

スーパー堤防の建設と技術

1. 概 説

(1)我が国の治水特性

我が国の河川は諸外国に比べ勾配が急である上、台風や梅雨期に降雨が集中する等、治水上極めて厳しい条件下にある。しかも我が国においては、河川の氾濫によって浸水する恐れのある地域が経済・社会活動の主要な舞台となっており、経済・社会の発展に伴って、このような浸水の恐れのある地域に人口・資産の著しい集積が進んでいる。現在、全国土面積の約10%に過ぎない想定氾濫区域内に全人口の約50%、全資産の約75%が集積しており、なお増加の基調にある。

(2)超過洪水対策の必要性

このような状況のなか、治水事業は従前より一定規模の洪水を対象として進められてきた。しかし、洪水は自然現象である降雨に起因するものである以上、計画を超える洪水が発生する可能性は常に存在している。

一方、都市部への人口・資産の集積は目覚ましく、特に東京・大阪のような大都市には、我が国全体の政治・経済・交通・通信等の中枢機能が集中している。これらの大都市の大部分は河川の氾濫区域に位置しており、ひとたび大河川の堤防が破壊されれば、壊滅的被害が発生し、ひいては我が国の経済・社会活動を麻痺させることとなる。

従って、大都市地域の大河川においては、仮に計画の規模を上回る洪水、計画高水位を上回る洪水等が発生した場合においても、もはや破堤に伴う壊滅的な被害の発生は許されない事態となっている。

(3)スーパー堤防の整備

以上のような状況に鑑み、昭和61年9月、建設大臣から河川審議会に対して「超過洪水対策及びその推進方策について」諮問がなされ、翌昭和62年3月答申がなされた。

この答申では、大都市地域の大河川において計画高水位

を上回る、又は恐れのある洪水、すなわち超過洪水等に対して、破堤による壊滅的な被害を回避するための超過洪水対策を積極的に進めることが謳われ、特にその方策の1つとしてスーパー堤防の整備を強力に推進するよう提言された。すなわち、特定の一連区間について、幅の広いスーパー堤防の整備を進め、あわせて都市域における親水空間防災空間の形成に資するため、積極的に土地利用との調整につとめつつ、その整備を強力に推進することとされている。

これに基づき、首都圏・大阪の大河川の5水系6河川について工事実施基本計画の改定を行い、スーパー堤防の整備を進めることとした。

(4)対象河川及び区間

スーパー堤防の整備をはかる必要のある対象河川は、その背後に人口・資産が高度に集積された大都市を擁し、かつ、河川の破壊によって回復不能な損害を生ずるおそれのある河川である。

利根川、江戸川、荒川、多摩川、大和川、淀川の5水系6河川をスーパー堤防の整備の対象河川とした。その総延長は左右岸約800kmである(表—1)。

(5)スーパー堤防の基本形状

スーパー堤防は、堤防天端から平地を階段状に形成して150m～300m程度で堤内地盤にすりつける断面形状となっており、越水、浸透、地震などに対して安全な幅の広い盛土構造物である。

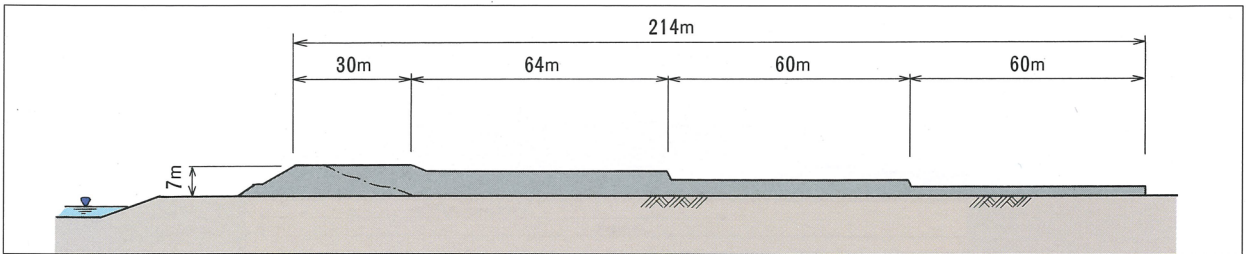
なお、図—1は横断形状の一例を示したものであり、実施に当たっては地形、土地利用状況、堤防の構造等から決定するものとしている。

