

1. まえがき

本研究は、社内研究テーマとして、昭和46年度より当社の沱原、沼原および新書根の揚水発電所において、水車、発電機およびその周辺構造物の振動計測とその解析を実施して、種々の検討を加えたものである。

近年、揚水発電所はますます高落差大容量化されているが、その発電機およびポンプ水車に起因すると思われる起動時および停止時の発電所構造物の振動性状を解明した資料は未だ少ない。この種の振動性状を解明することは、今後の設計施工に対して有用な資料となる。

振動の発生原因を考えると、水力的、機械的および電気的な原因がある。その他には構造物そのものの強度不足も考えられる。これらについては、いずれも十分検討がなされ、適切な対策、処置によって問題がないように耐振対策がなされているが、各部の微振動が合成され、ある大きさの不規則な振動現象となり、それぞれの支承部より周辺構造物に伝達されるものと考えられる。したがって、上記3発電所において最も振動の激しいと考えられる運転状態を選び、周辺構造物の動的挙動を計測解析した結果が得られたのでここに報告する。

2. 計測について

今回計測を行った各発電所の構造概要、および水車発電機特性については図-1に示すとおりであり、いずれも地下式揚水発電所である。計測は各発電所の状況に応じ振動の最も激しい運転状態を選び表-1の通りの計測を行った。計測場所の選定にあたっては、振動特性の解析、振動応力の安全性確認等の目的を考慮し、手持の計測機器との関連より計測可能な測点数以内に、大抵概図-1のとおり測点配置とした。計測記録は発電機の運転状況を把握しながら、加速度計、ストレインゲージ等のピックアップから動歪測定器を経て記録計に同時記録した。

表-1 発電所別計測時の運転状態(最大出力/100%負荷)

	沱 原	沼 原	新 書 根
3台同時 1) 負荷遮断			230 MW 86 %
2) 単独負荷遮断		225 MW 75 %	230 MW 80 %
3) 3台同時 入力遮断			250 MW 62 %
4) 単独入力遮断		220 MW 53 %	
5) 平常運転時の 発電開始	103 MW	225 MW 74 %	230 MW 80 %
6) 平常運転時の 発電停止	103 MW		230 MW 80 %
7) 平常運転時の 揚水開始	88 MW	220 MW 53 %	270 MW 62 %
8) 平常運転時の 揚水停止	88 MW		270 MW 62 %

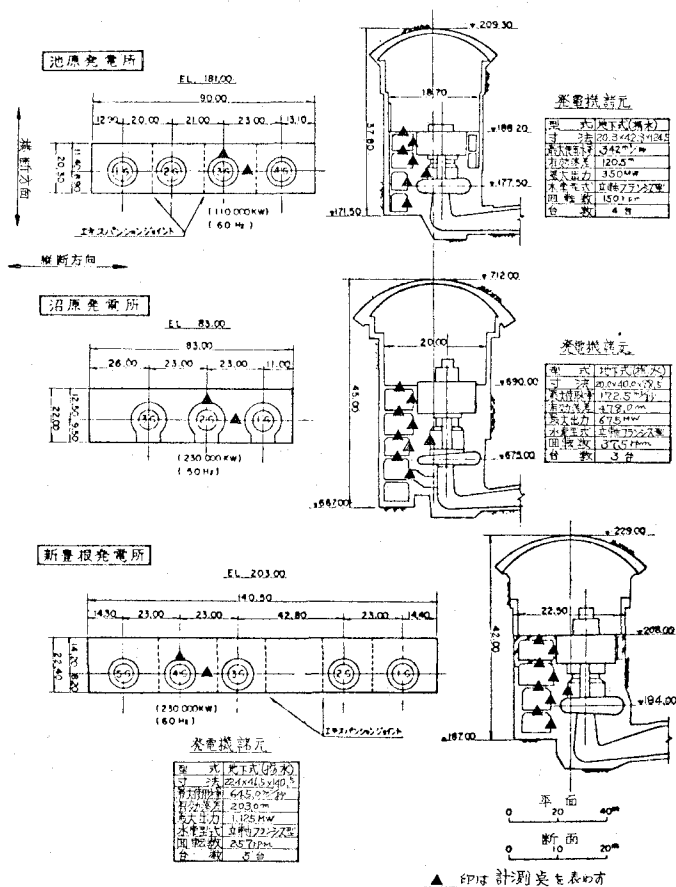


図-1 各発電所概要と計測位置

3. 計測結果

計測データの解析は、今回のデータがきわめて微振動の高振動数波形であることから、振幅と同期についてのみ解析を行った。振動波形において、加速度 α ($\text{gal} = 10^{-6} \text{sec}^2$)、変位 a (cm) および振動数 f (Hz) との相対関係は一応 $\alpha = a(2\pi f)^2$ となる。本計測結果において、一見して加速度値が大きいが、これは変位が極めて小さいにもかかわらず振動数が高いためである。

