

リスク・便益及び費用からみた浸水防除法の評価に関する研究

EVALUATION OF THE PREVENTIVE SYSTEM OF INUNDATION
WITH RISK, BENEFIT AND COST

荒尾 慎司*, 竹下 哲也**, 楠田 哲也***

Shinji ARAO*, Tetsuya TAKESHITA**, Tetsuya KUSUDA***

ABSTRACT; Urban storm drainage and temporary storage facilities are planned so as to lower the probability of occurrence of inundation in Japan. Decision making for the selection of inundation prevention facilities, however, should be executed based on cost-benefit analysis on damage. In this paper, an integrated evaluation method in terms of the cost-benefit analysis is proposed for inundation prevention planning. The method has three kinds of aspects: risk analysis for impairment such as delays of traffic and damage to human being and cultural assets; cost evaluation in environmental destruction; and benefit evaluation such as the increase in safety. An example on storm sewer to which this method is applied is presented. The results indicate that the net benefit by the construction of storm sewer and storage tunnel is negative as far as only direct damage to housing is considered.

KEYWORDS; direct damage, indirect damage, risk, cost-benefit analysis, urban storm drainage, inundation.

1. はじめに

都市において社会基盤施設を整備をする際には、便益、リスクと費用を総合して考えなければならない。限りある財源を最も有効に用いるためには、便益対費用比あるいは便益と費用の差のような指標を用い、効果の大なるものから実施していくことが理想である。わが国では降雨や波浪による被害を軽減するために設計基準を変更する際には事象の生起確率をより少なくする観点からのみ判断されている。これは、設計にいたる過程を簡単にはするけれども、費用便益の概念をまったく含んでおらず、そのまま適用されると人口や人口密度によらずほぼ同一規模の施設が全国くまなく設置されることになる。本来公共事業として種々の事業を行なっていく際にはシビルミニマムを越える部分については公共事業全体の費用便益を考慮し順位づけした上で実施されるべきである。言い換えると、防災事業の場合には生起確率が同じでも便益あるいは被害額が少ない場合には優先度が低くなるようにすべきである。そのためには具体的な設計に至る前に投資の優先度を決定する一般算定方式が確立されていると極めて都合がよい。都市型浸水の制御を例としてとりあげると、下水管渠からの溢水は家屋の浸水、家財の減耗、交通の一時的マヒを引き起こし、合流管渠からの場合には加えて公衆衛生上の問題を引き起こす。これは都市空間における災害の一つであり、都市における安全性を向上させるためにも極力減少させるべきものである。しかし、そのためには巨大な施設を設けなければならない、かなりの財源を必要とする。つまり、下水管渠の建設費(-)、下水管渠の建設により受ける便益(+)、建設された下水管渠からの溢水による被害(-)の総和を地域の生活者が日常生活で遭遇する他の事象と比較検討の上決定されなければならない。その一つの方法として「リスク」と「便益」の概念を導入し、生活者が日常経験する事象を総体として捉えらる必要がある。また、被害には金銭として経済的に取り扱えるものと人命が失われるというように金銭でもって経済的に評価しにくいものがある。これらを統一

*九州共立大学工学部土木工学科 Department of Civil Engineering, Kyushu Kyoritsu University

**建設省江戸川工事事務所 Ministry of Construction

***九州大学工学部建設都市工学科 Department of Civil Engineering, Kyushu University

的に取り扱うまでには現在のところ至っていないが、現実問題としては両者をあわせて評価しなければならないことも多い。下水管渠を設置するか否か、あるいはどの程度の規模の下水管渠をどのように設置するかを理論的に考える必要がある。

ここでは下水管渠への投資の適正な決定方法の確立を最終目標とし、現行の治水経済調査要綱に基づく費用便益分析の問題点を指摘し、下水管渠の建設にかかる費用、便益、リスクについての総合的な評価手法を検討する。

2. リスクと便益の包括的取扱い法

1) リスクと便益の定義

リスクは人間にとって直接的、間接的に望ましくない事象の単位時間当たりの発生確率に発生した際の一事象当たりの損失を乗じたものと定義する。つまり、ある一つのリスクに対し、次のように表す。

リスク（被害損失／単位時間）＝頻度（事象／単位時間）×被害の大きさ（被害損失／1事象）（1）
この定義をもとに、リスクを表現すると

$$r = \int_{Q_0}^{\infty} \text{Pr}(Q) \cdot D(Q) dQ \quad (2)$$

ここに、 r はリスク、 $\text{Pr}(Q)$ はある事象の生起確率、 $D(Q)$ は事象の大きさが Q のときの被害額、 Q_0 は被害が生じる限界値である。

便益の定義はリスクの定義と同形のものとし、便益は人間にとって直接的、間接的に望ましい事象の単位時間当たりの発生確率に発生した際の一事象当たりの便益を乗じたものと定義する。つまり、ある便益に対し、次のように表す。

