

# 画像記録を利用した地震動同定システムの基礎検討

須藤 敦史<sup>1</sup>・掘 宗朗<sup>2</sup>・斉藤 芳人<sup>3</sup>

- <sup>1</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)  
<sup>2</sup> 正会員 工学博士 東京大学助教授 地震研究所 (〒113 東京都文京区弥生1-1-1)  
<sup>3</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)

一般に強震振動は比較的狭い範囲で変わることが指摘されており、構造物の被害はその地点によって大きな差を生じる。加えて、既存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必要となる。一方、現在の強震観測点は限られた点に設置されておりどの程度の地盤震動が実際にあったかは、構造物の被害調査やアンケート調査等の定性的な状況から推定をせざるを得ないのが現状である。このような状況下、狭い範囲で強震観測点を補間し定量的かつ経済的に地震動を同定する手法の開発が必要となる。本研究は監視用カメラ等の画像記録に着目し撮影された画像記録より地震動を同定するシステムの基礎検討を行ったものである。

**Key Words:** Ground Motion, Geographic Information System, Video Records, Seismic Intensity Estimation, Input Identification .

## 1. はじめに

### (1) 背景

一般に強震振動は地盤の不均質性や地質構造が複雑などの理由により、比較的短い距離で大きく変わることが指摘されており、その典型的な例として兵庫県南部地震では神戸市内に震度7の狭い帯状地域が現れている。加えて、この地域では構造物の被害に大きな差を生じているにもかかわらず、強震観測点がほとんど無かったため強震観測記録はほとんど得られていない。

一方、既存構造物の耐震性能や都市防災を考える際には、このような狭い地域における地盤の震動特性やその分布を評価することが必要となる。しかし、現在の強震観測点は限られた点に設置されているため、実際には狭い地域でどの程度の地盤震動があったかは構造物の被害調査<sup>1)</sup>、<sup>2)</sup>・墓石の転倒状況調査<sup>3)</sup>やアンケート調査<sup>4)</sup>、また最近ではコンビニエンスストアの防犯カメラに記録された物の動きや人間の行動を気象庁の震度階に照合して推定する試み<sup>5)</sup>が行われているが、いずれも定性的な状況から強震動を推定せざるを得ないのが現状である。

このような状況下、狭い範囲で強震観測点を補間して、経済的にかつ密に強震動を観測するネットワークの構築と定量的に強震動を同定する手法の開発が重要な課題となる。

### (2) 対象およびその特徴

このように経済的にかつ密に強震観測点を補間する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等の画像記録装置とその画像記録が考えられる。この装置を利用することにより、特別なハードウェアの新たな設置は必要なく都市内において密な強震観測ネットワークを構築することが可能となり、加えて維持管理に手間をかけずに常時の観測が行えることが利点となる。ここで監視用カメラ等の画像装置および画像記録を用いた強震観測ネットワークの特徴を以下に示す。

### 有利な点

- 1) 強震観測点に比べて設置間隔が狭く、特に都市部においては密に現存する。
- 2) 特別な機器の設置は必要なく、メンテナンス費用もほとんどかからない。
- 3) 画像として記録するため、事後においても正確な再現(再生)が可能である。
- 4) 店舗によっては24時間記録している。
- 5) 定量的な強震動推定の可能性を有し、加えて被写体の振動や動きにより定性的な検証も行える。

### 不利な点

- 1) 画像を記録しない場合、もしくは営業時間のみの場合もある。
- 2) 画像が短期間で消去される場合や保存期間がある。
- 3) 電源が遮断された場合には記録が残らない。
- 4) 記録装置を保有する店舗もしくは企業の協力が必要となる。

上記のように、本ネットワークはあくまでも既存装置の

利用を前提としているため、解決しなければならない問題点も多く、かつ現在の強震観測点を補間するシステムとなるが、防災上の観点からも特に都市内にこのような強震動の観測ネットワークを設ける意義は高いと思われる。

