

河川堤防の安全確保の考え方を踏まえた 堤防強化工法のあり方について

小俣 篤

1. 背景

河川堤防の安全に関しては、河川管理施設等構造令（以下「構造令」という。）第18条第1項に、「堤防は、護岸、水制その他これらに類する施設と一体として、計画高水位（高潮区間にあつては計画高潮位）以下の水位の流水の通常的作用に対して安全な構造とするものとする。」と規定（以下「堤防の安全基準」という。）されている。河川堤防のうち土堤に関しては、この規定の下に河川堤防の形状に関する基準が設けられており、各河川では過去の洪水の経験等を踏まえた計画堤防の断面が定められている。さらに、河川砂防技術基準設計編において、河川堤防の安全に関する照査が導入され、盛土や基礎地盤に関する現場の特性に応じた堤防強化工法がなされてきた。

現在の河川整備では、河川整備計画の目標とする流量を計画高水位以下で安全に流下させるよう築堤や河道掘削等の整備が進められている。一方、河川整備は段階的に進められ、河川整備計画の目標達成には20～30年の期間を要すること、また近年には計画高水位を超える洪水や計画対象の洪水より高水位が長時間継続する洪水（以下「超過洪水」という。）が頻発していることなどから、河川堤防の被災・決壊が顕在化している。平成27年8月の社会資本整備審議会答申「水災害分野における気候変動適応策のあり方について」¹⁾では、『堤防が決壊に至るまでの時間を引き延ばし、避難等のための時間をできる限り確保することを可能とするような堤防の構造について検討するべきである。』とされ、平成27年12月の同審議会答申「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」²⁾では、鬼怒川の堤防決壊を受けて、『越水等が発生した場合でも決壊までの時間を少しでも引き延ばすよう堤防構造を工夫する対策を推進すること。』とされたところである。

このように、河川堤防が決壊に至るまでの時間を引き延ばし、避難等のための時間をできる限り確保することを目指した河川堤防の強化が求められている。

河川堤防の強化に関しては、これまでも設計に当たっての照査に基づいて安全確保の観点から堤防強化工法の検討を進めてきたところであるが、今般、水防災意識社会再構築ビジョン²⁾において決壊までの時間を少しでも引き延ばすよう、堤防構造を工夫する対策にも新たに取り組むこととしたところである。また、社会的な要請を背景として堤防強化工法の様々な研究開発も進められるようになっており、それらの研究開発が効果的、効率的に進められていくことは重要な課題となっている。

以上のような堤防強化工法を巡る様々な動きがあることを踏まえ、超過洪水への対応を含めて、河川堤防の安全確保の考え方を踏まえた堤防強化工法のあり方について改めてここにとりまとめた。

なお、本稿では、盛土により築造される通常の土堤の河川堤防を対象としており、別の設計法が適用される高規格堤防や特殊堤は対象としていない。

2. 現在の堤防設計

2.1 形状規定方式

河川堤防設計指針³⁾では、『構造令では、堤防の構造の原則は定めているものの、その設計に関する事項としては、断面形状（余裕高，天端幅，のり勾配等）の最低基準を河川の規模（流量）等に応じて規定しているだけであり、いわば形状規定方式を基本としている。通常の構造物で行われるような構造物の耐力と外力を比較するという設計法が、堤防においてなされてこなかった理由としては次のようなことが考えられる。すなわち、堤防が長い歴史の中で順次拡築されてきてきた構造物であり、時代によって築堤材料や施工法が

異なるため、堤体の強度が不均一であり、しかもその分布が不明であること、基礎地盤自体が古い時代の河川の作用によって形成された地盤であり、極めて複雑であること、堤防が被災した場合、堤体や基礎地盤が破壊されてしまい、被災原因を解明することが困難であること、小さな穴ひとつでも破堤するといわれるように、局所的な安全性が一連の堤防全体の安全性を規定すること、水防活動と一体となって堤防の安全性が確保されていること、などである。このため、ある断面形状を定めて堤防を整備し、大洪水に遭遇して堤防が危険な状態になることを経験すると、その後の改修において、堤防を拡築して強度を上げるという方式を採ってきたと考えられる。また、場所によって堤防の断面が異なると住民に不安を与えることになることも形状規定方式がとられてきた背景のひとつであろう。』とされている。すなわち、河川堤防の設計においては

