

ビデオカメラの画像記録を用いた強震動の同定

An identification of strong ground motion using video records

(株) 地崎工業 土木技術部 ○正会員 須藤 敦史(Atsushi SUTOH)
 東京大学 地震研究所 正会員 堀 宗郎(Muneo HORI)

1. はじめに

構造物の耐震性能や都市防災の観点から狭い範囲における地震動特性の把握は重要であるが、現在の設置間隔では被害調査^{1),2)}など、事後調査を待たなければならないのが現状である。

このような状況下、観測装置の増設を必要としない高密度な観測網と簡便な解析手法の開発が必要となってくる。

そこで、銀行やコンビニエンス・ストアに設置されている防犯用ビデオカメラの記録画像の利用³⁾が考えられる。これらの利用により新たな観測機器の設置を必要としない高密度観測網が構築でき、同時に維持管理コストを掛けない観測が可能となる。

本研究では高密度な強震観測網の構築を目標として、実際の地震で得られた画像記録の解析を行い手法の妥当性と適応性の検討を行っている。

2. 監視用カメラによる地震観測

ビデオカメラを地震観測機器とした場合の特徴を以下に示す。

a) 有利な点

- 1) 設置間隔が狭く、特に都市部では高密度で現存している。
- 2) 設置費用や維持管理の経費がかからない。
- 3) 正確に再現ができ、店舗によっては24時間記録している。
- 4) 物や人の振動や動きなどにより定性的な検証も行える。

b) 不利な点

- 1) 営業時間のみでの記録や静止画像、また保存期間もある。
- 2) 電源が遮断された場合には画像記録は残らない。
- 3) 店舗もしくは企業の協力が必要となる。

また、画像の解析方法は表-1に示す3通りが考えられる。

表-1 各観測方法の特徴

観測方法	有 利 な 点	解 析 条 件
標点観測	特別な装置不要	建物・カメラの振動特性
振り子観測	簡単な装置	建物・振り子の振動特性
センサー観測	高感度、高性能	センサーの開発

(1) 標点解析

標点解析(図-1)は、任意の標点(コントラストの明確な部分)の動き(カメラ角の相対的)から強震動の同定を行う最も簡単な方法である。しかし建物、カメラ・金具等の振動特性の影響を受ける。

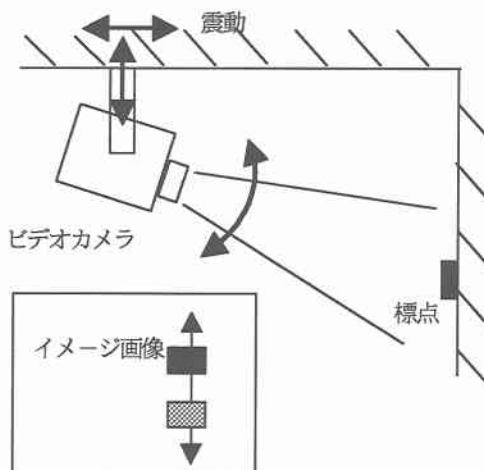


図-1 標点観測の概念図

(2) 振り子解析

振り子解析(図-2)はカメラ前面の適当な固有周期を有する振り子の揺れを映像から追うものである。この方法でも建物、振り子の振動特性が明確でないと正確な同定は難しいが、低コストな手法である。

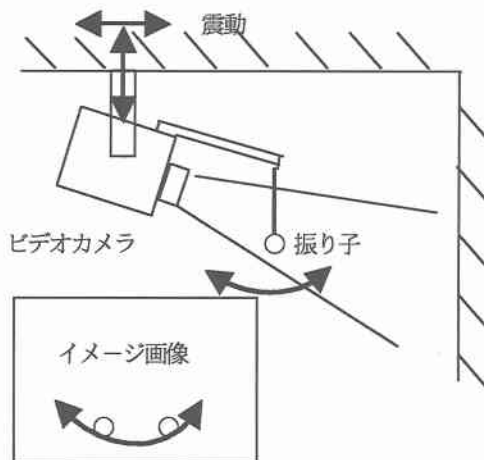


図-2 振り子観測の概念図

(3) センサー (音声トラックに記録)

