

I-PS7 ビデオカメラによる3次元動変位計測

防災科学技術研究所 正員 御子柴 正
元防災科学技術研究所 勝山 ヨシ子

1. はじめに

耐震実験及び実構造物の耐震診断において、対象構造物の振動特性、構造特性、破壊特性などを的確に把握するため、現在接触型センサー（加速度計および変位計など）で計測を行っている。しかし、破壊実験及び倒壊試験などのような大変位の計測には非接触型で計測を行うのが望ましい。そこで、ビデオカメラを用いてビデオ画像から動的な変位を計測するシステムを開発した。非接触変位測定は一般に光学式で行っているため特殊なカメラや解析装置を必要とするが、本計測システムは、一般のビデオカメラとVTRを使用してEWS上にビデオ画像を取り込み、リアルタイムで画像解析を行い測定点の動変位を計測するものである。今回は適用例として耐震実験における動変位計測を行った。

2. システム構成

近年、大型計算機でしか利用できなかった高速処理がEWSにより手軽に利用できるようになってきた。この3次元動変位計測システムはEWS（CPU:m68020,CLOCK:20MHz,OS:OS9/68000）にビデオ信号入力ボードを内蔵しており、CPUに負担をかけずに独立に動作している。ビデオ信号入力ボードは、NTSC方式のカラー1入力の映像信号を解像度640×484、濃度分解能RGB各8ビットにデジタル変換し、2画面のフレームメモリに交互に格納している。1画面分の映像信号を1/30秒（33ms）のスピードでフレームメモリに格納することができ、1フレームは2フィールド（奇数フィールド、偶数フィールド）から成っているため、1フィールド当たりでは1/60秒（16ms）のスピードでフレームメモリに格納している。システム構成図を図1に示す。

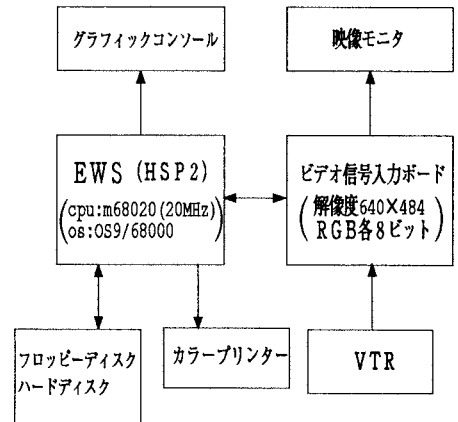


図1 システム構成図

3. ビデオ座標の検出

画像解析からビデオ座標を検出するとき、画像解析で測定点の誤認識の発生防止及び精度の点から測定点には明暗のはっきりした標識（ターゲット）を付けている。また、ビデオ座標を空間座標に変換するための係数を求めるため、変位の測定点以外にも供試体を取り囲むようにできるだけ多くのターゲットを付けている。各ターゲットの空間座標は実験の前に測っておく。

ビデオ画像上で座標の検出は次のように行っている。実験で収録したビデオ画像から供試体の静止時（加振前）におけるターゲットのビデオ座標を求めておく。そして、このビデオ座標を基準にしてターゲットを含む適当な大きさのウインドを設定し、その中で画素の輝度（RGB各8ビットで現されている）が、ある一定以上の座標値の平均（重心）を求めて、これをターゲットのビデオ座標とする。このときウインドの位置はターゲットの動きに追従して動かしている。ここで求めたターゲットのビデオ座標は、メインメモリに記憶されハードディスクに格納する。3次元空間の位置座標を得るためにはビデオ画像を2方向から撮影する必要があるため、もう一方のビデオ画像に対してもターゲットの座標を求める。

以上のような画像処理をリアルタイム（フレームメモリは2画面分あるため1方のフレームに画像を取り込んでいる間にもう1方のフレームメモリからターゲットのビデオ座標位置を検出）で行っているため、サンプリング30Hzの時は33ms以内、60Hzの時は16ms以内で座標検出を行なっている。

実験の結果からターゲットを認識できる最小限の大きさにしてサンプリング60Hzとしたとき、一度に検出できるターゲット数は8点（他に2方向から撮影したビデオ画像の同期を取るため、タイムコードを1点求めている）が最大であった。

