

滑り現象の映像解析による地震動推定法の評価

電気通信大学大学院情報システム学研究科 学生会員 ○横田 有光
 東京理科大学大学院工学研究科 非会員 浜本 隆之
 電気通信大学大学院情報システム学研究科 非会員 古賀 久志
 電気通信大学大学院情報システム学研究科 非会員 渡辺 俊典

1. はじめに

地震計のない場所における地震動を推定し、地震計による観測網を補うため、監視カメラを利用することが注目されている[1]。我々は、監視カメラ映像中の滑り運動に着目し、地震動を推定する手法を提案している[2]。本稿では、振動台実験とシミュレーションによる本手法の評価結果について述べる。

2. 監視映像を利用した地震動推定手法の概要

文献[2]において提案している手法は、一般的な店舗等に設置された監視カメラの映像を解析し、被写体の運動の様子から地震動を推定する。提案手法では、滑り運動に注目する。地震動とそれにより引き起こされる物体の滑り運動の間には、以下に説明する関係が成り立つ。図1は、監視カメラが設置されている建物内の様子を示している。大きな地震が発生し、建物の床面が加速度 $\ddot{U}_g(t)$ で揺れるとき、床面上の物体の質量を m とすると、物体には慣性力 $m\ddot{U}_g(t)$ が加わる。慣性力が物体と床面との間の静止摩擦係数より大きい場合、物体は床面に対する相対加速度 $\ddot{D}(t)$ で滑り運動を開始する。また、滑り運動中は、滑り運動の方向とは逆方向に動摩擦係数がかかる。このとき、ニュートンの運動方程式は次の式(1)のように表せる。

$$\begin{cases} -\mu mg - m\ddot{U}_g(t) = m\ddot{D}(t) & (\dot{D}(t) > 0) \\ \mu mg - m\ddot{U}_g(t) = m\ddot{D}(t) & (\dot{D}(t) < 0) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 μ は動摩擦係数、 $g = 980 \text{ gal}$ は重力加速度、 $\dot{D}(t)$ は時刻 t における床面に対する滑り物体の相対速度である。式(1)を解くことで加速度 $\ddot{U}_g(t)$ を求める

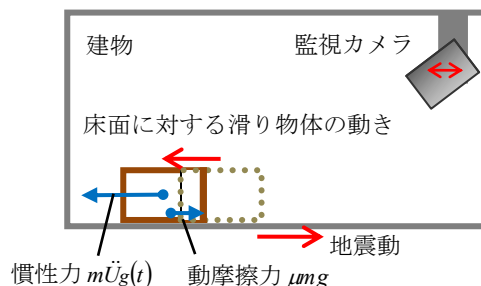


図1 地震の際に生じる滑り運動（図の右方向を正としたとき、 $\dot{U}_g(t) > 0$ 、 $\ddot{U}_g(t) > 0$ 、 $\dot{D}(t) < 0$ の場合。）

ことができる。提案手法では、映像中の動きを解析し、滑り物体の動きと床面の動きを選択的に検出し、両者の動きの差から $\ddot{D}(t)$ を求める。 μ は現地調査により求めた値又は床や物体の種類等から推定した値を用いる。

以上のようにして、地震波形データを求めることができる。また、加速度の地震波形データから気象庁の計測震度を算出する。

3. 推定精度の評価

推定精度を評価するため、1/10 縮尺模型を用いて振動台実験を行った。振動台により加振する揺れの最大加速度は約 1000 gal, 最大変位は約 1cm とした。変位は模型の縮尺率を考慮し、実際の大きな地震より小さくしている。揺れ方や被写体の異なる 4 例の実験を行った。図2に加速度推定結果を、表1に計測震度推定結果を示す。図2より、加速度の大きい部分については、正解に近い推定値が得られることがわかる。一方、加速度が小さい部分については、物体が滑らないため、加速度が求まっていない。計測震度の平均推定誤差は-0.13であった。計測震度は、被害との相関を持たせるため、加速度の大きい部分

キーワード 地震動, 監視カメラ, 映像解析, 計測震度

連絡先 〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1 電気通信大学大学院情報システム学研究科 情報システム基盤学専攻
 情報システム基礎学講座

に注目した指標となっている．このため，提案手法において，加速度の小さい部分の値が欠落しても，一定の精度で推定可能である．また，推定震度は，正解より小さくなる傾向があることがわかる．

