

堤防の浸透に係る重要水防箇所の設定



河川政策グループ
研究員

真野 友里子

1 はじめに

洪水時、水防団や消防団は水防管理団体（市町村等）のもとで堤防の巡視等を行い、越水・侵食・浸透防止のための工法を展開する。この活動を水防活動といい、水防団等による水防活動は減災のための危機回避策の初動対応として非常に重要な役割を担っている。適切な水防活動による減災はときには治水対策に匹敵するものであり、治水と水防を車の両輪と考え、両者の効用をあわせて減災に貢献していくことが重要である¹⁾。

国や都道府県等の河川管理者は、洪水等に際して水防上特に注意を要する箇所を重要水防箇所として指定し、洪水時等に迅速かつ確かな水防活動が実施されるよう、水防管理団体へ周知徹底を行っている。

重要水防箇所は、重要水防箇所評定基準（案）に基づいて定められている。重要水防箇所評定基準（案）は、二級河川加治川（新潟県）の有害訴訟の判決を契機に、昭和 57 年に制定され、新しい知見を踏まえて平成 6 年、平成 18 年に都度改定が行われており、平成 31 年 2 月に再度改定が行われた。

従来の重要水防箇所評定基準（案）のうち、浸透に係る重要水防箇所は堤防の形状を示す指標や変状現象そのものを示す指標が混在しており、必ずしも堤防の被災メカニズムに相関の深い指標となっていない。JICE は、平成 28 年度から国土交通省の受託業務を通じて、浸透に係る重要水防箇所評定基準（案）の改定において、浸透に係る変状進行過程に着目した指標の検討を行ったのでその内容について報告する。

2 浸透に係る重要水防箇所の改定

2.1 これまでの浸透に係る重要水防箇所

従来の評定基準（案）では重要水防箇所の種別を堤防高（流下能力）、堤防断面、法崩れ・すべり、漏水、水衝・洗掘、工作物、

工事施工、新堤防・破堤跡・旧川跡、陸間の 9 種に分けており、種別毎に水防上最も重要な区間を「重要度 A」、水防上重要な区間を「重要度 B」、水防上注意を要する区間を「要注意区間」としてランク分けを行っている。

表 2-1 従来の浸透に係る重要水防箇所評定基準（案）

| 種別 | 重要度 | 評定基準 |
|---------|-----|--|
| 堤防断面 | A | 堤防断面あるいは天端幅が計画の1/2未満の区間 |
| | B | 堤防断面あるいは天端幅が計画未満の区間 |
| 法崩れ・すべり | A | 法崩れ又はすべりの実績があるが、その対策が未施工の箇所 |
| | B | 法崩れ又はすべりの実績があるが、その対策が暫定施工の箇所、及び法崩れ又はすべりの実績はないが、堤体あるいは基礎地盤の土質、法勾配等からみて法崩れ又はすべりが発生するおそれのある箇所で、所要の対策が未施工の箇所 |
| 漏水 | A | 漏水の履歴があるが、その対策が未施工の箇所 |
| | B | 漏水の履歴があり、その対策が暫定施工の箇所、及び漏水の履歴はないが、破堤跡又は旧川跡の堤防であること、あるいは基礎地盤及び堤体の土質等からみて、漏水が発生するおそれのある箇所で、所要の対策が未施工の箇所 |

上記の種別のうち、「堤防断面」、「法崩れ・すべり」、「漏水」が浸透に係る重要水防箇所に該当する（表 2-1）。

「法崩れ・すべり」及び「漏水」については、被災実績及び対策の有無等により評定する。被災実績はない場合でも、堤防詳細点検の結果等により、今後被災するおそれがあると判断される箇所も重要水防箇所として設定する。

ここで、堤防詳細点検の結果とは、「法崩れ・すべり」についてはすべり破壊に対する安全性照査結果を示し、裏法または表法の円弧すべり安全率 F_s が所要の値を満足しない箇所を指す。「漏水」については、パイピング破壊に対する安全性照査結果を示し、局所動水勾配 i 又は盤ぶくれの指標 G/W が基準値を満足しない箇所を指す。 F_s や i 、 G/W は、堤防の断面形状や土質が同様とみなせる区間（細分区間）毎に、浸透に対して最も危険な断面（代表断面）で算出する。1 つの細分区間全体で 1 つの結果を有するものである²⁾。

