

経年貯留ダムを持つ水資源システム の利水安全度評価

京都大学工学部 正 員 高棹琢馬

京都大学工学部 正 員 宝 馨

京都大学大学院 学生員〇丸川幸治

1. 目的

本研究では渇水の生起するおそれのある地域において、導入する経年貯留ダム（渇水対策ダム）の規模と当該の水利用システムの利水安全度の向上の関係を、数値実験により定量的に評価する。

2. 方法

【a】対象流域と水文データ

対象流域として福岡市を扱う。利水用ダムは、流域の全ダムの貯水容量を合わせた単一ダムとする。流入量は、福岡市の1900～1978年の月雨量データをタンクモデルを通して求めた確率分布¹⁾に従う 10000年分の系列を用いる。月別の平均取水量は、昭和52年、昭和62年、平成13年（2001年）の3通り考える。

なお各水文データは、単位水量を 100万 m^3 として離散的に扱う。既設ダムの全貯水容量を 20(百万 m^3)と近似すると、貯水量は 0～20(百万 m^3)の21段階となる。また、月流入量は 0～40(百万 m^3)の41段階とする。月別の平均取水量も同様の単位で離散化する。

【b】ダムの操作ルールと渇水の定義

操作は月単位で行なう。既設ダムで需要を満足できるとき経年貯留ダムは放流せず、既設ダムのみで需要を満足できないとき不足分を経年貯留ダムから放流する。既設ダムと経年貯留ダムの両方を用いても需要を満足できない場合、その月は「渇水」と呼ぶことにする。

以上のプロセス中で、節水操作は一切行なわない。当地域では平素から節水意識が強く、水需要量は既に相当に絞り込まれていると思われるからである。

【c】利水安全度の評価指標

10000年間のシミュレーションを行ない、1～12月の各月において次の4つの指標²⁾を求めた。

$$\text{Reliability1} = (\text{システムが需要を満足する回数}) / 10000$$

$$\text{Resiliency1} = \frac{(\text{その月の回復回数})}{(\text{前月の渇水の回数})}$$

$$\text{Vulnerability1} = E \left[\left(\frac{D(t) - \min(D(t), Y(t))}{D(t)} \times 100(\%) \right) \right]$$

$$\text{Vulnerability2} = E \left[\left(\frac{D(t) - \min(D(t), Y(t))}{D(t)} \times 100(\%) \right)^2 \right]$$

ただし、 t 年目のその月の需要を $D(t)$ 、出力を $Y(t)$ ($t=1 \sim 10000$) とする。

Reliability1は、利水システムが必要な水量の基準値を満たす確率である。Resiliency1は、前月渇水であったのが、その月に再び需要を満足するようになる確率である。Vulnerability1は解析期間中の不足%の平均値、Vulnerability2は解析期間中の(不足%)²の平均値であり、渇水の大きさや厳しさを表わす。

3. 結果と考察

(1) Reliability1について

経年貯留ダムを持たない場合、表1のとおりとなる。表中の「通年」は1～12月の平均値で、季節性を無視した、ある月のReliability1の期待値である。「灌漑期」「非灌漑期」はそれぞれ 6～9月の平均値と10～5月の平均値で、これらは灌漑期・非灌漑期の区別のみ考慮した、ある月のReliability1の期待値である。

表1によれば、昭和52年の「通年」は 0.774である。計算より

Takuma TAKASAO, Kaoru TAKARA and Kōji MARUKAWA

$$1 - 0.774 = 0.226 \text{ (渇水の頻度)}$$

$$\frac{1}{0.226} = 4.4 \text{ (渇水の再現期間)}$$

となり、4.4ヶ月に1度渇水が起こる。昭和53年に大渇水が起きたのも無理はない。各月のReliability1を見ても3月や5月は特に悪く、同様の計算からこれらの月には2.8年に1度渇水が起こる。

昭和62年の「通年」は0.978であり、45.5ヶ月に1度渇水が起こる。昭和52年と比べ、非常に改善されている。これは、53年渇水の結果節水意識が定着し、水需要がほとんど変わらないところへ、昭和58年に完成した筑後川本川からの広域利水の分を、計算上ダムの取水量から減少させているからである。各月のReliability1を見ても、もっとも悪い5月で0.964であり、27.8年に1度渇水が起こる。本研究はより危険な側に立ち、筑後川からの取水を少なく見積っているの、渇水の再現期間は実際はもっと長いと思われる。

