

雨水浸透評価手法 に関する調査研究

1. 研究の目的

雨水浸透施設は、①雨水流出量の削減、②水環境の回復・保全一等の効果があり、効率的に雨水対策を整備する上での効果的な一手法である。また、雨水流出量の削減や従来の雨水管渠断面の縮小化等、コスト削減の一方策としても期待でき、主に都市化による雨水流出量の増大に対する対策として、大都市や都市化が急激に進んだ都市で採用されている。しかしながら、雨水流出抑制に効果があるものの、長期的な浸透の評価が困難なために、浸透の効果に関する定量的評価手法が確立されていない状況にある。このため、下水道雨水浸透施設は、雨水流出抑制の補助的な位置づけとされている事例がほとんどである。

本研究では、雨水浸透事業の実例をもとに、雨水浸透計画の作成方法や雨水浸透効果の定量的な評価手法の確立、さらに、従来型の下水道管渠計画との総合的な比較を行うことによるコスト削減効果の把握を目指す。これらを通じて、雨水浸透計画の作成手法や雨水浸透効果の定量的な評価手法を、建設省の「下水道雨水浸透施設設置の手引き（案）」や（財）下水道新技術推進機構の「下水道雨水浸透施設技術マニュアル」に取り入れ、これら手引きやマニュアルを充実することを目的とする。

2. 研究体制

千葉市、横浜市、平塚市、名古屋市、尼崎市をはじめ7自治体1団体からなる「雨水浸透評価手法検討委員会」を平成9年度より設置し、3年間にて検討を行うものとする。

3. 研究（検討）フロー

本研究（検討）の全体フローを図-1に示す。

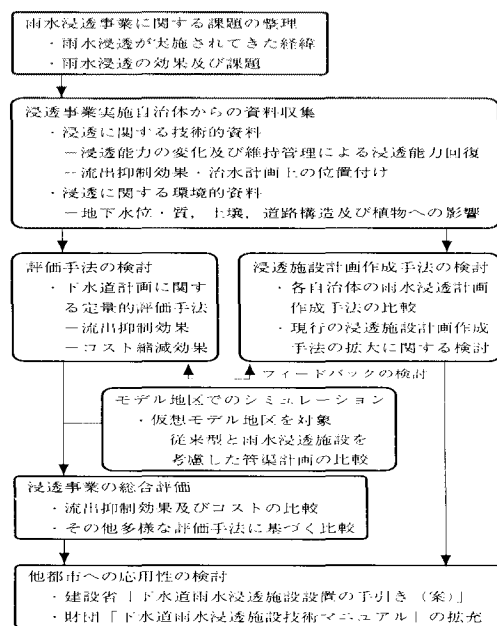


図-1 研究フロー

平成10年度は、平成9年度において実施した、主要7都市及び公団に対する実態調査及び文献等から収集した各資料の整理・分析結果を受け、技術的・環境的な課題をもとに「浸透計画作成手法」及び「浸透効果の定量的評価手法」について検討を行い、各手法論の確立を図ることとした。

4. 平成10年度の研究内容

4-1 計画浸透量の簡易算出方法

計画段階において対象とする地域の雨水浸透量を簡易に把握することは、浸透施設設置計画を効率よく進めるための重要な課題であり、この算出手法の標準化により、雨水流出抑制対策として積極的に雨水浸透施設を導入することが可能となる。

