

長波の研究用造波装置とその特性について (3)

東北大学工学部 教授 岩崎敏夫

。大学院 学生 楊 澤民

1. まえかき:

長波の研究用として、東北大学水理実験室に設けられた、自動制御造波装置の特性は、前報においてすでにその総合伝達関数を提示した。本報告の目的は、該造波装置の制御核心である、ロートバルブの作動特性について、さらに検討を進めることにより、全装置の特性を一層的確に把握するものである。

2. ロートバルブ作動特性の全装置に対する意義:

上述の造波装置は、帰還水路における、500 mmφ および 350 mmφ ロートバルブの開度調節より、造波水槽で所望の波形を再生させる仕組となっている。従い、ロートバルブの開度に関する作動特性は、装置の制御部分における、唯一の遂行機構特性として、その占める重要性は明らかとなる。過去の解析では、その伝達関数を比例動作要素と見なして、装置の他の部分、すなわち、水理関係部分の特性解析を先行した。比例動作要素と見なした場合の確定性は、周波数の低い領域ではほぼ一致するが、ある限界を越えたそれ以上の高い周波数領域では、比例動作とかなり逸脱している。問題は、必要とする周波数領域か、果して比例動作特性の確定視せられる領域内に完全に属するか、または比例動作より逸脱した部分にまで及んでいるかにより、解析の結果が異なってくると思う。もし造波の目的が、一般性を与えた合成波を再生させるのであれば、周知のごとく、いかなる高い周波数の調和成分をも含む可能性が存在する故、この際の解析はさらに困難になることを予想される。本解析では、装置の実験可能範囲内の周波数領域、および津波模型実験で用いられる周波数領域の両者について検討し、主に、周波数領域 0.4 % (すなわち、角周波数 2.512 rad/sec , または、周期 2.5 sec) 以下の特性を調べることとした。

3. ロートバルブの作動機構および伝達関数:

ロートバルブの作動機構は、要約して次の構成をなす。

(1) 油圧ポンプ。 (2) 噴射管。 (3) 補助ピストン。 (4) 作動シリリンダー。 (5) クランク連接棒。 (6) ロートバルブ。 (7) 復原装置。 等々、その他に輸油銅管、歯車、ネジ、バネ等あり、その機能について、以下順を追って概説する: まず、油圧ポンプの作動により、動力源として、油圧による圧力強度 5.5 kg/cm^2 をうる。そして電子式指示調節計より、入力の電流に変化をきたした際、フォースコイル (Force-coil) の電磁場にも変化をきたし、噴射管の平衡位置よりの偏差を導き、その水が補助ピストンを運動し、作動シリリンダーに圧力が加わる。この圧力により、クランク連接棒を動かす、ロートバルブが回転して開度が調節される。さらに、ロートバルブの回転より、歯車、傘歯車、スプロケットホイール、ネジ、バネ等をえて、噴射管の位置が回転角と比例して復原する、いわゆる復原装置なるものが働く。

以上の一連の作動をブロック線図で表わすと、図-1 のようになる。ここで:

I : 入力のカ。

x_j : 噴射管の偏差。

y : 補助ピストン変位。

p_R : 作動シリンダの圧力。

Q_R : ロートバルブ開度。

m : 復元装置の弾性係数。

k_s : 復元装置のバネ係数。

$R_1(S)$: 噴射管部の伝達関数。

$R_2(S)$: 補助ピストンの伝達関数。

$R_3(S)$: 作動シリンダの伝達関数。

$R_4(S)$: ロートバルブの伝達関数。等を表わしている。また $R_1(S)$ より $R_4(S)$ の伝達関数を解析した結果、次の諸数式をうる:

$$R_1(S) = \frac{1}{m_1 S^2 + D_1 S + (k_s + k_i)} \quad [1]$$

$$R_2(S) = \frac{A_2 K_{p2}}{m_2 S^2 + (D_2 - A_2^2 K_{a2}) S + k_2} \quad [2]$$

$$R_3(S) = \frac{K_{p3} K_{a3} A_3^2 S}{m_3 S^2 + (D_3 - A_3^2 K_{a3}) S + k_3} + K_{p3} \quad [3]$$

