

管理用水力発電設備の有効利用に関する一考察 -自由な発想の下での更なる管理費用縮減検討-

子川 直樹¹

¹水資源機構中部支社 事業部 事業企画課 (〒460-0001 愛知県名古屋市中区三の丸1-2-1) .

一庫ダムでは、できるだけ管理に必要な電力を管理用水力発電によりまかない、余剰電力を売電することで管理費用の縮減に努めている。しかし、非洪水期においては、ダムからの必要放流量が発電に必要な最小放流量を下回ることもしばしばである。安定した水道用水の供給と河川機能の維持を目的に含む一庫ダムにおいて、必要水量の確保を最優先としながらも、非洪水期において発電することが可能であれば、更なる管理費用の縮減が期待できる。

本稿は、現況設備での非洪水期における発電の可能性について、過去から蓄積されたデータを基に検討した結果について報告するものである。

キーワード 管理用水力発電、非洪水期、管理費用の縮減、
安定的な水道用水の供給、維持流量

1. はじめに

一庫ダムは、淀川水系猪名川の左支川一庫大路次川に建設された流域面積 115.1km²、堤高 75m、総貯水容量 33,300,000m³の重力式コンクリートダムである。ダムの目的は、洪水調節、水道用水の供給、流水の正常な機能の維持で、1983年4月に管理を開始し、2013年3月で管理開始から30年が経過した。

一庫ダムの管理用水力発電は、国土交通省（旧建設省）が1981年から実施している「ダムエネルギー適正利用化事業」に基づき設置した利水従属式発電設備で、最大出力 1,900kW、最大使用水量 4.2m³/s、最大有効落差 59.00m の能力を有する。発生した電力は、ダムの管理に使用するほか、余剰電力を売電することで管理費用の縮減に寄与している。

一方で、最小発電可能水量 1.5m³/s という流量制限及び従属発電という位置づけであるために、一年を通しての発電は行っていない。

本稿は、限られた水資源を有効に活用するため、一庫ダム施設管理規程（以下「管理規程」という）等に則らない自由な発想の下に、管理用水力発電の効率的な運用の可能性について検討するものである。

2. 検討内容

(1) 管理用発電の現状

一庫ダムは、水道用水の安定供給及び河川の機能維持の役割を担っており、常時利水基準地点における必要量を確保する放流を行っている。全般的な傾向として、洪水期（6/16～10/15）は、河川の機能維持に必要な流量が多くなる灌漑期（6/1～9/30）とほぼ合致することから、降雨の有無にあまり関わらずダムからの必要放流量が多くなり、結果的に発電日数も多くなる。一方で、非洪水期（10/16～6/15）は、河川の機能維持流量が少なくなる非灌漑期（10/1～5/30）とほぼ合致するため、特に降雨があり、河川流量が多くなった場合にはダムからの必要放流量が少なくなり、最小発電可能水量未満の放流日が多くなる。また、非洪水期から洪水期への移行に際しての貯水位低下時期（ドローダウン期：おおよそ4/1～6/15）は、ダムの貯水位低下のため、流入量に上乗せした放流を行うため、安定して常時発電することができる。

(2) 管理規程による規定

一庫ダムで非洪水期に継続的に発電するためには、利水基準地点の確保量以上の放流を行う必要がある。ただし、管理規程に規定されている「貯留された流水を放流できる場合」は以下のとおりである。

- ・洪水調節後の水位低下のための放流
- ・流水の正常な機能の維持のための放流
- ・水道用水の供給のための放流

- ・水位が平常時最高貯水位を超えるとき
- ・非洪水期から洪水期に移行するに際し、水位を洪水貯留準備水位に低下させるとき
- ・洪水期において水位が洪水貯留準備水位を超えるとき
- ・ゲート等の点検又は整備を行うために特に必要があるとき
- ・国土交通省猪名川河川事務所長から指示があったとき

また、一庫ダム操作細則には、以下の記載がある。

- ・ダム本体、貯水池等について、点検又は整備を行うため必要があるとき
- ・その他、特に必要があるとき

上記のとおり、いずれにおいても管理用発電のための貯留水の放流は認められていないが、効率的な運用の検討においては管理規程に則らないケースも検討する。

(3) 非洪水期の発電の可能性

一庫ダムで、1983年4月の管理開始から蓄積された29年間のデータをもとに、非洪水期の発電の可能性について検討した結果を表-1に示す。

非洪水期における平均流入量は約2.34m³/sで、最小可能発電流量1.50m³/sを十分に上回る。この際、洪水貯留準備水位(EL.135.30m)を非洪水期の開始水位とすると、非洪水期を通して約16.8mの水位上昇に相当する水量を確保できる試算となる。

