

最近の洪水事例と対策等について
－ヨーロッパの洪水情報を含めて－

河川研究部長

近藤 悟

最近の洪水事例と対策等について
ーヨーロッパの洪水災害情報を含めてー

河川研究部長 近藤 悟

1、はじめに

明治以来の河川改修への努力により例えば国管理の河川の堤防についてみると堤防延長の約半分強が完成堤防で、計画高水位の高さまで築堤されている暫定堤防を含めると約 8 割を超えるなど河川改修は進み、近年は洪水氾濫の発生頻度や面積は減少してきている。しかし、高度経済成長期以降の都市化の急激な進展に伴い氾濫原の宅地化等が進み、大都市に限らず地方中核都市等においても予想を上回る洪水などによる氾濫時の想定被害額は逆に増大してきている。

一方、洪水をもたらす雨については過去の降雨記録から、いつでもどこでも豪雨は起こりうる状況であり（S32 諫早水害、S57 長崎水害、H6 宮城県水害、H10 余笹川水害、H12 東海豪雨）、特に近年、地球温暖化等によりその頻度が増大する可能性が危惧されている。このような洪水に対しては河川改修などの構造物による対応に加え、予警報や土地利用等の非構造物による対応が必要となっている。堤防等の構造物については、工学的体系化を図るとともに、未解明点が多い洪水の挙動を水害の事例から逐次明らかにし、得られる教訓を計画や設計に活かしていくことが必要である。また、予警報等についても人工衛星による観測、高精度センサーの開発、数値シミュレーション技術やコンピューター等の IT 技術等の発達を取り入れ、より効率で効果的なものとしていく必要がある。

本報告は、このような観点から、水害事例の分析及び対策、最近の予警報の研究課題、最後にこの夏のヨーロッパ洪水災害に関する最新情報について河川研究部河川研究室や危機管理技術研究センター水害研究室等におけるこれまでの研究成果等について既に発表されてきた論文等を用い紹介するものである。

2、水害事例から学ぶもの

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、多摩川（昭和 49 年）、石狩川（昭和 50 年）、長良川（昭和 51 年）などの大河川水害とともに、都市水害が増加し、顕著な土砂災害も発生した。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、元々浸水が多かった寝屋川・天白川流域では浸水地域の都市化に伴って都市水害が発生した。土砂災害としては天草水害（1972）、小豆島の災害（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。

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。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、東海豪雨では被害の90%以上が一般資産等(一般家庭、事業所)被害となり、各種都市機能がマヒするという典型的な都市水害の様相を呈した。

水害の発生形態は、河川改修事業の進展や社会経済状況の変化に伴い変化してきており、このような変化に対応するため近年の水害の被災原因を解明し、その教訓を今後に生かして行く必要がある。一方、川が本来持っている特性に起因する被災原因もあり、これらについてもあわせて解明していく必要がある。本報告ではこのうち留意すべき項目を中心に記述した。水害事例は河道・洪水特性の違いを考慮して、地形(河道セグメント)毎に分類して、以下に記述した。

3、近年の水害事例

3. 1、山間地における水害

3. 1. 1、平成11年8月 酒匂川支川玄倉川(神奈川県山北町)

事故現場は、酒匂川水系主要な支流の一つである玄倉(クロクラ)川の河川敷にある。当地点は三保ダムのダム湖「丹沢湖」のバックウォーター直上にある立間堰堤上の堆砂地で、川幅は約100mである。当日の雨量は349mm/29時間で一年に1,2回起こる程度の普通の雨と言われている。

・河原でキャンプ → 大雨による増水 → キャンパー18名が濁流に呑み込まれ、13名が水死
ダムからの放流 ↓

この事故では13名のキャンパーが洪水に流され、尊い命を失った。NHKが旧土木研究所に持ち込んだビデオ映像によると、キャンパーが洪水に流される直前の水深は1.2m、流速は2m/sと推定される。従って、これまでの水中歩行(現地における避難歩行調査及び実験)結果からすると、水中にたつのが非常に困難な水量である。事故発生後、自己責任や情報伝達の問題が指摘された。大雨時には玄倉川ダム管理事務所(県)や警察がキャンパーに避難を呼びかけ、数多くのキャンパーは避難した。一方、キャンプ慣れていた人ほど、自分たちの判断で河原に残り、被災している。過去の経験から誤った判断をする、いわゆる「正常化の偏見」により被災したのが一因であると考えられるが、今後は個人が的確に判断できるような詳細な情報の提供が望まれる。

また、同種の現象として、大雨洪水警報が繰り返し出され、一部の中しない場合もあったため、警報慣れで避難が遅れたケースや水害常襲地帯でいつものように家具の移動をされていて避難が遅れたケース、洪水の情報が伝達されず収集する手段も無かったため被害を受けた地下街のケースなどがあり、洪水に関する情報の信頼性や出し方はきわめて重要であると言える。

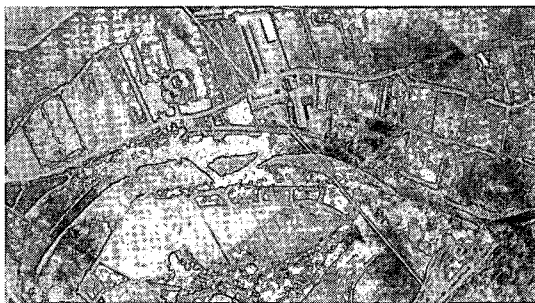
3. 2、谷底平野における水害

3. 2. 1、平成 10 年 8 月 那珂川支川余笹川（栃木県那須町他）

福島県白川郡西郷村大字真船（阿武隈川の最上流域で余笹川最上流域那須の北西）地点の日雨量は、8月25日（9:00～9:00）13mm、26日570mm、27日285mm、28日69mm、29日279mm、30日51mm、総雨量1267mm、短時間雨量は最大時間雨量90mm、最大2時間雨量138mmで、最大日雨量の570mmは、当地点で得られている昭和21年から平成8年までの観測値の過去最大日雨量261mmを大きく超え、その確率規模は1/300程度となっている。従って、真船観測地点に近い阿武隈川上流域や那珂川上流域には極めて大規模な降雨が発生したと考えられる。

- ・急勾配河川 → 激しい流路の変動 → 土地家屋の流失
- ・豪雨による流出 → 側岸侵食による川幅拡大 → 土地家屋の流失
- ・橋梁取り付け盛り土による氾濫水の堰上げ → 上流浸水域の拡大
 - 橋梁の被災 → 取り付け盛り土の侵食・流失
 - 取り付け部地盤の侵食・流失
 - 橋桁の流失
- ・護岸背後の土砂流出 → 護岸が孤立し、背後が水路化
- ・流木による橋梁の閉塞 → 堰上げによる越水 → 浸水被害の発生

山陰水害（昭和58年）の三隅川や余笹川などに見られるように谷底平野は氾濫域が限定されているため、氾濫流の流速が早く、家屋・土地が流失する危険性がある。余笹川9km地点（寺子橋、勾配1/120）における氾濫原上の流速を計算すると、速い箇所では約4～5m/sである。流速が速いため元の河道を離れ直進する氾濫流となり、激しく流路が変



