共同研究報告書

整 理 番 号 第 ４ １ ９ 号

土砂災害の警戒避難支援のための斜面崩壊検知センサーの開発 共同研究報告書

平成２３年３月

独立行政法人土木研究所
有限会社 秋山調査設計
坂 田 電 機 株 式 会 社
株 式 会 社 拓 和
中 央 開 発 株 式 会 社
日 本 工 営 株 式 会 社

共 同 研 究 報 告 書
第419号　2011年3月

土砂災害の警戒避難支援のための斜面崩壊検知センサーの開発

共同研究報告書

火山・土石流チーム　上席研究員　田村　圭司
主任研究員　内田　太郎
研　究　員　武澤　永純
交流研究員　伊藤　洋輔
〃　秋山　浩一
有限会社　秋山調査設計
代表取締役　秋山健一郎
坂田電機株式会社
計測工事部計測技術課　課　長　樋口　佳意
株式会社　拓和
営業統括本部第二営業部　課長代理　柳町　年輝
中央開発株式会社
技術センター技術開発室　課　長　王　林
日本工営株式会社
中央研究所総合技術開発部　専門部長　下村　幸男

要　旨:

本報告書は、独立行政法人土木研究所と民間企業5社が、平成19年度から平成21年度にかけて実施した共同研究「土砂災害の警戒避難支援のための斜面崩壊検知センサーの開発」について、その成果をとりまとめたものである。

本共同研究では、安価かつ長期間メンテナンスなしで容易に設置・運用が可能かつ信頼性の高い計測データを取得し、危機管理対応の要求に十分応えられる観測機器の開発を行った。

キーワード：土砂災害、警戒避難、斜面崩壊検知センサー、斜面監視、表層崩壊危険度評価

Copyright © (2011) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

担当者一覧

土木研究所　土砂管理研究グループ　火山・土石流チーム

	上席研究員	田村　圭司
	主任研究員	内田　太郎
	研　究　員	武澤　永純
	交流研究員	伊藤　洋輔
	〃	秋山　浩一

有限会社　秋山調査設計

	代表取締役	秋山健一郎
	技　術　員	天野　悟志

坂田電機株式会社

計測工事部計測技術課	課　　長	樋口　佳意
	係　　長	金子　綾一
		永江　祐

株式会社　拓和

新技術開発センター	センター長	霜田日出雄
開　　発　　課	担当部長	安本　寿人
設　　計　　課	課　　長	佐久間　剛
〃	主　　任	藤田　　哲
システム技術部	部長代理	能和　幸範
〃	課長代理	柳町　年輝

中央開発株式会社

技術センター	センター長	西江　俊作
技術センター技術開発室	課　　長	王　　林

日本工営株式会社

中央研究所 総合技術開発部	専門部長	下村　幸男
〃		小原　大輔
〃		福田謙太郎
社会システム事業部 総合情報技術部	専門部長	沼尾　信二
国土保全事業部防災部	専門部長	菅沼　　健
国土保全事業部	副技師長	上野　雄一
国土保全事業部砂防室	技　　師	田方　　智

目　次

１．概　要　1

　１．１　背景　1

　１．２　開発した斜面崩壊検知センサーの概要　2

　１．３　本報告の内容と位置づけ　3

２．開発した斜面崩壊検知センサー　4

　２．１　タイプⅠセンサー　4

　２．２　タイプⅡセンサー　5

　２．３　タイプⅢセンサー　7

　２．４　タイプⅣセンサー　9

　２．５　タイプⅤセンサー　11

３．斜面崩壊検知センサーの機能検証　13

　３．１ 検知機能試験　13

　３．２ 室内試験　15

　３．３ 通信試験　16

　３．４ 現場における設置　18

４．斜面崩壊検知センサーに関するよくある質問と答え　20

　４．１　機器の配置計画に関すること　21

　４．２　斜面崩壊検知センサーの機能について　23

　４．３　受信機の機能に関すること　27

　４．４　検知情報の確認・収集　28

　４．５　機器設置に関すること　29

　４．６　メンテナンスに関すること　31

５．斜面崩壊検知センサーの活用による土砂災害対策の高度化　33

参考資料

- 機能検証実験の詳細
- 土木技術資料　報文　「斜面崩壊検知センサーを用いた斜面監視の実施」

１．概　要

１．１　背景

土砂災害に対する警戒避難の判断基準は、降雨量を指標として運用が進んでいるが、事前に避難が勧告された事例は必ずしも多くない。その理由の１つとして、土砂災害は突然発生し、災害発生直前まで切迫性を感じにくいといったことが挙げられている[1)]。一方、周辺地域で土砂災害が発生し始めているといった危険情報をリアルタイムで入手できれば、行政も住民も自らの危険として認識し、避難行動につながりやすいと考えられる。現在、斜面崩壊を検知目的とした斜面変位に関する観測機器（伸縮計等）の多くは、斜面崩壊の初期の微少な変動を精度良く検知することを目的としているため、設置の作業性、メンテナンスの頻度、耐用年数、価格等の問題からごく限られた場所でしか使用されていない。そのため、土砂災害の発生に関する情報は基本的には目視による確認以外の方法では得られていないため、リアルタイムで入手するのは困難な状況にある。

そこで、平成 19 年 12 月より、独立行政法人土木研究所、有限会社秋山調査設計、坂田電機株式会社、株式会社 拓和、中央開発株式会社、日本工営株式会社は共同研究を開始し、センサーの機能を斜面崩壊の発生検知に限定し、安価かつ長期間メンテナンスなしで、斜面に容易に設置可能な斜面崩壊検知センサーの研究・開発を行うこととした[2)]。具体的には、表１．１に示す開発目標を設定し、これまでの検証実験により、概ねこれらの目標を達成できたことを確認した。

表１．１　開発目標

①	検知機能	勾配が概ね３０度以上の急斜面に設置し、崩壊の発生を時間遅れなく検知する
②	通信方式	無線通信（100m以上伝送可能）
③	電　　源	バッテリー駆動（電池寿命5年間以上）
④	検知出力	デジタル出力
⑤	目標価格	センサー1台数万円程度
⑥	耐用年数	約１０年間
⑦	設置条件	容易かつ人力で設置可能
⑧	耐環境性	気象条件（降雨・雪・落雷）や環境（立木・寒冷地）などにより機能障害が生じない

１．２　開発した斜面崩壊検知センサーの概要

本共同研究では、表１．２に示す斜面崩壊検知センサーを５種類開発した。このうち、タイプⅠセンサーは地盤の変位、タイプⅡ、Ⅲ、Ⅳセンサーは崩壊発生に伴うセンサーの転倒、タイプⅤセンサーは傾斜及び土壌水分を監視し崩壊を検知する。

なお、各センサーの詳細な仕様については、２章に示した。

表１．２　開発したセンサーの概要

センサータイプ	タイプⅠ	タイプⅡ	タイプⅢ	タイプⅣ	タイプⅤ
信号伝送方式	鉄球落下方式	無線方式 （地中通信）	無線方式 （特定小電力無線）	無線方式 （特定小電力無線）	無線方式 （特定小電力無線）
監視・検知項目	センサー・パイプの伸び量	センサーの転倒	センサーの転倒	センサーの傾斜角度 及び土壌水分	センサーの転倒
特　徴	・電源がいらない ・構造が単純 ・保守が容易	・土中埋設可能 ・地形・植生の影響がない	・安価 ・低消費電力 ・既設テレメータ装置と接続可能 ・SDメモリーカード記録標準装備	・安価 ・前兆現象の定量把握可能 （傾斜角度、土壌水分）	・安価 ・設置が容易 ・既存の防犯装置との連携が可能
検知信号の 伝送可能距離	10°以上の勾配が 保てる距離	地中30m程度	500m以上 （直線見通し上）	600m程度 （直線見通し上）	500m程度 （直線見通し上、ただし、無線中継器による距離延伸可能）
センサ電源	不要	内蔵電池	内蔵電池	内蔵電池	内蔵電池
検知出力	デジタル出力 （ﾃﾞｰﾀﾛｶﾞｰ接続時、要電源）	デジタル出力	デジタル出力	デジタル出力	デジタル出力
センサ価格	数万円程度	10万円程度	数万円程度	数万円程度	数万円程度
連続使用時間 （電池無交換）	（電池不要）	2～5年程度	最大5年程度	10分間隔計測で 1年間程度	2～5年程度
耐用年数	約10年程度	約10年程度	約10年程度	約10年程度	約10年程度
設置性	人力で設置可能	人力で設置可能	人力で容易に設置可能	人力で容易に設置可能	人力で容易に設置可能
寸法・重量	60W×60D×900H mm 重量：1.5kg	φ114×205L mm 重量：1kg程度	φ83×240H mm 重量：2kg程度	100W×100D×200H mm程度 重量：0.3kg	120W×160D×91H mm 重量：0.3kg

１．３　本報告の内容と位置づけ

本報告では、開発した斜面崩壊検知センサーについて、開発目標を達成・確認することができたため、最終成果についてとりまとめたものである。

本報告の構成は以下の通りである。

２章では本共同研究で開発した斜面崩壊検知センサーの詳細な仕様を示し、3 章では斜面崩壊検知センサーの開発において実施した検証試験等について示した。4 章では、開発中及び現場への適用に際して関係者から聞かれた質問・疑問とその回答をとりまとめた。さらに、5 章では、直轄砂防事務所、都道府県の砂防担当課および土木事務所、市町村の土木部局、消防部局および自主防災組織との意見交換、ヒアリングを通して明らかとなった土砂災害に対する監視・警戒避難に関する課題[例えば3)]のうち、本共同研究で開発した斜面崩壊検知センサーを活用することによって解決が期待できる事項について、活用方法案も含めて示した。

また、これまでの斜面崩壊検知センサーの機能検証実験に関する詳細は参考資料に示した。

参考文献

1)国土交通省砂防部ホームページ：土砂災害警戒避難ガイドライン検討委員会、第 1 回説明資料
(http://www.mlit.go.jp/river/sabo/link_dosya-guidelines.html)

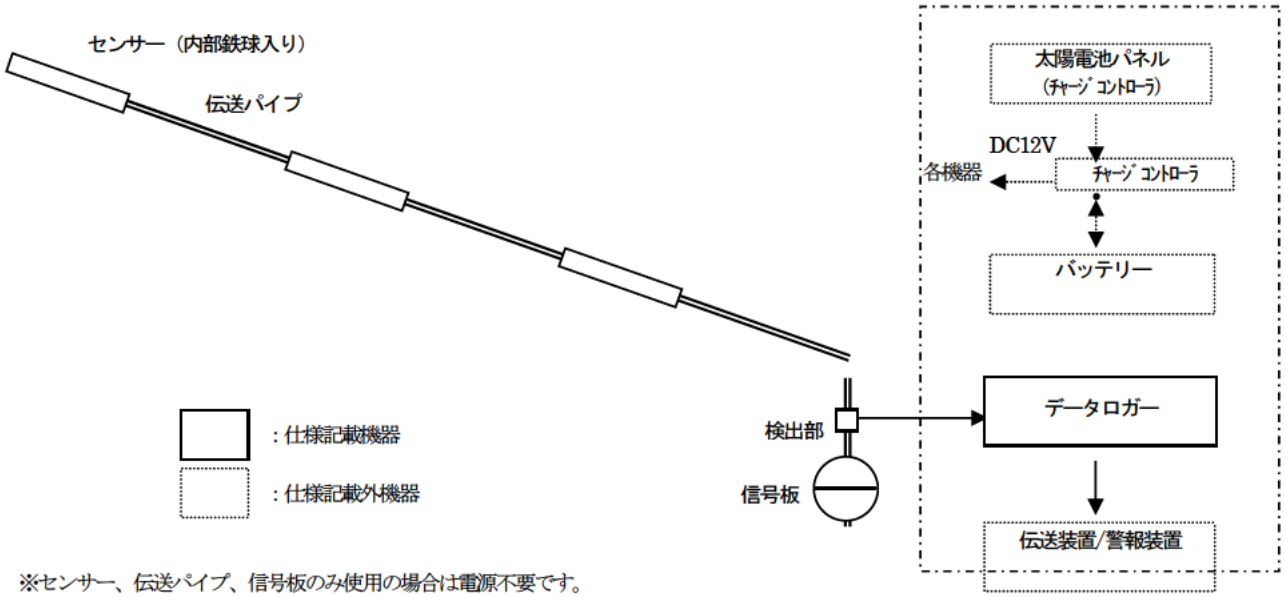
2)柳町年輝、内田太郎、田村圭司、秋山健一郎、金子綾一、藤田哲、王林、下村幸男（2008）土砂災害の警戒避難支援のための斜面崩壊検知センサーの開発,平成 20 年度砂防学会研究発表会概要集 pp.236-237,

3)柳町年輝、内田太郎、田村圭司（2007）豪雨時の土砂災害発生に関する情報収集と活用について、災害情報学会第 9 回学会大会予稿集 pp.267-271

２．開発した斜面崩壊検知センサー

２章では開発した斜面崩壊検知センサーの機器毎の仕様を示す。

２．１　タイプⅠセンサー



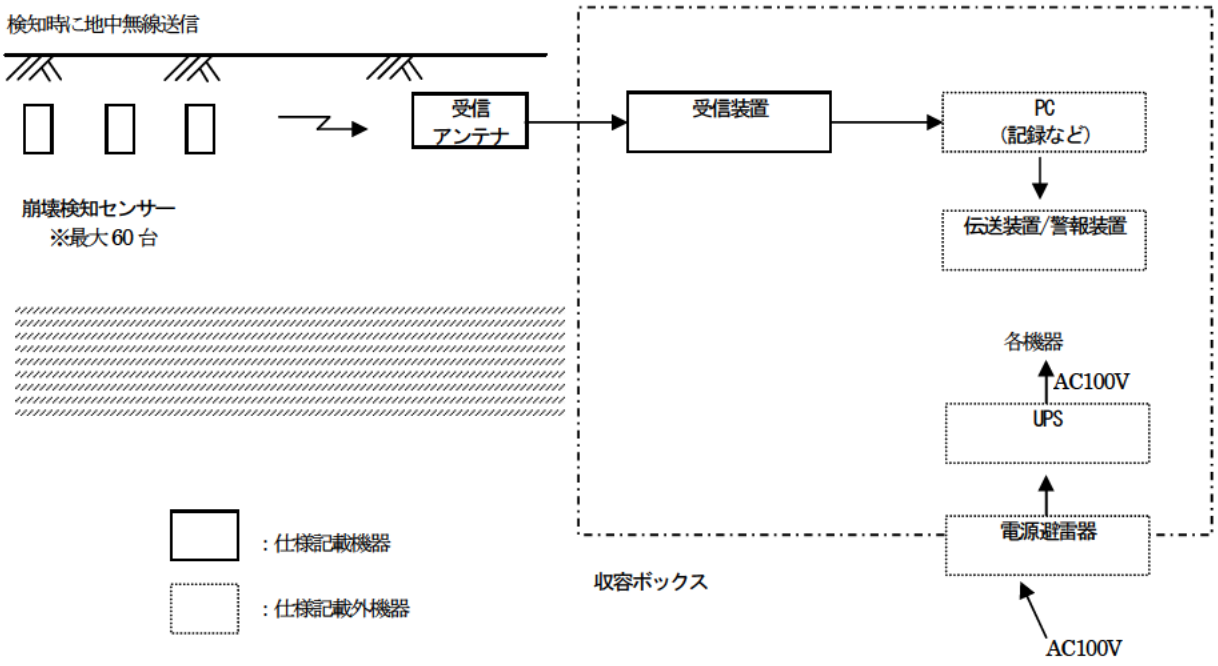
※センサー、伝送パイプ、信号板のみ使用の場合は電源不要です。
※検出部、データロガー、伝送装置などを使用する場合は、
　図示する太陽電池又は、商用電源が必要となります。

・センサー

本機器は、内蔵する鉄球がパイプのズレによりパイプ内部に放出されることで斜面崩壊を検知し、鉄球の自由落下により信号板を作動させるものである。

検 知 方 式：パイプズレ検知方式
検 知 精 度：１ｃｍ±2mm
伝送可能距離：10°以上の勾配が保てる距離
送信信号内容：センサーID 情報
電　　池：不要
使用温度範囲：-20℃～+45℃
使用湿度範囲：30%～90%（但し結露時を除く）
筐 体 材 質：樹脂・ポリパイプ・鉄球
外 形 寸 法：６ｃｍW×６ｃｍD×90ｃｍH mm
重　　量：1.5kg

２．２　タイプⅡセンサー



(1)センサー

本機器は、通常はスリープ状態であり、内蔵タイマーによる定期起動（自己診断）または内蔵転倒センサーによる起動でIDと傾斜の発生および傾斜発生時刻を送信するものである。

検　出　方　式：内蔵転倒スイッチ
動作検出角度：筐体軸を鉛直にして約45度の傾斜
通　信　方　式：地中通信（低周波磁界）方式　8.5ｋＨｚ
通　信　距　離：土中30m（周辺環境によっては、100m）
測定・送信頻度：転倒検出時、自己診断時（1日または1週間に1回）
電　　源：リチウム電池（交換可能：工場対応）
電　池　寿　命：最大5年間
容器耐水圧：0.5MPa
外　形　寸　法：φ114×205L mm

(2)受信アンテナ

通　信　方　式：低周波磁界方式　8.5kHz
容器対水圧：3MPa
使用温度範囲：10℃ ～ +40℃

(3)受信装置

本機器は、検知センサーから送信されたデータを受信アンテナで受け、装置本体で復調し、保存する。

データ収録回数：500,000回

管理（受信）可能ｾﾝｻｰ: 60 台

インターフェース：LAN（PC 接続によりデータ記録可能）

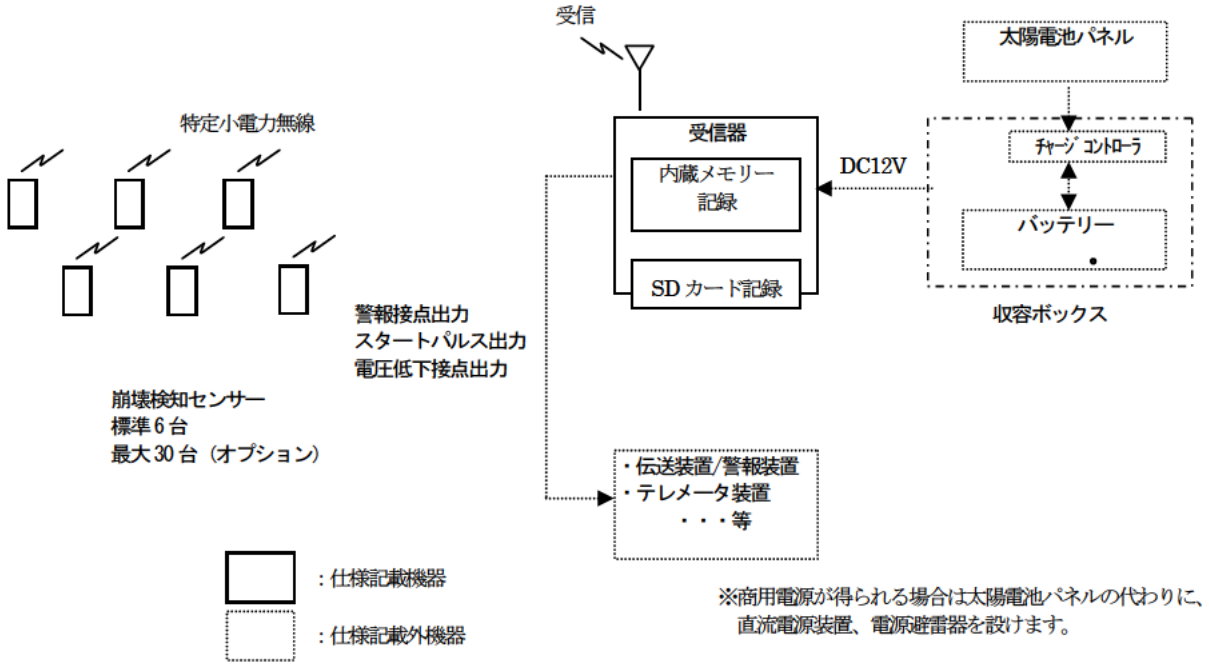
使　用　温　度：0～50℃

使用湿度範囲：20～80%　（ただし結露しないこと）

電　　源：AC100V、消費電力　100W 程度

重　　量：3kg 程度

２．３　タイプⅢセンサー



(1) センサー

本機器は、内蔵する傾斜検知装置により斜面崩壊を検知し、特定小電力無線により受信機にデータを伝送するものである。

検 知 方 式：転倒検知方式
検 知 角 度：センサーが約 30 度以上傾いたときに検知
伝 送 方 式：特定小電力無線伝送
発 信周波数：426MH z 帯
送 信 出 力：１mW
送 信データ：センサーID 番号
伝 送 距 離：500m以上(見通し、設置環境・条件により異なる)
動作電源電圧：ＤＣ3Ｖ（リチウム電池）
消 費 電 流：最大 30ｍＡ以下
環 境 条 件：周囲温度 -10℃～50℃
相 対 湿 度：30%～90%（ただし結露しないこと）
材　　質：塩化ビニル樹脂
寸　　法：φ83×H240mm（突起部は含まない）
質　　量：2ｋｇ以下

⑵受信制御装置

受 信 内 容：検知センサーからの検知信号

受 信 方 式：特定小電力無線伝送

受 信周波数：426MH z 帯

信 号 入 力：検知信号入力（無線による電波信号）

検知センサーＩＤ番号

最大 30 のＩＤ番号の識別が可能

管理(受信)可能センサー：30 台

標 準 出 力：警報接点出力 ×6 点（奇数パリティ付き）

電圧低下接点出力 ×１点

スタートパルス ×１点

出力オプション：以下を 2 量出力

個別接点出力 ×30 点

電圧低下接点出力 ×１点

スタートパルス ×1 点

出 力 形 式：無電圧A接点

デ ータ記録：内部メモリー及びＳＤカードに記録

電 源 電 圧：ＤＣ12Ｖ（10.5～16.5Ｖ）

環 境 条 件：周囲温度 -10℃～50℃（ただし LCD 表示器を除く）

相対湿度 30%～90%（ただし結露しないこと）

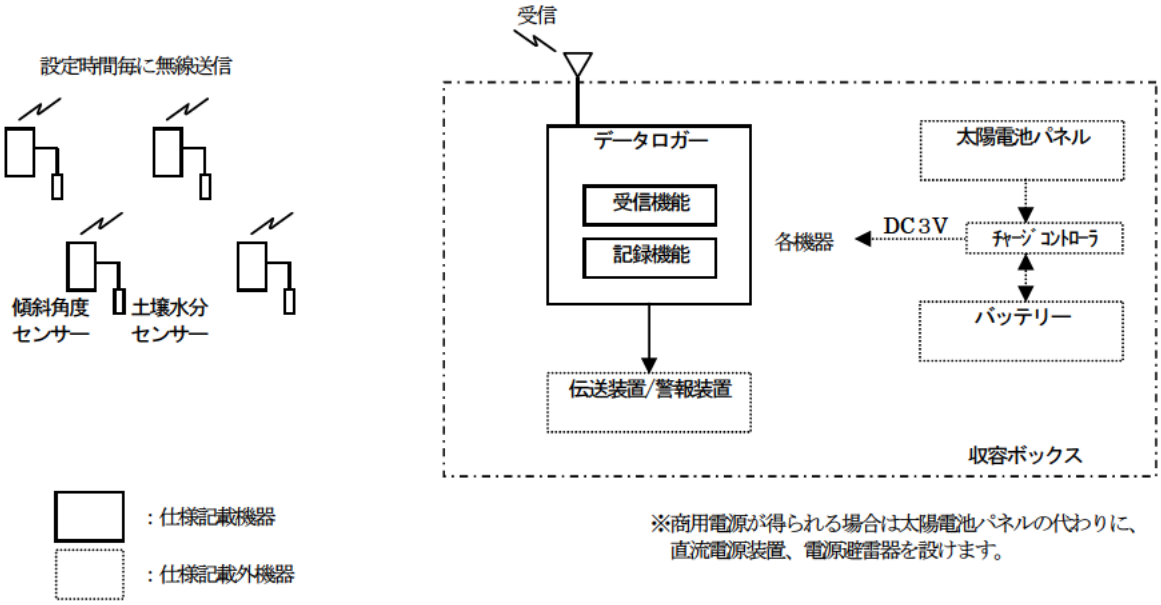
構　　造：屋外用壁掛けボックス型（ＩＰ65）

材　　質：ポリカーボネート＋ＡＢＳ樹脂

寸　　法：W300×H400×D165 ｍｍ（突起部は含まない）

質　　量：5ｋｇ以下

２．４　タイプⅣセンサー



(1)センサー

本機器は、内蔵するセンサーにより設定時間間隔ごとの傾斜角度を測定する。また、外付けの土壌水分計により土壌水分を測定し、特定小電力無線によって受信機にデータを送信するものである。

構　　成：防水筐体、傾斜検知部、無線伝送部、バッテリー
検 知 方 式：2 軸＋3 軸 MEMS センサー傾斜方式、ECHO 土壌水分センサー
検 知 角 度：2 軸：±30°　(X-Y 軸＝水平面)、3 軸：±90°　(任意角度設置が可)
検 知 精 度：2 軸：0.0025°、3 軸：0.04°
水　分　計：ECHO 土壌水分計（EC5-5）：0.002m³/m³
検 知 精 度：±3%
無 線 方 式：特定小電力無線（ARIB STD-T67 適合、免許不要）
周　波　数：429.250～429.7375MHz
送 信 出 力：10mW
伝送可能距離：およそ 600m（但し見通しの良い直線上においてノイズが微小な場合）
応 答 時 間：設定時間間隔毎にデータ送信
送信信号内容：時刻、センサーID 番号、2 軸傾斜計状態信号（X、Y 軸計測値）、
3 軸傾斜計状態信号（X、Y、Z 軸計測値）、水分計計測値、
センサーバッテリー電圧、無線センサーユニット温度
電 池 種 類：単三並列 2 本×2 本 ＝3 Volt
電池期待寿命：一年（但し、動作頻度＝10 分間/回、データ送信の条件にて）
使用温度範囲：-0℃～+80℃

筐 体 材 質：プラスチック
外 形 寸 法：100W×85D×158.4H mm
重　　量：0.3kg（電池重量は除く）
取 付け方法：斜面に杭を打ち、ねじでセンサーを固定する。
　　土壌水分計は、地表面に差し込む。

⑵データロガー

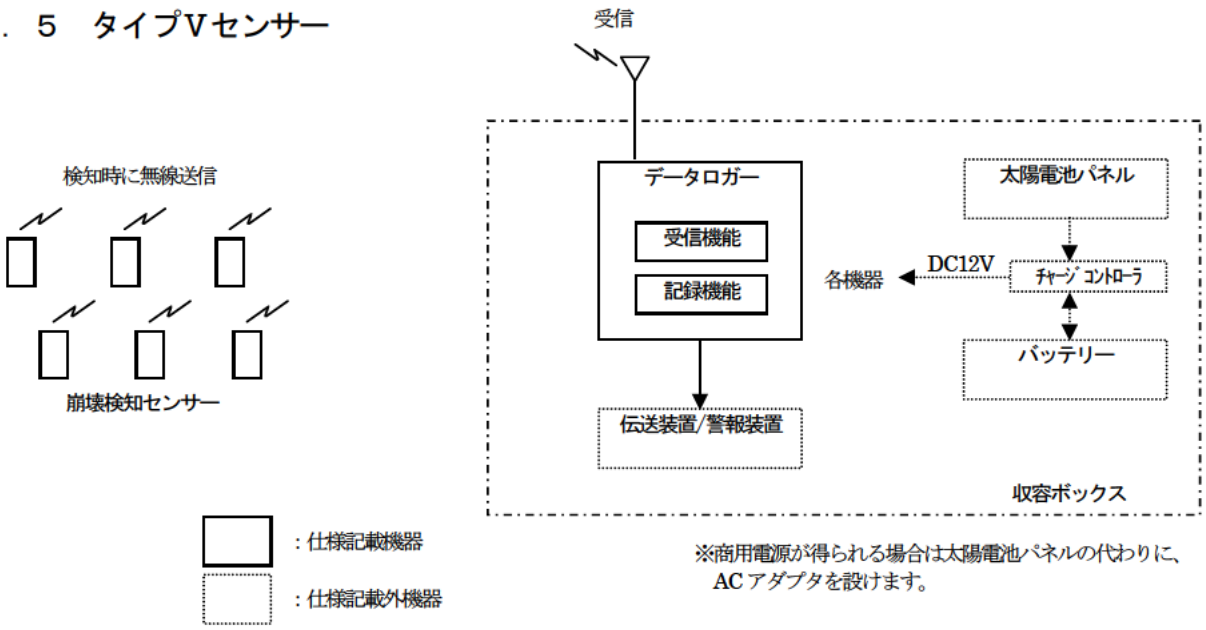
本機器は、センサーからの無線信号を受信し、外部機器にデータを出力する。

構　　成：アンテナ、RS232C 出力部、SD カード
無 線 方 式：特定小電力無線（ARIB STD-T67 適合、免許不要）
周　波　数：429.250～429.7375MHz
送 信 出 力：10mW
管理(受信)可能センサー：10 台
受信信号内容：時刻、センサーID 番号、2 軸傾斜計状態信号（X、Y 軸計測値）、３軸傾斜計状態信号（X、Y、Z 軸計測値）、水分計計測値、センサーバッテリー電圧、無線センサーユニット温度
出 力 信 号：RS232C（UART）、USB
出力信号内容：時刻、センサーID 番号、2 軸傾斜計状態信号（X、Y 軸計測値）、3 軸傾斜計状態信号（X、Y、Z 軸計測値）、水分計計測値、センサーバッテリー電圧、無線センサーユニット温度
電　　源：単一並列 2 本×2 = 3 Volt
使用温度範囲：-0℃～+80℃
使用湿度範囲：結露しないこと
筐 体 材 質：プラスチック
外 形 寸 法：160W×100D×210H mm
重　　量：約 0.4kg

⑶対応可能オプション

D / A 出 力：12 ビット×2CH
A / D 入 力：12 ビット×8CH
接 点 出 力：2～5 点
そ　の　他：ソーラーパネル電源

２．５　タイプⅤセンサー



(1)センサー

本機器は、内蔵する傾斜検知装置により斜面崩壊を検知し、特定小電力無線により受信機にデータを伝送するものである。

構　　成：防水筐体、傾斜検知部、無線伝送部、バッテリー

検 知 方 式：全方位検知型（ユニバーサル）傾斜センサー1 台で制御
（検知角度の異なる傾斜センサーを 2 台まで増設可）

検 知 角 度：30°（10°、20° のオプションあり）

検 知 精 度：検地角度±5°

無 線 方 式：特定小電力無線

周　波　数：429MHz

送 信 出 力：10mW

伝送可能距離：500m（但し見通しの良い直線平坦上においてノイズが微小な場合）

応 答 時 間：5 秒以内（センサー検知から無線伝送まで、中継器含まず）

送信信号内容：時刻、センサーID、センサー番号、転倒検知／ヘルスチェック(電池電圧低下情報)

信号送信間隔：平常時 1 日 1 回（定時の動作確認情報）、検知時（転倒検知後瞬時）

電 池 種 類：単 3 アルカリ乾電池（3 本）

電池期待寿命：2～5 年程度（但し、通常待機状態にて）

使用温度範囲：-10℃～+50℃

使用湿度範囲：85%以下（ただし結露しないこと）

筐 体 材 質：ポリカーボネート樹脂、ABS 樹脂

保 護 等 級：IP55
外 形 寸 法：Φ100×140H mm
概 略 重 量：約 600g（電池込み）
取 付け方法：地盤に打設する鉄杭（別途手配）等への取付

⑵受信機

本機器は、センサーからの無線信号を受信するとともに、センサーからの送信信号内容を保存する。

管理(受信)可能センサー：32 台
構　　成：防水筐体、アンテナ、出力部
無 線 方 式：特定小電力無線（免許不要）
周　波　数：429MHz 帯
送 信 出 力：10mW
受信ログ保存内容：時刻(年月日時分)、センサーID、センサー番号、転倒検知／ヘルスチェック(電池電圧低下情報)
出 力 信 号：特定小電力無線による信号送信
電　　源：AC100V (DC12V でも稼動可)
使用温度範囲：AC アダプタ使用時：0℃～＋40℃、ソーラーパネル使用時：-10℃～＋50℃
使用湿度範囲：85%以下（但し結露時を除く）
筐 体 材 質：電気亜鉛メッキ鋼板、ABS 等
外 形 寸 法：419W×200D×88H mm
概 略 重 量：約 2300g

⑶オプション機器

オプション機器として、以下機器の接続が可能である。

無　線　中　継　器：無線中継器を使用することで、見通しで 200m 以上、環境が良好であれば 500m 程度毎に送信距離を延長することが可能。
ソーラーバッテリーシステム：商用電源の取れない現場ではソーラーバッテリーシステムで使用可能。
インターフェイスコンバータ：遠隔地へのインターネットを介したデータ伝送やメール通知が可能。

３．斜面崩壊検知センサーの機能検証

本章では、開発した斜面崩壊検知センサーの機能と現場適応性を検討するために実施した機能検証試験や、試験運用中に生じた障害に対して実施した対策についてとりまとめた。なお、検証試験結果の詳細は参考資料にまとめた。

３．１ 検知機能試験

１）室内模型実験によるセンサー検知機能試験　（開発目標①の検証）

斜面崩壊を再現可能な室内模型実験装置を用い、実際の崩壊に際し斜面崩壊検知センサーが崩壊に遅れなく検知可能であるか検証試験を行った（図３．１）。その結果、試験を行ったすべてのセンサーにおいて斜面崩壊のタイミングに遅れなく、斜面崩壊発生の検知が正しく行われたことを確認した。なお、詳細は参考資料１ページ参照。

・検証試験を実施したセンサータイプ：タイプⅡセンサー、タイプⅢセンサー、タイプⅤセンサー

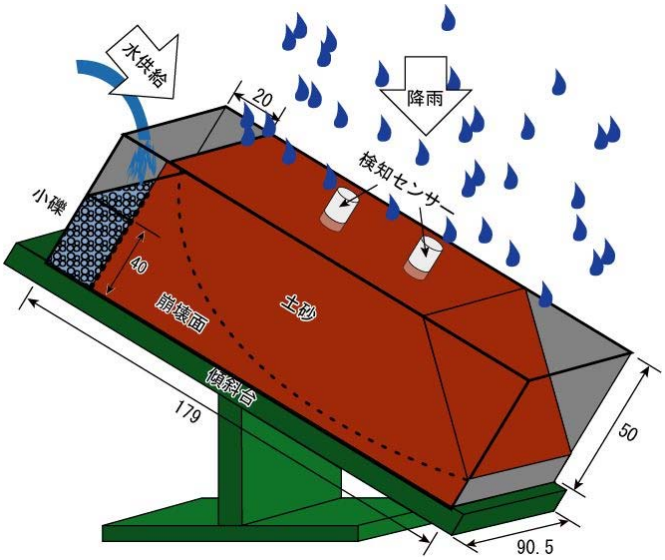


図３．１ 斜面地崩壊検知試験

２）屋外実験によるセンサー検知機能試験　（開発目標①の検証）

図３．２に示すように斜面変形を人工的に発生させ、斜面崩壊検知センサーが崩壊に遅れなく斜面変形を正確に知可能であるか検証試験を行った。試験結果より、杭の変位速度と鉄球の落下速度（変位の検知）の間隔は、地盤の動きに応じて斜面崩壊の検知が正しく行われたことを確認した。なお、詳細は参考資料４ページ参照。

・検証試験を実施したセンサータイプ：タイプⅠセンサー

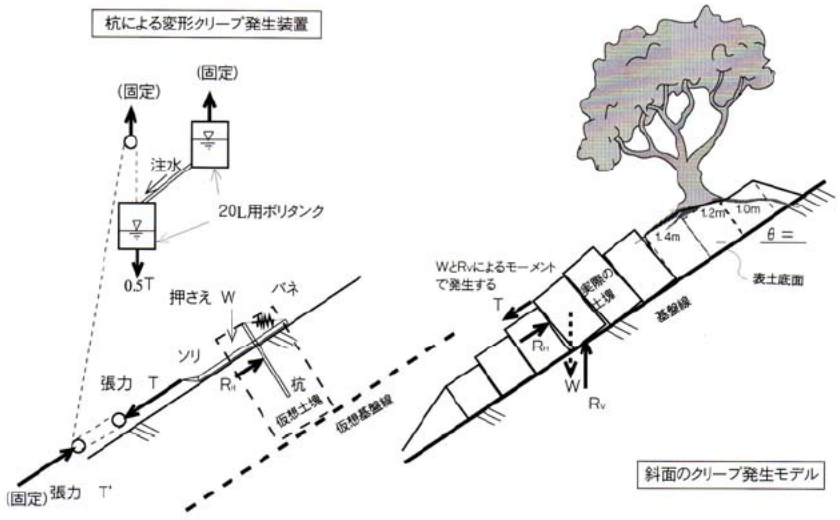


図３．２　人工クリープ発生実験概念図

３）傾斜計センサー出力の精度検証試験

斜面崩壊検知センサーに内挿する傾斜計の検知精度について検証試験を行った。試験は図３．３に示す通信インターフェースを介して斜面崩壊検知センサーを傾けた時の出力値（傾斜角度値）と実際の傾斜角度値と比較した。試験結果より、垂直方向を０度として斜面崩壊検知センサーの横方向と前後方向にそれぞれ−30 度～+30 度まで 10 度の単位で傾けたときの傾斜センサーX 軸、Y 軸の値は、傾斜角度が増加すると測定誤差が増える傾向があるが、X、Y 軸の最大測定誤差は 0.03° 程度であり、斜面崩壊検知センサーとして必要な精度を有していることを確認した。なお、詳細は参考資料７ページ参照。

