

反射波吸収型造波装置の反射波係数の計測例

Example of Reflected Wave Coefficient Measurement of Absorbing Wave Maker

木下 健*・高岩 千人*
Takeshi KINOSHITA and Kazuhito TAKAIWA

1. ま え が き

前報¹⁾で反射波吸収型造波装置の動作原理を、普通の直流電動機を用いる場合、電動機を速度制御する場合、さらに制御信号に造波板近傍の変動圧や波面変動を用いる場合について説明した。本報では本装置に適した反射波係数の計測法を示し、前報で述べた第二の場合の装置、すなわち駆動力を制御信号に用いて電動機を速度制御する場合の計測例を示す。

2. 反射波係数の計測法

従来は長時間造波して安定な standing wave を作ることで波エネルギーを吸収している証しとしているが、吸収特性の詳細を調べる方法は確立していない。経塚²⁾は規則波を数波造波板に当てて反射波を計測したが、この場合過渡現象の影響がさげられない。本報では集中性の過渡水波による wave package を利用することを提案する。この場合は規則波の場合のように解析する区間の選択に迷うことはないし、周波数特性が一回の実験で得られる。計測法を実際に計測した例に沿って説明する。

実験は Fig. 1 に示す 15.4×0.48×0.4 m の水槽で行った。波高計は図に示す位置に 3 本配置した。Figs. 2 と 3 は計測例である。波高計 1 と 2 は造波装置からそれぞれ 2.1 m と 2.235 m にあり、まず右から左へ進む、測定周波数の上限から下限までスイープさせた造波信号により造波された入射波を記録する(波群 A)、波高計 3 は造波装置から 11.3 m に置かれた波返し板のすぐ近くに設置され、重複波を記録する(波群 B)、波返し板に全反

射された波は、ふたたび波高計 2 と 1 に至り造波板に反射された波と共に波高計 1 と 2 に記録される(波群 C)。Figs. 2 と 3 にも示されているように、波は集中以前の状態である。それは波返し板を除去した状態で集中前後の波のスペクトルを計測した結果、集中以前の状態では場所によらずほぼ一定のスペクトルを得られることが確認されたためである。波群 A, B, C をそれぞれフーリエ解析する訳であるが、繰り返しの現象ではないので、以後の比較のためにはデータ長をそろえる必要がある。すな

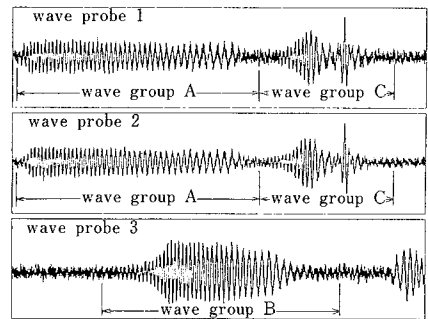
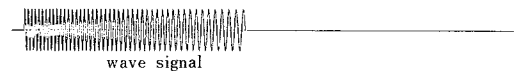


Fig. 2 Experimental records

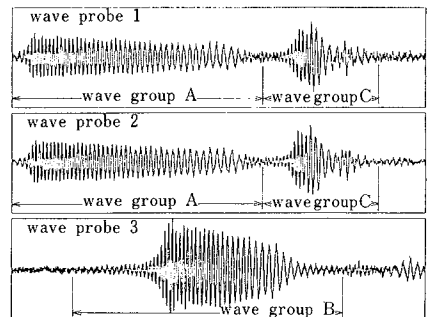


Fig. 3 Experimental records

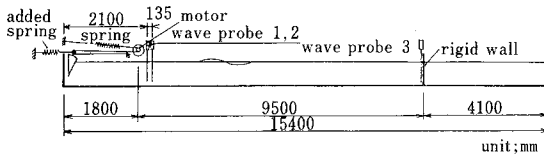


Fig. 1 Experiment tank

*東京大学生産技術研究所 第 2 部

研究速報
 わち、データ長 N_i のデータを解析したときの複素フーリエ係数を C_i とすると同じデータに零を付加してデータ長 N_j で解析すると複素フーリエ係数 C_j は

$$C_j = \frac{N_i}{N_j} C_i \quad (1)$$

となる。またベリオドグラム S_j は C_j を用いて、サンプリング時間を Δt とすると、

$$S_j = C_j^2 \frac{N_j \Delta t}{\pi} \quad (2)$$

であるから、(1)、(2)より

$$S_j = \frac{N_i}{N_j} C_i^2 \frac{N_j \Delta t}{\pi} = \frac{N_i}{N_j} S_i \quad (3)$$