簡易センサーを設置して観測するものであり、高精度な観測が可能となるが、現在開発（実証実験）中であるため、本論文においては省略する。

以上、既存装置を利用により高密度・低コストかつ定量的な強震観測が可能となる。

3. 画像処理

画像処理よりカメラや振り子の変位を定量化し、さらに処理変位から強震動（速度もしくは加速度）を同定する。

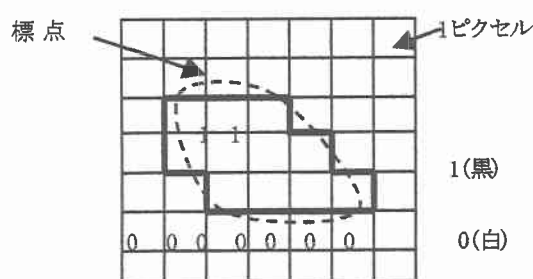


図-3 画像の数値化

揺れの定量化(図-3)は、ピクセル単位で数値化⁴⁾(二値化・RGB処理)により特定のパターンを抽出する。一般にホームビデオのカメラは1秒間に30枚の画像(0.033sec間隔)を撮影しており、これを静止画像に分解してパターンの重心や境界におけるピクセル単位の移動量を変位に変換する。次に求められた各変位を時間方向にプロットして標点や振り子の時刻歴変位波形を得る。

4. 標点解析による地震動(速度)の同定



写真-1 ビデオ画像と標点

鳥取県西部地震(2000年10月6日)においてスーパーマーケット
(米子市付近)の防犯用ビデオカメラで記録された地震動の静止
画像を写真-11に示す。

ここで画像左上のショーケース角を標点として求めたカメラの揺れ角の時刻歴波形を図-4に示す。図-4より、強震動が1.3secから観測されており、また約1.5secでカメラ軸がずれている。

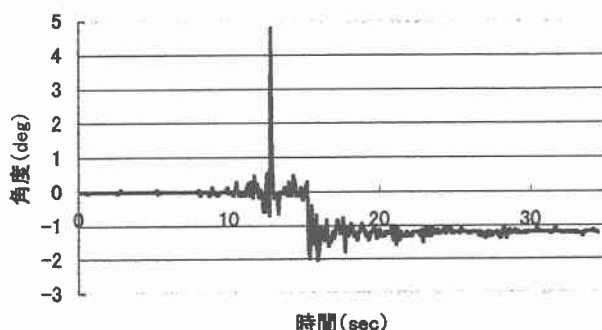


図-4 カメラの揺れ角波形

次にカメラの揺れ角を式(1)時刻歴変位 (x_i, y_i) に変換する。

(詳細は文献5) 参照)

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} = d \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \csc \theta - \csc \theta_i \\ \csc \phi - \csc \phi_i \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで (θ, ϕ, φ) はビデオカメラのローリング, ヨーイング, ピッチングと i : 時間であり, 得られた時刻歴変位 (x_i, y_i) から式(2)を用いて地震動の速度波形を求める。

$$v_{x,y}(t) = (x_{i+1}, y_{i+1}) - (x_i, y_i) / \Delta T \quad (2)$$

標点から得られた速度の時刻歴波形を図-5に示す。

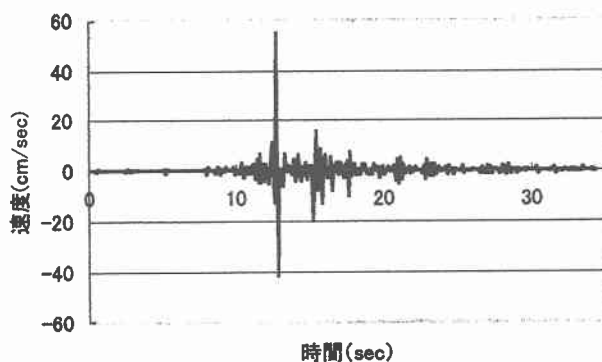


図-5 同定された強震動 (G速度)

表-2 気象庁の震度階

震度階級	加速度 (cm/s ²)	速度 (cm/s)
5弱 強震	80～250	12.6～39.8
5強 強震		
6弱 烈震	250～400	39.8～63.7
6強 烈震		
7 激震	400以上	63.7以上