- a. 極めて延長が長い構造物である河川堤防の堤体や基礎地盤の内部構造が不明であること
- b. 局所的な安全性の欠落が全体の安全確保に影響すること

を構造上の前提としている。

また、河川堤防の設計にはいわゆる土堤原則があり、河川堤防の材質及び構造は、構造令第19条に、「堤防は、盛土により築造するものとする。」と規定されている。これは、

- c. 『堤防が長い歴史の中で順次拡築されてきてきた構造物であり』盛土により築造し続けることが合理的であること
- d. 『基礎地盤自体が古い時代の河川の作用によって形成された地盤であり、極めて複雑であること』から、河川堤防が長期にわたる不均質な沈下を許容せざるを得ない宿命にあること

に由来している。

すなわち、極めて延長が長い構造物である河川堤防は、基礎地盤と一体となり半永久的に機能する必要があり、毎年出水期に供用しながら一連区間の抜本的な更新工事を行うことは現実的に困難であることから、長期にわたって材料の劣化がなく、機能を維持するための補修が容易な（設計上の要求1）盛土構造が原則とされたのである。

2.2 河川堤防の設計法

その上で、河川堤防設計指針では、『このような形状規定方式による堤防の設計は、簡便で極めて効率的であり、長年の経験を踏まえたものであることから、堤防整備の基本として十分な役割を果たしてきたことは間違いのないところである。しかしながら、一方で堤防の洪水に対する安全性を評価することが難しいことも事実である。既往の被災事例をみても、計画高水位以下の洪水により漏水など構造上の課題となる現象が数多く発生しており、現在の堤防が必ずしも防災構造物としての安全性について十分な信頼性を有するとはいえない。そのため、計画的な補強対策が必要であり、その必要性や優先度、さらには対策工法を検討するためには、堤防の設計においても一般の構造物の設計法と同様、外力と耐力の比較を基本とする設計法（安全性照査法）を導入することが求められる。以上の考えから、平成9年に改訂した河川砂防技術基準（案）では、堤防の断面形状については従来の考えを踏襲しつつ、堤防の耐浸透・耐侵食機能に関しては機能毎に水理学的あるいは土質工学的な知見に基づく安全性の照査法を用いた堤防設計法を導入した。』とされている。

これは、上記a.～d.の基本的な理解の下で、より安全性を高める手法としての照査と強化を設計法に取り入れたことを意味している。この設計法では、形状規定方式を堤防の安全基準を満たすための設計の基本として踏襲しつつ、a.及びb.に関する調査に基づいた照査を適用し、必要な強化を行うことで河川堤防の安全性を高めている（設計上の要求2）。

また、河川堤防の安全性を高める際の考え方は、同指針に『洪水等によって生起される浸透、侵食作用、さらに地震に対して安全な構造を有している必要がある。このことから、堤防に求められる安全に関わる機能を、①耐浸透機能（浸透に耐える機能）、②耐侵食機能（侵食に耐える機能）、③耐震機能（地震に耐える機能）とし、整備箇所に応じて所要の機能を確保するよう堤防を整備する。』とされている。洪水外力に関しては、『①耐浸透機能とは、洪水時の降雨および河川水の浸透により堤防（堤体および基礎地盤）が不安定化することを防止する機能であり、全堤防区間で必要とされる。

②耐侵食機能とは、洪水時の流水の侵食作用により堤防が不安定化あるいは流失することを防止する機能であり、耐浸透機能と同様に全堤防区間で必要とされる機能である。』とされている。