便益（便益／単位時間）＝頻度（事象／単位時間）×便益の大きさ（便益／1事象）（3）

2) リスクと便益の包括的取り扱い

都市における防災施設や都市基盤施設に対する投資順位の決定あるいは同機能の施設の建設の意志決定を行う場合には、施設の建設費、施設建設によるリスクの減少と便益の増加を包括して判断する必要がある。個々のリスクを r_i とすると、リスクの総和 R は、

$$R = \sum r_i \quad (4)$$

個々の便益を b_j とすると、便益の総和 B は、

$$B = \sum b_j \quad (5)$$

個々の施設建設費（単なる建設費ではなく、単位時間当たりの償還費用）を C_k とすると、施設建設費用の総和 C は、

$$C = \sum C_k \quad (6)$$

便益を正、費用とリスクを負とし、それぞれの和を Z とすると、

$$Z = B - R - C \quad (7)$$

ここでは、 Z を純便益と呼ぶことにする。以上の算定において、考慮対象事象はすべて（たとえば貨幣価値での）評価が可能であるとしているが、現実には、人命や不満感のように取り扱いが極めて困難なものがあ。その計量化は課題として残されているが、ここでは、生命保険金額や損害賠償の判例をもとに貨幣価値で計量化するという便法を利用することにする。

式（7）の C に関する変分をとると式（6）を用いて、

$$\Delta Z = \sum_k \left(\frac{\partial B}{\partial C_k} - \frac{\partial R}{\partial C_k} - 1 \right) \Delta C_k \quad (8)$$

となり、 $\partial B / \partial C_k$ や $\partial R / \partial C_k$ は C_k の関数でもあることから、財政上の制約条件C（予算）一定のもとで ΔZ の増分を0、つまりZの極大値を定めること（勿論極小値は排除）が課題となる。

3. 下水管渠による内水排除に関するリスク・便益・費用

1) リスクの算定

治水経済調査要綱では（2）式に示すように、洪水の生起確率に、発生した被害額を乗ずることにより被害額を算定している。内水被害のリスクの算定手順を図－1に示す。被害額D(Q)は（9）式に示すように数多くの要素の関数である。このことは被害額の算定手法の簡略化を阻害したり、必要なデータが得られない（実績値が無い）ことのために被害額を算定する上で大きな障害となっている。

被害額D(Q)=D（人口、社会資本、浸水深、浸水時間、勾配等の地形的要素、排水先の河川水位、ポンプ場等の排水設備、排水・浸水の水質、・・・） （9）

鈴木¹⁾は、現在の被害額の算定方法である治水経済調査要綱の方法を内水被害に適用した場合について、次のような問題点を指摘している。

・河川洪水の場合には広範囲にわたる氾濫を対象としており、資産の評価額を都道府県別平均値及び全国平均値として用いているため、下水管渠からの溢水による小規模な浸水範囲を対象とするには、やや粗い調査となっている。

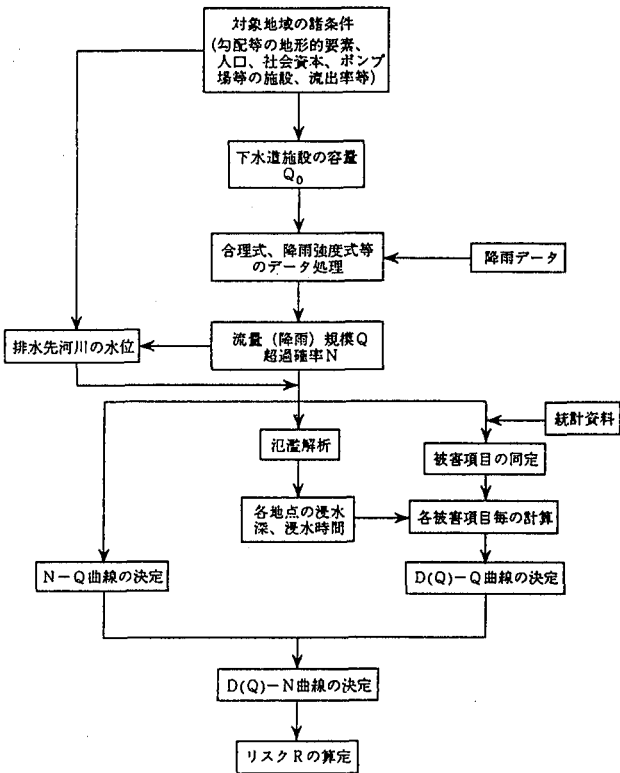
・被害額を算定するのに用いられている被害率は全国的な資料をもとに作成されているため、都市部を対象とした場合に精度上問題がある。

・被害額の算定では直接被害に重点がおかれているが、内水被害では「浸水面積が小さく、浸水深が浅い」ことや「浸水時間が短く、水勢が弱い」ことなどのため、直接被害よりも交通障害や営業損失等の間接被害のほうがむしろ大きくなる。

したがって、内水氾濫による都市部の浸水被害額を定量化するためには、浸水対象地区での資産額の評価や内水氾濫による直接及び間接被害項目について十分に検討し、浸水深と被害額との関係が連続的に変化するような被害率を設定する必要がある。内水氾濫による被害項目と被害額算定方法を示すと表－1のようになる。

表－1 被害項目と算定方法

	被害項目	算定方法
直接被害	家屋・家財被害 事業所資産被害 農産物・農漁家 資産被害	治水経済調査方式
	公共施設・公益 事業等被害	実績による推定
	人命損失	統計的の生命の価値 自動車事故の対人賠償額
	怪我・病気	医療費＋収入減＋慰謝料
	文化財被害	修復費＋文化財価値の減少
	事業所営業停止 損失	治水経済調査方式
間接被害	清掃費	実績による推定
	交通の遅滞	被害者数×損失時間×時間評 価額
	水質汚濁被害	消毒費、魚介類生産高低下等
	精神的損害	家屋・家財被害の50% ¹⁾