・検証試験を実施したセンサータイプ：タイプⅣセンサー

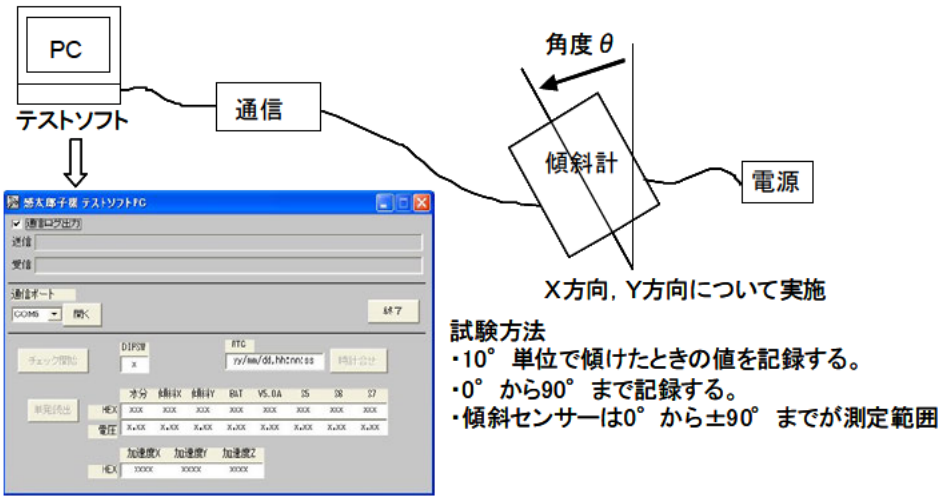


図３．３　試験概要図

３．２ 室内試験

1）温度環境変化に対する動作確認試験

温度環境変化に対する斜面崩壊検知センサーの適用性について検証試験を行った。試験は、斜面崩壊検知センサーの検知部である２軸 MEMS 傾斜モジュール部を床に接着し、傾斜モジュール部を PT 温度計と共に過熱・冷却して、①傾斜モジュールと温度変化の関係、②外気温とセンサーの CPU 温度の関係について計測した（図３．４）。

試験結果より、2 軸 MEMS 傾斜計の温度変化の誤差は、0～40℃範囲で±0.05 度（X 軸）、±0.08 度（Y 軸）で比較的小さい値であった。これより、温度環境変化が斜面崩壊検知センサーの検知精度に及ぼす影響は少ないと考えられる。また、外部の温度と CPU 温度は、-10℃～70℃の範囲で相関があり、特別温度計を実装しなくても CPU の温度を利用して温度補正を行うことが可能である。なお、詳細は参考資料 10 ページ参照。

・検証試験を実施したセンサータイプ：タイプⅣセンサー



図３．４　温度特性試験の設置状況

2）低温環境下における斜面崩壊検知センサーの動作確認試験

斜面崩壊検知センサーは乾電池やリチウムイオン電池などの二次電池にて電源供給される。斜面崩壊検知センサーを寒冷地にて運用する場合、低温による電池能力の低下が懸念された。そこで、寒冷地での電池および送信器の能力について検証試験を行った。試験は－30℃の冷凍庫に斜面崩壊検知センサーを入れ、時間経過ごとに冷凍庫のドアを開き傾けた状態で通信試験を行った。斜面崩壊検知センサー2 個に対して行った試験結果は図３．５のとおりであり、約２ヶ月間の電波強度はほとんど変化がなかった（冷凍庫から約 3m の離隔）。これより、低温環境下（寒冷地）での使用に問題はないと考えられた。なお、詳細は参考資料 13 ページ参照。

・検証試験を実施したセンサータイプ：タイプⅤセンサー

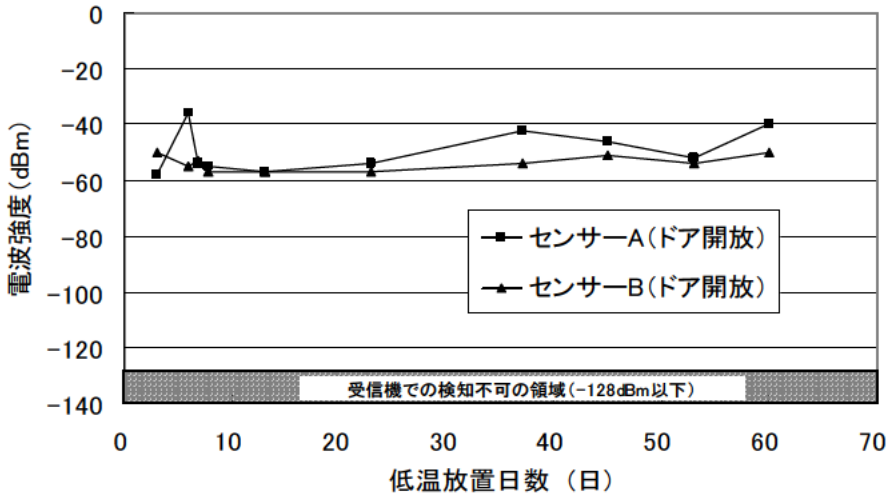


図３．５　耐低温試験

３．３ 通信試験

１）見通しの良い平地での無線通信機能試験　（開発目標②の検証）

検知情報の無線通信可能距離に関して最大通信可能距離試験を行った。試験は見通しが取れる土木研究所の敷地内で図３．６に示すようにセンサー受信機と斜面崩壊検知センサーの設置間隔を広げた場合の無線通信機能について確認した。試験結果より、見通しの良い平地においては約 300～1000m 程度の検知情報の無線通信機能を有していることがわかった。なお、詳細は参考資料 15～32 ページ参照。

・ 検証試験を実施したセンサータイプ：タイプⅡ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴセンサー

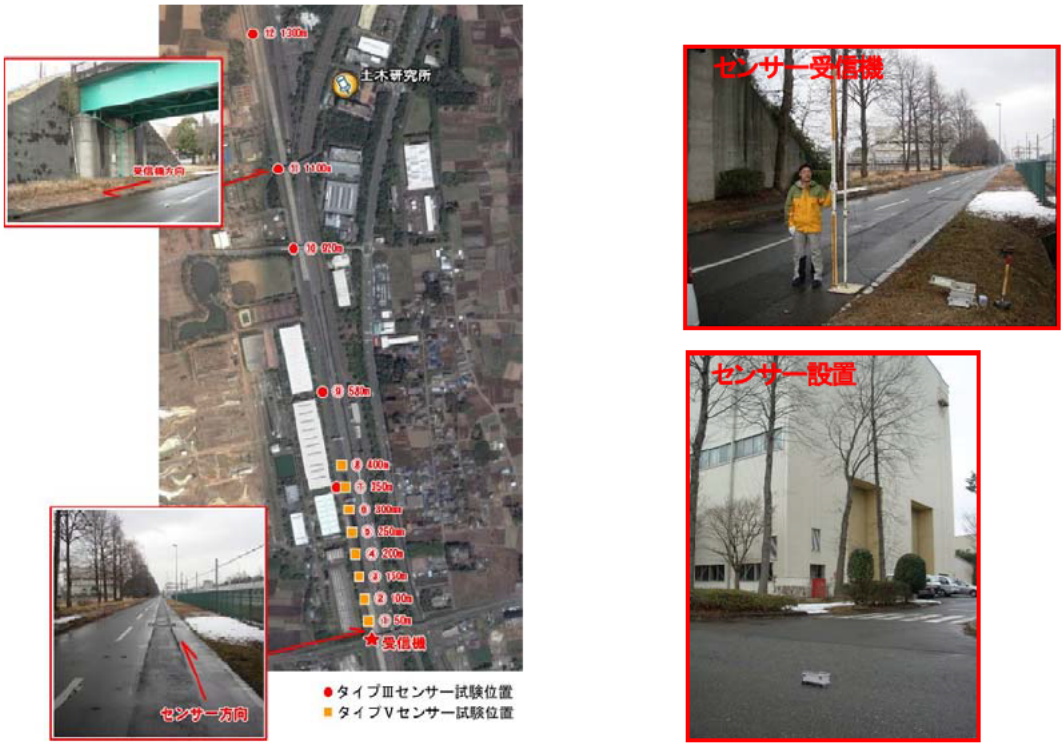


図３．６　見通しの良い平地における通信試験

２）樹木等影響試験

樹林内の条件下においても無線通信機能試験を実施し、最大通信可能距離の確認を行った（図３．７）。試験結果より、樹林内の条件下においては、見通しの良い条件下に比べると無線通信可能距離は減衰し、約 100～400m 程度となることがわかった。なお、詳細は参考資料 15～32 ページ参照。

・検証試験を実施したセンサータイプ：タイプⅡ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴセンサー



図３．７　樹木林立の条件下における通信試験

３）山間地域での無線通信機能試験　（開発目標②の検証）

植生、地形条件が実際に活用する場の条件に近いと考えられる山間地域において、無線通信機能試験を実施し、最大無線通信可能距離の確認を行った（図３．８）。試験結果より、樹林内での無線通信試験結果と同様に約 100m～400m の検知情報の無線通信可能距離を有していたことから、開発した斜面崩壊検知センサーが開発目標②を達成していることを確認した。なお、詳細は 33～40 ページ参照。

・検証試験を実施したセンサータイプ：タイプⅡ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴセンサー

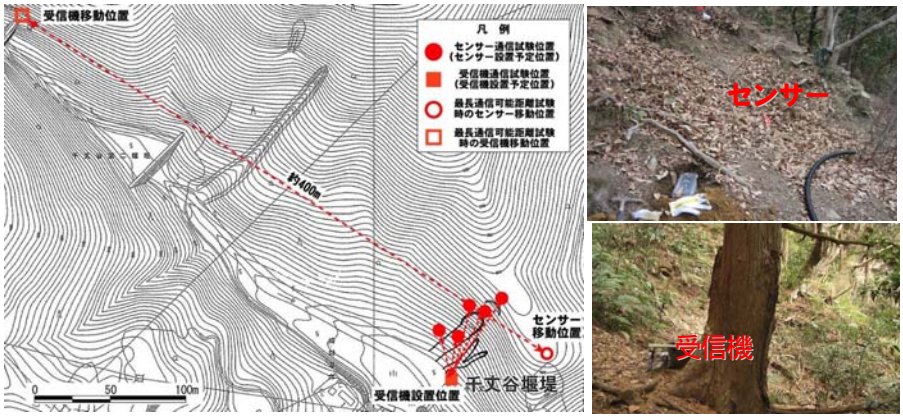


図３．８　山間地域での無線通信機能試験

４）積雪状況を想定した通信試験

積雪地への斜面崩壊検知センサーの適用にあたっては、斜面崩壊検知センサーが雪に埋もれることにより、雪により無線信号伝搬に影響を与えることが考えられる。そこで、人工スキー場において、斜面崩壊検知センサーを積雪下に埋設し、その無線伝播状況から無線通信可能距離について試験を行った（図３．９）。試験結果より、積雪 150cm の状況下で通信距離 200m とした場合においても無線発信信号数のうち、半数以上が受信機に到達していたことから、積雪状況下でも開発目標②を達成できていることを確認した。なお、詳細は 41 ページ参照。

・検証試験を実施したセンサータイプ：タイプⅤセンサー



図３．９　積雪下センサーによる無線伝送試験

３．４　現場における設置

（１）耐久性の検証

斜面崩壊検知センサーは斜面監視機能を長期間持続する必要があることから、その耐久性について検証試験を行った。試験は六甲山地内の山間地域において、開発したセンサーを設置し、約２～３ヶ月ごとに１度の割合でセンサー機能の確認し耐環境性の確認を行った（図３．

１０）。メンテナンス時の異常は確認されなかった。これより、斜面崩壊検知センサーの耐環境性（開発目標⑧）を確保していることが確認された。なお、詳細は参考資料 46～65 ページ参照。

・検証試験を実施したセンサータイプ：タイプⅡ，Ⅲ，Ⅳ，Ⅴセンサー

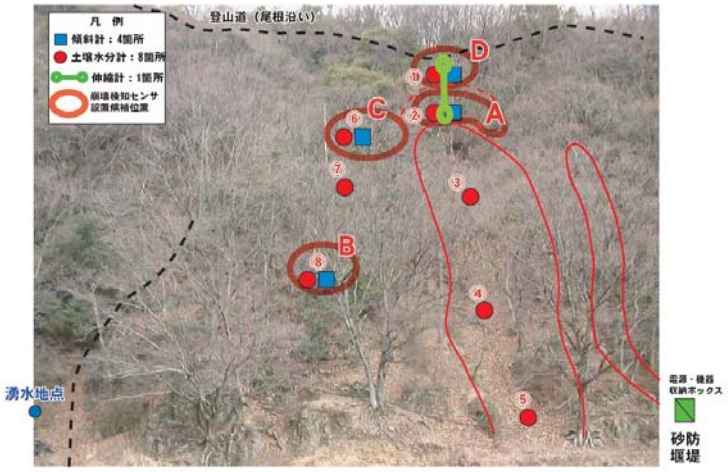


図３．１０　山間地域におけるモニタリング（兵庫県六甲山 千丈谷 ）

（２）その他の機能の検証

現場に設置中に以下の様な問題が生じた。

・落雷によると考えられる誤報（詳細は参考資料 66 ページ参照。）

・落石，雪塊等による振動によると考えられる誤報

（詳細は参考資料 69～77 ページ参照。）

・無線の混信による誤報・障害（詳細は参考資料 78 ページ参照。）

・遠隔操作時のデータ伝送処理における障害

（詳細は参考資料 80 ページ参照。）

・動物によると考えられる機器の損傷による障害

（詳細は参考資料 84 ページ参照。）

４．斜面崩壊検知センサーに関するよくある質問と答え

本章では、斜面崩壊検知センサーの性能及び現場への適用に際して、関係者から聞かれた質問・疑問及びそれに対する答えをとりまとめた。

表４．１　質問の一覧

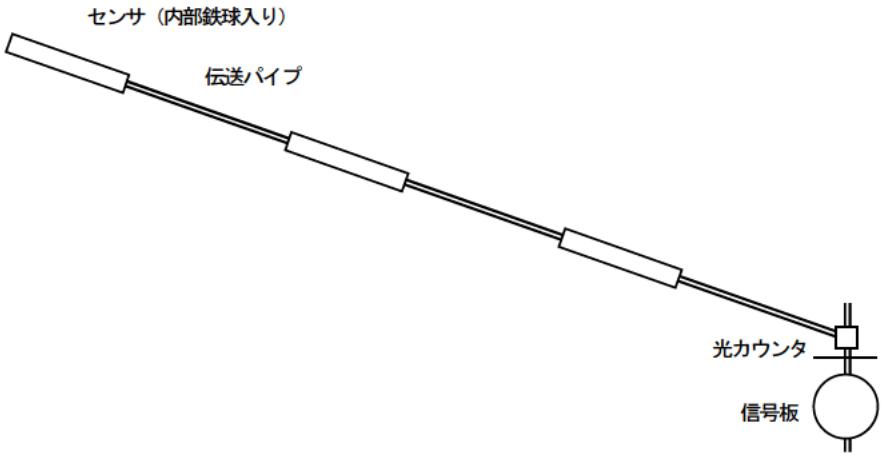
分類項目	質問
機器の配置計画	基本的な機器構成はどのような構成であるか。
	斜面崩壊検知センサーの設置検討はどのようにして行えばよいのか。
斜面崩壊検知センサーの機能	複数個の斜面崩壊検知センサーを設置した場合、斜面崩壊を検知したセンサーの区別は可能であるか。
	斜面崩壊が発生しても斜面崩壊検知センサーが正しく検知できない場合はあるか。
	崩壊以外の現象を崩壊と誤検知することはあるか。
	斜面崩壊検知センサーは検知後、検知信号を出し続けるのか。
	斜面崩壊検知センサーの電源供給はどのようにすればよいか。
	内蔵電池の交換はできるのか。
無線機能	無線の通信可能距離はおよそ何ｍくらいか。
	無線通信試験はどのような要領で行えばよいか。
	植生や地形により見通しが悪い場合、検知信号の無線通信は可能か。
	検知信号の無線通信は、気象条件(降雨、降雪、霧等)による影響を受けるか。
	他の無線との混信等はしないか。
	斜面崩壊検知センサーが土砂に覆われた場合でも検知信号の受信は可能か。
受信機機能	１台の受信機（又は信号板）で、何台までの斜面崩壊検知センサーに対応可能か。
	受信機で検知データを記録することは可能か。
	受信機は商用電源が必要か。
検知情報の確認・収集	検知情報は事務所等で確認することは可能か。
	検知情報は工事現場や住民に直接伝送することは可能か。
機器設置	斜面勾配が急な場所でも斜面崩壊検知センサーの設置は可能か。
	斜面崩壊検知センサーの設置はどのようにすべきか。
メンテナンス	点検に必要な内容と頻度はどれぐらいか。
	斜面崩壊検知センサー・受信機に不具合が生じた場合、不具合の状況をどのようにして確認するのか。
	崩壊を１回検知した斜面崩壊検知センサーは、繰り返し検知可能か。
	斜面崩壊検知センサー、受信機などの耐用年数は何年くらいか。

４．１　機器の配置計画に関すること

Q：基本的な機器構成はどのような構成であるか。

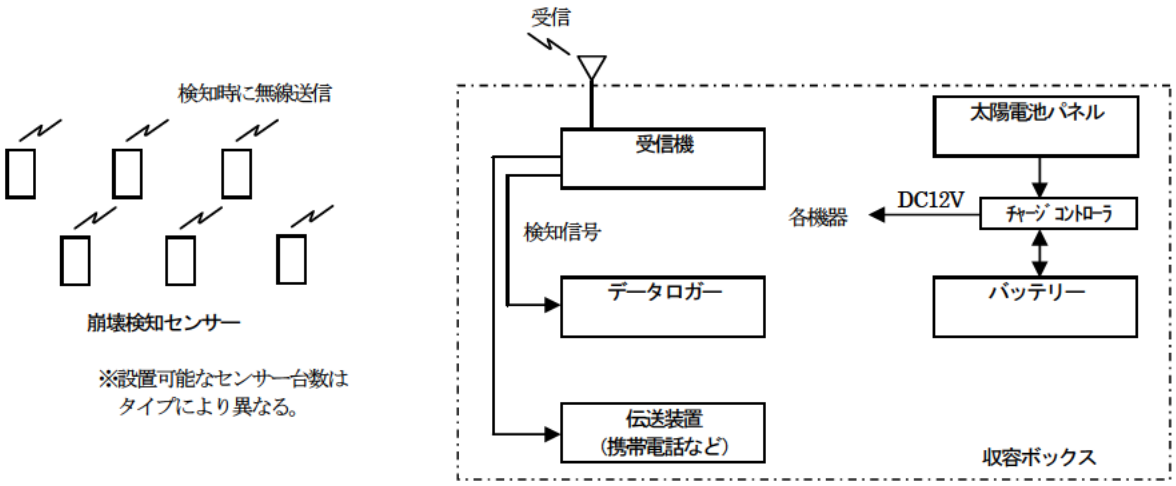
A: 斜面崩壊検知センサーのタイプ毎に以下のとおりである。

タイプⅠセンサー



※信号板のみで運用ため電源は不要。

タイプⅡ～Ⅴセンサー



※設置可能なセンサー台数は
タイプにより異なる。

※商用電源が得られる場合は太陽電池パネルの代わりに、
直流電源装置、電源避雷器を設ける。
※タイプⅡは商用電源のみ運用可能。

参考資料：内田太郎、秋山浩一、田村圭司、松下一樹(2010)：「斜面崩壊検知センサーを用いた斜面監視の実施」　土木技術資料 52-3

Q: 斜面崩壊検知センサーの設置検討はどのようにして行えばよいのか。

A: 斜面崩壊検知センサーのタイプ毎に以下のとおりである。

○各タイプ共通事項

・ 斜面崩壊の危険性が高い箇所を現地踏査や地形図の判読により確認し、監視対象区域の設定を行う。また、土地占有の可否、アクセス性、受信機側における商用電力受電の可否、検知データの遠方伝達手段などもあわせて確認・検討する。斜面崩壊の危険性の高い箇所を詳細に調査するにあたっては、土木研究所資料第 4129 号が参考になる。

○タイプⅠセンサー

・ センサー・パイプの敷設ルートは、センサー・パイプ内を鉄球が重力で信号板まで落下できるように、常に正勾配（センサーが高い位置）で配置する。また、現地の地表面状態に適合したセンサー・パイプの固定方法を検討する。

○タイプⅡ～Ⅴセンサー

・ 地形図を用いて、斜面崩壊検知センサーと受信機間の距離が、機器の無線伝搬可能距離以下となるように設置箇所や個数を検討する。また、斜面崩壊検知センサーと受信機間の断面図を作成し、途中の地形遮蔽状況を確認しておくことが望ましい。遮蔽の程度が著しい場合は、受信機の位置を変更するなど、その影響を避けるようにする。
・ 現地における無線伝搬試験により通信が可能であることを確認し、設置場所を確定する。
・ 斜面崩壊検知センサーの設置・固定手法は現地踏査の上、地盤状況などに応じて検討する。
・ 斜面崩壊検知センサーからの検知信号を事務所等に伝送する場合、携帯電話による方法や既設通信回線を利用する方法がある。それらが利用可能であるか（通信エリア内か？既設ケーブルは近くにあるのか）等を確認する。

参考資料：内田太郎、秋山浩一、田村圭司、松下一樹(2010)：「斜面崩壊検知センサーを用いた斜面監視の実施」 土木技術資料 52-3

４．２　斜面崩壊検知センサーの機能について

４．２．１　斜面崩壊検知機能に関すること

Q：複数個の斜面崩壊検知センサーを設置した場合、斜面崩壊を検知したセンサーの区別は可能であるか。

A：　斜面崩壊検知センサーのタイプ毎に以下のとおりとなります。

○タイプⅠセンサー

鉄球にセンサーID が記載してあるため、信号板側で知ることができる。

○タイプⅡ～Ⅴセンサー

検知センサーに個別の ID が振り分けられており、検知センサーが検知した際に送信する無線電波に個別認識 ID が含まれており、その個別 ID が受信制御装置で識別することができる。

Q：斜面崩壊が発生しても斜面崩壊検知センサーが正しく検知できない場合はあるか。

A：　斜面崩壊検知センサーのタイプ毎に、以下のような場合に斜面崩壊が発生してもセンサーが正しく検知できない可能性が考えられる。

○タイプⅠセンサー

・斜面崩壊が発生してもセンサーやパイプに引張力がかからない場合。

・パイプ及びセンサーが破損して連結部が外れ、鉄球落下が妨げられた場合。

○タイプⅡ～Ⅴセンサー

・斜面が崩壊しても表層の変位が小さく斜面崩壊検知センサーが傾かない場合。

・斜面崩壊検知センサーが検知信号を発する前に落石などが衝突して機器が破損した場合。

・斜面崩壊検知センサーが検知信号を発する前に土砂で厚く覆われた場合（タイプⅡを除く）。

Q：崩壊以外の現象を崩壊と誤検知することはあるか。

A：落石の衝突や動物が斜面崩壊検知センサーに接触するなど、斜面崩壊検知センサーが傾くような衝撃を受けた場合、誤検知する可能性がある。このようなことが考えられる場合、防御柵を設置や地中に埋設するなどの対策が考えられる。詳細は、参考資料 69 ページを参照。



図 4.1　落石等による誤検知の可能性がある場所に設置した事例

Q：斜面崩壊検知センサーは検知後、検知信号を出し続けるのか。

A：斜面崩壊検知センサーのタイプ毎に、以下のとおりとなっている。

○タイプⅠセンサー

検知があったときのみ信号送信（鉄球落下）する。

○タイプⅡセンサー

斜面崩壊の検知後、その信号を 40 秒間送信する。その後、あらかじめ設定した時間が経過した後、検知信号を再度送信する。ただし、再送信は 1 回のみである。

○タイプⅢセンサー

検知した時に（5 秒送信・2 秒休の繰り返しで）約 30 秒間、受信制御装置に向け検知信号を送信する。

○タイプⅣセンサー

平常時、変位発生時に関わらず、センサーから受信機には 10 分に 1 回、傾斜角度、土壌水分などを送信している。受信機側ではそのデータを演算して変位状況を判断して、外部装置に検知信号を出力する。

○タイプⅤセンサー

検知後、およそ 3 秒間隔で計 10 回の連続送信が行われ、それ以上は送信されない。

４．２．２　斜面崩壊検知センサーの電源供給について

Q：斜面崩壊検知センサーの電源供給はどのようにすればよいか。

A：斜面崩壊検知センサーのタイプ毎に以下のとおりである。

○タイプⅠセンサー

パイプ内の鉄球落下により信号伝送を行うため、電源は不要である。

○タイプⅡ～Ⅴセンサー

内蔵電池により電源供給する。なお、期待される寿命は1年～5年程度である。

Q：内蔵電池の交換はできるのか。

A：斜面崩壊検知センサーのタイプ毎に以下のとおりである。

○タイプⅡセンサー

現場での電池交換はできないため、工場にて電池の交換を行う。

○タイプⅢセンサー

一般に販売しているリチウム電池を使用しており、現場で交換可能である。

○タイプⅣセンサー

市販のアルカリ電池を使用しており、現場で交換可能である。

○タイプⅤセンサー

内蔵電池は乾電池（単三計3本）の使用が可能で、現場で交換可能である。

４．２．３　無線の機能に関すること

Q：無線の通信可能距離はおよそ何ｍくらいか。

A：無線タイプや使用場所によって異なるが、見通しの良い平地における通信可能距離は、特定小電力無線を使用しているタイプⅢ、Ⅳ、Ⅴセンサーで500～600m程度、地中無線を使用しているタイプⅡセンサーで約30～100m程度である。また、タイプⅣとタイプⅤでは、中継器を設けることで斜面崩壊検知センサーから受信機までの距離を長くすることも可能である。なお、特定小電力無線を使用しているタイプでは、センサーと受信器の直線見通し上に存在する樹木や地形等の遮蔽によって伝搬距離が低減するため、設置時に無線通信試験により通信可能距離について確認が必要である。

Q：無線通信試験はどのような要領で行えばよいか。

A：設置候補地に試験用の斜面崩壊検知センサーや受信機を設置する。実際に斜面崩壊を検知した場合と同様に斜面崩壊検知センサーから検知信号を無線送信させ、受信機で受信可能であることを確認する。また、受信強度を測定する。降雨や樹木の成長等で電波が減衰する可能性があるため、多少余裕を持たせた通信距離を確保する必要がある。また、埋設設置や地上高を高く確保するなどの設置方法により通信可能距離が変動するため、実際の設

置方法による試験が必要となる。また、検知信号を受信できない場合は、斜面崩壊検知センサーや受信機の場所や高さを変更し、再度試験を行う。

参考資料：内田太郎、秋山浩一、田村圭司、松下一樹(2010)：「斜面崩壊検知センサーを用いた斜面監視の実施」 土木技術資料 52-3

Q：植生や地形により見通しが悪い場合、検知信号の無線通信は可能か。

A：基本的には見通しがよい場所に斜面崩壊検知センサーを設置する。特定小電力無線を使用しているタイプⅢ、Ⅳ、Ⅴセンサーでは、センサーと受信機の直線見通し上に、樹木や地形などの遮蔽物がある場合は無線が減衰する。減衰の程度は、植生や地形の状況で異なるため、無線通信試験により確認する（参考資料 17～40 ページ参照)。一方、地中無線を使用しているタイプⅡは植生や地形の影響は小さく、信号強度の減衰はないと考えられる。

Q：検知信号の無線通信は、気象条件(降雨、降雪、霧等)による影響を受けるか。

A：使用している無線（特定小電力無線）は周波数が低く、気象条件(降雨、降雪、霧等)による影響はほとんどないため、無線通信は可能である。しかし、斜面崩壊検知センサーが水没した場合は無線通信が不可能となる。さらに積雪に埋もれる場合も特定省電力無線を活用しているタイプの無線強度は減衰するため、無線通信ができない場合がある(参考資料 41 ページ参照)。

Q：他の無線との混信等はしないか。

A：他の無線との混信等については以下のことがとおりである。

- テレメータ無線や防災行政無線などは周波数が違うため混信することはない。
- 全く同じ周波数を使っている無線が近くにあれば混信する(参考資料 78 ページ参照)。
- 無線通信試験時等に他の無線との混信がないかを確認することが重要である。

Q：斜面崩壊検知センサーが土砂に覆われた場合でも検知信号の受信は可能か。

A：斜面崩壊検知センサーのタイプ毎に以下のとおりとなる。

○タイプⅡセンサー

・タイプⅡセンサーで使用している地中無線は、土中、空気中いずれでも伝搬するため土砂に覆われても影響を受けない。

○タイプⅢ～Ⅴセンサー

・斜面崩壊検知センサーが検知信号を発する前に厚く土砂に覆われた場合、無線が土砂で遮蔽されて伝搬しないため、信号は送信されるが、減衰により検知信号を受信機で受信できない可能性がある。ただし、斜面崩壊検知センサーの転倒後、土砂に覆われるまでに 1 秒間程度（タイプⅢセンサー）、5 秒間程度（タイプⅤセンサー）あればその間に無線送信される。また、タイプⅣ、Ⅴセンサーでは中継器を利用することである程度減衰した検知信号への対応が可能である。

４．３　受信機の機能に関すること

Q：１台の受信機（又は信号板）で、何台までの斜面崩壊検知センサーに対応可能か。

A: 斜面崩壊検知センサーのタイプ毎に以下のとおりである。

○タイプⅠセンサー

原理的には数の限りはない。

○タイプⅡセンサー

60 台まで可能である。詳細は２章を参照のこと。

○タイプⅢセンサー

30 台まで可能である。詳細は２章を参照のこと。

○タイプⅣセンサー

10 台まで可能である。詳細は２章を参照のこと。

○タイプⅤセンサー

32 台まで可能である。詳細は２章を参照のこと。

Q: 受信機で検知データを記録することは可能か。

A: 斜面崩壊検知センサーのタイプ毎に以下のとおりである。なお、詳細は２章を参照のこと。

○タイプⅠセンサー

外部出力を別途データロガーに接続することにより、センサーID、検知時刻等が記録させることが可能です。なお、現状においては、信号板での検知情報の周知としているため、電源不要としている。

○タイプⅡ、Ⅴセンサー

外部出力を別途ＰＣやデータロガーに接続することにより、SD カード等の電子メディアにセンサーID、検知時刻等が記録させることが可能である。

○タイプⅢセンサー

受信機内の内部メモリーにセンサーＩＤ、検知時刻等を記録させることが可能である。また、内部メモリーの記録データをＳＤカードに書き出すことも可能である。

○タイプⅣセンサー

受信機兼用データロガーに傾斜角度、土壌水分などのデータを SD カードに　　記録することが可能である。

Q：受信機は商用電源が必要か。

A：斜面崩壊検知センサーのタイプ毎に以下のとおりである。

○タイプⅠセンサー

商用電源は不要である。

○タイプⅡ～Ⅴセンサー

商用電源、太陽電池のいずれかが必要である。

４．４　検知情報の確認・収集

Q：検知情報は事務所等で確認することは可能か。

A：受信機には外部出力がついている。出力信号を各種伝送媒体（携帯電話回線、一般電話回線、テレメータ無線、光ケーブルなど）に接続することにより、事務所等でも検知信号を画面表示、メール受信するなどのシステムを構築することができる。

参考資料：内田太郎、秋山浩一、田村圭司、松下一樹(2010)：「斜面崩壊検知センサーを用いた斜面監視の実施」 土木技術資料 52-3

Q：検知情報は工事現場や住民に直接伝送することは可能か。

A：受信機からの出力信号をサイレン警報システムや携帯電話メールサービスに接続することにより、目的に応じたシステムを構築することができる。

参考資料：内田太郎、秋山浩一、田村圭司、松下一樹(2010)：「斜面崩壊検知センサーを用いた斜面監視の実

施」 土木技術資料 52-3

４．５　機器設置に関すること

Q：斜面勾配が急な場所でも斜面崩壊検知センサーの設置は可能か。

A：人が立ち入ることができる場所であれば可能である。
但し、滑落等の危険がある場所では、斜面作業技術を有した専門技術者に依頼して十分な安全を確保した上で実施することが望ましい。

Q：斜面崩壊検知センサーの設置はどのようにすべきか。

A：斜面崩壊検知センサーのタイプ毎に以下のとおりとなる。

○タイプⅠセンサー

土層等の場合は杭で固定し、岩盤の場合はアンカー及び金具により固定する。

○タイプⅡセンサー

土層の場合は土中に埋設する。岩盤の場合は架台をアンカーで固定して地表面上に直立に取り付ける。

○タイプⅢ～Ⅴ

土層等の場合は杭の打設により、岩盤の場合は架台をアンカーで固定することによりいずれも地表面上に直立に取り付ける。なお、落石等による斜面崩壊検知センサーの損傷が考えられる場所では、センサーを土中に浅く埋設することもできる。但しこの場合、通信距離が低減しますのでご注意が必要である。



図 4.2　斜面崩壊設置状況

４．６　メンテナンスに関すること

Q：点検に必要な内容と頻度はどれぐらいか。

A：斜面崩壊検知センサーのタイプ毎に以下のとおりである。

○タイプⅠセンサー

①各機器外観確認、②鉄球落下試験、③信号板動作試験を数ヶ月～数年に１回程度実施する。

○タイプⅡ、Ⅲ、Ⅴセンサー

①各機器外観確認、②内蔵バッテリー・受信制御装置のバッテリーの残電圧を現地で確認、③センサー擬似検知・通信試験（人為的にセンサーを傾ける）などを数ヶ月～数年に１回程度実施する。

○タイプⅣセンサー

①各機器外観確認、②内蔵バッテリーの残電圧確認（直接テスターで内蔵の単三電池電圧を測定)、③外付け土壌水分計の断線・損傷有無の確認、④センサー擬似検知・通信試験（人為的にセンサーを傾ける）などを数ヶ月～数年に１回程度実施する。

Q：　斜面崩壊検知センサー・受信機に不具合が生じた場合、不具合の状況をどのようにして確認するのか。

A：斜面崩壊検知センサーのタイプ毎に以下のとおりである。

○タイプⅠセンサー

擬似的に鉄球を落下させることにより、センサー及びパイプの詰まりの有無、信号板動作、データロガーでのカウント状況などを確認し、不具合箇所を特定する。

○タイプⅡセンサー

傾斜が生じていない時でも、設定した周期でセンサーから信号が自動送信される。受信器でこの信号を受信することにより、センサーの健全性を確認することができる。

○タイプⅢセンサー

センサーの外観について異常がないか、目視確認をする。斜面崩壊検知センサーから擬似的に検知信号を送信させて、無線受信、記録、外部出力などの状況を確認し、不具合箇所を特定する。

○タイプⅣ、タイプⅤセンサー

センサーの外観について異常がないか、目視確認をする。斜面崩壊検知センサーを擬似的に傾斜させて、無線送信、無線受信、記録、外部出力などの状況を確認し、不具合箇

所を特定する。ただし、毎日のヘルスチェック情報(電池電圧低下情報)を受信機側で得ることができるため、どのセンサーが異常であるかを受信機側から事前に確認することが可能である。

Q：崩壊を１回検知した斜面崩壊検知センサーは、繰り返し検知可能か。

A：斜面崩壊検知センサーのタイプ毎に以下のとおりである。

○タイプⅠセンサー

斜面崩壊検知センサー内部の鉄球がすべて落下する変位（30cm）までは繰り返して検知できる。30cm を越えた場合、鉄球の補給と、センサーから伸びたパイプを 30cm 分引き戻すことにより再利用できる。

○タイプⅡ、Ⅲ、Ⅴ

・検知して傾いた斜面崩壊検知センサーを直立に戻し、再設置することによって繰り返して検知できる。

○タイプⅣセンサー

・斜面崩壊検知センサーが 90°傾いて地面に着くまでは繰り返し検知が可能である。地面に着いたあとは、直立に戻し、再設置することによって繰り返し検知することができる。

なお、いずれの斜面崩壊検知センサーにおいても再利用する場合は、メーカーの動作確認試験をうけることが望ましい。

Q：斜面崩壊検知センサー、受信機などの耐用年数は何年くらいか。

A：斜面崩壊検知センサーのタイプ毎に以下のとおりである。

○タイプⅠセンサー

センサーやパイプ部分の耐用年数は約 20 年である。

○タイプⅡ～Ⅴセンサー

耐用年数は約 10 年である。

５．斜面崩壊検知センサーの活用による土砂災害対策の高度化

本章では、直轄砂防事務所、都道府県の砂防担当課および土木事務所、市町村の土木部局、消防部局および自主防災組織との意見交換、ヒアリングを通して明らかとなった土砂災害に対する監視・警戒避難に関する課題のうち、本共同研究で開発した斜面崩壊検知センサーを活用することによって解決が期待できる課題について、活用方法案も含めて示した。

