

発電用ダム貯水池の水面振動特性について

— ダム貯水池水位の現地計測と水面振動解析結果による考察 —

About the surface of the water vibration characteristic of the dam reservoir for power generation

— Consideration by Fourier analysis and local investigation result —

北海道電力(株) ○正員 神藤 謙一 (Kenichi Kandou)
北電総合設計(株) 正員 沖 岳大 (Takehiro Oki)
北電総合設計(株) フェロー 中村 興一 (Kouichi Nakamura)

1. はじめに

水力発電所の発電用ダムでは、融雪出水や洪水による河川流入量をダムに貯水することで、効率的な発電を行っている。今回は湛水面積が特に大きい雨竜第一ダム貯水池および雨竜第二ダム貯水池の水面振動特性について現地調査と水面振動解析を実施し、本検討で得られた水面振動特性の知見について報告する。

2. 雨竜発電所ダム貯水池の特徴

雨竜発電所は、雨竜第一ダムから13km離れた取水口から最大44.20m³/sを取水し、圧力水路6,765.5mを経て水圧管路により発電所に導水し、有効落差139.91mを利用し、最大出力51,000kWを発電したのち、天塩川に流域変更して放流しているダム水路式の発電所である。

雨竜発電所ダム貯水池流域を、図-1に雨竜第一ダム貯水池および第二ダム貯水池の諸元を表-1に示す。

発電使用水量は、太釜別川・宇津内川の河川水を2つのダムに貯水し、朱鞠内川の河川水を三股取水堰で雨竜第一ダムに揚水することにより合理的に取水している。

石狩川水系雨竜川の本川である太釜別川の水は、雨竜第一ダム(高さ45.5m、総貯水容量244,652,500m³)に貯留され、宇津内川の水は雨竜第二ダム(高さ35.7m、総貯水容量21,589,350m³)に貯留され、ダムアップされた水は連絡水路トンネルにより雨竜第一ダムに導水されている。

雨竜第一ダム貯水池(朱鞠内湖)の湛水面積は23.70km²で、ダム湖としては日本最大の規模を持ち、このため長周期のセイシュ等の発生による貯水池振動で、ダム流入量計算値に大きな誤差が生ずることが、ダム管理上の課題となっている。

表-1 雨竜第一ダムおよび第二ダム貯水池の諸元

	第一ダム貯水池	第二ダム貯水池
ダム高(m)	45.50	35.70
流域面積(km²)	202.5	109.7
湛水区域面積(km²)	23.7	1.8
利用水深(m)	11.000	7.400
有効貯水容量(m³)	172,119×10³m³	11,358×10³m³

3. 検討概要

一般に、ダムの流入量は、貯留量分流入量(貯留量の増減量)と放流量分流入量(貯留量の変化に応じた時間内の平均放流量)の和で求め、貯留量および放流量はダム貯水池水位(以降、貯水位という。)から計算される((1)式を参照)。

ダム管理の基本となる流入量は、(1)式で求められ、式の右辺第一項は、貯留量の変化量であり、貯水位からダムのH-V(貯水位-容量)曲線で算定される。したがって、雨竜第一ダムでは、風などで貯水位が振動した場合に、貯水池面積が膨大なことから貯留量の変動が大きくなる。

貯水位は、風などの影響により振動が発生すると、ダム管理上必要なダム流入量計算の誤差の原因となるため、何らかの方法で平滑化した貯水位を求める必要がある。

特に雨竜第一ダムでは、貯水位振動が微量であっても大きな変動が発生し、貯留量分流入量は大きな誤差を持ったものとなる。

仮に、雨竜第一ダム貯水池(湛水面積:23.7km²)が1mm変化すると貯留量は23,700m³となり、10分間で変化した場合に39.5m³/s(23,700m³/10分/60秒)で発電所最大使用水量(44.2m³/s)と同程度となる。

