長波の研究用造波装置とその特性について

東北大学工学部　岩 崎 敏 夫
東北大学大学院　○楊　沢 民

§1．まえがき；

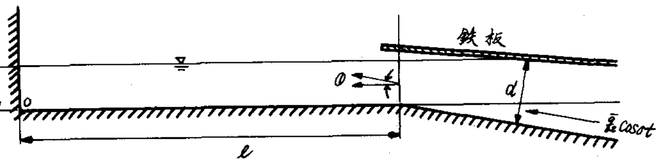
長波の模型実験において，造波部分に達する反射波の擾乱を消去するための自動制御装置とその特性について，昨年十二月仙台で開催された，第十三回海岸工学講演會で，その第一報を發表したが，今回は，津波水槽流入端における流入量"q_2"と，その点における水位変化量"η"との関係を示す伝達関数"K(S)"に関する実験と，前回えられた理論との対比について，現段階までの研究経過を報告する。

§2．流量～水位伝達関数"K(S)"；

図－1のように，巾 b，長さ ℓ，初期水深 h の津波水槽の一端Aより，$q_2 = \bar{q}_2 \cos\sigma t$ なる流量が出，入する場合，点Aにおいて，その水平速度を表わすものとして，

$$U_H = \frac{q_2}{bd}\cos\theta = \frac{\bar{q}_2}{bd}\cos\theta\cdot\cos\sigma t = a\cos\sigma t$$

図－1　水槽流入端と津波水槽



なる式を与え，点Oにおいて，全反射するとし，摩擦を無視した，水路巾一定の長波の運動方程式を用い，Stockesの方法によってとけば，点Aにおける水面変化量"η"について次の式をうる。（第十三回海岸工学講演會講演集 P 233 参照）

$$\eta = \sum A_m\left(\frac{dq_2'}{dt} - \frac{dq_2}{dt}\right) \tag{1}$$

ここに，

$$A_m = (-1)^m \frac{2h\cos\theta}{\ell b d}\,\frac{(\sigma/\sigma_r)^2}{1-(\sigma/\sigma_r)^2} \qquad (m = 1, 2, 3, \cdots) \tag{2}$$

$$q_2' = \bar{q}_2\cos\sigma t \tag{3}$$

$$\sigma = \frac{cm\pi}{\ell} \qquad c = \sqrt{gh} \tag{4}$$

これをラプラス変換すると，流量～水位伝達関数"K(S)"は次の式で表わされる。

$$K(S) = \frac{H}{Q} = \frac{2h\cos\theta}{\ell b d}\sum(-1)^m\frac{S\sigma^2}{S^2+\sigma_r^2} \tag{5}$$

ただし，H，Q_2，Sは，それぞれ η，q_2，のラプラス変換および[illegible]である。 本論文においては"q_2"および"η"の測定を行ない，式(5)における共振波の基本波，$m=1$ の場合の数値計算値と

比較した。

§3. 基本波のボード線図；

$l=20^m$，$b=5^m$，$d=0.5^m$，$h=0.3^m$，$\theta=16.4°$ とおくと，$\cos\theta=\cos16.4°\fallingdotseq 0.96$，さらに，(4)式より，$C=\sqrt{gh}=\sqrt{9.8\times0.3}\fallingdotseq 1.71\ m/sec$ となるので，ここで $m=1$ に対して．

$$\sigma=\frac{Cm\pi}{l}=\frac{1.71\times3.14}{20}=0.27\ \frac{rad}{sec} \qquad (6)$$

$$K(S)=\frac{2h\cos\theta}{lbd}\sum(-1)^m\frac{S\sigma^2}{S^2+\sigma^2}$$

$$=\frac{-2\times0.3\times0.96}{20\times5\times0.5}\cdot\frac{0.27^2S}{S^2+0.27^2}=-8.4\times10^{-4}\frac{S}{S^2+0.073} \qquad (7)$$

となる。(前報における(45)の数値をここで訂正する。)

さて，自動制御理論によると，入，出力信号の関係は，実験的に，インディシャル応答と，周波数応答によって，その特性が解析されるのが常で，とくに，本制御装置においては，后者の周波数応答，すなわち周波数領域における，正弦波入力に対する応答が，解析上必要かつ十分条件となるので，式(7)にもとづいて，周波数応答のボード線図をえがきだし，后節でのべる実験値との比較検討を行なう資料とした。

