

河川の機能低下と維持管理の基本的な特性 についての考察

Considering the functional decline of the river and the basic characteristics of function
of maintenance of the river.

安原 達¹・関克己¹・河崎和明¹・山本晃一²・鈴木克尚¹・昆敏之¹
Tatsushi YASUHARA, Katsumi SEKI, Kazuaki KAWASAKI, Kouichi YAMAMOTO
Katsuhisa SUZUKI and Toshiyuki KON

¹正会員 (公財)河川財団 河川総合研究所 (〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町11-9)

²フェロー 工博 (公財)河川財団 河川総合研究所 (〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町11-9)

For formalize the characteristics of the functional decline of the river, we organized the basic characteristics of the function and its degradations of the river for practice of river administrator.

Also, this report is to illustrate the characteristics using examples of past disaster and inspection results, and consider the perspective to take a comprehensive and panoramic view of river rather than capturing the function and state for each structure, meaning and issues of affairs which understands the state of river, future areas of technology development.

In addition, using the concept of performance specified in such as "general principles of reliability of the structure" ISO2394, we studied the introduction of acceptable level against degrading rivers, and organized the check methods and empirical knowledge which is necessary to judge it.

Key Words : *system of river, fault tree analysis, PDCA cycle, functional decline of the river
the state of limit*

1. はじめに

近年、頻発する激甚な災害や笹子トンネルの崩落事故などを契機として、社会資本の維持管理への社会的な関心が強まる中、維持管理の重要性が高まっている。このような状況において、平成25年4月に社会資本整備審議会から「安全を持続的に確保するための今後の河川管理のあり方について〔答申〕」¹⁾が答申された。さらに、高度成長期に設置された多くの施設の老朽化等の課題が顕在化する中、「今後の社会資本の維持管理・更新のあり方について〔答申〕」²⁾が答申された。

これら答申を受け、効率的・効果的な河川の維持管理の実施や高度化及び充実化に向け、堤防等点検業務の試行やRMDISデータベースの運用が進むなど、維持管理のPDCAサイクルが本格的に動き出している。これに伴い、技術基準や診断マニュアル等の様々な技術体系の整備が進められている。河川の維持管理は、河道や土堤を始めとする様々な構造物を要素とするシステムとして、河川を俯瞰的に捉える視点が求められるほか、自然公物

としての管理責任範囲や河道等の状態の変化を前提とした管理、評価や予測の不確かさの中での維持管理を実践していかなければならないという特性がある。よって、今後の維持管理の技術基準やマニュアル等の技術体系は、これらを踏まえたものとして発展していくことが求められる。そのためには、他の一般的な土木構造物等との相違を踏まえながら、河道や構造物等についての壊れ方や劣化の過程等の機能低下の特性を捉え、論理的に整理を行い、共通認識や共通言語を整えていくことが必要と考える。

本稿では、システムとしての河川の維持管理と信頼性工学や構造物の性能設計の分野における既存の知見との対比を行い、河川の維持管理の特徴を踏まえながら河川の機能の基本的な特性について維持管理実務の視点から考察を行うとともに、今後の維持管理施策について整理し、維持管理の強化に向けた新たな方向性を提示するものである。

2. システムとしての河川の機能低下

「安全を持続的に確保するための今後の河川管理のあり方について〔答申〕」において「河道が変化して種々の施設の安全性に影響を及ぼすことは、自然公物としての河川の管理の特質」であり、「河道と施設を一体の河道システムとして捉えること」が重要であると指摘されている。これを実務において具体的に実現する必要がある。

システムや製品についての故障を扱い、システムを構成する要素間の関係を整理する手法としてFTA(Fault Tree Analysis)³⁾が一般的な手法となっておりJIS Z 8115「ディペンタビリティ(信頼性)用語」⁴⁾にも定義されている。

FTAでは、故障モード(河川では「破壊メカニズム」に相当)を抽出し、事象記号と論理記号を用いてシステム全体(河川システム)の故障(破壊)とその要因の因果関係を系統的かつ俯瞰的に整理する。システム全体の故障(破壊)を頂上に、その要因や部品(部材または部材)の破壊、破壊を引き起こす原因を下方に整理する。