そこで、本検討は、貯水位の現地計測を実施し、計測データを用いた水面振動解析を実施し、振動成分を除去することで、貯水位の精度向上を目指すものである。

$$Q_{(t)} = \frac{1}{60T} (V_{(t)} - V_{(t-T)}) + \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} O_{(t-i)} \tag{1}$$

$Q_{(t)}$: 時刻 t におけるダム流入量(m³/s)
 $V_{(t)}$: 時刻 t における平滑水位から求まる貯留量(m³/s)
 $O_{(t-i)}$: 時刻 t から i 分前の毎正分時の全放流量(m³/s)
 T : 貯水位変化に要した時間(分)(最小は10分)
 N : T 時間内に計測された全放流量データ数

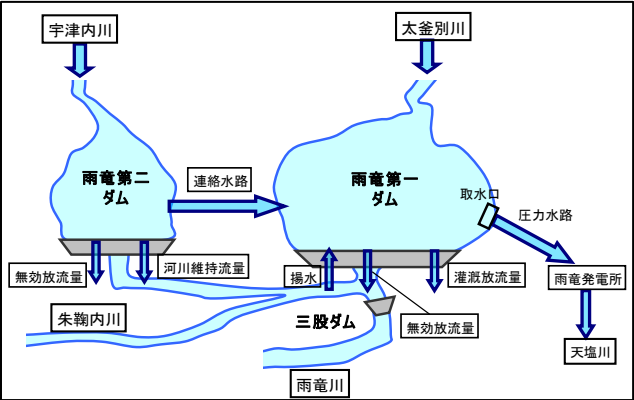


図-1 雨竜発電所ダム貯水池流域

4. 雨竜第一ダムの現状分析

4.1 ダム管理記録データ

図-2 に 2003 年の 1 時間ごとのダム管理記録データ B 表 (B 表: 1 時間平均にとりまとめた表) から得られた結果を示す。

赤マーカの[流入量]は、貯留量の変化分と全放流量の和から得られるダムへの流入量 (いわゆるダムコン計算流入量) である。また、緑マーカの[全ダム流入量]は、ダム貯水池への実測値流入量として得られる太釜別川流量 (雨竜第一ダム流域のカバー率 19.6%)、雨竜第二ダムからの連絡水路通水量、ダム下流の朱鞠内川からの揚水量の総量である (図-1 参照)。雨竜第一ダムへの流入量はこれら以外に、太釜別川流量観測所流域以外の残流域からの流入量があることから、図-2 に示す全ダム流入量の値よりは大きなものとなる。

これらを前提条件として次のようなことが読み取れる。

- 1) 4 月の雪解け開始時期では、[流入量]が[全ダム流入量]を上回る傾向を示しており、概観的には問題はない。
- 2) 5 月中旬以降の雪解けピーク後からは、[全ダム流入量]の方が大きな値となり、特に 5 月 31 日前後では[全ダム流入量]が $40\text{m}^3/\text{s}$ であるのに対し、[流入量]は $0\text{m}^3/\text{s}$ 前後となり傾向としても、値としても実際とは異なったものとなっている。
- 3) 1 月から 3 月末および 6 月から 8 月末の期間における[流入量]の値は、振動をしながらも右下下がり傾向を示し、[全ダム流入量]と比較して過大傾向から過小傾向に変化している。

4.2 貯水池振動状況

ダム貯水池では、風やゲート操作などにより波やセイシュが発生し、貯水池振動が生ずる。ダムの流入量は、前記のとおり貯留量分流入量と放流量分流入量の和で算出されるが、いずれも貯水位から計算される。貯水位の変化量に対し、放流量は大きく変化しないが、貯留量は敏感に反応し、貯水位の観測精度によっては大きな誤差を生じさせる原因となっている。特に貯水池面積の大きなダムほどこの傾向が大きく、雨竜第一ダムの流入量精度を低下させる大きな一因となっている。

