

## 振り子のビデオ画像による地震動の同定に関する基礎検討

(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
武蔵工業大学	正会員	星谷 勝

### 1. はじめに

構造物の耐震性能や都市防災を考える際に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。しかし地震振動は一般に地質構造の不均質性や増幅特性の複雑さから 10～100m のオーダーで変化し、加えて地震計は数多く設置されていないなどの理由により、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地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地震振動を推定する手法<sup>1,2)</sup>が提案されている。本研究では、高層ビル最上階に設置された地震計の近傍にビデオカメラを設置し、実際の地震で観測された振り子の画像記録より地震入力加速度の同定に関する基礎検討を行っている。

### 2. 振り子を用いた地震観測手法

本システムは概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。しかし、問題点も多く抱えている。しかし現在の地震観測網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観測網を密に構築する意義は高いと思われる。本システムは図-1に示すように、防犯カメラに取り付けた適当な固有周期を持つ振り子(3つ)の動きから、画像解析により地震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。

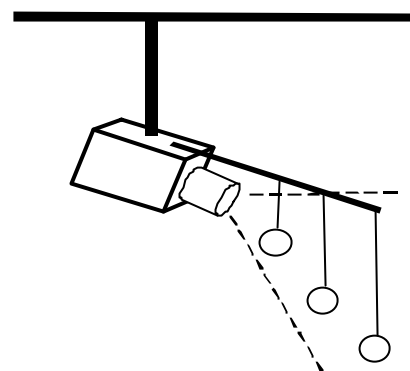


図-1 振り子観測の概念図

### 3. 地震動の画像解析および逆解析

防犯カメラの画像記録から入力地震動を算定するには、ビデオ画像の振り子の動きから変位波形を算定する画像解析と、算定された振り子の変位波形から入力地震動を算定する逆解析の2段階の解析が必要となる。

#### (1) 画像解析

防犯カメラを用いた地震観測ネットワークは、膨大な画像データを解析しなければならないため、解析は可能な限り単純化する必要がある。そこで、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) 画像逆解析

画像による逆解析の簡略化のため、画像解析の応答変位波形をsin波形に近似する。ここで本研究では2つの逆解析法による加速度 $a(t)$ の推定を行っている。

**手法1**：画像解析から算出された振り子の水平方向の変位： $x(t)$ を用いて(4)式を1自由度単振動の運動方程式と仮定する方法である。

**手法2**：(5)式を基本として $x(t)$ を(6)式により $(t)$ に置換し、(6)式に代入して $a(t)$ を推定する方法である。ここで $x(t)$ 、 $(t)$ は微小なため、近似式を用いている。

ここで減衰定数は、衝撃力を与えた時の振り子(3つ)の自由振動を画像解析して得られた応答変位と(4)式に固有振動数および衝撃力を入力加速度して応答変位を求めている。

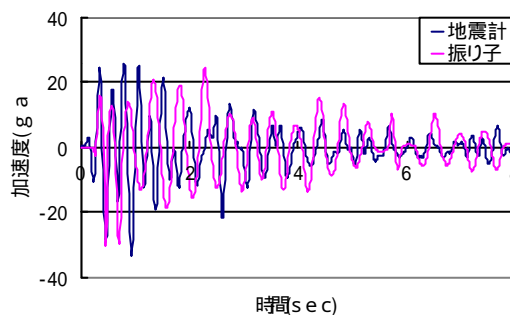


図-2 地震計と手法1による加速度

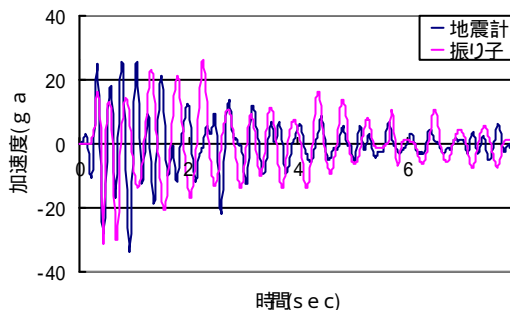


図-3 地震計と手法2による加速度

キ-ワ-ド： 地震動，画像解析，入力同定，簡易地震計，地震観測網

連絡先（〒105-8488 東京都港区西新橋 2-23-1 TEL 03-3592-6955 FAX 03-3502-2646 E-mail 1714@chizaki.co.jp）

手法 : 1 自由度系単振動の運動方程式は式 (1) で与えられる .

