

II-337 非接触式6自由度浮体動揺計測システム

鹿島建設技術研究所 正員 今井貢爾

鹿島建設技術研究所 正員 ○池谷 毅

1. はじめに

浮体構造物の安全性、機能を考える上において、波、風、潮流等の外力に対する動揺量を把握する必要がある。水理模型実験により浮体の動揺量を評価する場合、これを正確に測定する技術が重要となる。従来水理模型実験で用いられている接触式動揺測定装置には、動揺測定装置の設置が浮体の動揺現象に影響を与える問題点があった。また、非接触式変位計測は、1次元ないし2次元運動の計測に限られ、3次元運動を計測した例は少ない。

以上の問題点を解決するために、写真測量の原理を応用して浮体の3次元運動を計測するシステムを新たに開発した。本報はこの新しいシステムの概要を紹介するものである。

2. 測定原理

浮体の動揺を論ずる場合、浮体式洋上空港の様な極めて大規模なものを除けば、浮体を剛体と考えることができる。よって浮体の運動は、図-1に示す、サージ（ d_1 : x方向）、スウェー（ d_2 : y方向）、ヒープ（ d_3 : z方向）、ロール（ θ_1 : x軸回転方向）、ピッチ（ θ_2 : y軸回転方向）、ヨウ（ θ_3 : z軸回転方向）の成分を持つ6自由度運動となる。回転中心を重心に選び、上述の6成分を以下重心回りの動揺量と呼ぶ。

一般に剛体の6自由度運動は、剛体と一体となって運動する三角形の運動を知れば確定できることが知られている¹⁾。浮体上の3点（a点、b点、c点とする）の変位をそれぞれ y^i_a, y^i_b, y^i_c ($i=1,2,3$) とかけば重心回りの動揺量との間には次式が成り立つ。

$$\begin{bmatrix} y^1_a \\ y^2_a \\ y^3_a \\ y^1_b \\ y^2_b \\ y^3_b \\ y^1_c \\ y^2_c \\ y^3_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \xi^3_a - \xi^2_a \\ 0 & 1 & 0 & -\xi^3_a & 0 & \xi^1_a \\ 0 & 0 & 1 & \xi^2_a - \xi^1_a & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & \xi^3_b - \xi^2_b \\ 0 & 1 & 0 & -\xi^3_b & 0 & \xi^1_b \\ 0 & 0 & 1 & \xi^2_b - \xi^1_b & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & \xi^3_c - \xi^2_c \\ 0 & 1 & 0 & -\xi^3_c & 0 & \xi^1_c \\ 0 & 0 & 1 & \xi^2_c - \xi^1_c & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 $\xi^i_a, \xi^i_b, \xi^i_c$ ($i=1,2,3$) は、浮体静止時のa点、b点、c点の座標で、 $i=1,2,3$ はx方向、y方向、z方向を表す。よって同時刻の浮体上の3点の変位がわかれば、式(1)より、浮体の重心回りの動揺量が得られる。式(1)は、9個の関係式を表しているのに対し、求める変数は $d_1, d_2, d_3, \theta_1, \theta_2, \theta_3$ の6個であり、関係式の数が変数の数より多い。そのため、ここでは最小自乗法により最適解を求めている。

3. 機器構成

本システムは浮体上の3点の同時刻3次元変位を写真測量²⁾を応用して計測し、これから上述の原理に従って重心回りの動揺量を求めるものである。本システムは図-2に示すようにマーカー、CCDカメラ

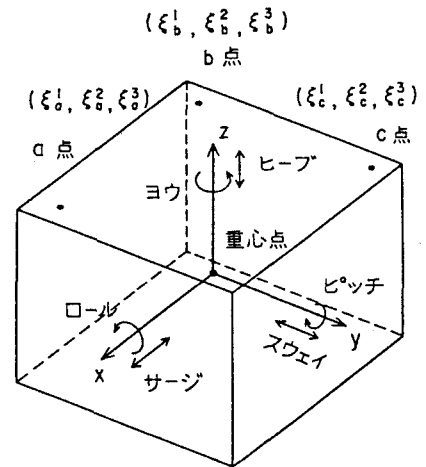


図-1 重心回りの動揺量6成分
及び座標系の定義

（2台），ビデオトラッカー（2台），同期ユニット，ホストコンピュータより構成される。

マーカーは，浮体上に設置した白色の点で，観測点を他の部分から区別するものである。CCDカメラはマーカー画像をビデオトラッカーに送るものである。ビデオトラッカーはCCDカメラからの画像データ内に含まれるマーカーを他の部分から識別し，マーカーの写真座標を出力するものである。同期ユニットは2台のカメラからの画像データの同時性を保たせる装置である。ホストコンピュータはデータの取り込み，処理，結果表示を行う。

