

融雪期のフィルダム漏水量管理への成分分離AR法の適用

(株)アイエスシイ 正会員 水津英勝
北海道開発局
開発土木研究所 正会員 秀島好昭
名城大学 正会員 板橋一雄
(株)アイエスシイ 赤井栄雄

I. はじめに

重要構造物である盛土構造物のフィルダムは試験湛水時や供用時において挙動監視が行なわれる。フィルダムの挙動監視において、漏水量の監視は最も重要な計測項目であり、流量、色、沈殿物等を監視する。一般に、流量は堤体下流法先部に集水し、これを漏水量観測室内にて自動計測する機構となっている。

フィルダムの漏水量は図-1に示すように、①基底流量、②貯水位の増加に伴う流量、③雨や融雪に伴う流量の3つの成分に分類することができる。ここに①、③の成分は貯水に関係のない漏水量である。計測漏水量が増加する成分としては、②、③の成分が考えられる。

流量の増加現象において、②、③によるものならばダム本体の安定性に異常はないと判断されるが、他の要因（止水機能の低下等）による増加であるとダム本体に異常が生じたと考えられる。このため、②、③による増加漏水量を分離して把握する必要がある。

②の成分は、貯水位と漏水量の関係から得る相関式で増加漏水量の予測値を得ることができる。また、③の成分については、雨や融雪と漏水量の関係から、流出モデルを作成し、増加漏水量の予測値を得ることができる。ダムの挙動監視は、それぞれの予測値の合計と実際の流量を比較して行うこととなる。

寒冷積雪地における利水ダムでは、融雪期に貯留を開始し、灌漑期間に用水を供給する利用形態が多く、融雪水は貯留量の大きなシェアを占める。そのため、融雪期での安全監視が特に重要になる。しかし、③の予測値について、流出寄与域や有効降水量が不明の場合が大半である。すなわち、流入～流出系の流入項が不明である。今回、これを求めるために流出解析の内、統計的手法である成分分離AR法の適用を試みたので、以下に報告する。

II. 概要

1. 解析概要

まず、漏水量の③の成分について検討を行うため、基礎検討として、②の成分を除外できる湛水開始前の期間で検討を行う。また、この期間の観測漏水量から基底流量を差し引いた値を、雨や融雪に伴う漏水量として分離する。基礎検討では、この分離した雨や融雪に伴う漏水量を用いる。

解析の手順は図-2に示すように、変動成分（雨や融雪に伴う漏水量）のデータを用いて、1. 湛水開始前（降雨期）でのARモデルを作成する。このとき、逆推定降水量と実測値との比較などにより、流出寄与域の検討を行う（基礎検討）。2. 湛水開始前（降雨期）に作成したARモデルを融雪期に適用し、逆推定融雪量を求める。別のフィールド観測として、3. ダムサイト周辺での積雪深変化を捉え、融雪期間の判断や融雪定数



図-1 漏水量の分類

の算定をする。4. ARモデルで算定した逆推定融雪量とフィールド観測から定めた融雪定数の比例から有効融雪量を算定し、予測モデルを作成した。予測モデルは、次のようである。

$$y_i^{(t)} = a_1 y_{i-1}^{(t)} + \dots + a_p y_{i-p}^{(t)} + \lambda f((\alpha T)^{(t)} + X^{(t)}) \quad \text{**}(1)\text{式}$$

y : 融雪による漏水量[m³/day]

i : タイムステップ[day]

t : 流出成分 a : AR係数 p : 次数、 λ : 単位換算係数 α : 融雪定数[mm°C⁻¹day⁻¹] T : 日平均気温[°C]

X : 降水量[mm/day]、 f : 見かけ流出率 (あるいは有効融雪率)

