

建設省土木研究所 正員 山口高志
同上 同 吉川勝秀
早稲田大学大学院 学生員 角田 学

1. はじめに 種々の治水対策のうちの河川改修に着目すると、従来の治水計画では上下流の安全度を一律に上げることを目指してきた傾向にあると考えられる。しかし、現状では限られた予算の制約のためにそのような方法に限界が生じてきており、安全度の設定について見直す必要が生じつつある。一方、流域の治水安全度は歴史的・社会的条件、その他により定まるものであり、従ってきわめて複雑である。本文では以上のことを念頭におき、上下流の治水安全度の考え方と設定方法を整理し、それぞれの方針にもとづいて治水計画の比較を行い、治水予算には制約があることを前提とした場合の適切な上下流の安全度について考察した結果を概略を報告する。

2. 従来の研究について 治水計画規模の設定に関する従来の考え方を整理すると次の3つのタイプに分けられよう。①費用効果分析あるいは被害(damage)で見る方法、タイプ1)、②安全度(frequency)で見る方法(タイプ2)、③タイプ1とタイプ2の中間的方法である。タイプ1については、広長らの研究¹⁾をはじめ、Waleshらの研究²⁾に数多くの研究が行われている。広長らは篠屋川の河川改修において解析分析を適用し、河川改修の妥当性を示している。またタイプ2は、近年主として用いられている方法であり、最近では石原らの研究³⁾がある。石原らは上下流の流量発生確率分布形の違이에着目し、上下流の安全度を変えざることを提案している。タイプ3についてはMcClroryらの研究⁴⁾がある。McClroryらは安全度を一律としたときに地形によって被害の発生割合が異なることを指摘し、はんらん原の地形に応じて安全度を変えざることを提案している。

3. 前提条件と計算方法 上下流の治水安全度の考察を行うにあたり、次のような前提条件を設定する。①流域は水理・水文学的に上流域と下流域に分けてとらえられる。②同様にし、洪水被害も上下流に区別して示される。③年最大洪水流量の変動係数は上流が下流より大である。⁵⁾④上流ははんらんあるいは治水対策が下流の流量に及ぼす影響は無視する。⑤外木はんらんのみを考え、内木はんらんは除外する。次に計算方法を示す。

(1) 年平均洪水被害の計算式

$$\bar{D}_i = \int_{\ln \bar{Q}_i}^{\infty} \Pr(\ln Q_i) \cdot D_i(\ln Q_i) \cdot d(\ln Q_i) \quad \text{----- (1)}$$

$$\Pr(\ln Q_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_i} \exp \left[-(\ln Q_i - \mu_i)^2 / 2\sigma_i^2 \right] \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 i : 上・下流を示す添字 ($i=1$: 上流, $i=2$: 下流), $\Pr(\ln Q_i)$: $\ln Q_i$ の生起密度関数, $D_i(\ln Q_i)$: $\ln Q_i$ のもとでの洪水被害, $\ln \bar{Q}_i$: 代替治水計画流量規模(これを代替流量と略記する), μ_i : $\ln Q_i$ の平均, σ_i^2 : $\ln Q_i$ の分散であり、(1)式による洪水被害計算の概念図を図-1に示す。

(2) 洪水被害の生起確率の計算式

$$\frac{1}{T_i} = \int_{\ln \bar{Q}_i}^{\infty} \Pr(\ln Q_i) \cdot d(\ln Q_i), \quad T_i: \text{return period} \quad \text{---- (3)}$$

(3) 石原らの提案する上下流の安全度

$$\bar{Q}_1 / \mu_1 = \bar{Q}_2 / \mu_2 \quad \text{----- (4)}$$

4. 分析シナリオ

ここでは治水計画規模を決定する方法の例として次の4つのシナリオを考える。①流域全体の総ダメージ($\bar{D}_1 + \bar{D}_2$)を最小にする方法、②上下流の洪水生起確率を同一($T_1 = T_2$)にする方法、③石原らの提案する方法、④上下流のダメージを同一($\bar{D}_1 = \bar{D}_2$)にする方法である。

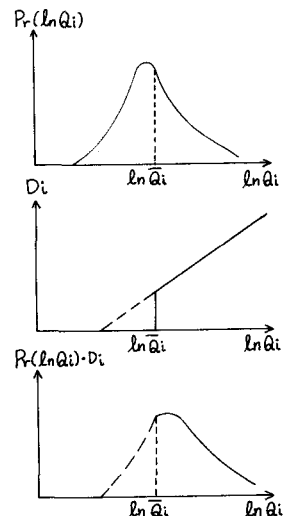


図-1 洪水被害計算式の概念図

ただし、以上のシナリオのもとで計画規模を求めるにあたり、費用制約を課す。 $\bar{D}_1, \bar{D}_2, \bar{D}_1 + \bar{D}_2$ すなわち、上流と下流の代替流量の河道にするための改修事業費をそれぞれ、 $Cost(1)$ 、 $Cost(2)$ とし、投資限度額を C_L とすると、次の関係が成立する。