計画浸透量の簡易算出は、①地域特性を反映した適地マップの作成、②単位浸透量の推定、③設置密度の推定を行い、各浸透施設毎の全浸透量を算定する手順(図-2)で行う。

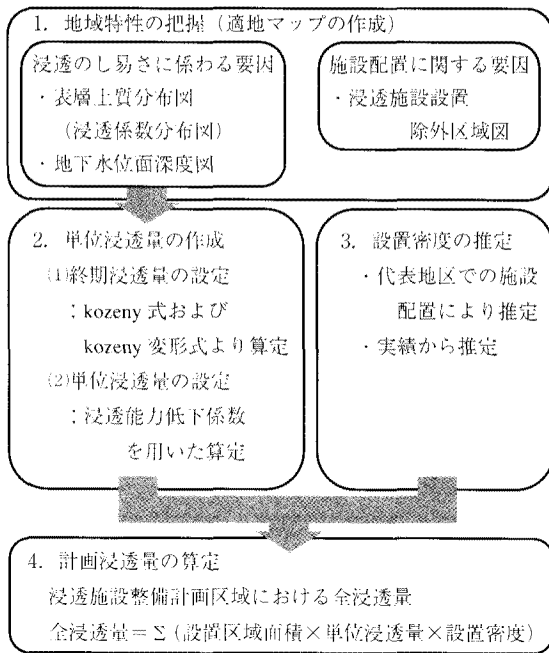


図-2 計画浸透量の概略算出法

(1) 簡易算出法の特徴 (既存算出方法との相違)

本研究で提示する計画浸透量の簡易算出法の特徴は以下の通りである。

- ① 適地マップ作成に必要な図面を、現行の6種類から最低限必要な「表層土質分布図」、「地下水位面深度図」及び「浸透施設設置除外区域図」の3種類に絞っている。
- ② 単位浸透量及び設置密度を標準化している。

特に②の単位浸透量及び設置密度の標準化により、計画浸透量の算出に要する作業は大幅に削減される。以下にこれら標準化の内容を記す。

(2) 単位浸透量の標準化

浸透施設整備計画における単位浸透量とは、終期浸透量に長期における浸透能力の低下を見込んだ数値である。現行の算出方法には、土木研究所方式、住宅・都市整備公団方式及び(社)雨水貯留浸透協会方式の3種類があり、各算出式の項を整理すると単位浸透量を式-1の様に定義している。

$$\text{単位浸透量} = \text{安全係数} \times \text{影響係数} \times \text{寸法効果} \times \text{終期浸透量} \quad \dots\dots \text{式-1}$$

※影響係数：日詰り、地下水位、降雨、温度等の影響を考慮

しかし、各方式毎に各係数の考え方が異なるため煩雑である、いずれの方式も、長期における浸透能力の低下が10~20年の供用年数で1~2割程度の低下と算出されるのに対し、現実には、これまで収集した能力低下の実績値がこれに比べて大幅に減少している、という問題点があげられる。

そこで、長期における浸透能力の低下割合を、理論式ではなく全体的な傾向から捉えることとし、この割合を、10年経過時の浸透能力保持率及び維持管理効果を考慮した浸透能力低下係数として設定することとした。これにより、式-1中の安全係数、影響係数及び寸法係数は浸透能力低下係数に含まれると考え、下式(式-2)を用いて単位浸透量を算出することとした。

$$\text{単位浸透量} = \text{浸透能力低下係数} \times \text{終期浸透量} \quad \dots\dots \text{式-2}$$

以下に各浸透施設の浸透能力低下係数の設定方法を述べる。なお、本検討に用いたデータは図-3に示すものであり、各施設の10年経過時の浸透能力保持率は、各施設毎の全データの回帰式より算出した。

1) 浸透ます (調査数17件)

10年経過時の浸透能力保持率 = 18%

浸透ますは、設置後1~2年と早い段階で浸透能力が10%以下に低下するデータも見られた。ますの設置条件によっても保持率は大きくばらつくものと考えられるが、回帰式の結果より、浸透能力低下係数は0.2とする。なお、清掃等による浸透能の回復割合は高いことや、設置条件によって日詰まりの度合いが異なることから、それらの要素も考慮すべきと考えられる。

2) 浸透トレンチ (調査数9件)

