

携帯電話を用いた全自動観測システムの開発と 観測事例

神原 規也¹・佐藤 丈晴²・吉田 庄太³

¹正会員 (株)イトコンソラウト 松江支社 技術2部 (〒690-0001 島根県松江市東朝日町 151-34)

²正会員 理修 山口大学助手 工学部社会建設工学科 (〒755-861 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

³正会員 理修 (株)イトコンソラウト 技術本部技術開発部 (〒700-8617 岡山県岡山市津島京町 3-1-21)

斜面災害による人的被害の有効な防止対策の一つである斜面の全自動観測システムは、コスト、機動性、安定性などの面で未だ課題を残し、広く普及するには至っていない。主に通信回線の確保に関わるこれらの問題点の多くは、携帯電話回線を用いることで解決できると期待されることから、本システムの開発を行った。本システムは最も機動性を要求される地盤伸縮計を中心に開発を行ったものであるが、さらに様々なセンサーへの利用も可能としており、システムの概要とこれらの観測事例の一部を紹介する。

Key Words: landslide, portable phone, invar wire extensometer, automatic monitoring system

1. 斜面災害監視システムの現状

近年、様々な開発行為は平地周辺の山地、丘陵地にまで及ぶに至り、斜面災害のポテンシャルを有した地区は増加の一途をたどりつつある。斜面災害は地形・地質などを素因とし、降雨、地震あるいは切土などの人為的行為を誘因として発生すると考えられている。地震の様な突発的な災害を除けば、ある一定規模以上の斜面災害は、致命的な崩壊現象に先立って何らかの予兆を示す場合が多く、「どこで」発生するかが明らかである場合には、「いつ」についてはリアルタイムの全自動観測が実施されれば予測を行える可能性が高い。斜面災害の観測技術は、現在発生している現象をリアルタイムに把握し、さらに今後の予測も行う全自動観測システムが利用可能な状況にまで発達してきている。斜面災害における管理・監視を目的とした観測については、綱木¹⁾によってまとめられているところであるが、情報伝達の効率化・観測開始までの時間短縮・安価なセンサーおよびシステムの開発などを今後の課題として掲げている。全自動観測システムが一般に普及するためには以下のような問題点が残されている。

- ① 機器設置、観測開始までの機動性に欠ける。
- ② 初期投資が大きい。
- ③ 長大な有線部分を設けることにより、誘導雷によってシステム全体が被害を受けることがある。

- ④ 電源の確保が困難な場合がある。

特に、危険が差し迫っている斜面災害現場の監視に当たっては、「いかに迅速に対応するか」という機動性が大きな課題となることが多い。現状のシステムは、上記の問題点から、あらゆる現場への適用は困難であり、また誘導雷の影響²⁾も時に深刻な問題となっている。全自動観測システムの普及を制約している条件の多くは、主に通信回線と電源の確保に係わるものであるが、携帯電話回線を用いることによってこれらの問題点を大幅に改善することが出来る。本システムは、携帯電話をセンサー毎に配置することによって、観測設備を極力コンパクトなものとし、ローコストで機動性に富み、さらに誘導雷等に起因するシステムダウンに対する安定性の高い全自動観測システムの構築を目的として開発を行った。

2. システムの概要

(1) 開発仕様

携帯電話を用いた全自動観測システム (Mobile Monitoring System, 略して以下 MMS とする) の開発に当たっては以下のような仕様を目標とした。

