

水災防止対策の今後の方向性に関する研究*

STUDY ON THE DIRECTIVITY OF MEASURE TO FLOOD DEFENSE *

木村 秀治**・片田 敏孝***

By Shuji KIMURA** and Toshitaka KATADA***

1. はじめに

水災防止対策においては、ハード対策の限界と共に、ソフト対策との連携や、災害を押さえ込む“防災”から、ある程度の被害を許容する“減災”を目指した対策への転換の必要性が指摘され、多くの場面で論じられてきている。しかし、これまでの研究では、どこにハード対策の限界があるのか、どうソフト対策と連携を図るのか、また減災対策を展開する際に重要となる被害の受容にどう社会的同意を得るのかなどが、明確に論じられてはいない。それは、水災の発生確率や被害の規模、それらを評価しての対策方針の決定など、一連のプロセスが体系的に論じられていないことが要因ではないかと推察する。

以上のような認識のもと本稿では、現在考えられる様々な水災防止対策を、管理・実施する3つの局面（リスク管理、危機管理、復旧・復興管理）から分類し、さらに4つのリスク対応方針（削減、回避、保有、移転）などから分類して、水災防止対策の枠組図を作成し、ハード対策とソフト対策、防災対策と減災対策の関係を俯瞰し今後の対策の方向性について考察する。そして、今後の方向性として、効率的・効果的な対策を展開するには、安全工学の分野などで体系化が進んでいる“リスク管理”の導入が必要なことを論じ、水災防止対策におけるリスクの定義やリスクの評価方法、リスク管理の進め方などについて、現状の技術的課題も踏まえて検討・提案する。

2. 水災防止対策の枠組と研究の方向性

本章では、水災防止対策の分類化を試み、その上でハード対策とソフト対策、防災対策と減災対策の関係などを俯瞰し、今後の対策の方向性について考察する。なお、“水災”という言葉には、広義には津波や高潮、或いは土砂災害も含まれる場合もあるが、本稿では降雨に起因して発生する河川災害を対象として論じることとする。

著者らが考える水災防災対策の枠組を図-1に示す。この枠組図は、まず現在考えられる全ての水災防止対策を管理・実施する局面（フェーズ）から時系列に3つに分類して作成した。第1のフェーズは、災害の発生を抑制して危機的状況にならないように対処する局面で、いわゆる“リスク管理”を実施する局面である。第2のフェーズは災害が発生した際の対策活動を行う局面で、“危機管理”を実施する局面、第3のフェーズは災害発生直後に応急的な復旧を行ったり、その後の抜本的な復興を行う局面で、“復旧・復興管理”を実施する局面である。なお、本稿では、3つのフェーズの内、リスク管理フェーズにおける対策をベースに検討を進める。次に、リスク管理フェーズにおける対策を、リスクの削減を目指す“リスク削減”、リスクとの遭遇からの回避を目指す“リスク回避”、リスクの保有の受容を目指す“リスク保有”、保険などによってリスクの移転を目指す“リスク移転”の4つのリスク対応方針に分類した。さらに、施設整備を主体とした対策を“ハード対策”と定義して、該当する対策にアンダーラインを引いた。

この枠組図を、洪水を堤内地（居住地）側に氾濫させないことを主な目的とする対策を“防災対策”と定義して俯瞰すると、防災対策とは1)洪水防御、2)雨水の流出抑制・制御であり、ハードを主体とした対策である。一方、洪水が堤内地側に氾濫した際に被害を最小化することを主な目的とする対策を“減災対策”と定義して俯瞰すると、減災対策は3)安全な土地利用や4)被害を受容する土地利用、5)保険制度の活用で、ソフトを主体とした対策であり、ハード対策の限界や減災対策への移行の必要性の指摘は、主に洪水防御対策を対象にしていると考えられる。ここで留意しなければならないのは、洪水防御対策そのものに技術的限界があるのではなく（もちろんゼロ災害を目指すことは、対象が自然現象（災害）であり、事実上困難ではあるが）、ハード対策を中心とした洪水防御対策に今まで以上のコストをかけることに対する社会的同意が得られないことを持って、限界と言われているということである。2004年災では200名を超える死者・行方不明者が風水害により発生し話題となったが、年間千人単位での死者・行方不明者が発生していた1950年～60年代から比較すれば大幅に減少しており、このことを

