

公開資料

戦略的創造研究推進事業  
(社会技術研究開発)  
実装活動終了報告書

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

実装支援期間 平成27年10月～平成30年9月

実装責任者 下井 信浩

(秋田県立大学 システム科学技術学部、教授)

# 目次

1. プロジェクト名・目標・活動要約	3
(1) 実装活動プロジェクト名	3
(2) 最終目標	3
(3) 実装支援期間終了時の目標（到達点）	3
(4) 活動実績（要約）	3
① 土砂崩れ・土石流発生検知の基本性能試験（2.（1）全体計画 項目：A）	3
② システム構築と土砂崩れ・土石流発生を検知評価（2.（1）全体計画 項目：B）	4
③ 土塊・岩石の落下に関する検知評価（2.（1）全体計画 項目：C）	5
④ 雪崩の予防柵による強度計測と破壊検知評価（2.（1）全体計画 項目：D）	5
⑤ 実証試験場所における災害対応の確認（2.（1）全体計画 項目：E）	5
⑥ 実証試験機材の撤収と原状復帰（2.（1）全体計画 項目：F）	6
2. 実装活動の計画と内容	6
(1) 全体計画	6
(2) 各年度の実装活動の具体的内容	7
(2)－1 平成27年度実施活動	7
(2)－2 平成28年度実施活動	11
(2)－3 平成29年度実施活動	21
(2)－4 平成30年度実施活動	27
3. 実装活動の成果	30
(1) 目標達成及び実装状況	30
(2) 実装支援期間終了後の実装の自立的継続性	30
(3) 実装支援期間終了後の実装の他地域への普及可能性	30
(4) 実装活動の社会的副次成果	30
(5) 人材育成	30
(6) 実装活動で遭遇した問題とその解決策	30
4. 実装活動の組織体制	31
5. 実装成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動等	31
(1) 展示会への出展等	31
(2) 研修会、講習会、観察会、懇談会、シンポジウム等	31
(3) 書籍、DVD	32
(4) ウェブサイトによる情報公開	32
(5) 学会以外のシンポジウム等への招聘講演実施等	32
(6) 論文発表	32
(7) 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）	33
(8) 新聞報道・投稿、受賞等	33
(9) 知財出願	34
(10) その他特記事項	34

6. 結び .....	35
(1) 達成度及び得られた意義等の自己評価 .....	35
(2) 実装支援期間終了後の実装の自立的継続性 .....	35
(3) 謝辞 .....	35

## 1. プロジェクト名・目標・活動要約

### (1) 実装活動プロジェクト名

「間伐材を用いた土砂・雪崩災害警報システムの実装」

### (2) 最終目標

- ① 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、災害発生を予測して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、速やかに住民の避難や救助及び災害現場の復旧対応がとれるための支援情報を提供できる仕組みを実現する。
- ② 過疎地域におけるライフラインの維持管理、関係住民の生命及び財産の保護、集落の孤立防止等、災害の事前対策の迅速化、減災を図る。
- ③ 他の自治体等への本実装試験の成果を普及することを考慮した宣伝活動や技術提供等の実施を実行する。

### (3) 実装支援期間終了時の目標（到達点）

- ① 間伐材を用いた簡易振動センサによる土石流発生の予測に関する性能評価  
「木材の簡易柵」や木製の「杭」に簡易振動センサを挿入しモニタリングを実施。  
現状のシステムと比較し、低価格で利便性が高いシステムを実現する。
- ② 簡易モニタリングシステムを用いた土砂災害の自律計測技術の性能評価  
「振動解析」や「構造物の変形」等からピンポイントの危険状況を判断。  
計測結果を原位置で評価できる自律システムを実現する。
- ③ 間伐材を用いた雪崩計測柵による発生予測システムの性能評価  
気象庁の広域雪崩警報システムとは異なり、「ピンポイントで監視地域の状況判断」と「リアルタイム情報の提供」を可能にする。
- ④ 予兆現象を検知した際の災害初動対策（ソフト対策）を確認  
本センサによる予兆現象の発生を受けて、警報発令、避難行動等が迅速に取れる体制が可能であるか検証する。

