U. D. C. 621.824 : 534.11.001.2
621.224.7 : 621.313.32

発電電動機およびポンプ水車軸の振動解析

Lateral Vibration of Pump-turbine and Generator-motor

北野　豊*　古川義夫*　永田一良*
Yutaka Kitano　Yoshio Furukawa　Ichiro Nagata

要　旨

発電機および水車軸の水力的起振力による軸振動をさけるために，水車ランナ部に起振力を想定して軸の過渡振動特性を解析し，85,000 kVA/kW 発電電動機およびポンプ水車の実機について現地で加振テストを行ない振動特性を測定した。

1. 緒　　言

水車発電機軸の曲げ振動は，従来は一次危険速度を主眼とした不つりあい振動で代表的に検討されているが，そのほかに運転状態における軸振動，特に水力的起振力による軸の不規則振動の解析が重要な問題である。ここでは水車ランナ部に横力または曲げモーメントから成る不規則起振力を想定して軸の過渡振動を求め，その振幅と振動形より水力的起振力に対する軸の振動特性を検討した。

2. 振動解析の方法

図1に示すように発電機および水車軸は軸方向の各点で断面形状が階段的に変化し，質量もそれに応じて変化する複雑な変断面軸であるが，軸受のあるところ，軸断面の変化するところなどで軸方向に細かく区分して考えると各区分は均一な梁(はり)として取り扱われ，各区分について次の振動方程式が適用される。

$$EI_i\frac{\partial^4}{\partial x^4}Y_{(x,t)}+m_i\frac{\partial^2}{\partial t^2}Y_{(x,t)}=0 \quad (0\leqq x\leqq l_i) \cdots\cdots (1)$$

ここに，
i：各区分につけた番号　$(i=1\sim n)$
E：軸のヤング率　$(\mathrm{kg/cm^2})$
I：軸の断面二次モーメント　$(\mathrm{cm^4})$
m：軸の単位長さ当たりの質量　$(\mathrm{kg\cdot s^2/cm/cm})$
Y：軸の振動　(cm)
x：各区分の端部を基準とした軸方向座標　(cm)
t：時間　(s)
l：軸の区分長さ　(cm)

このような線形振動では次式の関係が成り立つ。

$$Y_{(x,t)}=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\dot{P}_{(j\omega)}\cdot\dot{G}_{(j\omega)}\cdot e^{j\omega t}\cdot d\omega \quad (t\geqq 0) \cdots\cdots (2)$$

ここに，
P：水車のランナ部に想定される起振力のフーリェ変換　$(\mathrm{kg\cdot s})$
G：水車のランナ部に単位正弦波状加振力を想定したときの定常振動，すなわち軸の周波数特性　$(\mathrm{cm/kg})$
ω：正弦波状加振力の振動角速度　(rad/s)
j：単位虚数

(2)式により過渡振動を求めることは軸の周波数特性を求めることに帰するので，定常振動形を $\dot{y}_{(x)}$ とし $Y_{(x,t)}=\dot{y}_{(x)}\cdot e^{j\omega t}$ とおいて(1)式に代入すると，

$$EI_i\dot{y}_{(x)i}''''-m_i\cdot\omega^2\dot{y}_{(x)i}=0 \cdots\cdots (3)$$

ここに，ダッシュは x についての偏微分を表わす。

(3)式の解は，

$$\dot{y}_{(x)i}=S_{(x)i}\dot{y}_{(0)i}+T_{(x)i}\dot{y}_{(0)i}'k_i^{-1}+U_{(x)i}\dot{y}_{(0)i}''k_i^{-2}+V_{(x)i}\dot{y}_{(0)i}'''k_i^{-3} \cdots\cdots (4)$$