■ 土砂災害警戒避難支援への活用として

◇ これまでは・・・

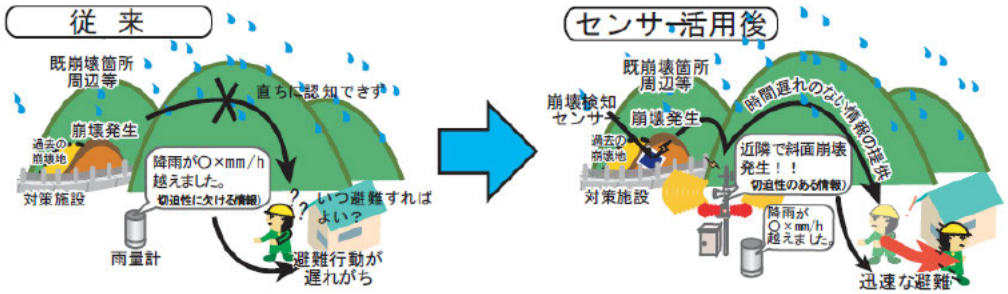
土砂災害の警戒避難は、主に雨量情報を指標として行われてきた。しかし、雨量情報では切迫性を感じにくいため、避難が遅れることもしばしばあることが指摘されている。また、これまでは、土砂災害の発生情報の収集は、目視による発見及び電話等による通報によるものが大半で、時間遅れなく土砂災害の発生に関する情報を得ることが困難であった。

◇ 斜面崩壊検知センサーの活用による効用

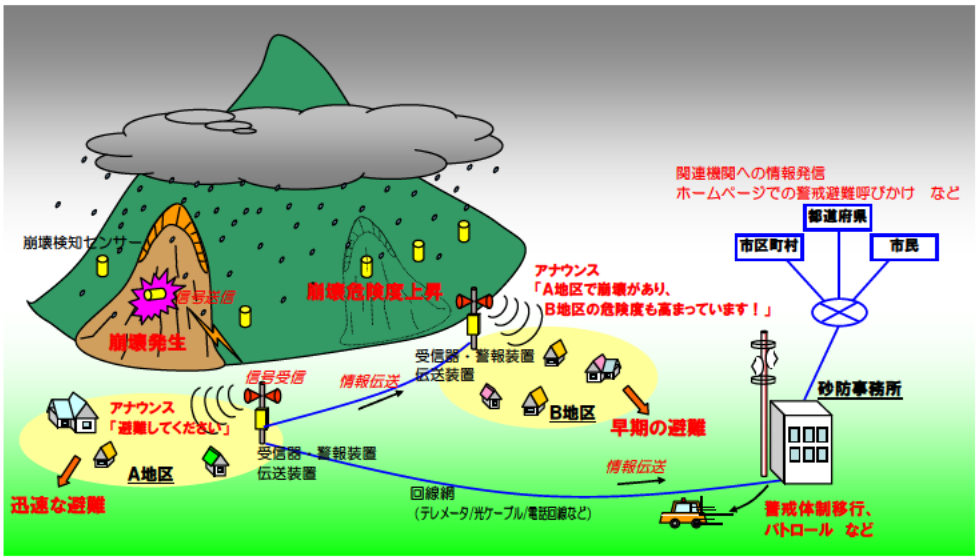
山地・急傾斜地などの斜面崩壊の恐れがある場所に斜面崩壊検知センサーを設置することにより、斜面崩壊を瞬時に検知して、発生場所・時刻の情報を地域住民、行政に対してリアルタイムに伝えることが可能となる。

近隣の斜面で崩壊が発生したということは、周辺の斜面も崩壊発生の危険性が高まっていると考えられることから、現行の雨量情報を指標とした情報に加えて切迫感のある情報として受け止め、避難するタイミングを今まで以上に適切に判断することが容易になると考えられる。特に、一連の降雨の比較的早い時刻に崩壊が発生すると考えられる斜面[注] に斜面崩壊検知センサーを設置することができれば、より効果的な情報が得られるようになると考えられる。

注）斜面崩壊の恐れの高い斜面の抽出には、土木研究所資料第4129号が参考になる



◇ 利用方法の一例：例えば直轄砂防事務所に設置する場合・・・



◇ 適合する斜面崩壊検知センサータイプ：タイプⅠ～Ⅴセンサー

■ 工事の安全管理用として

◇ これまでは・・・

渓流などにおける砂防工事の安全対策としては、現場周囲の斜面崩壊や土石流の発生をリアルタイムで検知することが重要である。特に、渓流内に崩壊地など不安定な斜面がある場所では斜面崩壊の発生を監視し、発生を検知した場合に速やかに情報が工事現場に伝達されることが必要となる。

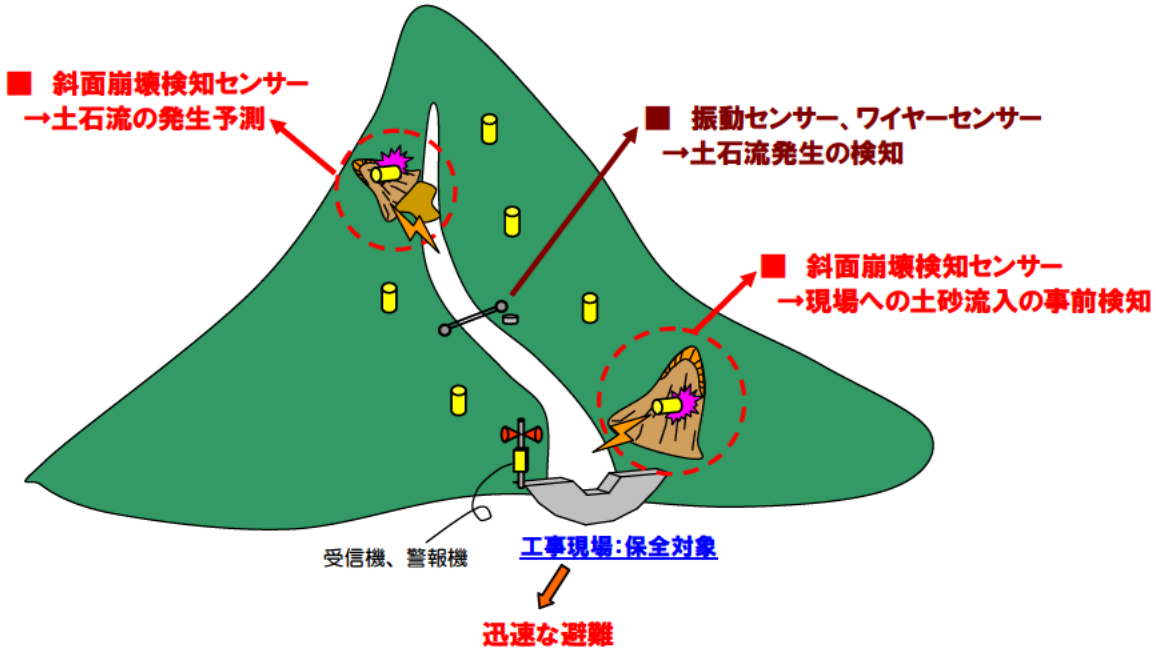
これまでの斜面崩壊を監視する機器の多くは、斜面の変動から斜面崩壊まで幅広い現象を対象としていたため、高価で設置及びメンテナンスに多くの労力を必要としている。さらに、従来多く用いられているケーブルによる長距離の情報伝送は、ケーブル設置に多くの労力が必要な上、断線トラブルが生じ得るなどのリスクがあった。

◇ 斜面崩壊検知センサーの活用による効用

渓流内にある既往崩壊地や崩壊危険度が高い斜面に斜面崩壊検知センサーを設置することにより、崩壊した土砂が工事現場に達する前に避難警報を発するシステムなどを構築することが可能である。これに加えて、振動検知センサーやワイヤーセンサーなどの土石流監視機器を併設することにより、工事現場の安全確保の高度化を図ることが可能となる。

◇ 利用方法の一例：

例えば、渓流内に崩壊地を有する砂防えん堤工事の安全管理用として



◇ 適合する斜面崩壊検知センサータイプ：タイプⅠ～Ⅴセンサー

■ 土砂災害に対する緊急対応の支援ツールとして

◇ これまでは・・・

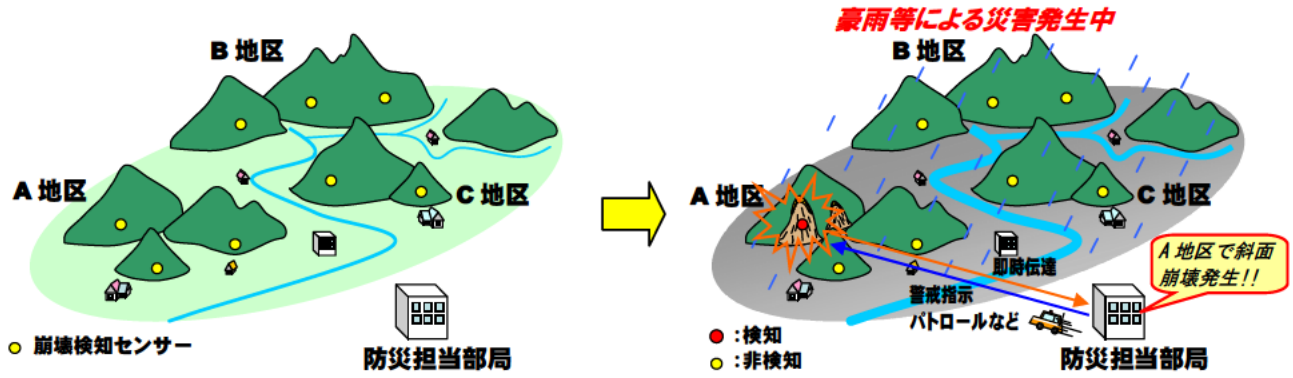
豪雨や地震により土砂災害が発生した場合であっても、豪雨期間中は悪天候、道路の寸断、新たな災害の発生・拡大もあり得るため、パトロール等緊急対応できる範囲や内容には大きな制限がある。

このため、土砂災害の全貌を明らかとするためには天候回復や道路復旧を待たねばならない。

◇ 斜面崩壊検知センサーの活用による効用

管内の山地・急傾斜地などのうち、斜面崩壊の恐れが高い代表的な斜面に斜面崩壊検知センサーを予め設置しておくことにより、管内全域の概略的な状況（斜面崩壊の発生の有無）をリアルタイムかつ広域的に監視することが可能となる。また、斜面崩壊検知センサー設置箇所を増やすことによって、より精度の高い情報を豪雨の最中に把握することが可能となり、支援や豪雨後の見回り場所の選定、各種機材の準備など緊急対応に活用できる。

◇ 利用方法の一例：



斜面崩壊検知センサーを各地区に設置

斜面崩壊の発生地区を即座に把握
警戒指示、パトロールなど迅速・的確な対応が可能

※検知データを事務所等に伝送するシステムが必要になる。

◇ 適合する斜面崩壊検知センサータイプ：タイプⅠ～Ⅴセンサー

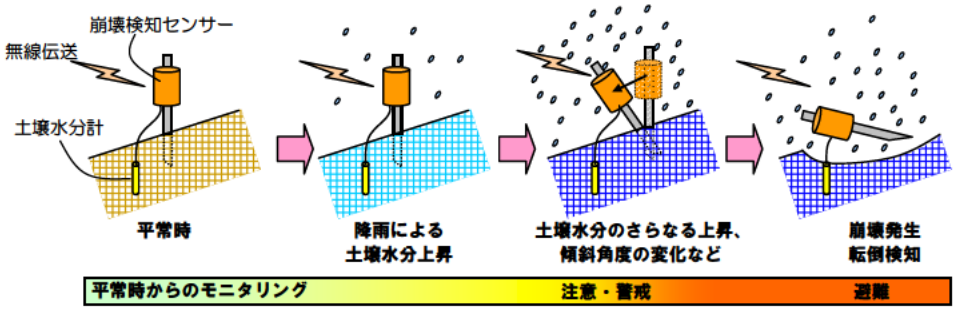
■ その他現象への活用①

■ 斜面崩壊の前兆現象把握への活用

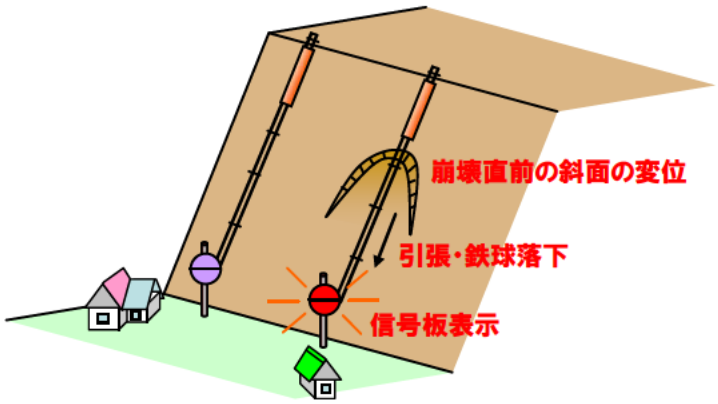
斜面崩壊の発生をコントロールする土壌水分量や、斜面崩壊の発生直前に出現すると考えられる斜面の傾斜変化や変位量を、容易に連続的かつ定量的に把握することが可能となる。

これにより、斜面崩壊に先立って注意喚起や警戒避難の判断材料とすることができる。

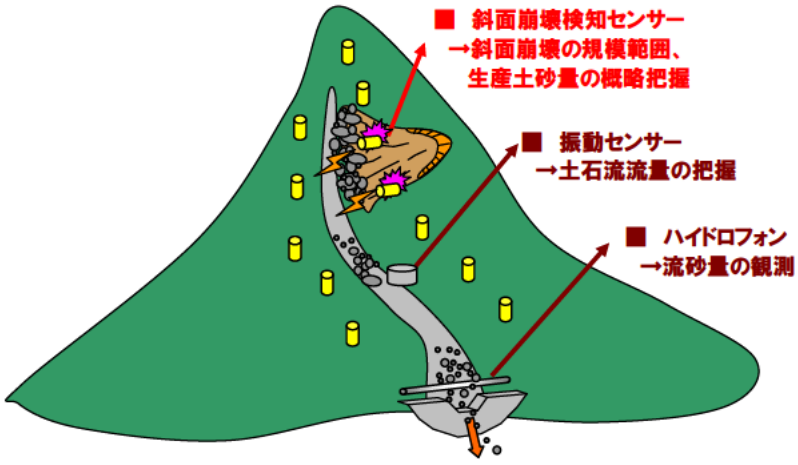
◇傾斜角度・土壌水分計併測型(タイプⅣセンサー)



◇変位量測定型(タイプⅠセンサー)



■ 山地流域の土砂動態モニタリングへの活用



◇ 利用方法

従来情報収集が困難であった斜面に斜面崩壊検知センサーを設置しておくことにより、斜面崩壊の発生時刻を特定することが可能となる。

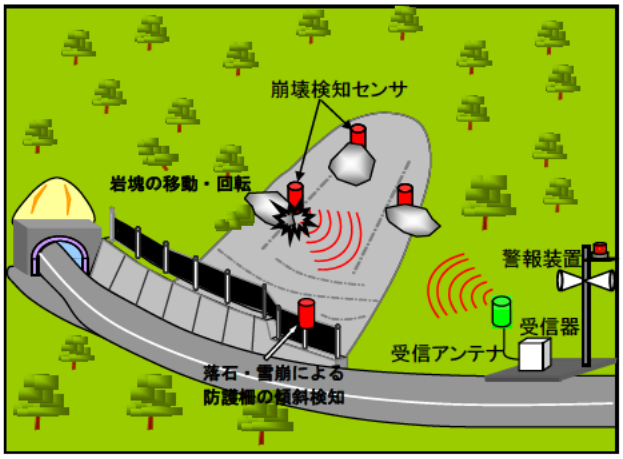
これにより、土砂生産のタイミングを考慮した砂防計画の立案、警戒避難基準の高度化に資する基礎情報の蓄積が可能となる。

◇ 適合する斜面崩壊検知センサータイプ

タイプⅡ～Ⅴセンサーなど

■ その他現象への活用②

■ 落石検知への活用



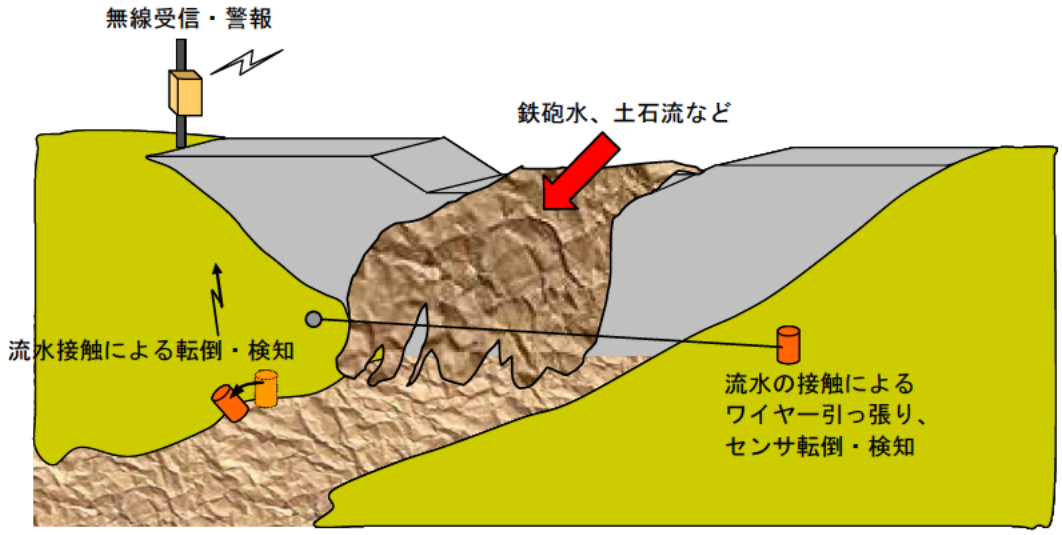
◇ 利用方法

落石の恐れがある巨礫などにセンサーを取り付けておくことにより、巨礫の移動や衝突によるセンサーの傾斜変化を捉えて落石の発生を検知することができる。

◇ 適合する斜面崩壊検知センサータイプ

タイプⅡ～Ⅴセンサーなど

■ 鉄砲水、土石流検知への活用



◇ 利用方法

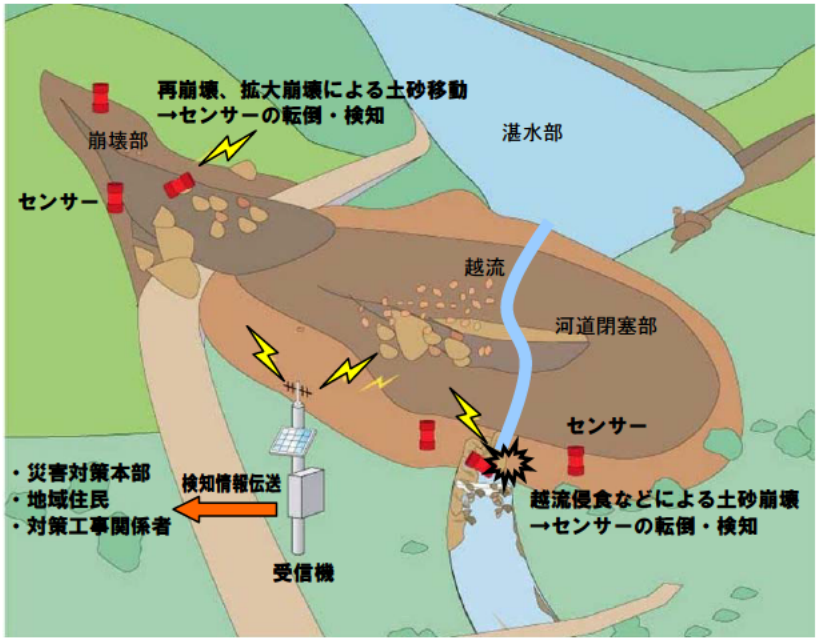
渓流の高位にセンサーを設置しておき、水位が上昇してセンサーが傾斜･転倒した場合に鉄砲水、土石流発生と判断する。

◇ 適合する斜面崩壊検知センサータイプ

タイプⅡ～Ⅴセンサーなど

■ その他現象への活用③

■ 天然ダム（河道閉塞）の土砂移動監視検知への活用



◇ 利用方法

天然ダム（河道閉塞）を形成した土砂やその周辺に斜面崩壊検知センサーを設置することにより、土砂流出、崩壊拡大などをリアルタイムで把握することが可能となり、工事安全管理や下流の警戒避難に活用できる。

また、設置が容易で短時間で済むことから、斜面崩壊検知センサー設置中に二次災害に遭遇する危険を極力回避することが可能となる。

◇ 適合する斜面崩壊検知センサータイプ

タイプⅡ～Ⅴセンサーなど

＜参考資料＞

機能検証実験の詳細

検知機能試験
室内模型実験による
センサー検知機能試験

斜面崩壊検知センサー開発時に実施した試験に関する事項
（タイプⅡⅢⅤセンサーのプロトタイプ）

１．試験項目

・通信試験　・耐久試験　・室内環境試験　・その他の試験

２．場所

地すべり模型実験室

３．担当者

土木研究所

４．試験内容

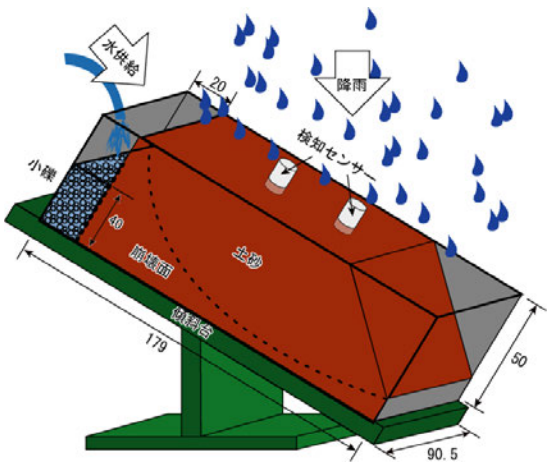
（１）試験目的

センサーの検知方式を確認するために人工斜面模型を用いて、崩壊発生から時間遅れなく検知可能であるかについて検証を行った。なお、今回の実験では、土砂収納容器内の土砂が崩壊開始から数十秒程度で傾斜台から落下する移動速度の早い崩壊を対象とした。

（２）試験方法

人工斜面は、傾斜角度を調節可能な傾斜台の上に土砂収納容器を設置し、その容器内に土砂を敷き詰めたものである。容器は、外形寸法が長さ 179cm×高さ 50cm×幅 90.5cm で内部の土層状態を観察できるようになっている（図-1）。

実験には、市販の佐原砂（粒度特性は砂分：96.9%、細粒分 3.1%、最大粒径 2mm、50%粒径：0.211mm、10%粒径：0.123mm、均等係数 1.946）を容器に敷き詰めた。なお、乾燥密度 1.34g/cm^3、飽和透水係数 1.18×10^{-2}cm/s 程度であった。また、傾斜台の角度を 40° に傾斜させ、センサーを地表面または土中に設置し、人工降雨装置により降雨強度 100mm/h を発生させるとともに、崩壊発生を促進させるために降雨開始から約 45 分間後に収納容器背面から直接給水した。検証実験の記録は、ビデオカメラを用いて行った。土層の変位量については、正面と上面映像から地表面のマーキング線の変位量を計測し求めた。地表面の勾配角度の変位は、側面の映像から土砂収納容器の外枠（変位前の地表面勾配 40 度）を 0 度とし外枠と変位した地表面から角度を求めた（反時計



図－1　斜面地崩壊検知試験

周りの変位をプラス、時計周りをマイナス角度とした)。

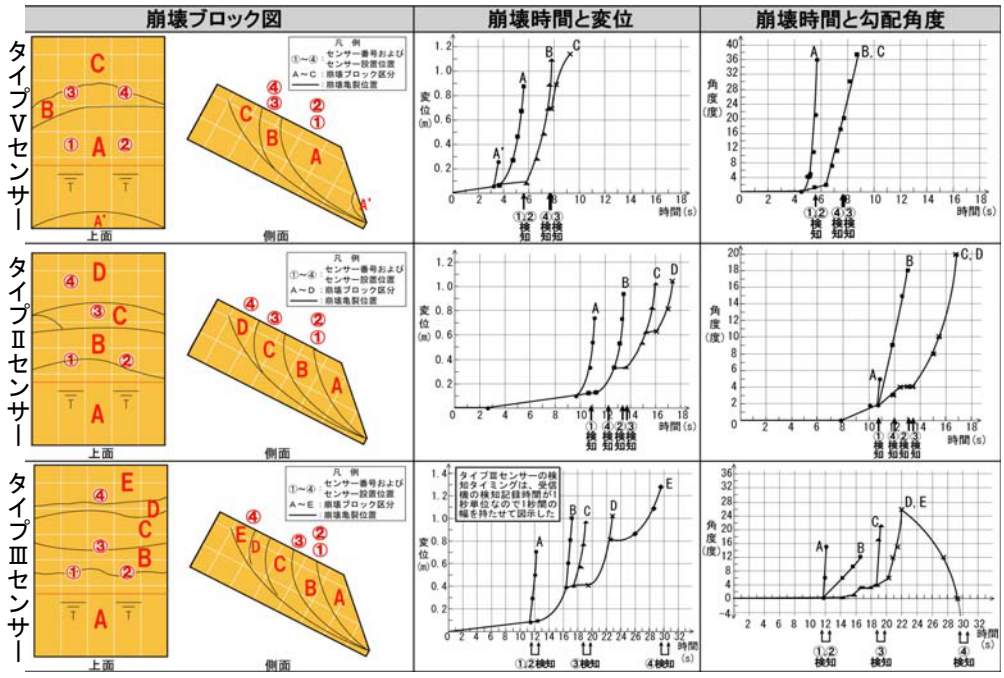
（３）試験結果

３タイプの実験結果（センサー検知状況と崩壊状況）を図―2 に示した。また、タイプⅢセンサー検知時の崩壊状況の画像を図－3 に示した。

３タイプ（Ⅱ、Ⅲ、Ⅴ）のセンサーにつきそれぞれ１回、計３回の実験を行った。それぞれの回において、図－2 に示す崩壊ブロック図の 1～4（図中は○囲み数字）の位置にセンサーを４個設置して行った。

各回の実験において、降雨開始約 50 分後（背面給水約７分後）に土層全体が下方へ移動し始めた。土層全体が一体で崩壊するのではなく、図－2 の崩壊ブロック図に示したように、3～5 ブロック（A～E）に分かれ斜面下方のブロックから順次崩壊した（ここで言う崩壊とは、土塊の形状が壊れながら土砂収納容器の外に落下する一連の動きをさす)。また、はじめのブロックが崩壊してから最後のブロックが崩壊するまでは 10～30 秒程度であった。

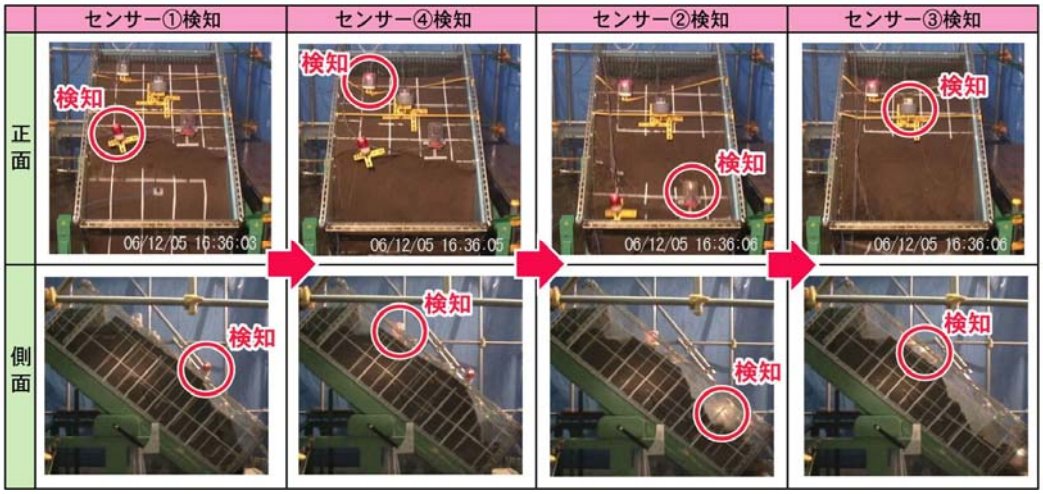
この崩壊に対して、タイプⅤセンサー（検知角度が 30 度）は斜面勾配が初期状態より約 20 度に達した時にセンサーが傾斜・検知し、タイプⅢセンサー（検知角度が５度）は斜面勾配が初期状態より約 2～4 度に変化した時にセンサーが傾斜・検知し、タイプⅡセンサー（検知角度が 45 度）は斜面勾配が初期状態より約 9～17 度に変化した時にセンサーが傾斜して検知した。



図－2　崩壊時間と変位・勾配角度

このように、各タイプのセンサーは設定角度未満で検知しているが、これは斜面が急激に勾配変化するとセンサー周囲の地盤が崩れ、ブロック全体の勾配変化量よりセンサー自

身の角度変化量の方が大きくなったためであり正常なものであると考えられる。いずれにしても土塊移動開始から 10～30 秒の間に検知することができた。



図－3　タイプⅢセンサー検知状況

（4）まとめ

以上の結果より、いずれのセンサーも斜面崩壊が発生し土塊が移動中に傾斜したという検知信号を発することができており、開発目標の一つである「①検知機能：勾配が概ね 30 度以上の急斜面に設置し崩壊の発生を時間遅れなく検知する」を満たしていることを実証できた。

検知機能試験
・屋外実験によるセンサー検知機能試験

斜面崩壊検知センサー開発時に実施した試験に関する事項（タイプⅠセンサー）

１．試験項目

・通信試験　・耐久試験　・室内環境試験　・その他の試験

２．場所

六甲砂防管内千丈谷試験フィールド（兵庫県神戸市）

３．担当者

有限会社　秋山調査設計

４．試験内容

（１）試験目的

千丈谷試験フィールドにおいて、タイプⅠセンサーの作動確認を行う。

（２）試験方法

試験は、斜面変形を人工的に発生させ、タイプⅠセンサーが斜面変形を正確に検知できるかを確認することとした。試験方法は、図-1 に示すように表土に約２０ｃｍ打ち込んだ杭の変形で土のクリープ変位を発生させた。杭に作用させる水平力Ｔは上下に配置した２つのタンクのうち上部タンクに水を満たし、この水をサイホンにて下部タンクに移動させた。次に、下部タンクの重量をつり下げた滑車にて力を地面近くに移動させて、引張り用ダブル滑車を使って発生させた。タンク容量は２０リッターで２０ｋｇなのでＴの最大値４０ｋｇである。従い水平力Ｔは試験開始からほぼ連続的に増加して最大４０ｋｇに達する。このとき杭を設置したソリはＴの増加に伴いクリープ変動を開始し、ソリの動きをビデオカメラで撮影して、経過時間（秒）と鉄球落下の関係を解析した。

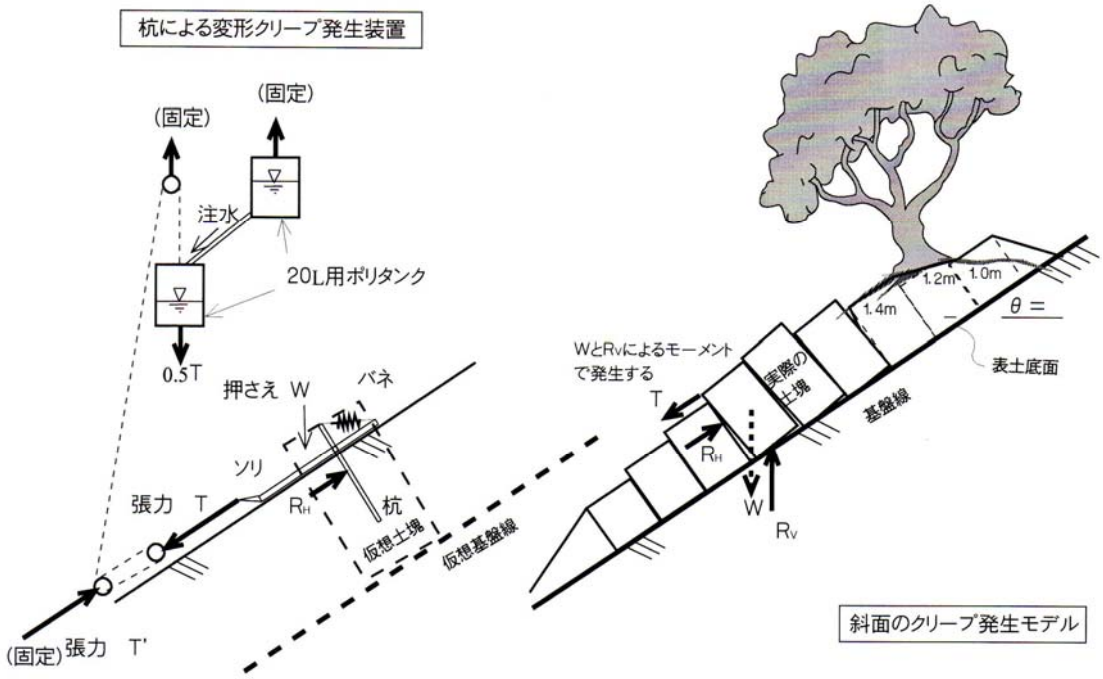


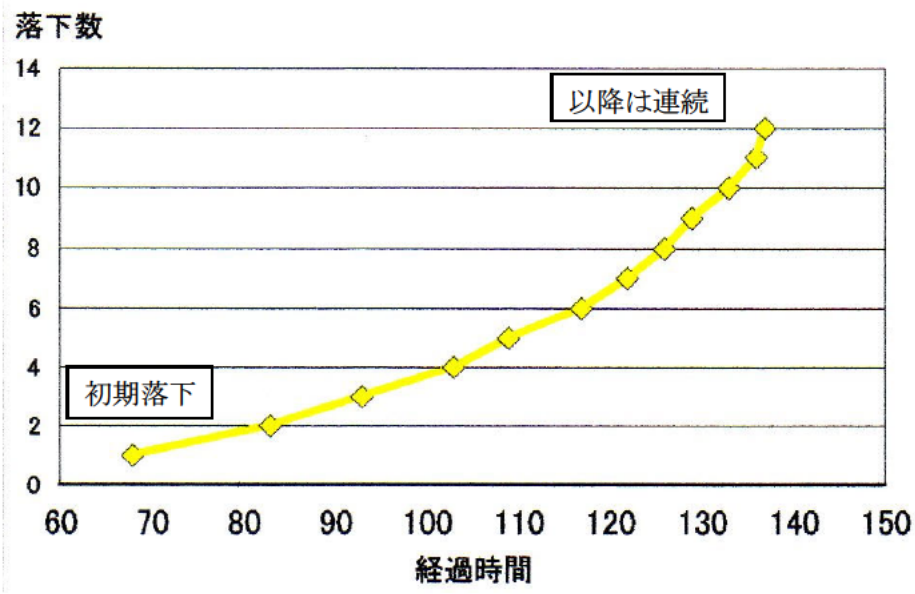
図-1　人工クリープ発生実験概念図



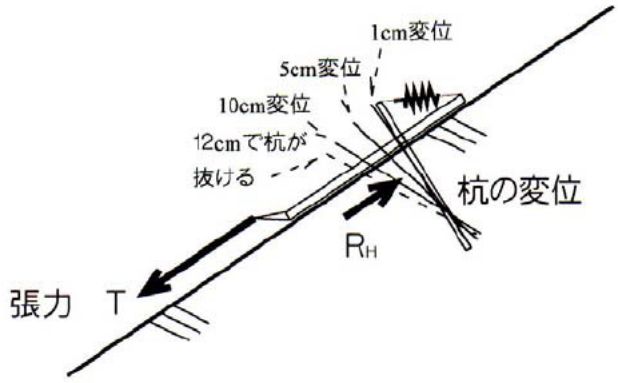
写真-１　実験状況

（３）試験結果

引張り力Ｔはサイホンによる水タンク移動と共に増加し、最初の落下が約１分後にあった。その後、変位量は約２分（図経過時間 120）後に５ｃｍを越えた。２分２０秒後に変位量は１０ｃｍを越え、杭の抵抗はほぼ失われてバネによる変形のみとなった。これ以降の解析は不能となった。杭の変位速度と鉄球の落下速度（変位の検知）の間隔は、図－2、3に示すとおりであり、歪み変動とほぼ一致し、地盤の動きに応じて装置は正常に作動したことが確認された。



図−２　鉄球落下状況（sec）



図−３　鉄球落下と杭の変位状況

（４）まとめ

斜面崩壊に至る前段階で地表面がクリープ変動を生じることが知られている。本装置はこのクリープ変動を捉えて斜面崩壊を予測するものである。クリープは長年月の間に樹木の根曲がりや地表の段差として記録されるが、必ずしもすべり面での変動を伴わないと考える。従って、実験ではすべり面を動かす必要はなく、地表のクリープ変動を杭の変形を発生させた。この模擬的な動きに対して正常に作動すれば、実際の斜面変動に対してもほぼ同様に作動すると考える。その結果、上記の試験より、鉄球の落下は地盤の動きにほぼ追随していることが確認された。

室内試験
傾斜計のセンサー出力
の精度検証試験

斜面崩壊検知センサー開発時に実施した試験に関する事項（タイプⅣセンサー）

１．試験項目

・通信試験　・耐久試験　・室内環境試験　・その他の試験

２．場所

愛知県産業技術研究所

３．担当者

中央開発株式会社

４．試験内容

（１）試験目的

２軸MEMS 傾斜計を組み込んだ状態で斜面崩壊センサーによる出力傾斜角度の精度を確認する。

（２）試験方法

図-1に示す通信インタフェースを介してタイプⅣセンサーとコンピュータを接続した。図-2に示すように垂直方向を0度としてタイプⅣセンサーの横方向と前後方向にそれぞれ-30度～+30度まで10度の単位で傾けたときの傾斜センサーX軸、Y軸（型番SCA100T-D01）の値をソフトウェアにより読み取り、タイプⅣセンサーの出力値と実際の傾斜角度値との比較した

