

講座

土構造物のメンテナンス

6. 河川堤防における点検と維持管理

末次忠司 (すえつぎ ただし)
前 国土技術政策総合研究所河川研究室 室長

川口広司 (かわぐち ひろし)
前 国土技術政策総合研究所河川研究室 研究官

古本一司 (ふるもと かずし)
㈱土木研究所材料地盤研究グループ 主任研究員

森啓年 (もり ひろとし)
前 ㈱土木研究所材料地盤研究グループ 研究員

石原雅規 (いしはら まさのり)
前 ㈱土木研究所耐震研究グループ 研究員

6.1 はじめに

日本の河川は、細長い日本列島という特性に加え、その中央部には急峻な山脈があるため、勾配が急で延長が短く、豪雨があれば、瞬時に水が流出し、洪水が発生しやすい構造となっている。

河川堤防は、こうして発生した流水を河道内において安全に流下させることを目的とする防災構造物としての使命を有する線状の連続構造物である。その多くが長い治水の歴史を経て形成されてきたものであり、自然状態の河道に合わせて築堤したことに始まり、さらには、災害を契機として、かさ上げや拡幅といった補強が繰り返されたものであり、その内部構造は一様でない。また、内水排除のための排水機場や樋管等の工作物、堤内排水路も多く、一連とされる堤防であってもこのように、不連続な部分を有するという特徴がある。

しかしながら、局所的な堤防の崩壊であっても、氾濫原全体に被害をもたらすため、こうした堤防の特徴を踏まえた上で点検および維持管理を実施する必要がある。

ここでは、まず河川堤防における被害の実態を述べ、その後、点検ならびに補修・補強の具体的方法を述べる。ついで、実際の災害とその復旧事例を紹介し、最後に河川堤防の点検・維持管理に関する最近の取り組みを述べる。

6.2 河川堤防における被害の実態

河川堤防は堤体と基礎地盤が一体として機能を発揮するものであるが、自然な河道に合わせて堤防を築造したということは、地盤条件を選択できなかったこと、すなわち工学的な評価の上に立って基礎地盤が選択されているわけではないことを示している。一般に、氾濫域を構成する土質は軟弱な沖積層であり、その表層部は河川の氾濫や流路変化の影響を直接的に受けているために極めて複雑なことが特徴で、河川堤防はこのような複雑な自然の基礎地盤の上に成立していることになる。

また、堤体に用いられている材料については、最も入手しやすく、基礎地盤ともなじみよく、維持補修も容易

でかつ経済的であるという理由から、土砂が用いられているが、大量の土砂が必要とされることもあり、築堤材料として本来好ましくないものまで使用されているのが実情である。

一方、河川堤防の致命的な被害は破堤であり、その形態は多様で、浸透破壊、侵食（洗掘）破壊、越水破壊の3種類に分類されるが、実際の破壊機構は、これらが組み合わされ複雑である。これらのうち、実際に生じた破堤の多くは、水位が堤防高を上回り生ずる越水に起因するもので、土でできている堤防の宿命ともいえる。

治水事業の進捗により、大河川においては最近でこそ越水による破堤は少なくなっているが、破堤そのものがなくなったわけではなく、昭和49年の多摩川、昭和51年の長良川、昭和56年および61年の小貝川におけるもの等がある。最近の出水被害では、平成10年8～9月の阿武隈川や那珂川（平成10年8月末豪雨）、平成12年9月の東海豪雨における新川、平成16年10月の円山川等が記憶に新しいところである。

また、漏水や侵食による堤防の被害は各地で毎年のように発生しており、これらのなかには水防活動が功を奏して破堤を免れた事例も存在している。

侵食および越水に起因する堤防の被害は、洪水時の流水あるいは越流水の掃流力により堤体表面あるいは法尻部が侵食され、堤体を構成する土粒子が移動することにより生起するもので、そこでは降雨の浸透による堤体表層部の脆弱化も深く関係しているものと推察される。

一方、浸透による堤防の被害は、洪水時の河川水あるいは降雨が堤体および基礎地盤に浸透することによって間隙水圧が上昇し、堤体の見かけの強度が低下する（法すべり等）、あるいは土粒子が移動する（パイピング等）ことにより生起するもので、降雨は堤体の表層部を脆弱化させることのほかに、堤体の飽和度を増加させ、浸潤面の発達を助長させる原因ともなっている。また、樋門等の堤防横断構造物周辺の堤防においても、当然ながら、堤防としての機能を保持する必要があるが、コンクリート等の剛体構造と土が接する部分に浸透水が集中しやすい、あるいは空隙やゆるみが形成されやすいことから、

講座

洪水時にそれらが原因となって大漏水を生じ、破堤に至った事例も少なくない。

また、大地震時には基礎地盤に液状化が生ずることによって堤防が大きく沈下、変形する被害がみられ、このような場合には、ゼロメートル地帯等では常時の河川水が堤内地にあふれ出し、二次災害（浸水災害）を生起するおそれもある。

6.3 河川堤防の点検手法と補修・補強方法

6.3.1 点検手法

河川堤防の点検手法としては、河川巡視、目視点検、概略点検、詳細点検などが存在する。ここではそれらの概要について紹介する。

(1) 河川巡視¹⁾

河川巡視は、平常時に河川管理の一環として定期的に行うものであり、河川管理業務の実施体制、河川や周辺地域の状況などに応じて、河川巡視規定を制定することとなっている。原則として目視により、主に下記に示す事項について状況の把握を行う。