4. ビデオ座標から空間座標への変換

カメラ単位のターゲットのビデオ座標から、2カメラを組み合わせる3次元空間座標に変換するには透視変換理論が適用できる⁽¹⁾。ビデオカメラの歪を無視すると、ビデオ画像は3次元空間の透視投影である。静止状態での1点の空間座標を (x, y, z) 、そのビデオ画像上の対応点の投影座標を (u, v) とすると、 (x, y, z) と (u, v) との間には

$$\begin{aligned} T_{11}X + T_{21}Y + T_{31}Z + T_{41} - T_{14}Xu - T_{24}Yv - T_{34}Zv - u &= 0 \\ T_{12}X + T_{22}Y + T_{32}Z + T_{42} - T_{14}Xv - T_{24}Yv - T_{34}Zv - v &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

の関係がある。ここで T_{ij} はカメラの位置と向きにより決まる定数であり、1平面上でない6個以上の点について (u, v) と (x, y, z) の測定値の組から最小自乗法により T_{ij} が求まる。 T_{ij} が求まれば(1)を (u, v) から (x, y, z) への変換に用いることができ、最小自乗法により3次元空間座標 (x, y, z) の時系列データが求まる。

5. 耐震実験への適用

今回の実験で用いた供試体は一般に市販されている軽量棚を用いた。軽量棚は、加振によりロッキングが起り易く大変位が計測できる、また、転倒した場合でも簡単に持ち上げられることができ繰り返し実験が行えるため使用した。軽量棚の大きさは、実験1（高さ2100mm、幅900mm、奥行き450mm）と、実験2（奥行き600mm）の2種類である。軽量棚にはターゲットを9点、また、振動台にもターゲットを5点つけた。ターゲットの大きさは直径160mm（直径80mmの中ぬきの白地）である。写真1に1方向から撮影した実験1の試験体を示す。

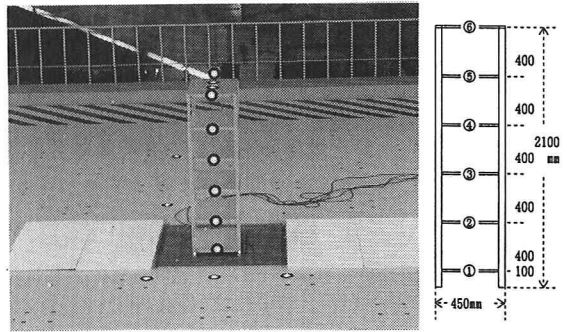


写真1 試験体及び計測点

実験に使用した振動台は大型振動台（15m×14.5m、最大振幅±220mm）である。加振波は正弦波スイープ加振及び実地震波（エルセントロ、宮城沖）での加振を行った。エルセントロ波、加速度400gal（cf=0.3Hz）で加振を行った結果、ロッキングが起り、最上部（写真1のターゲット）では片振幅で最大280mmの変位が計測された。図2にx方向の変位波形を示す。

6. おわりに

耐震実験の結果から、非接触での変位測定は比較的容易に行えるが、測定点の精度を上げるにはターゲットを大きくしなければならない。しかし、大きくすれば画像処理に時間がかかり測定点数が減るなど、まだ問題も残されている。

<参考文献> (1)D.F.Rogers他(1976):コンピュータグラフィックス(訳)、日刊工業新聞社

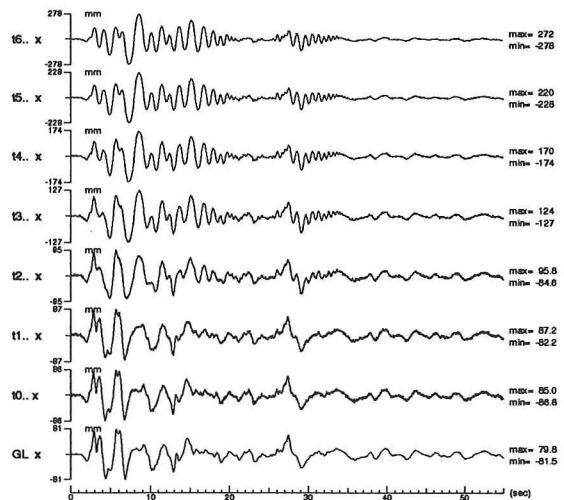


図2 x方向の変位波形（GL及びt0は振動台の変位であり、GLは変位計による計測）