

費用便益評価に基づく河川と下水道の雨水処理分担の決定

Sharing rainwater drainage between rivers and sewerage system based on cost-benefit evaluation

栗城 稔*, 木内 豪**, 田中義人***, 笹川精一****

By Minoru Kuriki, Tsuyoshi Kinouchi, Yoshihito Tanaka and Sei-ichi Sasagawa

1. まえがき

都市域での内水型の浸水に対処するため、面的排水機能を受け持つ下水道や排水路、それらの下流に位置する排水先河川、流出を抑制する貯留・浸透施設など様々な施設の整備が行なわれている。しかし、排水先河川の改修を取り残した面的排水機能の強化は河川との接続部への雨水の集中や河川の氾濫を招く。また、河川の改修のみが進んだとしても必ずしも面的な安全度の向上につながらない場合が多い。面的な治水安全度と排水先河川の安全度はこのような関係にあるため下水道と河川の処理分担をどう定めていくかということは非常に重要な問題である。

そこで、内水型の浸水被害額と河川からの溢水による外水型の浸水被害額及び治水施設の整備費用を指標として、財政的な制約の元で最大の治水効果が得られるような河川と下水道の計画規模のバランスを定める手法について仮想流域を対象に検討した。

2. 河川と下水道の雨水処理分担に関する検討

(1) 概要

内水型の浸水形態の変遷には都市化、河川と下水道の計画規模、河川改修と下水道整備の時間的ずれ、地形的な条件などが関係している。都市化と下水道の整備、流末の排水機場の整備につれて、内水域流末の低平地に湛水する内水型浸水から、下水道幹線へ流入する支線周辺や微地形上の窪地での流域溢水型の浸水へと変化し、短時間の集中豪雨等により小規模な浸水被害が頻発するようになる¹⁾。一方、外水型の浸水は長期的な河川改修によりその頻度は減少するものの、一旦破堤や溢水して浸水が発生した場合の被害は、資産の集積する都市では非常に大き

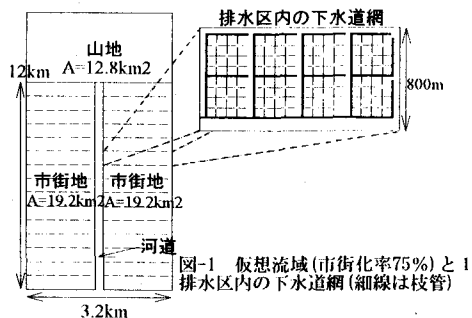
なものとなる。ここで報告する検討は、都市化の程度や資産の集積度に応じて河川と下水道の計画規模を費用便益評価に基づき決定しようとするものであり、便益としては施設整備による年浸水被害軽減額の期待値を対象とした。費用として下水道と河川の年整備費用のみを考慮して維持管理費用は無視した。

(2) 仮想流域の設定

市街化率(流域内で市街地の占める割合)や流域内の単位面積当り資産額が異なる仮想流域を図-1のように設定した。流域面積は市街化率によらず約50km²で、流域内には面積128haの排水区が複数存在するとし、排水区内の下水道網は合理式を用いて図-1のように設定した。

(3) 代替案の選定と河川・下水道の設計

河川と下水道の適正な処理分担すなわち計画規模



の組み合わせを決定するため、まず、河川(1/5～1/50)と下水道(1/3～1/30)の計画規模の組み合わせ(4×4=16通り)を代替案として選び、それぞれの計画規模に応じた下水道施設と河道の設計を行う。設計の基本条件を表-1に示す。河川と下水道の接続方式はポンプによらない自然排水とし、河川水位に応じて背水効果が下水道の流下能力に影響を及ぼすとし

* 正会員 工修 建設省土木研究所河川部都市河川研究室 室長

** 正会員 工修 同 都市河川研究室

*** 正会員 同 都市河川研究室

**** 正会員 (株)建設技術研究所技術第5部

キーワード：防災計画、河川計画、公共事業、評価法

表-1 下水道・河川と流域の設計条件

	下水道	河 川
計画規模代替案	3年,5年,10年,30年	5年,10年,30年,50年
降雨強度算定式	東京都の降雨強度式	東京都の降雨強度式
流出量算定式	合理式	合理式
到達時間の算定	流入時間5分	角屋式
管渠,河 粗度係数	0.013	0.025
道の諸元 勾 配	0.0013-0.003	0.001
流出係数	山地:0.6、市街地:0.9	
流域の諸元	流域面積50km ² 、市街化率25%,50%,75% 単位排水区の面積128ha、流域内資産3ケース	

