

荒川下流部の近接河川区間における 高規格堤防の整備方策について

Policy for high-standard levee construction in adjacent districted river sections in the
lower reaches of the Ara River

研究第一部 主任研究員 佐藤 研三
研究第一部 次 長 勢田 昌功
研究第一部 主任研究員 田中 久義
（株）建設技術研究所 楡井 一昭

本稿は、荒川下流部の高規格堤防特別区域内で、他の河川が併走する区間（近接河川区間）における高規格堤防整備のあり方について検討を行ったものである。近接河川区間の代表断面を設定し、越流水による洗掘破壊等の影響について水理模型実験を行い、浸透、すべり、パイピングについては構造検討を行い堤防の安全性について評価を行った。

その結果、越流水洗掘破壊については越流水の集中を考慮しなければ、標準的なブロックを設置することで対策可能であること、越流水の集中を考慮すると1m近い控え厚のブロックの設置等が必要になること、また浸透や滑り等他の安全性に関わる項目に対しては地盤改良等の対策を講じることで、安全性を確保することが可能であることが分かった。

キーワード：高規格堤防、近接河川、荒川、越流水洗掘破壊、水理模型実験、構造検討

This study discusses the construction of high-standard levees in areas where two rivers run adjacent in high-standard levee special zones. Determining a representative cross section of adjacent river sections, a hydraulic model experiment was conducted to investigate the effects of overtopping flow such as scour-induced failure, in order to evaluate levee safety with respect to seepage, slip and piping.

The study has shown that (1) assuming that concentrated overtopping flow does not occur, overtopping scour failure can be prevented by installing standard blocks, (2) blocks that are nearly one meter thick must be placed if concentrated overtopping flow occurs, and (3) safety from other phenomena such as seepage and slip can be achieved by taking appropriate measures such as ground improvement.

Keywords : high-standard levee, adjacent river section, Ara River, overtopping scour failure, hydraulic model test, structural study

1. 調査研究の背景と目的

我が国の河川は諸外国に比べ勾配が急である上、降水が特に梅雨期や台風期に集中するため洪水が発生しやすい。また社会的に見ても河川の氾濫により形成された沖積平野が古来より経済社会活動の中心をなし、人口、資産の集中した地域が常に洪水の危険にさらされており、全体の10%である氾濫区域面積に約50%の人口が居住し、約75%の資産が集中している。特に東京や大阪等の大都市地域はその大部分が氾濫区域に位置し、これらの地域を洪水から防御している大河川の堤防が破堤した場合、当該地域に壊滅的な被害が発生し、我が国の経済社会活動に致命的な影響を与えることが懸念される。

こうした状況に鑑み、大河川の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として、昭和62年度に高規格堤防整備事業が創設され、荒川を含む5水系6河川を整備対象河川として事業を推進している。

現在、荒川下流部では延長（荒川下流河川事務所管内延長）約57.6kmのうち、約15%が整備済みまたは整備中である。

荒川の下流部はもともと洪水の頻発していた現在の隅田川を付替えたという経緯もあり、荒川と近接しながら並行して流れる河川が多い。そのため荒川下流部の高規格堤防特別区域内を他河川が流下する区間（以下「近接河川区間」と呼ぶ）は、管理延長の約30%となっている。近接河川の規模が隅田川をはじめとして大きいこと、また荒川下流部の沿川は市街化の進行が著しいことを考慮すると、近接河川を移設して完成型の高規格堤防を整備するためには莫大な費用と工期を要することが予想される。従って高規格堤防の整備を推進するにあたり、こうした近接河川の処理をどの様に行うかが大きな課題となっている。

本調査研究では、荒川下流部における近接河川の特徴を整理した上で、近接河川の現状の構造を活かして整備する開渠案を中心として、代表断面を設定し安全性の評価と必要な対策案について検討を行った。

2. 荒川下流部での近接河川区間の特徴整理

2-1 荒川下流部における近接河川の現況

荒川下流部における近接河川区間の模式図について図-1に、各区間の状況について整理したものを表-1に示す。なお、荒川左岸の中川との近接河川部分については、荒川左岸堤の高規格堤防を中川の左岸堤として位置づけているため表から除外してある。

