

II-178 都市域の雨水流出現象に影響する2, 3の要素の実態的検討

オ-報 雨水損失の影響とその評価

建設省 正〇 稲場紀久雄

建士研 正 横尾将位

要旨

都市域を対象とした雨水流出計算に於ては、降雨量と損失量との時間的量的な関係及び代表的工種（浸透域と不浸透域）と下水管渠の接続方式の特性から少なくとも2個の係数を使う必要性があることを提案している。即ち都市域に於ても雨水損失量が無視しえず、雨水損失が浸透域で主に生ずると仮定しえること、浸透域と不浸透域で表面流出の生ずる時刻に差があること、下水管渠が不浸透域と直結し、浸透域と不浸透域とを分離してしまうこと等のためである。

1. 調査区域特性

(イ) 地液構成 不浸透面積 8.15 ha (道路 4.3 ha, 屋根 2.75 ha, 水面 1.1 ha), 浸透面積 17.77 ha (芝張 9.63 ha (平地 5.259 ha, 法面 4.371 ha), 芝樹木の多い公園 1.83 ha, 勾配のゆるい山地 2.83 ha, 裸地 3.48 ha), 合計面積 25.92 ha, 不浸透面積率 31%

(ロ) 勾配 地盤平均勾配 8.2%, 道路平均勾配 2.85%, 水路平均勾配 25.2%, 宅地最大勾配 2%

(ハ) 排水システム 家屋：屋根→樋→宅地内雨水樹→雨水管（完全結合），宅地：宅地周辺にU字側溝→雨水管，道路：U字側溝とし字側溝→雨水管，最も顕著な特徴は、家屋（木造，中高層ビル）及び道路等の不浸透部分の排水系統が下水管渠に完全に直結していることである。

(ニ) 土質 開発前は、おもね砂まじりの粘性土，開発後は、地表を一部カットしたため砂質土が露出したはずである。建設途中で他地域の土を造成土に使用したため調査区域全体の平均的土質状況は明らかでない。

2. 損失量

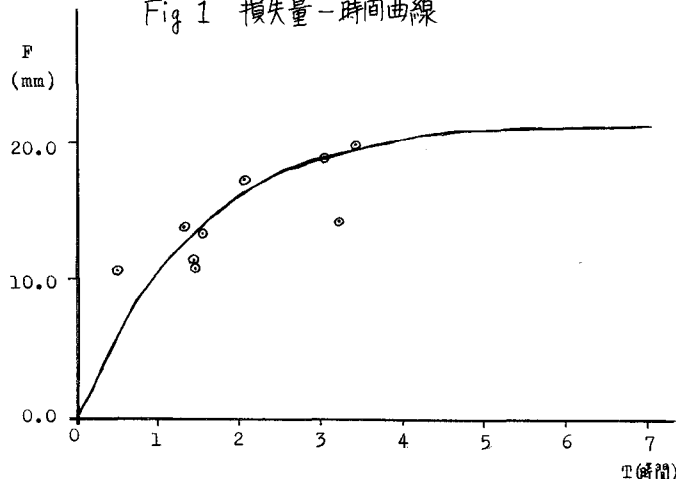
損失量は、一般に蒸発散，浸透及び凹地野留の総和である。損失量が浸透に關するホルトンの式と同型で表わせるとすると $f = f_0 e^{-at}$, $F = \frac{f_0}{a} (1 - e^{-at})$ 但し、 f_0 , a : 定数, F : 累加損失量。実測資料から調査区域では