### (4) 活動実績（要約）

- ① 土砂崩れ・土石流発生検知の基本性能試験（2.（1）全体計画 項目：A）
  - (ア) 木製の杭を用いたモニタリングシステムの検討  
木製の杭に簡易センサを挿入してモニタリングする計画は、現時点でグラスファイバー製のポールに加速度計と送信機を挿入して計測する技術が先行している。この詳細調査により本項目については研究項目から除外し、木製の計測柵に注力した。
  - (イ) 既存のセンサユニットの目的に適した形状および計測方法への改良（実施項目：A-1）
    - 簡易振動センサ、および判定ユニットを、間伐材を用いた柵で計測が可能ないように改良を施した。（平成 27 年度）
    - 屋内評価試験、および山の斜面の実証試験場所において活用するため、改良設計したセンサと判定ユニットを製作した。（平成 27 年度）
  - (ウ) センサユニットを組込める木製の柵の設計（実施項目：A-1）

- センサユニットを用いることが可能な計測用の木柵を設計した。  
(平成 27 年度)
- (エ) 間伐材を利用した木製の柵およびセンサフォルダの製作とセンサの基礎実験  
(実施項目 : A-2)
- 木製の柵で受けた荷重や衝撃をセンサに伝達するためのセンサ取付金具(センサフォルダ)を設計し、基礎実験を実施した。(平成 27 年度)
  - 木製の柵およびセンサフォルダにセンサユニットを装着して、屋内の荷力試験および衝撃試験において実装可能であるかを評価し、計測柵の試験体を製作した。  
(平成 27 年度)
- (オ) 実証試験場所の選定 (実施項目 : A-2)
- 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、土石流検知、落石検知および雪崩検知の実証試験場所の候補地を選定した。(平成 27 年度)
  - 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、土石流検知、落石検知および雪崩検知の 2 箇所の実証試験場所を秋田県能代市内に確定した。(平成 28 年度)
- (カ) 秋田県立大学木材高度加工研究所内(以降は木高研と略す)における屋内評価試験の実施(計測柵の基本特性検証) (実施項目 : A-3)
- 荷力試験機による計測柵の完全破壊までの応力とセンサ出力の関係を検証するため、基本特性試験により静的荷重とセンサ出力の関係性評価を実施した。  
(平成 28 年度)
  - 落下衝撃試験による衝撃エネルギーおよび振動波形を計測することにより、加速度計と簡易振動センサの出力を比較し、落石の大きさによる判定ユニットの閾値を設定した。(平成 28 年度)
- (キ) 木高研敷地内の野外斜面に計測柵および計測システム等の機材設置(実施項目 : A-4)
- 土石流、落石、雪崩の状況を人為的に発生させて実証評価を行うため、木高研敷地内の野外斜面に計測柵を設置した(図-20)。試験は、実施項目 B-4、C-3 で実施した。(平成 29 年度)
- ② システム構築と土砂崩れ・土石流発生の検知評価 (2. (1) 全体計画 項目 : B)
- (ア) 実証試験場所にシステムを敷設 (実施項目 : B-1、C-1、D-1)
- A-2 項で確定した秋田県能代市内の 2 箇所の実証試験場所にて、計測柵および計測システムの敷設を行い、18 ヶ月間のモニタリングを開始した。試験は、実施項目 B-3、C-2、D-2 で実施した。(平成 28 年度)
  - 周辺的环境状況および性能評価のため、従来の観測機器(傾斜計、雨量計等)をリファレンスセンサとして併設し、比較計測を実施した。(平成 28 年度)
- (イ) 計測システムの構築 (実施項目 : B-2)
- 計測柵に装着した簡易振動センサおよびリミット型変位センサの計測データを、自律的に判断して収録し、携帯回線を用いて遠隔地のクラウドサーバに送信する計測システムを構築した。本システムより送信された計測データは、クラウドサ

サーバにアクセスし、Web ブラウザでリアルタイムに確認が可能なシステムとした。(平成 28 年度)

