

## 河川堤防システムの量的・質的な安全管理

### Safety management of river levee system from view points of capacity and structure

福成孝三、白井勝二、田中長光、吉川勝秀  
Kouzou Fukunari, Katsuji Shirai, Nagamitsu Tanaka, Katsuhide Yoshikawa

復建調査設計(株)(〒101-0032 東京都千代田区岩本町3-8-15)  
(財)渡良瀬遊水池アクリメーション振興財団(〒323-1104 栃木県藤岡町藤岡1778)  
(株)日水コン 河川事業部(〒191-0065 日野市旭が丘4-7-107)  
工博,日本大学教授,理工学部社会交通工学科(〒274-8501 船橋市習志野台7-24-1)

The river levee is a historical structure repeated the levee heightening and widening in the past. When a levee is broken by a flood, the river basin is heavily damaged. Past cases at Tone River proves that the major causes of levee breaks are overflow and leak at the levee. We will clarify the process of levee breaks and counter measures to prevent levee breaks. We will make proposals for safety management of the durable river levee system from view points of capacity and structure. The overflow without a levee break at a fixed section of the continuous levee and a removal of a sluice pipe in the levee are useful to prevent flood damages in the whole river basin.

Key Words : river levee, levee break, overflow, leak, sluice pipe  
キーワード: 河川堤防、堤防決壊、越水、漏水、樋管

#### 1. はじめに

連続した河川堤防は、いったん決壊すると、流域の広い範囲にわたって大きな被害を及ぼす。一方、決壊あるいは越水した場合には、他の区間の水位が低下するなど、河川全体の出水形態にも大きな影響を及ぼす。このため、河川堤防の安全性は、一横断面だけではなく、左右岸あるいは上流から下流までの縦断的に連続した一連のものとしてその安全性を評価する必要があり、堤防の縦断方向の特性を「河川堤防システム」として位置づける必要がある。

しかし、河川堤防は、長年にわたって、洪水がおこるたびに嵩上げや腹付けが繰り返されてきた歴史的構造物であり、その縦断的な安全性は必ずしも一様ではなく、また外力となる洪水の形態も多様である。

そこで、これまでに発生した利根川における堤防決壊の事例を検証すると、その主な原因として、「堤防天端からの越水」と「堤体内にある樋管等の構造物周辺からの漏水」をあげることができる。本稿では、これまでに利根川で「越水」および「構造物周辺からの漏水」が原因となって堤防決壊に至った事例を検証し、越水や堤防決壊を防ぐために必要な日常的な安全管理について、河川堤防の持つ流下能力などに関する「量的な安全性」と、堤体の構成内容などに関する「質的な安全性」の、二つの視点から考察する。その上で、氾濫流によって発生する流域全体の被害の軽減を図る観点から、今後の連

続堤防の整備と安全管理のあり方について提示する。

#### 2. 利根川におけるこれまでの堤防の決壊の原因

河川堤防が決壊する原因には、越水、樋管等の構造物周りからの漏水、雨水や河川水の浸透による堤防の弱体化、河川構造物周辺における洗掘などがある。このうち、「越水」は「堤防の治水容量(流下能力)」によるものとして、また「構造物周りからの漏水」は「堤防の質」によるものとして位置づけることができる。

利根川水系で、昭和以降これまでの80年間に堤防が決壊した箇所を図1に示す。利根川水系におけるこれまでの堤防決壊の事例を原因別にみると、「越水による決壊」が28カ所、「構造物周りからの漏水による決壊」が3カ所、「そのほか一般堤防からの漏水による決壊」が1カ所であり、「越水」を原因とする堤防の決壊が圧倒的に多い。

越水による堤防の決壊を防ぐためには、まず量的な視点から現在の堤防の流下能力を把握するとともに、流下能力を越える洪水が発生した場合の対応についても検討しておくことが重要である。

次いで、「構造物周辺からの漏水」が堤防決壊の原因になる場合がある。これは、現況の堤防の流下能力を下回る洪水の場合にも発生するもので、河川堤防の質的な安全管理が必要であることを示している。