となるので実際の計算ではFFTを利用して計算されたパワースペクトルに N_i/N_j (N_i はデータ総数、 N_j は波群A、B、Cの中で最長のデータ総数)をかけておけばよい。

ベリオドグラムは前後値を用いて平滑化してスペクトルとした。

波群Aの波高計1と2から解析されたパワースペクトルをFigs. 4と5に○印と△印で示している。波群B(波高計3)は□印である。このとき重複波であることを考慮して1/4している。実線と破線は波群Cの2本の波高計の記録から次式により分離した結果である。

$$a_i = \frac{1}{2|\sin k\Delta l|} \left[(A_1 - A_2 \cos k\Delta l - B_2 \sin k\Delta l)^2 + (B_1 + A_2 \sin k\Delta l - B_2 \cos k\Delta l)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$a_R = \frac{1}{2|\sin k\Delta l|} \left[(A_1 - A_2 \cos k\Delta l + B_2 \sin k\Delta l)^2 + (B_1 - A_2 \sin k\Delta l - B_2 \cos k\Delta l)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

ここで、 k は各周波数に対応する波数、 a_i 、 a_R は分離後の入射波、反射波振幅であり、 A_1 、 A_2 、 B_1 、 B_2 はそれぞれ波高計位置1、2の複素フーリエ係数を用い次式で得られる。

$$A_1 = 2\text{Re}[C_1] \quad B_1 = -2\text{Im}[C_1]$$

$$A_2 = 2\text{Re}[C_2] \quad B_2 = -2\text{Im}[C_2]$$

波高計間の距離 Δl は測定周波数に分離不可能周波数が入らないように13.5 cmとした。なお測定周波数は $\omega = 5 \sim 11.3 \text{ sec}^{-1}$ で sweep 時間は各波高計位置で wave package が重ならず集中以前に計測できるように31秒と決定した。

3. 解析例

ここに示す解析例は駆動力をフィードバックして電動機を速度を制御するもので、前報¹⁾の4章の場合でありSalter⁹⁾の装置と同一である。完全吸収条件は前報の(28)、(29)式で与えられる。

さてFigs. 4と5に示す○印、△印、□印と実線はすべて入射波であり波砕れはもちろん観察されていないので理想的には一致するはずのものである。しかし進行距離とともに減少している。40~50ケース実験したがすべて同じ傾向であった。波返し板による全反射は、板の前方に2本の波高計を設置して解析し確認した。○印と△印の差は計測上のバラツキで□印、実線は側壁の摩擦損のためと考えられる。反射波係数は実線と破線から求めた。

3.1 フラップと水槽の摩擦影響

最初造波装置が設置されたときフラップが水槽の中心線とずれて置かれていたため、フラップの防水シートが壁とすれて摩擦の大きい状態であった。その後、中央に置き直したがその摩擦の影響を再設置前後の反射波係数から見たのがFig. 6である。全般的に反射波係数はまだ

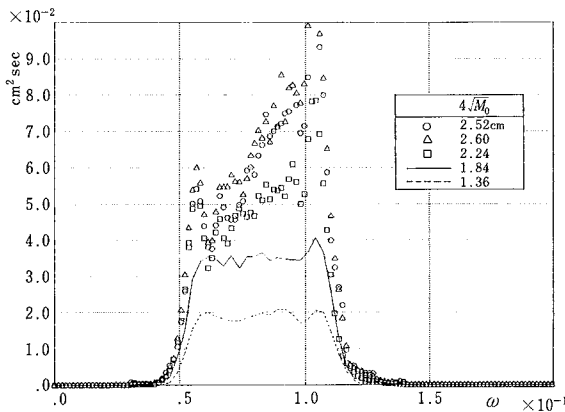


Fig. 4 Power spectra of incident waves and reflected waves (input voltage 0.4V)