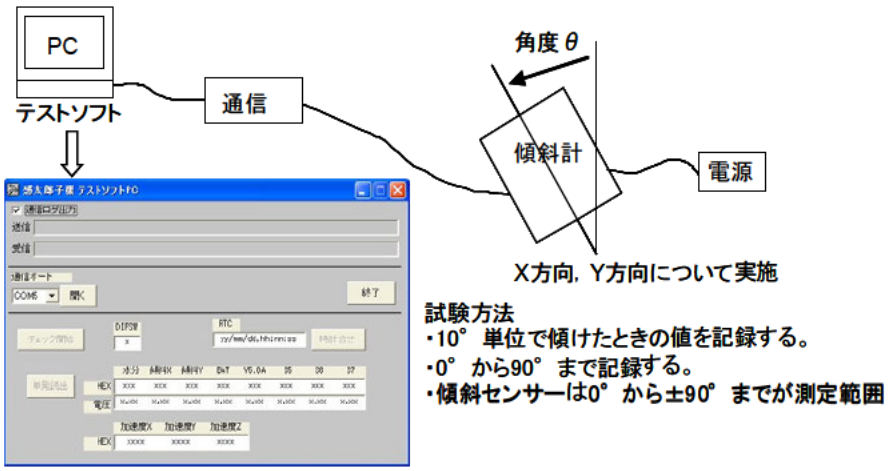


図-1　試験概要図

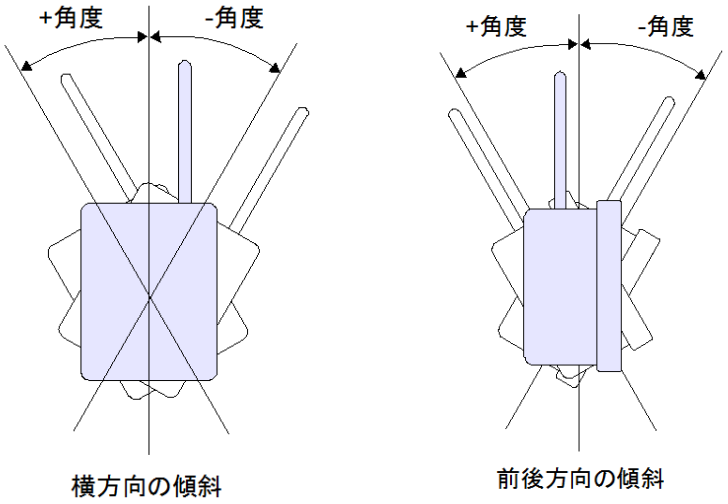


図-2　試験概要図

（３）試験結果

上記の試験結果を表-1、2、図-3、4 に示した。

表-1　　横方向の傾斜角度を変化させたときの試験値

角度 （度） A	出力傾斜 X （度） B	出力傾斜 Y （度） C	傾斜 Y の角度 0 度時との差分 （度） D	傾斜 Y の角度値に対する誤差 （度） D-A
-30	1.134	-29.496	-29.971	0.029
-20	1.230	-19.984	-20.009	-0.009
-10	1.300	-9.952	-9.977	0.023
0	1.359	0.025	0.000	0.000
10	1.343	10.056	10.031	0.031
20	1.340	19.997	19.972	-0.028
30	1.269	30.043	30.018	0.018

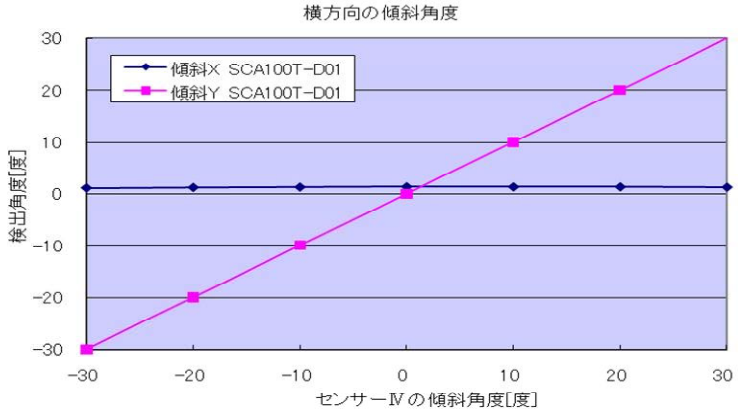


図-3　傾斜角度と検出角度（横方向）

表-2　前後方向の傾斜角度を変化させたときの試験値

角度 （度） A	出力傾斜 X （度） B	傾斜 X の角度 0 度時との差分 （度） C	傾斜 X の角度値に対する誤差 （度） C-A	出力傾斜 Y （度） D
-30	-28.403	-30.030	-0.030	-0.658
-20	-18.395	-20.022	-0.022	-0.754
-10	-8.349	-9.976	0.024	-0.844
0	1.627	0.000	0.000	-0.927
10	11.655	10.028	0.028	-0.965
20	21.623	19.996	-0.004	-1.029
30	31.597	29.970	-0.030	-1.067

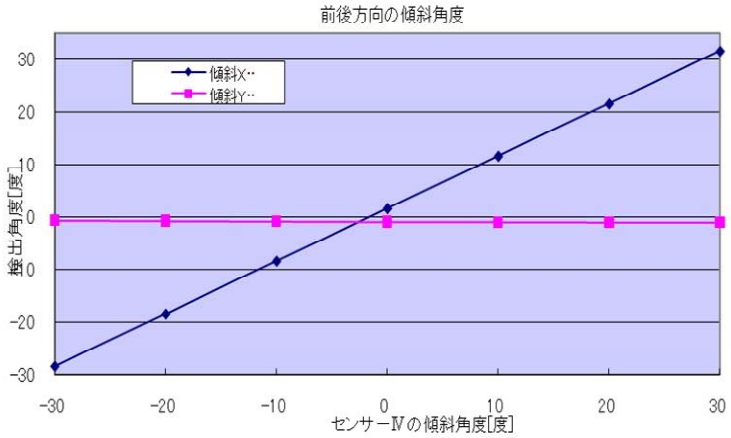


図-4　傾斜角度と検出角度（前後方向）

（4）まとめ

計測角度が増加すると測定誤差が増える傾向があり、X、Y 軸の最大測定誤差は 0.03° 程度であり、斜面崩壊センサーとして許容範囲以内と考えられ、タイプⅣセンサーが斜面崩壊検知センサーとして必要な精度を有すると言える。なお、測定誤差は、下記のような影響によるものと考えられる。

MEMS 傾斜センサーのデータ出力をデジタルに変換するときに使用する A/D 変換モジュールは、１２ビットの分解能を持ち、角度で換算すると 0.015° の分解能を有する。これより、表-1、表-2 に示す誤差は、主に分度器の目読みによる誤差と考えられる。

室内試験
温度環境変化に対する
動作確認試験

斜面崩壊検知センサー開発時に実施した試験に関する事項（タイプⅣセンサー）

1．試験項目

・通信試験　・耐久試験　・室内環境試験　・その他の試験

2．場所

ジオテクサービス株式会社

3．担当者

中央開発株式会社

4．試験内容

（1） 試験目的

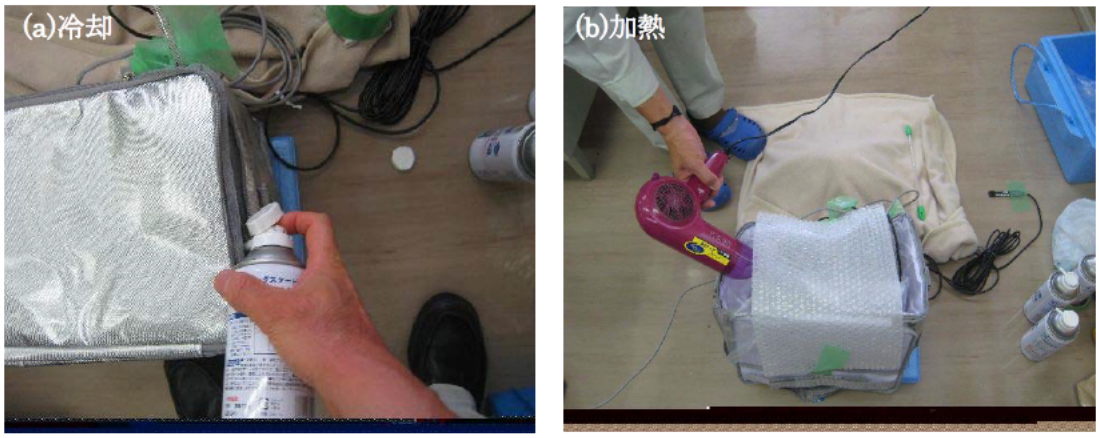
タイプⅣセンサー内蔵の2軸MEMS傾斜モジュール単体の温度特性を確認する。

（2） 試験方法

試験項目は、①傾斜モジュールの温度試験、②外気温とタイプⅣセンサーの CPU 温度の関係の把握の 2 項目とし、タイプⅣセンサーの 2 軸 MEMS 傾斜モジュール部を床に接着し、温度測定用の PT 温度計と共に、過熱・冷却した。温度測定は、専用温度センサーで行った（図−1、図−2）。



図―1　温度特性試験の設置状況

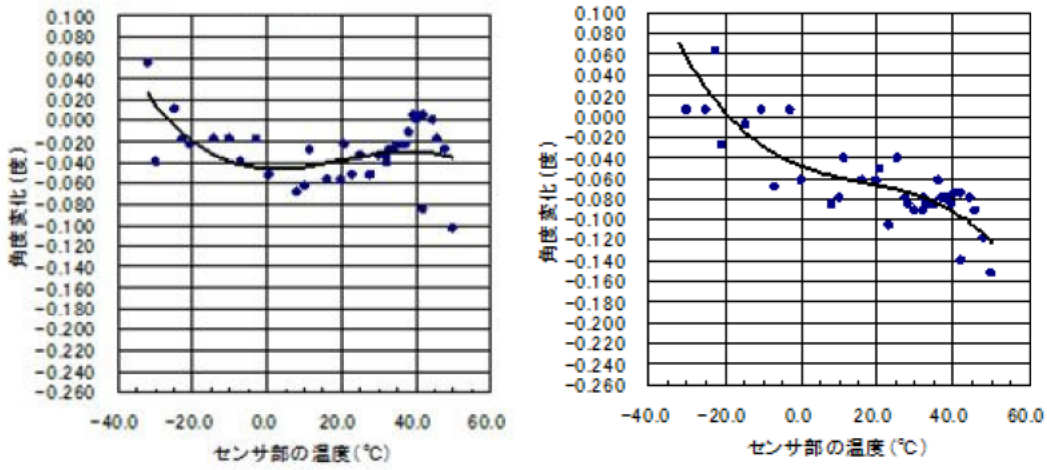


図―２　温度特性試験の冷却・加熱状況

（３）　試験結果

１）２軸 MEMS 傾斜モジュールの単体温度特性

試験結果は図－３に示すとおりであり、タイプⅣセンサーの傾斜センサー部の温度変化の誤差は、0～40℃範囲で、±0.05 度（X 軸）、±0.08 度（Y 軸）で比較的良い値であった。

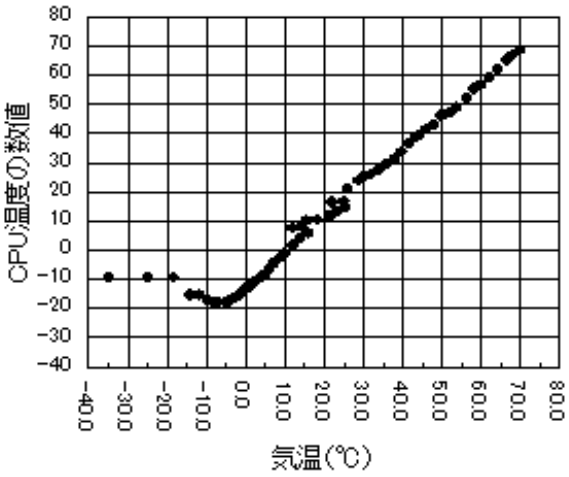


X-軸方向　　Y－軸方向

図―３　タイプⅣセンサーの傾斜モジュールの温度特性

２）外気温とタイプⅣセンサーの CPU 温度の関係

試験結果は図－４に示すとおりであり、外部の温度と基板上の CPU 温度数値の関係は、-10℃～70℃の範囲で相関があった。



図―４　　CPU 温度と気温の関係

（４） まとめ

タイプⅣセンサーの 2 軸 MEMS 傾斜計の温度変化の誤差は、0～40℃範囲で、±0.05 度（X 軸)、±0.08 度（Y 軸）で比較的良い値であった。これより、斜面崩壊検知センサーとして支障がないと考えられる。

さらに、MEMS 傾斜計を分離し地中に埋設すれば、温度による影響をさらに軽減することができる。

なお、外部の温度と CPU 温度は、-10℃～70℃の範囲で相関があり、特別温度計を実装しなくても CPU の温度を利用して温度補正を行うことが可能である。

室内環境試験
低温環境下におけるタイプV
センサーの動作確認

斜面崩壊検知センサー開発時に実施した試験に関する事項（タイプVセンサー）

1．試験項目

・通信試験　・耐久試験　・室内環境試験　・その他の試験

2．場所

・日本工営㈱　中央研究所　所内

3．担当者

・日本工営株式会社

4．試験内容

（1）試験目的

低温環境下におけるタイプVセンサーの動作確認

（2）試験方法

タイプVセンサーは、乾電池やリチウムイオン電池などの二次電池にて電源供給される。タイプVセンサーを寒冷地にて運用する場合、低温による電池能力低下が懸念された。そこで、寒冷地での電池および送信器の能力を検証するため、-30℃の冷凍庫にセンサーを入れ、時間経過ごとに冷凍庫のドアを開き傾けた状態で通信試験を行った。

（3）試験結果

タイプVセンサー2 個に対して行った試験結果は図－1 のとおりである。約 2 ヶ月間の電波強度はほとんど変化がなかった（冷凍庫から約 3m の離隔）。

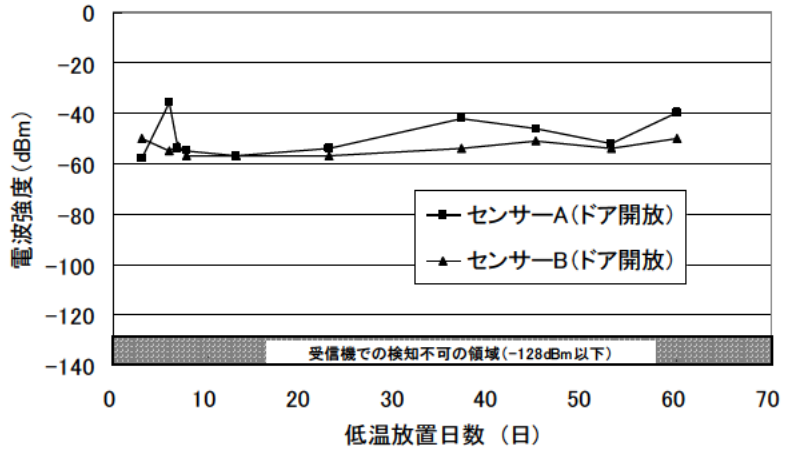


図-1　耐低温試験

（4）まとめ

開発したタイプⅤセンサーを用いた室内試験を行った結果、低温環境下における信号発信機能および電池電圧保持機能については、短期間（約 2 ヶ月）の電波強度にほとんど変化は無かったことから、寒冷地での使用に問題はないと考えられた。

通信試験
・見通しの良い平地での無線通信機能試験
・樹木等影響試験

斜面崩壊検知センサー開発時に実施した試験に関する事項（タイプⅡセンサー）

１．試験項目

・通信試験　・耐久試験　・室内環境試験　・その他の試験

２．場所

土木研究所構内

３．担当者

坂田電機株式会社

４．試験内容

（１）試験目的

タイプⅡセンサーの通信性能は、実フィールドにおけるセンサー配置計画を検討する上で重要な項目であるため、通信性能を定量的に把握しておく必要がある。そこで、土木研究所構内において見通しの良い条件、樹木林立の条件下での通信可能距離を把握する通信試験を行った。

（２）試験方法

使用機器を図-1 に示すように配置し、試験条件を以下の 2 通りとして通信試験を実施した。

① 見通しの良い条件下

② 樹木林立の条件下

通信試験は、通信可能範囲が最大になるようにタイプⅡセンサーと受信アンテナを正対させて、距離を変えながら通信の可否を確認した。また、通信成立時の受信レベルの確認を行った。

なお、通信成立の基準は、受信レベル S がノイズレベル N に対して 2 倍以上得られた時である。

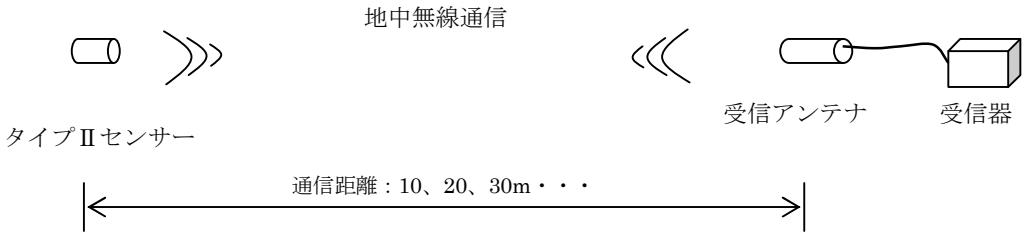


図-1　通信試験概要図

（３）試験結果

実施した試験により得られた結果を図-2 に示す。本試験環境におけるノイズレベル

Nは0.5mVであることから、通信成立基準は1mV以上となる。

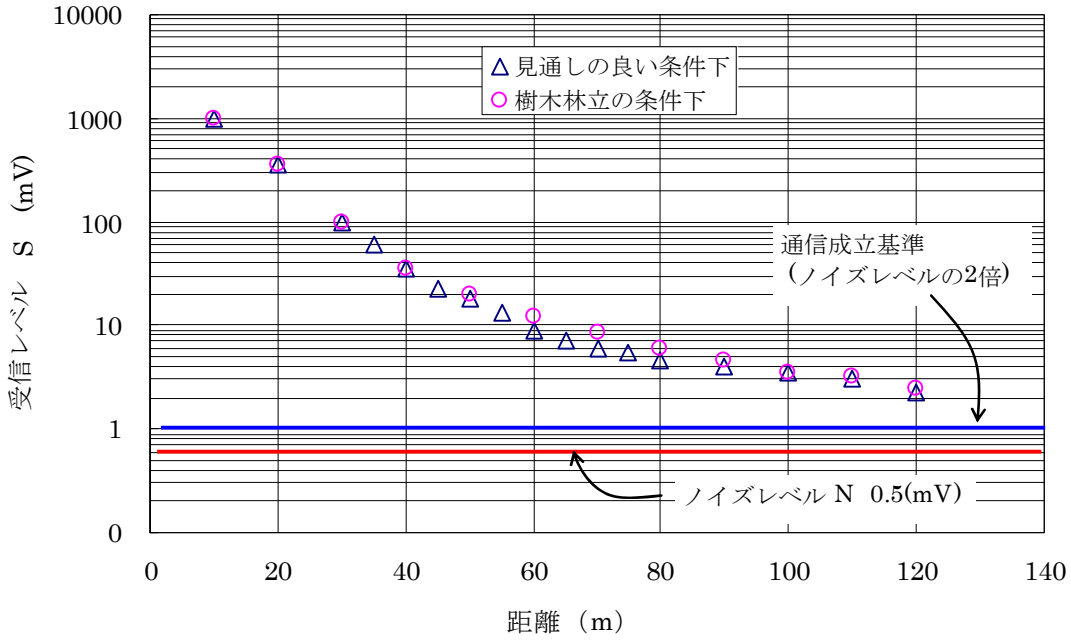


図-2　試験結果

（4）まとめ

図-2 の試験結果より、見通しの良い条件下と樹木林立の条件下での通信性能に差はないことから、地中無線通信は樹木が林立し、植生のある現場でも適用可能であることが確認できた。

また、今回の環境条件では、120mの距離で通信可能であることが確認できた。

ただし、現場環境により通信距離は異なるので、事前にノイズレベルなどを把握するために現場環境を調査する必要がある。

通信試験
・見通しの良い平地での無線通信機能試験
・樹木等影響試験

斜面崩壊検知センサー開発時に実施した試験に関する事項(タイプⅢセンサー)

1. 試験項目

・通信試験　・耐久試験　・室内環境試験　・その他の試験

2. 場所

独立行政法人土木研究所　敷地内（茨城県つくば市）

3. 担当者

株式会社拓和

4. 試験内容

（1）試験目的

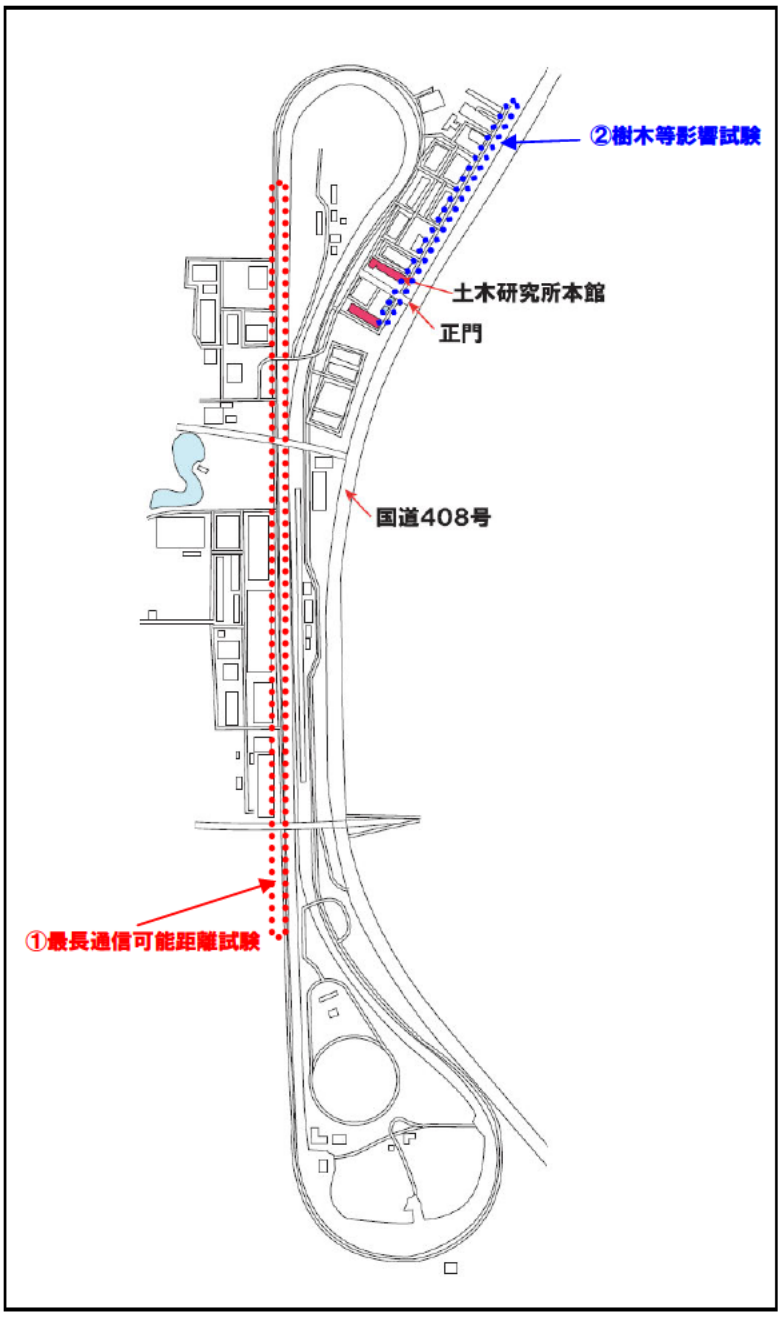
タイプⅢセンサーの無線通信機能の性能を把握するために土研構内において通信試験を行った。通信試験の実施箇所は、特に無線通信に理想的な見通しがとれる場所と植生の影響を受ける場所の 2 箇所とした。通信試験は最長通信可能距離試験と樹木等影響試験の 2 試験を実施した。

（2）試験方法

1）最長通信可能距離試験

最長通信可能距離試験は、タイプⅢセンサーと受信制御装置をそれぞれ規定した試験距離毎に対向させ、タイプⅢセンサーが発する検知信号を受信制御装置で受信可能か否かを確認するものとした。具体的には、図－1,2 のような土研構内の見通しがとれる道路上にタイプⅢセンサーと受信制御装置を対向させて試験を行った。また、試験時のタイプⅢセンサーと受信制御装置の試験距離や高さは以下のとおりとした。

・試験距離： 350, 580, 920, 1100, 1300m
・受信制御装置高さ（m）（アンテナ高さ）：1.5, 3.0m
・ 検知センサー高さ（m）：0, 0.5m



図－１　土研構内全景（通信試験位置）



図－２　最長通信可能距離試験位置図

■最長通信可能距離試験写真



図－３　タイプⅢセンサー　受信制御装置（アンテナ高さ 3m）



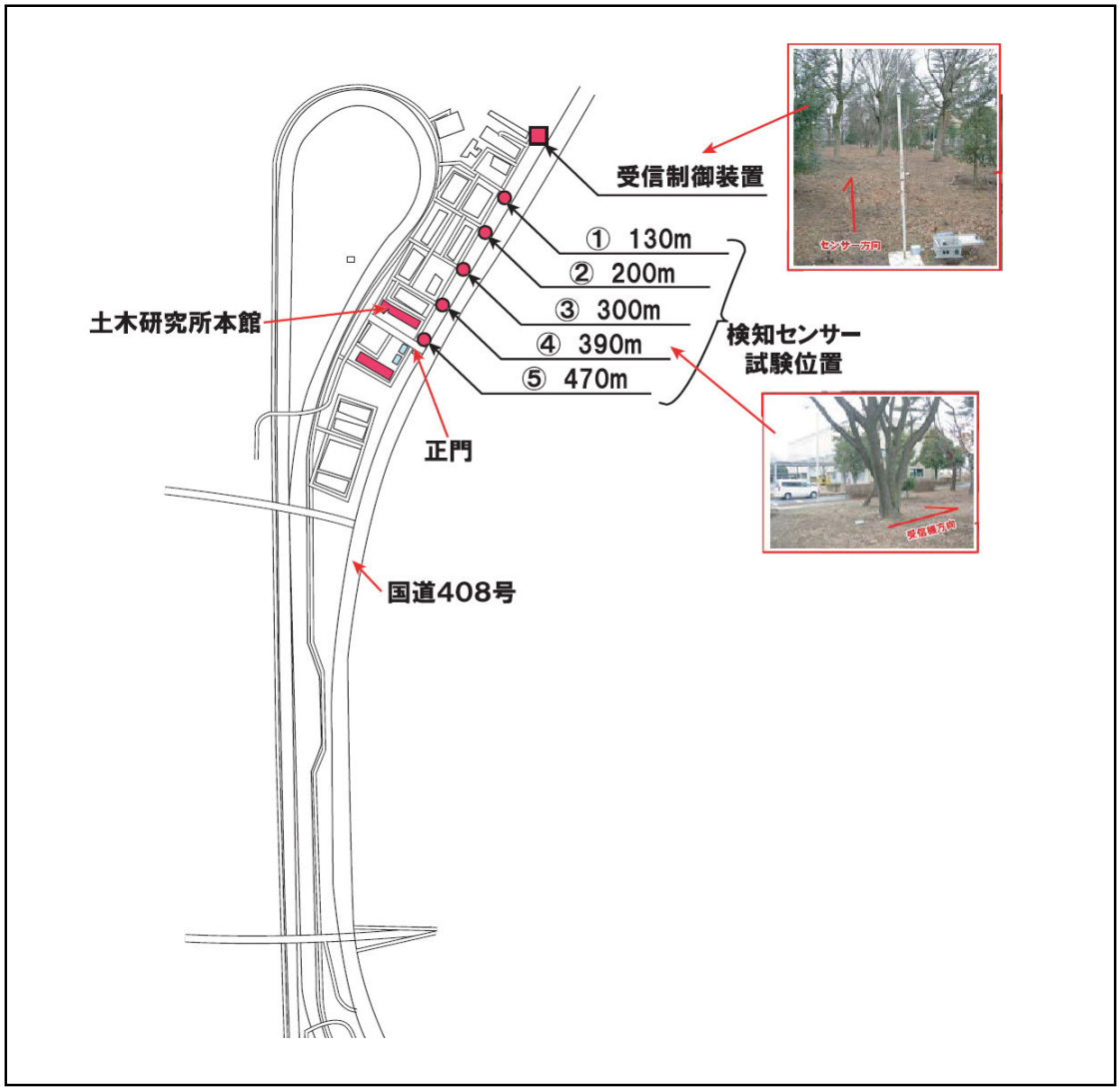
図－４　タイプⅢセンサー（センサー高さ 0m）

２）樹木等影響通信試験

樹木等影響通信試験では、タイプⅢセンサーと受信制御装置を樹木が茂っている場所に設置し、それぞれ規定した試験距離毎に対向させ、タイプⅢセンサーが発する検知信号を受信制御装置で受信可能か否かを確認するものとした。図－５に示す土研構内の樹木等がある場所でタイプⅢセンサーと受信制御装置を対向させ試験を行った。

通信試験は土中埋設時、土砂被覆時（図-８）ならびに樹木の影響を調べるため樹木と離れている場所や樹木の根元（図-９）にセンサーを設置し実施した。また、試験時のタイプⅢセンサーと受信制御装置の試験距離や高さは以下のとおりとした。

・試験距離：100, 130, 150, 200, 225, 300, 390, 470m
・受信機高さ（m）（アンテナ高さ）：3.0m
・検知センサー高さ（m）：埋設, 0, 0.5m
・検知センサー送信位置：樹木と離れている場所、樹木の根元



図－５　樹木等影響通信試験

■樹木等影響通信試験写真



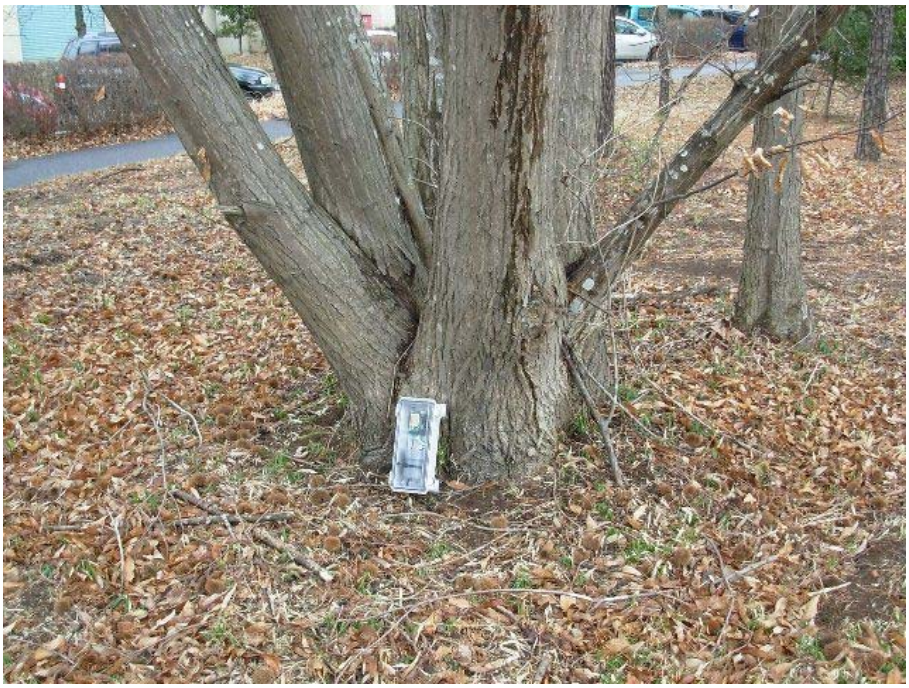
図－６　タイプⅢセンサー受信制御装置（アンテナ高さ 3m）



図－７　タイプⅢセンサー（センサー高さ 0m）



図－８　タイプⅢセンサー（埋設）



図－９　タイプⅢセンサー（樹木根本）

（３）試験結果

１）最長通信可能距離試験結果

最長通信可能距離試験結果を表－１に示した。試験は表-1 に示す各ケースにおいて 3～5 回実施した。タイプⅢセンサー高さを 0m（地表に置いた場合）とした場合、試験距離が 350m 程度までは、全て通信が可能であった。また、試験距離が 920m 程度までは、1 回以上通信が可能であった。さらに、タイプⅢセンサー高さを 0.5m とすると 1100m 程度までは、全て通信が可能であった。

表－１　最長通信可能距離試験結果

No.	距離（m）	受信機高さ(m)（アンテナ高さ）	センサ高さ	
			0m	0.5m
①	350	1.5	○	○
		3.0	○	○
②	580	1.5	△	○
		3.0	△	○
③	920	1.5	▲	○
		3.0	×	○
④	1100	1.5	×	○
		3.0	×	○
⑤	1300	1.5	×	×
		3.0	×	×

○:通信可能
△:一部通信不可能な場合がある
▲:一部通信可能な場合がある
×:通信不可

２）樹木等影響通信試験結果

樹木等影響通信試験結果を表－２に示した。タイプⅢセンサー高さを 0m（地表に置いた）とした場合ならびに 0.5m とした場合、試験距離が 470m 程度までは、全て通信が可能であった。また、タイプⅢセンサーを埋設した（センサー頂部が地表面とほぼ同じ高さ）場合、試験距離が 300m 程度までは全て通信が可能であった。なお、試験距離が 390m では 1 回以上通信が可能であった。

表－２　樹木等影響通信試験結果

受信機高さ:3m

No.	距離（m）	センサ送信位置	センサ高さ		
			土中埋設	0m	0.5m
①	130	樹木なし	○	○	
		根本			
②	200	樹木なし	○	○	
		根本		○	
③	300	樹木なし	○	○	
		根本		○	
④	390	樹木なし	△	○	
		根本		△	
⑤	470	樹木なし	×	○	○
		根本			

○:通信可能
△:一部通信不可能な場合がある
▲:一部通信可能な場合がある
×:通信不可

（４）まとめ

最長通信可能距離試験では、タイプⅢセンサー高さを 0m（地表に置いた場合）とした場合、試験距離が 350m 程度までは確実に通信が行われた。さらに確実な通信ではないものの、試験距離を 920m 程度とした場合においても通信は可能であった。また、タイプⅢセンサーの高さ 0.5m とした場合、通信距離が 1100m 程度まで通信が確実に行われた。

樹木等影響通信試験結果では、タイプⅢセンサー高さを 0m、0.5m（地表に置いた場合）とした場合、試験距離が 470m 程度までは通信が確実に行われた。また、タイプⅢセンサーを埋設した場合、試験距離が 300m 程度までは、通信が確実に行われた。さらに、確実な通信ではないものの、試験距離を 390m 程度とした場合においても通信は可能であった。

