

水工学シリーズ 02-A-3

水害被害の要因分析と減災に向けた対策のあり方

国土交通省国土技術政策総合研究所 河川研究室長

末 次 忠 司

土木学会
水理委員会・海岸工学委員会
2002 年 9 月

水害被害の要因分析と減災に向けた対策のあり方

Analysis of Factor Caused Flood Damages and the Policy of Mitigation Measures against Them

末次 忠司

Tadashi SUETSUGI

1. 近年 10 年間における減災研究の進歩

近年、洪水・土砂流などに関する新たな知見が集積されたり、災害原因の分析・評価が進んできた、また各種モニタリング機器が開発されてきた等により、減災及び減災のための新たな河道計画・河川構造物設計手法・技術が開発されてきた。このうち、過去 10 年間を対象にした代表的な手法・技術・特異な被災原因(10 項目)を示せば、以下の通りである。

【計画高水位の算定】

従来、計画高水位は洪水時の痕跡水位等に基づく粗度係数により決定されていたが、近年洪水及び土砂流に関する新たな知見が集積してきたため、現象を物理的にある程度定量化できるようになってきた。例えば、低水路粗度係数は洪水位からの逆算ではなく、セグメント毎に見た相当粗度と水深、又は河床材料の粒度特性から流速係数を求めて、これと水深より粗度係数を算定できるようになった。また、砂州による水位上昇量は川幅と水深、又は河床勾配と水深より求めることができる。他の要因(植生、合流、橋脚、湾曲)による水位上昇量を算定したり、低水路と高水敷等間での流れの干渉(境界混合)も評価可能となった。

このようにして、計画高水流量が流下した時の洪水位を算定できるようになった。この手法は(財)国土技術研究センター「河道計画検討の手引き¹⁾」にまとめられ、河川整備計画の策定に用いられている。

【堤防強化工法】

従来、河川堤防は水位から決まる堤防高、法面すべりに対する安定や堤体の浸透条件から決まる堤防断面に基づいて設計されていた。従って、構造物としての破壊原因(越流による侵食、洗掘に伴う破壊他)の全てに対して安全な構造とはなっていなかった。これに対して、既往の災害事例の調査・分析、水理模型実験、数値解析結果などを通じて、合理的な堤防の設計方法に関する研究が行われている。

破堤原因の7～8割は越水によるものである。越水に対しては、難破堤堤防が開発された。この堤防は越水によりもっとも大きなせん断力が作用する裏法尻に法尻工を設置するとともに、堤防天端には天端保護工、裏法面には遮水シート(又は吸い出し防止材)を設置して、耐越水効果を高めたもので、破堤を完全には防止できないが、3時間程度の越水には耐えることができる【図-1】。この時間は避難等防災活動のためのリードタイムとなる。なお、難破堤堤防は那珂川、新川等に建設されている

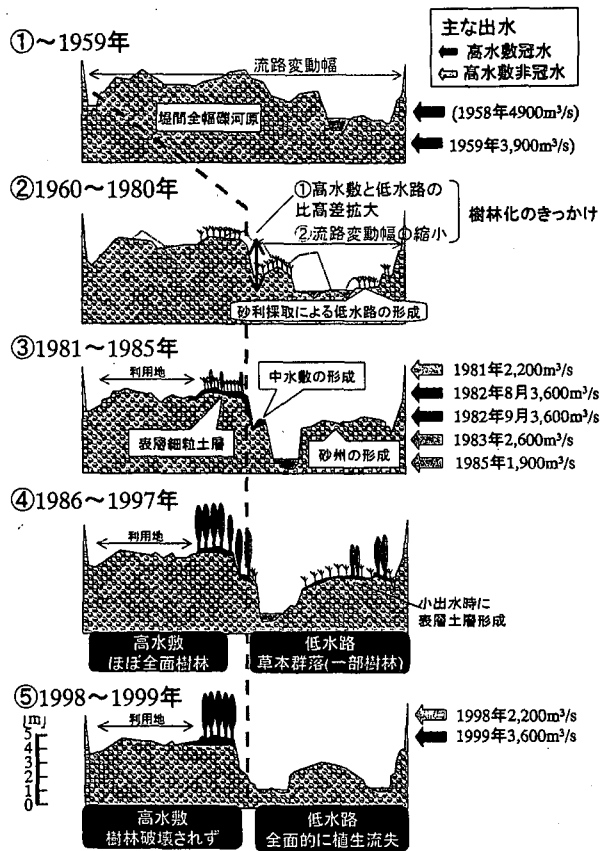
【堤体の侵食評価】

堤防の被災原因は、特に急流河川では侵食が多い。侵食に対しては、力学的観点から護岸(法覆工、基礎工、根固め工)を設計できる手法が「護岸の力学設計法²⁾」にまとめられた。このなかで設計外力の算定、護岸の安定性照査手法に関する解説がなされている。なお、設計に必要な抗力・揚力係数を実験により求める手法を網羅した「護岸ブロックの水理特性試験法マニュアル」も発刊された。

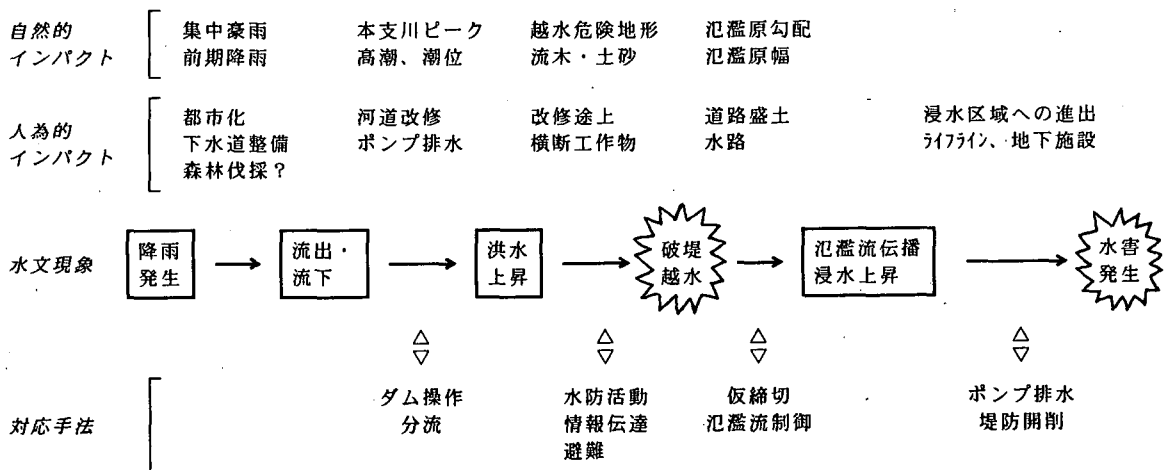
また、天然河岸については法面の植生(根茎)は2m/s程度の洪水に対して、侵食を防止する機能があることが分かり、この機能を補強するための侵食防止シートも開発され、設計・施工・維持管理のマニュアル³⁾が作成された。裸地が支配的な場合は引張試験器による侵食限界流速、植生が支配的な場合は許容侵食深と植生の根毛量より求めた限界摩擦速度より堤防の耐力を評価可能である

【横断工作物の被災原因】

堰や床止めなどの横断工作物については、水面勾配を伴う落差流により工作物下流が洗掘(洪水流量が大きいほど洗掘深が大きくなる訳ではない)され、その結果工作物の被災に至る場合がある。しかし、最近工作物の被災が先行する事例が見られた。水理模型実験等により検討した結果、洪水により小規模の被災を受



図－２ 樹林化のメカニズム（千曲川 97k）
出典）末次・服部・瀬崎「洪水攪乱に伴う植生の変化」水利科学



図－３ 水文現象の時間特性を変化させる要因

による掃流砂観測、水深方向5箇所の採水ポンプによる浮遊砂観測)を実施してきた⁸⁾。

観測は国総研だけでなく、国土技術研究会を契機に地方整備局においても実施されている。近年、出動体制が整備され、数多くの河川において、流砂データが収集・分析されつつある。また、同研究会においては流砂捕捉ポンプが開発(9河川に設置)され、粒径5mm以下の土砂は流砂観測が可能となった。

こうしたモニタリング機器の開発及びモニタリング体制の強化に伴って、縦断的な土砂動態(本支川、上下流)が明らかとなり、その観測結果を用いた水系土砂動態マップの作成⁹⁾が可能となり、河道管理への適用が現実味を帯びてきた

【時間特性から見た水文現象】

洪水時における迅速な防災体制の確立のためには、洪水等の水文現象(洪水、氾濫など)を時間特性の観点から見る必要がある。そのため、洪水位上昇速度を流域面積に対して調べるとともに、破堤幅の進行速度、氾濫流の伝播速度、浸水上昇速度などが整理・分析された¹⁰⁾。あわせて、災害対応のために水防活動、浸水中の避難速度、破堤箇所の災害復旧などについても調査が行われた。今後はこれらの水文現象の時間特性を変化させる要因について評価しておく必要がある【図-3】

【地下施設の浸水被害】

地下施設の水害ポテンシャルについては、以前より土研により警鐘が鳴らされてきた。福岡地下水害以降、地下水害に対する危険度意識が高まり、その後地下施設への浸水流入に関する実験が行われた。浸水位の上昇は地下施設の総床面積と総流入口幅のパラメータで表され¹¹⁾、その結果はパンフレットやホームページに掲載され、その危険性が具体的に表現されるようになった。近年、地下施設及び管理者への情報伝達的重要性が認識されてきた、しかし施設の出入口等における防水板等の設置率は依然として低い