*キーワード：防災計画，河川計画

**学生会員，群馬大学大学院工学研究科 環境創生工学領域，
(〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5-1
TEL.0277-30-1651, FAX.30-1601)

***正会員，工博，群馬大学大学院工学研究科
社会環境デザイン工学専攻

洪水防御対策の効果が表れたものと評価することへの異議は少ないが、年間十人単位、百人単位の死者・行方不明者への対応として洪水防御対策を進めることには、社会的同意が必ずしも得られないと推察することができる。

すなわち、今後の水災防止対策の方向性として、ハード対策や防災対策を今までどおり進めるにしても、ソフト対策や減災対策に主体を移行するにしても、社会的同意が得られる説明性の高い効率的・効果的な対策を展開するには、水災の発生確率や被害の規模、それらを評価しての対策方針の決定など、一連のプロセスを体系的に論じる必要があり、そのためには安全工学の分野などで体系化が進んでいる“リスク管理”の導入が必須であると考え。そこで本稿では、水災防止対策におけるリスクの定義やリスクの評価方法、リスク管理の進め方などについて、現状の技術的課題も踏まえて検討・提案する。

3. 水災防止対策へのリスク管理導入

(1) リスクの定義

水災防止対策におけるリスクを定義する場合、リスクをどのような視点に立って捉えるかによってその定義は大きく変わってくる。河道内の洪水時の水位が計画高水位に達することをリスクと考えるならば、すなわち洪水水位が計画高水位に達すれば破堤すると仮定するならば、水災防止対策におけるリスクは、アメリカ原子力委員会などで使用される¹⁾ 式-1で定義することができる。

$$\text{リスク} = \text{発生確率} \times \text{被害規模} \quad \text{(式-1)}$$

また、あくまでも堤防が破堤することをリスクと考えるならば、リスクはMITによる定義、式-2となる。

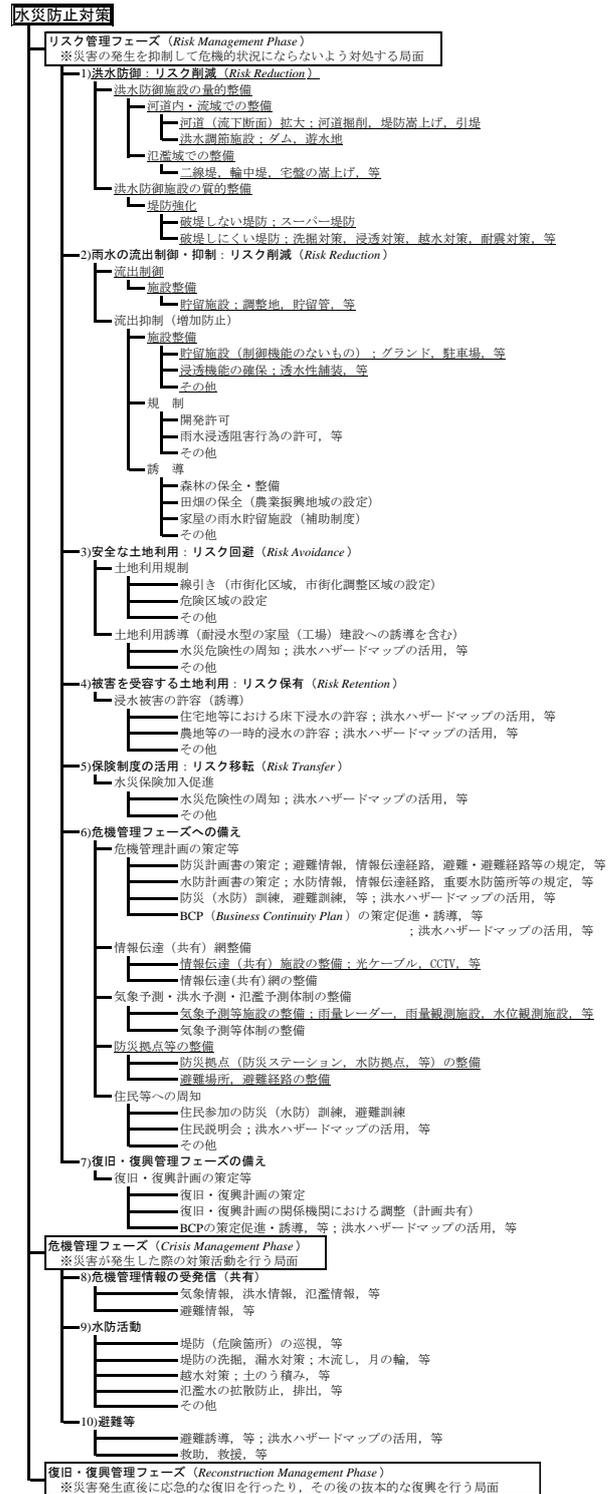
$$\text{リスク} = \text{Hazards} / \text{Safety Guards} \\ = \text{潜在危険性} / \text{安全防護対策} \quad \text{(式-2)}$$