2. 従来の治水対策との違い

これまでの治水対策は、一定規模の洪水を対象として計画を策定し、実施されてきたものであり、この規模を超え

表—1 直轄スーパー堤防対象河川及び区間

水系名	河川名	区 間	距離 (km)	氾濫区域面積 (km ²)	氾濫区域内人口(千人)	同人口密度 (人/km ²)	計画高水流量 (m ³ /s)	地 点	代表的な区間の平均堤防高 (m)	備 考
利根川	利根川	小山川合流点～河口	169	2,306	4,270	1,850	16,000	八斗島	9	
	江戸川	利根川分岐点～河口	53	609	3,440	5,650	6,000	関 宿	8	
荒 川	荒 川	熊谷大橋～河口	80	561	6,860	12,200	7,000	岩 淵	9	
多摩川	多摩川	日野橋～河口	40	109	1,420	3,080	6,500	石 原	3	
大和川	大和川	JR第6大和川橋梁～河口	21	318	3,530	11,100	5,200	柏 原	5	
淀 川	淀 川	木津川・桂川合流点～河口	36	359	3,820	10,640	12,000	枚 方	7	



図一 横断形の例（堤防高7mの場合）

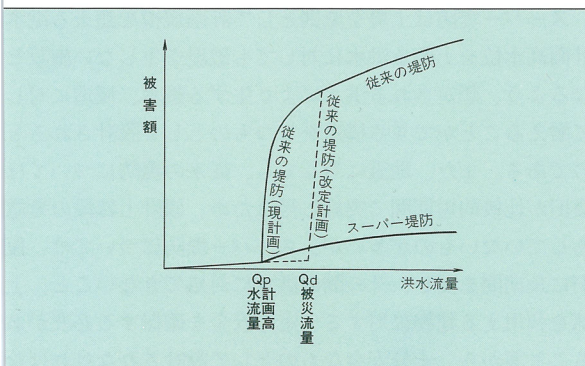
ような洪水が発生した場合等には、計画を改定し計画規模を上げるという手法をとってきた。この手法は、河道に配分された流量をすべて河道内で処理し、氾濫防止を図ろうというもので、超過洪水等が発生した場合は破堤の危険性を有している。

しかしながら、破堤による被害は、その形態から破堤以外の洪水被害に比べ極端に大きなものとなり、壊滅的なものとなる。

また、堤防等の整備が進むにつれ、背後地には人口・資産等の集積が促進され、いったん破堤した場合の被害の程度は益々高まることとなり、洪水被害の効率的低減が図れることとはなっていない恐れがある。

従来の治水対策とスーパー堤防による治水対策とを被害に着目して図示すると図一2のようになる。計画を超える洪水が発生し計画を改定した場合も、相変わらず超過洪水に対する脆弱性は除去できず、また橋梁等の構造物が多い都市域においては事業実施上の困難性も伴うほか、密集市街地での大規模な用地買収も現実的に難しい。

以上のようなことから、超過洪水等に対しても破堤による壊滅的な被害が許されない東京、大阪等の大都市域を抱える大河川については今後、超過洪水が発生しても、被害を大幅に軽減するスーパー堤防の整備が緊要となっている。



図一2 従来の堤防とスーパー堤防の比較

3. スーパー堤防の特徴

(1) 法的位置づけ

スーパー堤防（法律上の正式名称は高規格堤防）は法律上つぎのように定義されている。

『河川管理施設である堤防のうち、その敷地である土地の区域内の大部分の土地が通常の利用に供されても計画高水流量を超える流量の洪水の作用に対して耐えることができる規格構造を有する堤防』

