戦略的創造研究推進事業
（社会技術研究開発）
平成２８年度実装活動報告書

研究開発成果実装支援プログラム

「　間伐材を用いた土砂・雪崩災害警報システムの実装　」

採択年度　平成２7年度
実装責任者氏名　下井　信浩
（秋田県立大学　システム科学技術学部、教授）

１．要約

本実装活動では、間伐材を用いた柵に簡易振動センサ等を設置した計測用の柵を製作し、土石流、落石、雪崩における小規模な発生状況を予兆現象として捉え、災害発生の可能性及び発生後の状態を認識する計測システムの有効性や性能評価を実施した。本システムの実現により危険個所の管理者または地域の責任者が、迅速に危険個所を認識し、速やかな住民の避難や救助および災害現場の復旧対応が実施可能な支援情報を提供できる仕組み作りを目指すものである。

本年度は昨年度製作したセンサユニットおよび間伐材による計測柵を用いて、研究所内にて基本特性の評価試験を実施した。評価試験では、荷力試験機による完全破壊までの計測柵およびセンサの基本特性について確認し、重錘落下衝撃試験による加速度センサと振動型センサの計測結果の確認を行った。

昨年度は秋田県農林水産部森林整備課、建設部建設政策課および建設部河川砂防課の協力を得て実証試験の候補地選定を実施し、本年度は能代市二ツ井地域局環境産業課の協力を得て、地権者との調整後に2箇所の実証試験現場を確定した。

実証試験現場にて、構築した計測システムの敷設を行い、携帯電話回線を使用したデータ通信を用いて連続モニタリング計測を開始した。また周辺の環境状況および性能評価のため、傾斜計や雨量計等をリファレンスセンサとして併設して比較計測を実施していた。

現在、冬季の積雪状態の計測および状態監視のため、定期的なデータ収集と現地視察を実施しており今後やくも継続的な管理を行う予定である。

２．実装活動の具体的内容

本年度の実装活動は、研究所内においては計測システムの基本特性試験、実証試験現場においては構築した計測システムの敷設を中心に実施した。以下にその具体的な内容を示す。

２－１．荷力試験機による計測柵の基本特性（静的応答）評価試験の実施

秋田県立大学木材高度加工研究所内で室内評価試験を行った。土石流や雪崩の検知を想定し、荷力試験機により静的荷重を計測柵の面に載荷し、柵の変形やセンサ部金具の強度および載荷とセンサ反応荷重の関係確認を実施した。計測柵が斜面に設置した状態と同様になるように、油圧ジャッキによる逆向き(床面に引っ張り力)方向での載荷方法を用いて、下図のような試験用計測柵と架台にて試験を実施した。(図-1．計測柵による試験体準備)

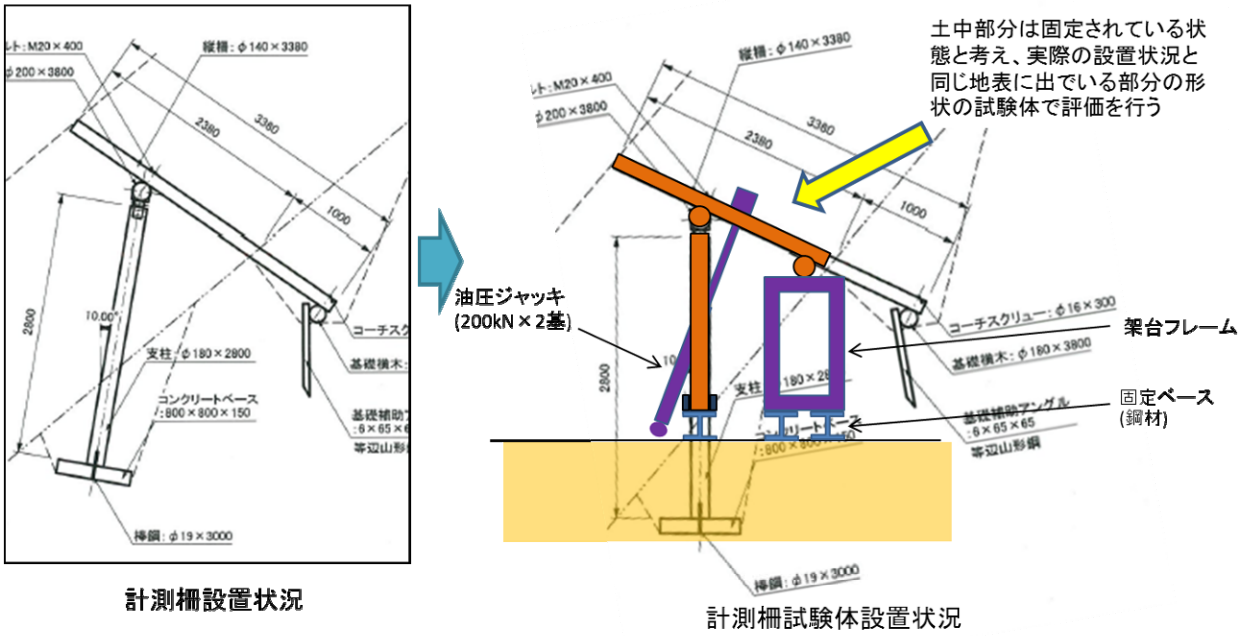


図 1.　計測柵による試験体準備

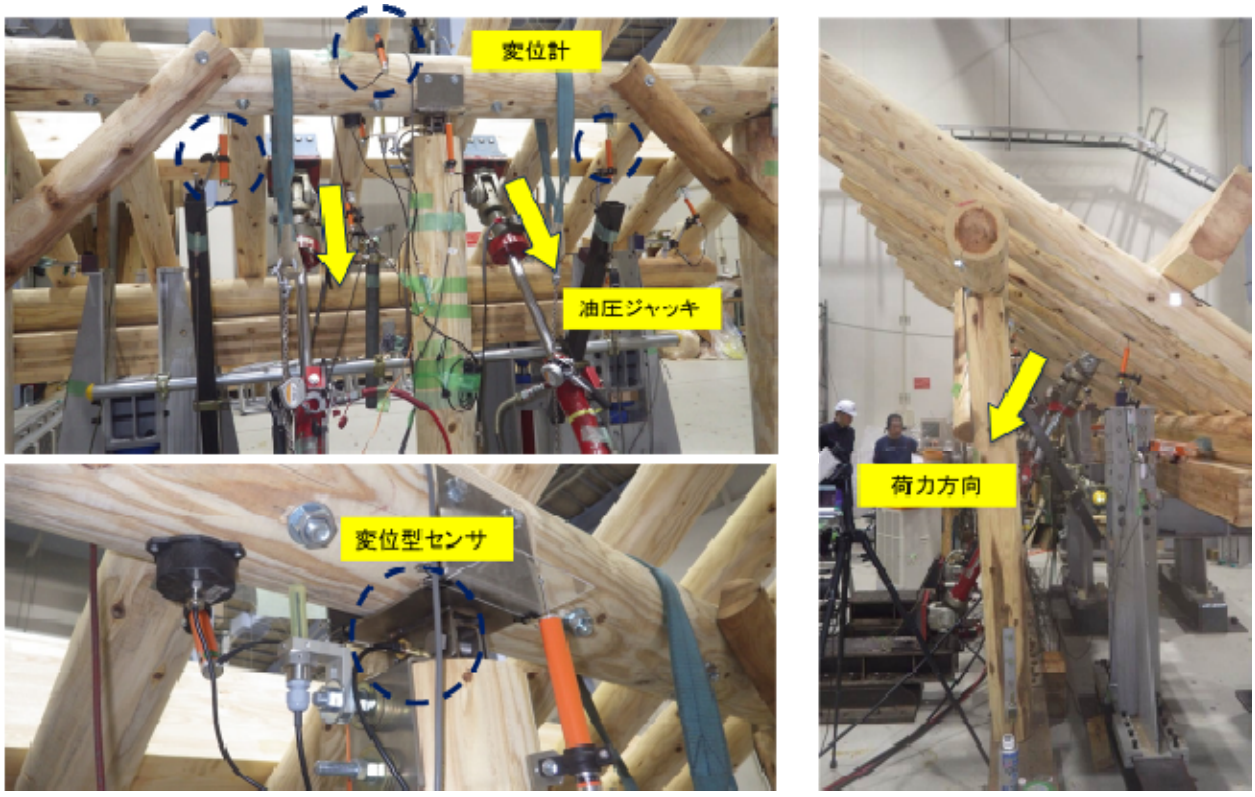


図 2.　荷力による計測柵の破壊試験

固定した試験用計測柵を、油圧ジャッキを用いて縦柵に引張荷力を発生させ、支柱部等の変形状況およびセンサ動作荷重を計測した。変位計は各接合部分および梁等の変形量を計測するために配置し、リミット型変位センサは中央支柱接合部の専用取付金具であるセンサフォルダー部に装着し、応力や変位を検出した。(図-2　荷力**による計測柵の破壊試験**)

