破堤氾濫の危険度評価と減災対策 に関する一考察

STUDY OF THE RISK EVALUATION METHOD
FOR BANK BREACHES FLOODING AND REDUCTION STRATEGY

瀧健太郎¹・北村裕二²・中島智史²・上坂昇治³・ 山崎邦夫⁴・松田哲裕⁵・鵜飼絵美⁶ Kentaro TAKI, Yuji KITAMURA, Satoshi NAKAJIMA, Shoji KOZAKA, Kunio YAMAZAKI, Tetsuhiro MATSUDA, and Emi UKAI

1正会員 博(工) 滋賀県土木交通部流域政策局 (〒520-8577 大津市京町4-1-1)

2正会員 滋賀県土木交通部流域政策局 (〒520-8577 大津市京町4-1-1)

³非会員 工修 滋賀県大津土木事務所 (〒520-0807 大津市松本1-2-1)

4非会員 滋賀県甲賀土木事務所 (〒528-8511 甲賀市水口町水口6200)

5正会員 株式会社ニュージェック 河川グループ (〒531-0074 大阪市北区本庄東2-3-20) 6正会員 工修 株式会社ニュージェック 河川グループ (〒450-0002 名古屋市中村区名駅5-27-13)

Present paper proposes a risk assessment method, which measures the risk of bank breaches flooding by the expected number of damaged houses in each 500m section. In order to count the number widely in the floodplain of small-medium sized rivers, a formula to specify the area, in which house-breaking is expected, using only two parameter such as river-width and bank-height, is developed. Additionally, this paper proposes a strategy for disaster reduction measures such as strengthening embankment performances, riparian forests, secondary dikes and evacuation. Specially, an idea of risk balance among upstream, downstream and the other side should be introduced into such embankment performances. To avoid not only human damage from excessive floods but also risk shift to the other colony, the bank next to the house-breaking area is reinforced relatively more than the banks next to a blank space.

Key Words: small-medium sized rivers, excessive floods, evaluation method, bank breaches flooding, flood-reduction measures

1. 序論

(1) 研究の背景

ひと度、破堤氾濫が生じると、氾濫流により家屋が倒壊するなど、犠牲者をも伴う壊滅的な被害に繋がる。そのため、破堤氾濫による壊滅的被害を回避・軽減することは、長年にわたるわが国の課題となってきた。最近では、気候変動の影響による外力の増大も指摘されており、破堤氾濫の危険性がますます高まることが懸念される。

とりわけ支川や中上流部では、財政制約等により抜本 的改修が当面及ばず、破堤氾濫の危険性が存置され続け ている現実がある。さらに中小河川の多くは、大河川に 比べて計画規模も小さく、抜本改修後にも施設能力を超 える洪水を覚悟せざるを得ない。また、中小河川は概し て洪水到達時間が短く避難時間の確保も困難である。し たがって、抜本改修が当面及ばない中小河川の支川や中上流部であっても、背後地に人家が集積しているなど、破堤氾濫による人的被害が予見される箇所おいては、人道的立場から局所的・応急的に堤防強化を実施し、当面のリスクを軽減しておくことが望まれる.

(2) 法制度上の課題

基本的に連続堤防は、宅地・農地などの土地利用の区別なく堤内地を一律に防御する。わが国では、河川管理の義務的責任として、河川施設には設計外力(計画洪水)に対する安全性が厳密に求められる。河川管理に係る主要判例¹²⁾をひも解けば、"整備途上の河川においては、同種・同規模の河川の管理の一般水準及び社会通念に照らして是認しうる安全性を備えている限りにおいて、河川管理に瑕疵があるとは言えない"こととされている。言い換えると、適切な河川管理を行っている限り、当該

河川の施設能力を超える洪水の処理は、河川管理の義務的な責任範囲外であると解されるのである。また、抜本改修前の応急的な対策については、抜本改修時に手戻りとなる可能性も高く、二重投資の問題も指摘される。