図－1 リスク算定の手順

(1)直接被害

①一般資産被害

氾濫解析により求められた各地点の浸水深をもとに、治水経済調査要綱の方法で家屋被害、家財被害、事業所資産被害や農漁家資産被害の算定を行う。なお、治水経済調査要綱の方法では各都道府県別及び全国平均値をもとに家屋被害、家財被害を算定するために、都市部では過小評価となる可能性があることから、損害保険で用いられている手法を利用すべきという提案もある¹⁾。また、事業所別の評価額については、下水道の場合には浸水範囲が狭いので産業中分類を用いる¹⁾。

②公共土木施設・公益事業施設等被害

過去のデータをもとに、流量（降雨）規模に対応する被害額を調べて回帰曲線を作成し、それをもとに被害額の算定を行う。内水被害では公共土木施設や公益事業施設以外（地下街、地下電気施設等）の被害も考えられるので、それらについても被害の推定を行う必要がある。

③人命損失

人命損失を貨幣価値で推定する方法としては、保険会社等で使用されている自動車事故での対人賠償額の算定方法や統計的生命の価値を推定した過去の研究結果を利用することが考えられる。死亡・行方不明者一人当たりの貨幣価値を推定するのは非常に困難であるが、様々な研究・手法の結果から見ると、だいたい一人当たり数千万円から数億円というオーダーである。

④怪我、病気

怪我、病気という被害を貨幣価値で表現するには、負傷者一人当たりの被害額として、次式のような算定方法を提案する。

$$\text{負傷者一人当たりの被害額} = \text{負傷者の平均医療費} + \text{収入減} + \text{慰謝料} + \text{精神的損害} \quad (10)$$

負傷者の平均医療費及び収入減は過去のデータをもとに算定するが、特に収入減の方は入院によって仕事を休んだ分の収入減だけではなく、退院後の身体的、社会的障害を考慮する必要がある。また、精神的損害は支払意思額をアンケート調査等によって求める。

⑤文化財被害

文化財被害の被害額の算定には次式を提案する。

$$\text{文化財被害額} = \text{修復費} + \text{文化財価値の減少額} \quad (11)$$

修復費の方は、修復工事の実績等で比較的容易に推定できる可能性がある。文化財価値の減少については、文化財全体の価値の算定方法と文化財の被害率と価値減少額との関係を検討しなければならない。文化財の価値は、それを見出すことや価格化することの困難なもののひとつであるが、次のような方法が考えられる。

案1：文化財保護のために地域開発等を断念した場合、その犠牲にした地域開発等がもたらしたであろう便益を文化財の価値とする方法

案2：文化財が観光資源として地域にもたらす経済的波及効果を文化財の価値とする方法

案3：文化財と同じ観光客数を集めることのできる施設をつくるのにかかるコストを文化財の価値とする方法

実際は上の案によって求められた値に、アンケート調査やデルファイ法等によって推定した文化的重要性の価値を加えるか、あるいは、それを係数にして掛けるか等の修正が必要である。

(2)間接被害

①事業所営業停止損失

事業所営業停止損失の被害額算定には、治水経済調査要綱の方法を利用する。ただし、営業停止損失率（6%）は、対象地域によっては適当ではない可能性もあるため、過去の実績をもとに損失率を変更することもある必要がある。

②清掃費、消毒費等

過去のデータから氾濫面積と清掃費、消毒費等との関係を回帰曲線で表し、流量規模（降雨規模）に対応する氾濫面積によって被害額を算出する。

③交通の遅滞

交通サービスを提供する事業者側の営業損失等の被害は、公益事業施設等被害の中に含まれていると考えられるため、ここでは交通サービスを受ける側の被害を算定する。交通サービスから見た交通の遅滞による被害額は次のように表現できる。

$$\text{交通遅滞被害額} = \text{被害者数} \times \text{被害者一人当たりの平均時間損失} \times \text{時間評価額} \quad (12)$$

鉄道や路線バス等の公共交通システムの場合は、内水氾濫が発生すると、路線の不通（あるいは徐行運転）という形で被害を受ける。その場合の被害者は、交通システムとして正常運転ができない時間帯に、交通サービスを受けるはずであった利用者である。ここで、正常運転できない時間帯とは、路線区間内での浸水時間と、浸水が終わった後から正常運転に回復するまでの時間（復旧時間）とを合わせたものである。この時間を遅滞時間と呼ぶことにする。したがって、被害者数は次式で表現される。

$$\text{被害者数} = 1 \text{ 時間当たりの利用者数 (人/時間)} \times \text{遅滞時間} \quad (13)$$

被害者の時間損失には個人差があり、代替交通手段の有無によっても大きく異なるが、浸水時間や浸水面積によって被害者一人当たりの平均時間損失をある程度推定することができる。被害者一人当たりの平均時間損失は、流量（降雨）規模によって異なるが、正確な時間損失を推定するには、複雑な交通モデルを解析する必要があり、かなり困難である。そこで、アンケート調査等で水害での時間損失を調べ、その結果から時間損失との関係を推定するなどの工夫が必要である。また、時間評価額の算定には、被害による損失時間を所得機会に充当させた場合に稼得される所得分として算定する方法（所得接近法）が考えられる。