非洪水期の平均流入量が最小発電可能流量を下回るのは、1995年から1996年にかけて約1.29m³/sであった1年間のみである。この際、上記と同条件で試算すると、約6.2mの水位低下に相当する水量の上乗せ放流となり、渇水を助長する可能性のある結果となる。

試算の結果、過去29年間で、1回だけ渇水を助長する可能性のある結果となったが、他の28回は平均流入量が最小発電可能流量を上回る結果となり、貯水位操作次第では、非洪水期に継続した発電を行える可能性は十分にあると考えられる。

表-1 非洪水期の流入量と発電放流量の関係^{※1}
(1983.10.16~2012.6.15)

	平均流入量 (m ³ /s)	最小発電可能放流量 (m ³ /s)	貯水位変化 ^{※2} (m)	備考
平均値	2.34	1.50	16.80	29年平均
最小値	1.29	1.50	▲ 6.22	29番目(1995~1996)
中間値	2.39	1.50	17.53	15番目(2005~2006)
(参考)	1.54	1.50	1.05	27番目(1986~1987, 1999~2000)

※1 10/16~6/15を1年として算出。

※2 10/16の開始水位をEL.135.30m、非洪水期日数を243日で算出。

なお、確保水量を貯水位換算するもので、平常時最高貯水位は考慮しない。

(4) 非洪水期における効率的な発電

一庫ダム発電所の貯水位・水量・出力の関係を図-1に示す。放流量で比較した場合、最大発電(約4m³/s)と最小発電(1.5m³/s)では、放流量1m³/s当たり約130kWの出力差を生じる。また、最も発電効率の高い放流量は、最大発電-0.2m³/s程度であり、最大発電から最大発電-0.5m³/s程度までの間では、放流量1m³/s当たりの出力にほとんど差は生じない。

一方、貯水位で比較した場合、平常時最高貯水位と洪水貯留準備水位では、放流量1m³/s当たり、最小発電時に約50kW、最大発電時に約70kWの出力差を生じる。

上記発電特性を踏まえ、効率的な発電を行うためには、以下の3要素について考慮する必要がある。

- ・発電効率は最大発電-0.2m³/s程度で最も高く、さらに0.3m³/s程度放流量を減じても大きな差は生じない。
- ・貯水位が高いほど発電効率は高い。
- ・最大発電可能放流量以上の発電無効放流を減らす。

29年間の月平均流入量を基にした、発電シミュレーション結果を表-2に示す。ケース1は、従来どおりダム直下の河川機能維持流量(0.5m³/s)を放流しながら流入水の貯留に努め、4/1以降に貯水位が図-2に示すドローダウン計画線とすりついた時点から貯水位を低下させる場合である。ケース2は、非洪水期に入ってから常時最小発電(1.5m³/s)を続け、4/1以降に貯水位がドローダウン計画線とすりついた時点から貯水位を低下させる場合である。ケース3~5は、ダム直下の河川機能維持流量の放流を基本に、それぞれドローダウン計画開始月を1~3月とし、貯水位が計画線とすりついた時点から貯水位を低下させる場合である。なお、いずれの場合も利水基準地点の流量確保は考慮していない。

ケース1、2を比較すると、従来どおりの運用に対し、継続して発電を行ってもほとんど発電量に差はみられない(約2.5%減)。継続して発電を行うために貯水位の

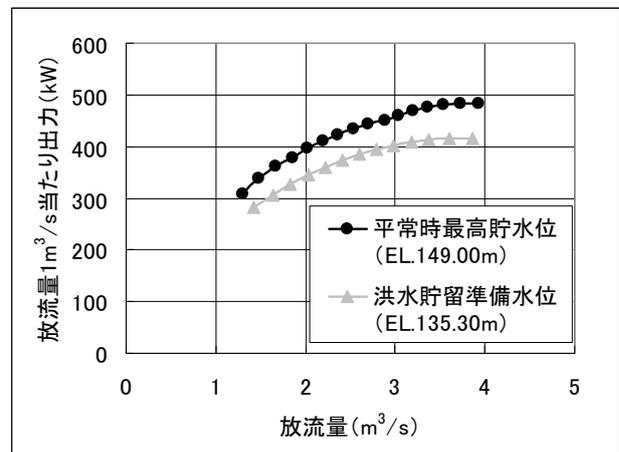


図-1 貯水位・水量・出力の関係(一庫ダム発電所)