(ウ) 計測システムの長期的な信頼性評価と耐久性試験 (実施項目 : B-3)

- 計測システムがバッテリーで長時間(約 12 ヶ月)の観測を実現できること、計測システムからのデータを遠隔地のクラウドサーバに送信し、安定した運用が可能であることを検証した。(平成 28 年度～平成 30 年度)

(エ) 木高研敷地内の野外斜面における屋外載荷試験 (実施項目 : B-4)

- 平成 28 年度に実施した屋内評価試験において、静的荷重と変位の関係から得られた危険予測の数値が、実装試験においても使用可能であるかを検討するため、野外斜面に設置した計測柵を使用して屋外載荷試験を実施した。(平成 29 年度)
- 得られた屋外載荷試験のデータを基に、計測範囲の閾値設定を再評価し、実証試験場所に設置した計測システムに反映した。(平成 29 年度)

③ 土塊・岩石の落下に関する検知評価 (2. (1) 全体計画 項目 : C)

(ア) 計測データの確認および評価 (実施項目 : C-2)

- 実証試験場所において 18 ヶ月間の長期計測を実施し、リファレンスセンサで得られた環境状況および計測柵の挙動と、計測柵に設置されたセンサの出力を比較した。(平成 28 年度～平成 30 年度)
- 実際の土塊・岩石等の災害は発生しなかったが、岩石を模擬した土嚢では、設定された判定値により良好な結果が得られた。(平成 30 年度)

(イ) 木高研敷地内の野外斜面での屋外衝撃試験 (実施項目 : C-3)

- 平成 28 年度の屋内衝撃試験で得られた危険予測値が実装試験で使用可能か検討するため、野外斜面に設置した計測柵で衝撃試験を実施した。(平成 29 年度)
- 屋外衝撃試験データを基に計測範囲の設定を再評価し、実証試験場所における計測システムに反映した。(平成 29 年度)

④ 雪崩の予防柵による強度計測と破壊検知評価 (2. (1) 全体計画 項目 : D)

(ア) 計測データの検証および評価 (実施項目 : D-2)

- 実証試験場所にて冬季 2 回の計測(積雪期間が計測対象)を実施し、リファレンスセンサで得られた環境状況および計測柵の挙動と測定データを比較した。(平成 28 年度～平成 29 年度)
- レファレンスセンサで得られた環境状況に対応した計測柵の挙動状況を測定した。(平成 28 年度～平成 29 年度)

(イ) 実証試験場所での積雪状況確認 (実施項目 : D-3)

- 降雪状況において、計測柵への積雪深および計測時の影響を確認するため、積雪深をレーザ変位計により計測可能にした。(平成 29 年度)
- 近隣の気象データとほぼ同じぐらいの積雪深を観測できたが、センサが検出する積載量ではなかった。(平成 30 年度)

⑤ 実証試験場所における災害対応の確認 (2. (1) 全体計画 項目 : E)

(ア) センサ異常検出時の初動対応に運用可能なシステム構築 (実施項目 : E-1)