a) コスト

本システムは初期投資を百万円以下とする。

携帯電話方式全自動観測システム

Mobile Monitoring System

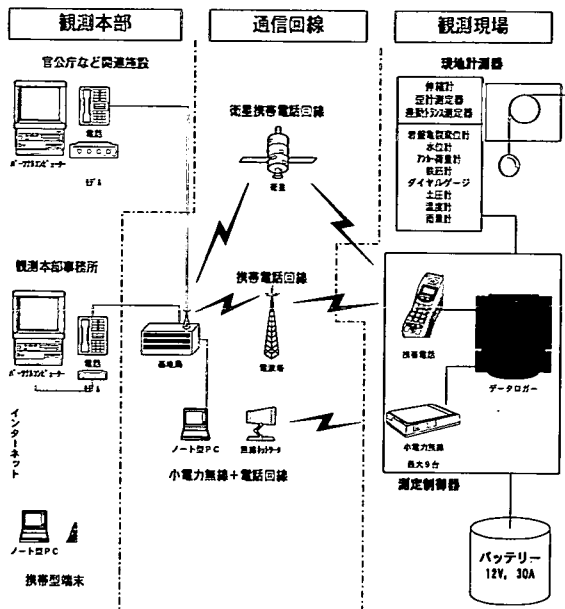


図-1 全自動観測システムの概要

b) 準リアルタイム方式

電話回線を常時接続状態とするのは費用や電源などの面からも困難であり、監視側が必要とした際にだけ接続される準リアルタイム方式を用いる。

c) 単一センサー対応

本システムでは1つのセンサー毎に携帯電話を配置する方式を用いることによってデータロガーを含む測定制御部分をシンプルにし、コストダウンを図る。複数のセンサーを用いる場合、センサー毎に接続する構成とすることによって危険の分散^{3),4)}を図る。

d) 拡張性

本システムは伸縮計のほかに歪みゲージセンサー、差動トランスセンサー、雨量計、電圧・電流出力方式のセンサーにも拡張可能な構造とする。

(2) 基本構成

上記の仕様にに基づき開発されたシステムの基本構成を以下に示す。

a) MMS のシステム構成

観測現場の構成は図-1 に示すように携帯電話を内蔵した測定制御器、センサーおよび電源用バッテリーからなる。監視側の観測本部は電話回線に接続されたパソコンを用いることとし、監視側も複数設けることとする。

b) 観測現場

基本となる地盤伸縮計設置の事例を写真-1 に示す。

インバー線部分などは従来通りであり、センサーとなる地盤伸縮計は省電力と精度確保のために今回新たに開発した。MMS 測定制御器には携帯電話の他に、データロガーおよび携帯電話制御部分を内蔵している。電源は、車載用の容量 30AH のバッテリーを用いている。コンパクトな構成となり、2~3名の人員で1日に1~2カ所の設置が可能である。

c) 通信手段

MMS 測定制御器側は携帯電話を用いることを前提としているが、携帯電話エリア外への対応策として衛星携帯電話および小電力無線による対応も可能である。また、パソコンと測定制御器を直結し直接データを取り込むことも可能である。

d) 観測本部

観測本部は電話回線に接続されたパソコンによって対応する。プログラムをインストールすれば、図-1 に示すように複数の箇所データ取得が可能であり、携帯電話を用いれば移動中などのあらゆる状況でも利用可能である。

e) 警報システム

本システムは従来通りの警報装置の作動も可能としているが、警報はポケベル回線を用いて観測担当者に直接伝達されることとし、この警報を受けてデータを確認し異常の有無を判断した後に警戒態勢にはいる。

3. 開発段階での検討課題と対応策

携帯電話をデータの通信手段とすること自体は従来から用いられている手法である。しかし、常に人が操作することを前提として制作されている携帯電話を観測現場に常置し、遠隔操作するためには様々な障害を克服する必要がある。

(1) MMS 測定制御器

a) 省電力

機動性かつ低コストを実現するためには、現状では車載バッテリー（容量 30AH 程度）の利用が最も有効である。また、省力化の面からはメンテナンスは1ヶ月以上の間隔であることが求められる。携帯電話自体は常時接続していない限り十分に運用可能であり、測定制御器の省電力化が求められる。このため、測定制御器は測定時、および通信時以外の電源はスリープ状態とした。また地盤伸縮計に用いるセンサーはアブソリュート型エンコーダーを用い、常時通電の必要のない方式とした。この結果、地盤伸縮計を用いた通常の運用の場合、2ヶ月弱の使用が可能なが確認された。

