

(25) エスベイによる雨水流出算定法と その活用上の問題とその考察

関西大学工学部 和田 安彦
○ 藪 利 治

1. 結 論

雨水流出は古くから取り扱われており、主として洪水や、管きょの断面決定に特に重要視されている。近年はさらに、都市の雨水流出による公共用水域の汚濁が注目され、雨水流出を単に量としてではなく、汚濁負荷を含めた質的な検討も必要とされつつある。最も基本となるのは雨水流出量の算定である。雨水流出量の算定には最近では修正RRL法¹⁾があげられるが、計算は比較的複雑であり、必ずしも実測値と合致するとは限らない点がある。雨水流出を実測値とほぼ合致させる方法はその目的によって精度が異ってくるものである。

ここでは、比較的簡単にわかりやすく雨水流出量を算定することができ、広く利用しうる方法について述べ、今後の都市雨水流出による負荷量の算定において合理的なハイドログラフの設定方法を確立させるための1つとしてエスベイ法を活用する場合の問題点、ならびにその特徴について明らかにする。

2. 雨水流出算定法

(1) エスベイ法

下水管きょの設計において最もその基本となるのは降雨流出量のハイドログラフを正しく求めることである。ハイドログラフの求め方には最も簡単でかつ合理的で精度の高い方法として単位図法があり、管きょの設計方法には次の4つがあげられる²⁾。

- 1) 定常流追跡法
- 2) シカゴ法
- 3) ISSモデル
- 4) カイネマティックモデル

ここではエスベイ法³⁾について述べる。

都市域の雨水流出量の算定方法として、単位図を合成するエスベイ法³⁾は比較的容易に流出ハイドログラフを求めることができる。これはヒューストンの11の流域と米国の他の22の流域において集められた雨水流出資料にもとづき、30分降雨による単位ハイドログラフの一般式を高次の回帰式を複合させることによって表わした。

ハイドログラフを描くには次のパラメータが選定される。

T_R ; 流出の開始よりピークに達するまでの時間(分)

Q ; ピーク流出量(立方フィート/秒)

T_B ; 表面流出が始まり終るまでの時間(分)

W_{50} ; ピーク流量の1/2以上になる継続時間(分)

W_{75} ; ピーク流量の3/4以上になる継続時間(分)

求めるための基礎式は次のものである。

$$T_R = 13.12 L^{0.315} S^{-0.0488} I_o^{-0.490}$$

$$A_0 = AI/100$$

$$Q = 3.54 \times 10^4 T_R^{-1.10} (A_0/640)$$

$$T_B = 3.67 \times 10^5 (A_0/640)^{1.14} Q^{-1.15}$$

$$W_{50} = 4.14 \times 10^4 (A_0/640)^{1.03} Q^{-1.04} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$W_{75} = 1.34 \times 10^4 (A_0 / 640)^{0.92} Q^{-0.94}$$

ここで、A；調査地域の大きさ（エイカ）

L；幹線排水路の距離（フィート）

S；幹線排水路の勾配（フィート／フィート）

I；調査地域の不透透面積の割合（％）

I_0 ；100（％）

図－1 はこれらのパラメータを表したものである。

適用範囲は次のものである。

流域面積；3.28～23,600 ha

幹線排水路の距離；168～36,900 m

幹線排水路の勾配；0.00047～0.146

(2) エスベイ法のハイドログラフの特徴

エスベイ法により都市の降雨流出のハイドログラフを求める方法の長所には、次の点があげられる。

- 1) 都市降雨のマクロ流出が容易に計算しうる。
- 2) ハイドログラフの精度は比較的良い。
- 3) 都市全体の流出の状況が把握しやすい。
- 4) 時間降雨でなく30分降雨による流出なので、各降雨による流出の効果が比較的わかりやすい。

比較的大きな降雨の流出を対象にした30分一様降雨によるエスベイ法の特徴を、詳しくまとめると次のようになる。

- 1) 短時間の年間に一回程度の大きな降雨を対象にしたもの。
- 2) 30分単位で、ある降雨が流出してしまうようなものを対象としており、比較的大きな負荷流出を対象としている。
- 3) 33の流域での大きな降雨を対象にしている。
- 4) 小流域では流達時間が短いため、30分一様降雨としており、その間の降雨のパターンの影響を受けやすい。
- 5) 単位のハイドログラフの作り方によってその流出量が多少変りうる。
- 6) 勾配、幹線長、不透透率、面積の4つの変数ですべての降雨の流出の状態を表わすのに限界がある。
- 7) 統計処理により求めたもので理論的に求めた式でないこと。
- 8) 30分降雨の小さい時はピーク流出量が比較的小さくなる。
- 9) 降雨初期流出はやや大きくなり、ピーク流量は小さくなる。
- 10) 流量収支は実測値とはほぼ合致する。

