

機能低下シナリオを活用した 河川堤防の維持管理

森田 真一¹

¹正会員 株式会社パスコ 経営戦略本部 (〒556-0017 大阪市浪速区湊町 1-2-3 マルイト難波ビル 8F)
E-mail: sahtii9464@pasco.co.jp

河川堤防の維持管理は、年数回実施される目視点検により確認された変状を、「堤防等河川管理施設の点検結果評価要領」（平成 29 年 3 月：国土交通省水管理・国土保全局河川環境課）に基づき評価し、施設の状態に応じた必要な対策が施されている。自然公物である堤防は土構造を基本としており、河川特性や出水規模等により、施設機能に支障を及ぼす変状の度合いが異なるため、現状では定量的な指標が定められていない。このため、点検・評価は技術者の経験や能力に依存することが多々ある。本稿は、効率的又客観的な点検・評価を行う為に、河川堤防の変状と要因を含めた変状発生過程や、機能低下の状態への進行予測を機能低下シナリオとして整理し、これを活用した河川堤防の維持管理について紹介するものである。

Key Words: *times, italic, 10pt, one blank line below abstract, indent if key words exceed one line*

1. はじめに

集中豪雨や台風の襲来に伴う浸水被害から、堤防決壊や河川はん濫等による水害を防止又は軽減するためには、適切に河川の維持管理を行う必要がある。

近年の集中豪雨の頻発や巨大な台風の襲来、浸水被害の拡大や、高度経済成長期に多くの整備がすすめられた河川管理施設が今後更新時期を迎えることなどを背景に、より効率的な施設の維持と修繕・更新を進めるために、平成 25 年に河川法（昭和 39 年法律第 167 号、以下「法」という。）の一部が改正された。同法第 15 条の 2 において、河川管理者又は許可工作物の管理者は、河川管理施設又は許可工作物（以下「河川管理施設等」という。）を良好な状態に保つように維持し、修繕し、もって公共の安全が保持されるように努めなければならないことが定められた。

また、これに伴い、河川砂防技術基準維持管理編（河川編）（平成 27 年 3 月）の策定、同基準を踏まえた「堤防等河川管理施設及び河道の点検要領」（平成 28 年 3 月）、「堤防等河川管理施設の点検結果評価要領」（平成 29 年 3 月）が整備され、堤防等河川管理施設の点検手法及び点検結果の評価方法に関する要領がとりまとめられ、直轄河川において点検・評価業務が進められている。

本稿は、このような中、効率的な点検・評価を進めるために点検確認項目と堤防機能への影響について、変状発生過程や進行予測を整理した機能低下シナリオを活用した河川堤防管理について紹介するものである。

2. 河川堤防点検評価業務の概要

自然公物である河川は、出水等の自然的作用によって河道や堤防に変化が生じること、主な河川管理施設である堤防は基本的には土で作られ、過去幾度にもわたって築造・補修されるという歴史的な経緯を有しているため、堤防を構成する材料の品質が不均一という特徴がある。このため、河川堤防の管理は、河川巡視、目視点検による状態把握、維持補修等を繰り返してきた経験の中で、実施内容や管理すべき水準が培われてきた。

このような特徴を有する河川堤防を適切に管理するために、「堤防等河川管理施設の点検結果評価要領」（平成 29 年 3 月）（以下「評価要領」と呼ぶ。）が整理された。同要領では、河川の特長や河川毎に変状の要因やメカニズムが異なることを踏まえ、既往文献やこれまでの堤防管理の実態を踏まえた標準的な評価の目安や考え方が示されている。以下に同要領に示された基本的な堤防を対象とした点検・評価業務の概要について説明する。

(1) 点検・評価の基本的なフロー

河川管理施設の点検・評価は図-1 のフローに示す通り河川維持管理計画に基づき実施される。

堤防点検は目視点検を基本とし、通常、出水期前、台風期の2回実施し、設定した出水規模を上回る出水があった場合は、出水後の点検を実施する。³⁾ 点検により把握された変状について、変状箇所ごと、施設ごとに機能低下の状態を評価する。