2. ダム概要

対象となるダムは北海道のAダムである。Aダムは漏水量をL-1~L-4系統と4つのブロックに区切って観測を行っている。Aダムの漏水量、積雪深、気温の経時変化図と漏水量のブロック図を図-3に示す。融雪期と考えられる3月中旬から漏水量が増加している。その時期の積雪深は、全ての観測地点では減少傾向にあり、気温は最低気温、最高気温ともに上昇する傾向にある。最低気温と最高気温から求めた平均気温が0°Cを越えており、平均気温の0°C以上の変化性状と漏水量の変化性状は近似している。

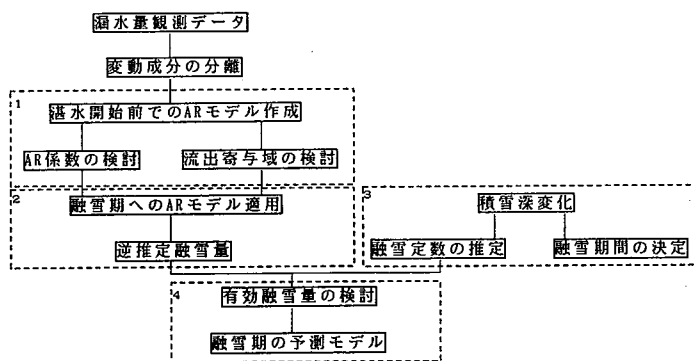


図-2 解析手順

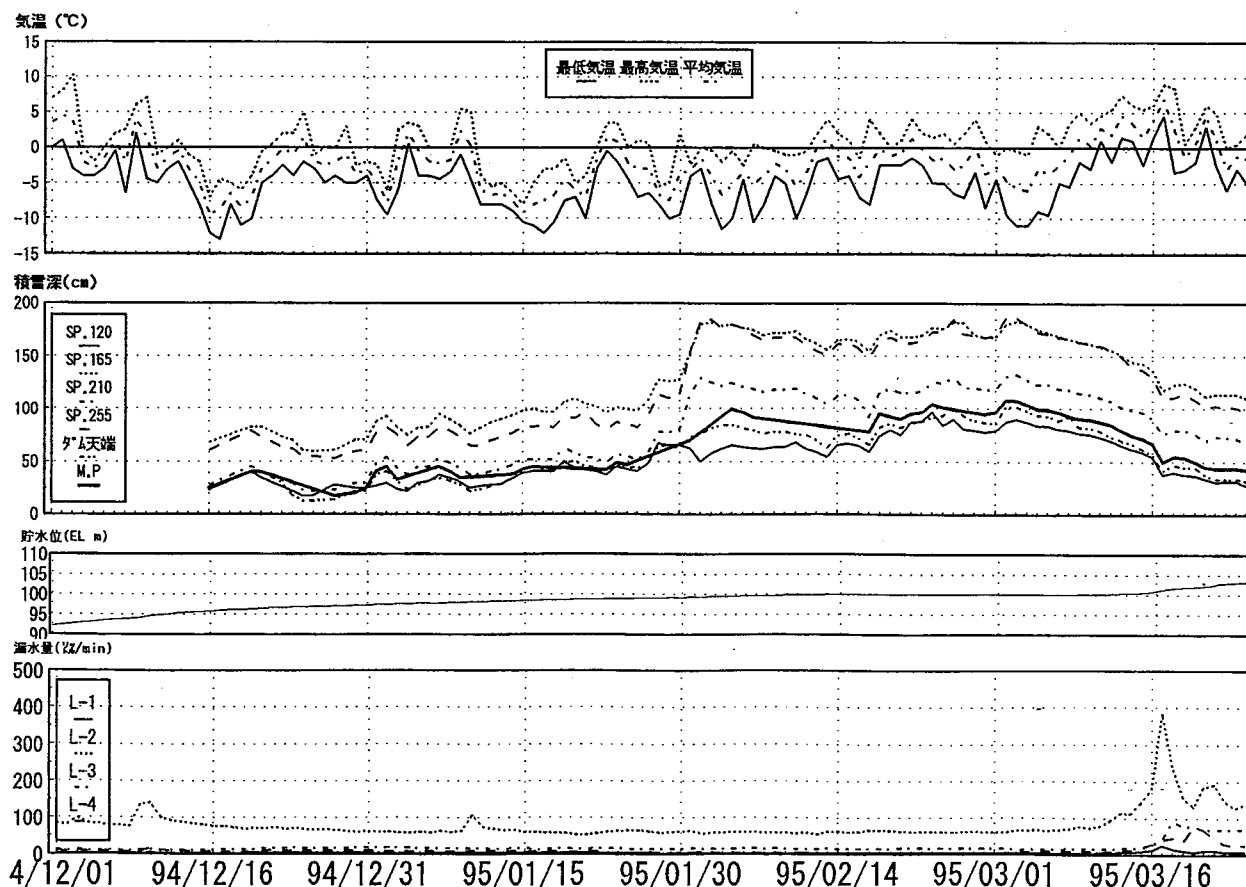
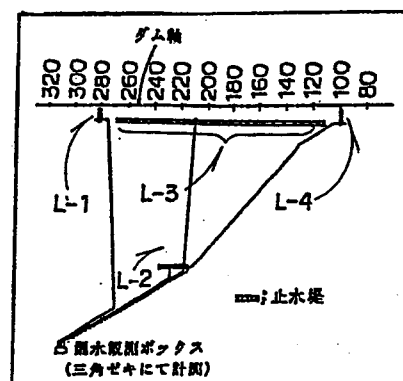