3. 雨水流出算定とその検討

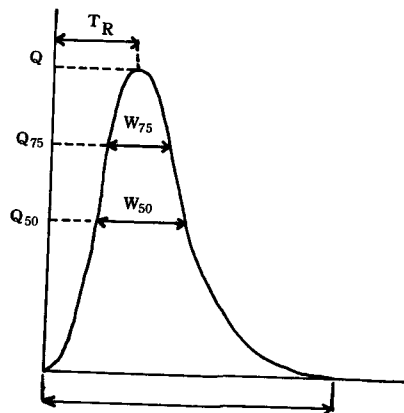
(1) 検討地域の選定

比較検討のため用いた場所は東京都豊島区の谷端川である。この地域を選んだのは次のような理由による。

- 1) 日本の都市発展パターンの代表的な住商混合地帯で比較的格子状の道路配置をしている。
- 2) 自然流下の排除系統である。
- 3) 比較的降雨資料が揃っている。
- 4) 修正RR L法¹⁾などが適用され、比較的流出の状態を

他の方法とも比較しうる。

計算に用いた諸元は表－1の通りである。



図－1 エスベイの単位図（1インチ）

表－1 計算諸元

	下流域	上流域
A	542 (ha)	109.2 (ha)
S	14.4 (‰)	14.4 (‰)
L	3,000 (m)	1,800 (m)
I	53.1 (％)	40.0 (％)

(2) 降雨流出の支配因子

降雨の流出パターンに直接影響を与える因子には次のものが考えられる。

- 1) 地形の状態
道路の形態、排水区の大きさ、排水の流出状況、地質
- 2) 管きょの配置パターン
- 3) 降雨強度
- 4) 降雨パターン（前ピーク、後ピーク、正規型など）
- 5) 降雨継続時間
- 6) 先行晴天日数

(3) 降雨の分類

対象とする降雨をピーク流出量の時間的分布を考えて次の5つのパターンに分類した。

- 1) 前ピーク型
- 2) 後ピーク型
- 3) 中央ピーク（正規型を含む）型
- 4) 短期ピーク型
- 5) 一定型

表-2 降雨のパターン分類
(48/12/3~49/10/23)

降雨パターン	降雨回数	(%)
前ピーク型	16	21.6
後ピーク型	18	24.3
中央ピーク型	4	5.4
短期ピーク型	7	9.5
一定型	15	20.3
その他	2	2.7
微小降雨	12	16.2
計	74	100.0

降雨のパターンは上記の通りであり、短期ピーク型は短期間に強い降雨のあるものを示している。表-2は大阪寝屋川北部下水道の桑才ポンプ場での年間降雨を上の5つの型に分類したものである。

降雨の継続時間で6時間以上あるものは独立した降雨とみなしている例³⁾があり、6時間を基準とした。降雨の分類は必ずしもこの5つに正しく分類されるのではなく、ある程度分類、集計のし方によって変わる。表から、前ピーク型、後ピーク型、一定型は1/5~1/4で中央ピーク型、短期ピーク型は比較的少ない。比較的エスベイ法で実測と合致しにくい後ピーク、中央ピーク型は全体の30%をしめている。なお、微小降雨は2mm以下のものをさしている。

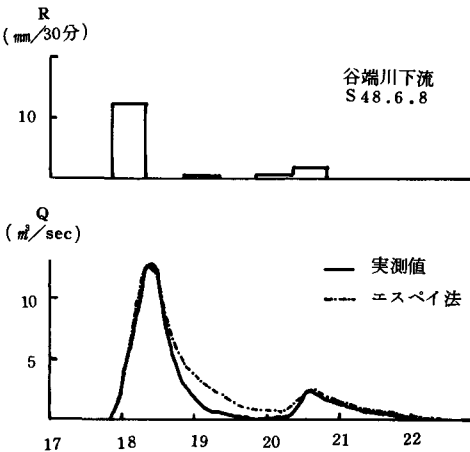
(4) 流出ハイドログラフ

下流域において得られた計算によるハイドログラフと、実測ハイドログラフの比較的合致したものを図-2, 3, 4に示す。上流域（小流域）のそれは図-5に示すものである。

