

無電源で動作する最大加速度推定装置の改良と精度検証

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○名波健吾 松本星斗 豊岡亮洋

1. 背景と目的

2011年東北地方太平洋沖地震¹⁾をはじめとして、鉄道や道路における輸送サービスが停止する規模となる大地震が生じた場合には、輸送サービス再開のために設備沿線での揺れの大きさや設備損傷の有無を早期に地震計で把握することが重要となる。一方で、地震計を高密度に配置することは費用やメンテナンスの観点から困難な場合が多い。ただし、地震計の詳細な情報が得られなくとも、最大加速度の面的分布を簡易的に把握するだけでも広域被害推定に有用であるといえる。そこで、著者らは図-1の通り電源を必要としない安価な物理機構のみを用い、設置箇所の最大加速度を推定する装置を提案し、小型の振動台を使用した簡易的な加振試験によりその精度検証を行っている²⁾。本研究では、前記の研究²⁾の推定装置の磁石や錘などの部材を変更するなどの改良を行って検出精度の向上を図るとともに、精度検証のための大型振動台試験を行った結果を述べる。

2. 加速度検知装置の改良

精度検証を行う最大加速度推定装置は、図-1に示すように錘、永久磁石、リニアスライダから構成される機構である。入力加速度 a_{in} が検知加速度 a_L を超えると、錘が永久磁石から外れて固定装置（磁石）に吸着され、これを目視等で確認することで a_L の超過を簡易に推定できるものである²⁾。

今回改良した推定装置を図-2に示す。この推定装置は錘が質量ボックスとなっており、ボックス内に鉛玉を投入することにより、検知加速度の微調整が可能となっている。推定装置は前述の原理上、一方向のみ検出可能であることから、2基設置することで正負両方向の地震作用に対応する検出とする。また、前回製作時²⁾に永久磁石から一旦離れた錘が固定装置まで動き切らずに元の位置に戻る現象が見られたことから、今回はこうした再吸着することの無いよう対策を講じた。具体的には、永久磁石と固定装置の間の距離を前回のモデル²⁾よりも短くすることにより、錘が永久磁石と固定装置の間に位置する時間の短縮を実現した。

3. 精度検証の方法

改良した装置の動作と精度の検証のため、鉄道総研所有の大型振動台を使用した加振試験を行った。加振に際しては最大加速度を100galから漸増させて段階加振を行った。なお、目標加速度に対して正確に最大加速度を再現するような調整は行っておらず、大型振動台上に設置した加速度センサーで計測した最大加速度を用いて以降の結果整理を行っている。

入力波形は4種類を用いた。内訳は、地表面の揺れを想定した2波（鉄道の耐震設計標準³⁾記載のL2地震動スペクトルI・II）および前記波形の等価固有周期0.5(s)の構造物天端での弾性応答波形2波である。また、推定装置は

キーワード 地震観測, 最大加速度推定装置, 振動台試験

連絡先 〒185-8540 東京都分寺市光町2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7336

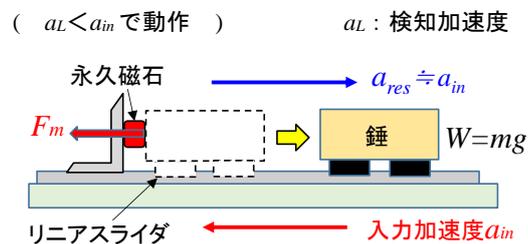


図-1 最大加速度推定装置の原理

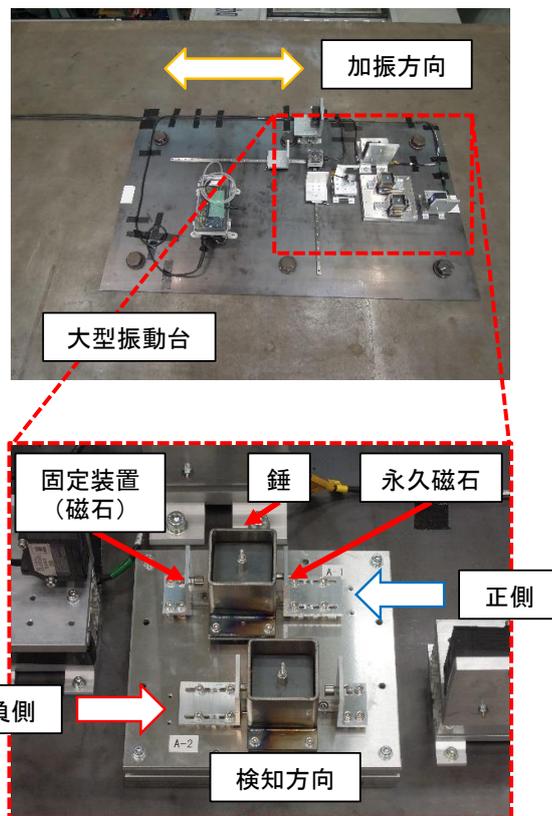


図-2 加振試験の実施状況

一方向のみに対して加速度を検知可能であるため、検知方向が入れ違いとなるように2基の検知装置を設置し、各波形について正負を入れ替えたケースも実施し、合計で8ケースとした。各ケースについて最大加速度を8通り～12通り変更して加振を行った。