た(図-2)。なお、排水区流末の水位は河川の流出量に応じて変動するが、浸水計算では便宜上常に計画高水位であると仮定した。河川の計画高水位は計画規模によらず一定で、計画規模ごとの河道断面形の

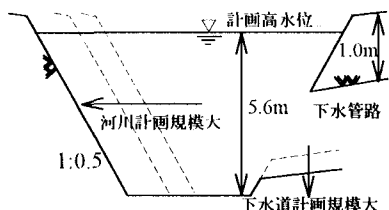


図-2 河川と下水道の接続

違いは河道幅の違いのみと仮定し、河床高は一定とした。また、下水道の計画規模ごとの管路諸元の違いは管径の違いのみとした。各排水区の地形は下水管路の勾配、管路長が表-1、図-1の時に土被りが全域1mの一定値となるように定めた。

(4) 浸水量と流出量の算定

以上の条件に対して設定された排水区を対象に下水道網内の流れを詳細に追跡し、流域溢水型の浸水域と浸水量を算定できるモデル²⁾により流出・浸水計算を行った。

各排水区からの流出は河道内で合流しながら流下する。外水氾濫量は、河道の最下流における流出ハイドログラフが河道の流下能力（等流水深での流量）を上回る分を積分して求め、流域の下流側から湛水していくと仮定して浸水深を算定した。同様に、排水区内の浸水深は排水区の流末から浸水していくとして算定した。その際、流域の地形勾配は河床勾配と管路勾配から図-3のように設定し、排水区の地形勾配は管路の勾配から図-4のように設定した。

図-5,6に降雨規模と下水道の計画規模別の排水区末端からの最大流出量および排水区内における最大湛水量のコンターを示す。下水道の計画規模が大きくなるとある降雨規模のときの最大流出量も増加するが、ある程度の計画規模に達すると最大流出量は一定値に近づく。一方、ある計画規模に対してみると、

降雨規模が大きくなると最大流出量はある一定値に近づく。これは、地形や河川との接続の仕方に応じて排水区からの雨水排除能力に上限があることによる（ポンプ排水の場合はこの限りではない）。

計画上、降雨規模と下水道の計画規模が同一ならば浸水は発生しないはずだが、計算で用いた降雨波形の単位時間が5分であることとマンホールでの損失を考慮していることにより局所的に浸水が発生してしまうため図-7では最大浸水量はゼロにならない。

(5) 浸水被害額の算定

河川の破堤や溢水などの外水による浸水被害と内水域における浸水被害では被害の程度に大きな違いがある。その大きな理由は氾濫水の流速の違いによるものであるが、土砂や流木を多量に含むかどうかによっても異なる。また、合流式下水道からの溢水には汚物が混じるので、その分家屋や家財に及ぼす被害は大きくなるものと考えられる。下水道の浸水被害は直接的なものよりも間接的な被害が大きいとの見方もある。

今回の検討における浸水被害額の算定は基本的には治水経済調査要綱³⁾に従うこととしたが、上述した外水と内水の被害

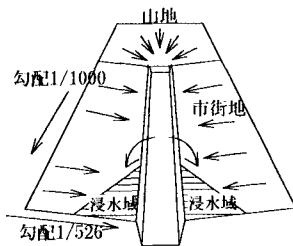


図-3 外水氾濫による浸水域

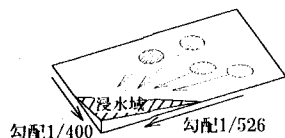


図-4 内水氾濫による浸水域

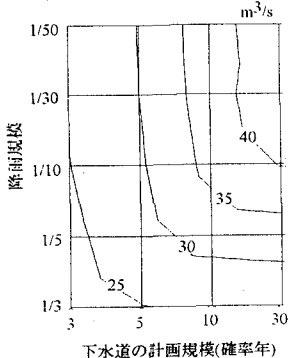


図-5 排水区末端からの最大流出量の等値線

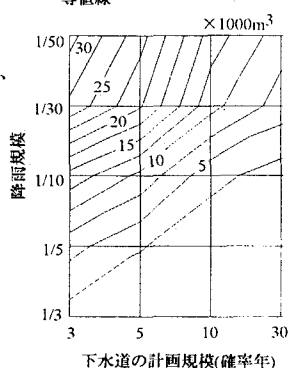


図-6 内水による最大浸水量の等値線

形態の違いを考慮するため、対象とする被害項目と被害率の設定を表-2のようにした。一般資産の被害率等は文献3)の値を用いた。なお、農地及び農業用施設は被害項目から除外した。また、浸水は溢水によるものとし、護岸等の河川構造物の被害は無いものと仮定した。