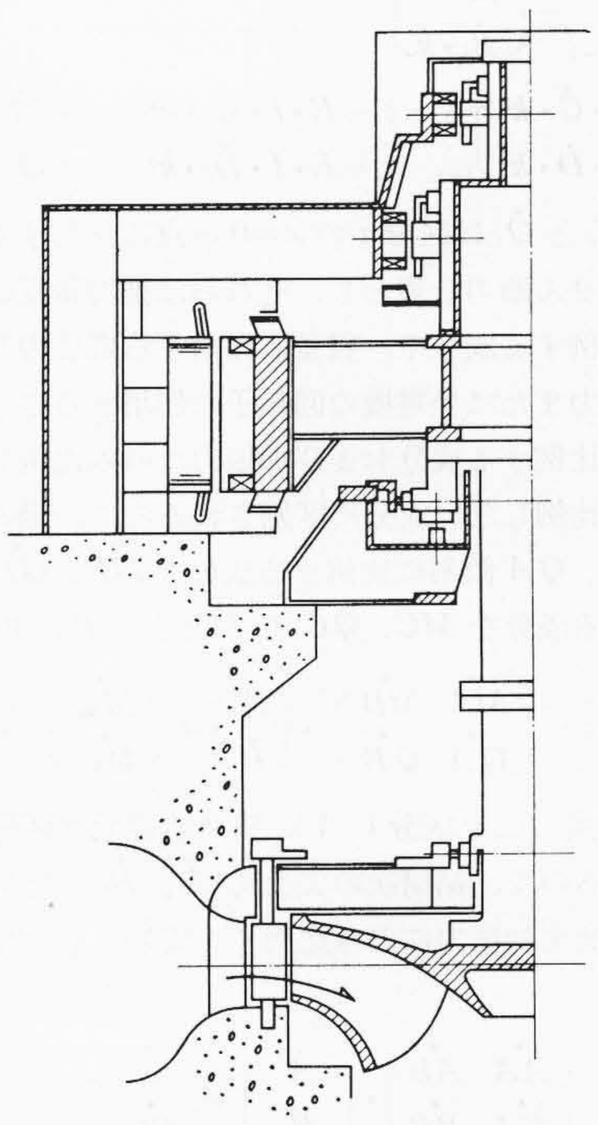

図1　85,000 kVA/kW 発電電動機およびポンプ水車軸系略図

ここに，

$$\begin{pmatrix}S_{(x)}\\T_{(x)}\\U_{(x)}\\V_{(x)}\end{pmatrix}_i=\frac{1}{2}\cdot\begin{pmatrix}\cosh(kx)+\cos(kx)\\\sinh(kx)+\sin(kx)\\\cosh(kx)-\cos(kx)\\\sinh(kx)-\sin(kx)\end{pmatrix}_i \cdots\cdots (5)$$

$$k_i^4=\frac{m_i}{EI_i}\omega^2 \cdots\cdots (6)$$

である。なおドット(・)は複素数であることを表わす。これは案内軸受および推力軸受の油膜による粘性減衰により，その動的こわさが複素数で表わされるためそれを一つの境界条件として解かれる振動の諸元は複素数となるためである。$1\sim n$ の梁について(4)式が得られるが，$4n$ 個の積分定数 $\dot{y}_{(0)}$, $\dot{y}_{(0)}'$, $\dot{y}_{(0)}''$, $\dot{y}_{(0)}'''$ は次のように求まる。まず逐次解法を用いるために，次のように記号を定める。

$$\begin{pmatrix}S\\T\\U\\V\end{pmatrix}_i=\begin{pmatrix}S_{(l)}\\T_{(l)}\\U_{(l)}\\V_{(l)}\end{pmatrix}_i \cdots\cdots (7)$$

$$\begin{pmatrix}\dot{A}\\\dot{B}\\\dot{C}\\\dot{D}\end{pmatrix}_i=\begin{pmatrix}\dot{y}_{(0)}\\\dot{y}_{(0)}'k^{-1}\\\dot{y}_{(0)}''k^{-2}\\\dot{y}_{(0)}'''k^{-3}\end{pmatrix}_i \cdots\cdots (8)$$

* 日立製作所日立工場

$$\begin{pmatrix}\dot{A}_l\\ \dot{B}_l\\ \dot{C}_l\\ \dot{D}_l\end{pmatrix}_i=\begin{pmatrix}\dot{y}_{(l)}\\ \dot{y}_{(l)}'k^{-1}\\ \dot{y}_{(l)}''k^{-2}\\ \dot{y}_{(l)}'''k^{-3}\end{pmatrix}_i \quad \cdots\cdots(9)$$

(4),(7)～(9)式より

$$\begin{pmatrix}\dot{A}_l\\ \dot{B}_l\\ \dot{C}_l\\ \dot{D}_l\end{pmatrix}_i=\begin{pmatrix}S & T & U & V\\ V & S & T & U\\ U & V & S & T\\ T & U & V & S\end{pmatrix}_i\cdot\begin{pmatrix}\dot{A}\\ \dot{B}\\ \dot{C}\\ \dot{D}\end{pmatrix}_i \quad \cdots\cdots(10)$$

次に軸の区分境界点におけるたわみと傾斜の一致および曲げモーメントとせん断力の一致より次式を得る。

$$\begin{pmatrix}\dot{A}\\ \dot{B}\cdot k\end{pmatrix}_{i+1}=\begin{pmatrix}\dot{A}_l\\ \dot{B}_l\cdot k\end{pmatrix}_i \quad \cdots\cdots(11)$$

$$\begin{pmatrix}-E\cdot I\cdot\dot{C}\cdot k^2\\ -E\cdot I\cdot\dot{D}\cdot k^3\end{pmatrix}_{i+1}=\begin{pmatrix}-E\cdot I\cdot\dot{C}_l\cdot k^2\\ -E\cdot I\cdot\dot{D}_l\cdot k^3\end{pmatrix}_i+\begin{pmatrix}\dot{M}\\ \dot{Q}\end{pmatrix}_{i+1} \quad \cdots\cdots(12)$$

