御効果に関するシミュレーション結果を示す¹⁴⁾。一つは各ダムで越流を起こさないように計画高水に対して穴の大きさをそれぞれ設定した場合（図-12(a)）、もう一つは最下流のダムの下流で所定の計画流量になるように穴の大きさを設定し、それを全てのダムに適用した場合である（図-12(b)）。この場合は上流側二つのダムは満杯となって溢れることになる。この上流側のダムで溢れることを許容することで最下流で洪水のピークを大きくカットできることになる。洪水ハイドログラフを河道が流せるようなハイドログラフに変換するのがダムの役割（機能）であるが、最初から最



(a) 3基のダムそれぞれが越流しない従来型の洪水制御を行った場合



(b) 最下流のダムのみが越流しない越流型の洪水制御を行った場合

図-12 直列配置された流水型ダム群の大きな治水能力¹⁴⁾

終目標の流量に抑え込むことで、ダム貯水容量の二重使用を避けられるため効率的にピークカットを行うことが可能となっている（カスケード方式）。

7. 2 流水型ダムの貯水機能の新たな活用

また2011年のタイの洪水災害では、農業用利水と洪水調節がトレードオフの関係となり、チャオプラヤ川上流にある巨大ダムが洪水調節にそれ程寄与できないという事態が発生した。タイに限らず我が国においても今後増大してくる災害外力に対し、多目的ダムにおいて利水容量分の水の一部だけでも事前放流できればダムの治水機能は向上することになる。しかしながら事前放流した後に想定した程の流入がなければ、放流した利水容量分の水の貯留が困難となることから、事前放流を安易に実施できないのが現状である。多目的ダムの上流に流水型ダムがある場合は、越流を許容する上流側の流水型ダムが満杯となって非常用洪水吐きから越流を始めた時に、（常用の）河道トンネルを閉塞することによりダム貯水池の満杯状態をその後も持続させて、洪水の流域貯留を実現することができる。この水を洪水の完全終了後に放流することで、下流の多目的ダムの利水容量分の水量の復活を図れるだけでなく、洪水そのもののピーク流量の低減にもつながる¹⁴⁾。

7. 3 流水型ダムの流砂捕捉機能の新たな活用

5.の⑤で洪水時の流水型ダムの土砂の捕捉機能とその後のダム湖内での堆積土砂の処理の容易さについて述べたが、ここでは流水型ダムがもつ流砂の捕捉機能の強化、ならびに治水のためだけでなく流砂の捕捉のための施設としての流水型ダムの新たな活用法について記述する。

7. 3. 1 土砂捕捉施設としての流水型ダムのより積極的な活用（I）

図-13に示すように河床の高さに設けられた通常の通水トンネル（ゲート付き）に加えてダム堤体の中間部にコンジットゲートを設置した流水型ダムを考える。通常時は通水トンネルを通して水は流れるので貯水はされない。一方、洪水時には初期から水が貯水されてダムが満水状態となるまでは、通常の流水型ダムとしての治水効果を発揮する。その後洪水の流下によりダムが満水状態になったら（特に前述のカスケード方式では通水トンネルの断面積を絞り込んでいるため満水になりやすい）、通水トンネルのゲートを閉めてダ