荒川下流部における近接河川は隅田川をはじめとしてほとんどが川幅30m以上であり、かつ流域の市街化

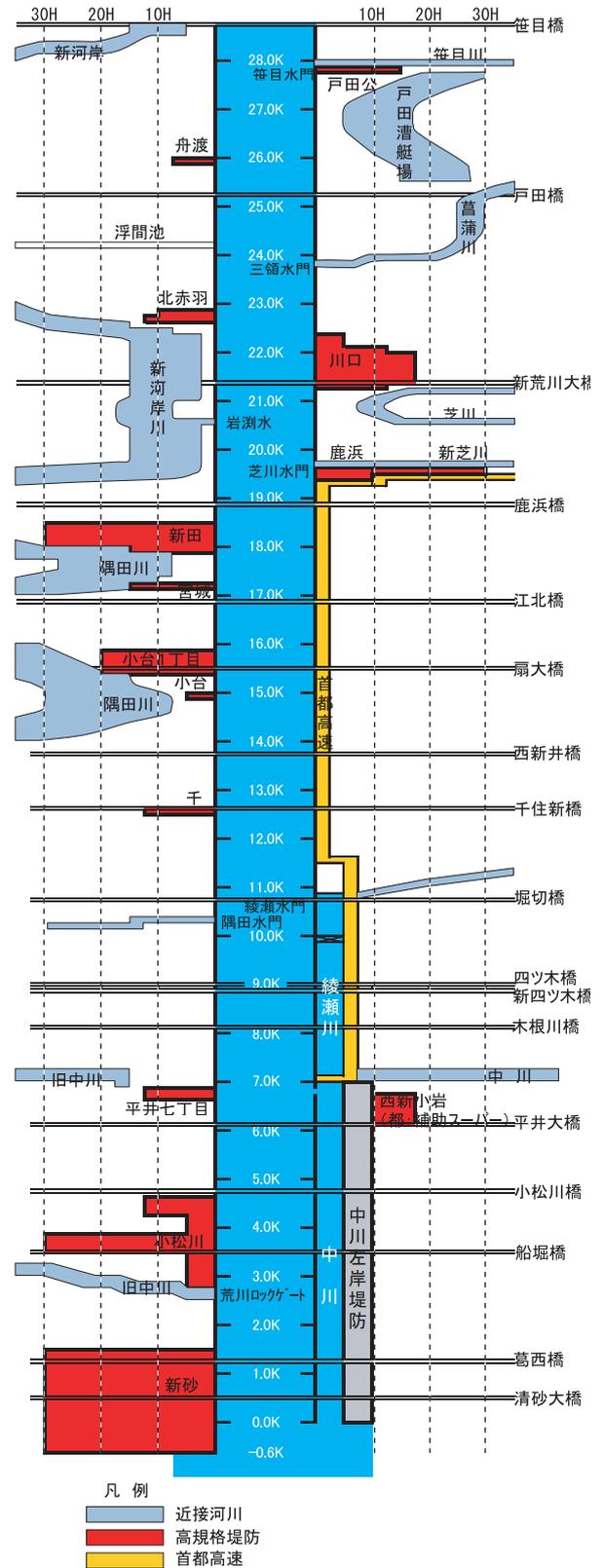


図-1 荒川下流部における近接区間の模式図

が進んでいる。また、近接河川と荒川堤防の距離も30m程度と近いものが多い。

表－1 近接河川各区間の状況

左右岸の 区別	近接河川名 (延長)	荒川計画堤防高 と近接河川水面 高の差	荒川との近接度	近接河川 の川幅	近接河川 の水深	スーパ-堤防 の整備 状況	近接河 川計画 断面形	
左 岸	綾瀬川 (3.95km)	H=7.25～ 8.4m	10m	40m	4m	—	複断面 水路	
	旧芝川 (0.75km)	H=10.97～ 11.12m	50m～240m	35m	3m	—	複断面 水路	
	菖蒲川 (1.4km)	H=11.63～ 11.91m	100m～240m	16m～ 19m	3.9m～ 1.3m	—	単断面 水路	
	戸田漕艇場 (2.5km)	H=11.99～ 12.43m	110m～230m	90m～ 110m	2.5m	—	複断面 水路	
右 岸	隅田川	小台地区 (1.75km)	H=8.89～ 9.39m	50m～200m	80m～ 100m	5.92m～ 5.59m	暫定	複断面 水路
		宮城・新田地区 (0.97km)	H=9.81～ 10.14m	40m～220m	80m～ 100m	5.1m～ 5.02m	暫定	複断面 水路
		岩淵水門下流区間 (1.1km)	H=10.44～ 10.81m	30m～230m	100m～ 180m	4.69m～ 4.61m	—	複断面 水路
	新河岸川	志茂橋,中の橋区間 (2.22km)	H=10.81～ 11.39m	30m～240m	50m	4.51m～ 4.15m	—	複断面 水路
		笹目大橋区間 (0.65km)	H=12.51～ 12.63m	40m～210m	40m	3.13m～ 3.04m	—	複断面 水路