$F = 21.5 (1 - e^{-0.689t})$ --- (1) が得られた。

3. 損失の生ずる場所

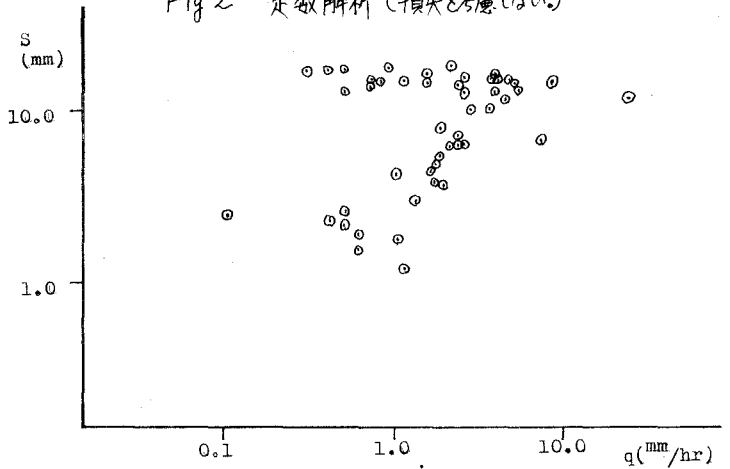
実測降雨のうち大きなものから3降雨（総雨量 46.5 mm, 30 mm, 27 mm いずれも4~7時間前に3~18 mm程度の前期降雨あり。）について損失を考慮せずに野留函数の定数解析を行った。ところがFig 2に示すように各点が非

Fig 1 損失量-時間曲線



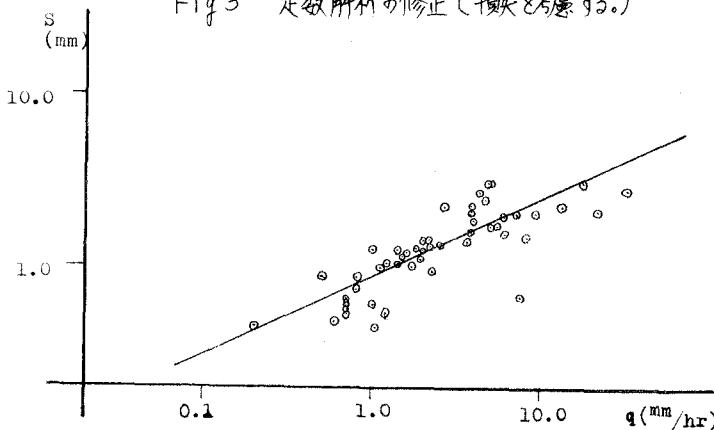
常にばらついて定数を求められない。これは、損失を考慮しなかったためであると考えられる。(1)式をそのまま適用すると、かなり大きな降雨でない限り全く流出しないことになる。ところが実測資料によると非常に小さな降雨であってもかなりの流出が現実起っている。この点については、損失が殆んど浸透域によるものであり、不浸透域においては、直ぐ流出すると考えれば説明がつく。現実の小降雨での流出波形が極めて降雨波形に似ていることから上記の仮定に無理はないものと考えられる。(1)式は浸透、不浸透を含めた損失であるから、これを上記のように修正

Fig 2 定数解析 (損失を考慮しない)



正すると、定数解析に用いた降雨とも浸透域での流出がほとんど全流出に対して無視しえるかあるいは、まったく無視できると判断される。実測資料では降雨初期から流出が認められるが、これは降雨が降り始めて後ある時間まで流出は、不浸透域のみによるのであって浸透域からは殆んどないものとする考え方から、損失量の時間的变化は、浸透域からの流出が生ずる時刻までは降雨の波形と同じ形に損失するという要素が強く働くものと考えられる。このような観点から、実測降雨の各時間の

Fig 3 定数解析の修正 (損失を考慮する。)



雨量(ここでは10分)に同一比率(各降雨の総流出係数:不浸透面積率に極めて近い値であった。)を乗じて有効雨量として Fig 2 を修正し Fig 3 をえた。各点は、ほぼ直線上にあるものと考えられ貯留量 S と流出量 q の間に $S = 0.879 q^{0.466}$ (2) なる関係がある。

(2)式の常数は、不浸透域(又は浸透と不浸透の中間的なものを

含める。)に対応するものであると考えられる。なお上記の論拠として浸透域からの有効降雨は、 P と累加雨量 ΣR が等しくなる時刻から始り雨量強度は $R-f$ であるとの仮定も認めている。(2)式を用いて実測流出と計算流出とを比較検証したところ極めてよい一致を見た。ここでは、紙数の関係もあるので検証図は削除する。以上から一般に都市域では、浸透と不浸透の2大工種と下水管渠の接続関係、損失の生ずる場所の偏りから、降雨流出速度の違いが工種ごとに大きいため全域を含めた場合の平均化が非常に困難であると考えられ、この点の解決法の探究が必要であると思われるのである。

4. 流出常数

第3節で述べた考え方に基づいて流出常数を貯留函数法によって考える。貯留函数がどの時刻に於ても $S = K q^P$ で表現できれば定常時でも同形であると考えられる。

