

P. C. 調圧水槽の動特性

電力中央研究所 正員 岩楢徹広 増子芳夫 正員 梶井新雄
九州電力(株) 正員 永津忠治

1 要旨

九州電力姪津又発電所導水路調圧水槽は、高さ34.1m、内径25m、側壁厚さ1.1m $\sim$ 0.6m $\sim$ 0.5m $\sim$ 0.4mのFreyssinet方式P.C.コンクリート構造(図1)である。本水槽は、構造的には薄肉円筒シエルになると考えられ、内部の水を含めた工系として耐震性を検討する必要が生じた。このため調圧水槽完成後、常時微動観測と全負荷遮断によるサージング時の振動性状の観測を行い、水槽の振動性状を明らかにし、本水槽の耐震性の検討に用いた動特性評価方法の確認を行った¹⁾。

2 観測方法

測定のプロックダイヤグラムを図2に、観測計器を表1に示す。図3に示すように、水槽の天頂、壁体部及び基礎に地震計、加速度計を設置した。そして、常時微動観測は発電中及び発電停止時の水位の変動のない平静な時に行い、サージングによる振動性状の観測は、全負荷遮断(61.9MW $\rightarrow$ 0)直後に行った。

3. 検討方法及び検討事項

- (1) 実測波形から振動性状を求めた。
- (2) 自己相関関数、パワースペクトル密度から水槽の卓越振動数及び減衰定数を求めた。

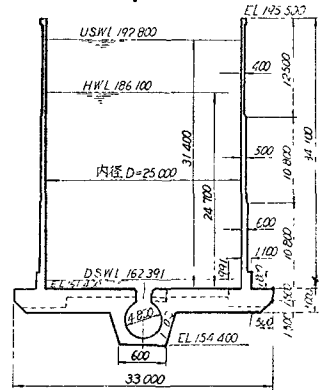


図1 調圧水槽断面図

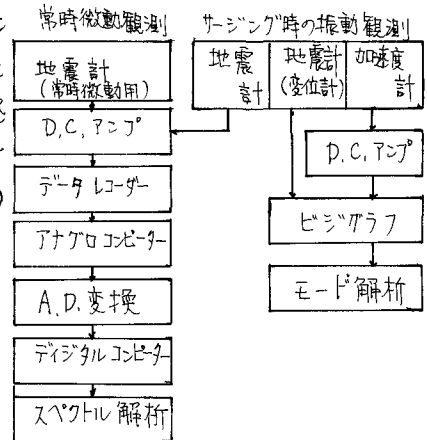


図2 測定のプロックダイヤグラム

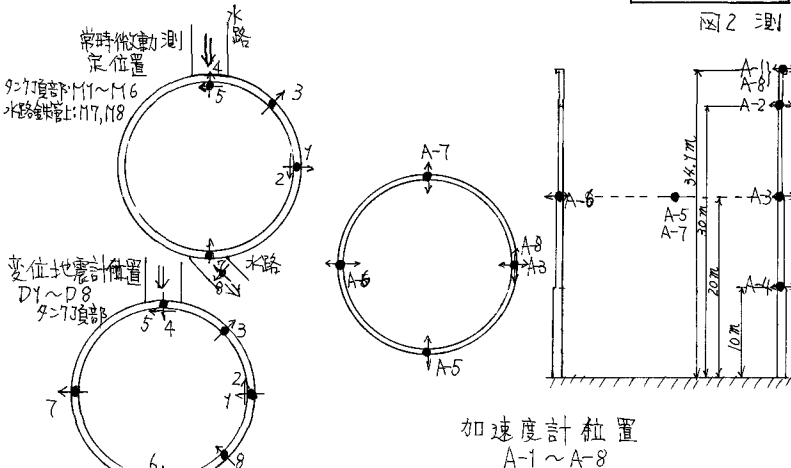


図3 ピックアップ位置図

常時微動観測	サージング時の振動観測
1 常時微動用 地震計 水平8台	1. 加速度計 全ゲージ式 (山A29)
2 直流増幅器 (6成分BEF)	2 地震計 (変位計) 水平8台
3 データレコーダ	3. 重力計
4 リード線	4 電磁 オシログラフ
5 磁気テープ	5 オルビス メーター

表1 観測計器

2), 3)

(3) 回転体応力問題としての有限要素法 (F.E.M) を用いて, 水槽の固有振動数 (曲げせん断1次振動の固有振動数と Ovaling 振動 (2次) の固有振動数) を計算し, 実測結果との比較を行った。さらに水槽内の水位と固有振動数の関係を調べた。

(4) $1/50$ 模型実験により, Ovaling 振動 (2次) の固有振動数と水位の関係を調べた。

4. 検討結果

1) 実測結果

図4, 図5, 図6 に, サージング曲線, 全負荷遮断直後の振動の変位記録及びパワースペクトル密度の一例を示した。また 図7 は全負荷遮断直後の振動の加速度記録を用いて描いた水槽の振動モードである。その結果 次のことがわかった。