以下に室内試験での荷力試験機による静的荷重評価試験の結果を示す。(図-3, 4　荷力試験による載荷荷重とリミット型変位センサの出力の関係、荷力試験による中央部垂木の変位量とリミット型変位センサの出力の関係)

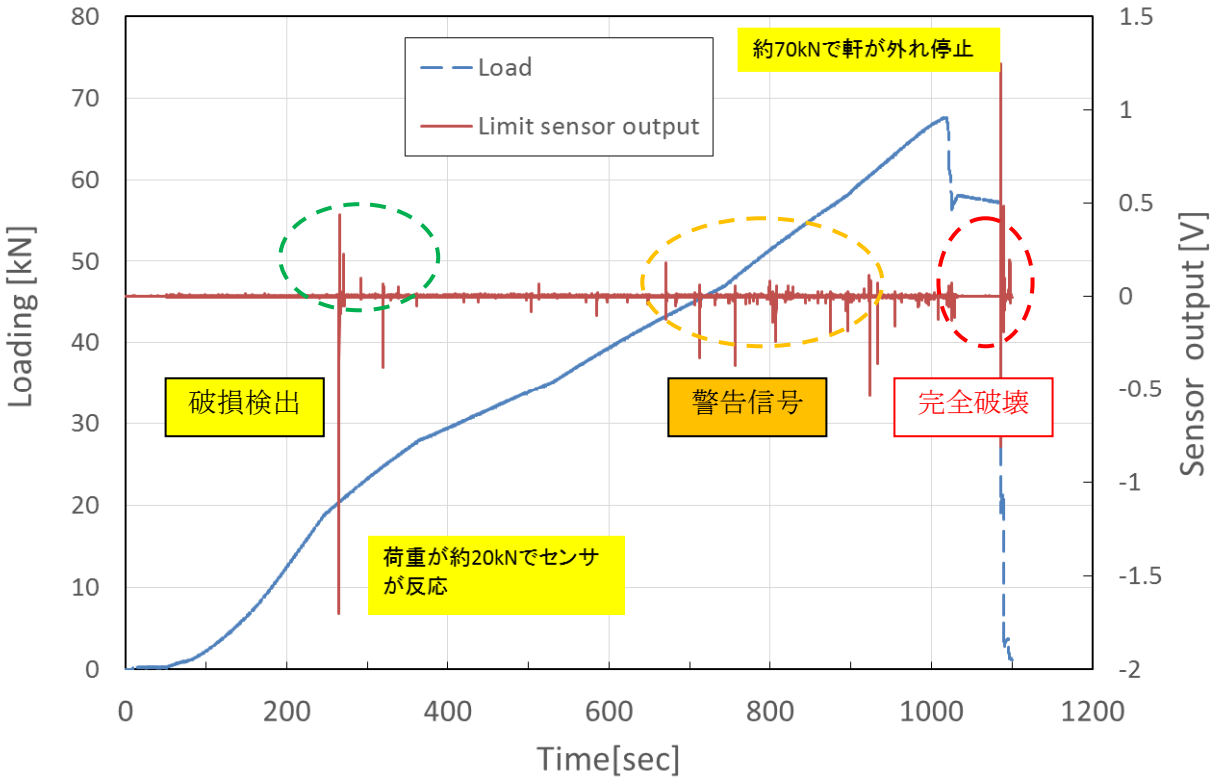


図 3.　荷力試験による載荷荷重とリミット型変位センサの出力の関係

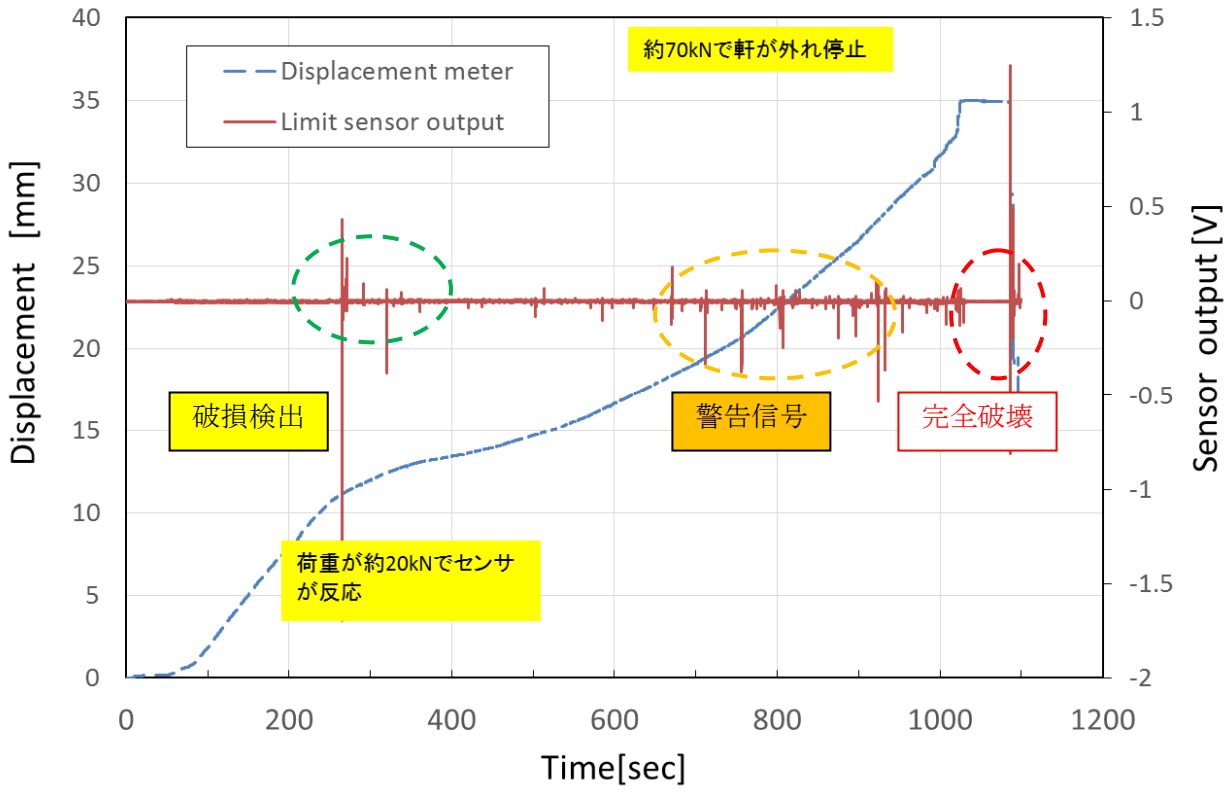


図 4.　荷力試験による中央部垂木の変位量とリミット型変位センサの出力の関係

試験結果より、荷重の増加と共に梁の変位も発生し、約20kN付近でリミット型変位センサが大きく反応していることが分かる。この変位センサが反応した時の中央垂木の変位は約10～15㎜変形したことが確認された。