4. エスベイ法と実測値の検討

(1) 雨水最大ピーク流量

雨水最大ピーク流量は雨水排除の管きょ設計には最も重要な要素である。最大ピーク流量に最も大きな影響を与えるのは最大降雨強度である。図-6は最大降雨強度と最大ピーク流量の関係を表したものである。図中の●印は実測値によるものを表し、▲印はエスベイ法によるピーク流出量を表している。実測値のピーク流量は最大降雨強度が大きくなれば増大しており、流出の状態が先行晴天日数などによっていく分変化するが、ほぼ比例の関係にある。エスベイ法によるピーク流出量もほぼ同様に比例の関係にある。



(2) エスベイ法によるピーク流量と実測ピーク流量の検討

エスベイ法によるピーク流量は降雨の大きい場合には実測値より低く算定される傾向にある。図-7

図 - 2

はエスベイ法によって求めたピーク流量と実測ピーク流量の差の絶対値を最大降雨強度との関係で表したものである。図より次のことが指摘し得る。

1) 短期ピーク降雨のピーク流出量は実測値とほとんど合致する。

2) 比較的小さ

い降雨や、30分最大降雨強度8mm以下の降雨では実測値とほぼ合致する。

3) 前ピーク型の降雨は実測値とほとんど合致する。

4) 中央ピーク型降雨や後ピーク型降雨は実測値とのずれが大きい。

5) 最大降雨強度が大きいほど実測値との差は大きくなる傾向にある。

(3) 小流域におけるピーク流量の検討

小流域の場合にエスベイ法によるピーク流量が実測値とどのような関係にあるかを対象地域の上流域について検討し、それを最大降雨強度との関係で表したのが図-8である。図から、小流域においては降雨のパターンごとには大きな違いはなく、短期ピーク型ではピーク流量の差はやや大きい、前ピーク型はその差が小さくなる傾向を示している。ピーク流量の差はほぼ最大降雨強度と一次関係にあることが指摘できる。小流域においては次のことがいえる。