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = -ma(t) \quad (1)$$

式 (1) を式 (2), (3) で置換すると式 (4) が得られる .

$$\frac{k}{m} \equiv \omega_0^2 \quad (2), \quad \frac{c}{m} \equiv 2b\omega_0 \quad (3)$$

$$\ddot{x}(t) + 2b\omega_0\dot{x}(t) + \omega_0^2x(t) = -a(t) \quad (4)$$

: 減衰定数 : 振り子の固有振動数 a(t): 入力加速度  
 手法 : 振り子の運動方程式は式 (5) で与えられる .

$$\ddot{q}(t) + \omega_0^2 \sin q(t) = -a(t) \quad (5)$$

式 (5) を式 (6) で置換し, 減衰項を加えた式を仮定すると式 (7) が得られる .

$$q(t) = \sin^{-1}\left(\frac{x(t)}{L}\right) \quad (6)$$

$$\ddot{q}(t) + 2b\omega_0\dot{q}(t) + \omega_0^2q(t) = -a(t) \quad (7)$$

ここで, 実際に東京都内 (高層ビルの最上階) で観測された実地震の強震計データおよび振り子の画像記録から, 手法 , より同定した入力加速度をそれぞれ図-2.3 および解析結果を表-1 に示す .

図-1.2 より加速度の最大値および波形のおおよその形状は似ているが波形の細部において異なっている .

また, 表-1 より系の長さが中間の振り子と長い振り子の最大加速度はほぼ適当な値が得られるが, 手法 , 共に周期に若干の相違が見られる .

(3) フーリエ解析

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-4, 5 に示す .

図-4, 5 より最大加速度においては, 地震計より大きい値が得られたが, 周波数は表-1 より最大加速度時の周波数を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, 系の短い振り子は共振の影響を大きく受けたため, 適当な値を得ることはできなかった .

5. まとめ

以上振り子の画像逆解析結果より地震入力加速度の厳密な再現までには至らなかったが, 最大入力加速度を定量的に推定することは十分可能であり, 地震震度の定量的な算出が可能になったと言える . また逆解析波形の高速フーリエ変換より入力波形とほぼ同じ周波数でピ - クを示すことが分かった . したがって, 本システムは非常に安価であることより地震観測ネットワークを補完する蜜な地震観測システムとして十分機能するものと考えられる .

参考文献

- 1) 須藤敦史, 堀宗朗, 斎藤芳人: 画像記録を利用した地震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, 斎藤芳人: 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.

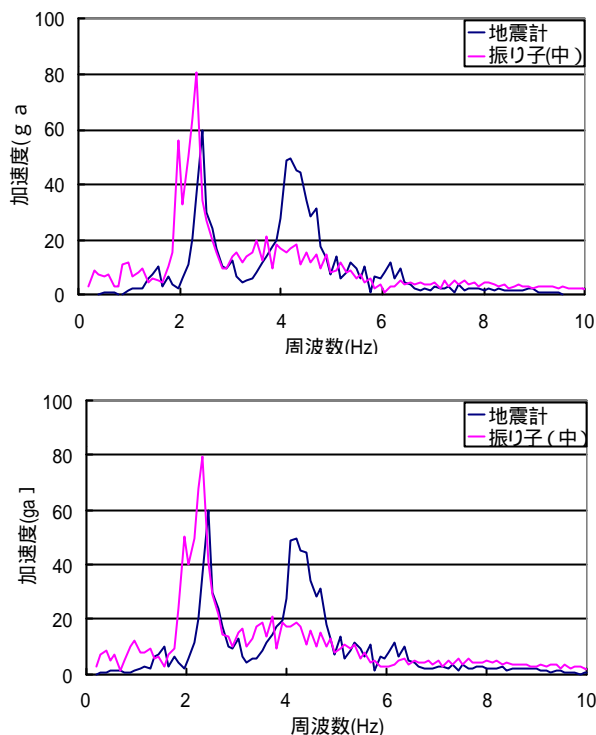


図-5 手法 による周波数領域での比較

表-1 解析結果の比較

振り子長(cm)	長(9.1)	中(6.2)	短(4.1)
$\omega_0$ (rad/sec)	10.38	12.57	15.46
	0.01	0.001	0.001
最大入力加速度			
手法 (gal)	21	30	-
手法 (gal)	23	31	-
地震計	約30		
最大入力加速度時の周波数			
手法 (Hz)	1.6	2.2	-
手法 (Hz)	1.6	2.2	-
地震計	2.3		