- 1) 流水の占有状況
- 2) 土地の占有状況
- 3) 産出物の採取に関する状況
- 4) 工作物の設置の状況
- 5) 土地の形状変更
- 6) 船舶繫留等の状況
- 7) 河川環境の状況
- 8) 河川管理施設および許可工作物の維持管理状況
- 9) 親水施設等の維持管理等の状況
- 10) 河川保全区域、河川予定地および高規格堤防特別区域における行為の状況
- 11) その他

(2) 目視点検^{2)~5)}

目視点検は、「堤防の要注意箇所²⁾の効率的・効果的な実施に向け、平成17年度から試行が行われることとなったものである。具体的には図-6.1に示すような主に以下の対象について、堤防破壊の懸念のある変状が生じていないかどうかの点検が実施される。

- 1) 河道内
- 2) 高水敷、低水護岸
- 3) 表法面、高水・堤防護岸
- 4) 天端
- 5) 裏法面
- 6) 裏法尻
- 7) 堤脚水路
- 8) 堤内地
- 9) 樋門等構造物周辺
- (3) 概略点検・詳細点検^{6),7)}

概略点検は、「自然条件、社会条件、河川あるいは河道の特性、河川管理施設、特に河川や堤防を横断する構造物、および堤防の現況や被災履歴等⁶⁾」を把握するため詳細点検（安全性照査）の前に実施する。概略点検（浸透）の結果は図-6.2に示すとおり A~D までの概

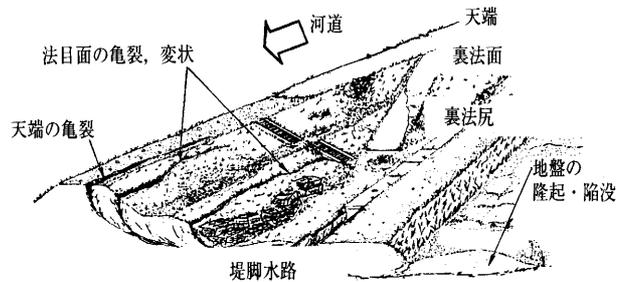


図-6.1 目視点検項目の例

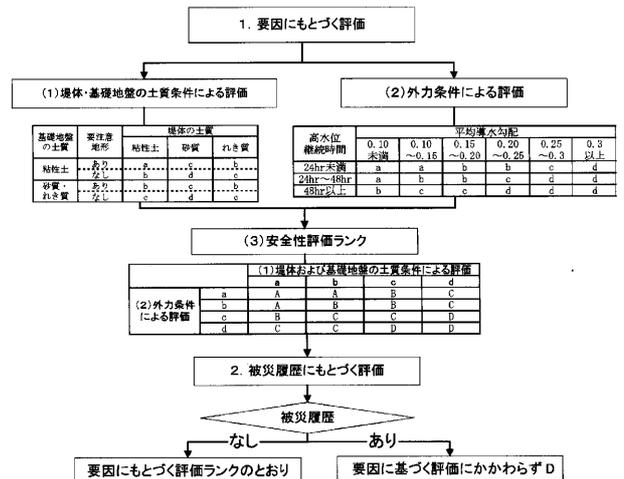


図-6.2 概略点検フロー

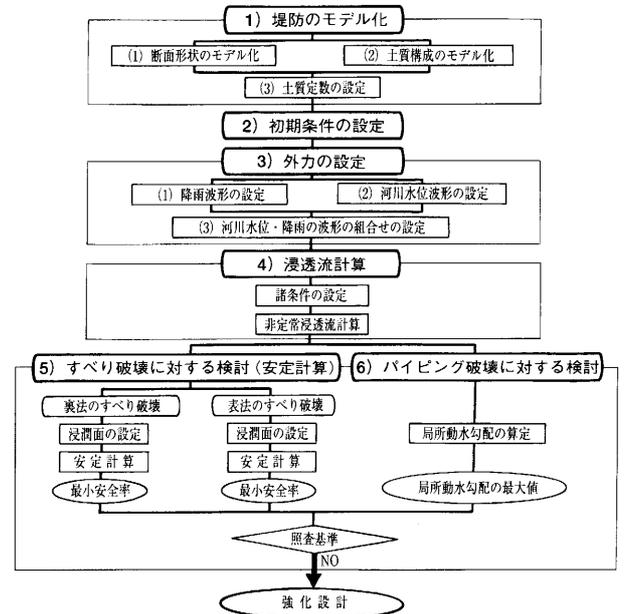


図-6.3 詳細点検フロー⁷⁾

略評価ランクで示され、C、D 評価について優先的に詳細点検を実施することとなる。

浸透に関する詳細点検は、図-6.3に示すとおり、河川堤防のモデル化を行い、初期条件および外力を設定し浸透流計算を行いすべり破壊およびパイピング破壊に対する河川堤防の安全性の照査を行う。その結果、表-6.1に示す所要の安全率を確保していない河川堤防については、堤防強化の実施を検討する。

表-6.1 照査基準⁷⁾

項目	部位	照査基準
すべり破壊 (浸潤破壊)に 対する安全性	裏法	$F_S \geq 1.2 \times \alpha_1 \times \alpha_2$ F_S ; すべり破壊に対する安全率 α_1 ; 築堤履歴の複雑さに対する割増係数 α_2 ; 基礎地盤の複雑さに対する割増係数
	表法	$F_S \geq 1.0$
パイピング破壊 (浸透破壊)に 対する安全性	被覆土 なし	$i < 0.5$ i ; 裏法尻近傍の基礎地盤の局所 動水勾配
	被覆土 あり	$G/W > 1.0$ G ; 被覆土層の重量 W ; 被覆土層基底面に作用する揚 圧力