機能低下の状態評価は、「異常なし」、「要監視段階」、「予防保全段階」、「措置段階」の4段階に区分する。

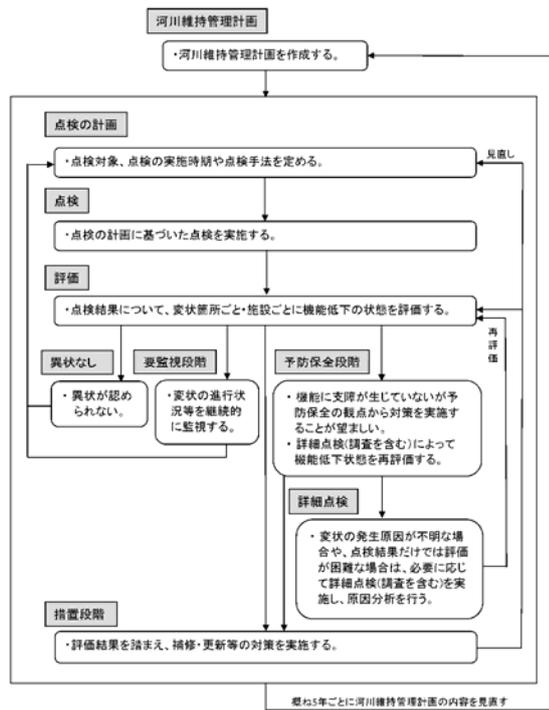


図-1 堤防等河川管理施設の点検・評価フロー¹⁾

各機能低下の状態及び評価は表-1 に示す通りである。

表-1 変状箇所ごとの点検結果評価区分¹⁾

区分	状態	変状確認	機能支障
a	異常なし ・ 目視できる変状がない、または目視できる軽微な変状が確認されるが、堤防等河川管理施設の機能に支障が生じていない健全な状態	なし	なし
b	要監視段階 ・ 堤防等河川管理施設の機能に支障が生じていないが、進行する可能性のある変状が確認され、経過を監視する必要がある状態（軽微な補修を必要とする場合を含む）	あり	なし
c	予防保全段階 ・ 堤防等河川管理施設の機能に支障が生じていないが、進行性があり予防保全の観点から、対策を実施することが望ましい状態 ・ 詳細点検（調査を含む）によって、堤防等河川管理施設の機能低下状態を再評価する必要がある状態	あり	なし
d	措置段階 ・ 堤防等河川管理施設の機能に支障が生じており、補修又は更新等の対策が必要な状態 ・ 詳細点検（調査を含む）によって機能に支障が生じていると判断され、対策が必要な状態	あり	あり

ここで、「要監視段階」とは、現状では施設の機能に支障を生じていないが、進行する可能性のある変状で、経過を継続的に監視する必要がある状態であり、状況により軽微な補修を必要とする場合も含む

「予防保全段階」とは、現状では施設の機能に支障を生じていないが、進行性があり、予防保全の観点から対策を実施することが望ましい状態である。なお、変状の発生原因が不明な場合や、目視点検の結果だけでは評価が困難なため詳細点検が必要な状態もこの段階に区分され、詳細点検の結果を踏まえ状態を再評価する。

「要監視段階」と「予防保全段階」は表-1 に示すように変状確認は「あり」、機能支障は「なし」と同様の内容となるが、確認された変状の進行状況によりその評価が異なることとなる。

「措置段階」とは、施設の機能に支障が生じていると判断され、速やかな補修等が必要な状態である。

これらの評価は点検毎に実施され、年に1度当該年度の総合的な評価が実施され、評価結果に応じて速やかあるいは計画的に対策が実施されることになる。

(2) 土堤の機能低下の状態と変状の関係

堤防は、流水が河川外に流出することを防止するために設けられた施設であり、盛土により築造された土構造物である。

土堤原則であるため、材料取得の容易さや構造物としての劣化が生じない等の利点がある一方で、構成材料の品質が不均質であり、降雨、流水、地震等の外力により変状が生じる場合がある。

