

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 教授 岩崎敏夫

……大学院 学生 楊 澤氏

柴田範和

§. 1. まえがき:

東北大学土木工学科水理研究室における、長波の研究用造波装置に関する、特性解析の一部として、昭和41年度、土木学会東北支部技術研究発表会で第一報を報告したが、今回は、それ以後の研究経過を第二報としてまとめた。

前報は主に、津波水槽流入端の流入量 Q_2 と、その奥における水位変化量 η との関係を表わす伝達関数 $K(s)$ の減衰項無視の際の解析を行なった。その結果、数値計算による理論値と実験値の差異

が著しい。また基本波のみでなく、高調波成分の影響を計入しても、良好な結論をうることができなかった。そこで、次に減衰項を考慮して解析を試みた。その詳しい報告は、昭和42年10月、横浜で開催された、第十四回海岸工学講演会において、一文を提出したので参照されたい。ここでは、単に、図1および図2より、減衰項無視($m=4$)の場合と、減衰項考慮($m=1, 4$)の際のゲイン曲線および位相曲線を示し、さらに、自

図-1 $K(s)$ のゲイン曲線

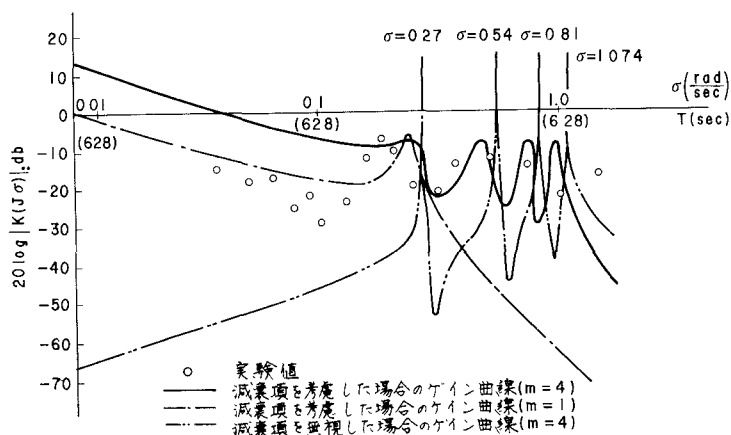
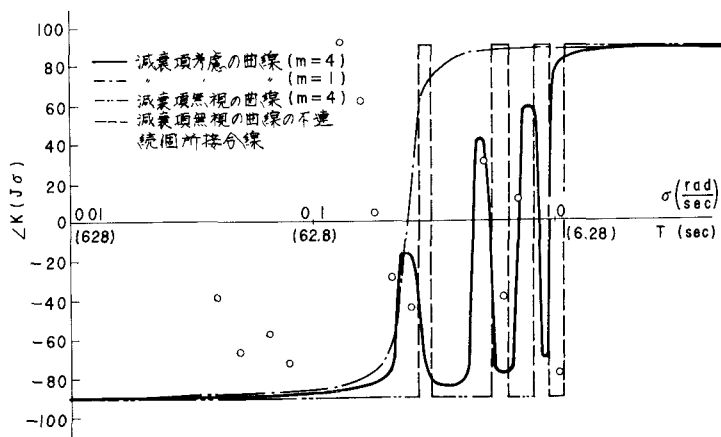


図-2 $K(s)$ の位相曲線



れで実験値を附加した。以上を考察すれば、明らかに、減衰項を考慮して解析した方が実験値とよくあい、" $\delta_2 \sim \eta$ " 関係とよりよく把握しているといえる。故に、伝達関数 " $K(S)$ " の数式は、減衰項考慮の次式で表わした；

$$K(S) = B \sum_{m=1}^{\infty} \left(Y_{1m} + Y_{2m} \frac{\sigma}{S} + Y_{3m} \frac{S^2 + \sigma^2}{S(S - \lambda_1)} + Y_{4m} \frac{S^2 + \sigma^2}{S(S - \lambda_2)} \right) \quad (1.1)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ただし、ここで；} \quad B &= \frac{2\pi^2 h \cos \phi}{b d} \cdot \frac{C^2}{\rho^3} \\ \lambda_1 &= -\frac{k_1}{2} + j \left(\sigma^2 - \frac{k_1^2}{4} \right)^{1/2} \\ \lambda_2 &= -\frac{k_2}{2} - j \left(\sigma^2 - \frac{k_2^2}{4} \right)^{1/2} \\ \sigma &= C m \omega / \chi \\ k_1, k_2 &: \text{減衰係数} \end{aligned} \right\} \quad \begin{aligned} Y_{1m} &= m^2 \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{(\lambda_1^2 + \sigma^2)(\lambda_2^2 + \sigma^2)} \\ Y_{2m} &= \frac{-m^2 (\sigma^2 - \lambda_1 \lambda_2)}{\sigma (\lambda_1^2 + \sigma^2)(\lambda_2^2 + \sigma^2)} \\ Y_{3m} &= \frac{-m^2}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_1^2 + \sigma^2)} \\ Y_{4m} &= \frac{-m^2}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_2^2 + \sigma^2)} \end{aligned} \quad (1.2)$$