ここに，$\dot{M}_i$ と $\dot{Q}_i$ は区分 i の $x=0$ の点に作用する外部的な曲げモーメントとせん断力を表わし，それらは推力軸受によって生ずる軸の傾斜に比例する成分や，質量に作用する慣性力および案内軸受による軸受反力または発電機の回転子に作用する磁気吸引力のように軸の振れに比例する成分および加振力にのみ比例し，軸の振れ，傾斜いずれにも比例しない成分に区別されるので，軸の振れに比例する成分を $\dot{M}\dot{A}$，$\dot{Q}\dot{A}$ 傾斜に比例する成分を $\dot{M}\dot{B}$，$\dot{Q}\dot{B}$ および加振力にのみ比例する成分を $\dot{M}\dot{C}$，$\dot{Q}\dot{C}$ なる記号で表わすと次式となる。

$$\begin{pmatrix}\dot{M}\\ \dot{Q}\end{pmatrix}_i=\begin{pmatrix}\dot{M}\dot{A} & \dot{M}\dot{B}\\ \dot{Q}\dot{A} & \dot{Q}\dot{B}\end{pmatrix}_i\cdot\begin{pmatrix}\dot{A}\\ \dot{B}\end{pmatrix}_i+\begin{pmatrix}\dot{M}\dot{C}\\ \dot{Q}\dot{C}\end{pmatrix}_i \quad \cdots\cdots(13)$$

(10)～(12) 式により区分 $i+1$ に関する諸元は区分 i に関する諸元で表わされるので，結局次のように $\dot{A}_1$，$\dot{B}_1$ に比例する成分といずれにも比例せず加振力にのみ比例する成分に分けて表わすことができる。

$$\begin{pmatrix}\dot{A}\\ \dot{B}\\ \dot{C}\\ \dot{D}\end{pmatrix}_i=\begin{pmatrix}\dot{A}\dot{A} & \dot{A}\dot{B}\\ \dot{B}\dot{A} & \dot{B}\dot{B}\\ \dot{C}\dot{A} & \dot{C}\dot{B}\\ \dot{D}\dot{A} & \dot{D}\dot{B}\end{pmatrix}_i\cdot\begin{pmatrix}\dot{A}_1\\ \dot{B}_1\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}\dot{A}\dot{C}\\ \dot{B}\dot{C}\\ \dot{C}\dot{C}\\ \dot{D}\dot{C}\end{pmatrix}_i \quad \cdots\cdots(14)$$

(13) と (14) 式より，

$$\begin{pmatrix}\dot{M}\\ \dot{Q}\end{pmatrix}_i=\begin{pmatrix}\dot{M}\dot{A}\cdot\dot{A}\dot{A}+\dot{M}\dot{B}\cdot\dot{B}\dot{A} & \dot{M}\dot{A}\cdot\dot{A}\dot{B}+\dot{M}\dot{B}\cdot\dot{B}\dot{B}\\ \dot{Q}\dot{A}\cdot\dot{A}\dot{A}+\dot{Q}\dot{B}\cdot\dot{B}\dot{A} & \dot{Q}\dot{A}\cdot\dot{A}\dot{B}+\dot{Q}\dot{B}\cdot\dot{B}\dot{B}\end{pmatrix}_i\cdot\begin{pmatrix}\dot{A}_1\\ \dot{B}_1\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}\dot{M}\dot{A}\cdot\dot{A}\dot{C}+\dot{M}\dot{B}\cdot\dot{B}\dot{C}+\dot{M}\dot{C}\\ \dot{Q}\dot{A}\cdot\dot{A}\dot{C}+\dot{Q}\dot{B}\cdot\dot{B}\dot{C}+\dot{Q}\dot{C}\end{pmatrix}_i \quad \cdots(15)$$

(14)式右辺のマトリクスの各要素は(10)式と(14)式を比較することによって次のように定まる。

$$\dot{\Delta}_i=\begin{pmatrix}\dot{A}\dot{A} & \dot{B}\dot{A} & \dot{C}\dot{A} & \dot{D}\dot{A}\\ \dot{A}\dot{B} & \dot{B}\dot{B} & \dot{C}\dot{B} & \dot{D}\dot{B}\\ \dot{A}\dot{C} & \dot{B}\dot{C} & \dot{C}\dot{C} & \dot{D}\dot{C}\end{pmatrix}_i \quad \cdots\cdots(16)$$