このように、洪水による堤防の決壊を防ぐためには、

治水容量という「量的な側面」と、堤体を構成する「質的な側面」の、双方からみた「安全管理」が重要となる。

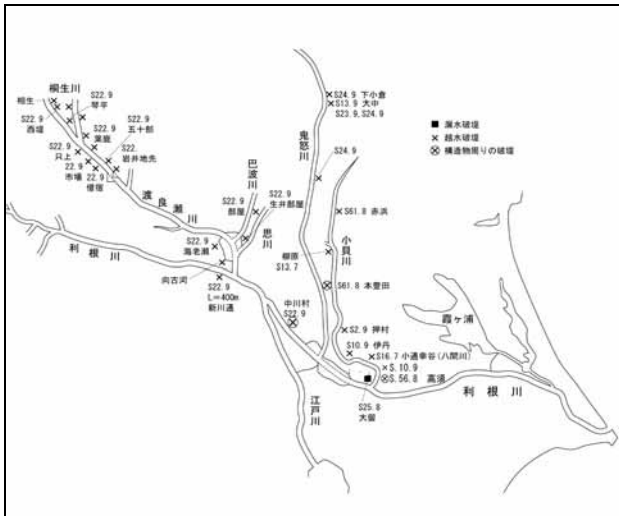


図 1 昭和時代以降の利根川水系での堤防決壊箇所

### 3. 越水による堤防決壊

#### 3.1 利根川の事例

##### (1) 昭和22年9月洪水<sup>2)</sup>：

##### 埼玉県東村（現大利根町）の利根川右岸の堤防決壊

この時の洪水はカスリーン台風によるもので、埼玉県東村（現大利根町）の利根川右岸の堤防が、延長1300mにわたって越水した。越流水深は最大で50～60cmであったと推定される。越流水は徐々に堤防の裏小段を崩壊させ、越水を始めてからおよそ3時間20分後の8月16日の深夜0時20分に、幅350mにわたって決壊した。

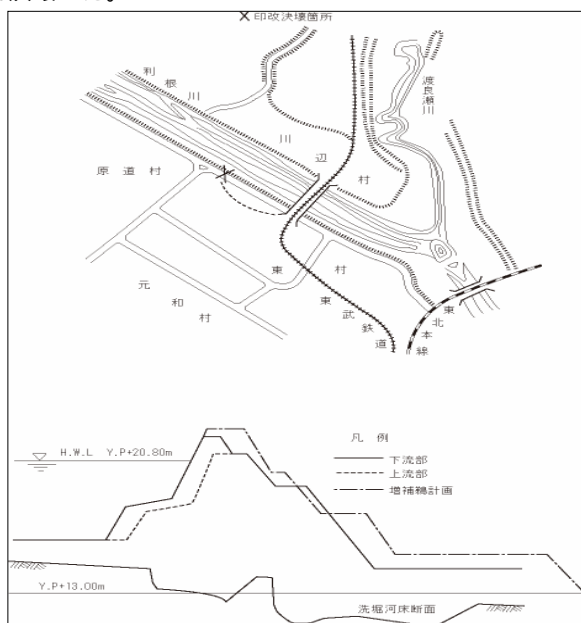


図 2 利根川右岸埼玉県東村：越水による堤防決壊<sup>2)</sup>  
(昭和22年9月洪水)

この時の越水によって堤防が決壊した原因として、次のようなことをあげることができる。

流域平均雨量が317mm/日に及び、これまでにない大きな出水であった。

当時の利根川では、図2に示すように、下流側から順次堤防の嵩上げや腹付けが進められていた。決壊箇所のすぐ下流までは施工済みであったが、その上流側は明治改修により施工した堤防のままで、堤防の嵩上げは行われていなかった。特に決壊箇所には天端を県道が通っており、下流側に比べて堤防の高さが低かった。

決壊地点の下流には、東北本線、東武鉄道の橋梁があり、流木などがその橋脚や橋桁につかえて、上流側の水位をおよそ1m程堰上げていた。

決壊地点には県道が通っており、川裏には坂路があってここに越流水が集中した。

##### (2) 昭和61年8月洪水：

##### 小貝川左岸茨城県明野町赤浜での堤防決壊

決壊箇所の堤防の天端には県道が通っており、この部分の堤防の高さが、上下流より2mほど低くなっていた。洪水の際、この部分的に低くなったところからの越水を防ぐために、水防団によって60～70cmの高さで土嚢積みが行われた。最高水位は、計画高水位を78cm程度越えるものであったが、8月5日の午前8時頃からの土嚢を越えて越水が始まり、午後1時30頃には積み上げられた土嚢が流出した。濁流が滝のようになって流れ出し、川裏側にあったガードレールが転倒、川裏が洗掘され、幅85mにわたって堤防が決壊した。