- 1) (財)国土技術研究センター編(2002):河道計画検討の手引き、山海堂
- 2) (財)国土開発技術研究センター編(1999):護岸の力学設計法、山海堂
- 3) 国土交通省土木研究所河川研究室他(2001):植生の耐侵食機能を活用した侵食防止シートの開発に関する共同研究報告書(その1)、共同研究報告書、第265号
- 4) 水山高久・石川芳治他(1990):平成元年9月愛知県伊香川 土石流・流木災害調査報告書、土木研究所資料、第2833号
- 5) 藤田光一(1999):洪水による河川構造物の災害-最近の傾向と対策、(財)北海道河川防災研究センター
- 6) 山本晃一・藤田光一他(1993):低水路川幅変化における土砂と植生の役割、河道の水理と河川環境シンポジウム論文集
- 7) 末次忠司・服部敦他(2001):洪水攪乱に伴う植生の変化-千曲川を例にとって-、水利科学、水利科学研究所、No.261
- 8) 藤田光一・末次忠司他(2001):瀬沼川洪水観測レポート 1990~2000、土木研究所資料、第3798号
- 9) 藤田光一・平舘治他(1999):水系土砂動態マップの作成と利用-瀬沼川と江合川の事例から-、土木技術資料、41-7
- 10) 末次忠司・小林裕明(1999):危機管理に備えた水防災のための時間感覚、水利科学、水利科学研究所、No.249 他
- 11) 末次忠司(2000):都市型地下水害の実態と対策、雨水技術資料、雨水貯留浸透技術協会、Vol.37

2. 減災に向けての取り組みは

長期的なトレンドで見て、家屋の全半壊・流失といった壊滅的な水害被害は減少傾向にあるが、近年都市水害が増大し、水害被害密度は増加傾向にある。災害の減災に関しては、河川改修などのハード対策、情報伝達・避難などのソフト対策が実施されるとともに、新たな危機回避方策が展開されている【表-1】。

1994年からは市町村が主体となって洪水ハザードマップが作成され、2000年には避難勧告・指示発令の基準化、ダイナミックな浸水情報の表示を図った作成要領の改訂が行われた。また、2001.7には関連する水防法改正が行われ、都道府県知事が洪水予報を行うとともに、円滑かつ迅速な避難により被害軽減を図るために浸水想定区域を指定・周知させることとなった。

また、1997年には河川審議会に危機管理小委員会が設置され、「どういう情報を、どのように周知し、事前の対策に反映させるか」、「氾濫流をどう制御するか」、「行政・市民・マスコミ等がどう役割分担し、連携するか」などについて議論、検討された。2000.11には東海豪雨災害(2000.9)を受けて「都市型水害対策に関する緊急提言」がまとめられた。また、2000.12には河川審議会より「流域での対応を含む効果的な治水の在り方について」の中間答申及び「今後の水災防止の在り方について」の答申が出され、前者では河川管理者が河川事業として輪中堤、宅地嵩上げ等を行うこと、河川と下水道が連携して都市水害を防御することが唱われた。後者では洪水ハザードマップの作成・公表、情報の伝達・共有、水防体制の整備が唱われた。

こうした背景に対して、本稿では具体的、効果的な事例等を踏まえて、ハード・ソフト両面から見て、今後有効になるとと思われる減災方策・技術、対策実施にあたっての留意事項を中心に記述した。

表－１ 近年における減災関連方策の展開

年 月	減 災 関 連 方 策
1994.6	通達「洪水ハザードマップの作成の推進について」
1996.1	防災エキスパート制度
1996.11	氾濫原危機管理国際ワークショップ
1997.6 1998.3～	河川審議会総合政策委員会に危機管理小委員会設置（1997.8～2000.2に10回審議） マルチメディアを利用した防災情報等伝達実験：神戸市北区
1998.5	被災者生活再建支援法
1999.6 1999.8	「治水経済調査マニュアル」の策定：2000.5 他改定 地下空間における緊急的な浸水対策の実施について
2000.2 2000.6 2000.9 2000.9～ 2000.10 2000.11 2000.12 2000.12	河川審議会「総合的な土砂災害対策のための法制度のあり方について」の答申 建設省河川局治水課「河川堤防設計指針」 建設省河川局治水課「洪水ハザードマップ作成要領 解説と運用」の改訂 都市型水害対策検討委員会で氾濫シミュレータ、複合水災対策について検討 玄倉川キャンパー事故を受けて提言「恐さを知って川と親しむために」が出される 東海豪雨災害を受けて「都市型水害対策に関する緊急提言」がまとめられる 河川審議会「流域での対応を含む効果的な治水の在り方について」の中間答申 河川審議会「今後の水災防止の在り方について」の答申
2001.4 2001.4 2001.6 2001.7	輪中堤や宅地嵩上げにより集落を防護する「水防災対策特定河川事業」に改正 「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」施行 インターネット及びiモードを通じて河川情報提供 水防法の改正

3. 水害を発生させる素因とは

過去 10 年間に発生した豪雨を分析すると、総雨量が多いから必ずしも大きな水害となっている訳ではなく、総雨量がある程度あり、かつ時間雨量が多い場合に都市域などで浸水家屋数が多い水害となっている。これはある程度河川改修が進んできたために、総雨量が多いだけでは被害が発生しにくくなったためである。一方、時間雨量が多い集中豪雨でも局所的に浸水する場合がある。結局、水害発生には時間雨量が非常に関係することとなり、リアルタイムで時間雨量を知り、知らせる、又は対策に活用できる仕組みが必要となる。

その意味では、面的に時間雨量を把握できるレーダー雨量計データを活用すべきと考える。また、昨年 6 月より i モード等を通じて情報提供されているので、現地で情報を利用することも可能である。台風 15 号 (2001) では 13 万件/時以上の i モードによるアクセスが行われた。なお、過去の集中豪雨 (70mm/hr 以上) 発生件数のトレンドをアメダスデータ (約 1,300 箇所) で見ると、経年的に増加している訳ではなく、また短中期的に見ると、都市化と豪雨発生との間に明確な因果関係がある訳ではない。末次ら¹⁾は都市化 (人工排熱) を想定して、局地気象モデル (Locals) により都市化に伴う降雨発生状況を解析した結果、20 ～ 30mm/hr 程度の降雨は発生したものの、豪雨発生までには至らなかった。

一方、山地河川においては流木・土砂に伴う水害が多発している。豪雨に伴って、山腹崩壊や土石流が発生して、土砂と流木が河道に流入してくる。その結果、河床が上昇して氾濫しやすくなると同時に、橋梁で流木が閉塞して洪水流下の妨げとなり、越水氾濫が生じるのである。甲突川 (1993)、余笹川 (1998)、高知 (2001) などがその事例である。流木発生量に関して、土木研究所砂防研究室²⁾は山腹崩壊量 $C(m^3)$ に比例して流木 $W(本)$ が発生し、 $W = C \times 1/8$ (平均値) であることを示した。

【事例】那珂川支川の余笹川の余笹橋では、H10.8 洪水時に橋梁に流木が閉塞して、洪水位を上昇 (水面勾配を増加) させ、橋梁の取付盛土が流失した。下流には同規模の黒川があったが、橋梁被害はなかった。原因分析の結果、橋長と取付盛土長の比が黒川の樋世原橋では 2:1 であったのに対して、余笹川の余笹橋では 1:2 であったため、取付盛土が流失したと考えられる³⁾

1) 末次忠司・河原能久(1999)：未発表研究成果

2) 水山高久・石川芳治他(1990)：平成元年9月愛知県伊香川 土石流・流木災害調査報告書、土木研究所資料、第2833号

3) 常田賢一・西谷雅弘他(2001)：平成10年8月末豪雨による福島県・栃木県豪雨災害現地調査報告書、土木研究所資料、第3793号

4. 発生形態が変質してきた水害

20世紀に入って死者・行方不明者数が千名以上の水害は9回発生したが、1959年(伊勢湾台風)以降は発生していない。水害の発生形態の変化を見ると、戦後～1950年代は大河川において、破堤・高潮災害が発生して甚大な被害となった。特に1953年には梅雨前線豪雨等により3兆円以上(価格換算)という史上最高の水害被害額となったし、伊勢湾台風では貯木場の流木が高潮により運ばれ、5千名以上の死者が発生した。1960～1980年代は都市水害の嚆矢とともに、顕著な土砂災害が発生した。神田川流域では河川・下水道からの氾濫被害、鶴見川流域では流域開発及び河道改修の進捗を上回る都市化に伴う浸水被害、寝屋川・天白川流域では(元々浸水が多かった)浸水地域の都市化に伴って都市水害が発生した¹⁾。都市水害への対応としては、1979年より総合治水対策特定河川事業が実施され、現在は伏籠川、鶴見川など17モデル河川が対象となっている。土砂災害としては天草(1972)、小豆島(1976)、長崎水害(1982)、山陰水害(1983)が顕著な事例で、100名以上が犠牲となった。2001年には広島土砂災害(1999)を直接的な契機として、「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」が施行された。

特に1990年代からは都市への水害が集中し、鹿児島(1993)に始まり、新潟・埼玉・高知(1998)、福岡・山口(1999)と地方中核都市が相次いで被害を被った。そして、2000年には東海豪雨災害により三大都市圏名古屋が浸水被害を被った。通常水害被害額の約7割は公共土木施設の被害であるが、東海豪雨では96%が一般資産等(一般家庭、事業所)被害という典型的な都市水害の様相を呈した。1990年代後半以降は、人口・資産が集積した都市域が被災したため、水害被害密度(一般資産等水害被害額/農地を除いた浸水面積)が急増した点の特徴である【表-2】。そのため、浸水面積は広くないものの、総水害被害額は横バイ傾向となるとともに、各種都市機能がマヒするケースが見られた。

氾濫危険度は地形特性と氾濫流量により決まる。地形特性で言えば、盆地下流を除いた谷底平野では高水深・高流速の氾濫流により家屋が流失する危険性があるし、自然堤防帯では平地面積の大小により浸水深が異なる²⁾【図-4】。例えば、那珂川支川余笹川の寺子橋付近(1998)では、最大で4～5m/sの氾濫流が発生した³⁾。一方、特異な水害として、相模川支川玄倉川におけるキャンパー事故(1999)やりん化石灰と氾濫水との反応に伴う発煙・発火(1961)といった危険物災害などが発生した。キャンパー事故では日常生活と水

表-2 水害被害密度の推移

西 暦	1980 年	1985 年	1990 年	1995 年	2000 年
水害被害密度 (億円/km ²)	5.8 1.0	14.4 2.5	19.8 3.4	24.7 4.3	44.2 7.6