(1) 洪水前の氾濫原



(2) 洪水後の氾濫原

図-1 氾濫流による家屋などの流失状況

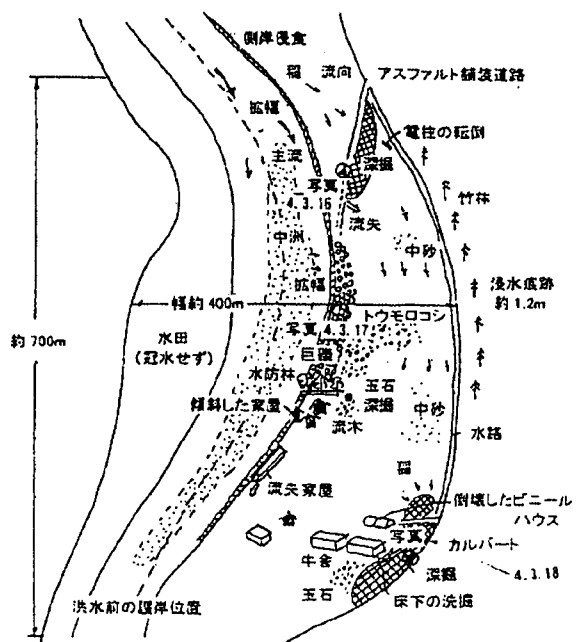


図-2 氾濫被害のスケッチ図

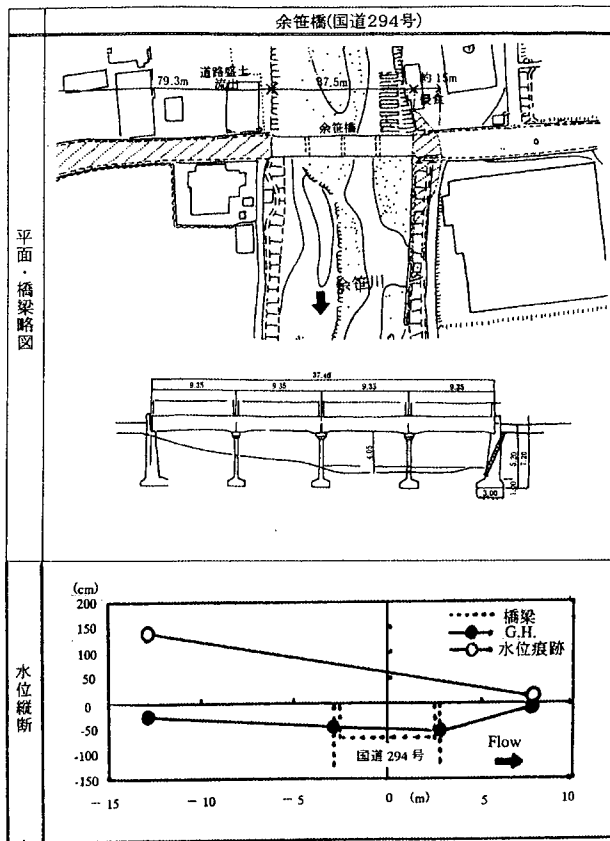


図-3 余笹橋（国道294号）における水位の堰上げ

動することとなる。図-1,2（石堀子橋下流約800m地点）に示したように、氾濫流は時には河道と異なる流域を流下し、氾濫原内の家屋、農地、樹林を流失させるなど、大きな被害をもたらす。また、この氾濫流が氾濫原に乗り上げたり、河道に戻る際には河道の側岸を侵食し、河道沿いの家屋を流失させる場合もある。この水害からは「急勾配の河川では、洪水が河道から離れて側岸侵食することを考えて、氾濫流の乗り上げや戻りに対して、十分な耐力を持った護岸等を建設する必要がある」ことが教訓として言える。

余笹川流域には元々山からの風除けとして防風林（樹林帯）が有り、これにより、家屋が流失を免れた事例も多い。余笹川の東北自動車道橋梁～黒川合流点（14km区間）で見ると、上流側に樹林帯があった家屋の流出率は樹林帯がなかった家屋の流出率の約半分であった。こ

れは樹林帯により氾濫流の流体力（ v^2h ）が軽減された結果である。

橋梁被害としては、余笹川の余笹橋（国道294号）は被災した（図-3）のに対して、位置が近く河道規模も類似の黒川の樋世原橋は被災しなかった。これは余笹橋は橋長が38mであるのに対して、右岸の氾濫原上に79mの取付盛土があったため結局氾濫原上の流れは架橋地点で約1/3の水面幅となり、橋の上下流で1m以上の水位差が生じた（図-3）。これにより、橋脚本体の損傷はなかったものの、取り付け道路約60mが流失するとともに、左岸側の橋台の一部が流失した。なお、樋世原橋は橋長が道路盛土長の約2倍であった。従って、このような洪水実績等も踏まえて盛土長をなるべく短くする、または盛土の一部をピア形式にするなどの対応を検討する必要がある。

また、山地部では、豪雨による山腹崩壊などにより洪水時に大量の流木が流れて出し橋梁等で閉塞を起こし水位を堰上げ、急激な水位上昇をもたらす、場合によっては越水災害を起こすこともある。発生流木量については、既往の災害事例より、山腹崩壊量との間に相関関係があることが知られている。

流速が速い洪水流が発生すると天然河岸はかなりの幅で侵食被害を被る。旧（財）国土開発技術研究センターが昭和58,59年災を対象に実施した被災実態調査結果によると、全体で見て1出水で平均20m前後、最大で約40mの侵食幅となっている。余笹川の場合も流路幅が洪水前後で20～40mから60～100mへと変化しており、大きな横侵食があったと考えられる。また、中小出水でも河岸が侵食される場合があり、例えば、利根川支川の小

貝川49.2km地点では平均して約1m/年づつ河岸が侵食されている(図-4)。このように洪水時における侵食が大きい場合は、これらの事例を参考にすることで、出水前に侵食幅を確認したうえで、1 出水で侵食された場合に堤防が危険な状態とならないかどうかの評価をしておく必要がある。

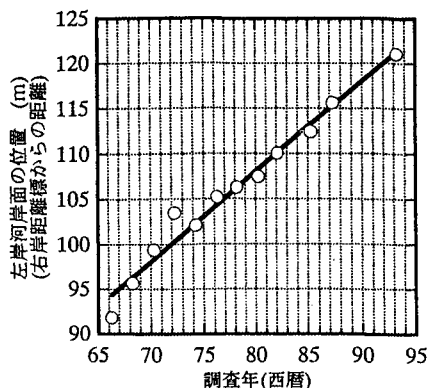


図-4 小貝川における侵食量の累積値

3. 3、扇状地における水害

3. 3. 1、平成10年8月 狩野川支川大場川(静岡県三島市)

本州上に停滞した前線と台風4号の影響で、26日から降り始めた雨は、28日には湯ヶ島、天城、持越で時間雨量60mm以上を観測し、30日までの累計雨量は上大見で582mm、丹那で506mm、天城で687mmと狩野川台風を上まわる総雨量を記録した。三島では総雨量430mm、最大時間雨量47.5mmであった。

・河床掘削→河床が砂層→出水で河床洗掘→護岸流失

平成2年9月の豪雨災害後、疎通能力増大のために河床を約2m掘削する河川改修工事を実施した結果、砂層が出てきて、河床材料がれきから砂へと細粒化した。そこへ台風4号などによる集中豪雨に伴って、高流速の洪水が発生して、大量の河床材料が押し流され、局所的には約1m河床低下(改修前に対しては約3m)となるなど、洪水前と比べて落差工間で凹状の河床縦断形状に変化した。この河床洗掘の結果、護岸が流失したり、側岸が侵食されるなどの被害が発生した(図-5)。この水害からは「河床掘削にあたっては、河床材料がどのように変化するかをボーリング調査結果などにより推測し、想定される洪水により急激な河床低下が生じないかどうか確認しておく必要がある」ことが教訓として言える。また、河川によっては河床に岩が露出している場合があり、この層を掘削すると下層の砂層が出てきて、一気に河床低下が進むと言った同様の現象が見られる場合がある。なお、洪水疎通能力を増大させるために河道の拡幅やショートカットを行った場合に掃流力が変化して元の河道状態に戻ったり、河床材料が変化するケースも見られる。このようなメカニズムもある程度解明されてきており、改修により掃流力が15%以上変化すると、河道は自己調整して元の状態に戻る(又は河床材料が変化する)ことが分かっている。



図-5 大場川における侵食状況

河道の流砂については国総研では那珂川支川濁沼川に流砂観測施設を設置し、昭和63年より観測(河床バケットによる掃流砂観測、水深方向5箇所の

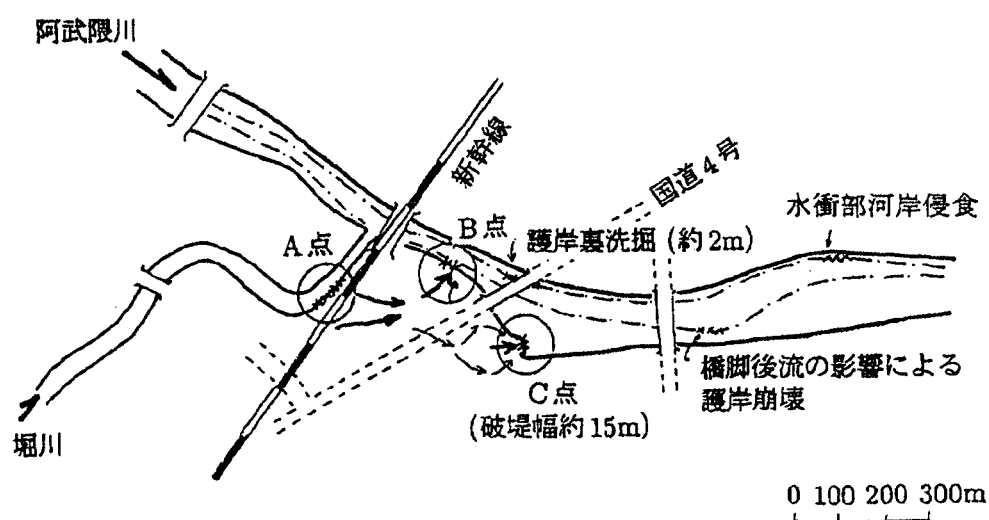


図-6 阿武隈川と堀川合流点付近の被災状況

採水ポンプによる浮遊砂観測)を実施してきた。地方整備局においても国土技術研究会を契機として観測が行われ、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、同研究会で開発された流砂捕捉ポンプ(9河川に設置)により、粒径5mm以下の土砂の流砂観測も可能となった。