2.2 改定の背景

(1) 浸透による堤防の変状進行過程

堤防の浸透による変状進行過程を堤体と基礎地盤に分けて考えると図 2-1 のように整理することができる。

堤体では、降雨や河川水位の上昇に伴い、堤体の飽和度が上昇し、堤体内の浸潤線も上昇する（図中①）。浸潤線が発達し、法尻まで到達すると、堤体の小段や法尻等から漏水や噴砂が生じる（図中②）。それに併せて法尻付近が泥濁化することで堤体がすべり、最終的に天端陥没・崩壊といった変状に至る（図中③）。

一方基礎地盤では、降雨や河川水位の上昇に伴い、基礎地盤の土粒子が浸透水の流れにより移動し、水ミチを形成しながら堤体内法尻直下へ到達する（図中④）。上向きの局所動水勾配が大きい場合、漏水や噴砂が発生する（図中⑤）。被覆土層がある場合は初期に盤膨れが発生する（図中⑥）。水ミチに大量の河川水が通過することにより水ミチが拡大し、堤体の変形（図中⑦）や天端陥没（図中⑧）といった変状に至る。

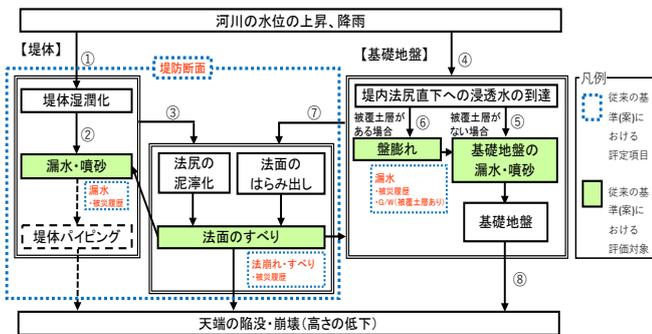


図 2-1 浸透による堤防の変状進行過程（参考文献⁵⁾の図に加筆）

(2) 従来の評価基準における問題点

従来の評価基準（案）において、「漏水」の指標として用いられている局所動水勾配 i や盤ぶくれの指標 G/W は基礎地盤の漏水に関するものであり、堤体の漏水を判断するための指標になっていない。また、「法崩れ・すべり」の指標として用いている F_s はすべり破壊に対する安全性照査の結果であり、すべり破壊の前兆現象である堤体の湿潤化や堤体からの漏水を判

断するための指標ではない。

つまり、従来の評価基準（案）では、堤体からの漏水の可能性は被災履歴のみによる評価となっており、堤体の湿潤化については評価できていないため、堤体の湿潤化や堤体からの漏水について評価する指標が求められている。

(3) 解決の方向性

① 堤体漏水

上述のように、堤防の浸透被災は進行性であることを考えると法崩れやすべりのような最終的に生じる破壊事象に関する指標で重要水防箇所評価を行うよりは、その前兆現象である堤体の湿潤化や漏水・噴砂に関係が深い指標で評価を行うほうが、一刻も早い手当が必要となる水防活動に用いる指標としては適切である。

そこで、堤体への浸透に係る評価項目を「堤体漏水」とし、堤体の湿潤化や漏水・噴砂に着目した新たな指標として「堤防脆弱性指標 t^* 」を採用する。堤防脆弱性指標 t^* は、洪水時に堤体内を浸透する水の移動の特徴を捉えた指標であり、「冠水時間（洪水継続時間）」と「浸透水が裏のりに達するまでの時間」の無次元量比であり、水深、堤防幅、透水係数、洪水継続時間、空隙率の組み合わせによって表される。

洪水中に発生する堤体内の水面勾配に起因する浸透流の裏法面への集中が、堤体の浸透破壊のきっかけとなり、堤防安定性を支配するとの考えのもとに、浸透流の基礎式（Richards の式）を無次元化した浸透流を支配する力学指標 SFn （浸透流ナンバー）から導出された、堤防浸透流の力学的相似条件を持つ手法である³⁾。

t^* は不透水性基礎地盤上の均一な堤体を仮定しているため、堤体の透水係数は、透水試験を行った試料の位置と、ボーリング孔の高さまたは土層の面積によって単純平均した値を t^* の算出に用いる。

