

# (VI-39) ビデオカメラの画像記録を利用した地震動の同定に関する基礎的検討

武蔵工業大学 学生会員 佐藤 大介 (株)地崎工業 正会員 須藤 敦史  
東京大学地震研究所 正会員 堀 宗朗 前田建設工業(株) 正会員 斉藤 芳人

## 1. はじめに

強震振動は地盤の不均質性などの地質構造の増幅特性の複雑さから 10~100mのオーダーで変化する。そのため、構造物の耐震性能や都市の防災機能を強化する際には、狭い範囲における地盤の振動特性やその分布を把握する必要がある。しかし強震計は数多く設置されていないなどの理由により、狭い範囲における地振動は構造物の被害調査やアンケートなどの定性的な調査によって震度として推定されることが多い。そこで経済的かつ高密度な強震観測ネットワークとして、コンビニエンスストアなどの防犯カメラの画像記録から入力地震動を推定する手法が提案されている<sup>1), 2)</sup>。本研究では強震計の近傍(2~3m)にビデオカメラを設置した地震観測で得られた画像記録の解析を通して地震動の同定に関する基礎検討を行っている。

## 2. 防犯カメラ(振り子)を用いた強震観測手法

本システムは既存装置の利用を前提としているため、経済的なメリットは大きい。問題点も多く抱えている。しかし、現在の強震観測ネットワークを補完するシステムであることを考慮すると、防災上からも都市内にこうしたネットワークを構築する意義は高いと思われる。本研究で扱うシステムは図-1に示すように、カメラに取り付けた適当な固有周期を持つ振り子(3つ)の動きを画像から地振動の推定を行うものである。ここで、振り子は本来の目的である室内の監視を妨げないもので、かつ、背景と一体化しない色を選定する必要がある。

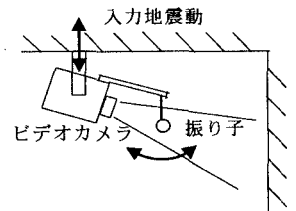


図-1 振り子観測の概念図

## 3. 地震動の逆解析

防犯カメラの画像記録から入力地震動を同定するには、ビデオ画像の振り子の動きを同定する画像解析と、同定された振り子の動きから入力地震動を推定する逆解析の2段階の解析が必要となる。ここで逆解析の妥当性を検証するために、強震計の記録データを用いて振り子の変位を算出する順解析を行った結果、図-2、図-3に示すように、両者の変位波形は周期に若干の誤差は生じるものの、ほぼ一致している。

### (1) 画像解析

解析はRGB処理した画像にパターンマッチングを適用し、各振り子の重心の移動量を求め、時刻歴変位波形を推定する。

### (2) 逆解析

振り子の運動方程式は(1)式で与えられる。

$$\ddot{\theta} + \omega_0^2 \sin \theta = a(t) \quad \text{--- (1)}$$

$\theta$  : 振り子の変位角,  $a(t)$  : 入力加速度,

$\omega_0^2$  : 振り子の固有周期

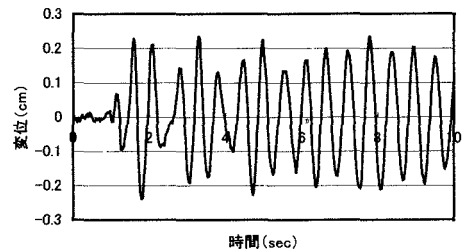


図-2 画像解析による応答変位

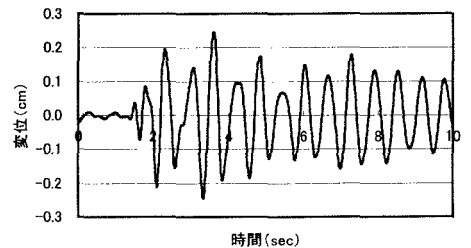


図-3 順解析による応答変位

Key words : ビデオカメラ, 画像解析, 振り子, 地震波形の同定, 震加速度推定  
連絡先 : 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 03-3703-3111

逆解析の簡略化のため、図-2 の画像解析による応答変位の最大部分 1 波を抽出し、最大変位を振幅とした sin 波形に近似する(図-4)。また本研究では(1)式を基本とした 2 つの逆解析法による  $a(t)$  の推定を検討している。手法①は画像解析から算出された振り子の水平方向の変位:  $u(t)$  を用いて(1)式を 1 自由度系単振動の運動方程式と仮定する方法である。手法②は  $u(t)$  を  $\theta(t)$  に置換し、(1)式に代入して  $a(t)$  を推定する方法である。共に  $\theta$  は微小なため、近似式を用いている。