注) 下段の数値は1980年を基準とした場合の水害被害密度である

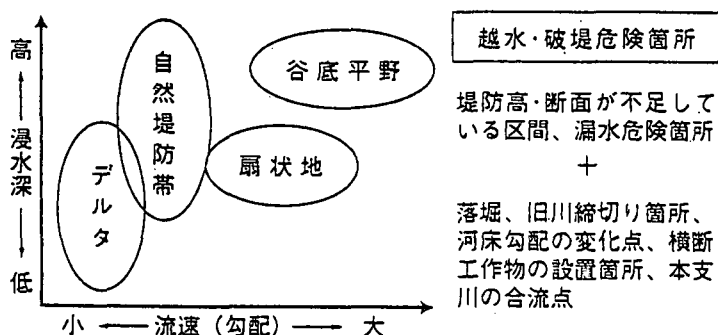


図-4 地形毎に見た氾濫水の水深と流速

出典) 末次・武富「洪水ハザードの表現技術(その1)」水循環 貯留と浸透

表-3 水と反応する危険物一覧表

反応区分	種数	化学物質名
直接爆発	4 種	熔融アルミニウム、鉄粉、三塩化リン、アルキルアルミニウム
発生ガスによる爆発	8 種	アルミニウム粉、金属ナトリウム、金属カリウム、シアン化水素水溶液、マグネシウム、炭化カルシウム、硫化リン、エチレンジクロライド
発火・ガス発生	5 種	過酸化ナトリウム、ナトリウムアミド、水素化ナトリウム、モルガラン、燐化アルミニウム
可燃性ガスの発生	10 種	燐化亜鉛、シラン、ジボラン、シアン化ナトリウム、シアン化水素、シアン化カリウム、シアン化亜鉛、硫化リン 他
可燃性物質の生成	2 種	ジクロロシアン、クロロメチル

注) 他にガス発生(11 種)、ガス(白煙)発生(8 種)、発熱(8 種)の危険物質がある
害が縁遠いものではなく、危機意識の欠如や自己責任が問題となったし、表-3 のように浸水に関連する危険物は 56 種(爆発 4 種、ガスによる爆発 8 種、発火・ガス発生 5 種他)もあることに注意する必要がある⁴⁾。

なお、地下水害は特異な水害と報道されたが、これまで多くの地下鉄(名古屋市営 5 駅、都営・営団各 3 駅他 14 駅)、地下街などで被害が発生しており、決して特異な事例とは言えない⁵⁾。特に床面積が狭い地下施設では浸水が急激に上昇する。地下施設において浸水位が H になるまでの所要時間については、水理模型実験により、以下の式で算定できるようになった⁶⁾。ここで、t (分)、A (床面積 m²)、B (出入口幅 m) である。例えば、福岡で死者が発生した地下施設では、浸水が流入してから施設が水没する(H = 3m)までの時間は約 12 分と非常に短時間であったと推定された。

$$t = 3.0 \left[\frac{A}{B} H \right]^{0.35}$$

地下水害を軽減するには情報伝達も重要であるが、安価な防水板・防水扉を開発して、出入口等における設置率を高めること、地下貯水槽(漏水対策用)による浸水貯留が効果的である。関根ら⁷⁾も地下街氾濫解析の結果、階段の平面配置により地下 2 階は浸水が早く進まない場合があり、かつ地下 2 階への浸水流入により地下 1 階の被害が軽減されることから、地下駐車場での浸水貯留を唱っている。

【事例】福岡の地下水害(H11.6)ではデイトスにおいて、出入口 10 箇所その他、エレベータや隣接ビルから浸水が流入したが、約 1.3 万 m³ の地下貯水槽へ 13 箇所の排水口から排水されたため、地下 1 階の浸水深は最大で 10 ~ 20cm であった。水害後、情報伝達の必要性が唱えられたが、地下施設には隣接ビルの連絡口からも浸水することがあるので、浸水の流入が予想される箇所にはもれなく防水板又は防水扉を設置するとともに、地下貯水槽を配置することが重要である⁸⁾

- 1) 末次忠司(2000): 近年の豪雨災害から見た水害被害軽減方策、土木計画学ワンデーセミナーシリーズ 20
- 2) 末次忠司・武富一秀(2001): 洪水ハザードの表現技術(その 1)、水循環 貯留と浸透、雨水貯留浸透技術協会、Vol.41
- 3) 館健一郎・末次忠司他(2001): 洪水氾濫時の防災樹林帯の効果に関する検討、水工学論文集、第 45 巻
- 4) 東京消防庁警防研究会監修・(財)東京連合防火協会(1988): 危険物データブック、丸善 他
- 5) 末次忠司(2000): 地下水害の実態から見た実践的対応策、(社)土木学会地下空間研究委員会 他
- 6) 末次忠司(2000): 都市型地下水害の実態と対策、雨水技術資料、雨水貯留浸透技術協会、Vol.37
- 7) 関根正人・河上展久他(2002): 新宿駅周辺を対象とした内水氾濫ならびに地下街浸水過程の数値シミュレーション、河川技術論文集、第 8 巻
- 8) 末次忠司(2000): 都市型地下水害の実態と対策、雨水技術資料、雨水貯留浸透技術協会、Vol.37

5. 水害被害に対処する基本方策

水害被害のトレンドを見ると、近年水害による死者・行方不明者数、被災家屋数は減少している。水害による死者・行方不明者のおよそ 2/3 は土砂災害によるものである。また、水害形態としては内水による床下浸水が多くなっている。栗城ら¹⁾が消防庁と共同で、1982 ~ 91 年に発生した氾濫に伴う死者(265 名: 土砂災害を除く)の死因を分析した結果によると、

- ・高齢者の被災率は他災害に比べると少ない
- ・約半数が水辺付近(河川、堤防、橋、水路・側溝)で被災している
- ・高齢の女性は居住中に多く被災している

・自動車に関連する死亡事故(20件)のうち、15件は夜間に発生していたことが分かった。調査事例のなかで、特徴的な被害としては、

- ・台風13号(1989)に伴う洪水により猪苗代町の大倉川橋が落橋し、そこへ3台の車が相次いで転落した
- ・温帯低気圧(1983)に伴う豪雨により、名古屋市では用水や側溝に転落するなど、相次いで5名の児童・学生が死亡した

などがある。また、調査事例以外では集中豪雨に伴い、下水道のマンホール蓋がはずれて、2名が転落する事故が高知で発生した。多くのマンホール噴出事故の原因は計画を上回る大量の雨が下水道に流入した結果、水圧や空気圧が急上昇し、蓋がはずれたものである。これに対して、建設省は圧力を開放するタイプ、金属製の中蓋による転落防止タイプを提案した。このように、豪雨時の転落事故も多く、関川水害(1995)時のアンケート調査結果でも、約2割の回答者が「水路や側溝に転落した又は転落しそうになった」と回答している²⁾。洪水発生時には見回りを含め、水辺付近やマンホールに近づかないことが大事である。

近年大規模な水害が発生しなくなった理由としては、河川改修の進捗ときめ細かな気象情報の伝達があげられる。直轄区間で見れば、表-4のように完成堤防(堤防高が計画高水位+余裕高相当)は、過去20年間で40%(1980)から54%(2000)へと14ポイント増加している。これに暫定堤防(堤防高が計画高水位相当)を加えると、整備率は70%(1980)から82%(2000)に増加している。しかし、洪水疎通能力で見れば、必ずしも十分でない河川も多い。また、ダムや遊水地などの建設により、治水安全度が向上してきている。総合治水対策(流域対策)として実施されてきた流出抑制(浸透・貯留)施設も貯留量換算で松戸市5万m³、練馬区3万m³(集合住宅等)、横浜市4万m³、所沢市1万m³(公共・公益施設)と多く設置されている³⁾。しかし、総合治水は私権・地価を含む都市発展への制約、受益と負担・利害関係の不明確さ、法的裏付け等の課題を内包している。

気象情報は予報区域が細分化されるとともに、アメダスの整備に伴って、特に気象警報(暴風雨、大雨、高潮、洪水)はアメダス整備前の6~7倍も発令されるようになった⁴⁾。大雨警報、洪水警報は各々年間300~400地点で発令されている。2004年からは更にきめ細かな市町村単位の警報が発令される予定である。しかしながら、情報の受け手の反応はと言えば、必ずしも十分ではない。栗城ら⁵⁾が都内の浸水常襲地域(神田川、荒川他)を対象に調査した結果、被災規模が大きな水害は長く記憶に残るが、他の水害は概ね10年で記憶から忘却されるという意識の風化が見られた。従って、質の高い情報が伝えられたとしても、その情報が十分活かされるほど、みんなが高い意識を持っているかと言えば、そうでない場合も多いと言える。

表-4 堤防整備率の推移

年	1976	1980	1984	1990	1996	2000
完成堤防	38.4 %	39.9 %	42.7 %	45.7 %	50.7 %	54.3 %
完成+暫定堤防	65.9 %	69.5 %	73.3 %	77.7 %	80.5 %	82.1 %

注) 直轄堤防延長から不必要区間を除いた延長に対する割合で示している：国土開発調査会「河川便覧」

1) 栗城稔・末次忠司他(1995)：洪水による死亡リスクと危機回避、土木研究所資料、第3370号

2) 栗城稔・末次忠司他(1998)：関川水害時の避難行動分析、土木研究所資料、第3536号

3) (社)雨水貯留浸透技術協会(1998)：都市小流域における雨水浸透・流出機構の定量的解明 研究会資料

4) 栗城稔・末次忠司(1994)：戦後治水行政の潮流と展望、土木研究所資料、第3297号

5) 栗城稔・末次忠司他(1995)：洪水による死亡リスクと危機回避、土木研究所資料、第3370号

6. 減災のための安全度バランスと洪水疎通能力

大河川と中小河川、本支川間で治水安全度が異なると、安全度の低い区間で氾濫が発生する場合がある。大河川や本川の整備率が低い場合は、こうした安全度を変えた(序列化された)治水計画を採用することがあろう。しかし、ある程度の安全度が確保された場合には、その安全度があまり損なわれない範囲で、順次支川や中小河川の安全度もあげていき、シビルミニマムを達成(不平等感を解消)しなければならない。そして、トータルバランスを向上させていく必要がある。安全度バランスの評価のためには、下記の下水道バランスを含めて、高水対応の水循環モデル又は統合型氾濫解析モデルが開発される必要がある。

