

加速度計による浮体動揺計測法について

鳥取大学工学部 正 員 松原雄平

鳥取大学大学院○学正員 高木雅広

【はじめに】浮体の動揺量は、動揺時の加速度を計測し、それを積分することによって求めることができる。地震計や一部の波浪計などには、この加速度記録による動揺解析手法がとられているが、特に波浪観測ブイについては橋本らによって、その測定ならびに解析手法が検討され、実際にも使用されている^{1),2)}。本研究では、海洋に浮遊あるいは没水した構造物の動揺量ならびにその方向を知るために、加速度計による動揺測定法を適用し、これまで地震応答解析等に用いられてきたいくつかの解析手法の、精度ならびにその効率等について検討し比較するとともに、新たな算定方法についても検討したものである。

【実験方法】実験は、長さ25m、幅0.6m、高さ1.1mの鋼製二次元水槽を使用して行った。加速度測定用の浮体は、水槽のほぼ中央に自由運動ができる状態で設置した。浮体の底部には、縦揺れおよび横揺れ低減のための水平板ならびに垂直板が装着されており、微小な水面変動には、ほとんど反応しない安定性を有している。この浮体の中央部には人工水平器が設置されており、これは浮体がいかなる動揺を呈しても常に加速度計が鉛直方向を指向するように製作したものである。したがって、加速度データとしては、常に鉛直成分のみが抽出可能である。加速度センサーには、歪みゲージタイプのものを用い、その応答特性は、0 - 60 Hz 測定レンジは、0 - 5G (Gは重力加速度)である。測定時には、このセンサーを互いに直交する三方向に装着し、水平方向二成分および鉛直方向成分を測定した。浮体の動揺は、水槽外部からビデオカメラを用いて、水面変動とともに撮影し、ビデオ解析を行って、浮体の動揺と波の変動との関係を調べるとともに、同時にデータレコーダに収録した加速度をサンプリング周波数60HzでA/D変換処理して、動揺量と比較検討した。

【解析方法】(a) デュアメル積分法(応答スペクトル法) 浮体に不規則外力 $P(\tau)$ が微小時間 $d\tau$ 作用したとすると、浮体の運動量は受けた力積に等しい。したがって、浮体の運動は、減衰を有する、単位インパルス応答の解で与えられる。

$$Y_t = \frac{dv}{n'} e^{-hn(t-\tau)} \sin n'(t-\tau)$$

ここに、 $(t-\tau)$ は、力積が作用した時刻 τ から時刻 t までの経過時間、 $n'=\omega/(1-h^2)$ 、 ω :物体の固有振動数、 h :減衰係数である。外力を $t=0$ より $t=t$ まで連続して作用する力積の和と考えるならば、物体の変位量は、次の式で表わされる。

$$Y = 1/\omega(1-h^2)^{1/2} \int_0^t Y(\tau) e^{-h\omega(t-\tau)} \sin \omega(1-h^2)^{1/2}(t-\tau) d\tau$$

(b) フーリエ変換法 等時間間隔 dt でサンプリングされた n 個の加速度記録 $\ddot{Y}_m(m=0, 1, 2, \dots, n-1)$ の有限複素フーリエ係数 C_k は、

$$C_k = 1/n \sum_{m=0}^{n-1} \ddot{Y}_m e^{-2i\pi km/n}$$

これをフーリエ逆変換して求めた加速度の近似関数は

$$\ddot{\tilde{Y}} = \sum_{k=0}^{n-1} C_k e^{2i\pi kt/ndt}$$

これを、 t に関して積分を行い速度および変位量を求めると、

$$\dot{\tilde{Y}} = \sum_{k=0}^{n-1} C_k (-i n dt/2k) e^{(2i\pi kt/ndt)} + A_1$$

$$\tilde{Y} = \sum_{k=0}^{n-1} C_k \{-(n dt/2k)^2\} e^{(2i\pi kt/ndt)} + A_1 t + A_2$$

ここに、 A_1, A_2 は積分定数である。以上の方法は、地震応答解析で用いられる手法であり、計算時間、精度ならびに入力パラメーターの選定においては、かなりの検討が必要である。そこで、ここではより簡便かつ高精度を維持する計算方法の開発を試みた。