なお、堤防の形状は定期横断測量の結果を活用することで詳細点検における細分区間よりも細かいピッチ（200～500m）で指標を算出できるため、より局所的な弱点箇所を把握することができるものと考えられる。加えて、従来の重要水防箇所評

$$\frac{H(t_0) \text{ から } H(t) \text{ まで水位が上昇するまでの時間（冠水時間） } T}{H(t) \text{ の水位が保たれたとした場合に、浸潤線が裏法先まで到達するのに要する時間 } T'} = \frac{t - t_0}{3\lambda b(t)^2 / 8kH(t)} \cdot \frac{8kH(t)(t - t_0)}{3\lambda b(t)^2}$$

整理すると

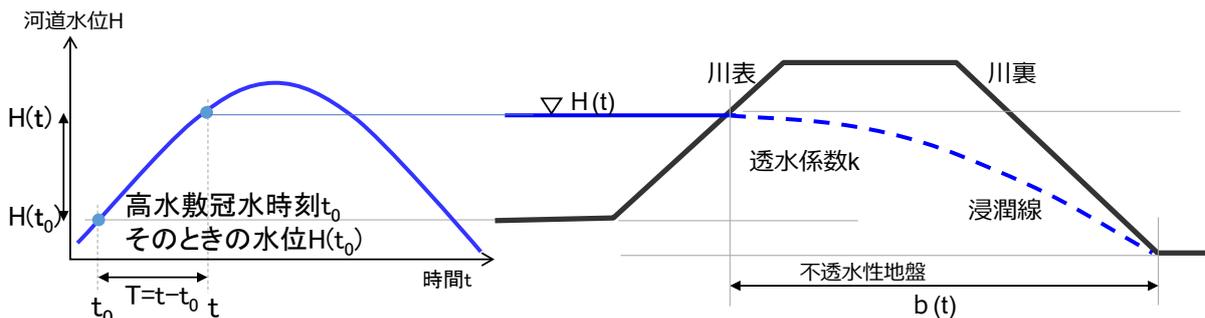


図 2-2 堤防脆弱性指標 t^* ⁵⁾

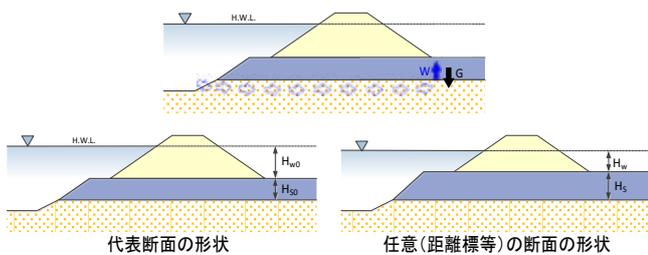
定基準（案）の評定要素である「堤防断面」については、堤防脆弱性指標 t^* において水深や堤防幅が要素として含まれていることにより概ね反映されていると考えることができる。

②基礎地盤漏水

従来の「漏水」の指標である局所動水勾配 i や G/W は、基礎地盤のパイピング破壊の前兆現象である漏水や噴砂、盤ぶくれを判断するための指標であるため、これを引き続き採用するが、堤体漏水と指標を算出する断面を合わせるために、細分区間毎の代表断面で求めた i や G/W を定期横断測量のピッチ（200～500m）に内挿する補間式を検討した。

○盤ぶくれに関する指標（ G/W ）の内挿補間

G/W は、「被覆土層の重量 G 」と「被覆土層基底面に作用する揚圧力 W 」の比である。行き止まり型地盤であることを仮定すると、「被覆土層の重量」と「被覆土層厚」が比例し、「被覆土層基底面に作用する揚圧力」と「最高水位と被覆土層下面の比高」が比例すると仮定できる。この2項目の仮定から図 2-3 に示す任意断面における G/W の補間式を導出した。



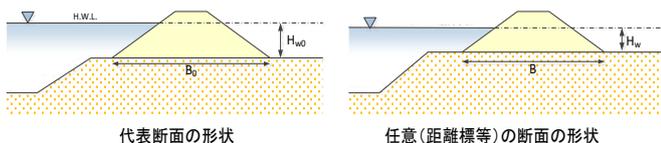
$$(G/W)_{\text{重要水防}} = \frac{H_s / H_{s_0}}{(H_w + H_s) / (H_{w_0} + H_{s_0})} (G/W)_0$$