1) 流域の小さいものは応答が早く降雨ピークが30分間に变化するものは、30分間一様の降雨と考えたものよりピーク流量の変動は大きい。

2) 小流域においては短期ピーク型の降雨のピーク流量は比較的大きい。

(4) ピーク流量の合致しない原因

ピーク流量が合致しない原因には次のようなことが考えられる。

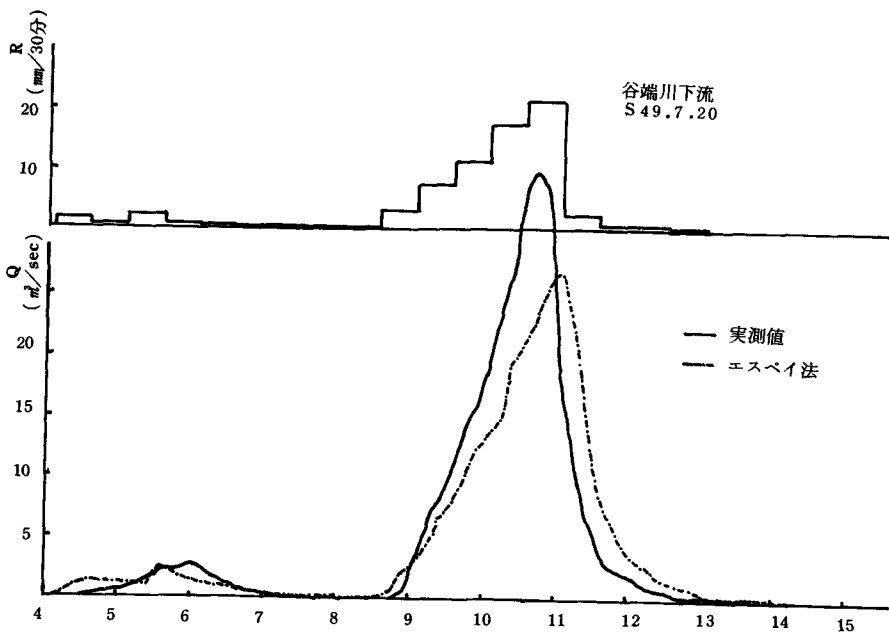


図 - 3

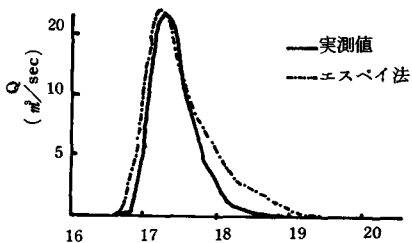
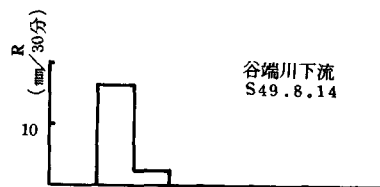


図 - 4

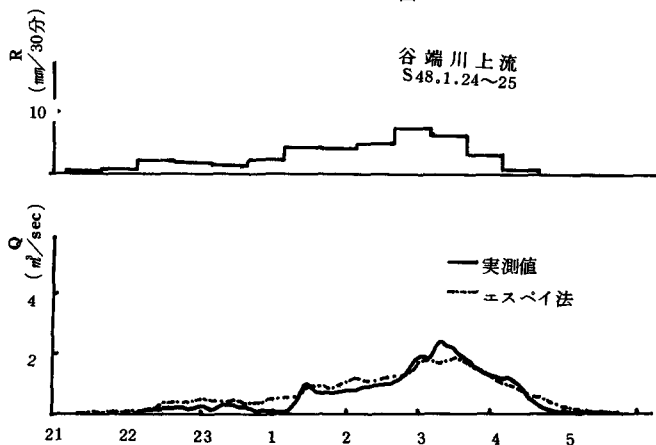


図 - 5

1) 実 測 値

- ① ピーク流量が大きい場合には一般に流量測定に大きな誤差が生じやすい。
- ② 流量測定は $H-Q$ カーブを用いており、流量の大きいところでは H の変動に対する Q の変動が大きい。
- ③ 自記記録計の安定性

2) エスベイ法

- ① 矩形地域にモデル化しているため、流出の状態が必ずしも現実と合致しない。
- ② いずれの降雨も 30 分降雨にしているため、その間の降雨の変化は表し得ない。
- ③ 雨量測定の精度
- ④ 幹線長の選定の方法と浸透率の設定

(5) ピーク流量の修正と実用化への検討

1) ピーク流量の修正

正規型降雨や後ピーク型降雨、最大降雨強度の大きい降雨の場合にはエスベイ法によって算定した。流量と実測値との差は大きくなるが、ピーク流量は実測値があれば容易に修正しうる。式-1のピーク流量 Q は不浸透面積とピーク流量の発生する時間との関数になっているがリニア-の関係にあり、ピーク流量を修正して取り扱うことができる。

実測値のない場所で適用する場合には、他の地域での修正曲線を用いて修正し、それを面積に応じて換算すればほぼ妥当な値を得ることができる。

2) 実用化への検討

以上の検討から明らかなように、エスベイ法は流域を矩形にモデル化し、それによる流出量を算定しているためピーク流量が実測値と合致しないことはあるが、小さい降雨や、30 分最大降雨強度が 8 mm 以下のものには比較の実測値と合致し、ピーク流量や、流出ハイドログラフが容易に求められるためその活用範囲は広い。実用化を考えるにあたって次のことを考慮する必要がある。