まず、河川のシステムの機能のうち治水面の主要な機能低下を対象とし、文献⁵⁾や主な被災事例に関する資料を参考に、維持管理の対象としてのまとめりとその構成要素を構造物、部材に分類し、部材の主要な破壊メカニズムと機能を失った状態を限界状態として整理したのが表-1である。

ここで河川の維持管理の特徴である河道については、河床と樹木なる部材から構成される構造物として、限界

状態を「河積の不足」、「河川構造物周辺の洗掘」、「極度の偏流の発生」として整理することで、構造物と同様に限界状態と破壊メカニズムの対応を整理した。

ここで、部材の限界状態には、洪水被害に直結するもの(表-1の下線部)と、局所的な部材の破壊であるが他の部材の破壊に繋がる要因となるもの(表-1の下線部以外)に分類できる。

これより、表-1の部材の破壊メカニズムと限界状態の相互の関係を、機能低下の過程で生じる変状や、その機能低下の要因(動物等の外的な要因や地質や法線形状等の場の特性)の関係について、洪水による被害を頂上事象とするFT図としてまとめたのが図-1である。

図-1から、土堤本体の破壊メカニズムが、被害に直結する4つの破壊メカニズム(越水、堤防の侵食破壊、堤防の浸透破壊、堤防のすべり破壊)とそれらに繋がる破壊メカニズムの連関関係として整理することができる。これにより、これまで河道や堤防等の対象毎に捉えられてきた破壊メカニズムについて、システムとして捉える視点を与えることができる。

このような整理から、河川の機能低下の特性として次のとおり指摘することができる。

図-1では過去の被災事例とそれに破壊メカニズムを示しているが、それらの中は事前に変状を把握して予防保全を行うのは困難であったものもあると考えられる。すなわち、破壊メカニズムが時間とともに徐々に進行して予防保全が行えるものと、変状がなく健全と考えられる状態から一度の洪水の作用によって破壊に至る場合があるものと考えられる。このような特性は一般的にFT図が対象とする劣化特性とは異なる特性であると考えられる。つまり、健全な状態でも被災する可能性があることを考慮する必要があることを意味しており、河川の維持管理においては事前に変状を把握するだけでなくFT図の最下層にある場の特性に着目して被災のしやすい箇所を特定し、洪水時にその進行を監視することも重要となる。

また、維持管理の実務においてこのような図式を用いて河川のシステムとしての機能低下を理解する利点としては、以下が挙げられる。

まず、例えば、点検で得られた変状について原因や今後の影響が推測できるほか、関連して原因と結果の位置関係から機能低下の進行度合いを理解することができる。

また、破壊メカニズムや変状を付番して属性情報と関連付けることで、インデックスとしても利用ができる。例えば、目視点検で把握可能な堤体の変状を属性として検索を行なうと、破壊メカニズムの一項である「基盤材料の流出による堤体の安定性低下」では、機能低下の進その進行過程で機能低下を把握できる点検方法がないことが把握できる。また、被災事例を始め点検結果のデータベース等、様々な情報がこの類型化の枠組の中で整理されることで、情報の共有を容易にすることができる。

表-1 主要な維持管理の対象と破壊メカニズム、限界状態

維持管理対象の定義			部材の破壊メカニズム	部材の限界状態
システム	構造物	部材		
河川	河道	樹木	樹木繁茂による流下能力低下	河積の不足
			樹木による極度の偏流の発達	極度の偏流の発生
		河床	土砂堆積による流下能力低下	河積の不足
			河川横断構造物周辺の河床安定性低下	河川横断構造物周辺の洗掘
			構造物による極度の偏流の発達	極度の偏流の発生
			砂州による極度の偏流の発達	
	堤防	土堤本体	湾曲部・合流部における極度の偏流の発達	侵食破壊
			越流水による堤体の侵食安全性低下	
			洪水流による堤体の侵食安定性低下	浸透破壊
			基盤材料の流出による堤体の安定性低下	
			堤体材料の流出による堤体の安定性低下	すべり破壊
			浸潤による堤体のすべり安定性低下	
		護岸	自然河岸の安定性低下	護岸の崩壊と高水敷の侵食の始まり
			河床洗掘による護岸の安定性低下	
			裏込め材流出による護岸の安定性低下	
			部材の変形による護岸の安定性低下	
			高水敷侵食による護岸の安定性低下	

