

2017 年度（第 53 回）
水工学に関する夏期研修会講義集

A コース

Lecture Notes of the
53rd Summer Seminar on Hydraulic Engineering, 2017
Course A

土木学会
水工学委員会・海岸工学委員会
Committee on Hydrosience and Hydraulic Engineering,
Coastal Engineering Committee,

JSCE
2017 年 8 月
August 2017

2017 年度（第 53 回）
水工学に関する夏期研修会講義集

A コース（河川・水文コース）
総合テーマ：河川の維持管理と流域の保全

A-1 堤防における土粒子－土－地盤構造と水の相互作用

名古屋工業大学 教授 前田健一
Kenichi MAEDA

A-2 河川災害と維持管理

国土交通省近畿地方整備局 企画部長 井上智夫
Tomoo INOUE

A-3 都市を襲う水災害の防除の現状と課題

関西大学 教授 石垣泰輔
Taisuke ISHIGAKI

A-4 ダムの維持管理－堤体及び基礎地盤を中心として－

土木研究所 理事 山口嘉一
Yoshikazu YAMAGUCHI
国土交通省国土技術政策総合研究所 大規模河川構造物研究室長 金銅将史
Masafumi KONDO

A-5 点検データを活用したアセットマネジメント

大阪大学 准教授 貝戸清之
Kiyoyuki KAITO

A-6 流砂系の土砂動態解析モデルの現状と課題

京都大学 教授 藤田正治
Masaharu FUJITA

A-7 河川植生の維持管理～基本と実践～

土木研究所自然共生研究センター 主任研究員 大石哲也
Tetsuya OISHI

A-8 ダムおよび河川のニーズに立脚した流砂系総合土砂管理と貯水池土砂管理

京都大学 教授 角 哲也
Tetsuya SUMI

2017年度（第53回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 17-A-1

堤防における土粒子－土－地盤構造と
水の相互作用

名古屋工業大学 教授

前田健一

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2017年8月

堤防における土粒子－土－地盤構造と水の相互作用

Interactions among water, soil particle, soil mass and soil structure in levees

前田 健一
Kenichi MAEDA

1. はじめに

近年の気候変動により中流域の都市部では集中豪雨の頻度が増し、都市化の影響もあって河川水位は急激に増加する傾向にある。また、高水位が長期的に継続するなど河川堤防への負荷は年々深刻化している。その一方で資産の集中が進む都市部を守るため河川堤防に求められる機能は高度化している。そのため近年の特徴的な水理条件のシナリオ (図 1.1) における堤防の応答を理解し、メカニズムに基づく安全性評価技術を開発する必要がある。

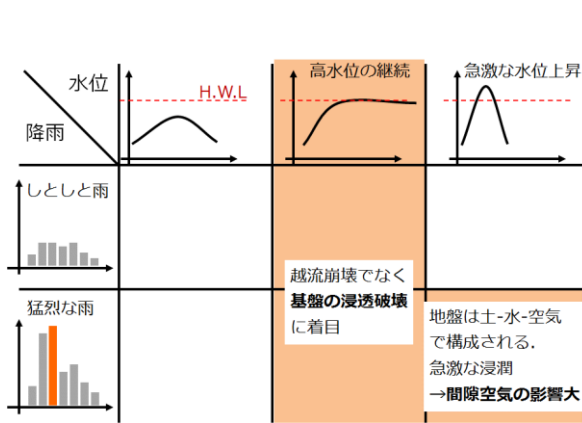


図 1.1 気象変動による着目すべき外力のシナリオ

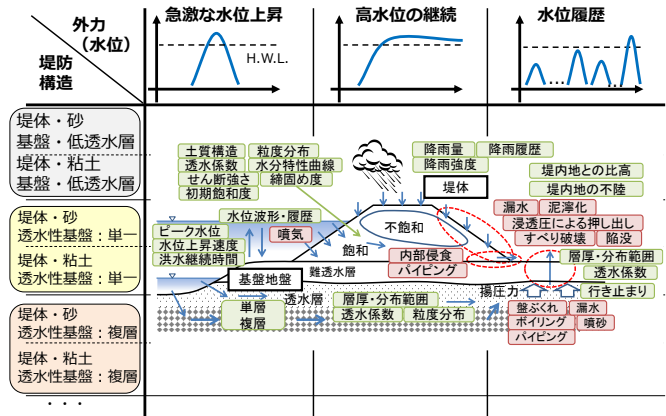


図 1.2 構造特性と外力を一体に捉える堤防の応答の理解

最初に着目するシナリオは急速浸潤である。土構造物の安定性において、作用する水位の上昇や地下水位の上昇による土の有効応力の低下に伴うすべり破壊については従来から良く検討されてきた。しかし、最近では、降雨の浸透において降雨強度、降雨波形や土質、初期含水比の関係の再考が必要となっている。次に着目すべきシナリオは、継続時間の長い高水位であり、作用する圧力の増加だけでなく、流速や浸透量の増加によって従来想定されていた破壊モードとは異なるモード (もしくは軽視していたモード) の検討も必要となっている。堤防などの土構造物の弱点箇所の評価は地盤条件や水理条件のどちらか一方だけに支配されるのではなく、地盤特性や外力特性の組み合わせによって決まることになる (図 1.2)。水と土のかかわりの整理と新たな知見の集積が重要である。

また、2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では、巨大な津波が東北地方を中心とした沿岸域に襲来し、沿岸地域では甚大な被害が発生した。今後発生が想定されている南海トラフ地震では、同規模またはそれ以上の地震動および津波が想定されており、沿岸域の防災・減災に向けてハード対策となる海岸構造物については、課題を明確化し、早急に解決する必要がある。そのひとつとして、地震動と津波の複合外力作用下の安定性が挙げられる。想定外力と被害程度を明確化すべきである。一方で、長時間作用する津波流を防波堤等の構造物単体で防ぐことが難しいとの認識もあり、沿岸域の津波防御について地域海岸ユニットを対象とした多重防御システムが考えられるようになってきた。よって、構造物単体 (例えば、防波堤) においては、果たすべき性能規定について考察する必要がある。そのためには、破壊モードや破壊に至る条件を踏まえた上で、設計概念を明確にし、粘り強い構造化に向けた対策方法の検討が重要であり、幅広い流速下での土と水の相互作用についての再考が必要である。

以上から、本稿では、土と水の相互作用について、なるべく幅広く、基礎的な知見をまとめることを目的とした。土の透水性、浸透による液状化、クィックサンド・ボイリングをキーワードに、土粒子レベルでの限界流速～土塊レベルでの透水特性～土構造物レベルの浸透に対する安定性といった、マルチなスケールの視点での整理を試みた。土構造物レベルの安定性としては、単純化された法面内ですべりを発生させようとする作用と浸透方向との関係を示した（基礎的であるが学ぶべき点が多い）。河川堤防の浸透破壊、決壊、液状化の詳細については、過去の水工学夏期研修会講義集（例えば、第49回・杉井俊夫；第50回・中川一）をご参照頂きたい。また、水と土の相互作用が強いとおもわれる現象について、著者らの研究成果も紹介しながら新たな課題についてもふれている。それぞれの項目においては厳密性・専門性に欠ける記述もあるとともに、紙面上の都合から重要箇所の記述の取りこぼしも少なくないとおもわれる。ご容赦いただきたい。

2. 水と土

2.1. 土の耐力

土は含んだ水分量によって、その様子が大きく異なる（図2.1）。例えば、円筒の容器に乾燥した砂を入れ、そつと容器を持ち上げると、その砂に特徴的な傾斜角度の砂山が作られる（図(a)）（急な斜面は形成できないが、摩擦によってある程度の量の砂は崩れない）。また、適度に湿らせた場合では柱状のタワーが作れるほどの強度を發揮する（図(b)）。一方、水に浸ったような飽和の場合（図(c)）では、強度は減少し、振動を加えると流動化してしまう（図(d)）。適度な水分状態を保つことで土は最も耐力を發揮できる。土構造物の管理では、①水を入れない、②侵入した水は速やかに排水すること、が重要視されていることも以上の簡単な実験からも実感できる。