さらに、堤内地（居住地）側から、すなわち住民が水災に遭遇することをリスクと考えるならば、リスクはインリッヒの産業災害防止論による定義、式-3となる。

$$\text{リスク} = (1) \times (2) \times (3) \quad \text{(式-3)}$$

- (1) ; 潜在危険性が事故となる確率
- (2) ; 事故に遭遇する可能性
- (3) ; 事故による被害の大きさ

水災防止対策においてリスクの定義に式-2, 3を採用する場合は、堤防の安全性に関する技術の確立が必須である。しかし、堤防は過去の被災経験などを踏まえてその形状が決まっており、現在の技術では基礎地盤や堤防の土質から浸透による破堤の危険性などは評価できるが、破堤する可能性を形状や土質から確率評価できるレベルにはない。そこで、現状の技術レベルでは、自ずと式-1を水災防止対策の定義とすることになるが、この式は単純に掛け算の結果としてのリスク値でのみリスクを判断するわけではなく、発生確率と被害規模の大小関係でリス



(注) 1. 復旧・復興管理フェーズの対策枠組は、被災の規模などに応じて、リスク管理フェーズで策定した復旧・復興計画に基づく対応となる。
2. アンダーライン対策は、ハード対策（施設整備を主とした対策）を示す。

図-1 水災防止対策の枠組

クを捉えることができ、リスクを評価し対応方針を決定する場合にも有効で優れたリスク定義である。そこで、以下、式-1を水災防止対策に適用する場合の課題と対応方法について述べる。

式-1を適用する場合、洪水水位が計画高水位に達する“発生確率”をどう求めるかが重要になってくる。現在の洪

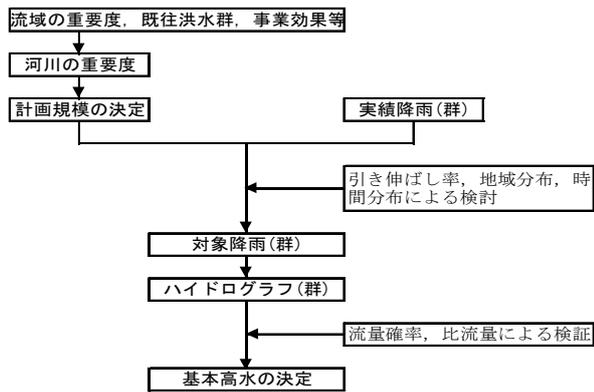


図-2 基本高水決定プロセス²⁾

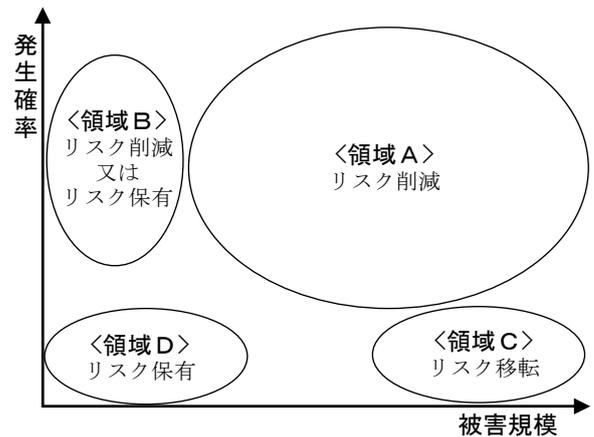


図-3 水災防止対策におけるリスク対応方針

表-1 河川の重要度と計画の規模²⁾

河川の重要度	計画の規模 (対象降雨の降雨量の超過確率年) [※]
A級	200以上
B級	100~200
C級	50~100
D級	10~50
E級	10以下

(注) ※は年超過確率の逆数。

水防計画では、一般的に図-2のプロセスを踏んで基本高水（ハイドログラフ）が決定され、それをダムや遊水地などの洪水調節施設で調節した後河道を流下してくるピーク流量を対象にして、準二次元不等流計算により洪水位を求めている。その水位の発生確率は、基本高水を決定する際に決めている“計画規模”をベースに各河道断面でH-Q式（水位流量曲線式）を作成して求めることになる。計画規模は、表-1に示す“河川の重要度”から決まっており、一般的に一級河川の主要な区間はA～B級、一級河川のそのほかの区間及び二級河川においては、都市河川はC級、一般河川は重要度に応じてD級あるいはE級が採用されている例が多い²⁾。