$(G/W)_0$: 浸透安全照査で算出された G/W

図 2-3 G/W の内挿補間式

○パイピングに関する指標（局所動水勾配 i ）の内挿補間

局所動水勾配 i の補間式は、遺伝的アルゴリズムによって導出した。堤防の高さや法勾配、透水係数等、いくつか条件を変化させて浸透流解析により i を算出し、解析条件を説明変数、浸透流解析結果を目的変数として、統計解析（遺伝的プログラミング）を行い、図 2-4 に示す任意断面における局所動水勾配 i の補間式を導出した。



導出式

$$i_v = 0.995 \frac{H_w \cdot B_0}{H_{w_0} \cdot B} i_{v_0} - 0.011 \Rightarrow i_{v \text{重要水防箇所}} = \frac{H_w \cdot B_0}{H_{w_0} \cdot B} i_{v_0}$$

図 2-4 局所動水勾配 i_v の内挿補間式

3 被災実態と新たな指標の比較検証

3.1 検証方法

新しく設定する指標については、被災実態に照らして、浸透の危険性を判断するための閾値の設定や、内挿方法の妥当性について検証を行った。

検証にあたり用いた被災実態は、過去 15 年以内の河川に関する災害申請資料または高水速報及び、災害申請が行われていない被災箇所に関する直近 3 年（2015～2017）の国土交通省記者発表資料により、83 水系 211 河川 1304 箇所の被災事例を収集し、その中から写真等の目視によって図 3-1 に示すようにすべりや陥没の状態、漏水位置、噴砂の有無等について確認できるものについて抽出した。

それらについて、被災断面とその近傍の無被災断面の堤防脆弱性指標 t^* 及び内挿補間した G/W 又は局所動水勾配 i を算出し、その指標を被災の有無とその程度に分けて整理し、閾値の設定や手法の妥当性の検証を行った。

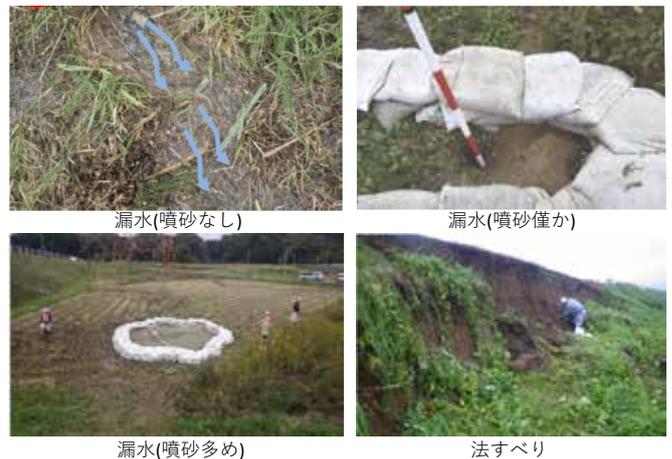


図 3-1 被災の程度

3.2 堤防脆弱性指標 t^* の閾値の設定

堤防脆弱性指標 t^* の閾値設定にあたっては、すべりや陥没の状態、漏水位置、噴砂の有無等が確認できた 19 水系 23 河川 75 箇所の被災事例について、各被災断面と被災箇所が存在する細分区間内の無被災箇所断面について堤防脆弱性指標 t^* を算出し、陥没、法崩れ・すべり、噴砂が多い堤体漏水、噴砂が僅かな堤体漏水（噴砂がない漏水を含む）、無被災に分類した。その結果を図 3-2 に示す。

これを見ると、堤体の重大な被災（陥没、法崩れ・すべり、噴砂の多い漏水）が生じた断面の t^* は、いずれも 0.1 以上となっている。福岡らによる模型実験⁴⁾では、決壊した堤防の t^* は 0.1 以上、裏法すべりが生じた堤防の t^* は 0.01～0.1 に集中していたと報告されている。

一方、噴砂が僅かな漏水が生じた断面や無被災断面では堤防脆弱性指標 t^* の閾値は明確ではないが、多量の噴砂を伴わない漏水は必ずしも危険なものではないため、重要水防箇所評定基準（案）における堤防脆弱性指標 t^* の閾値は 0.01 と設定した。

