

水室付複式差動型調圧水槽におけるサージ現象に対する数値解析手法の開発

名倉水力発電所余水路改良工事の最適設計

Development of the Numerical Analysis Method for Surging of the Duplex Chamber Surge Tank
Optimal planning for the Nakura Hydroelectric Power Plant spillway improvement work

(岐阜支店 加茂電力センター 土木課)

名倉水力発電所では、発電機急停止(トリップ)時の保安対策として余水路改良工事が計画されている。本発電所の調圧水槽は水室付複式差動型という他に類を見ない構造で、トリップ時に極めて複雑なサージ現象を発生させる。今回、このサージ現象に対する数値解析手法の定式化を新たに行うとともに、パラメータの適正化を図ることにより、本現象を精度良く再現することが可能となったため、実設計への適用を図った。

(Civil Engineering Section, Kamo Field Maintenance Construction Office, Gifu Regional Office)

The Nakura Hydroelectric Power Plant has been planning spillway improvement work as a security measure in response to sudden generator shutdown (trip). Since the plant's surge tank is an unprecedented structure having a duplex chamber, there is extremely complex surging when there is a trip. New equations have been set up for the numerical analysis method, as well as parameters appropriate to this surging phenomenon. This has enabled accurate reproduction of the phenomenon, allowing the analysis method to be applied to the actual planning for the spillway improvement work.

1 背景

発電機がトリップした時、名倉水力発電所では水圧鉄管を流れていた水が逆流し調圧水槽で吸収されるが、その一部(約50m³/s)は高速流となり上部水室を経て余水路から河川に放流されている。このため、入川者への危害防止を目的に余水路の改良工事を計画した。

改良工事に先立ち、余水路減勢工をはじめとする対策設備の設置を検討した結果、余水路からの河川放流が無く、経済性・工期に優れた調圧水槽上部水室増設による余水貯留方式を採用した。

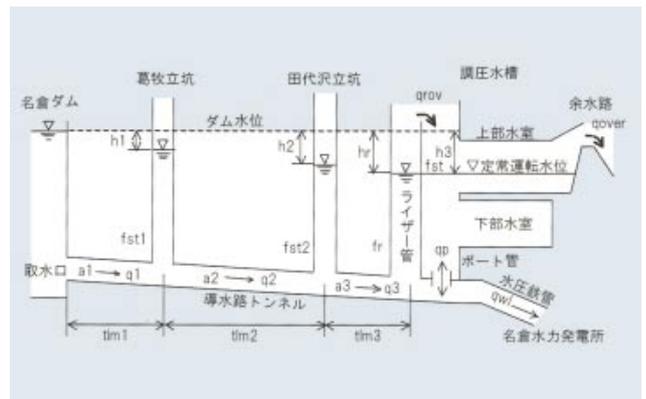
本方式を採用するにあたり、最適設計を行うため、トリップ時のサージ現象を精度良く再現する数値解析手法を開発した。



第1図 余水路からの放流状況

22,200kWの発電を行う。調圧水槽は取水口側に葛牧・田代沢の2ヶ所の立坑と調圧水槽内に径の小さいライザー管と呼ばれる立坑を有し(複式差動型)さらに負荷遮断時の余水を貯留するための上部水室、負荷急増時の補給水を貯留しておく下部水室を備えた水室付複式差動型という極めて複雑な構造形式である。

トリップ時には水路内の逆流水がライザー管・ポート管を通じて上部水室で貯留されるが、貯留しきれない水は余水路より河川へ放流される。水路系の概要を第2図に示す。



第2図 名倉発電所水路系概要図

3 サージ現象の定式化とパラメータの適正化

サージ現象の数値解析を行うにあたり、各構造型式(水室+複式+差動型)における運動方程式と連続方程式を連立させ、サージ基本式を導出した。その基本式を次に示す。これらの基本式は常微分方程式で表されるため、有限差分法を用いて汎用パソコンで計算可能な数値解析プログラムを新たに開発した。

運動方程式 田代沢立坑～ライザー管間

$$\frac{t_{lm}3}{g \times a^3} \frac{dq^3}{dt} = hr - h2 - c3 \times \frac{q^3 \times |q^3|}{a^3 \times a^3} + pk2$$

