

雨水流出アセスメントのための不透透面積率と流出率の考察

○ 関西大学工学部土木工学教室 和田安彦
大阪府土木部 木村淳弘

1. 緒言

都市の不透透面積の変化の検討は、雨水流出アセスメントのためにはもちろん、下水道計画をたてる場合の基本となるものである。都市の不透透面積がどのように変化してきたのかについての研究は数少なく、その実証的な研究事例も少ない。

市街地の不透透域では、降雨開始とほぼ同時に流出が始まり、流出の上昇率は排水区域面積が河川や山地流域と比べて小さいとしても、河川や山地流域の流出の概念では理解できないほど急激な状態で、ハイドログラフの形状は概して降雨波形に類似している。この傾向は市街化の進行した排水区でよく見掛けられる。

このような都市雨水流出に関係する大きな要素は、不透透率、流出率である。この要素の設定が将来の土地利用の上で適正に予測評価されていないと、雨水流出制御が十分に行われえない。

ここでは、以上の考えから、人口等の変化に応じて不透透率、流出率がどのように変化するかを大きな対象域のモデル地域を取り上げ、流域をメッシュ化して、人口等に伴う土地利用の関数として実証的に調査解析を行う。それをもとに、人口からみた流出率の予測算定について論じる。これは雨水流出アセスメントのために、今後さらに重要となる。

2. 都市の不透透面積の変化

都市の不透透面積が、人口等の変化に応じてどのように変化するかを寝屋川流域のある区域(15.619 ha)を取り上げ、流域をメッシュ化して、人口等に伴う土地利用の不透透率、流出率についての調査解析を行う。

(1) 対象域とメッシュ

1) 対象域 対象域は寝屋川北部、南部流域下水道区域内であり、その中に含まれる対象都市は枚方市、交野市、寝屋川市、門真市、守口市、四条畷市、大東市、東大阪市、八尾市、柏原市、藤井寺市、大阪市の12都市である。

2) メッシュ 大阪府下を26.473 ha(東西 573 m、南北 462 m)のメッシュに分割した情報(総理府が全国基準メッシュとして用いている国調データの入っているもの)をもとに、寝屋川流域の590個のメッシュ(1/30,000の図2枚)を対象とする。

不透透率、流出率の算定の基礎となる対象メッシュの選定は次のように行った。① 可能な限り純化した用途地域を選定する。② 市街化区域、市街化調整区域を選定する。③ 代表的な用途地域を複数箇所選定する。以上の考え方をもとに、乱数表を用いてランダムに寝屋川北部流域では5ヶ所、寝屋川南部地域では12ヶ所の計17ヶ所を代表メッシュとして選定した。

(2) 土地利用の変遷

土地利用がこの10年間にどのように変遷したのかを検討し、宅地化の進展状況を追跡することにより、不透透面積率、流出率の変化を検討することが可能となる。

表-1、図-1は、大阪市を除く関連行政区11市(枚方市、交野市、寝屋川市、門真市、守口市、四条畷市、大東市、東大阪市、八尾市、柏原市、藤井寺市)全体の土地利用の変貌

表-1 土地利用の変化

単位: ha

項目	昭和40年		昭和45年		昭和50年	
	面積	%	面積	%	面積	%
宅地	6,448	20.6	9,412	30.1	10,786	34.5
農地	9,006	29.0	6,199	19.8	4,241	10.6
林地	6,760	21.6	6,753	21.6	5,287	16.9
道路			2,071	6.6	2,283	7.3
水路					1,514	4.8
その他	(8,999)	28.8	(6,853)	21.9	7,182	23.0
計	31,293	100.0	31,293	100.0	31,293	100.0

を表したものである。¹⁾

昭和40年からの変遷過程をみると、変化量の大きいのは農地と宅地である。農地は昭和46年頃までは急激な減少を示しているが、昭和48年以降、減少量は鈍化している。森林面積は47年頃から減少し始め、開発が進行している。農地と森林面積の減少は直接宅地化となって表れている。ここで、宅地とは住宅地、工場用地、事務所・店舗等の用地を含めたもので、その他は学校、公園、公共施設等による公共用地を表している。

宅地化がどのように昭和40年(20.6%)から昭和50年(34.5%)には1.7倍と増加し、この間に流出係数も大幅に増大していることを表している。しかし、最近では土地利用の急激な変化は停止し、宅地化への転用速度も減少しており、流出係数の急激な増大はみられない。