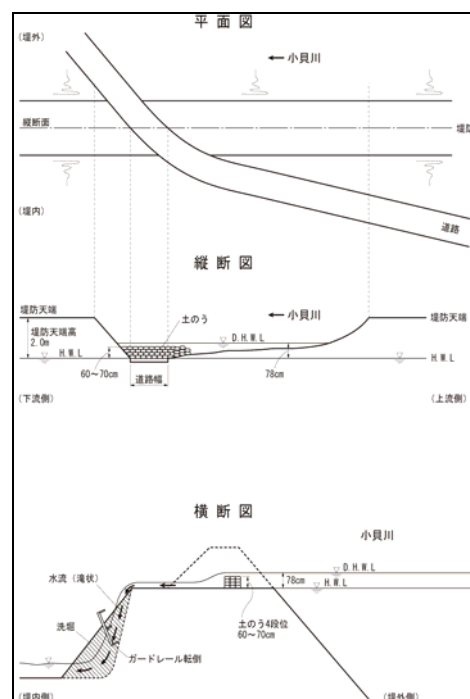


図 3 小貝川左岸赤浜：越水による堤防決壊  
(昭和61年8月洪水)



写真 1 小貝川左岸赤浜：越水による堤防決壊<sup>5)</sup>  
 (昭和61年8月洪水)  
 ( は左側, ~ は右側, は上側が, 小貝川)

### 3.2 越水の原因

これまでに利根川水系で発生した越水の原因は、次のように整理することができる。

河道の流下能力を超える出水によるもの。

堤防が段階的な整備の途上にあったもの。

堤防のある地先の個別特有な事情により、上下流に比べて堤防の天端が部分的に低いと、そこに流れが集中して堤防決壊に至る危険性が高くなる。たとえば、堤防上を道路が兼用していたために、その部分の堤防の高上げが遅れていたものもこれに含まれる。

流木などが流出し、橋梁などに引っかかって堰上げが起こり、その上流の水位が上昇したものの。

### 3.3 越水による堤防決壊の経過

利根川水系でこれまでに発生した、越水によって堤防が決壊した事例についてその経過を整理すると、河川水や雨水の浸透によって堤体の飽和度が上がり、その強度が低下しているところに越水が始まる。さらに越流水深が深くなり、越流量が増加するとともに、強度の低くなった堤防の裏法尻が洗掘され、また裏法尻の凹凸のある部分から侵食されやすくなる。越流水による堤体の侵食力は、裏法の急斜面が長いほど大きく、また裏法が高いほど越流侵食によって、堤防決壊に至りやすい。

これまでの事例では、越水が始まってから3～5時間後に越流水深が50～60cmになり、この時に決壊に至る場合が多い。しかし、越水しても堤防決壊に至らない事例も多い。越水深が60cmで越流時間が3時間程度の条件に耐えられるような堤防が、耐越水堤防の一つの目安になる、と言われている。<sup>3)</sup>

## 越水による堤防決壊

- ・異常な出水により、河道の流下能力以上の洪水が発生
- ・堤防が段階的な整備の途上
- ・地先特有の事情により、上下流に比べて堤防の高さが低い
- ・土砂や流木の流出により、橋梁などによる堰上げ

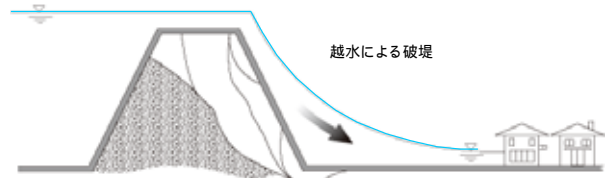


図 4 越水による堤防の決壊

### 3.4 量的な視点からみた堤防の安全管理

堤防の流下能力を超える出水があった場合には、越水の発生は防ぎ得ない。利根川におけるこれまでの事例からもわかるように、越水は、一連の連続した堤防にあっては、上流部を中心として、部分的であっても最も高さの低いところで起こる場合が多い。

このため、日常的に、連続した一連区間の堤防の縦断的な高さを精査しておくことが重要である。特に、軟弱地盤上にある堤防の沈下しているところ、道路などとの兼用がなされているところ、橋梁の取り付け道路として利用されているところなどは注意が必要である。また、これまでに発生した洪水時の痕跡水位と堤防高さとの関係を把握し、出水の履歴と流出特性を明らかにしておくことも、堤防の量的な安全水準を知る上では重要である。