このことはスーパー堤防が河川管理施設であることを示しているものであり、以下の点での意味を持っていることになる。

①河川法体系における河川管理施設に係わる規定が適用を受ける。

②土地収用法の対象となる。

③河川事業として計画的に整備されるものである。

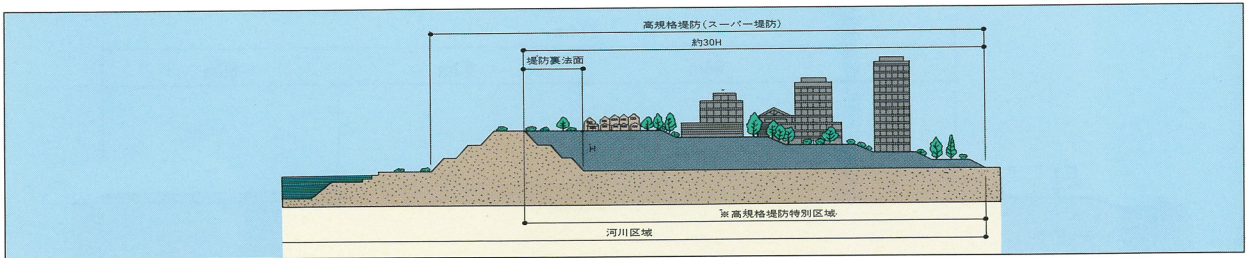
スーパー堤防は、言うなれば通常の利用に供する河川管理施設であり、普通の堤防と比較すれば表-2のような整理となる。

表一2

	利 用	制 限	補 償	堤防築造の担保		維持管理
				整備中	整備後	
普通の堤防	兼用道路位しか利用できない	原則不許可	土地取得建物等補償	所有権(収用)	所有権公用制限	河川管理者
高規格堤防	通常の土地利用	堤防が壊されない程度の緩い制限	建物等補償	使用契約(使用)	公用制限	平常時土地所有者

(2) 通常の利用に供される河川管理施設

スーパー堤防は数百メートルの幅を有するものであり、従来の堤防と同じレベルの管理を行う必要はなく、上部の土地利用に対して強い規制を行う必要もない。又、大都市域及びその近郊地帯において整備されるものであるため、



図—3 スーパー堤防

敷地を買収して一般的土地利用を排除して堤防を築造するという事は、土地の有効利用の観点等から社会的に好ましくない。このため、スーパー堤防上は通常の土地利用とほとんど同じ利用が可能であることを前提としている。

ただし、図—2に示す高規格堤防特別区域外の川表法面及び現堤防天端の区域については、従前どおりの規制を受ける。この理由として、前者は洪水流が流下する部分であり、流水の安全な流下を確保する上で一般的工作物を設置することは支障があり、現実的にも市街地としての利用は不可能であることによる。後者については、川表流水部の保持、耐浸透に必要な部分であり、その上部空間は、河川巡視、水防活動等のために必要なものである。

(3)スーパー堤防のメリット

スーパー堤防の整備により、治水安全度の向上が図れるとともに、次のようなことにも資することができる。

①堤防と市街地の連続的な構造を図るとすることができるため、水と緑に親しめる良好な生活環境の形成に資する。

②宅地整備が計画されているような地域においては、河川沿いの低湿地等の低末利用地において整備する場合に、良好な環境の宅地の供給に資する。

③土地区画整理事業等の市街地開発事業と一体的に行う場合には、双方の事業費用を軽減することができるため、双方の事業の円滑な推進に資する。

④大都市地域において課題となっている建設発生土の処分に資する。

4. スーパー堤防の構造

(1)土堤原則の構造

スーパー堤防は盛土構造を原則とし、越水、浸透の超過洪水外力に耐えるためその断面は堤高の30～40倍(図—1参照)の幅の広い形状をしている。超過洪水外力に耐える堤防構造としては、この他、アーマーレビー、特殊堤(コンクリート構造)等が挙げられるが、検討の結果次の理由により不採用としている。アーマーレビーについては、基

本的には堤防を被覆し浸透及び越水に対しての安全性向上を図ろうとしたものであり、越水に対しては、技術開発が進んだとしても構造上長時間の洪水水位に耐え得るものではない。また、被覆構造であるため、堤体内部の点検等も必要となってくるが、点検の方法、システム等についても現時点では困難性が高い。さらに、耐久性についても未知数であり、地震に対しては従来堤防と同程度の抵抗力を持っているに過ぎない。このようなことから、従来の堤防よりは相当強化はされるが、人口・資産が集積し、中枢機能が集まっている東京等の大都市の洪水防御としては、抜本的対策にならず不適当である。特殊堤については、越水時川裏の洗掘が生じ堤体の安全性を損なうほか、土の上にコンクリート構造物が設置されることから不等沈下による空洞の発生や、堤体に亀裂が生じ、超過洪水時等に堤体の転倒破壊等のおそれが生ずる。又、耐浸透能力についても問題がある。浸透に対する対策そのものは可能であっても連続した地下水遮断は地下水環境を破壊するおそれがあり対策工法がとれないという問題がある。