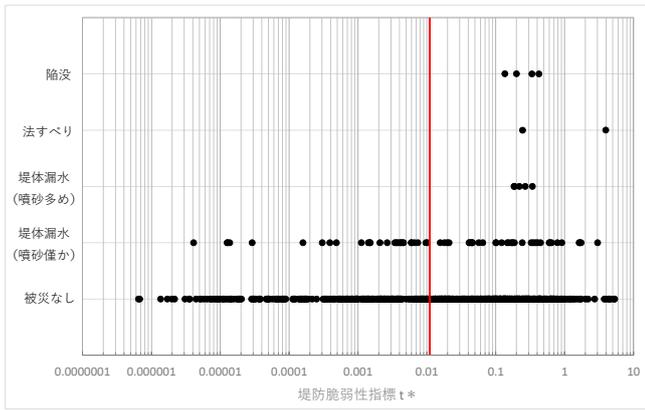


図 3-2 堤体関連被災における脆弱性指標 t^* の分布

3.3 内挿補間式の妥当性の検証

盤ぶくれに関する指標 (G/W) の内挿補間の妥当性検証にあたっては、盤ぶくれに関する被災の程度が確認できた被災事例 (8 水系 10 河川 16 箇所) について、被災断面と被災箇所が存在する細分区間内の無被災箇所断面において堤防形状が測量されている距離標ピッチで補間した G/W を求めた。

被災種別毎 (基礎地盤由来の法すべり、噴砂が多い基礎地盤漏水、噴砂が僅かな基礎地盤漏水、無被災) に G/W の整理を行った結果を図 3-3 に示す。堤防設計指針では $G/W \leq 1$ で盤ぶくれを生じる可能性があるとしているが、内挿補間式によって算出した G/W は、被災の有無で閾値を見つけることができず、内挿補完の妥当性は認められなかった。

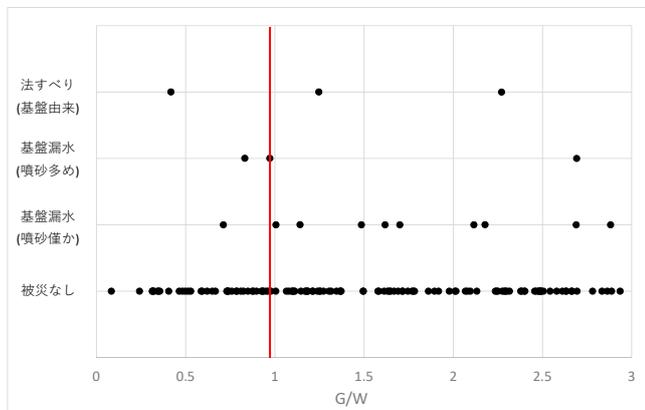


図 3-3 内挿補完式による G/W の分布

パイピングに関する指標 (局所動水勾配 i) の内挿補間の妥当性検証についても盤ぶくれと同様に、収集した被災事例 (10 水系 12 河川 24 箇所) において、被災断面と無被災箇所断面で内挿補間式により局所動水勾配 i を求め、被災種別毎に整理を行った。図 3-4 にその結果を示す。

堤防設計指針では $i \geq 0.5$ でパイピングを生じる可能性があるとしているが、内挿補間式によって算出した i は、被災の有無で閾値を見つけることができず、局所動水勾配 i についても内挿補完の妥当性は認められなかった。

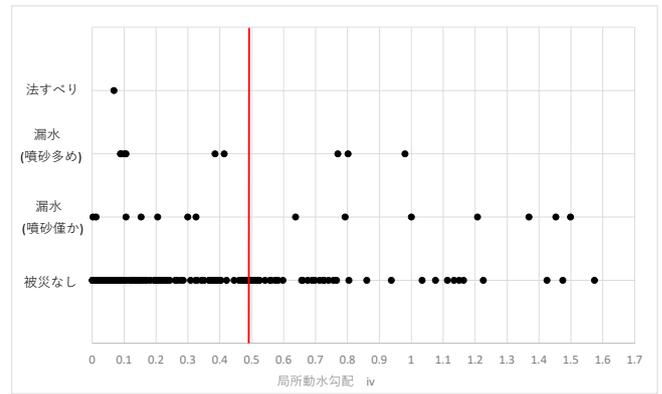


図 3-4 内挿補完式による局所動水勾配の分布

以上のことから、局所動水勾配 i と G/W については、従来どおり堤防詳細点検での細分区間における代表断面の照査結果をもって重要水防箇所の指定の判断を行うこととした。