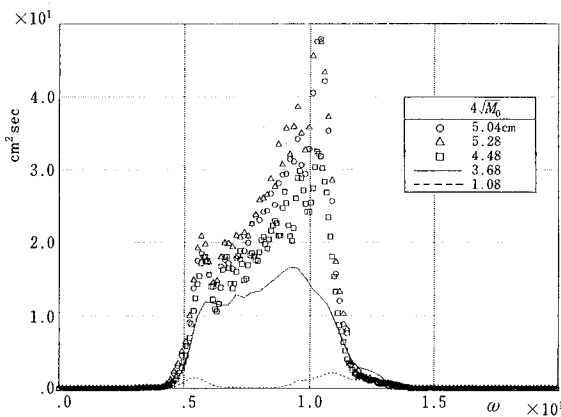


Fig. 5 Power spectra of incident waves and reflected waves (input voltage 2.4V)

大きい、摩擦を減らした効果が少し見える、また波高が大きいほど吸収性能は良い、すなわち前報(28)、(29)式中の d'' の影響は顕著で、中央に設置し直した後も無視できないことがわかる。

3.2 フラップに付加したばねの影響

シートのすれをなくして摩擦を減らしても依然として反射波係数は大きいので、系の固有周期を変化させるため、経塚²⁾にならないフラップ板にばねをつけて前報(29)式中の C を変えてみた。ばねは 2 種類 (ばね定数 3.57 kg/m, 1.94 kg/m) 変えた。ただし弱いばねは板につけずにオリジナルの位置に交換した実験もおこなった。結果は Fig.7 に示すが、強いばね、弱いばね、弱いばねをオリジナルと交換したもののそれぞれを hard spring, middle spring, soft spring と表示した。結果は、反射波係数に大きな変化はなかったが、オリジナル (ばね定

数 9.23 kg/m) または soft spring がこれらの中では吸収性能が良い。

3.3 フィードバック・ゲインの影響

3.1 と 3.2 の結果、この装置は負荷減衰力が適正ではないと結論し、フィードバック・ゲイン (前報(28)式の α) を調整することにした。ただし装置についているゲイン調整の範囲では効果がないことがわかっていたので、制御盤内の抵抗を交換しフィードバック・ゲインをオリジナルの 1 倍から 6 倍まで変化させた。しかしゲインを 5.5 倍以上にするとハンチングが始まりそうになり 6 倍が限界であった。なお実験当日は気温の低いさわやかな日であったが、翌日実験しようとしてゲインを上げるとドリフトがひどくゲインは 3 倍が限度であった。その日は気温が高い暑い日であった。さて結果は Fig. 8 に示すようにフィードバック・ゲインの影響は著しい、この図

