

揚水発電所の放水路サージタンク制水口部における補強について

九州電力(株) 小丸川発電所建設所 正会員 ○富岡 孝仁
 九州電力(株) 小丸川発電所建設所 正会員 河原田寿紀
 西日本技術開発(株) 地盤耐震部 正会員 森 二郎

1 はじめに

小丸川発電所は、九州電力が宮崎県木城町に建設を進める最大出力120万kW(30万kW×4基、有効落差646m)の当社3番目の純揚水式発電所である。発電所をはじめ、圧力トンネルはすべて地下深部に設置され、このうち、放水路サージタンクは発電所と下部調整池間トンネルのうちドラフトトンネルと放水路トンネルの接合部に出力(発電)・入力(揚水)の増減に応じて、水量の補給・吸収を行い、放水路トンネルの圧力調整用に設置されるものである。また、サージタンク制水口部は制水口の役割の他にゲートが通過する開口部としての役割も兼ねている。本サージタンクにおける制水口付近は、制水口幅(4.3m)が水路幅(3m)より大きいこと、また、部分負荷時の過渡現象で制水口を均等に水が通過しない可能性があること等の複雑な流向・流速に伴い、コンクリート打ち継ぎ目に段差等が生じた場合は、局所的な高流速(負圧)を生じる可能性があり、制水口付近のコンクリートの劣化(磨耗・剥離)およびゲート戸当り金具等との打ち継ぎ目の剥離に対して設計上、十分な補強対策を検討する必要があった。本稿では、サージタンク制水口部における3次元数値解析を実施し、制水口付近の流況を可能な限り模擬することで、必要最小限の補強範囲を特定した補強対策について述べる。図1に水路系縦断面図、図2に放水路サージタンク縦断面図を示す。

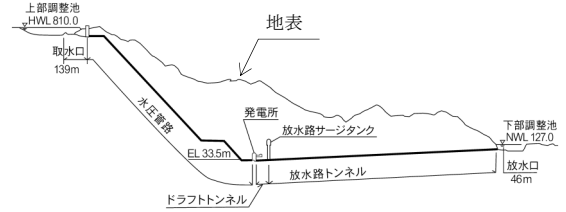


図1. 水路系縦断面図

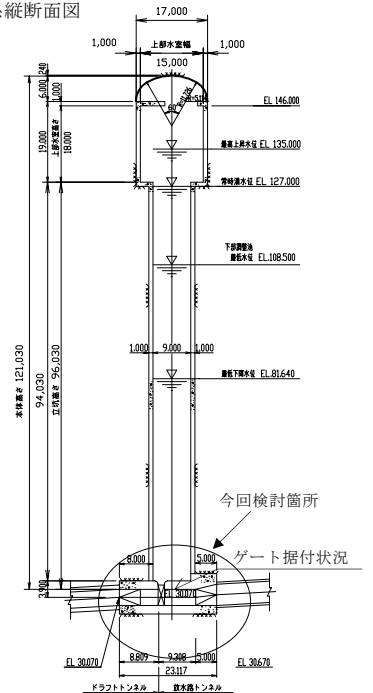


図2. 放水路サージタンク縦断面図

2 3次元数値解析における流況

3次元数値解析を実施する上で、実際の流況を模擬するために、境界条件を設定する必要がある。このため、揚水発電所の遮断において各流量変化の大きい全負荷遮断(発電急停止)時、ポンプトリップ(揚水急停止)時のサージング解析結果を3次元数値解析の入力条件とした。図3は2台同時の全負荷遮断時を示し、図4は、2台同時入力遮断後の1台流量調整弁不動作(3号機)のため、約5秒後に逆流状態となり、その後、流量が小刻みに変化するポンプトリップを示している。