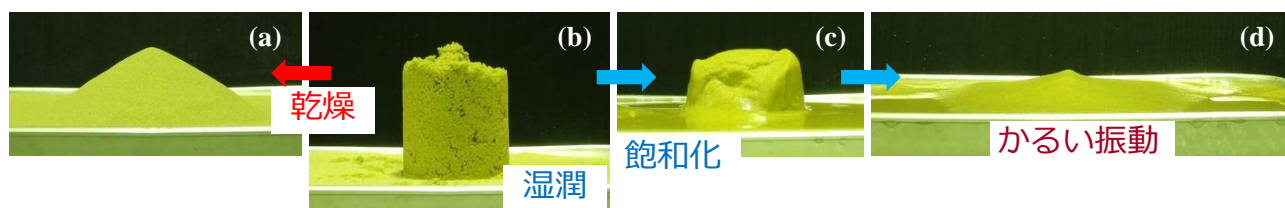


図 2.1 土の含水状態による耐力の変化

2.2. マルチなスケールで捉えることの重要性

浸透による堤防の破壊現象の中のパイピング破壊を例として考えてみる。この問題が難解とされる要因の一つとして、現象がマルチなスケールにまたがっていることにある（現象が階層化されているとも言える）。土粒子レベルの運動から土塊レベル、土構造物としての構造物レベルなど、様々なレベルのスケールによる現象が相互に影響を及ぼしあっている（図2.2）。具体的には、作用する水位が一定でマクロスケールである構造物レベルで現象が停滞・平衡して見えても、よりマイクロなスケールの土粒子や土塊レベル、その中間のレベルでは現象が進展し、マクロな堤防構造全体の破壊をもたらすことがある。

材料力学においては、破壊現象について多くの成書があり、破壊は脆性破壊や延性破壊、安定破壊と不安定破壊などに分類され、それぞれの発生・発達条件は定量的に議論されるとともに、メカニズムに基づいた破壊制御についても記述されている。自然由来の基礎地盤と歴史的構造を持つ堤体からなる堤防は人工材料とは違うとの意見もあるが、議論が閉塞しないためにも他分野の歩みも参考にすべきであろう。

パイピング現象についても間隙流れの局所化による局所的な安定・不安定破壊の連鎖として捉え、発生から発達、破堤到るまでの過程に潜むメカニズムの解明が必要である。土粒子の搬送、沈降・堆積、粒子骨格（粒子が鎖状に繋がり力を伝える応力鎖）や土塊のアーチ作用の発生・消滅などのマルチスケールでのダイナミクスに着目することで、土質－水理の両視点を融合することが重要である。特に、噴砂動態（孔の幾何の変化、流れ構造等）と空洞進展に及ぼす透水性基礎地盤の複層構造（上層：細砂、下層：砂礫）の考慮が必要である。浸透による様々な

2017年度（第53回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 17-A-2

河川災害と維持管理

国土交通省近畿地方整備局 企画部長

井上智夫

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2017年8月

河川災害と維持管理

Flood Disaster and Maintenance of Rivers in Japan

井上 智夫

Tomoo INOUE

1. 近年の河川災害

近年の河川災害の特徴と課題を被害の観点から整理する。

平成23年8月の紀伊半島豪雨（台風12号）災害、平成24年7月の九州北部豪雨災害、平成25年9月の台風18号による近畿地方の水害、平成26年8月の広島土砂災害等、近年全国で発生している水害等による被災者からは「今まで経験したことがない」という言葉が頻りに聞かれるようになった。確かに時間100mmを超える降雨の発生頻度が年々増加する等、自然災害をもたらす外力に変化が認められる。しかし、一方で、都市化の進展、高齢化の進行や被災経験の減少による意識の変化等、自然災害を受け止める社会の耐力が脆弱化していることも見過ごせない。

このような状況を踏まえ、国土交通省は、平成27年1月20日「新たなステージに対応した防災・減災のあり方」¹⁾をとりまとめた。そのとりまとめにおいては、

- 最大クラスの大雨等に対して施設で守りきるのは、財政的にも、社会環境・自然環境の面からも現実的ではない。
- 「比較的発生頻度の高い降雨等」に対しては、施設によって防御することを基本とするが、それを超える降雨等に対しては、ある程度の被害が発生しても、「少なくとも命を守り、社会経済に対して壊滅的な被害が発生しない」ことを目標とし、危機感を共有して社会全体で対応することが必要である。

という基本的な考え方が示された。この考え方は、東日本大震災による津波災害から得られた教訓とも軌を一にしており、その後の水関連災害（水害、土砂災害、津波災害）対策の共通の考え方となっている。

その後、平成27年9月の関東・東北豪雨災害では、鬼怒川において堤防の決壊を伴う甚大な被害が生じた。鬼怒川における水害から得られた課題と教訓は、以下に掲げるとおりである（「大規模氾濫に対する減災のための治水対策のあり方について」、社会資本整備審議会、平成27年12月）²⁾。

- ・ 堤防決壊に伴う氾濫流により家屋が倒壊・流失したことや多数の孤立者が発生したことを踏まえると、住民等に対し、堤防の決壊に伴う氾濫流により家屋の倒壊等のおそれがある区域（家屋倒壊危険区域）、浸水深が大きい区域、長期間浸水が継続する区域からの立ち退き避難を強力に促す必要がある。しかしながら、この度の水害を踏まえ



写真—1 平成25年9月の淀川水系桂川の災害

ると、河川管理者等から提供される防災情報の分かりにくさや説明不足等もあり、市町村、住民等ともに、水害リスクについての知識や心構えが十分ではなく、各主体がいざというときに適切に判断し行動することができないことが懸念される。

- この度の水害では、市境を越えた広域避難が実施されたが、これは常総市内の避難場所への避難が困難になったことを受けて、緊急的に調整し実施されたものである。このような広域避難について事前に十分な準備がなされなければ、より大規模な氾濫やより多数の避難者が発生した場合には、避難が間に合わなくなることも想定される。
- 水防団員や消防団員の減少・高齢化・サラリーマン化が進行している中で、洪水時において水防活動に従事する人員の今後より一層の減少が見込まれている。また、様々な災害に対応しなくてはならない消防団が水防活動を担っている場合が多く、水防活動に関する専門的な知見の習得が必ずしも十分ではない場合もある。一方で、きめ細かな避難誘導等、近年、期待される水防活動は量的にも質的にも増加しており、多岐にわたる水防活動を的確に実施できなくなることが予想される。
- 家屋の倒壊・流失、長期間の浸水という水害リスクが住民等に十分に伝わっていないため、前述の避難行動だけでなく、住まい方や土地利用等にも活かされていない。
- この度の水害では堤防整備に至っていない箇所で決壊した。一方、河川整備を進めるためには上下流バランスの確保等を図る必要がある、また財政等の制約もあることから、氾濫の危険性が高い区間であっても早急に解消することは困難な場合がある。このような区間においては、相当の期間、そのままの状態が継続することとならざるを得ない。このことに加え、今後の気候変動も踏まえると、整備途上はもちろんのこと、整備が完了した区間であっても堤防の決壊による甚大な被害が発生する危険性が高まることが予想される。これらのことを踏まえると、大規模な洪水に対して被害の軽減を図るためには、従来の「洪水を河川内で安全に流す」施策だけで対応することには限界がある。