4. 時間的サンプリングの影響評価

3章で正解より小さくなった現象が映像記録時の時間サンプリングに起因すると考え、その影響を評価するため、実地震の地震波形データを用い、滑り運動から地震動を推定するシミュレーションを行った．シミュレーション方法は、まず実地震の地震波形データから式(1)の関係に基づいて滑る物体の位置の時刻歴を求める．次にその滑る物体の位置の時刻歴を、想定される映像の時間・空間解像度に合わせて時間・空間的にサンプリングし、映像から得られる滑り運動を求める（順解析）．映像から得られる滑り運動から式(1)の関係に基づいて地震動を推定する（逆解析）．シミュレーションに用いた地震波形データ及び各種条件は、次の通りである．

地震波形データ：2004年の新潟県中越地震の際の（独）防災科学技術研究所の強震観測網 K-NET の観測データ，静止摩擦係数：0.3，動摩擦係数：0.25，映像の時間解像度：30 fps（フレーム/秒）と 15fps，映像中の物体存在領域における空間解像度：0.5cm/画素，順解析の際には重力加速度 $g=980+$ （観測された上下動データ）（gal）とし，逆解析の際には重力加速度 $g=980$ gal とする．

計測震度 6.73 の観測点の地震波形データを用いて求めた加速度推定結果を図 3 に示す．計測震度推定値は 30fps のとき 6.68，15fps のとき 6.60 となった．振動台実験と同様に推定値は正解より小さくなっている．また，時間解像度が小さい方が計測震度の推定値は小さくなっており，映像の時間サンプリングに起因して推定値が小さくなる傾向が生じていると考えられるが，この誤差は限定的である．

5. 推定可能な震度範囲の評価

滑り運動が生じ，地震動推定が可能な震度範囲を評価するため，4章のシミュレーションを複数の観測点の観測データを用いて行った．その結果，滑り運動が生じ，推定値が得られた観測データのうち最も揺れが小さい観測データの計測震度は 5.5 であった．したがって，上の摩擦係数の条件下では，おおむね計測震度 5.5 以上が推定可能であると考えられる．

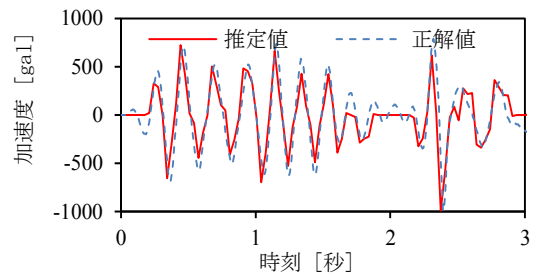


図 2 Test 1 の加速度推定結果（振動台実験）

表 1 計測震度推定値（振動台実験）

	推定値	正解値	誤差
Test 1	5.69	5.75	-0.06
Test 2	5.63	5.86	-0.23
Test 3	5.45	5.44	0.01
Test 4	5.76	6.00	-0.24
平均誤差:			-0.13

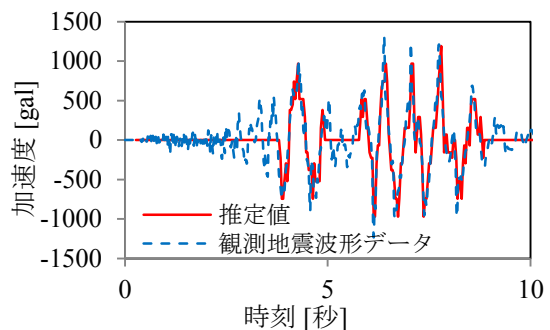


図 3 加速度推定結果（シミュレーション）

これは，提案手法が被害が生じる程度の揺れに対して適用可能であることを示している．

6. まとめ

本稿では，振動台実験とシミュレーションにより提案手法の推定精度，時間的なサンプリングの影響，推定可能な震度範囲を明らかにし，提案手法の有効性を確認した．

参考文献

- [1] M. Hori, A. Sutoh, and Y. Saitoh, “Strong motion measurement using security video camera,” Journal of Structural Mechanics and Earthquake Engineering, Japan Society of Civil Engineers, No. 647/I-51, pp.57–66, 2000.
- [2] A. Yokota, T. Hamamoto, H. Koga, and T. Watanabe, “Estimation of Earthquake Ground Motion by Image Analysis of Sliding Objects Taken with a Fixed Camera,” in Proceedings of the 21th International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2012), pp.784–787, 2012.