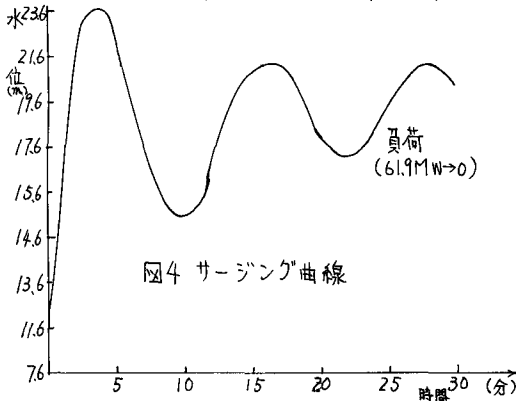


図4 サージング曲線

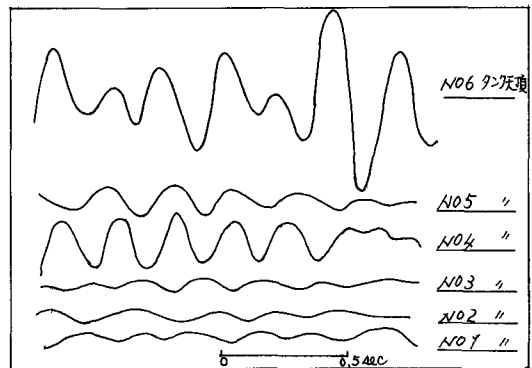


図5 変位記録

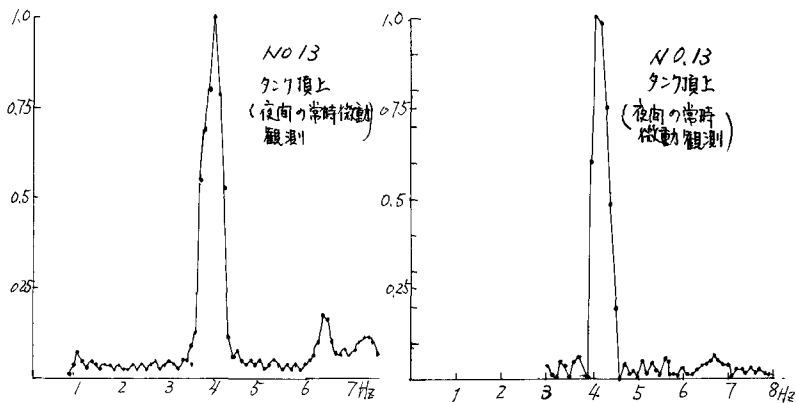


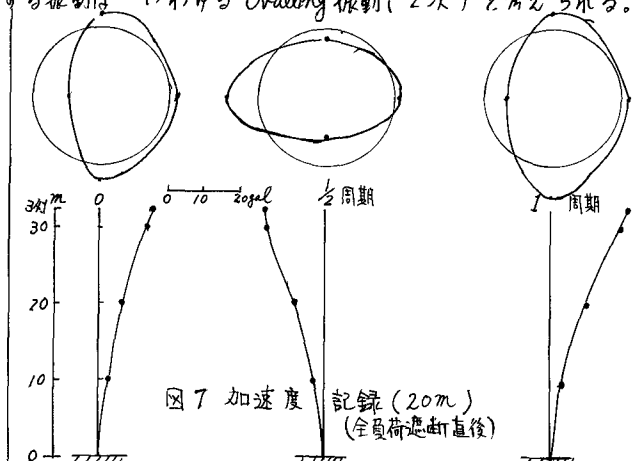
図6 パワースペクトル密度

(1) 常時微動観測 (推定水位 18~24m) のパワースペクトル密度から, 3.7~4.3 Hz に大きなピークが, 6.3~6.7 Hz に小さなピークが認められた。また, 全負荷遮断直後 (水位 15~18m) のパワースペクトル密度から 4.0~4.5 Hz に大きなピークが, 7.0~7.5 Hz に小さなピークが認められた。両測定結果に差があるのは, 観測時に於ける水位の相違によるものと考えられる。

(2) 全負荷遮断直後の振動は, その大部分が 40 Hz 付近の振動であり, 70 Hz 付近の振動は殊んど見られない。この時の振中の大きさは天頂で最大, 変位振中 (両振中) が 0.333 mm, 加速度振中 (両振中) が 45 gal まで達した。