都市域では河川と下水道の安全度バランスも問題となる。下水道氾濫は下水道の流下能力が低い(雨水管

の計画確率は 1/7 ～ 1/5 が多い)ために発生することが多いが、下水道が十分な流下能力を有していても、排水先の河道水位が高い場合は排水できずに氾濫する場合がある。国土交通省が設置した都市型水害対策検討委員会では氾濫原特性が異なる神田川、鶴見川流域他を対象に河川と下水道の安全度バランスについて検討している。なお、下水道からの氾濫は通常校庭の広さ程度なので、暫定的には校庭貯留により対応可能である。たとえ下水道から氾濫するとしても浅く、広く氾濫するよう、マンホール内に一定以上の圧力が作用すると、マンホールからの氾濫を防止する「逆流防止施設」も検討された¹⁾。

一方、安全度(洪水疎通能力)を向上させるために築堤、河道掘削が行われる。しかし、過大な築堤は水害ポテンシャル(潜在的危険性)を増大させるので必要最低限にする必要があるし、河道掘削時には河床材料が細かい材料に変化しないかどうかをチェックしなければならない。掘削により河床材料が細かくなると、洪水により一気に河床洗掘が進行する場合がある。構造物により洪水流下の阻害や土砂堆積が生じる場合、例えば洪水位をかなり上昇させる堰は統廃合や可動堰(起伏堰など)への改築を検討する。近年開発されたゴム引布製空気袋と鋼製扉体を組合せた合成起伏堰はゴム引布製起伏堰や鋼製起伏ゲートに比べて安価であり、堰柱も不要となる。堰の改築にあたっては、電気代等の管理方法について、水利組合などと協議を行っておく必要がある。逆に床止めは河床安定のために必要な天端高を確保し、特に砂河川で流送されてきた土砂により埋没して、機能を損わないよう設計する。また、高水敷の樹林化によって洪水位の上昇が見込まれる場合は、適切な樹木(粗度)管理を行う必要がある。なお、樹木群の伐採によって、上流側の横断流速分布が変化して、河岸侵食が発生する場合があることに留意する。

【事例】静岡県の大場川では H10.8 洪水により河床が一気に低下し、沿川の家屋等に被害が発生した。原因分析の結果、大場川では H2.9 洪水後、洪水疎通能力を増大させるために、河道掘削を行い、掘削に伴って河床材料が礫から細砂に変わったことが原因であることが分かった²⁾

- 1) 末次忠司・大谷悟他(1997)：超過降雨を考慮した都市雨水排除システム等の計画に関する調査、下水道事業調査費報告
- 2) 藤田光一(1999)：洪水による河川構造物の災害－最近の傾向と対策、(財)北海道河川防災研究センター

7. 壊れない河川構造物の設計に向けて

水害被害を軽減するには、河川構造物、特に河川堤防が洪水により被災しないことが重要となる。構造物の安全度を評価するには適切な外力を設定するとともに、その外力に対する安全性を照査する必要がある。その際、ただある一定外力に達すれば、構造物が壊れるのではなく、構造物が安全性を維持できる「粘り強さ」を評価しておくことが望まれる。

河川堤防の場合、設定する外力としては越水、浸透、侵食がある。各外力に対して安全性を照査するとともに、外力を軽減する手法、被災しないための対策が必要となる。例えば、

- ・越水対策：難破堤堤防により特に裏法尻を強化する、また天端舗装は越水・浸透に有効である
- ・浸透対策：川表の透水性を低くする(鋼矢板、ブランケット、遮水シート、覆土)、川裏の透水性を高くする(ドレーン工、堤脚水路) 他、堤体断面拡幅により浸透経路を長くする
- ・侵食対策：流速・洗掘深を評価し、これに耐えうる護岸・根固め工を設置する。具体的には「護岸の力学設計法¹⁾」に示された方法を用いる。また、水制等により外力軽減を図る

などの対策が考えられる²⁾。難破堤堤防はこれまで那珂川、新川などで施工されているが、裏法の遮水シート下に越流水が流入しないようにシートを設置できれば、3時間程度の越水には耐えられることが土木研究所の実験により分かっている。排気性のある吸い出し防止材でも越流水による裏法侵食の進行をかなり遅らせる効果がある³⁾【図-5】。ただし、堤防は閾値を超えて一気に破壊する訳ではなく、辻本ら⁴⁾が検証したように堤防の粘り強さを評価しておく必要がある。検証の結果、破堤に対する粘り強さは堤体断面積に比例し【図-6】、また堤内地の舗装は破堤口の拡大を遅延させることが分かった。

侵食対策に関しては、関根ら⁵⁾は芝が堤防を被覆すると、2m/s 程度までの流速に対して、表面侵食や土砂の吸い出しは起こらないことを実験的に評価した。竹内ら⁶⁾はかみ合わせ、連結効果を考慮したブロックの移動限界流速を求めた他、根固め工の設置が水制工の流失を軽減することを実験により確認した。また、藤堂ら⁷⁾は練石張護岸の耐衝撃強度を測定した結果、40cm 程度の控え厚を有し、裏面に空洞がなければ、

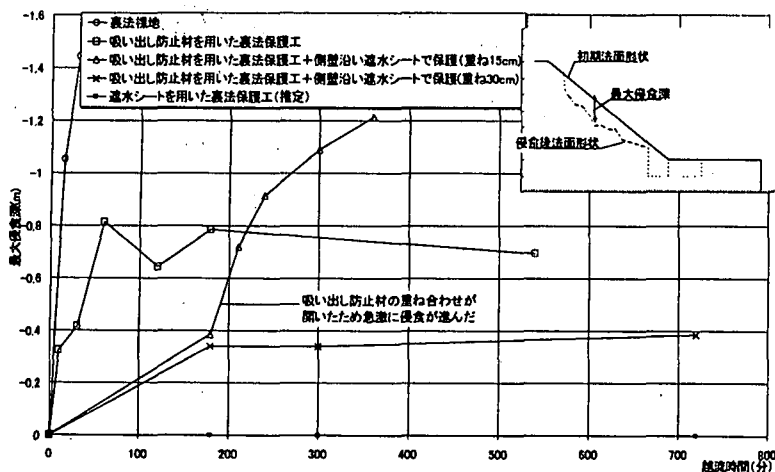


図-5 難破堤堤防による侵食防止効果(最大侵食深の変化)

出典) 藤田・末次・諏訪他「透水性材料を用いた堤防裏法越水強化工法の水理的評価と技術的位置づけについて」河川技術論文集

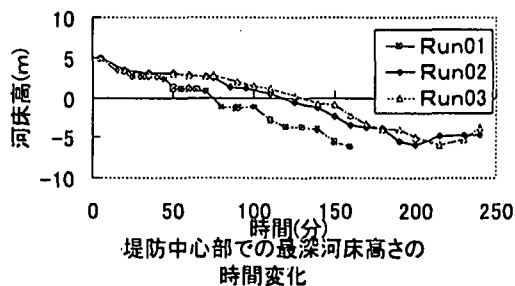
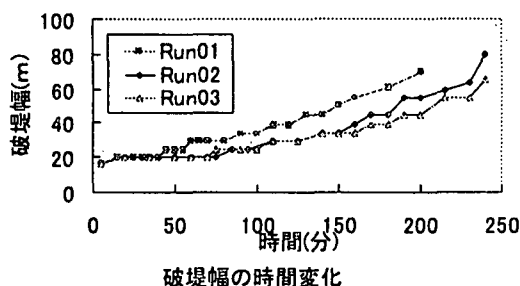


図-6 水理模型実験による破堤に対する粘り強さの検証

出典) 辻本・北村・岸本「砂質堤防の破堤口拡大過程のシミュレーションと破堤水理」河川技術論文集

巨石の衝突によって護岸が破壊することはないことを証明した。

一方、流況がそれほど厳しくない区間は「美しい山河を守る災害復旧基本方針⁸⁾」などを参考に環境に配慮した工法を検討する。通常の護岸ブロックについては、(財)土木研究センターにおいて、揚力係数や抗力係数といった水理特性値の評価が行われているが、環境護岸ブロックについては今後同様の水理特性評価を行うための指針化が図られる必要がある。化学繊維製のネットにより、環境に配慮しながら河岸侵食を防止する侵食防止シートについては、土木研究所と民間企業 10 社との共同研究により、最大で 4m/s の流速に耐えられることが分かった他、設計・施工・維持管理に関するマニュアル⁹⁾ がまとめられた。

また、最近想定していない原因により構造物が被災しているケースがある。例えば、越流水の揚力により越流堤が被災したり、また床止めや堰のブロック等が部分的に流失し、その後の洪水により被災した事例が見られた。これらは落差流の水位差に伴う過剰揚圧力の発生が一因である恐れがある【図-7】。こうした原因分析を行って、対策に活かしたり、設計基準に反映させることも非常に重要である。現在、国総研河川研では今後の施設設計等に活かせるよう、分析結果のとりまとめについて検討している。

今後建設投資額の伸びがないケースでは、2025 年には維持・更新投資額が全体の 42 %に達すると試算されるなど、今後益々維持管理が重要となり、“環境の時代”の後には“維持管理の時代”が到来すると予想される。構造物の管理の面からの洪水前対応としては、施設の健全度診断がある。専門家だけでなく診断可能な手法が開発される必要性は JR 山陽新幹線の福岡トンネルにおけるコンクリート剥落事故(1999)からも明らかであろう。土木研究所では事故以前より新たな維持管理手法として、樋門を対象に現地観察(堤体抜



図－7 落差流に伴う揚圧力による被災事例

上り、護岸不等沈下など)及び資料調査(基礎形式、地質条件、止水矢板など)の結果より、各項目及び重み付けによる総合的な健全度評価を行い、詳細調査の必要性を判定する手法を提案した¹⁰⁾。

