

マイクロ波応用による岩盤移動・崩落検知 —生きている大地の動きを災害にしないために—

Detection of Rock Fall and Landslide by Microwave-Applied System

玉 木 茂^{*1} 市 川 商二郎^{*1}
TAMAKI Shigeru ICHIKAWA Shoujiro

この度、横河電子機器では、これまでに培ってきたマイクロ波技術を用いて、地象計測の一つの手段となりうるシステムを開発した。それは、10 GHzの周波数を使用し、遠く離れた場所で発生する地表面や岩塊・岩石等の挙動を検知するものである。具体的には、マイクロ波の反射特性を利用したもので、近寄ることの出来ない場所で発生する地表面の動きを感知することが出来る、リモートセンシングタイプの検知システムである。検知感度±2 mm、分解能0.1 mmと極めて高性能である。その上、降雨、降雪の影響を受けにくく、特に霧や雲の影響をほとんど受けないなど、これまで使用されてきた各種機器に較べて際立った特徴を有している。発表以来、専門家間で高い評価を頂き、複数の現場で使用され始めたので、その概要を紹介させていただく。

Yokogawa Densikiki Co. Ltd. has developed a most suitable detecting system for terrestrial phenomenon with microwave technology that we have 30-year background. The system can sense and detect a fine movement of ground-surface, rocks or rock-mass at a distance by microwave of 10 GHz. That is a remote sensing detection system, which applies the reflection properties of microwaves and can sense a fine movement of objects at a distance that happened at an unapproachable spot. It has highly reliable detection sensitivity of ±2 mm with 0.1 mm resolving power. Moreover, it has such an outstanding characteristic as to be unlikely to get effects of rainfall and snowfall, or hardly to get them of fog and clouds, compared with other conventional detection devices in this field. Since our sales announcement in the marketplace, it has been received good evaluation among specialists and persons concerned in those fields, and meanwhile, it begins to be installed at a disaster recovery spot as a security assurance device for fields. We describe here its outline and feature.

1. はじめに

地滑りや岩盤崩落等、大地の動きに伴う現象は、一般に地象と呼ばれていて、一つの学問領域を形成している。専門家によると、我々の生活や経済活動の基盤である大地は、何らかの形で時々刻々と変化しているという。この変化が、時として大きく現れたり、又は突然現れたりすることにより社会的に各種の問題を引き起こす。いわゆる災害の発生である。この災害の発生を未然に防止するために、永年に亘り努力が続けられてきた。しかしながら、未だに決定的な対策は講じられていない。

平成8年2月に発生した北海道積丹半島の豊浜トンネルにおける大規模な岩盤崩落事故、及び平成9年8月に発生した第2白糸トンネルの崩落事故は我々の記憶に新しい。この事故を契機として、我々横河電子機器(株)に岩

盤や落石、或は地滑りといった地表面の自然現象に関する計測が出来ないかとの問い合わせが寄せられた。この分野における計測機器は既に多数存在しているが、機能やコストパフォーマンスの観点からユーザーの要望を満たす内容のものが存在しないから、とのことであった。これらの客先要望により、対象物体の微細な動きを検知するための微小移動量検知センサと、落石等空間を落下してくる物体の動きを検知する落石検知センサを開発した。今回は、紙面の都合もあるので、微小移動量検知センサについて紹介させていただく。図1にセンサを構成するセンサユニットとコントロールボックスの外観と、その設置作業の様態を示す。尚、このセンサは平成11年9月9日付で建設省東北地方建設局において審査を受け、建設省新技術登録を行った。(登録名称:微小移動量検知システム,登録No.:TH-990142)

2. 現場からの要求仕様

一般に、土木計測はその計測環境が過酷である上に、

*1 横河電子機器株式会社



図1 微小移動量検知センサの外観と設置作業の様様

規模が大きく(数十メートルから数百メートル)且つ、ミリメートル単位の正確さが要求されるといった難しさがある。特に、岩盤や地滑りといった災害対応の計測機器に関しては、オンライン・リアルタイム計測が必須条件となってくる。そこで、永年防衛関連分野で培ってきた“マイクロ波による計測”という横河電子機器(株)の固有技術に適合する市場要求があったこと、及び今後の自然防災関連分野への投資見込みが大きいこと(伸び率15%/年; 98年度)等を考慮して、横河電子機器(株)が開発プロジェクトを発足させた。