したがって、形状規定方式により定められる河川堤防を強化する設計法は、その安全性を耐侵食、耐浸透の機能毎に分け、個別に安全性を照査する手法になっている。具体には、侵食に対しては堤防表面の侵食や高水敷の洗掘等に関する照査を、浸透に関しては堤体の滑りとパイピングに関する照査を独立して行い、個別に設計を行う。このように、河川堤防の決壊につながる侵食、浸透の現象を設定し、それらによる堤体の破壊を生じさせない、すなわち堤防に大きな形状の変化が生じない（設計上の要求3）設計法としている。

2.3 河川堤防の維持管理

平成18年7月の「安全・安心が持続可能な河川管理のあり方について」の提言⁴⁾では、河川維持管理の技術的な特徴を次のように記している。『河川は、水源から山間部、農村部さらには都市部等を流下し海に至る間で、それぞれ異なる地域特性を有している。また、土砂の流出や植生の変化等により長期的に変化していくが、その変化は必ずしも一様なものではなく、洪水、渇水等の流況の変化等によって、時には急激に、状態が変化するという特性を有する自然公物である。主たる管理対象施設である堤防は、延長が極めて長い線形的構造物であり、一箇所が決壊した場合であっても、一連区間全体の治水機能を喪失してしまうという性格を有している。また、原則として土で作られ、過去幾度にもわたって築造・補修され現在に至っているという歴史的経緯を有し、その時々で現地において近傍の土を使用して築造できるという利点がある一方、構成する材料の品質が不均一であるという性格も有している。これらのことから、河川維持管理を確実にを行うには、このような河川の状態を見（診）て、状態の変化を分析する、きめ細かな維持管理を実施することが必要となっている。』

さらに、平成23年5月に策定された河川砂防技術基準維持管理編〔河川編〕⁵⁾では、河川維持管理の技術的基準を定める際の基本的な考え方を次のようにまとめている。なお、文中のアルファベットは筆者による追記である。

- 『e. 自然公物である河川は自然の作用によって変化する。特に、河川は出水により大きく変化し、堤防にも変状が生じる。また、公共用物である河川は、公衆の自由使用に供されていることから、日常の人為的な作用も変化の要因になることがある。
- f. また、主な河川管理施設である堤防は歴史的な築造の経緯を有するとともに、複雑な地質構造を有するはん濫原に築造されており、いわば一つとして同じ土質構造を有しないため、河川管理施設等構造令においても形状による規定にとどまっているように、実物による長年の出水時の経験等に基づいて安全性を確認してきた構造物である。
- g. 自然公物でありかつ出水等によって変状を生じる河道、さらに主たる河川管理施設であり歴史的な築造の経緯を有する堤防等を対象とする河川維持管理（平常時及び出水時の対応）は、河川工事と相まって、治水上の安全性を確保するよう現地での変状等に対応し、長年にわたって経験を積み重ねながら実施されてきた。
- h. したがって、現状の河川維持管理の実施内容あるいはその水準は、河川巡視、点検による状態把握、維持補修等を繰り返してきた中で培われてきたといえる。
- i. 治水上の安全性を確保しつつ、経験的に行われてきた河川維持管理の実施内容あるいは水準等を変更する場合には、工学的な根拠等に基づく必要があるとともに、今後の維持管理の水準を高めるため、技術的な知見の蓄積を図る必要がある。』

この中では、前記a.～d.の基本的な理解を、維持管理の観点を追加してe.～i.のようにまとめ直している。

2.4 設計上の要求

以上より、計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対して求められる堤防の安全基準を満たすための設計上の要求は

- 1) 長期にわたって材料の劣化がなく、機能を維持するための補修が容易なこと。
- 2) 形状規定方式を堤防の安全基準を満たすための基本として踏襲し、照査を適用して河川堤防の安全性を高めること。

- 3) 侵食、浸透に起因する堤体の破壊が生じず、堤防に大きな形状の変化が生じないこと。

と要約することができる。また、形状規定方式によらない新たな設計法や強化工法の導入は除外されるものではないが、その場合には、i.で維持管理技術に関して示されたように、a.~h.の基本的な理解に関する新たな知見に基づいた工学的な議論が必要とされる。