§. 2. 総合伝達関数；

本自動制御造波装置の機能をブロック線図で、図3に示した。その開ループ総合伝達関数を " $G(S)$ " で、閉ループ総合伝達関数を " $W(S)$ " で表わせば、各々次の関係式で示される；

$$G(S) = G_2(S) \cdot G_1(S) \cdot K(S) \quad (2.1)$$

$$W(S) = \frac{G(S)}{1 + G(S)} \quad (2.2)$$

関係式の中で、 $G_2(S)$ は、制御要素の伝達関数を示すもので、本装置では、PID要素が含まれるので、3つのパラメータを調節することによって、機能をおる程度是正しうるわけである。 $G_1(S)$ および $K(S)$ は、制御対象を意味し、水理系伝達関数として、解析してきたものである。ついでに、 $G_1(S)$ と $G_2(S)$ の数式を、次の通りに示しておく；

$$G_1(S) = \frac{0.104 S (S + 5.595) (S + 1.436)}{(S + 0.673) (S + 0.021) (S + 1.873) (S + 3.926)} \quad (2.3)$$

$$G_2(S) = K_p (1 + T_d S + \frac{1}{T_i} S) \quad (K_p, \text{比例常数}, T_d, \text{微分時間}, T_i, \text{積分時間}) \quad (2.4)$$

以上の諸関係式より求めれば、総合伝達関数としての、 $G(S)$ および $W(S)$ 諸数式が求まる。そして、これを等数式にもとづいて、両者のゲイン曲線と位相曲線が各々描かれるが、開ループ総合伝達関数によれば、(i) 数値計算ははるかに簡単であること。および (ii) 開ループ実験データに若干の変形をほどこすことによって、開ループ総合伝達関数の理論値と比較検討しつるので、本解析においては、開ループ総合伝達関数 " $G(S)$ " のボード線図にもとづくこととする。

§. 3. 実験；

総合伝達関数に関する実験は、本制御造波装置を開ループに切換え、即ち、出力にあたる津波水槽流入端における水位をフィードバックさせ、プログラムのカムの正弦波形を入力として実験を行

なった。この際、出力波形と入力波形の振巾比対数に 20 倍したものが §. 2 で示した閉ループ線合伝達関数 " $W(S)$ " のゲイン曲線に対比する実験値となる。また出力波形と入力波形の位相差が、" $W(S)$ " の位相曲線に対比する実験値となることも明らかである。故に、§. 2 で示した閉ループ線合伝達関数 " $G(S)$ " のボード線図に対比する実験値をうるには、若干の修正が必要となる。

まず、式 (2~2) を次式に変形する；

$$G(S) = \frac{W(S)}{1 - W(S)} \quad (3.1)$$

上式にしたがえば、" $G(S)$ " の絶対値および位相角は、次の両式で表わされる；

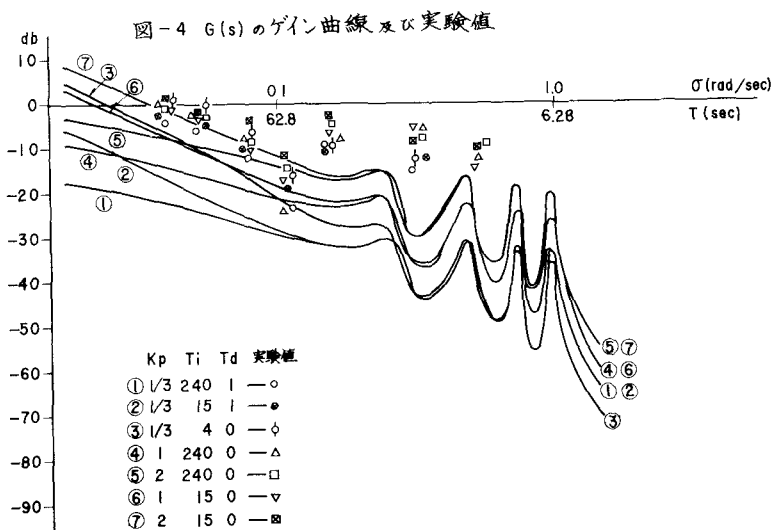
$$|G(S)| = \frac{|W(S)|}{|1 - W(S)|} \quad (3.2)$$

$$\angle G(S) = \frac{\angle W(S)}{\angle 1 - W(S)} \quad (3.3)$$

ここで、 $|W(S)|$ および $\angle W(S)$ は、上述の閉ループ実験値である。さらに $|1 - W(S)|$ および $\angle 1 - W(S)$ は、複素数平面上における、ベクトル合成の関係より算出されるので、式 (3.2) と (3.3) を用いて、閉ループ線合伝達関数 " $G(S)$ " のボード線図、即ちゲイン曲線と位相曲線に対比する実験値をえることができる。