と置くと，

$$\begin{pmatrix}\dot{A}\dot{A}\\ \dot{A}\dot{B}\\ \dot{A}\dot{C}\end{pmatrix}_{i+1}=\dot{\Delta}_i\cdot\begin{pmatrix}S\\ T\\ U\\ V\end{pmatrix}_i \quad \cdots\cdots(17)$$

$$\begin{pmatrix}\dot{B}\dot{A}\\ \dot{B}\dot{B}\\ \dot{B}\dot{C}\end{pmatrix}_{i+1}=\left(\frac{k_i}{k_{i+1}}\right)\cdot\dot{\Delta}_i\cdot\begin{pmatrix}V\\ S\\ T\\ U\end{pmatrix}_i \quad \cdots\cdots(18)$$

$$\begin{pmatrix}\dot{C}\dot{A}\\ \dot{C}\dot{B}\\ \dot{C}\dot{C}\end{pmatrix}_{i+1}=\left(\frac{k_i}{k_{i+1}}\right)^2\cdot\left(\frac{I_i}{I_{i+1}}\right)\cdot\dot{\Delta}_i\cdot\begin{pmatrix}U\\ V\\ S\\ T\end{pmatrix}_i-\left(\frac{1}{E\cdot I_{i+1}\cdot k^2{}_{i+1}}\right)\cdot\begin{pmatrix}\dot{M}\dot{A}\cdot\dot{A}\dot{A}+\dot{M}\dot{B}\cdot\dot{B}\dot{A}\\ \dot{M}\dot{A}\cdot\dot{A}\dot{B}+\dot{M}\dot{B}\cdot\dot{B}\dot{B}\\ \dot{M}\dot{A}\cdot\dot{A}\dot{C}+\dot{M}\dot{B}\cdot\dot{B}\dot{C}+\dot{M}\dot{C}\end{pmatrix}_{i+1} \quad \cdots\cdots(19)$$

$$\begin{pmatrix}\dot{D}\dot{A}\\ \dot{D}\dot{B}\\ \dot{D}\dot{C}\end{pmatrix}_{i+1}=\left(\frac{k_i}{k_{i+1}}\right)^3\cdot\left(\frac{I_i}{I_{i+1}}\right)\cdot\dot{\Delta}_i\cdot\begin{pmatrix}T\\ U\\ V\\ S\end{pmatrix}_i-\left(\frac{1}{E\cdot I_{i+1}\cdot k^3{}_{i+1}}\right)\cdot\begin{pmatrix}\dot{Q}\dot{A}\cdot\dot{A}\dot{A}+\dot{Q}\dot{B}\cdot\dot{B}\dot{A}\\ \dot{Q}\dot{A}\cdot\dot{A}\dot{B}+\dot{Q}\dot{B}\cdot\dot{B}\dot{B}\\ \dot{Q}\dot{A}\cdot\dot{A}\dot{C}+\dot{Q}\dot{B}\cdot\dot{B}\dot{C}+\dot{Q}\dot{C}\end{pmatrix}_{i+1} \quad \cdots\cdots(20)$$

軸の初端に関するこれらの値を考えると，(14)式より直ちに次式を得る。

$$\begin{pmatrix}\dot{A}\dot{A} & \dot{A}\dot{B} & \dot{A}\dot{C}\\ \dot{B}\dot{A} & \dot{B}\dot{B} & \dot{B}\dot{C}\end{pmatrix}_1=\begin{pmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0\end{pmatrix} \quad \cdots\cdots(21)$$

また区分1の $x=0$ の点では，そこに外部的に作用する $\dot{M}_1$，$\dot{Q}_1$ と軸の内力としての曲げモーメント $(-)E\cdot I_1\cdot\dot{y}''_{(0)1}$，せん断力 $(-)E\cdot I_1\cdot\dot{y}'''_{(0)1}$ が互に等しい条件より次式を得る。

$$\begin{pmatrix}\dot{C}\dot{A}\\ \dot{C}\dot{B}\\ \dot{C}\dot{C}\end{pmatrix}_1=\frac{-1}{E\cdot I_1\cdot k_1{}^2}\cdot\begin{pmatrix}\dot{M}\dot{A}\\ \dot{M}\dot{B}\\ \dot{M}\dot{C}\end{pmatrix}_1 \quad \cdots\cdots(22)$$

$$\begin{pmatrix}\dot{D}\dot{A}\\ \dot{D}\dot{B}\\ \dot{D}\dot{C}\end{pmatrix}_1=\frac{-1}{E\cdot I_1\cdot k_1{}^3}\cdot\begin{pmatrix}\dot{Q}\dot{A}\\ \dot{Q}\dot{B}\\ \dot{Q}\dot{C}\end{pmatrix}_1 \quad \cdots\cdots(23)$$