ただし現行制度下においても、洪水氾濫域減災対策事業³⁾など、整備途上の河川氾濫域で局所的・応急的に人家連担地を防御するスキームも用意されている。したがって、整備途上の河川での局所的・応急的な対策が制度上禁じられているという訳ではない。

(3) 技術的課題

堤防は最も基本的な河川施設のひとつである。ゆえに、長年にわたり、堤防の質的強度の評価手法⁴⁾や、堤防強化に関する研究⁵⁾が進められてきた。しかし今日に至るまで、施設能力を超える洪水を対象とした堤防強化については技術が確立されているとは言えない状況にある⁶⁾、例えば、実務で用いられる堤防強化の技術基準⁷⁾には、各種の侵食・浸透対策が示されているものの、各対策は河川管理施設等構造令で規定するところの基本断面形状の確保が前提とされており、性能評価を行う場合にも河道の設計外力に対するものに限定されている。

これまで日常的な河川管理の中で、人家付近で堤防か らの漏水や河道の洗掘などが見られる箇所では、維持管 理の一環として局所的・応急的に浸透・侵食対策が実施 されている. しかし一般に、中上流部での河川改修によ り局所的に流下能力が増すと、従前以上の洪水が下流部 に集中するため下流氾濫原でのリスクが高まる. 上流部 のリスクが下流部へ転嫁されるのである(いわゆる転嫁 されたリスク8). 連続堤防による河川整備が下流部から 上流部に向けて順次進められるのは、そういった人為的 なリスク転嫁を防ぐための基本原則だからである. した がって、本質的には、局所的・応急的に堤防強化を実施 する場合にも、上下流・左右岸のリスクバランスを適切 に考慮しなければならない. しかし, このようなリスク 転嫁の問題を解消しながら、なおかつ、施設能力を超え る洪水から人的被害を回避することを目的とした"減災 対策としての堤防強化"(以下「減災型の堤防強化」と いう)を計画・実施するための具体的な方法論について は、十分な議論がなされていない.

また、堤防の質的強度は対策工法を検討するための基礎的な情報であるが、これを評価するには評価区間ごとに詳細な地質特性の調査が要求される⁴⁾. 前述の諸制約に加え、管理延長の長さや財政制約とも相まって、抜本改修前の中小河川の多くでは、堤体の調査も進まず、結果として質的強度の評価もなされていない現状にある.

そこで本稿では、抜本改修が当面及ばず堤体のデータも不足する中小河川を対象に、レーザー航空測量の成果を活用して、①破堤氾濫の危険度を簡易に評価する手法を開発し、②滋賀県下の有堤河川に適用したうえで、③リスクバランスを考慮した"減災型の堤防強化"の実施方法について考察する.

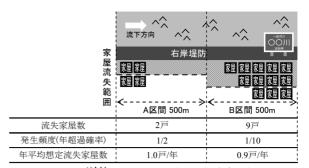


図-1 単位区間(500m)ごとの危険度評価

2. 破堤氾濫の危険度評価方法

"減災型の堤防強化"を効率的に検討・実施するためには、氾濫原を流れる河川群を包括的に取り扱い、沿川各地のリスクを予め評価して対策の優先順位を定めておくことが望ましい。ここでは、中小河川に係る実務の現状を踏まえた実用的な手法を提案する。

(1) 評価指標

破堤氾濫時に適切な避難行動がとられなかった場合には、氾濫流により家屋が流失して人的被害が生じる可能性が高くなる。そこで、単位区間(例えば500m)毎に破堤氾濫時に想定される年あたり流失家屋数(以下「年平均想定流失家屋数」という)を危険度の評価指標に採用する。図-1で示すように、年平均想定流失家屋数は破堤氾濫で想定される流失家屋数と発生頻度の積で表す。

(2) 算出手順

次に、年平均想定流失家屋数の算出手順を示す. なお、検討対象河川群の横断図面および周辺地盤高については所与のデータとする. 滋賀県では、2007年に航空レーザー測量で得られた三次元地形データ(近畿地方整備局が配布)を用いて、氾濫原を流下する大半の河川の横断面図および5mメッシュの地盤高が整備されている.