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が可能となり、河道管理への適用が現実味を帯びてきている。

3. 3. 2、平成10年8月 阿武隈川(栃木県、福島県)

降雨状況は余笹川に同じ。

- ・高水位が長時間継続→漏水の発生→水防活動により漏水破堤せず
小段法尻からの漏水、裏法尻からの基盤漏水
- ・水衝部が洗掘?→越水に伴う氾濫流の発生→堤防・堤内地盤の侵食→逆破堤
- ・合流点において越水→破堤(1山目)→破堤規模が拡大(2山目)

阿武隈川における被害で特徴的なのは本川及び支川バック堤における漏水災害、支川(福島県)における橋台・橋脚の被害である。漏水は今回の洪水が2山ピークであり、浸透外力が長期化したために、阿武隈川上流及び支川逢瀬川のバック堤で発生したものである。当該区間は河床縦断勾配が緩くなった区間で堤防高も高かった。なお、漏水は生じたものの、水防団・福島県・建設省による懸命の水防活動の結果、漏水破堤は免れた。橋台は河床及び護岸の洗掘、橋脚は局所的な河床洗掘により被害が発生した。ほかに越水に伴い氾濫被害も発生した。氾濫水は地盤高の低い所を流下し、堤内地側から堤防を越水し、逆破堤を起こした(図-6)。また、合流点において越水災害が発生した。これまでにも合流点、河床勾配変化点、横断構造物の設置箇所などで越水しやすいとされてきたが、今回の被災もそれを裏付けるものである。

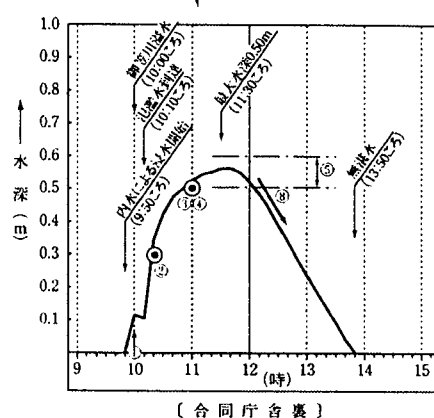
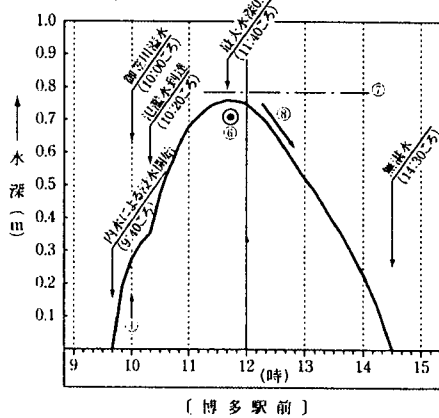
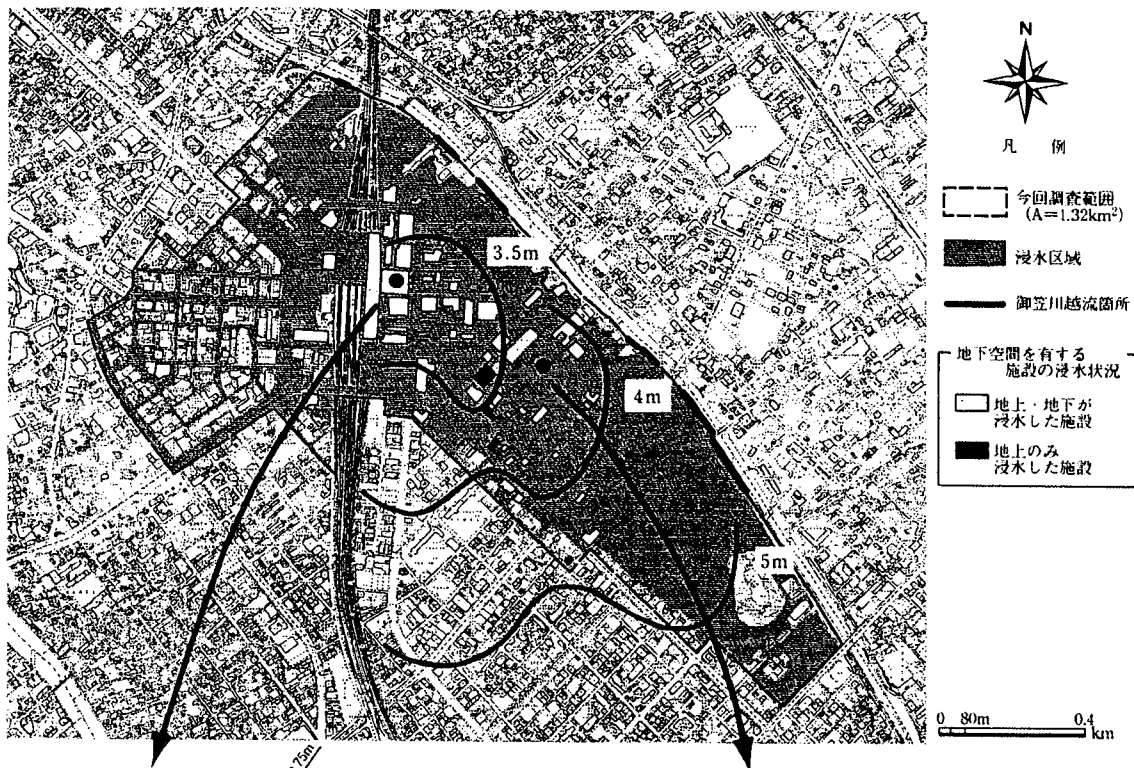


図-7 博多駅周辺の浸水状況

3. 4、沖積平野における水害

3. 4. 1、平成 11 年 6 月 御笠川（福岡市）

福岡管区気象台における雨量は、6時から11時の連続雨量で136mm、最大時間雨量77mm、最大60分間雨量79.5mmであった。

- ・①下水道からの氾濫→①10～35cmの浸水 →地下鉄、地下街などの浸水
- ②越水の発生→①②複合して1m前後の浸水

下水道は通常1/5～1/7の計画降雨に対して整備が進められている。福岡市の場合も従来52mm/hr（超過確率1/5）で整備されてきたが、近年郊外を中心に59mm/hr（超過確率1/10）を目標に整備され始めている。この確率を超える豪雨の発生や河道の水位が高い場合には下水道からの氾濫が発生する。下水道からの氾濫は越水氾濫並みの浸水上昇速度（図-7）を持つが氾濫量はそれほど多くない。横浜市などにおける下水道からの氾濫被害実績を見

ると、広くても概ね学校の校庭程度であり、暫定的には校庭貯留などで対応することは可能である。

モデル流域に於いて、下水道の流下及び氾濫を同時に解析した結果、排水先となる河道の整備状況が不十分な場合に下水道整備を進めると、逆に水害被害が増大する場合があることがわかっている。従って、河川と下水道の安全度バランスに注意しながら整備を進めて、流域全体の治水安全度向上を図らなければならないと言える。

地下室への浸水の流入は地下の床面積 A/出入り口幅 B で規定される。地下施設への浸水開始から t 分後の浸水深を H(m)として、後述の流入量実験式をもとに計算すると

$$t=3.0 \left(\frac{A}{B} \cdot H \right)^{0.35}$$

地上における浸水位上昇速度が 20cm/10 分の場合、浸水が天井 (H=3m) までに達する時間は A/B=20m (福岡相当) の場合が 13 分、50m (新宿相当) の場合が約 17 分と非常に速い。対策としては後述のように地下入り口部へのステップや防水板の設置が有効である。

