

# 高規格堤防の洪水被害軽減便益評価法に関する研究\*

## Study on Estimation of Flood Damage Reduction Benefit of High Grade Levees\*

玉井昌宏\*\*

by Masahiro TAMAI\*\*

### 1. はじめに

個別の治水事業の経済効率性評価においては、計画洪水を対象として、ある特定の堤防区間を破堤させることによって被害額が計算されることがあるようだ。治水経済評価のマニュアル<sup>1)</sup>の中では、破堤の治水便益に及ぼす影響について、全く触れられていないにも拘わらず、このように治水事業計画者が破堤を重視する理由は、様々な洪水被害の現場に立ち会った経験から、堤防上をうまく越流させることは非常に難しく、破堤を伴うことが多いこと、加えて破堤によって被害が格段に大きくなることを知っているからであろうと思われる。

しかしながら、このようにして求められた被害額の意味合いについては十分吟味しなければならない。想定洪水発生条件付確率として表示した破堤の発生確率は1になりえないであろうから、評価された被害のリターンピリオドは想定洪水のそれを上回ることになる。したがって、計画レベルを代表させる被害額としては不適當であり、あくまで想定洪水の下で発生可能なひとつの被害パターンの評価額でしかあり得ない。事業効率性評価の信頼性を向上させるためには、こうした課題についても解決してゆかなければならないと考えられる。

さて、高規格(スーパー)堤防の主要な効用は言うまでもなく治水安全度の向上であるが、各種パンフレットにおいても強調されているように、「破堤しない」あるいは「破堤しにくい」ことが重要である。というのは、破堤を考慮しない場合、堤防断面形状に拘わらず天端高さが同じであれば、堤防溢流により生じる被害は同一であるからである。つまり、通常堤防の脆弱性を適切に評価しない限り、堤防高規格化による洪水被害

軽減便益についても評価し得ないという関係にある。

本研究では、破堤の洪水被害リスクに及ぼす影響の評価方法を提示する。その上で単純な洪水被害を想定して費用便益分析を行い、堤防高規格化の便益について検討する。

### 2. 破堤を考慮した場合の洪水被害軽減便益評価法

#### (1) 基本的な考え方

リスクベースの経済評価においては、洪水被害額の期待値  $D_E$  は次式のように定義される。

$$D_E = \int_{x_{1L}}^{x_{1U}} \int_{x_{2L}}^{x_{2U}} \cdots \int_{x_{nL}}^{x_{nU}} D(x_1, x_2, \cdots, x_n) \cdot f(x_1, x_2, \cdots, x_n) dx_1 dx_2 \cdots dx_n \quad (2-1)$$

ここに、 $x_i$  : 洪水の被害額を規定する要因であり、その発生確率分布が求められているもの、 $D$  :  $x_i$  の場合の被害額、 $f$  :  $x_i$  の生起確率密度分布、 $x_{iL}$ 、 $x_{iU}$  :  $x_i$  に関する積分範囲の下限値と上限値である。例えば、確率密度分布として、流量  $Q$  の洪水発生確率分布のみを考慮する場合は次式のように表示できる。<sup>2)</sup>

$$D_p = \int_{Q_p}^{\infty} D(Q) f(Q|\theta) dQ \quad (2-2)$$

ここに、 $D(Q)$  : 流量  $Q$  の時の被害額、 $f(Q|\theta)$  : 流量  $Q$  の生じる母数  $\theta$  の年確率密度分布である。 $Q_p$  : 無害流量であり、治水レベルを流量で表現したものである。式(2-2)では、 $Q_p$  を下回る規模の洪水に対しては、全く被害が生じないことを仮定していることに注意しなければならない。次に、洪水被害軽減便益  $B$  は、次式のように、治水事業によって軽減された被害額によって評価される。

$$B = (D_p - D_f) = \int_{Q_p}^{Q_f} D(Q) f(Q|\theta) dQ \quad (2-3)$$

ここに、 $D_f$  : 治水整備を実施した場合の洪水被害額の期待値(年額)、 $Q_f$  : 治水事業実施後の無害流量であ

\*キーワード：治水，堤防，経済評価

\*\*正員，大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻  
(大阪府吹田市山田丘 2-1, TEL・FAX:06-6879-7604,  
E-mail:tamai@ga.eng.osaka-u.ac.jp)