未知数 $\dot{A}_1$，$\dot{B}_1$ は軸の終端である区分 n の $x=l_n$ の点で，そこに作用する $\dot{M}_{n+1}$，$\dot{Q}_{n+1}$ と軸の内力としての曲げモーメント $(-)E\cdot I_n\cdot\dot{y}''_{(ln)n}$，せん断力 $(-)E\cdot I_n\dot{y}'''_{(ln)n}$ の互の和が自由端の条件より0になることから，$k_{n+1}=k_n$，$I_{n+1}=I_n$ と約束すれば次式で表わされる。

$$\begin{pmatrix}\dot{C}\\ \dot{D}\end{pmatrix}_{n+1}=\begin{pmatrix}0\\ 0\end{pmatrix} \quad \cdots\cdots(24)$$

$$\therefore\ \begin{pmatrix}\dot{C}\dot{A} & \dot{C}\dot{B} & \dot{C}\dot{C}\\ \dot{D}\dot{A} & \dot{D}\dot{B} & \dot{D}\dot{C}\end{pmatrix}_{n+1}\cdot\begin{pmatrix}\dot{A}_1\\ \dot{B}_1\\ 1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}0\\ 0\end{pmatrix} \quad \cdots\cdots(25)$$

$$\therefore\ \begin{pmatrix}\dot{A}_1\\ \dot{B}_1\end{pmatrix}=\frac{1}{\dot{F}_{(\omega)}}\cdot\begin{pmatrix}\dot{C}\dot{B}\cdot\dot{D}\dot{C}-\dot{C}\dot{C}\cdot\dot{D}\dot{B}\\ \dot{C}\dot{C}\cdot\dot{D}\dot{A}-\dot{C}\dot{A}\cdot\dot{D}\dot{C}\end{pmatrix}_{n+1} \quad \cdots\cdots(26)$$

ここに，

$$\dot{F}_{(\omega)}=\left[\dot{C}\dot{A}\cdot\dot{D}\dot{B}-\dot{C}\dot{B}\cdot\dot{D}\dot{A}\right]_{n+1} \quad \cdots\cdots(27)$$

このようにして求められた $\dot{A}_1$，$\dot{B}_1$ を用いて(14)式を計算することにより軸各部の振動と軸応力が求まる。

以上の解法は不つりあい振動にもそのまま適用でき，その場合軸の断面に固定した極座標において不つりあい量を複素数表示すれば，それによる振動 $\dot{y}_{(x)}$ の複素角がそのまま軸振動の位相角を表わすことになる。また(27)式の $\dot{F}_{(\omega)}$ の値を極小とする角速度 ω はすべて軸系の危険速度を表わすことになる。

次に(2)式によって過渡振動を求めるため，水車ランナ部に想定する起振力を次のようなフーリエ級数で表わす。

$$P_{(t)}=\sum_i p_i\cdot e^{-\alpha_i t}\cdot\sin(\Omega_i t+\varphi_i) \quad \cdots\cdots(28)$$