3. 4. 2、平成 12 年 9 月 新川 (名古屋市他)

名古屋の南西側を中心に 11 日から 12 日の午前中にかけて総雨量で 500mm 以上の雨が降った。最大時間雨量は名古屋で 97mm、東海で 114mm、最大日雨量は名古屋で 428mm、東海で 492mm、2 日間の雨量は名古屋で 567mm、東海で 589mm であった。1891 年～2000 年の 110 年間のデータを使った岩井法による名古屋についての再現確率は、最大時間雨量が 100 年弱に 1 度、最大日雨量が 1 万年以上に 1 度となっている。

- ・ 浸透しやすい砂質堤防 → 漏水の発生 + のり崩れ後の越水
洗堰を通じた庄内川洪水の流入
 - ・ 高水位が長時間継続 → 破堤回避のためにポンプ排水停止
内水河川・下水道の整備水準を上回る
 - 豪雨の発生 → 一部ポンプの故障
- } 破堤に伴う氾濫
} 内水の発生

新川では河床材料などを堤防の嵩上げに用いてきたため、堤体土質は砂質が多い。砂質堤防は透水性が高く、更に当該区間は天端が舗装されてなかったために、雨水の浸透も多かったと考えられる。しかし、新川の破堤箇所では計画高水位を 11 時間も超過しており、基本的にはこうした高い水位が長時間継続したことが破堤に影響をおよぼしている。

漏水災害を防ぐには阿武隈川等で発生したような長時間の浸透外力に耐える堤防設計が必要で、「河川堤防設計指針」に示されている通り、鋼矢板工やブランケットにより川表の透水性を低くするとともに、法尻にドレーン工や堤脚水路を設けて川裏の透水性を高くすることが重要である。まお、天端舗装やドレーン工だけの簡易な漏水対策でも、ある程度までの耐浸透効果が期待できる。

新川流域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場がある。排水機場によっては、電気系統の故障や浸水によりポンプが停止した所もあった。平成 10 年の新潟下越水害においても停電時によりポンプが停止しており、停電時のバックアップ

体制を再強化する必要がある。

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。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-8）。

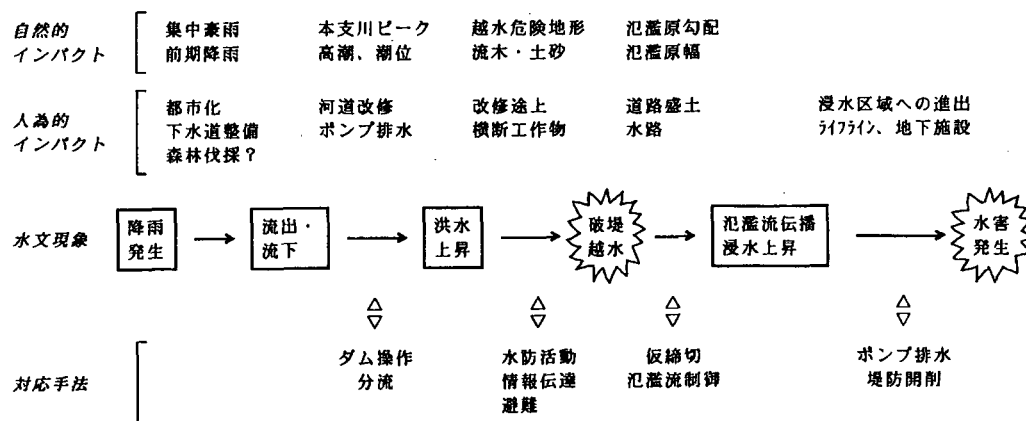


図-8 水文現象の時間特性を変化させる要因

また、この水害の背景としては、高度経済成長期の地下水の汲み上げによる地盤沈下、急激な都市化やそれに伴う流出率や流出到達時間の変化、本川との合流時差の減少等が考えられ、対策として浸透能力や遊水施設の保全・確保等の流域治水対策が必要である。

これらを踏まえ平成12年11月9日に「都市型水害に対する緊急提言」が都市型水害検討委員会から出され、水災危機管理・被害軽減、水災時の情報提供等をはじめ、河川堤防の強化（天端舗装、光ファイバー等を活用した堤防監視）、排水ポンプ場の耐水性強化、運転調整と運転調整基準の明確化、流域の水災特性を考慮した安全度バランスを考慮した計画の必要性（治水システム整備段階に対応した貯留・浸透機能の確保、多様な手法による下水道対策、耐水に配慮したまちづくり）等々が提言されている。また、後述のように平成13年7月には水防法が改正され、平成14年3月には「地下空間における浸水対策ガイドライン」が国土交通省により発表された。

以上を包括的に整理し検討するとこれまで述べてきたことに加え、更に次のような課題が考えられる。

- (1) 異常降雨はこれまでもあったし今後も確実に起こり得ることを前提に水害対策を考える必要がある。一方、豪雨は近年多くなっている傾向も指摘されているが、過去においても同様な教訓が得られる異常気象が発生しており、これらの水害事例からの教訓は現在においても十分有用である。これらの教訓に基づく対策は再度評価され、強化される必要がある。

例えば地下被害の発生状況は表-1の通りであり、地下水害は以前より発生していたこと、時間雨量が概ね70mm以上で発生していることが分かる。過去20年間（昭和54年～平成10年）のアメダスデータ（約1,300地点）で調べると、70mm/hr以上の豪雨が

発生したのは30.3地点/年(延べ)で、島嶼や高地(300m以上)を除いても17.7地点/年もあり、このような豪雨の発生可能性はそれほど低くない。

表-1 地下鉄及び地下街における主な水害

地下鉄	昭和48年8月	名古屋市営 東山・名城線	平安通駅でホーム上40cm浸水 (80mm/hr)
	昭和56年7月	都営三田線	内幸町駅が内水
	昭和60年7月	都営浅草線	西馬込駅が内水(68mm/hr)
	昭和61年8月	仙台市営	開業前に浸水
	昭和62年7月	京阪電鉄	鴨川支川の水が浸入(70+78mm/hr)
	平成元年8月	都営浅草線	五反田駅(70mm/hr)
	平成5年8月	営団丸の内線	赤坂見附駅
	平成11年6月	福岡市営	博多駅(77mm/hr)
	平成11年8月	営団半蔵門線	渋谷駅が内水
	"	営団銀座線	溜池山王駅が内水
	平成12年9月	名古屋市営名城線	平安通駅(93mm/hr)
	"	" 桜通線	野並駅
	"	" 鶴舞線	塩釜口駅
地下街	昭和45年11月	八重洲	河川の水圧で工事用の防水壁が壊れ、水が浸入
	昭和46年7月	名古屋駅前ユニモール	
	昭和56年7月	新宿歌舞伎町サブナード	内水 最高30cm浸水
	昭和57年8月	名古屋市セントラルパーク	内水
	平成11年6月	博多駅、天神	(77mm/hr)
	平成12年8月	名古屋駅前ユニモール、名古屋市セントラルパーク	

- (2) 都市機能(ライフライン、交通等)や災害弱者等を含めた水害ポテンシャルを踏まえ、内・外水、大・小河川、本・支川等のバランスを考慮した流域全体の治水計画が必要となっている。

大河川の氾濫は大きな被害をもたらすが、逆に都市部などでは中小河川の氾濫や内水氾濫が同じような被害をもたらすことがあること、上流や支川の安全度向上が下流の安全度を下げること、下流に比べ上流や支川の安全度が低く過ぎる場合はナショナルミニマム的な考えが必要になることと等、流域の被害のポテンシャルを踏まえ水災被害を最小にするよう安全度バランスを考えていく必要がある。その際には下水道とのバランスやライフライン・交通などの都市機能の維持、弱者の避難対策等も勘案していく必要がある。

- (3) 二線堤の検討、樹林帯、ポンプの運転など氾濫を想定した減災対策を十分検討しておく必要がある。

流域治水においては氾濫流制御は重要な対策の一つである。この氾濫流制御には、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、