図－2 近接河川区間における高規格堤防の整備方法案

案名	①河道付替案	②-1 開渠案	②-2 荒川堤防強化案
整備概念図	<p>スーパー堤防外への近接河川を付替え。</p>	<p>近接河川に擁壁護岸を設置。 (荒川堤防の裏法勾配は計画勾配)</p>	<p>荒川堤防の裏法を近接河川に擦りつけ。 (越水等に対する堤防強化)</p>
案名	③トンネル河川案	④近接河川のスーパー堤防化	
整備概念図	<p>近接河川の暗渠化。</p>	<p>近接河川の堤防をスーパー堤防化。</p>	

2-2 近接河川区間における高規格堤防の暫定整備案の整理

近接河川区間における高規格堤防の整備方法案について一般的に整理したものを、図-2に示した。

これらの案の中で、河道付替案やトンネル河川案に

ついては高規格堤防の本来の完成型での整備が可能である。しかし、河道付替案①については近接河川の規模が大きく用地を確保することが困難であること、近接区間を切り回すためには一連区間での整備が必要となることなどから長期の整備期間と莫大な整備費用を

要すると考えられる。トンネル河川案③についても同様に、近接河川の規模が大きく施工が困難であり、近接河川の河川環境や河川利用に大きな影響も与えることになる。

また、近接河川そのものを高規格堤防とする案④については、近接河川の一連区間を高規格堤防化することになるが、近接河川と本川の間に民有地がある場合どのように洪水から守るかが大きな問題になる。

高規格堤防の整備は現実的にはまちづくりなどと共同して段階的に整備可能な場所から行われている。こうしたことから、上記の各案を段階的な整備方法として採用することは困難である。したがって本調査研究においては近接河川区間における高規格堤防の整備方針案としては、開渠案（または堤防強化案）②-1、②-2を基本として考える。

2-3 開渠案及び堤防強化案における高規格堤防としての構造上の安全性の評価

高規格堤防が構造上持つべき安全性について整理すると、次の通りとなる。

- (1) 洗掘（河道内、越流水）に対する安全性
- (2) 浸透（浸透水、パイピング）に対する安全性
- (3) 滑り（水位低下、地震時）に対する安全性
- (4) 液状化による破壊に対する安全性

近接河川区間の高規格堤防を開渠案として整備を行う場合、完成型としての堤防の幅を確保することが出来ないことから、その安全性は通常地域で高規格堤防を（横断方向に）暫定的に施工した場合と似ている。

通常の高規格堤防の暫定整備においては、ある程度の堤防幅があれば浸透や地震時の滑りに対する安全性は確保可能である。

一方、越流水洗掘破壊に対しては、基本的に安全性を確保することは出来ない。越流水による洗掘破壊は堤防法面部の破壊と法尻部の破壊に分けられる。法面部は所定の勾配を確保していることから安全性を確保できるが、法尻部については通常擁壁等で処理がされており、数メートルの高さから落下し、かつ継続時間が数時間の単位である越流水の洗掘破壊に対する安全性を確保することは困難である。

しかしながら、近接河川を開渠案として整備する場合、法尻部の洗掘破壊に対して、近接河川の水面を減勢池として利用できることから、その安全性を確保出来る可能性がある。

次に、堤防強化案として整備する場合、法面部の勾配は所定の勾配（1:28.2）を確保していないが、高規格堤防の法面部の勾配は将来の土地利用により越流水

が道路等に集中した場合の洗掘を想定して安全性が検討されている。高規格堤防と近接河川の間の用地が全て河川区域のような区間においては、土地利用を制限することにより越流水は一様に流下するという条件下での検討が可能であり、所定の勾配よりも厳しい勾配においても法面に対策を行うことで堤防の安全性を確保できる可能性があると考えられる。

こうしたことから、本検討においては、荒川と近接河川区間の間の堤防上で通常の土地利用がなされる区域については開渠案を、土地利用の制限が可能な区域については堤防強化案を想定し、それぞれ高規格堤防の本来有すべき機能である洗掘、浸透、滑り（液状化含む）の各項目に対する構造検討を行いその安全性の評価を行った。