3. 設計上の要求から見た既存の堤防強化工法の位置付け

3.1 設計上の要求から見た工法の制約

堤防の安全基準を満たすための設計上の要求1)によれば、盛土の内部に施工される強化工法は、施工により経験的に安全を確認してきた既存の土構造を乱し、また点検・補修が困難であることから採用できない。また、設計上の要求1)、2)は、a.~h.の基本的な理解にあるように、河川堤防が盛土を基本とし不均質な沈下を許容せざるを得ないこと、極めて長大な延長を持つ盛土構造物の安全は経験的に確認されてきていること、を技術的な根拠としており、盛土の内部構造を変更することは、その技術的な根拠を損なうことを意味する。そもそも、河川堤防には盛土断面を拡大することによって強化を繰り返してきた歴史的な経緯があり、堤防強化の基本は盛土を増強する断面拡大工法（いわゆる腹付けや緩勾配化）が基本とされてきたところである。これらは、俗に「堤体内に異物を入れてはならない」と言われていることの技術的な説明になる。

例えば、堤体内に設置せざるを得ない樋管は従来より河川堤防の弱点として認識されており、堤体内に異物を設けない論拠ともされてきたところである。そのため、樋管周辺の堤防は堤防点検に当たって特別に重要な注意箇所として位置付けられている⁶⁾。また樋管は、大きな工事を伴わずに変状を点検できる構造であり、縦断的に見れば堤防の一部を横断する施設であるので全面的な改築であっても部分的な開削により実施可能である。さらに、基礎地盤の沈下になじみやすいよう樋管に柔構造を導入するなどの工夫も行っているところである⁷⁾。

断面拡大工法については新たな用地を必要とするなど、社会的、経済的に制約を受けることが多

いため、種々の堤防強化工法を適用する判断の拠り所が必要となる。設計上の要求1)、2)を満足して盛土の内部構造を乱さない堤防強化工法は、盛土構造の表層あるいは浅層の施工により整備可能な、あるいは基礎地盤そのものに施工する工法であり、補修あるいは更新に当たり、主たる盛土構造を乱すことのない工法である。これらを設計上の要求から見た工法の制約と整理することができる。以下に、断面拡大以外の既存の堤防強化工法についてこの制約との関係を整理した。

3.2 従来の侵食対策の工法

- ・ 水制や低水路護岸など河道を制御する侵食対策に関しては制約との関連はない。
- ・ 堤防護岸は堤防表のり面の表面に設置されるものであり、また、基礎の洗掘を防止する根固め工は盛土前面あるいは基礎地盤表面に整備されるものであり、これらは制約を満たしている。

3.3 従来の浸透対策の工法

- ・ 基盤漏水対策として整備される遮水矢板は、表のり堤脚部の基礎地盤に打ち込まれるものであり制約を満たしており、ブランクットは河川敷を不透水化するものであり制約との関連はない。
- ・ 盛土部分への洪水あるいは降雨の浸透を防止する遮水工法は、シートや舗装など、全て表面あるいは表層への施工であり、制約を満たしている。
- ・ ドレーン工は、裏のり堤脚部の一部の盛土内部に整備されるものであり、制約との関係では容易な補修が可能な工法に区分できる。ドレーン工は欧米を中心に現地における浸透対策として確立された工法ではあるが、我が国の河川堤防における適用の実績期間は短く、その効果の確認及び機能の維持に関してはまだ十分な知見が揃ってはいない。更新する場合にも盛土堤脚部の部分的な開削で対応できる工法ではあるが、維持管理を容易とし、開削補修・更新の機会をできるだけ少なくできるような技術的な検討はさらに必要である。
- ・ リリーフウェルは裏のり堤脚部の基礎地盤に施工されるものであり、制約を満たしている。

- ・ 雨水対策として実施する天端保護工やのり面の排水工などについては、盛土の表面あるいは表層への施工であり、制約を満たしている。

4. 今後の堤防強化工法のあり方

4.1 超過洪水も対象とする堤防強化工法に求められる技術的な要件

堤防強化工法は、堤防の安全基準を満たすことは当然の前提であり、計画高水位を上回るなどの超過洪水を対象とし、河川堤防が決壊に至るまでの時間を引き延ばし、避難等のための時間をできる限り確保することを目指した堤防強化工法であっても、設計上の要求から見た工法の制約は同様に適用される。なお、本稿では高規格堤防や特殊堤を対象としていないことを再度付記しておく。