表-2 発電シミュレーション結果 (ケース1~5)

ケース1 維持放流+ドローダウン計画線 (4月スタート)

月	月平均流入量 (m ³ /s)	放流量 (m ³ /s)	開始貯水位 (m)	期末貯水位 (m)	期間平均発電出力 (kW)	期間発電量 (kWh)	備考
10月	2.48	0.5	135.3	138.59		0	10/16~31
11月	1.69	0.5	138.59	141.92		0	11/1~30
12月	1.38	0.5	141.92	144.25		0	12/1~31
1月	1.38	0.5	144.25	146.43		0	1/1~1/31
2月	1.92	0.5	146.43	148.98		0	2/1~24 EL.149.00m付近まで水位回復
		1.92	148.98	148.98	750	72,000	2/25~28 水位維持
3月	2.97	2.97	148.98	148.98	1,350	1,004,400	3/1~31 水位維持
4月	2.87	4.96	148.98	144.14	1,900	1,368,000	4/1~30 5/1 計画水位 EL.144.15m
5月	3.72	5.54	144.14	139.1	1,850	1,376,400	5/1~5/31 6/1 計画水位 EL.139.13m
6月	2.97	4.57	139.1	136.68	1,700	612,000	6/1~16 6/16 計画水位 EL.136.70m
合計						4,432,800	

ケース2 最低発電+ドローダウン計画線 (従来)

月	月平均流入量 (m ³ /s)	放流量 (m ³ /s)	開始貯水位 (m)	期末貯水位 (m)	期間平均発電出力 (kW)	期間発電量 (kWh)	備考
10月	2.48	1.5	135.3	136.97	450	172,900	10/16~31
11月	1.69	1.5	136.97	137.56	450	324,000	11/1~30
12月	1.38	1.5	137.56	137.18	450	334,800	12/1~31
1月	1.38	1.5	137.18	136.79	450	334,800	1/1~1/31
2月	1.92	1.5	136.79	137.99	450	302,400	2/1~28
3月	2.97	1.5	137.99	142.26	450	334,800	3/1~31
4月	2.87	1.5	142.26	145.14	500	300,000	4/1~25 4/26 計画水位 (EL.144.96m) を超過
		5.29	145.14	144.15	1,900	228,000	4/26~30 5/1 計画水位 EL.144.15m
5月	3.72	5.53	144.15	139.14	1,850	1,376,400	5/1~31 6/1 計画水位 EL.139.13m
6月	2.97	4.59	139.14	136.69	1,700	612,000	6/1~15 6/16 計画水位 EL.136.70m
合計						4,320,000	発電量 約2.5%減 (対ケース1)

ケース3 維持放流+ドローダウン計画線 (3月スタート)

月	月平均流入量 (m ³ /s)	放流量 (m ³ /s)	開始貯水位 (m)	期末貯水位 (m)	期間平均発電出力 (kW)	期間発電量 (kWh)	備考
10月	2.48	0.5	135.3	138.59		0	10/16~31
11月	1.69	0.5	138.59	141.92		0	11/1~30
12月	1.38	0.5	141.92	144.25		0	12/1~31
1月	1.38	0.5	144.25	146.43		0	1/1~1/31
2月	1.92	0.5	146.43	148.98		0	2/1~24 EL.149.00m付近まで水位回復
		1.92	148.98	148.98	750	72,000	2/25~28 水位維持
3月	2.97	4.48	148.98	145.43	1,900	1,413,600	3/1~31 4/1 計画水位 EL.145.44m
4月	2.87	4.24	145.43	141.98	1,900	1,368,000	4/1~30 5/1 計画水位 EL.141.99m
5月	3.72	4.95	141.98	138.42	1,800	1,339,200	5/1~31 6/1 計画水位 EL.138.42m
6月	2.97	4.1	138.42	136.69	1,700	612,000	6/1~15 6/16 計画水位 EL.136.70m
合計						4,804,800	発電量 約8.4%増 (対ケース1)

ケース4 維持放流+ドローダウン計画線 (2月スタート)