以上述べたように両者は超過洪水に対する耐力という点でも大きな問題がある上、都市と河川空間の一体性を図るという、町づくりの面からも適当な方法とはいえない。

(2)スーパー堤防の構造設計の基本

スーパー堤防は土堤を原則として計画規模を超える洪水計画高水位を上回る洪水に対しても破堤を生じない施設となるよう、想定される洪水により生ずる越水、浸透に対して耐えることができる構造をもつものとして設計されるものである。また、地震に対しても、従来の堤防については復旧が比較的短期間で実施し得るため、設計上特段の考慮をしていないものが多いが、スーパー堤防については、復旧に長期間を要し、その間の洪水に対処できないこと、上部を利用する建物に対する一定の安全を確保する必要があること等から、十分安全なものとして設計されなければならない。

なお、スーパー堤防の設計は、堤防形状、堤体材料とその物性、堤防の地盤、川表に設けられる護岸・水制その他これに類する施設を対象とし、高規格堤防特別区域が半永久的に通常の土地利用に供されることを前提にして行われるものとしている。このことから、スーパー堤防の設計においては、高規格堤防特別区域の土地利用に関して予想される最も厳しい状況を設計項目ごとに想定して行うものとしている。以下に主たる設計項目の基本的考え方を述べる。

①耐越水

想定される一定の越流水に対して、土地利用の状況と堤体の被覆状態を勘案して、越流水による堤体上の流速が堤体被覆状態に応じた許容流速以下となるよう設計するものとしている。

②耐浸透

堤体部の浸透については、浸潤線が法面に交わらない構造とし、また、堤体が湿潤状態にあるときにおいて、必要な滑り抵抗力を有するものとしている。

基礎地盤の浸透については、パイピングによる破壊に対して、荷重クリープが許容値内となるように設計するものとしている。

③耐地震

堤体は地震荷重により滑り等を生じない構造とし、基礎地盤は地震時の液化化が発生しないよう必要に応じ地盤改良を行うこととしている。

(3)スーパー堤防の基本断面形状の決定

スーパー堤防の基本形状は(2)で述べた各設計項目毎に検討を行い全てを満足する形状でなければならないが、堤防形状決定のための支配的な項は越水による洗掘破壊である。したがって、基本形状はこの項目により決定される。他項について満足しない場合は別途の対応によるものとしている。

結論から言えば、発生可能と認められる最大の洪水によって生ずる越流水深は、概ね15cm程度であり、これによって検討した場合、洗掘破壊を発生させない堤防の安全な裏法勾配は1/30程度必要であるとの試算結果が得られている。即ち、スーパー堤防の基本形は図—1に示すような堤防の高さの30倍の幅で堤内側にゆるい勾配(1/30)をもった断面形ということになる。

以下にこれらの設計の基本となる高規格堤防設計水位の考え方と越水洗掘に対する安全性を検討するための判別方法について述べる。

①スーパー堤防設計水位の考え方

スーパー堤防は、計画高水流量を超える流量の洪水(超過洪水)の作用に対して耐えることができる構造でなければならない。ここで、超過洪水は基本高水や計画高水流量のように計画の目標として設定した一定規模の洪水を対象とするものではなく、このような計画を超えて当該河川の流域に発生するおそれのあると認められる最大の規模の洪水を考える必要があり、スーパー堤防の設計のための越水位(スーパー堤防設計水位)は、このような洪水の流下時の河道内の水位を考えなければならない。発生すると考えられる最大の規模の洪水を求める方法としては、最大豪雨の時間的空間的集中特性による解析(Depth-Area-Duration analysis; 通称DAD解析)によって求められる降雨を基に、洪水流出解析を行い、その洪水が計画河道を越水しながら流下する状況を不定流解析により算出する方法によっている。

こうして求められるスーパー堤防設計水位は、言い換えれば「当該河川における過去の主要な洪水および高潮の発生状況、並びに当該河川の流域と水象又は気象が類似する流域のそれぞれにおいて発生した最大の洪水及び高潮に係わる水象又は気象の観測の結果に照らして、当該河川に発生するおそれがあると認められる洪水及び高潮が生じた場合のスーパー堤防設置区間の河道内の水位」と表すことができる。