ここで $dQ/dx = i$, $v = \frac{1}{n} s^{\frac{2}{3}} h^{\frac{2}{3}}$ を基礎式とすると
 $hx = (ni x / s^{\frac{2}{3}})^{\frac{3}{5}}$ 故に貯留量 $S = w \int_0^l hx dx$
 $= w (ni / s^{\frac{2}{3}}) (\frac{5}{8} l^{\frac{8}{5}})$ --- (3) 本式によって、
 浸透域での貯留 $S_p = w_p (n_p i / s^{\frac{2}{3}}) (\frac{5}{8} l^{\frac{8}{5}})$ --- (4)
 不浸透域での貯留 $S_{imp} = w_{imp} (n_{imp} i / s^{\frac{2}{3}}) (\frac{5}{8} l^{\frac{8}{5}})$ --- (5)
 $S = (4) + (5)$ より

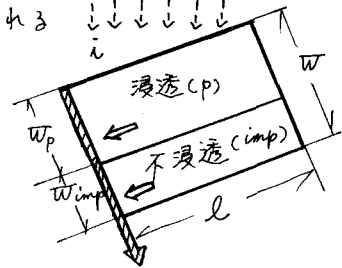


Fig 4 モデル (←は流向)
(□は下水管)

$$S = \frac{5}{8} (\frac{l}{s^{\frac{2}{3}}})^{\frac{3}{5}} q^{\frac{3}{5}} (n_p^{\frac{3}{5}} a_p + n_{imp}^{\frac{3}{5}} a_{imp}) \text{ --- (6)}$$

$$\text{従って } K = \frac{5}{8} (\frac{l}{s^{\frac{2}{3}}})^{\frac{3}{5}} (n_p^{\frac{3}{5}} a_p + n_{imp}^{\frac{3}{5}} a_{imp}) \text{ --- (7)}$$

$$P = 0.6 \text{ --- (8)}$$

(ここで l, w は、等価流域の長さと同幅; w_p, w_{imp} は、浸透域と不浸透域の幅; S は平均勾配; n_p, n_{imp} は、浸透域と不浸透域の粗度; a_p, a_{imp} は、浸透域と不浸透域の面積率; i は、降雨強度。) 一般的に都市のモデルは、浸透域と不浸透域とが並列結合していると考えられる。ここで対象としている調査区域は、完全に並列結合である。極めて大胆なモデル化であるが貯留函数の常数の性格を示している。浸透域での流出がない場合は、 K は第2項のみの値、全域での流出がある場合は、第1項と第2項の和である。ここで P は常に一定である。第2式の K と P は、 $K = 0.879$, $P = 0.466$ であるが、 K については第2項のみであると考えられ、 P については単純なモデル化のみでは表現しえない要素があって違ったものと思われる。ともかく流出常数として代表させる値は、少なくとも2倍あって、浸透域からの表面流出が生ずる以前と以後で常数を変える必要があるものと考えられる。(7) によって浸透域の粗度を0.05として K を求めると $K = 6.164$ となる。また仮にこの調査区域が開発されない場合は、全域浸透域であると考え $K = 9.18$ となる。

従来から実測による等価粗度係数は、 10^{-3} オーダーであり、極めて小さいが、実測降雨が比較的小降雨である(筆者の知る限りで)から代表常数のうちの1倍であるにすぎないのかもしれない。この点について今後さらに検討を要するであろう。

5. 有効降雨

浸透域と不浸透域とでは有効降雨の形、量が異なる。不浸透域では損失がないものと仮定できるため降雨が即ち有効降雨であり形、量ともに等しい。不浸透域と違って浸透域は損失がある。現在のところ降雨が始まって後、何時から浸透域の表面流出が生ずるのが明らかでない。前述したように損失量と累加雨量が等しくなる時刻と考えても大きな誤りはないと判断される。従ってこの時刻から損失量を引いたものが有効降雨である。合成有効降雨は、上記の2種を合成したものであってこれが、流出計算の基本になる降雨である。以上の概念をFig 5(次頁)に示す。

6. 計算例

実績降雨を用いて流出計算を行ったものがFig 6である。総雨量104 mmのかほり大きな降雨であるがたまたま実測流出波形が得られていない。長期観測の必要性を痛感するところである。