$$R_4(S) = \frac{k_4}{J_R S^2 + D_4 S} \quad [4]$$

式中、 m_i は $R_i(S)$ の示す機構の可動部分質量、 D_i はその粘性度または摩擦係数、 k_i はバネ負荷（ただし、 k_s は復元装置のバネ係数、 k_i は入力部のバネ係数を表わす）、 A_i は各ピストン断面積、 K_{pi} と K_{ai} は各ピストンの増倍係数と内部抵抗、 J_R はロートバルブの慣性モーメント、 k は定数を示すものである。

以上の諸数式を、図-1 のブロック線図に代入整理すれば、入力よりロートバルブの開度までの間にわたる総合伝達関数 $R(S)$ がわかる。もしロートバルブの慣性モーメント J_R および摩擦係数 D_4 を本解析中の卓越要素と見なし、他の伝達関数を近似的に比例要素とすれば、総合伝達関数 $R(S)$ は次の2次遅れの形をとる:

$$R(S) = \frac{A_2 K_{p2} K_{p3}}{(k_3 + k_2) k_2 (J_R S^2 + D_4 S) + A_2 K_{p2} K_{p3} m} \quad [5]$$

もしロートバルブの慣性モーメント J_R を無視すれば、次の1次遅れの形をとる:

$$R(S) = \frac{A_2 K_{p2} K_{p3}}{(k_3 + k_2) k_2 D_4 S + A_2 K_{p2} K_{p3} m} \quad [6]$$

さらに、ロートバルブの摩擦係数 D_4 を無視すれば、比例要素の伝達関数に帰着する。

4. 実験とその検討:

第3節より、ロートバルブの開度の特性を示す伝達関数 $R(S)$ は、近似的とり方により、それと

比例要素，1次遅延要素，または2次遅延要素の形になることがわかった。実際において，我々の関心をもつ周波数領域内で，いかなる伝達関数 $R(S)$ の形をとるかの問題を決定するには，前述の周波数領域内で，周波数応答実験によってボード線図を描き，そのゲイン曲線および位相曲線の形に従って，客観的に定めるのが妥当と思う。故に， $R(S)$ の周波数応答実験を行ない，その関数の形を決めると同時に，必要な係数値を定めることにした。以下この周波数応答実験について要旨を述べる：

まず，電子式指示調節計に内蔵しているPID動作において，積分時間を最大値，微分時間を最小値において，比例動作のみの駆働させるよう設定する。次に入力为正弦波の形で変化させるために，帰還水位の指針を今しばらくゼロに固定させ，カムを設定し，回転させることにより，プログラムの指針を帰還水位の指針に沿って正弦波状に往復させ，その記録をオシログラフでとる。同時に，出力としてのロートバルブ開度 O_R を記録するために，復原装置のスプロケットホイール軸に，可変抵抗器をとりつけ，ブリッジボックスを用いて，出力 O_R の波形をオシログラフに記録した。使用プログラムのカムは，その1回転周波数として，5波，7波，8波，9波，10波，11波，12波の7種類あり，回転時間は，2分，1分，0.5分と3つにわけ実験を行なった。また，出力波形の波高は，比例動作の適度調節することにより，変更しうるもので， $0^\circ \sim 90^\circ$ の間を正弦波状に変化させた外に， $50^\circ \sim 90^\circ$ 間における正弦波状の実験も行なった。后者の場合，特に，伝達関数が2次遅延の形をとる際，共振周波数附近の領域において，ゲインの値が隆起する傾向をもつので，前者と比してより正確な曲線もうると思われる。さらに后者の場合において，600 mm ϕ 横軸流ポンプを作動させ，ロートバルブに水を流した際，どの程度の影響をロートバルブの特性に与えるかについて考察した。