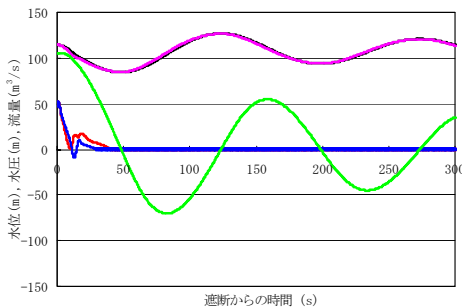


図3. 全負荷遮断

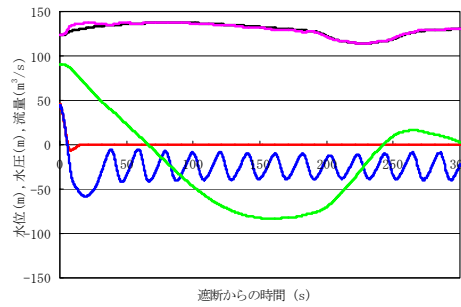


図4. ポンプトリップ

3 3次元数値解析

(1) 解析モデルおよび境界条件とパラメータ

サージタンク制水口部を中心に発電所側へ15m、放水路側へ20mの計35m区間において、サージタンクEL58.97mまでを解析領域とする3次元の解析モデルを作成した。解析モデルを図5に、図6にサージング解析結果の圧力、流量に関する境界条件の設定箇所を示し、表1に境界条件および計算上のパラメータを示す。

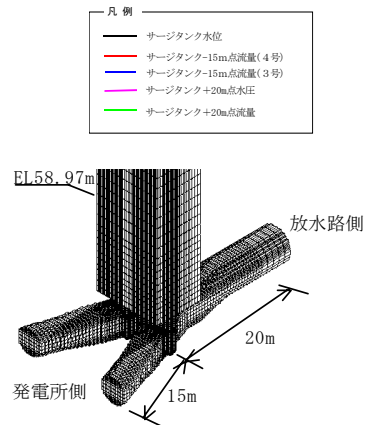


図5. 解析モデル

キーワード：3次元数値解析, 制水口部

連絡先 〒884-0104 宮崎県児湯郡木城町大字石河内1261 T e l : 0983-32-4024 F a x : 0983-32-4079

4 計算結果

(1) 最大流速

- ① 負荷遮断時(ケース 1; 12 s 後)における流速は、サージタンク制水口部より下流側で流速 4.0(m/s)~10.0(m/s)の流速分布を示し、最大流速は3号機で 10.0(m/s), 4号機で 9.0(m/s)を示した。(図 7 参照)
- ② ポンプトリップ時(ケース 2; 16 s 後)における流速は、サージタンク制水口部より上流側で 6.0(m/s)~15.0(m/s)の流速分布を示し、最大流速は3号機で 15.0(m/s), 4号機で 14.0(m/s)を示した。(図 8 参照)

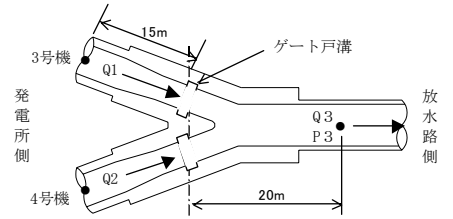


図 6. 境界条件設定箇所

表 1. 境界条件

項目	内容
流量境界条件	以下の点におけるサージ解析結果を流量に関する境界条件とする。 Q1 : サージタンク - 15m点 (3号機) Q2 : サージタンク - 15m点 (4号機) Q3 : サージタンク+20m点
圧力境界条件	下部サージタンク+20m地点における圧力(P3)をサージ解析結果より与える。
側壁境界条件	境界に直交する流速をゼロとする。
マンニングの粗度係数	n=0.013
渦動粘性係数	DeadRoffモデル(L E S乱流モデル)で算定
計算時間間隔	1/100秒

(2) ゲート戸溝付近における流況

- ① 制水口幅(4.3m)が水路幅(3.0m)を超える箇所(ゲート戸溝)では、負荷遮断時(ケース 1)において、負荷遮断開始より 12 秒後に制水口部で流速 10.2(m/s)を示した。また、ポンプトリップ時(ケース 2)においては入力遮断開始より 16 秒後にゲート戸溝付近に大きな渦が発生し、制水口部では、流速 13.7(m/s)を示した。(図 9; ポンプトリップ時における水路上面 H=3.0m の流速ベクトル分布図参照)
- ② 制水口部に発生した渦は制水口中心より前後に約 2.0mの範囲で発生している。また、水路径D=3.8mのうち水路上面部(H=3.78m), 下面部(H=1.20m)ともに渦が確認できた。