図-3 に示す雨竜第一ダムの貯水位データ C 表 (C 表: 10 分平均にとりまとめた表) からは、貯水位の振動状況は確認できない。雨竜第一ダムの管理は、 0.1mm 単位の貯水位で行っているが、貯水位の計測単位を小さくすると、貯水池振動時には計算流入量により大きな誤差を与えたとの報告¹⁾もある。図-3 に示す貯水位変化はきれいな階段状になっており、これは計算流入量の精度が、貯水位の振動による貯留量変化量の誤差からではなく、貯水位の変化に要した時間の誤差に起因していることを示している。

4.3 ダム貯水位データ収集

ダム貯水位データは、風による波浪の影響が大きい 9 月から貯水池が結氷する 12 月までとし、2 秒間隔で計測し収集した。データの収集にあたっては、既存システムに影響を与えないよう、既存観測システムのうちデジタル復調器から別系統で出力し保存した⁴⁾。

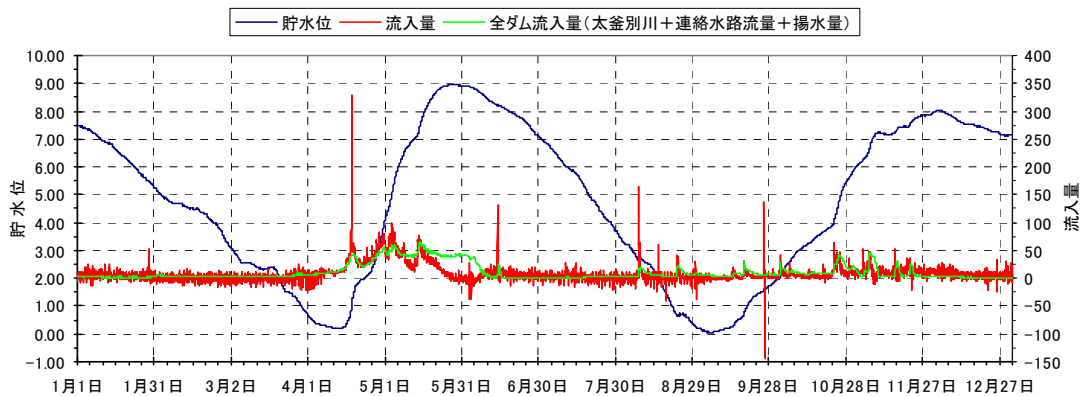


図-2 雨竜第一ダムにおける流入量(2003 年データ)

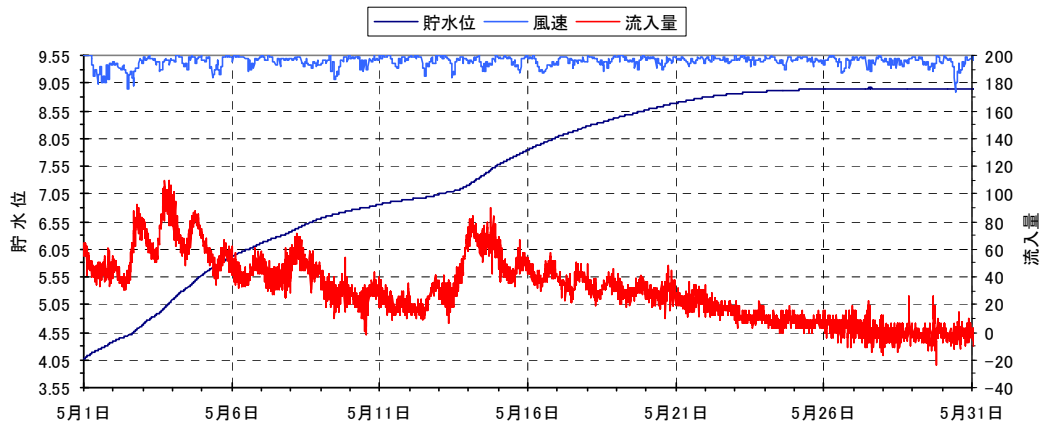


図-3 雨竜第一ダムの流入量の振動状況(2003 年 5 月データ)