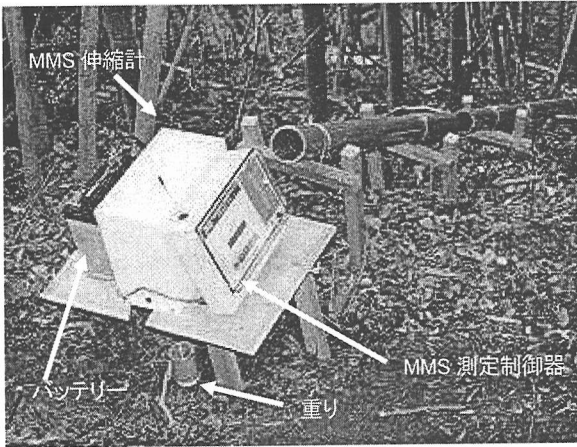


写真-1 MMS地盤伸縮計設置例

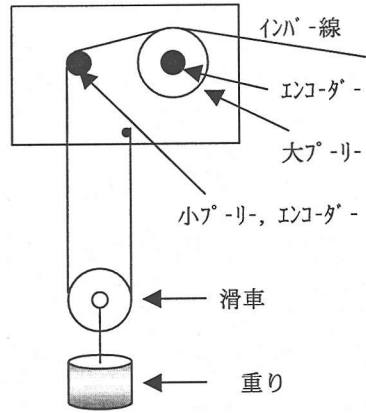


図-2 地盤伸縮計の模式図

b) 低温対策

測定器の設置現場は、冬季は氷点下の気温となることもまれではない。測定制御器自体は -10°C まで利用可能であるが、携帯電話に用いられているバッテリーが原因となって 0°C ～ -5°C 以下の気温では作動しないことが確認された。このため、車載バッテリーの電源が直接利用可能な構造とすることによって、 -10°C 程度までの低温には対応可能とした。

c) 通信所用時間

常時オンラインの方式を用いないこととしているため、測定制御器はデータロガー機能を有している。あらかじめ設定された時間間隔(5分～1時間)毎のデータは一旦、測定制御器のデータロガーに蓄積され、観測本部側からの呼び出しの際に転送される。1回に転送されるデータ量は1時間毎のデータ1ヶ月分を送信可能な1000件とした。この場合の通信時間は9600bpsの通信速度で、データの相互チェックも含めて2分以内であり、通信回線が確立されている限り、データ転送に支障が生じることはない。データ取得にはプログラムの起動も含めても数分以内で完了し、完全なりリアルタイムでは無いが、地すべりなどの監視に支障は生じていない。

(2) 地盤伸縮計の精度と測定可能な移動量

市販されている歪みゲージ式などの伸縮計測定装置は、 0.2mm の測定精度を有する装置の場合、測定範囲は最大 30cm 程度までである。しかし測定現場では、動きが激しくなると1日に 1m 以上の動きを見せることもあり、張り替えが出来ずに欠測となることも多い。このため今回開発した地盤伸縮計はインバ-線をバナ方式でなく重りで引っ張る方式を用い、図-2に示すように、さらにここに滑車を介在させることによって、

1m 以上の連続観測が可能な構造とした。センサー部分には大変位量用と小変位量の2台のエンコーダーを用いることによって 0.2mm の測定精度と測定時間間隔内の最大変位量 $25\sim 50\text{cm}$ を確保した。

(3) 携帯電話エリア外への対応

携帯電話を用いてデータ通信を行う場合、かろうじて通信可能な程度のエリアでも利用は不可能であり、実質的に利用可能な範囲は、全自動観測装置の設置が求められる現場の半分程度である。衛星携帯電話は南側 45° 以上に遮蔽物が無ければ、携帯電話エリア外でも対応可能となる。しかし、現在利用可能な衛星携帯電話は、待機時にも大きな電力を必要とし、 30AH のバッテリーでは約1日で利用不可能となる。このため30分～1時間に5分間の通電時間を設け、この時間帯にだけ待ち受けを行うこととし、さらに太陽電池、風力発電等の電源も活用することによって、最大3ヶ月の連続稼働が可能となった。

(4) 警報装置

従来の地盤伸縮計の警報装置は、設定された変位量に達すると直ちに現場の警報装置や警告灯が作動する仕組みとなっている。この結果、通行者などによって警報装置の作動が発見され、関係機関を通じて観測担当技術者に連絡され、現場の確認を行うことによって初めて異変の内容が確認されることとなっている。しかし、地盤伸縮計の警報装置は小動物や風、立ち木などの様々な要因によって誤作動するケースが非常に多く、計器の信頼性を損なうと共に、無用な混乱による経済的損失を招き、また、誤作動の度に現場に赴く観測担当者にとっては大きな負担となっている。このた