基本的な堤防強化工法である断面拡大工法については、超過洪水であるかどうかにかかわらず、a.及びb.の基本的な理解にある構造の安全に関する不確実性を前提として、耐浸透機能を強化する方向に機能する。また、腹付けによる緩勾配化は、のり面の滑り破壊が生じにくくなる方向に機能するとともに、仮に越水した場合の裏のり面が侵食しにくくなる方向にも機能する。このように堤防

強化工法は、堤防の安全基準を満たした上で、さらに超過洪水の条件下で生じる浸透、侵食による個々の破壊現象に対して河川堤防を確実に強化する方向に機能する工法でなければならない。

河川堤防が決壊に至るまでの時間を引き延ばすという機能は、超過洪水時のより厳しい外力の下で結果としては決壊に至ることを許容するものであり、堤防の安全基準を満たすための設計上の要求3)「侵食、浸透に起因する堤体の破壊が生じず、堤防の形状に大きな変化を生じないこと」を適用することはできない。しかし、超過洪水が作用する状況において、許容する変形について定量的な説明を求めても、a.~h.の基本的な理解からすると、現状では今後の研究課題とせざるを得ない。このことは、堤防強化工法により、具体的に設定した超過洪水の外力に対応して河川堤防を一定の安全な構造とすることは難しく、さらに超過洪水に対して決壊に至らない河川堤防とすることが困難である現状も示している⁸⁾。

以上より、現状において超過洪水も対象とする堤防強化工法を現地で採用するための技術的な要件は、設計上の要求から見た工法の制約を満足し、堤防の形状の変化は許容しつつも、超過洪水の条件下で生じる浸透、侵食による個々の破壊現象に