さらに、河床や河川水の流れ易さなどは常に変わるので、河道における洗掘や土砂の堆積状況、樹木による洪水阻害の可能性、洪水流の流向の変化などについても、日常的に把握しておく必要がある。

### 3.5 越水による堤防決壊を防ぐための対策<sup>3)</sup>

越水した場合でも、次のような河川堤防の質的な強化を図ることによって、堤防の決壊を防ぐことができる。

堤体の断面積を大きくする。

裏法面の耐侵食性を強化する。勾配が緩く小段等の凹凸がない方が侵食に強い。

裏法尻に盛土を設け、裏法尻と天端の高低差を小さくする。

裏法尻に洗掘防止のための布団籠あるいは石積みドレーンなどの保護工を設ける。

河川水や雨水の堤体への浸入による堤防の弱体化を防ぐため、堤防の天端をアスファルト舗装するなど、法面、法尻などの堤体の表面を被覆する。

堤体の湿潤化による強度の低下を防ぐため、裏法尻にドレーンを設置する。

越水しても壊れない堤防として、堤体と隣接する宅地等と同じ高さで一体的に整備する高規格堤防がある。

#### 4. 構造物周りからの漏水による堤防決壊

##### 4.1 事例

##### (1) 昭和56年8月洪水：

##### 小貝川左岸茨城県藤代町（当時）高須での堤防決壊

小貝川の、利根川との合流点より上流左岸3.7km付近にある高須樋管は、厚さ20m程度の軟弱地盤層に、鉄筋コンクリート製の支持杭で支えられていた。



写真 2 小貝川左岸高須：構造物周りからの漏水による決壊（昭和56年8月洪水）  
（左が小貝川の上流、右から利根川本流からの逆流が押し寄せている。）

昭和56年8月に発生した洪水時の小貝川の水位は、利根川本川からの洪水の逆流とも重なって上昇し、計画高水位に近づきつつあった。しかし、堤防の天端には至っていない。当時の水防団員の話によると、出水時の堤防の巡視中に、高須樋管の近くで水の流れる音が聞こえた。その後、堤防に樋管に沿って幅5～10mの溝ができていたことが確認されている。そして、8月24日の午前2時過ぎ、樋管に沿ってその上流側の堤防が決壊し、明け方には、その決壊幅は川表側で110m、川裏側で60mに広がった。

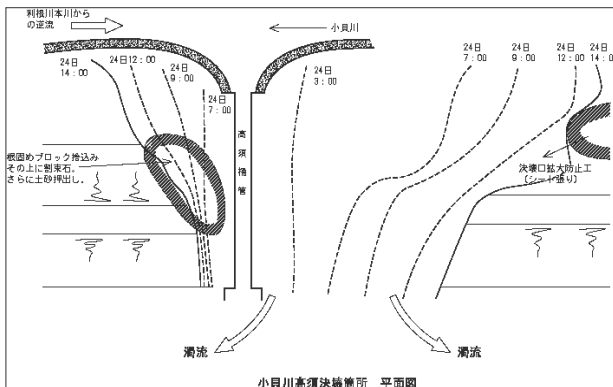


図 5 小貝川左岸：構造物周りからの漏水による決壊（昭和56年8月洪水）

##### (2) 昭和61年8月洪水<sup>6)</sup>：

##### 小貝川右岸茨城県石下町本豊田での堤防決壊

豊田樋管は、昭和20年代後半から30年代初めにか

けて行われた小貝川改修に伴って設置されたもので、砂質地盤に木杭基礎で支持されていた。

この洪水の時の小貝川の水位は堤防の高さよりも約1m低かったが、樋管のある場所の裏のり面に細い亀裂が生じ、裏のり尻には漏水によって水が吹き上がるように湧き出しているのが発見された。このことから、摩擦杭で支えられた樋管の周辺からの漏水が増大して堤体の土砂が流出し、堤防に入った亀裂が天端まで達して堤体が陥没したものと推定される。そして、堤防が陥没した部分から洪水が流れ込み、8月6日午前10時に約60mにわたって決壊した。