手法①: (1)式を(2)式、(3)式で近似すると式(4)が得られる。

$$\sin \theta \doteq \frac{u}{L} \doteq \theta \quad \text{---(2)}$$

$$\ddot{\theta} \doteq -\sin \theta \doteq -\frac{\ddot{u}(t)}{L} \quad \text{---(3)}$$

$$\frac{1}{L}(-\ddot{u}(t) + \omega_0^2 u(t)) = a(t) \quad \text{---(4)}$$

手法②: (1)式を(5)式、(6)式で近似すると式(7)が得られる。

$$\theta(t) \doteq \sin^{-1}\left(\frac{u}{L}\right) \quad \text{---(5)}$$

$$\ddot{\theta}(t) \doteq \frac{\theta(t+1) - 2\theta(t) - \theta(t-1)}{\Delta t^2} \quad \text{---(6)}$$

$$\frac{\theta(t+1) - 2\theta(t) - \theta(t-1)}{\Delta t^2} + \omega_0^2 \sin \theta(t) = a(t) \quad \text{---(7)}$$

以上、画像解析から振り子の  $u(t)$ 、 $\theta(t)$  を求め、式(4)、(7)より入力加速度:  $a(t)$  の推定を行う。

#### 4. 解析結果・まとめ

実際に東京都内で観測された地震データ(強震計, 画像記録)より求められた推定入力加速度をそれぞれ図-5、図-6 に示す。加えて、最大加速度および震度を表-1 に示す。表より、糸の長さが中間(6.2cm)のもの長い振り子(9.1cm)は、若干の誤差を有しているが、ほぼ適当な値が得られた。ここで、糸の短い振り子(4.1cm)の推定誤差が極端に大きいのは共振の影響によるものと推測される。

また、手法①では実際の加速度より小さい値が、手法②ではほぼ等しい値が得られたことにより、手法②の妥当性が検証されたと言える。以上の結果より、入力地震動の再現までには至らなかったが、入力最大加速度を定量的に推定することができた。したがって、本手法は強震観測ネットワークを補完するシステムとして十分機能するものと考えられるが、地震波形の同定に対する検討が今後の課題となる。

#### <参考文献>

- 1) 須藤敦史, 堀宗朗, 斉藤芳人 : 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.
- 2) 水谷俊夫, 堀宗朗, 須藤敦史, 斉藤芳人 : ビデオカメラを利用した強震計の提案, 第 25 回関東支部技術研究発表会, I-50, pp. 67-68, 1998.

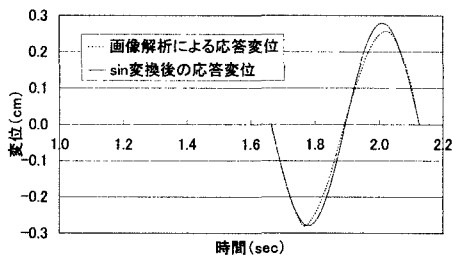


図-4 sin 波形による応答波形の近似

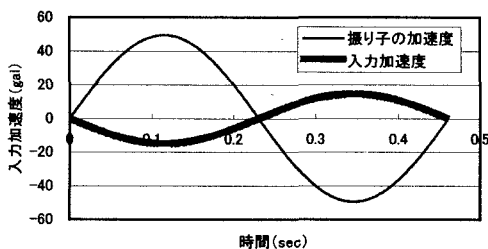


図-5 手法①を用いた加速度の算定

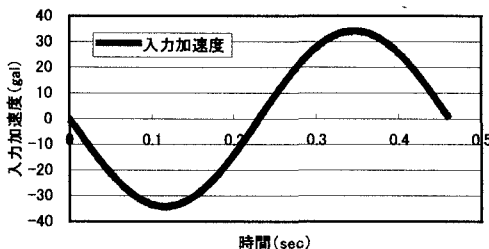


図-6 手法②を用いた加速度の算定

表-1 解析結果の比較 単位: gal

振り子長	長(9.1cm)	中(6.2cm)	短(4.1cm)
手法①	7	15	94
手法②	21	34	159
強震計	約30		
震度	3 (8~25)	4 (25~80)	5 (80~250)

( ): 参考最大加速度