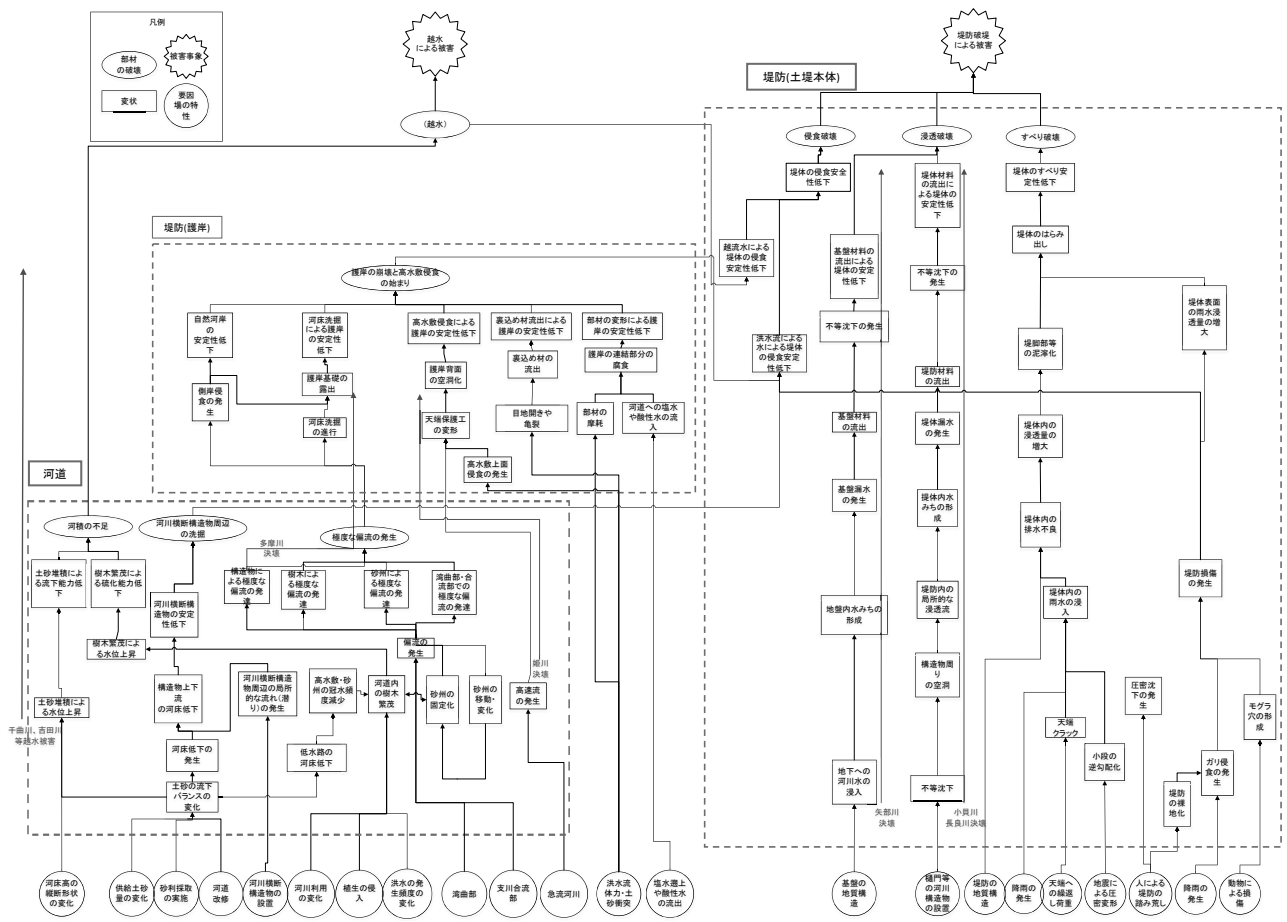


図-1 河川システムの機能低下に関するFT図

「洪水流による堤体の侵食安定性低下」では、堤防の上下方向に構造物や部材が並ぶので、それらの破壊が連鎖してシステム全体の破壊に至ることを示しており、個々の構造物や部材でなく機能を担っている（上下方向に繋がっている）全ての構造物や部材を捉えて状態を判断すべきことを理解できる。