$$Cost(1) + Cost(2) \leq C_L \quad \text{----- (5)}$$

$$Cost(1) = C_1(Q_1), \quad Cost(2) = C_2(Q_2) \quad \text{----- (6)}$$

ここに、 C_1, C_2 は代替流量～費用関数である。例えば、費用関数を直線近似した場合には(5)式は次のように与えられる。

$$Q_1 + n Q_2 = \bar{C} \quad \text{----- (7)}$$

ここに、 $n, \bar{C}$ は河川の上下流域の代替流量と事業費の関係から定まる定数である。以上のような費用制約のもとで上下流の洪水被害を求めると、図-2に示すような総被害額($\bar{D}_1 + \bar{D}_2$)曲線が得られる。

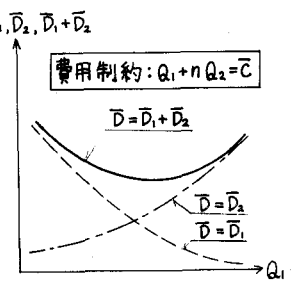


図-2 被害額曲線の算定

5. ケース・スタディ(数値実験)と考察

ここには、ケース・スタディとして大流域のA川(流域面積: 8333 km²、上流域: 330 km²)および都市化した中小河川であるB川(流域面積: 17 km²、上流域: 8 km²)を考えた。流量はA川では過去の実績値(23年間)から、B川では中央集中型確率降雨を与えることにより求めた。また、洪水被害関数は治水経済調査要綱に従って求めたものを用いた。計算結果を図-3、図-4に示す。すなわち、図-3は平均的な大規模河川(下流に被害ポテンシャルが集中)において、前述の各シナリオのもとで算定される代替流量を示す。同様に費用制約がある場合の各シナリオのもとでの計画の効率性がわかる。同様に図-4より都市化中小河川における各シナリオのもとでの計画の効率性がわかる。すなわち、公平性にもとづく $T_1 = T_2$ の計画あるいは石原らの方法による計画は、費用・効果的にみれば必ずしも妥当なものとは言えない。従って、上下流の計画規模の設定ではこのような効率性と公平性の調整が重要な課題となり、その算定流域の社会的条件によって異なるが、以上のようなことを念頭におくことが要請されよう。

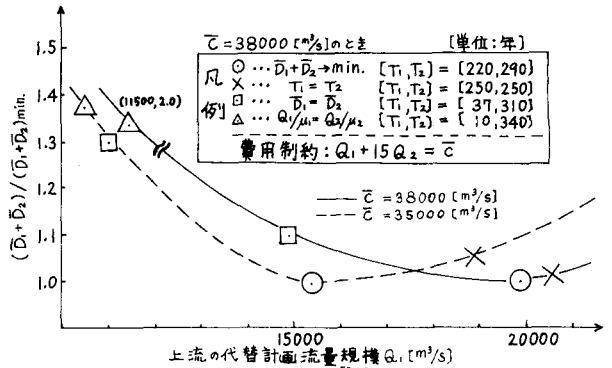


図-3 A川の場合

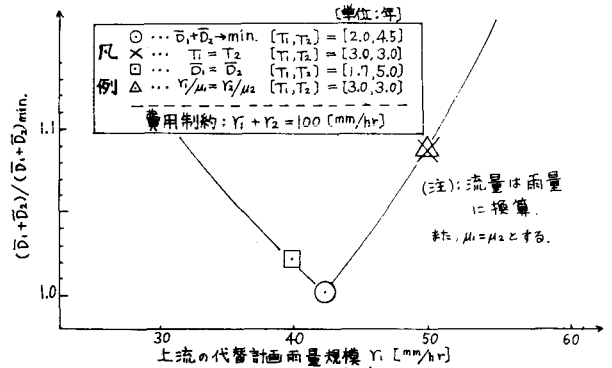


図-4 B川の場合

6. おわりに

以上で上下流の治水計画規模設定の考え方を整理し、費用制約を前提としてそれぞれの考え方のもとでの上下流の安全度とその問題点について考察した。今後の課題としては、①上流のはんらんあるいは治水対策が与える影響を考慮した上下流の安全度の分析、②予算制約のもとで大規模な治水対策を実施しようとするときそれが完成するまでに何十年といった年月が必要とされるので、段階的に規模を向上させる治水対策方式の妥当性の検討、③①、②を結合した分析などがあり、現在調査を進めているので次の機会に報告したい。

<参考文献>

- 1) 広長ら: 土木学会論文報告集第20号, 1961.
- 2) Waleshら: ASCE, Vol. 104, No. HY2, 1978.
- 3) 石原ら: 第33回土木学会年講, 1978.
- 4) McGroarys: ASCE, Vol. 102, No. WR2, 1976.