- 現在、応用地質株式会社が行政に提供しているクラウド型災害支援システム

「ServiBers」に連携させ、異常を検知した場合には直ちに本システム上で状況確認と災害初動対策を可能にするシステムを構築した。（平成 29 年度）

- 実証試験場所において、センサ出力の異常を検出し、関係機関と連携できるシステムの初動対応確認試験を実施した。（平成 30 年度）

⑥ 実証試験機材の撤収と原状復帰（2.（1）全体計画 項目：F）

（ア）撤収作業（実施項目：F-1）

- 実証試験場所に敷設した計測柵および計測システム等を撤収し、原状復帰を完了した。（平成 30 年度）

## 2. 実装活動の計画と内容

### （1）全体計画

年度 項目	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度
A:土砂崩れ・土石流発生検知の基本性能試験	A-1:センサ調達・柵設計 A-2:センサユニット組立と試験地選定	A-3:基本特性試験（屋内試験）	A-4:屋外実証試験機材設置	
B:システム構築と土砂崩れ・土石流発生検知評価		B-1:センサ敷設 B-2:システム性能確認	B-3:耐久性評価試験 B-4:屋外実証試験（載荷試験）	平成 30 年 7 月末まで延長計測を実施（撤収時まで計測） C-2 も同様に継続
C:土塊・岩石の落下に関する検知評価		C-1:センサ敷設	C-2:計測データの確認・評価 C-3:屋外実証試験（衝撃試験）	
D:雪崩の予防柵による強度測定と破壊検知評価		D-1:センサ敷設	D-2:計測データの確認・評価（冬季計測） D-3:実証試験積雪確認	1年目に問題が無かったため、18ヵ月間の計測とした
E:実証試験場所における災害対応の確認			E-1:異常検出時の初動対応の確認	
F:実証試験機材の撤収と原状復帰				F-1:撤収作業

## (2) 各年度の実装活動の具体的内容

### (2) - 1 平成 27 年度実施活動

#### ① 年度目標

平成 27 年度実施目標を以下の通り定め、実施し、概ね目標どおりの成果を得ることができた。

- 土砂崩れ・土石流発生検知のためのセンサユニットに関する最適化を行い、次年度以降に利用するセンサを製作する (A-1)
- センサユニットを組み込む木製の柵を設計する (A-1)
- 木製の柵とセンサフォルダを試作し、基本特性を把握する (A-2)
- 実証試験の候補地を選定し、実施可能な環境に合致した場所を複数地点選定する (A-2)

#### ② 簡易振動センサユニットの製作 (実施項目 : A-1)

簡易振動センサユニットは、 piezo素子の変形による電圧出力から振動を計測する安価な簡易振動センサと電圧出力の大きさを検知する簡易判定ユニットを組み合わせるものである (図-1)。簡易振動センサは周波数や振幅に比例した出力が得られ (図-2)、計測電源が無い場所においても自ら発電した出力により衝撃や振動を捉えることができるため、本システムに適した運用が可能と考える。本振動センサは、橋梁などの微小な振動波形を計測するために開発したが、本実装活動においては落石や雪崩等の衝撃振動を捉える事ができると予測した。そこで、振動の大きさを簡易的に検知できるように振動簡易判定ユニットを改良・調整し、簡易振動センサと組み合わせる事で簡易振動センサユニットとした。また、遠隔への通報システムの対応のため、判定ユニットで認識した出力を外部のシステムへ接続できるように工夫し、初年度の目標を達成した。



図-1 簡易振動センサユニット

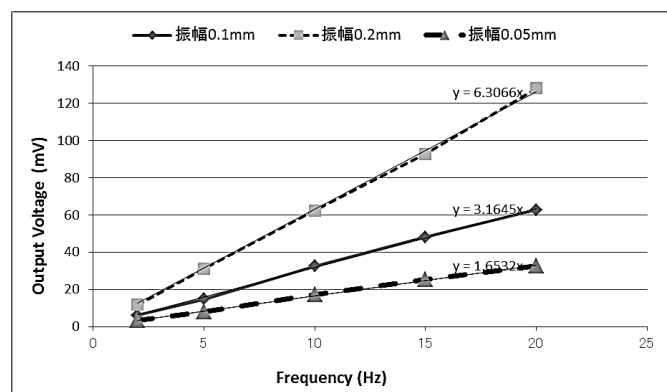


図-2 簡易振動センサの出力特性



### ③ 変位センサユニットの製作 (実施項目 : A-1)

変位センサユニットは、図-3 に示す通り、無電源で計測可能なリミット型変位センサと前項と同様の簡易判定ユニットを組み合わせたものである。リミット型変位センサは、ガラス管とピエゾ素子を組合せた構造であり、安価に製作可能で、簡易的に変位や静的荷重を捉えることが可能である(図-3)。本センサは、構造物の劣化等による変形や破損で生じた変位(静的荷重)を検知することで、大きな損傷を未然に防ぐ危険予知を目的として開発した検出センサである。金属製の保護管内にガラス管が挿入された構造で、通常(健全時)で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発生しないが、変位や静的荷重が発生した場合、ガラス管に負荷された荷重によってガラス管が割れ、その衝撃および金具の変形により、ピエゾ素子から電圧が出力される。以前より実施しているリミット型変位センサを用いた煉瓦構造物の破壊試験では、煉瓦の破壊と荷重に相関した出力が得られていることが判明している。本実装活動では柵の荷重検知のために本センサを活用して計測することで、年度の目標を達成した。