10年経過時の浸透能力保持率 = 47%

浸透トレンチも浸透ます同様、経過年数が進むにつれ浸透能力は低下するが、ますに比べゆるやかに

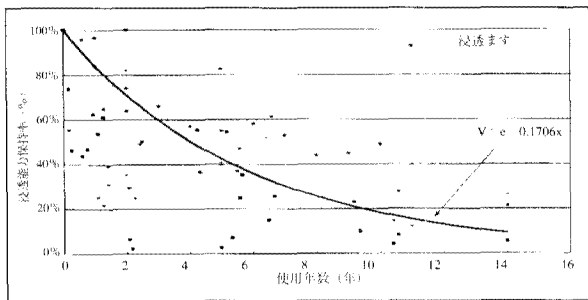
低下する傾向がみられる。一方、清掃等の維持管理による明確な機能の回復は見られない。調査対象施設毎に特異な能力変動傾向が認められなかったため、回帰式の結果通り浸透能力低下係数は0.5とする。

3) 透水性舗装 (調査数8件)

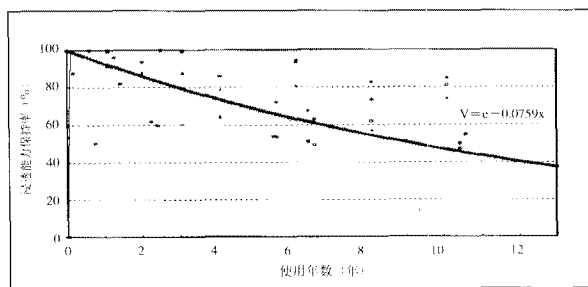
3年経過時の浸透能力保持率≒15%

透水性舗装の能力低下割合は、供用年数が進むにつれ、浸透ますや浸透トレンチに比べ急激に減少する傾向がある。これは、浸透部が外部に直接接しており、目詰まり等が急激に進行するためである。しかし、高圧ジェット等により浸透部が直接洗浄できるため、清掃による能力回復率は高いことがわかっている。ここでは、浸透能力低下係数を回帰式の算出結果より0.2とする。なお、透水性舗装については、特に清掃等の維持管理が重要課題となる。

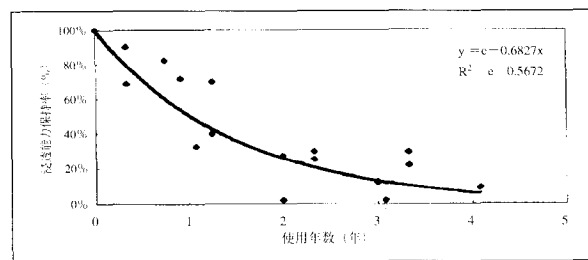
以上の通り、単位浸透量算出時に用いる浸透能力低下係数を暫定的に標準化した。本数値はあくまでも調査結果に基づくものであり、調査した施設毎の地理的な条件や維持管理状況の相違に加え、特にますについては人為的な目詰まり要因の投入等も考



a. 浸透ます



b. 透水トレンチ



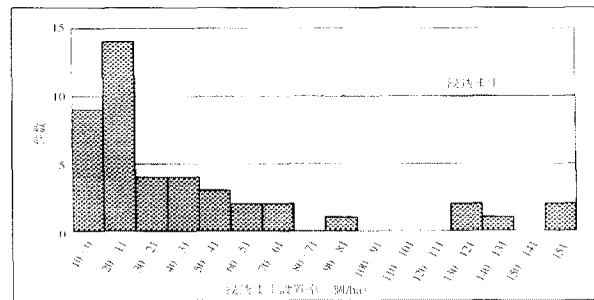
b. 透水性舗装

図-3 浸透能力の経時的変化

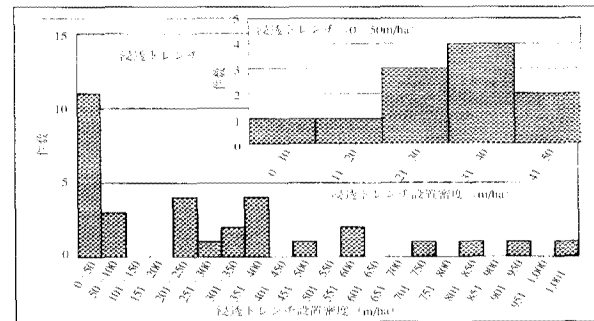
えられるため、調査対象施設の諸条件をそろえた上での追跡調査を行い、精度を高める予定である。