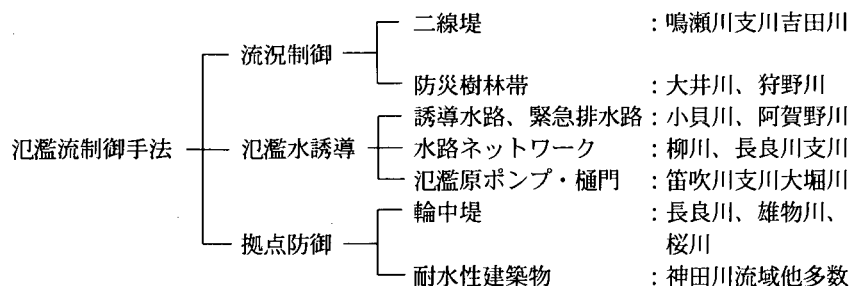


図-9 氾濫流制御手法

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。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。小貝川水害(1986)でも同様の現象が見られた。

4、防災対策のための研究開発事例

これまでに発生してきた災害事例などを教訓にして、国総研では様々な防災対策のための研究開発を行ってきた。研究開発事例は対策別に、破堤（越水、漏水）、河岸侵食、氾濫流被害の順で以下に示している。

4. 1、越水破堤

・越水対策→難破堤堤防

土木研究所における越水堤防実験等から、越水に 3 時間程度耐えられる難破堤堤防（図-10）が開発されている。これは越水により最も大きなせん断力が発生する裏法尻に法尻工を入れるとともに、天端を舗装工で守り、裏法斜面には保護マット（吸い出し防止材）を付けた遮水シートを重ねて敷く工法である。堤防法面は 1 枚法にし、法勾配は 3 割としている。なお、法尻工は跳水を確実に跳ねる長さ、最大洗掘深以上の深さが必要であることが分かっている。また、同時に漏水対策として、裏法尻に水抜き用のドレーン工も設置する。高さ 3m、幅 2.3m の堤防を用いた 2 次元実験の結果、2m 規格の遮水シートを縫い合わせたケースでは法尻部で侵食が発生したが、15cm 幅でシートを重ねたケースでは越水 30 分後以降、若干の表面侵食は見られたが、越水 3 時間までは特に問題となる侵食は見られなかった。この種の難破堤堤防は那珂川、新川などで施工されている。

簡易な越水対策としては、建設省の都市型水害緊急委員会での提言や越水堤防実験結果で示されているように、堤防天端を舗装するだけでもある程度は耐越水効果があることが分かっているので、雨水の浸透対策も兼ねて天端舗装を行うことが重要である。

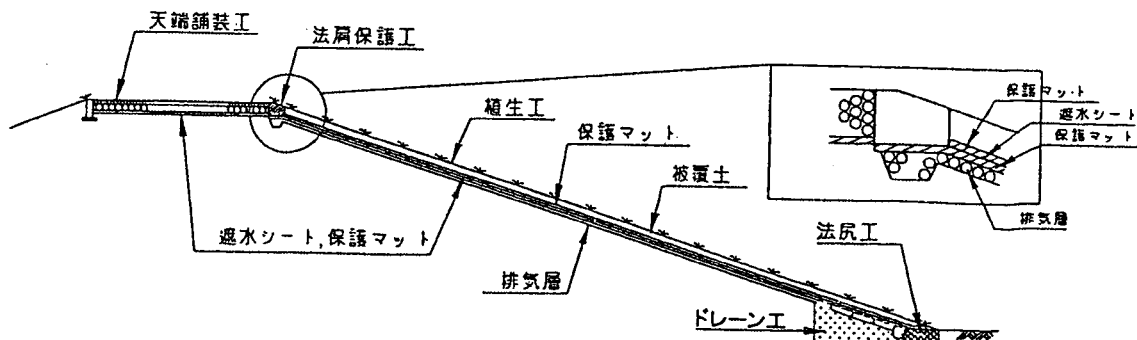


図-10 難破堤堤防の基本構造例

4. 2、漏水破堤

・漏水被害対策→光ファイバーによる崩壊検知

光ファイバーを漏水被害が発生しやすい川裏に配置しておくこと、光ファイバーが漏水に伴う法すべりを歪みとして検知し、危険情報として伝達することが出来る。滑りに伴う2cm以上の歪みがあれば、検知可能である。漏水被害の位置を2m精度で検知するには20km以下の地点に中継基地を設ける必要がある。一方、護岸基礎の浮き上がりに伴って、護岸裏の土砂が流失する。この現象を実験で再現し、光ファイバー（川表）で土砂の流失を検知できるかどうかの実験を行った。実験では光ファイバーの設置状態が十分でなかったために土砂が流失してから10～20分後に光ファイバーが反応する結果となった。まだ、検討課題は残るものの、光ファイバーは漏水崩壊のようなゆっくりとした現象には対応できるが、護岸崩壊のような速い現象に対応させるためには工夫が必要となりそうである。

4. 3、河岸侵食

・河岸侵食防止+環境対策→侵食防止シート

従来侵食防止工としてはコンクリート護岸などにより剛的に河岸を保護しようとしてきたが、侵食防止シートは法面の植生の耐力を活用したものである。最近の研究で植生自体にもある程度の耐侵食力があることが分かってきた。流速の速い洪水流で植生が流失するのは植生の根付近の土砂が洗われ、根が流失するためであり、根をシートにより守ることが出来れば、植生の耐侵食力が更に増大し、コンクリート護岸に遜色ない防御機能を発揮することが出来る（図-11）。また、シートの繊維間に土が充填されており、施工後植生が繁茂し、自然環境にとっても良い状態となることが期待される。侵食防止シートはポリエステルやポリプロピレン製で、繊維径が0.3～1.4mm、空隙率が9割以上のものである。コストはコンクリート護岸の約半分である。現在江戸川、阿武隈川、仁淀川などに試験施工されている。

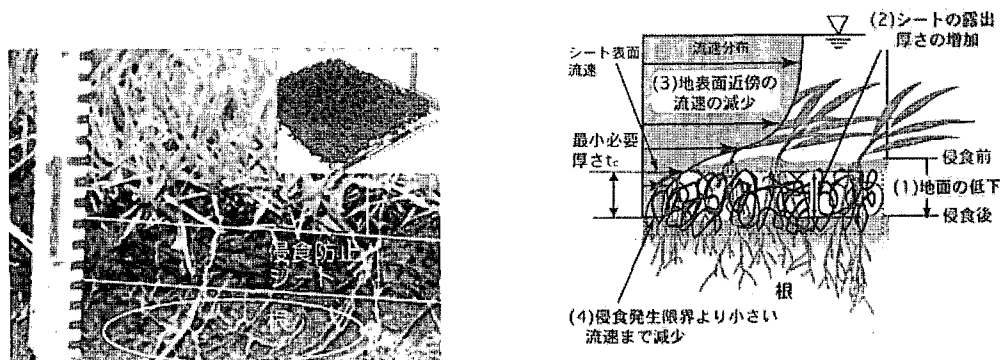
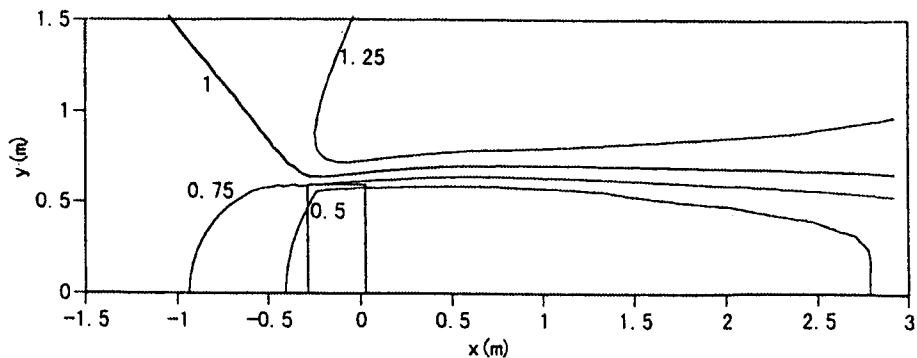


