

1. まえがき: 我が国の低平地部においては排水処理のための排水路は、開水路網を形成している場合が多い。これら開水路網による排水は開水路網の流域に降った降雨の排水と上流から流入して来る水の排水に大別されるが、この排水状況が開水路網の形状とその大きさによってどんな影響をうけるか不明な点が多い。また開水路網の形状によっては流出を早めたり、遅らせたりすることが出来るなど、低平地部の排水と排水本川に対して少なからぬ影響をもつものと考えられるが、今回は開水路網の降雨排水特性について検討したので報告する。

2. 開水路の降雨流出: 低平地部の排水処理などに用いられる開水路網の存在によって、降雨時におけるハイドログラフは如何に変化するか、また開水路網の密度が流出ハイドログラフに如何に影響するか、などについてモデル実験と現地観測によって調べた。

A. 開水路を有する低平地部の流出解析

(1). 貯留関数法と貯留係数に及ぼす開水路規模の影響, ここに S : 貯留量 I : 降雨強度 f : 流出率
小流域の流域の貯留量 S を $S = KQ$, $Q = Q/A$ とおけば A : 流域面積 Q : 末端よりの流出量
 $Q = \int_0^t \frac{f}{K} e^{-Kt} I(t-\tau) d\tau$ ----- (1) K : 流域の貯留状況をあらわす係数

(2). 式より次の関係がえられる。

(i) I が一様降雨時分のとき (ii) 降雨終了後の流出量
 $0 \leq t \leq t_r$ において $I = I_0 = \text{const}$ それ以外で $I = 0$ とする。 $t > t_r$ のときも $t - t_r \leq t \leq t_c$ で $I = I_0$
 $0 \leq t \leq t_c$ であるから $0 \leq t - t_r \leq t_c$ で $I(t - t_r) = I_0$ それ以外で $I = 0$
それ以外で $I(t - t_r) = 0$ ここで t_r : 降雨継続時間 よって $Q(t) = f I_0 e^{-K(t-t_r)} (1 - e^{-Kt_c})$ ----- (3)
よって $Q(t) = f I_0 (1 - e^{-Kt})$ ----- (2)

さて早瀬、角屋、岡田⁽¹⁾らは水田主体の低平地の雨水流出モデルの検討を、Dynamic Wave 法を用いて行っている。その結果によれば水田—末端排水路—支川排水路—幹線排水路系の複雑な系統においても、末端排水路の水面積を支線排水路に含ませ、水田は貯水池として考えることにより水田—支線排水路—特線排水路系のモデルに単純化出来ることが述べられる。このことは排水路系統の排水機能は水面積であらわすことが出来ることを示唆するものと示える。このことを kinematic Wave 法⁽²⁾を用いて考えてみると $t_r \leq t \leq t_c$ における水面曲線は集水域において

$$h = \left(\frac{L \cdot I_0}{\alpha} \right)^{1/m} \text{ ----- (4) 末端 } x = L \text{ において水深 } h_L \text{ は } h_L = \left(\frac{L \cdot I_0}{\alpha} \right)^{1/m} \text{ ----- (5)}$$

単位幅当り集水域の貯留量 S_c は h : 水深 I_0 : 降雨強度 t_r : 降雨継続時間 t_c : 降雨到達時間 α, m : 定数
とすれば $S_c = L h_L - \int_0^{h_L} x \cdot dh$ ----- (6) $S_c = \left(\frac{m}{m+1} \right) L h_L$ ----- (7)

$t > t_r$ においては 末端における水深 h_1 は
 $h = \left(\frac{I_0}{\alpha} \right)^{1/m} [x - \alpha m h^{m-1} (t - t_r)]^{1/m}$ ----- (8) $L = \frac{\alpha h_1^m}{I_0} + \alpha m h_1^{m-1} (t - t_r)$ ----- (9)

このときの貯留量 S_c は

$$S_c = L h_1 - \int_0^{h_1} x \cdot dh \text{ ----- (10) } S_c = \left(\frac{m}{m+1} \right) L h_1 \text{ ----- (11)}$$

$Q = \alpha h_1^m$ を (11) 式に代入すれば

$$S = J A Q^{1/m} \text{ ----- (12) ここに } J = \frac{m}{\alpha^{1/m} (m+1)}, A: \text{流域面積 } B: \text{流出端の幅 全貯留量 } S = B S_c$$

水路流出の場合は (12) 式を用いて

$$Q_{SL\max} = 2 Q_{L\max} l_s \text{ ----- (13) } Q_{SL\max} = 2 l_s \left(\frac{S}{JA} \right)^m \text{ ----- (14)}$$

ここに $Q_{SL\max}$: $x = l_s$ における水路流出量の最大値 l_s : 水路長

水路の平面積を Q とし水路幅を b とすれば $Q_s = a/b$ となる。

故に $S = J \left(\frac{b}{2} \right)^m \frac{A}{Q_s^{1/m}} Q_{SLmax}^{1/m} \dots \dots (15)$ (12)式と(15)式から $K \frac{a}{A} = J \frac{b}{2} \dots \dots (16)$