6.3.2 補修・補強方法⁸⁾

(1) 侵食に対する補修・補強方法

侵食対策としては、侵食被害はまだ発生していないが、侵食危険性が高いと評価されて行う対策Ⅰと、侵食被害が発生した場合の対策Ⅱがある。

【対策Ⅰ】河岸形態は裸地、植生、護岸に分類される。侵食危険性の評価は裸地の場合、引張り試験機を用いれば、供試体の引張り破壊応力より侵食限界流速を知ることができ、危険度判定ができる。植生がある場合は土中に含まれる根・地下茎の重量を計測すれば、許容侵食深に対して洪水継続時間～摩擦速度の関係より植生河岸の耐侵食性を評価できる。護岸の場合は抗力・揚力係数等が分かれば、「護岸の力学設計法」に従って、耐侵食性(安定性)を評価できる。

しかし、これらの手法は施設の耐侵食性を物理的に評価できる反面、評価に時間と手間を要するので、縦断的に見た侵食実績から侵食危険性を評価する方法が用いられる場合がある。評価手順は図-6.4のとおりである。なお、侵食は河床低下に伴って発生することも多く、同様の方法で最深河床高を予測することもできる。

【対策Ⅱ】侵食被害の形態は、①直接侵食、②河床低下・砂州に伴う侵食、③落込み流等による侵食、④その他の侵食に4分類できる。

上記した評価法(対策Ⅰ)、または被災地の現地調査(対策Ⅱ)で被災形態が①か②かが推定できる。複合した(または判別できない)形態である場合は、河床低下も見込んだ対策とする。

①の侵食は洪水流(流体力、せん断力)、転石・流木によるものであるため、基本的には洪水流に対して十分な耐力を有した法覆工等を設置する。連節ブロックで見られるめくれに対しては、小口止め工や横帯工を設けておく。洪水流による外力を軽減するために水制を設置する方法もある。また、流木に対しては流木捕捉工(パイプスクリーン、水裏部への誘導)を設置するなどの発生源対策を実施する。

②の侵食は湾曲部の外岸側や砂州対岸部で発生した河床洗掘が主な原因であるため、法覆工だけでなく、基礎工、根固め工も設置する。川幅/水深が大きな複列砂州河川では中小洪水に伴う偏流によって侵食が発生する場

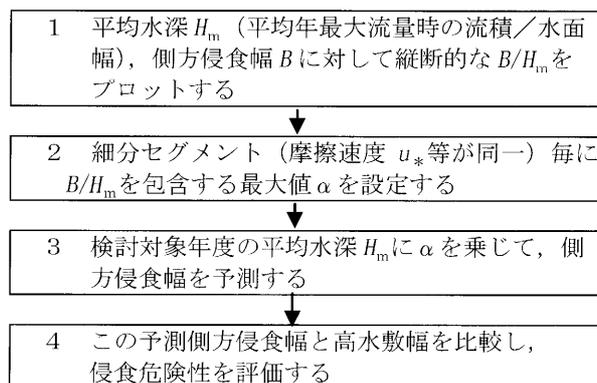


図-6.4 侵食危険性の評価手順

合もあるが、砂州の大きさや位置により発生区間が変わるため、対策の要否の見極めが必要である。

③の侵食は①、②とは異なり、山地河川や都市内中小河川のような掘込河道で発生することが多く、特に橋脚の跨度が狭い山地河川では流木が閉塞して越水氾濫して、河道へ氾濫流が戻る際に侵食するので、上記した流木の発生源対策と同時に、法覆工上面の天端保護工の幅を広くしておく必要がある。ただし、高水敷が広い大河川でも、堰(せき)上流で乗り上げた洪水流が下流で低水路に落ち込んだ時に侵食被害が発生することもあるので、注意する。

④の侵食は洪水時の減水速度が速い河川や干満差の大きな感潮河川において、水位低下時の残留間隙水圧の増加により、護岸の継ぎ目などから裏込め土砂が流失して、空洞が発生し、法覆工が破壊されるものである。対策としては、間隙水圧を逃がすための裏込め材、水抜き孔の設置などがある。

補修・補強にあたっての被災調査では、図-6.5に示した事柄に留意して、調査を行う必要がある。なお、小規模な被災に対しては、以下に示すような補修・補強対策が考えられる。

・法覆工の一部陥没

法覆工下部に空洞が発生していないかどうかを調査し、陥没部分に土砂を詰め、その上に護岸を敷設する。

・護岸ブロックの一部の持ち上がり

護岸ブロックは一部であっても持ち上がっていると、洪水流の流体力が大きくなる(施工上の問題や洪水による部分的な段差等に対して、控え厚は3~5割増した値を採用するよう、設計上の余裕は見られている)ので、整正しておく。

・護岸ブロックの間に隙間が発生

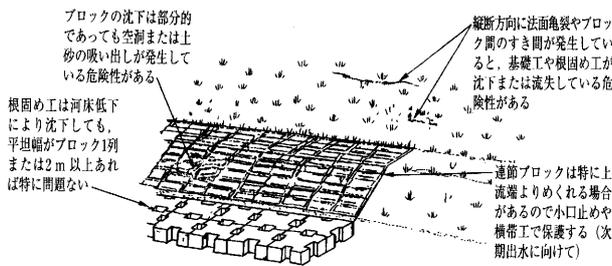
ブロック下に吸い出し防止材が敷設されていれば、隙間が5mm以内なら特に問題はない。