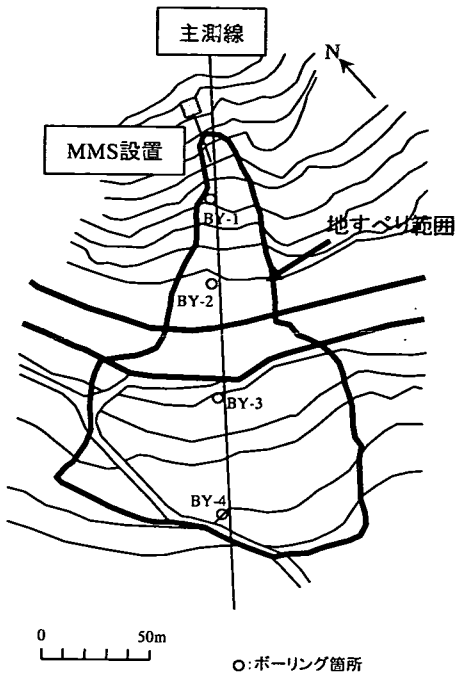


図-3 X地区平面図

め、本システムでは警報装置は従来通りの手法も可能とはしているが、警報出力はポケベル回線を通じて直接観測担当者に通報されるシステムを採用した。豪雨時の突発的な崩壊を除けば、一定以上の規模の地すべりなどは最終的な崩壊までに1時間以上の余裕のあることが多く、ポケベルの警報を受け、データの確認を行った後に対応を行うことは十分に可能であった。

4. 観測事例

(1) X県A地区の地すべり

X県A地区で地すべり災害が発生し、発生後の地すべり動態観測をMMS伸縮計で行った。梅雨期の豪雨に伴い顕在化し、段丘状の広大な丘陵斜面の側方部に形成された崩積土層地すべりである。地すべりの規模は長さ約110m、幅は上部では約40m、下部は80m程度、すべり層厚は約6m程度となっている。平面形状は図-3に示すようなラッパ型のような特異な形状を呈している。すべり面の深度は図-4に示す断面図上の各孔で確認された。

この地すべりでは上位斜面の冠頭部にMMS伸縮計を設置し、毎正時ごとの変位量を観測した。観測結果を図-5に示す。平常時の動きは殆ど認められないものの9月22日には、約6時間の連続雨量23.5mm、最大

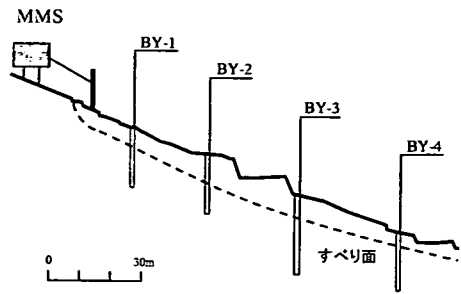


図-4 X地区断面図

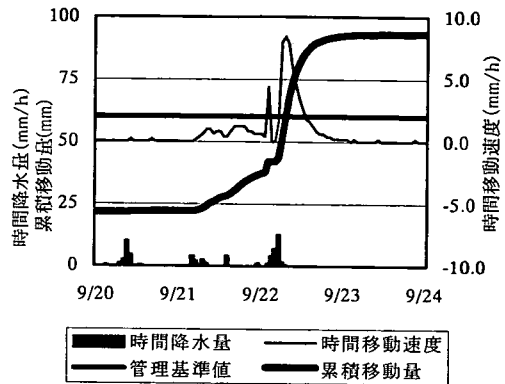


図-5 X地区観測結果

時間雨量12.5mmの降雨を契機に、地すべり移動速度は最大8.4mm/hにまで達した。2mm/hの基準値で設定されていた警報は、この間ポケベルを通じて随時担当技術者に通報されていた。しかし、移動速度は降雨の停止の2~3時間後から指数関数的に急速に低下してゆく傾向が確認され、崩壊の危険性が去りつつあることが、ほぼリアルタイムで確認された。これらの状況は直接現場に赴くことなく県外の事務所で把握され、適切な警戒とこの解除が遠隔地より最小限の労力で可能であった。

(2) Y県B地区の風化岩地すべり

Y県で発生した地すべりは長さ約200m、幅約110m、すべり層厚20m前後の典型的な風化岩地すべりである。頭部滑落崖の最大落差は約10mに及び、初期の大規模滑動の後も緩慢な地すべり滑動が継続したため、地すべりの再滑動と流出土砂による土石流発生が問題になった。図-6、図-7に示す位置において衛星携帯型MMS伸縮計を設置し、地すべり監視を行った。図-8に観測結果を示す。MMS伸縮計を設置し全自動観測を行ったのは3月末以後のことである。11月14日から3月末までの観測は、半自動観測器を現地に設置し、観測