5. 水面振動解析

5.1 ダム貯水位振動成分の分離

ダム貯水位データは、流入量、放流量により変化した貯留量による変動成分と、湖面の細かい振動成分が合成されている。このため、解析にあたっては、何らかの方法により貯留量の変動分の平滑化水位を算定し、計測されたデータとの差分により湖面振動成分のみを分離する必要がある。ダム貯水位振動成分の概念を図-4に示す。

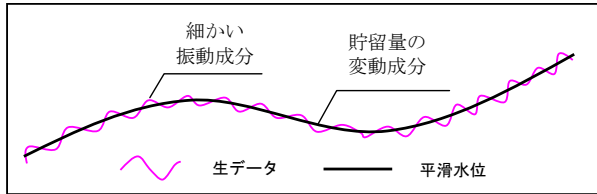


図-4 ダム貯水位振動成分

5.2 スペクトル解析

2秒毎に収集した貯水位データについては、収集期間内において振動の大きな期間を抽出し、貯水池平滑化手法により振動成分を分離した。

貯水位の振動が顕著であるため抽出した期間は、図-5に示した平成19年9月28日～29日の期間である。

なお、図-5中における風速は、雨竜第一ダム地点における1時間平均風速であり、平滑化貯水位はフーリエ平滑化手法（中村法）²⁾により計算したものである。さらに、図-6はフーリエ平滑化水位を基準とした振動成分をもとにスペクトル解析³⁾を実施し、波の振動特性（周期、振幅）について示したものである。

グラフから次のようなことが読み取れる。

- 1) 図-5から貯水池振動は、風速が卓越したとき（風速5m/s程度）において振動が顕著である。今後、振動と風速との相関性について検討する場合、振動が大きくなる風向について検討したい。

- 2) 図-6のスペクトル解析結果から、最大振幅が発生する周期は25分程度であった。卓越周期における最長周期は、40分～50分程度であった。

5.3 河川流入量の算定

本検討により収集したデータをもとに、河川流入量を算定した。

図-7は、C表の貯水位・流入量・放流量と、計測した2秒毎貯水位とこれを平滑した貯水位（平滑貯水位）と、平滑貯水位と放流量から計算されたダム流量（平滑流入量）である。

図-8は、C表の貯水位・流入量を30分補正し、平滑貯水位と放流量から計算されたダム流入量（平滑流入量）である。貯水位と流入量を補正した結果、C表貯水位と平滑貯水位、C表流入量と平滑流入量とのピーク時間はほぼ一致する。