(3) 研究目的

一方、本ネットワークでは既存の監視用カメラの記録を利用するため、画像から強震動を同定するシステムの開発とその同定精度が重要となる。

そこで本研究では画像記録より強震動を同定する解析システムの基礎検証を試み、加えて本システムの実用性に対する考察を行った。

2. 地震動同定の基本原理

本解析システムにおける強震動の同定は以下に示すように二つの解析より構成される。ここで、基本概念図をFig. 1に示す。

- 1) 画像記録の揺れから監視用カメラ振動の同定
- 2) 監視用カメラ振動の同定値から建物の入力振動の同定

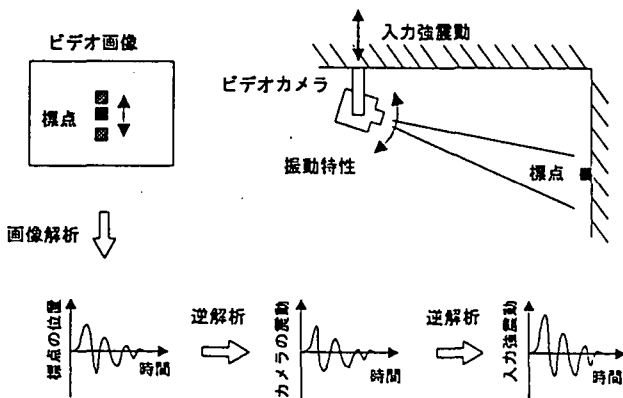


Fig. 1 ビデオカメラによる強震動同定の概念図

解析1) 建物の振動によって監視用カメラもしくは被写体が揺れることより、被写体の振動が画像に記録される。そこで、画像中の明暗がはっきりした物や柱、梁のコーナー部など画像のコントラストが明確な着目点(以下標点と呼ぶ。)に対して、Fig. 2に示すようにピクセル(付録1)単位で数値化(6)する二値化処理(付録2)をおこない特定のパターンを抽出する。

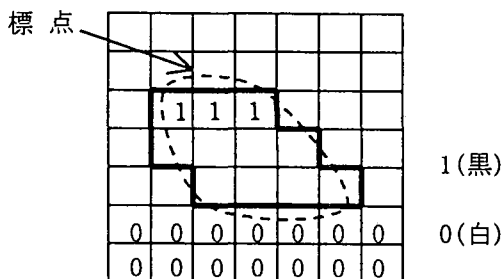


Fig. 2 画像の二値化

次に、一般には監視用カメラの画像は1秒間に30枚の画像(0.033sec間隔)が撮影されることより、各画像に対して二値化した標点パターンのマッチングを行い、各画像(画像フレーム)において標点の重心もしくは境界の移動量を順次求めて行く。

最後に、求めた各移動量を時間方向にプロットして行くことにより監視用カメラの時刻歴変位波形が得られることになる。

解析2) Fig. 3に示すように得られた監視用カメラの時刻歴変位波形から、数値解析によりその建物への入力地震動の同定(7)を実施して建物の入力地震動を推定する。

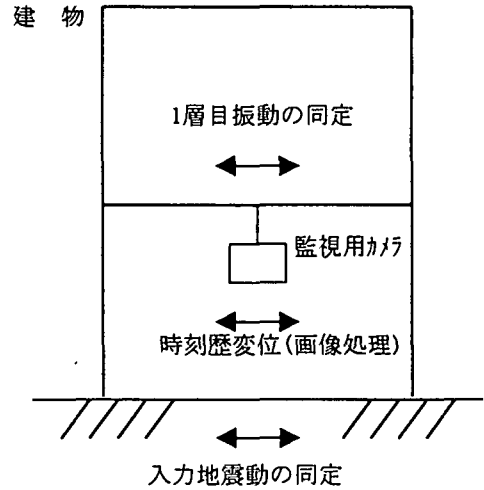


Fig. 3 建物の入力地震動同定

以上の手順を他の地点で得られた監視用カメラの画像に対して行うことにより、強震動の定量的でかつ密な同定を行うシステムが構成できる。

加えて、得られた地震動の推定値より補間理論等を用いることで地盤震動の分布推定(8)も可能となる。

3. 解析における精度向上の検討

前記のように、本解析システムは監視用カメラの画像記録から強震動を同定するため、画像解析が同定精度に対して重要な位置を占めている。そこで本節では画像処理における精度向上のための基礎検討(9), (10)を行った。

通常、画像解析による被写体変位の最小計測単位は、ビデオ画像の1ピクセルに対応する実像の寸法となる。加えて、Fig. 2からも分かるように画像を二値化する際に境界設定に誤差が生じる。

そこで計測精度を向上させるには画像の撮影倍率を変化させることも考えられるが、この方法を用いるのは容易でなく、本システムはあくまで既存の監視用カメラを用いることを前提としているため、解析を行う上で汎用的かつ簡便な方法を考える。

そこで記録された画像が連続的に撮影されると仮定して統計処理によって計測精度の向上を計る方法を試みる。

簡単のため、一つの標点におけるx方向変位の画像解析を例として精度向上の方法を説明する。

この標点を含む画像がある時間内でN枚の画像フレームが取り込まれると仮定する。まず、解析ではそれぞれの画像フレームについてx方向の移動量kはピクセル画像のピクセル単位で読み取られる。この読み取り量がイメージデータに変換される際に打ち切り誤差(二値化の境界設定誤差)が含まれる。