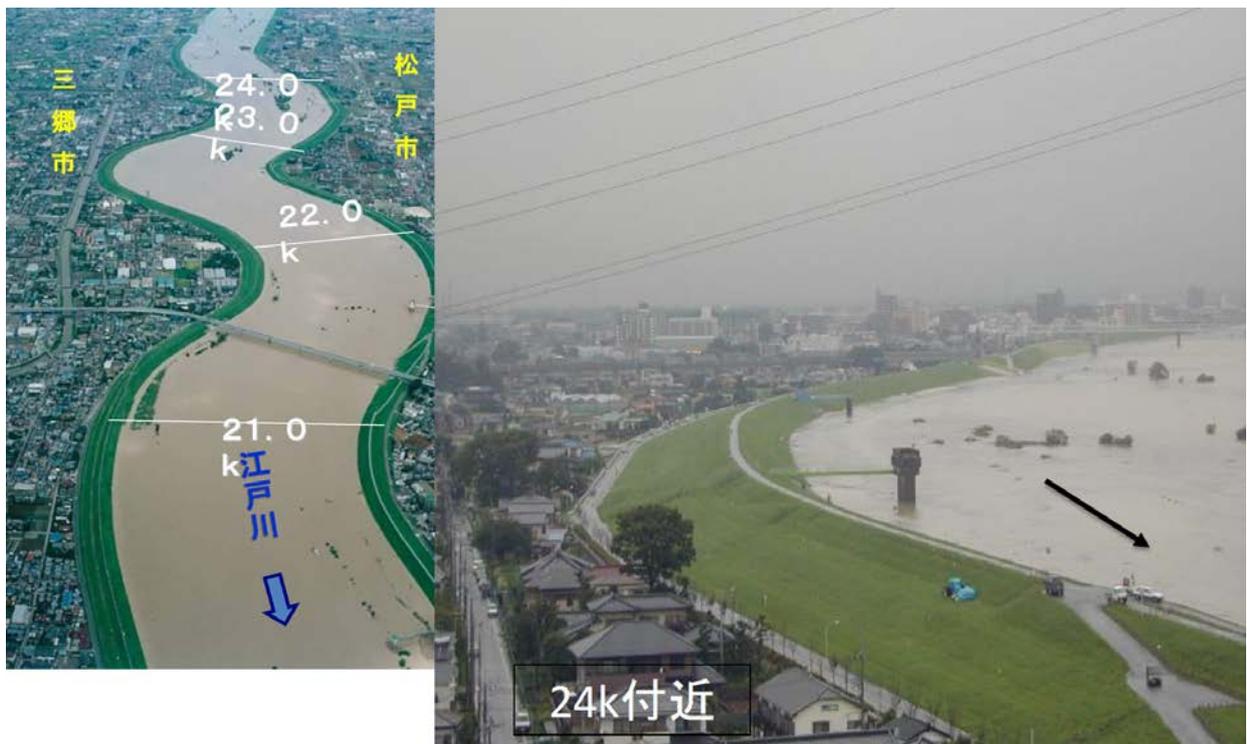


写真-1 平成13年の江戸川の洪水状況
(高水位の洪水時に河川堤防はアースダムのように機能し水を流下させている)

対して定性的に見て河川堤防を確実に強化する方向に機能すること、とすることが現実的である。

この要件を満たすのは、例えば次のような場合と考えられる。

- ・ 従来より施工されている堤防強化工法であり、過去の洪水時の実績から、洪水水位が天端に至るまでの洪水に対する効果があり、かつ越水を生じても河川堤防に生じる破壊現象に対しても効果があると判断される場合（天端舗装の適用はこの場合に当てはまる）
- ・ 洪水水位が天端に至るまでの侵食あるいは浸透、さらに天端を超えて越水した場合に生じる侵食破壊に対する効果が工学的な実験や解析により合理的に確認された強化工法であり、一方でその際に生じる浸透による破壊現象には少なくともマイナスの影響を及ぼさない場合（構造上の工夫として実施する堤脚保護工の適用はこの場合に当てはまる）

4.2 堤防強化工法の現地適用や研究開発の方向性

河川堤防の設計では、計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対して浸透及び侵食について照査を行い、必要な場合には堤防強化工法の検討がなされる。洪水水位が計画高水位を超え超過洪水の状況になると、計画高水位に至った河川堤防の状態からの延長上で破壊現象が進行することから、超過洪水も対象とする堤防強化工法の検討に当たっても、計画高水位時における堤防の状態を十分に理解することが前提となる。

洪水水位が堤防天端に達するまではいわゆる余裕高が堤防の高さとしてあり、侵食に関しては、洪水による侵食の激化に対応して河道の制御や堤防表のり面の保護レベル向上が対策上の課題になる。一方、浸透に関しては、洪水水位の上昇や浸透時間の増大に伴って、滑りやパイピングが発生しやすい方向に浸透現象が進行するので、それらに効果のある工法の検討が必要となる。また、河川堤防は基礎地盤と一体として機能するものであり、河川毎あるいは地先毎に異なる構造を持つ基礎地盤で生じる浸透現象が、超過洪水の状況下で河川堤防の構造の安全にどのような影響を及ぼすかを理解することも重要な課題である。

洪水水位が天端を超えると越水を生じるようになることから、越水による裏のり堤脚部や裏のり面

の侵食が新たな破壊現象として加わることになる。この検討に当たって、洪水水位が上昇し越水を生じるまでの間に浸透に関する破壊現象が進行していることも忘れてはならない。浸透による浸潤面上昇にせよパイピングにせよ、河川堤防ののり尻周辺で堤防の弱体化が進行するが、その部分は越水による破壊現象の端緒となる部分でもある。このように、越水が生じる状況下における浸透との複合的な破壊現象を考慮することも、越水対策を検討する上での課題になる。