a) 家屋流失の閾値

佐藤ら 9 の調査結果を参考に、流体力 u^2h が $2.5 (m^3/s^2)$ を超える場合に家屋が流失すると仮定する.ここに、u:流速(m/s)、h: 浸水深(m)である.

b) 家屋流失範囲の設定

破堤点を区間ごとに設定し氾濫解析を行えば、a)で定めた閾値から家屋流失範囲を定めることができる.しかし、築堤河川の全区間を対象とする場合には、作業量が膨大で現実的ではない.そこで、実験用に構築した二次元モデルの計算結果を参考に、当該断面の"川幅"と"比高差(堤防天端高と周辺地盤高との差)"から家屋流失範囲を算出する簡易式を導く.

まず、上記の水理数値モデルを用いて、複数の比高差と破堤幅の組み合わせについて、比高差及び破堤幅と流体力分布との関係を求める. 表-1に計算条件を示しておく. ここでは、簡単のため堤内地側の障害物はないものとする. また、破堤点からの越流量については、実務で一般に用いられる氾濫解析用のマニュアル¹⁰⁾(以下、

「マニュアル」という)に準じ、(1)(2)式で示す本間の 越流公式(正面越流)を用いて越流量を算定する.

 $h_2/h_1 < 2/3$ のとき,

$$Q = 0.35 \times h_1 \sqrt{2gh_1} \times B \tag{1}$$

 $h_2/h_1 \ge 2/3$ のとき,

$$Q = 0.91 \times h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \times B$$
 (2)

ここに、 h_1 : 破堤敷高より高い方の水位(\mathbf{m})、 h_2 : 破堤敷高より低い方の水位(\mathbf{m}) である.ここでは簡単のため一律に破堤式高を周辺地盤高(すなわち、 h_2 =0) と見なし、比高差(堤防天端高と周辺地盤高との差) = $(h_1 - h_2) = h_1$ と仮定する.

上記の条件で水理計算を実施し、家屋が流失する範囲を計測する.計測例を図-2に示す.図-3には、比高差・破堤幅ごとに家屋流失範囲を計測した結果を示す.さらにこの計算結果を線形補間し、任意の比高差h、破堤幅bに対する家屋流失範囲l(h,b)を求める.その関数は(3)式のように定式化される.

$$l(h,b) = \frac{(l(h,B_{j+1}) - l(h,B_j))}{(B_{j+1} - B_j)} \times (b - B_j) + l(h,B_j)$$
(3)

ここに、l: 家屋流失範囲(m),h: 比高差(m),b: 破堤幅(m), B_j , B_{j+1} : 破堤幅b(m) を挟む実験モデルの破堤幅(10, 20, 50, 100, 150, 200m) である.

ここで、(3)式に破堤幅b(m)を与える必要がある。そのため、各測線ごとに河道横断面図等から河道幅a(m)を計測し、マニュアルに準じて(4)式により破堤幅b(m)を求める。なお、(4)式が適用外の範囲では便宜的に川幅a(m)の3倍を破堤幅b(m)として与えることとする。

$$b = 1.6 \times (\log_{10} a)^{3.8} + 62 \tag{4}$$

ここに、a(m):河道幅(川面法肩間の距離)、b(m):破堤幅(天端中央の破堤幅)である。

以上の(3)(4)式を用いれば、川幅a(m)および比高差 h(m)という形状に係る諸元のみから、測線ごとに家屋流失範囲が得られるようになる。このまま単純に(3)(4)式を適用すると、図-4に示すように堤内地の凹凸に関係なく家屋流失範囲が自動的に設定されるが、場合によっては、地形上、不合理な範囲が設定されることもある。そのため、個別に地形図やオルソ画像(図-5)を参照しながら、図-6に示すような補正が必要となる。例えば、橋梁との擦り付け区間など局所的に比高差が大きくなる箇所など前後と比べて不連続となる場合や、地盤高が正しく計測されず不自然な比高差を与えている場合には、前後の関係から単位区間で均一な幅となるように補正する。また、家屋流失範囲が丘陵部や連続盛土にかかる場合に