図-3 変位センサユニット

### ④ センサフォルダの設計製作 (実施項目 : A-2)

落石の衝撃や雪崩の可能性がある積雪荷重を図-4 に示す木製の柵で受け、その衝撃や荷重をセンサに伝達するための取り付け金具(センサフォルダ)の設計・製作を実施した(図-5)。

センサフォルダは、木製の柵の支柱と柵部の接合部に配置し、木製の柵前面部に掛かる荷重を支柱が受ける際に発生する変形やたわみを検出する構造としている。センサフォルダは、間伐材の丸太(約φ20cm)にボルト等で固定し、現地でも簡単に取り付けや組立加工が可能なものとし、今年度の目標を達成した。

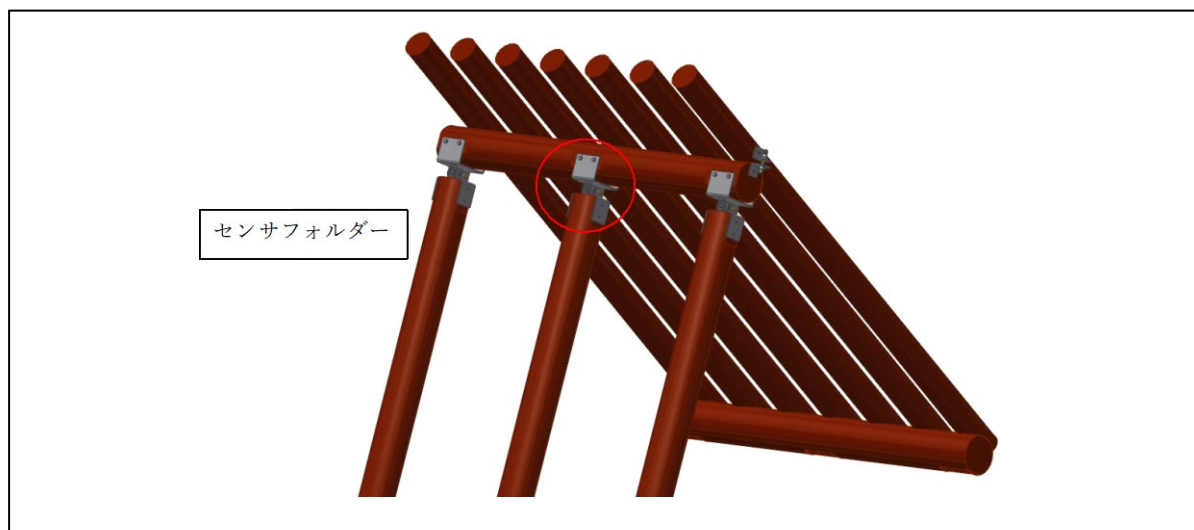


図-4 木製の柵 イメージ図

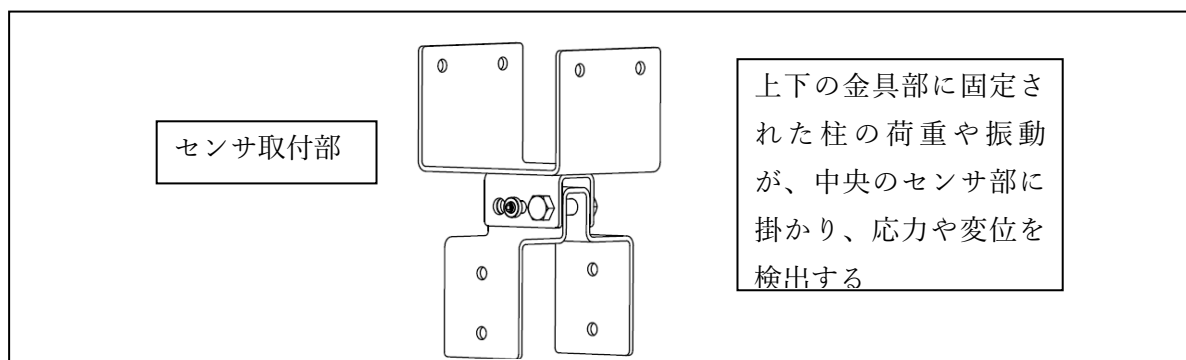


図-5 センサフォルダの構造

⑤ 間伐材を用いた計測柵の設計製作 (実施項目 : A-2)

間伐材のサイズに適した木材を使用し、雪崩予防柵や一般の木製の柵のモデルを参考にして計測柵を設計し、試験用に3体を製作した(図-4)。