水資源開発には長年月を要するため、将来的な水需要の増加を考慮した検討は不可欠であろう。平成13年の水需要は福岡市の需要予測³⁾に基づき、1.37倍になると仮定した。平成13年の「通年」は0.741であり、3.9ヶ月に1度渇水が起こる。この水需要予測のもとでは、昭和52年の渇水時よりも深刻な事態になるのである。各月のReliability1を見ても3月は特に悪く、この月には2.5年に1度渇水が起こる。

昭和52年、平成13年のReliability1があまりに低い値なので、経年貯留ダムを導入した場合を想定し利水安全度を評価した。導入する経年貯留ダムは、容量 V_1 と流入率 R の2つのパラメタで規定する。流入率 R は、経年貯留ダムへの流入量が既設ダムへの流入量に比例すると考えたときの比例定数(百分率)である。ここでは V_1 を4.8, ..., 40(百万 m^3)の10通り、 R を10, 20, ..., 200(%)の20通り、つごう200通りのシミュレーションを行なった。なお初期条件は、既設ダム「満水状態」、経年貯留ダム「貯水量0」とした。

図1、図2は、「経年貯留ダム容量 V_1 」を横軸、「流入率 R 」を縦軸として各標本点にReliability1をプロットし、SAS/GRAPHで等高線を描いたものである。横軸上($R=0$)、縦軸上($V_1=0$)では経年貯留ダムを考慮していないので、経年貯留ダムを持たない場合の数値とした。

Reliability1は右へ上へと行くに従い1に近づき、右上の領域はReliability1=1となる(厳密には10000年のうち1ヶ月渇水が起こるものも含む)領域である。この図には、容量が大きいほど、貯水量が底をつく前に降る雨によって渇水を回避する可能性が高いこと、流入率が大きいほど水不足になりにくいことが現われている。なお等高線が必ずしもなめらかでないのは、標本点が離散していること、流入率 R から

表1

	昭和52年	昭和62年	平成13年
1月	0.743	0.976	0.700
2月	0.703	0.975	0.658
3月	0.636	0.965	0.597
4月	0.684	0.971	0.661
5月	0.636	0.964	0.618
6月	0.855	0.987	0.849
7月	0.887	0.990	0.862
8月	0.832	0.982	0.790
9月	0.892	0.988	0.872
10月	0.861	0.986	0.820
11月	0.803	0.979	0.758
12月	0.750	0.973	0.701
通年	0.774	0.978	0.741
渇水期	0.867	0.987	0.844
非渇水期	0.727	0.974	0.689

RELIABILITY-1 (1977+R.C.W.D.)
YEARLY

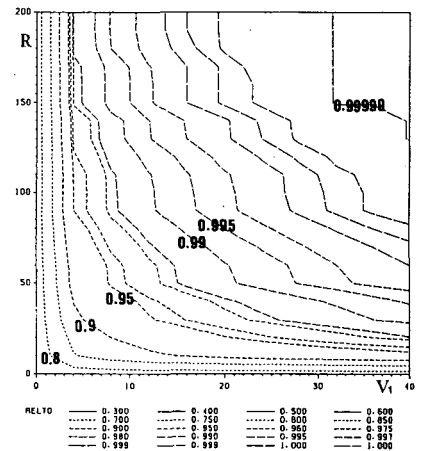


図1

RELIABILITY-1 (2001+R.C.W.D.)
YEARLY

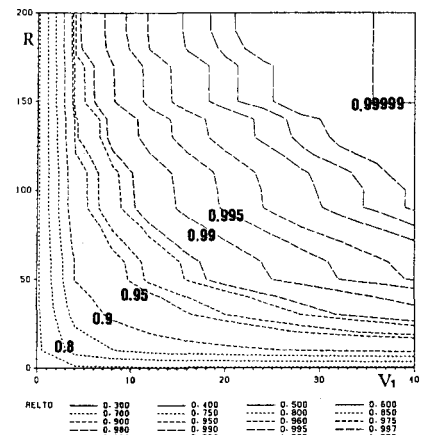


図2

経年貯留ダムへの流入量を四捨五入して百万 m^3 単位で求めていることに起因する。昭和52年の ($V_1=36, R>180$) ($V_1=40, R>150$)、および平成13年の ($V_1=40, R>180$) の場合は、解析期間中に渇水に陥ることがなく、Reliability ≥ 1.0 となる。