④水質被害

合流式の下水管渠の場合、流下流量が晴天時流量の一定倍率（通常3倍）以上になると、それを上回る流量が公共用水域に直接放流され、晴天時に管渠内に沈殿した汚水中の懸濁物や、管渠内で生成したバクテリア等が、降雨初期に掃流されて放流水域に一時的に流出する恐れがある。分流式においては、降雨初期においては、地下浸透等に比べて水質の悪い排水を大量に放流することから、放流水域の水質の悪化をもたらす。また、合流式の場合は浸水したときの水質が分流式に比べて悪いため、被害がさらに大きくなることが予想される。分流式、合流式下水管渠からの溢水によって浸水が発生する場合、水質の悪化を評価するには、一般資産被害額や消毒費・清掃費に水質汚濁分の割り増し係数を掛けることで表現する。

⑤精神的損害

精神的損害としては、内水被害を受けた場合の恐怖感、不快感等の精神的ダメージを貨幣価値で表わすものとする。これについて鈴木¹⁾は次のように述べている。

「浸水による恐怖感、不快感等の精神的ダメージについては、ある河川被害における浸水被害に対する支払い意思を問うアンケート調査によると、家屋・家財被害の50%強という数字となって表れている。」

この50%という値については、今後の研究により修正されるであろうが、家屋・家財被害と関係があるという考え方は妥当性があると思われる。

2) 便益の算定

浸水防除システムの整備が進めば発生する被害を軽減することができる。浸水防除システムにおける便益は、従来、施設整備前後での被害軽減額（リスクの減少）のみを対象としているが、実際には、施設の整備によって得られる住環境の質の改善や安全性の向上といった便益が存在する。下水道による内水排除がもたらす便益項目と便益の算定方法をそれぞれ表-2、表-3に示す。

①リスクの減少

下水道整備前後の被害額をそれぞれ求め、それらの差である被害軽減額をもって下水道による内水排除の便益の一部とする。

②環境の質の改善

環境の質の改善による便益を貨幣価値で表す方法としては、家屋や土地の価値を利用するものが多く提案されている。例えば、家屋の価値は、環境的要素に左右されているため、不動産価値から建築費用や設備経費を差し引いたものは環境やその他の市場外要素による価値であるという考えや、近接した2地区間の地価の違いは、単位面積当たりの生産力、または環境的要素（美的価値、浸水被害の頻度等）の市場外要因によるという考えなどがそれである²⁾。また、その他に地価関数を設定することで被害を受けたことによる土地や住宅等の資産価値の低下を測定する方法（資産価値法³⁾）等もある。

③経済的效果

下水道整備による経済的波及効果には、主に整備のための投資効果と、整備後の安全性向上による経済活動の活発化の効果の二つが考えられる。それらは雇用の創出として現れ、最終的には住民の効用の増大をもたらす。しかし、この効果による便益を貨幣価値に換算することは非常に難しい。また、

下水道による内水氾濫防止対策としての経済的波及効果を算定することはさらに困難なものになる。したがって、ここではその算定方法については特定しないが、いくつかの提案を以下に示す。

案1：（整備後の就業者人口の増加－自然増加）× 一人当たり年平均所得 (14)

案2： 整備地区と未整備地区（対象地域）との一人当たりの所得格差×対象地域の就業者人口 (15)

案1は、経済的波及効果が雇用の創出という形で現れ、一人当たりの所得の増加としては現れないという仮定のもとに作成したもので、時系列解析などの人口予測が必要である。案2は、経済的波及効果が所得の増大として現れるという仮定に基づいており、諸条件が対象地域と類似し、すでに下水道が整備されている地区のデータをもとに算定する。

④精神的効果

精神的効果は、安全性向上による住民の安心感を貨幣価値で表すものとし、リスク算定時に考慮した内水被害を受けた後の恐怖感、不快感等の精神的ダメージとは区別する。すなわち、被害を受ける前後の精神的効果を区別して考えることにする。この安心感を貨幣価値で表す方法として、次の方法を提案する。

案1：安心感を得ることに対する支払い意思額をアンケート調査等で調べる。

案2：同様の安心感を得るために取る他の手段にかかる費用（引っ越し、保険料等）を利用する。

どちらの方法も安心感を確実に貨幣価値で表すことは出来ないが、適当な修正を加えることによって望ましい値に近づくことが期待できる。

3) 費用の算定

便益を生みだすのに必要な費用は、流域別下水道整備総合計画の費用関数⁴⁾等によって算定されうが、ここでは対象を内水排除に限定しているため、内水排除に関係する施設（管渠、ポンプ施設、維持管理費等）の費用を求める必要がある。また、これらの施設を形成している素材等の生産過程では、市場で算定されない環境財の消費分（社会的費用）が含まれている⁵⁾。また、森林の減少に見られる環境破壊は、リスクの増大とともにその対策としての公共事業をも増加させているが、その理由の一つには、現在の費用計算では環境保全によるリスク減に比べ、公共事業によるリスク減の方が安価であるという現状がある。そのため、従来の方法で求めた費用に社会的費用を見込んだ割り増し係数を掛け、環境破壊が費用に反映されるような工夫が必要である。

表－2 便益の項目と内容

項 目	内 容
リスクの減少	内水被害額の減少
環境の質の改善	内水被害額の減少による住環境等の質の改善
経済的效果	対象地域の環境の質の改善や安全性の向上等が人口や社会資本に与える効果（雇用の創出等）
精神的効果	安全性向上による住民の安心感