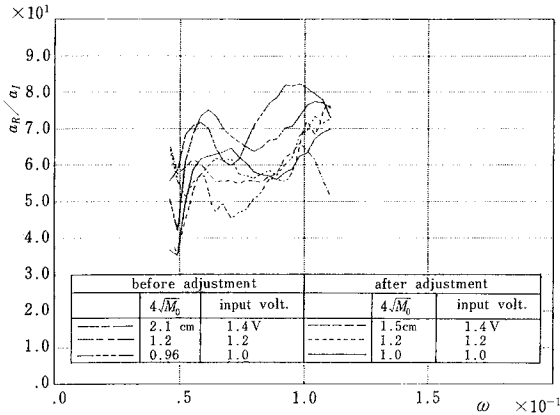


Fig. 6 Friction effect on reflected wave coefficients

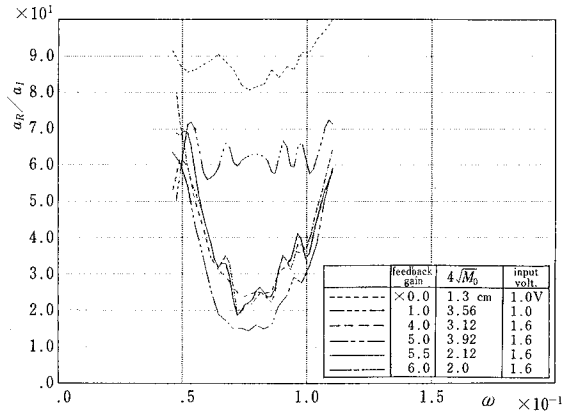


Fig. 8 Feedback gain effect on reflected wave coefficients

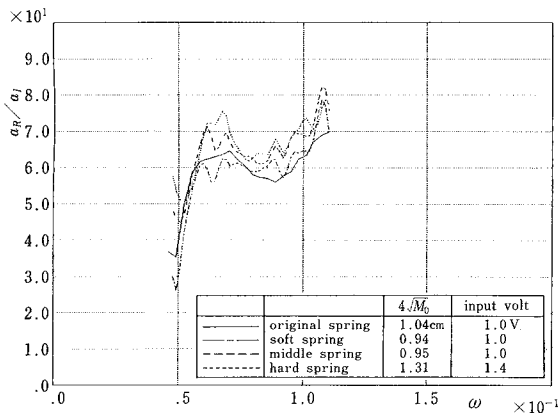


Fig. 7 Reflected wave coefficients for various spring conditions

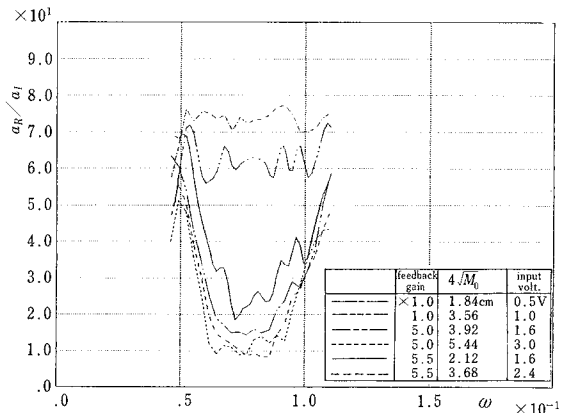


Fig. 9 Wave height effect on reflected wave coefficients

研 究 速 報

ではゲインは5倍の場合が一番吸収性能が良い。ただし主に摩擦の影響からと思われるが、先にも述べたように本装置の反射波係数には波高影響がある。波高影響をゲインが1倍, 5倍, 5.5倍について示したのが Fig. 9 であり, 大きい波高ではゲインは5~5.5倍が最適のようである。反射波係数は最低で0.08ほどに達しているが, 吸収特性はやや狭帯域である。なお, Figs. 2と4は Fig. 9の図中の一点鎖線の実験, また Figs. 3と5は Fig. 9の図中の破線の実験である。

結局, 当初の装置はフィードバック・ゲインが小さ過ぎていたことが明らかになったが, 先にも述べたようにゲインをあげるためには力のセンサーとアンプの性能がこの装置の場合少し不足しているようである。

4. あ と が き

反射波吸収型造波装置の反射波係数の計測に集中性の過渡水波を利用することを提案し, Salter 型の装置を例として計測した結果, 次の結論を得た。

- 1) Salter 型の場合装置の摩擦には十分注意する必要

があり, 摩擦の結果, 反射波係数は波高に依存する。

- 2) フィードバック・ゲインの調整は特に重要で, そのためにはセンサーとアンプの性能に注意する必要がある。
- 3) 吸収特性をより広帯域にするため前報の β の条件を広帯域で満たす工夫が望まれる。

謝 辞

本装置を製作, 納入された三井造船システム技研株式会社の関係各位に, また実験に協力された日本大学海洋建築工学科増田研究室の関係各位に感謝します。

(1986年11月5日受理)

参 考 文 献

- 1) 木下 健: 反射波吸収型造波装置の動作原理について, 生産研究, vol.39, No. 1, 1987
- 2) 経塚雄策: 吸収式造波装置の研究, 西部造船会会報, 第70号, 1985, p.77
- 3) Salter, S.H.: Absorbing wave makers and wide tank, Proc. of the Conf. on Directional Wave Spectra Applications, 1981, p.185