は大きくなると考えられることから、本論ではこのパラメータを堤防の高規格度と捉えることにする。但し、この高規格度の表現は種々可能である。例えば、図-1のように破堤確率変化が線形である理由はない。また、線形である場合にも、h軸切片の値を変化させることもできる。破堤後の堤防高さ  $H_{LB}$  については、洪水条件や破堤状況によって種々変化することから、ここでは、破堤下限水深  $\alpha_B H_{L0}$  に等しいと仮定した。これらより、式(2-5)は次式のように変形される。

$$D_E = \int_0^{Q_1} D(Q, H_{L0}) f_Q(Q) dQ + \int_{Q_1}^{Q_2} \{D(Q, H_{L0}) P_{B2} + D(Q, \alpha_B H_{L0}) (1 - P_{B2})\} f_Q(Q) dQ + \int_{Q_2}^{\infty} D(Q, \alpha_B H_{L0}) f_Q(Q) dQ \quad (2-11)$$

但し、 $P_{B2} = (h / H_{L0} - \alpha_B) / (1 - \alpha_B)$  ,  
 $Q_1 = \frac{1}{n} \alpha_B^{5/3} H_{L0}^{5/3} B S_0^{1/2}$  ,  $Q_2 = \frac{1}{n} H_{L0}^{5/3} B S_0^{1/2}$  ,  
 である。

河川区域の余裕や周辺地域の土地利用状況等によって、建設コストは大きく変動する。堤高の 2-3.5 乗程度とする研究成果もあるが<sup>2)</sup>、わが国の都市域では用地買収費の建設コストに占める割合が大きい。ここでは、年額換算した堤防設費用については、堤体容積、堤体幅、堤高に比例する部分に分割できると仮定して、次式のような形式により計算する。

$$C(H_{L0}, W_L, L_L) = L_L (\tilde{\alpha}_C H_{L0} W_L + \tilde{\beta}_C H_{L0} + \tilde{\gamma}_C W_L) \quad (2-12)$$

ここに、 $W_L(m)$  : 堤体幅、 $L_L(m)$  : 堤長、 $\tilde{\alpha}_C$ 、 $\tilde{\beta}_C$ 、 $\tilde{\gamma}_C$  : 建設コスト計算に関わる係数である。便益と同様に被害地域の総資産によって無次元化すると次のように変形される。

$$C(H_{L0}, W_L, L_L) / P = L_L \{ (\tilde{\alpha}_C / P) H_{L0} W_L + (\tilde{\beta}_C / P) H_{L0} + (\tilde{\gamma}_C / P) W_L \} = L_L H_{L0} (\alpha_C H_{L0} G_L + \beta_C + \gamma_C G_L) \quad (2-13)$$

ここに、 $\alpha_C (= \tilde{\alpha}_C / P)$  は、堤防単位体積当りの費用と

浸水地域総資産額の比率であり、堤防体積の逆数より小さい値でなくてはならない。 $\beta_C (= \tilde{\beta}_C / P)$  : 堤防を嵩上げする場合に生じる堤防長 1m、堤防高さ 1m 当りの付加的費用と資産額の比率、 $\gamma_C (= \tilde{\gamma}_C / P)$  : 堤防幅を大きくしようとするときに生じる付加的費用と総費用の比率、 $G_L (= W_L / H_{L0})$  : 堤防断面形状の幅広さを表現するパラメータである。

### 3. 仮想被害地域を対象とした分析例

#### (1) 被害地域と堤防緒言

浸水地域、堤防等の概要を表-1 に示す。既述の通りここでは、単一堤防からの溢流被害によってのみを被害が生じ、また、資産と浸水深は浸水地域内で一様であると仮定する。洪水流量の生起確率密度分布式(2-5)のパラメータは  $\mu = 6.9$ 、 $\sigma = 0.83$  とする。

表-1 浸水地域、堤防等の緒言

浸水地域	
浸水面積 $A(m^3)$	$10^7$
浸水区域資産総額 $P(yen)$	$2.0 \times 10^{10}$
被害率係数 $\alpha_D$	0.2
堤防・河川緒言	
堤長 $L(m)$	100
単位建設コスト $\alpha_C (m^{-3})$	$2.0 \times 10^{-6}$
地盤高さ $H_G(m)$	0
河川勾配 $S$	1/100
粗度係数 $n$	0.02
河道幅 $B(m)$	100
越流係数 $\alpha_O$	0.14
洪水継続時間 $T(s)$	3600
初期治水レベル	
設計洪水流量 $Q_0 (m^3 / s)$	2000
高規格度 $\alpha_B$	0.5

堤防建設コスト式  $\alpha_C$  を除く係数については、次節で示すように条件に応じて変化させる。

#### (2) 高規格度と治水レベルの関係

はじめに一つの浸水地域を対象として、費用便益分

析を行った．コスト関数(2-12)式の係数については， $\beta_C = 2.0 \times 10^{-7}$ ， $\gamma_C = 2.0 \times 10^{-5}$ と設定した．また，堤防高規格度 $\alpha_B$ と幅広度 $G_L$ の関係は次式を用いる．

$$\alpha_B = \begin{cases} 0.05G_L & (0 < G_L \leq 20) \\ 1.0 & (20 < G_L) \end{cases} \quad (2-14)$$