表-2 浸水被害額算定の対象とした項目

被害項目		河川の溢水(外水)	内水型浸水
一般資産		家屋、家庭用品、事業所資産、営業停止損失(地盤勾配区分A、土砂堆積なし)	
公共土木 および 農業用 施設	道路・橋梁	一般資産被害額の28.2%	一般資産被害額の0.0%
	鉄道	同13.2%	同0.0%
	電話・電力	同5.4%	同5.4%

浸水被害額の算定に用いるため、東京近辺の地域メッシュ統計を用いて資産額を把握した。地域メッシュ統計のうち、家屋・家財資産は国勢調査統計より、産業分類別償却・在庫資産は事業所統計により推定した。これらはいずれもデータベース化されている。具体的には、東京都内を含む一次メッシュ(No.5339)内の64の二次メッシュ(10km四方)のうち、資産額の上位5番目(赤羽)、10番目(立川)、20番目(座間)のメッシュを選び、仮想流域の単位面積当り資産の3ケースとした。

(6) 施設整備費用の見積り

下水道施設の整備費用は文献4)の開削工法によるものとして、下水道の計画規模代替案の施設整備費用を見積もった。枝管の施設整備費の計上にあたっては、排水区面積あたりの管渠延長が一般的な値となるように図-1のように枝管を想定し、その太さは合理式により決定した。一方、河川改修の事業費は1/5規模を現況として、対象とする計画規模までの改修費用を積算した。この時、表-3に示す工事の原単位を設定した⁵⁾。用地費は平成元年度の名古屋市の住宅地域の公示価格にほぼ相当する額である。

(7) 計画規模の決定

以上の方法により、外水および内水による浸水被害額と下水道施設整備費用、河川改修費用を算出し、それぞれ降雨の生起確率を考慮した年平均被害額および年費用に換算する。年平均被害額と年費用の算定は式(1)~(3)にしたがう。

$$B_{m,n} = D_{1,1} - D_{m,n} \cdots (1)$$

$$D_{m,n} = \sum_{j=1}^5 \frac{d_{m,n}^{j-1} + d_{m,n}^j}{2} (P_j - P_{j-1}) + d_{m,n}^5 P_5 \cdots (2)$$

$$C_{m,n} = CC_{m,n} \times \left\{ 1 + \frac{1}{((1+i)^n - 1)} \right\} \cdots (3)$$

ここに、 $D_{m,n}$ 、 $B_{m,n}$ ：河川の計画規模 m 、下水道の計画規模 n の時の年平均被害額と年平均被害軽減額、 j ：降雨規模 ($j=1\sim5$ は降雨規模1/3, 1/5, 1/10, 1/30, 1/50に対応する)、 P_j ：降雨規模 j の超過確率、 $d_{m,n}^j$ ：被害額、 $C_{m,n}$ ：年費用、 $CC_{m,n}$ ：建設費、 i ：利率4.5%、 n ：施設の耐用年数(償却年数)で50年とした。

表-4は下水道計画規模1/3、河川の計画規模1/5を現況とした被害軽減額 B と年費用の増加額 C の差($B-C$)が最大となる計画規模の代替案の組合わせを示したものである。

表-4 費用便益評価から求めた計画規模の組合わせ

市街化率	資産ケース	計画規模(年)	
		河川	下水道
0.75	5位	50	10
	10位	30	5
	20位	30	5
0.50	5位	50	10
	10位	30	5
	20位	30	5
0.25	5位	50	10
	10位	50	5.10
	20位	50	5

これらの結果から、流域内資産の多少により河川と下水道の計画規模に違いが現れることがわかるが、市街化率が小さい場合、山地からの流出に対処するために河川の計画規模は資産の多少にはあまり影響されないことがわかる。また、流域内の資産単価が大きいケース(図-7)では河川の計画規模を大きくすることが $B-C$ の増大に顕著に反映されるが、逆に資産の相対的に小さいケース(図-9)では、下水道の計画規模によっては河川の計画規模を大きくしても $B-C$ にほとんど変化が現われず、下水道の計画規模を上げると $B-C$ が減少してしまう。これは、下水道の施設整備費の占める割合が高いことに起因する。しかしながら、被害軽減額と施設整備費用の比を見ると、ほとんどの代替案の組合わせで B/C が1を上回っている(図-10)。このように、河川と下水道の計画規模のとり方によって施設整備の効果にかなりの違いが生じるが、それには市街化率、資産の集積度、線の整備と面的整備に起因する河川と下水道の施設整備費用の違いといった複数の要因が影響すること