(16)式より K と a/A は凡そ直角双曲線の関係になる。

B. 開水路網の降雨流出実験と実験結果の考察： 実験は幅11.2m 奥行5.6m側壁高0.5mの鋼製実験台の上に幅10.58m 奥行5.06mの矩形状の流域を設け、これにに対し高さ11mの上方に、相互に2.4m離れた27のシャワーヘッドを2.2mピッチで5列に配列して散らし、流出実験を行った。

(1) 主な実験結果と計算値との比較： 流出量を降雨強度 I と流域面積 A の積で割った無次元値の結果と、(3)式(4)式の計算値との比較を図1,2,3,4に示した。次に(16)式の開水路面積 Q が、流域面積 A に占める割合 a/A と、無次元表示の流出曲線 K_s と K_o を自然状態で排水路のない場の K_s とし a/A と K_s/K_o の関係を図-5に示した。図-5の現地観測値とあるのは、第17回水理講演会でのべた現地観測の結果である。

(2) 実験結果の考察： 実験結果から降雨流域に排水路がなく、氾濫流出の場合には雨が降りやむまで流出量が上昇し、雨が降り終ると流出量はゆるやかな減衰曲線で減衰していくのに対し、降雨流域に縦排水路が作られると流出量が早く一定値に達し、雨が降り終るまで一定値が継続し、先きの氾濫流出に較べて上昇部は急であり、減水部の減水率 β は氾濫流出の2倍～4倍という結果がえられた。図-5から貯留係数 K_s/K_o と a/A の関係は凡そ(16)式の関係にあり実験では横排水路面積を増やしても K_s/K_o の値は小さくならず、むしろ少しづつ大きくなるような結果がえられたが、これは横排水路面の増加によって貯留効果が大きくなったためと考えられる。このような実験は最近、三浦、西川、坪松氏らの実験からも勾配のない横排水路は貯水機能を有し、横排水路を増すことによって、貯留係数が同様に増加する傾向にあることを示している。

3. 結び： 開水路が排水流出に与える影響は、モデル実験によってわかったように、主流をなす開水路の面積が増えると、 K の値は凡そ直角双曲線の形で減少し、主流に無関係な例えば横開水路などは K の値には殆んど影響を与えないことがわかった。しかし横開水路をさらに増やすことによって、開水路の貯留が影響して K の値は少しづつ大きくなっていくことがわかった。

本論文をまとめるに当り御教示を下さいました東北大学工学部、岩崎敏夫先生に厚く感謝し、衷心より御礼申し上げます。

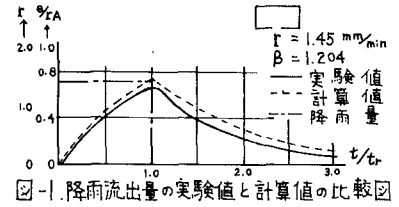


図-1. 降雨流出の実験値と計算値の比較図

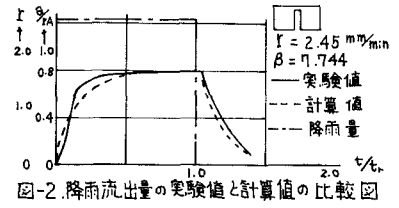


図-2. 降雨流出の実験値と計算値の比較図

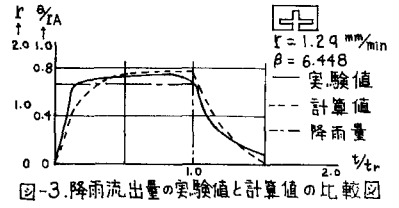


図-3. 降雨流出の実験値と計算値の比較図

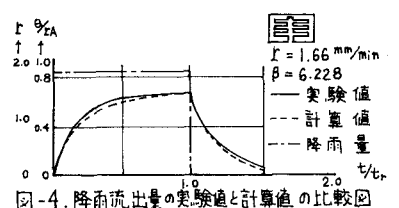


図-4. 降雨流出の実験値と計算値の比較図

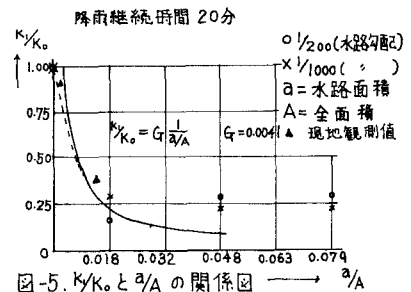


図-5. K_s/K_o と a/A の関係図

参考文献

- (1) 早瀬古雄、角屋睦、岡太郎、低平水田域の流出に関する水理学的モデル、第18回水理講演会講演集 1974年2月
- (2) Eagleson: Dynamic Hydrology, McGraw-Hill, New York, 1970
- (3) 三浦晃、西川肇、坪松学、流出模型による流出計算について、第30回年次学術講演会概要集 昭和50年10月
- (4) 伊藤秀夫、開水路網が内水排除に及ぼす影響に関する実験について、第17回水理講演会講演集 1973年2月