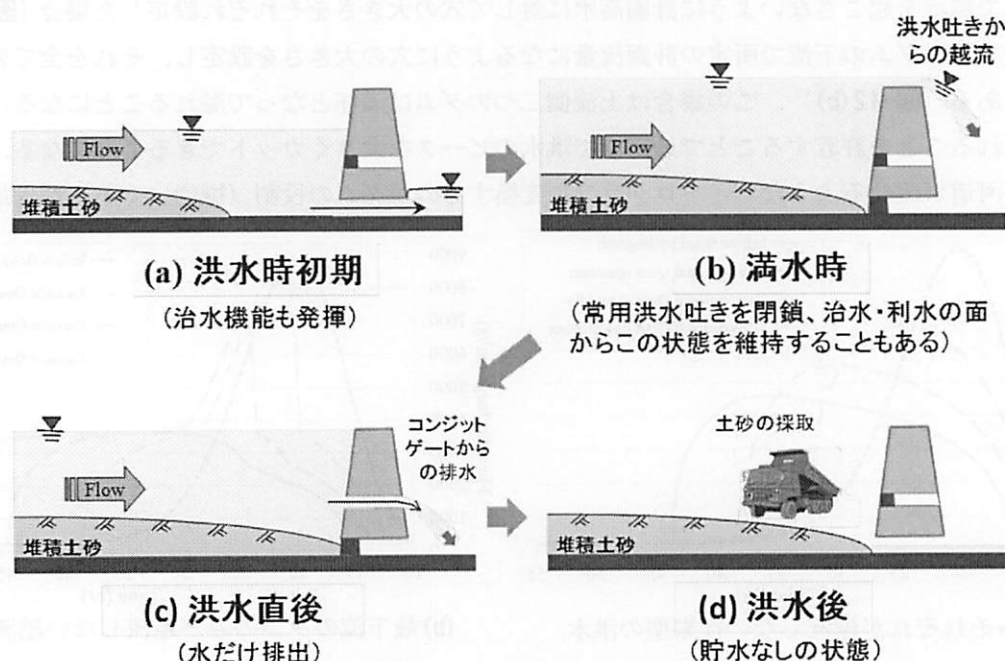


図-13 土砂捕捉施設としての流水型ダムの活用

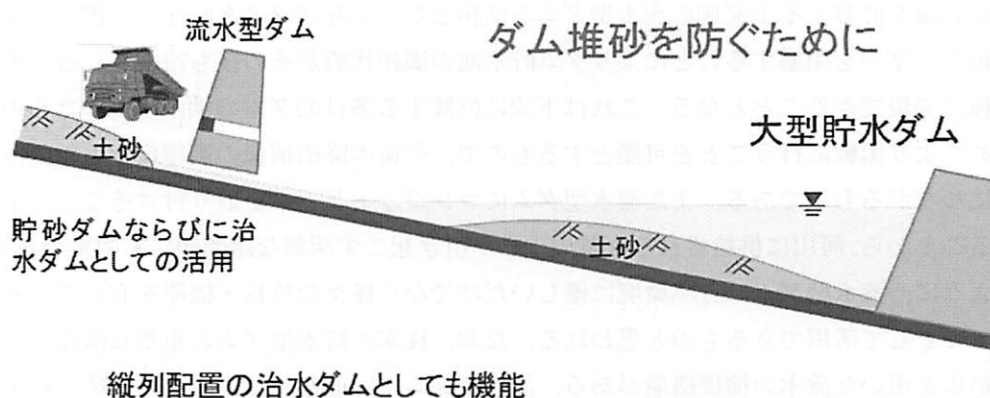


図-14 ダム堆砂対策としての活用

ムへの流入流量は全て非常用洪水吐きからオーバーフローさせる。これによりダム湖に流れ込む浮遊砂・掃流砂の大部分はダム湖で沈降して捕捉されることになる（図-13(b)）。

洪水が治まった直後からダム湖の水位を下げることになるが、まずコンジットゲートを開けて水を放流し、堆積土砂を流下させないように配慮する（図-13(c)）。コンジットゲートの位置まで水位が下がったら、通水トンネルのゲートを開けてゆっくり水位を下げて最終的には空の状態まで持っていく。ダム湖が空になったら重機類を乗り入れて土砂の除去や処理に当たる（図-13(d)）。以上述べた手法は上流から供給される土砂をダム湖に極力堆積させて後で処理しようとするものであるが、環境上の理由などから下流にある程度土砂を流す必要がある場合は、通水トンネルとコンジットゲートの操作を若干変えることにより、通水トンネルからある程度土砂を下流に向けて流すことができる。

7. 3. 2 貯水ダムの堆砂を防ぐための活用（Ⅱ）

台湾などでは温暖化等により頻発する豪雨によりもたらされる大量の土砂が下流の大型貯水ダムに流入して堆積し、ダムの貯水容量を大幅に減少させるという深刻な事態に直面している。ダム堆砂の問題については、排砂バイパスや貯砂ダムを設けるなどいくつかの対策が講じられているが、いずれも決定的な解決策とはなっていない。前述の機能をもつやや小規模な流水型ダムを大型貯水ダムの上流部に設置し（図-14）、洪水時には連携して治水に当たり（カスケード方式）、同時に流入する土砂の多くをこのダムで捕捉・堆積させ、洪水終了後で貯水位が下がった後に堆積土砂を除去する。水がないので堆積土砂の処理は容易であり、この方法により効率的に下流の大型貯水ダムの土砂堆積を防ぐことができる。

8. むすび

我々はこれから地球温暖化による気候変動の真直中を生きていかなければならない。まさに我々にとっては未知との遭遇である。しっかりした技術と共に先を見通す想像力が求められる。

著者らは温暖化による水・土砂災害への適応策の一つとして、環境保全と防災を両立させうる流水型ダムが今後の水・土砂災害に対して極めて有望な対策となりうるものと考えている。また直列配置された河道内遊水池群は、洪水のピークカットを行うだけでなく、放流量の時系列波形およびピーク時間を遅延させる効果があることが分かった。したがって、最下流のダム通過後は比較的なだらかな洪水波形となることから、必要に応じて更に下流に遊水池や貯水型ダム等が配置されれば、超過洪水に対しても比較的容易に洪水制御が行えることになる。