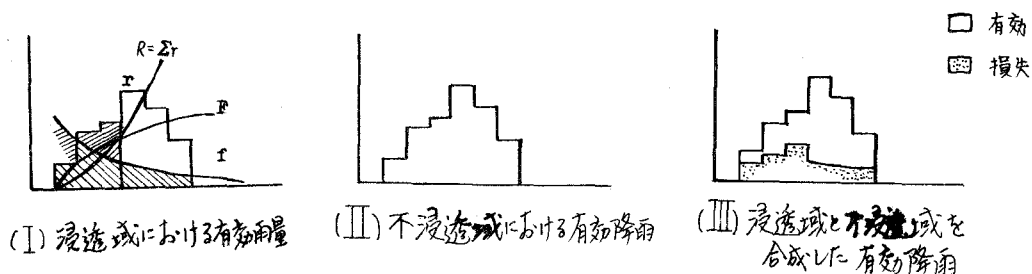
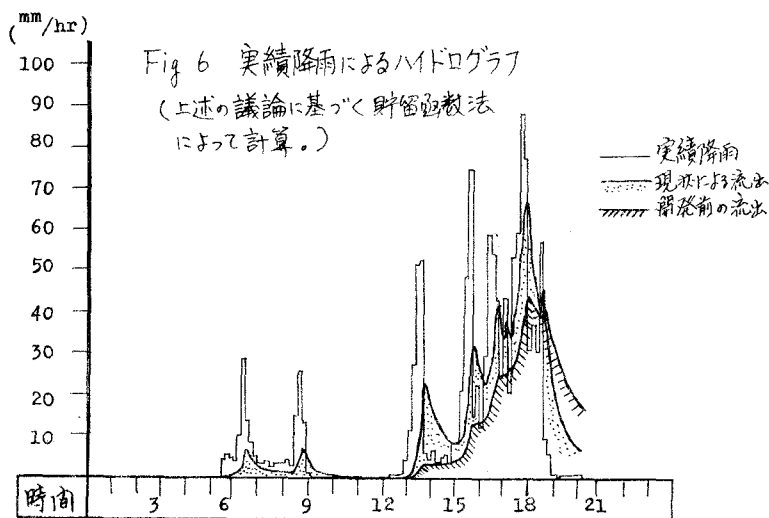


Fig 5 有効降雨の計算

7. 結論

雨水損失の観点から都市域では、有効降雨形が2種(代表工種に対して)、代表工種が2種(浸透域と不浸透域)、流出常数が2値存在し、これらの組み合わせで計算することになる。変化点になる時刻はおおよそであるが浸透域からの表面流出が起る時刻である。この時刻を仮に t_0 とすると、 t_0 以前は不浸透域からの流出のみで、流出常数も不浸透域のみのものであり従って小さな値である。 t_0 以後は浸透域からの流出も生ずるため有効降雨形も流出常数も違ったものになる。このように雨水損失が都市の流出特性を左右する位置にある。雨水損失の時間的特性と浸透域からの表面流出の起る時刻の予測等の探究が極めて重要である。また降雨直前の保湿度が流出に与える影響の検討も必要だ。

特に都市域で流出ハイドログラフを計算する必要性は、滞水池の容量計算、ポンプ所の設計、内水排除問題の解決のためなど主に長時間降雨に対処することであるという点は従来からいわれているがこの点のみであればむしろ上述の議論は、定性的に認識するのみで充分であるかもしれない。しかし



降雨時の合流式下水道の雨天時下水の水質コントロール等の都市域から流出する雨水水質の予測等が必要とする場合は、小降雨流出の予測も必要となる。この場合、上述の議論は、一層積極的な意味があると考えられる。

いずれにしても都市域では、従来の流出計算方法をそのまゝの形で通用することはできないこと

は明白であり、計算方法自体を都市の特性に照して再検討する必要がある。また流出を都市計画に対応させ、都市化の進展が流出に与える影響を予測し迅速に都市化に対処しえるようにするための手法の確立も希望される。(6)~(8)は、この意味で不浸透面積の増大が貯留量に与える影響を示しており、この考え方は非常に有益なものであると筆者は信じている。

〈参考〉 稲場：合理式に關する二、三の考察 下水道協会誌 昭43年6月号(粗度合成について)