表－3 便益の算定方法

項 目	内 容
環境の質の改善	整備地域と未整備地域との家屋や土地の価値の差 ²⁾
経済的效果	整備地域と未整備地域（対象地域）との一人当たりの所得格差×対象地域の就業者人口
精神的効果	1) 安心感を得ることに対する支払意思額をアンケート調査で調べる 2) 同様の安心感を得るために取る他の手段（引っ越し、保険等）にかかる費用で推定

4. 下水道以外の内水排除施設も含めた総合評価

内水排除に関係する施設として、下水道、排水先河川、貯留・浸透施設、森林等が挙げられる。下水道によるリスク、便益及び費用についてはすでに述べたが、排水先河川、貯留・浸透施設、森林等についても同様に便益を算定することができる。これらの施設の整備の組み合わせ方によって、純便益が大きく変化するため、これらを内水排除という枠組みの中で総合的に評価する必要がある。このことは、財政上の制約がある場合（建設費用一定の場合）に特に重要である。排水先河川の水位は、下水道による内水排除にとって大きな制約となる。したがって、排水先河川の整備によって水位が下がり河川の流下能力が増すと、それだけ下水道施設の能力も十分に生かすことができ、便益も大きくなる。排水先河川整備による便益は下水道の整備による効果を除いた費用の減少分で、費用は排水先河川整備費用に社会的費用分の割り増し係数を掛けたものである。雨水を浸透、あるいは貯留させた場合、下水管渠の流量が減少するため、下水道施設の容量に余裕が生じリスクが減少する。特に合流式下水道の場合は、越流量が減少するとともに流出負荷量も減少するため、水質汚濁による被害を軽減することができる。また、雨水を浸透させることにより、雨水（放流水）の水質が改善されると同時に、地下水を資源として保全できるという利点もある⁶⁾。浸透・貯留施設の整備による便益は、流下流量の減少によるリスクの減少、地下水の保全等で、費用は施設費用に社会的費用分の割り増し係数を掛けたものである。ただし、耐久性（寿命）等を特に考慮する必要がある。

5. 事例検討

前節では、リスク、便益及び費用の算定方法について述べたが、これらの方法を利用した場合、各地域の諸条件の違いによって、結果が大きく異なる可能性があり、普遍性が見出せない可能性がある。そこで、ここでは仮想流域を対象とした氾濫解析結果をもとに、治水経済調査要綱を利用した費用便益分析を行い、現行の手法の持つ矛盾点を指摘することにより、前節で述べた方法の有用性を考察する。

1) 仮想流域の設定

ここでは、図-2のような仮想流域を設定した。この流域面積は48km²で、流域内には面積15haの小排水区域が複数存在するとした。小排水区域内の雨水管路網は、管長25mの管を流下方向に直列に60本連結したものであり、地表と雨水管とはマンホールを介して接続されている。また、合理式とManning式を用いて、管路内の平均流速が0.8～3.0m/sになるように管径が決定されている。

2) 入力降雨

東京都の降雨強度式からハイトグラフを作成し、次に合理式を用いて、単位時間5分の中央集中型波形で降雨継続時間3時間（降雨規模＝1/3, 1/5, 1/10, 1/20, 1/30, 1/50, 1/100）のハイドログラフを作成した。

3) 氾濫解析手法

ここで用いる流出・氾濫解析モデルは、雨水管路内の流れが不等流で、しかも、下流側の境界条件（水位）の影響が考慮できるものとした⁷⁾。また、マンホール水位が地盤高を越えたときには、そのマンホールの下流に接続されている管渠の流量を、その管の最大流下能力とみなし、マンホールへの上流からの流入量の和とマンホールから下流管渠への流下量の差し引き分がマンホールから地表面へ溢水するとした。地表面には、図-3のように雨水管路の上を4車線（14m）の道路が走り、それ以外の場所とは10cmの段差がある

表-4 設計条件

	下水道
計画規模代替案	3年、5年、10年、20年、30年
降雨強度算定式	東京都の降雨強度式
流出量算定式	合理式
到達時間の算定	流入時間5分
管渠の勾配	0.001
管渠の粗度係数	0.013
地表面の等価粗度	道路：0.02 その他：0.25
流域の諸元	流域面積 48 km ² 単位排水区の面積 15 ha

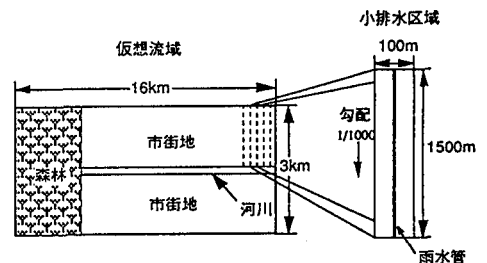


図-2 仮想流域と小排水区

ものとした。また、溢水した雨水は等流として道路の流れ、浸水深が段差以上になれば、排水区域の断面全体を複断面水路として等流で流れるものとした。なお、道路とそれ以外の場所（住宅地など）での等価粗度をそれぞれ 0.02、0.25 に設定した。また、地表面を流れる雨水は、次の時間ステップ（5 分後）で一つ下流側のマンホールへの流入量として加算されるものとした。