(3) 40 Hz 付近の振動形状は, 図7 に示すように, 円周方向に対しては, 断面形状が橢円形状を呈す

るような2次振動であり、高さ方向に対しては1次振動である。したがって、遮断直後に水槽に生ずる振動は、いわゆる Owalling 振動(2次)と考えられる。



試料 No.	振動数	自己相関関数	パワースペクトル密度
N013	4Hz	0.045	0.060
N013	4Hz	0.049	0.039
N013	4Hz	0.067	0.064
N013	4Hz	0.058	0.058
		平均 0.055	平均 0.055
N015	7Hz	0.106	0.01
N010	7Hz	0.102	0.01
		平均 0.104	平均 0.01

表 2 減衰定数

(4) 自己相関関数とパワースペクトル密度により 4.0Hz 付近と 7.0Hz 付近の振動に対する減衰定数を求めた。結果を表 2 に示す。4.0Hz 付近の振動に対しては、自己相関関数による場合とパワースペクトル密度による場合とは、ほぼ近い値を示したが、7.0Hz 付近の振動に対しては、大きな差があった。これは、7.0Hz 付近の振動が十分に観測できなかったためと考えられる。

2) 計算結果及び実験結果

図 8, 図 9 は、調圧水槽内の水を付加質量として、水槽の Owalling 振動(2次)と曲げせん断 1 次振動の固有振動数を計算し、実測結果と比較したものである。また、図 10 は、1/50 模型実験による Owalling 振動(2次)の固有振動数と水位の関係を示したものである。その結果 次のことがわかった。

- (1) 固有振動数の計算値と実測値は良好な一致を示している。
- (2) 4.0Hz 付近の振動は、Owalling 振動であり、7.0Hz 付近の振動は、曲げせん断 1 次振動を示している。
- (3) 固有振動数は、水位の増加に伴い、減少する。

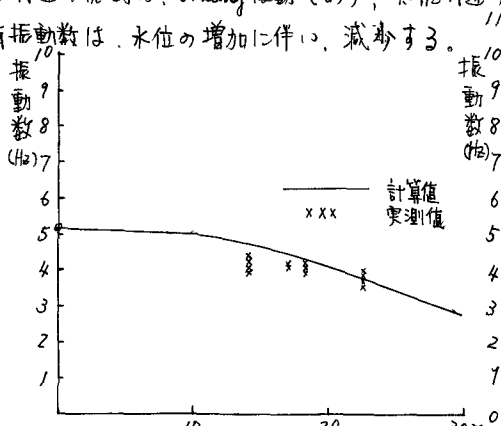


図 8 Owalling 振動($n=2$)の振動数と水位

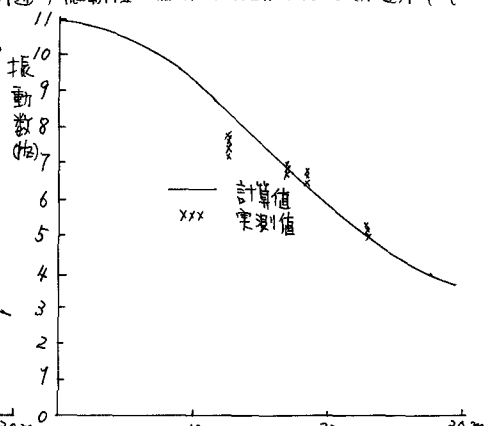


図 9 曲げせん断 1 次振動の振動数と水位

以上のように、実測された水槽の動特性は、計算上のモデルによって正しく表わすことが出来る。と考えられる。したがって、耐震設計に用いた諸物性値及びモデル化は適切であったと考えられる。

5 その他

全負荷遮断直後の変位記録を用いて、天頂の最大変位（両振中で 0.333mm ）を入力として、Ovaling振動によって、調圧水槽に生ずる応力を算定した。その結果

最大値は 半径方向応力(σ_r)が 0.17kg/cm^2 、円周方向応力(σ_θ)が 0.44kg/cm^2 、軸方向応力(σ_x)が 0.54kg/cm^2 及びせん断応力(τ_{xy})が 0.28kg/cm^2 であり、非常に小さいことがわかった。

本報告をまとめるに当り、九州電力の皆さまに多大の尽力をうけた。ここに深甚な謝意を表します。

参考文献

- 1) 岩楢, 増子, 桜井, 栗原, 永津, 吹気 「P.C.調圧水槽の耐震性の検討 (オ3報: 柳又発電所導水路調圧水槽の常時微動観測とサージングによる振動性状の観測)」 電研依頼報告(準備中)
- 2) 桜井, 栗原, 岩楢, 矢島 「P.C.調圧水槽の耐震性の検討 (オ1報: 柳又発電所導水路調圧水槽の静的応答解析)」 電研依頼報告: 72509 1972.8
- 3) 桜井, 栗原, 岩楢, 矢島 「P.C.調圧水槽の耐震性の検討 (オ2報: 柳又発電所導水路調圧水槽の動的応答解析)」