前述したように、これより上流の小貝川左岸の茨城県明野町赤坂では、この決壊のおよそ20時間前に、同じ洪水による越水によって、堤防が決壊している。

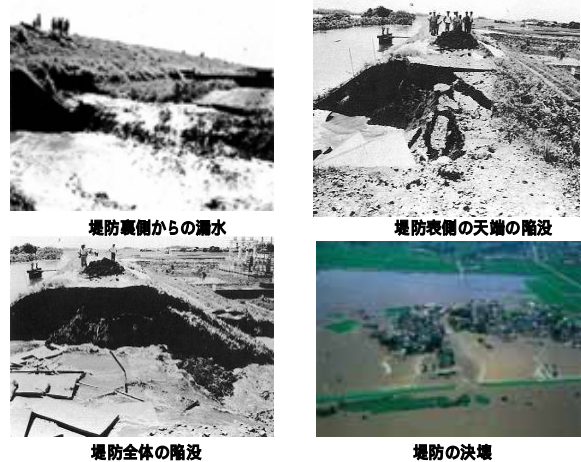


写真 3 小貝側右岸本豊田：構造物周りからの漏水による決壊（昭和61年8月洪水）<sup>5)</sup>

#### 漏水による決壊

- 堤体内にある樋管などの構造物周りからの漏水
- 基礎地盤からの漏水
- 弱小堤での漏水
- 堤体の土質条件や締め固め不足による漏水

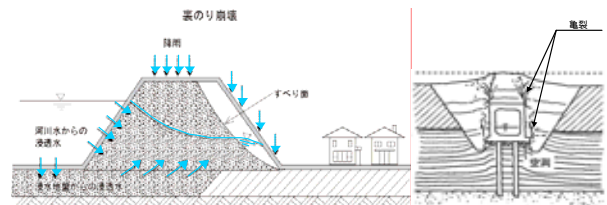


図 6 漏水による堤防決壊

#### 4.2 構造物周りからの漏水による堤防決壊の経過

河川堤防の中に、水を自由に通すための「樋管」を設けることは、河川水を堤内地に入れたいことを目的とする「堤防」という構造物の本来の機能とは相容れないものである。樋管は、質的には堤防の最も弱点となる箇所であり、堤防決壊の可能性の最も大きいところといえる。

軟弱地盤上にある支持杭構造の基礎を持つ樋管の場合には、周りで徐々に地盤沈下が進んでも、樋管そのものは沈下せずに浮き上がるかっこうになり、周辺の基礎地盤や堤体との間に不連続性を与え、樋管の底版下と地盤との間に空隙を生じる。この空隙部分に河川水等が浸透し、樋管周辺に水みちが形成されて、これが拡大して堤防の決壊に至る。すなわち、樋管の周辺の水が、樋管の壁面に沿ってクリープ浸透して水みちが生じ、それが次第に拡大する。最終的には大量の水が堤体内を通り、土砂をも流出させて、堤防を破壊することになる。

昭和61年8月に発生した小貝川での豊田樋管周りからの漏水による堤防決壊の際にも、はじめに裏のり尻に漏水が観察されている。川裏側からの漏水の噴出は、堤内地の土の重量より地盤の水圧が高い場合に発生し、これが堤体の下の土砂などを流出させ、堤防が陥没する。

また、利根川でのこれまでの事例からもわかるように、構造物周りからの漏水は、河川水位が計画高水位より低い場合にも発生し、これが堤防決壊の原因となっている。すべての漏水が堤防決壊につながるわけではないが、樋管等の構造物周りからの漏水による堤防決壊は、想定する洪水規模以下の洪水の場合にも起こり得るものであり、河川管理上も特に問題の多いものであることになる。

#### 4.3 構造物周りからの漏水を防ぐための対策

構造物の周りに空洞が確認された場合でも、沈下が収まっておれば、ベントナイト・セメントなどで充填し、壁や継ぎ手部の損傷は補修することによって、ある程度の構造物周りからの漏水を防ぐことができる。

また、堤防の沈下が継続している場合には、止水矢板などを用いることによって浸透路長の増大を図り、遮水性を強化することができる。

このほか、地盤改良などの軟弱地盤対策を行い、不等沈下を抑止する。クラック、陥没などの変形部分を取り除いて適正な形状や材質に戻す。透水性地盤では、地盤改良、防水シート、護岸、グラウト工などによる堤防と地盤の難透水化を図ることによって、構造物周りからの漏水を防ぐことができる。