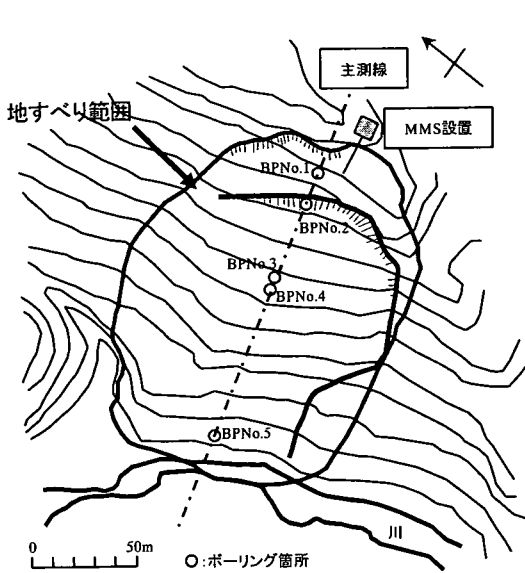


図-6 Y地区平面図

を行っていた。6、7月の約2ヶ月間、現地では冠頭部の排土工事が施工されたがこの期間を境に、地すべり土塊の移動量に明確な差が認められる。伸縮計は11月14日に設置され11月中は日平均で3.4mm/dの速度で変位し、それ以後は一時移動速度が遅くなっていたが、4月10日に85mm/dの雨量を契機に一旦移動速度が増加している。排土工事施工後の8月以降は多量の降雨にも関わらず地すべり土塊の移動は見られていない。3月末からの全自動観測期間中には、鳥類や樹枝のインバー線接触時にポケベル異常通報が発信されたが、その直後にデータ通信を行い、現地に赴くこと無く観測本部において誤作動状況を確認できた。衛星通信に伴う電力消費に対しては、太陽電池パネル(最大出力24W)の充電によって、1日数回程度の通信頻度ではバッテリー消耗は生じていない。観測制御器側のバッテリー交換(1~2ヶ月毎)が必要であるが、異常気象時を含んだ1ヶ月程度であれば、いずれのバッテリーも交換せずにリモート観測が可能であった。

5. 本研究のまとめと今後の課題

(1) 開発効果

本システムは様々な改良を加えながらも、開発からすでに2年以上が経過し30箇所以上の現場で稼働実績を得ている。1~2ヶ月に1回程度のバッテリー交換などのメンテナンスで、担当技術者が直接、随時データを確認し異常時に即座に対応できることのメリットは

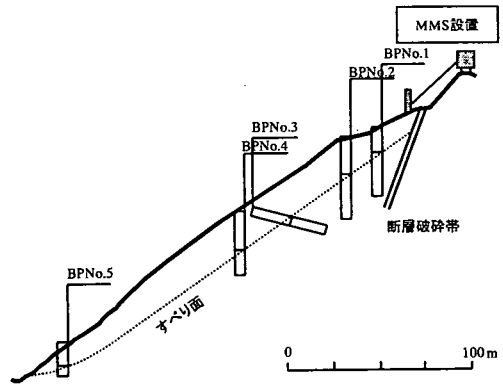


図-7 Y地区断面図

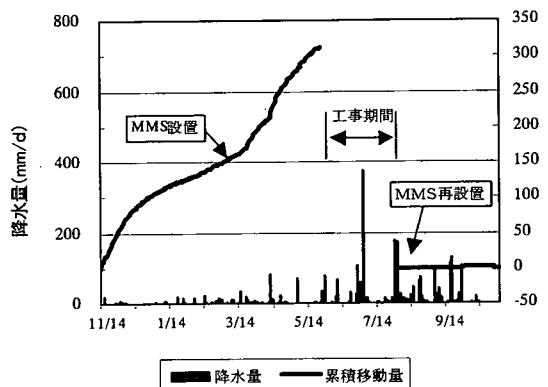


図-8 Y地区観測結果

非常に大きい。本システム開発に当たっての一つの主題であった省力化は予想以上であり、十分な投資効果を得ている。また、高い機動性によって、住宅地背後の岩盤崩壊現場への観測には即座に対応でき、日々の安全の確認を行い、さらに岩盤崩壊危険性の増大は数日前から把握し、崩壊数時間前の避難指示などの対応を行っている。一方で警報装置が作動しているケースでは、データの確認によって十分な判断能力を持った技術者が直ちにデータの確認を行うことにより適切な危険度の判断と対応が可能であった。この結果、斜面監視態勢そのものの信頼性の向上に寄与すると共に、無用な交通規制等に伴う混乱を防ぐことによる経済的な効果もかなり大きなものであった。