ここで、米子周辺では最大加速度400gal程度の地震動が観測 (K-NET) されており、表-2に示す気象庁の震度階における加速度と速度の関係から得られた最大速度40～50cm/s(kine)はほぼ妥当な同定値が得られている。

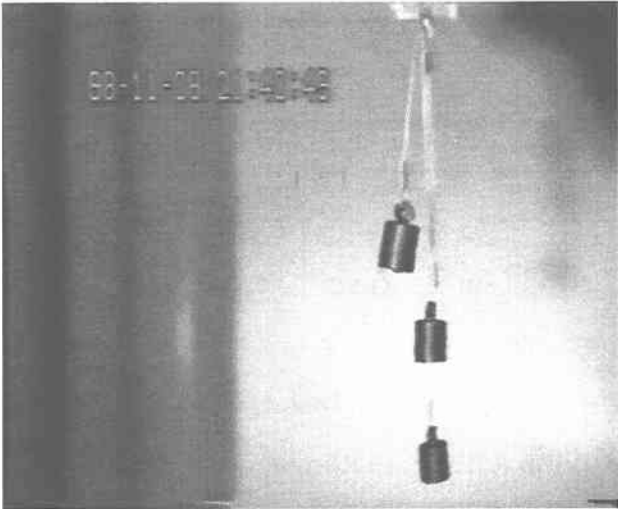


写真4 振り子の解析画像

5. 振り子観測による地震動（加速度）の同定

写真-2に示す実地震で記録された振り子の揺れから最大加速度と加速度の時刻歴波形の同定を行った。

振り子（1自由度系）の近似運動方程式を式（3）する。

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = -ma(t) \tag{3}$$

式（3）を式（4），（5）により変換すると式（6）が得られる。

$$\frac{k}{m} \equiv \omega_0^2 \tag{4} \quad , \quad \frac{c}{m} \equiv 2\beta\omega_0 \tag{5}$$

$$\ddot{u}(t) + 2\beta\omega_0\dot{u}(t) + \omega_0^2u(t) = -a(t) \tag{6}$$

β :減衰定数、 ω :振り子の固有振動数、 $a(t)$:入力加速度
いま、振り子の固有振動数 ω_0 が既知とすると変位 $u(t)$ は得

られるため、加速度 $a(t)$ は式(6)より求められる。また、静止画像から時刻 ΔT 毎の変位ベクトル $\{u_i\}(i=1,2,\cdots N)$ から加速度 $\ddot{u}(t)$ は式(7)より得られる。

$$\ddot{u}(t) = \frac{u_{n+1} - 2u_n + u_{n-1}}{\Delta T^2} \tag{7}$$

振り子から得られた変位の時刻歴波形を図-6に示す。

振り子の揺れから時刻歴加速度波形の同定において、応答変位波形における各変化点の近傍をsin波形に近似させて、同定解析の精度と解析の簡略化を図る。

ここで振り子の変位より同定した加速度時刻歴波形と観測された地震計の加速度波形を図-7および解析結果を表-3に示す。

図-7より、画像解析により得られた加速度の最大値および波形のおおよその形状は以ているが細部において異なっている。

また、表-3より糸の長さが中間の振り子と長い振り子における最大加速度の同定値はほぼ適当な値が得られている。

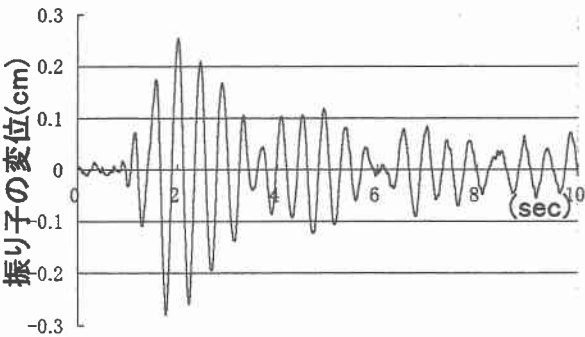


図-6 振り子の時刻歴変位波形（中）

表-3 解析結果の比較

振り子長(cm)	長(9.1)	中(6.2)	短(4.1)
ω_n (rad/sec)	10.38	12.57	15.46
β	0.01	0.001	0.001
最大入力加速度			
同定値(gal)	21	30	-
地震計			
約 30			
最大入力加速度時の周波数			
同定値(Hz)	1.6	2.2	-
地震計			
2.3			