- ① できるだけ流出の状態を正しく表す

ために、支配因子である調査地域の大きさ、幹線排水路の距離、幹線排水路勾配、調査地域の不透透面積の割合を正しく選定する必要がある。

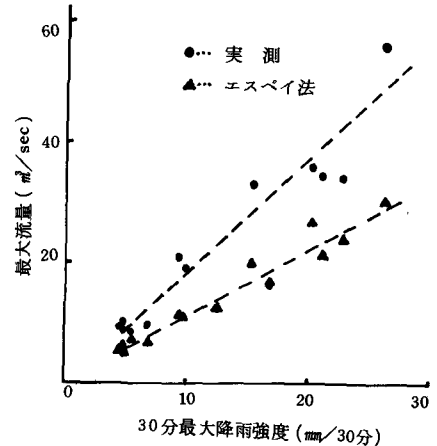


図-6 30分最大降雨強度と最大流量

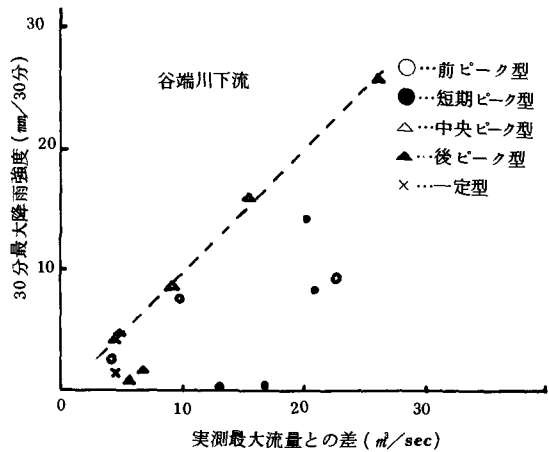


図-7 30分最大降雨強度と実測最大流量との差(下流域)

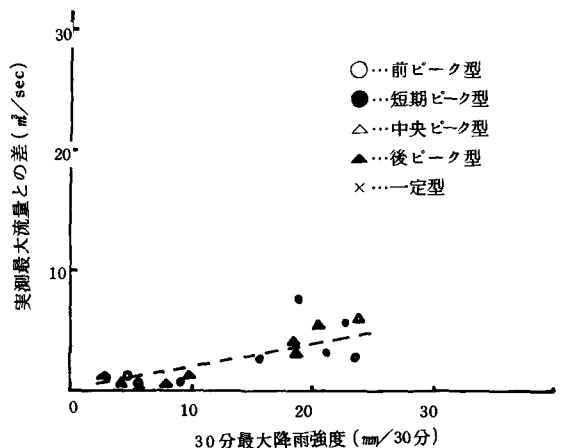


図-8 30分最大降雨強度と実測最大流量との差(上流域)

- ② 比較的大きな面積を対象とする。
- ③ 流下時間が30分以上あり、30分オーダーの降雨を対象としてとり扱うもの。
- ④ 自然流下の地域でバックウォーターの影響のないもの。
- ⑤ 計画、設計の数値として把握できるもの。
- ⑥ 正規型、後ピーク型の降雨、最大降雨強度の大きい場合にはピーク流量を修正する修正曲線によって実測値に近いピーク流量を求めることができる。
- ⑦ 合成する場合に、できるだけ時間間隔を短くして求めたものは、ピーク流量等についても精度が上ってくる。

5. まとめ

雨水流出算定法の新しい方法とその適用上の注意点ならびに今後の雨水流出の修正法について検討を加えた。得られた結果をまとめると次のようになる。

- 1) エスベイ法は比較的大流域で、雨水流出の概要ならびに流出ハイドログラフを求めるのに活用しうる。
- 2) 特に計画、設計に用いる場合には、現行降雨強度($\text{mm}/60\text{分}$)より、30分降雨強度を適用しうるためその流出パターンは実測値と比較的良く合致する。
- 3) 降雨のパターンによって流出ピーク値が実測値と異なる場合が生じるが、正規型、後ピーク型降雨はピーク流量の修正曲線を用いれば、ほぼ実測値に近い流出量をもつハイドログラフが得られる。
- 4) 降雨強度が大きいほど最大ピーク流量は大きいことから、30分降雨強度の適用は雨水流出についてはより精度を上げうると考えられる。
- 5) できるだけ流出対象地域を的確に表すようにA,S,L,Iを決定することと、各種降雨資料を集積することによって雨水流出を利用面から望ましいレベルで算定しうる。

今後、資料が集まれば、15分降雨による同様の流出の方法を確立しうることができ、降雨による流出ハイドログラフの算定にさらに精度が上がるようになる。

最後に関西大学工学部土木工学衛生工学研究室諸君の協力のあったことを付記し謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 「都市域からの降雨流出調査報告」建設省土木研究所，土木研究所資料第1018号，昭和50年3月
- 2) Ben Chie Yen and Ahmet Suha Sevuk; Design of Storm Sewer Networks, Journal of the Environmental Engineering Division ASCE, Aug. 1975.
- 3) Water Quality Management Planning for Urban Runoff, EPA-44019-75-004, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 20460.