

放水路サージタンクを利用した余水処理方法について

中部電力(株) 正員大沢 勲 正員大野定利

“島居三十男” 広田 敏

1. まえがき 自流水水力発電所では、負荷の急変による余水処理のため放水路が必要であるが、河川水位の上昇規制上、放流水および余水を発電所直下流の河川に直接放流することが困難であるため余水を直接、放水路に合流させる型式について放水路保護のため余水の持つ高エネルギーによる損傷および連行空気による障害などの軽減を安全かつ経済的に行う方法についてサージング計算およびフルードの相似則を適用して模型縮尺 1/40 の水理実験によって検討したものである。

2. 水路系 上流調整池から最大95%の流量を無圧トンネルで導水するダム水路式発電計画であり、ヘッドタンクは横越流方式である。放水路は余水を合流させて延長約720mのトンネルにより下流調整池内に放出するもので調整池水位が上昇した場合、圧力トンネルとなりサージタンクを必要とする。水路系の概要を図～1に示す。

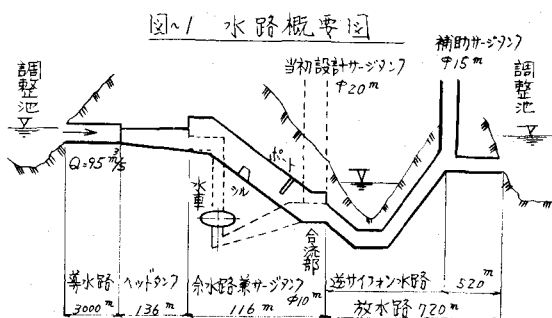
図～1 水路概要図

調整池
Q=95%

当初設計サージタンク
F20m

補助サージタンク
F15m

調整池



3. 余水の減勢 当初計画であった直径 20 m のサージタンクを利用して余水を落し込みタンク内の水フッション効果により減勢する実験を行った。

た結果、連行空気量が予想以上に多く、放水路断面の半分も空気がしめる結果となった。このためサージタンクを傾斜させて余水路の一部を兼ねさせるとともに、サージタンク断面の縮小を計り、余水流の落下高さを減少させるため、サージタンク基部に制水口を設置してタンク水位を上昇させ、また余水突入部に阻壁等のデフレクターにより流速分布を調整して、連行空気を抑制する方法とした。サージタンクの傾斜角度は、ハッドタンク、水車および放水路トンネル等の総合的配置を考慮して 25° に選定し、その容量の大きさは、サージング計算および減勢実験から直径 10 m とした。

4. 余水流の到達時間および流量波形 発電所の負荷遮断後ヘッドタンクから余水がサージタンクに流入する場合の放水路サージングは通常のサージング現象と異なり、余水流の到達時間および流入量の波形に支配される。すなわち、放水路トンネル内流速が揺れもどしにより、発電時と逆方向に流れ、その流速が最大になった時点で余水が、一度に流入する場合が最高上昇水位となるため、余水の到達時間が極めて重要な要素となり、一般にサージングの周期の方が余水の到達時間より長い。到達時間が遅れる程、サージタンク水位は高くなる。

一方、余水がサージタンクに到達する時間は、ヘッドタンクおよび導水路トンネル内の貯留効果が存在するため、ヘッドタンクの運転水位が低い程、遅くなる。実験結果では、サージタンクに流入してくる余水の到達時間は、負荷遮断後 70 秒程度で、最大使用水量 (95 ㎥) の 90% 流量が流入する。従って、これらの実験結果に基づきサージング計算を進めることとした。

5 サージニング計算結果 放水路水理系のサージニングの検討に関して、まず予備計算により副氷槽

の大きさを直径15mmに決定するとともに、サージタンク水位を上昇させて、余水落下高さを減少させる目的から、サージタンク基部に設置する制水口断面積を、直径10mmのサージタンク断面積の10%に相当する断面として、制水口の流量係数は実験結果から求め、 $C_d = 0.761$ とした。また実験結果から得られた、余水到達時間および流入量波形を使用した場合の計算結果では、サージタンクの容量に対する余裕は、十分あることが認められ、制水口による抵抗が効果的に働き、サージング波形のピークが生じることなく、図へ2に実線で示すように、水位上昇は極めて緩慢であり、最高水位は定常状態の水位となり、タンク内水位の余裕は、40%もあり空気混入による水位の増加分を考慮しても、十分な余裕があるものと考えられる。

また、実験結果から判断すれば、起り得ないものと考えられるが、水位上昇に対して最も過酷な計算上の条件として、放水路トンネル内の流水が揺れもどしにより、サージタンク内に逆流して、その流速が最大となる時点で、余水が流入する場合を想定しても、同図中(○印で示す)に示すように水位に対する余裕はなお23%ある。

6. 圧力変動測定 サージタンクに突入した余水が阻壁に衝突して、鉛直上方向に跳ね上げられ、サージタンク管胴天端を叩く現象を呈する。天端全体に同時刻に同方向に変動圧力が加わる場合には構造物の振動対策等考慮する必要があるが実験結果では、全く同時性がなく、0.2%程度と比較的小さな変動であり、また余水が発電所直下流の放水路に合流する型式であるため、負荷遮断時、余水路から最大流量が流下している状態において、発電機を系統に並列させるため、水車を再起動する場合、余水合流部の圧力変動が大きいと水車の有効落差が変動するため定格回転数が保持困難となることも考えられるが実験結果では、圧力変動0.16%と小さく、変動周期(1.0秒)も短いことから、この圧力変動が、水車の定格回転数に及ぼす影響については、実用上殆んど支障ないものと考えられる。

7. 連行空気対策 空気の連行現象に関してはレイノルズ数に関係するため、フルードの相似則では相似性が保たれない。従って実験結果から実物を想定すれば、連行空気量は大きく、連行空気塊の大きさは、ほぼ等しいものと考えられる。このことは空気の浮上速度は、模型と実物では、ほぼ同じであるのにサージタンク内平均流速は、模型縮尺比に従って模型流速が小さくなるため、実験上では連行空気が放水路に侵入する量が皆無に近い。上記設計でも実物では相当量の空気連行が予想されることによるものである。従って制水口基部放水路側に空気抜孔(φ10mm)を設置するとともに、下流補助サージタンクには、エアハンマー防止対策が必要と考えられた。

8. まとめ 余水処理の必要性から、放水路サージタンクを余水路の一部として、利用することにより、余水減勢効果の向上および連行空気の抑制を行なうことができた。また余水流が及ぼす圧力変動、サージタンク基部の圧力上昇および制水口部におけるキャビテーション発生等について検討した結果、実用上支障ないものと判断され、河川法による水位上昇規制の厳格化に伴い、この種の余水処理に関する水理的な対策方法として提案する。

図へ2 サージング計算結果