(3) 設置密度の標準化

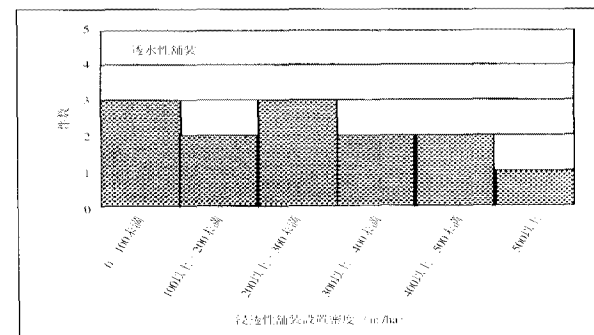
計画浸透量の算定は、これまで述べた各浸透施設毎の単位浸透量に、浸透適地マップより得られる設置面積に設置密度を乗じた浸透施設設置数量を乗算すればよい。本研究では、簡易的に計画浸透量を算出することを目的として、既存の浸透施設導入事例からの設置密度の標準化を目指す。集水面積と各浸透施設設置数の実績を図-4に示す。



a. 浸透ます



b. 浸透トレンチ



c. 透水性舗装

図-4 浸透施設設置密度実績分布図

但し、本調査では、調査対象地区に浸透施設設置不適地を含んだものも集水面積として集計されており、本来であれば集水面積から浸透不適地を除いた有効設置面積による評価をすべきである。

また、土地の利用形態も考慮する必要がある。土地利用形態毎の有効設置面積での評価を行うことを目的に、追跡調査を行う。ここでは、各施設の設置

密度最頻値を設置密度モデルとして以下の通り設置した。

- 浸透ます : 設置密度 15個/ha
- 浸透トレンチ : 設置密度 35m/ha
- 透水性舗装 : 設置密度 250m²/ha

なお、本数値はあくまで暫定値であり、上記追跡調査により、実績データを増やした時点で見直す予定である。

4-2 整備効果の評価手法について

一般に、浸透施設の整備によって期待できる効果には、次に示すものが挙げられる。

- ① 浸水の防除
- ② 合流改善
- ③ 河川の平常時流量の増加
- ④ 湧水の増加・復活
- ⑤ 都市内気候の緩和
- ⑥ 緑地への水分補給
- ⑦ 地盤沈下の抑制

これらの内、①と②については下水道施設への流入水の減少に伴う効果であり、③から⑦は地盤へ供給される水分の増大に伴う効果である。図-5に浸透施設による効果の概念を示す。

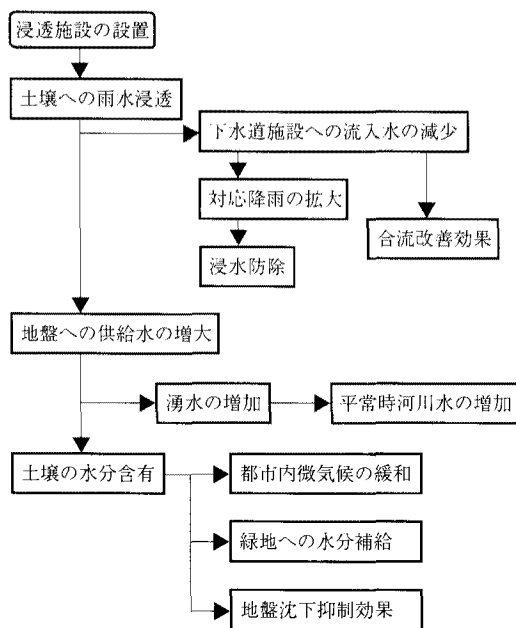


図-5 浸透施設設置による効果概念図

これら7項目の評価手法について検討を行った結果を以降に記す。

なお、都市内微気候の緩和及び緑地への水分補給については、まだ定性的な評価の段階にあるので、文献を整理して事例等の紹介にとどめるものとし、地盤沈下抑制効果については、地盤沈下のメカニズ