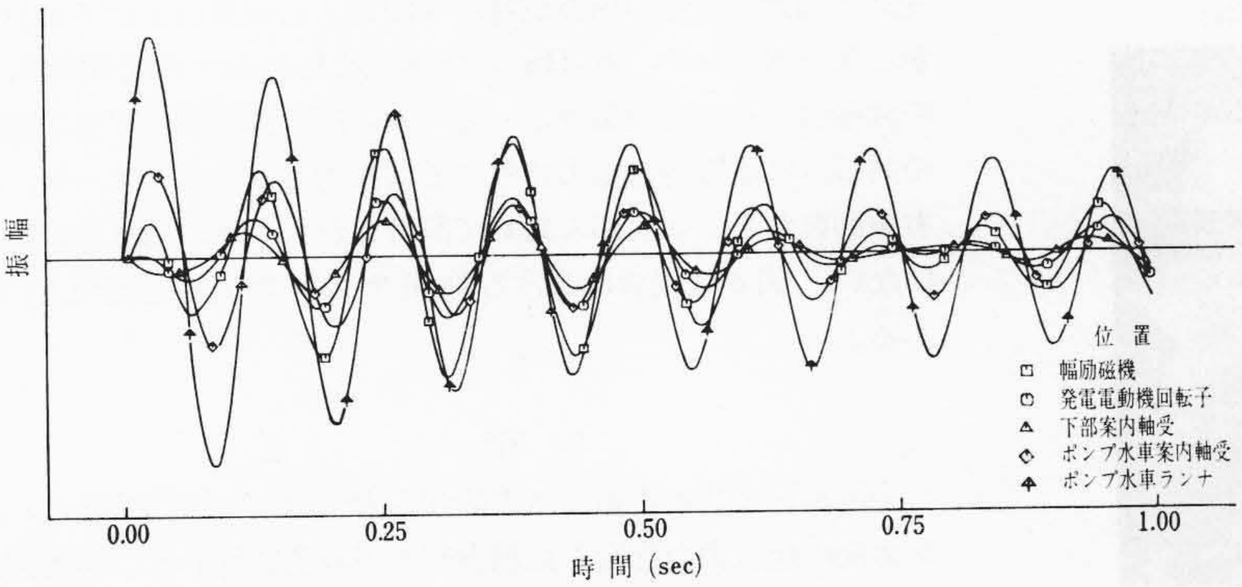

図2　軸系各部の減衰特性

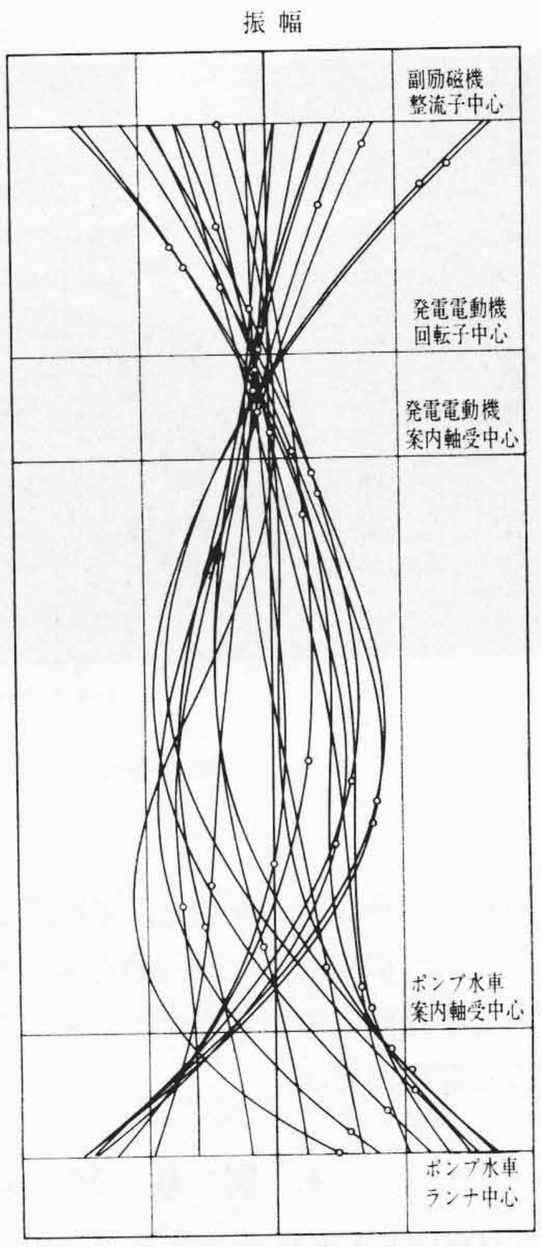

図3　加振モーメントによる振動形態

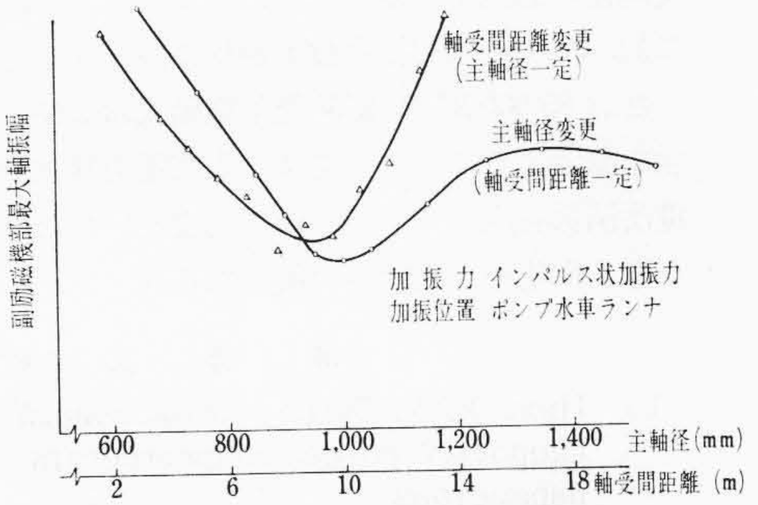

図4　主軸径および軸受間距離と軸振動の関係

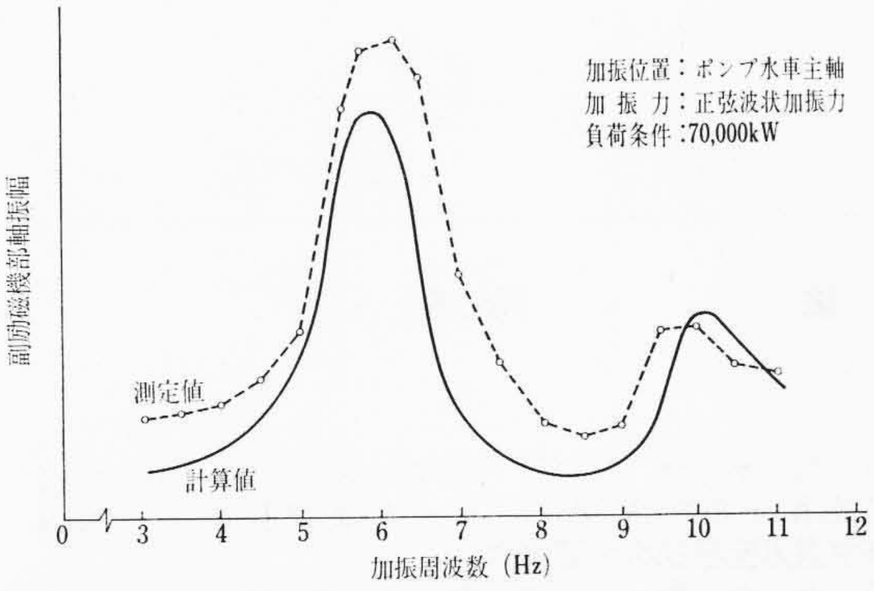

図5　85,000 kVA/kW 発電電動機およびポンプ水車軸の周波数特性

ここに，　p：　起振力各成分の大きさ　(kg)
　　α：　起振力各成分の減衰　(1/s)
　　Ω：　起振力各成分の角速度　(rad/s)
　　φ：　起振力各成分の初位相角　(rad)

(28)式のフーリエ変換は，

$$\dot{P}_{(j\omega)}=\sum_i \frac{p_i}{(\alpha_i+j\omega)^2+\Omega_i{}^2}\cdot\{\Omega_i\cos\varphi_i+(\alpha_i+j\omega)\cdot\sin\varphi_i\} \quad \cdots\cdots(29)$$

水車ランナ部に単位正弦波状加振力を想定したときの軸振動 $y_{(x)}$ すなわち軸の周波数特性 $G_{(j\omega)}$ と起振力 $P_{(j\omega)}$ を実部と虚部に分けて表わすと，

$$\dot{G}_{(j\omega)}=R_{g(\omega)}+jX_{g(\omega)} \quad \cdots\cdots(30)$$

$$\dot{P}_{(j\omega)}=\sum_i[R_{p(\omega)i}+jX_{p(\omega)i}] \quad \cdots\cdots(31)$$

$$\therefore\quad \dot{P}_{(p\omega)}\cdot\dot{G}_{(j\omega)}=\sum_i[\{R_{g(\omega)}\cdot R_{p(\omega)i}-X_{g(\omega)}\cdot X_{p(\omega)i}\}+j\{R_{g(\omega)}\cdot X_{p(\omega)i}+R_{p(\omega)i}\cdot X_{g(\omega)}\}] \quad \cdots\cdots(32)$$

