流量関数同定問題への PSO の応用

防衛大学校　○学生会員　石橋　和佳，片出　亮　　正会員　香月　智

1.　緒　言

親水施策の推進に伴って，降雨時のダム放水運用に対する要求精度は高まる傾向にある．このため，降雨時のダム上流部からの流入量予測精度を向上する必要がある．本研究は，ダム上流部にある河川流量の観測データを利用した流入量予測モデルを構築し，そのパラメータ決定に PSO を応用する手法について基礎的に検討するものである．

2.　予測モデル

ダム上流部における流量観測点とダム流入部との関係が図−1 のように，Δt 時間間隔の計測値で得られるものとする．この時，区間 L における河川の様々な抵抗要因によって上流観測点の洪水波に対するダム流入洪水波には時間遅れと拡散が生ずる．この 2 つの関係の基礎要素を図−2 に示すようにモデル化する．図−2 (a) の正規分布モデル(TYPE1)では，上流部の時間 Δt における単位流量がダム流入点で，時間遅れ t_d から，単位正規分布関数形となると仮定するものである．$6\sigma_t$ 時間（σ_t ：標準偏差時間）にわたって拡散するものとすると，t_0 から Δt 間の Q_{in} の水量 C_t が次式で与えられる [1)].

$$C_t=\int_{S_1}^{S_2}\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}S^2}ds \tag{1-a}$$

where
$$S=\frac{t-3\sigma_t-t_d}{\sigma_t} \tag{1-b}$$

$$S_1=S(t_j),\quad S_2=S(t_j+\Delta t) \tag{1-c,d}$$

ここで，洪水波に線形性を仮定すると図−3 のような重ね合わせができ，時刻 t における流入量 Q_{in_t} は次式によって求まる．

$$Q_{in\_t}=\sum_{t=t-t_d-6\sigma_t}^{t-t_d}C_tQ_{ob\_t} \tag{2}$$

また，ダム上流部に複数（m）の支流がある場合には，次式によって求められる．

$$Q_{in\_t}=\sum_{k=1}^{m}\sum_{t=t-t_d-6\sigma_t}^{t-t_d}C_{tk}Q_{ob\_t.k} \tag{3}$$

また，拡散形状の仮定として，図−2 (b) に示す対数正規分布形状（TYPE2）についても，同様にして C_t を求めれば，式(2), (3)によって流入量予測式を作ることができる．この場合，予測精度を最大化するための最適化問題は次式となる．

given　$\overline{Q}_{ob}$，$\overline{Q}_{in\_ob}$

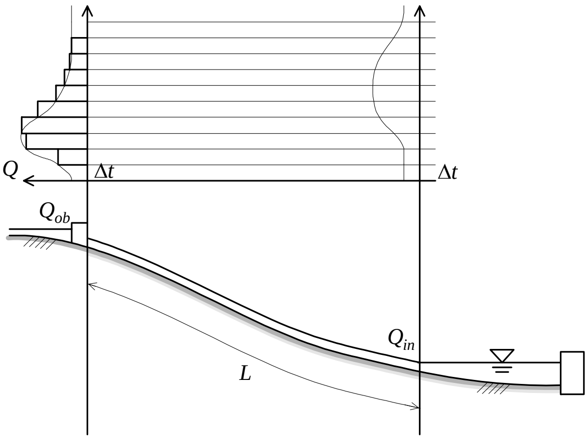
Find　t_{delay}^{opt}，σ_t^{opt}　(TYPE1)

t_{delay}^{opt}，T_m^{OPT}，T_e^{OPT}　(TYPE2)

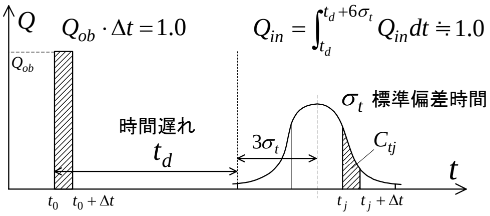
object
$$\sum_t\left|Q_{in}-\overline{Q}_{in\_ob}\right|\rightarrow\min \tag{4}$$

ここで，$\overline{Q}_{ob}$，$\overline{Q}_{in\_ob}$ ：実観測流入量，Q_{in} ：式(1)～(3)によって求められる予測流入量．