次に、全画像フレームで得られた時刻tと標点の移動量kの関係をプロットして時刻歴変位波形が得られるが、イメージデータ変換の際に境界設定の誤差が含まれるため、滑らかな波形は得られるとはかぎらない。そこで複数の画像フレーム(時刻歴変位波形の数点)を用いて、t-kの関係を滑らかな関数で近似する。

したがって、上記より明らかなように平滑化されたt-kの関係が真のt-kに近ければ移動量kの解析精度は向上することになる。

そこで平滑化されたt-kの関係が真のt-kの関係にどの程度近づくかが検討課題となる。

簡単な数値シミュレーションからTable. 1, Fig. 4に示すような検証結果が得られている。

Table. 1 画像解析による標点移動量の誤差推定

標点の移動量	必要なフレーム数	変位量の推定精度
1ピクセル	57フレーム以上	0.4ピクセル
2,3ピクセル	10~157フレーム以上	0.2ピクセル
4ピクセル以上	207フレーム以上	0.1ピクセル

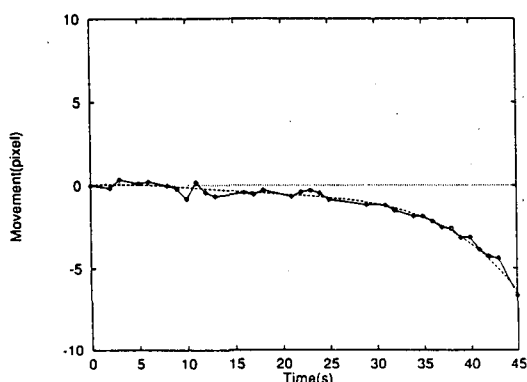


Fig. 4(a) 画像解析によるx方向変位の解析精度

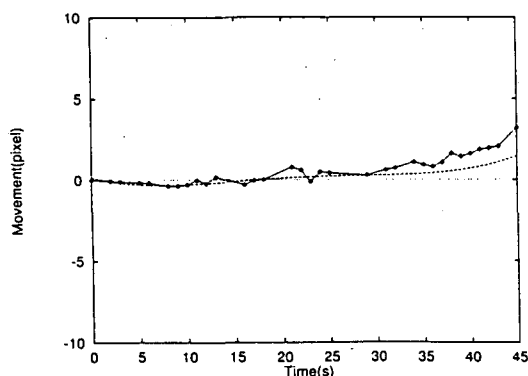


Fig. 4(b) 画像解析によるy方向変位の解析精度

Table. 1, Fig. 4より、平滑化されたt-kの関係では、移動量kの尺度は画像の最小単位1ピクセルよりも小さくなっているため、時刻歴変位量の解析精度向上が期待され、この平滑化に利用される画像フレームの数が多いほど、かつ標点のピクセル単位の移動量が多いほど、平滑化された関係が真のt-kの関係に近づくことが予想される。

#### 4. 画像の基礎解析例

ここで、本システムの基本性能を検証する目的で振動台実験を実施し、画像解析により監視用カメラの変位量算定を行った。

実験は振動台にせん断型1層フレームを設け、フレーム直交方向にコイルバネを介したプレスを配置し天井部の変位量を大きくなるように設定している(固有周期0.73sec)。加えて、フレーム天井に取り付け金具により監視用カメラを固定して画像直角方向に正弦波で加振している。ここで監視用カメラに加速度計を設置し、解析精度の検証を行った。