・根固め工の一部流失・垂れ下がり

平坦部の敷設幅がブロック1列または2m以上あれば、特に問題はない。

この他、最近よく見られる事例として、堰・床止めの流失被害がある。特に洪水により水叩き下流側の護床ブロック(の一部)が流失したが、補修せずにそのままに

講座



図—6.5 侵食被害を見る場合の留意点

しておいたために、その後の洪水により水叩き下部の侵食が進んだことなどにより本体が被害を受けた事例である。多くは河道内の被災であるが、場合によっては堤防や河岸へ被災が助長される場合も考えられるので、注意する必要がある。

(2) 浸透に対する補修・補強方法

ここでは、堤防強化工法の選定の考え方⁹⁾を示すとともに、浸透に対する主な堤防強化工法を紹介する。

1) 堤防強化区間の設定

堤防の強化工法の選定にあたっては、整備の対象となる堤防強化区間の設定が必要である。強化区間は詳細点検結果や、堤防の背後地の状況などを勘案して設定される。なお、対象とする区間の堤防が歴史的な経験などをもとに定められている最低限の形状（基本断面形状）を満たしていない場合には、まず基本断面形状を確保することを原則とする。

2) 一次選定（安全性の評価）

河川堤防の浸透破壊を防ぐためには、せん断力の強い堤体材料を用いるほか、堤体に水を浸透させないこと、浸透した水は速やかに排水することが重要である。

堤防の安全性を確保する工法の検討にあたっては、これらの耐浸透機能に関する堤防強化の基本的考え方を十分に踏まえ、所要の安全性を確保できる構造となるような工法を選定する。

堤防強化工法としては、断面拡大工法、ドレーン工法、表法面被覆工法、川表遮水工法、プランケット工法などが存在する。

① 対策事例1

堤防の法尻部にドレーン部を設け、法尻部をせん断力の強い材料に置き換えるとともに、堤体に浸透した水を速やかに排出する（図—6.6）。

② 対策事例2

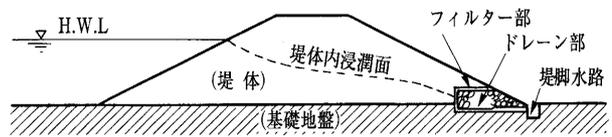
堤防の地盤に水が浸透しやすい場合、堤防の表側の地中に遮水壁を設け動水勾配を小さくし、地盤の浸透量を低減する（図—6.7）。

3) 二次選定（適用性の評価）

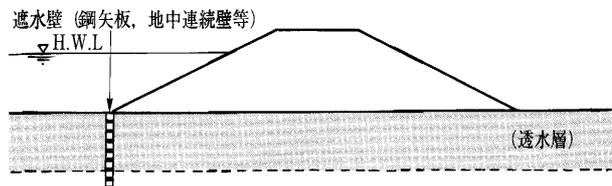
一次選定された堤防強化工法について「維持管理」、「経済性」、「施工性」、「事業執行」、「堤体材料・地盤とのなじみ、構造物との関係」、「環境・利用」の観点から適用性を評価し、適切な工法を二次選定する（図—6.8）。各観点に関する具体的な考え方を示す。

① 維持管理

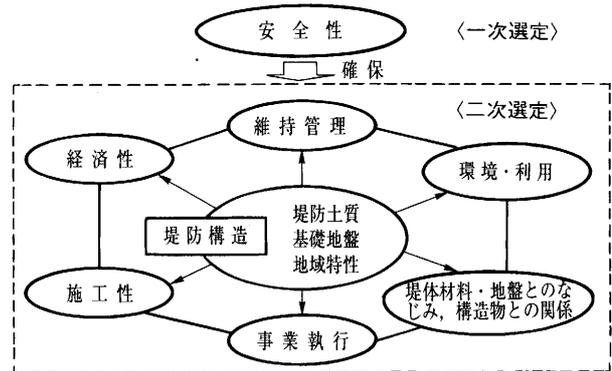
堤防強化実施後における維持管理の容易さが重要であ



図—6.6 ドレーン工法⁷⁾



図—6.7 川表遮水工法⁷⁾



図—6.8 適用性の評価の観点

り、以下について検討する。

i. 状況把握の容易さ

- 地震、軟弱地盤、地下水等の影響による変状、劣化の把握しやすさ

ii. 修繕の容易さ

- 劣化に対する補修工事の迅速性・経済性

iii. 機能の持続性

- 堤防強化の効果の持続性やその確認の容易さ
- 特に、シート等の破損や腐食、フィルター材の目詰まり等、経年的に発生する材料の機能劣化および地震、軟弱地盤、地下水等の影響による材料の機能劣化

② 経済性

堤防強化の効果を勘案したうえで、維持管理費も含めたトータルコストが最も適正であることが重要である。このため、堤防強化に係る費用について、複数の堤防強化工法を組み合わせた場合も含めて、維持管理費を含めたトータルコストを比較し、投資と効果のバランス等について検討する。