推定装置の動作状況は、各試験後の目視の他、錘変位をレーザー変位計で計測し、その数値の変動に基づいて判定した。

4. 加振結果および性能評価

図-3に地震波正方向（正側）、図-4に負方向（負側）を検知する推定装置について、振動台上のセンサーにより取得した最大加速度の値と動作状況の関係を示す。図の縦軸は動作確率を表しており、各プロットは実際の錘の動作状況について、動作する場合を1.0、動作しない場合を0.0としてプロットしたものである。

両方向の推定装置ともに、概ね検知加速度500(gal)で動作するように設定して試験を行った結果を青線で示す。続いて設定を変更したケースについて加振試験を行ったが、試験時間の制約上検知加速度750(gal)程度の設定は正側のみ、検知加速度250(gal)程度の設定は負側のみとした（図中の赤線）。図-3および図-4に示されるように推定装置の検知状況にはばらつきがみられるため、前記の動作状況を定量化するため対数正規分布で近似した曲線を併せて示す⁴⁾。対数正規分布の平均値 μ および標準偏差 σ を図中および表-1に示す。

また、表-1に最低動作加速度を併せて示す。最低動作加速度

とは、この加速度以上であれば全ての試験ケースで推定装置が動作する閾値となる加速度と定義する。表-1には別途行った静的環境下での予備試験から推定される検知加速度の値、およびその値からの誤差(%)も示す。

表-1から、正側の推定装置の検知加速度の平均および最低動作加速度は概ね静的環境下での予備試験に近い値が得られている。その一方で、負側については正側と比較して誤差が比較的大きいことが分かる。検知状況のばらつき具合としては図-3および図-4のプロットに示される通りである。表-1において検討したすべてのケースにおいて対数標準偏差が0.050以下となっており、検知の加速度のばらつきの度合いはそれほど大きくないことが確認できる。一方で、前述の通り正側と負側の検知装置で誤差が異なっており、検知装置に個体差がある可能性が示唆された。この原因としては、スライド部のレールの摩擦の差異などが考えられる。以上を踏まえて、当該の推定装置を実用化するには、この程度の誤差を見込んで安全側となるように推定検知加速度を設定する必要がある。

5. まとめ

本研究では、安価かつ無電源で動作する最大加速度推定装置の改良を行った上で、精度検証として大型振動台を用いて実スケールの地震動を作用させた。その結果、事前の推定値とは差異が見られるケースがあったものの、検知加速度のばらつきは小さく概ね良好に加速度を検知できることが確認できた。今後は更なる推定装置の精度向上と多様な条件下での検証試験を実施したい。

参考文献

1) 東日本大震災合同調査報告書編集委員会：東日本大震災合同調査報告 土木編4 交通施設の被害と復旧，2018。
2) 豊岡亮洋・布川博一：高密度な被害把握のための最大加速度推定装置の開発，構造工学論文集，Vol.65A，pp.145-153，2019。
3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・解説 耐震設計，丸善出版，2012。4) 望月智也・中村孝明：多項反応モデルによる地震時損傷度曲線の統計的推定，第2回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集，pp.47-50，2000。

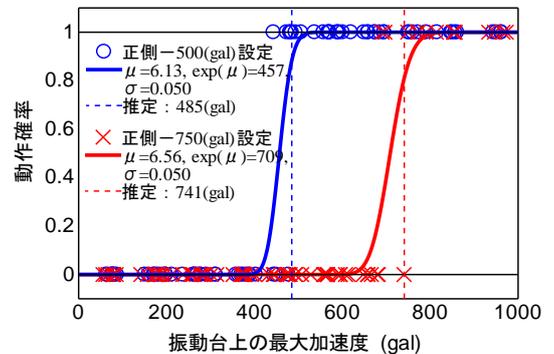


図-3 推定装置（正側）の動作状況

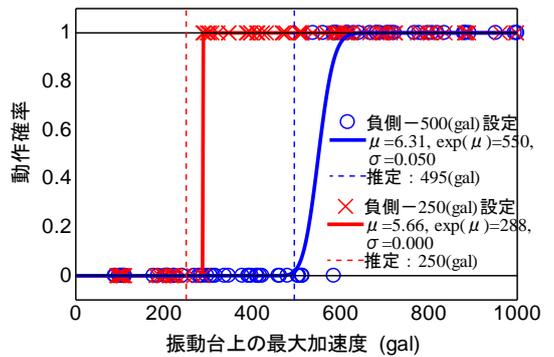


図-4 推定装置（負側）の動作状況

表-1 推定装置の動作状況の総括表

	推定検知 加速度 (gal)	対数正規分布			最低動作条件	
		平均 (gal)	誤差 (%)	対数 標準 偏差	最低動作 加速度 (gal)	誤差 (%)
正側-500(gal)設定	485	457	5.75	0.050	481	0.82
正側-750(gal)設定	741	709	4.32	0.050	749	1.08
負側-500(gal)設定	495	550	11.1	0.050	588	15.8
負側-250(gal)設定	250	288	15.2	0.000	288	15.2