月	月平均流入量 (m ³ /s)	放流量 (m ³ /s)	開始貯水位 (m)	期末貯水位 (m)	期間平均発電出力 (kW)	期間発電量 (kWh)	備考
10月	2.48	0.5	135.3	138.59		0	10/16~31
11月	1.69	0.5	138.59	141.92		0	11/1~30
12月	1.38	0.5	141.92	144.25		0	12/1~31
1月	1.38	0.5	144.25	146.43		0	1/1~1/31
2月	1.92	0.5	146.43	147.84		0	2/1~13 2/14 計画水位 (EL.147.82m) を超過
		3.14	147.84	146.45	1,450	522,000	2/14~28 3/1 計画水位 EL.146.45m
3月	2.97	4.1	146.45	143.62	1,900	1,413,600	3/1~31 4/1 計画水位 EL.143.62m
4月	2.87	3.91	143.62	140.88	1,850	1,332,000	4/1~30 5/1 計画水位 EL.140.89m
5月	3.72	4.67	140.88	138.06	1,800	1,339,200	5/1~31 6/1 計画水位 EL.138.07m
6月	2.97	3.86	138.06	136.7	1,700	612,000	6/1~16 6/16 計画水位 EL.136.70m
合計						5,218,800	発電量 約17.7%増 (対ケース1)

ケース5 維持放流+ドローダウン計画線 (1月スタート)

月	月平均流入量 (m ³ /s)	放流量 (m ³ /s)	開始貯水位 (m)	期末貯水位 (m)	期間平均発電出力 (kW)	期間発電量 (kWh)	備考
10月	2.48	0.5	135.3	138.59		0	10/16~31
11月	1.69	0.5	138.59	141.92		0	11/1~30
12月	1.38	0.5	141.92	144.25		0	12/1~31
1月	1.38	0.5	144.25	146.43		0	1/1~1/31
2月	1.92	0.5	146.43	146.65		0	2/1~2 2/3 計画水位 (EL.146.57m) を超過
		2.92	146.65	144.59	1,300	811,200	2/3~28 3/1 計画水位 EL.144.58m
3月	2.97	3.84	144.59	142.31	1,850	1,376,400	3/1~31 4/1 計画水位 EL.142.30m
4月	2.87	3.69	142.31	140.08	1,700	1,224,000	4/1~30 5/1 計画水位 EL.140.09m
5月	3.72	4.48	140.08	137.8	1,750	1,302,000	5/1~31 6/1 計画水位 EL.137.80m
6月	2.97	3.68	137.8	136.69	1,600	576,000	6/1~15 6/16 計画水位 EL.136.70m
合計						5,289,600	発電量 約19.3%増 (対ケース1)

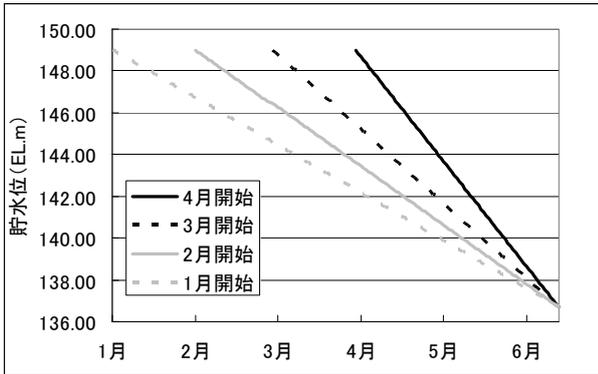


図-2 ドローダウン計画線

回復が遅く、最も効率良く発電できるドローダウン期に、それほど発電できないことが大きな要因である。月間を通して発電を行った場合、電気使用料金が発生しないことに加え、買電基本料金 (約 37 万円/月) が半額になるものの、安定的な水道用水の供給を使命とする一庫ダムにおいて、濁水を助長する可能性を考えるとメリットは乏しい。

ケース 1 とケース 3~5 を比較すると、それぞれ発電量が約 8.4%増 (ケース 3)、約 17.7%増 (ケース 4)、約 19.3%増 (ケース 5) となり、管理費用の縮減が期待できる。いずれもドローダウンの開始時期を早めることで、貯水位低下を緩やかにし、最大発電放流量以上の発電無効放流を抑えられることが大きな要因である。

以上より、ダム直下への河川機能維持流量を放流する

とともに、1 月からのドローダウン計画とすることでより効率的な発電が行えると考えられる。また、ケース 3~5 はいずれも管理規程に反しておらず、実運用につながられる可能性は十分にある。

なお、実際には、利水基準地点の流量確保のためダムからの補給が発生する場合があります。上述した検討に比べてダムからの放流量が増加し、貯留に時間を要することが考えられる。