②越水による洗掘破壊に対する安全性の検討方法

スーパー堤防では、越流水によって、堤防上部に作用するせん断力が堤防表面のせん断抵抗力以下となるように、堤防形状を設計するものとしている。以下に判別式等によるこれらの検討方法を述べる。

堤防上部に作用するせん断力 τ は次式で表される。

$$\tau = W_0 \cdot h_s \cdot I_e$$

ここに、 τ ; 越流水によるせん断力 (tonf/m²)

W_0 ; 水の単位堆積重量 (tonf/m³)

h_s ; 高規格堤防の裏面における越流水の水深 (m)

I_e ; 越流水のエネルギー勾配

この τ については次式が成立するように堤防形状を設計しなければならないとしている。

$$\tau \leq \tau_a$$

ここに、 τ_a ; 堤防表面の許容せん断力 (tonf/m²)

上式の τ と τ_a は高規格堤防上の土地利用状況によって大きく変化するので、設計においては土地利用状況の想定と

それに応じた τ と τ_0 の算定が最も重要である。前述したように、高規格堤防の設計においては、設計項目毎に予想される最も厳しい土地利用状況を想定しなければならない。越流水による洗掘破壊を考える場合、一般に、越流水がすべて道路部に集中する状況が最も厳しいので、この状況において上式が成立することが必要である。道路に作用するせん断力は、越流した水がすべて道路に集まるとし、また、道路上の流れについて等流条件を仮定して求めた下式により求めるものとしている。

$$\text{道路に作用するせん断力 } \tau = W_0 \cdot n^{3/5} \cdot (q \cdot Rr)^{3/5} \cdot I^{7/10}$$

ここに、 q ；単位幅越水量 ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)

$$q = C \cdot h_k^{3/2}$$

h_k ；計画堤防天端高を基準とする高規格堤防設計水位 (m)

C ；流水係数 ($\text{m}^{1/2}/\text{s}$)

I ；堤防の川裏側の勾配 (=堤防法線と直角に走る裏法道路の勾配)

Rr ；堤防法線と直角に走る裏法道路一本の幅に対する、その道路が受け持つ堤防法線長の比

n ；道路表面のマニングの粗度係数

上式より求めた τ が τ_0 より小さいという条件から、堤防裏法勾配 I を定めることができる。 C 、 n の値については、それぞれ1.6、0.016を目安とする。 Rr には予想される最も大きい値を用いるものとしている。

道路以外に弱点箇所がある場合には、その箇所についても $\tau \leq \tau_0$ となっているかどうか確認する。

5. スーパー堤防の施工

従来の河川堤防では、築堤後の沈下については、余盛をあらかじめ設けておくとかあるいは、そのつど嵩上げすることにより計画築堤高を維持するという管理が行われており、堤防がある程度時間をかけて沈下することを前提として施工管理が行われている。

一方、スーパー堤防は、堤防からの越流を許容し、越流量が堤防幅の設計条件となっていることから、越流量を支配する堤防の高さ管理については厳格さが求められる。また、スーパー堤防の上部は通常の土地利用に供されることから、残留沈下を一定の許容値に納める等の種々の事項に配慮する必要がある。

このように、スーパー堤防の盛土は、従来の施工管理と異なった方法が要求されている。

施工上特に留意すべき点は、許容残留沈下量をどう定めるか、又、堤体材料の選定基準をどう考えるかであり、以

下にこれらの点について述べることにする。

(1)許容残留沈下量

スーパー堤防が通常の土地利用に供する河川管理施設であることは既に述べたところである。これより、スーパー堤防は堤防としての要件と通常の土地利用を可能とする基盤としての要件を同時に満たすことが求められている。設計の基本の項で述べたように通常の土地利用に供するために、その設計は、設計項目毎に予想される最も厳しい状況を想定して行うことになる。

許容沈下量を土地利用との関係において考える場合、まず第一に地盤上の上載荷重と建造物の沈下に対する耐力である。上載荷重としては、杭基礎を必要とするような大規模な建造物は杭で支えられることから、概して上載荷重として大きくならない。又、沈下に対する耐力も杭の抜け上りこそあるものの小さくないと考えられる。

我が国においては、上載荷重、沈下耐力のいづれについても、杭なしの低層一般住宅地を想定することが設計上最も厳しい条件となる。

ちなみに、上載荷重は $2 \text{ t}/\text{m}^2$ 、許容残留沈下量は 10 cm 以下という値を目安として設計、施工の管理を行うこととしている(検討中)。