さらに、平成28年8月の台風10号による北海道・東北地方における水害では、一級水系の支川の国管理区間の他、都道府県管理の一級河川の支川や二級河川などにおいて越水や侵食等による堤防決壊や溢水などが発生し、これにより家屋流出や橋梁被害が至る所で発生した。小本川等における水害から得られた課題と教訓は、以下に掲げるとおりである（「中小河川等における水防災意識社会の再構築のあり方について」、社会資本整備審議会、平成29年1月）³⁾。

- 中小河川等は、一般に流域面積が小さく河川延長が短く、河床勾配も急である。河道の形状は掘り込み河道となっている場合が多く、有堤区間であっても単断面である場合が多い。
- 中小河川等の流出特性は、流域面積が小さいため降雨のピークから流出までの時間が短く、かつ川幅も狭いことから、局所的に発生する集中豪雨等により急激な水位上昇を引き起こす場合が多い。
- 中小河川等の上流部では狭隘な中山間地域を流下することが多く、大規模な洪水が発生した場合には、河川沿いの狭隘な土地のほとんどが浸水し、全面河道の様相を呈することがある。また、山腹崩壊等により多量の土砂や流木が発生し、河道埋塞による水位上昇等を引き起こす場合がある。
- 河川の整備は、一般に、大河川の下流部など人口・資産が集中し、洪水氾濫により甚大な被害が発生するおそれのある地域を優先的に進められてきた。このため、沿川の人口や資産が分散あるいは点在している中小河川等は、河川整備計画が作成されている河川も少なく、河川整備も比較的遅れていることが多い。
- 都道府県が管理する河川の延長は、約113,000km（一級河川は約77,500km、二級河川は約35,900km）と国管理河川の約10,600kmに対して格段に長く、水位観測や河川測量などが十分に行われていない場合が多い。

これらの教訓も踏まえ、平成29年5月、水防法が改正された。今回の法改正のポイントの1つは、大規模氾濫減災協議会の設置である。協議会は、地域防災・水防を行う市町村と堤防・ダム等の整備・管理を行う河川管理者（国、都道府県）だけでなく、气象台、警察、消防、自衛隊、公共交通事業者等にも加わってもらい、多様な防災関係者が連携できるように構成される。協議会は、市町村長が洪水の危険性を踏まえて避難勧告等を発令する際に必要な事項等について協議される等、「地域防災」と「水防」と「河川管理」をつなぐ重要な役割を担うことになる。

2017年度（第53回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 17-A-3

都市を襲う水災害の防除の現状と課題

関西大学 教授

石垣泰輔

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2017年8月

都市を襲う水災害の防除の現状と課題

Prevention and Its Problem of Extreme Urban Flood

石 垣 泰 輔

Taisuke ISHIGAKI

1. 都市を襲う水災害

1982年7月23日に発生した長崎豪雨災害では、299名の死者・行方不明者に達し、その87.6%が土砂災害によるものであったが、道路冠水や中小河川の氾濫、車の漂流や地下室浸水などの都市で発生する被害が顕著となった¹⁾。その後、1999年と2003年の福岡豪雨災害²⁾、2000年の東海豪雨災害³⁾など大都市での被害が発生した。1993年には赤坂見附駅が浸水、2011年には大阪市で時間雨量77.5mmを記録した豪雨により道路冠水や地下空間浸水が発生している⁴⁾。このように、近年、都市を襲う水災害が頻発している。

東京、名古屋、大阪、福岡など、わが国の都市の多くは河川が運んできた土砂で形成された沖積平野に存在しており、国土の10%の平野に、50%の人口と75%の資産が集中している。そのため、浸水被害が発生すると甚大な被害が発生する。このような都市は水災害を容易に受け入れる素因（場の条件）を有しており、地球規模の気候変動や都市化の影響によって強度をました降雨、台風に伴う高潮や地震に伴う津波が引き起す水災害の誘因（外力）による被害が頻発している。さらに、高度化する社会の要請に伴う地下水の利用に起因する地盤沈下や地下空間の多目的利用など、被害を拡大する要因が存在する。例えば、東京湾、伊勢湾（名古屋）、大阪湾沿岸についてみると、それぞれ4m、1.5m、2m程度の地盤沈下が発生し、平均海面より低いゼロメートル地帯に多くの人々が住んでおり（東京湾：116km²に176万人、伊勢湾：336km²に90万人、大阪湾：124km²に138万人）、そこに地下鉄や地下街などの地下空間が存在している。都市を襲う水災害とは、短時間豪雨による内水氾濫（雨水出水）、河川の氾濫による外水氾濫、台風に伴う高潮氾濫および地震に伴う津波氾濫であり、以下に災害事例を挙げて何が起きているのかを見る。

内水氾濫（雨水出水）および外水氾濫事例から分かること： 1時間降水量のわが国の最高記録は、前述した1982年7月23日に発生した長崎豪雨災害時に長与町で観測された187mmである。近年、“集中豪雨”、“ゲリラ豪雨”、“記録的短時間大雨情報”といった言葉が頻繁に報道されるように、この記録に匹敵する豪雨が発生しており、2008年には岡崎市で1時間雨量146.5mmを観測している。この背景には、地球温暖化による気候変動およびヒートアイランド現象などの影響により集中豪雨の発生回数が増加しているという事実がある。たとえば、時間雨量50mm以上の集中豪雨の年平均発生回数は、1981年から1990年では年平均160回であったのが、2001年から2010年では年平均217回に増え、時間雨量が80mm以上の集中豪雨の発生回数は、1981年から1990年では年平均12.5回であったものが2001年から2010年では平均16.2回に増加している。特に最近の水害を見ると、200mm～300mmの降雨が2～6時間という短時間に集中して降り、下水の能力を越えた内水氾濫や堤防から溢れる外水氾濫が発生している。

都市域では、雨水を排水するために下水道が整備されているが、その排水能力は、1時間に30mm～50mmの雨を対象として設計されている。しかしながら、上に述べたような短時間豪雨が都市域で発生した場合、雨水の排水能力を上回り、内水氾濫が発生する。都市部では、内水氾濫による被害額が外水氾濫による被害額を超えているのが現状である。路上に溢れた水は、写真1のように局所的に地盤の低い区域に溜まる⁴⁾とともに、より低い位置にある地下街や地下鉄などの大規模地下空間やビルの地下室、地下駐車場、鉄道等の下をくぐるアンダーパスなど

の小規模地下空間へと浸入し、甚大な人的・物的被害をもたらす。また、マンホールからの噴出による被害、集水域越境による浸水域の拡大、側溝への転落事故などが発生する。

河川堤防の越水・破堤などによる外水氾濫でも同様の被害が生ずるが、雨水排水を下水道施設と小河川が担っている都市域では内水氾濫と外水氾濫が同時に起こり、これまでに想定していなかったような 1999 年の福岡豪雨災害時の地下鉄浸水や 2000 年の東海豪雨災害時の排水ポンプの機能不全による浸水長期化(写真 2)などの被害が発生した。このような外水氾濫では、土砂を大量に含んだ河川水が溢れることによる被災後の土砂処理、浸水深が深いために床上浸水や家屋流出による大量の瓦礫処理が問題となるとともに、車両の水没や漂流も問題である。



写真 1 2011 年 8 月豪雨の浸水状況

津波氾濫事例から分かること： 2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う津波により沿岸域の市町村が甚大な被害を受けた。大地震による人的被害の主要因は、1923 年 9 月 1 日の関東大震災では火災、1995 年 1 月 17 日の阪神大震災では建物倒壊であったが、東日本大震災では津波が主要因であった。この震災を契機として 2012 年 8 月 29 日に内閣府が南海トラフ巨大地震に伴う津波による浸水計算結果を公表して以来、被災可能性のある都道府県や市町村で津波はハザードマップが作成されて対策が進みつつある。このように都市を襲う水災害に津波氾濫を考慮する重要性が認識されているが、発生後 6 年を経過した現在、復興の地域格差をいかに解消するかが問題である。