リミット型変位センサは、ガラス管とピエゾ素子を組み合わせて金属製の保護管内に挿入した構造である。通常(健全時)はガラス管内に封入されたピエゾ素子は固定されているためセンサの出力は計測されないが、変位や静的荷重が設定以上に発生した場合は、ガラス管に掛かった荷重によりガラス管が破損し、その衝撃および金具の変動によりピエゾ素子から電圧により出力される。その後、リミット型変位センサの出力は変位量が増加する際に発生する変形を感知し、頻繁に出力信号が発生された後、約70kN付近で計測柵の軒固定部が外れ、柵が完全破壊の状態となる。

図 5.　リミット型変位センサの検出使用後

図 6.　リミット型変位センサの検出後における内部ガラス管破壊状況

本試験では、計測柵のセッティングの関係により多少反応荷重の変動が予想されるが、中央垂木の変位とセンサ出力には再現性があることを確認した。また判断ユニットの閾値として、リミット型変位センサの反応時の出力を適切に検知した接点信号の出力が認められた事から、現状の設定値(約600mV)で妥当であることを確認した。

今後、野外試験の計測柵においても荷重・変位状況による反応の再現性を再度確認する予定である。

２－２．重錘落下衝撃による計測柵の基本特性（動的応答）評価試験の実施

落石や土石流等の検知の基本特性を評価するため、落石を想定した重量の錘を、柵の検出面に衝突させ、衝撃エネルギーの確認を実施した。

評価試験としては、静的載荷試験と同様に固定した試験用検知柵の上方から錘を落下させ、接合部等の衝撃振動を加速度センサおよびオリジナルの振動型センサで計測し、両センサの特性比較を実施した。

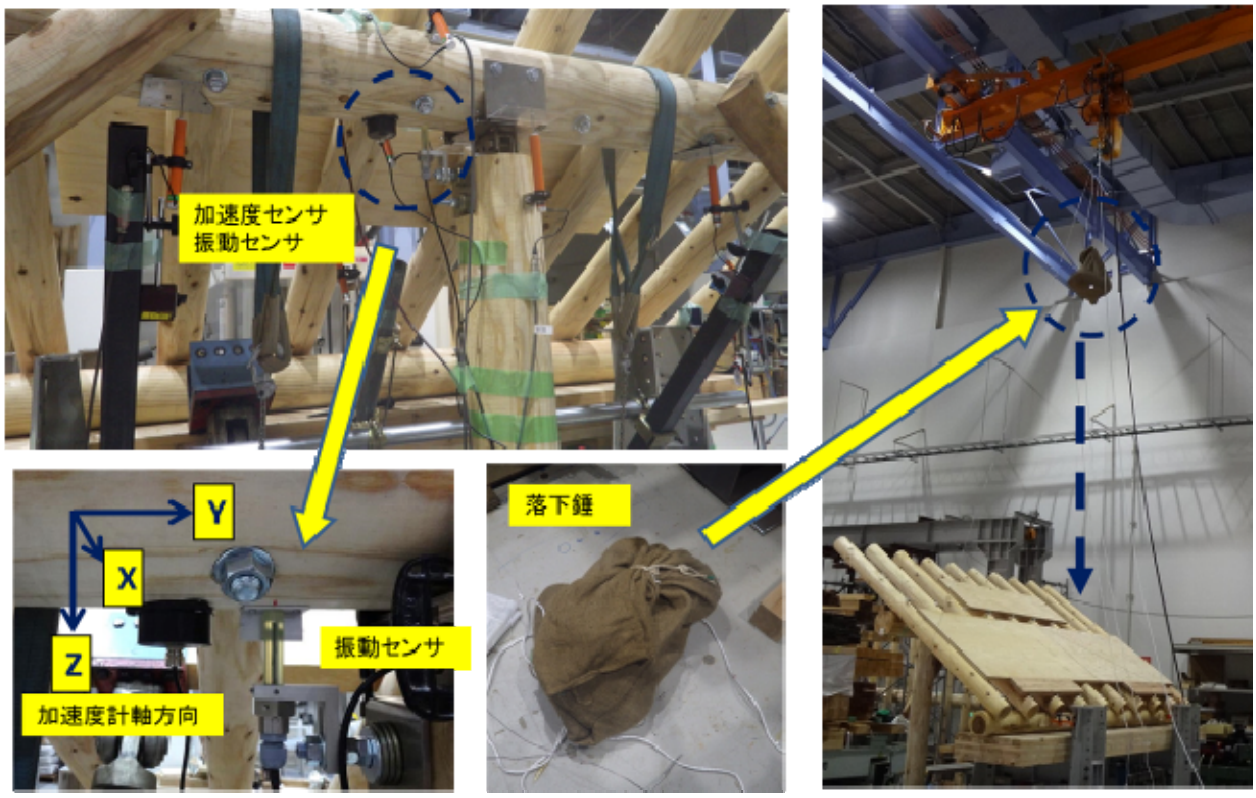


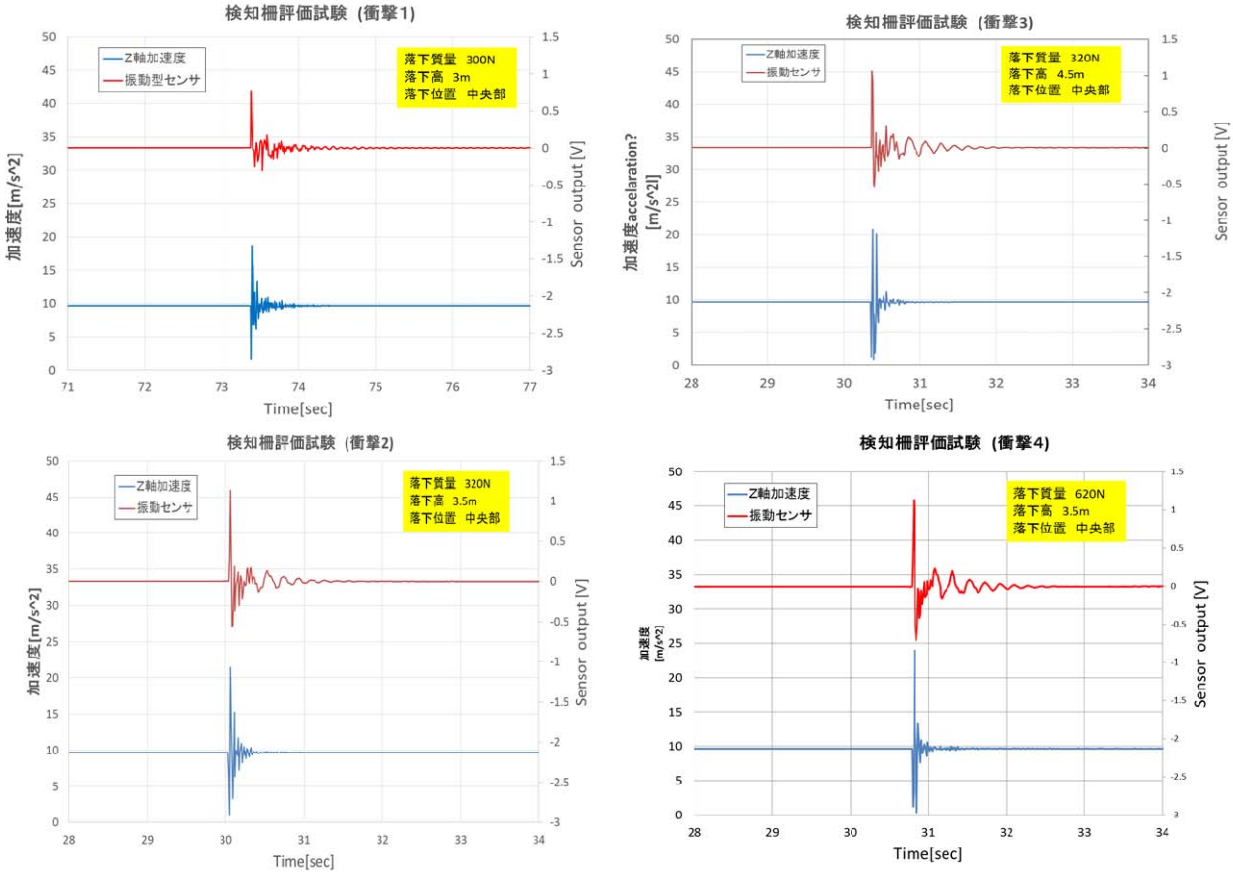
図 7.　落下衝撃試験状況

落下衝撃試験において、落下質量および落下高さを変えた状態で複数回実施し、加速度センサおよび振動センサの出力を計測した。

表 1.　落下衝撃試験一覧

試験 No.	落下質量(N)	落下高さ(m)	落下エネルギー(J)
衝撃試験 1	300	3	900
衝撃試験 2	320	3.5	1120
衝撃試験 3	320	4.5	1440
衝撃試験 4	620	3.5	2170
衝撃試験 5	620	4.5	2790
衝撃試験 6	200	4	800
衝撃試験 7	200	4	800
衝撃試験 8	102	4	408
衝撃試験 9	102	4	408