高規格堤防の各段階での安全性を整理したものを表-2に示す。

表-2 高規格堤防の安全性評価比較

外 力		超過洪水			地震 すべり
		浸透 破壊	越水破壊		
破壊現象			法面	法尻	
スーパー堤防 (暫定整備)	一般区間	○	○	×	○
	近接河川 (開渠案)	○	○	△	○
	近接河川 (強化堤防案)	○	△	△	○
スーパー堤防 (完成型)		○	○	○	○

※ ○:安全性を確保可能、△:対策により確保の可能性あり
×:安全性を確保できない

3. 構造検討

3-1 代表断面の設定

2-1で整理した荒川下流部の近接河川の状況をもとに、検討を行う代表断面について設定した。設定に当たり、荒川と近接河川との離隔距離が小さければ小さいほど越流、浸透、滑りの各項目に対する安全性が厳しくなることから、上流、中流、下流の各部において離隔距離の最も短い10.0km左岸付近（綾瀬川との近接区間）、17.5km右岸付近（隅田川との近接区間）、22.0km右岸付近（新河岸川との近接区間）の3断面を代表断面として設定した。また、水理模型実験に際しては荒川と近接区間との間に民地を有する24.0km左岸付近（菖蒲川との近接区間）についても検討を行った。10.0km左岸付近と17.5km右岸付近の、2断面のイメージ図を図-3-1、図-3-2に示す。

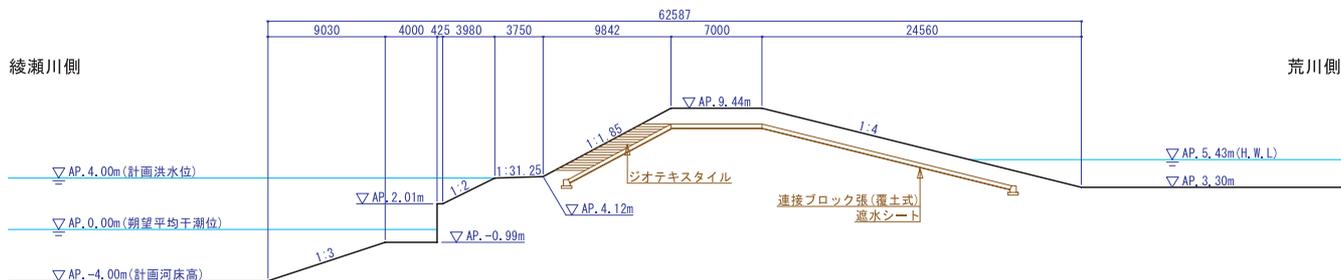


図-3-1 10.0km 付近左岸断面図

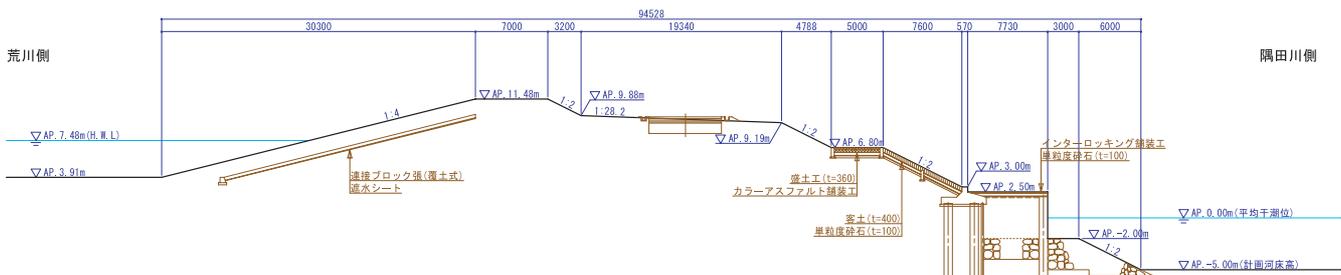


図-3-2 17.5km 付近右岸断面図

3-2 水理模型実験

(1) 水理模型実験の目的

近接河川区間の高規格堤防を開渠案等として暫定的に整備する際には、越流水による洗掘破壊に対して法面や法尻がどの程度の安全性を有するかを把握することが重要である。越流水はジャンプや跳水を伴いながら法面を落下し、護岸天端から空中を飛行する形で近接河川に突入する。こうした水理的現象は非常に複雑であり、数値解析等による検討は困難で、また検討を行ったとしてもその結果の妥当性について照査を行う必要がある。そのため、本検討においては水理模型実験を行い、越流水が近接河川に落下する際の法面・法尻の流速・水圧等の水理的諸元を測定し、その結果をもとに法面や法尻に対する影響を検討した。