開発に先立ち、北海道開発局を中心とする岩盤・地質関係の専門家の意見を聴取した。その結果、現状の問題点と要求内容としてまとめたものを表1に示す。

表1 開発要求の内容

	現状の問題点	現場からの要求
正確なデータ収集	・長距離では正確且つリアルタイムにデータ収集ができない。	・300 mの距離で±5 mm以下の変移・移動感知能力があること。
計測データ/計測時間の関連	・発生状況の計時的把握が困難。 ・リアルタイム・データが取れない。	・発生の都度発生時刻と発生内容を把握したい。 ・統計データとして活用したい。
安全なデータ把握手段	・測定対象との直接接点計測が主体。 ・リモートセンシングには制約が多い。	・危険を冒さず計測器の設置を行いたい。 ・リモートセンシング機器が欲しい。
自然界の妨害要因への対応	・降雨・降雪・霧等の気象条件や汚損等に影響される。 ・野生動物の妨害をうける。	・自然現象や経年変化、野生動物の妨害により計測不能とならないこと。
安価・取り扱い容易	・高機能なものは極めて高価。 ・高機能なものは、一般的に、取り扱いが難しい。	・高機能・安価なものが欲しい。 ・高機能且つ取り扱いが容易なもの。 ・機構的に堅牢なもの。

この現状の問題点は、主として、現在使われている各種計測機器に対するユーザーの問題提起と受け止めることが出来る。これらの現場からの要求内容を基にして、現状で可能となるシステム仕様をまとめて製品開発に取り組んだ。

3. 計測原理と機器仕様

3.1 計測原理

微小移動量検知センサは、遠方より電波の反射特性を利用して、対象物の微小な変位を検知するものである。検知方法にはいくつかの方式が考えられるが、実用上最も単純で安定度の高い位相変位による方式を採用した。

この方式は、対象物までの距離の絶対値を計測するものではなく、相対的な移動量をmm単位で計測するものである。測定対象物、例えば地滑り・がけ崩れ地点に置かれた反射体、又は電波反射特性を持つ測定対象物に電波を照射し、そこからの反射波を受信する。送信波と受信波による合成波は図2のようになる。対象物との相対位置が動作点Aにくるように設定しておけば、対象物が微小距離移動することにより動作点がB、Cに移り、合成振幅の値から移動距離が検知できる。今回我々が開発したシステムでは、10 GHzのマイクロ波を使用しているので、 λ は15.8 mmに相当し、表1に示した客先の希望感知能力を満足させるのに十分な分解能を確保することができる。この分野では、従来、移動する(又は移動すると予測される)地表面と、移動しない地表面との間に温度係数の小さいワイヤー(アンバー線等)を張り、その長さの変化で移動量を算出する方式のセンサが使用されてきた。このタイプのセンサは、安価ではあるが、移動する地表面に直接ワイヤーを敷設しなければならないことその他に、等計測できる範囲の制約がある等使用上の制約が多く、これらの欠点を補ったものとして、光やレーザーを使用したセンサが導入されてきた。しかしながら、光やレーザーを使用した機器は、雨・雪・霧等の影響を受け

