

I-538

制御用地震計に関する調査研究

東京大学生産技術研究所	正員	片山 恒雄
東京大学生産技術研究所	正員	佐藤 暢彦
山武ハネウエル（株）	正員	渡辺乃扶子

1. はじめに

地震による被害には、構造物の損壊のような地震そのものによって発生する1次災害と、それによって引き起こされる都市機能の混乱などのような2次災害がある。2次災害の軽減または防止のために、制御用地震計（感震器）を用いて地震の強さを自動的に検出し、システムなどを安全側に動作させることが多くの分野で行われている。

2. 制御用地震計の現状

制御の対象は、大まかに分類すると、電源・燃料などエネルギー源の遮断、化学反応の停止、ガスや液体の流出防止、警報装置の起動、システムの誤動作防止等であり、目的に合わせて制御用地震計は幾つも開発されている。地震計はサイズモ系と非サイズモ系に分けられる。いずれの方式も地震動の加速度を検出し、その大きさを制御をするようになっている。多くのものは水平全方向に一律な感度をもっている。感震する振動数範囲は一部のものを除けば約10Hz程度を上限にしており、地震動の主要な振動数範囲となっている。制御判断レベルの設定は数段のレベルに対する制御信号を出力できるものもあり、多様性のある制御に対応できるようになっている。

非サイズモ系の制御用地震計は簡易型と呼ばれ、測定精度はそれほど高くなく、サイズモ系は測定精度は高い。一般に、簡易型のものは石油ストーブなど規模の小さい個別の機器の制御に使用され、一方、サイズモ系のは、工場、高層ビル、高速道路、鉄道、都市ガス等の地震対策に用いられている。

制御用地震計の作動する時間は地震動の初期微動と主要動部分の検知の2つに分けられる。初期微動を検知するものは上下方向加速度を測るもので、P波検知器と称してエレベーターに適用されている。他のものは全て主要動で発生する最大加速度の大きさを判断して制御するもので、広い分野で用いられている。

幾つかの制御用地震計は制御作動加速度レベルを多段に、しかも、その値を任意に設定でき、ユーザーは必要なレベルを選んで使っている。一般に制御レベルは制御対象物の耐震性と重要性を考慮して決められる値である。石油ストーブなどは制御による影響が少なく復帰が容易であるため判断レベルは低く、都市ガスのように社会性が強く復帰に多くの時間を要するときには高い値が適用される。

3. 制御の実施例

エレベーターの場合、地震時に乗客の安全をはかり機器の損傷を防止するため、制御用地震計を使って早期に管制運転を行っている。具体的には2段ないし3段の加速度の制御レベルを設け、地震を検知したという低いレベルで停止させるが、高いレベルを感知していない場合はすぐ運転を再開するというように、運転再開に要する点検内容を地震の強さに応じてとり決め、早期に運転再開ができるように考えられている。

都市ガスの場合は、ガスによる2次災害の危険性と供給範囲が広域であることが特徴であり、地震の強さを判断してガス導管網の遮断などの緊急措置がとられる。ただし、ガスは一旦遮断してしまうと、たとえ導管網等に損傷がなくても、供給再開までに比較的時間を要することから総合的な地震対策が必要となる。具体的には導管網をブロック化し、最大加速度による地震情報に基づき、ブロックごとの供給停止と継続を判断し、バルブの遠隔操作する。また、供給末端部においては独立に簡易型感震器を設け、遮断している。

これらに対して、石油ストーブの場合は、仮に安全側に誤動作しても損失は少なくかつ復帰が容易であるため、簡単な構造で安価な簡易型感震器が使われ、設定値も比較的低く設定されている。

4. 新しい制御用地震計

最近の地震の経験によると地震動加速度が 250cm/s^2 に達する揺れに対しても被害らしい被害があるで発生しなかった例、その逆に、低い加速度でも制御すべきであった例もあり、従来の最大加速度の大きさのみによる制御に問題があることが指摘されている。そこで、地震の揺れの強さを適確に感知できる制御用地震計が開発され、使われ始めた。

波動エネルギー式感知器²¹⁾は、測定した加速度を積分して速度と変位を求め、それらから算定される波動エネルギー係数に比例する量によって制御判断するしくみである。松代群発地震の記録を用いてこの係数は気象庁発表の震度と相関が良いことを示し、また、低加速度であっても変位の大きい地震動を感知することができるとしている。本装置はエレベーターの管制運転に数台用いられている。

SIセンサーは²²⁾、やはり測定した加速度から速度応答スペクトルを求め、これより算定されるスペクトル強度(SI値)によって制御判断するものである。日本およびアメリカの強震記録およそ170例を用いてSI値が地震被害とよく対応していることを示している。本センサーは発生した地震が構造物をどれくらい揺らす能力があるかで制御を行うものであり、現在、試用の段階である。

地震早期検知システムUrEDAS²³⁾は、一点において測定される地震動の初動の部分で地震の規模と震源位置をはばリアル・タイムで推定し、その結果から地震の加害性を判断するものである。幾つかの地震において本推定値は気象庁等の発表値とよく一致していることを示している。本システムは一点における測定から広域での地震動強さの分布を推測できる可能性がある。

5. まとめ

制御用地震計に求められる基本的な性能は、(1) 早期検知であること、(2) 制御判断が適切であること、(3) 誤動作がないこと、の3点である。

走行中の列車や進行中の化学反応等は地震を検知して直ちに止めることは困難もしくはかえって危険なときもあり、できるだけ早く制御を開始することが必要である。現在、エレベーターで使用しているP波感知器や震源に近いところで地震動をとらえようとする新幹線の方法は、いづれも主要動の到来以前に制御を開始しようとするものである。

制御判断においては常にどのような場所のどんな物理量がどのレベルに達したときにどのように制御するかを考えなくてはならない。これらの要因は互いに密接に関係し、制御対象物の重要度とも関係し、総合的に決められるべきである。従来は地盤または基礎の加速度の大きさにて制御している場合が多い。新しい制御用地震計は、加速度を測るが、それを加工して新しい指標を求めて制御しており、地震被害と対応した指標を用いることで合理的な制御が可能となる。

一つの制御レベルに対して、不必要な制御をするときと制御を見逃すときがあり得る。この両者の損失の和を最小にするような制御レベルを選ぶことが最も経済的であるといえる。したがって、制御からの復帰にかかわる損失が少ないときは制御レベルは低く、損失が多いときはレベルを高くすることとなる。

制御用地震計は誤動作しないことが最も重要である。各種の振動ノイズや電気ノイズの中から地震動のみに感知できるものでなくてはならない。また、制御用地震計は頻繁に動作するものではないが、大きな地震のときには確実に動作しなくてはならない。このため、定期的な動作確認の点検が容易に行えるような機能を有している必要がある。

本文は(財)地震予知総合研究振興会の制御用地震計検討会において実施した調査結果の一部をとりまとめたものであり、検討会に参加いただいた委員の方々に深甚なる謝意を表する。

- 1) 小野田芳光・池田瑛司：波動エネルギー式地震感知器の開発、第7回日本地震工学シンポジウム(1986)
- 2) T.Katayama, N.Sato, N.Ohbo, M.Kawasaki and K.Saito : Ground Shaking Severity Detector by Use of Spectrum Intensity (SI), 第7回日本地震工学シンポジウム(1986)
- 3) 中村豊・上野真：地震早期検知警報システムUrEDASの開発、第7回日本地震工学シンポジウム