ここで $X_{g(\omega)}$ は案内軸受および推力軸受の油膜ダンピング定数と振動速度 $\omega\dot{y}$ の積で表わされる軸受反力の一成分によるものであり，そのほかの ω に関する項は ω^2 に比例する慣性力があるから $R_{g(\omega)}$ は ω の偶関数であり，$X_{g(\omega)}$ は ω の奇関数である。また(29)式より $R_{p(\omega)}$ は ω の偶関数，$X_{p(\omega)}$ は ω の奇関数である。この関係より(28)式で表わされる起振力 $P_{(t)}$ による過渡振動は次式で表わされる。

$$Y_{(x,t)}=\frac{2}{\pi}\int_0^\infty\sum_i\{R_{g(\omega)}\cdot R_{p(\omega)i}-X_{g(\omega)}\cdot X_{p(\omega)i}\}\cdot\cos\omega t\cdot d\omega \quad \cdots\cdots(33)$$

水力的起振力としてランナ部に作用する曲げモーメントを考えるときは，周波数特性 $G_{(j\omega)}$ はランナ部に正弦波状単位加振モーメントを想定して求め，それに(28)式のように表わされる不規則加振モーメントを乗ずればよい。

また水力的起振力の波形に無関係に軸系の固有の振動特性を検討する場合は，ランナ部に単位インパルス状加振力または単位インパルス状加振モーメントを想定して軸各部の振動を求め，それに水車の起振力を考慮して振動特性を吟味する場合がある。この場合は単位インパルスのフーリエ変換は1であるから(33)式は次のようになる。

$$Y_{(x,t)}=\frac{2}{\pi}\int_0^\infty R_{g(\omega)}\cdot\cos\omega t\cdot d\omega \quad \cdots\cdots(34)$$

なお(34)式の ω に関する積分上限は発電機および水車軸の場合，軸系の三次または四次固有振動数以上にとればじゅうぶんである。

3. 計　算　結　果

図2は85,000 kVA/kW 発電電動機およびポンプ水車のランナ部に単位インパルス状加振力を加えたときの軸各部振動の減衰特性を示したものである。この場合の共振倍率 Q は約10であり，これはレイノルズ方程式から求められる案内軸受および推力軸受の油膜粘性減衰によるものである。図3は同じくランナ部に単位インパルス状加振モーメントを加えたときの振動形態を示し，各曲線は加振後0.005（秒）ごとの振動形の変化を示している。図4は水車ランナ部