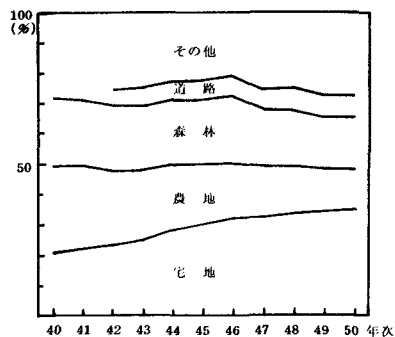


図-1 土地利用の経年変化

3. 都市の不浸透面積の特性³⁾

当該モデル地域における都市の不浸透面積の特徴について、以下にあげる土地利用、人口密度、不浸透率、流出率の関係とその特性を検討する。

(1) メッシュの人口密度と不浸透率

1) 人口密度と土地利用 人口密度は対象基準メッシュ(26.473 ha)内の夜間人口をメッシュ内面積で除したグロスの人口密度を表している。土地利用は対象メッシュ内の土地利用をカラー写真(1/2,500)を拡大し、屋根、舗装道路、舗装空地、水路・池、未舗装道路、田畑、未舗装空地の用途毎に分類し、その面積を算定した。

人口密度と土地の用途利用の関係(図-2)には強い相関がみられ、その主な点をあげると次のようになる。

① 人口密度と屋根面積の関係は一次式で表され、人口密度が高くなれば屋根の面積率は高くなる。

② 人口密度と不浸透面積(屋根、舗装空地)の関係は一次式で表される。工業地域では舗装空地の面積が多く、雑居地域での人口密度と不浸透面積率の2倍の値をとっている。

③ 人口密度と舗装道路は直線関係にあり、人口密度の増大とともに舗装道路率は増大する。

④ 人口密度と道路率はほぼ対応がみられ、一次関係にある。人口密度が50人/haの道路率は7%であるが、人口密度が200人/haの道路率は18.2%となる。用途地域別に大きな差異はない。

なお、工業地域の屋根面積率は、雑居地域の人口密度と屋根面積率の関係に工業用地面積率を乗じた値となっているのが注目される。

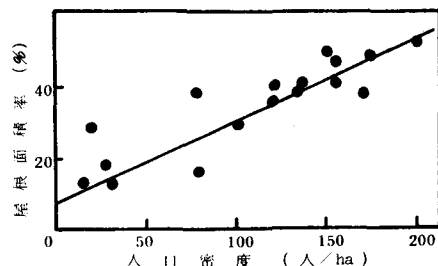


図-2 人口密度と屋根面積

2) 不浸透率 選定したメッシュでの不浸透率の算定は、昭和50年のカラー航空写真(大阪府農林部自然保護課)の元版(1/8,000)を1/2,500に拡大し、それをもとにする。メッシュ内の土地利用を航空写真から、屋根、道路(舗装、未舗装)、空地(田畑、舗装、未舗装、水路、山地(森林等の樹木))について区分し、アラニメータにより面積測定を行った。測定誤差は5%以内で、誤差は各工種別面積に応じて配分した。不浸透面は屋根、舗装道路、舗装空地、水路とし、その他の工種は浸透面とする。

3) 流出率 メッシュ内の流出率は、土地利用における工種別面積をもとに、「下水道施設設計指針」²⁾による工種別基礎流出係数の中間値を用い、それぞれ次のようになる。屋根 0.90、舗装道路 0.85、舗装空地

0.80, 水路・池 1.00, 未舗装道路 0.20, 田畑 0.20, 未舗装空地 0.20

(3) 不浸透面積, 流出率の特性

流域内の不浸透率, 流出率は人間の生活に基づく土地利用の結果として表れるものである。従って, これらの特性を明らかにするためには, 人口(密度)動態, 分布, 土地利用をもとにして解析する必要がある。ここでは流域メッシュ内の諸元をもとに, 人口密度から不浸透率, 流出率を算定するための基礎的解析を行う。

1) 人口密度と不浸透率 メッシュ内の人口密度と不浸透率の関係は図-3のようになり, 次の特徴がある。

- ① 工業地域, 準工業地域を除いては, 人口密度と不浸透率は関数関係にあり, 人口密度が110人/haを超えると不浸透率は50%を超えている。
- ② 人口密度が200人/haとなっても, 不浸透率は70%程度にあり, この点が両者の目安となる。
- ③ 市街化調整区域においては, 不浸透率は20%前後にあり, 人口密度も50人/ha以下で, 人口密度とはほとんど関係していない。
- ④ 人口密度の増加に伴って不浸透率は増加しているが100%の不浸透率にはならず, 幾分緑地やオープンロット等が存在するため, 不浸透率はある値に漸近するものと考えられる。むしろ, 100%の不浸透率になると, 人間が生活する上で必要な開いのための面積が満たされなくなり, 自ずと限界がある。