このようにFT図は、河川をシステムで捉える具体的な方法を与えるほか、実務者の視点に手がかりを与え、組織内での議論の共通言語を提供し、情報整理のインデックス機能を提供し、また、経験を伝承することができるものであり、維持管理実務の共通基盤となる体系化技術である。

3. PDCAサイクル

現在の河川の維持管理のPDCAサイクルは、「国土交通省 河川砂防技術基準 維持管理編（河川編）」⁶⁾によると、「河川の維持管理にあたっては、河川巡視、点検による状態把握、維持管理対策を長期間にわたり繰り返し、それらの一連の作業の中で得られた知見を分析・評価して、河川維持管理計画あるいは実施内容に反映していくというPDCAサイクルの体系を構築していく」とされている。これに伴い、現状の維持管理計画は点

検等の実施内容などが詳細に記述され、維持管理のプロセスを中心としたマネジメントプロセスとなっている。

図-2は、「中小河川の堤防等河川管理施設及び河道の点検要領について」⁷⁾に記載されている中小河川堤防目視点検モニタリング情報図の様式に沿って記入した事例である。

ここでは、安全性の照査結果が目視点検の結果の基本情報として併記されている。本事例のように、いわゆる

基本情報	堤防	距離 (km)	28.5	29
		流入出河川、主要構造物		橋梁
		基本断面形状		確保
		土質	堤体	
			基礎地盤	
		要注意地形		
		築堤年代	H11	H12 S4
		平均動水勾配		
		高水位継続時間	97h	101h
		被災履歴、時期		
		対策工実施区間、時期		
		概略評価		
		詳細点検実施		★ H18
		詳細点検結果	川表 (F _a > 1.0)	
			川裏 (F _a > 1.548)	
目視点検情報	重点区間	堤防		
		護岸	被災履歴あり	堤防補修構造物
		表のり面	H26.6降雨により法崩れ	●
		表小段		
		天端		● 車止

図-2 モニタリング情報図の例

カミソリ堤等の整備途上の構造物や古い時代の設計で整備された構造物は、点検の始まる前段階から機能の問題を含んでいる。

河川とは、本来このような様々な初期機能を持つ構造物の集合体であるシステムである。よって、点検に基づく診断を行うだけでなく、関係する構造物の初期機能や設置当時の河道の条件も重ね合わせる見方が必要である。

このように考えると、現状の点検を出発点とした維持管理のPDCAサイクルは、河道計画や施設設計や初期の状態把握（P）に始まり、供用（機能低下、破壊等）を通じて（D）状態把握（C）を行い、維持管理上の対応や計画（論）や設計（論）へのフィードバックを行う

（A）、構造物の機能についてのPDCAとする必要がある。

そのためには、維持管理の対象となるシステム、構造物、部材の機能特性を表現する共通言語が必要となる。

4. 機能とその低下特性

FT図（図-1）で整理した河川の破壊メカニズムについて、機能低下の速度や進行度合い等の特性について考察する。機能低下の特性は、点検や補修等の維持管理の方針に深く関係する基本的な整理事項である。

信頼性工学では一般に、製品の信頼性を材料劣化や摩耗劣化による故障率の大きさをバスタブ曲線で捉えるのが一般的である。時間経過とともに、初期故障が起りやすい初期、安定して一定の確率で発生する偶発期、劣化により故障率が増加する摩耗期として段階的に移行する。JIS Z 8115にもこれらが定義されている（表-3）。

表-3 JIS Z 8115における主な故障の分類

用語	定義の概要
初期 initial failure	使用開始後設計・製造上の欠点などによる故障
偶発故障 random failure	故障率がほぼ一定
経年故障、摩耗故障 ageing failure wear-out failure	時間の経過にもなって発生確率が増加する故障。 疲労・摩耗・劣化現象などによって故障率が大きくなる故障
突発性 sudden failure	事前の試験（調査）または監視によって予見できない故障

一方、コンクリート構造物等の土木構造物では時間とともに機能が低下すると捉えるのが一般的である。また、その疲労の段階の定義としては、構造物の信頼性に関する国際規格であるISO2394「構造物の信頼性に関する一般原則」⁹⁾において初期段階、ひびわれ進展段階、破壊段階に分類され、その定義は表-4のとおりである。