堤防に求められる機能は、表-2 に示す通り越水防止機能、耐浸透機能、耐侵食機能であり、各機能は沈下、すべり破壊、パイピングの発生、侵食等により機能低下の状態となる。

表-2 土堤の機能低下の状態²⁾

機能	機能低下の状態
越水防止機能	【沈下】 堤体あるいは基礎地盤の沈下により所要の高さが確保できない状態で、越水防止機能が損なわれるもの。
耐浸透機能	【すべり破壊】 洪水時に河川水あるいは降雨が堤体に浸透することによって間隙水圧が上昇し、堤体の強度が低下して堤体すべりが生じる状態で、耐浸透機能が損なわれるもの。
	【パイピングの発生】 洪水時に河川水が基礎地盤に浸透することによって間隙水圧が上昇し、土粒子が移動しパイピングが生じる状態で、耐浸透機能が損なわれるもの。
耐侵食機能	【侵食】 雨水あるいは洪水時の流水の掃流力により堤体表面あるいは裏法尻部等に侵食が生じ、耐侵食機能が損なわれるもの。

また、その構造は図-2 に示す通り複数の部位から構成され、各部位ごとに出現する変状は異なるため、点

検・評価に当たっては天端、表法面、裏法面、小段、裏法尻、堤脚水路等の各部位ごとに実施する必要がある。

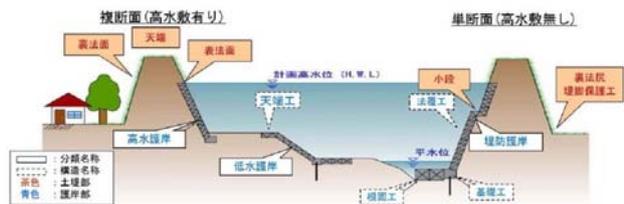


図-2 堤防の構造²⁾

このような堤防の機能、構造、機能低下の状態を踏まえ、堤防の施設毎に求められる機能と機能低下の状態、機能低下を生じる可能性のある変状が評価要領では整理されている。

堤防の土堤部分についてみるならば、機能及び機能低下の状態は表-2に示す通りであり、この機能低下に関連する変状として以下の12の変状が示されている。

表-3 土堤に見られる変状¹⁾

[1] 亀裂	[7] 寺勾配
[2] 陥没や不陸	[8] モグラ等の小動物の穴
[3] 法崩れ	[9] 排水不良
[4] 沈下	[10] 樹木の侵入
[5] 堤脚保護工の変形	[11] 侵食(ガリ)・植生異常
[6] はらみだし	[12] 漏水・噴砂

土堤の点検では、堤防機能、機能低下の状態、各変状とその出現箇所に着目し、変状の有無、程度、進行状況を確認することになる。

ここで、図-3に[1]亀裂に関する事例を示す。同じ変状でも支障が生じる機能、機能低下の状態は複数関係することがあり、点検で確認された変状がその現場でどのような過程を経て機能低下が生じるかについて、点検時に判断する。

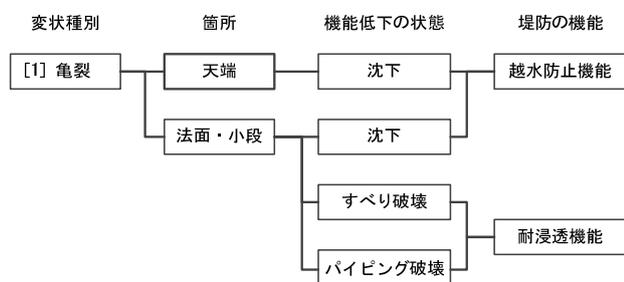


図-3 亀裂と機能低下の状態の関係

また、点検の結果については調査要領に示された判定目安に基づき a～d 区分に評価する。コンクリート構造物等の場合は、判定目安として定量的な損傷・劣化の判

断基準を示すことができるが、土構造物である堤防の場合、定量的な判断基準を示すだけの技術的なデータが揃っていないことから、過去の点検結果等との比較や機能低下事例を踏まえ、進行程度や状態を評価している。