③ 施工性

堤防強化にあたっては、施工により弱点等が生じない等、施工の信頼性・確実性が高い工法を選定する。さらに施工の迅速性についても検討する。

④ 事業執行

円滑な事業執行を行うため、対策実施による地域への影響を把握する。

⑤ 堤体材料・地盤とのなじみ、構造物との関係
堤防強化部分が堤防の一部として機能するよう、以下について検討する。

- i. 堤体材料、地盤とのなじみ
 - ・堤防強化工法の施工による堤体等への影響の有無および堤防全体の変形への追従性
- ii. 構造物との関係
 - ・樋門・樋管等、既設の構造物との境界部は弱点となりやすいため、検討が必要

⑥ 環境・利用

堤防強化にあたっては、周辺の河川環境に及ぼす影響をできる限り回避・低減することが重要であり、以下について検討する。

- i. 生物の生息・生育環境への影響
 - ・堤防強化の実施による生物の生息・生育環境への影響
- ii. 景観への影響
 - ・周辺の景観との調和、景観の連続性、色彩等
- iii. 河川利用への影響
 - ・河川空間の利用状況等を踏まえ、横断形状の連続性等
- iv. 地下水への影響
 - ・堤内地における地下水利用と地下水流の方向

4) 堤防強化工法の決定

一次および二次の選定結果を踏まえ、さらに、河川の上下流部との構造的な連続性、樋門等の構造物の設置状況などを勘案して、総合的に検討を行い堤防強化工法を決定する。なお、上下流を含めてバランスの取れた堤防構造となるように調整するとともに、上下流あるいは左右岸の間の構造の連続性・整合性についても配慮する。また、構造物の境界部が弱点部とならないようにすることも重要である。

(3) 地震に対する補修・補強方法

既往の地震による堤防の被害は、主として、液状化によるものであったため、地震に対する耐震補強としては、液状化対策を中心に実施されてきている。現在行われている耐震補強は、レベル1地震動に相当する地震外力を考慮したものである。しかし、東海地震、東南海地震などの大規模地震の発生確率や地域ごとの地震動強さなどが公表されてきていることなどから、大規模地震動に対応した技術基準の策定が求められているところである。このため、学識経験者や有識者より構成される「河川構造物の耐震検討会」を立ち上げ、水門や堰など堤防以外の構造物も含め、レベル2地震動に対する河川構造物の耐震設計法に関する検討が行われている。

ここでは、現在行われている堤防の耐震補強と「河川構造物の耐震検討会」における検討内容を紹介する。

1) 堤防の耐震補強の現状

1995年の兵庫県南部地震以降、全国的に河川堤防の耐震補強を実施してきている。全国の直轄および補助河川を対象に、「河川堤防耐震点検マニュアル・解説」¹⁰⁾に基づき耐震点検を実施し、要対策と判定された区間は

は、「河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル(案)」¹¹⁾などに基づいて耐震補強が実施されている。

点検においては、地震により被災した堤防を河川水が溢水して堤内地が浸水する二次被害発生の恐れのある区間を耐震対策上重要な区間と位置づけ、堤内地盤高さが朔望平均満潮位+1.0 m よりも低い区間を点検の範囲としている。点検の範囲にあたる堤防に対しては、円弧すべり安全率より沈下量を推定し、沈下後の堤防高さが朔望平均満潮位+2.0 m よりも低くなる区間を要対策区間と判定している。さらに、重要度なども加味し、最終的な要対策区間を設定している。点検対象区間は河口部付近に限定されるとは言え、膨大な量に上ることから、まず、堤防形状や堤防の材料、基礎地盤の強度定数や層厚などから簡易に安全率を算定する方法によりスクリーニングを行い、残った区間に対して円弧すべり安全率の検討を行うフローとなっている。

点検の結果、要対策と判定された区間に対しては、耐震対策が実施されているところである。これまでの地震被害のうち、深刻な被害は基礎地盤等の液状化によることから、対策工法としては、鋼材を用いた工法と地盤改良(固結工法、締固め工法、ドレーン工法など)などの液状化に対する耐震補強を中心として実施されてきた。鋼材を用いた工法と地盤改良がそれぞれ3割強の割合で実施されている。その他に、腹付け盛土やかさ上げなどの対策も2割程度と多く実施されている。

本点検方法および対策工法の設計に関して、安全に余裕があるため、技術の進歩に伴いコスト縮減が図れるものと考えられる。

点検方法では、沈下量を推定する方法がかなり安全側となっている。点検手法について検討した当時は、沈下量を直接的に評価できる手法が開発途上であったため、円弧すべり安全率から沈下量を推定する方法が採用されている。安全率を0.6以下、0.6から0.8、0.8から1.0、1.0以上の4段階に区分し、それぞれ75%、50%、25%、0%の沈下率としている。沈下率は、実被害断面の安全率と実測沈下率の関係に対して最も安全側となるよう階段状に線を引いた結果、得られたものである。このため、同じ安全率でもかなり沈下した断面から全く沈下しなかった断面まで幅広く存在する。したがって、実際よりもかなり大きな沈下量となることも多いと考えられる。

次に、対策工の設計であるが、震度法に基づいた方法であるため、変形を考慮できない。このような設計法から、沈下量を考慮した設計法に移行することにより、コスト縮減が図れるものと考えられる。

2) 「河川構造物の耐震検討会」

平成16年2月より「河川構造物の耐震検討会」を設置し、大規模地震に対する河川構造物の耐震設計法に関する検討を行っている。

本検討会では、浸水による二次災害等、人命・財産および社会経済活動への重大な被害の発生を防止する観点から、河川構造物のうち、堤防、自立式構造の特殊堤、水門および樋門、排水機場および揚水機場ならびに堰を