以上の経路に従ってえた実験結果のボード線図を，それぞれ 350 mm ϕ および 500 mm ϕ ロートバルブにわけて，図-2 および図-3 で示した。この水等ボード線図によると，500 mm ϕ ロートバルブについては，我々の実験した周波数領域において，位相遅れが周波数 0.4 /s のところまで，すでに約 140° の遅れをとっているし，またゲイン曲線も，2次遅延要素の特徴として，共振周波数部分において隆起の徴候があるので，その伝達関数は近似的に，2次遅延要素であると判断した。その意味するところは，第3節で述べた通り，500 mm ϕ ロートバルブの慣性係数 J_R および摩擦係数 D_R を，数値的に無視しえない大きさに存在していることを示している。350 mm ϕ ロートバルブでは，位相遅れが前者と比して小さい値となっているが，その傾向は，さらに高い周波数領域まで実験を進めれば，2次遅延要素の振相を呈するものと思われるし，ゲイン曲線に，共振周波数部の顕著な隆起現象があるので，これもまた2次遅延要素であると見なした。従って，その慣性係数および摩擦係数 J_R ， D_R も無視しえないことになる。下に，実験データより割り出した，各ロートバルブの伝達関数式を示す。そのボード曲線図を，参照のために，図-2 および図-3 にのせた。

$$R(S)_{350\phi} = \frac{7.94}{0.51S^2 + 0.74S + 1} \quad [7]$$

$$R(S)_{500\phi} = \frac{7.94}{0.61S^2 + 0.45S + 1} \quad [8]$$

600 mm ϕ 横軸流ポンプを作動させ，ロートバルブに水を流した場合のボード線図も，図-2 およ

び図-3に示

しているが、

その一般

的傾向は、

大体水を流

してない

場合と一致

する。しか

し、350^{mmφ}

ロートバル

ブのゲイン

値は、若干

異なつた傾

向を示して

いる。今

後はさらに

実験を重ね

て、その真

相を究明し

たい。

5. 全周波

第2節

で指摘した

ように、(7)

と(8)両式は

、全周波数

領域に於け

るロートバ

ルブ特性を

示すもので

なく、ある

限られた周波数領域内の近似的関係式を表現したにすぎない。

さらに高い周波数領域の特性を調べる

には、その領域の周波数応答実験を行なうと共に、それに対応の定性解析により適切な結果がえられ

ると思う。なお、本報告は、昭和44年度文部省一般研究(A)「自動制御系による津波の湾内変形に関

する研究」の援助により行なつたものである。本年度学部卒業生、新井信一君の熱心かつ貴重な御協力

を合せて、ここに附記し、謝意を表した。

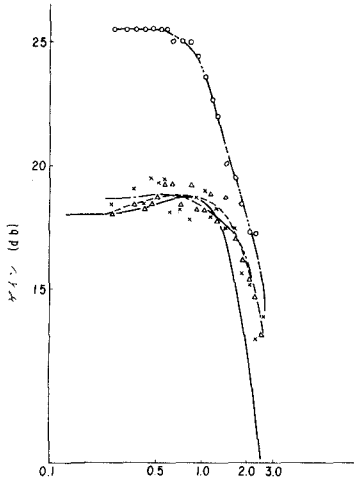


図 2 500 mm φ ロートバルブボード線図

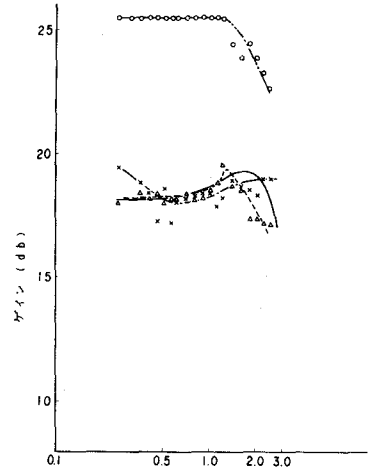


図 3 350 mm φ ロートバルブボード線図