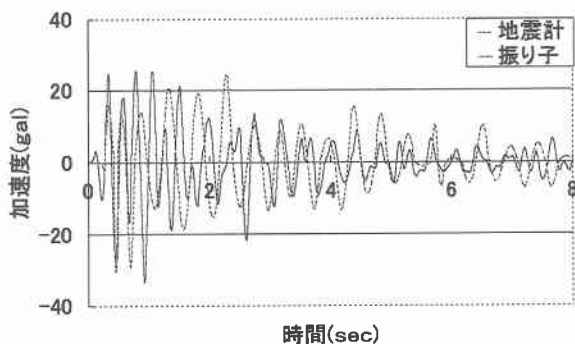


図-7 地震計と振り子の加速度

ここで、波形の周期特性を検証する目的で、振り子の画像解析と地震計により得られた地震入力加速度を高速フーリエ変換した結果を図-8に示す。

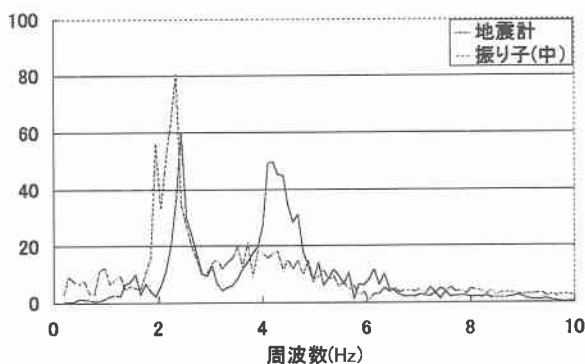


図-8 周波数領域での比較

ここで最大加速度は地震計の観測値より大きい値が得られているが、周波数は最大加速度時の周波数においては若干の誤差は有しているもののほぼ適当な値が得られている。

また、糸の短い振り子は共振の影響を受けたと考えられ、妥当な同定値を得ることはできなかった。

6. まとめ

本研究はビデオカメラの記録画像から定量的に地震動の速度や加速度を同定する手法の開発を目的として、標点および振り子解析の基礎検討を実地震における画像記録を通して行い、同時に振り子解析では作用した地震加速度の時刻歴波形の同定を試み、以下に示す結論が得られた。

- 1) 標点の解析では、ほぼ妥当な入力地震動の最大速度が同定される。

- 2) 振り子の解析では、地震動の時刻歴加速度波形の厳密な再現までには至らなかったが、最大加速度は表点の解析と同様に定量的にほぼ妥当な入力地震動の最大加速度は同定できることが判明した。

- 3) 以上より、防犯用ビデオカメラの画像記録を利用することにより、簡単な強震観測と簡略化した解析システムが構成でき、加えて狭い範囲における地震動および震度の定量的な同定が可能を広げたとと言える。

- 4) この簡易強震観測・解析システムは初期投資・維持管理費を必要としない高密度な地震観測網として十分機能するものと考えられる。

最後に、今後の課題として時刻歴速度および加速度が再現できる簡易センサーによる観測装置の開発および都市防災(狭い範囲における強震動・震度の補間)への応用を行う予定である。

謝 辞

鳥取県西部地震の記録画像を提供して頂いたNHK報道局(おはよう日本) 執行文子ディレクター、ならびに北九州放送局放送センター記者小林健一氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 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
- 2) 尾崎竜三, 高田至郎, 嘉島宗志, 河村雄一郎: 観測記録にもとづく兵庫県南部地震の地域最大加速度・速度分布とアンケート震度, 土木学会第52回年次学術講演会, I-B423, pp.844-845, 1997. など
- 3) 須藤敦史, 堀 宗朗, 齊藤芳人: 画像記録を利用した地震動同定システムの基礎検討, 第24回地震工学研究発表会, A8-1, pp.229-232, 1997.
- 4) 安居院 猛, 長尾智晴: 画像の処理と認識, 昭晃堂1996. など
- 5) Muneo Hori, Atsushi Sutoh and Yoshito Saito: Strong Motion Measurement using Security Video Cameras, Journal of Structural Mechanics and Earthquake Engineering, J.S.C.E., Vol.17, No.1, pp.47s-57s, 2001.