図-3 経時変化図

Ⅲ. 解析結果

1. 湛水開始前（降雨期）での結果

(1)AR係数と次数は、ブロックごとに異なるが、次のようにモデル化できた。

$$y_i = a_1 y_{i-1} + a_2 y_{i-2} + \dots + a_p y_{i-p} + b \lambda f x_{i-1}$$

$$b = 1 - a_1 - a_2 - \dots - a_p$$

y : 流量 (l/min) a : AR係数(下表に各系統の値を示す) i : タイムステップ(day)

p : 次数(下表に各系統の値を示す) λ : 単位換算係数 f : 流出率 x : 降水量(mm/day)

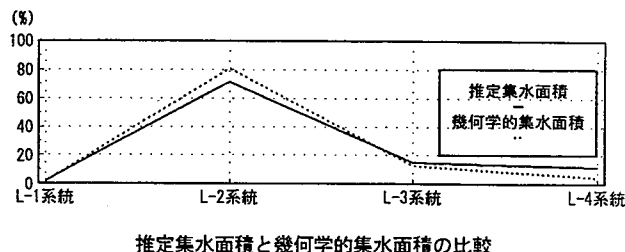
AR 係数	L-1系統		L-2系統		L-3系統		L-4系統	
	長周期成分	短周期成分	長周期成分	短周期成分	長周期成分	短周期成分	長周期成分	短周期成分
a ₁	0.67	0.43	1.19	0.39	1.95	0.94	1.13	0.68
a ₂	—	—	-0.32	—	-1.08	—	-0.29	—
a ₃	—	—	—	—	-0.17	—	—	—
a ₄	—	—	—	—	0.55	—	—	—
a ₅	—	—	—	—	-0.26	—	—	—
a ₆	—	—	—	—	—	—	—	—

AR係数はBurg法にて求め、
次数はF. P. E. の判定基準に
より決定した。

(2)ARモデルの外部入力項xの係数(1)式の融雪項は無い)のλfは、降雨の集水面積と流出率を乗じた出力への換算係数である。流出率を仮に1とすれば、集水面積が推定できる。この集水面積を推定集水面積と呼ぶことにする。推定集水面積を地形から推定した集水面積(幾何学的集水面積と呼ぶ)と比較すると、およそ符合する。

	推定集水面積	幾何学的集水面積
L-1系統	295.2 (2.0%)	401.88 (1.6%)
L-2系統	10680.5 (71.3%)	20592.32 (80.8%)
L-3系統	2242.1 (15.0%)	3265.25 (12.8%)
L-4系統	1769.8 (11.8%)	1211.43 (4.8%)
計	14987.6 (100%)	25470.88 (100%)