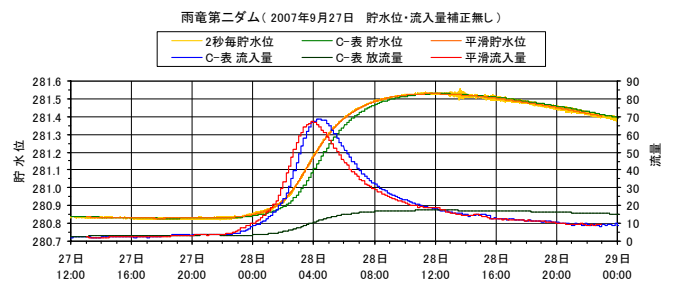


図-7 流入量計算（30分補正無し）

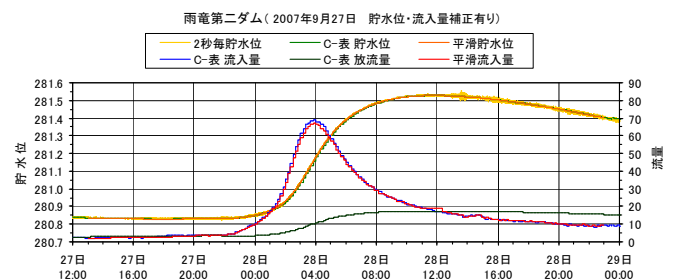


図-8 流入量計算（30分補正有り）

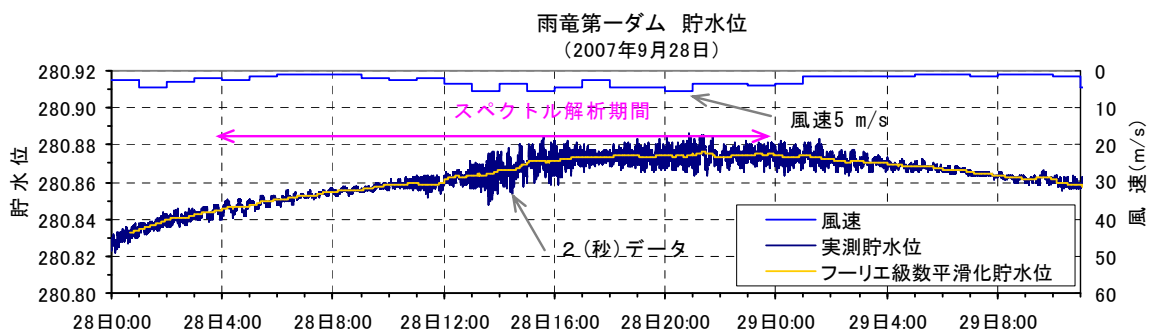


図-5 貯水位の平滑化

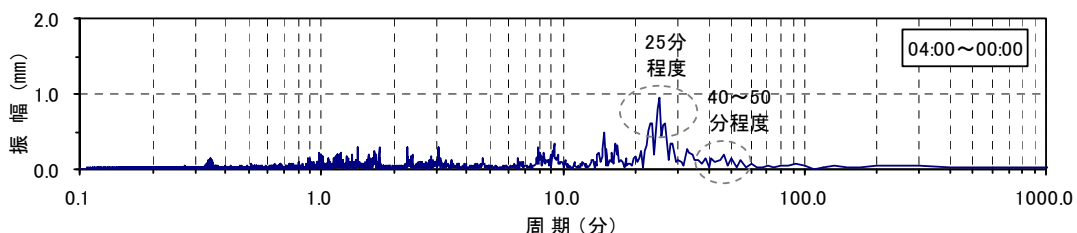


図-6 貯水位のスペクトル解析

C表は60分の移動平均法により算定されている。そのため、**図-9**に示すように、ある時刻60分において、2秒データは貯水位がH3であるのに対し、C表では1分～60分の平均であるため、時刻が30分の貯水位H2を求めることになる。表であらわせれば、30分遅れて表に書き込みがされることを意味する。

雨竜第一ダム流入量の貯水位平滑化によるダム流入量の算定結果を**図-10**に示す。雨竜第一ダムの2秒毎の貯水位は2～3cm程度の振動で、60分移動平均貯水位から求めたダム流入量（C表流入量）では、 $50\text{m}^3/\text{s}$ 程度の振れが生じている。これに対し、平滑化貯水位を用いたダム流入量（平滑流入量）は、 $10\text{m}^3/\text{s}$ 程度までの振れに収まり精度は向上する。