4) リスク・純便益・費用の評価方法

(1) 浸水被害額

浸水被害額は、文献 8) を参考に、東京近辺のメッシュ統計で上位 5 番目（赤羽）の資産額を用いて治水経済調査要綱の方法により算出した。具体的には、地盤勾配区分 A（1/1000 以下）で、土砂堆積はないとした。ただし、営業停止損失等のように、他の被害額の何%という方式で算定する項目については、その値が全国平均値であり、場所によっては大きく異なることも考えられ、普遍性を欠くという観点から今回は考慮していない。また、治水経済調査要綱の方法では、浸水深が 30cm 未満（床下浸水）、30cm 以上 50cm 未満、50cm 以上 100cm 未満等のように、ある浸水深の幅でもって被害率を一定としていることから、浸水深が変化しても被害率の変化には連続性がない。これでは、床下 30cm 未満の浸水であれば、浸水面積だけで被害額が決定され、実態に即していないと考えられる。そこで、ここでは、治水経済調査要綱による浸水深 1m 未満での被害率を次のように設定した。浸水深 30cm 未満の被害率を浸水深 10cm の被害率、浸水深 30cm 以上 50cm 未満の被害率を浸水深 40cm の被害率、浸水深 50cm 以上 100cm 未満の被害率を浸水深 75cm の被害率に修正した。この被害率と赤羽の資産額をもとに算定した被害額から浸水深と被害額との関係を図 4 のような 3 次曲線で表わすことにした。

(2) 被害額及び被害軽減額の計算

被害額の算定は（2）式によった。また、下水道の計画規模 3 年を現況としたときの被害額を基準に被害軽減額（便益）を求めた。

(3) 純便益の計算

純便益は下水道の計画規模 3 年を現況としたときの被害額をもとに計算した被害軽減額（便益）から建設費用を差し引いたものとした。

(4) 費用の計算

施設の総費用は、流域別下水道整備総合計画の費用関数⁴⁾を用いて求め、次式に示す年平均均等払い方式により、年間の費用を算定した。

$$P = A \frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} \quad (16)$$

ここに、P は現在価値、A は毎年均等の出資金額、i は割引率、N は考慮する期間（年）である。

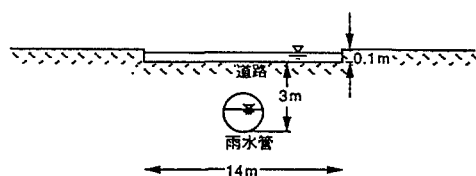


図-3 (1) 雨水管と地表（横断面図）

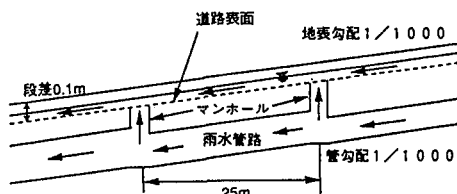


図-3 (2) 雨水管と地表（縦断面図）

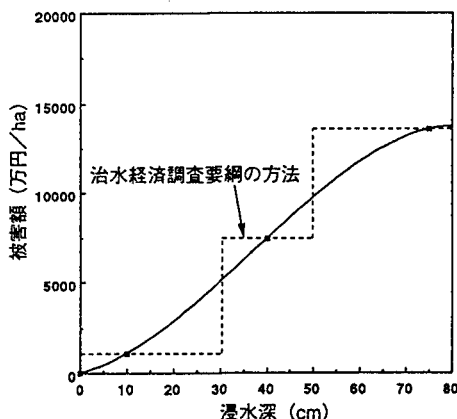


図-4 浸水深と被害額

(5) 雨水管路以外の施設費用

浸水防除システム全体の総合的評価を行う際、雨水滞水池等の貯留施設や、浸透ます等の浸透施設といった雨水管路以外の施設についても考慮する必要がある。そこで、雨水管路以外の施設費用についても算定することにする。

貯水池 1 m^3 当たりの建設費⁹⁾ (用地費を除く) は約 $1\text{ 万円}/\text{m}^3$ で、有効水深を 6 m とすると、貯水能 1 m^3 当たりの総費用は、東京都の住宅地の地価 $521,900\text{ 円}/\text{m}^2$ を利用して計算すると $9.7\text{ 万円}/\text{m}^3$ 、大阪府の住宅地の地価 $303,700\text{ 円}/\text{m}^2$ を利用して計算すると $6.1\text{ 万円}/\text{m}^3$ となる。貯留管は流総指針の管渠の費用関数では管径 5000 mm までが対象であるが、管径 7000 mm 程度までは利用できるものとする⁴⁾、管径 7000 mm の貯留管では貯水能 1 m^3 当たりの建設費は $12.8\text{ 万円}/\text{m}^3$ となる。ポンプ場の費用計算は、計画流量 ($\text{m}^3/\text{分}$) を設定すれば流総計画の費用関数によって計算が可能である。また、森林によって地下浸透量を $1\text{ m}^3/\text{s}$ 増やすには、森林面積約 1.4 ha が必要で、森林 1 m^2 当たりの費用は約 6.4 万円 となる。浸透施設の費用計算結果を表-5に示す。なお、以上に挙げた費用はあくまでも各施設間の建設費用を詳細に議論するのが目的ではなく、各施設間の建設費用のオーダーを比較することにより、どの施設が経済的に有利であるのかを一般論に近い形で説明するために提示した。

