

長波の研究用造波装置の特性

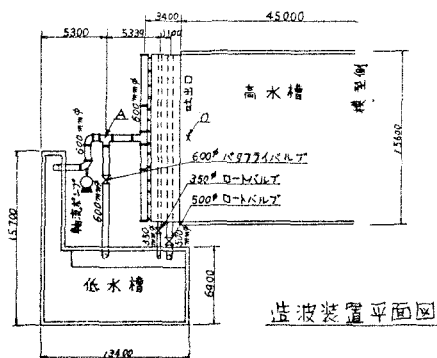
東北大学工学部 正員 岩崎 敏夫
東北大学大学院 学生員 岸立 有平

1. まえがき

東北大学海岸水理研究室では、長年の研究用造波装置を用いて津波に関する実験的研究を行なってきた。しかし、造波装置の特性については昭和41・42年に研究されただけで、その後装置が改修されてからは検討されていない。しかるに実験装置により、実際の津波(不規則波)を再現せしめんとすれば、装置の入出力特性を解明しなくてはならない。そこで、この造波装置の総合特性に関する研究を行なったのでここに報告する。

2. 抢救装置与抢救方法

図-1に造波装置の平面図を示す。潮流ポンプ(35kW)によって低水槽(水面積 98m^2 ・深さ 4.5m)から圧力鉄管を通じて高水槽(水面積 675m^2 ・深さ 0.9m)へ一定流量を送り込んでいる。分岐点Aから低水槽へ短絡管があり、そこに取り付けられたよう弁により、高水槽に送りこめる流量を調節できるようになっているが、実験を行なう際は一定開度で設定している。高水槽から低水槽へ2本の鉄管(500mm中、350mm中)で水を落しており、各々に取り付けたロートバルブによって、落水量を調節し、高水槽に波を発生させるしくみになっている。ロートバルブは油圧により作動する。つまり、波を制御するには、ロートバルブを開度を制御すればよい訳で図-2にその制御機構を簡単に示す。ここで、フィードバック制御を行なっているのは、高水槽模型側での反射波の影響を消すために、電子式指示調節計によって入力波形と出力波形(0点)との偏差量をゼロにするような電流信号がロートバルブに取り付けられたフォースコイルに送られる。フォースコイルの変位がバルブの開度を決定する。



7 - 1

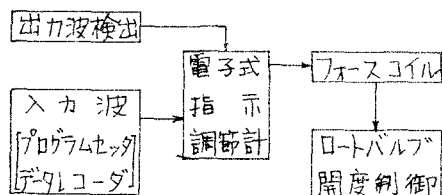
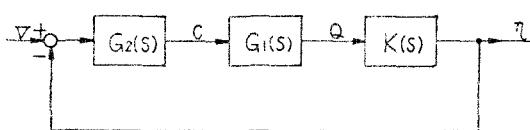


图-2

ブロック線図



3. 造波装置の伝達関数

(1) ブラック線図 この制御系をブロック線図で表わせば、図-3 のようになる。ここに、 V は設定水位、 Y は出力水位、 C はロートにループ流量係数変化量、 Q は吐出量で、各々うプラス変換した量である。

(4) 伝達関数 $G(s)$ 図-1における各圧力継管での定常および非定常時の運動方程式ならびに連続方程式より得られる関係式をラプラス変換し、 $G(s) = Q(s)/C(s)$ で表わされる関数 $G(s)$ を求めると次式のごとき5次遅れの関数が得られる。

 $G_1(s)$: 水理系造波伝達関数

G₂(S) : 電氣油壓式伝達関数

$K(s)$: 流量水位伝達関数

图 - 3

$$G_1(s) = \frac{21.3629 \cdot s(s+2.37327)(s+27.45972)(s+38.89941)}{(s+0.0124)(s+256714)(s+22.04727)(s+23.05365)(s+43.44671)}$$

(3)伝達関数 $G_2(s)$ ここでは簡単のため水位偏差とロートバルブの流量係数変化量とは直線関係であると仮定して伝達関数 $G_2(s) = C(s)/\{V(s)-\eta(s)\} = -0.0912$ が得られた。