すなわち、タイプⅢセンサーの高さを高く設置した方がより遠くまで可能距離が長くなることが分かった。

通信試験
・見通しの良い平地での無線通信機能試験
・樹木等影響試験

斜面崩壊検知センサー開発時に実施した試験に関する事項（タイプⅢセンサー）

１．試験項目

・通信試験　・耐久試験　・室内環境試験　・その他の試験

２．場所

独立行政法人土木研究所　敷地内（茨城県つくば市）

３．担当者

株式会社拓和

４．試験内容

（１）試験目的

タイプⅢセンサーの無線通信機能のうち、通信距離や条件の変化による無線電波の受信強度の変化を把握するため、土研構内で通信試験を行った。

（２）試験方法

土研構内の図－１　地点１、２において、以下の通信試験を行った。

■地点１　中央部・試験道路沿い地点（見通しが非常に良い標準条件）

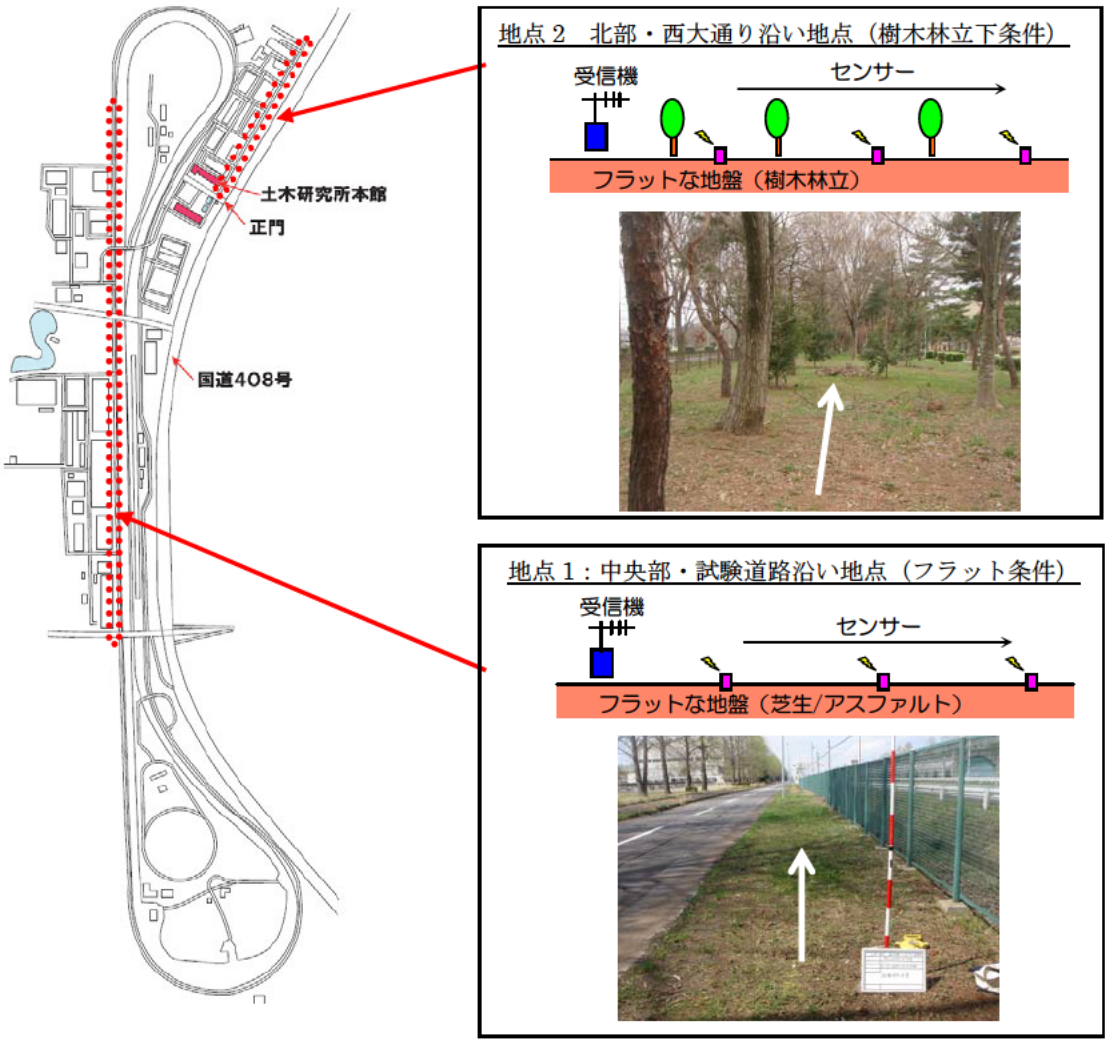
■地点２　北部・西大通り沿い地点（樹木林立下条件）

１）標準条件下での受信強度測定試験

地点１において土研構内の直線で見通しが非常に良い標準条件での受信強度測定試験

２）樹木林立下条件での受信強度測定試験

地点２において樹木林立下条件での受信強度測定試験



図－１　試験位置

（３）試験結果

１）標準条件下での受信強度測定試験

タイプⅢセンサーと受信制御装置をそれぞれ規定した試験距離毎に対向させ、検知センサーが発する検知信号を受信制御装置で受信し、その受信レベルの測定を行った。

ⅰ）試験条件

・試験距離(m)　　：　100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200

・検知センサー高さ(m)：　0.0（検知センサー縦置き）、

0.0（検知センサー横置き）、0.5, 1.0, 2.0

・受信制御装置（アンテナ）高さ（m）：　1.0, 1.7

ⅱ）試験結果

・試験結果を表-1、図-2 に示した。

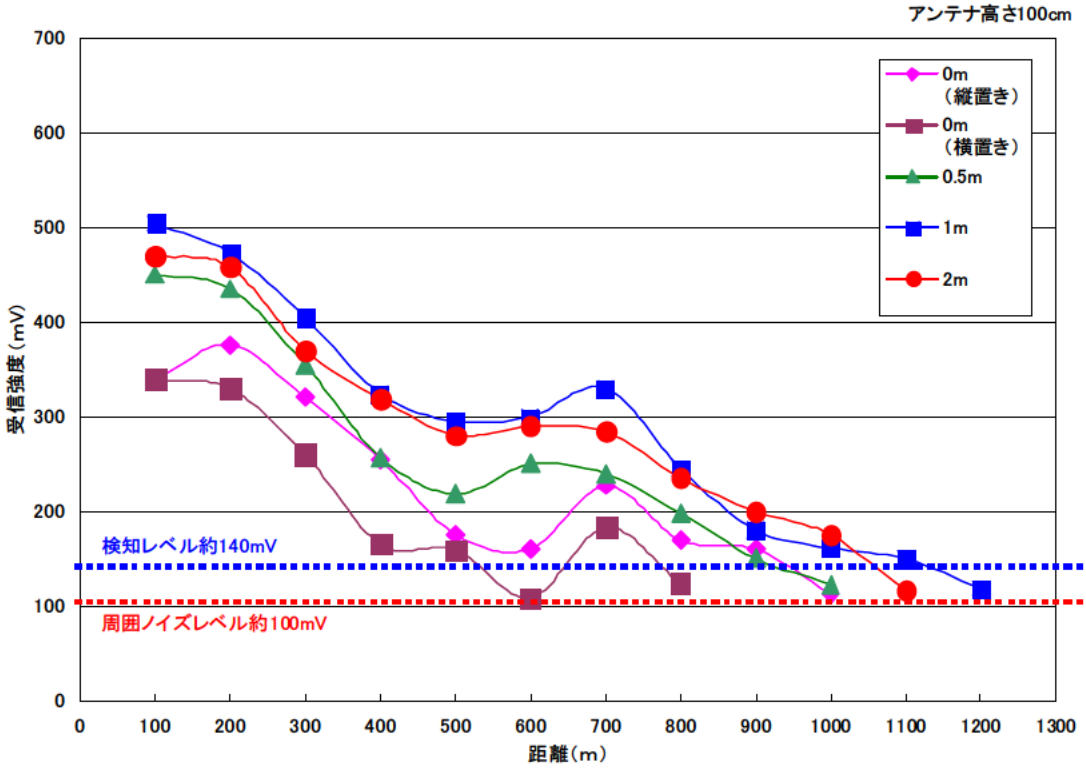
表-1　標準条件下での受信強度測定試験結果表

(a)受信制御装置（アンテナ）高さ 1.0m　　(b)受信制御装置（アンテナ）高さ 1.7m

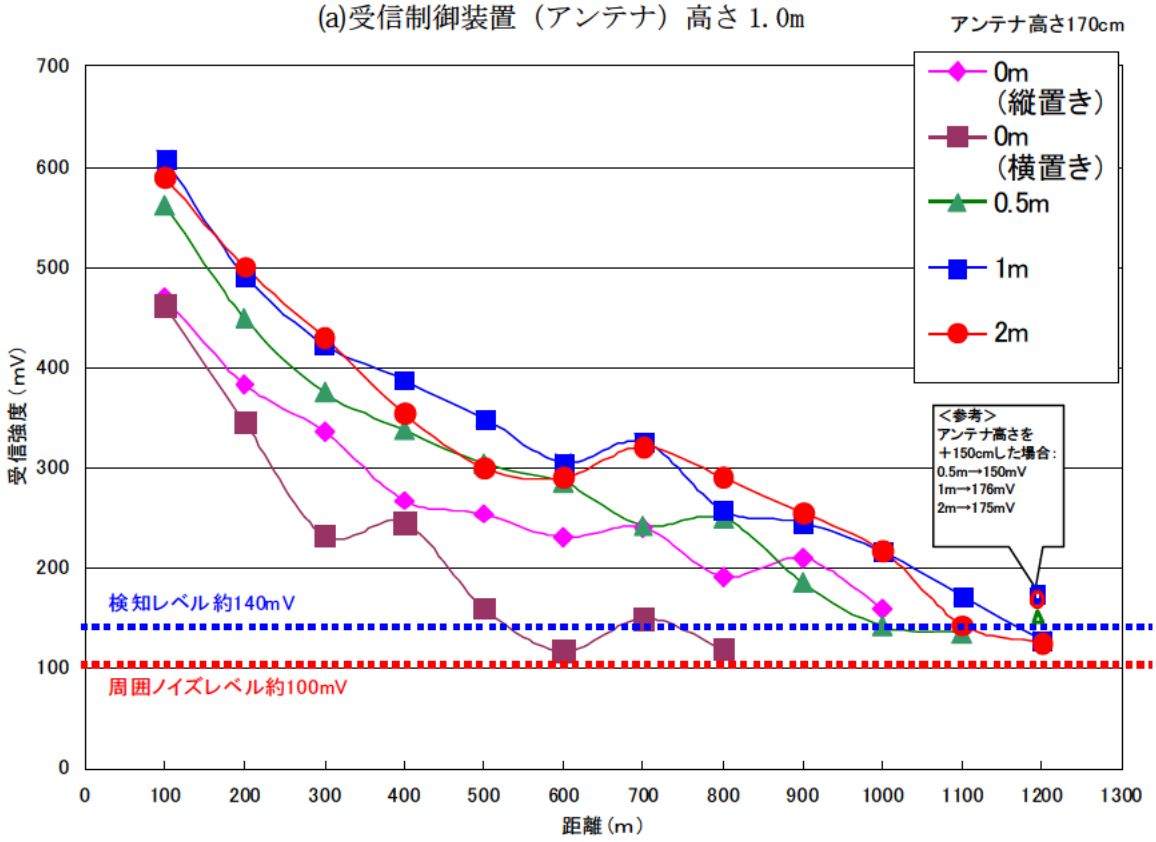
(単位:mV)

アンテナ 100cm	センサー高さ				
センサー受信機間距離（m）	0m（縦置き）	0m（横置き）	0.5m	1m	2m
100	338	339	450	504	470
200	376	330	435	473	458
300	320	260	355	405	370
400	255	165	257	324	318
500	175	159	218	295	280
600	160	108	250	300	290
700	227	183	239	330	284
800	169	124	198	245	235
900	160		150	180	200
1000	113		123	161	175
1100				150	116
1200				118	

アンテナ 170cm	センサー高さ				
センサー受信機間距離（m）	0m（縦置き）	0m（横置き）	0.5m	1m	2m
100	470	462	562	608	589
200	383	345	449	492	500
300	336	232	375	423	430
400	267	245	338	387	354
500	254	160	304	349	300
600	230	117	285	305	290
700	240	150	242	326	321
800	191	120	250	258	290
900	210		185	245	255
1000	159		142	216	217
1100			135	172	143
1200				129	125



(a)受信制御装置（アンテナ）高さ 1.0m



(b)受信制御装置（アンテナ）高さ 1.7m

図－２　標準条件下での受信強度試験グラフ

２）樹木等植生影響下の通信試験

樹木が茂っている場所においてタイプⅢセンサーと受信制御装置を規定した試験距離毎に対向させ、検知センサーが発する検知信号を受信制御装置で受信し、その受信レベルの測定を行った。

試験場所での樹木林立状況は、広葉樹が主体で、根本における直径が 0.1～0.7m のものが見通し上（幅 10m の範囲）に約 20 本林立していた。

ｉ）試験条件

・試験距離(m)　　：　103, 232, 318, 414, 506

・検知センサー高さ(m)：　0.0（検知センサー縦置き），

0.0（検知センサー横置き）、0.5, 1.0, 2.0

・受信制御装置（アンテナ）高さ（m）：　1.0, 1.7

ii）試験結果

・試験結果を表-2、図-3 に示した。

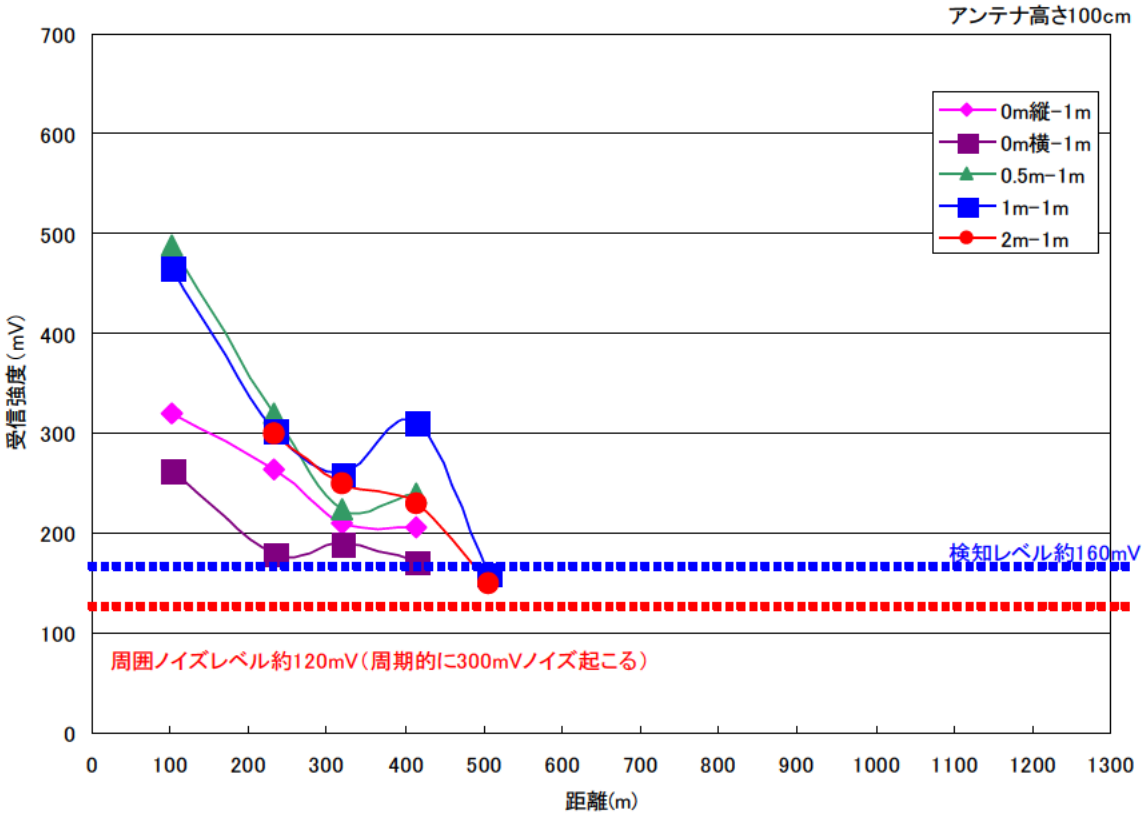
表-2　樹木等植生影響下の通信試験結果表

(a)受信制御装置（アンテナ）高さ 1.0m　　(b)受信制御装置（アンテナ）高さ 1.7m

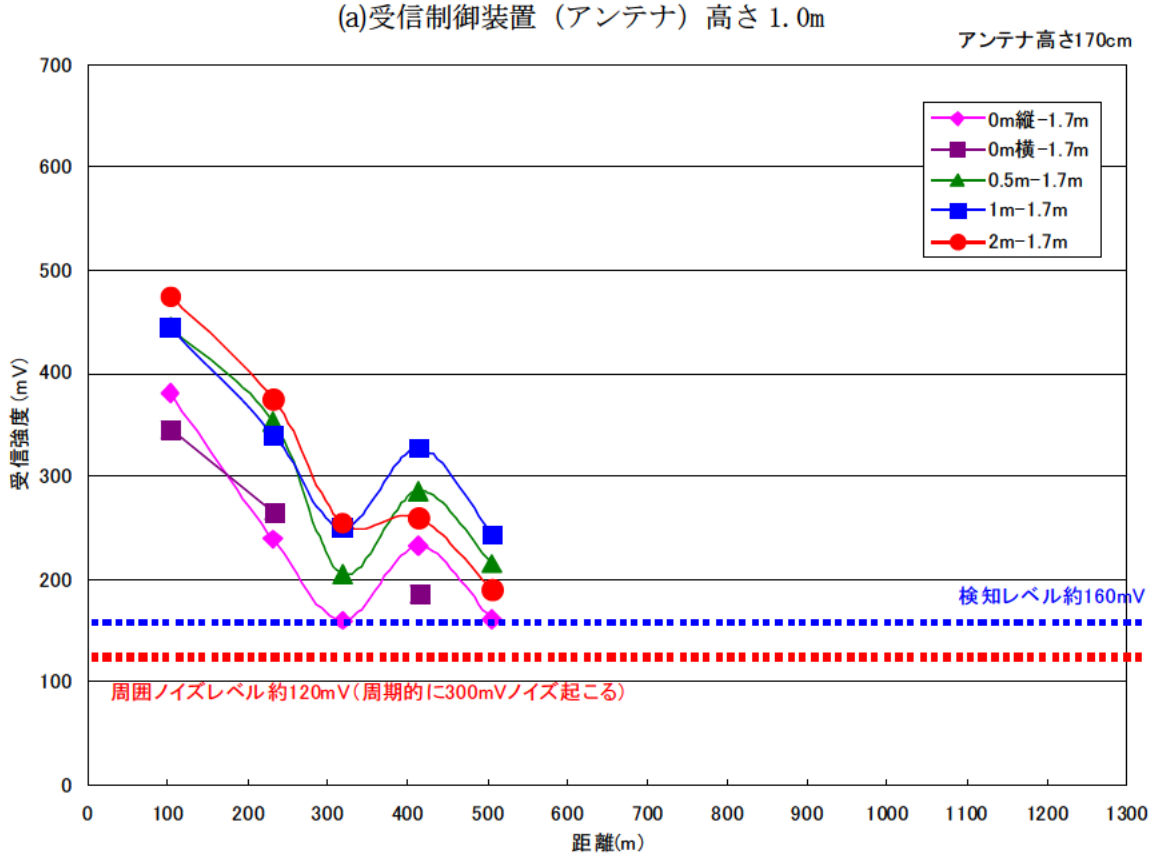
（単位:mV）

アンテナ 100cm	センサー高さ				
距離(m)	0m（縦置き）	0m（横置き）	0.5m	1m	2m
103	320	264	488	466	
232	265	180	320	305	300
318	210	190	225	260	250
414	207	172	240	313	230
506				160	150

アンテナ 170cm	センサー高さ				
距離(m)	0m（縦置き）	0m（横置き）	0.5m	1m	2m
103	380	345	445	445	475
232	239	265	353	340	375
318	160		205	250	255
414	232	186	286	327	260
506	161		215	244	190



(a)受信制御装置（アンテナ）高さ 1.0m



(b)受信制御装置（アンテナ）高さ 1.7m

図-３　樹木等植生影響下での受信強度試験グラフ

（４）まとめ

通信距離や樹木林立条件などの様々な状況における無線電波の受信強度を計測した。これより、１．７ｍ程度のアンテナ高さを確保した場合、見通しがとれる直線の平地における通信可能距離は、１ｋｍ程度通信が可能であったことが判明した。

また、減衰傾向は、簡易な概算方法として、この場所・条件を対数近似式として近似すると、「受信強度（mV）= -178.63Ln(x(m)) + 1446」の減衰傾向であった。

また、樹木等がある場合では、見通しがとれる直線の平地と同じような減衰傾向を示していた。また、全体の受信強度においては、全体的に受信強度が約 150mV 程度低下することが判明した。さらに、タイプⅢセンサーを横置きより縦置きに設置する方が受信強度レベルが高くなる傾向があった。同様に、受信制御装置のアンテナ高さが低い位置より高い位置に設置した方が、受信強度レベルは高くなる傾向にあった。

今回の試験により、通信距離に対する減衰傾向や障害物、地形等による減衰量に対して定量的な性能を把握できた。

通信試験
山間地域での無線通信機能試験

斜面崩壊検知センサー開発時に実施した試験に関する事項（タイプⅢセンサー）

１．試験項目

・通信試験　・耐久試験　・室内環境試験　・その他の試験

２．場所

六甲砂防管内千丈谷試験フィールド（兵庫県神戸市）

３．担当者

株式会社拓和

４．試験内容

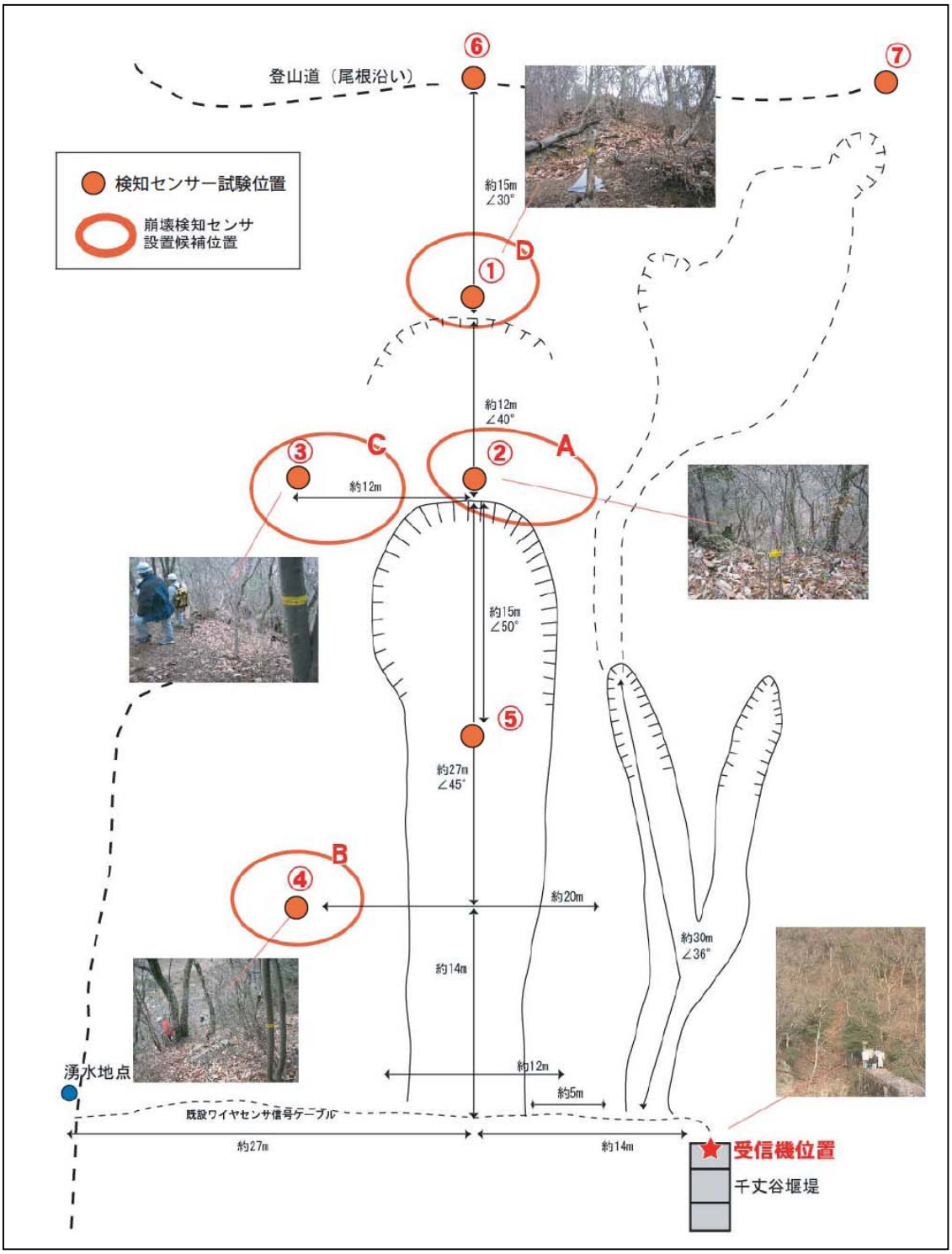
（１）試験目的

実際の現場におけるタイプⅢセンサーの無線通信機能の性能を把握するため、千丈谷試験フィールドにおいて通信伝送距離試験を行った。

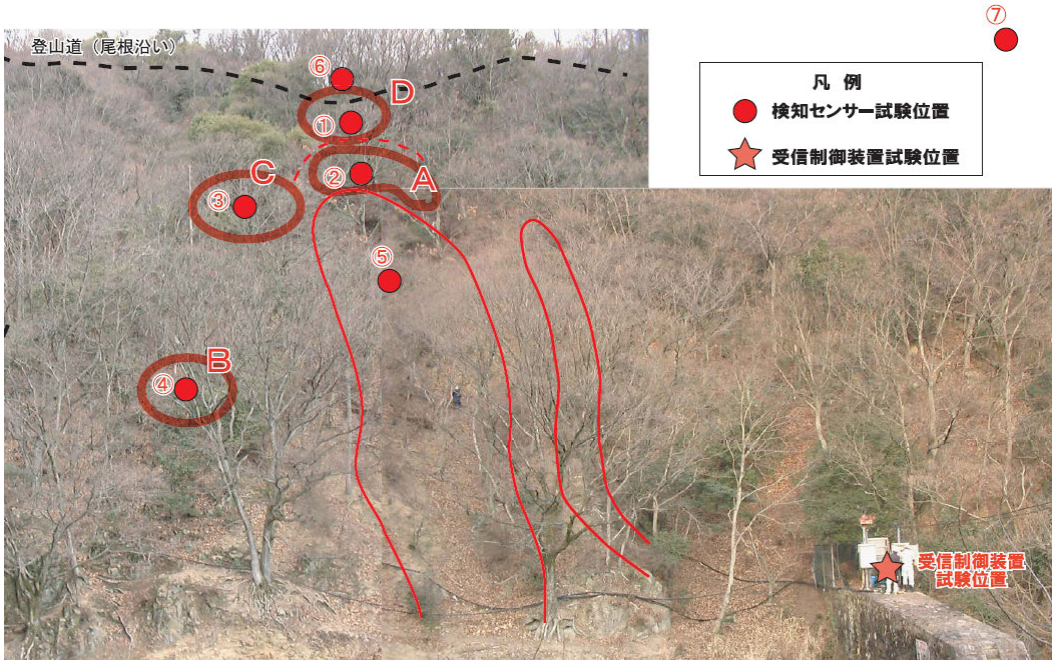
（２）試験方法

図－１、２に示す千丈谷試験フィールドの①～⑦の場所に、タイプⅢセンサーおよび受信制御装置を設置し、試験電波を受信制御装置で受信可能か否かを確認するものとした。また、千丈谷試験フィールドにおいて最長距離無線通信試験結果を検証するため、図－３に示す位置にもタイプⅢセンサーを設置し、試験電波を受信可能か否か確認するものとした。また、千丈谷通信試験写真は図－４、５に示した。

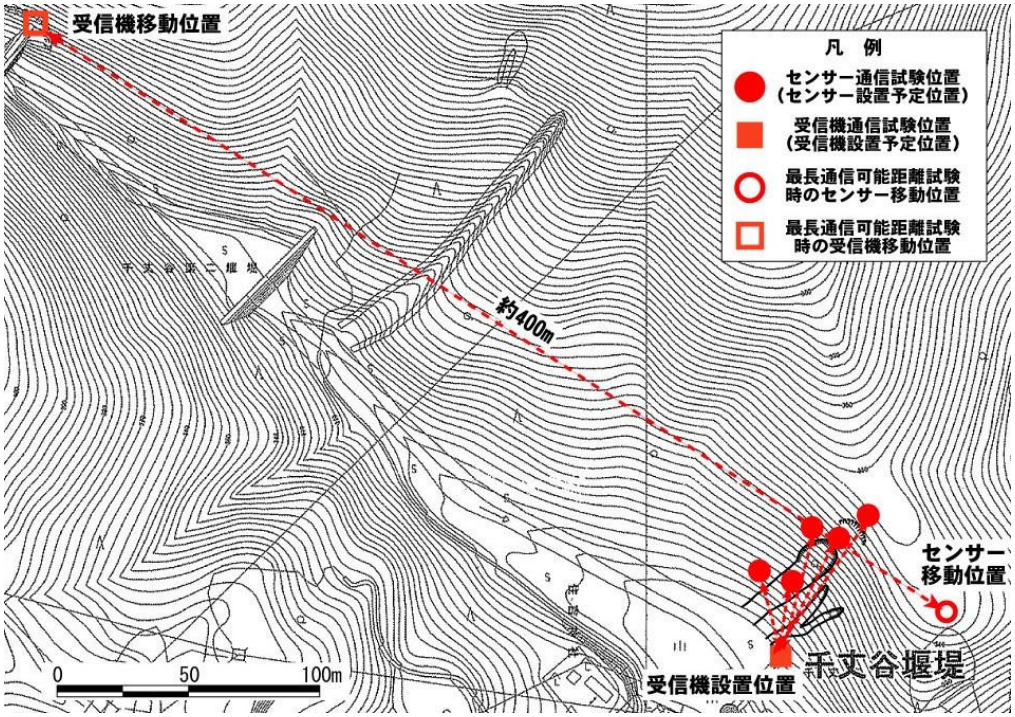
・試験箇所　図－１，２に示す①～⑦の場所
・受信機高さ（m）（アンテナ高さ）：0m
・センサー設置方法：直立設置、横置き設置
・受信機設置場所：砂防堰堤袖部



図－１　六甲千丈谷通信試験位置図１



図－２　六甲千丈谷通信試験位置図２



図－３　六甲千丈谷通信試験位置図３



図－４　受信制御装置（堰堤袖部）



図－５　検知センサー（埋設時）

（３）試験結果

千丈谷試験フィールドにおける通信試験結果（受信機位置：堰堤袖部）を表－１に示した。その結果、通信試験ではいずれの場所においても通信が可能であった。また、タイプⅢセンサーを①､②に埋設した場合においても通信が可能であった。また、センサー位置⑦から上流に約 400m 離れた砂防堰堤に受信機を設置し試験を実施した場合、アンテナ高さを 0m とすると、通信が一部不可能であった。しかし、アンテナ高さを 1.5m 程度では通信が可能であった。また、図－3 に示すセンサーから受信制御装置間が 400m 離れた場所においても、最長距離無線通信試験結果と同様に通信が可能であった。

表－１　千丈谷試験フィールド通信試験結果（受信機位置：堰堤袖部）

○タイプⅢセンサー　　受信機位置1（堰堤そで部）

No.	距離（m）	受信機高さ(m)（アンテナ高さ）	センサ設置方法		
			埋設	直立	横置き
①	約69	1.0	○	○	○
②	約58	1.0	○	○	○
③	約62	1.0		○	○
④	約30	1.0		○	○
⑤	約43	1.0		○	○
⑥	約84	1.0		○	○
⑦	約50	1.0		○	○

○:通信可能
△:一部通信不可能な場合がある
▲:一部通信可能な場合がある
×:通信不可

（４）まとめ

今回検証した千丈谷試験フィールド内の山地斜面のような距離が短く見通しが良い場所においては、無線の電波が強いため、センサー設置方法に関係なく確実に通信が可能であることが判明した。

また、最長距離無線通信試験結果より、地形的に見通しが良い場所であれば、多少木々があっても 400m 程度の長距離の通信が可能であることも判明した。

通信試験
山間地域での無線通信機能試験

斜面崩壊検知センサー開発時に実施した試験に関する事項（タイプⅢセンサー）

１．試験項目

・通信試験　・耐久試験　・室内環境試験　・その他の試験

２．場所

六甲砂防管内苧川谷試験フィールド（兵庫県神戸市）

３．担当者

株式会社拓和

４．試験内容

（１）試験目的

六甲苧川谷試験フィールドおいて、広範囲に無線通信試験を行い、タイプⅢセンサーの無線通信機能を把握する。

（２）試験方法

検知信号を連続発信するタイプⅢセンサーを図－１に示す六甲苧川谷の山間部の経路（A→B→C→D→E→F→G（受信制御装置直上）→F→H→E→D→I）に設置し、受信制御装置で無線の電波強度を測定・記録した。



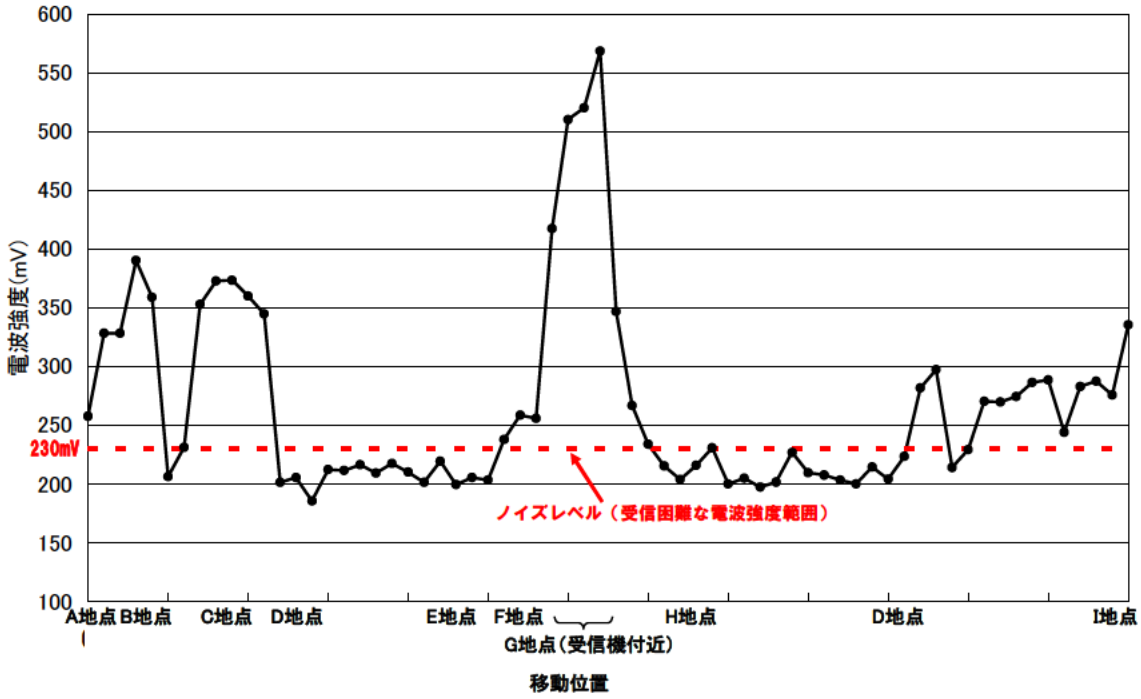
図－１　無線伝送試験移動経路



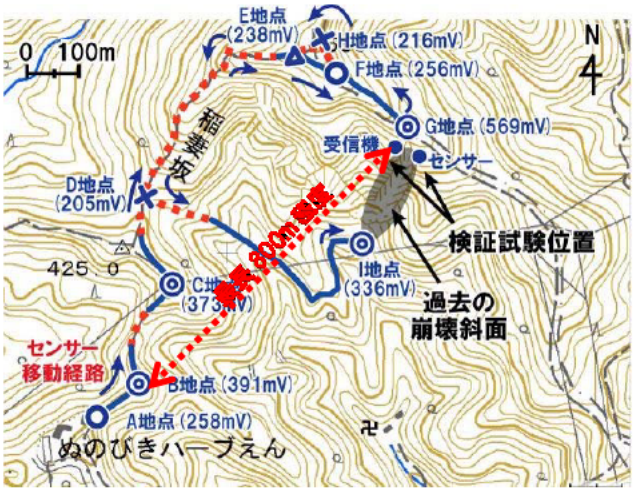
図－２　受信制御装置周辺からの見通し

（３）試験結果

試験結果を図－３、４に示した。電波強度が強い場所を◎、通常○、弱いが受信可能△、受信不可を×として波線経路に図示した。なお、常時のノイズレベル計測より電波強度が約230mV 程度以下は受信不可とした。試験結果よりタイプⅢセンサーから受信機距離が遠いA,B,C 地点においても通信が可能であった。A 地点では距離 800m程度で受信可能であった。また、崩壊地の直下（I 地点）よりも距離が遠いが見通しのよい地点（B,C 地点）の方が電波強度は強かった。これより、通信においては、伝送距離よりも地形的に見通しが取れる方が重要であることが判明した。



図－３　電波強度結果（グラフ）



図－４　電波強度結果（位置図）

（4）まとめ

今回検証した山地斜面においても見通しがとれる場合、800m 程度の長距離通信が可能であった。また、電波強度は距離が遠くても見通しのよい地点の方が強く、地形的に見通しが取れる方が伝送距離よりも通信において重要である事が判明した。

これは、通信を行う上で通信機器間のフレネルゾーン（通信機器間を飛ぶ電磁波の経路の束が占める空間において、電磁波は通信機器間を複数の経路に分散して伝わり、真ん中が太いラグビー・ボールのような形をしている）を確保することが重要であり、長距離伝送する場合は見通し（フレネルゾーン）を考慮し設計する必要があることを示している。

通信試験
・積雪状況を想定した通信試験

斜面崩壊検知センサー開発時に実施した試験に関する事項（タイプⅤセンサー）

１．試験項目

・通信試験　・耐久試験　・室内環境試験　・その他の試験

２．場所

日本工営㈱　中央研究所　所内および室内スキー場内

３．担当者

日本工営株式会社

４．試験内容

（１）試験目的

製作したタイプⅤセンサーの機能検証のため、以下の試験を実施した。

１）　傾斜検知センサーの検知精度検証試験

２）　土中埋没を想定したタイプⅤセンサーの通信試験

３）　障害物を介したタイプⅤセンサーの通信試験

４）　積雪状況を想定したタイプⅤセンサーの通信試験

（２）試験方法

１）　傾斜検知センサーの検知精度検証試験

製作したタイプⅤセンサー内には、30 度の傾斜を検知するセンサーが実装されている。この傾斜検知センサーの検知精度は、30° ±5° とされている。そこで、ウオームギアによって角度可変のプレートにデジタル傾斜計およびセンサー（直径 9mm、高さ 6mm）を置き、静かにプレートを傾けてセンサーが反応する角度を測定した。測定を複数回繰り返し、反応角度を検証した。

２）　土中埋没を想定したタイプⅤセンサーの通信試験

タイプⅤセンサーは無線により検知信号が送信される。その送信距離は、平坦地での空気中の通信試験により見通し距離約 500m が限界であった。さらに、現地運用に関しては、斜面崩壊直後にセンサーが土砂に埋没することも想定された。そこで、地表面に置いたセンサー（φ150 塩ビ管内に設置・両端キャップ）の上に土砂（細粒土混じり砂礫、含水比約 11%）を御椀型に盛土し、盛土高毎に距離別電波強度を測定し、その送信距離を調査した。盛土高は、50、75、100、130、150、185cm とした。図－1 にセンサーを埋設した盛土状況（高さ 185cm）を示した。なお、測定地は平坦であるが、中央に高さ約 10m 程度の植え込みを 2 列跨いでいる。