すなわち、現在の洪水防衛計画では、降雨量から流量を求め、その流量から水位を求める手順となっており、降雨量の年超過確率が降雨量から求まる水位の生起確率に連動している。しかし、降雨は量だけでなく、“時間分布”や“地域分布”によっても表されるもので、降雨発生時の土壌の状態（降雨の河川への“流出率”や、土壌が飽和状態となるとき雨量“飽和雨量”）と共に、流量に大きな影響を与えることなどから、雨量と流量は1:1の関係にはない。さらに、計画の降雨継続時間の設定によっては、計画規模に対応する降雨量や“降雨の引き伸ばし率”も変わり、流量の計算値も大きく変化する。したがって、水災防止対策でリスク管理する場合の“発生確率（計画規模の逆数）”に対応する水位は、一般的に現在用いられている計画規模相当の雨量から流量を求める“雨量確率”手法によるのではなく、過去の実績流量を確率処理して直接計画規模に相当する流量を求める

“流量確率”手法によるべきと考える。

なお、流量と水位の関係においても、水位は洪水発生時の河道の状況（河床材料、砂州、樹木の繁茂状況など）や河口の水位の影響を受け、流量と水位も1:1の関係にはない。しかし、洪水の流れにくさを表現する“粗度”に、近年の大規模な洪水の逆算粗度（現場に残された洪水の痕跡に水位の計算値が近似するよう求めた粗度）を用いることによって、流量から対応の安全性が確保された水位の再現ができ、大きな問題は生じないと推察する。

式-1の“被害額”は、洪水位が計画高水位に達した時に破堤すると仮定して、氾濫シミュレーションを行い算出する。著者らが考える被害額算出における課題と対応策などについては、木村ら³⁾を参照したい。

(2) リスクの評価

水災防止対策におけるリスクは、前節で述べた方法により“発生確率”と“被害規模”を求め、図-3を基本に評価（対応方針を検討）することを提案する。すなわち、被害規模が大きく発生確率も高い“領域A”のリスクに対してはリスク削減を、被害規模は小さいが発生確率の高い“領域B”にはリスク削減またはリスク保有を、被害規模は大きいが発生確率が低い“領域C”に対してはリスク移転を、被害規模が小さく発生確率も低い“領域D”にはリスク保有を基本的な対応方針と考える。なお、リスクの回避となる“安全な土地利用対策”は、人口動態や都市政策などの影響を強く受け、リスクの発生確率と被害規模の関係からだけで評価できる対策でないことから、リスク対応方針図にリスク回避は記載していない。また、同対策は、被害を最小化する上では最も効果的な究極的な対策ではあるが、現実的には現状の社会・経済を支える土地利用の実態や歴史的経緯、地理的条件などから非常に実現性の低い対策と言わざるを得ないという側面もある。

具体の対策は、水災防止対策の枠組（図-1）に示したリスク対応方針毎の各対策について、費用対効果（Bene

fit/Cost) を算出し、地域（住民）などの意向も踏まえて決定することが、最も社会的同意を得やすいと考える。

(3) リスク管理の進め方と危機管理への移行

筆者らが考える“リスク管理”を進めるためのシステムを図-4に示す。まずは、水災防止対策の対象とする洪水として、近年の最大規模の洪水、計画規模の洪水（基本高水）、計画規模を上回る洪水（超過洪水）などを選定する。流域が広く降雨の地域分布・時間分布によって支川・本川の流量が大きく異なってくる場合には、基本高水を決定する際に検討した他の洪水パターンも対象とする必要がある。これら洪水が発生した場合に、現況の河道を洪水がどう流下するのか、どこで溢れ、どう氾濫するのかをシミュレーションしてリスクシナリオを作成する。そして、各々のリスクを算定し、リスク対応方針を検討する。具体の対策は、水災防止対策の枠組（図-1）から選択し、費用対効果が最も大きくなる対策を基本的に地域（住民）などの意向確認を進めるが、費用対効果が1を下回ったり、地域（住民）などの同意が得られない場合には、シナリオの作成、あるいはリスク算定、リスク評価から再検討する必要がある。