河川の機能低下の特性が工業製品やコンクリートのそれとどういう関係にあるかを考えるためには、機能低下

の要因の特性を理解する必要がある。

ISO2394や、我が国の構造物設計の共通事項をまとめるためにまとめられた「土木・建築に係る設計の基本」⁹⁾では、設計で考慮する作用を永続作用と変動作用、偶発作用の3種類に分類するものとされている（表-5）。

表-4 ISO 2394におけるひびわれの疲労モデル

用語	定義の概要
初期段階	ひびわれが形成される
ひびわれ進展段階	各荷重サイクルにひびわれが安定して進展する
破壊段階	脆性破壊や靱性的な割裂によるひび割れの不安定な進展が起こる、あるいは減少した断面が一般的な降伏により破壊する

表-5 作用の分類

作用の分類	定義の概要
永続作用	絶えず作用 時間的変動が平均値に比較して小さい 一定傾向で単調に増加もしくは減少する傾向
変動作用	大きさの変動が平均値に比べて無視できない 一方向的な変化をしない作用 (風荷重、波浪荷重 ⁹⁾)
偶発作用	確率統計的手法による予測が困難 社会的に無視できない作用

樹木の繁茂のように時間とともに単調に作用が増加するとみなせる永続作用の場合には、機能低下は時間とともに徐々に進行するものと捉えることが可能である。

一方、表-1からわかるように、河川のその他の機能低下は、その作用が洪水に起因し、構造物や部材の供用期間の時間スケールの中で非常に短くその大きさも変動する性質のものである。この作用は変動作用として分類され、変動の発生とともに機能低下が進行すると考えられる。

このように、河川の機能低下は、時間の経過とともに進行するものと洪水の作用とともに進行するものに大別して捉えることができ、本稿においては、それらをそれぞれ経年進行性、洪水進行性と呼ぶこととする。

洪水進行性についての進行特性についてISO2394の破壊力学的方法による破壊モデルとの対比から考察を行う。同モデルでは、ひび割れ大きさの進行を式(1)のとおりに初期ひび割れ、局所主応力の履歴、局所的な材料の耐力の関数として、臨界ひび割れ幅との関係から破壊を評価するものとされている。

$$a_t = f(a_0, \sigma(\tau), R_t) \quad (0 < \tau < t) \quad (1)$$

a_t ：時刻 t 後のひびわれ、 a_0 ：初期ひび割れの大きさ、 $\sigma(\tau)$ ：局所主応力の履歴、 R_t ：局所の材料特性等に依存する疲労耐力

河川における護岸の機能低下の特性をひび割れモデルで類推すると、 $\sigma(\tau)$ は洪水による流体力等の作用の履歴ということになる。洪水の場合には洪水の時に間欠的に流体力が作用することから式(2)のように捉えることができる。

$$a_t = f(a_1, \sigma, R_t) \quad (2)$$

a_1 : 今洪水期前の点検結果によるひび割れの大きさ、
 σ : 今洪水における流体力

河川の場合、度々の洪水を受けて構造物や部材が破壊するのではなく、一洪水における流体力の大きさの方が支配的と考えられる。その場合、式(2)は、機能低下は洪水による流体力の大きさととの関数ということになる。土構造物である土堤の扱いや、具体的な評価手法などは課題であるが、洪水による機能低下と構造物・部材の信頼性を時間の関数でなく外力の関数として捉えていくことが今後の維持管理技術の視点として重要である。

このほか、JIS Z 8115の定義に、監視によって予見できない突発性故障という定義があることにも留意する必要がある。

河川の維持管理は古い時代に築造された堤防のように材料特性が不明なものを対象とし、土堤や河床など状態を把握することができないことが多い。また、それらの情報を得たとしても、分析の精度が十分でなく、判定が困難な場合があると考えられる。これらは、機能の評価が不能と評価せざるを得ない。

また、これまでの技術的知見からは全く想定外の機能低下が発生することもある。

このように、経年進行性と洪水進行性のほか、判断が困難であることを明確にする突発性の概念も加える必要があると考えられる。

5. 限界状態

表-1では破壊メカニズム毎に物理的な破壊を意味する限界状態を定義したが、維持管理の実務では、構造物や部材によって許容する破壊の程度は異なる。要求機能と呼ばれるものである。