表-5 浸透施設の費用計算

	浸透ます	浸透トレンチ	透水性舗装	浸透井	浸透側溝	森林
施設単価	299,500 円/個	13,900 円/m	6,700 円/ m^2	1,335,000 円/本	11,000 円/m	64,000 円/ m^2
浸透量当たり単価 (円/リットル/分)	6,900	1,100	11,300	2,700	6,900	150,000

5) 浸水被害防除施設の費用便益分析

(1) 浸水被害防除施設の設定

モデル化した雨水管路網の最下流端の境界条件 (水位) を管底から 2.1 m (計画規模30年のときの下流端の管径) として氾濫計算を実施し、雨水管路網の計画規模3年を現況として3種類の浸水被害防除施設 (雨水管、雨水貯留管、浸透トレンチ (最終浸透能3種)) について費用便益分析を行った。それぞれの施設の計画規模は以下のように設定した。

雨水管路網の計画規模を5年, 10年, 20年, 30年の4種、雨水管路網の計画規模を3年としたときの浸水箇所を考慮して、雨水貯留管の長さを雨水管路網の総延長 1500 m よりも若干短い 1350 m とした。また、雨水貯留管の内径を 550 mm , 900 mm , 1200 mm , 1700 mm , 1800 mm の5段階変化させた。浸透トレンチの計画規模は従来の研究成果をもとに、最終浸透能として $0.76\text{ m}^3/(\text{hr} \cdot \text{m})$ 、 $0.24\text{ m}^3/(\text{hr} \cdot \text{m})$ 、 $0.06\text{ m}^3/(\text{hr} \cdot \text{m})$ の3種とした。また、それぞれの浸透能について浸透トレンチの総延長を 3000 m , 6000 m , 9000 m , 12000 m , 20000 m の5段階変化させた。ただし、建設費の耐用年数として雨水管と雨水貯留管は30年、浸透トレンチは10年とした。

(2) 費用便益分析の結果と考察

① 浸水防除施設の効果

雨水管路網の計画規模を3年としたときの氾濫計算結果では、道路以外の場所 (住宅地等) での浸水深が最大で 15 cm 程度となった。図-5は浸透能を3段階、浸透トレンチの総延長を5段階にわたり変化させたときの建設費用と被害額および被害軽減額との関係である。浸透能は最大のものが最小のものの12倍程度であるが、雨水管路網の計画規模3年を現況としたときの被害軽減額でみると浸透能が最大のものは最小のものに比べて10から20倍程度の被害軽減効果があり、その比率は建設費用の増加に伴って小さくなる。図-6は雨水管、雨水貯留管、浸透トレンチ (浸透能 $0.76\text{ m}^3/(\text{hr} \cdot \text{m})$) のそれ

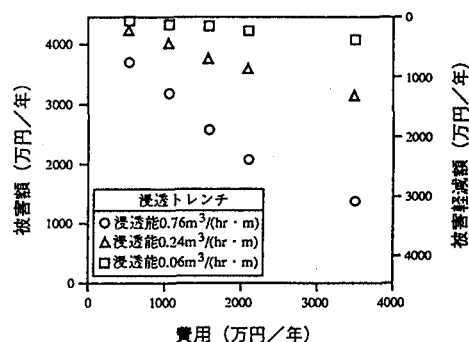


図-5 費用と被害額及び被害軽減額

ぞれの計画規模を大きくしたときの各施設の費用と被害額および被害軽減額との関係である。ただし、雨水管の建設費が5,000万円/年、6,000万円/年のものについては、浸水被害は起こらないものと仮定している。建設費用が3,700万円/年以下では、浸透トレンチが最も安い費用で被害を軽減できることが分かる。また、建設費用の増加率が最小で浸水被害の軽減効果が最大となる施設は雨水管である。

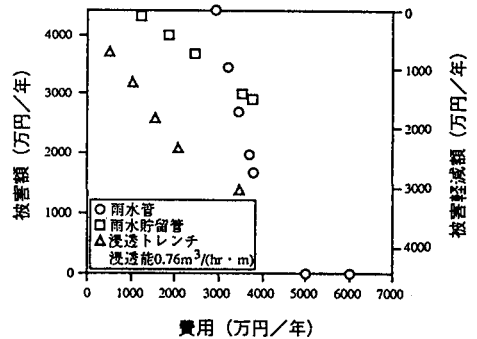
各施設での費用－純便益の計算結果を図－7に示す。それぞれの施設においては、純便益が最大値を示すところが最適設計条件となる。また、各施設相互で比較すると同じ費用でも純便益の大きい方がより最適な施設となる。近年、これらの施設の中で大規模な雨水貯留管を敷設し浸水防除を図るケースが増加しつつあるが、貯留管の貯留能以上の洪水が発生すると以前の洪水で貯留管に堆積していた汚濁物質が巻き上げられ放流水域を汚染し問題となっているところがある。これらの施設以外の浸水防除施設として、貯水池、浸透ます、浸透性舗装等も考えられるが、表－5等に示すように建設費用がかなり高くなる。また、環境保全という視点からすると森林による流出量の抑制が考えられるが、他の浸透施設に比べてかかる費用が極めて大きい。したがって、これらの中では浸透トレンチ（浸透能 $0.76\text{m}^3/(\text{hr} \cdot \text{m})$ ）が最も経済的に効果的な施設である。