(2) 水理模型実験内容

水理模型実験は対象とする各代表段面に対して模型を製作し、水理的項目を測定した。模型実験の実験内容について表-3に示す。また、模型実験施設の写真を写真-1に示す。

表-3 水理模型実験の概要

模型実験規模	1/5
断面設定	法面：現況断面 (右岸 24.0kmのみ計画断面) 近接河川部：計画河道断面
設計対象流量	0.1m ³ /s/m：越流水が集中しないケース 1.0m ³ /s/m：越流水が集中するケース
測定項目	法面：水深、流速 近接河川部：流速、水圧



写真-1 模型実験写真

※上段左全景、右模型本体、下段左上流側、右下流側よりそれぞれ望む

模型実験の縮尺規模は、フルードの相似則を基本として、作業性や粗度係数の条件等より1/5と設定した。また検討する断面は、荒川の法面については現況の影響を把握するため現況断面、法尻となる近接河川の部分については越流水に対する整備後の計画河道断面で検討した。また、近接河川の水位については安全側として朔望平均干潮位とした。

単位幅流量の設定については、荒川と近接河川の間で土地利用の制限を行うことを想定すれば、越流水が一様に法面を流下すると考えられることから0.1m³/s/m、高規格堤防と近接河川との間で通常の土地利用を許容する場合は越流水が道路に集中して流下することを考慮する必要があることから1.0m³/s/mとした。なお、右岸17.5kmについては近接河川である隅

田川のテラス護岸の整備予定区間であり、その影響を把握することと流量の差による比較を行う意味で両方の流量で測定を行った。

測定項目は、法面についてはその耐侵食性及び護岸の安定性を検討するために水深、流速を、法尻については減勢状況と河床洗掘の影響を検討するために近接

河川内の流速と河床部の水圧とした。

(3) 水理模型実験の結果と考察

実験結果の一例として、17.5km右岸付近での単位幅流量 $0.1\text{m}^3/\text{s}$ 、 $1.0\text{m}^3/\text{s}$ における実験結果の写真及び結果図を図-4-1、図-4-2に示す。