図-11 侵食防止シートの効果概念図

4. 4、氾濫流被害

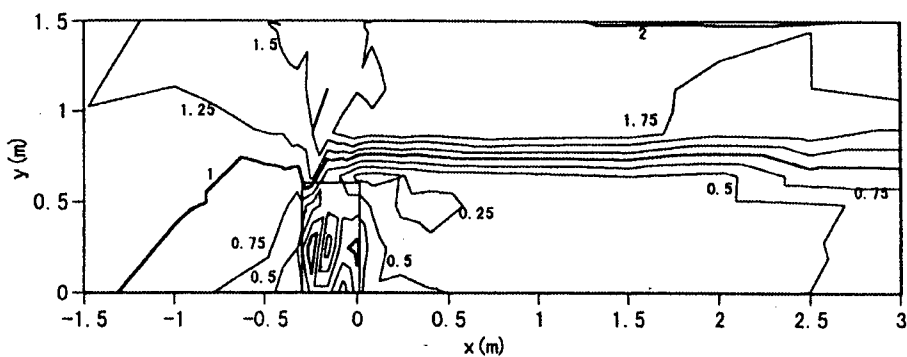
・氾濫流による家屋流失の防止→防災樹林帯

余笹川水害においては、家屋の上流側にあった樹林帯により多くの家屋が洪水氾濫による流失から免れた。現地調査の結果、樹林帯があった家屋の流失率は樹林帯がなかった家



(1) 実験結果

注) 水路半幅の範囲で示している



(2) 計算結果

図-12 樹林帯による無次元流体力 ($u^2h/u_0^2h_0$) の軽減効果

屋の流失率の約半分であった。こうした樹林帯の家屋流失防止効果は水理模型実験及び数値解析によっても明らかとなっている。すなわち、樹林帯には氾濫水を側方に跳ねる”水跳ね効果”があり、樹林帯の下流側は特に流速が低減され、その結果家屋に作用する流体力 (v^2h) が減少する傾向にある。図-12 に示すように、樹林帯により氾濫水の流体力が半分以下に低減される領域は樹林帯幅の約3倍である。なお、図中の流体力は樹林がない場合の流体力で無次元化している。この条件(現地換算値)は樹木(幹径21cm、間隔2.4m、枝あり)、樹木本数(流下方向4本、横断方向16本)、水理量(水深2.8m、平均流速3.3m/s)である。この手法は氾濫域では古来より採用されていたものであり、大井川流域や狩野川流域などで見ることができる。

・ 氾濫水の地下への流入

氾濫水は地下室へどのように流入して、浸水

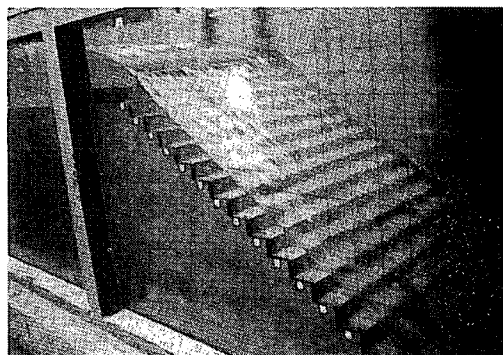


写真-1 地下施設への浸水流入実験

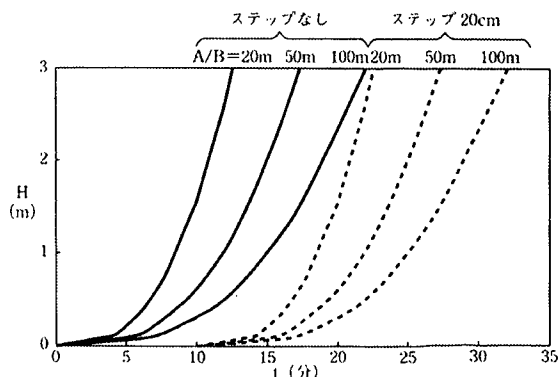


図-13 地下室浸水の t~H 関係

させるのであろうか。都市河川研究室では縮尺 1/3 の模型を用いて水理実験を行った（写真-1）。実験に使った地下室への階段は被害が発生した福岡及び新宿の階段の平均値より、蹴上（鉛直高）6cm、踏み面（奥行き）9cm とした。実験の結果、地下室への流入量Qは以下の実験式で表すことができる。

$$Q=2.3Bh^{1.8}$$

ここで Q：流入量（m³/s）、B：出入口幅（m）、h：道路上水深（m）

氾濫水の上昇速度は福岡（図-7）をはじめとする既往の水害実績より概ね 10～20cm/10 分であるから、20cm/10 分と仮定すると、前述の通り、t₁を道路浸水後、地下施設へ流入するまでの時間（分）、t₂を流入してから水深 H になるまでの時間（分）、S(m)を出入口と道路との段差として以下のようになる。

$$t_2=3.0 \left(\frac{A}{B} \cdot H \right)^{0.35}$$

$$t_1=S/0.02$$

ステップがある場合（図-13）、例えば

S=20cm（ステップ）の場合、t₁=10 分

S=80cm（ステップ 20cm+防水板 60cm）の場合、t₁=40 分

となり、地下室の水没時間 10～20 分程度に比べ大きな余裕時間を生み出せることになる。

5、今後の研究の一方向性

5. 1、水防法の改正と関連研究事例

上述のように近年の災害における課題として、外水、内水を含めた浸水危険度の的確な評価、これを踏まえた流域内の治水安全度バランスの考え方、地下空間対策、洪水時の情報の収集・伝達、避難体制の充実といったことがあげられる。

これら近年の災害をふまえて平成 13 年に水防法が改正された。主な改正点は以下の通りである。

- (1) 都道府県知事が管理する河川への洪水予報指定河川の拡大。
- (2) 洪水予報河川がはん濫した場合に、浸水が想定される区域を浸水想定区域として指定するとともに、浸水想定区域および浸水深を公表する。
- (3) 市町村地域防災計画において、浸水想定区域ごとに、洪水予報の伝達方法・避難場所その他円滑かつ迅速な避難の確保を図るため必要な事項を定める。
- (4) 浸水想定区域内に地下街などの不特定かつ多数の者が利用する地下にもうけられた施設がある場合には、利用者の円滑かつ迅速な避難の確保が図られるよう、市町村地域防災計画において洪水予報の伝達方法を定める。

このような課題に対し、国土技術政策総合研究所では地下空間の浸水危険度評価に関する研究、都道府県管理の中小河川などにおける洪水予測手法、レーザースキャナーを用いた河道、氾濫原データの作成技術の開発を行っている、また、外水と内水による浸水被害の危険性・安全度を評価するための技術開発として、水災シナリオ別の氾濫シミュレーション技術の開発及び避難誘導解析システム等の研究開発を行っている。

ここでは、特に以下の研究内容について紹介する。

5. 1. 1、地下空間の浸水危険度の評価に関する研究

都市内の地下空間は公共、民有をとわず無数にあるが、鉄道等一部の公共施設を除き多くは対策が遅れているのが実情である。したがって、地下空間における被害は全国至る所の地下空間において発生する可能性があり、今後、地下空間の浸水発生危険性を認識するとともに、浸水対策の実施や適切な避難行動の啓蒙を進めるためには、地下空間の浸水により生じると考えられる事態についての情報提供が不可欠である。このため、水害研究室では、地下空間への氾濫水の流入特性を明らかにするとともに、主要都市における地下空間の浸水リスク評価を行っている。

図-14 は、地下空間の危険度評価を行うにあたり考慮すべき氾濫形態を示した図である。考慮すべき氾濫形態は、以下のとおりである。

- ・局所的な集中豪雨等により発生する内水氾濫（窪地湛水等）
- ・中小河川からの溢水や破堤による外水氾濫
- ・大河川の破堤による外水氾濫

地下空間の危険性を評価するには、様々な氾濫形態を用いて評価する必要があるため、水害研究室では、内水・外水の双方を解析できる氾濫シミュレーションの開発を行っている。

また、地下空間の利用形態、施設規模等により、発生する浸水被害が大きく異なることから、地下空間規模毎に、浸水により起こりうる被害について、危険度評価ができるようにする。

図-15 は、上記の検討から得られる地下空間の危険度評価指標の表示例である。これにより、各地下空間の危険度ランクの表示を行い、危険度ランクに応じた地下空間の浸水防止対策方法を提示できる。