河川堤防に関する研究開発では、a.~h.の基本的な理解に示されるように非常に複雑で多様な堤体の土質条件、基礎地盤の条件等に対応した検討が必要とされる。さらに外力条件に超過洪水を含めるとなればさらに様々な条件を考慮しなければならない。したがって、堤体の土質条件、基礎地盤の条件、さらに外力の条件について具体的な現地を想定した検討に基づいて得られた成果でなければ、現場へ適用する判断が難しくなることは容易に想定される。例えば、浸透による破壊現象に影響する洪水の継続時間は、我が国では欧米のような週や月の単位ではなく時間単位であり、越水を生じる場合を含めて河川堤防を強化するために検討すべき破壊現象を外力面から見て絞り込むことができるものと考えられる。また、越水を対象とする場合には、当該堤防において越水がどのような頻度で、あるいはどのような水深で生じうるか等の条件を理解しておく必要がある。例えば、越水が非常に短時間あるいは越水の水深がわずかであり堤体に大きな変形を生じないのであれば対策の必要性は低くなる。

これらのことは、超過洪水も対象とする堤防強化工法の研究開発に当たって、堤体の土質条件、基礎地盤の条件、さらに外力の条件をどのように設定するかが、研究開発の実用化を効果的・効率的に進めていく上で重要であることを示唆している。また、研究開発に模型実験を用いる場合には、現地への応用に当たって水理学と土質力学の双方の現象に対応した相似の議論を深めることが必要であり、そのためにも研究開発に当たり対象とする外力等の条件の範囲を明確にすることが役立つものと考えられる。

以上のことから、超過洪水も対象とする堤防強化工法の検討は、

- ・ 設計上の要求から見た工法の制約、及び技術的な要件を満足しなければならないこと
- ・ 計画高水位時における堤防の状態を前提として効用を発揮する必要があること
- ・ 頻度の高い外力が優先的な検討対象になるべきであること
- ・ 超過洪水に対して決壊に至らない河川堤防とすることは困難であること

などから、断面拡大工法や材料の置換等を含め、従来より堤防強化に利用されている工法の増強や工夫、あるいは主たる盛土構造を乱さない小規模な追加工法の適用を中心として進められることが、実用化の観点から効率的であり、経済的になると考えられる。

なお、越水を生じる超過洪水に対応した堤防強化を検討する堤防区間に橋梁や水門・堰などの構造物がある場合には、想定する超過洪水の状況に応じて、それらの構造物周辺で生じる局所的な越流の流れや、流木等の作用を勘案した一連の強化対策の検討が併せて必要となることにも留意しなければならない。

4.3 まとめ

現状では、盛土により築造される河川堤防を堤防強化工法により、具体的に設定した超過洪水の外力に対応して一定の安全な構造とすることは難しく、さらには超過洪水に対して決壊に至らない構造とすることも困難である。しかし、超過洪水への対応を含め河川堤防を強化していくことは重要な課題であり、現場における堤防強化工法の検討とともに、今後の研究開発の検討に当たって基礎とすべき今後の堤防強化工法のあり方をここにまとめる。なお、ここでは盛土により築造される通常の土堤の河川堤防を対象としており、別の設計法が適用される高規格堤防や特殊堤は対象としていない。

なお、研究開発の観点からは、現状の堤防設計に新たな知見を導入し、設計上の要求から見た工法の制約を解消することにより、ここに示すまとめによらずに堤防強化工法の新たな展開や設計の定量化を目指すことも重要な研究上の課題ではある。ただしその場合には、a.~h.の理解に関して工学的な説明を加える検討を進めることが必要で