このように、水災防止対策の枠組と連動させてリスクを管理を行うことが、ハード対策とソフト対策、防災対策と減災対策の適切な連携、役割分担につながると推察する。さらには、被害を受容する土地利用などの対策にも社会的同意が得やすくなる。なお、複数の河川の影響（氾濫被害など）を受ける地域では、リスクの発生確率のベースとなる計画規模の決定方法（河川間のバランス）が重要となる。基本的には、発生確率を計画規模の逆数、被害規模を想定氾濫区域内の資産として、それを乗じてリスク値を算出し、そのリスク値が河川の重要度に応じて同程度になるよう計画規模を決定すべきと考える。

“リスク管理”から“危機管理”への移行も、リスク管理で作成したシナリオを基に検討することにより、スムーズな移行が可能になると推察する。洪水の状況に応じて、どこまでを水防活動で守るのか、避難誘導に重点を置くのかは、事前にシナリオを策定して検討することが重要である。また、リスクの定義でも河川水位を基準にすることを提案したが、危機管理においても同様に河川水位を基準に危機管理行動（活動）を規定すべきと考える。“水防計画”は河川水位を基準にして活動が規定されているが、従来、“地域防災計画”では避難勧告、避難指示などの基準が市町村長の判断に任されており、明確な基準が規定されていなかった。近年は、避難勧告の遅れなどの指摘を受け、避難勧告などの基準に河川水位との連動が進められているが、災害対策基本法で“防災業務計画”の策定を規定されている指定公共機関も含め、全ての機関の“防災計画”が同じ基準（河川水位）

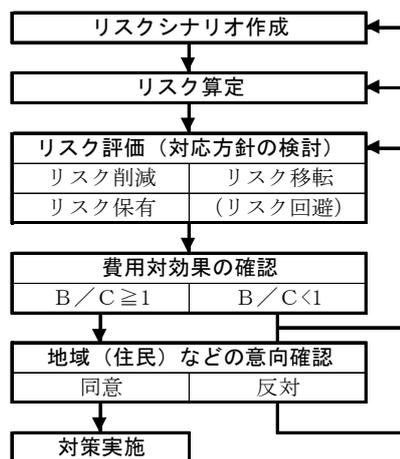


図-4 リスク管理システム

で危機管理行動を規定することが、関係機関の適切な連携につながると推察する。国土交通省中部地方整備局では、指定公共機関も含めた52の機関からなる「東海ネーデルランド高潮・洪水協議会（作業部会）」⁴⁾を組織して、危機管理行動計画の策定を進めているが、このような取り組みが今後重要になってくる。なお、同協議会では、中部地域で想定される最大規模のハザードを想定して危機管理計画の策定を目指しているが、“危機管理”や“復旧・復興管理”では、想定される最大規模のリスクを想定することも重要な視点である。計画目標を大きくするとその対策費用も増大するハード対策に対し、ソフト対策は大幅な対策費用の増大に繋がらないことや、最大のリスクへの備えはそれを下回るリスクへの冷静・的確な対応につながるとの推察がその理由である。

4. おわりに

本稿では、水災防止対策の枠組を示した上で、水災防止対策にリスク管理を導入する場合の課題と対応策を提案した。水災防止対策、特に洪水防御計画は、いわゆる経験工学と言われる分野であり、定量的な判断を求められるリスク管理には馴染まない事項が種々存在するが、社会的同意を得て水災防止対策を実施し、国土・国民の安全を確保していくためには、クリアすべき必須の課題である。本稿がその一助になればと考える。

参考文献

- 1) 社団法人日本技術士会：技術士制度における総合技術監理部門の技術体系，p.119，2001.6.
- 2) (社)日本河川協会編：国土交通省 河川堰防技術基準 同解説 計画編 山海堂，pp.29-34，2005.11.17.
- 3) 木村秀治，石川良文，片田敏孝ら：都府県水害における事業所被害の構造的特質に関する研究，土木学会論文集D，2007（登載予定）.
- 4) 国土交通省中部地方整備局河川部：東海ネーデルランド高潮・洪水協議会，同部ホームページ（http://www.cbrmlit.go.jp/kawai/onizutokai_nederland/index.htm）.