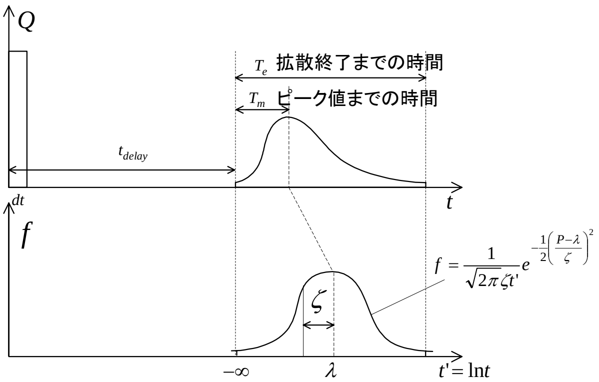
この問題は，多峰性の非線形問題であるので，本研究では



図−1　洪水波の関係

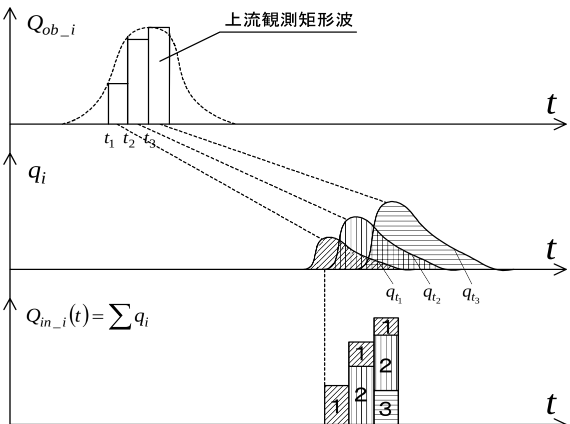


(a)　正規分布形モデル(TYPE1)



(b)　対数正規分布形モデル(TYPE2)

図−2　流量拡散の概念



図−3　提案型流入量予測の概念

キーワード：PSO，流量予測，流量拡散
連絡先　神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 建設環境工学科　TEL: 046-841-3810　FAX: 046-844-5913

PSO を用いて解くことにした．

3. モデル実験

手法の適用性を基礎的に検討するため，**写真-1** に示す水路を用いて実験を行った．なお，模型は**図-4** に示すように，水路幅 30 *cm*，全長 3.5 *m* であり，その上流部と下流部に三角堰を設置して流量推移を計測した．2 つの堰の距離は 2.0 *m* であり，それぞれの堰上流部には整流作用のある網を置き，事前推定で流量曲線を求めた．2 つの堰の途中には，**図-5** に示すような抵抗状態を 3 パターン設けた．

流入はポンプの開閉によって操作したが，これについても**図-6** に示す 3 つのパターンを設けた．これらの組み合わせによって，全 9 ケースについて，1 ケースにつき 4 回ずつ実験を行った．

図-7(a)に，Fr-P1-Q-P3 の上流部 Q_{ob} と下流部 Q_{in} の計測値を示す．上流部のハイドログラフに比べ，下流部のハイドログラフのピーク値は小さくなり，かつ，そのピーク値の発生時刻は 5 秒程度遅れが生じている．**図-7**(b)には，Fr-P3-Q-P3 を示す．この場合で，水路抵抗の有無によって時間遅れの増減が現れることが読みとれる．

4. 逆解析結果と考察

図-8 に PSO によって式(4)を解いた時の目的関数の収束状況を示す．これより，17 回程度(計算時間 12 秒)の探索回数でほぼ解は収束していることがわかる．

図-9(a)に**図-2**(a)に示した正規確率分布モデルを用いた逆解析結果を示す．また，図中には，t_d を正値の範囲で探索したものと，t_d に負値を許容した場合の 2 例を示す．いずれの場合も，Q_{in} の実測値とほぼ一致しているが，誤差で比べると負値を許した $t_d^{opt}=-5(s)$ の場合の方が $t_d^{opt}=0(s)$ のものと比べて，0.481 ほど小さくなっており適合性は良い．しかし，時間遅れが 0 や負となると，実運用において式(2), (3)による未来時間予測を行うことはできなくなる．一方，**図-9**(b)に示した対数正規確率分布モデルでは，$t_d^{opt}=2.7(s)$ と**図-7** での目測による時間遅れの実感とほぼ等しいものが現れ，Q_{in} の予測値の総誤差も 0.229 と，正規確率分布モデルよりも向上している．

5. 結　言

ダム流量法に対するモデル化と PSO の応用に関する一提案を行った．全実験データに対する処理や，総合的な回帰モデル化については，口頭で発表する．

参考文献

1) 椿東一郎：水理学Ⅱ，森北出版， 1974.5.