4 浸透に係る重要水防箇所の設定

4.1 浸透に係る重要水防箇所評定基準 (案) の改定概要

上記の検討を踏まえ、平成 31 年 2 月に改定された浸透に関する重要水防箇所評定基準 (案) では、従来は「堤防断面」「法崩れ・すべり」「漏水」に分かれていた評定種別が図 4-1 に示すとおり「堤体漏水」と「基礎地盤漏水」に再編された。

従来の重要水防箇所評定基準 (案)

| 種別 | 堤防断面 | 法崩れ・すべり | 漏水 |
|-----|-------------------------|--|--|
| 考え方 | 堤防断面あるいは天端幅が計画の2分の1未満 等 | 被災の実績があり、対策が未施工 被災の実績はないが、詳細点検で安全性が不足し、対策が未施工 等 | 被災の実績があり、対策が未施工 被災の実績はないが、詳細点検で安全性が不足し、対策が未施工 等 |

重要水防箇所評定基準 (案) の見直し

| 種別 | 堤体漏水 | 基礎地盤漏水 |
|---------|------------------------------------|---|
| 考え方 | 堤体漏水が進行すると「法面のすべり」が生じ、天端の陥没・崩壊に至る。 | 基礎地盤漏水が進行すると「基礎地盤パイピング」が生じ、天端の陥没・崩壊に至る。 |
| 主たる設定指標 | 堤防脆弱性指標 t^* 円弧すべり安全率 F_s | (被覆土層がない場合) 局所動水勾配 i (被覆土層がある場合) G/W |

図 4-1 浸透に係る重要水防箇所評定基準 (案) の概要

堤体漏水及び基礎地盤漏水の評定基準 (案) の考え方を表 4-1 及び表 4-2 に示す。これまでは被災実績及び対策の有無、堤防詳細点検結果で重要水防箇所を設定していたが、これらに加え、堤防脆弱性指標 t^* を堤体湿潤化の指標として新たに採用した。なお、安全性照査の不確実性を補うため、目視による点検結果や変状履歴、水防団や河川管理経験者からのヒアリング結果も重要水防箇所に反映できるものとした。浸透に係る重要水防箇所の設定手順を図 4-2 に示す。

表 4-1 堤体漏水に係る重要水防箇所評定基準（案）の考え方

| 指標 | 評定基準 | |
|-----------------|---|---|
| ①被災履歴・点検結果 | A 堤防機能に支障が生じる堤体の変状履歴があり、類似の変状が繰り返し発生している箇所 | |
| | B 堤防機能に支障が生じる堤体の変状履歴があり、類似の変状は発生していないが、安全が確認されていない箇所および、堤防機能に支障は生じていないが、進行性がある変状が集中している箇所 | |
| | ②堤防脆弱性 t^* | A 堤防脆弱性指標 $t^* \geq 0.01$ となる箇所、堤防機能に支障が生じる堤体の変状履歴がある箇所 |
| | | B 堤防脆弱性指標 $t^* \geq 0.01$ となる箇所、堤防機能に支障が生じる堤体の変状が確認されおらず、所要の対策が未施工の箇所 |
| ③円弧すべり安全率 F_s | A 円弧すべり安全率 F_s が照査基準を満足しない区間で堤防機能に支障が生じる堤体の変状履歴がある箇所 | |
| | B 円弧すべり安全率 F_s が照査基準を満足しない区間で、堤防機能に支障が生じる堤体の変状が確認されおらず、所要の対策が未施工の箇所 | |
| ④水防団等のヒアリング | A 水防団等から堤体漏水が生じる可能性が特に高いと指摘されている区間 | |
| | B 水防団等から堤体漏水が生じる可能性が高いと指摘されている区間 | |