講座

対象構造物として選定しており、各構造物に関して、要求される耐震性能や耐震性能の照査法等について検討が行われている。

堤防は地震により損傷した場合においても他の構造物に比べ短時間で修復が可能なることから、発生確率の低い大規模地震に対して全く損傷を許さないとする設計は合理的ではない。一方で、堤防が大きく沈下し堤内地が浸水してしまうと、地下街、地下室などで致命的な被害の発生に結びつくだけでなく、被災した家屋からの救助やその後の復旧に大きな影響を及ぼすことも想定される。このようなことから、堤防の耐震性能としては、地震により沈下しても地震後の残留堤防高さが河川水位よりも高く、越水させないことが要求される。「河川堤防点検マニュアル・解説」に明記されていないものの、ほぼ同じ要求性能を大規模地震に対しても求めることとなる。

次に照査法であるが、大規模地震に対して円弧すべり安定計算法を適用することは、前述のとおり過度に安全側となってしまふことがあるため、地震による堤防の沈下量を直接的に評価できる方法の導入が検討されている。沈下量を直接的に評価できる解析手法¹²⁾としては、非常に精緻な有効応力を考慮した動的変形解析から、比較的簡便な静的変形解析まで多くの種類があるが、いずれにせよ全国の堤防に対してこのような解析方法により照査を行うことは、非常に困難である。このため、液状化層の厚さや表層非液状化層厚、盛土などを入力パラメータとする簡易推定式に関する検討も行っている。また、対策工に関しても、沈下量に基づいて設計を行うことを検討している。

(4) 樋門等構造物周辺堤防の補修・補強方法

樋門等構造物の周辺の堤防においては、6.2で述べたように、樋門等と土構造物である堤防と重量や剛性等が異なるため、両者の接合部を長期にわたり安定的に密着させることが困難で、ゆるみや空洞等を発生し、洪水に対する弱点となりやすい。こうした傾向は、支持杭基礎により設置された樋門に多く見られる。

補修にあたっては、こうした変状の多くは進行性であることを認識し、まず、外観調査、連通試験等の点検結果を基に、水みちの連続性、残留沈下の有無等の観点から浸透破壊に対する安全性を評価する。

次に、この評価結果を基に、撤去・改築、止水板の設置、空洞充填（グラウト注入等）等の対策を実施する。

また現段階では、こうした対策においても、恒久的な安全性の確保は困難であることから、補修・補強実施後モニタリングを行い、所要の機能が發揮されているかどうかを継続的に確認することが重要である。

6.4 災害復旧事例：破堤等の被害があった箇所 のその後の復旧状況

6.4.1 洪水による被害

(1) 侵食対策事例

堤防・護岸の侵食被害は、急流河川の砂州河道に多く見られる。河川の急な河床勾配は、洪水の流速を大きく

するだけでなく、砂州による水衝部の洗掘を引き起こす。以下に、平成10年に発生した福島県の阿武隈川支川荒川で発生した【a】侵食破堤被害、【b】災害復旧の概要について記す。

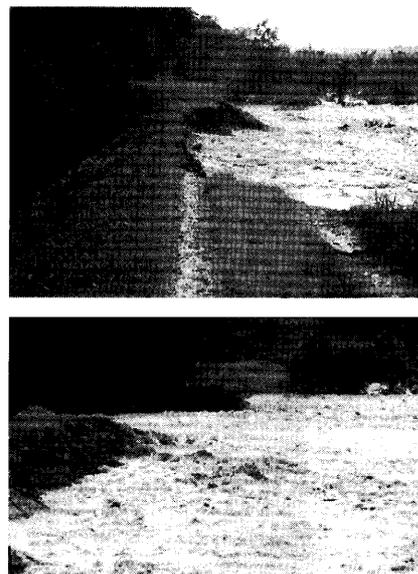
【a】侵食破堤被害の概要

平成10年の台風5号がもたらした出水により、荒川の日倉橋上流右岸堤防が破堤した。8時29分頃に侵食され始め写真—6.1のように9時頃に破堤した。破堤時は既に洪水の減衰期に入っており、最終破堤幅は約100mであった。越流は確認されなかった。破堤部を含む河道区間は河床勾配1/150（5km上流では1/40）の急流に分類される河道であり、写真—6.2から破堤部近くは砂州による水衝部となっていたことがわかる。

この出水による流量は330 m³/sであり、昭和22年以降の記録が残る荒川の全20箇所の侵食破堤は流量200 m³/s以上で発生していた。ただし、平成2年に設置された袖付き帯工の堤防への洪水外力軽減効果により、平成5年の（流量280 m³/s）の出水では破堤しなかった。

【b】災害復旧の概要

災害復旧後の破堤部の河道断面を図—6.9に示す。被災した堤防には空玉石張り護岸が施工されていた。基礎工がなく河床低下に伴い被災しやすい構造であった。砂



写真—6.1 侵食破堤進行状況 (上: 8時37分, 下: 9時)



写真—6.2 洪水後の砂州状況と水衝部

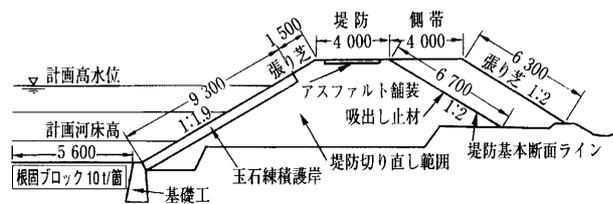


図-6.9 復旧後堤防断面

州による水衝部による河床低下時を考慮して、基礎工、根固めブロックが施工された。根固めブロックには帯工の護床工に使われている10tブロックが用いられ、ブロックの重量も十分に確保された。