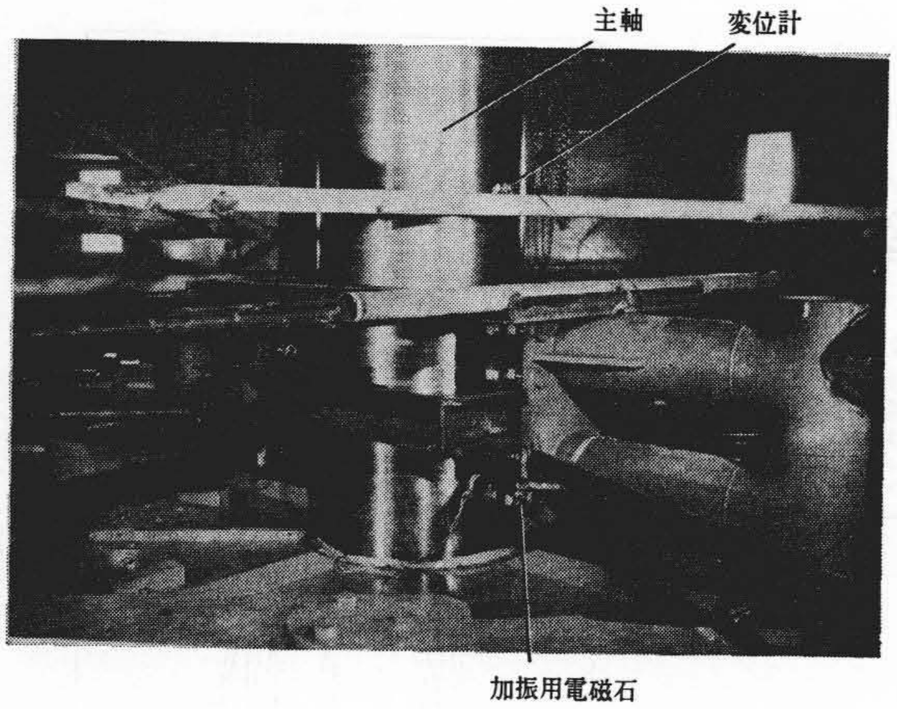

図6　主軸加振テスト状況

に単位インパルス状加振力を加え，主軸径および両軸受間距離をパラメータとして励磁機部分の軸振動を傘形機に対して計算した例である。このような傾向のある場合は主軸および両軸受の剛性配分を適切にする必要がある。

4. 実験結果

図5は85,000 kVA/kW発電電動機およびポンプ水車の主軸を現地でポンプ水車上部を可変周波数の電磁石で加振し，加振周波数を変えて副励磁機部の周波数特性を測定した結果およびその計算値を示したものである。6 (Hz) の共振点は軸系の一次固有振動，10 Hzの共振は二次固有振動を示している。三次固有振動である励磁機軸の共振点は水力的起振力に対する共振をさけるために一次，二次固有振動数からじゅうぶん離して設計されており，図5には表われていない。図6は現地における加振テストの模様を示したものである。

5. 結　　言

発電機および水車軸の水力的起振力に対する振動特性は，水車ランナ部に起振力を想定した軸各部の周波数特性および過渡振動特性から検討することができる。不つりあい振動とともに水力的起振力に対しても振動上安定な軸を設計するには励磁機軸と主軸および軸受剛性の協調が重要であり，したがって一次固有振動数だけでなく二次，三次の固有振動数も適切に設定する必要がある。

なお85,000 kVA/kW発電電動機およびポンプ水車軸の周波数特性を測定するに当たっては，東京電力株式会社および同社矢木沢発電所関係各位の一方ならぬご支援をいただいた。これに対し，心から厚く御礼申し上げる次第である。

参　考　文　献

(1) Инж. А. У. Бугов: Уточненный расчет нритических сноростей ротора гидроагрегата по методу начальных параметров
: Энергомашностроение

Vol. 52　日立評論　No. 6

目　次

■論　文
・H7830 プロセスディスプレイ
・中国電力株式会社新成羽川発電所納 発電機および発電電動機のカロリー法による現地効率試験
・構造体表面からのガンマ線の散乱
・制御用計算機による全ディジタル式自動負荷調整システム
・最近の大容量陸揚設備
・C-1 台車の高速走行性の検討
・HITAC9000 シリーズ
・受像管部品表面付着ハロゲンイオンおよび管内残留ガスの定量
・中大形旋回翼付きバーナの改良
・架空配電用6kV級ケーブルおよび付属品の検討
■集中遠方監視制御装置特集
・最近の集中遠方監視制御装置
・集中制御計算機システム
・自動給電システム用サイクリック・ディジタル情報伝送装置
・電鉄用変電所の計算機集中制御
・高速道路電気設備の集中制御
・最近の水道集中制御

発行所　日立評論社　東京都千代田区丸の内一丁目5番1号　郵便番号 100
取次店　株式会社オーム社書店　東京都千代田区神田錦町3丁目1番地　郵便番号 101　振替口座 東京 20018 番