以下に落下衝撃試験における各々の結果を示す。



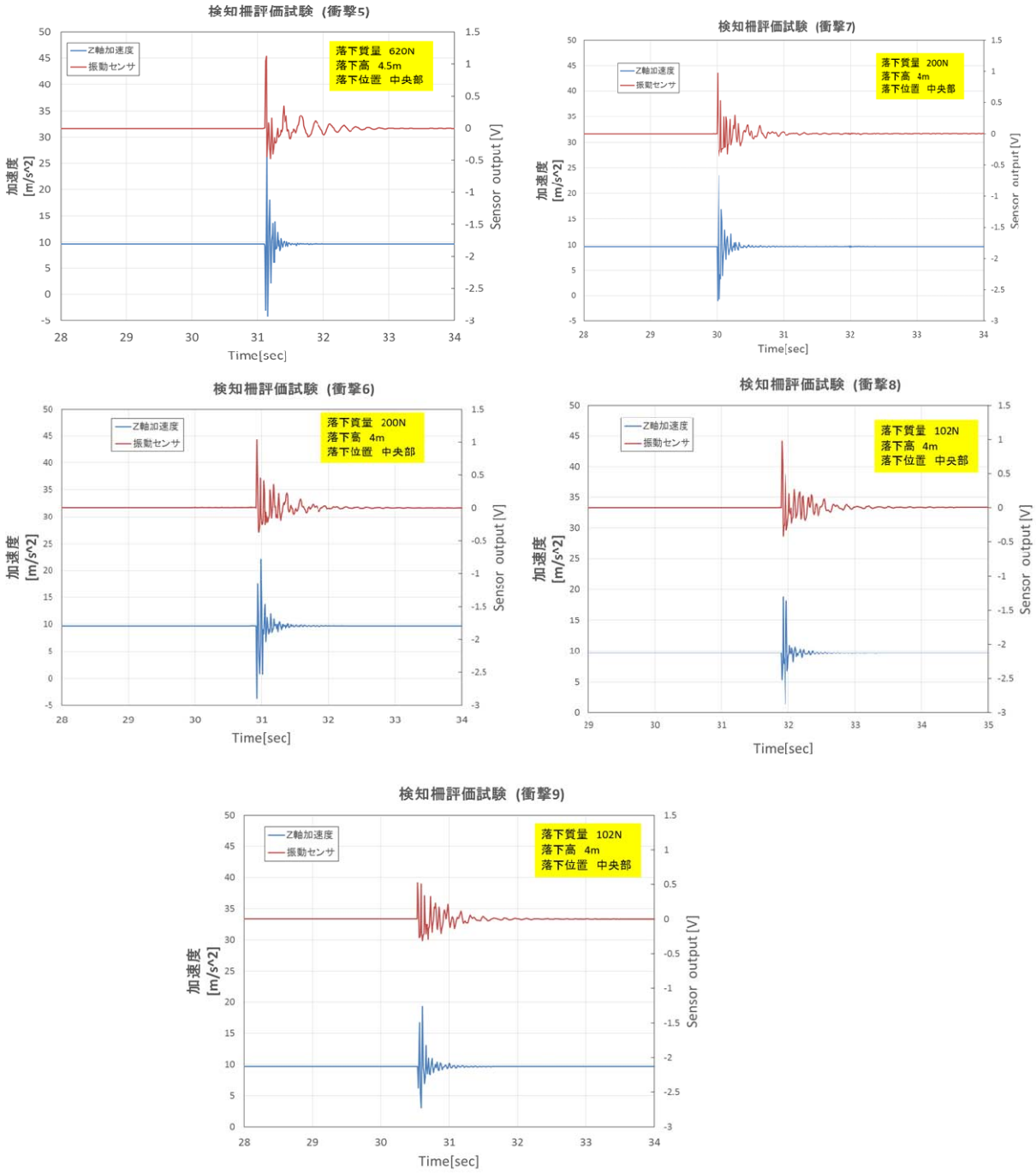


図 8.　落下衝撃試験の結果一覧

落下衝撃試験の結果より、落下エネルギーと加速度計およびセンサ出力の関係性は、ほぼ比例関係にあり、計測柵の衝撃振動がセンサに伝達されていると考えられる。このため、この計測柵による落石等の衝撃振動の検出において、振動センサによる検知が可能と考えられる。

今後、今回の試験結果を基に野外試験の計測柵において、斜面落石の衝撃検証および振動出力を確認し、どの程度の落石で検知が可能であるか閾値設定の値を再検討する必要がある。