表-1 実験モデルの計算条件

項目	内容
計算範囲	4km×4km(縁部で水位変動がほぼ生じない)
計算メッシュ	50m×50m
地盤勾配	フラット
粗度係数	0.05
建物占有率	0% (参考として60%)
越流方式	正面越流,本間の越流公式を適用
水 位 差	堤防天端高と周辺地盤高との差(一定値)
計算時間	12hr (各セルでの水位変動がほぼ収束)

表-2 実験モデルの計算ケース

-						
	項目	計算ケース				
	比高差	10通り(1~10mを1mピッチ)				
	破堤幅	6通り(10,20,50,100,150,200m)				
	計	10×6=60通り				

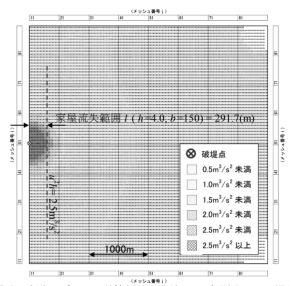


図-2 実験モデルでの計算例, 比高差4m, 破堤幅150mの場合

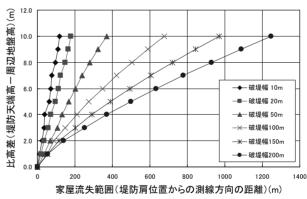


図-3 比高差および破堤幅と家屋流失範囲の関係

も地形に応じた補正が必要である.

c)流失家屋数

家屋流失範囲内の家屋数を1/2500地形図等から読み取り、破堤氾濫時に流失する恐れがある家屋数を区間ごと・左右岸別に算出する。家屋流失範囲の境界上の家屋については、重心位置で範囲内外を判定する。具体的には、GIS上に家屋流失範囲を与え、範囲内にある建物をポリゴン化して重心位置の点数をカウントする。



図-4 測線ごとの家屋流失範囲の設定(補正前,一級河川祖 父川4.0k-7.0k付近)



図-5 一級河川祖父川のオルソ画像(4.0k-7.0k付近)



図-6 測線ごとの家屋流失範囲の設定(補正後,一級河川祖父川4.0k-7.0k付近)

d) 発生頻度

各河川・区間の流下能力を堤防天端高で評価し、単位区間(500mピッチ)の最小流下能力を求める。破堤氾濫の発生頻度として、単位区間(500mピッチ)での最小流下能力に対応する年超過確率を適用する。

e)年平均想定流失家屋数

c)で得た破堤氾濫時に想定される流失家屋数と,d)で 得た破堤氾濫の発生頻度(年超過確率)の積をとり,年平 均想定流失家屋数を単位区間ごとに求める.

3. 危険度評価の結果

河道横断面図が整備されている滋賀県内の有場60河川を対象に、危険度評価を行った。年平均想定流失家屋数の大きい順に、10河川・区間を抽出した結果を表-3に示す。これにより、優先して対策を検討すべき河川・区間が判定できる。また図-7には、県内各圏域(河川整備計画の策定単位)別に集計した年平均想定流失家屋数および単位区間(500m)数を示す。ここから、滋賀県では、年平均想定流失家屋数が10戸を超えるような高リスクの河川・区間はある程度限定されていると分かる。リスクの高い区間から早期に対策を検討することで効率的な事業効果の発現が期待される。また、年平均想定流失家屋数が大きい河川・区間は、圏域間でも大きなばらつきがあることが分かる。県南部地域(志賀・大津、信楽・大