【事例】多摩川四谷本宿堰は H13.9 洪水により河床の砂礫流失後、下層の細砂が流失し、堰下に水みちが形成され、堰の一部が流失するとともに、数 10cm あった土丹も流失した。その結果、最深河床高で 4m 洗掘された。原因分析の結果、流量は大きくなかったが、平均年最大流量以上の水位継続時間が 40hr と外力の作用が長く、また H11.8 洪水により固定堰の一部が欠損、堰下流の護床工が流失したが、その後護床工は設置されなかったことが関係していることが分かった¹¹⁾

- 1) (財)国土開発技術研究センター(1999)：護岸の力学設計法、山海堂
- 2) 建設省河川局治水課(2000)：河川堤防設計指針
- 3) 藤田光一・末次忠司他(2001)：透水性(排気性)材料を用いた堤防裏法越水強化工法の水理的評価と技術的位置づけについて、河川技術論文集、第7巻
- 4) 辻本哲郎・北村忠紀他(2002)：砂質堤防の破堤口拡大過程のシミュレーションと破堤水理、河川技術論文集、第8巻
- 5) 関根正人・藤堂正樹他(1995)：芝による河川堤防の法面保護に関する基礎的研究、土木学会第50回年次学術講演会
- 6) 竹内義幸・山本晃一他(2002)：扇状地河川での『護岸の力学設計法』の適用性に関する実践的研究、河川技術論文集、第8巻
- 7) 藤堂正樹・高橋利雄他(1996)：練り石張り護岸の耐衝撃強度に関する実験的評価、土木学会第51回年次学術講演会
- 8) (社)全国防災協会(2001)：美しい山河を守る災害復旧基本方針
- 9) 国土交通省土木研究所河川研究室他(2001)：植生の耐侵食機能を活用した侵食防止シートの開発に関する共同研究報告書(その1)、共同研究報告書、第265号
- 10) 大谷悟・末次忠司他(1998)：樋門・樋管の健全度診断手法、土木技術資料、Vol.40、No.12
- 11) 関東地方整備局京浜工事事務所資料(2001)

8. 流域も見据えた河道マネージメントとは

河川整備基本方針における治水安全度は流域面積、想氾区域(計画高水位以下の区域)の面積・人口・資産・出荷額などの8ファクターに基づいて設定されているが、今後は防災・都市機能、災害弱者・危険物施設に基づく水害ポテンシャルを評価する必要がある。ここで、水害ポテンシャルとは破堤又は越水が発生した場合に各種機能・施設が受ける被災規模・影響を表している。この水害ポテンシャルと堤防安全度評価結果より河道改修の優先順位を決定する。

想氾区域面積は全国土の10%しかないにもかかわらず、想氾区域内には都道府県庁(57%)、市区役所・町村役場(43%)、消防署(60%)、鉄道線路延長(36%)、病院・保健所(49%)、空港(20%)などがあり¹⁾、一旦浸水すると防災・都市機能がマヒする危険性がある。例えば、山陰水害(1983)では三隅町役場が浸水し、情報伝達は役場の放送局から町民のアマチュア無線に切り替えられた。また、想氾区域内シェアが小さい空港であっても仙台空港(1994:前線性豪雨)、宇部空港(1999:台風18号)などは浸水被害を被り、旅客輸送に影響が生じた。また、電力・ガス・水道・電話などのライフライン施設は被害額としては小さいが、関連する波及被害は大きく、これまで

- ・神田川及び目黒川からの溢水等により配電設備等が被災(1982)→32,180軒停電
- ・那珂川氾濫により東京電力根本変電所(水戸市)が被災(1986)→24,400軒停電
- ・那珂川支川逆川氾濫によりNTT茂木電報電話局の交換機室が浸水(1986)→約4,300の加入電話不通
- ・東海豪雨に伴い、3変電所が冠水(2000)→愛知県内26,400戸停電

などの事例がある²⁾。停電が発生した場合、1例として

停電→コンピュータ停止→信号機停止→交通渋滞→冷凍食品・生鮮品の損失→物価上昇

といったように2次、3次と被害が波及していく(実際はソリー状に波及)。また、全国には乳幼児、高齢者、身体・精神障害者など、全人口の約2割に相当する災害弱者がおり、多数の災害弱者施設がある。特に高齢者や乳幼児がいる家庭は避難開始が遅れる場合があり³⁾、危機回避から見て情報を優先的に伝達するなどの措置が必要となる。災害弱者マップ(北海道登別市、宮城県宮古市)や独居老人マップ(静岡県三保塚間)を作成している自治体もあるが、プライバシー保護に注意が必要となる。

水害ポテンシャルが評価されると、その程度から適切な整備水準(優先的に守るべき地域)を設定した河道マネージメントが実施可能となる。ハードとソフトの分担は想定される改修シナリオ下で段階施工を含めて、どのシナリオが被害額及び被災程度を軽減できるかについて検討を行う。洪水保険により非構造的に対処するという考え方もあるが、多額の保険金支払い(例:5,700億円(1991年の台風19号))に対して、再保険制度を導入したり、加入へのインセンティブを高めて保険料率を低く抑えないと、住宅総合保険以上の普及(採算性を確保すること)は困難である。

他のソフト対策としては、図-8に示した流域治水としての氾濫流制御⁴⁾がある。例えば、吉田川流域に建設されている二線堤、雄物川中流部(強首地区)に建設中の輪中堤、大井川流域に見られる防災樹林帯(地元では舟型屋敷と称している)、水路ネットワークなどがある。二線堤は氾濫原勾配が1/1000より緩く、資産較差が3倍以上が効用を発揮する目安となるが、設置に伴って、局所的に浸水深が増大する場合があるので、その得失を事前にシミュレートして、全体被害が軽減されるように計画する必要がある⁵⁾。輪中堤は桜川や雄物川に建設されているが、兼用道路や二線堤等による輪中堤化が基本となる。築堤方式との比較により、工費・工期の点で優劣を判断する。水路ネットワークでは洪水は水路内を氾濫水より高速で伝播するので、排水先にポンプを設置しないと、水路末端で早期に氾濫する場合がある⁶⁾。小貝川水害(1986)でも同様の現象が見られた。

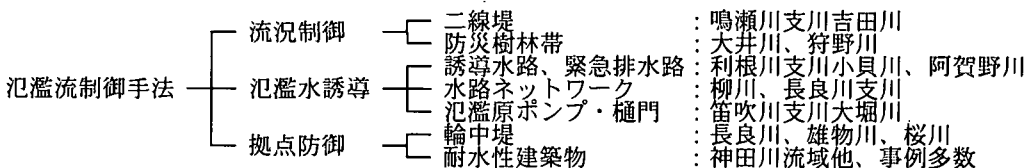


図-8 主要な氾濫流制御手法

出典) 末次「氾濫原管理のための氾濫流制御と避難体制の強化」、氾濫原危機管理国際ワークショップ

氾濫が発生した場合、排水ポンプは浸水排除に有効であるが、過剰な排水は洪水位の上昇を招くので、基準水位を定めて排水規制を実施する必要がある。特に中小河川では安全側を見て、基準水位を低く設定しておく必要がある。また、浸水深が高くなった場合、ポンプ機能が停止することがあるので、耐水性を高めたり、電源のバックアップ・システムを整備しておくことが重要である。しかし、東海豪雨では浸水によりポンプ機能が停止した。

【事例】東海豪雨（H12.9）では新川の水位が高くなってきたため、愛知県名古屋土木事務所が流域の各市区にポンプ排水を停止するよう、要請した。これに伴って運転を調整したポンプがある一方で、電気系統の故障や浸水によりポンプ停止したところもあった。著者らは新潟下越水害（H10）を教訓に停電時のバックアップ体制の整備を訴えてきた⁷⁾

- 1) 日本河川協会(1984)：第1回水防研修テキスト
- 2) 栗城稔・末次忠司他(1992)：都市ライフライン施設等の水防災レポート 他
- 3) 栗城稔・末次忠司(1996)：ミニ特集 情報が生死を分けた 水害 関川豪雨災害(1995 年)、土木学会誌、Vol.81、No.7
- 4) 末次忠司(1996)：氾濫原管理のための氾濫流制御と避難体制の強化、氾濫原危機管理国際ワークショップ論文集
- 5) 末次忠司・都丸真人他(2000)：二線堤の氾濫流制御機能と被害軽減効果、土木研究所資料、第3695号
- 6) 末次忠司・館健一郎他(1997)：河川ネットワークによる浸水防除効果、土木技術資料、Vol.39、No.7
- 7) 末次忠司・小林裕明(1999)：危機管理に備えた水防災のための時間感覚、水利科学、水利科学研究所、No.249

9. 危機的状況を回避するには

実践的な危機回避を行うには、先ずシナリオ作りが必要となる。従来いくつかのシナリオ作成が試みられているが、必ずしも十分ではない。シナリオは時間・被災レベルに応じた体制(役割分担)を明らかにするとともに、活動組織及び活動内容などを明示することが重要である【図－9】。すなわち、被災がどの範囲までおよんだ(又はおよびそうな)段階で、誰が責任を持ってどういう行動をとるかにについて、明らかにしなければならない。特に複数の都府県に被害がおよぶ広域水害に対しては、1997 年以降淀川、信濃川、白川他 9 河川において洪水危機管理検討委員会が設置され、危機管理体制、情報の開示・提供、氾濫流制御などについて検討されている¹⁾【表－5】が、広域防災計画の策定とともに、危機発生時において利害関係が生じた場合の対応策も計画のシナリオに盛り込み、自治体・住民も含めて協議を行っておく必要がある。

被災（がおよび そうな）範囲	活 動 組 織	活動内容	協議事項
	主対応組織＋対応組織＋支援組織＋協力組織		
市町村レベル	市町村＋工事事務所(現地)＋水防団＋建設会社・ボランティア ＊新聞と一緒に避難所マップ配布(台風来襲前) ＊無線を貸与した町内会長、タクシー会社より被害情報を収集し、・・・ ＊協定締結した建設会社より資器材調達 ←災害対策用機械運行支援システム ＊市と警察、消防が連携して、緊急排水路を開削し、・・・	水防活動 避難活動 資器材調達	・ ・
都道府県レベル	都道府県・市町村＋工事事務所(現地)＋水防団・自衛隊＋・・・ ＊広域防災計画に基づいて、周辺県は避難住民の受入れ体制をとり、・・・ ＊自衛隊に応急橋架設車の要請・・・ ＊排水ポンプ車を集結して・・・	広域避難 緊急輸送 路の確保 ・ ・	・ ・ 救助協力 ・ ・
流域レベル	・ ・派遣された本省職員を含めた防災拠点化・ ・ ＊内閣危機管理室、国土交通省と連携した協議機関設置・ ・ ・ ＊総理大臣が最終的な判断者・ ・	鉄道盛土 を利用し た制御・	・ ・ 堤防開削 ・ ・