あり、形状規定方式を部分的あるいは抜本的に修正する議論とも連動させることが求められる。

【堤防強化工法のあり方】

- (1) 計画洪水位以下の水位の流水の通常的作用に対して河川堤防を安全な構造とする堤防強化工法に求められる設計上の要求は以下である。
 - 1) 極めて延長の長い構造物である河川堤防は半永久的に機能を継続できる必要があり、長期にわたって材料の劣化がなく、機能を維持するための補修が容易なこと。
 - 2) 形状規定方式を最低限の安全性を確保するための基本として踏襲し、照査を適用して堤防の安全性を高めること。
 - 3) 侵食、浸透に起因する堤防の破壊が生じず、そして堤防に大きな形状の変化が生じないこと。
- (2) 河川堤防は盛土断面を拡大することによって強化を繰り返してきた歴史的な経緯があり、断面拡大工法（いわゆる腹付けや緩勾配化）が堤防強化の基本とされてきたところである。設計上の要求を踏まえると、断面拡大工法以外の堤防強化工法は、盛土構造の表層あるいは浅層の施工により整備可能な、あるいは基礎地盤そのものに施工する工法であり、補修あるいは更新に当たり、主たる盛土構造を乱すことのない工法であることが、設計上の要求から見た工法の制約となる。
- (3) 超過洪水も対象とする堤防強化工法を現地で採用するための技術的な要件は、設計上の要求から見た工法の制約を満足し、堤防の形状の変化は許容しつつも、超過洪水の条件下で生じる浸透、侵食による個々の破壊現象に対して定性的に見て河川堤防を確実に強化する方向に機能すること、とすることが現実的である。

この要件を満たすのは、例えば次のような場合と考えられる。

- ・ 従来より施工されている堤防強化工法であり、過去の洪水時の実績から、洪水位が天端に至るまでの超過洪水に対する効果があり、かつ越水を生じても河川堤防に生じる破壊現象に対しても効果があると判断される場合（天端舗装の適用はこの場合に当てはまる）

- ・ 洪水水位が天端に至るまでの侵食あるいは浸透、さらに天端を超えて越水した場合に生じる侵食破壊に対する効果が工学的な実験や解析により合理的に確認された強化工法であり、一方でその際に生じる浸透による破壊現象には少なくともマイナスの影響を及ぼさない場合（構造上の工夫として実施する堤脚保護工の適用はこの場合に当てはまる）
 - (4) 超過洪水も対象とする堤防強化工法の研究開発を行うに当たって、堤体の土質条件、基礎地盤の条件、さらに外力の条件をどのように設定するかは、研究開発の実用化を効果的・効率的に進めていく上で重要である。
堤防強化工法の検討は、基本的な断面拡大工法、あるいは材料の置換等を含め、従来より堤防強化に利用されている工法の増強や工夫、あるいは主たる盛土構造を乱さない小規模な新工法の適用を中心として進めることが、実用化の観点から効率的であり、経済的になると考えられる。
- なお、本稿は筆者の経験に基づいて技術的な考え方を整理したものである。作成に当たっては多くの方々からご助言を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 水災害分野における気候変動適応策のあり方について：社会資本整備審議会、pp.26、平成27年8月
http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/kikouhendou/pdf/1508_02_toushinhonbun.pdf.
- 2) 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、pp.9、平成27年12月
http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/daikibohanran/pdf/1512_02_toushinhonbun.pdf.
- 3) 河川堤防設計指針：国土交通省水管理・国土保全局治水課、8p、平成19年3月
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/bousai/gijyutukaihatu/pdf/teibou_sekkei.pdf.
- 4) 安全・安心が持続可能な河川管理のあり方について（提言）：安全・安心が持続可能な河川管理のあり方検討委員会、pp.3、平成18年7月
http://www.mlit.go.jp/river/press_blog/past_press/press/200607_12/060707/s03.pdf.
- 5) 河川砂防技術基準維持管理編〔河川編〕：国土交通省水管理・国土保全局、pp.2、平成27年3月
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/ijikanri/kasen/pdf/gijutsukijun.pdf.
- 6) 堤防等河川管理施設及び河道の点検要領：国土交通省水管理・国土保全局河川環境課、平成28年3月、pp.5～7、
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kasen/pdf/01_teibou_tenkenyoukou.pdf
- 7) 柔構造樋門設計の手引き：国土技術研究センター編、328p、平成10年11月
<http://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/tech/material/jyukouzouhimon.pdf>.
- 8) 「耐越水堤防整備の技術的な実現性の実証」について：耐越水堤防整備の技術的な実現性検討委員会、(社)土木学会、15p、平成20年10月
https://www.yodogawa.kkr.mlit.go.jp/img_upload/news/397_2.pdf.