以下に[1]亀裂の場合についての例を示すが、これらの目安は堤防の規模や過去の災害履歴を勘案し、河川毎に設定することとなっている。また、亀裂だけでなく堤防の形状変形に関わる[2]陥没や不陸、[3]法崩れ、[4]沈下、[5]堤脚保護工の変形、[6]はらみだし、[7]寺勾配も、同様に変状の有無が評価の目安となっており、保全対策の可否判断の基本となる変状や進行程度については定量的に示されておらず、変状と堤防機能の支障の関係については点検技術者の判断に依存する。

一方、形状変形ではなく事象出現に伴う変状である[8]モグラ等小動物の穴、[9]排水不良、[10]樹木の侵入、[11]侵食(ガリ)・植生異常、[12]漏水・噴砂については事象出現箇所の多寡(小動物の穴や侵食、樹木侵入等)や状態の継続性(排水不良、漏水等)等を目安としているが、これらについても定量的な目安は整理されていない。

表-4 土堤に生じた亀裂の点検結果評価区分の判定目安

評価区分		評価の目安
a	異常なし	変状なし。
b	要監視段階	亀裂が発生しているが、堤防は機能し支障は生じていない。軽微な補修を含む。
c	予防保全段階	盛土は洪水等により、急激に変状が進行することもあるため、劣化の予測が困難であることから評価しないことを基本とする。 但し、これまでも一定規模以上の変状について補修をしている実態を踏まえ、変状の発生が不明な場合や、目視点検の結果だけでは評価が困難な場合は、必要に応じて詳細点検(調査を含む)実施するものとする。
d	措置段階	亀裂により堤防の機能に支障が生じている。 亀裂がH.W.L.以下まで及んでいるなど。

(3) 現状の点検・評価業務の課題

上述のように、堤防の維持管理は、河川巡視と年に複数回実施される点検により状態把握・維持補修により実施されており、その評価や管理水準は長年にわたって積み重ねた経験に基づき行われている。このため、技術的、工学的な知見を積み重ね、定量的、客観的な基準や目安を整備していくことが重要となっている。

一方、このような経験工学的な側面が強い堤防維持管理業務において、高齢化等に伴う経験ある技術者の不足も大きな課題となっており、堤防機能の支障となる変状

の見落としの有無や、機能低下の予測についての妥当性についての課題を内在することになっている。

3. 機能低下シナリオを活用した堤防管理の概要

(1) 機能低下シナリオの概要

図-3 に示す通り、評価要領では変状と機能低下状態を結び付けた機能低下シナリオが示されている。

これらのシナリオは個別の変状が複数の機能低下状態に進行する状況や、想定される機能低下状態に関連する変状の有無を把握・想定するには扱いにくいものとなっている。

定量的な目安がない堤防点検ではその変状がどのような機能低下状態に結び付くのか、また同様の機能低下状態に関連する変状が周辺に存在しないか等を確認することが、堤防の状態を把握し評価する上では重要である。

このため、点検時の見落としを減らし、評価の客観性を高めるために、他の変状との関連性や機能低下につながる多様な可能性について体系化した機能低下シナリオを整理した。⁴⁾