- <災害復旧時>・・・
- <災害復興時>・・・

図－9 危機回避シナリオの1例

表－５ 洪水危機管理検討委員会の主要な対応方針一覧表

地方	委員会名	設置年	主要な対応方針
北海道	豊平川洪水危機管理検討委員会	1998	外水・内水複合災害
東北	名取川洪水氾濫危機管理検討委員会	1997	情報収集・伝達の管理体制、地下鉄浸水対策
関東	利根川広域水防災検討委員会	1997	自治体間の相互協力
北陸	信濃川洪水危機管理検討委員会	1998	広域防災計画
中部	揖斐川洪水危機管理システム検討委員会	1998	災害時の緊急・応急対応
近畿	淀川洪水危機管理検討委員会	1997	地下空間等の対応を考慮した地域防災計画
中国	太田川水防災システム検討会	1997	情報伝達、避難計画
四国	四万十川洪水危機管理検討委員会	1997	破堤前の情報収集・提供
九州	白川洪水危機管理検討委員会	1998	情報伝達、警戒避難体制、施設の耐水化

出典) 佐々「自然災害の危機管理」を修正・整理した

洪水・水害発生時に危機回避を有効に実施するには体制作りがポイントとなるので、各自治体では事前対応を含めてチェックリストを作成しておき、危機回避体制について不備がないかどうかをチェックしておくことが重要である。特に広域水害への対応としては国と自治体、自治体と自治体、工事事務所と水防団といった有機的な組織連携を行わなければならない。そのためには、防災拠点化を図って、各機関のメンバーが一同に会し、情報共有をしながら、臨機応変な行動(作戦行動)をとることが重要である。言うならば、この防災拠点が参謀本部の役割を担い、作戦行動に関する指示を出すのである。自治体間で災害時の応援協定を締結しておけば、一層有機的に組織連携できる。

各機関における情報共有にあたって注意しなければならないのは、情報の授受の度に連絡確認を行うことである。余笹川水害(1998)においても、気象台から町役場へ「今後大雨となる」という重要な気象情報がFAXされたにもかかわらず、担当者は対応に追われて情報を見逃していた。そのため、その時点では役場付近でまだ大雨ではなかったこともあって、対応が遅れたのである。

しかしながら、平常時にできないことは災害時にはできない。従って、あるシナリオの下で平常時において徹底した実践的な危機管理トレーニングを行っておく。また、隣接した市区町村で発生した水害に対して防災活動に協力することも災害防止とともに実践的な防災訓練ともなる。本省災害対策室では警報・越水の恐れなどを想定して、時間を追って約200の付与条件(災害対策本部への移行、避難勧告、災害発生、マスコミ対応など)下で、状況への対応を臨機応変に行う危機管理トレーニング・プログラムを実施した。鈴鹿市・寺家町(三重県)では想定された被害状況を地図上の透明シートに書き込み、被害に対してどのように救援活動を行うかといったブレインストーミングを図上訓練した。この手法はDIG(Disaster Imagination Game)と呼ばれ、神戸市、新宿区、品川区などでも住民を対象に実施された。

同様に水防活動に関しても、様々な状況に対応できる実践的な水防訓練を実施すべきである。例えば、

- ・資器材不足：代替資器材の入手、それを用いた水防活動
- ・洗掘状況の違い：狭い範囲が深く洗掘、広い範囲が浅く洗掘
- ・漏水状況の違い：漏水量が多いか少ないか、漏水個所が裏法尻から離れているか
- ・活動環境の違い：夜間水防活動、堤防が湿潤して重機が進入できない場合

などの状況も想定して、柔軟に対応できる訓練が重要である。

阪神大震災(1995)でも明らかなように、災害時に防災機関が広範囲に活動を展開するのは困難であり、結局ある程度までは個人の責任で対応しなければならない。その意味において、水害発生時の個人の対応技術やサバイバル技術が重要となる。具体的な対応技術については、栗城ら²⁾及び末次³⁾に示しているので参照されたい。

1) 佐々淳行(2001)：自然災害の危機管理 明日の危機を減災せよ！、ぎょうせい

2) 栗城稔・末次忠司他(1996)：21世紀に向けた防災レポート－洪水災害の防災体制の強化－

3) 末次忠司(1995)：水害時の危機管理の留意点について、土木技術資料、Vol.37、No.3

10. 即時かつ実践的に対応できるか（被災前）

水害被害を軽減するには、上記した「危機回避手法」に加えて、水害発生時に防災機関が技術的にどう対応するかがポイントとなる。もっとも重要なのは水位情報の伝達であり、迅速な伝達システムを構築する必要がある。水位情報をテレメータで収集し、迅速に防災機関へ伝達できるシステムが理想的ではあるが多大なコストを要する。そこで、中小河川などでの情報伝達手法として、ダイバー水位計（精度±5 cm）などの簡易水位計を用いた警告がある。この安価な水位計を用いてオンサイトで、例えば水位が堤防天端から 1m 以内になれば、自動的にサイレンが鳴るとか、警告灯が点滅するといった情報伝達手法である。また、水位計が設置されていない、又は数が少ない河川については、防災機関職員が担当河川を決めて、水位状況を連絡したり、市民からの通報システムを構築することも考える。

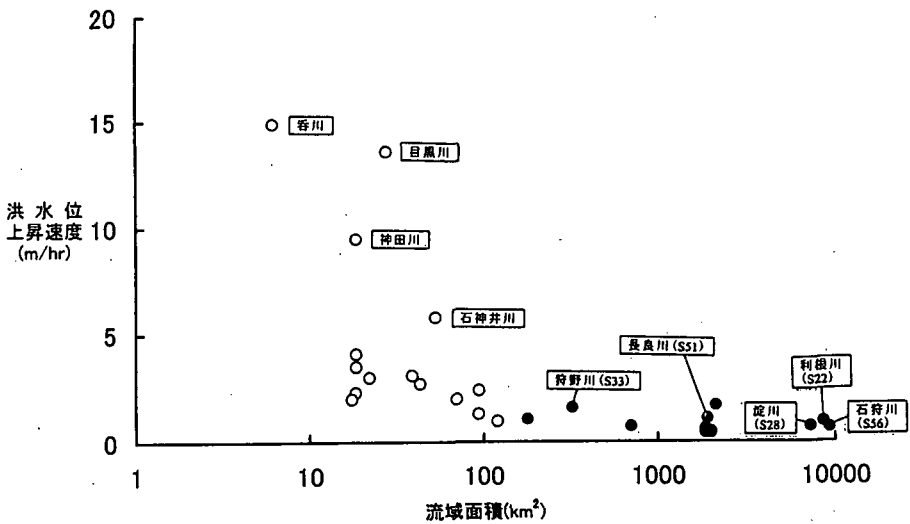
水位予測は実績データに基づいて、予測された降雨量及び流出量により行われるが、ポンプ排水量が多い都市河川の場合などは必ずしも予測精度はよくない。しかし、東海豪雨の際、庄内川（枇杷島）で行われた洪水予測結果を見ると、1 時間後予測水位は実績水位と比較して、予測開始時は精度がよくないものの、ピーク前後の 5 時間で見ると、その差は最大で 20cm 程度と、かなり高い精度で予測されていた。なお、実績の洪水水位上昇速度で見ると、直轄河川では高々 1m/hr であるが、中小河川では 2 ～ 4m/hr が多い。著者が知るかぎりでは、都内の河川で約 14m/hr (2.4m/10min) の水位上昇が観測された【図－10】。従って、特に中小河川では迅速な情報収集及び対応が必要となる。

洪水時対応としては、光ファイバー等を用いたセンシング技術の開発があり、洪水時に被災の予兆を察知したり、施設の粘り強さを計測できる。これまでに

- ・漏水センサー：阿武隈川、仁淀川、肱川、川内川、斐伊川支川神戸川
- ・洗掘センサー：信濃川

の河川において、現地施工されている。洗掘センサーは河岸の侵食や護岸の裏込め流失に対して、レスポンスが高くなるよう、光ファイバーの錘を調整しておく必要があることが土木研究所の実験より明らかとなっている。浸水センサーの構想もあるが、まだ現地施工されていない。歩道下に設置する方法が有効であり、地上設置にあたっては、メンテナンスに注意が必要である。なお、光ファイバーではないが、黒部川には工事事務所で河床洗掘状況をオンラインで把握できるセンサーが 5 箇所に設置されている。これは河床に埋め込まれた樹脂ブロックが洗掘に伴って流失すると信号が発信され、時間経過毎の洗掘深が分かるものであり、洪水時の侵食状況をリアルタイムで検知できる有益なツールとなりうる。

氾濫予測に関して、土木研究所では鶴見川流域を対象に仮想破堤箇所（51 箇所）からの氾濫流況、防災支



図－10 流域面積別に見た洪水水位上昇速度

援情報(避難所、重要水防箇所他)をパソコン上に表示できる防災 GIS”ハザード・シミュレータ”を平成7年に開発した¹⁾。近年氾濫解析技術が精度向上してきたので、各地方整備局で作成されたホームページ「洪水シミュレーション」で示されている仮想破堤箇所ではなく、ハザード・シミュレータをベースに実際に洪水水位が高くなった区間が破堤した場合の氾濫水の時間的な挙動を解析し、パソコン等で情報伝達する方法が考えられる。こうした洪水危険度マップ(ハザード・マップ等)の動的情報版がリアルタイムに伝達されれば、適切な氾濫流制御や避難活動等に活用されることが期待される。