(c) 直接積分法 一般にある物体に外力が作用した場合、当然加速度も時間とともに変化する。この微小時間の間で加速度は、ほぼ直線的に変化すると仮定できることから、時刻 t_m から t_{m+1} の間に、加速度が $\ddot{Y}_m$ から $\ddot{Y}_{m+1}$ と変化したものとする、この微小時間内の加速度は次式で与えられる。

$$\ddot{Y}_t = \ddot{Y}_m + \frac{\ddot{Y}_{m+1} - \ddot{Y}_m}{\Delta t} (t - t_m)$$

ここで、 $\ddot{Y}_m$ は、時刻 t_m での加速度を、 t は時間を表わしている。積分によって現われる積分定数については、加速度がピークをとる位相での初期速度を0とし、さらに次のピークまでの積分値が0になるように定数を定めた。

【実測動揺量および計算値の比較】 図1, 2は、それぞれ波高6.0 cm, 9.2 cm, 周期1.7 sec, 2.7 secの波の条件での実測動揺量ならびに加速度記録から求めた計算動揺量の時間的変化を示したものである。図中、実線が実測値、破線がそれぞれの計算値を示している。まずデュアメル積分法の結果に注目すると、いずれの条件も実測値とはあまりよく一致していない。これは、積分を行う際に必要となる減衰係数ならびに付加質量係数の値が適切でなかったことによるものと考えられる。一方、フーリエ変換法による計算結果と実験値を比較すると、ほぼ両者は一致することがわかる。ただし、ここには示していないが、この計算結果には、長周期の変動が現われる場合があり、加速度の測定ならびに解析方法にかなり詳細な注意を払う必要があるといえる。さて、直接積分法の結果からは、短周期の波浪の場合には極めてよい一致が見られること、長周期の動揺の場合には、相対的に算定精度が低下することがわかる。しかしながら、計算が簡便でその解析時間も短い直接積分法が実用的であるといえよう。図-3は、実際の海中養殖施設で観測した加速度記録をもとに直接積分法ならびにフーリエ変換法で計算した、施設の動揺量の経時変化を示したものである。これより、いずれの方法もほぼ同様の結果となっていることがわかる。また、三成分の加速度記録から、動揺の大きさならびにその方向を算定する場合も同様の方法を用いた。この結果については、講演時に述べる。

【おわりに】直接積分法は、これまでの応答解析方法と比較して、ほぼ満足する精度を有していることならびに計算時間も他の方法の数十分の一であることから、極めて実用的であるといえよう。今後は、さらに多くのデータを元に検討する必要がある。

【参考文献】

- 1) 橋本・山口 海中ブイ式波浪計による波浪観測, 第20回海溝論文集
- 2) 橋本・山口 表面ブイ式波浪計の実用化に関する研究, 第22回海溝論文集

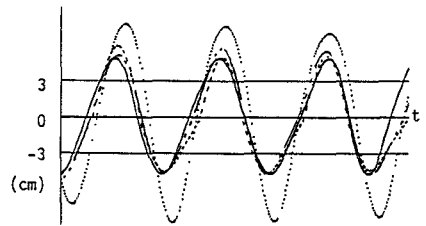


図-1 周期 1.7 秒

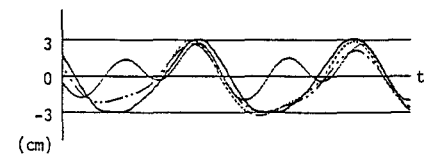


図-2 周期 2.7 秒

— 実測動揺量
 - - - デュアメル法
 - - - 直接積分法
 - - - FFT法

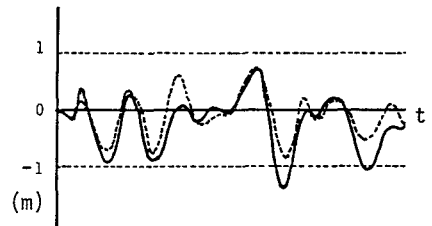


図-3 海中養殖施設での観測データをもとにした計算値

— FFT法
 - - - 直接積分法