なお、流水型ダムにおける越水は人工操作を伴う貯水型ダムにおける「但し書き操作⁴⁾」に相当する。最下流以外のダムの下流において河道の状況が許せば貯水型ダムと流水型ダムを組み合わせ、流水型ダムの越水や貯水型ダムで但し書き操作を積極的に取り入れることでより効率的な洪水制御（カスケード方式）が実

施できる。また越流を許容する上流側の流水型ダムが満杯となって非常用洪水吐きから越流を始めた時に、(常用の)河道トンネルを閉塞することによりダム貯水池の満杯状態がその後も持続されるため、洪水の流域貯留が大規模に実現できることとなる。これは下流に位置する多目的ダムの洪水制御のための操作を事前放流なども含めてより柔軟に行うことを可能とするもので、今後の降雨情報の高精度化と相俟ってダム機能の一層の強化につながるものである。また流水型ダムにコンジットゲートを取り付けることで土砂の捕捉機能が強化されることから、河川に供給される大量の土砂が引き起こす深刻な諸問題にも対処できるであろう。

以上述べたように、流水型ダムは自然環境に優しいだけでなく様々な特長・機能を有しており、今後の治水の切り札の一つとして活用できるものと思われる。なお、従来の貯水型ダムの重要な機能の一つとしてダム貯水池での網場を用いた流木の捕捉機能がある。流水型ダムでは通常時に水がないため、従来型の網場の設置は容易ではないと思われるが、流水型ダムにおいても流木の捕捉を可能とするような新たな技術の開発が望まれる。

参考文献

- 1) 土木学会九州北部豪雨災害調査団, 平成24年7月九州北部豪雨災害 調査団報告書, 104p., 2013年2月.
- 2) Science Council of Japan, Committee on Planet Earth Science and Committee on Civil Engineering and Architecture, Subcommittee on Land, Society and Natural Disasters, "Proposal, Adaptation to Water-related Disasters Induced by Global Environmental Change," June 26, 2008.
- 3) Hideo Oshikawa, Koji Asai, Kenichi Tsukahara, and Toshimitsu Komatsu: "Disaster immunity" - a new concept for disaster reduction in adaptation to disaster hazard intensification, Journal of Disaster Research, Vol.4, No.1, pp.7-11, 2009.
- 4) Hideo Oshikawa, Akihiro Hashimoto, Kenichi Tsukahara, and Toshimitsu Komatsu: Impacts of Recent Climate Change on Flood Disaster and Preventive Measures, Journal of Disaster Research, Vol.3, No.2, pp.131-141, 2008.
- 5) Chjeng-Lun Shieh, Chun-Ming Wang, Wen-Chi Lai, Yun-Chung Tsang and Shin-Ping Lee: The composite hazard resulted from Typhoon Morakot in Taiwan, Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering, Vol.62, No.4, pp.61-65, 2009.
- 6) T. Sumi, "Designing and Operating of Flood Retention 'Dry' Dams in Japan and USA," Advances in Hydro-Science and Engineering, Vol.8, pp.1768-1777, 2008.
- 7) 中島泰裕, 押川英夫, 小松利光: 治水専用穴あきダムの洪水調節能力改善手法に関する研究, 河川技術論文集, 第15巻, pp.417-422, 2009年.
- 8) T. Sumi, S. A. Kantoush, and A. Shirai, "Worldwide Flood Mitigation Dams: Operating and Designing Issues," Proceedings of the International Symposium on Urban Flood Risk Management (UFRIM), pp.101-106, September 2011.
- 9) 押川英夫, 橋本彰博, 小松利光: 過疎化が進行する水害常襲地域の今後の防災対策に関する調査研究, 水工学論文集, 第53巻, pp.571-576, 2009年.
- 10) 押川英夫, 三戸佑夏, 小松利光: 段波洪水に対する流水型ダムの洪水制御能力の定量評価, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.68, No.4, pp.I_871-I_876, 2012年.
- 11) 押川英夫, 今村友彦, 小松利光: 治水専用穴あきダムの河道内遊水池としての洪水制御効果に関する研究, 土木学会論文集B1(水工学), Vol. 67, No. 4, pp.I_667-I_672, 2011.
- 12) 角哲也: オーストリアにおける流水型ダム, ダム技術, No.277, pp.1-13, 2009年10月.
- 13) 角哲也, 船橋昇治, 白井明夫: オーストリアにおける流水型ダム(続報), ダム技術, No.287, pp.16-28, 2010年8月.
- 14) Hideo Oshikawa, Yuka Mito, and Toshimitsu Komatsu: Study of Flood Control Capability and Advanced Application of Multiple Dams Constructed in Series, Journal of Disaster Research, Vol.8, No.3, pp.447-455, 2013.