一方、重要な即時対応技術として水防活動があるが、近年団員の減少、水害被害の減少等により活動が沈滞化している。末次ら²⁾が全国の水防管理団体を対象に実施したアンケート調査結果によれば、水防体制に関する問題点は①後継者不足による団員確保、②住民の意識低下などが多かった。また、水防訓練の実施率が低下しており、災害への出動団員数は火災時の1～2割程度である(団員は火災中心に考えている)ことが判明した。今後は団員の確保及び意識高揚を図ると同時に、水防ノウハウを伝承していく方策を考えていく必要がある。また、従来水位計は河道計画・管理のために設置されてきたが、特に改修が遅れている河川においては、今後計画・管理だけでなく、防災活動のための水位計設置も必要となろう。

避難については、これまでの事例等より、防災行政無線(各戸受信方式)と広報車を組合せた方式により避難勧告・指示を伝達することが有効である。ただし、避難勧告・指示の出し方が避難行動の迅速化を左右する(島根県三隅町：山陰水害(1983))し、農村域では町内会長を通じた伝達も効果がある他、香川県内海町のように住民10～20人に1人の割合で避難誘導員を配置している自治体もある³⁾。

他の成功例としては、台風18号に伴う高潮に対して迅速な対応を行った熊本県竜ヶ岳町の事例がある(1999)。竜ヶ岳町では1972年の土石流災害で近隣の市町を含めて123名の死者・行方不明者が発生した。この災害を教訓にして、インターネットで気象情報を収集し、雨量・風速も独自に観測する体制を整えた。また、全戸に防災無線を設置していたため、高潮発生の約40分前に全世帯に避難勧告が出され、約80戸が浸水したにもかかわらず、1名が軽いけがをしただけであった。また、研究事例として、国総研水害研⁴⁾は避難行動解析システムによる避難体制の評価を行っている。これは情報伝達手段及び経路(役所→住民、住民→住民)や情報取得率による避難行動の違いを分析したものである。

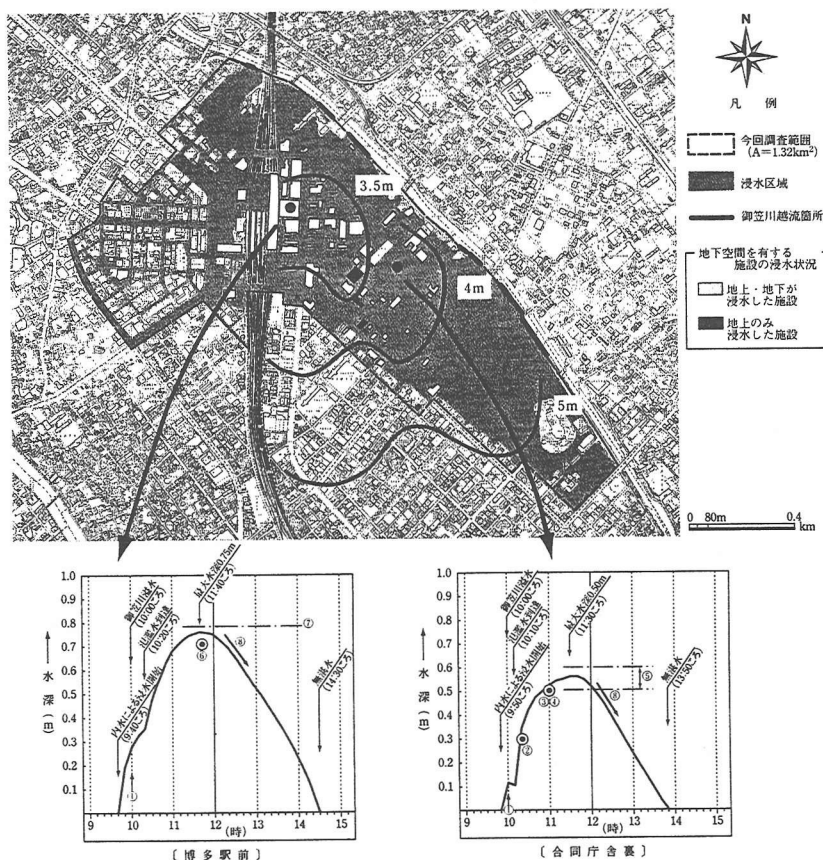
【事例】島根県三隅町ではS58.7の山陰水害時に、大雨洪水警報が断続的に発令されたため、町長は「なみ大抵の避難命令では効果がない」と判断し、非常事態宣言を3回繰り返した。放送は防災行政無線で41回にわたって行われ、放送局が浸水した後は町民のアマチュア無線を利用して情報収集・伝達を行った⁵⁾

【事例】宮崎県延岡市の五ヶ瀬川及び大瀬川では、H5.8洪水で計画高水位を突破したが、市、警察、消防が連携した、また避難誘導時に避難所マップを配布した効果により、5千名以上の住民が避難勧告発令後30分以内に避難できた⁶⁾

- 1) 栗城稔・末次忠司他(1995)：ハザード・シミュレータの水防・避難活動への活用、土木技術資料、Vol.37、No.11
- 2) 末次忠司・館健一郎他(2000)：近年における水防体制の変化、自然災害科学、19-3
- 3) 吉本俊裕・末次忠司他(1988)：水害時の避難体制の強化に関する検討、土木研究所資料、第2565号
- 4) 館健一郎・武富一秀他(2001)：GISを用いた洪水時の避難行動解析システムの開発、土木技術資料、43-8
- 5) 吉本俊裕・末次忠司他(1988)：水害時の避難体制の強化に関する検討、土木研究所資料、第2565号
- 6) 栗城稔・末次忠司他(1995)：洪水による死亡リスクと危機回避、土木研究所資料、第3370号

11. 即時的かつ実践的に対応できるか(被災後)

浸水情報は即時対応にとって重要である。氾濫水は沖積河道区間では概ね1km/hr以下で伝播するが、急流河川の扇状地では4～5km/hrになる場合もある。一方、浸水位に関してはリアルタイムで面的に情報収集する体制はできていない。これまでの実績では、例えば福岡水害(1999)では水位上昇が早い時間帯で下水道氾濫により20cm/10分(博多駅前)、御笠川氾濫により9～25cm/10分と都市域では浸水位が非常に早く上昇することに注意する【図-11】。一方、小貝川水害(1986)では下妻で1m/hr程度を観測したが、西日本水害(1953)における久留米市では、著者は1.4～2m/hrであったと推定しており、外水氾濫は内水氾濫に比べて水位上昇が早い。



図－11 浸水位の時間的変化（福岡水害：1999 年）

出典）末次「都市型地下水害の実態と対策」雨水技術資料

災害情報については、現在は工事事務所職員や水防団などが現地で収集しており、浸水で被災地へ行けない場合などは的確な情報を迅速に収集できていない。広域災害に対しては、上空より災害情報を収集する。水害対策ではないが、諸外国ではプログラム飛行が可能な無人飛行機である UAV (Unmanned Air Vehicle) が開発されている。JACIC 研究会資料¹⁾によれば、例えば Bombardier 社 (カナダ) の CL-327 Guardian は 160km/hr の速度で目的地まで行き、ホバリングして情報収集 (双方向通信) 可能である。降雨強度 20mm、風速 20m/s までは飛行可能である。更に安価で風雨に強い情報収集手法を開発することが今後の重要な課題である。早期に災害情報が入手できれば、国土交通省が有する情報伝達技術

- ・ Ku-Sat (衛星小型画像伝送装置)：平成 8 年より整備され、車載型 (衛星通信車) と可搬型がある
- ・ FPU (屋外マイクロ波伝送装置)：画像伝送、臨時回線の構築を行う小型装置
- ・ K-COSMOS (建設省移動通信システム)：同時通話が可能な小型無線機で衛星通信とも接続可能

MCA 復信方式の導入により多重通信回線と接続可能

- ・ ヘリコプター画像伝送システム：映像のアングル指示ができる他、自動追尾も可能
- ・ 建設フォトメールシステム：平成 9 年より整備開始

などを活用して、迅速な災害対応が可能となる。

氾濫後の氾濫水対策としては、緊急排水がある。阿賀野川 (1966) では加治川からの氾濫水を排除するために阿賀野川の堤防を開削すると同時に 280m の導水路も開削された²⁾。また、東海豪雨では、新川破堤に対して排水ポンプ車 20 台で約 80 万 m^3 (総湛水量約 880 万 m^3) の浸水が排除され、浸水時間を軽減するのに

役立った。なお、堤体がかなり湿潤していたため、堤防上でのポンプ車の作業性はよくなかった。

阿賀野川の例のように、究極的な対策として氾濫水排除のための堤防開削がある。カスリーン台風(1947)時に、利根川栗橋等からの氾濫水を江戸川へ排水するために堤防を開削した。開削の決断は内務省国土局長と東京都知事の間で行われたが、これに対して千葉県土木部長が反対するなど、決定までの経緯は複雑であった³⁾。危機回避を実行するうえでは、こうした高度な治水判断が必要となる。なお、消防法 29 条には破壊消防に対する損失補償措置があるが、水防法等にはそうした措置がなく、あえて適用するとすれば、憲法 29 条(財産権)を援用することになると考えられる。

【事例】小貝川水害(S61.8)では茨城県石下町本豊田地区の破堤氾濫に対して、水海道市職員及び消防団員などが緊急排水路(幅 2m × 高さ 1m)を仮設して、千代田堀の排水樋門から氾濫水を排水した⁴⁾

- 1) 河川管理への UAV 活用研究会(1999): 河川管理の現状と動向 河川管理で想定される UAV の利用場面
- 2) 大熊孝(1996): 川を考える④ー堤防の自主決壊による氾濫水の河道還元についてー、雨水技術資料、雨水貯留浸透技術協会、Vol.20
- 3) 関東地方建設局(1958): 利根川の 22 年災害を顧みて、関東地方建設局利根川上流工事事務所
- 4) 吉本俊裕・末次忠司他(1988): 昭和 61 年 8 月小貝川水害調査、土木研究所資料、第 2549 号