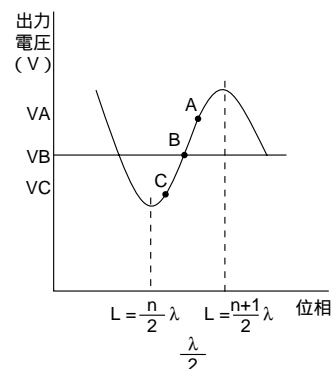


図2 電波の位相と出力電圧の関係

表2 代表的地表面挙動検知センサ比較表

センサー名	検知対象	特徴	問題点	備考
伸縮計	対象物体の相対移動距離計測	<ul style="list-style-type: none"> 安価で取り扱い・設置が容易 環境の影響を受けにくい リアルタイム計測が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 計測範囲が最大15m迄 対象物体に直接取り付け 伸縮線への外力が誤差となる 	亀裂近傍の移動量監視計測には実績が多い
レーザー変位計	対象物体までの絶対距離や相対移動距離の計測	<ul style="list-style-type: none"> 比較的安価 設置・取り扱いが容易 高分解能である 遠隔計測型である 	<ul style="list-style-type: none"> 降雨・降雪・霧等の外部環境の影響を受ける 対象物体の表面の影響を受ける 	基準器の一つとして使用できる
光測距儀	対象物体までの絶対距離や相対移動距離の計測	<ul style="list-style-type: none"> 絶対距離計測が出来る 高感度・高分解能である 設置が比較的容易 遠隔計測型である 	<ul style="list-style-type: none"> 対象物体上にターゲットの設置が必要 降雨・降雪・霧等の外部環境の影響を受ける 	基準器として使用できる
GPS (DGPS)	対象物体の相対移動距離計測	<ul style="list-style-type: none"> 大規模地象現象の計測が出来る 規模に比例して精度が向上する 	<ul style="list-style-type: none"> 対象物体上にアンテナや受信器の設置が必要 (配線工事が必要) リアルタイム計測が出来ない 	
ビデオカメラ	岩盤崩落場所や地滑り発生状態の画像観察	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔計測型である XY軸方向の変位計測向き 現場の状況把握がしやすい 	<ul style="list-style-type: none"> 降雨・降雪・霧の他に光量不足等の外部環境の影響を受ける Z軸方向の変位計測は不得意 	
電波変位計	地滑り・岩盤等の相対移動量計測	<ul style="list-style-type: none"> 環境条件の影響を受けにくい 高感度計測が可能 リアルタイム計測が可能 遠隔計測型である 	<ul style="list-style-type: none"> ピンポイント計測が出来ない 対象物体までの距離が限定される 設置場所の選定が必要 	現場設置型監視機器として使用可能

易く、特に地滑り等が発生する可能性の高い降雨時には使用できないなど問題を抱えていた。これら代表的なセンサについては表2を参照されたい。

岩盤までの距離は、崩壊土砂で埋まった川を挟んでおよそ100mである。図4にその現場の写真を示し、図5にシステム構成を示す。また、この現場での監視対象岩盤の

3.2 機器仕様

微小移動量検知センサの機器仕様についてはハードウェア仕様を表3に、ソフトウェア仕様については表4に示す。

表3 ハードウェア仕様

微小移動量検知センサー K1000シリーズ	
用途	岩盤崩落・崖崩れ・地滑り等の検知
原理	マイクロ波の反射特性を利用したリモートセンシング
隔測距離	測定対象物体から100m以内
変移量測定スパン	5mm ~ 500mm
測定感度	±2mm
使用周波数・出力	10GHz, 65mW
構造	屋外設置・防的構造
仕様温度範囲	-5 ~ +60 (ヒーター付の場合: 20 ~ +60)
電源電圧	AC100V ±10V
出力信号 (伝送ユニット付の時)	デジタル信号: RS232C (9600bps) リフレッシュレート(初期設定値): 30秒 警報出力: 接点出力(接点容量AC100V, 1A) 調整用アナログ出力信号: DC0V ~ DC10V
表示操作部	受信信号強度表示用アナログ指示計 微小移動量表示デジタル指示計 出力基準値 / フルスケール値設定ダイヤル システム動作基準値等設定用押しボタンスイッチ

3.3 微小移動量検知センサの外観と名称

センサユニットの外観と各主要部の説明を図3に示す。この図からも判るように、送信器とマイクロ波を受信する受信器及び雲台とで1セットのセンサを構成する。

表4 ソフトウェア仕様

基本機能	データ収集時間間隔設定	(初期設定値:30秒)
	異常検知対応機能	異常を検知すると20秒後に再計測
	移動量対応警報	移動量積算値が5mmを越えたとき 移動量が15mm / 分を越えたとき
アルゴリズム	$S_n = \sum d_j$ (j=1,2,...,n)	d _j は各測定時移動量, S _n は移動量の積算値
RS232Cインタフェース (伝送ユニット付の場合)	通信速度: 9600bps パリティ: 偶数 データ長: 8ビット ストップビット: 1ビット	データ入力, リセット, 測定, 測定連続測定開始 / 停止及び計測時間間隔設定等のコマンドやデータの送受信を行う
データ収集・表示 (パソコンと連携時)	データ収録(データ/データ収録時間)	標準のExcelテーブルに配列記録する
	データ表示(実時間ベース)	パソコン画面上にトレンド表示を行う