落石や雪崩を検知する木製の柵は、モニタリング用センサの一部と考えており、一般的な防護柵のように許容耐荷重が大きく重厚で変形を防止した構造ではなく、ある程度の荷重に対して対応が可能で、その変形や振動を検出できる構造とした。そのため、斜面への設置においても大掛かりな基礎工事を実施しないで杭で固定する簡便な方式とし、柵の自重とある程度の荷重に対応可能な構造としている。構造的には、積雪荷重や落石等の検知を対象とするため現況の雪崩予防柵の構造をベースに設計・製作を進め、支柱にセンサフォルダを取り付けた計測柵として完成させ、初年度の目標を達成した。

⑥ センサフォルダの基本特性試験 (実施項目 : A-2)

センサフォルダの基本試験として、製作したセンサフォルダに変位センサユニットを組み込み、屋内で荷重試験を実施した。この試験で、センサフォルダの強度やリミット型変位センサの基本出力の特性を確認した(図-6)。

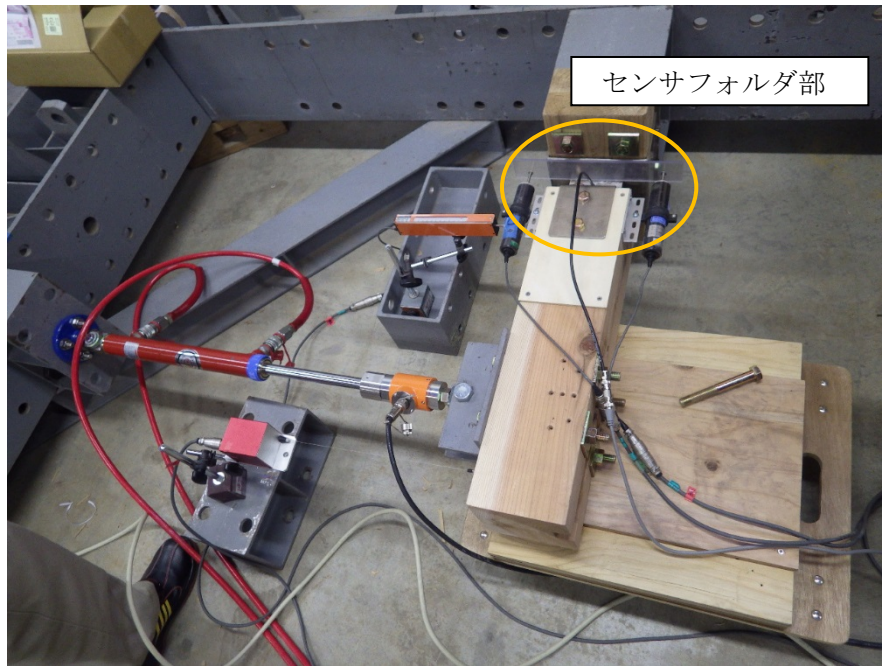


図-6 基礎試験実施状況

試験結果を図-7に示す。試験の結果、荷重の増加と共に接合部に変形が発生し、ある荷重および変位においてリミット型変位センサが反応し、センサ出力が発生したことを確認した。リミット型変位センサの出力は荷重と共に2度発生している所が見られており、金属製の保護管の弾性範囲内で変形した時点と、降伏点で大きく変形した点で出力が得られることを確認している。