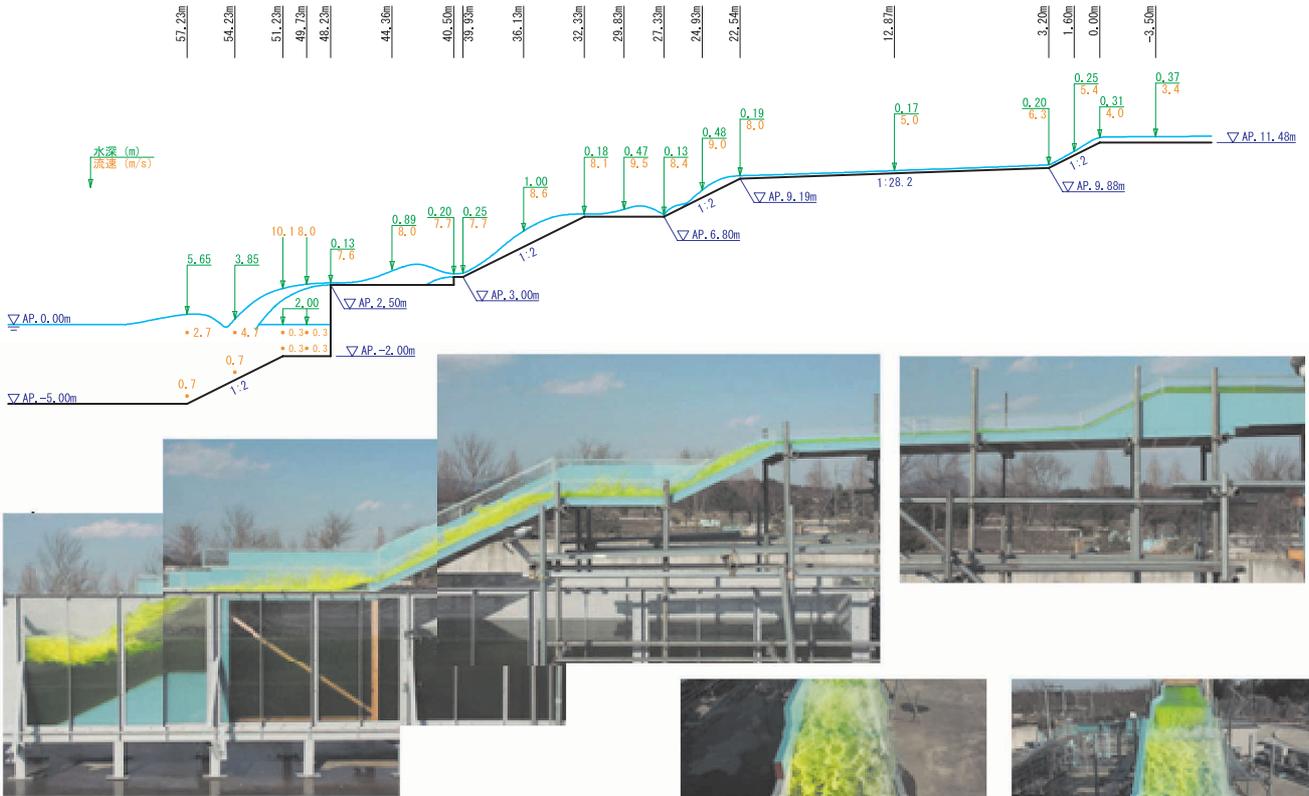


図-4-1 17.5km 右岸付近での $1.0\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ 流下時の状況 (粗度係数: 約0.01)

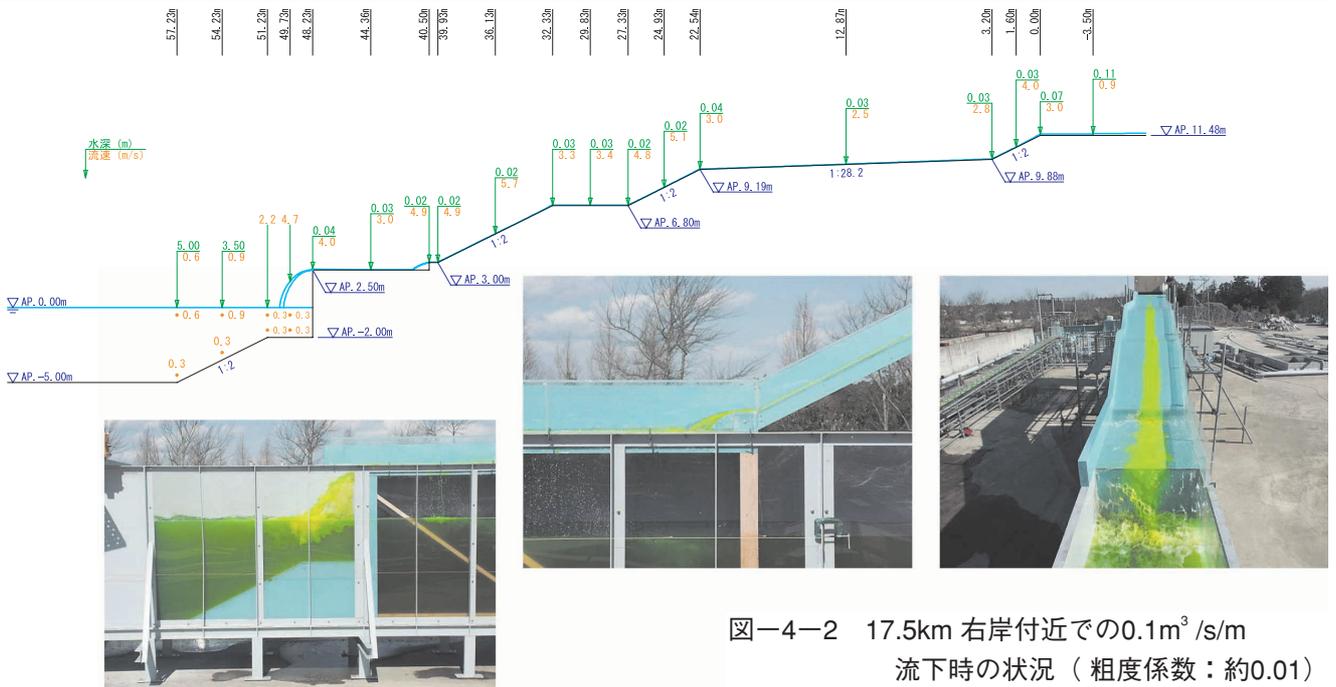


図-4-2 17.5km 右岸付近での $0.1\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ 流下時の状況 (粗度係数: 約0.01)