4. 適用事例の紹介

岩盤崩壊や落石の発生しそうな危険な場所へ設置して、防災監視システムとして使用されている事例をここに紹介する。この事例では、大規模な岩盤が崩壊した現場で、災害復旧工事中に二次災害の発生を防止する目的で、岩盤の動きを監視した例である。安全な場所に設置された微小移動量検知センサから監視対象



図3 センサユニットの外観と各部名称

挙動記録の一部を図6に示す。数日間の連続監視の結果、観測点に岩盤の動きは殆どみられなかった。

5. おわりに

当初、防災用機器として客先要望に基づいた開発を進めてきたが、営業活動を展開するうちに、橋脚・ビル等の構築物の移動・傾きの測定や地下構築物の壁面の撓みの計測等、防災用以外にも色々と適用分野があることも次第に見えてきた。また、横河電機(株)で開発済みの全天候型CCDカメラFIELD EYEと組み合わせることにより、他社には無い特徴を出せそうなことも分かってきた。例えば、移動データ及び異常データをWebに載せ、ネットワークにより遠方にいる専門家と協議判断を行ったりすることができる等である。特に、平成13年4月1日施行予定の通称「土砂災害防止法」に対応するためには、各種土木工事現場において短期間で手軽に安全管理用として使用できるシステムの開発と市場対応が必要と



図4 岩手県雫石市玄武洞崩壊現場への適用例

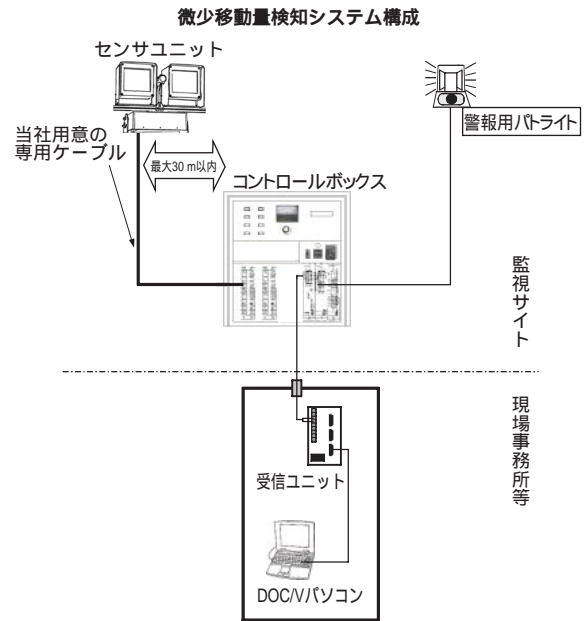


図5 岩手県雫石市玄武洞におけるシステム構成

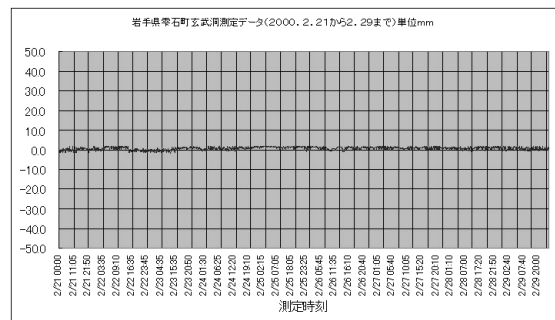


図6 岩手県雫石市玄武洞における実測データ

考えている。今後共、現場のユーザーの声に耳を傾け、より使い易い機器の開発を行うことは勿論であるが、ユーザーの立場から見て使い易い製品流通手段を整備して、関係各位の要望に素早く対応していく事も極めて重要であると認識して、現在、体制の整備を行っているところである。

参考文献

- (1) 市川商二郎他, “マイクロ波を用いた岩盤移動・地滑りに関する計測器の開発”, 最近の地盤計測技術に関するシンポジウム発表論文集, 平成11年12月, p. 65-72
- (2) 三宅克行他, “マイクロ波を利用した岩盤斜面危険予知システムの検証”, 第30回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, 平成12年1月, p. 193-197

* “FIELD EYE”は横河電機(株)の登録商標です。また、本文中の製品名は、各社の商標或いは登録商標です。