②治水経済調査要綱による費用便益分析の問題点

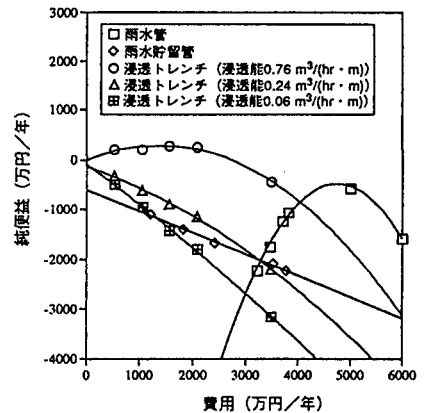
図－7に示すように浸透トレンチ（浸透能 $0.76\text{m}^3/(\text{hr} \cdot \text{m})$ ）以外の施設においては、純便益の値はすべて負の値となる。これは、被害を家屋・家財被害、事業所資産被害に限定していることや、従来の評価では考慮されていない便益があるためで、被害軽減額以外の便益（環境の質の改善、経済的効果、精神的効果）が考慮されれば、純便益の値が正になる可能性がある。また、都市では既存施設の流用、新規のものは公園化するなど他の便益を加える必要がある。以上のように、床下浸水での内水被害を対象とした費用便益分析に治水経済調査要綱の方法を採用するとほとんどのケースで純便益が負の値をとると予想され、投資効果が期待できないことがわかる。

③都市システムとしての予算配分

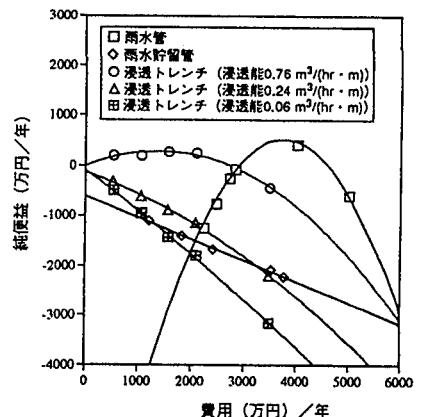
図－8はいずれの計画規模においても雨水管の建設費が、1000万円/年安くなったと仮定したときの建設費用と純便益との関係で、雨水管と浸透トレンチ（浸透能 $0.76\text{m}^3/(\text{hr} \cdot \text{m})$ ）を比較すると、上述の方法では雨水管が最適な施設になるものの、費用の差に比べて純便益の差が小さいため、むしろ浸透トレンチの方を選択し、雨水管との費用の差の分だけを他の都市システムに使用した方が、純便益は大きくなることも考えられる。



図－6 費用と被害額及び被害軽減額



図－7 各施設の費用と純便益



図－8 各施設の費用と純便益
（雨水管の建設費用を1,000万円/年安く見積もった場合）

6. おわりに

本論文のまとめは、以下の通りである。

(1) 下水管渠での内水排除に関わるリスク、便益、費用のそれぞれについて経済的計量化手法の検討を行った。特に現行の費用便益分析手法である治水経済調査要綱で不足している項目を抽出し定式化を試みた。一般論の枠を超えないものもあるが、これらについては今後の検討課題としたい。

(2) 氾濫解析によって得られた浸水深は、最大でも15cmと小さく、従来の評価方法では、浸水深30cm以下は床下浸水として扱うことから、浸水深や浸水時間に関わらず浸水面積当たり一定の被害額になる。

このことは、次のような今後の検討課題を提起している。

- ・ 地下施設の多い都市において、浸水深が被害に関係しないとは考えにくい。
- ・ 交通量の多い都市では、浸水時間がかかなりの影響を与える。

したがって、内水災害における被害額の評価には、数cmから数十cm単位の詳細な被害額の作成と、交通の遅滞などの間接被害の定量化が必要である。

(3) 浸水防除施設として雨水管、雨水貯留管及び浸透能トレンチを取り上げ、現行の治水経済調査要綱の方法により内水被害での費用便益分析を行った結果、浸透トレンチ（浸透能 $0.76\text{m}^3/(\text{hr}\cdot\text{m})$ ）以外の施設においては、純便益の値はすべて負となった。被害を一般資産被害に限定せず、従来の評価では考慮されていない便益を考慮すれば正になる可能性がある。また、表面流出量を抑制するためには森林を増やすことが考えられるが、他の浸透施設に比べて必要経費が極めて高く、この負値を解消するには都市では公園化するなど他の便益を加える必要がある。

〔参考文献〕

- 1) 鈴木 章（1990）：浸水被害額の定量化方法に関する検討，下水道協会誌，Vol.27，No.312.
- 2) John A.Dixon, Richard A.Carpenter, Louise A.Fallon, Paul B.Sherman and Supachit Manopimoke, 長谷川弘訳（1991）：環境はいくらか，環境の経済評価入門，築地書館.
- 3) 土木学会編（1986）：海外交通プロジェクトの評価，鹿島出版会.
- 4) 流域別下水道整備総合計画調査指針と解説（1993）：日本下水道協会.
- 5) 植田和宏，落合仁司，北島佳房，寺西俊一（1991）：環境経済学，有斐閣ブックス.
- 6) 弓倉純一（1982）：合流式下水道の改善，土木技術資料24-8.
- 7) 山下孝光（1993）：雨水管路網の流入水流下能に関する研究，九州大学大学院修士論文.
- 8) 栗城 稔，木内 豪，田中義人，笹川精一（1995）：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，下水道協会誌，Vol.32，No.380.
- 9) 建設省土木研究所下水道研究室（1992）：管内貯留に関する調査，土木研究所資料第3060号.