ここで，式(7)の"S"を"jω"におきかえれば，次のような式で示される。

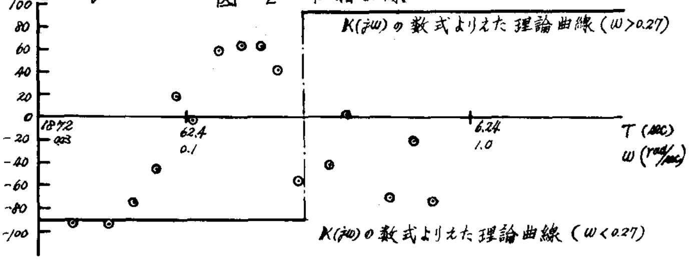
$$K(j\omega)=-8.4\times10^{-4}\frac{j\omega}{0.073-\omega^2} \qquad (8)$$

$$\therefore\ 20\log|K|\fallingdotseq 61.52+20\log|\omega|-20\log|0.073-\omega^2| \qquad (9)$$

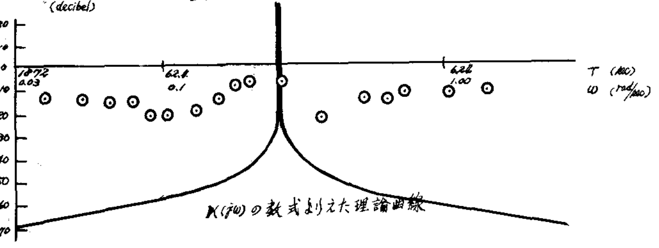
$$\angle K\doteq -90° \quad \omega<0.27 \qquad (10)$$
$$+90° \quad \omega>0.27$$

式(9)より，周波数応答の"ゲイン曲線"をえがくことができる。その右辺第一項は卓越項であり，全曲線の数値に大きく影響する。また，第三項より，$\omega=0.27$ において，共振部分が存在する。式(10)は"位相曲線"が常に位相差"±90°"の値になっていることを示す。

図－2 位相曲線



図－3 ゲイン曲線



以上の解析から，明らかなように，基本波のみを考えるのでなく，若干の高調波もふくめて，計算すれば，ゲイン曲線において，さらに多くの，特定の周波数($\omega=0.27\ \frac{rad}{sec}$ の整数倍をさす。)の位置に，共振部分が存在する。ただし，位相曲線は，常に"±90°"の角度に保っていることが容易に理解しうる。

図－２および図－３に，それぞれ $m=1$ の時の"位相曲線"と"ゲイン曲線"の計算曲線を実線で示した。

§4．実験

前報においてのべた，長波の研究用造波装置を用い，津波水槽における水位のフィードバックを，今しばらく行なわないで，津波水槽に正弦波をおこさせるために，ロートバルブの開度を50°～90°の間において，プログラムのカムの正弦波にそって変化させた。前報の図－10からわかるように，この開度間における流量係数と開度の関係を表わす $C\sim\theta$ 曲線は，直線で表わされるので，流量係数"C"も正弦波で変化をさせていると考えてよい。また前報の§8で解析した，水理系伝達関数"G_1"は，流量係数"C"を入力，津波水槽への流量"q_2"を出力としている。今の場合，入力を正弦波に動かしているので，その出力は周波数応答に該当し，前報の図－13および図－14の位相曲線とゲイン曲線の関係から，出力"q_2"の位相と振巾が，数値計算で求めうる。このようにして，周期または周波数を色々かえて，そのたびの"q_2"の位相と振巾を，プログラムの変化の記録，すなわち流量係数"C"の変化の記録より，$G_1(j\omega)$ を通じて算出し，$K(j\omega)$ の周波数応答を調べる実験の際の入力の位相および振巾とみなした。

一方，図－１の津波水槽入口の測点Ａにおいて，ストレンゲージを貼布した圧力計によって，水位変化量"η"を同時に記録することにより，その振巾，位相を調べ，本実験における出力の位相および振巾とした。

以上の実験方法を用いれば，出，入力の位相差，および振巾比が最終的に求めうるので，各周期ごと，または各周波数ごとの位相差と振巾比の実験値がえられる。ここで，前者は $K(j\omega)$ の位相曲線に対比し，また振巾比をデシイベル単位に換算したものを，ゲイン曲線に対比したら，理論的数値計算による位相曲線とゲイン曲線を，それぞれの実験値と比較することができる。

本実験で用いた正弦波の周期は；

$0.5/7$ min，$1/7$ min，$2/7$ min，$4/7$ min，$8/7$ min，
$0.5/5$ min，$1/5$ min，$2/5$ min，$4/5$ min，$8/5$ min，
$0.5/3$ min，$1/3$ min，$2/3$ min，$4/3$ min，$8/3$ min．
1 min，2 min，4 min，0.5 min，