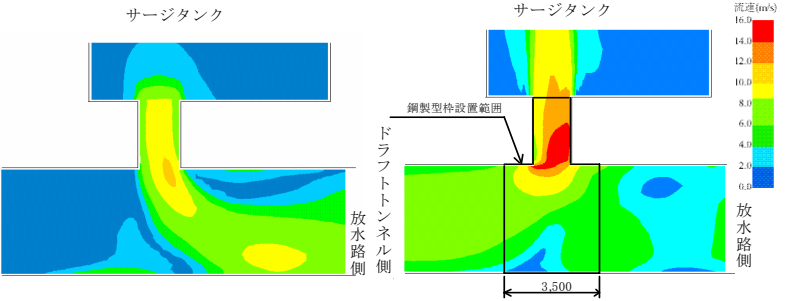


図 7. 全負荷遮断時(12s 後)の最大流速分布(3号機) (制水口部縦断面図)

図 8. ポンプトリップ時(16s 後)の最大流速分布(3号機) (制水口部縦断面図)

5 サージタンク制水口部対策の評価, 選定

今回実施した3次元数値解析結果, 施工性をもとに以下の事項について確認し, サージタンク制水口の補強対策を選定した。

- (1) サージタンク制水口部における流速が最大使用水量 111.0 (m³/s) が通過した場合の平均流速 8.6 (m/s) を超過し, 大気圧下におけるキャビテーション発生流速 14.0 (m/s) を上回る最大流速 15.0(m/s)に及ぶことから, コングリートの劣化(磨耗, 剥離)が懸念されること。
- (2) 制水口部より, ゲート戸溝を中心に両側約 2.0mの範囲で渦が発生する等, 断面変化による複雑な流況になることから, コングリートの耐久性低下が懸念されること。
- (3) サージタンク制水口部の施工については, 制水口部における曲面形状を確保するための鋼製の埋込み鉄板や戸当り金物による2次コンクリートを打設することとなり, 打ち継ぎ目の突起物等による不具合が生じる可能性の高い箇所が集中すること等から, 上記範囲についてだけは, 施工継ぎ目を無くす事が必要と考え, 戸当り金物と制水口部と水路部(ゲート戸溝部)とが一体となった鋼製型枠を設置する方法を選定した。鋼製型枠の設置範囲は, 制水口部(1.5m)と制水口部の上・下流 1.0mの全長 3.5m 区間とする。(図 10 参照)

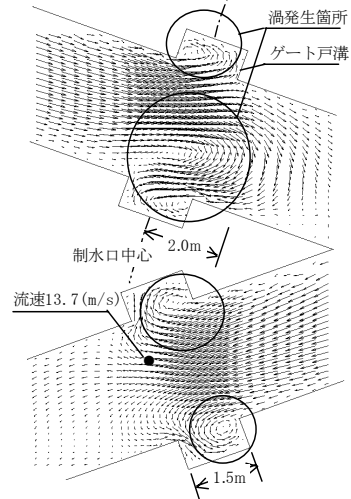


図 9. ポンプトリップ時(16s 後)の流速ベクトル分布(制水口部平面図)

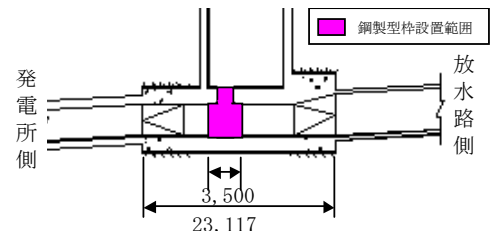


図 10. サージタンク制水口付近対策箇所

6 まとめ

今回は, 制水口付上部水室型サージタンク制水口部における流況を3次元数値解析を実施することで, 局所的な流速等を把握することができた。その結果, サージタンク補強範囲を制水口中心に 3.5m 区間に特定することができた。現在, 構築の本格化に伴い, ジョイントの施工等に配慮した施工を実施している。