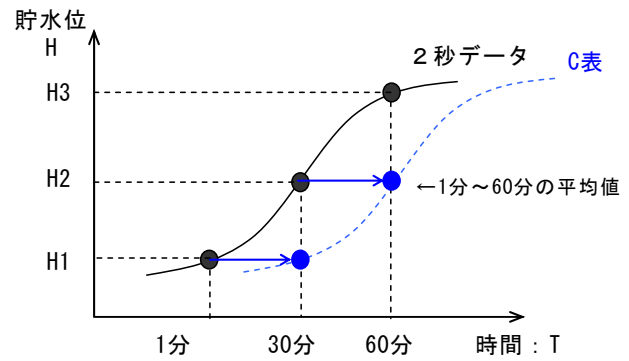


図-9 貯水位の移動平均による遅れ

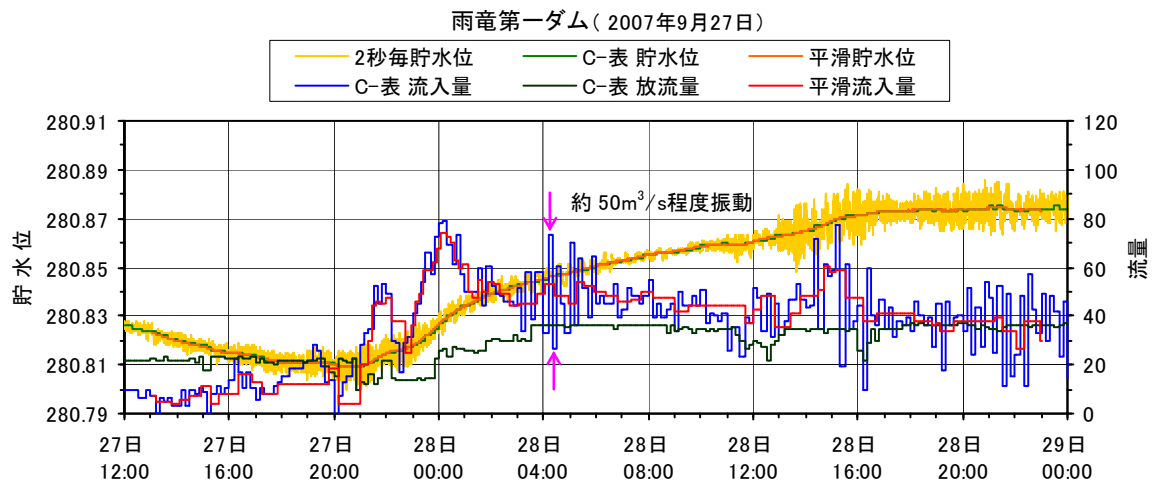


図-10 貯水位平滑化後の流入量

7. まとめ

今回得られた知見は以下のとおりである。

- ① 貯水池振動の原因は、風による波浪が主なものである。雨竜第一ダム貯水位は、スペクトル解析の結果から最大振幅が発生する周期が25分程度で、卓越周期における最長周期が40～50分程度であることが分かった。
- ② ダム流入量の算定に必要な貯留量の算定タイミングは、60分の移動平均水位では、1/2の遅れ時間が生じるため、遅れ時間を小さくする対策が必要となる。
- ③ 水位の平滑化は、セイシュを考慮することができるフーリエ平滑化手法が有効である。
- ④ 貯水位平滑化によるメリットは、貯水位の平滑化によって、ダム流入量の精度が向上し、出水時の河川流入量の上昇、低下傾向が今までより判断しやすくなる。

8. おわりに

貯水位データ収集は、平成20年度も引き続き実施しており、年間を通じたダム貯水池運用の効率化検討を進めるとともに、融雪期および洪水期における流出解析を進

ることで、ダム管理の高度化を目指す予定である。

【参考文献】

- 1) 中村興一，藤間聡，中村篤史：ダム貯水池振動特性と貯水位平滑化について，水工学論文集，第48巻，pp1387-1392，2004
- 2) ダム貯水池振動特性と貯水位平滑化手法に関する研究，（財）石狩川振興財団，pp31-37，2004
- 3) 中村興一，藤間聡，大城秀嗣：ダム貯水位振動発生要因とその振動特性，水工学論文集，第49号，pp1117-1122
- 4) 北電総合設計（株），平成19年度ダム管理の高度化検討業務報告書，2008