現在の護岸設計法として使われている「護岸の力学的設計法」によると被災した空玉石張り護岸の移動限界流速は5.3~6.1 m/sとなる。平成10年の洪水では、現地情報や水理模型実験から6 m/s以上の流速が確認されている。もし、空玉石張り護岸が施工時点のとおり精巧に組み合わせられたままでない場合、護岸相互の連結力の低下によりこの流速より大きい洪水外力に耐えられない。

明治から昭和10年代に施工されたことによる部材劣化だけでなく、粒径20~30 cmの河床材料の衝突による連結力の低下も考慮し、空玉石張り護岸から玉石練積護岸に変更され連結力が高められた。

また、平成10年の破堤は、侵食が始まってから約30分という短時間での発生であったため、堤防基本断面に加えて側帯が設けられ、堤防は拡幅された。流れの滞りが河道中央となるように掘削と盛土が行われて河道断面の改修も行われた。

(2) 浸透対策事例¹³⁾

利根川右岸の埼玉県加須市大越地先では、平成13年9月の台風15号による出水の際に、堤体および基礎地盤において漏水が発生した。この漏水では、大きな被害には至らなかったものの、高水位には達しない水位で発生したこと等が重視され、詳細な調査が行われた。

8日夕方から降り続いた豪雨は、11日夜までに利根川流域の平均雨量で246 mmに達した。この豪雨による出水に伴い、利根川上流の7観測所で警戒水位を大きく上回る水位を観測した。高水敷高以上の水位継続時間は約43時間であった。

対象箇所では、堤内地で2箇所、噴砂を伴う基礎地盤漏水と堤内地側小段からの堤体漏水が発生した。

堤内地では、堤防法尻から約20 m離れた位置で、2箇所漏水が発生した。漏水量は120 l/min程度であり、漏水後には直径30 cm程度の穴と噴砂の跡が確認された。なお、漏水発見直後から、漏水箇所周辺に円形に土のうを積む、いわゆる釜段工による水防活動が行われた。

一方、堤内地側法面の小段においても、数箇所漏水が発生し、月の輪工による水防活動が行われた。

漏水箇所は、明治33年改修計画策定以前に存在した旧堤と現在の堤防の法線が斜めに交差する位置に相当し、堤体内における旧堤の位置が上下流方向で異なる状況に

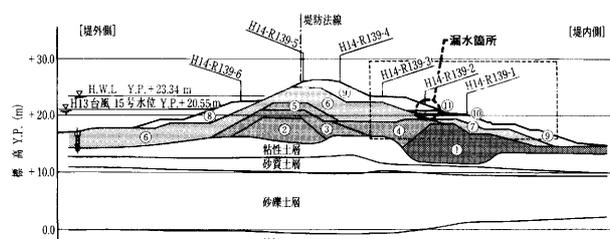


図-6.10 土質構造

あることが推察された。

基礎地盤の調査を行ったところ、透水層が堤外地から堤内地側に向かって連続し、かつ消滅する、いわゆる行き止まり型の地盤であったため、パイピングが生じやすい状態であることが推定された。また、堤体の土質調査結果を図-6.10に示す。対象箇所は堤体内に浸透した雨水や河川水が堤体内に溜まりやすい構造をもっており、かさ上げ、拡幅により施工した旧堤上部の比較的透水性が高い土が分布する小段付近において漏水が発生したものと考えられた。

6.4.2 地震による被害

河川堤防の地震による被害と復旧¹⁴⁾は、以下のような形態がある。

(1) 亀裂

堤防の縦断方向に入る亀裂は、最も多く発生する被害である。ヘアクラックから数十 cmの幅の亀裂まで様々である。幅の広い亀裂は、法面のはらみ出しや沈下などと共に生じることが多い。沈下などの被害が伴っていない場合には、すぐに治水機能の低下に結びつくものではない。一方、堤防の横断方向に入る亀裂は、樋門などの横断構造物周辺や地盤条件の変化する箇所など限られた箇所が発生することがある。横断亀裂は、縦断亀裂と異なり、洪水時には横断亀裂から決壊する可能性があるため、注意が必要である。

軽微な亀裂を除き、土砂充填などを施した上で、雨水が堤防内部に浸透することを防止するために、ブルーシートなどで覆う応急対策が行われる。

本復旧においては、亀裂周辺の盛土材を一旦撤去し再度盛土する切返しが行われる。この作業では、亀裂の範囲が重要となるため、被害が生じた直後に、石灰水を亀裂内に投入し、掘削時の目印にする。計画高水位より低い位置まで亀裂が入っている場合には、切返し時に浸水の恐れが高まるため、二重矢板締切りや盛土などの仮設工事を施した上で、切返しを行うことになる。

(2) 法面のはらみ出し、すべり崩壊

法面のはらみ出しは、法面付近の土塊が外側に動くことによって生じると考えられる。はらみ出し量が多い場合には、天端に亀裂や段差を伴うことも多い。亀裂や段差などの位置とはらみ出しの状況から動いた土塊の範囲を推定し、本復旧の際の切返し範囲を設定する。天端に亀裂や段差を伴わないような軽微なはらみ出しに関し

講座

ては、安定性や浸透に対する影響も軽微であると考えられる。法面付近の土塊の動きが大きくなると、すべり崩壊となる。事例としては、2004年新潟県中越地震による信濃川三俣野の法面すべり崩壊などがある。