#### 4.4 質的な視点からみた堤防の安全管理

河川堤防の質的な安全管理のためには、築堤の履歴や堤体の構成、土質特性を可能な限り明らかにすることによって、一連の堤防の中で最も弱点となる箇所を特定しておくことが重要である。

特に樋管などのような、堤防の中を横断する構造物は、堤防の連続性を障害し、連続堤防の一体的な安全性を損なうものであり、利根川でも、越水に次いで堤防決壊の原因となっている。このため、樋管等の構造、材質、基礎の形式、樋管周りの沈下の実態などを把握しておくことが、構造物周辺の安全管理のためには重要である。

しかし、樋管などの構造物は古くに造られたものが多

く、しかも堤防の中にあつて目視による点検が難しい。また、堤体や基礎地盤を構成する地質なども多様であり、経年的な変化もあるため、常時その安全性を確実に確認しておくことは難しい場合が多い。

### 5. 連続堤防システムとしての安全管理

#### 5.1 被害軽減の視点からみた安全管理

越水あるいは堤防決壊に伴って発生した氾濫流による被害の大きさは、次の式で示すことができる。<sup>1)4)</sup>

$$D = D(F, F_0, S, F_x)$$

ここに、D：氾濫流による被害の大きさ

F：上流からの洪水流量（外力の大きさ）

F<sub>0</sub>：堤防の治水容量（無被害で流せる河川の流量、流下能力）

S：被害ポテンシャル（浸水等により被害を受ける量）

F<sub>x</sub>：防災力（水防、危機管理体制の充実等）

Q：氾濫流量

堤防が決壊した場合には、 $Q < F$ の範囲で氾濫流が発生する。一方、 $F = F_0$ の時には $Q = 0$ となって氾濫は起こらず被害は発生しないが、 $F > F_0$ の時には、越水による堤防決壊がなければ、 $Q = F - F_0$ の大きさの氾濫流（越水）による被害に留まる。このように、氾濫流量Qは、洪水流量Fや治水容量F<sub>0</sub>によって変わる。

また氾濫流Qによって発生する被害の大きさDは、上流からの洪水流量Fや氾濫流量Q、被害ポテンシャルSの増大に伴って大きくなり、治水容量F<sub>0</sub>や防災力F<sub>x</sub>の増大に伴って小さくなる。

たとえば、前述した昭和22年9月の大利根町での堤防決壊によってその氾濫流は東京湾にまで達し、被害額Dは約70億円に達した。現在では氾濫域の被害ポテンシャルSも増大し、同じ規模の洪水量Fの氾濫が起こった場合には、その被害額Dは約34兆円に達すると想定されている。<sup>7)</sup>

また上流で連続堤防の整備が進むと、その下流では、水位が高くなる頻度や洪水の継続時間などが変化し、洪水の流出形態にも変化が生じる。一カ所で堤防が決壊すれば、他の区間の水位は比較的低くなる。たとえば、利根川下流部では、前年のカスリーン台風とほぼ同じ規模の昭和23年9月のアイオン台風によって前年を上回る高い水位に達したが、これは上流部で前年のような大きな堤防決壊がなかったためと考えられる。<sup>8)</sup>

つまり、洪水流量Fは、上流区間の河川堤防の治水容量の大きさF<sub>0</sub>に影響を受けるので、氾濫流による被害軽減、すなわちDの最小化のためには、河川堤防を、横断的な一断面だけからその治水容量を評価するのではなく、縦断的に一連のシステムとして評価する必要がある。

地域住民等関係者の合意形成が大きな課題ではあるが、流域全体としての被害軽減の視点からみた河川堤防の安

全管理のためには、特定区間での越水を許容することも、今後の検討すべき課題である。

## 5.2 越流を想定した堤防システムとしての安全管理

河川堤防システムの能力を超える規模の洪水が発生すると、縦断的にみて、一連の連続した堤防の中で最も低いところから越水する。越水が想定される箇所は、堤防高さや河床、河道の状況などに関する日常的な管理と調査によって特定することができるので、これを把握し明確にしておくことは、被害軽減を図るために必要な防災力の強化、危機管理の視点からも重要である。

すなわち、計画規模以上の洪水あるいは現況の流下能力を超えるような洪水が発生した場合、流域全体としての被害を最小化するためには、越水に起因して決壊することを防ぐために必要な対策を施した上で、特定箇所からの一定の越水を想定することも重要である。