ムから考えると雨水浸透による抑制効果は小さいものと考え、本研究では取り扱わないものとする。

(1) 浸水防除の評価について

浸水防除の評価としては、A.対応降雨強度、B.対応流出係数、C.浸水面積、D.浸水箇所、E.浸水戸数及びF.整備コスト（新規計画及び見直し計画）の7項目である。

これらの内、汎用的な一般論として評価可能な項目は、A.及びB.の「対応降雨強度・対応流出係数」とF.の「整備コスト」である。これ以外の項目については、浸水の判定が埋設深さや地表勾配などに大きく影響され、地域性により決定する要素が強い。このため、実証地区での検討は可能なものの、一般論としての評価が困難である。

なお、この汎用的な評価については、20ha程度のモデル地区を設定し、シミュレーションにより検討を行うものとした。本検討結果については、本書で後述する。

(2) 合流改善の評価について

合流改善の評価項目として、以下の3項目が挙げられる。

- A.越流負荷量
- B.越流（または放流）回数
- C.整備コスト

実際、合流改善効果の評価項目としては上記の項目が挙げられるが、これらの評価を一般化するためには、多大な蓄積データによる降雨データの一般化が必要となり、本研究での一般化は困難である。

そこで、本研究では、合流改善効果の評価を各都市で実施するにあたり必要となるパラメータの一般化を行うこととした。

表-1に合流改善効果の評価に広く利用されている、「修正RRL法+土研モデル」の組合せ計算において必要となるパラメータを示す。

表-1 必要パラメータ

必要パラメータ	関連する項目
晴天時汚水量	発生負荷原単位（土地利用）
到達時間	管網諸元
到達時間別面積	管網諸元
不浸透面積率	土地利用状況
S-Q曲線パラメータ	管網諸元
降雨データ	実降雨データ
晴天時発生負荷量	発生負荷原単位（土地利用）
負荷流出係数	発生負荷原単位
初期管渠内堆積物負荷量	発生負荷原単位
限界流量	晴天時最小流量
路面残存負荷流出量	土地利用状況
初期路面残存負荷量	土地利用状況
路面等供給負荷量	一般値を参考
限界降雨	一般値として2mm/hr

今後、これら一般化したパラメータと想定した降雨データを用いて、前述の3項目についての評価手法を確立していくものとする。

(3) 河川の平常時流量の増加及び湧水の復活・増加について

本項目については、河川関係等で定量的な評価が試みられている。そこで、文献を整理して、考え方、具体的な手法及び事例を示していくものとする。

河川の平常時流量の増加、湧水の増加などは、近年話題になっている水循環再生システムにおいて、タンクモデル等で表現されることが多い、しかし、タンクモデル等は多くのパラメータを必要とし、それらを決定するためには実測値を必要とする。

また、ある都市においては、これとは異なる考え方で、河川の水深をある程度維持するために必要となる浸透量の考え方を以下の様にまとめている。

a. 目標地下浸透量の考え方

目標地下浸透量は、「冬季に川としての景観を保ち、中流置点で鯉が生息するために必要な水深を、河川下流地点で10cmとし、夏の湧水量、源流量とも豊富であった平成元年度の地下浸透量を目標として、目標浸透係数を算定した」とし、降雨の実績データより、間接的に設定している。