通常の実験では浮体の動揺量と同時に他の物理量（例えば波高，流速，係留索張力等）を計測する。そこで，ホストコンピュータは，GPIBボードを介してビデオトラッカーの制御，写真座標の取り込みを，ADボードを介して他の物理量の取り込みを行う。ビデオトラッカーにバッファメモリが存在するため，これら2系列のデータの同時性は確保される。

4. 測定手順

本システムを利用して浮体の動揺を計測する場合には，始めに既知の座標を持つ4点を視準し，写真測量を行う上で必要なカメラの位置，傾き，焦点距離等の評定要素の検定を行う。次に，運動する浮体上の3つの観測点を視準し，各点の写真座標から時々刻々の3次元変位を求める。さらに，これから式(1)により重心回りの動揺量を計算する。

5. 特徴

本システムは以下の特徴を有するものである。

- ① 非接触式の測定方法であるために，測定装置が浮体の運動に全く影響を与えない。
- ② 浮体上の3点の変位から動揺量を求める過程が簡便であるため，リアルタイム計測も可能である。
- ③ 周波数15HZ～DCまでの動揺を計測することが可能である。
- ④ 変位を直接計測しているため，加速度データから変位を求める場合と異なり，変位を求めるために積分操作を伴わない。よって，長周期の運動に対しても動揺量を精度良く計測することが可能である。
- ⑤ 動揺量と他の水理量，物理量との同時計測が可能である。

6. おわりに

本報では，浮体上の3点の運動を観測し，これから浮体の重心回りの動揺量を測定する非接触式浮体動揺計測システムを紹介した。本システムを室内実験で使用した結果，良好な動揺測定能力があることが判明しているが，測定結果，測定精度については，別途機会があれば報告したいと考えている。

<参考文献>

- 1) 小野周(1968)；岩波講座基礎工学1力学Ⅱ，岩波書店，pp.206～212。
- 2) 日本写真測量学会編(1980)；写真による三次元測定—応用写真測量—，共立出版株式会社，pp.1～19。

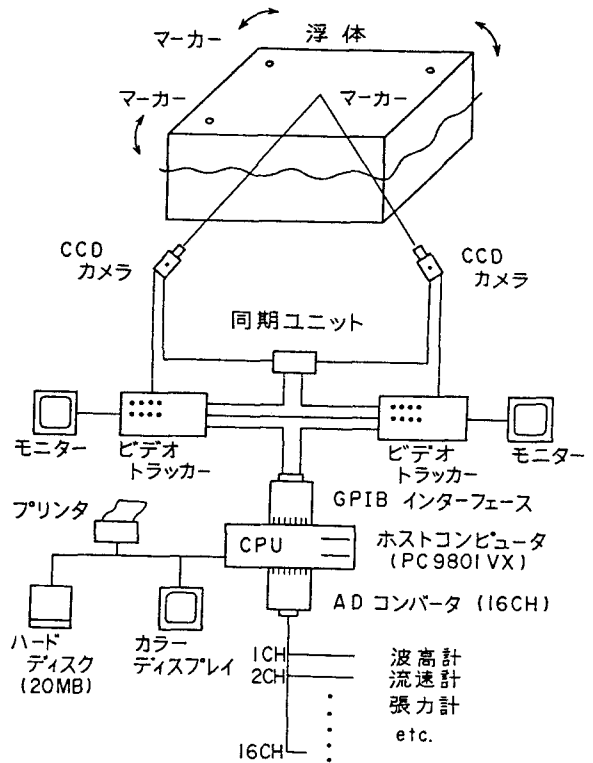


図-2 非接触式浮体動揺計測システムの概要