構造物の性能設計では、その構造物の目的に応じ許容する破壊の程度を定義して設計が行われるものとされ、このような考え方は維持管理における要求機能にも用いることができるものとする。

ISO2394「構造物の信頼性に関する一般原則」⁸⁾では、土木構造物や建築における限界状態を終局限界状態と使用限界状態に分類して定義している。また、「土木・建築に係る設計の基本（国土交通省）」⁹⁾において、前述

表-6 限界状態の定義

終局限界状態 (安全性)	想定される作用により生ずることが予測される破壊や大変形等に対して、構造物の安定性が損なわれず、その内外の人命に対する安全性等を確保しうる限界の状態
使用限界状態 (使用性)	想定される作用により生ずることが予測される応答に対して、構造物の設置目的を達成するための機能が確保される限界の状態
修復限界状態 (修復性)	想定される作用により生ずることが予測される損傷に対して、適用可能な技術でかつ妥当な経費および期間の範囲で修復を行えば、構造物の継続使用を可能とすることができる限界の状態

の2分類に加え、修復限界状態を加え、表-6のとおり3つに分類している。

表-6のような整理を行うことで、治水面以外の役割を有する構造物や部材の限界状態を定義することが可能となる。治水面での機能を対象とした表-1の主要な構造物以外の構造物や部材を対象に限界状態の分類を行ったのが表-7である。

このような整理によって、堤防のような被害に直結する構造物は安全性を確保するために維持管理をしているものと整理されるほか、護岸等が変形して河川利用者の安全が確保できないことへの維持管理は使用性の確保と考えられ、また、護床工等は修復し易い状態を維持するために補修を行っているものとして、補修等の基準の意味合いを理解することができる。

また、先のFT図では頂上事象に近い上位の事象の方が被災しやすい状況であり補修の優先度が高いことを意味していたが、修復限界状態や使用限界状態は、安全性以外の要求機能を確保する必要性を示している。

表-7 維持管理上の限界状態の定義と対象となる構造物、部材

要求機能を満たす 限界状態	対応する構造物と部材	
	構造物	部材
終局限界状態 (安全性が許容可能な水準にある限界の状態)	堤防	地盤、土堤、堤防護岸、漏水防止工、ドレーン工、堤防植生、高水護岸、吸出し防止材、堤脚保護工
	河道	河床、樹木（流下能力の確保）
	施設 堰	高水敷保護工
	床止め 樋門	高水敷保護工
使用限界状態 (河川利用、水防活動、巡視、点検、景観、取水、排水等の使用性が確保される限界の状態)	堤防	天端舗装、坂路（管理車両通行）、堤防植生（環境）、階段工（河川利用）、親水護岸（親水機能）、
	河道	樹木（環境）
	施設 堰	ゲート、堰柱、門柱等（ゲート機能）
	樋門	函渠、ゲート、門柱等（排水機能）
修復限界状態 (容易に修復することができる限界の状態)	堤防	高水敷、低水護岸
	河道	河床、樹木（偏流等）
	施設 堰	水叩き
	床止め 樋門	護床工

6. 今後の維持管理実務

以上の考察から、今後求められる維持管理施策の方向性は以下のとおりである。

(1) 維持管理目標

維持管理目標については、これまで定性的な表現となっているものが多いが、今後は、目標とする外力レベルを明確にその外力に対して構造物・部材の機能の状況を記述することが必要と考えられる。

(2) 維持管理区分

機能の整理は、維持管理の方針や実施内容の整理を可能とする。機能低下の特性と構造物ごとの要求機能に

よって、表-8のように維持管理区分を当てはめることも可能となる。

このように、機能の整理に基づいて維持管理の方針を決めていくことが重要である。

表-8 機能低下や要求機能の分類に基づく維持管理の方針

機能低下	要求機能	維持管理の方針
進行性	安全性	予防維持管理
	修復性	事後維持管理
	使用性	事後維持管理
突発性	安全性	事後維持管理
	修復性	事後維持管理

(3) 状態把握

特に河川の状態把握は、設置年代の異なる様々な機能水準の構造物の複合体を対象としているものであり、個々の構造物や部材だけでなく河川全体として捉えることが必要である。また、点検による個別の変状から始まる現状のPDCAサイクルを、河川全体の機能評価を出発点とするPDCAサイクルとする必要がある。