平成元年の年間降雨量×集水面積＝年間降雨総量
これに対し、河川水深10cmを確保するのに必要な地下浸透量を設定し、目標浸透係数を定める。

b. 浸透係数と年間地下浸透量の算定

ここで述べている浸透係数とは、雨水の蒸発散を無視した場合、降雨量の内、地表面に流出する割合を流出係数とし、浸透係数は下式にて定義している。

$$\text{浸透係数} = 1.0 - \text{流出係数}$$

また、年間地下浸透量については下式にて算出される。

$$\text{年間地下浸透量} =$$

$$\text{浸透係数} \times \text{年間降雨量} \times \text{集水面積}$$

なお、今回参考とした事例においては、市内の全屋根雨水に対して浸透ますを設置した場合の検討結果として得られる浸透係数が、目標浸透係数に及ばないため、浸透ますの設置のみでの、河川下流点での水深10cmの確保は困難であるとしている。

c. 他地区への適用の可能性

この考え方を整理し、他地区へ適用させるためには、「目標とする水深と地下浸透量の関係の考え方」について詳細な報告書を入手し、明らかにする必要がある。目標水深10cmに対する浸透係数の設定方法が明らかにできれば、他地区への適用も可能になるものと考えられる。

4-3 汎用的雨水浸透施設整備効果

本研究では実証5地区におけるシミュレーションによる検証を行い、詳細なデータを得ることとしているが、このデータだけでは、全国的に使用できる汎用的な評価手法を構築するには不十分である。そこで、約18haの仮想モデル地区を作成し、各評価項目に対するシミュレーションを行い、全国的に使用できる汎用的な評価手法を構築することとした。

(1) 仮想モデル地区

仮想モデル地区は、実在する住宅地区における地形を選定し、標準的な合流式の管網を計画することにより設定した。ここでは降雨強度式として東京都の50mm/hr式、流出係数50%を基本とし検討を進めた。表-2に本検討で設定した仮想モデル地区の諸元を示す。

表-2 仮想モデル地区の諸元

集水面積	18.31ha
降雨強度	50mm/hr
流出係数	50%
降雨強度式	$I=5,000/(t+40)$
流入時間	5 min
最大汚水量	0.0045 m ³ /sec./ha
管径	250~1,350mm
管路延長	3,549.4m
公共ますの設置数量	622個

本研究では、浸透施設設置による効果として期待の大きい「浸水防除」及び「合流改善」について、汎用的評価手法の検討を実施するものとした。ここでは、本年度に実施した「浸水防除」における検討結果を以下に記す。なお、浸水防除における評価項目については、前述の「対応降雨強度・対応流出係数」および「整備コスト」とする。

(2) 対応降雨強度・対応流出係数について

浸透施設を導入することにより、下水道施設が対応できる降雨規模（または流出係数）が見かけ上増加することになる。ここでは、浸透施設を導入することで増加する降雨強度ならびに流出係数を、現行のマニュアルに示されている「合理式による方法」を流末に適用することにより、計画地域全体を評価するものとした。

ここでは、ある一つの降雨強度式を例にとり、もともとの流出係数を0.50、0.65、0.80と変化させて検討を行った。各ケースにおける計画浸透量に対する浸透施設対応降雨強度と対応流出係数の計算結果を図-6、7に示す。