写真 2 2000 年 9 月東海豪雨災害

高潮氾濫事例から分かること： 1917 年 10 月 1 日に東京湾を襲った台風に伴う高潮(最高潮位 T.P.3.0m)による死者・行方不明 1324 名、1934 年 9 月 21 日に大阪湾を襲った台風に伴う高潮(最高潮位 T.P.3.1m)による死者・行方不明者 3036 名、1959 年 9 月 26 日に伊勢湾を襲った台風に伴う高潮(最高潮位 T.P.3.9m)による死者・行方不明者 5095 名というように 1000 名を超える高潮被害が 3 大湾沿岸都市で発生している。いずれも 59 年～100 年前の都市を襲った災害であり、高度化した構造を有する現在の都市を襲った場合に何が起きるのかを 2012 年 10 月のハリケーン・サンディによる高潮災害が暗示している。この災害では、地下鉄や地下道路トンネルが水没するという被害があったが、タイムラインによる発災前後の対応が功を奏して短期間に復旧した部分もあるが、写真 3 に示したマンハッタン島南端の地下鉄駅は復旧に数カ月間を要した。この地区の地盤高は海水面より 3 m 程度高いが、前述したようにわが国の都市ではゼロメートル地帯があり、そこに地下鉄などの地下空間が存在するため、同様の被害が発生した際の被害を推定することは容易である。



写真 3 2012 年 10 月のハリケーン・サンディ被害で閉鎖された地下鉄入り口

その他の考慮すべき事項： 以上のように都市を襲う水災害により何が起きているか、また何が起きるかが推定できるが、被害が拡大する要因として、土地利用の高度化と人口集中、高齢化者社会の進展、氾濫流による人や物の漂流といった避難の困難度要因を考慮する必要がある。次章では、都市特有の水災害である地下空間浸水を取り上

2017年度（第53回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 17-A-4

ダムの維持管理
— 堤体及び基礎地盤を中心として —

土木研究所 理事

山口嘉一

国土交通省国土技術政策総合研究所
大規模河川構造物研究室長

金銅将史

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2017年8月

ダムの維持管理—堤体及び基礎地盤を中心として—

Maintenance of Dams and Their Foundations

山口 嘉一・金銅 将史

Yoshikazu YAMAGUCHI・Masafumi KONDO

1. はじめに (概説)

ダムは河川流域の治水・利水を担う最も重要な社会資本の一つであるが、1960年代から1970年代にかけて多くの大規模ダムが建設されたわが国では、この時期に建設されたダムが一斉に完成後50年を迎えつつあり(図-1)、完成後50年以上経過したダムは2020年には59%と過半数を超える見込みである。このため、今後経年劣化等により設備の維持・修繕等が必要となるダムが増加するものと考えられるが、ダムはその規模や役割から機能停止を伴う全面更新が困難な構造物であるため、長期にわたって各々のダムが持つ洪水調節、流水の正常な機能の維持及び利水補給等の機能を確実に発揮していくことができるよう計画的に維持管理していくことの重要性がますます高まっている。

なお、ダムの維持管理にはダムの堤体や放流設備等の各種設備、貯水池なども含めた施設の機能維持のための維持管理(施設管理)と放流量の調節などダムの操作・運用を中心とする流水の管理が含まれる。本稿では、このうちダムの長期供用の観点から施設管理としての維持管理を取り上げ、点検・検査等の仕組みや実務におけるダム施設の維持管理の実際について紹介するとともに、長期供用に向けて求められる健全度診断、保全対策の技術のほか、供用中のダムの機能の向上や回復を図るダム再生の技術についても触れる。

なお、施設管理としてのダムの維持管理には、堤体などダム本体のほか機械設備や電気通信設備などの諸設備や貯水池及びその周辺斜面の管理なども含まれるが、本稿ではダム本体の維持管理を中心に著者らが土木学会刊行の『社会インフラメンテナンス学 III 部門別編(ダム編)』¹⁾に紹介した内容の要点を中心に述べる。ダム本体以外の諸設備や貯水池等も含めたダム施設全般の維持管理については同書をあわせてご参照いただきたい。

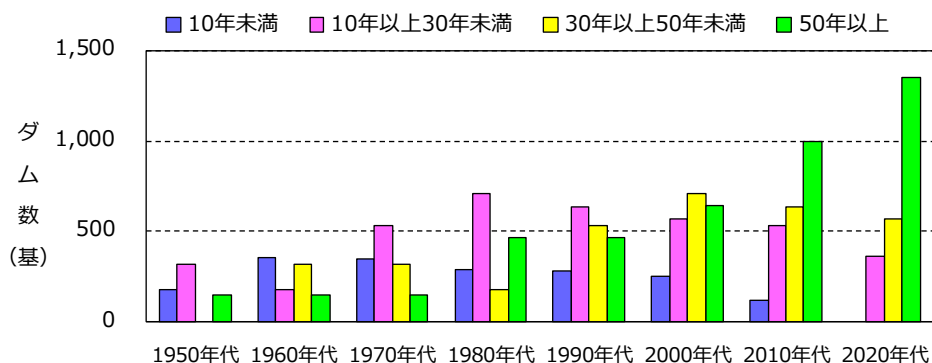


図-1 既設ダムの完成後経過年数区分の経年推移¹⁾

2. ダムの機能と維持管理の対象

2.1 ダムの機能・型式と維持管理

一般にダムを設置目的は大きく治水と利水に分けられ、それぞれの目的のために貯水容量を持っている。治水とは河川における洪水調節のことで、利水には、農業用水（灌漑）、水力発電、水道用水、工業用水などが含まれる。また、河川の良好な環境の維持を目的とした流水の正常な機能の維持のための容量も有している場合がある。ダムは1つの目的だけを有する場合と複数の目的を有する場合があり、治水を含めた複数の目的を有するダムを多目的ダムと呼ぶ。

また、ダムはその型式として、一般にコンクリートを主材料としたコンクリートダムと土石を主材料としたフィルダムに大別される。このうちコンクリートダムでは重力式コンクリートダムとアーチ式コンクリートダムが主なものであり、その他少数ではあるが中空重力式コンクリートダム及びバットレスダムがある。また、フィルダムには土質材料を主として用いたアースダムとより大きな岩石材料を用いたロックフィルダムがある。アースダムは堤体材料がほぼ均一の均一型ダムとゾーンごとに異なる材料を用いるゾーン型アースダムがあり、ロックフィルダムには、堤体内部に土質材料等による遮水壁を有するゾーン型ロックフィルダムと堤体表面にアスファルトあるいはコンクリートによる遮水壁を有する表面遮水壁型ロックフィルダムがある。これらのうち代表的なダムの型式を図-2に示す。

このようにダムには種々の型式があるが、個々のダムの維持管理は、これらダムの型式によって異なる堤体材料や構造的特性の違いを十分に踏まえて行うことが重要である。また、ダム本体以外の各種設備や貯水池及びその周辺斜面など維持管理の対象は多岐にわたるため、土木、地質、機械、電気通信、環境など様々分野の知識と技術を総合的に活用して行っていく必要があることもダムの維持管理の大きな特徴である。



(a) 重力式コンクリートダム (b) アーチ式コンクリートダム (c) ロックフィルダム (d) アースフィルダム

図-2 代表的なダムの型式²⁾

2.2 ダムの構成要素と維持管理の方針

ダムの維持管理の対象には、一般に堤体等のダム本体や洪水吐きのような土木構造物のほか、放流設備等の機械設備、電気通信設備、貯水池周辺斜面、流水管理や施設の安全管理のために設置される各種観測・計測設備などがある（図-3）。そして、これらはそれぞれその機能、構成材料、構造などが異なる要素から構成されている（図-4）。