上式は高規格度と幅広度が線形関係にあり，堤防幅が堤防高さの20倍以上あれば，破堤しないことを意味している．図-2は，堤防の設計流量と便益，費用，純便益の関係を示している．高規格度が0.7と1.0の場合について併せて図示している．

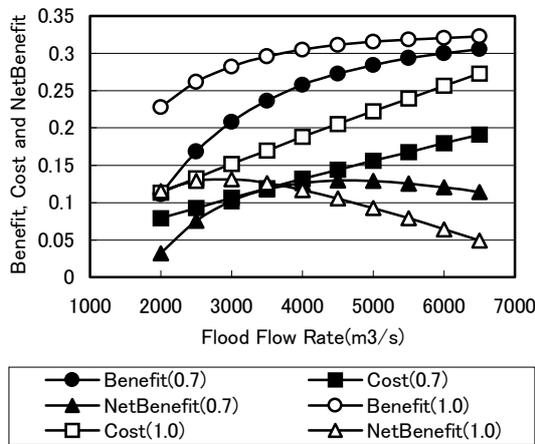


図-2 浸水地域資産で無次元化した費用と便益

高規格化によって便益，費用ともに増加しているが，純便益の変化は小さい．純便益が極大となる流量は高規格度が大きくなると減少する．図-3は，計画流量 - 高規格度面内での純便益の等高線を示している．設計流量あるいは堤防高さとのトレードオフ関係があることがわかる．

次に，同じ面積と総資産，洪水流量を有する2つの浸水地域の相互関係について検討する．いずれの地域についても堤防の設計洪水流量は $Q = 4000m^3/s$ で同じであるとし，上流側地域の堤防のみを高規格する状況について考える．上流側堤防が破堤すると下流側流量が減少する．従って，図-4のように上流堤防高規格により，下流堤防の被害リスクが上昇し，便益が減少する．この影響を考慮すると，全体の純便益は減少する．下流側地域資産額の増加に伴い，最適高規格度は低下する．このことは，ある特定の河川区間の堤防のみ高規格化する場合に十分注意しなければならない．

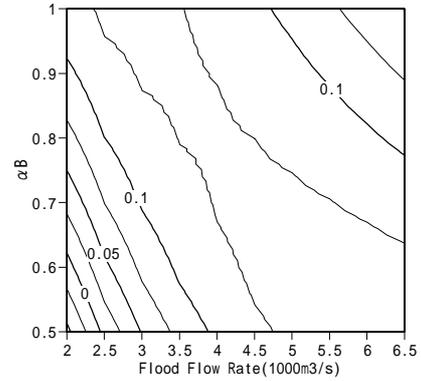


図-3 総資産で無次元化された純便益等高線

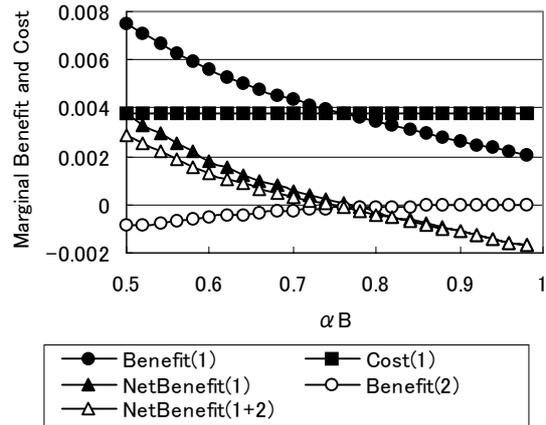


図-4 2 浸水地域の限界便益と限界費用

#### 4. おわりに

本文では，高規格堤防の洪水被害軽減便益の評価法を提示した．破堤を考慮することによって便益が増加すること，設計流量と高規格度とのトレードオフ関係等について示した．ここで示した分析結果は，各種パラメータに依存するが，考慮すべき重要な特性をも提示していると考えている．

#### 参考文献

- 1) 建設省河川局監修：建設省河川砂防技術基準(案)同解説調査編，第20章 河川経済調査，山海堂，1997．
- 2) Al-Futaisi, A. and Stedinger, J.R. : Hydrologic and economic uncertainties and flood-risk project design, J. of Water Resources Planning and Management, Vol.125, No.6, pp.314-324, 1999.
- 3) 土木学会：水理公式集，第4編1.せきと越流頂 pp.283-296，1985．
- 4) USACE : Risk-based analysis for flood damage reduction study, EM1110-2-1619, 1996.