

# 画像記録による地震動同定に関する振動台実験

齊藤芳人<sup>1</sup>・堀 宗朗<sup>2</sup>・須藤敦史<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 博士 (工学) 前田建設工業 (株) 技術研究所 (〒179 東京都練馬区旭町 1-39-16)

<sup>2</sup>正会員 工学博士 東京大学地震研究所 (〒113 東京都文京区弥生無 1-1-1)

<sup>3</sup>正会員 博士 (工学) (株) 地崎工業 技術開発部 (〒105 東京都港区西新橋 2-23-1)

一般に地震動は地盤の不均質性により狭い範囲で変わることが指摘されており、構造物の耐震や都市防災を考える際には、狭い間隔で地盤の震動特性やその分布を評価することが重要な課題となる。一方、現在の強震観測点は限られた点に設置されており、都市内において地震観測の密なネットワークを構築することが必要となり、銀行やコンビニエンス・ストア等に設置されている監視用カメラの画像記録が候補として考えられる。しかし、撮影された画像記録から地震動を同定するには、その振動特性や解析手法の検討が必要となる。そこで本研究は画像記録を用いた地震動同定手法の開発を目的として、振動台実験を実施し、解析精度の検証を行ったものである。

*Key Words : Identification of earthquake motions, Shaking table test, Video records, Seismic intensity*

## 1. はじめに

強震動は地盤の不均質性により狭い範囲で変わることが指摘されている。従って、構造物の耐震や都市防災を考える際には、高密度な地盤震動特性の分布を評価することが重要な課題となる。しかし、こうした高密度な地震計の設置は非現実的であり、精度をある程度犠牲にしても、維持管理が簡便な地震観測の密なネットワークを都市内に構築することの意義は高い。本研究はこうしたネットワークの一つの候補として、銀行やコンビニエンス・ストア等に設置されている監視用カメラの画像記録を利用することで、強震動を同定する手法を開発することを目的としている。撮影された画像記録から強震動を同定するには、基本的には画像の揺れからビデオカメラの振動を逆解析し、次にカメラの振動から強震動を逆解析するという2段階の逆解析が必要である。本報告は、第一段階として、監視用カメラを1層フレームの天井部に完全に固定した状態で振動台実験を実施することで、1層フレームのみの振動による画像の揺れから1層フレームの変位を画像解析で求める場合の解析精度について検証している。

## 2. 振動台実験

監視用ビデオカメラの振動台実験は、図-1に示すように振動台上にせん断型の1層フレーム (外形寸法:  $W \times D \times H = 1360 \times 1360 \times 1100$ mm) を設置し、フレーム天井部よりアルミ製の取り付けパイプによってカメラを完全に固定し、紙面直交方向に加振している。1層フレームの紙面直交方向両側面にはコイルばねを介したブレースが配置されており、カメラを含む1層フレーム全体系の固有周期は事前の予備実験から0.73秒となっている。カメラ撮影方向の振動台上には鋼棒が固定されており、この一部に画像解析時の標点となるビニールテープが巻き付けられている。また、画像解析より求めるカメラ部分の変位波形の精度を検証するため、カメラ、フレーム天井部および振動台上には加速度センサーが設置されており、カメラによる画像記録と同時に加速度データの計測も行