振動の大きさについて振動振幅と有効落差、使用水量、発電機出力および水車回転数との相関性を模索したが、発電機出力にやや相関性が見られる(図-2)程度であり、他は判明するに至っていない。

振動の方向性は、発電所横断方向(導水圧管路と平行方向)、縦断方向(導水圧管路と直角方向)および鉛直方向の3成分方向について計測している。各発電所共通の方向別振動の大きさを比較した場合バラツキが大きく(図-5)一概には言えないが、横断方向成分の方がやや大きいことが判断できる。このことは導水路の流水方向と一致している。

振動数成分の分析については、フーリエスペクトル、自己相関およびパワースペクトルの解析を行った。その結果、各発電所の代表的な卓越周期は、池原125 Hz、沼原170 Hz および新豊根120 Hzであった。

発電時と揚水時の振動比較においては揚水時の方がやや大きい(図-4)、それぞれの開始時と停止時とでは同程度の大きさである。

3台同時運転時の加速度値は単独の場合1.2倍程度である。負荷遮断時において2倍(図-3)程度になり、加速度値が1000 galを越えているが、これは振動数が高いため、変位の振幅は1/100 mm以下であり、コンクリートの応力変動もひずみ変化が小さく、5 $\mu\text{m}/\text{cm}^2$ 程度である。

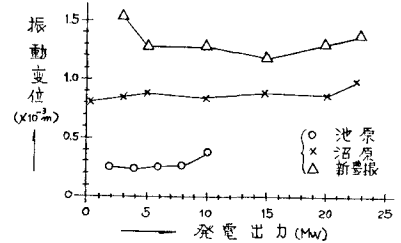
4. 結論

揚水式発電所の振動計測の結果より次のことがらが共通して言えよう。

- 1) 最大振動条件下において、卓越振動数120 Hz ~ 170 Hz、変位の振動振幅1/100 mm以下、コンクリートの振動応力の最大変動幅は5 $\mu\text{m}/\text{cm}^2$ 以下であった。
- 2) 発電機の出力(KW)が大きくなれば、振動振幅も増大するが、かならずしも比例的な関係ではない。
- 3) 発電時と揚水時では揚水時の方がやや大きい振動である。
- 4) 発電機の単独運転時と数台同時運転との比較においては、振動変位は比例して増大して行くものではない。1台と3台において1.2倍程度、負荷遮断時において、2倍程度の増大である。
- 5) 以上の結果から、現在の構造物は静的応力を主として細部設計されているが、発電、揚水運転時の高周波振動に対しても、発電所構造物は何ら障害を受ける振動性状ではないことが判明した。

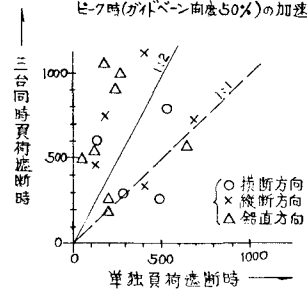
以上一応の結論を得たが、今後共このような振動データを数多く集め、よりきめのこまかい問題点の抽出と統計的解析を進めて耐振性の信頼を高めていく必要がある。

発電出力と振動変位

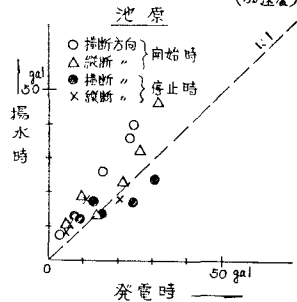


負荷遮断時の単独運転時と3台同時運転時の振動比較

ヒーク時(ガイドベーン向流50%)の加速度による



発電時と揚水時の振動比較 (加速度)



振動の方向別比較(加速度)