ダムを適切かつ効率的に維持管理していくには、このような維持管理の対象を様々な構成要素に細分し、各々の重要度を適切に考慮し、重要度に応じた管理水準を設定することが合理的であると考えられる。このため、供用30年以上のダム等を対象として最近国土交通省のダムで制度化された「ダム総合点検」³⁾（3.2 参照）では、細分したダムの構成要素ごとに、求められる性能や劣化・損傷を受けた場合のダム自体の機能や安全性に及ぼす影響を考慮して必要な管理レベル（管理水準 H（高）、M（中）、L（低））を設定し、この管理レベルと健全度評価結果の両者を考慮して、構成要素ごとに予防保全、事後保全などの対処方針を作成する考え方が取り入れられている。

2017年度（第53回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 17-A-5

点検データを活用したアセットマネジメント

大阪大学 准教授

貝戸清之

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2017年8月

点検データを活用したアセットマネジメント

Infrastructure Asset Management based on Actual Inspection Data

貝戸清之

Kiyoyuki Kaito

1. はじめに

インフラの老朽化が団塊的に進展する中で、国内の主な高速道路会社はインフラに対する大規模補修・更新計画を公表した。残念ながら、現時点では大規模補修・更新に要する予算総額や対象路線が決まっているのみであるが、今後は具体的な補修・更新計画の提示に加え、厳しい財政状況下において、インフラの点検・維持管理の重要性、それに伴う予算確保の必要性を国民や利用者に対して説明していくことが重要である。もちろん、従来から管理者や維持管理業務に携わる専門技術者は、インフラの健全性を点検によって把握し、その結果に基づいて劣化予測を行い、経済状況を勘案しながら補修・補強に対する意思決定を行ってきた。アセットマネジメントはこの一連の意思決定過程に他ならない。一方で、このような暗黙知による経験的な意思決定過程を、形式知による体系的な意思決定過程へと視覚化していくことにアセットマネジメントの意義がある。暗黙知は専門技術者個々に蓄積される。形式知はそれに関わる組織内で集約されるだけでなく、修正や改善が可能であることから共有知となり得る。最終的には、形式知の共有化を通して、1) インフラ施設の維持管理に対する説明責任を果たすこと、2) インフラ管理者の組織内において知識の共有化を図り、技術を継承すること、が可能となる。

アセットマネジメントは実学であり、基本的にはこれまでの意思決定過程を踏襲した方法論でなければ実務に供されることはない。その一方で、暗黙知で形成された従来の意思決定過程を単純に形式知化するだけでなく、現場におけるデータ収集、分析過程の高度化、業務の効率化を通じて、補修・更新計画を戦略的に高度化することが重要である。現時点において、多くのインフラ管理者が目視点検や定期点検のデータに基づいて意思決定を行っている以上、これらの点検データを用いた方法論を構築することが不可欠である。この点に関して、特に著者は、日常・定期点検で獲得できるデータを中心に方法論を構築するという徹底した現場主義を研究開発の哲学としてきた。意思決定を実施するための情報は現場に蓄積されている。しかし、これらの情報は紙媒体でしか保存されていないことが少なくない上に、1つ1つが不完全情報であり、単純な統計分析では有意な情報をもたらさない。不完全情報が膨大に蓄積されたときに、そこから有意な情報を引き出すための分析技術、すなわち知的技術が必要である。このような考え方はビッグデータ概念と整合的であり、さらにこのような考え方のアセットマネジメントが実務に浸透してきた背景には、インフラに生じ得る複雑な事象（主に劣化事象）を説明するための確率モデルと、その推計手法としての統計学（近年では特にベイズ統計学）の発展がある。

2. アセットマネジメントの概要

マネジメントの概念を単純化すると、図-1のように「情報」「知識」「意思決定」という3つのプロセスが循環する構造となる。マネジメントとは、最終的に何らかの意思決定を行う行為であると考えられる。当然なが

ら、「意思決定」には「知識」が必要となり、「知識」を獲得するためには「情報」が不可欠である。ただし、単に情報と言っても、高度知識社会と呼ばれる今日において、我々が手にすることができる情報はまさにビッグデータである。このビッグデータから真に有益かつ高度な情報を抽出することがマネジメントの第一歩となるだけでなく、意思決定の質を大きく左右する。しかし残念ながら、アセットマネジメントの実践を念頭に置いた場合、インフラから収集可能な情報は未だに限定的であり、まずは実務を通してどのような情報を獲得することができるのかを把握する必要がある。

また、最終意思決定に至るまでには、通常何らかの制約が課せられる。アセットマネジメントであれば、管理する構造物の数量、経年、種類、状態などが、さらに管理者の人員、技術力、予算などの組織体制も制約となる。また、管理者の所属する組織の体質、文化や歴史、その時々々の社会情勢も制約になる。このような制約条件は、管理者個々により多かれ少なかれ異なる。管理者は、個々に課せられた制約の下で試行錯誤的に意思決定を下し、長年に亘る意思決定過程の中で経験（ノウハウ）を獲得していく。一般的に、アセットマネジメントや維持管理が経験に依存するという所以はこのような事情によると考えられる。したがって、アセットマネジメントの本質は、ある意味において土木技術者の経験を視覚化する、すなわち経験に基づく知識という暗黙知をモデル化することにあるといえる。従来、ヒトからヒトへ直接的に伝えられてきた経験や知識に対して、視覚化された方法論をヒトとヒトとの間に介在させることで、より広範に、より普遍的に技術継承を行うことができる。理想的なアセットマネジメントは、新しい技術継承の在り方を提供し、その持続可能性に貢献するような方法論でもある。

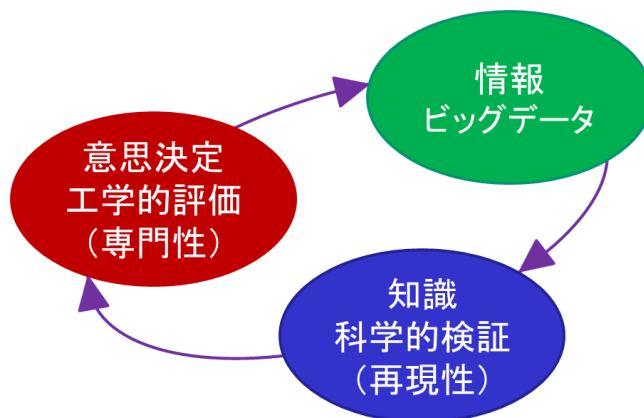


図-1. アセットマネジメントの概要

3. ビッグデータに基づくアセットマネジメント

(1) 意思決定のためのマネジメント曲線

アセットマネジメントの意義をもっとも狭義に解釈し、現有のインフラ施設の長寿命化を達成するためのマネジメントとして位置づけた場合、アセットマネジメントを実践する第1の目的は、ライフサイクル費用の最小化を達成するような最適補修戦略を決定することである^{2),3)}。単純に述べると、ライフサイクル費用は、インフラ施設を維持管理していく上で必要となる費用を見積り、その投資タイミングを決定するだけであり、ライフサイクル費用の最小化問題は概念的には受け入れ易い。ところが、ライフサイクル費用評価に対して、懐疑的な見解が多いことも事実である。ライフサイクル費用を構成する2つの要素（費用と投資タイミング）のうち、費用に関しては過去の実績や補修データベースをもとに信頼性の高い数値を算出することが可能である。また仮に費用に関する情報が存在しなくとも、実際の損傷状態から、補修工法に対してある程度精緻な積算を行うことができる。したがって、ライフサイクル費用評価に対する懐疑的な見解は、もう一方の要素である投資タイミング、すなわち劣化過程のモデル化に関する信頼性の低さに集約される。

2017年度（第53回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 17-A-6

流砂系の土砂動態解析モデルの現状と課題

京都大学 教授

藤田正治

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2017年8月

流砂系の土砂動態解析モデルの現状と課題

Introduction of Sediment Runoff Models on a Basin Scale and Issues to be Improved