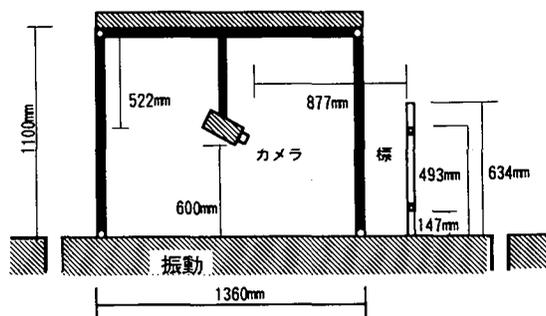


図-1 振動台実験概略図

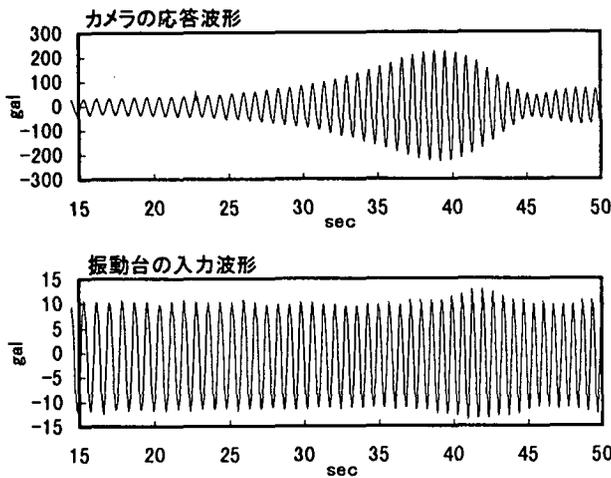


図-2 スイープ加振入力および応答波形

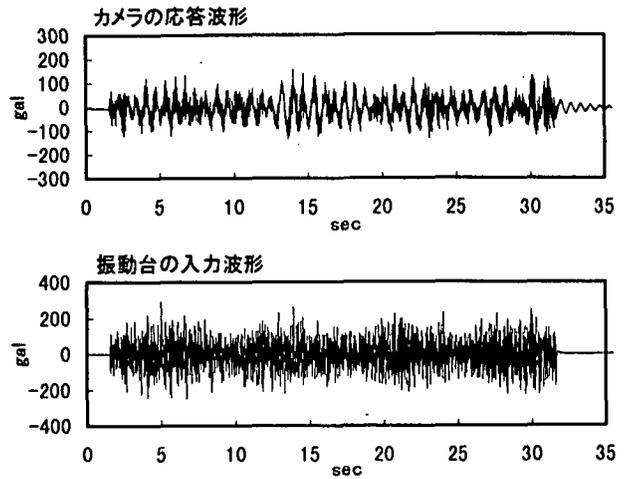


図-3 ランダム加振入力および応答波形

っている。また、カメラとフレーム天井部に設置されている加速度センサーの記録がほぼ一致することから、カメラと天井部とは完全に固定されていることを確認した。

振動台での加振方法は次の2ケースで実施している。

(1) スイープ加振

加速度振幅が約10galで周波数1~2Hzのスイープ加振

(2) ランダム加振

加速度振幅が約200galのランダム加振

なお、サンプリング間隔は両ケースともに0.01secとした。

図-2及び図-3にスイープ加振及びランダム加振時の振動台入力波形ならびにカメラの応答波形を示す。

### 3. 高精度画像解析

通常、画像解析による変位の計測精度は、画像1ピクセルに対応する実像の寸法となる。画像の撮影倍率を変化させることにより、計測精度を向上させることも可能であるが、これは必ずしも容易ではない。そこで、本研究では簡便かつ汎用的な方法として、ビデオ画像が連続的に撮影されていることを利用して、統計処理により計測精度の向上を図る方法<sup>1)2)</sup>を試みる。

簡単のため、一つの標点のX方向変位の画像解析を例に高精度画像解析の原理を説明する。ある時間内で、この標点を含む画像がNフレーム取り込まれることを想定する。それぞれのフレームについてX方向の標点の位置kはピクセル単位で読み取られる。この読み取りにおいて、イメージデータに変換される際の打ち切り誤差が含まれる。全フレームで得られた時刻tと標点の位置kの関係プロットし、t-k関係を滑らかな関数で近似する。平滑化されたt-k関係では、kの尺度はピクセルよりも細かくなる。従って、平滑化されたt-k関係が真のt-k関係に近ければ近いほど、kの計測が高精度

で行われることになる。

上記の原理から明らかなように、平滑化に利用されるフレームの数が増加し、標点のピクセル単位の変位が大きいくほど、平滑化された関係が真のt-k関係に近づくことが予想される。簡単な数値シミュレーション<sup>2)</sup>から、表-1に示すような精度の結果が得られている。

表-1 高精度画像解析による標点変位の推定誤差

標点の変位	必要なフレーム数	標点変位推定精度
1ピクセル	5フレーム以上	0.4ピクセル
2、3ピクセル	10~15フレーム以上	0.2ピクセル
4ピクセル以上	20フレーム以上	0.1ピクセル

### 4. 画像解析精度

振動実験より得られたカメラ部の加速度データを積分することによりカメラ部の変位波形を求め、これと高精度画像解析手法より得られる変位波形とを比較することにより本手法の精度を検証した。なお、比較のため平滑化を行わない標準的な画像解析による結果も比較した。