また図1と図2の比較では、昭和52年と同じReliability ≥ 1 を平成13年に得るためには、より大きな容量・より大きな流入率の経年貯留ダムの導入が必要であると分かる。

2) Resiliency ≥ 1 について

経年貯留ダムを持たない場合、表2のとおりとなる。表中の「通年」は1~12月を通して求めたResiliency ≥ 1 で、季節性を無視した、ある月のResiliency ≥ 1 の期待値である。「渇水期」「非渇水期」はそれぞれ6~9月、10~5月を通して求めたもので、これらは渇水期・非渇水期の区別のみ考慮した、ある月のResiliency ≥ 1 の期待値である。

表2によれば、昭和52年の「通年」は 0.322であり、渇水が一旦生じれば、翌月回復する見込みは3割強に過ぎない。つぎに各月についてResiliency ≥ 1 を見てみる。さきに定義したように、Resiliency ≥ 1 は前月渇水であったものがその月に回復する確率を与えている。例えば1月の値の 0.214は、前年の12月に需要を満足しなかったものが翌年の1月に再び需要を満足するようになる確率が 0.214であるという意味である。この指標では11月は非常に悪く、10月に生じた渇水が11月に回復する見込みは1割に満たない。そればかりか10月~5月にかけて全体的に悪い値である。非渇水期に一旦渇水に陥ったら、その渇水が長期間に及ぶということである。

昭和62年の「通年」は 0.444であり、渇水が翌月に回復する見込みは4割を超える。各月のResiliency ≥ 1 を見ると、もっとも悪い11月でさえ回復する見込みが2割である。昭和52年の11月が1割未満であったことを考えると、ここでも筑後川本川からの広域利水の効果が現われている。

平成13年の「通年」は 0.311であり、渇水が一旦生じれば、翌月回復する見込みは3割程である。昭和62年には高い値を示したが、予測される水需要のもとでは再び低い値となっている。また各月のResiliency ≥ 1 を見るに11月は非常に悪く、10月に生じた渇水が11月に回復する見込みは1割程である。この時期の渇水の回復は非常に困難である。

昭和52年、平成13年については経年貯留ダムを導入した場合を想定し利水安全度を評価した。

図3、図4は、Reliability ≥ 1 と同様の軸を取り、各標本点に Resiliency ≥ 1 をプロットし、等高線を書いたものである。

Resiliency ≥ 1 はおおむね上へ行くに従って大きな値を取る。これは流入率が高いと流入量が大きくなり、渇水に陥った際

表2

	昭和52年	昭和62年	平成13年
1月	0.214	0.407	0.216
2月	0.175	0.366	0.178
3月	0.169	0.271	0.174
4月	0.360	0.507	0.360
5月	0.252	0.395	0.253
6月	0.704	0.777	0.703
7月	0.545	0.609	0.497
8月	0.216	0.257	0.197
9月	0.571	0.618	0.566
10月	0.241	0.393	0.189
11月	0.091	0.207	0.097
12月	0.114	0.212	0.121
通年	0.322	0.444	0.311
渇水期	0.577	0.641	0.556
非渇水期	0.218	0.363	0.215

RESILIENCY-1 (1977+R.C.W.D.)
YEARLY

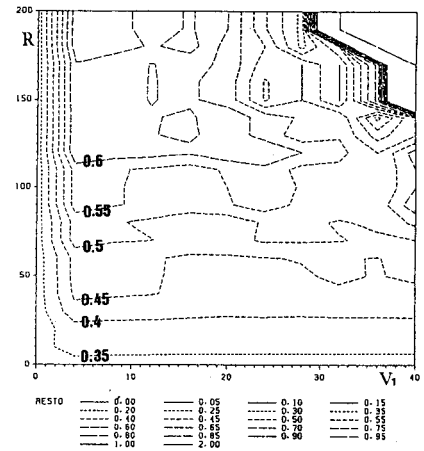


図3

RESILIENCY-1 (2001+R.C.W.D.)
YEARLY

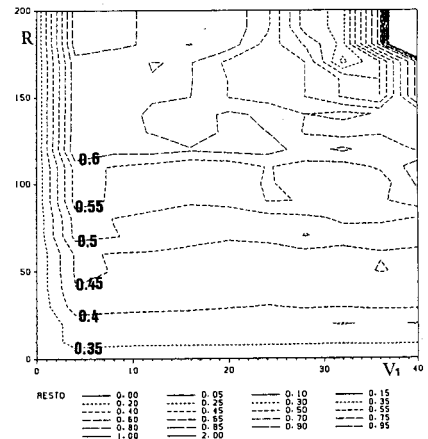


図4

にも迅速に回復できることを意味している。図の中心より右上では等高線は複雑になり、0.5 未満の部分さえ現われる。容量・流入量がある程度大きいと極度の水不足の時のみ渇水となり、そのようなときには回復も難しいため、Resiliencyl が低い値をとる。また昭和52年の ($V_1=36, R>180$) ($V_1=40, R>150$)、および平成13年の ($V_1=40, R>180$) の場合は、解析期間中に渇水に陥ることがなかった。