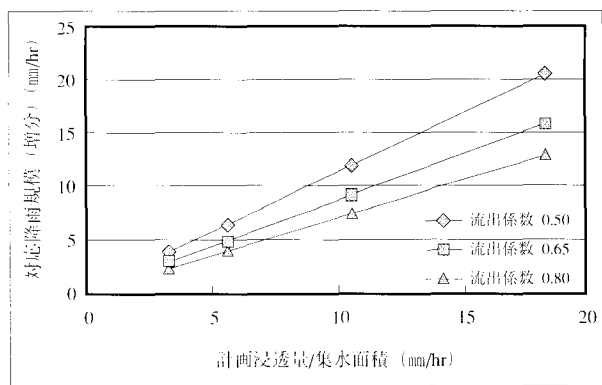


図-6 計画浸透量と対応降雨強度の関係

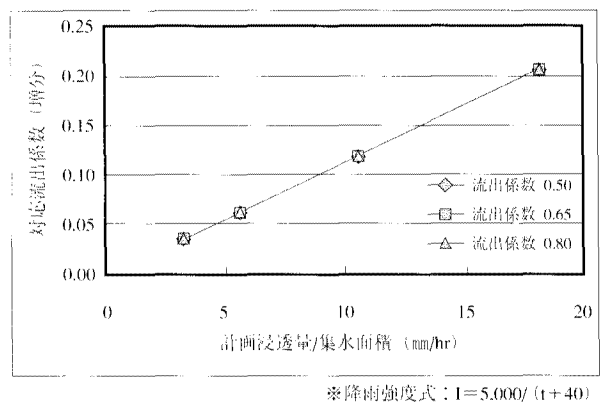


図-7 計画浸透量と対応流出係数の関係

- ・いずれの流出係数においても計画浸透量/集水面積が増加するに伴い、対応降雨強度ならびに対応流出係数が直線的に増加する。
- ・対応降雨強度の場合、元々の流出係数が低いほど対応流出係数が大きく表れる。これは流出係数が大きければ流出量が大きくなるのに対し、計画浸透量が一定であるためである。
- ・対応流出係数の場合、もともとの流出係数の違いが対応流出係数に及ぼす影響は小さい。

(3) 整備コストについて

浸透施設の導入効果の一つとして整備コストの縮減が上げられる。整備コストの縮減については、次の2点を考慮する必要がある。

- ・ある一定の計画浸透量を満たすために、効果的な浸透施設の組合せ
- ・浸透施設により、既計画よりも下水道管渠への流入水量が減少し、それに伴う管渠規模の縮小

なお、本仮想モデル地区における計画浸透量は、前述において検討した計画条件の標準化を行って決定した計画浸透量を用いるものとし、この計画浸透量を変化させることにより、導入効果を検証するこ

ととする。また、設置する浸透施設については「浸透ますのみ」及び「浸透ます+浸透トレンチ」の場合分けを行った。これら設定条件を表-3に示す。

表-3 各ケースにおける計画浸透量の設定

	浸透ますのみ (m/s)	浸透ます+トレンチ (m/s)
Case-1	0.037	0.165
Case-2	0.064	0.285
Case-3	0.124	0.539
Case-4	0.210	0.932

a. 管路整備費（新規計画の場合）

新規計画で浸透施設を導入した場合、既計画時よりも下水道管渠への流入水量が減少し、管渠断面の縮小とそれに伴う整備コストの縮減が期待できる。

ここでは、仮想モデル地区において計画浸透量が増変した場合の管渠の縮小がどのように建設費に反映されるか検討を行った。その際、管渠の建設費の算出にあたっては、「流域別下水道整備総合計画調査指針と解説」(社)日本下水道協会)における管きよ建設費用関数を用いた。検討結果を図-8に示す。

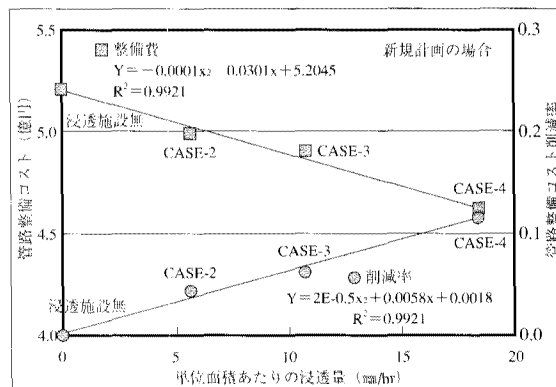


図-8 単位面積当たりの浸透量と整備コストの関係

新規計画において、浸透施設を導入しない場合の建設コストは5.2億円であるのに対して、浸透施設を導入し管渠断面が縮小された管路整備コストは、単位面積当たりの浸透量が増えるに従い5.0億から4.6億円へと低下している。また、浸透施設を導入しない場合の管路整備コストを100%とした場合、浸透施設を導入した場合の管路整備コストの削減率は、4~12%程度となった。

b. 管路整備費（見直し計画の場合）

既に整備が済んだ（または現在整備中）下水道施設をより高い水準へ対応させる場合（以下「見直し計画」という）、新たに下水道施設の増強を行う必要がある。本検討においては、見直し計画に浸透施設を導入することにより、増強する下水道施設がど