このような出力値を閾値として検出することにより、計測柵の変形の程度を判断することが可能と判断し、初年度の目標を達成した。

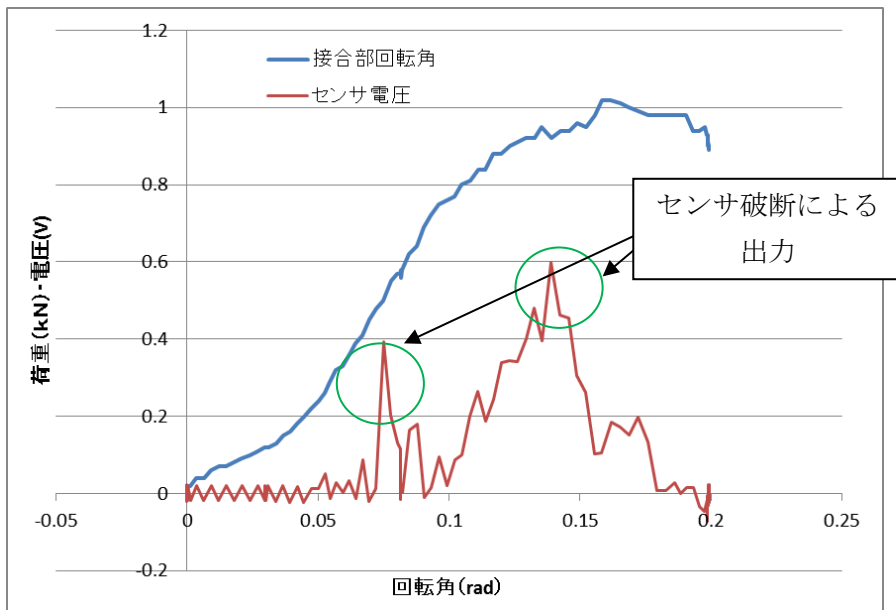


図-7 リミット型変位センサ出力結果

## ⑦ 実証試験場所の予備調査と候補地選定（実施項目：A-2）

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、土石流検知、落石検知と雪崩検知の実証試験場所候補地を選定した。選定においては秋田県内の急傾斜地危険箇所と土石流危険渓流、雪崩発生指定地域より、立地や試験環境の観点から 19 箇所を抽出し、現地予備調査を実施した。予備調査にあたっては、以下の選定条件の確認および冬季の積雪状況を現地で調査した。

### 【選定条件】

#### ① 地理、地形

地盤状況：岩盤以外、杭等が打ち込める地盤

植生の状況：大木や竹林等が無く造成が容易

#### ② 管理、環境

携帯電波の状況（遠隔監視システムの導入として）：

現地にて遠隔通報に用いる NTT ドコモの携帯回線が使用可能

冬季の積雪（雪崩検知箇所において）：50cm 以上

付近への入山者の程度：一般住民の往来が少ない所（登山道でない）

#### ③ 交通条件

運搬道からの距離：資材搬入において車で近接（50m 以内）可能

上記選定条件および現地調査に基づき評価し、実証試験の実施箇所候補地を 4 地点に絞り込んだ。次年度に実証試験地の確定に向け、秋田県農林水産部および建設部の県担当部署の協力を得て地権者との協議を実施する。

なお現地調査による評価において、土石流危険渓流は沢からの流れ込み地形で平坦であり、現状では地盤の変状等の発生の可能性が極めて低いと思われるため、急傾斜地と雪崩発生地域で総合的に判断したものとなっている。