面積単位 (m²)



2. 融雪期での結果

(1)累計日平均気温と累計融雪量は図-4のような関係にある。平均気温が7℃前後を越える頃から勾配が変化しており、その勾配により融雪定数を $6.11 \text{mm}^\circ\text{C}^{-1} \text{day}^{-1}$ ($0^\circ\text{C} \leq \text{平均気温} < 7^\circ\text{C}$)、 $2.99 \text{mm}^\circ\text{C}^{-1} \text{day}^{-1}$ ($7^\circ\text{C} \leq \text{平均気温}$)と定めた。融雪定数が変化するのは、気温が高くなると大気中に蒸散する量も多くなり、融雪量が減少すると考えている。

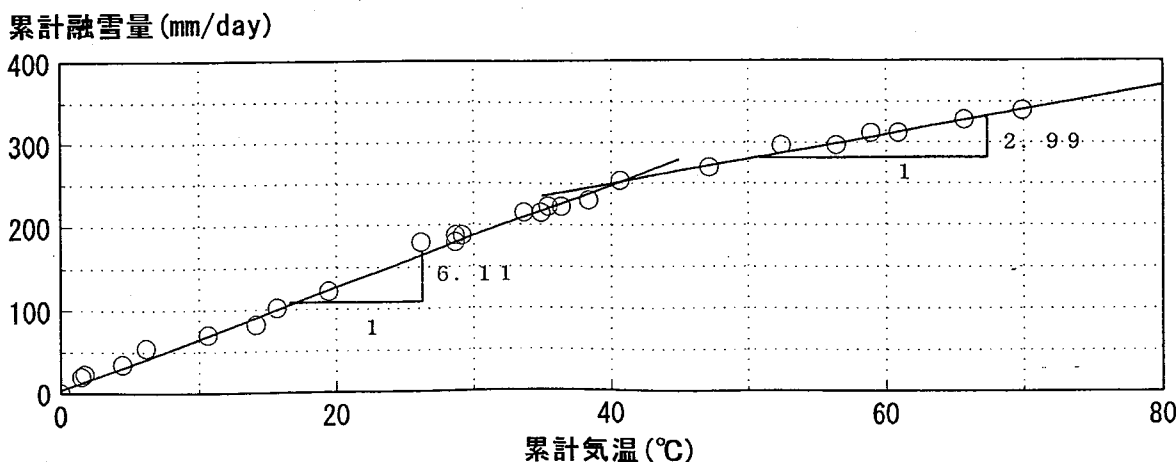


図-4 融雪定数

(2)ARモデルから算出した逆推定融雪量と、融雪定数から算出した融雪量（日融雪量と呼ぶ）を比較すると、有効融雪量は次のとおりである。L-2系統以外では、有効融雪率は1.0を越えており、融雪期では、降雨期の推定集水面積よりも広くなる。これについては詳細は不明であり、今後の課題である。

$$y'_i = A y_{i-n} + B$$

y' : 有効融雪量(mm/day) A : 有効融雪率(下表に系統毎の値を示す)

y : 日融雪量(mm/day) i : タイムステップ (day)