藤 田 正 治

Masaharu FUJITA

1. はじめに

流域における水資源開発や治水対策はこれまで着実に進められてきているが、河床変動、濁水、貯水池堆砂、海岸侵食、水生生物生息場保全、河川景観保全といった流域土砂管理に関わる対策が十分実施されてきたとは言い難い。たとえば、安全面での土砂管理、すなわち土砂災害対策については砂防事業として進められているが、河床変動を考慮した洪水災害対策のような土砂管理と連携した治水対策は実施されておらず、気候条件の変化による降雨量や洪水流量の増加に伴う極端な河床低下や河床上昇に耐えるような対策が実施されているとは言えない。また、河川を流れる土砂は水と同様に流域において災害をもたらすと同時に、人間や水生生物などにとって大切な資源でもある。河川生息場保全のための土砂管理は社会的要請も高いと思われるが、その取り組みは限定的でありモデル事業の域を出ていないように思われる。

山地域や河川で実際に行われている土砂管理の主な施策は次のようである。山地域で過剰な土砂生産があれば、治山・砂防技術を使ってそれを抑止し、また、下流域への急激な土砂流出を防ぐために砂防堰堤が設置される。効果的な土砂調節と河川の連続性を維持するために、透過型砂防堰堤を設置する場合も多くみられる。河川では、治水上問題となる河床上昇を抑制するための砂利採取、除石が行われている。いくつかの貯水池では、排砂ゲート、バイパストネルなどを使って、貯水池に土砂を貯めないような貯水池堆砂対策がなされている。貯水池の下流で河床低下や流砂不足による水生生物生息場の物理環境の悪化が問題になっていれば、これらの貯水池堆砂対策は河床低下の改善や生息場保全も目的の一つとして行われる。しかし、このような施設による流砂の制御は技術上の制約や課題があるので、除石や砂利採取などの河川外への土砂搬出や置き土などの土砂還元が必要になる場合が多い。

土砂生産の抑制や流砂の制御は、ある区間またはある地点で発生している局所的な河床変動の問題を解決するために行われる場合が多いが、局所的な施策であってもそれは流砂系全体に影響するという特徴を持つ。例えば、土砂生産源対策により山地域での土砂生産を抑制すると、それは流砂系全体でみれば土砂資源の供給を止めていることになる。その結果、下流域では流砂が不足するために、河床低下や生息場物理環境の悪化などの問題が生じることもある。土砂生産を助長するような対策は社会通念上行うことはできないので、少なくとも山地域での土砂生産抑制対策が流砂系全体にどのような影響を及ぼすのかということを検討しておく必要がある。次の例として貯水池堆砂対策について考える。排砂などの堆砂対策は貯水池自身の機能維持のための施策であるが、貯水池に堆積した土砂を下流に流すと河床上昇や濁水の問題が発生する恐れがあるので、河口域までの土砂環境の変化を検討しなければならない。安全や環境の面で悪影響があれば除石などの対策が必要になるし、生息場物理環境の改善につながればそれがもう一つの目的となり、排砂などの貯水池堆砂対策は促進されることになる。ある地点、ある区間に対策を施して一時的にその成果が認められたとしても、流砂系全体の状況を知りそこで発生する問題を解決しなければ、その対策は持続的なものにはならない。以上のように、土砂管理の問題は流砂系全体の土砂動態を考慮して解決することが肝要である。

上述したように、流砂系土砂管理計画を立案するとき、施策の効果とそれが流砂系全体に与える影響を評価する必要がある。そのためには、流砂系の土砂動態の実態把握と設計された施策を実施した時の土砂動態の予測を行うことが必須である。また、河床変動を考慮した治水対策の観点からも流砂系の土砂動態モデルの構築は必要である。

例えば、豪雨のピーク後に多数の斜面崩壊が発生すれば、下流域ではまず大きな河床低下が発生し河川構造物に損害を与えた後、豪雨終了時には河床上昇しているような場合もある（Mizuyama and Fujita, 1998）。豪雨時には必ずしも河床上昇だけが問題になるわけではなく、山地部で発生する斜面崩壊のタイミングにより河床低下も問題になる場合もある。このようなプロセスが治水対策に反映されるように、土砂動態モデルの開発と活用が望まれる。

これまで多くの土砂動態モデルが提案されており、以上のような問題への適用も可能であろう。しかし、多種多様な現象からなる土砂動態をどの程度表現できているのかについては問題が残されていると思われる。もちろん精緻な土砂動態モデルが必要であるが、精緻なモデルを求める前にまず、核心的な物理的素過程を反映した土砂動態モデルの構築が望ましい。本文では、山地域での土砂生産から河川への土砂供給、その後の土砂輸送堆積までの物理的システムを整理した後、従来の土砂動態モデルをその点から概説し、いくつかの適用事例について紹介し、今後の課題を探る。

2. 土砂動態システム

2.1 土砂生産・流出過程

流砂系の土砂動態モデルを構築するためには、山地斜面から河川下流域における土砂生産や土砂移動現象を体系化し、土砂動態システムを明確にすることが重要である。たとえば、芦田・高橋・道上（1983）は、土砂生産・流出システムを外力、生産過程、輸送過程、堆積場所の点から分類し、相互の関係を図-1のように図示している。外力として、降雨、表流水、地下水、凍上、風、地震、風化、爆発を考え、それによって土砂が生産される過程を侵食、土石流、崩壊、剥離、溶解、火山噴火に分類している。さらに土砂生産後の輸送過程として、浮遊、掃流、土石流、崩落、落下・転動、火砕流、溶岩流を考え、土砂が生産されてから河道、斜面、貯水池、海・湖などの場所で堆積までのシステムを考えている。この図は土砂生産・流出システムを様々な現象の視点から網羅的に表現しており、土砂動態システムを考えるうえで大変有用である。

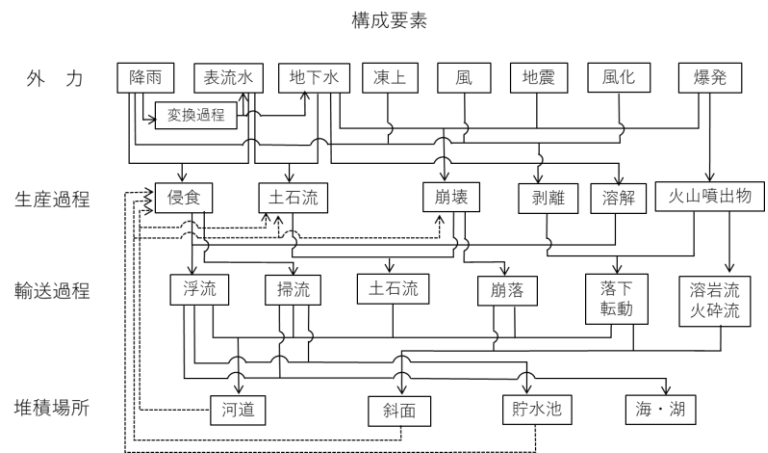


図-1 土砂生産・流出システムの構成要素と相互関係
(芦田・高橋・道上, 1983)

図-1のシステムは、土砂が生産された時を起点としてその運動をラグランジュ的に見たものであり、一連の運動をモデル化して総合化することで流砂系の土砂動態は解析できる。しかし、この一連の過程は多種多様であり、通常そのようなモデル化は行わない。むしろ流域を土砂生産領域と土砂輸送・堆積領域に区切り、そこで発生する現象を図-1の素過程の相互関係を考慮して数式化するという方法が一般的である。

2.2 土砂生産過程・土砂供給過程・土砂輸送過程

図-2は土砂動態システムを土砂生産過程・土砂供給過程・土砂輸送過程に分け、それを体系化した図である。この図を用いて各過程について考察する。

(1) 土砂生産過程

図-1では土砂生産現象として、侵食、崩壊、土石流、火山噴火などが考えられている。土砂がまさに生産される現象を土砂生産と言うとすれば、風化基岩が土砂化する現象や崩壊、火山噴火そのものが土砂生産現象と考えることができ、この過程を土砂生産過程と定義することができる。また、土砂供給過程を生産土砂が河道に流入する過程と定義すると、土砂生産過程と土砂供給過程は斜面での土砂の輸送現象により繋がれることになる。この輸送

