

水室付複式差動型サージタンクにおけるサージング現象の数値解析

中部電力㈱ ○内野 大介、川尻 文夫、(正会員) 土山 茂希

1. はじめに

落雷等による送電線支障が原因で発電機が急停止（トリップ）した場合、中部電力㈱のN水力発電所では水圧鉄管を流れていた水がサージタンクで吸収されるが、その一部（約 $50\text{m}^3/\text{s}$ ）は高速流となって余水路から河川に放流されている。このため、河川入川者等への公衆保安確保を目的に、トリップ時の余水を全量吸収できるよう、サージタンク上部水室の容量増を図る改良工事を計画している。

N水力発電所のサージタンクは、種々の型式を組み合わせた水室付複式差動型と言われる構造である。従来、このような複雑な構造のサージタンクの設計に際しては、水理模型実験を用いて水理現象を解明していたが、今回、数値解析プログラムを開発し、数値解析による設計を試みたので、その概要について報告する。

2. 水室付複式差動型サージタンクの概要

N水力発電所は、最大 $80.0\text{m}^3/\text{s}$ を取水し、延長約 5km の導水路を経て有効落差 34.12m 、最大出力 $22,200\text{kW}$ を発電している。サージタンクは、地形条件等に配慮して、ライザー管、ポート管、下部水室・上部水室及び2カ所の立坑で構成され、様々な形式のサージタンクを組み合わせた極めて珍しい構造である。水路系の概要を図1に示す。

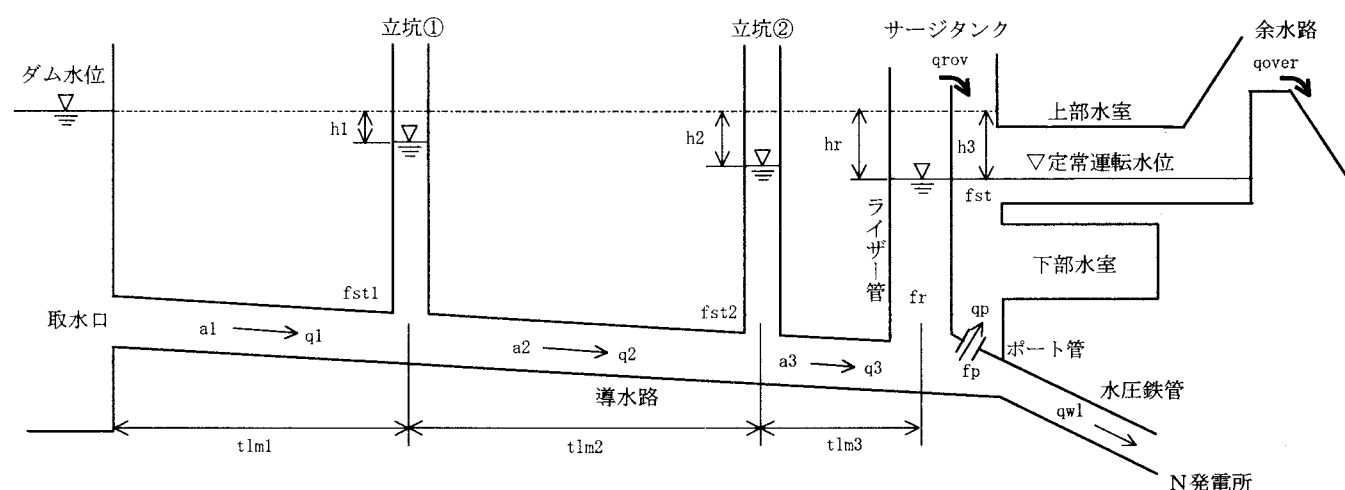


図1 N水力発電所水路系の概要図

3. 数値解析プログラムの開発

一般的な構造のサージタンクでは、運動方程式と連続方程式を連立させて、サージング現象の数値解析を行う。本サージタンクでは各種の構造型式が組み合わされているため、差動型・制水口型・複式型のそれぞれの運動方程式と連続方程式を複合して、次のような基本式を導出した。これらの基本式は常微分方程式で表されるため、汎用パソコンを使用して有限体積法による数値解析プログラムを開発した。

また、本プログラムの使用に際しては、改良前の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値を比較することで、入力データ（ポート係数等）のキャリブレーションを行った。その結果を図2に示すが、サージタンク及び立坑②の水位変動状況を非常に良く再現できており、設計に重要なデータである最高上昇水位も精度良く予測できることが判明した。