表 4-2 基礎地盤漏水に係る重要水防箇所評定基準（案）の考え方

| 指標 | 評定基準 |
|--|---|
| ①被災履歴・点検結果 | A 堤防機能に支障が生じる基礎地盤漏水に係る変状履歴があり、類似の変状が繰り返し発生している箇所 |
| | B 堤防機能に支障が生じる基礎地盤漏水に係る変状履歴があり、類似の変状は発生していないが、安全が確認されていない箇所および、堤防機能に支障は生じていないが、進行性がある変状が集中している箇所 |
| ②G/W（堤内地盤の表層が粘性土で被覆されている場合）または、局所動水勾配 i （堤内地盤の表層が粘性土で被覆されていない場合） | A G/W ≤ 1 または局所動水勾配 $i \geq 0.5$ となる箇所、堤防機能に支障が生じる基礎地盤漏水に係る変状履歴がある箇所 |
| | B G/W ≤ 1 または局所動水勾配 $i \geq 0.5$ となる箇所、堤防機能に支障が生じる基礎地盤漏水に係る変状が確認されおらず、所要の対策が未施工の箇所 |
| ③水防団等のヒアリング | A 水防団等から基礎地盤漏水が生じる可能性が特に高いと指摘されている区間 |
| | B 水防団等から基礎地盤漏水が生じる可能性が高いと指摘されている区間 |

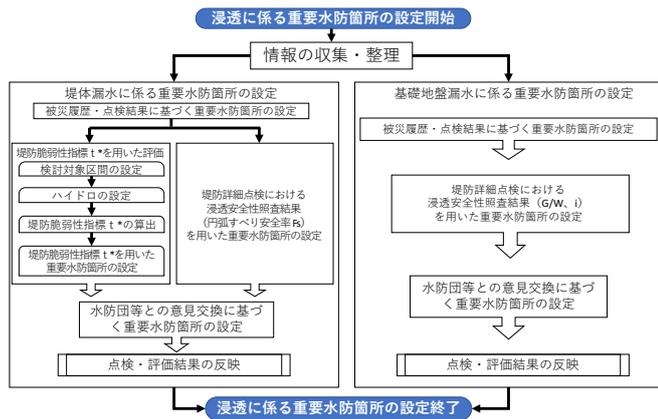


図 4-2 浸透に係る重要水防箇所の設定手順

4.2 情報の収集・整理、調査

浸透に係る重要水防箇所の設定を行うため、情報を収集・整理し、必要に応じて調査も実施することが必要となる。

重要水防箇所の設定に当たり必要となる主な情報は、堤防形状（定期横断測量成果）、土層構成・土質（特に透水係数）、堤防脆弱性指標 t^* を算出する断面に対応した水位ハイドロ、浸透対策の状況、巡視・点検結果、被災履歴、水防団や河川管理経験者等との意見交換結果である。

透水係数については、堤防脆弱性指標 t^* が透水係数の影響を強く受けるため、細分区間が長い場合には、代表断面間を補間するような位置で調査を実施することが望ましい。

堤防脆弱性指標 t^* を算出する断面に対応した水位については、準二次元不等流計算等を行い、定期横断測量の各断面における H-Q 関係式を作成する。対象区間を代表する地点における「計画ハイドロ」もしくは「実績ハイドロ」をもとに、

H-Q 関係式を用いて各断面における水位ハイドロを作成する必要がある。

4.3 被災履歴や点検結果の反映

過去に堤防機能に支障が生じる変状が発生した箇所では、再び同様の変状が起きる可能性が高い。特に、適切な強化対策が実施されていない箇所では、同様の変状が繰返し発生する場合がある。

このような箇所は水防上特に注意を要するため、重要水防箇所として反映できるように被災履歴に加え、出水期前・台風期・出水後等の目視点検の結果を指標の一つとして採用し、「予防保全段階 c：機能に支障は生じていないが、進行性がある」、「措置段階 d：機能に支障が生じている」と評価される変状を重要水防箇所の指定に反映する。

機能に支障が生じる類似の変状が繰り返し生じている箇所（過去の被災履歴や目視点検で「d」相当の変状が繰り返し生じている箇所）は、重要度 A に指定する（図 4-3 の赤枠）。

機能に支障が生じる変状（被災または点検「d」相当）の履歴があり、現在も安全性が確認されていない箇所（図 4-3 の黄枠）及び機能に支障は生じていないが、進行性がある変状が集中して生じている箇所（点検で「c」相当の変状が集中して生じている箇所、図 4-4 の赤枠）は、重要度 B に指定する。