今後は、全国の主要な地下空間を対象とした地下空間の危険度評価データベースを構築する。

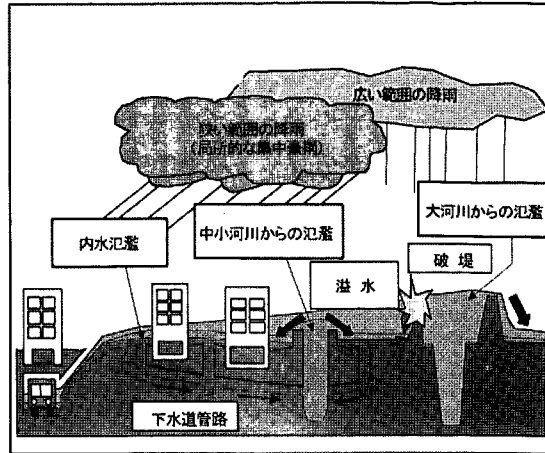


図-14 危険度評価で取り扱う氾濫形態



図-15 簡単な地下空間の危険度評価表示例

5. 1. 2、中小河川における洪水予測・氾濫解析技術の開発

洪水予測の現状を大臣指定河川について既往の調査結果から見ると、気象庁・気象協会等の予報雨量を基に算出した洪水流量を用いて予報しているケースが約6割と多い。このほか、民間会社等から得た予報雨量を用いて洪水流量を算出しているケースもある。算出に当たり、実績水位を用いてオンライン・キャリブレーションによりパラメータを自動修正して精度向上を図ったケースが2/3もある。一方、急流河川等で流量ではなく水位関連法により求めた水位を予測している地点も約1割ある。ただし、予測期間は2~3時間程度先となっており、今後より長期間の精度の高い予測が望まれる。

一方、水防法改正により、都道府県知事が管理する河川についても洪水予報をおこなうこととなり、洪水予報河川では、浸水想定区域を公表することとなった。しかしながら、都道府県知事が管理する中小河川では、洪水到達時間が短く、河道横断データや特に流量等の水文データが十分でない河川も多い。また、中小河川で氾濫解析を行うにあたっては、河道、氾濫原地盤データが十分でない流域もある。このような課題に対応するために、水文データ等の整備状況に応じた洪水予測手法とその精度分析を行い、中小河川における洪水予測手法と予測精度について提示を行う。また、河道氾濫原地盤データが十分でない流域での氾濫解析を可能とするために、航空機搭載のレーザースキャナーにより取得した地形モデルに基づく河道・氾濫原データの作成に関する研究開発を行っている。

中小河川の洪水予測については、図-16に示すように、各種洪水予測手法で、各種雨量データ（レーダ雨量、地上雨量）、予測雨量、流量データ（実測 H-Q 式、計算値）各種キャリブレーション手法を用いて、精度の検証、予測手法の提示を行う。

レーザースキャナーにより取得したデータを氾濫解析に適用する際のメリットは、都市計画図から得られる標高よりも高精度・高密度の標高を入手できることである。

レーザースキャナーデータの氾濫解析への活用方法として、以下の方法がある。

- ・高精度の地盤高を作成できることで、実態に即した氾濫解析が行える
- ・高密度の構造物の標高を入手できるため、詳細な構造物データ（盛土等）が作成できる
- ・詳細な地形モデルを要するシミュレーション手法（不定形メッシュによる解析）への適用性が高い

水害研究室では、このレーザースキャナーデータを利用し、氾濫解析に必要なデータの作成、

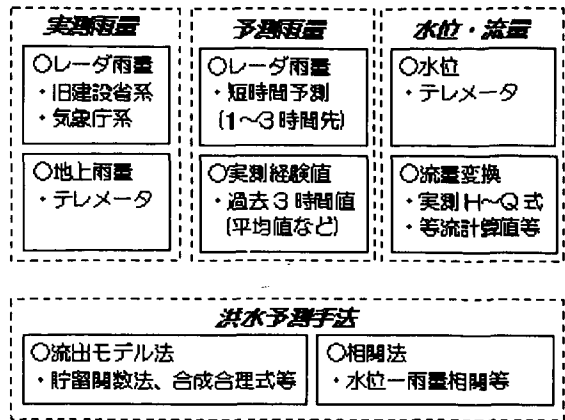


図-16 洪水予測手法検討内容

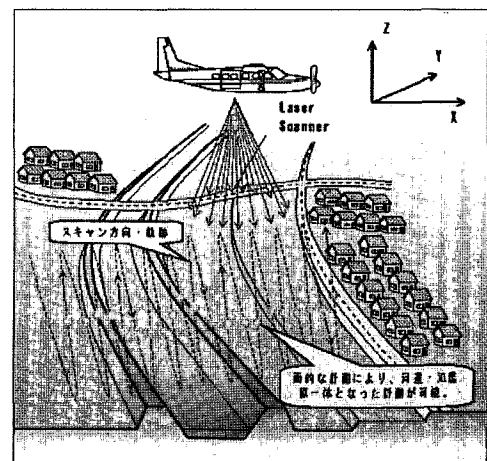


図-17 レーザースキャナーによる計測

精度向上に向けた研究を行っており、主な検討内容は、以下のとおりである。

- ・河道横断データの作成手法の検討
- ・不定形メッシュ（地形に適応したメッシュ）の作成方法の検討

5. 2、気象予測降雨の精度の向上に対応した研究事例

地球規模水循環変動（気象予測精度の向上）に対応した水管理技術に関する研究

全球的な気象データの収集・整理については、世界気候研究計画の相互協力プロジェクトとして統合地球観測戦略パートナーシップの支援を得ながら日本のリーダーシップのもと地球規模の水循環変動に関する強化観測プロジェクト（統合地球水循環強化観測計画（CEOP））が2001年7月より2004年9月を目指して行われている。このCEOPは、世界33箇所の地上観測サイトの観測データや衛星観測データ等を用い、モンスーンシステムの解明、水・エネルギー循環のシミュレーションと予測及び気象予測の精度の改善を目指している。また、3月より活動を開始している地球シミュレーターは、最大計算性能40テラフロップス（1秒間に40兆回の計算速度）、メインメモリーは10テラバイトの現時点で世界最高レベルの超高速並列計算機システムで、地球観測衛星やブイ等からの観測データ等を積極的に活用しながら、地球温暖化、大気や海洋の汚染、エルニーニョ現象、集中豪雨及び台風の進路予想、1kmメッシュでの雲の活動・降水過程の3次元的再現等の複雑な現象を理解することができ、経済社会活動の発展や地球環境問題の解決への貢献ができるものと期待されている。さらには地殻変動、地震発生等の現象の解明への貢献も期待されている。現在気象庁では短期予報の一つとして防災気象情報については、日本周辺について水平解像度10kmで18時間先までの予想を1日4回行っている。また、長期予報については、地球全体について水平解像度110kmで1か月先までの予報を週1回行っている。上述の観測体制の強化や計算技術の向上している状況のなかで、数値予報モデルについてもGSM60km、MSMからNHMモデルの開発へと進み、モデルの水平解像度もそれぞれ60kmから40kmへ、20kmへ10kmから5km更には2.5kmへとより狭い気象現象を対象としている。東海豪雨もその傾向を再現することが可能となってきた。また、台風モデルについても40kmから20kmへと解像度を上げようとしている。

国総研においてもこの様な気象予報精度の向上が見込まれる状況を受け、降水量の実測値にもとづく従来の経験的な水管理を打開し、気象衛星による地球規模の気象観測等により精度が向上しつつある予測降水量を新たに活用して洪水予警報、貯水池の効率的運用等を行うことができる次世代型水管理技術の開発を目指した研究を計画している。

降水量の変動が経年的に拡大する傾向にあり、未曾有の洪水や渇水の発生する危険性が増大しつつある。従来、洪水予測などの水管理は実績降水量をもとに行っており、予測降水量を適用したものとはなっていない。このことが、浸水時の避難の遅れや被害を増大化させる一因となっている。洪水や渇水に機動的かつ的確に対応するためには、降水量の予測情報を活用した水管理を行うことが急務である。このため予測降水量を誤差の影響を加味したうえで水管理に活用する技術を開発することができれば、災害や渇水の発生を事前に予知し、被害の防止・軽減を図り水災害等の防止・軽減による安全な社会の実現に貢献で