表-3 危険度評価の結果

順位	河川	名	区		間		区間の 流失 家屋数 (棟)	年発生 確率 (年)	年平均 想定流失 家屋数 (棟)
1	姉川	右岸	2. 5	~	3.0	km	333	2	166. 5
2	姉川	右岸	4. 0	~	4. 5	km	237	2	118.5
3	天野川	右岸	5.0	~	5.5	km	112	2	56. 0
4	天野川	右岸	3. 5	~	4.0	km	105	2	52. 5
5	八田川	左岸	1.0	~	1.5	km	86	2	43.0
6	姉川	右岸	0.0	~	0.5	km	113	3	37. 7
7	余呉川	右岸	4. 0	~	4. 5	km	57	2	28. 5
8	日野川	左岸	14. 5	~	15.0	km	85	3	28. 3
9	日野川	左岸	7. 5	~	8.0	km	237	10	23. 7
10	葉山川	左岸	7. 5	~	8.0	km	47	2	23. 5

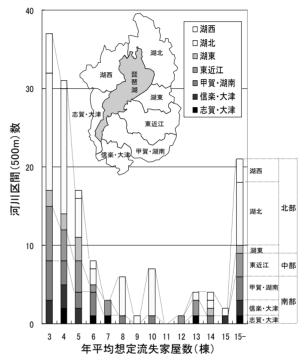


図-7 年平均想定流失家屋数と区間(500m)数の関係

津, 甲賀・湖南) は中北部地域(東近江, 湖東, 湖北, 湖 西)に比べ人口が集中しており、被害軽減のため多くの 河川で堀込河川化(天井川の解消)が進められてきた. 一 方, 県中北部の農村地域では農業利水を考慮し田面の比 高差を極力維持しながら連続堤防が築かれてきた. 人口 が少ないものの中北部地域の方が堤防の高い河川が多い ため、人口は多いが堤防の低い南部地域に比べると、人 口当たりの年平均想定流出家屋数が大きいと考えられる. こうした傾向も踏まえ、集中的に対策を検討する圏域を 選択することが効果的であろう. ところで, 表-3に示さ れた年平均想定流失家屋数は、(実現象に比べ)大きく評 価される傾向がある. 以下の①~③の理由が考えられる. ①評価に用いた流下能力は、いわゆる壁立て方式(堤防 上に架空壁を見立て越水や破堤により氾濫することな く,流下流量が全て河道内を流下するとしたもの)で 算出されており,破堤箇所よりも上流の越水・破堤に よる流量の低減が考慮されていないため、流下流量を 大きめに評価していること.

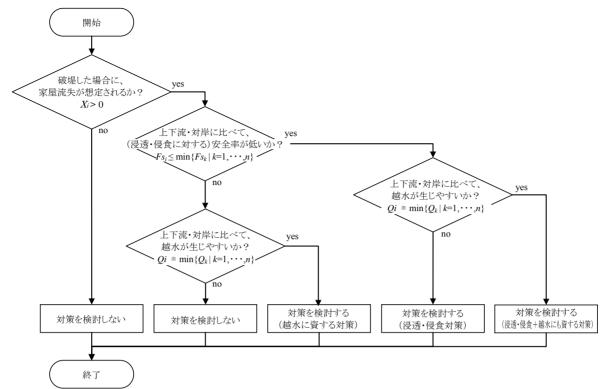


図-8 対策の要否判定と工法選定の流れ

- ②評価結果は左右岸を別々に整理しており、同一区間で 左右岸の堤防高に差がある場合にも、両岸が破堤する としていること.
- ③破堤原因の75%は越水によると言われるが¹¹⁾,構造や 材質によって、短時間の越水では破堤しない場合も数 多く報告されていること¹²⁾.

以上の理由等により、想定する発生確率と実現象とに 乖離があり、絶対評価としての信頼性は十分とは言えない.しかし一方で、全河川・区間において統一的な手法 を用いるとともに、地形条件などは詳細に補正している ことから、相対的な評価としての一定の信頼性は期待で きる.このようなことから、年平均想定流失家屋数によ る危険度評価の結果は、各種減災対策の優先度を検討す るための有効な情報として利用可能であると考えられる.