以上の考え方から, 不浸透率の飽和値を80%程度として, ロジスティック曲線で表すと次のようになる。なお, 相関係数は95%以上存在し, 下限値は不浸透率18%, 流出率32%である。

① 住商混合地域

$$y_1 = 75.0 / (1 + \exp(-0.0185x + 1.4414)) \quad (1)$$

$$y_2 = 70.0 / (1 + \exp(-0.0160x + 0.5055)) \quad (2)$$

② 工業地域

$$y_1 = 75.0 / (1 + \exp(-0.0365x + 0.7715)) \quad (3)$$

$$y_2 = 70.0 / (1 + \exp(-0.0325x + 0.1006)) \quad (4)$$

ここで, y_1 : 不浸透率(%), y_2 : 流出率(%), x : 人口密度(人/ha)

2) 人口密度と流出率 メッシュ内の人口密度と流出率の関係には次の特徴がある。

- ① 人口密度と流出率の関係は, 人口密度と不浸透率の関係のパターンとはほぼ類似しているが, 市街化調整区域等の不浸透率の小さいところは流出率がやや大きくなり, 人口密度が大きく不浸透率の大きいところの流出率はやや小さくなっている。

② 人口密度100人/haで流出率0.5, 200人/haで0.7が目安となる。

3) 不浸透率と流出率

- ① 相関関係 不浸透率と流出率の関係(図-4)はほぼ直線となり, 両者に対応がみられる。その回帰式は次のようになる。

$$y = -30.13 + 1.48x \quad (5)$$

ここで, y : 不浸透率(%), x : 流出係数

- ② 下水道整備代表地点の流出率とメッシュの流出率の比較 下水道整備のための代表的なモデル地点(対象メッシュ内の平均的な住宅化の進んだ地点1ha)の流出率, 不浸透率とメッシュの測定値の関係(図-5)から

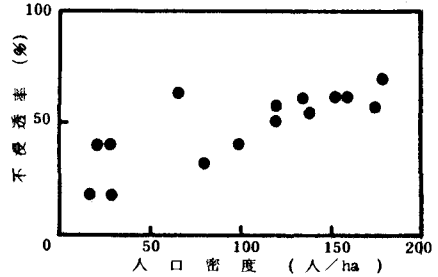


図-3 人口密度と不浸透率

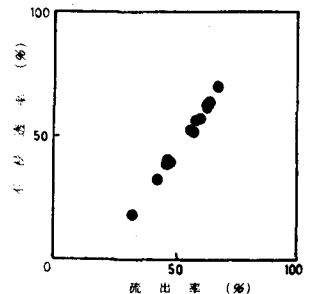


図-4 流出率と不浸透率

次の特徴がみられる。

a) 代表地点(1ha)の不浸透率, 流出率がメッシュのそれより大きい。その割合は10~20%にあり, 1haの地点の選択が, 比較的流出率の大きい地点のものであることに起因している。

b) メッシュ(26.373ha)ごとの不浸透率, 流出率は対象メッシュ面積が大きくなるほど平均的な値に近くなることを表し, 1haのそれよりも全体として安定した値を示す。

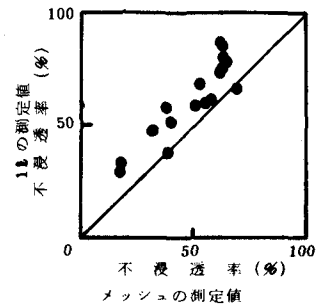


図-5 メッシュ(26.473ha)の測定値と代表値(1ha)の測定値

4. 雨水流出アセスメントのための新しい流出率算定の考え方と方法

(1) 従来法による流出係数算定上の問題点

流出係数の算定は, 工種別基礎流出係数をもとに, 対象地域の工種構成から総括流出係数を求めるのが一般である。この算定方法には以下のような問題点がある。

1) 大きな排水区のすべての工種構成を調査できないため, 小さなモデル排水区で代表させるが, モデル排水区の代表性の問題がある。

2) モデル排水区は, 一般に用途地域ごとに算定され, モデル排水区外の田畑や無数に存在する空地等は評価されない場合が多い。これは, 土地利用区間の密度分布が評価されず, 流域を一般的な土地利用とみなしているため, 流出係数を過大に評価することになる。