(3) Vulnerability1について

経年貯留ダムを持たない場合、表3のとおりとなる。「通年」は1~12月の平均値で、季節性を無視した、ある月の期待値である。「灌漑期」「非灌漑期」はそれぞれ 6~9月、10~5月の平均値で、これらは灌漑期・非灌漑期の区別のみ考慮した、ある月の期待値である。

表3によれば、昭和52年の「通年」は平均11%の不足となり、一年間では 4015(%日) の不足となる。平均的に見てもこれだけの不足があるのだから、53年渇水が 287日間で 8160(%日) の不足となったのもうなずける。当時の利水システムが貧弱であったと言える。

昭和62年の「通年」は平均1%の不足となる。もっとも悪い5月でさえ 1.8%の不足にすぎず、渇水の被害は非常に小さくなっている。

平成13年の「通年」は平均13%の不足となり、一年間では 4745(%日) の不足となる。これでは渇水の被害は甚大であり、ぜひとも新たな対策(経年貯留ダムなど)を講じなければならない。

昭和52年、平成13年については経年貯留ダムを導入した場合を想定し利水安全度を評価した。

ここでは割愛するが、Reliability1, Resiliency1 と同様に等高線図を描いた結果、容量・流入量ともに大きい経年貯留ダムを導入した場合、渇水による深刻な被害を受けにくくなるということが分かった。

昭和52年の ($V_1=36, R>180$) ($V_1=40, R>150$)、および平成13年の ($V_1=40, R>180$) の場合は、解析期間中に渇水に陥ることがなく、Vulnerability1 = 0 となる。

また平成13年に昭和52年と同じVulnerability1を得る、すなわち渇水の大きさを同程度に抑えるには、より大きな容量・より大きな流入率の経年貯留ダムの導入が必要であると分かった。

(4) Vulnerability2について

経年貯留ダムを持たない場合、表4のとおりとなる。Vulnerability2 (不足%)²という指標は、ある限定された期間の節水操作を比較検討する際などには、Vulnerability1 (不足%) よりも渇水の深刻さを一層際立たせる指標であるが、本研究の 10000年のような長期間の解析では表3と表4の比較より分かるように、Vulnerability1 (不足%) との違いがあまり明確にならない。

4. 結論

近年水利用は高度化し、河川流量の安定供給をはかり渇水の被害を軽減することはますます重要となっている。本研究はマクロな解析ではあるが、導入する経年貯留ダムの規模と利水安全度の向上の関係を、ある程度明らかにすることができた。

参考文献

- 1) Takasao and Takara(1988): Proc. 6th Cong. of APD-IAHR, Vol.I, pp.413-420.
- 2) Hashimoto et al.(1982): W.R.R., 18(1), pp.14-20.
- 3) 福岡市総務局(1988): 福岡市基本計画, pp.73-75.

表3

	昭和52年	昭和62年	平成13年
1月	11.9(国)	1.0	13.9
2月	13.9	1.1	15.9
3月	18.5	1.7	20.6
4月	14.5	1.3	15.7
5月	18.9	1.8	19.9
6月	6.3	0.6	6.6
7月	5.1	0.5	6.3
8月	9.2	1.0	11.6
9月	4.7	0.5	5.7
10月	7.2	0.7	9.5
11月	10.4	1.1	12.8
12月	12.6	1.3	15.0
通年	11.1	1.0	12.8
灌漑期	6.3	0.7	7.5
非灌漑期	13.5	1.2	15.4

表4

	昭和52年	昭和62年	平成13年
1月	658(国)	52	762
2月	777	59	887
3月	1127	95	1256
4月	822	70	884
5月	1196	107	1257
6月	355	35	369
7月	298	29	366
8月	614	63	787
9月	265	28	320
10月	458	46	615
11月	657	67	807
12月	747	72	891
通年	664	60	767
灌漑期	383	39	460
非灌漑期	805	71	920