(2) 今後の課題と展望

a) 通信システムの安定性

携帯電話網は居住地域や主要な交通網を中心に整備が進められているため、携帯電話を用いた全自動観測の利用可能地域は実質的には半分程度である。携帯電話エリア外は衛星携帯電話による対応も行っているが、

電源の問題が最も大きな障害となっている。この面では、燃料電池等のより大容量で移動可能な電源の開発が最も期待される場所である。一方、芸予地震発生直後には、約半日にわたって、地震発生箇所周辺の電話は有線、携帯のいずれも利用が極めて困難となり、データ取得が不可能となった。計器設置箇所の携帯電話エリア（セル）が混雑していなくても、電話回線全体が輻輳した場合には、いずれにしても利用は困難である。この面では、災害などの緊急時専用の電話回線を別途設けられることを働きかけてゆく必要がある。

b) 通信システムなどの環境変化への対応

携帯電話網などの通信システムの発展は、必ずしも災害防止システムに望ましい方向に向かっているとは限らないが、民生用の通信機器を用いることによるコストダウンの効果は非常に大きい。現状では、携帯電話システムやパソコン OS の急速な変化がむしろ古いシステムの利用を不可能にするというデメリットも生まれ、システムの積極的な開発を躊躇させる原因となっている。携帯電話によるインターネット接続は警報の伝達に当たって、ポケベルに代わるより確実性の高い手法となることが期待される。パケット通信はより安価となることが求められるが、積極的な活用によって、データ通信の安定度の向上が期待される。通信システムに対しては、耐候性が高く、長期にわたって利用可能な専用携帯電話の開発が望まれる。

c) 情報伝達手段

観測データをどのような方法で一般の人に伝達し、斜面災害による被害防止に活用するかという点も重要な課題である。いたづらに未消化なデータをそのまま提供しても、無用な混乱を招くばかりであり、被害防止に貢献できない。基本的には技術的判断を加えたデ

ータを提供すべきであるが、一方で即時性を要求されるデータでもあり、判断に手間取ることも許されない。住民の自己責任によって避難等の判断が求められることが今後増えてくると思われるが、「どのようなデータ」を「どのような方法」で「誰が」、「誰に」伝達、提供するかも、迅速な避難等の実現のためには重要な検討課題である。情報の氾濫する現状では、緊急時の情報を的確に伝える「流れ」が確立されている必要があるが、一方で、住民サイドから自主的にデータ取得の可能な複数のルートも設けられている必要がある。

謝辞：本研究において、山口大学工学部 古川浩平教授には本研究の内容について多大なる御助言を頂いた。徳島県、和歌山県打田町役場（五十音順）の方々には MMS の観測に関して多大なる協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 綱木亮介：自動観測システムの今後の動向，シンポジウム地すべり調査・観測の新しい展開，地すべり学会，pp83-88，1997。
- 2) 末峯章：地すべり自動観測システムにおける 2, 3 の問題，地すべり，第 26 巻，第 1 号，26-30，1989。
- 3) (社)地すべり対策技術協会，地すべり観測システム委員会：地すべり自動観測（その 1），地すべり技術，Vol. 24，No. 3，26-35，1998。
- 4) (社)地すべり対策技術協会，地すべり観測システム委員会：地すべり自動観測（その 2），地すべり技術，Vol. 25，No. 1，14-33，1998。

(2001. 3. 12 受付)

DEVELOPMENT OF AUTOMATIC MONITORING SYSTEM BY USING PORTABLE PHONE AND IT'S OBSERVATIONS

Noriya KAMIHARA, Takeharu SATO and Shota YOSHIDA

In order to prevent casualties in slope failure, it is one of the best solutions to monitor slope stability automatically through wired communication network. However, the automatic monitoring system has still many problems such as high cost, mobility and stability etc. Thus the system has not becoming popular extensively. We redeveloped the automatic monitoring system. It is expected that it would solve all the problems by using the portable phone. The system has been mainly composed of invar wire extensometer with essential mobile power set, and it could be applicable to the various sensors. We report a summary about the process of monitoring systems and its observation on dangerous slope.