図-1　センサーを埋設した盛土（高さ 185cm）状況

３）　障害物を介したタイプＶセンサーの通信試験

タイプＶセンサーの現地設置状況によっては、センサーおよび受信機間に構造物が存在し、それが障害となる場合も考えられる。そこで、高さ 13m、幅 20m、奥行き 42m（3 階建ビル）の奥行き中央にて、ビルの両側の壁面から距離ごとに通信試験を行い、障害物による無線の送信距離変化を調査した。

４）　積雪状況を想定したセンサーの通信試験

積雪地へのタイプＶセンサーの適用にあたっては、センサーが雪に埋もれることにより、雪により無線信号伝搬に影響を与えることが考えられる。積雪の影響としては、以下の特徴が指摘されている [1]。

- 雪に深く埋もれた発信器から出た電波が一様な雪の中を透過するときの減衰量は、周波数、雪の含水率、密度、温度に依存する。
- 低い周波数ほど雪に対する透過性は良い。
- 新雪時の乾いた雪（氷と空気の混合体）は減衰が少ないが、湿った雪（水と氷と空気の混合体）は、電気伝導の主な原因となる水分が多く含まれるため、高い周波数ほど減衰が大きくなる。

そこで、人工スキー場において、タイプＶセンサーを積雪下に埋設し、その無線伝播状況を調査した。試験は、雪上、積雪下 100cm、積雪下 150cm に埋設したタイプＶセンサーにおいて、無線の送信可能距離変化を調査した。試験状況を図－2 に示した。



図-2 積雪下センサーによる無線伝送試験

（3）試験結果

1） 傾斜検知センサーの検知精度検証試験

傾斜検知センサー本体の直行する2方向で各20回検証した結果、検知角度は30±1.5°に収まった。従って、製作のバラツキを考慮しても誤差として製品仕様である±5° を満足すると考えられた。

2） 土中埋没を想定したタイプVセンサーの通信試験

通信試験結果は図－3 のとおり、埋設深さ約 2m の状態で距離 125m 程度までは空気中測定時の 70%程度に電波強度が落ちるが通信は可能であった。しかし、伝達距離は 170m 程度が限界で、その距離では 0.5m 埋没でも受信できなかった。

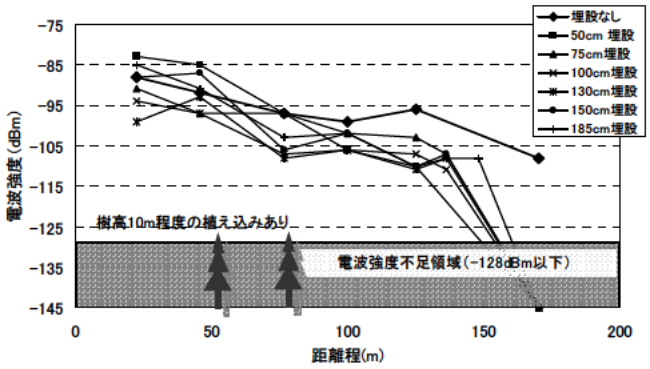


図-3 センサー埋没時の通信試験結果

3）障害物を介したタイプVセンサーの通信試験

試験結果は図－4 のとおり、建造物の壁面部においても通信が可能（電波強度-128dBm 以上）であった。システムとしては障害物を回避するため中継機を利用できるが、図－4 のような障害物状況では中継機は不要となる。

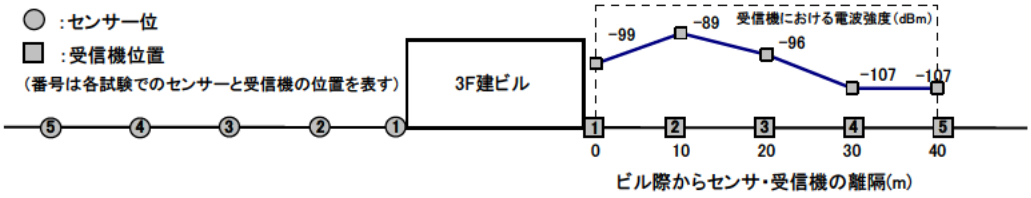


図-4 障害物（建造物）を介した通信試験結果

4） 積雪状況を想定したタイプVセンサーの通信試験

タイプVセンサーを雪上と雪上より 100 および 150cm 地点に埋設し、無線受信機を受信距離 50m、100m、150m、200m および 200m 以上の地点に設置し、電波強度を計測した。（地上 160cm のアローラインアンテナにて受信した）

その結果を図－5 に示した。結果概要は以下のとおりである。

・雪質は水分の多いざらめ雪であり、無線伝搬には不利な条件である。
・積雪 150cm にても無線の伝搬距離 280m でも届いたことが確認された。
・積雪 150cm では、距離 200m において、無線発信信号数のうち、半数以上が受信機に到達しており、受信確実性が高かった。

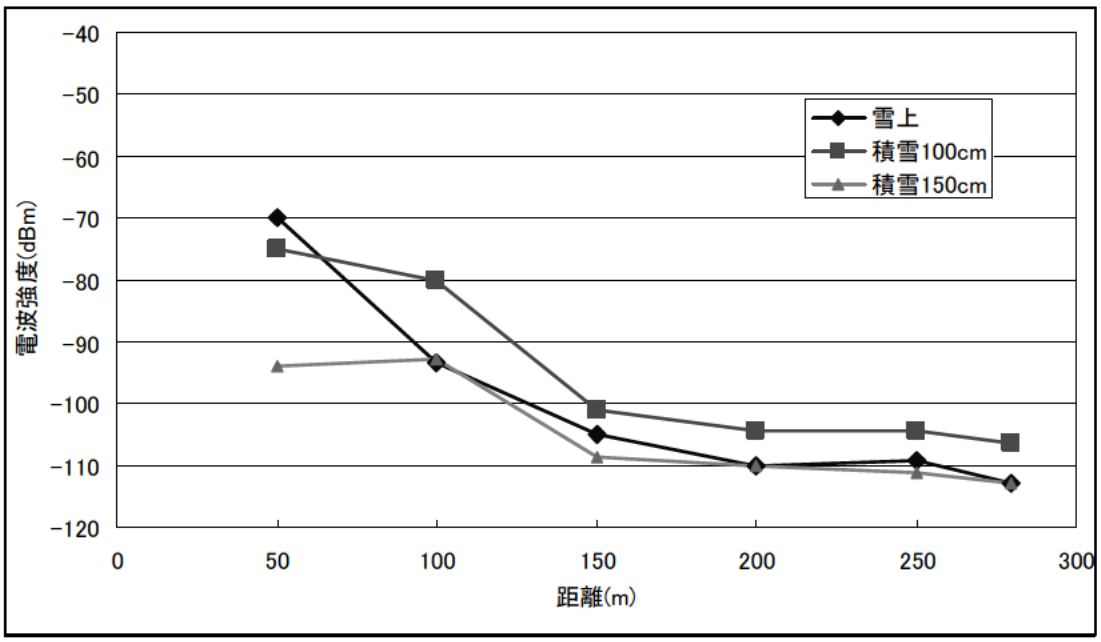


図-5　積雪状況を想定したセンサーの通信試験

（4）まとめ

開発したセンサーを用いた室内および野外試験を行い、システム性能を検証した。その結果を以下に列挙した。

- 無作為抽出による傾斜検知センサーの角度検知精度は±1.5°に収まった。従って、製品仕様である±5°に比較して、十分な分解能を有すると判断した。
- センサーが土砂に埋設した状況下での通信試験では、平坦地であれば距離 150m 程度までは埋設深さに余り影響されず、通信が可能であった。ただし、地形の影響による無線減衰をこの試験では評価できない。
- 障害物の影響として、3 階ビル（約 8m）程度では通信の障害となりにくいことを確認した。
- 積雪深が 1.5m 以下であれば、無線伝送距離 280m 程度までは確保できることが確認された。

現場における設置
耐久性の検証

斜面崩壊検知センサー開発時に実施した試験に関する事項（タイプⅡセンサー）

１．試験項目

・通信試験　・耐久試験　・室内環境試験　・その他の試験

２．場所

六甲砂防管内千丈谷試験フィールド（兵庫県神戸市）

３．担当者

坂田電機株式会社

４．試験内容

（１）試験目的

千丈谷試験フィールドにおいて長期間継続的に観測・試験を行い、実際の現場におけるタイプⅡセンサーの耐久性能、検知性能等を把握した。

（２）試験方法

試験は、2008 年 10 月に千丈谷試験フィールドに設置したタイプⅡセンサーに傾斜を与え、検知信号を受信器で受信できることでタイプⅡセンサーの耐久性能、検知性能等を確認することとした。使用機器構成を**図-1** に示すとおりとした。

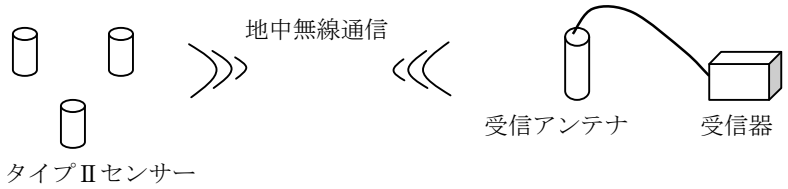


図-1　使用機器構成



写真-1　耐久性試験実施状況

（3）試験結果

実施した試験により、千丈谷試験フィールドに設置したタイプⅡセンサーは、No.1、No.2、No.3 のいずれにおいても正常に作動した。

表-1　試験結果

センサ番号	試験結果	
	2008 年 4 月 18 日	2008 年 10 月 2 日
No.1	正常	正常
No.2	正常	正常
No.3	正常	正常

（4）まとめ

上記の試験結果より、タイプⅡセンサーは、設置してから半年間、検知信号を送信していなくても正常に動作すること、すなわち一定の耐久性能を有していることを確認した。

現場における設置
耐久性の検証

斜面崩壊検知センサー開発時に実施した試験に関する事項（タイプⅢセンサー）

１．試験項目

・通信試験　・耐久試験　・室内環境試験　・その他の試験

２．場所

六甲砂防管内苧川谷試験フィールド（兵庫県神戸市）

３．担当者

株式会社拓和

４．試験内容

（１）試験目的

苧川谷試験フィールド（図－１）において長期間継続的に試験を行い、実際の現場におけるタイプⅢセンサーの耐環境性能（耐久性能）、検知性能等を把握した。



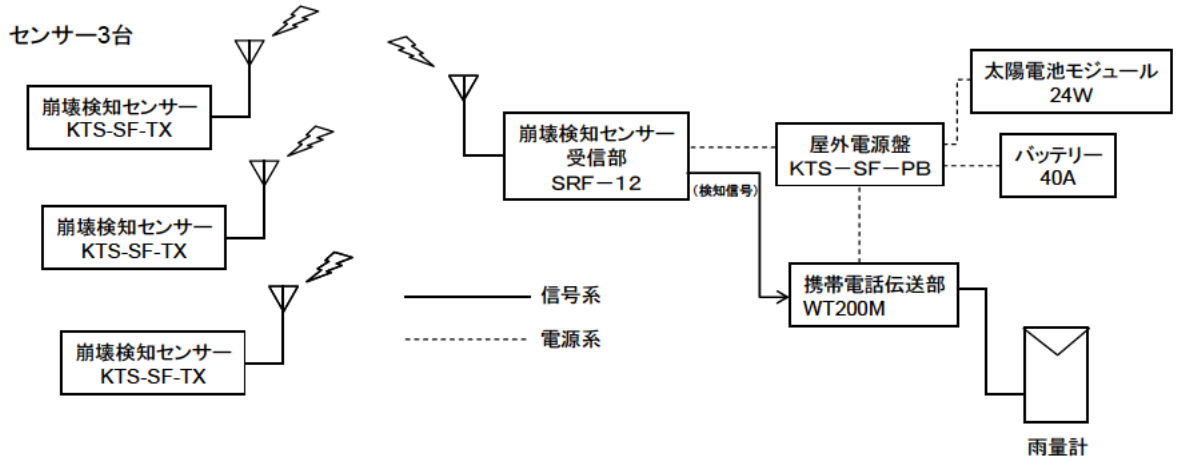
図－１　六甲試験箇所

（２）試験方法

１）設置機器

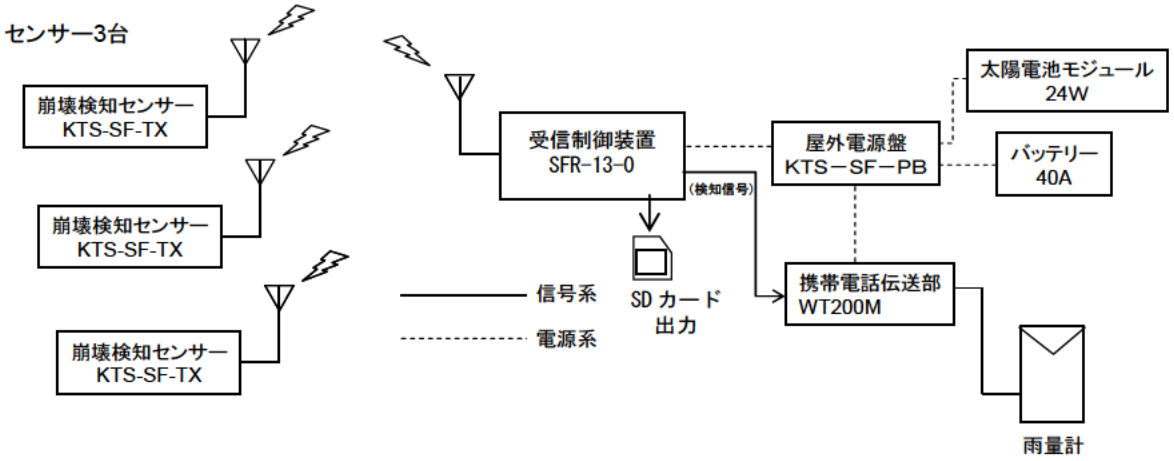
斜面にタイプⅢセンサーを３台、受信制御装置１台、携帯電話伝送装置１台、太陽電池24W、バッテリー40Ah、さらに気象状況観測として雨量計１台を設置した。

当初、崩壊検知データ、雨量データの記録は、現場記録ではなく携帯電話伝送装置によるメール配信のみとしていたが、その後受信制御装置を交換したため、崩壊検知データの記録が受信制御装置で可能となった。



図－２　タイプⅢセンサー機器構成図

（受信制御装置交換前）



図－３　タイプⅢセンサーの機器構成図（受信制御装置交換後）

２）設置位置・方法

ｉ）受信制御装置、太陽電池、バッテリー、携帯電話伝送装置

受信制御装置等一式を図－４に示す位置に設置した。設置方法は、単管を設置位置に打設し、単管に各機器を固定した。

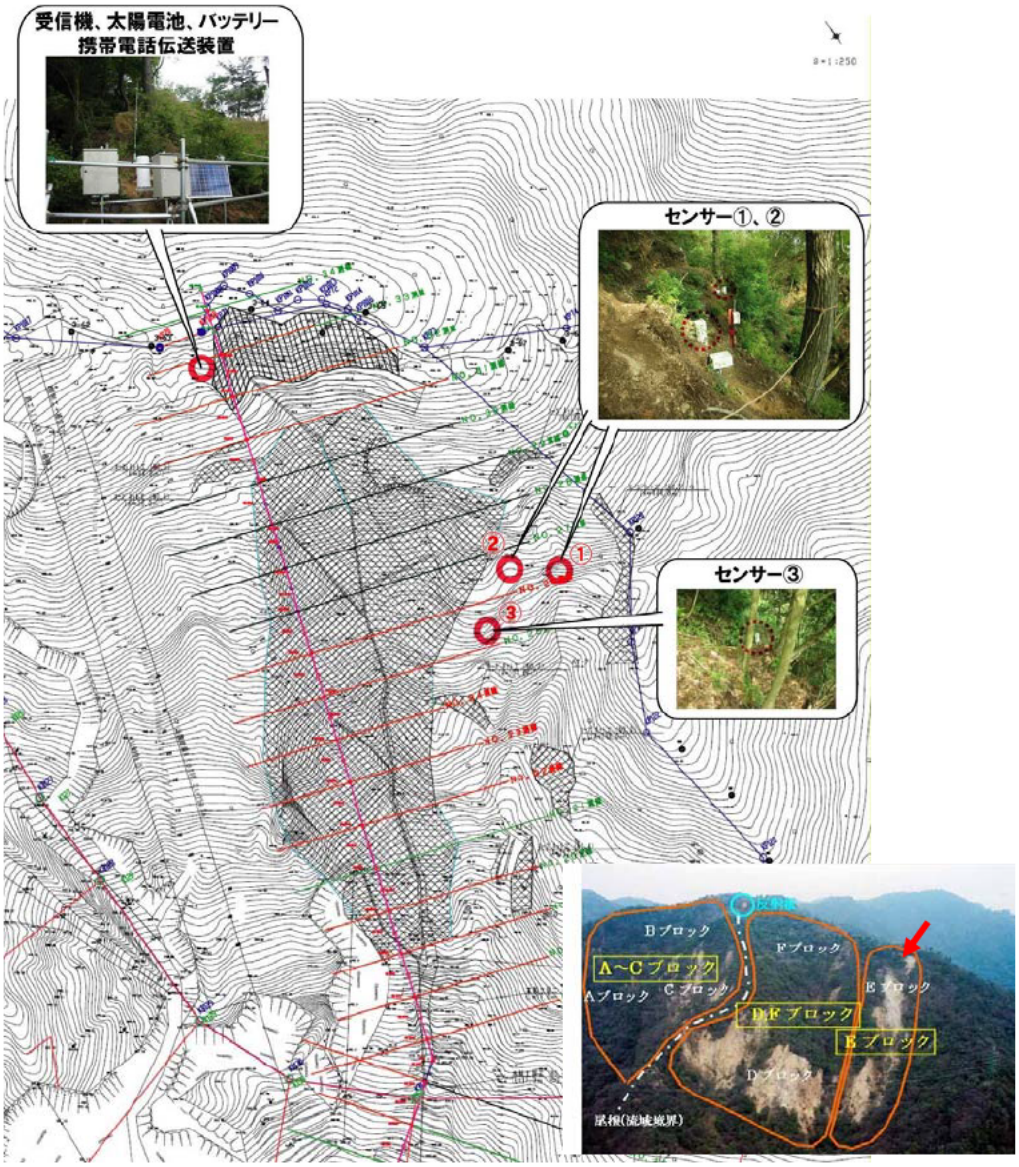
ⅱ）タイプⅢセンサー

タイプⅢセンサー3 台を図－４に示す位置に設置した。地面に設置金具を打設した後、設置金具とセンサーを接続し、センサーが水平になるように調整を行った。また、設置金具は後からセンサーを水平に調整できるように治具を作成した。

ⅲ）雨量計

雨量計の設置位置は、急斜面で最適な設置位置が確保できないことや電源ならびに携帯電話伝送装置の位置を考慮するものとした。そのため、樹木等の影響を受ける場所ではあ

るが、受信御装置の近傍に雨量計を設置した。設置においては、縦横 30cm、厚み 5cm 程度のコンクリートベースを平らにした地面に置き、コンクリートベースと雨量計を設置金具で固定し、水平を調整した。



図－４　タイプⅢセンサー苧川谷設置位置（E ブロック）



図－５　受信機周辺からタイプⅢセンサー方向を望む



図－６　タイプⅢセンサー設置周囲



（ａ）受信機等一式



（ｂ）受信機



（ｃ）バッテリー



（ｅ）雨量計



（ｆ）タイプⅢセンサー設置状況



（ｇ）タイプⅢセンサー②

図－７　芋川谷試験フィールド機器設置状況

（３）試験結果

試験期間中、斜面崩壊は発生しなかった。また、タイプⅢセンサーが斜面崩壊を検知した記録も無かった。

＜試験期間全般＞

・合計 16 回メンテナンス　（約 1～2 月に 1 回程度）
・タイプⅢセンサー形状を３回改良
　箱形→円筒形→円筒形→円筒形（完全密封型：センサー内部基板も形状変更）
・タイプⅢセンサー内部処理プログラムの検知反応が鋭敏で誤検知の可能性が高かったため、検知遅延時間を瞬時から２秒に変更した。
・受信制御装置を２回改良　当初簡易 6ch タイプ→液晶表示・内部記録型 6ｃｈ→30ch オプション型・SD カード出力タイプ
・タイプⅢセンサーの内部電源等に急激な消耗等は無く、仕様通り正常動作をした。
・タイプⅢセンサーの外観等得に損傷・異常は無く、耐久性も良好であった。

＜誤検知等不具合状況＞

○試験観測開始から誤検知（崩壊が発生していないにも係らず受信制御装置が検知信号を受信）が 10 回発生した。

【原因】誤検知究明試験等により、設置していた受信制御装置の初期不良と判断した
【対応】受信制御装置の基板を新規基板に交換した。→その後正常動作中

○それ以外の誤検知

【原因】タイプⅢセンサーの設置杭が不安定になりセンサーが傾いたため、誤検知した。
【対応】設置杭等を安定するものに変更・設置した。→その後正常動作中

＜その他試験による問題点・改良事項＞

【問題点】寒暖の激しい時期において内部に結露等が起こりやすい
【対応】ケースの改良（完全密封型）やシリカゲル等の挿入を行った。

（４）まとめ

実際の現場における耐環境性能（耐久性能）、検知性能等を把握するために、苧川谷試験フィールドにおいて長期間現場試験を行った。その結果、室内試験等では見つけられない幾つかの問題点が判明し、その問題点に対してタイプⅢセンサーの改良等を行うことで信頼性の高いセンサーの開発ができた。また、今後の製品改良における基礎データとして有効活用していきたい。

斜面崩壊検知センサー開発時に実施した試験に関する事項（タイプⅢセンサー）

１．試験項目

・通信試験　・耐久試験　・室内環境試験　・その他の試験

２．場所

六甲砂防管内千丈谷試験フィールド（兵庫県神戸市）

３．担当者

株式会社拓和

４．試験内容

（１）試験目的

千丈谷試験フィールド（図－１）において長期間継続的に試験を行い、実際の現場におけるタイプⅢセンサーの耐環境性能（耐久性能）、検知性能等を把握した。

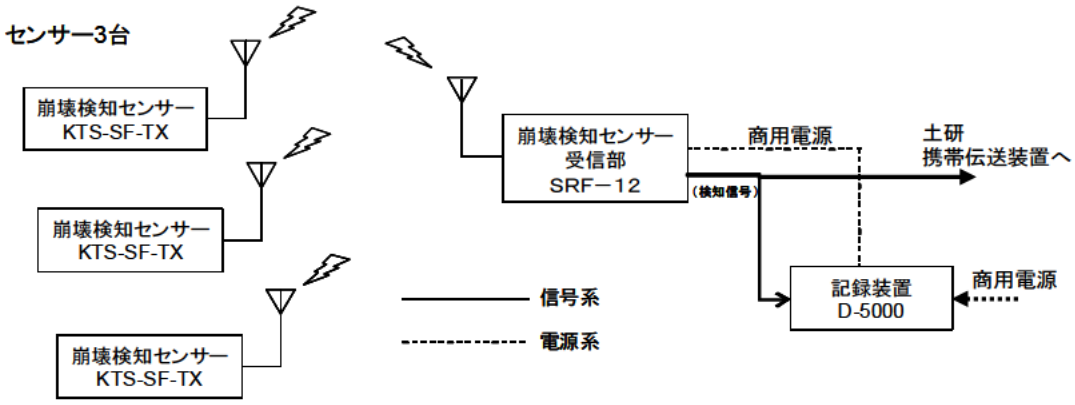


図－１　六甲試験箇所

（２）試験方法

１）設置機器

斜面にタイプⅢセンサーを３台、受信制御装置１台、アナログ記録装置（AC-DC 電源装置含む）１台を設置した。崩壊検知データの配信は、土木研究所設置の携帯電話伝送装置によりメール配信を行うものとした（図―２）。



図－２　タイプⅢセンサー機器構成図

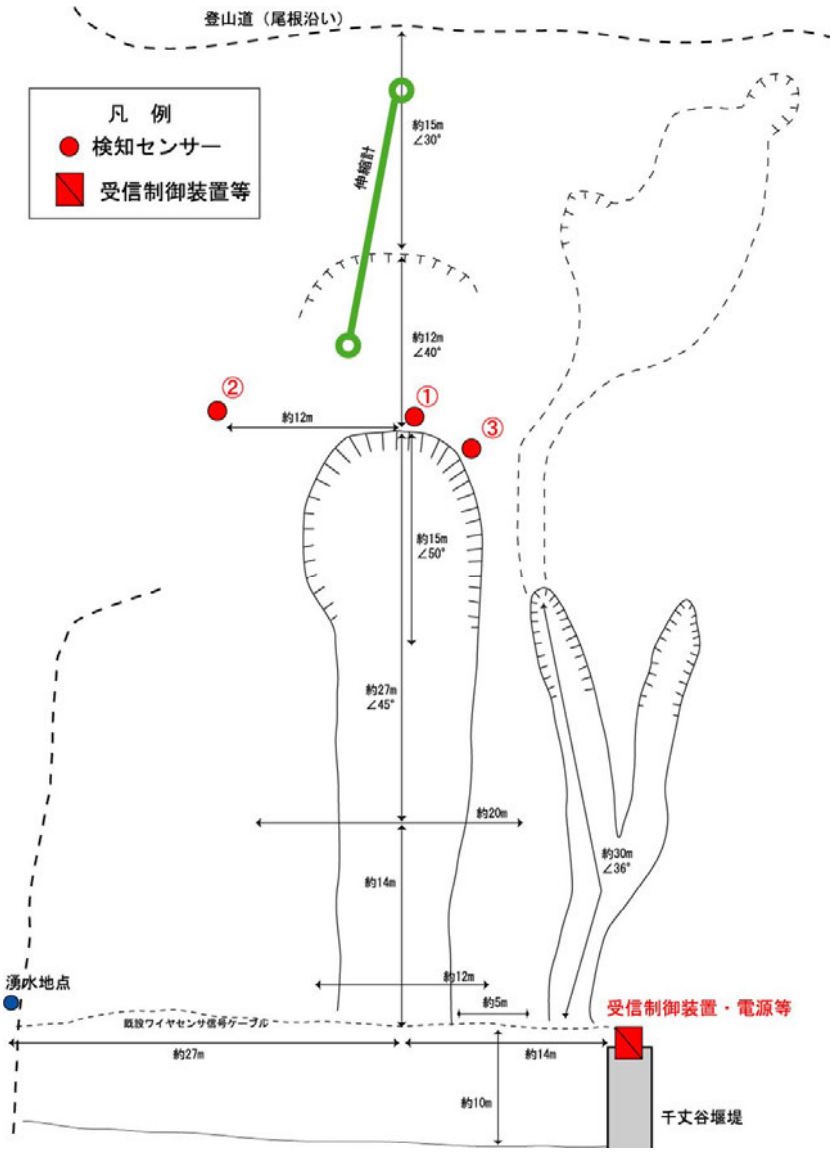
２）設置位置・方法

ｉ）受信制御装置、記録装置

受信制御装置等一式を図－３に示す位置に設置を行った。設置方法は、砂防堰堤上に直接据え置きしケーブル等で各機器を固定した。

ⅱ）設置位置・設置方法

タイプⅢセンサー3 台を図－３に示す位置に設置した。地面に設置金具を打設後、設置金具とタイプⅢセンサーを接続し、タイプⅢセンサーが水平になるように調整を行った。また、設置金具は後からセンサーが水平に調整できるように治具を作成した。



図－３　タイプⅢセンサー設置位置（千丈谷試験フィールド）



(a)受信制御装置設置状況



(b)タイプⅢセンサー設置状況１



(c)タイプⅢセンサー設置状況２



(d)タイプⅢセンサー設置状況３

図－４　タイプⅢセンサー設置状況

（３）試験結果

試験期間中、斜面崩壊は発生しなかった。また、タイプⅢセンサーが斜面崩壊を検知した記録も無かった。

＜試験期間全般＞

・合計 17 回メンテナンス　（約 1～2 月に 1 回程度）

・検知センサー形状を３回改良（箱形→円筒形→円筒形（外気取り入れタイプ）→円筒形（完全密封型））
・検知センサー内部処理プログラムにおいて、検知反応が鋭敏で誤検知の可能性が高かったので、検知遅延時間を瞬時から２秒に変更した。
・受信制御装置を２回改良　当初簡易 6ch タイプ　→　液晶表示・内部記録型 6ch→　30ch オプション型・SD カード出力タイプ
・タイプⅢセンサーの内部電源等に急激な消耗等は無く、仕様通り正常に動作した。
・タイプⅢセンサーの外観等に損傷・異常は無く、耐久性も良好であった。

＜誤検知等不具合状況＞
○試験観測期間中誤検知（崩壊が発生していないにも係らず受信制御装置が検知信号を受信）が２回発生した。
・１回目
【原因】タイプⅢセンサーを格納しているケースの密封性が悪かったため、結露等による誤検知と考えられた。
【対応】密封性の高いケース(円筒型)への変更を行った。→その後正常動作中
→さらに、ケースを円筒型（完全密封型）に改良する他、シリカゲル等の挿入を行った。
・２回目
【原因】タイプⅢセンサー設置杭が不安定になり、センサーが傾いたため、誤検知した。
【対応】タイプⅢセンサーを安定する様に再設置した。　→その後正常動作中

（４）まとめ
実際の現場における耐環境性能（耐久性能)、検知性能等を把握するために千丈谷試験フィールドにおいて長期間現場試験を行った。その結果、室内試験等では見つけられない幾つかの問題点が判明し、その問題点に対してタイプⅢセンサーの改良等を行うことで信頼性の高いセンサーの開発ができた。また、今後の製品改良における基礎データとして有効活用していきたい。

現場における設置
耐久性の検証

斜面崩壊検知センサー開発時に実施した試験に関する事項（タイプⅣセンサー）

１．試験項目

・ 通信試験 ・耐久試験 ・室内環境試験 ・その他の試験

２．場所

六甲砂防管内千丈谷試験フィールド（兵庫県神戸市）
六甲砂防管内苧川谷試験フィールド（兵庫県神戸市）

３．担当者

中央開発株式会社

４．試験内容

（１）試験目的

千丈谷試験フィールド、苧川谷試験フィールドにおいて長期間継続的に試験を行い、タイプⅣセンサーの耐久環境性能（耐久性能）、検知性能等を把握した。

（２）試験方法

１）設置機器

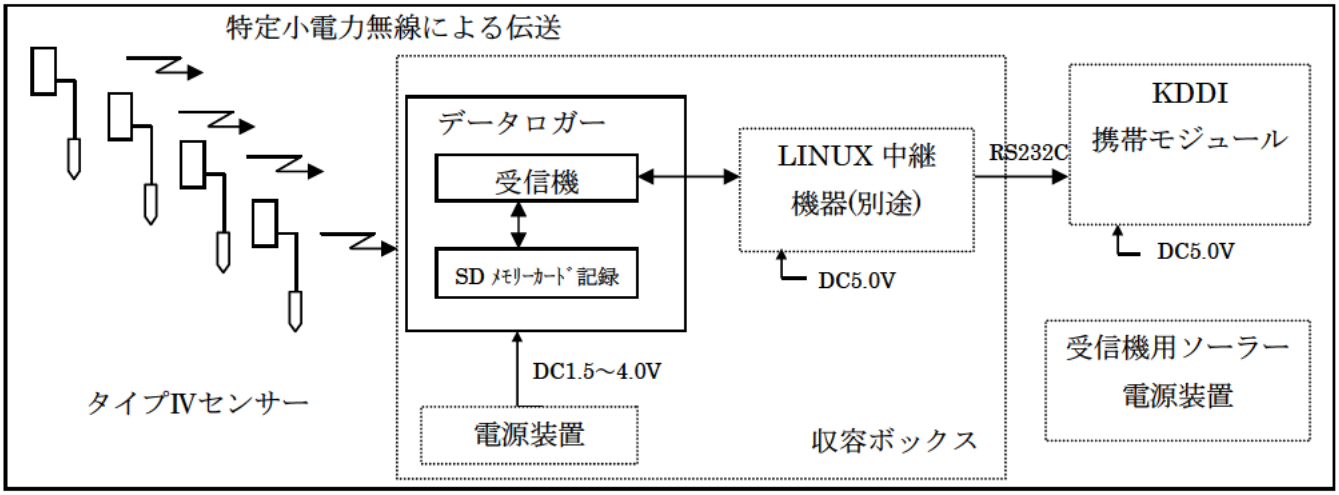
千丈谷試験フィールド：斜面に図-1 に示すタイプⅣセンサーを 5 台、無線受信データ記録装置 1 台、携帯転送装置 1 台、制御用リレー機器(Linux)1 台を設置した。

苧川谷試験フィールド：斜面にタイプⅣセンサーを 3 台、無線受信データ記録装置 1 台携帯転送装置 1 台を設置した。

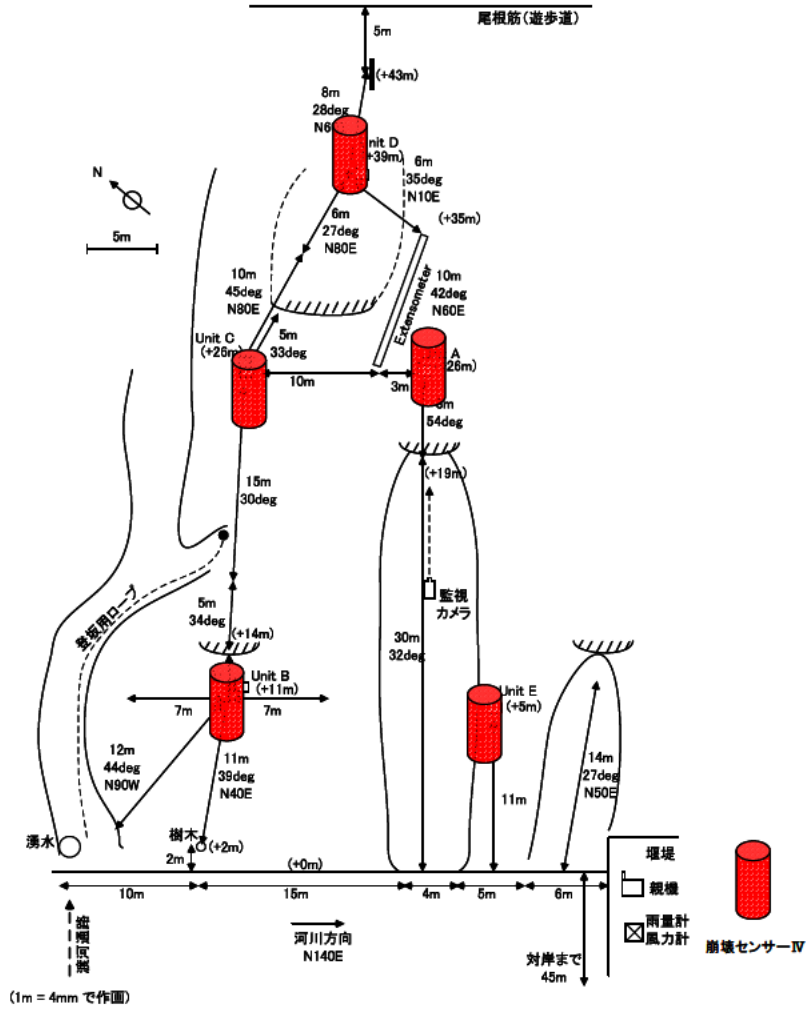
２）設置位置

千丈谷試験フィールド：図-2 に示す A,B,C,D,E の 5 箇所にタイプⅣセンサーを設置した。

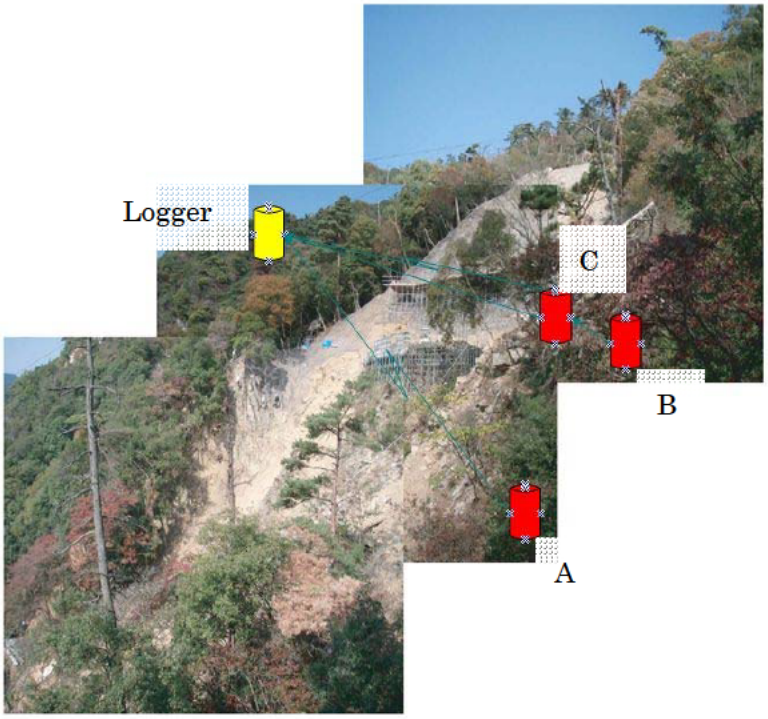
苧川谷試験フィールド：図-3 に示す A,B,C の 3 箇所にタイプⅣセンサーを設置した。