画像解析により求めた監視用カメラの変位量をFig. 5に示し、加えて、監視用カメラに設置した加速度計の値より数値計算で求めた値を加えたものをFig. 6に示す。

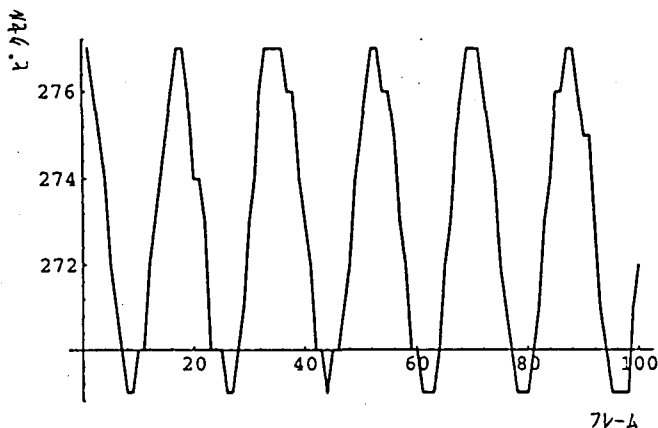


Fig. 5 画像解析による監視用カメラの変位量

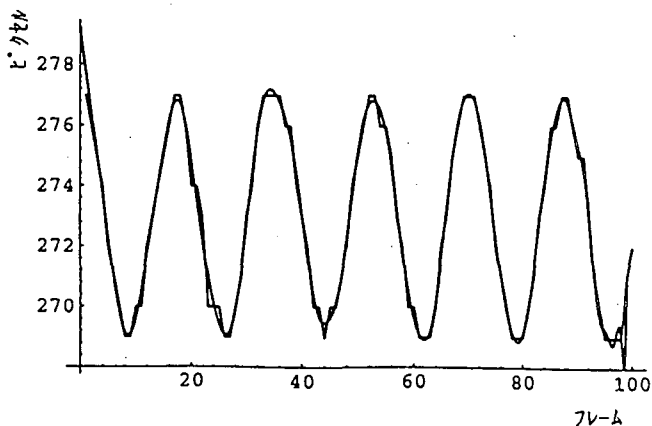


Fig. 6 画像解析による変位量と計測変位量

Fig. 5, 6より、加速度計より求めた変位量(正弦波形)と解析変位量は一致しており、本画像解析により監視用カメラの時刻歴変位量の同定は可能である。

## 5. 結論

本論文では経済的にかつ密に強震動を観測するネットワークの構築と定量的に強震動を同定する手法の開発を目的として、監視用カメラ等の画像装置に着目し、その画像解析に関する基礎検討を行った。

本システムでは解決しなければならない課題は多いが、この考え方をを用いることにより特別なハードウェアの新たな設置は必要なく、都市内において密な強震動の観測ネットワークを構築することができると考える。加えて、強震動の定量的な同定が可能になると思われる。

現在、実用化に対する種々の問題を解決すべく振動台実験を実施し、研究を継続中である。

付録1:ピクセルは画像を構成する最小単位であり、これが2次元的に集まったものをデジタル画像と呼ぶ。

付録2:二値化処理は文字・図形などの認識などの前処理として用いられ、あるしきい値よりも小さい階調値を持つ画素(ピクセル)を0(黒)、大きい階調値を持つ画素を1(白)にする処理である。

## 参考文献

1) 緑川光正・長谷川 隆・向井昭義・西山 功・福田俊文・山内 泰之:1995年兵庫県南部地震における特定地域の鉄骨構

造建物被害調査, 建築学会, 構造系論文集, 第493号, pp.115-120, 1997. など

- 2) 林 康裕・宮腰淳一・田村和夫・川瀬 博:1995年兵庫県南部地震の低層建物被害率に基づく最大地動速度の推定, 建築学会, 構造系論文集, 第494号, pp.59-66, 1997. など
- 3) 岩下友也・中村 昭・松本徳久・横山真至:兵庫県南部地震における基石転倒調査による断層近傍の地震動特性, 土木学会, 阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集, pp.17-21, 1996. など
- 4) 大堀道広・奥田 暁・若松邦夫・安井 譲:コンピュータを対象としたアンケート調査の試み, 建築学会, 構造系論文集, 第478号, pp.71-79, 1995. など
- 5) 大堀道広・奥田 暁・若松邦夫・安井 譲:コンピュータの防犯カメラが記録した1994年10月4日北海道東方沖地震, 地震, 第48巻, pp.423-427, 1995.
- 6) 安居院 猛・長尾智晴:画像の処理と認識, 昭晃堂1996. など
- 7) 須藤敦史・星谷勝・柳河勇:絶対対応波形を用いた入力地震動およびパラメータ同定, 構造工学論文集, Vol.41A, pp.709-716, 1995.
- 8) 齊藤芳人・上代悟史:関東平野の揺れ易さについて-最大加速度値による検討-, 建築学会, 強震データの活用に関するシンポジウム-強震データベースの現状と共同利用の試み-, pp.67-72, 1995.
- 9) 安達修一:シオ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, 東京大学工学部卒業論文集, 1996.
- 10) 安達修一・後藤寛英・掘 宗朗:ビデオ画像を用いたシオ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会, pp.15-16, 1996.

## A BASIC CONSIDERATION ON THE SEISMIC INTENSITY ESTIMATION AND INPUT IDENTIFICATION USING VIDEO RECORDS

Atsushi SUTOH, Muneo HORI and Yoshihito SAITO

In this study consists of the following two topics, one is a basic consideration on the observation and estimation network for seismic intensity during earthquake, and the other is identified for a seismic input excitation using video records.

In the former study, the visual devisees in convenience store's and similar kind of devisees which are used for seismic intensity observation network in ground motion, because of this kind of devisees is usually located at the short distances and open until late night or 24 hour in a day, and the seismic intensity will be evaluated accurately.

In the latter one, the estimation of seismic intensity during earthquake which was developed with the visual analysis from video records in order to identify unknown input ground motion.

Finally, numerical examples are worked out to demonstrate the usefulness of this system in identification of the input ground motion and estimation of seismic intensity.