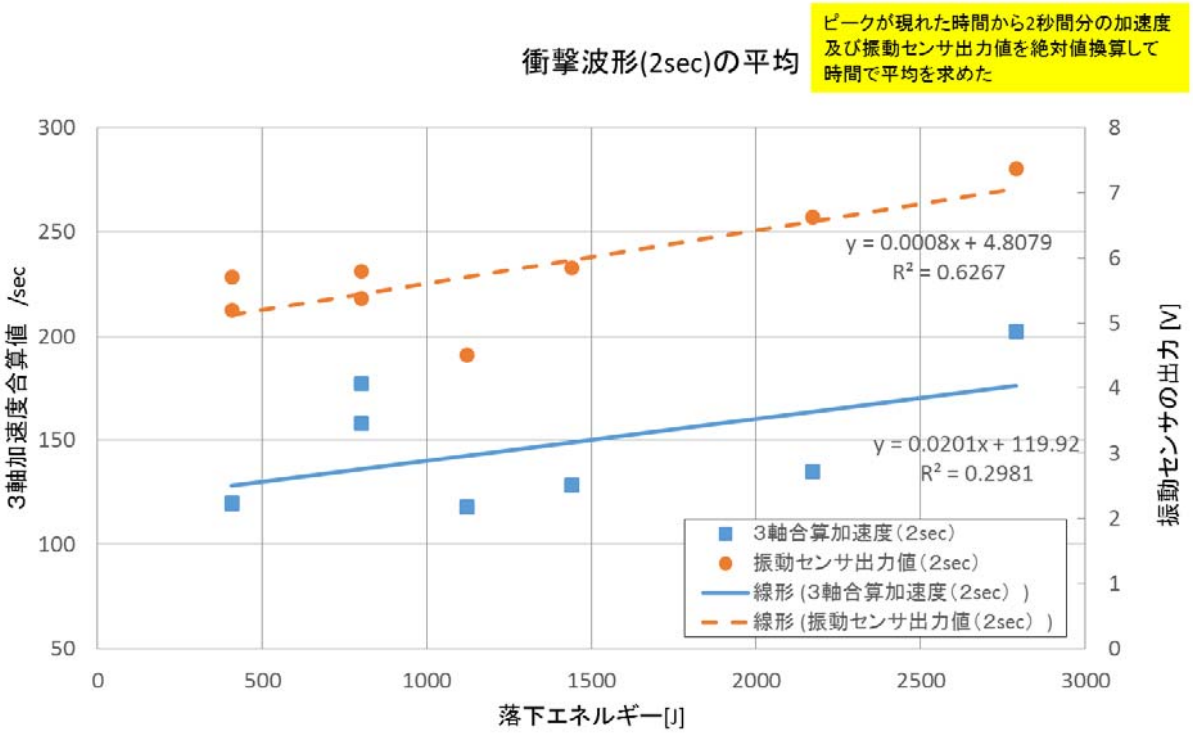


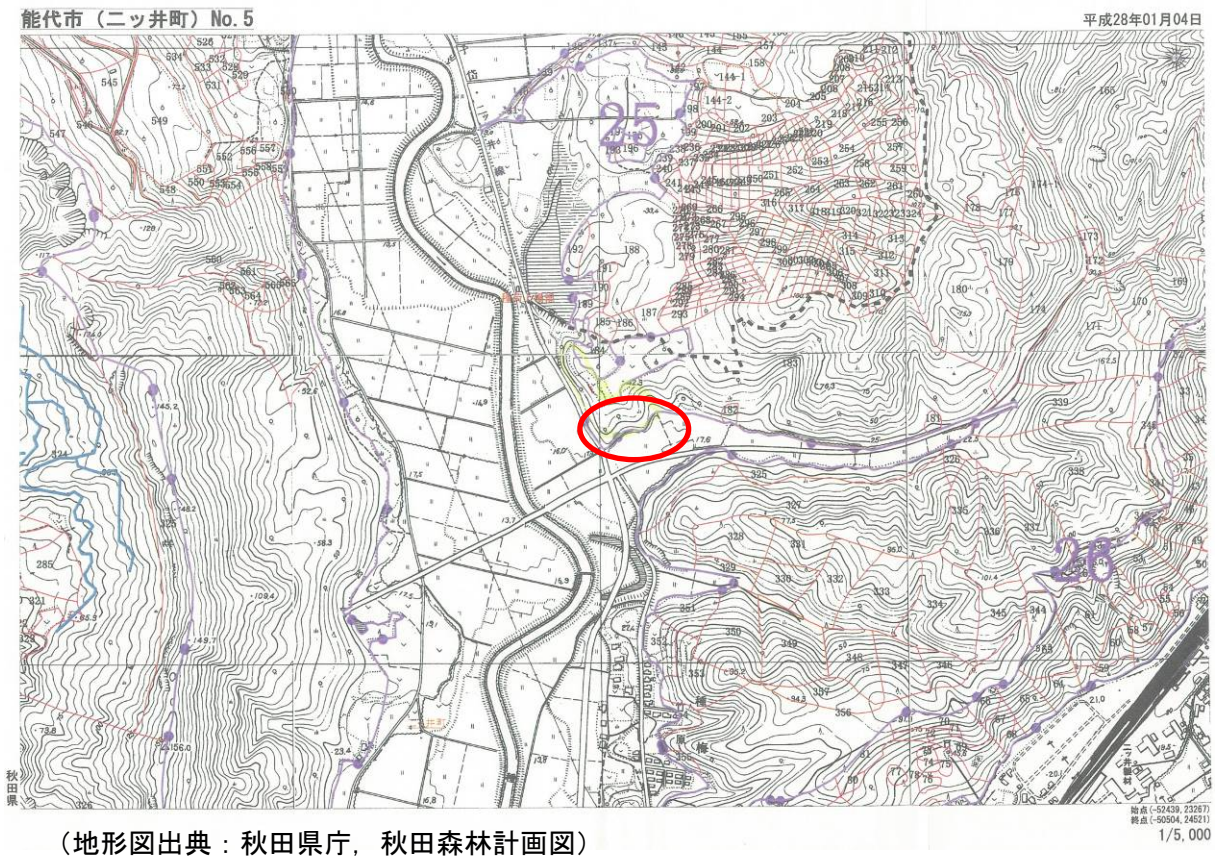
図 9.　落下の衝撃振動と落下エネルギーとの相関関係

２－３．実証試験現場の確定

昨年度、秋田県農林水産部森林整備課、建設部建設政策課および建設部河川砂防課の協力を得て実証試験の候補地選定を行い、19箇所の候補地の中より4箇所の実証試験候補地を選定した。

本年度は、秋田県農林水産部森林整備課、能代市二ツ井地域局環境産業課の協力を得て地権者との調整を行い、4箇所の実証試験候補地の中から急傾斜地の1箇所（No.5）、雪崩発生地域の1箇所（No.19）の2箇所の実証試験現場を確定した。確定した実証試験現場は秋田県能代市二ツ井町の2箇所であり、以下にその地点の詳細を示す。

なお計測柵の設置位置について、斜面の傾斜状況および谷地形等を考慮し、計測柵の敷設および試験が可能な位置に配置するものとした。

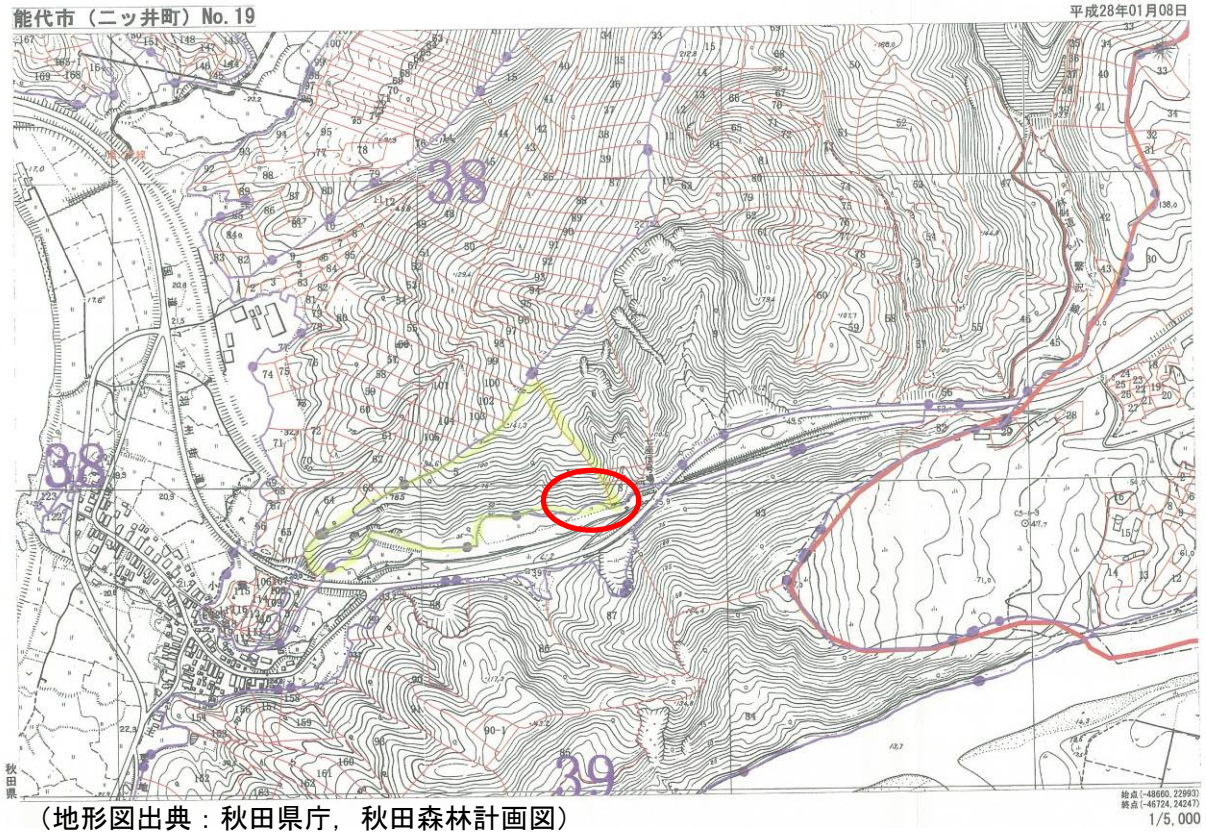


（地形図出典：秋田県庁，秋田森林計画図）

図 10.　No.5　実証試験地(能代市二ツ井町種)