取水口～立坑①間の運動方程式

$$\frac{t1m1}{g \times a1} \frac{dq1}{dt} = h1 - c1 \times \frac{q1 \times |q1|}{a1 \times a1} - pk1$$

立坑①～立坑②間の運動方程式

$$\frac{t1m2}{g \times a2} \frac{dq2}{dt} = h2 - h1 - c2 \times \frac{q2 \times |q2|}{a2 \times a2} + pk1 - pk2$$

立坑②～ライザー管間の運動方程式

$$\frac{t1m3}{g \times a3} \frac{dq3}{dt} = hr - h2 - c3 \times \frac{q3 \times |q3|}{a3 \times a3} + pk2$$

立坑①における連続方程式

$$\frac{dh1}{dt} = (q2 - q1) / fst1$$

立坑②における連続方程式

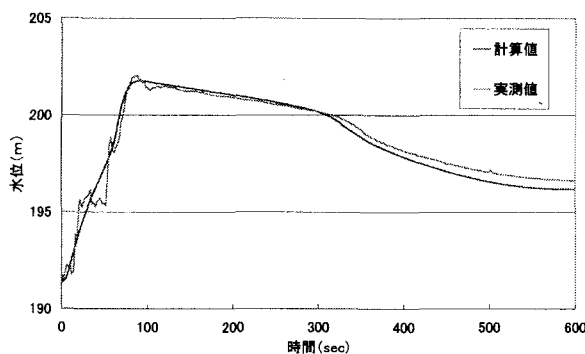
$$\frac{dh2}{dt} = (q3 - q2) / fst2$$

ライザー管における連続方程式

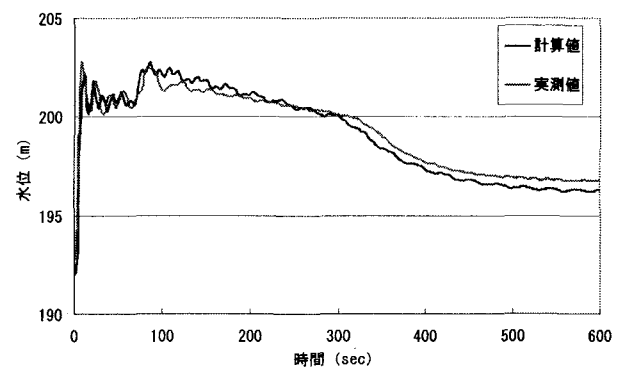
$$\frac{dhr}{dt} = (-q3 + qwl + qrov + qp) / fr$$

サージタンクにおける連続方程式

$$\frac{dh3}{dt} = (qrov + qp - qover) / fst$$



サージタンク



立坑②

図2 改良前のトリップ試験における観測記録と解析値の比較

4. 余水路改良工事の設計への適用

今回の改良工事では、上部水室から河川に放流している余水路を閉塞して、そこから上部水室トンネルを延長することで水室容量を確保し、余水を全量吸収して河川へ放流しない計画である。そこで、本解析プログラムを適用し、余水吐からの放流を無しとする条件の下で、上部水室容量及びライザー管の嵩上げ高さ等を検討した。立坑②及びサージタンクのサージ水位に関する解析結果を図3に示す。本解析結果より、上部水室を165m延長し、ライザー管を2m嵩上げする設計とした。

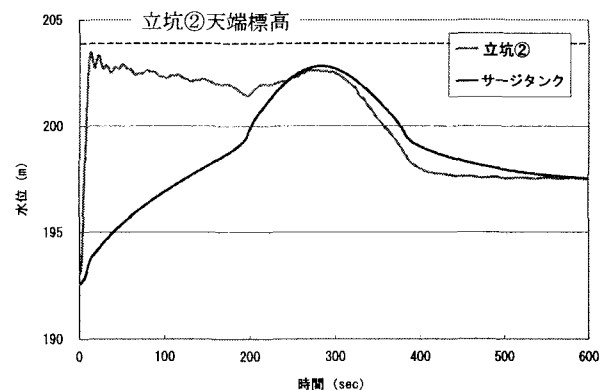


図3 改良工事後の解析結果 (サージタンク・立坑②)

5. まとめ

本研究では、N水力発電所の水室付複式差動型サージタンクにおけるサージ現象を精度良く再現できる解析手法を考案した。これにより、従来水理模型実験が必要であった複雑な水路系におけるサージ現象を数値解析で評価することが可能となり、サージタンク改良工事の設計においてサージタンク増設容量の最適化を図ることができた。

今後、改良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さらに検証する予定である。