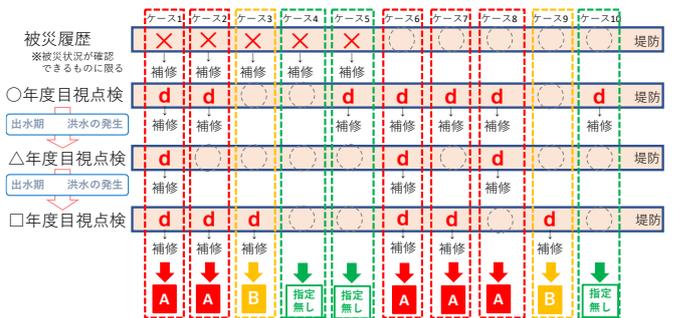


図 4-3 機能に支障が生じる変状の反映（参考文献⁵⁾の図に加筆）

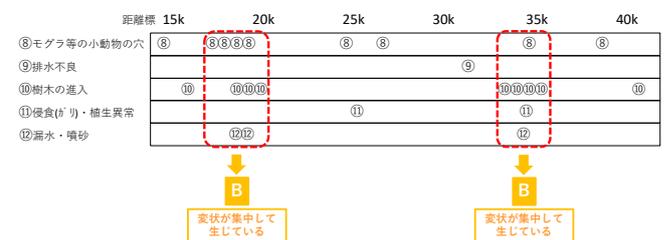


図 4-4 予防保全段階 c 評価の分布イメージ⁵⁾

4.4 堤防脆弱性指標 t^* 及び堤防詳細点検結果の反映

t^* が閾値を上回る区間や、堤防詳細点検で安全性照査を満足しない区間の中で、堤防機能に支障が生じる変状履歴や、被災状況が資料等で確認できる被災履歴がある箇所を重要水防箇所 A に指定し、それ以外を重要水防箇所 B に指定する。

なお、完成断面で浸透対策済みの区間は重要水防箇所から除外できる。

4.5 水防団等との意見交換

過去の被災履歴が全て記録として残っているとは限らない。水防団や河川管理経験者の経験あるいは更なる先達からの伝承などを踏まえて、被災が生じる可能性が高いと指摘されている区間を重要水防箇所に指定することができる。

現況の堤防断面が計画断面に対して不足している箇所など、堤防の整備状況等を示した上で水防団や河川管理経験者等と意見交換を行うとともに、その結果をできるだけ具体的な内容にして記録に残しておくことが望ましい。

5 おわりに

平成31年2月の重要水防箇所評定基準（案）の改定では、浸透に係る重要水防箇所以外にも部分改定が行われており、堤防高（流下能力）が越水（溢水）に名称が変更された他、重要度Aの中でも特に重要なところを明確にするように改定されている。

浸透に係る重要水防箇所の解説や詳しい設定手順については、JICE ホームページで公開している「浸透に係る重要水防箇所設定手順（案）」をご覧ください。

(<http://www.jice.or.jp/tech/material/detail/16>)

重要水防箇所評定基準（案）は、今後も新しい知見を踏まえて都度改定が行われるものである。現在、浸透については基礎地盤のパイピング破壊や、堤体と基礎地盤が連動するすべり破壊等、浸透破壊に関する新たな被災メカニズムの研究が多く行われており、JICEにおいても受託業務や自主研究を通して浸透破壊のメカニズム解明や新たな安全性照査手法に関する検討を行っている。今後、これらの研究成果を踏まえ、より確度の高い浸透に係る重要水防箇所の評定につなげていく必要がある。

【参考文献】

- 1) 水防ハンドブック編集委員会：実務者のための水防ハンドブック，技報堂出版，2008
- 2) 国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き，2012，http://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/tech/material/teibou_kouzou02.pdf
- 3) 福岡捷二：国土マネジメントに関する政策立案の視点，JICE REPORT 第33号，p.42，2018，http://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/tech/reports/33/jice_rpt33_08.pdf
- 4) 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－浸透流ナンバー SFn と堤防脆弱性指標 t^* ，土木学会論文集 B1（水工学）Vol.74，2018
- 5) 国土技術研究センター：浸透に係る重要水防箇所設定手順（案），2019，<http://www.jice.or.jp/tech/material/detail/16>