図 11.　No.5　実証試験地冬季状況

図 12.　No.5　実証試験地夏季状況



（地形図出典：秋田県庁，秋田森林計画図）

図 13.　No.19　実証試験地(能代市二ツ井町小繋)

計測柵の設置位置としては、現地状況および地図上の谷地形で試験に適したと考えられる下図の赤丸の位置付近を選定。

（地形図出典：秋田県庁，秋田森林計画図）

図 14.　No.19　スペース計測柵設置位置

図 15.　No.19　実証試験地冬季状況

図 16.　No.19　実証試験地夏季状況

２－４．計測システムの構築

今回構築した計測システムは、計測柵に組み込んだ変位センサおよび振動センサからの衝撃や振動の検知信号を、判断ユニット内に設定された閾値で判断し、荷重検知や落石の衝撃カウントとしてデータ収録装置に記録することが可能である。また本装置には、検知情報をリアルタイムなデータとして管理できるように、携帯電話網を利用したデータ通信装置が組み込まれており、収録したデータを遠隔地へデータ送信することが出来る。本システムの電源は全て内蔵のバッテリーで駆動しており約1年の稼働が可能な設定である。このような山間部で使用するシステムでは、商用電源等の供給が期待できない場所においてバッテリー等による長期間の観測が可能なシステムが有用であると考えている。

本システムでは送信されたデータを処理・表示するために、クラウドサーバーで管理するシステムとしている。また関係者でのデータ共有が可能なように、クラウドサーバーにはWebブラウザーでアクセスすることで、リアルタイムに実証現地の計測データが確認できる。

また、クラウドサーバーを活用した本システムにおいて、蓄積データからの危険度表示や異常値の検知通報等による防災情報の発信ツールとして支援情報を提供できる仕組みの検討を実施している。

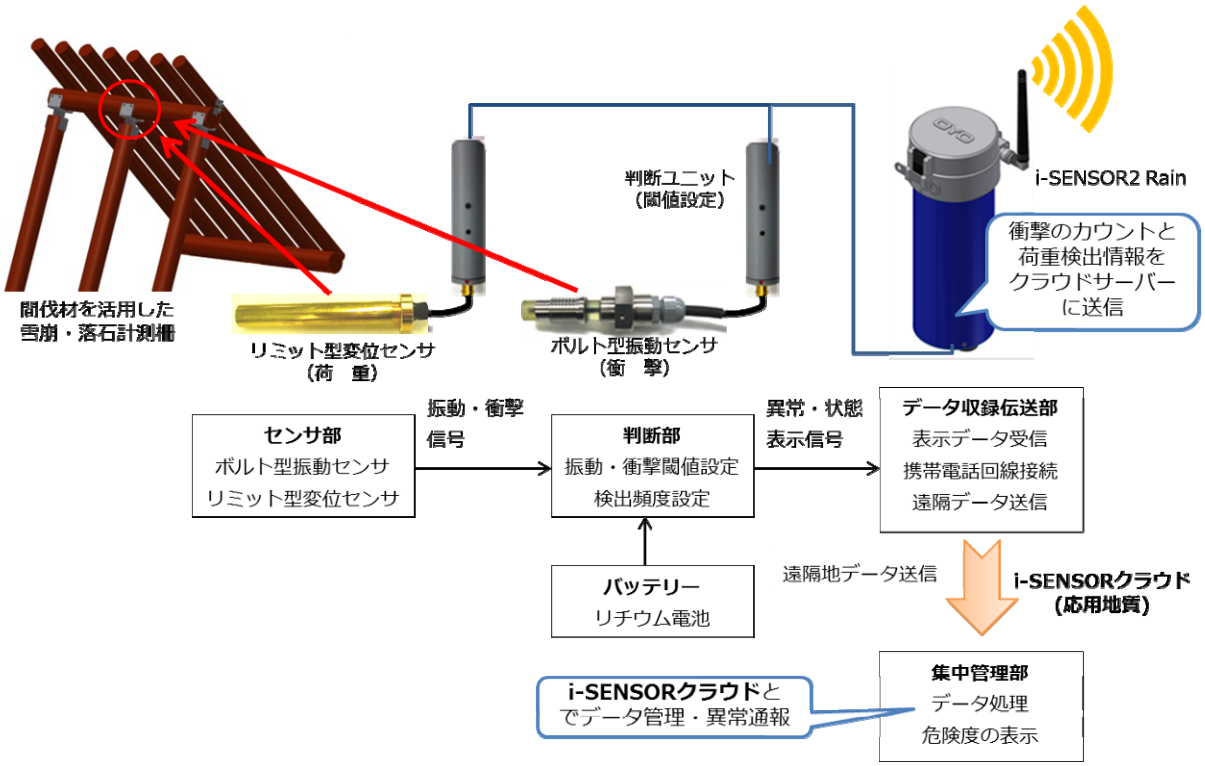


図 17.　計測システム構成図

２－５．実証試験現場への計測システムの敷設

確定した2箇所の実証試験現場にて、計測柵および計測システムの設置を行い、概ね1ヵ年の連続モニタリング計測を開始した。

実証試験地は急傾斜地であり、その斜面の一部に角度を合わせ計測柵の敷設を実施した。敷設にあたっては周辺の雑草等を伐採した上で、計測柵の脚部の一部を埋設するためようにして固定して設置した。

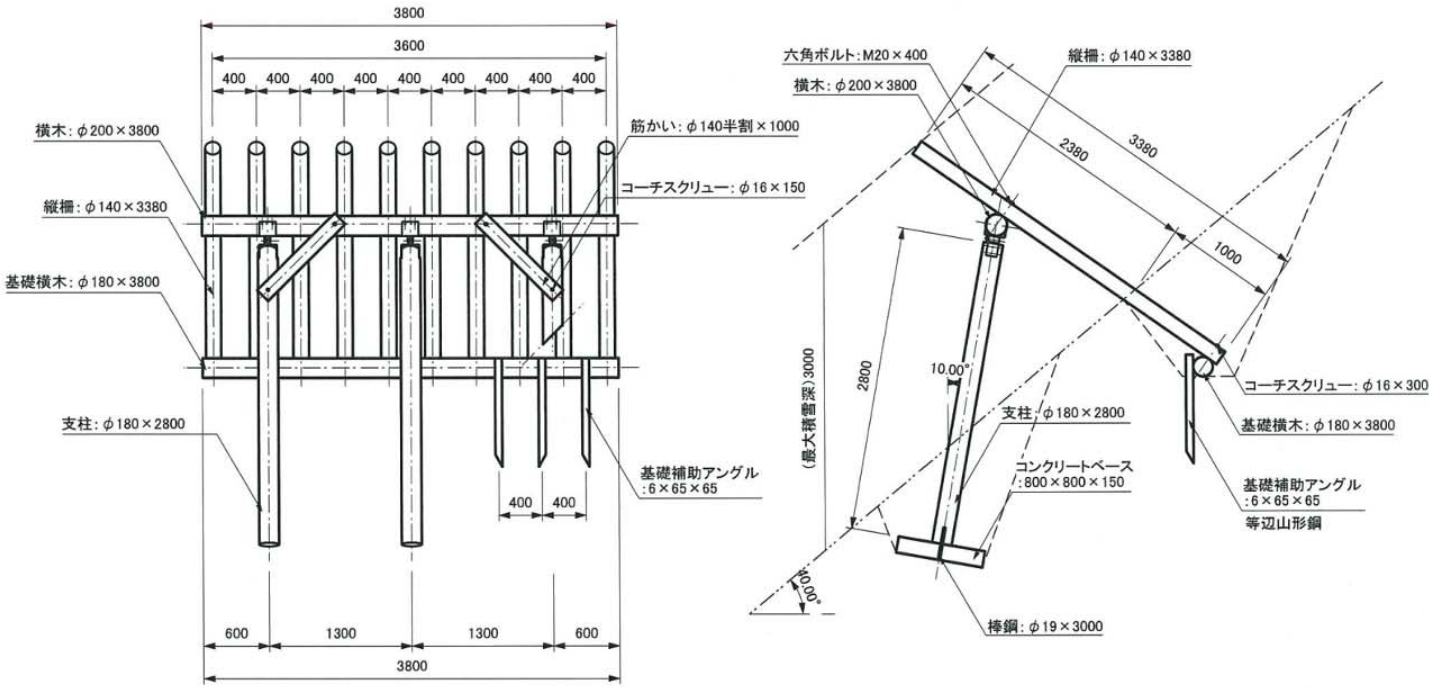


図 18.　計測柵設置図

計測システムは、中央部のセンサフォルダーにリミット型変位センサおよびボトル型振動センサを取り付け、その支柱判断ユニットおよびデータ収録伝送装置を図24で示すように固定している。