図―１　機器構成図



図―２　千丈谷試験フィールドにおけるタイプⅣセンサー配置図

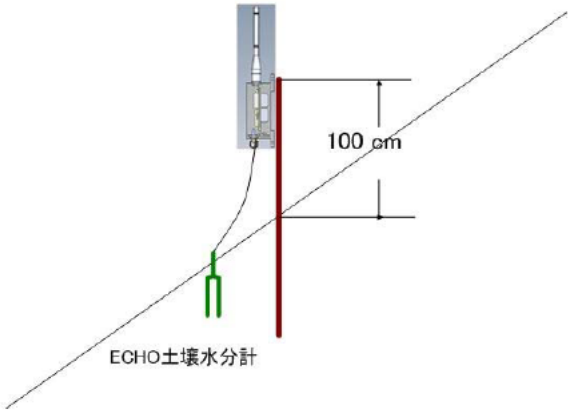


図―３　苧川谷試験フィールドにおけるタイプⅣセンサー配置図

３）設置方法

➢タイプⅣセンサーの設置は、図―４に示すようにスチール製杭を打設し、センサーを固定した。無線通信のため、センサーの設置を地面より 100ｃｍ以上の高さに設置した。

➢センサー付近に土壌水分計を埋設した。土壌水分計は、高周波回路が内蔵しており、水分計に力を加えてはいけないため、穴を掘ってから土壌水分計を挿入して設置した。



図―４　タイプⅣセンサー設置方法図



写真―１　タイプⅣセンサー・無線受信 LINUX・KDDI モジュールの設置状況



写真―２　タイプⅣセンサー・無線受信ロガーの設置状況（苧川谷試験フィールド）

（３）　試験結果

- 千丈谷フィールドの定期点検で、送信が停止したタイプⅣセンサー３機を交換した。調べた結果、ケースの中に落葉ゴミなどが入り悪戯による原因であった。電池電圧チェック結果よりケースの浸水・結露がなく、データも順調に送信していることを確認した。

（４）　まとめ

タイプⅣセンサーにおいて、屋外の自然斜面における長期間観測の耐久試験を行った。その結果、豪雨・気温の変化などの自然環境を耐えて今までの正常に稼働していることを確認した。今まで取得したデータを分析し、長期間メンテナンスなしで容易に設置・運用可能な土砂災害の検知センサーの基礎データとして有効に活用していきたい。

斜面崩壊検知センサー開発時に実施した試験に関する事項（タイプⅤセンサー）

１．試験項目

・通信試験　・耐久試験　・室内環境試験　・その他の試験

２．場所

・六甲砂防管内千丈谷試験フィールド（兵庫県神戸市）

３．担当者

・日本工営株式会社

４．試験内容

（１）試験目的

千丈谷試験フィールド（図－１）において長期間継続的に観測・試験を行い、実際の現場におけるタイプⅤセンサーの耐環境性能（耐久性能）、検知性能等を把握した。



図－１　六甲試験箇所

（２）試験方法

２００９年７月より、千丈谷試験フィールドにタイプⅤセンサー2 器を設置し、現地耐久試験を実施した。設置状況を図－2 に示した。

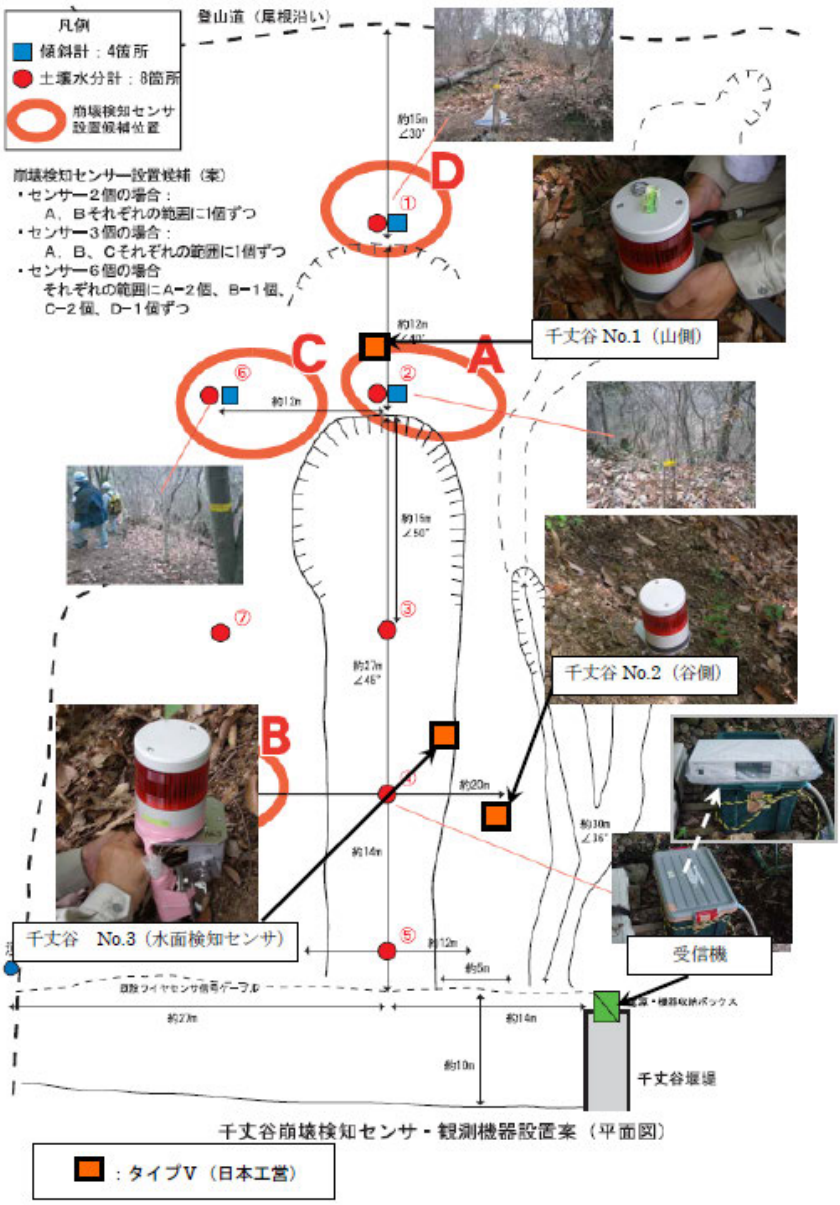


図-2 タイプＶセンサー設置箇所

（３）試験結果

１）六甲山千丈谷における耐久試験

２００９年７月以降、現地設置状況の確認を５回行った。

現地確認では、外観やタイプＶセンサー内部の目視確認、検知信号やヘルスチェック信号（1 日 1 回定時のセンサー死活情報）のデータ回収、センサー内部バッテリ電圧確認（単 3 乾電池計 3 本）を実施した。

その結果、タイプＶセンサー周辺では斜面崩壊や土砂移動が生じておらず、それに対応

して、検知信号は発信されていなかった。ヘルスチェック信号は毎日発信され、受信機で正しく受信されていた。

タイプⅤセンサーの外観には特に異常は認められなかった。一方、一部のタイプⅤセンサーには結露の形跡があり、日照によるケース内温度の上昇と外気温の温度差が顕著に現れる環境にあるものと推定された。しかし、基板に錆や腐食は発生していないため、観測に支障を及ぼす現象ではないと考えられた。なお、現地運用にあたっては、タイプⅤセンサー内部に除湿材等を設置する結露防止対策を講じる必要がある。

タイプⅤセンサー内部バッテリ電圧の低下状況は下記のとおりであり、平常状態において、顕著なバッテリ低下は認められず、正常であるものと考えられた。

・斜面崩壊検知センサーNo.1：11ヶ月で4.81V～4.65V
・斜面崩壊検知センサーNo.2：11ヶ月で4.82V～4.65V

（4）まとめ

開発したタイプⅤセンサーを用いた野外耐久試験を行い、システム性能を検証した。その結果を以下に列挙した。

- 六甲砂防管内千丈谷試験フィールドに設置したタイプⅤセンサーにおいては、周辺では斜面崩壊や土砂移動を生じておらず、それに対応して、検知信号は発信されておらず、誤報も発信されていなかった。
- センサー正常稼動を示すヘルスチェック信号は毎日発信され、受信機で正しく受信されていた。
- 結露や雨水侵入により、タイプⅤセンサーの機能障害や観測に障害を及ぼす事象は発生しなかった。
- タイプⅤセンサーの内部電圧の低下も平常状態において、顕著なバッテリ低下は認められなかった。

耐久試験
その他の機能の検証
落雷によると考えられる誤報

斜面崩壊検知センサーの試験運用中に生じた障害とその対策について（タイプⅢセンサー）

1.障害の内容

- 発生日時・・・斜面崩壊検知センサーの試験運用中において表－1 に示すように障害が 3 日間発生した。

表－1　障害発生記録（2009 年度）

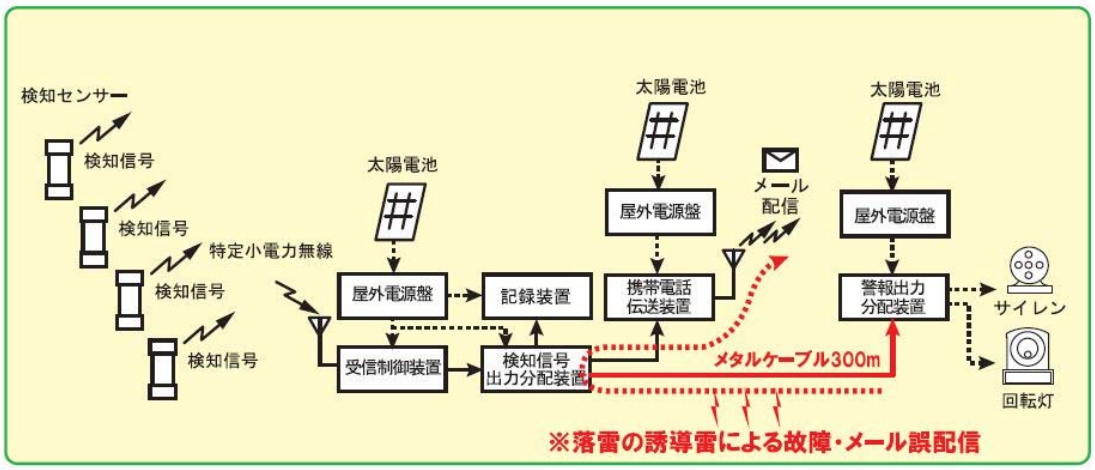
障害発生回数	7 月 20 日	7 月 24 日	8 月 3 日
1	11:49	21:14	16:55
2	12:13	21:15	16:56
3	12:17	21:16	16:57
4	－	21:58	－
5	－	22:38	－
6	－	22:40	－
7	－	22:42	－
8	－	22:43	－
9	－	22:44	－

- 発生場所・・・広島県内に設置した斜面崩壊検知センサーシステム
- 障害の内容・・落雷による記録部の故障およびメール誤配信
- 障害情報を入手した手段・・・事務所からの連絡

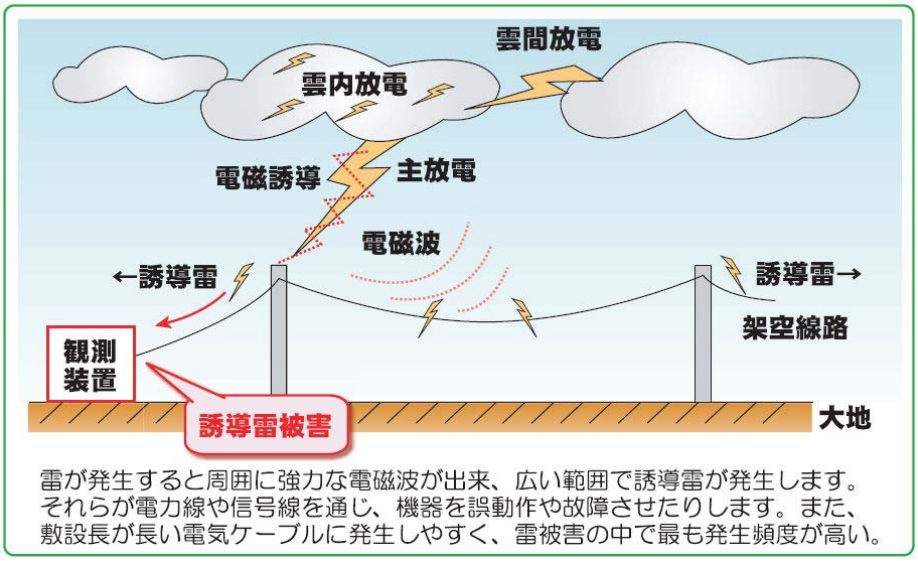
2.障害の要因分析

現地調査を行った結果、タイプⅢセンサーの傾斜やタイプⅢセンサーを設置した斜面の崩壊等は無く、実際に斜面が崩壊していないことが判明した。また、現地の設置装置を調査したところ、タイプⅢセンサーからの検知信号が受信制御装置および記録部に記録がされていないことから、タイプⅢセンサー自体が誤動作したものではないことが考えられた。

また、記録部が故障していたことから、落雷によるノイズの可能性が想定された。すなわち、警報接点分配装置と警報装置を接続している信号ケーブルが約 300ｍのメタルケーブルによる敷設で、落雷の影響を受け易いことから、誘導雷のノイズが信号ケーブルに入り警報接点分配装置へ伝わり、記録部が故障したと同時に携帯電話伝送装置部へ信号がわたり、メールが誤配信された可能性が高いと考えられた（図－１，２）。



図－１　障害を生じたシステム構成と要因



図－２　誘導雷について

2’.障害の要因に関する追加試験・検討

携帯電話伝送部が誘導雷のノイズによる影響でメール配信したものと考えられ、障害の原因を特定するために、現象を再現し検証試験を行った。

検証試験方法は、携帯電話伝送装置の入力ケーブルにノイズシミュレータで疑似雷ノイズを印加して誘導ノイズを発生させ、携帯電話伝送装置が検知情報を誤通報するかを確認することとした。また、疑似ノイズのパルス電圧や発生回数を変化させ、誤通報条件範囲の確認を行った（図－３，４，５）。

疑似ノイズパルスを発生させた結果、疑似ノイズの発生回数が少ない場合（10～30 パルス）は、パルス電圧 2000V 以上になった時に携帯電話伝送装置から誤通報することが確認された。また、発生回数が多い場合（連続 200 パルス（5 秒間））は、少ない場合よりも低い電圧の 1000V 以上で誤通報することが確認された。

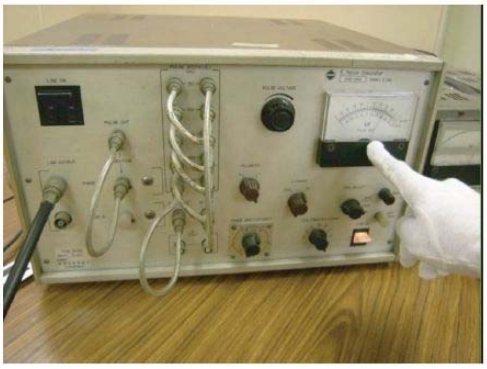
さらに、気象データから誤配信発生時刻に設置地区周辺で落雷があったことやその他の

時期には顕著な落雷が無かったことを確認した。

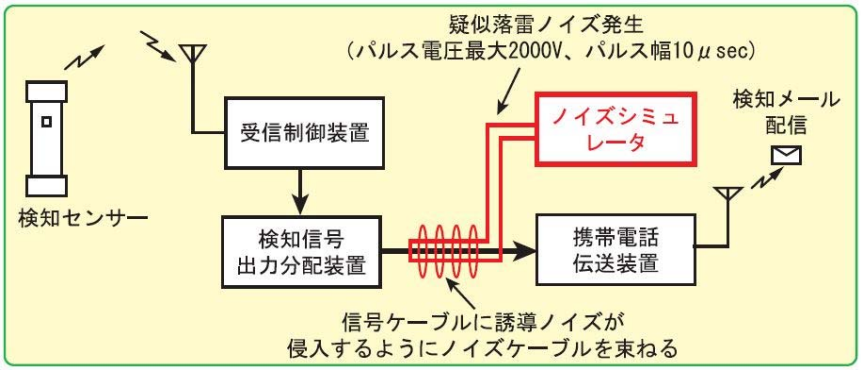
これよりメールの誤配信の要因は、誘導雷によるものと特定した。



図－３　検証システム



図－４　ノイズシミュレータ



図－５　検証システムブロック図

3.障害要因に対する対策

今回の障害要因は、誘導雷により入力ケーブルに誘導ノイズが発生した場合に生じたものと特定されたことから、その対策として避雷素子やノイズフィルターを追加し避雷対策・ノイズ対策の強化を行った。

また、誘導雷のノイズは一瞬であることから携帯電話伝送装置の入力部前に約 5 秒間検知信号が継続した場合のみ入力部に信号を出力するタイマー回路を追加した。

4.実施した改善策の妥当性検証

対策を行った後、上記と同様の検証試験を行った結果、メールの誤通報をしないことを確認し、今回の障害に対して改善ができていると判断した。

5.まとめ

今回の携帯伝送部入力に対しての避雷素子やノイズフィルターを追加や、タイマー回路追加による遅延時間の導入による改良により、落雷（誘導雷）に対して改善できたと思われる。

耐久試験
その他の機能の検証
落石，雪塊等による振動によると考えられる誤報

斜面崩壊検知センサーの試験運用中に生じた障害とその対策について（タイプⅢセンサー）

1.障害の内容

・発生日時・・・斜面崩壊検知センサーの試験運用中において表-1 に示すように 3 日間で障害が発生した。

表－1　障害発生記録（2009 年度）

障害発生回数	8 月 8 日	8 月 19 日	9 月 9 日	9 月 17 日	10 月 8 日
1	7:57:56	0:20:56	6:34:29	20:20:13	9:16:38
2	―	―	―	―	19:39:20
3	―	―	―	―	19:39:20

・発生場所・・・山形県内に設置した斜面崩壊検知センサーシステム

・障害の内容・・検知センサーの誤検知

・障害情報を入手した手段・・・メール配信・現地ヒアリング

2.障害の要因分析

現地調査を行った結果、タイプⅢセンサーの傾斜やタイプⅢセンサーを設置した斜面の大きな崩壊等はなかった。設置斜面が裸地・ガレ場等（図－１，２）であり、落石が頻繁に生じていた。さらに、検知した日時から、以下の要因が考えられた。

①落石等がタイプⅢセンサーに接触し、その衝撃による影響の可能性

②検知した日時(10 月 8 日)が台風 18 号の通過時で豪雨(時間雨量 24㎜、日雨量 149㎜)・強風（近傍の気象台で最大風速 27.8m)による影響の可能性



図－１　タイプⅢセンサー設置場所①



図－２　タイプⅢセンサー設置場所②

2‘.障害の要因に関する追加試験・検討

この障害の要因（検知原因・検知条件）の特定のため、図－３、４のシステム構成を用いて以下の検証試験を行った。

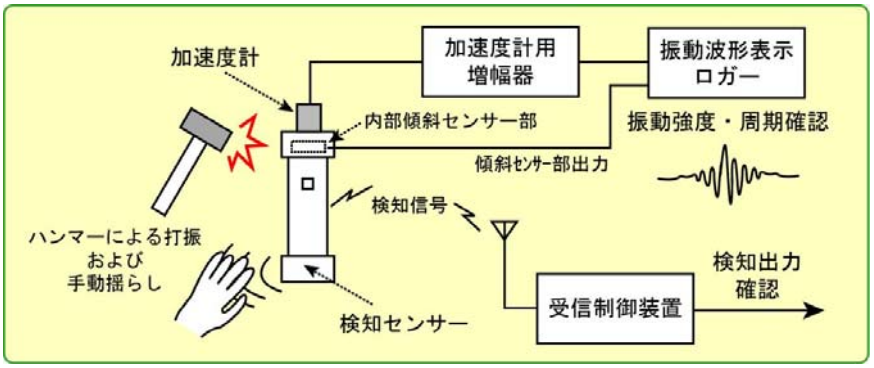
（１）タイプⅢセンサーにハンマーで直接衝撃を加えた場合において、検知の有無を確認した。また、衝撃の強さや方向を変化させ検知条件の確認を行った。その結果、タイプⅢセンサーに垂直・水平に衝撃を加えた場合、強い衝撃（～5 万 gal（計測ロガー記録可能範囲）以上）を加えても検知はしなかった。

（２）タイプⅢセンサー自体を揺らし、揺らす周期や強さを変えて、検知の有無・検知条件を確認した。その結果、タイプⅢセンサーを水平に揺らした場合、数 Hz 程度の周期でかつ 600gal 程度以上の強い揺れが加わった時に検知出力された。

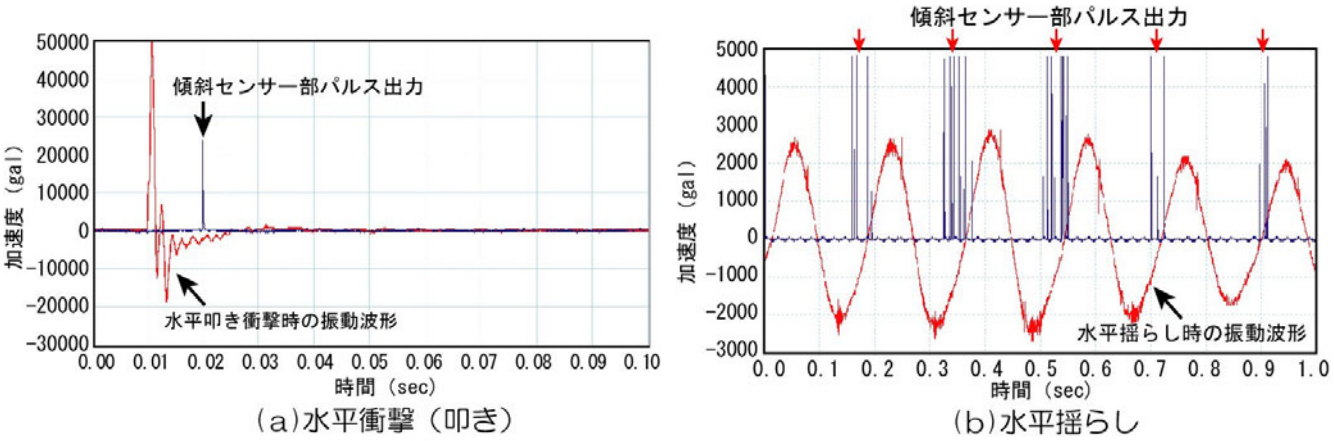
（３）検知条件をさらに詳細に検証するため、タイプⅢセンサーの内部傾斜センサー部のみを取り出し、上記（２）と同様の試験を行った。さらに、試験中の内部傾斜センサー部の出力について解析を行った。その結果、垂直、水平の衝撃による内部傾斜センサー部からの出力は約 0.6msec 幅程度のパルスを 1 パルス出力した（図－５(a)）。水平に揺らした場合は、パルスが連続して出力される現象が確認され、数十 msec 以上連続する場合もあった（図－５(b)）。



図－３　検証試験機材



図－４　検証試験システム構成図



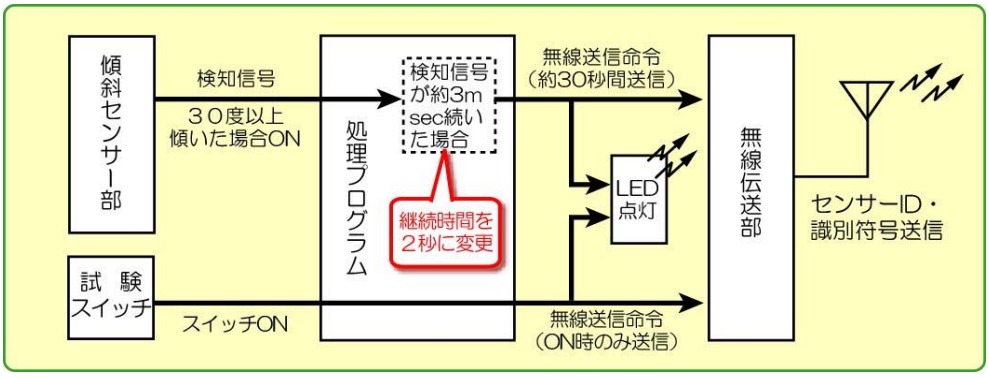
図－５　振動・パルス出力波形

（４）内部傾斜センサー部からの出力が 3msec 程度連続した場合、タイプⅢセンサー内部の検知処理プログラムは（図－６）、検知と判定し、検知信号を無線伝送するように設定していた。これより、衝撃によるパルス出力では 3msec 程度に満たないため、検知することはなかった。なお、この結果は衝撃による検証結果と一致していた。また、水平に揺らした場合は出力が 3msec 以上となる場合があり、誤検知すると考えられた。

したがって、検知原因としては、単発の落石等による瞬間的な衝撃ではなく、強風等による連続した揺れによるものと考えられた。

3.障害要因に対する対策

障害要因に対する対策としては、タイプⅢセンサー内部の検知認識プログラムの変更を行った。プログラムの変更内容は、従来の検知信号が約 3msec 続いた場合に検知するものから、判定基準となる検知判定時間を 2 秒間程度と延ばすものとした。



図－６　検知センサー内部処理フロー図

4.実施した改善策の妥当性検証

対策を行った後、上記と同様の検証試験を行った結果、誤検知することはなく、今回の障害に対して改善ができていると判断した。

5.まとめ

今回の障害要因は、タイプⅢセンサーに対する衝撃や揺れによるものと考えられた。そこで、センサーの衝撃・揺れに対する検知条件を検証実験により明らかにしたことで、内部プログラムを変更し障害要因を改善できた。

また、現地調査した結果、上記の要因の他にも誤検知要因の可能性が考えられたため、以下の対策を施した。

①電源装置のノイズによる問題

当該地区において 2 台の受信制御装置にて 25 台のタイプⅢセンサーの検知信号を受信しているが、誤検知を受信・出力した受信制御装置は、特定の 1 台の受信制御装置で受信・誤検知出力されていた。当初、電源仕様は太陽電池・バッテリーで動作する設計であったが、急遽商用電源仕様に変更したため、誤検知した受信制御装置の空きスペースに AC-DC 変換器を入れ対応した。そのため AC-DC 変換器の発生するノイズによる誤動作が原因の一つと考えられた。

その対策として、AC-DC 変換器を誤検知した受信制御装置から離し他のボックスに移動した。併せて、発生するノイズを抑えるノイズフィルター装置も取り付けることとした。その上で、ノイズ等により回路等に異常がある場合も考えられたため、回路基板を新しい基板に交換し、障害要因を解消した。

②設置環境条件による結露の問題

当該地区は、草木のないガレ地で直射日光が当たり寒暖の差が大きく、かつ温泉地での湯気や地熱等による湿度の影響も大きい場所であった。そのため、タイプⅢセンサー内部に結露が発生するなどの状況が多く見られ、誤動作原因の一つと考えられた。

その対策として、タイプⅢセンサーにある気圧調整弁からの湿気進入を防ぐため気圧調整弁を塞ぐこととした。併せて、センサー内部にシリカゲル等の湿気を吸収する素材を入れる等の対策を行い、障害要因を解消した。

耐久試験
その他の機能の検証
落石，雪塊等による振動によると考えられる誤報

斜面崩壊検知センサーの試験運用中に生じた障害とその対策について
（タイプＶセンサー）

1. 障害の内容

- 発生日時・・・2009 年 12 月 18 日以降継続中
- 発生場所・・・積雪寒冷地に設置しているタイプＶセンサー
- 障害の内容・・タイプＶセンサーの誤報
- 障害情報を入手した手段・・・メールにより送信された検知情報と現地確認（タイプＶセンサーの目視確認と受信機データ確認）

2. 障害の要因分析

タイプＶセンサーの誤報として想定された要因は以下の 2 つと想定された。

（1）振動による誤検知

以下の 3 点を踏まえ、振動を誤報の要因と推定した。

- 現地確認の結果、センサーは転倒しておらず、直立状況であった。
- 現地設置機器に雪球を投げつけ、衝撃を与えたところ、検知した。
- センサーを回収し、錘（重量 250g）を自由落下させて、衝撃を与えたところ、検知した。（後述）

なお、タイプＶセンサーに内蔵された傾斜センサーに衝撃振動が与えられても、誤検知しないように、対策として傾斜センサーに対し、一定時間・回数によるセンシングを行い、傾斜センサーが ON になっているかを確認する機能をつけていた。そのアルゴリズムとしては、下記のように、0.5 秒間の無視期間の後、計 3 回のセンシングを行い、すべてで ON になっている場合、無線発信するものである。

しかしながら、この対策では回避できない振動が発生したものと考えられた。

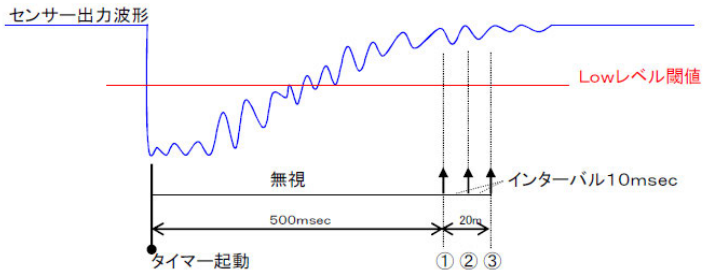


図-1　センシングの考え方

(2) 雪圧によるタイプＶセンサー転倒による誤検知

以下の１点を踏まえ、雪圧が誤報の要因と推定した。

・現地確認の結果、タイプＶセンサーが雪圧により転倒、検知していた。

雪圧によるタイプＶセンサー傾斜状況を写真-1 に示した。



写真-1 雪圧により傾斜したタイプＶセンサー状況

3. 障害の要因に関する追加試験・検討

障害要因を特定するため、設置したタイプＶセンサーを回収し、衝撃試験を実施した。試験状況を以下の写真に示した。錘（重量 250g）の自由落下（鉛直方向、斜め方向）による衝撃試験においても、衝撃時に振動が発生し発報があった。従って、設置地において、何らかの振動を受けて、その結果、誤報が発生した可能性が高いと考えた。

さらに、センサーを地盤に固定する杭は、鉛直杭・水平バーとセンサー台座にて構成される。鉛直杭に対しセンサー台座が張り出すように設置すると振動しやすい（振動の継続時間が長くなる）傾向があることが判明した。結果を図－2 に示した。



（タイプＶセンサーは現地回収したもの、杭も現地設置と同じ製品を使用）



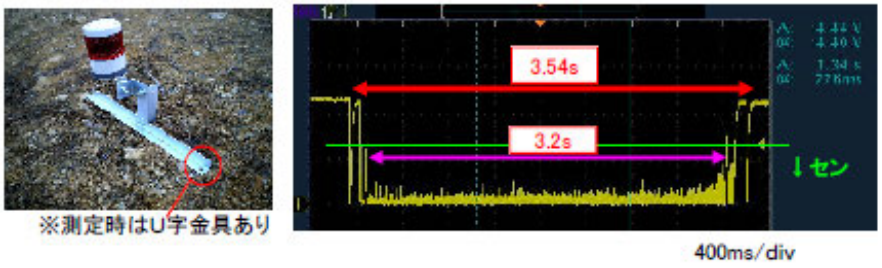
写真-2　衝撃試験状況

衝撃試験条件

高さ	50cm
角度	45°
おもり	250g



①センサー台座を片持張り様に設置した場合



②センサー台座を鉛直杭下に設置した場合

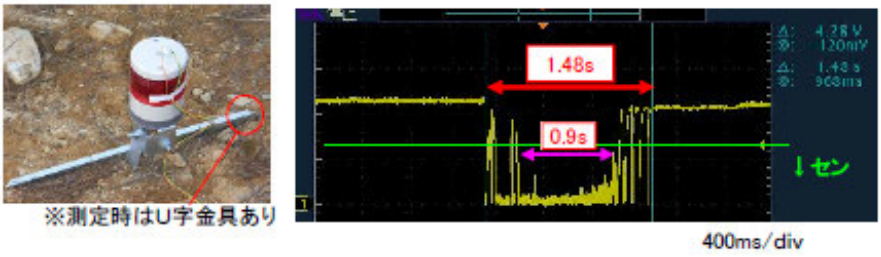


図-2　杭の設置法の違いによる衝撃振動試験結果

上記のとおり、杭への固定方法の違いで、傾斜センサーの挙動に大きな差が発生した。この衝撃の場合、①で 3.2 秒以上、②で 0.9 秒以上の傾斜センサーON 時間が生じたことが分かった。

4. 障害要因に対する対策

タイプⅤセンサーの誤報に対する対策として、以下の 2 対策を立案した。

1）振動に対する対策

前述したとおり、振動による誤報対策は実施していたものの、それを上回る振動が発生した。そこで、対策として、センサーセンシング時間を変更することを考えた。変更値の検証としてセンサーに衝撃振動を与える試験を行った。その結果、センシング時間 4.5 秒（0.5 秒の無視期間の後 0.01sec＊400 回の連続 ON 状態となった場合発報する）に変更することで振動による誤検知が無いことを確認した。

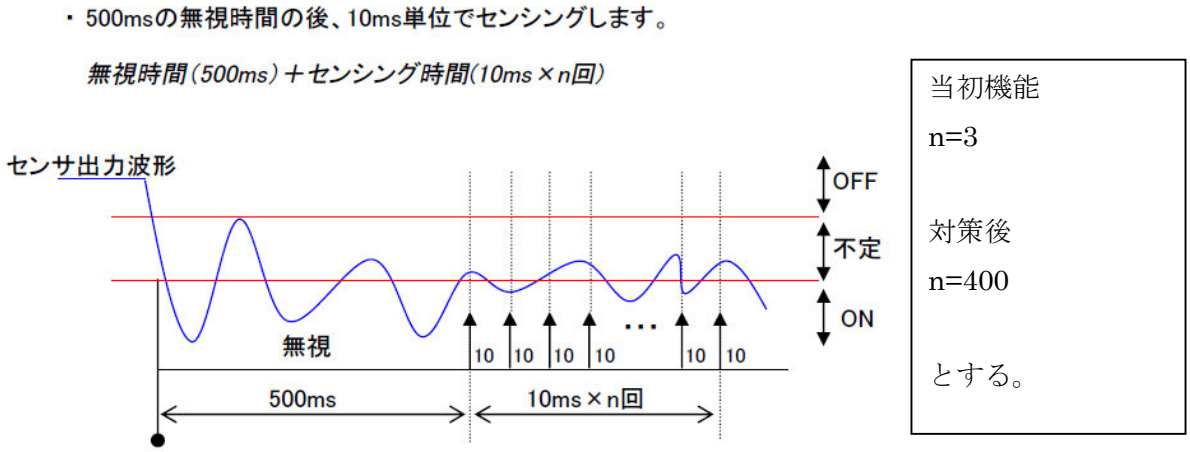


図-3　センシングの考え方

2）雪圧に対する対策

融雪期における土砂災害を想定すると、センサーを積雪期に一時撤去することは望ましくないため、タイプⅤセンサーの雪圧に対する対策、タイプⅤセンサーの越冬対策が必要となる。

タイプⅤセンサーの越冬対策の有望策の一つとして、積雪の影響を受けないよう、センサーを埋設することが考えられる。

5. 実施した改善策の妥当性検証

振動による誤検知対策においては、センサーと受信機のプログラム改良を実施した。今後は、現地設置センサーに対策を導入し、妥当性を検証していく予定である。さらに、雪圧に対する対策として、センサー埋設が有望であるが、センサー筐体が土中埋設を想定していないため、野外における連続埋設実験やセンサー筐体の見直しを検討している状況である。

6. まとめ

（1） 積雪寒冷地に設置しているタイプⅤセンサーにおいて、センサーの誤報が発生した。

（2）センサー誤報としては、振動による誤検知、雪圧によるセンサー傾斜と誤検知、雪圧によるセンサー転倒による誤検知の 2 つが考えられた。

（3）誤検知対策として、センサーセンシング時間の変更による振動対策を実施した。雪圧によるセンサー転倒の対策としては、センサーの地中埋設が有望と考えられた。

（4）無線混信と振動による誤検知においては、センサーと受信機のプログラム改良を実施し、対策を行った。今後は、現地設置センサーに対策を導入し、妥当性を検証していく予定である。さらに、雪圧に対する対策として、センサー埋設が有望であるが、センサー筐体が土中埋設を想定していないため、野外における連続埋設実験やセンサー筐体の見直しを検討している状況である。

耐久試験
その他の機能の検証
無線の混信による誤報

斜面崩壊検知センサーの試験運用中に生じた障害とその対策について
（タイプＶセンサー）

1.障害の内容

- 発生日時・・・2009 年 12 月 18 日以降継続中
- 発生場所・・・積雪寒冷地に設置しているタイプＶセンサー
- 障害の内容・・タイプＶセンサーの誤報
- 障害情報を入手した手段・・・メールにより送信された検知情報と現地確認（タイプＶセンサーの目視確認と受信機データ確認）