(1) スイープ加振

図-4及び図-5には加速度データから求めた変位波形と標準的な画像解析から求めた変位波形を示してある。さらに、図-6は両変位波形の一部ならびにその誤差を示してある。同様に、図-7には高精度画像解析による結果を比較して示してある。また、図-8は標準画像解析と高精度画像解析の精度の比較を示している。標準画像解析による誤差が0.16%であるのに対し、高精度画像解析では0.13%であり、さらに最も効果が現れている箇所と比較すると、標準画像解析で0.13%であった誤差が、高精度画像解析では0.07%と格段に向上している。

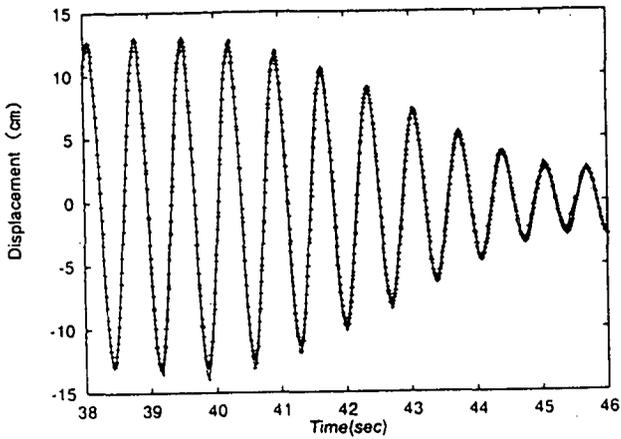


図-4 加速度データの積分による変位波形

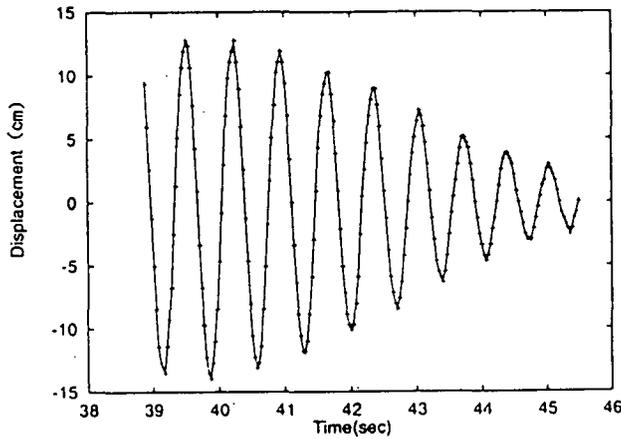


図-5 標準画像解析による変位波形

## (2) ランダム加振

ランダム加振の場合には、スイープ加振の場合には無かった高周波数成分が含まれている。ビデオ画像のサンプリング周波数(30Hz)を考えると、こうした高周波数成分を画像解析から求めることは不可能である。従ってこの場合、高周波数成分をカットした状況での比較を行うことにする。

図-9及び図-10には加速度データから求めた変位波形と標準的な画像解析から求めた変位波形を示してある。さらに、図-11は高周波数成分をカットした後の両変位波形の一部ならびにその誤差を示してある。同様に、図-12には高精度画像解析による結果を比較して示してある。また、図-13は標準画像解析と高精度画像解析の精度の比較を示している。標準画像解析による誤差が0.46%であるのに対し、高精度画像解析では0.08%と格段に精度が向上していることがわかる。

## 5. まとめ

銀行やコンビニエンス・ストア等に設置されている監視用カメラの画像記録を利用することで、強震動を同定する際の可能性について検討するため、監視用カメラを1層フレームの天井部に完全に固定した状態で振動台実