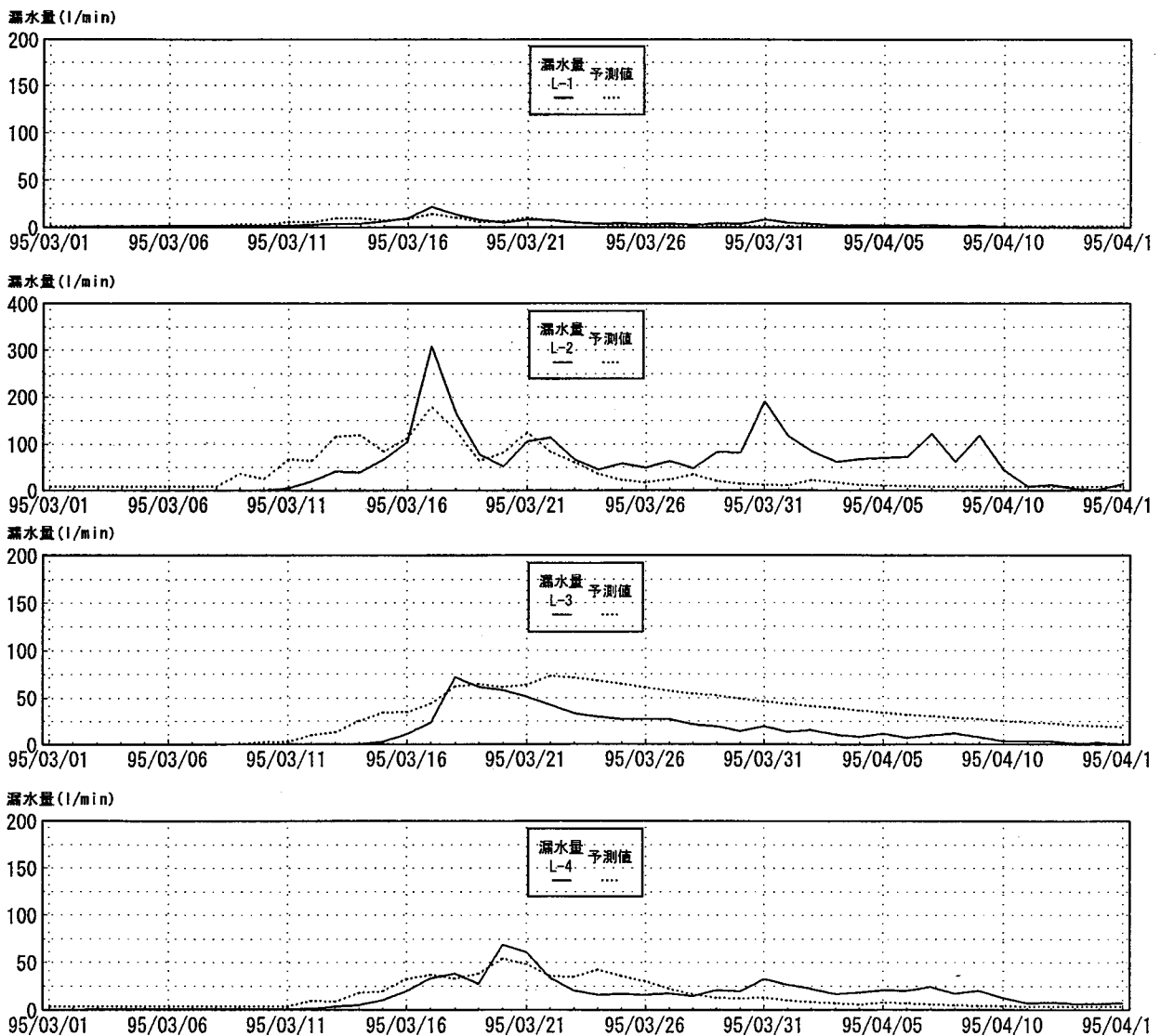
n : タイムラグ(day) B : 補正項(下表に系統毎の値を示す)

	A	B	n
L-1系統	2.042	5.834	1
L-2系統	0.751	1.081	1

	A	B	n
L-3系統	6.211	-25.041	2
L-4系統	1.681	5.834	4

3. 予測結果

以上の結果を踏まえ、漏水量を予測した値と観測値（基底流量は除く）との比較を図-5に示す。L-1系統では良い符合が得られた。他の系統では挙動の変化特性を大まかに捉えることができた。



IV. 今後の検討

融雪期の漏水量管理に成分分離AR法を適用し、降雨時での集水面積を把握することができたが、融雪期においては、集水面積、有効融雪率など検討の余地が残った。今後は、データの蓄積によりARモデルの精度向上をはかりつつ、上記の問題点の検討を行いたい。