12. 被災に対してどう復旧・復興するか

破堤被害が生じた場合、先ず破堤箇所の締切を行う必要がある。迅速な締切を行うには災害対策用機械や復旧資器材を迅速に調達することが重要となる。災害対策用機械については、現在照明車、排水ポンプ車、応急組立橋などの位置及び稼働状況を衛星通信により一元管理できる運行支援システムが運用されている。また、資器材調達に関しては、地方整備局によっては資器材調達支援システムができていますが、基本的には備蓄しておいたり、建設会社等と調達に関する協定を結んでおく必要があるし、またフレコンパックのような入手が容易な投入資材を活用する。ただし、坂野ら¹⁾の締切実験によれば、六脚ブロックは投入後転動するが、かみ合わせにより安定する一方、フレコンパックと類似した平面的なブロックは氾濫流に対して安定性はよくなかった。

また、仮締切にあたっては以下の項目を目安として、締切箇所を選定するが、最後の締切となる「せめ」を行う前に、沈床や捨石等の洗掘防止工事を行う²⁾。なお、1965 年以降の施工実績(中央値)で見れば、仮締切で 8 日、仮復旧堤防工で 11 日程度を要している³⁾。

- ・堤内地の深掘れが少ない、仮締切延長が短い→在来法線仮締切
- ・堤内地が深掘れ、高水敷あり、川幅が広い→堤外仮締切

一方、被災者の生活支援としては、仮設住宅の提供、食料品・飲料水・寝具の配布などが優先的に行われるべきである。と同時に家族の安否といった安心情報を含めた生活情報の提供を行う。この段階になると、被災者の多様なニーズに応えなければならず、防災ボランティアの機敏な対応も見逃せない。平成 10 年 8 月末豪雨時の栃木県那須町におけるボランティア活動の実態を見れば、インターネット等による活動者募集、行政・社協等との連携、救援物資の把握・情報提供などがポイントとなる⁴⁾。

また、被災者には市町村より死亡に対する災害弔慰金や災害見舞金が支給されてきたが、実質的な生活支援は行われなかった。しかし、阪神・淡路大震災を契機に 1998 年に被災者生活再建支援法が制定され、災害救助法の適用基準を満たすか、又は全壊家屋数が 10 世帯以上(市町村内)か、100 世帯以上(都道府県内)の場合に適用されることとなった。これは画期的な法制上の災害補償で、適用されれば、最高で 100 万円が支給される。しかし、支給条件が厳しい(全壊又は半壊解体した家屋が対象で所得・年齢制限あり)、住宅・生業再建への支援となっていないなどが不備な点として指摘されている⁵⁾。

- 1) 坂野章・二村貴幸(2001): 未発表研究成果
- 2) 末次忠司・小林裕明(1999): 危機管理に備えた水防災のための時間感覚、水利科学、水利科学研究所、No.249
- 3) (財)国土開発技術研究センター(1989): 堤防決壊部緊急復旧工法マニュアル
- 4) 末次忠司・館健一郎他(1999): 防災ボランティアの現状と課題、にほんのかわ、日本河川開発調査会、87 号
- 5) 宮入興一(2001): 被災者生活再建支援対策の展開と課題、経営と経済、80・4

13. 弱者のための防災教育とは

減災のためのソフト対策として防災教育も重要である。地震に関しては、東京都防災計画課「防災行動マニュアル」、東京都新宿区「PREPARING FOR EARTHQUAKES」など、多数の資料が作成されたり、損害保険協会では防災意識の高い主婦を「奥さま防災博士」に認定しているが、水害関係の防災教育事例は少ない。

日本学校安全会は文部省体育局と協力して、学校関係者向けに「学校における防災必携」を作成し、緊急時の安全についての年間指導計画例(避難訓練等)を示した。米国の FEMA(連邦危機管理庁)はセサミストリートの Big Bird を登場させた小冊子「BIG BIRD GET READY FOR FLOODS」を作成し、防災用品、洪水注意報・警報、安全な避難について説明している¹⁾。冊子には洪水対策用の歌が吹き込まれたカセットテープ、カードゲーム A「Match the Message」Card Game About Floodsが入っており、遊びながら防災を学べるようになっている。

洪水ハザードマップでも、例えば名取市浸水予測図などでは浸水状況を示したマップと同時に小冊子をあわせて作成・配布している²⁾。小冊子には洪水ハザードマップの見方の他、洪水被害の歴史、居住地の水害危険性の見方、安全な避難の仕方、非常持ち出し品などが記載されているものもある【表-6】。これらの情報に基づいて、地域の水害危険性及び我が家の防災対策について知ることは非常に有益である。その他、自分が居住している家屋が立地している地盤高及び周辺地盤高との関係、河川からの距離などの水害危険性に対して、耐浸水性(氾濫流の直撃(阻害物の有無)、浸水が流入する隙間など)があるかどうかを調べて、耐浸水性診断を行うとよい。

なお、埼玉県防災学習センター(吹上町)や本所防災館(墨田区)では体験型防災教育として、「暴風雨コーナー」で身を持って風水害を体験・イメージすることができる。また、さいたま川の博物館(寄居町)や水の科学館(江東区)では、川下りを擬似体験でき、洪水の恐ろしさを実感できる。

表-6 小冊子等が作成された主要な洪水ハザードマップ

市町村名	河川名	マップ名 (小冊子等名)	縮 尺	小冊子等の内容
北海道留萌市	留萌川	留萌市洪水避難地図 (洪水時の心得)	1/10,000	普段及び緊急時の心がまえ 洪水氾濫被害の歴史
岩手県一関市	北上川他	一関市洪水ハザードマップ (歴史に学び、災害に備える)	1/15,000	洪水氾濫被害の歴史 相関による水位予測 避難行動の基準、避難時の心得
宮城県名取市	名取川他	名取市浸水予測図 名取市洪水情報図 (水害 BOOK まさかの時、 あわてないために 他)	1/20,000 1/20,000	避難の判断基準(雨量他) 書き込み式避難経路図 洪水情報の流れ 避難時のポイント
宮城県岩沼市	阿武隈川	岩沼市浸水予測図 (水害避難マニュアル 知っていますか?あなたの安全のために)	1/25,000	自主避難のための情報収集 洪水氾濫被害の歴史 クイズ形式のハザードマップ
大阪府寝屋川市	淀川	寝屋川市淀川洪水避難マップ (洪水って、なんなの?)	1/12,500	過去発生した洪水の歴史 洪水の発生原因 避難時のポイント、持ち出し品

出典) 栗城ら「関川水害時の避難行動分析」他に加筆・修正した

- 1) 栗城稔・末次忠司他(1995): 洪水による死亡リスクと危機回避、土木研究所資料、第 3370 号
- 2) 栗城稔・末次忠司他(1998): 関川水害時の避難行動分析、土木研究所資料、第 3536 号

14. 治水事業を評価する

情報公開法が施行され、事業の透明性が叫ばれるなかで、治水事業を防災性向上だけではなく、経済性などを客観的に評価することが望まれた。国土交通省は公共事業の評価制度を制定し、1998 年よりこの制度に基づいて、新規事業及び継続事業の評価(継続、休止、中止)を実施した。その後、採択後 5 年以上未着工の事業、完成予定を 20 年以上経過した事業などを対象に、事業の見直しを行った。2002 年 4 月からは政策

評価法(行政機関が行う政策の評価に関する法律)に基づく政策評価が実施されている。

治水事業に関しては、1970 年に策定された治水経済調査要綱を社会・経済情勢に対応させて見直し、治水経済調査マニュアルが策定された¹⁾。主要な改正点は資産の項目・被害率、営業停止損失の算定法、氾濫解析手法、便益評価手法などである²⁾。今後は治水経済以外に環境機能(景観、水質、生態系)などの評価を行える河川経済調査マニュアルの策定が望まれる。

治水事業の評価に関する課題としては、「河道マネージメント」で示したように、防災・都市機能等の質の評価がある。これまでは施設の物的評価が主であったが、防災・都市機能は浸水により機能マヒが生じると、防災性が低下したり、質的被害が生じ、大きな波及被害を発生させる場合があるので、今後は評価しておく必要がある。例えば、市役所が被災すると、その後の防災活動が停滞し、2次災害を引き起こす危険性が出てくるし、ライフラインの停止も生活・産業活動に多大な影響をおよぼす。ヒアリングにおいて、ある銀行幹部は「停電による銀行の ATM オンライン停止は海外顧客との取引停止におよび、ひいては海外経済に影響をおよぼす」とも言っていた。

こうした防災・都市機能の機能(水害ポテンシャル)評価を行い、流域内の機能評価結果から優先的に防御すべき堤防区間を定めて、完成堤防の早期完成又は難破堤防の建設を行うといった順位付けができるのである。望むべくは洪水氾濫だけではなく、土砂災害や高潮災害なども含めて、縦断的かつ総合的な水害ポテンシャル評価を実施することが理想である。

1) 建設省河川局治水課(2000): 治水経済調査マニュアル

2) 末次忠司(1998): 治水経済史—水害統計及び治水経済調査手法の変遷—、土木史研究、No.18

15. 今後を展望する

上述したように、今後減災を進めるにあたっては、様々な課題がある。防災行政に関して、重要な課題を挙挙すると、以下の通りである。

- ・河川構造物の安全性評価及び減災対策
- ・治水安全度バランスの解消
- ・実践できる即時対応技術の確保
- ・迅速な災害情報収集
- ・広域水害への対応
- ・都市機能保全効果の評価

特に、面的・システムの治水安全度を向上させる方策、即時的に対応できる技術開発が望まれる。これは異なる管理者・対象流域間の安全度バランスをどう考慮して減災を行うか、十分な体制がとれない状態でどう適切に対処するかという課題に集結する。こうしたカオス系の問題対応には様々なシナリオに対するトレーニングと臨機応変な対応技術の開発が欠かせない。

また、洪水位や浸水位の上昇といった即時対応にとって重要となる水文現象の時間特性については、モニタリング及び情報伝達を(高価な計測器や防災情報システムだけでなく、人海戦術も含めて)システム化するとともに、時間特性に影響をおよぼす様々なファクターについて、その影響度合いを整理・分析しておく必要がある。

最後に、本レポートを執筆するにあたって、資料の提供及び助言を頂いた自治体(一関市役所、寝屋川市役所)、国総研水害研究室(館研究官、武富研究員)及び河川研究室(坂野主任研究官・諏訪元主任研究官)の皆様は紙面を借りて謝意を表します。