機能低下シナリオは図-4 に示す通り、「機能低下要因や場の特性」、「変状の進行」、「構造物の破壊」、「被害事象」をツリー図で整理し、各項目を上から下にたどれるように表現した。これより、確認された変状が進行することによりどのような被害（機能低下）に繋がるか、確認された変状はどのような要因等により発現したか、また、変状の進行予測やそれによる被害を把握することもできる。さらに、変状の至る要因は必ずしも一つではないので、同様の要因による変状や同様の被害に至る要因についても把握することができる。

このような機能低下シナリオ活用のメリットは以下のように整理できる。

<FT 図活用のメリット>

- 状態の客観的な把握・共有
 - ・ 要因や場の特性と変状の関係を知ることで、現場条件と照らして変状の発生原因を推定しやすくなる。
 - ・ 現場を確認する際に、過去の経験を踏まえ当該変状に関連する変状の見落としを防止できる。
 - ・ 過去の経験から変状の進行予測を知ること、モニタリング方法や対応策検討の基礎資料とすることができる。
- 経験知の継承
 - ・ 新たな要因や場の特性と変状の関係が明らかになった場合や、変状が過去の経験とは異なる進行過程を辿った場合など、機能低下シナリオを更新することで新しい知見を今後の評価へ継承することが可能となる。

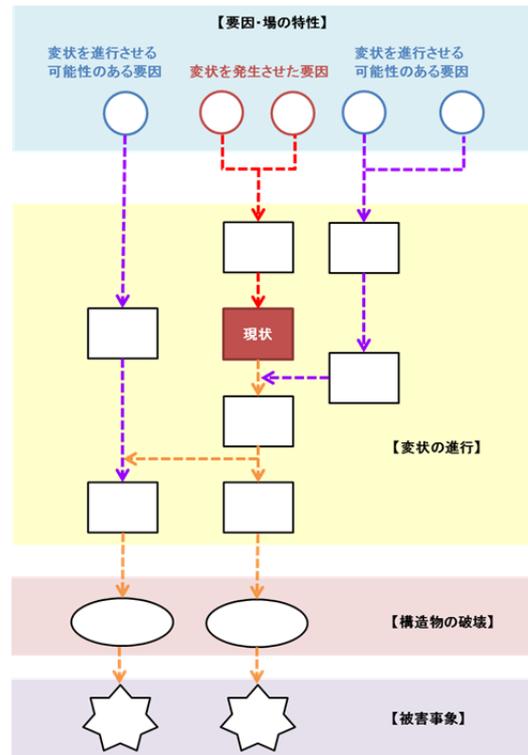


図-4 機能低下シナリオのイメージ

(2) 機能低下シナリオの活用例

機能低下シナリオを活用した推定例について以下に示す。

図-5 は堤体の堤体漏水の発生及び堤体内の排水不良という二つの変状について、その発生要因と変状を結ぶことにより変状発生過程が示され、変状進行予測として、想定される複数の機能低下シナリオを示している。

機能低下シナリオを読み解くなら、堤体漏水の発生については地下水がその要因と考えられ、堤体内に水みちが形成されるというプロセスを経て漏水という変状が発生していると考えられる。また、この変状は今後、堤防材料の流出、堤体の不等沈下、陥没等の変状を経て浸透機能の低下という状態になり、浸透による堤防破壊という被害シナリオと、堤体の不等沈下から越水防止機能が低下し越水による被害シナリオが予測される。

一方、堤体内の排水不良については堤防の地質構造と降雨の発生が要因と考えられ、状況に応じて地質調査等の詳細調査の実施が必要となる。また、この変状は今後、堤脚部の泥濁化、堤体のはらみだし・寺勾配等の変状を経て堤体のすべり安定性の低下という状態になり、すべりによる堤防破壊という被害シナリオが予測される。

このように、機能低下シナリオを活用することにより点検により確認された変状について、その発生原因や関連する変状の見落とし防止、詳細調査やモニタリングの必要性の判断等を円滑かつ客観的に行うことができる。

なお、ここで整理した機能低下シナリオは調査要領で示されたシナリオを図に展開したものであり、対象とす