図 19.　No.5　実証試験地敷設前状況

図 20.　No.5　実証試験地システム敷設後状況

図 21.　No.19　実証試験地敷設前状況

図 22.　No.19　実証試験地システム敷設後状況

図 23.　計測システム設置状況(センサおよび収録装置)

図 24.　計測システム設置状況(判断ユニット)

２－６．リファレンスセンサの設置

計測柵を設置した実証試験地周辺の環境状況および計測柵の状態評価のため、従来から用いられている観測機器（傾斜計、雨量計等）をリファレンスセンサとして併設して比較計測を実施した。

設置したリファレンスセンサとして、計測柵の傾きや変形の挙動を監視するため、傾斜計を計測柵の梁端部に取り付け全体の変状を計測した。また、周辺環境の状況を把握するため、雨量計および温湿度計を設置した。傾斜計は2箇所の計測柵にそれぞれ取付け、雨量計および温湿度計については山間部で気象環境の変化予想されるNo.19の地点に設置している。

なお、本リファレンスセンサのシステムにおいても、計測システムと同様の携帯電話網を使用したデータ通信の機能があり、内蔵のバッテリーで長期間観測が可能なシステムを構築した。

図 25.　リファレンス用傾斜計

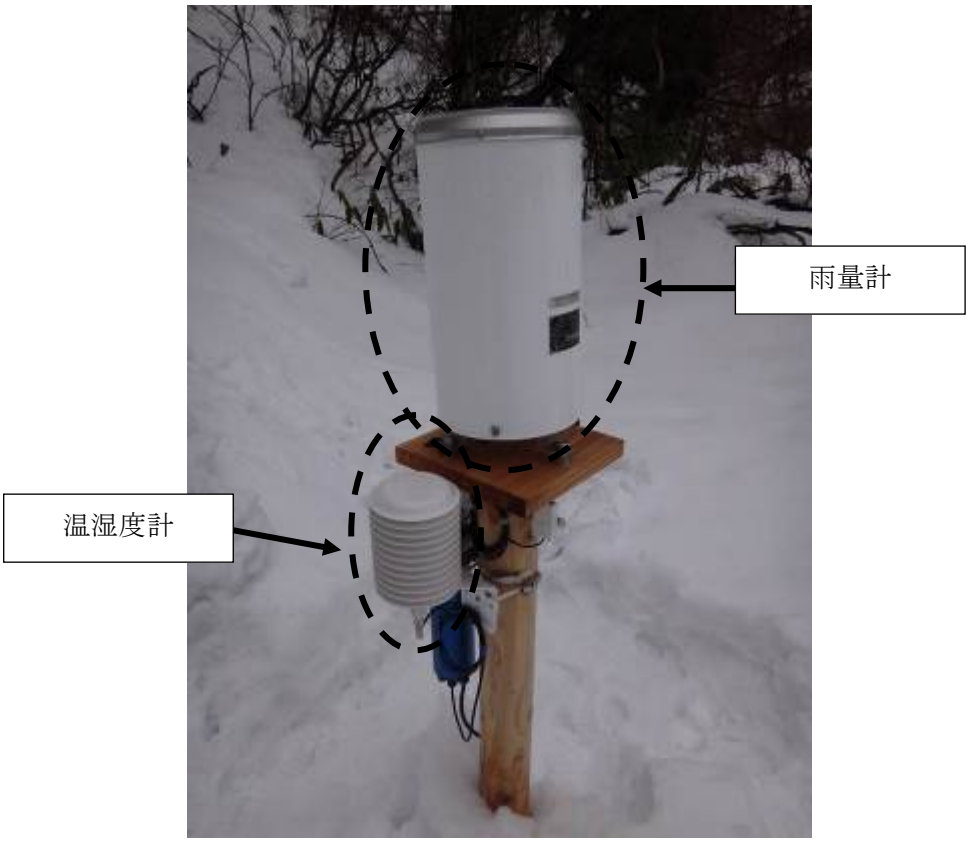


図 26.　リファレンス用雨量計および温湿度計

２－７．計測システムの運用状況の確認

計測システムを12月初旬より稼働し、計測柵のセンサデータおよびリファレンスセンサのデータをクラウドサーバーにて管理を実施している。

山間部でのデータ通信においても通信不良も無く正常に送信されていることが確認された。なお、リファレンスセンサの傾斜計において、一時電源部の不良により停止していたが現在は正常に動作している。