写真から、単位幅流量 $0.1\text{m}^3/\text{s}$ においては法面を流下する流れは水面に大きな乱れが生じていないが、単位幅流量 $1\text{m}^3/\text{s}$ の場合、水面が波立ち、横断方向にも乱れた流れとなっていることが分かる。検討結果と考察を以下に示す。

(1) 法面部の安定

ここでは、17.5km右岸付近での実験結果を中心に説明する。

本断面における法面の形状として張り芝、アスファルト舗装、インターロッキング舗装等が用いられているが、ここでは張り芝とアスファルト舗装の安定性について検討を行った。

張り芝の安定性については、流速 $2\text{m}/\text{s}$ 以上になると侵食されやすくなると言われている¹⁾。また、アスファルト舗装の安定性については、掃流力 $0.008\text{tf}/\text{m}^2$ が高規格堤防の川裏側の勾配を定める際に用いられている²⁾。今回はこれらの数値をもとに安全性を評価した。

検討結果を表-4に示す。

表-4 法面の安定性検討結果

単位幅流量 ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)	法勾配	位置	流速 (m/s)	耐侵食性	備考
0.1	水平	中間	0.9	○	張芝
		始端	1.5	○	張芝
	1:2.0 (上)	中間	3.2	×	張芝
		始端	3.4	×	張芝
	1:28.2	中間	1.5	○	アスファルト
		始端	3.4	×	張芝
	1:2.0 (下)	始端	1.5	○	張芝
中間		3.3	×	張芝	
終端		3.4	×	張芝	
1.0	水平	中間	6.3	×	張芝
	1:2.0 (上)	始端	3.4	×	張芝
		中間	4.0	×	張芝
	1:28.2	始端	5.4	×	張芝
		中間	5.0	×	アスファルト
	1:2.0 (下)	始端	8.0	×	張芝
		中間	9.0	×	張芝
終端		8.4	×	張芝	

単位幅流量 $0.1\text{m}^3/\text{s}$ においても、法面が1:2の急勾配区間において流速が加速され、 $2\text{m}/\text{s}$ を超えることから、張り芝の安定性が確保されない結果となった。また、アスファルト舗装についても同様に急勾配の区間を中心に流速が加速されることによりエネルギー勾配が大きくなることから、掃流力が $0.008\text{tf}/\text{m}^2$ 以上となり安定性が確保されていない区間が生じている。さらに、単位幅流量 $1\text{m}^3/\text{s}$ では、全区間において張り芝、

アスファルト舗装の安定性が確保されておらず、対策が必要であることが分かる。

なお、対策として接続ブロックを用いた場合の必要控え厚を「護岸の力学設計法」の考え方をを用いて算定した。結果、単位幅流量 $0.1\text{m}^3/\text{s}$ では標準の 0.12m が、単位幅流量 $1\text{m}^3/\text{s}$ では、最大 1.0m 近くの控え厚が必要であることとなった。

10.0km左岸、22.0km右岸付近の単位幅流量 $0.1\text{m}^3/\text{s}$ における結果についても、17.5km右岸付近での検討結果と同様であった。なお、隅田川の緩傾斜堤防については芝やアスファルトの下部にコンクリートが打たれており、越流水による構造面での影響は大きくないと考えられる。

(2) 法尻部の安定

法面からの越流水が近接河川に突入する形状については、単位幅流量 $0.1\text{m}^3/\text{s}$ と $1\text{m}^3/\text{s}$ において状況が大きく異なる。

単位幅流量 $0.1\text{m}^3/\text{s}$ においては、各ケースとも近接河川に突入した水脈が河床に到達しておらず、また河床部の圧力測定結果からも変化が現れていないことから、法尻部の安定については大きな問題がないと考えられる。

一方、単位幅流量 $1\text{m}^3/\text{s}$ においても、17.5km右岸付近の場合高さ 2.5m 程度であり、同様に越流水の落下水脈が河床まで到達していない。しかし、24.0km右岸付近では落下水脈が河床まで到達しており、河床洗掘がなされる可能性が高い結果となった。(写真-2)

河床洗掘に対する対策方法として、捨て石を模型設置して実際に評価した。その結果、模型実験では約 70cm 程度の大きさのものが必要ということが分かった。



写真-2 左岸24.0km 付近、 $1\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ 流下時の状況

3-3 構造検討

越流水による洗掘破壊以外の項目である、浸透、パイピング、滑り、地震時の安定性について各代表断面に対して構造検討を併せて行い、各断面の安全性の評価と、安全性を確保できない場合の対策方法について