また、常に変化し続ける河川の状態について、その把握の範囲や頻度、内容を際限なく追求することは実務的に不可能であり、機能低下の時期やその速度等の特性に応じて、効果的なタイミングや頻度で状態把握を行なう考え方が重要となる。

また、河川巡視のように頻度を重視した手段と、入念な目視を中心とする点検で対象の変状を区別するとともに、目視で把握できない変状を把握できる手段も組み合わせる必要がある（表-9）。

表-9 機能低下の特性と点検の分類

点検の分類	目的
定期点検（入念）（出水期前）	経年進行性の変状の把握 突発性の変状の把握
定期巡視（概略）	概略把握、定期点検の補足
臨時点検（入念）（出水中・後）	洪水進行性の変状の把握

さらに、FT図はこれまで構造物毎の破壊メカニズムを記述する手段として用いられることが多かったが、河川システムに用いることで変状や場の特性からシステムを俯瞰する視点を実務に定着させることができることから、今後はすべての区間で入念に目視してすべての変状を把握するとの現状の考え方から、要監視とすべき破壊メカニズムや箇所を事前に把握して効果的に行う方法をデザインしていく必要がある。

7. まとめ

河川の維持管理の強化にあたっては、河道や堤防をはじめとして多様な構造物を要素とするシステムとして捉え、評価することが重要である。本稿では、システムとしての河川の機能を俯瞰するとともに、システムを構成する機能を特性に基づき分類し評価することを目指し、以下の考察を行った。

(1) システムとしての河川の機能低下の俯瞰

FT図を導入し、システムとしての河川の機能低下について、その破壊メカニズムを場の特性と構造物・部材間の機能低下の影響関係、機能低下の進行度合を俯瞰的に把握するための体系化を行った。これにより、河川をシステムで捉える具体的な方法として実務において活用するとともに、経験を伝承する等の維持管理実務の共通基盤となることが期待される。

今後、本稿のFT図を基に、各河川に適用することにより、それぞれの河川特有の特徴的な事象を取り込んでいき、実務の実践を通じFT図を用いた俯瞰技術の向上を図っていく必要がある。

(2) 機能の低下特性、限界状態の特性別分類と評価

機能の低下特性として、FT図で整理した河川の破壊メカニズムについて、機能低下の速度や進行度合いを経年進行性、洪水進行性、突発性として整理した。また、維持管理の要求機能として、限界状態（終局限界状態（安全性）、使用限界状態（使用性）、修復限界状態（修復性））を例示し、これらを河川の構造物や部材に当てはめ、特性別の分類を行った。

河道や構造物の機能評価にあたっては、これらの対象とする機能低下速度及び進行度合い、さらには限界状態の部類を踏まえ、構造物や部材についての点検を中心としたものから、場の特性や機能低下の進行特性の視点で点検、機能評価を行っていく必要がある。

今後は、これらの施策の方向性について、現場実務に用いることのできる具体的な基準、要領のとりまとめや、評価方法の確立を進めていく必要がある。

参考文献

- 1) 社会資本整備審議会 安全を持続的に確保するための今後の河川管理のあり方について【答申】 平成25年4月
- 2) 社会資本審議会・交通政策審議会 今後の社会資本の維持管理・更新のあり方について 答申 平成25年12月
- 3) 小野寺 勝重 国際標準化時代の実践FTA手法 信頼性、保全性、安全性解析と品質保証 日科技連 平成12年6月
- 4) 日本工業標準調査会 審議：JIS ディペンダビリティ（信頼性）用語 JIS Z 8115 平成12年10月
- 5) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課河川保全企画室 河川維持管理に関する技術研修テキスト 平成26年3月
- 6) 国土交通省水管理・国土保全局 国土交通省 河川砂防技術基準 維持管理編（河川編） 平成27年3月
- 7) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課河川保全企画室 中小河川の堤防等河川管理施設及び河道の点検要領 平成27年3月
- 8) (財) 日本規格協会 海外企画課：INTERNATIONAL STANDARD 国際規格 構造物の信頼性に関する一般原則 平成10年6月
- 9) 国土交通省 土木・建築に係る設計の基本 平成14年10月

(2015. 4. 3受付)