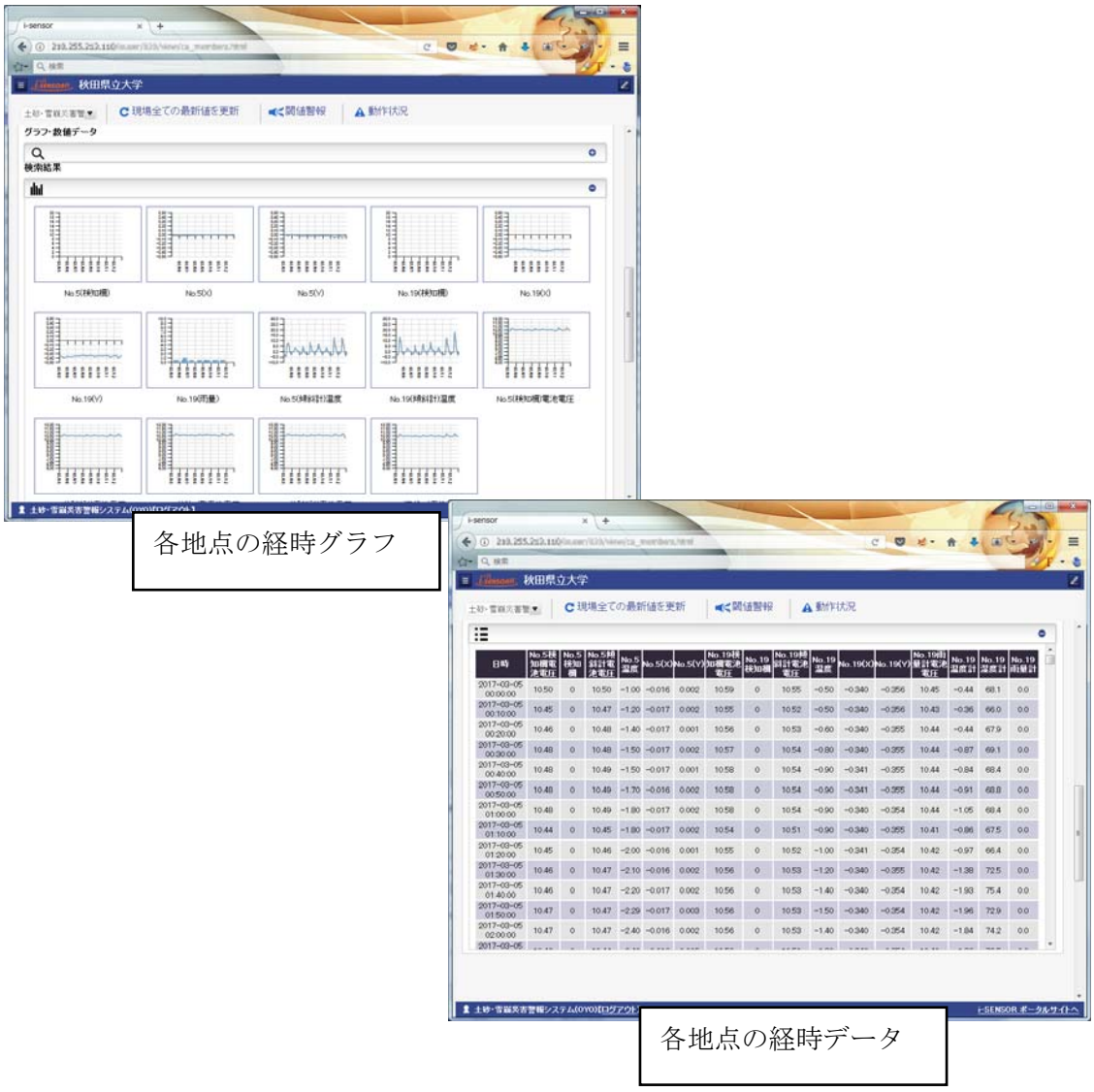


図 27.　計測システムクラウドサーバー画面

２－８．実証試験現場の定期確認

実証試験地に設置した計測柵の状態確認を定期的に実施している。冬季は積雪による計測柵の状況を確認し、斜面の周辺やその他センサ部や収録装置の外観に異常が無いかの確認をするものとして、観測終了まで定期的に実施する予定である。

現在のところ、計測柵の外観上に異常は見られず観測において問題は無いことが確認されている。

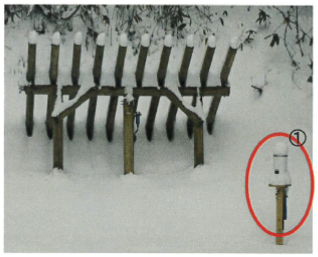
（報告様式）

屋外木柵点検簿

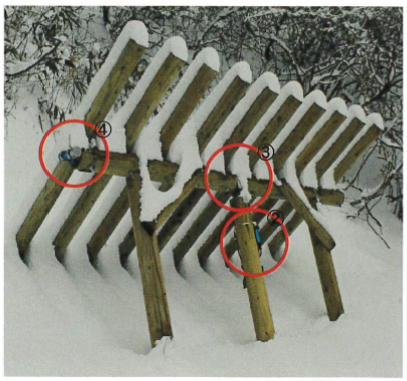
代表理事	事務局長	スタッフ

題名	木製防護柵（能代市二ツ井町種梅地区）の状況（H29.1.15）について		
調査日時	H29.1.15（日）	場所	能代市二ツ井小繋 （国道７号線、能代運輸きみまち坂営業所を北秋田市方向、もしもしピット手前 500m 入口）
報告月日	H29.1.16（月）		
職氏名	参与　三浦　泉		

現地確認状況



（木柵、雨量計・全景）



（木柵・アップ）

国道７号線に隣接する木柵設置箇所入口が除雪されておらず、約 300m先右側の民間企業（高橋ダクト工業）入口に車両を止め、木柵設置箇所まで徒歩で移動。

設置箇所全体が 30cm 程の降雪があり、雨量計、木柵自体には 20cm 位の積雪があったが、手で容易によせることが出来た。

それぞれの計器類（①～④）の状況は以下のとおり。

※確認した内容を箇条書きで可。　※適宜、現地写真等を添付すること。

図 28.　現地定期点検報告書

３．実装成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動等

３－１．展示会への出展等

年月日	名称	場所	概要	ステークホルダー	社会的インパクト
H28.10.13-14	OYOフェア2016	秋葉原UDXギャラリー	技術セミナーおよび展示	官公庁、一般企業	約1000名

３－２．研修会、講習会、観察会、懇談会、シンポジウム等

年月日	名称	場所	概要	ステークホルダー	社会的インパクト
H28.9.15	土砂・雪崩災害警報システムの実装試験	秋田県立大学木材高度加工研究所	参加人数約３０名。屋内において、検出センサを敷設した間伐材柵の荷力破壊時の特性評価。	自治体、マスコミ	
H28.12.8	土砂・雪崩災害警報システムの実装現地公開	秋田県能代市二ツ井町小繁	参加人数約１５名。山の斜面に設置した警報システムの実装状況の公開。	自治体、マスコミ	

３－３．書籍、DVD

３－４．ウェブサイトによる情報公開

・秋田県立大学ロボット工学研究室ホームページ
http://www.akita-pu.ac.jp/robotics/
・2016. 12. 8　　間伐材活用の土砂崩れ警報システムの実装状況
NHK 秋田放送
http://www3.nhk.or.jp/lnews/akita/6014891031.html?t=1481247392572
ABS 秋田放送
http://www.akita-abs.co.jp/news/nnn/news86111057.html

３－５．学会以外のシンポジウム等への招聘講演実施等

３－６．論文発表

３－７．口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）

（１）　招待講演

（２）口頭発表（国内会議　１　件、国際会議　０　件）

・西村旭正（秋田県立大学），佐々木拓哉（秋田県立大学），中正和久（秋田県立大学），下井信浩（秋田県立大学）：「落石検知システムに用いるピエゾ極限センサの基本特性試験」，計測自動制御学会東北支部第 303 回研究集会，303-8，秋田県立大学本荘キャンパス（H28.7.15）

（３）ポスター発表（国内会議　１　件、国際会議　０　件）

秋田県立大学本荘キャンパス　オープンキャンパス研究室紹介（H28.7.16～7.17）

３－８．新聞報道・投稿、受賞等

（１）新聞報道・投稿（　６　件）

・秋田魁新報（H28.9.15、「斜面センサー、土砂崩れ察知　災害警報システム開発」）
・読売新聞　（H28.9.17、「土砂崩れ 予兆を検知 センサー開発 警報実用化へ実験」）
・北羽新報　（H28.9.16、「杉間伐材で警報システム 土砂災害、雪崩を察知」）
・秋田魁新報（H28.12.11、「雪崩感知へ間伐材活用 県立大、実験スタート」）
・河北新報（H28.12.9、「雪崩検知し警報発信 間伐材使い新装置」）
・北羽新報（H28.12.9、「杉間伐材の警報システム実装試験」）

（２）ＴＶ放映（　６　件）

・NHK（H28.9.15 18:10-18:13、ニュースこまち「間伐材活用の土砂崩れ警報システム」）
・秋田放送（H28.9.15 18:23-18:26、news every ABSニュース「間伐材を利用 災害の前兆を検知 新警報システム」）
・秋田朝日放送（H28.9.15 18:26-18:31、スーパーJチャンネル トレタテ！「土砂災害・雪崩の“新”警報システム「間伐材利用」に込めた狙い」）
・秋田テレビ（H28.9.15 18:14-18:16、AKTみんなのニュース「秋田県立大学が開発 災害警報システムの実装実験」）
・NHK（H28.12.9 7:47-7:48、NHK おはよう秋田「間伐材活用の警報センサー実験」）
・秋田放送（H28.12.8 18:28-18:31、news every ABSニュース「災害の前兆とらえるシステム 実用化へ 実際の山の斜面で試験」）

（３）雑誌掲載（　１　件）

・「ピエゾセンサを用いた木造構造物の振動解析」，下井信浩，クアドラ カルロス，中正和久，間所洋和：月刊超音波テクノ 2017 年 4 月号掲載予定，日本工業出版(株). In press.

（４）受賞

３－９．知財出願

３－１０．その他特記事項

（１） 波及効果

＊本計測システムの実用化に関する相談
エイデイケイ富士システム株式会社 http://www.adf.co.jp　七曲開発センター

①土砂・雪崩警報システムの導入（仙北市玉川エリア）
②地域の林業組合会員企業の活用（施行関連）
③エイデイケイによる地域発サービス確立の支援（システム販売及び自治体・民間向けデータ提供）