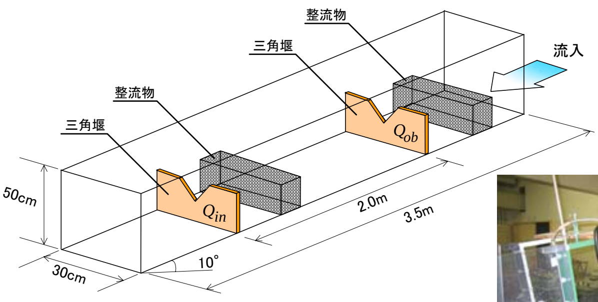


図-4 実験水路の概要

写真-1 実験水路

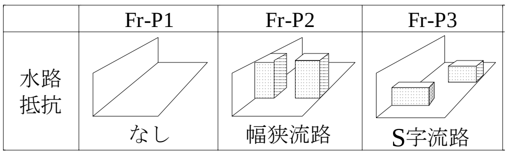


図-5 実験水路の抵抗

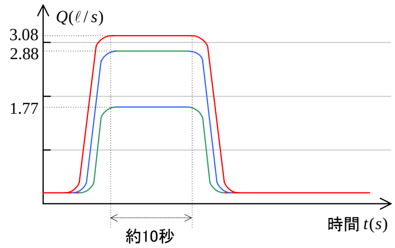
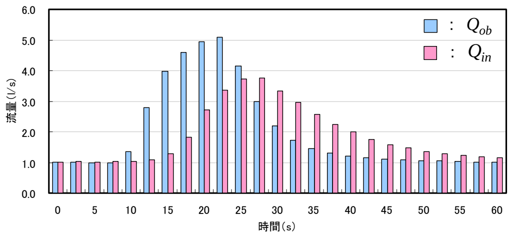
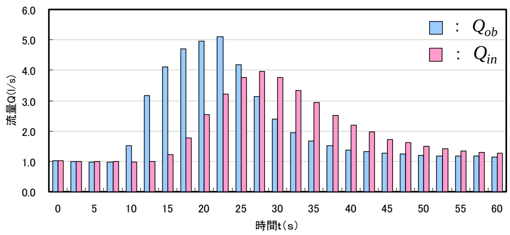


図-6 流量パターン



(a) Fr-P1-Q-P3



(b) Fr-P3-Q-P3

図-7 ハイドログラフの一例

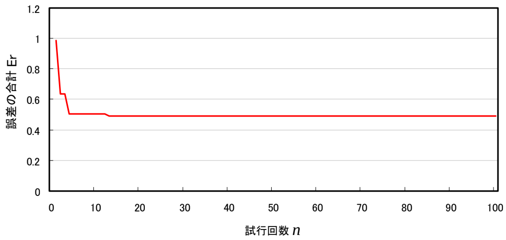
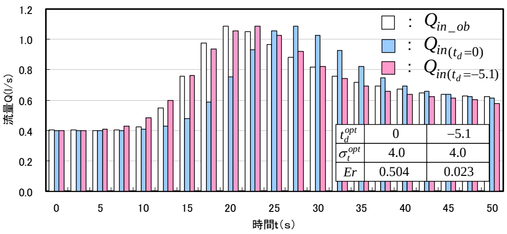
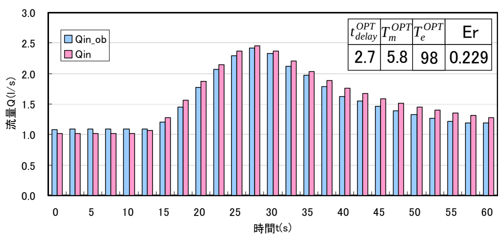


図-8 PSO の収束状況



t_d^{opt}	0	−5.1
σ_t^{opt}	4.0	4.0
Er	0.504	0.023

(a) 正規分布型



t_{delay}^{OPT}	T_m^{OPT}	T_e^{OPT}	Er
2.7	5.8	98	0.229

(b) 対数正規分布型

図-9 観測流入量と予測流入量の関係