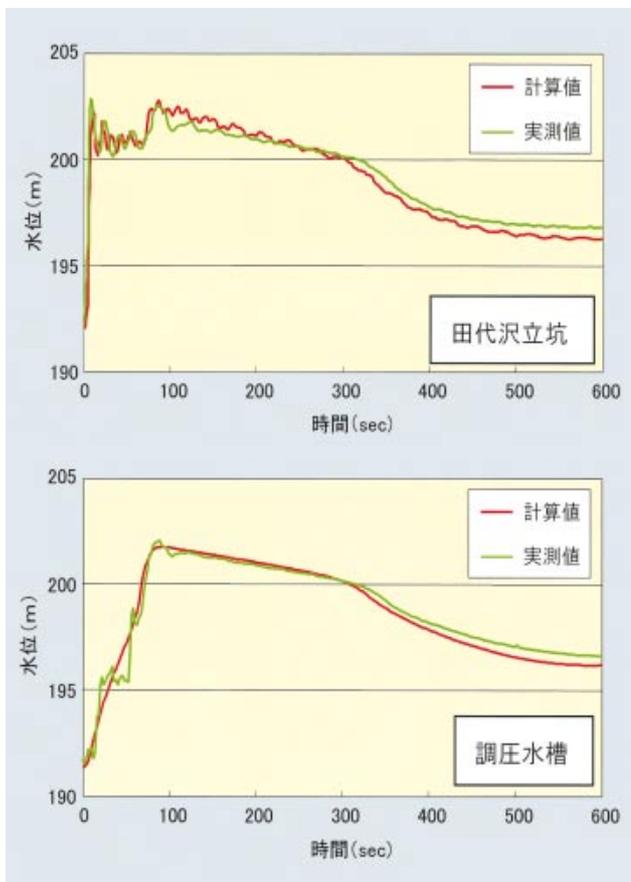
連続方程式

$$\frac{dhr}{dt} = (-q^3 + qwl + qrov + qp) / fr \quad \text{ライザー管}$$

$$\frac{dh3}{dt} = (qrov + qp - qover) / fst \quad \text{調圧水槽}$$

ここで、 q : 流量 h : 水深 t_{lm} : 水路延長 a : 水路断面積
 c : 損失水頭係数 pk : 制水口抵抗 g : 重力加速度
 fr : ライザー管断面積 fst : 立坑断面積 t : 時間

本解析手法の精度を向上させるため、改良前水路系において現地トリップ試験を実施し、その水位観測記録と解析結果を比較することによりパラメータの適正化を図った。解析結果と現地試験結果の比較結果を第3図に示す。田代沢立坑および調圧水槽の水位変動状況について解析結果と現地試験結果は良く一致している。また、設計上重要な項目であるトリップ時の最高上昇水位も精度良く再現できている(第1表)。



第3図 現状設備での実測値と解析結果の比較

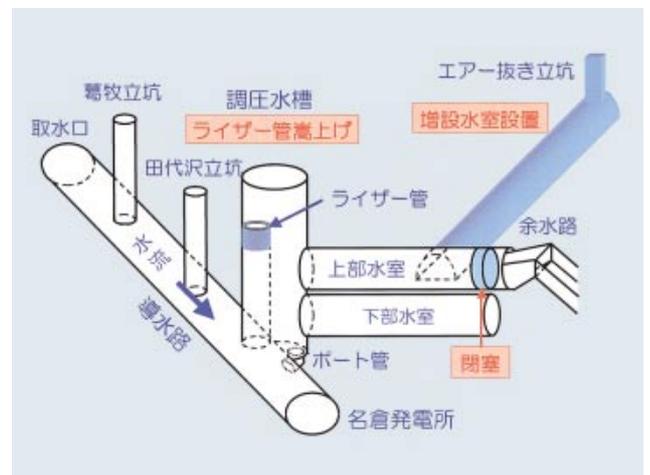
第1表 サージング時最高水位比較結果

地点	実測水位 (m)	計算水位 (m)	差 (m)	実測上昇水位 (m)
調圧水槽	202.05	201.75	0.30	10.32
田代沢立坑	202.75	202.76	0.01	10.55

4 余水路改良工事の実設計への適用

余水路改良工事は、余水路を閉塞し、その近傍から山中へ新たにトンネルを掘削し、上部水室を延長することで水室容量を増加する計画である。

そこで、上部水室容量とその必要容量に最も大きな影響を及ぼすライザー管の高上げ高さについて、本解析プログラムにより検討を行った。上部水室の増設容量は、ライザー管の高上げにより削減することが可能であるが、一方でライザー管の水位が上昇するため調圧水槽立坑部で余水が溢水することがないようにしなければならない。数値解析の結果、上部水室の増設容量が最小となる最適なライザー管高上げ高さは2m、この場合の上部水室の増設容量は延長距離162m、断面積32m²となった。



第4図 改良工事概要図

5 まとめ・今後の展開

本研究では、名倉発電所水路系におけるサージング現象に対する高精度な解析手法を開発した。本解析手法の適用により、設計諸元を細かく変更した数値解析が容易となり、上部水室増設容量の最適化を図ることができ、工事費削減に繋がった。

なお、工事完工後には現地トリップ試験を実施し、本解析手法の有効性を検証する。

執筆者 / 内野大介
Uchino.Daisuke@chuden.co.jp