つまり、これからの治水投資の限界を考慮すれば、被害軽減の視点から、次のような、越水を前提にした堤防の戦略的な整備と管理についても検討する必要がある。

特定箇所からの決壊なき越水は許容する。

越水があっても被害軽減を図ることができるよう、氾濫原の土地利用を規制誘導する。

越水による堤防決壊を防ぐ視点から、高規格堤防の整備を進めるとともに、越水による堤防決壊防止対策を強化する。

連続堤防システムの能力を超える洪水して、洪水流を貯留、調節する遊水池等との併用について検討する。

水防や避難など、危機管理体制の充実を図る。

すなわち、河川堤防の量的な安全管理のためには、現在の河川堤防システムとして有する縦断的な治水能力を把握した上で、越水の想定される区間を特定することができれば、土地利用の規制、誘導などによる被害ポテンシャルの抑制や、危機管理体制の充実などによる防災力 $F_x$ を大きくすることによって、洪水被害の軽減を図ることが可能になる。

## 5.3 決壊を防ぐための河川堤防の質的な安全管理

量的には現況の堤防の有する治水能力を下回る洪水の場合であっても、連続した河川堤防は、その上下流に比べて質的に最も弱いところがあれば決壊することがある。堤体材料が一樣ではないなど、堤防の有する質的な多様性を考慮すると、非常に難しい問題ではあるが、河川堤防の質的な安全性を明確にしておくことは危機管理上からも重要である。

これまでの利根川における堤防決壊の事例を検証した結果、連続堤防の質に最も大きな影響を及ぼし、堤防決壊の原因となるものは、連続堤防の中にある樋管などの構造物であることがわかる。樋管等の構造物があるところは、連続した堤防のなかで質的に最も弱いところとなり、これらの構造物周りからの漏水が原因となって、堤

防が決壊する場合がある。

樋管等の構造物の設置にあたっては、漏水を防ぐためのさまざまな対策が講じられているが、実際に土とコンクリートの間の水みちの発生を防ぐことはきわめて難しい。連続した堤防の安全性を縦断的に一定のレベルに保つためには、堤体内に異質な構造物を設置することは望ましくない。特に低平地に人工的に築造された堤防の場合には、連続堤防の質的な安全管理の視点からは、水門やオーバーサイフォンなどによる恒久的な安全対策を採用することにより、堤体の中に他の構造物を設置することは避けることが望ましい。なお、構造物周りからの漏水による堤防決壊の事例として取り上げた小貝川の高須樋管は、現在では撤去されている。

## 6.まとめ

利根川におけるこれまでの堤防決壊の事例を検証した結果、その多くが越水に原因するものであった。次いで、樋管等の構造物周りからの漏水によるものが多い。

越水については、計画規模を超える出水あるいは現在の堤防システムの能力を超える出水があった場合、どこで越水が生じるかは水理水文学的に推定することができるので、決壊なき越水を想定した堤防の整備や管理のあり方を検討することも、流域全体の洪水被害軽減の視点からは重要である。たとえば、越水しても決壊しない堤防の一つとして、高規格堤防を位置づけることができる。

また、堤防のなかにある樋管等の構造物周りからの漏水が堤防決壊の原因になる場合が多いので、堤防の質的な安全管理のためには、堤体の中に構造物を設置することは避ける必要がある。

許容される被害等に関する住民等の合意形成が大きな課題ではあるが、氾濫流と被害の関係などを明らかにし、流域全体としての被害を最小化させるための河川堤防システムとしての安全管理のあり方について、水理水文学的な視点からも研究を進めてゆきたい。

## 参考文献

- 1) 吉川勝秀：河川流域環境学、技報堂出版、2005
- 2) 建設省関東地方建設局：利根川百年史、1987
- 3) 中島秀雄：図説 河川堤防 技報堂出版、2003
- 4) 吉川勝秀、本永良樹：低平地緩流河川の治水に関する事後評価的考察、水文・水資源学会誌、Vol 19, No.4、pp.267-279、2006
- 5) (社)関東建設弘済会：水害 昭和 61 年 8 月洪水、
- 6) 京都大学防災研究所：防災学ハンドブック 2004
- 7) 建設省利根川上流河川事務所：TONE FILE 利根川総合パンフレット 2005
- 8) 建設省利根川下流工事事務所：水郷 1976

(2007年8月17日受付)