の程度軽減できるか検討を行った。なお、本検討においては、既計画が降雨強度50mm/hr、降雨強度式を $I = 5000 / (t + 40)$ 、流出係数50%で整備が行われている仮想モデル地区を、降雨強度及び降雨強度式は固定で、流出係数を80%にまで整備水準を高める場合について検討を行った。

施設の増強法としては、既設管渠に平行して増補管を設け、既設管渠の能力を上回る流量を増補管へ分水するものとした。ここでは整備水準を上げるために必要となるこの増補管の整備費を検討することにより、浸透施設が見直し計画に及ぼす影響を検討することにより、浸透施設が見直し計画に及ぼす影響を検討した。各施設の整備単価は新規計画の場合と同様である。検討結果を図-9に示す。

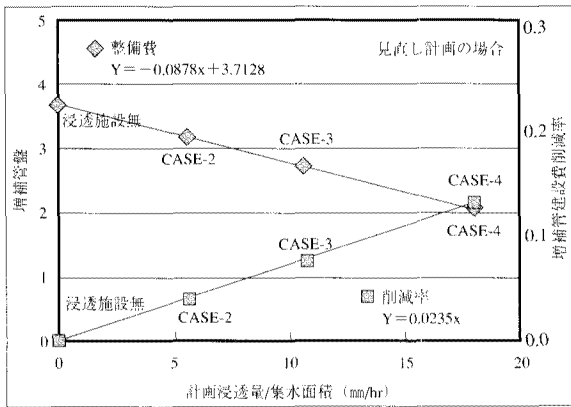


図-9 単位面積当たりの浸透量と整備コストの関係

計画浸透量の増加に伴い、増補管建設コストが直線的に減少しているのがわかる。浸透施設を用いず、増補管を建設した場合、3.7億円の整備コストがかかるが、浸透施設を用いて場合、CASE-2で3.2億円、

CASE-3で2.8億円、CASE-4で2.1億円となった。

また、削減率をみると13%~44%の削減となっており、新規計画の時に比べ、浸透施設の影響が顕著に表れているといえる。

この新規計画との違いは、既設管の存在にある。増補管は、既設管の不足分を補うための管渠であることから、既設管が十分な能力がある場合、増補管は不要になり、布設延長が縮減される。しかし、新規計画の場合、浸透施設の効果は、布設延長は変わらず、管径の縮小のみに寄与するが、見直し計画の場合、布設延長と管径の両方に寄与する。このため見直し計画の場合、浸透施設の効果は顕著になるといえる。

5. 今後の予定

本年度の調査研究において、「浸透評価手法」及び「浸透施設計画作成手法」に関する幾つかの提案を行った。また、仮想モデル地区を設定したシミュレーションによる、汎用的な評価手法の構築にもとりかかりはじめた。

今後は、実証5地区における浸透効果に関する総合的な評価を行い、仮想モデル地区を用いた汎用的な評価手法についての検証を行うとともに、浸透事業の総合的な評価手法のあり方について検討を行う。

また、これら結果を「雨水浸透評価手法検討委員会」のなかで検討・審議し、浸透に関する定量的な評価手法を確立し、その結果をふまえ、建設省の「下水道雨水浸透施設設置の手引き(案)」や(財)下水道新技術推進機構の「下水道雨水浸透施設技術マニュアル」のさらなる充実を図ることにより、雨水浸透事業の一層の推進を目指す。

●この調査研究に関する問い合わせは

研究第二部長
研究第二部主任研究員
技術部研究員
研究第二部研究員
研究第二部研究員

篠田 康弘
長谷川隆之
中西 祐啓
中西 康博
藤浦 哲士