の合計19種類に達している。

図－４，図－５，図－６は，高水槽入口の水位変化量"η"とその定常水位，およびプログラム波形に関する記録の一部である。

図－4

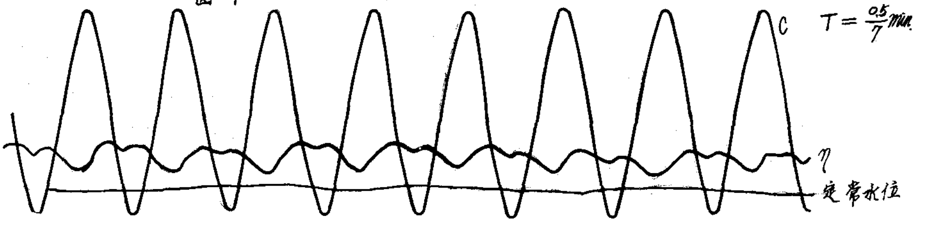


図-5

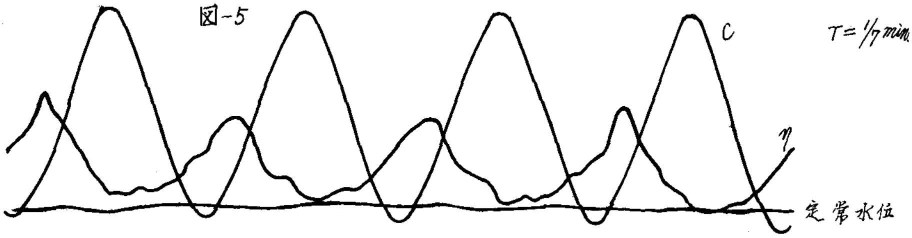
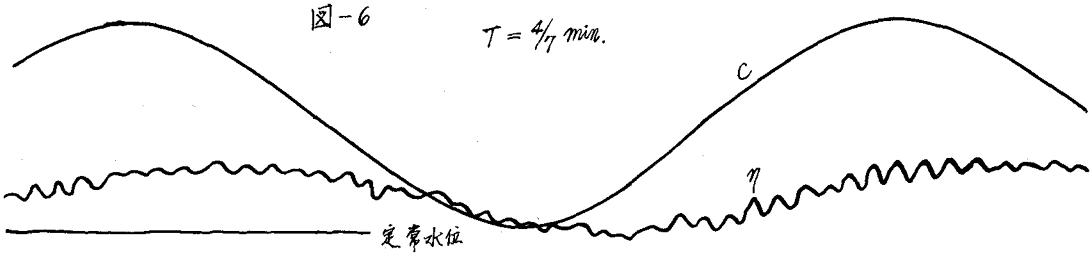


図-6



諸図中の定常水位は，ロートバルブの開度を70°に固定し，ポンプを運転して定常状態に落ちついた后，記録をとったものである。実験のおりには，この后で，前にのべた操作，すなわちロートバルブの開度を50°～90°間で正弦波形に変化させるのであるが，考察よりこの定常水位は，水位変化量"η"の波形の中心線と一致しない。

その意味するところは，津波水槽への流入量と流出量が均一でないことを示している。水理系造波装置における津波水槽と600mmφ鉄管を連結する部分として，100mmφ鉄管10本が配置されている。これ等鉄管の有効流量断面が縮小することにより，津波水槽から流出するおりは，流入するときよりも，はるかに大きい抵抗を受けることが推定されるので，運転中の平均水位が，定常水位より高くなることも予期しうる。 しかし，前報の解析においては，この流出，入に受ける抵抗の大きさを同一視して，問題の単純化をはかった。今后さらに研究をすすめるおりには，その差異による影響を考慮して解析すべきである。 本実験のデーター整理の上では，みかけ上の"η"波形より，その位相と振巾を求め，前述の方法にもとづいて，各周期ごとの実験値をえた。これ等の実験値を図－２，図－３に白丸で示した。 計算値と比較すれば，すこぶる大きい誤差の存在が認められる。此等詳しい原因はなほ検討中であるが，その原因の一つとして，実験値に高調波の成分が入っていることが考えられるので，基本波のみで解析することは，無理があるかと思われる。

§5. むすび；

水理系伝達関数 $G_1(S)$，および流量～水位伝達関数 $K(S)$ の解析を完成すれば，制御要素に当る $G_2(S)$ とあわせて，本装置の綜合伝達関数がえられるわけであるが，今のところ $K(S)$ の解析における，ボード線図の理論と実験値に大きな開きがあることは，§4においてのべた通りである。この点についてさらに検討を加え，次の機會に發表したい。 最后に本研究は昭和41年度文部省科学試験研究"津波の湾内変形に関する研究"の助成をえて行なわれた。ここに記して謝意を表したい。