検討を行った。

検討方法は「高規格堤防設計・施工マニュアル」に準じて実施した。ただし評価にあたり地震時のすべり破壊検討時の設計震度は堤防のB/H比に応じた値を用いた。

また、すべり及び地震時における堤体の安定については円弧すべり法を用いて算定している。

算定結果のまとめを以下に整理する。

- 浸透については、各段面とも現況で川表側に遮水シートがあることから、湿潤線が堤体と交わってはいないが、堤体内が湿潤状態になる状態は発生していない。
- パイピングについては、基準値を若干満足しない結果となった。ただし、各断面とも浸透路長と設定している区間に深度の深い地盤改良体や既設の鋼管矢板等が存在しており、これらの評価を適切に行うことにより現実的には問題がないと考えられる。
- 滑りについては、常時、地震時共に安全性は概ね満足される結果となった。しかし22.0km右岸付近において地震時の安定性を満足していない。ここでは地盤改良による補強が必要という結果となった。

今回検討を行った断面は通常の高規格堤防の暫定整備と比較しても堤防の幅が短い区間と考えられる。これらの堤防で浸透やパイピング、滑りに対して安全性を確保するためには、遮水シートや地盤改良等による本来の土堤構造以外の要素を必要とすることはやむを得ない面があると考えられる。

4. 検討結果のまとめと今後の課題

荒川下流部の近接河川区間における高規格堤防の整備方針案として、開渠案を採用した場合の構造上の安全性について、特に一般的な高規格堤防の暫定施工と性質が異なる越流水による洗掘破壊に対する安全性を中心に検討を行った。

越流水による洗掘破壊について以下にまとめる。

- (1) 近接河川と荒川の間で堤防上で土地利用の制限を行い越流水の集中を考慮する必要がない場合
勾配が1:2程度の場合張り芝やアスファルト舗装では越流水に対して法面の安定を確保することは困難であるが、通常の場合接続ブロック等を設置することにより対策が可能と考えられる。一方、法尻部の安定に対しては、近接河川の水面による減勢効果が働くことにより、河床の安定を確保することが可能と考えられる。
- (2) 近接河川と荒川の間で堤防上で通常の土地利用を想定し、越流水の集中を考慮する必要がある場合
法面の安定は張り芝やアスファルト舗装では確保出

来ない。接続ブロックでの対策を行う場合、勾配1:2程度では控え厚1.0m程度の規模のものが必要となる。法尻部の安定についても、落下高が大きい場合河床洗掘が発生する恐れがあり、捨て石の設置等による対策が必要と考えられる。

また、浸透や滑り等他の項目について併せて構造検討を行った。その結果地盤改良等の対策を行うことにより、安全性を確保することが可能と考えられることが分かった。

一方、今後近接河川区間において越流水による洗掘の安全性を考慮した高規格堤防の整備を進めていくためには、以下の課題を検討、解決していく必要があると考えられる。

(1) 模型実験結果の一般化に関わる検討

今回の水理模型実験は最も厳しいと考えられる断面を代表的な断面に設定し、その断面が様々な破壊メカニズムに対し、安全かどうかの検証を行ったが、今後必要に応じて水理実験を追加して行い、一般的にどの程度の勾配や落差があれば越流水に対して安全か、整理していく必要がある。

(2) 景観にも配慮した具体の整備方針の検討

今回対策として検討した開渠案は、堤防上の土地利用は可能となるものの河川景観上は近接河川沿いに大きな擁壁が建造されることが課題となる。

一方、堤防強化案は、河川景観に配慮し近接河川に堤防断面を擦りつけたものであるが、堤防上の土地利用が制約されるとともに、確実な堤防強化策が必要となる。このトレードオフの影響について、近接河川管理者等とともに具体の整備方針の検討が必要となる。

5. おわりに

荒川下流の高規格堤防整備区間で約30%を占める近接河川区間における高規格堤防の整備方針策定のための技術的検討を行った。

最後になりましたが、本検討にあたって、国土交通省荒川下流河川事務所各位のご指導及びご助言をいただきました。ここに厚く御礼を申し上げます。

<参考文献>

- 1) 福岡捷二、藤田光一：堤防法面張芝の侵食限界 水工学論文集 第34巻 1990年2月
- 2) 高規格堤防（スーパー堤防）整備事業の手引き：（財）リバーフロント整備センター