4. 評価結果に基づく減災対策の工法選定

(1) 基本的な考え方

- 3. の結果から家屋流失を伴う破堤リスクが高い箇所を抽出し、優先的に堤防強化等の対策を検討・実施する. その過程では、特に人家間でリスク転嫁が生じないよう留意する必要がある. 以下にその基本手順を整理した.
- ①背後地に人家が密集する堤防については、直上下流・対岸の(背後地に人家のない)堤防よりも(浸透・侵食・越水に対して)相対的にスペックが高くなるよう、優先的に堤防強化を行う。ただし、嵩上げはしない。
- ②当該堤防の直上下流・対岸にも人家が密集するなど, リスク転嫁が許容されない場合、水害防備林や二線堤

等の氾濫流制御施設を整備することにより対応する.

③氾濫原全体が市街化し、氾濫流制御施設の整備も不可能な場合には、堀込河川化など(下流部からの)抜本改修に集中投資を行う。

以下に,区間ごとの対策の要否判定と工法選定の具体的な方法を述べる.

(2) 対策の要否判定と工法選定

支川合流等がなく一定流量となる一連区間を対象として、図-8の流れにしたがい単位区間(500mピッチ)ごとに対策の要否を判定していく.ここに、i: 区間番号、 X_i : 流失世帯数、 Fs_i : 区間iの可能最大水位での浸透・浸食に対する各堤防安全率、 Fs_d : 基準書類で定められる所要の安全率、O: 区間iの流下能力、である.

近傍に家屋流失が想定されない区間(X_i :=0)が存在する場合,基本的には(5)式を満たすよう,当該区間で生じる可能最大流量時の浸透・侵食に対する堤防安全率 Fs_i を優先的に引き上げればよい.また,可能最大水位時の浸透・侵食に対する堤防安全率 Fs_i が上下流・対岸より高い場合にも,越水が生じやすい箇所においては,堤防天端の舗装など越水にも資する対策を講じるとともに,加えて避難警戒体制の充実化等を図る.以上の流れにしたがえば,人家間のリスク転嫁を回避しつつ,破堤氾濫による家屋流失の危険性を最小化することができる.

ただし、広い範囲で人家が連担する都市部など、いずれの区間でも破堤時に家屋流失が想定される場合には、式(6)に示すように、可能最大水位時の各堤防安全度 Fs_d を上回るように対策を講じるものとする。このとき、家屋流失が想定され

る区間群で、堤防安全率の序列を逆転させないよう留意 する必要がある。例えば、対策実施により堤防安全率に 逆転が生じる場合には、被逆転区間でも同等の対策を実 施しリスクバランスを保持することを基本とする。

(近傍にX=0の区間がある場合)

$$\min\{Fs_k | X_k=0\} \le Fs_i \le \min\{Fs_k | X_k>0\},\ (k=1,...,i-1,i+1,...,n)$$
 (5)

(近傍に X_k =0の区間がない場合)

$$Fs_d \le Fs_i \le \min\{Fs_k | X_k > 0\}, \quad (k=1,...,i-1,i+1,...,n)$$
 (6)

結果として財政制約やリスクバランスの観点から,局所的な堤防強化が実施できない場合には,適宜,水害防備林や二線堤・輪中堤等による氾濫原での減災対策の実施を検討する必要がある.

以上の基本的な流れにしたがい検討・対策が進められれば、河川整備計画・基本方針で目標とする整備が完了するまでの間に、あるいは耐越水堤防の技術が確立し実施されるまでの間に、たとえ施設能力を超える洪水が生じても、最低限、人的被害に直結する家屋流失の危険性については、大幅に減ずることができると考えられる.