2.障害の要因分析

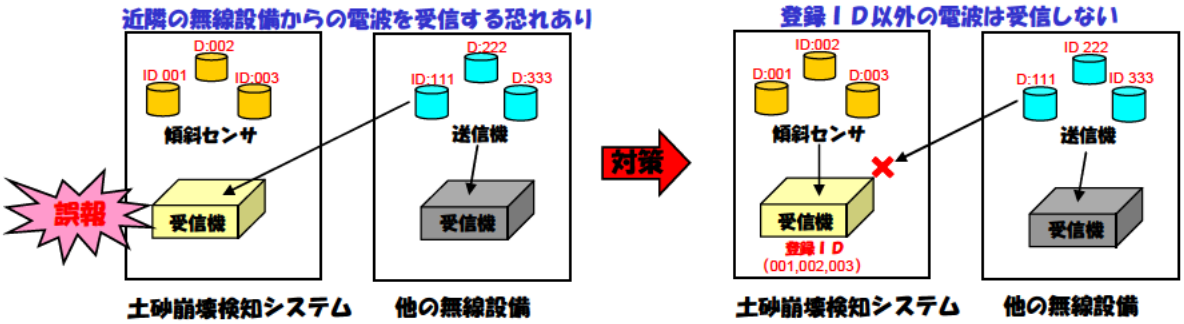
以下の 2 点を踏まえ、無線の混信を誤報の要因と推定した。

・ 現地確認の結果、タイプＶセンサーは転倒しておらず、直立状況であった。
・ 受信機保存データを確認すると、不明無線局からの発信信号を受信していた。

無線混信の原因としては、タイプＶセンサーの設置箇所周辺で、センサーに組み込まれている無線モジュールと同等品（同一メーカで同一型式の製品）による無線発信があり、それが混入（混信）したものと考えられた。

3.障害要因に対する対策

不明ＩＤ（他の無線局）からの混信は、センサー&受信機間で無線ＩＤ番号の識別機能を追加するように受信機内のプログラムを改良し、不明ＩＤからの無線を受信しないような対策を講じた。



※本システムで採用している無線モジュールと同じ物を、近隣の他の無線設備に使用されている場合に限る。別メーカーの無線モジュールでは誤受信は起こらない。

図１　混信防止対策の概要図

4.実施した改善策の妥当性検証

無線混信による誤検知においては、センサーと受信機のプログラム改良を実施した。

今後は、現地設置センサーに対策を導入し、妥当性を検証していく予定である。

5.まとめ

（１） 積雪寒冷地に設置しているタイプⅤセンサーにおいて、センサーの誤報が発生した。

（２）センサー誤報としては、無線の混信による誤検知が考えられた。

（３）誤検知対策として、受信機に無線 ID の識別機能を導入した無線混信対策を実施した。

（４）無線混信による誤検知においては、センサーと受信機のプログラム改良を実施し、対策を行った。今後は、現地設置センサーに対策を導入し、妥当性を検証していく予定である。

耐久試験
その他の機能の検証
・リアルタイムクロックのズレによる無線の混信
・遠隔操作時のデータ伝送処理における障害

斜面崩壊検知センサーの試験運用中に生じた障害とその対策について
（タイプⅣセンサー）

１．障害の内容

- 発生場所：兵庫県内に設置している斜面崩壊検知センサー
- 障害の内容：データ無線転送による欠測現象
- 障害情報を入手した手段：インターネット web リアルタイムモニタリングシステム

２．障害の要因分析

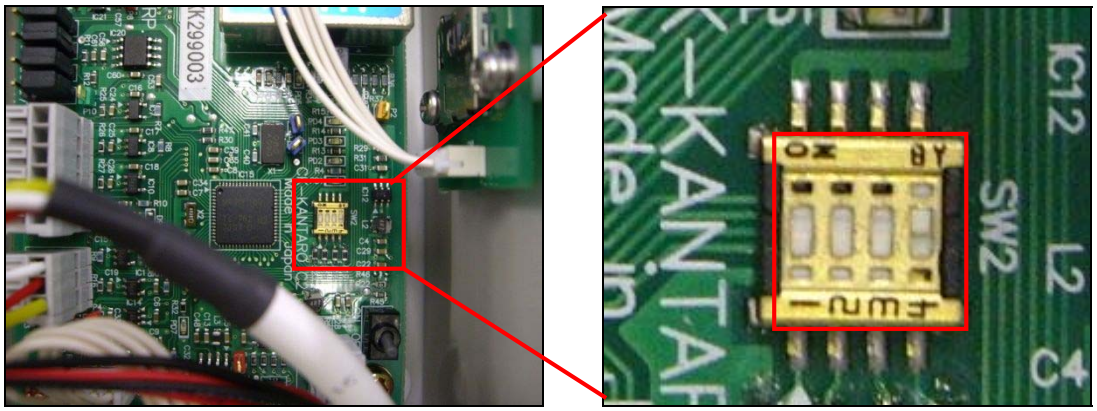
障害１：各所に設置した１４機～２２機のタイプⅣセンサーに内蔵しているリアルタイムクロックに時間が経過するにつれて徐々にずれが生じた。そのため、どこかのタイミングでタイプⅣセンサーの無線送信時刻が重なり、無線信号が混信する事態が生じた。

障害２：データセンターから携帯回線を通して、遠隔で現地に設置しているデータロガーのデータを回収するときに、ロガーCPU が携帯転送処理を行っているため、タイプⅣセンサーからの無線データの受信処理が行われない現象が生じた。

３．障害要因に対する対策

- 対策１：ランダム送信機の追加
  - 図-1 に示すように通常の定刻送信機能に加えてディップスイッチ４番ピンを ON にすることで、ランダム送信に切り替えることができる機能を追加し、無線データ混信の確率を減らす対策を実施した。

    （注：ランダム送信機能とは、送信時刻の最後１分間にセンサーがランダム関数で送信時間（秒）を決めてデータを送信することである。タイプⅣセンサーには、初期状態を設定するため、ディップスイッチが標準に装備されている。）



図－１、ディップスイッチの設定

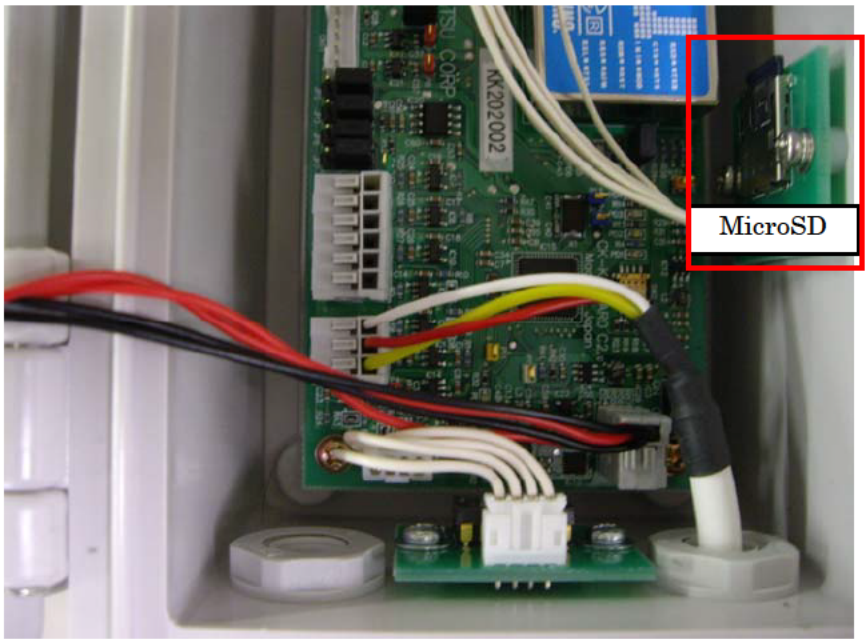
- 対策２：受信情報（ACK 情報）の確認機能の追加
  - 図-1 に示すように通常の送信機能に加えてディップスイッチ２番ピンを ON にすることで双方向通信を行う。タイプⅣセンサーは、この機能によりデータ

ロガーの無線受信情報（ACK 情報）を受信しデータの到達状況を判断する。そこでタイプⅣセンサーが ACK 信号を受信できない場合には、最大 3 回の送信を行うものとした。※1

- ディップスイッチ 3 番ピンを ON（図-1）にすることで、予備機能として全ての計測データをマイクロ SD カード（図-2）に保存できるように改良した。※2

※1 無線受信情報（ACK 情報）を実施することにより、送信頻度が増え、消費電力も増える。この機能が不要な時には、ディップスイッチ 2 番ピンを OFF にする必要がある。なお、タイプⅣセンサーの設置位置の電波状況により ACK 信号が受信できない場合もあるため、電波の受信状況を十分に確認する必要がある。

※2 斜面崩壊検知センサーとして使用するには、電池の交換なしで数年間にわたる長期間の使用が望ましい。随時データを保存する必要がない場合は、電力節約のため、データの収集間隔を長めに設定することと、３番ピンを OFF にしておく必要がある。



図－２、マイクロ SD カード

✧ MicroSD カードの消費電力試算：

① MicroSD カードの動作電流=80mA（MAX、IODATA 社の SDMC-2G/AL 仕様書より）

② データ書込み時間=500mS

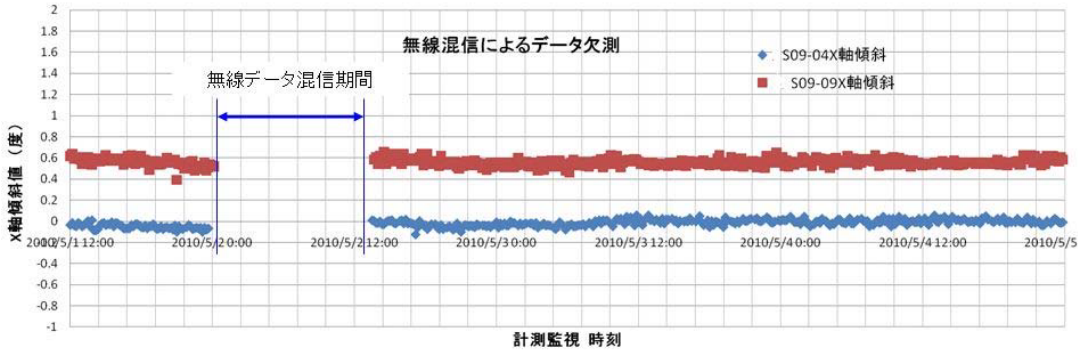
③ MicroSD カードの消費電流=40mAsec

④ 消費電力の最大増化率＝14%（MicroSD カードの消費電流/MicroSD カード未使用総消費

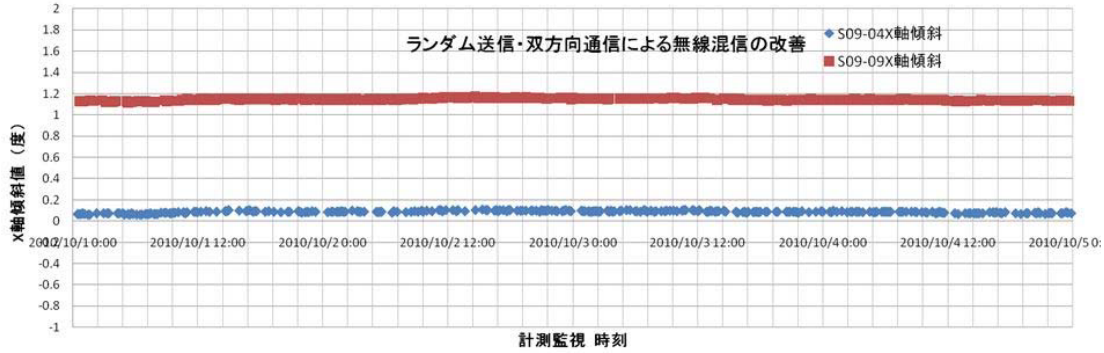
電流×100%)

４．実施した改善策の妥当性検証

図－３は、対策１・対策２実施前の無線データ混信状況を示す。図－４に示すように対策１、２を同時に実施した後に無線データ混信がほぼ無くなったため、ランダム送信機能と双方向通信による無線の受信情報（ACK 情報）確認機能は、無線信号の混信を防ぐ有効な手段と考えられる。



図－３　対策１、２実施前の無線データ混信状況



図－４　対策１、２による無線混信がほぼ解消

※なお、無線受信状況が良好でないときには、この機能を使用してしまうと、下記で記述した消費電力試算のようにセンサーの消費電力が増える。通信状態を調査し適切な位置でセンサーを設置することが必要となる。

- 消費電力の試算：
  - 無線モジュール：42mA（10mW 送信時）
  - 実効無線間通信速度：3400bps（条件：単向通信）
  - １パケット（128 バイト）の双方向通信時間（128*8/3400）=600msec

- ✧ ２回（通信回数が多くなった分）無線通信による消費電流：50.4mAsec
- ✧ 最大３回無線を送信する場合の電力消費増大分：18%（MAX)、即ち、この機能を使用するとタイプⅣセンサーの電力消耗は、最大 18%を増える可能性がある。

５.まとめ

対策１を行うことにより、混信により最大数時間におけるデータの欠落を防ぐことがほぼ出来た。ただし、対策２は、ACK 信号の受信が出来ないときに最大３回送信することになり、消費電力が増える。実際の状況に応じてデータ収集間隔の長めに設定することや定期的なメンテナンスによる電池交換が必要となる。

耐久試験
その他の機能の検証
動物によると考えられる機器の損傷による障害

斜面崩壊検知センサーの試験運用中に生じた障害とその対策について（タイプⅣセンサー）

１．障害の内容

- 発生場所：兵庫県内に設置しているタイプⅣセンサーの２機
- 障害の内容：以下の障害が発見された。
  （１）傾斜計 X,Y 軸と土壌水分の計測数値が大きくぶれる。
  （２）土壌水分値が 80%程度と大きく、常に小刻みに動く。
- 障害情報を入手した手段：インタネット web リアルタイムモニタリングシステム

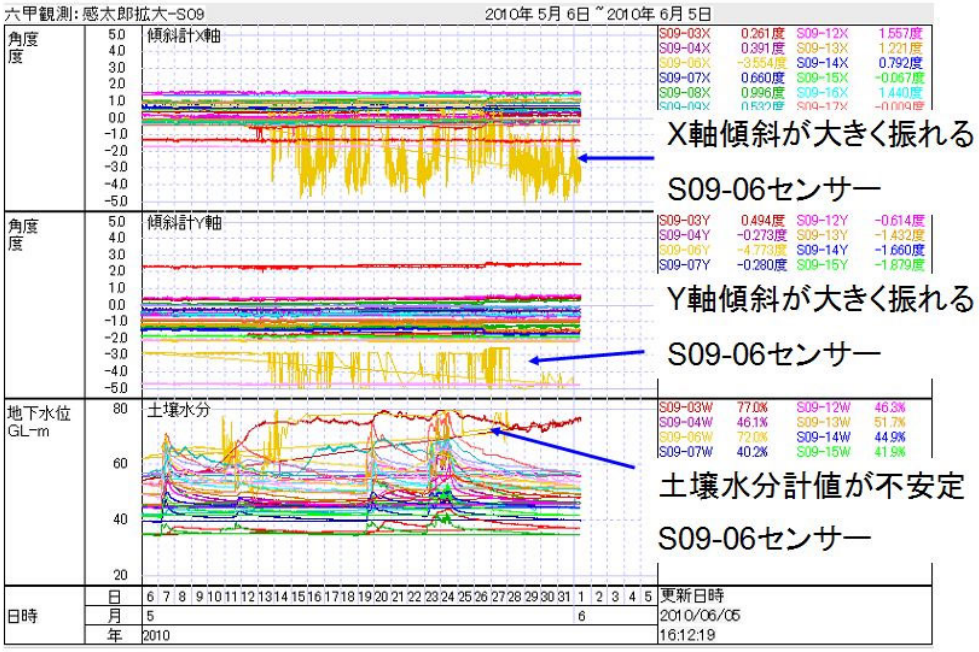


図-1　傾斜計 X,Y 軸と土壌水分の計測値の状況

２．障害の要因分析

（１）傾斜計 X,Y 軸と土壌水分の計測数値が大きくぶれることに関する要因分析

１）X,Y 軸の傾斜値異常の目視確認

X,Y 軸の傾斜値について確認する。

→図-1 に示したように、X 軸角度・Y 軸角度（オレンジ線）は 2010 年 5 月 13 日以前には計測値の変化がほとんどない。だが、5 月 13 日以後、傾斜角度幅が 5 度前後に振れており、その周辺に設置したタイプⅣセンサー（S09-04、S09-07 センサー）の状況（傾斜角度の変化なし）と比較した結果で、2010 年 5 月 13 日以後の X,Y 軸傾斜角度は、異常値であることと判断した。

２）チェックソフトウェアによる基板単体の確認

①各部レギュレータの電圧出力を確認した。（土壌水分計を本体基板から外した状態で基板の電圧を確認した。）

- 総電源レギュレータ（通常時の電圧 3.5V）に対し、確認時の電圧出力は 3.5V であったため、正常と判断した。
- ２軸傾斜センサー電源レギュレータ（通常の電圧 5.0V）に対し、確認時の電圧出力は 5.0V であったため、正常と判断した。
- ３軸傾斜センサー電源レギュレータ（通常の電圧 3.3V）に対し、確認時の電圧出力は 3.3V であったため、正常と判断した。
- 土壌水分計電源レギュレータ（通常の電圧 3.0V）に対し、確認時の電圧出力は 3.0V であったため、正常と判断した。

②３軸傾斜転倒センサーを傾け、出力を確認した。（30 度で割り込みを発生する設定）
タイプⅣセンサーが 30 度以上に傾いた時点で割り込みが発生したため、正常と判断した。

③２軸傾斜センサーX,Y を傾けた場合の電圧（通常 0.0-5.0V まで変化）を確認した。
２軸傾斜センサーが水平より-30～+30° 変化させると、出力電圧は 0-5.00V まで変化したため正常と判断した。

④A/D アナログ取込値
入力電圧 1.45V（乾電池）とした場合に A/D 出力が 1.45V となったため、正常と判断した。

以上の結果より、傾斜計に関する異常は認められなかった。

（２）土壌水分値が 80%程度と大きく、常に小刻みに動くことに関する要因分析。

１）土壌水分の計測値異常の確認

土壌水分の計測値はインターネットウェッブページより確認した。

→土壌水分計（オレンジ線）の値を 2010 年 5 月 13 日以後に、正常値（雨がない日の土壌水分計測値が 40%～60%）と比較すると、幅が 80%以上も急に大きく変動しはじめ、そのあとも土壌水分が 80%以上の値が続いた。その周辺で設置した土壌水分計の値（40%～60%）と比較すると、土壌水分計が異常と判断した。

２）基板単体チェック

① 付属の土壌水分計センサーを取り付け、消費電流を確認した。
→土壌水分計の電源を投入するたびに、タイプⅣセンサーの総電源レギュレータ(正常値=3.5V）が低下する（出力が 2.5V まで低下)。これは土壌水分計過電流による影響と判断した。

② 水分計の電源線白色と黄色の間の抵抗値を確認した。
→水分計の電源線白色と黄色の間の抵抗値は、通常が 1MΩより大きくなるはずだが、実際は 7Ω と平均値と大きく下回っていた。

以上の結果より、土壌水分計の基板に関する異常が認められる。

上述した障害要因をまとめると以下のことが言える。

- メイン回路は過電流が生じると回路が遮断され、過電流が解消されると正常に機能することから、傾斜計の故障ではないと判断できる。
- この土壌水分計を取り付けるとメイン回路の 3.5V 電源の電圧が低下し、２軸傾斜センサーも正常値を示さなかった。
- 水分計の異常により過電流が生じ、A/D 変化が乱れた。
- 今回の障害要因は、土壌水分計（ECH2O-EC5）の故障がタイプⅣセンサーの A/D データ変換に影響を及ぼし、土壌水分計のデータだけではなく、2 軸傾斜計のデータも乱れてしまったことであると特定された。

３．障害要因に対する対策

斜面崩壊監視地で不良の土壌水分計を回収し分析を行った結果、土壌水分計について以下の 2 点が判明したため、故障した土壌水分計を新品に交換した。

- 土に埋めた土壌水分計の高周波回路基板が動物に噛まれて故障した。（図-2）
- 動物の力で土壌水分計の基板根元が折れ、浸水したため故障した。（図-3）



図-2　土壌水分計の基板部が動物に噛まれた跡



図-3　動物の仕業により土壌水分計の基板根元が折れ浸水

４．実施した改善策の妥当性の検証

土壌水分計の交換を実施した後、室内試験で土壌水分データ、2 軸 MEMS 傾斜計の X、Y 軸電圧が全て正常に出力されていることが確認されたため、実施した改善策を妥当と判断した。さらに、タイプⅣセンサーについて以下の対策を実施し、チェック機能の向上を図った。

・土壌水分計の異常値を自動判断ロジックのタイプⅣセンサーに組込んで確認するものとする。

➢土壌水分計が正常出力範囲であるかを判断。

➢異常の場合は、土壌水分計の電源を投入しない。

➢土壌水分計の出力電圧を 0.1 にすることで土壌水分計エラー情報として出力する。

５．まとめ

使用している土壌水分センサー（デカゴン社製 ECH2O-EC5）は、安価で斜面土壌水分情報を収集するために多く使用できる半面、ケーブル・回路基板などの部分がゴムとプラスチック製なので、動物などのいたずらには弱いことが判明した。さらに土壌水分計の故障が 2 軸 MEMS 傾斜計に及ぼす影響が判明した。それにより、設置時に保護管によるハード対策または上述した土壌水分計の不良自動検知におけるソフト対策が必要であり、タイプⅣセンサーに組み込んだ土壌水分計の異常値の自動判断ロジックが土壌水分計不良による計測不安定を防ぐための有効な手段であることを確認した。なお、タイプⅣセンサーは、不良土壌水分計情報を転送できるため、早急なメンテナンスの手助けになると思われる。

なお、タイプⅣセンサーのファームウェアのアップグレードを実施した。下図のようにアップグレード後、設置したタイプⅣセンサーは、正常に稼働している。

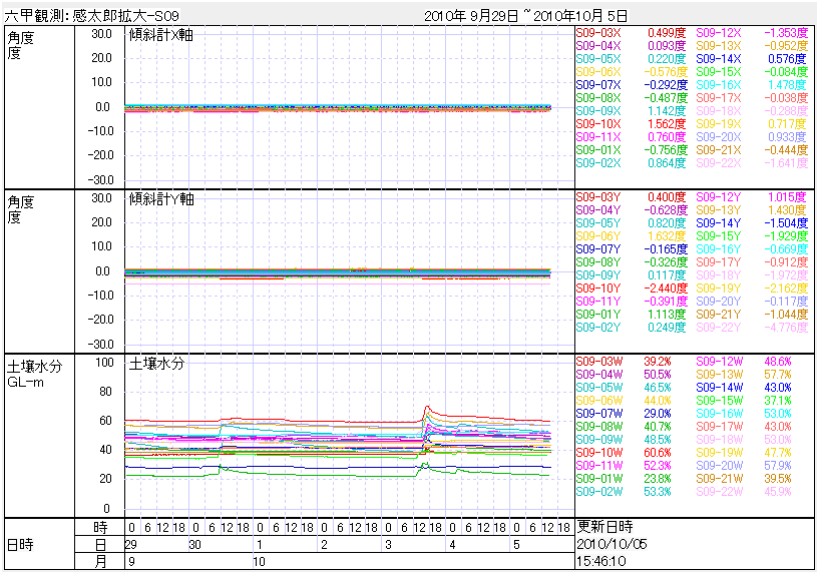


図-4　アップグレード後の計測状況

＜参考資料＞

土木技術資料　報文

「斜面崩壊検知センサーを用いた斜面監視の実施」

報文

斜面崩壊検知センサーを用いた斜面監視の実施

内田太郎* 秋山浩一** 田村圭司*** 松下一樹****

1. はじめに

土砂災害に対する警戒避難の判断基準は、降雨量を指標として運用が進んでいるが、事前に避難が勧告された事例は必ずしも多くないのが実態である。その理由の1つとして、土砂災害は突然発生し災害発生直前まで切迫性を感じにくいといったことがあげられている[1]。一方、その地域周辺で土砂災害が発生し始めているといった情報をリアルタイムで入手できれば、行政も住民も自らの危険として認識し、避難行動につながりやすいと考えられる。特に、斜面崩壊は土砂災害の中でも、比較的小規模な降雨でも発生することがあり、検知することは警戒避難体制の高度化のために有効であると考えられる。

しかし、土砂災害の発生に関する情報は基本的には目視による確認によってのみ得られており、リアルタイムで入手するのは困難な状況にある。そのため、土木研究所　土砂管理研究グループ火山・土石流チームでは、機能を斜面崩壊の発生検知に限定し、安価かつ長期間メンテナンスなしで、斜面に容易に設置可能な斜面崩壊検知センサーの開発を行ってきた。開発は、土木研究所と有限会社 秋山調査設計、坂田電機株式会社、株式会社 拓和、中央開発株式会社、日本工営株式会社による共同研究により実施した[2]。

斜面崩壊検知センサーは、従来のセンサーに比べて、安価でかつメンテナンスの労力は軽減されてはいるものの膨大にある崩壊のおそれのある斜面を全て監視するためには依然として多大な費用・労力を必要とする。これに対して、土木研究所では、簡易貫入試験を用いた表層崩壊発生危険度評価手法の開発を行ってきた[3]。そこで、同手法を用いて崩壊のおそれが相対的に高い場所に優先的にセンサーを設置することができれば、より効率的・効果的に土砂災害の発生を監視することができると考えられる。

すなわち、ある崩れやすい斜面で崩壊が発生したということは、その周辺の斜面の崩壊発生の危険性も高まっていることを示していると考えれば、表層崩壊発生危険度評価手法と斜面崩壊検知センサーを組み合わせることにより、地域の「土砂災害の切迫性」を、「崩れやすい斜面の崩壊発生」と言う形で情報提供できる可能性が考えられる(図-1)。そこで、土木研究所と国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所は連携し、土砂災害に関する警戒避難技術の高度化を目指し、表層崩壊発生危険度評価手法と共同研究により開発された斜面崩壊検知センサーを組合せ、新たな監視技術の検討を行った。



図-1　斜面崩壊検知センサーを用いた土砂災害に対する警戒避難のイメージ

2. 崩壊発生危険度による監視斜面の抽出

2.1　危険度評価の実施

表層崩壊の発生危険度評価はH-SLIDER法[4]を用いて実施した。H-SLIDER法は、実測の地形、土層厚等を入力し、①間隙水圧が定常状態、②地下水の流れはダルシー則に従う、③無限長斜面安定解析で安全率が1.0となった時点で表層崩壊が発生する、④地表流による侵食現象は生じない、と仮定し、表層崩壊が発生する可能性がある最小の降雨強度（r_c）を算出し、r_cの大小で表層崩壊の危険度を評価する手法である。なお詳細は参考文献[4]を参考にされたい。

本研究では、広島西部山系内の宮内地区を対象とし検討を行った。同流域内には、1999年6月に発生した表層崩壊が3箇所存在する。まず、簡易貫入試験を実施し、土層厚の分布を求めた。その

Monitoring of shallow landslide using real-time landslide detection sensor

上で、表層崩壊跡地内については、周辺の地表面地形から崩壊前の地表面地形を推定し、実測の基岩面地形を用いて、崩壊前の土層厚を算出した。r_cの算出結果を図-2に示す。図に示したとおり、崩壊地内のr_cの値は崩壊地外に比べて概ね小さく、崩壊の危険度を評価できていることを確認した。



図-2　宮内地区における表層崩壊発生危険度評価結果（r_cの算出結果）

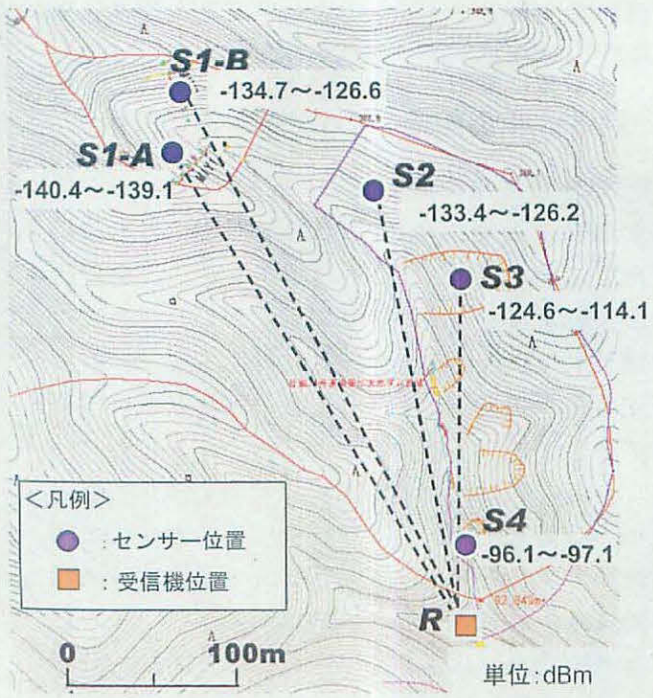


図-3　無線試験の概要

2.2　監視候補斜面の抽出

図-2に示したr_cの算出結果より、1999年に崩壊が発生していない斜面のうち、図-2に破線で示した範囲のr_cが小さくこの範囲を監視候補斜面とした。さらに、崩壊地内は依然として不安定な土砂が堆積しており、図-2に点線で示した範囲に比較的厚く不安定な土砂が堆積していたことから、この範囲も監視候補斜面に加えた。

3.　斜面崩壊検知センサーの設置

3.1　無線通信試験の実施

次に、崩壊検知センサーの無線通信可能距離は、伝搬経路上に存在する植生、地形などの状況によって大きく左右されるため、宮内地区において無線通信試験を実施した。試験には、転倒検知方式で特定小電力無線（1mW）を用いた斜面崩壊検知センサー（詳細は参考文献2）参照）を用いた。試験は、図-3に示す通り、監視候補斜面のS2、S3に加えて、無線機能の確認のため、図-3に示す計5地点で実施した。試験では、センサーから発する無線信号の受信強度を測定した。

試験結果を図-3に示す。S1-Aは、受信強度が-140.4～-139.1dBmと小さかった。これは、フレネルゾーン（センサ～受信機間を結ぶ、無線伝搬範囲を示す回転楕円体）内における遮蔽面積

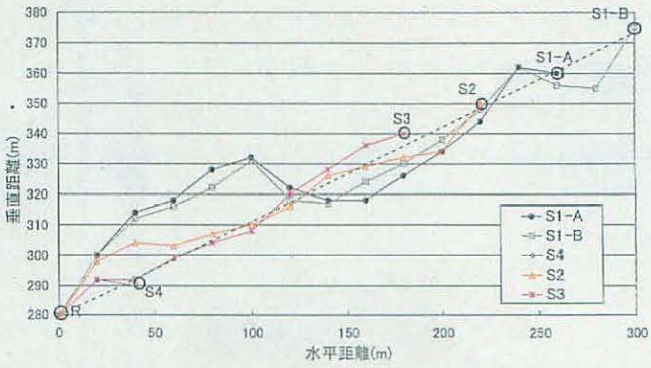


図-4　各センサ～受信機間の地形断面図

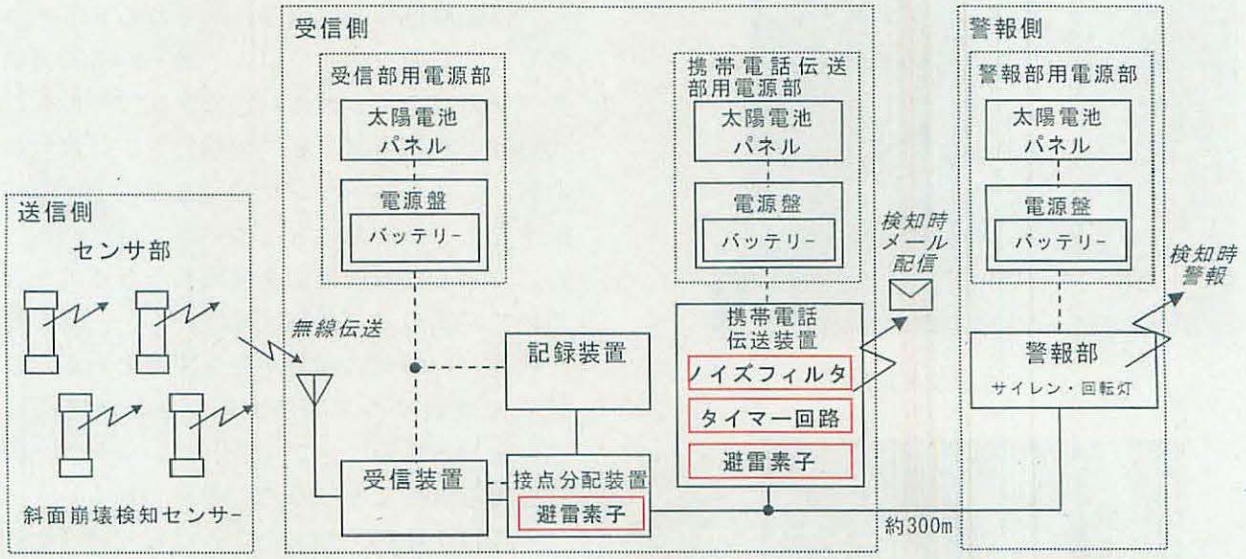


図-5　設置したシステムの概要

(直線見通し上に存する尾根部が相当する）の割合が、図-4に断面図（図-3の破線に沿った側線の縦断図）を示したように大きいためと考えられる。S1-BについてはS1-Aに近い位置条件ながら、標高が高いことなどにより遮蔽面積の割合が小さくその影響を回避できているものと考えられる。S2～S4については大きな地形遮蔽も少なく、高い受信レベルを得られた。これらの結果により、宮内地区の通常時のノイズレベルが-141.4dBm程度であることから、受信レベルが-136.4dBm以上の箇所は通信可能であったとすれば、S1-B及びS2～S4においては斜面崩壊検知センサーの適用が可能であると言える。



写真-1　斜面崩壊検知センサー

3.2　斜面崩壊検知センサーの設置

以上の結果より、2009年5月に監視斜面候補のS2、S3を含むS1-B及びS2～S4の4箇所に斜面崩壊検知センサーを設置し（写真-1)、図-3のR地点に受信機を設置した（写真-2)。その上で、検知情報を事務所及び工事関係者へ伝達するために検知信号をサイレン・回転灯及び携帯電話伝送装置に入力するようにした（写真-2,3)。また、同地区は商用電源がないため、ソーラーパネルおよびバッテリーで稼動できるようにした。図-5にシステムの設計図を示す。

3.3　設置後の問題とその対応

設置後、実際には崩壊が発生していないにも関わらず、崩壊検知情報が携帯電話伝送装置からメール配信されるいわゆる誤検知の問題が2009年7月に生じた。調査の結果、崩壊検知センサー受信機において検知信号を受信・検知出力した記録は残っていなく、記録部の回路が雷の影響と思われる故障があった事などから、携帯電話伝送部が雷等の影響によるノイズによりメール配信されたものと考えられた。実際、誤検知のタイミングと宮内周辺の落雷の時刻はほぼ同時であり、落雷によるノイズが携帯電話伝送部の誤作動を起こしたと推測するものであった。

以上の経験を踏まえ、これまで接点信号が入力されると短い時間でもメール通報するような構造になっていたのに対し、接点入力部にタイマー回路を追加することで約5秒間、接点信号が継続した場合のみメール通報するようにした。これによ



写真-2　受信部及び携帯電話伝送部



写真-3　警報部

り、雷など瞬間的なノイズにより伝送装置による誤発報が発生しないように改良した。同様に回路内に避雷素子及びノイズフィルターを追加して落雷対策やノイズ対策を強化した（図-5)。

4. おわりに

ここでは、斜面崩壊の発生情報をメール等により、斜面崩壊の発生直後に得られるシステムを構築した。このシステムにより得られる斜面崩壊発生のリアルタイム情報は、これまでの情報に比べ切迫感のある情報として体感でき、行政や住民が避難に必要なタイミングを今まで以上に適切に判断することが容易になることが期待される。特に、ここで示した表層崩壊発生危険度評価手法などを用いて斜面の崩壊危険度を評価し、一連の降雨の比較的早い時刻に崩壊が発生すると考えられる崩壊発生危険度の高い斜面に、斜面崩壊検知センサーを設置することができれば、より効果的な情報が得られるようになると考えられる。

今後は、本稿で示したような取り組みを広げていき、センサーの安定性向上、各種の環境における耐久性の確認を進めていく必要がある。また、同時に、土砂災害発生時刻に関するデータの蓄積をはかるとともに、土砂災害に対する警戒避難における土砂災害発生情報の有効性の検証を進めていく予定である。

参考文献

1) 国土交通省砂防部ホームページ：土砂災害警戒避難ガイドライン検討委員会、第1回説明資料
2) 柳町年輝・内田太郎・田村圭司・伊藤洋輔：簡易かつ長期間計測を目標とした斜面崩壊検知センサーの開発（その２）、土木技術資料、第50巻、第9号、pp. 16-19、2008
3) 内田太郎・盛　伸行・田村圭司：表層崩壊に起因する簡易な土石流発生危険度調査・評価手法、第50巻、第9号、pp. 20-25、2008
4) 田村圭司・内田太郎・秋山浩一・盛　伸行・寺田秀樹：表層崩壊に起因する土石流の危険度評価マニュアル(案)、土木研究所資料No.4126、2009

内田太郎*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム　主任研究員
Taro UCHIDA

秋山浩一**



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム　交流研究員
Koichi AKIYAMA

田村圭司***



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム　上席研究員
Keiji TAMURA

松下一樹****



国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所　調査設計第二課長
Kazuki MATSUSITA

共同研究報告書
Cooperative Research Report of PWRI
No.419 March 2011

編集・発行 ©独立行政法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

独立行政法人土木研究所 企画部 業務課
〒305－8516 茨城県つくば市南原1－6 電話029－879－6754