2017年度（第53回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 17-A-7

河川植生の維持管理～基本と実践～

土木研究所自然共生研究センター 主任研究員

大石哲也

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2017年8月

河川植生の維持管理～基本と実践～

Maintenance Method for River Vegetation, the Basic Theories and Practices

大石 哲也

Tetsuya OISHI

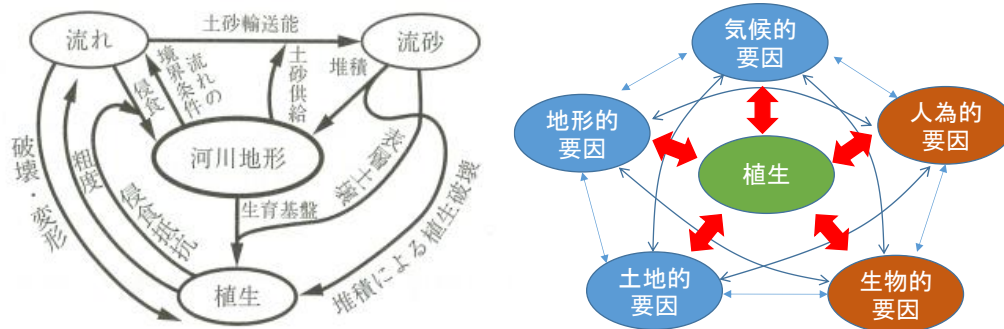
1. はじめに

筆者には学生時代からお世話になっている2人の恩師がいて、それぞれから「日本の川は、管理をしないと藪化する」、「江戸時代の人々が今の川をみたら煮炊きに使える木や草が豊富なのに、これを利用しない現代人はなんでもったいないことをしているかと言うだろうね」と話をしていただいたことがある。少なくとも昭和の初期ごろまでは、まだガスも普及していなかった時代でもあり、子供が朝飯前とばかりに川へ行き、窯へくべる枝葉や落ち葉を拾い集めていた。木の下草は刈り取られ、川面への見通しも良かった。人々は川と共存する生活を余儀なくされており、必然的に川の植物は管理されてきた。河原が広がっている所でも子供たちは遊び、木々を集めていたし、大人たちの中には流れてきた大木を取るため、腰に命綱を巻いて飛び込んで取っていた者もいたという。田舎にも徐々にガスが普及し人が川の利用から遠ざかり、人の暮らしと密着して生きてきた生き物もだんだんに減少して、川が草木に覆われるようになってしまった。そして現在は、環境と治水の両面から植生管理の必要性が問われる時代になった。

また、近年、河川に広がる外来種の問題も植生管理を複雑にしている。古くは山腹や崩壊斜面の安定化を図るため緑化材に外来樹木のハリエンジュが利用されていたことや、1960年代ごろからは、道路のり面のガリ浸食の防止や景観保護の観点から外来牧草が利用されるようになった。外来牧草は、明るい箇所を好み、乾燥に強く、さらに流通性の高い種で早期緑化に最適であった。当時、のり面に外来牧草が生育するのは一時的なもので、数年後～十数年後には地域の周辺植生と一体化すると考えられていた^{例えば1)}。実際に、名神・東名高速道路の切土のり面は、10年後にアカマツ・ヤシャブシが定着し、在来種に置き換わった例もある²⁾。しかしながら、導入された緑化材は、のり面や崩壊跡地から河川に逸脱して河川の生態系に影響を与えるようになった。緑化材に利用されたシナダレスズメガヤ、オニウシノケグサなどは、かつて乾燥が著しく植物が生育できなかった河原や、在来種の生育していた場所まで侵入し旺盛に繁茂している。便利で安全な世の中を実践するため、様々な技術革新が行われてきたが、一方で長い間人と共に暮らしてきた植物にとっては、住み難い環境になってしまった。

現在は、人の管理行為の低下、外来植物の侵入によって、川には木や草が生育し易い環境下にあるという認識を持つておく必要があり、今後は川に植物が生育することを前提とした河道計画や管理が必要とされている。このためにも植物に限らず生き物が関わる計画や事業を扱うときは、生き物の行動パターンを把握したうえで予測・対処することが治水、環境と維持管理にとって何よりも肝要である。

さて、これまでに水工学では、川に生きる植物を生き物というよりもむしろ河川地形に抵抗を与えるものとして捉えてきている(図-1 a)。一方、植物学では、気候・土地・地形といった無機的要因と人為・生物といった有機的要因との関係からどういった植物が生育しそうかという捉え方をしている(図-1 b)。河道の植生管理を行う場合、いずれの考え方も有用だが、管理の実態を目の当たりにすると、河道内に木が増えると重要種でない限り、治水のためにその場しのぎに伐採をする例を良く見る。この他、河積が足りないという理由から河川敷を平水位面ぎりぎりまで地盤を切下げる例が近年増えて、湿



a) 河川地形と植生の相互関係³⁾ b) 5つの環境要因と植生との関係⁴⁾

図-1 河川工学と植生学での植生の捉え方の違い

性環境を好むヤナギの増加につながっているケースもある。整備跡地には植物は必ず生えるという考えをもって、どのような植物が生育しそうかを予測し、維持管理を踏まえて事の本質に対処することが重要である。河川の植生管理を行う基本は、その地域、その河川に生育する植物が与えられた環境に対してどのような振る舞いをしそうかを予測することである。植物の特性を踏まえれば、必要に応じて十分な対処方法の検討が可能となる。

本稿では、第2章で河川に生育する植物の特徴や種（タネ）の発芽に関する基本事項を示し、河原に植物が生育する理由を解説する。第3章では、扇状地から自然堤防帯に成立する群落の特徴について解説する。第4章では、河川の植生変化の現状と河川整備による河川植生への影響について解説する。また、地変を伴う整備が多いことを踏まえ、ここでは管理の現場で役立つように地形に対する植物の応答を中心に整理した。地形と植物の関係は、植物のもつ形態的適応を解明するうえでも実に興味深い。例えば、山地に生育するハリエンジュ、ヤシャブシ、河川に生育するツルヨシ、湖沼に生育するコウガイモ、海岸に生育するオヒルギ（マングローブ）、これらの共通点は、いずれも攪乱の著しい水域と陸域に接する地点で生きる植物である。これらの種の生育特性は地上に根を張り巡らせて、母体の安定化を図り、栄養を吸収し成長する戦略を採っている。いずれもの種も必要とする生育場所も栄養も異なるが、地上部を支える根は似通った形態戦略をとっている点に驚かされる。地形と植物は、双方に関連しあっており山地から海岸まで、どこでも適用可能な考え方なので、河川整備や河川管理の場で生かしてもらいたい。

2. 河川に生育する植物の特徴

2.1 河川における植物の種類相

日本全土に生育する植物のうち、維管束類（種子植物、シダ植物）は種レベルで約5,500種あり、そのうち約2,900種が日本固有の種と言われている⁵⁾。さらに、亜種・品種を含むと約8,000種もの植物が野外で観察されている。河川には、河川水辺の国勢調査結果から全8,000種の約70%にあたる約5,600種（亜種、品種を含む）が確認されている。種の内訳に着目すると、約600種（日本全土で約1700種）が環境省の指定する絶滅危惧種で、約1,200種（日本全土で約1700種）が国外から持ち込まれた外来種となっている。在来種が減少し、外来種が増えている背景には、河川の水際域、湖沼の湖岸帯などの地形改変によって生育場そのものが消失してしまったこと⁶⁾、流域から外来植物の侵入によって在来植物の生育場が奪われたこと⁷⁾、また河川敷にある雑木林の利用減少により遷移（succession）が進行したこと⁸⁾などが考えられる。これらの結果として、河川における植物の多様性（diversity）が低下しているとも言われている。