3) 人口が急激に増大せず横ばい状態で推移する都市域では, 田畑, 空地, 緑地の取り扱いが重要であり, その場合にモデル排水区の算定に田畑, 空地を十分取り入れる必要がある。

4) 流出係数は地域社会の現象を反映しており, 土地利用のみで概略は説明づけられるが, 地域の人間活動や生活による部分も関係しており, 用途地域以外に関与する部分もある。

以上のような問題点を積極的に改良して, 対象地域の現況と将来を見越した総合流出係数の算定が重要となる。

(2) 新しい流出率算定の考え方

流出率は, 市街地に降った降雨量が流出量となって流出する, 基本的な地形および自然条件を含めた流出の割合を表す指標である。あくまで現況の土地利用がその中心となるが, 土地利用に反映する大きな要因は, 人間を中心とした営みによるもので, 人口, 人口密度等の社会指標でも表しうる。従来, 下水道雨水排水計画では, 土地利用と社会指標の関係はそれほど明確には取り扱われていない。従って, 社会指標そのものが下水道計画の雨水排除計画に直接的に反映されることはほとんど少なかったといえる。ここでは新しい流出率の試みとして, 社会指標と土地利用を用い, 両者の諸元とその特徴を具体的に結びつける方法によって, 平均的な流出率の検討を行うものである。そのフローは図-6のようになる。

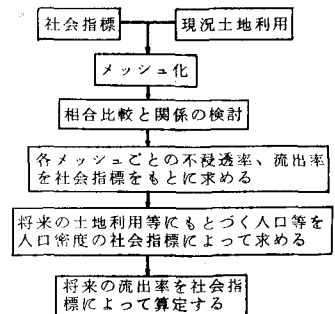


図-6 新しい流出率算定のフロー

社会指標として, 人口密度, 人口, 工場等の出荷額, 種々の将来の土地利用変動要因などが用いられ, 現況土地利用との関係をメッシュ化したデータから求め総合比較する。各メッシュごとのこれらの各要因と不浸透率,

流出率の関係を求める。一方, 将来を見込んだ雨水流出のアセスメントを行うために, 将来の土地利用等に基づく人口や人口密度等の社会指標を投入し, 将来の流出率を予測する。これによって, 当モデルと従来法によって求めたものの総合比較を行い, 雨水流出アセスメントのために望ましい流出率を算定することができる。

(3) メッシュ別流出率の予測

以上のような基礎分析と考え方, フローチャートにより対象域全体の不浸透率, 流出率を求めた(図割愛)。

その特徴の主なところは次のものである。

1) 各メッシュの値から、都市の発展や人口分布によって不浸透率、流出率の差異が明確に表され、土地利用をマトリックス表示できる。

2) 不浸透率、流出率の大きいところが点在し、農村、山間部と市街地の差異が明確に表れている。

3) ホンパ場の位置は流出率の高いところと低いところにあり、ランダムな土地利用の上に立地している。

(4) 社会指標を加見したモデルの利点

社会指標も加見した当モデルの利点をあげると次のようになる。

1) 社会活動やそれらに伴う社会指標により、都市の発展や人口分布をもとに不浸透率、流出率の差異が明確に表され、将来の土地利用による雨水流出のアセスメントが容易になる。

2) 各メッシュごとに将来の流出率が求められるため、浸水しやすいところが明らかとなり、浸水防止対策が機動的に行いやすい。

3) 従来のモデル排水区の代表性の問題を解決し、各メッシュごとに現状の土地利用等をもとにした流出率が求められる。

4) 従来のモデル排水区以外の田畑や空地が評価され、土地利用における空間密度分布が評価されて、流出係数がより妥当となる。

5. 結 言

都市の雨水流出アセスメントを現状より、より効果的にかつ合理的に行うための社会指標も加見した雨水流出率算定方法モデルについて提示し、検討した。当モデルを従来法によって求めたものと総合比較することにより、多様化し複雑化する都市の土地利用に伴う雨水流出アセスメントのために望ましい流出率を算定することができ、今後、雨水流出率に大きな影響を与える社会活動等を指標にした雨水流出率の算定も重要となってくる。

当研究に対し、御協力いただいた倉敷三樹男（東京設計）氏に謝意を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 「国土利用計画関係資料集Ⅰ（土地利用現況編）」 大阪府土木部土地政策課，昭和53年7月
- 2) 下水道施設設計指針，日本下水道協会
- 3) 和田定彦他；都市人口集積からみた不浸透率と流出率の算定，第18回下水道研究発表会講演集，日本下水道協会，1981年