(2)堤体材料

堤体材料も、堤防としての要件と宅地地盤との双方の条件を満足するものを用いることとしている。

堤防としては従来よりの知見から日本土質統一分類という[GF][SF][M][C]の範囲の土であること。又、宅地地盤としては、十分な地耐力を有することとしている。これも杭なしの低層住宅が最も厳しい設計条件となり、因みに管理指標のコーン指数で $q_c \geq 4 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ としている。(土質改良によっても良いとしている)

以上の条件を満たしたものを堤体材料として使用することとしている(検討中)。もちろん以下のような不良土を使用しないことは言うまでもない。

- ・アスファルト廃材、コンクリート片等の産業廃棄物
- ・ベントナイト、温泉余土、酸性白土、スレーキングしやす軟岩
- ・凍土や氷雪、草木、切り株、その他多量の腐植物を含む土

6. 課題

スーパー堤防事業は従来の河川改修事業とまったく発想が違ふ事業である上、規模の極めて大きい事業であるため

実施に際して解決していかなければならない様々な課題がある。

以下にその主なものについて述べることにする。

(1)堤防の高さ管理

スーパー堤防上は通常の土地利用に供することから、許容残留沈下量を10cm以下にすることを設計の目標としていることは、5の(1)で述べたところであるが、これとは別に、治水管理的側面からも高さ管理の厳格さが求められている。これは、スーパー堤防は超過洪水に対して同時越流を基本思想としているため、施工後の沈下等に対して従来の堤防のように基準高以上であればよいということで、余盛という手法による高さ管理がとれないことにある。従って、工事完了後の沈下等を極力生じさせない設計及び施工管理が必要となる。

特に、スーパー堤防を築造する河川沿いの地区は軟弱地盤地帯が多く分布しており、この問題への対応が重要な課題となっている。

一般に知られているように、高盛土に伴う沈下量は非常に大きく、これを小さくおさめるためには、地盤改良等の高い技術と莫大な費用が必要となる。地盤改良に伴う膨大な経費は、今後スーパー堤防事業を進める上での制約要素ともなりかねないことから、コスト低減を中心とした地盤改良技術の開発が強く求められている。

(2)堤体材料の調達及び管理システムの確立

スーパー堤防整備区間は、1の(4)で述べたように大都市圏の主要な河川区間800kmにおよんでいる。これに必要な土量は、約7億 m^3 と推算されている。これは、本邦第2位の面積をほこる霞ヶ浦を埋立てできる膨大な土量である。

まず第一にはこのような膨大な土量をどこから調達するか、又これらの搬送方法をどうするか、さらには、安定した量の供給及び質を確保するためのストックヤードの確保等々の課題がよこたわっている。

土砂の調達については、首都圏の建設発生土問題ともリンクさせると建設行政全体をみつめた検討が望まれる。又、搬送方法については、道路輸送の限界を見極めつつ、河川のネットワークを利用した船運の活用等の新しい視点からの検討が必要になってくるものと思われる。ストックヤードについては、堤体材料の供給が事業実施上の隘路とならないためにも、又、一定品質を確保するためにも必要であることは明白である。さらに、建設発生土の活用を考えた場合、品質検査、改良という役割を求めれば、

その重要性はスーパー堤防事業の成否の鍵をにぎるといっても過言ではないであろう。

(3)管理の簡素化

スーパー堤防はその上部を通常の土地利用に供すると同時に、河川管理施設である。従って、河川管理施設としての効用ならしめるために一定の管理が必要なことはいうまでもない。

しかしながら、従来の河川管理における許認可物件と較べスーパー堤防上の対象物件は桁違いに多い。又、スーパー堤防上(図-2に示す高規格堤防特別区域)の管理は通常の河川区域と違い、ゆるい管理でよいとされている。これらの点を勘案すれば、従前の管理方法と別の新しい管理手法が必要になってくる。特に、現状の体制は必ずしも膨大な物件を速やかに処理できる体制にはなっていないきらいがある。高規格堤防特別区域上は市民の日常活動の場でもあり、高いサービス水準が要求されるであろうから、自治体等市民サービスの窓口機関等の連係を図る等の迅速な対応ができる管理手法の確立が課題といえる。