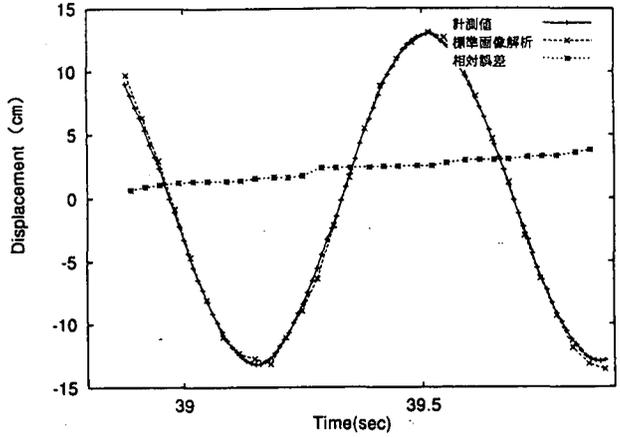


図-6 標準画像解析結果と計測値の比較

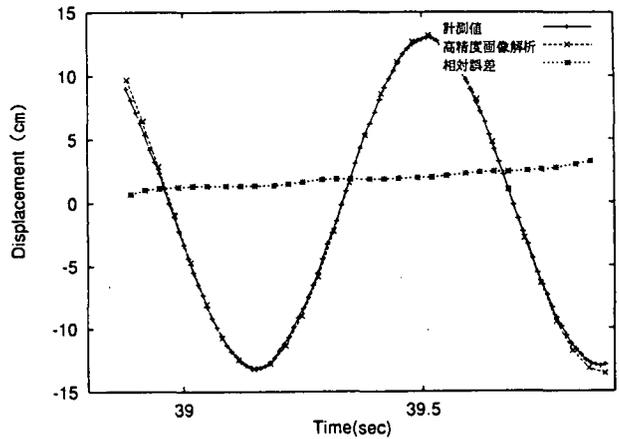


図-7 高精度画像解析結果と計測値の比較

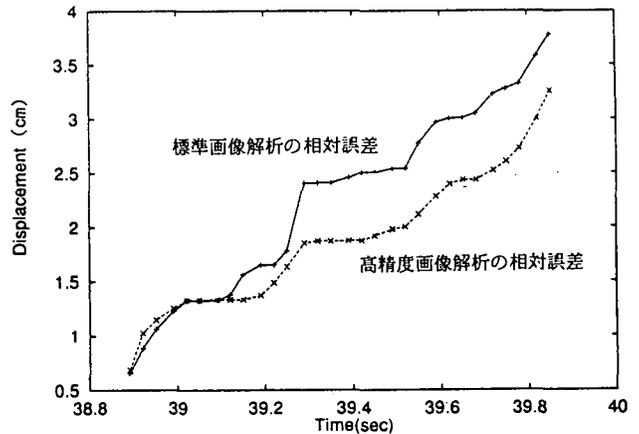


図-8 標準画像解析と高精度画像解析の精度比較

験を実施した。その結果、カメラ部の振動加速度が10~100gal、周波数が10Hz程度以下で変調する振動に対して、相対誤差が0.1~0.01%程度の精度で計測できることを確認した。

今回の振動台を用いた基礎実験では、画像の中の十分な数の標点の揺れが与えられることで、カメラ部分の振動が逆解析できることが確認されたが、一般の監視用ビデオカメラの画質は必ずしも高くなく、測定精度が落ちる可能性が高い。今後は、画像解析から得られた揺れに誤差が含まれる場合でも、高精度でカメラの振動が逆解析できる手法を確立することが課題である。