(4)伝達関数 $K(s)$ 長波の運動方程式および連続方程式から、 $\partial^2 \xi / \partial t^2 = c^2 \partial^2 \xi / \partial x^2$ なる方程式が得られる。ただし、 c は波速、 x は吐出口を原点として長手方向にとり、 ξ は x 方向への単位時間あたりの水平移動距離を表わす。この方程式をストークスの方法により解き、 $\eta = -h \partial \xi / \partial x$ (h は水深)より η を求め、さらにラプラス変換することにより伝達関数 $K(s) = \eta(s)/Q(s)$ を求めれば、次式のとく得られる。

$$K(s) = 2.9304 \times 10^{-3} \times \sum (-1)^m \frac{1.26767 \times m^2 s}{s^2 + 1.26767 \times 10^{-3} \times m^2}$$

4. 特性曲線 — ボード線図

系全体の伝達関数 $G(s)$ は、

$$G(s) = \frac{G_1(s) \cdot G_2(s) \cdot K(s)}{1 + G_1(s) \cdot G_2(s) \cdot K(s)}$$

となるから、これからボード線図を描けば図-4のようになる。なお、図-4は $K(s)$ の式中の m の値を4としているためゲイン曲線では4つの不連続点が見られる。この点がいわゆる共振周期を示す点である。高水槽へ実際の共振周期は34秒程度とされているので、図-4で最も高周波側の共振周期は約40秒で多少大きくなっている。位相曲線は周波数0.15~0.60 rad/SECではほとんど 90° の位相遅れとなっており、次に述べる実験結果と近い値を与えている。

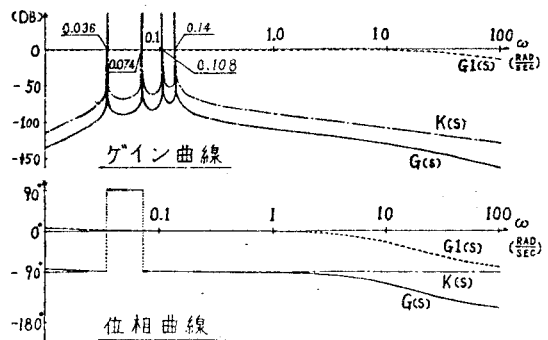
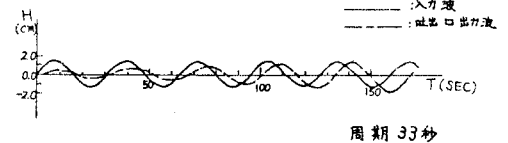


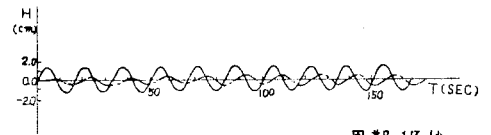
図-4

5. 実験結果および考察

実験は周期11, 17, 22, 33, 49秒の正弦波5ケースについて行なった。いずれも連続10波を入力しており、図-5は周期17, 33秒の結果である。ただし、設定波はデータレコーダにより入力、出力波の測定は図-1の0点で容量式振高計を用いて行なった。位相遅れは周期49秒の波以外はすべて 90° 付近であり、これは計算結果とほぼ一致している。しかし、周期49秒の波の場合は水槽の固有周期に近い波が発生する現象が起きた。波高比(ゲイン)は時間とともに増大していく様子が



周期 33秒



周期 17秒

図-5

見られた。これは今後、不規則波を高水槽に出力させる際に大きく影響してくる問題点である。なぜなら、実際の津波では1~3波あたりの波高が最も重要とされているからである。したがって、今後は、電子式指示振高計のPID動作(現在はP動作のみ使用)による最適制御についての検討、さらにフィードバックされる波の検出方法についての再検討を行おうと考えている。最後に、計算および実験するにあたり、多大な協力を頂いた佐藤孝司氏、中沢英明君、三浦磨君に感謝の意を表するものである。

- 参考文献: (1) 岩崎敬夫 楊米良: “長波の研究用定波装置とその特性について (1), (2)” 土木学会 第13回海津講演集
(2) Lamb: “Hydrodynamics”, 6th ed. 1932 Cambridge University p. 255
(3) 秋田男他: “自動制御演習”, 1972, 新北出版 pp. 1-79