なお、本実験に関する 1 つの困難として、操作パラメータである、 K_p, T_d, T_i 諸値が数多くの組合せによって、多くの実験回数を行なわなければならない。また同時に、多くの数値計算による理論値曲線をうるわけである。本報告に際しては、時間の許すおき、幾多の K_p, T_d, T_i 諸値の組合せ実験を行ない、上記の処理法で、数値計算による " $G(S)$ " ボード線図と、その対比すべき実験値両者を、同一図面で表わした。図 4 および図 5 は、その一部を集約的に示したものである。

ゲイン曲線の実験値は、全般的に、理論値と比してやや大きな数値を示しているが、実験を行なった範囲内においては、周波数が大きくなるにつれて、(即ち周期が短くなるにつれて)、ゲインのデシベル値が小さくなっていくので、傾向としては、理論曲線と同じである。

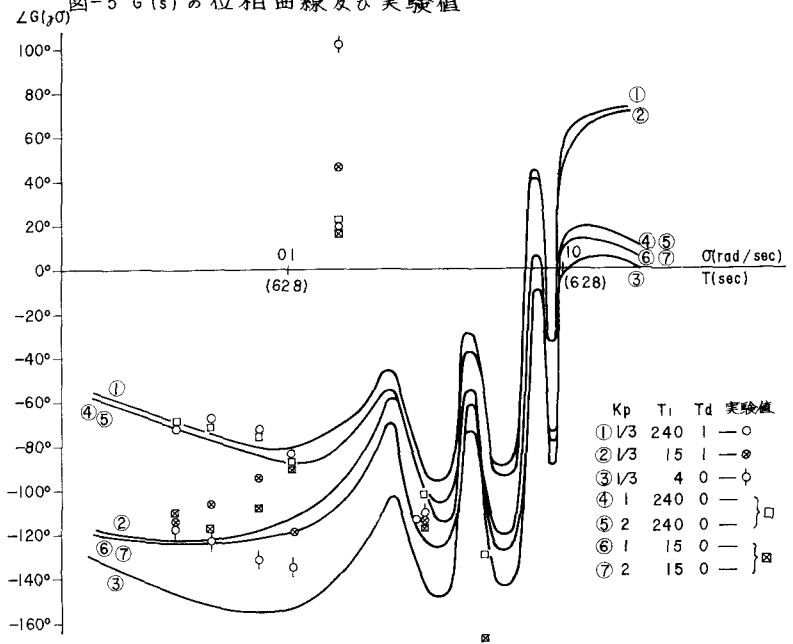


位相曲線に対比する

実験値については、
周波数 0.157 rad/sec (即ち周期 40 sec) における実験値が、大
きいバラツキを示し
ている以外は、大
なり理論値に接近して
いることがわかる。

また、周波数が
 0.523 rad/sec (即ち
周期 12 sec) 以上の
領域における実験結
果は、波形の急速な
変動に、制御装置が
追従しきれないため
に、操作の途中波形が
消失することを示して
いる。

図-5 G(s) の位相曲線及び実験値



最後に、数値計算による理論曲線の形は、 $K(s)$ がもっとも決定的な“ファクター”として存在
する。 $K(s)$ 数式の誘導に関しては、津波水槽における境界条件の設定によって大きく異なるの
で、本制御造波装置の特性は、津波水槽の境界条件に大きく左右されると見てよい。

§. 4. おまけ:

以上の解析より、本制御造波装置の総合伝達関数も明らかになったので、この次は、評価関数の設
定について色々検討を行ない、最適制御の問題にとりくみたい。その報告は次の機会にゆづるこ
ととする。

参考文献:

- 1) 岩崎・楊: 長波の研究用造波装置とその特性について (1). (第十三回海岸工学講演集.)
- 2) 岩崎・楊: 長波の研究用造波装置とその特性について (2). (第十四回海岸工学講演集.)
- 3) Jonson, I G: "Wave Boundary Layers and Friction Factors", (Proc. of Tenth Conf. on Coastal Engineer-
ing, Sept. 1966)
- 4) Iwagaki, Y. and Y Tsuchiya: "Laminar Damping of Oscillatory Waves Due to Bottom Friction", Proc.
of Tenth Conf. on Coastal Engineering. Sept. 1966.)