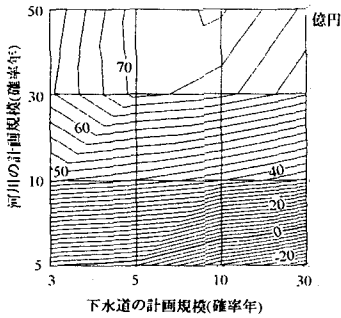


図-7 年平均被害軽減額-年費用増加額の等値線
(市街化率75%、資産5位)

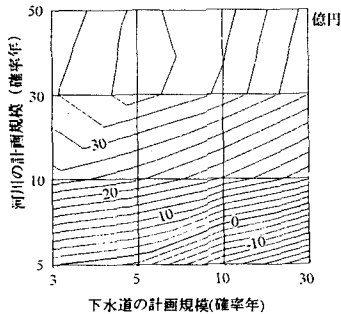


図-8 年平均被害軽減額-年費用増加額の等値線
(市街化率75%、資産10位)

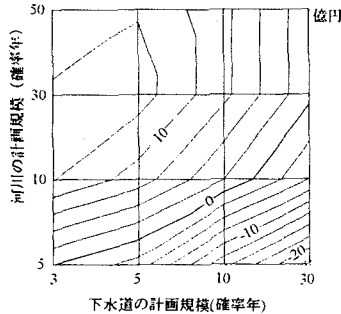


図-9 年平均被害軽減額-年費用増加額の等値線
(市街化率75%、資産20位)

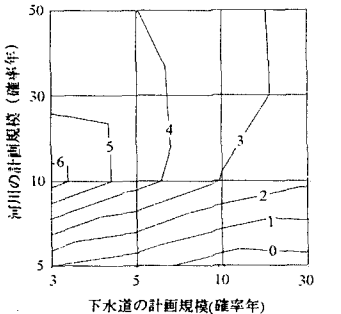


図-10 年平均被害軽減額-年費用増加額の等値線
(市街化率75%、資産5位)

がわかる。また、河川の段階的な整備と下水道の整備の整合性がとれないと大きな年平均被害額の増大が見られる。

以上は当該流域よりも下流に流域がない場合の検討であるが、流域内に調節池などの治水施設がある場合は、その治水効果と建設費用等を含めれば同様な取扱いができる。また、下流に他流域がある場合には、当該流域からの流出量が下流の安全度に影響を及ぼすのでその点を考慮する必要がある。これは本川と支川の計画規模の問題で、費用便益評価によると本川の河川改修費用が大きいほど支川からの流出量を支川流域内で抑制しなければならない⁵⁾。

今回の検討では対象とする便益として浸水被害の軽減のみを計上しているが、合流式下水道の場合には公共用水質の保全や公衆衛生の向上という効果があり、河川空間の確保には防災上の利点や親水機能があることから、より総合的な判断を下すには別途議論が必要である。

3. 結論

1) 費用便益評価により最適計画規模を決定したところ、現在広く用いられている計画規模とほぼ同じ値となった。このことは、現在の計画規模の妥当性を定量的に裏付けるものである。

2) 市街化率や流域内資産額、流域の広さに応じて適正な計画規模が変化するが、今回の検討条件のもとでは、河川は1/30～1/50、下水道は1/5～1/10の範囲であった。

3) 費用便益比で見てみると、その値は5以上になることもあり、下水道と河川のバランスのとれた施設整備によりかなりの投資効果が得られる。逆に、不整合な雨水処理分担や両事業の進捗具合のもとでは浸水被害の解消にはあまり寄与しないことになる。

参考文献

- 1) 土木研究所総合治水研究室: 総合的な都市雨水処理計画に関する調査, 土木研究所資料第2481号, S62.
- 2) 土木研究所総合治水研究室: 都市域の流出・氾濫モデルについて, 1993.3.
- 3) 建設省河川局河川計画課: 治水経済調査要綱
- 4) 建設省都市局下水道部監修, 流域別下水道整備総合計画調査指針と解説(第4版), 1983.
- 5) 吉本俊裕, 須見徹太郎, 木内豪, 永友嘉嗣: 丘陵地における流域治水施設の計画策定手法, 土木研究所資料第2950号, H3.3