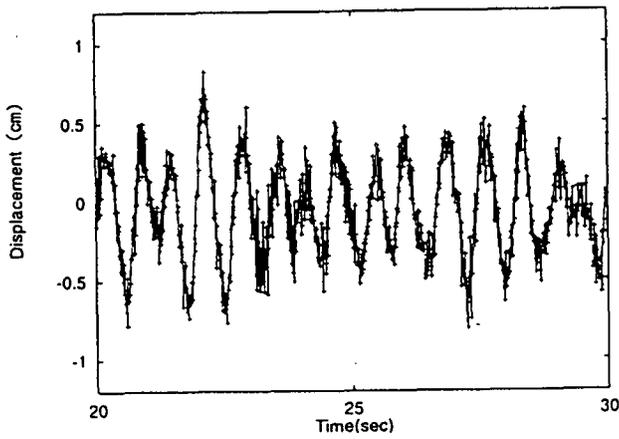


図-9 加速度データの積分による変位波形

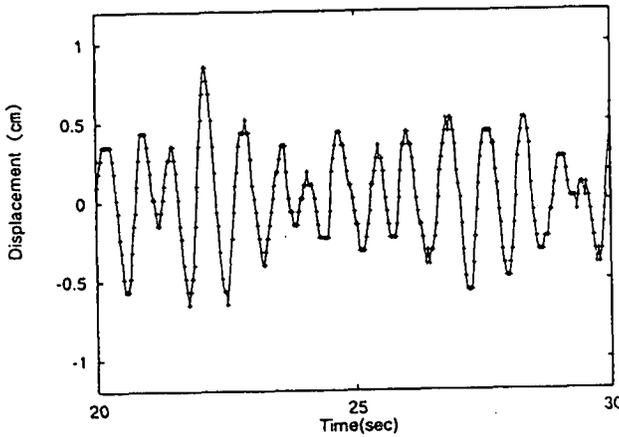


図-10 標準画像解析による変位波形

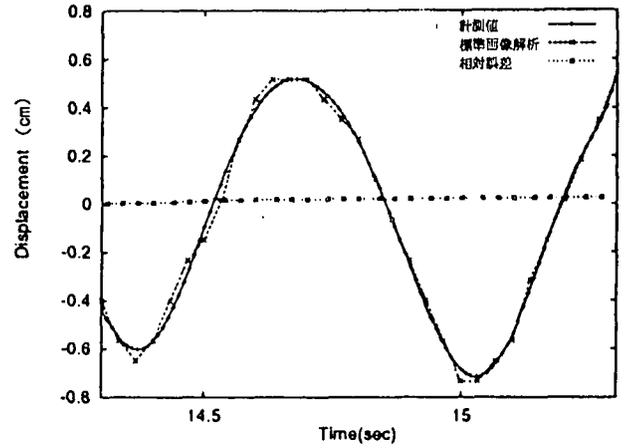


図-11 標準画像解析結果と計測値の比較

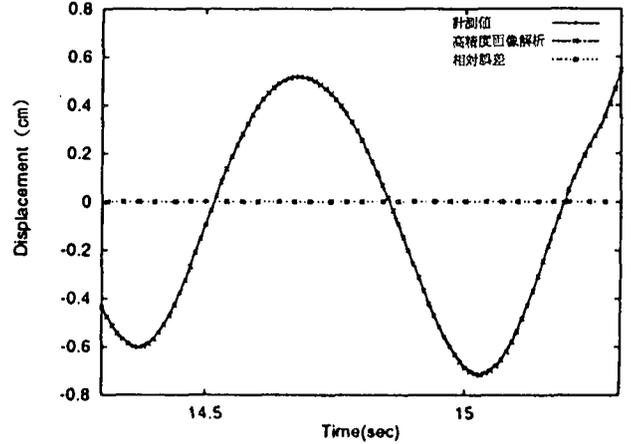


図-12 高精度画像解析結果と計測値の比較

参考文献

- 1) 安達修一、後藤寛英、堀 宗朗：ビデオ画像を用いたジオテキスタイル盛土滑り面の応力-ひずみ関係の逆解析、第31回地盤工学研究発表大会、pp.15-16、1996.
- 2) 安達修一：ジオテキスタイル盛土の崩壊過程の高精度画像解析と構成則の逆解析、東京大学工学部土木工学科卒業論文、1996.
- 3) 河田、科学計測のための画像データ処理、1994. など
- 4) 大堀道広・奥田 暁・若松邦夫・安井 譲：コンクリート防犯カマが記録した1994年10月4日北海道東方沖地震、地震第48巻、pp.423-427、1995.

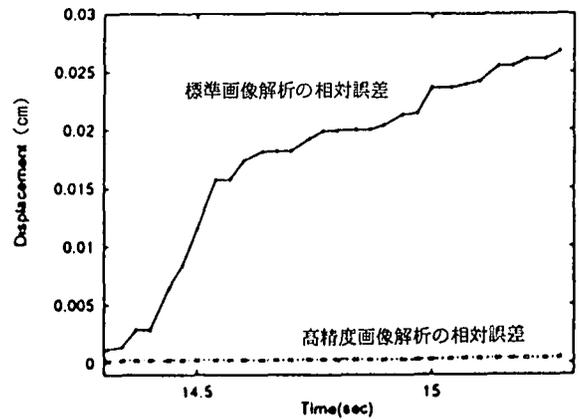


図-13 標準画像解析と高精度画像解析の精度比較