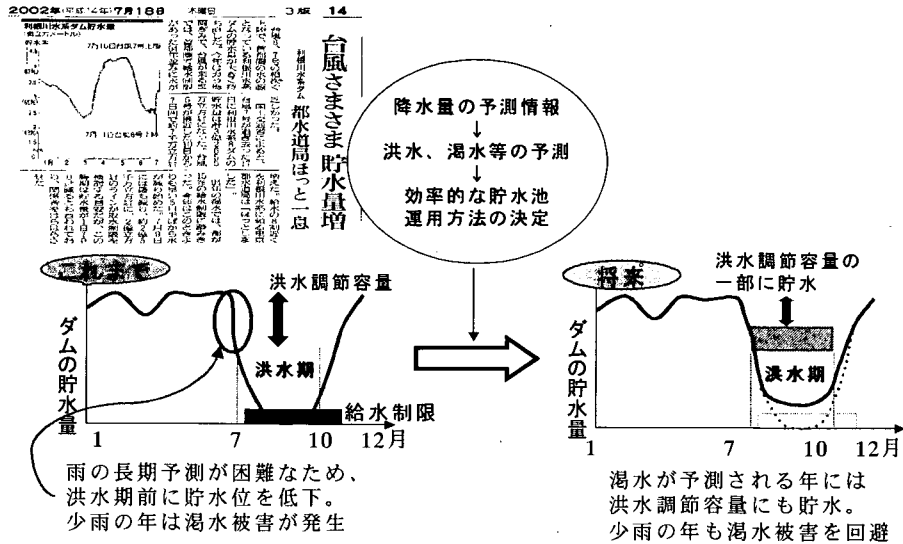


図-18 貯水池の効率的運用による効果の例 (出典：朝日新聞)

きる。

総合科学技術会議・環境分野の重点課題「地球規模水循環変動研究」が平成15年度から開始され、産学官連携のもとに予測降水量の精度向上等が図られる予定であり、これと連携して取り組むこととしている。

研究の成果の具体例として貯水池の効率的運用を示す。この図-18に示すように渇水が予想される場合には洪水調節容量にも貯水しておきこれを渇水時に補給することにより被害を軽減し、逆に大規模な洪水が予想される場合には利水容量を洪水調節のために用いることにより洪水被害を軽減するなど、貯水池が有する潜在的な治水、利水機能を発揮させ、既存施設を有効活用することが可能になる。

6、2002年ヨーロッパ洪水

2002年8月及び9月に、チェコ、ドイツ、ロシア、オーストリア、フランスで大洪水が生じた。ここでは、このヨーロッパにおける洪水について述べる。

6. 1、降雨・気象状況及び被害状況

スカンジナビア半島付近にブロッキング高気圧が形成され、寒冷低気圧が欧州を東進したため、大気の状態が不安定となった。8月に入りヨーロッパの広い範囲で降水量が多くなり多くの地点で異常多雨となった。大きな被害が発生したドイツのドレスデンでは、8月1日～13日の間に平年比7.6倍の降雨量があり、ヨーロッパ各国の主要観測点で、平年比4倍から8倍の降雨量となった。また、フランスでは、9月8日から9日にかけて50年ぶりといわれる集中豪雨に見舞われ、ガール県ニームでは24時間で762mmとほぼ1年間の降水量に匹敵する雨量を記録した。ドイツのドレスデンでの最高水位はこれまでの最高の1845年より65cm高く流量確率で300年確率と評価されている。

死者数は150人以上(チェコ17人、ドイツ20人、ロシア62人、オーストリア8人、フランス27人他)に及び、復興費用は、ドイツで約1兆5500億円、チェコで約2400億円と報告されている。また、避難者数はチェコで約20万人、ドイツで約13万人と報じられ

ている

6. 2、原因と災害対策の現状

前述の通り異常降雨が大きな原因であるが、

- ①旧東ドイツでは、川が増水した際運河建設で水を迂回させる措置がとられておらず、治水対策を無視した改造が押し進められていた。
- ②近隣諸国と合同の洪水対策がとられていなかったことも被害を大きくした一因。
- ③もともとは氾濫原であるところに家屋や工場が無秩序に広がったために事態が悪化した。
- ④フランスでは、河川が増水による危険周知が十分に行われなかったとの指摘がある。

なお、ドイツでは8月の大洪水以降、「洪水防止対策改善のための作業ステップ」連邦政府の5項目プログラムとして、関係省庁が諸州と地方自治体、及び近隣諸国と協力して具体的な作業ステップを実施することで合意している。以下にその概要を述べる。

(1) 連邦政府と諸州政府合同の洪水防止プログラム

○河川の氾濫原の確保

既開発地は堤防で保護するが、下流地域における洪水の危険性が増大することから、非開発地域では堤防の撤廃などによって河川本来の氾濫原を復元する。また、制御可能な遊水地を確保する。

○分散による洪水の制御

現存する河岸地帯の樹林の効果的な保護、可能な範囲でその復元、河川の流路直線化や護岸工事を行った地域の再自然化、洪水の浸透などによる開発地の貯留能力向上、峡谷地や浸食のおそれのある傾斜地ではその場所にふさわしい土地利用の保障。

○土地開発の制御——潜在的な損害の低減

今後、氾濫原地域を新たな住宅地域や企業地域に指定しない。また、すべての河川において時間的に余裕を持って確実な洪水予警報を発する。

(2) 国境を越えた行動プラン——国際的な専門家会議

州や国を越えて河川流域単位で洪水防止対策を進めることが、不可欠であることから、各河川委員会は気候変動に対して明確な期限を設けた提案を作成する。これを採決して各分野の当該組織と共同して実行に移す。

(3) ヨーロッパの共同作業の推進

洪水防止対策の枠組みにおいて国境を越えた地域開発プランを含むプロジェクト、国境を越えたプランへと変更するプロジェクトを政策的に支持する。指定された氾濫原を含んだ国境を越える地域開発プランを作成するにあたっては、上流地域と下流地域の国境にとらわれず連帯することが必要である。

(4) 河川改修の見直し——環境に配慮した船舶航行を展開

船舶航行用の河川改修は、流路の変更をとめないこれにより洪水が発生しやす

くなる。すべての改修プランおよび同様の影響を与えると思われるすべての整備措置を見直し、その洪水防止に対する効果を新たに評価する。

6. 3、ヨーロッパ洪水における教訓

アジア諸国の河川は、一般にヨーロッパやアメリカ等の大陸の河川にくらべて、気候的にも湿潤多雨の気候であり、また流域面積が小さく急勾配な河川が多いため、流出が早く河川の水も一気に増水し流下する。これに対して、ヨーロッパ、アメリカ等の大陸においては、流域面積が大きく、河川の勾配も緩いため、アジアモンスーン地域にくらべて、洪水による被害が少なく、水が多い（Too much water）といった問題すなわち洪水については他の水問題に比べてあまり大きな関心は払われていなかった。しかしながら、前述のドイツにみられるように今回の洪水を契機に洪水対策について再度見直し等が図られ、世界的にも注目されるようになった。

また、河川、流域特性の違いがありその具体の手法には違いがあると思われるが、土地利用規制、流域の貯留・浸透機能の確保といった日本でも今後さらに充実が必要とされる課題についてドイツにみられるようにヨーロッパにおいても課題となっていることがわかる。

7、おわりに

2002年は世界中で洪水が発生した。特にヨーロッパの洪水は生起確率が数百分の1以下の豪雨による極めて起こりにくい現象と考えられている。しかし、これまで述べたような日本の最近の事例を見ると、同ような生起確率の豪雨が日本の各地で既に発生しており、その意味では起こるべくして起こった洪水と言えるのかもしれない。日本においても一層の洪水への備えが求められていると考える。そのための参考になれば幸いである。

参考文献

- ・末次忠司：過去の水害を教訓とした 21 世紀の水防災－水防災研究と施策への反映－、京都大学防災研究所研究集会、2001 年
- ・藤田光一：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、1999 年
- ・常田賢一他：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、2001 年
- ・末次忠司：都市型地下水害の実態と対策、雨水技術資料、Vol. 37、2000 年
- ・末次忠司：水害被害の要因分析と減災に向けた対策のあり方、水工学に関する夏期研修会講義集、2002 年
- ・建設省河川局治水課：河川堤防設計指針、2000 年
- ・武富一秀・館健一郎・金木誠：地下空間の浸水リスク評価のための基礎検討、第 57 回年次学術講演会講演概要集、II-286、2002 年
- ・川本一喜・館健一郎・武富一秀・金木誠：レーザースキャナーデータを用いた中小河川河道モデルの作成手法に関する研究、河川技術論文集、第 8 巻、2002 年
- ・2002 年 8 月 22 日付けロイター、The Japan Times
- ・2002 年 8 月 16 日付けロイター報道
- ・(財)海外建設防災協会：防災、第 640 号、2002 年
- ・2002 年 9 月 12 日及び 9 月 25 日付け仏新聞 Le Figaro
- ・2002 年 8 月 19 日付け BBC News