2017年度（第53回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 17-A-8

ダムおよび河川のニーズに立脚した
流砂系総合土砂管理と貯水池土砂管理

京都大学 教授

角 哲也

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2017年8月

ダムおよび河川のニーズに立脚した流砂系総合土砂管理と貯水池土砂管理

Sediment Management in a Sediment Routing System and Reservoir Sedimentation Management Based on Dam and River Basin Needs

角 哲 也

Tetsuya SUMI

1. はじめに

流砂系の総合土砂管理において、ダムの堆砂対策の推進は大きな鍵を握っている。ダムは貴重な社会の財産であり、使い捨てにせず適切な貯水池土砂管理により持続可能な利用を目指す必要がある。ダムの堆砂対策の推進は、後世に負担を回さない「世代間の衡平（こうへい）」の考え方にとって極めて重要なポイントである。

神戸市水道局の布引五本松ダムは、日本最古の重力式ダムとして有名であるが、1900年のダム完成8年後にバイパストンネルが造られ、その後、堆砂対策としてのバイパス機能が長年にわたって有効に活用されてきた。これにより、約25年で貯水池が満砂していたところを、容量的には千年以上の長寿命化が実現したと推定されている。本年5月にこの排砂バイパストンネルをテーマにした国際会議を京都大学で開催し、この技術を世界的にリードするスイス、日本、台湾の3ヶ国を中心に議論を深めた¹⁾。

(<http://ecohyd.dpri.kyoto-u.ac.jp/index/2nd+Bypass+Tunnel+Wokshop.html>)

これらの他にも、安定的なダム排砂が実現されている黒部川連携排砂²⁾や、電力ダムの土砂管理の好事例と考えられる宮崎の耳川水系ダム群の再開発によるダム通砂（洪水吐きを改造して、洪水時に土砂を通過させるように貯水位を一時的に低下）³⁾や、四国的那賀川の長安口ダム下流における大規模な土砂還元（ダム上流で掘削した土砂を下流河道に投入）⁴⁾など、ダムの堆砂対策を基軸とする総合土砂管理が着実に進められている。

一方で、これらの事業の主たるプレーヤーはまだまだダム管理者にとどまっている。カリフォルニア大学バークレー校のKondolf教授は、「Hungry Water (1997)」として、砂利採取やダム建設によって土砂が不足した河川の課題と土砂投入による再生の重要性を指摘した⁵⁾。カリフォルニアでは、サケの産卵床再生を主目的に多くのダムで土砂還元が実施されている。欧州では、近年、「Bed Load Budget（掃流砂の土砂収支）」の変化を評価し、この回復を目指す方針が打ち出された⁶⁾。

日本の総合土砂管理の推進には、ダム管理者と下流管理者の連携、特に、漁業関係者の理解と支持を得ることが鍵となる。そのためには、河川にとっての土砂、特に河道内の地形を形成する掃流砂の役割を、特に河川環境面から改めて定義し、彼らにも理解できる形で提供する必要がある。

天竜川の佐久間ダムは昨年完成60年を迎えたが、侵食海岸の保全等、流域一貫とした土砂移動の連続性の確保が急務であり、現在、佐久間ダムに治水機能を新たに確保し、恒久的な堆砂対策を本格的に進めるダム再編事業が進められている⁷⁾。

一般に、土砂供給は増水時の河床礫表面の平滑化（クレンジング）に貢献するとともに、粗粒化の緩和などに寄与することが期待されている⁸⁾。さらに一歩進んで、天竜川における我々の調査では、アユ産卵環境の再生には、小砂利（30-50mm程度）と酸素を十分含んだ清澄な水の供給が重要であることを示した⁹⁾。そのためには、砂州が年数回の洪水で常にリフレッシュし、砂州内間隙を流れる伏流水（Hyporheic flow）が健全に維持されることが重要である¹⁰⁾。これが汚濁物質（濁水や粒状有機物）のフィルタリングと浄化に働くとともに、砂州下流部の湧水に伴う上昇水が、産卵床に好適な軟らかい河

床を形成・維持することになる。

熊本県の球磨川荒瀬ダムでは、一昨年春にダム撤去工事によりコンクリート堰堤の一部が河床まで切り下げられた結果、ダム上流から粗粒土砂の流出によってダム直下に新たな砂州が形成され、新たな湧水環境が創出されるとともに、下流の砂州では近年にないアユの産卵数が確認された¹¹⁾。

このようにダムを巡る総合土砂管理の事例は積みあがってきているが、ここでは、アセットマネジメントとしてのダムの堆砂対策の基本的な考え方、さらに一歩進んで、ダムおよび河川の両方のニーズに立脚した流砂系総合土砂管理と貯水池土砂管理を進めるための課題と今後の方向性について改めて考えてみたい。

2. ダムを巡る最近の話題

2.1 ダム再生ビジョン

平成 29 年 6 月 27 日に国土交通省水管理・国土保全局治水課および河川環境課より、「ダム再生ビジョン（～頻発する洪水・渇水の被害軽減や再生可能エネルギー導入に向けた既設ダムの有効活用～）」が発表された¹²⁾。(http://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo05_hh_000029.html)

これは、近年における厳しい財政状況等の社会情勢、洪水・渇水被害の頻発や気候変動の影響の顕在化、既設ダムの有効活用の様々な特長（※1）や、これまでの事例の積み重ねによる知見の蓄積、これを支える各種技術の進展（※2）を踏まえて、ソフト・ハード対策の両面から既設ダムを有効活用することの重要性はますます高まっていることを背景とし、また、国土交通省では社会全体の生産性向上につながるストック効果の高い社会資本の整備・活用等を加速することとして、「生産性革命本部」を設置しており、「生産性革命プロジェクト」の一つとして、既設ダムを有効活用する「ダム再生」を一層加速させるための方策としてとりまとめられたものである。

※1 既設ダムを有効活用する「ダム再生」の特長

- ・利水容量を洪水調節に活用するなど運用改善だけで新たな効果を発揮
- ・ダム堤体のわずかな「かさ上げ」で貯水容量を大きく増加 など

※2 「ダム再生」を支える各種技術の進展

- ・レーダ雨量計の高性能化によるダムの運用改善
- ・ダム貯水池における高い水圧がかかる大水深での大口径の堤体削孔 など

この審議過程においては、一般社団法人ダム工学会によってとりまとめられた、「これからの成熟社会を支えるダム貯水池の課題検討委員会 報告書 ―これからの百年を支えるダムの課題―（計画・運用・管理面）2016 年 11 月」における、「永く使う」、「賢く使う」、「増やして使う」、「ネットワークで使う」とともに、河川環境の改善や水源地域の活性化等もあわせて推進する、方向性が参考とされた。なお、ダム貯水池の土砂管理に関連する部分を再掲すると以下のとおりであり、今後のダムの有効活用を目指したダム再生事業の加速を期待したい。

・ダムの長寿命化

これまで堆砂が著しいダムで堆砂対策を実施してきたが、ダムを半永久的に活用できる施設としていくため、より効果的・効率的な堆砂対策として、土砂バイパス施設の設置による堆砂の抑制や貯砂ダム、貯水池内への進入路の設置や土砂仮置場の確保等による堆砂排除等、堆砂状況や地形・地質等に応じた対策を一層推進するとともに、知見を蓄積し、新たな工法の積極的な導入を検討する。また、複数ダムが設置されている水系においては、各ダムで連携し、堆砂排除による機能回復等を実施しやすくするために、工事中の貯水機能の代替として他ダムを活用することを検討する。長期的視点を踏まえたダムの