また、堤防内部の地下水位が高く、はらみ出しが発生したと考えられる場合には、本復旧の際に、排水対策が実施されることが多い。

(3) 沈下

これまでの地震による大きな沈下は、液状化地盤上の堤防で多く発生している。1995年の兵庫県南部地震による淀川西島地区では、約3mの沈下が生じた¹⁵⁾。このように堤防が大きく沈下すると、越水の可能性が高まることから、洪水の発生に備えて早急に復旧する必要がある。著しく沈下した箇所の本復旧では、堤体が全体的に亀裂が入っていることが多いため、堤体全体の切返しとなる場合が多い。また、全体の切返しを行う場合には、二重矢板締切りや盛土などの仮設工事を施すことが多い。さらに、地盤改良等の液状化対策を施すことも多い。軽微な沈下の場合には、亀裂や法面のはらみ出しに伴う切返しのみを実施し、現状復旧が行われる。

沈下の原因は、基礎地盤の液状化以外に、飽和した堤体下部の液状化の場合もあり、1993年の釧路沖地震¹⁶⁾、2003年十勝沖地震による釧路川や十勝川の堤防の被害が、その代表的な事例である。

(4) 護岸、止水矢板の損傷

堤体のはらみ出しに伴い、護岸に亀裂、目違い、折れ曲がりなどの変状が生じることがある。すべり土塊の範囲が基礎地盤に及ぶ場合や液状化により堤防が大きく変状した場合には、堤体近傍の止水矢板に影響が及ぶことが多い。護岸の応急復旧として、破損した護岸を撤去し、ブロックや土のうなどを設置することもあるが、損傷程度が著しくない場合には、亀裂などをコンクリートでふさぎ応急復旧することが多い。

6.5 おわりに

平成16年6月に国土交通省は管理する直轄河川約1万1000kmの堤防のうち、これまでに約2000kmで詳細点検が完了し、水位が計画高水位に達した時の浸透破壊に対する安全性が、調査完了区間の約4割で確保されておらず、未調査区間約8000kmを含めた約3割の区間で安全性が確保されていない可能性があるとして報告をした。

さらに平成16年度においては、集中豪雨や台風などにより新潟・福島・福井・兵庫などの河川において、堤防の破堤等により甚大な被害が発生した。

このように、堤防に関しては、調査・対策の早急な取り組みが必要であり、今後、さらなる調査を進めるとともに、現時点で安全性の不足が確認された区間については、堤防強化を計画的に実施する必要がある。あわせて、堤防管理の高度化を図るために重要な役割を果たすモニタリングについては、平成16年9月に「モニタリング委員会」(委員長: 広島工業大学宇野尚雄教授)が設立され、検討をはじめているところである。

参考文献

- 1) 国土交通省:「河川巡視規定について」(平成9年7月28日付け建設省河川局水政課河川利用調整官, 治水課流域治水調整官事務連絡), 河川事業関係例規集, ㈱日本河川協会, 2004.
- 2) 国土交通省:「河川堤防モニタリング技術ガイドライン(案)について」(平成16年3月31日付け国土交通省河川局治水課河川整備調整官事務連絡), 河川事業関係例規集, ㈱日本河川協会, 2004.
- 3) 国土交通省:「直轄河川堤防の目視点検によるモニタリングの試行について」(平成17年3月24日付け国土交通省河川局治水課河川整備調整官事務連絡), 2005.
- 4) 国土交通省:「中小河川堤防の目視点検によるモニタリングの試行について」(平成17年3月24日付け国土交通省河川局治水課河川整備調整官事務連絡), 2005.
- 5) 財国土技術研究センター:「目視点検によるモニタリングに関する技術資料」, 財国土技術研究センター, 2005.
- 6) 国土交通省:「河川堤防の設計について」(平成14年7月12日付け国土交通省河川局治水課治水課長事務連絡), 河川事業関係例規集, ㈱日本河川協会, 2004.
- 7) 財国土技術研究センター:「河川堤防の構造検討の手引き」, 財国土技術研究センター, 2002.
- 8) 末次忠司・板垣 修:「堤防・河岸の侵食実態と侵食対策」, 第2回粘着性土の侵食に関するシンポジウム, 土木学会水工学委員会基礎水理部会, 2004.
- 9) 国土交通省:「河川堤防質的整備技術ガイドライン(案)について」(平成16年3月31日付け国土交通省河川局治水課河川整備調整官事務連絡), 河川事業関係例規集, ㈱日本河川協会, 2004.
- 10) 建設省:「河川堤防耐震点検マニュアル・解説」, 建設省河川局治水課, 1995.
- 11) 建設省土木研究所:「河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル(案)」, 土木研究所資料, 第3513号, 1997.
- 12) 財国土技術研究センター:「河川堤防の地震変形量の解析手法」, 財国土技術センター, 2002.
- 13) 佐藤宏明・中山 修・佐古俊介:「利根川堤防で発生した漏水に関する調査事例」, 河川技術論文集, 第11巻, ㈱土木学会水工学委員会河川部会, 2005.
- 14) 建設省河川局治水課監修:「震後対応の手引き」, ㈱全日本建設技術協会, 1994.
- 15) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会:「阪神・淡路大震災調査報告」, ㈱土木学会, 1997.
- 16) ㈱土質工学会 1993年地震災害調査委員会:「1993年釧路沖地震・能登半島沖地震災害調査報告書」, ㈱土質工学会, 1994.