5. 結語

本稿では、堤防の基礎情報が不足する中小河川を対象に、区間ごとの破堤被害の大きさと破堤氾濫の発生頻度に着目した評価指標による破堤氾濫の危険度評価手法を提案した。そして、提案した評価手法を滋賀県下の有堤河川に適用し、優先して対策を検討すべき区間の抽出を試みた。さらにその上で、施設能力を超える洪水が生じた場合にも、人家を優先的に防御するための"減災型の堤防強化"の実施手法を提案した。

"減災型の堤防強化"は、設計外力に対する安全性を確保するための"従前型の堤防強化"とは異なる概念であり、実務においても検討段階からそのことを理解しておく必要がある。"減災型の堤防強化"は流下能力を向上させる類のものではないし、設計外力に対する安全性を確保するための"従前型の堤防強化"の必要性を否定するものでもない。設計外力に対する河道の安全性を確保することは河川管理の一義的な責務である。一方、

"減災型の堤防強化"は付加的な施策であり、耐越水堤防の技術が確立されるまでの過渡的な施策である.

これまで、網羅的な水害リスク情報が不足していたことなどから、土地利用や住まい方を考える場合に水害リスクが明示的に考慮されてこなかった。その結果、一部の地域では無防備な開発が進み、人的被害の危険性が高まってしまった。 "減災型の堤防強化"は、このように

高まった人的被害の危険性を軽減するための有効な手法と言える。しかし一方で、施設能力を超える洪水が発生した場合の破堤リスクが人家から農地などに転嫁される可能性を伴うものでもある。したがって、事業に関わる河川技術者は"減災型の堤防強化"は、人的被害を最低限回避するためのやむにやまれぬ対策であり、水害リスク(特に氾濫後に生じるリスク)を十分に考慮しなかった開発の代償であることを認識しておく必要がある。今後、要対策箇所が野放図に増加しないよう、水害リスクを考慮した土地利用や住まい方の規制・誘導も進めるなど、

「地先の安全度」を空間的に制御するいわゆる氾濫原管理の積極的な展開が望まれよう.

謝辞:(株)ニュージェック江頭進治技師長,京都大学防 災研究所中川一教授には、検討の過程で折に触れ貴重な ご助言を賜りました.ここに厚く御礼申し上げます.

参考文献

- 1) 大東水害訴訟: 最判昭和 59·1·26, 民集 38 巻 2 号 53 頁, 1984
- 2) 多摩川水害訴訟:高判平成 2·12·13, 民集 44 巻 9 号 1186 頁, 1990.
- 3) 国土交通省河川局:河川事業概要,2007.
- 4) 例えば、奥田敏昭・中川一・関口秀雄・岡二三生・後藤仁志・小俣篤:越流侵食・浸透のメカニズムを把握するための小型堤防による越流浸透実験、河川技術論文集、第16巻、pp.347-352、2010.
- 5) 例えば、齋藤由紀子・森啓年・荒金聡・佐々木哲也:三次元的な浸透流による堤防強化対策効果の発現特性、河川技術論文集、第16巻、pp.329-334、2010.
- 6) 社団法人土木学会: 耐越水堤防の技術的な実現性の見解について, 耐越水堤防整備の技術的な実現可能性検討委員会報告書, 2008.
- 7) 例えば、財団法人国土技術研究センター、河川堤防の構造 検討の手引き、2002.
- 8) 埼玉県の河川整備に関する有識者会議: 埼玉県における今後の治水対策のあり方について(提言), 2008.
- 9) 佐藤智, 今村文彦, 首藤伸夫: 洪水氾濫の数値計算及び家 屋被害について-8610号台風による吉田川の場合, 第37回 水理講演会論文集, pp.331-336, 1989.
- 10) 栗城稔, 末次忠司, 海野仁, 田中義人, 小林裕明: 氾濫シミュレーション・マニュアル(案) ーシミュレーションの手引き及び新モデルの検証ー, 土木研究所資料, 第3400号, pp.20-21, 1996.
- 11) 村本嘉雄: 洪水時における河川堤防の安全性と水防技術の 評価に関する研究, 自然災害特別研究所研究成果, No.A-61-5, 1986.
- 12) 中島秀雄: 図説河川堤防, 技報堂出版, pp.85, 2004.

(2011.5.19受付)