(5) 効率的な発電に伴う濁水助長の可能性

ケース 3~5 は、いずれもドローダウン計画線にすりつくまで流入水の貯留に努めるため、本運用によって濁水を助長する可能性は低い。

表-3 に、過去 28 年間 (1983 年~2011 年の 10 月~6

月)における水道用水及び河川機能維持用水の確保のための各月の平均放流量を示す。いずれの月もダム直下の維持流量を超過するものの、ダムへの平均流入量よりは小さく、緩やかながら貯留することができる。特に、2月以降はダムへの流入量が増加するとともに、利水基準地点を含む本川の自流も回復することからダムからの必要放流量は減少する。

表-4 に、過去 29 年間 (1983 年 10 月～2012 年 6 月の非洪水期)における各月の最小平均流入量と上述したダムからの平均放流量との関係を示す。洪水期開始日の貯水水位を弾力的管理試験開始水位 (EL. 136.70m) とした場合、非洪水期の必要貯水水位は最大で EL. 143.17m であり、1 月以降のドローダウン計画でも必要貯水量を満たすことがわかる。

(6) 更なる効率的運用に向けて

効率的な発電を行うための一つの条件として、貯水水位が高いことがあげられ、できるだけ早期に貯留に努めることが効果的である。そこで、現在の管理規程では認め

られていないが、洪水期末期である 10 月上～中旬において降雨が発生した際に、その後台風等のまとまった降雨予測がない場合は洪水貯留準備水位以上への貯留を認める、という新たな貯留方法を提案する。治水の役割を担う一庫ダムにとって、洪水に対する安全の確保は必要不可欠であるが、気象予測精度も向上している今日、一週間程度の前倒しについて柔軟に対応することはできないだろうか。

また、一庫ダムでは、効率的な発電を目的に最小発電可能放流量以下での発電の可能性について検討し、0.3m³/s 少ない 1.2m³/s の放流においても発電可能としている。しかしながら、本運用によって施設に不具合が生じた場合は自己責任となり、メーカー補償を受けられないので、実施にあたっては十分に安全の担保を確保したうえで、運用するかどうか検討する必要がある。

3. 結論

一庫ダムにおいて、非洪水期に効率的な発電を行うためには、以下の運用が望ましい。

- ・非洪水期初期 (できればその直前) は極力貯留に努める。
- ・従来 4 月から開始しているドローダウン計画を 1 月からとする。

本運用により、貯水水位を早期に回復させて発電効率を高め、また、ドローダウン時の貯水水位低下を緩やかにすることで、比較的降雨の期待できる3月以降における最大発電放流以上の放流を軽減することができる。

また、本運用は、河川の機能維持及び水道用水の安定供給を使命とする一庫ダムにおいて、基準地点流量を満たすために必要な貯水量以上を貯留することができ、渇水の可能性を助長するものではない。

管理費用の縮減が求められる昨今、今ある施設、限られた資源を有効に活用することが重要である。今後は、安全・安心を第一にしつつ、管理規程の見直しも含め、より弾力的で効率的な運用が必要になると考える。

※本論文は、著者の前所属 (水資源機構一庫ダム管理所) の所掌内容を課題として作成したものである。

表-3 ダムへの平均流入量・ダムからの平均放流量

	平均流入量 ^{※1} (m ³ /s)	平均放流量 ^{※2} (m ³ /s) (維持用水+水道用水)
10月	2.48	0.92
11月	1.69	1.11
12月	1.38	1.11
1月	1.38	1.05
2月	1.92	0.93
3月	2.97	0.81
4月	2.87	0.80
5月	3.72	0.75
6月	2.97	1.05

※1 29年平均値(1983.10～2012.6の非洪水期各月平均値)

※2 維持用水+水道用水確保のための放流量

28年平均値(1983.10～2011.6の各月平均値)

表-4 最小平均流入量時の必要貯水水位 (対平均放流量)

	最小平均流入量 ^{※1} (m ³ /s)	平均放流量 ^{※2} (m ³ /s) (維持用水+水道用水)	必要貯水水位 (m) ^{※3} (各月1日 ^{※4})
10月	0.61	0.92	143.17
11月	0.47	1.11	142.73
12月	0.59	1.11	141.02
1月	0.61	1.05	139.51
2月	0.51	0.93	138.17
3月	1.06	0.81	136.96
4月	0.85	0.8	136.96
5月	1.14	0.75	136.96
6月	0.89	1.05	136.96

※1 29年最小平均値(1983.10～2012.6の非洪水期各月平均値の最小値)

※2 維持用水+水道用水確保のための放流量

28年平均値(1983.10～2011.6の各月平均値)

※3 6/16の貯水水位をEL.136.70m(弾力的管理試験開始水位)とする

※4 10月は16日とする