## （2）－2 平成 28 年度実施活動

### ① 年度目標

平成 28 年度実施目標を以下の通り定め、実施し、目標どおりの成果を得ることができた。

- 基本特性試験（屋内試験）によって検知能力、有効性を確認する（A-3）
- 前年度に絞り込んだ候補地から、用地交渉等を行い、実施できる試験地 2 箇所を選定する（A-2）
- 遠隔監視機能等を設計し、試験計測のための観測システムを構築し、運用開始する（B-2）
- 実証試験場所に計測柵や観測装置を設置し、観測を開始する（B-1、C-1、D-1）
- 長期試験を実施する（B-3、C-2、D-2）

### ② 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（実施項目：A-3）

木高研内で屋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出力荷重の関係の確

認をした。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）方向での载荷方法を用いて、試験用計測柵と架台を用いて試験を実施した(図-8)。

固定した試験用計測柵を、油圧ジャッキで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ように配置し、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部に装着し、応力や変位を検出した。以下に屋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(荷力試験による载荷荷重とリミット型変位センサの出力の関係を図-9 に、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を図-10 に示す)。



図-8 荷力試験状況

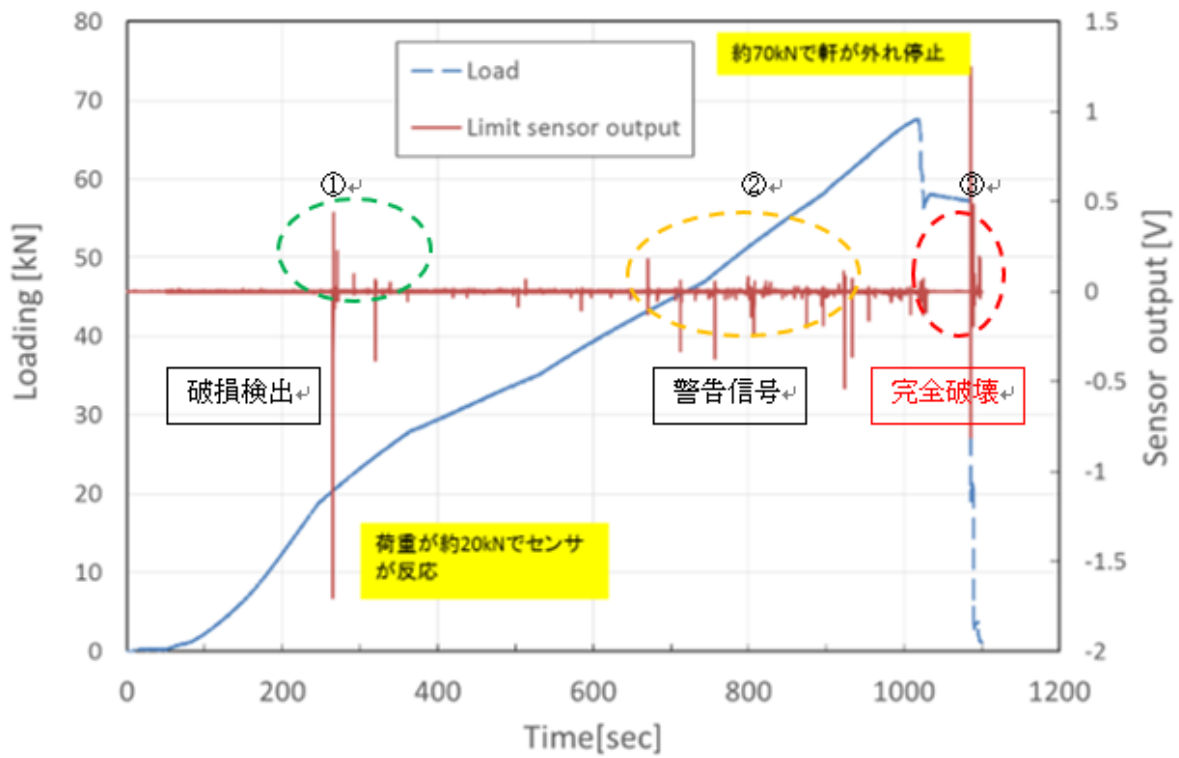


図-9 荷力試験による載荷荷重とリミット型変位センサの出力の関係

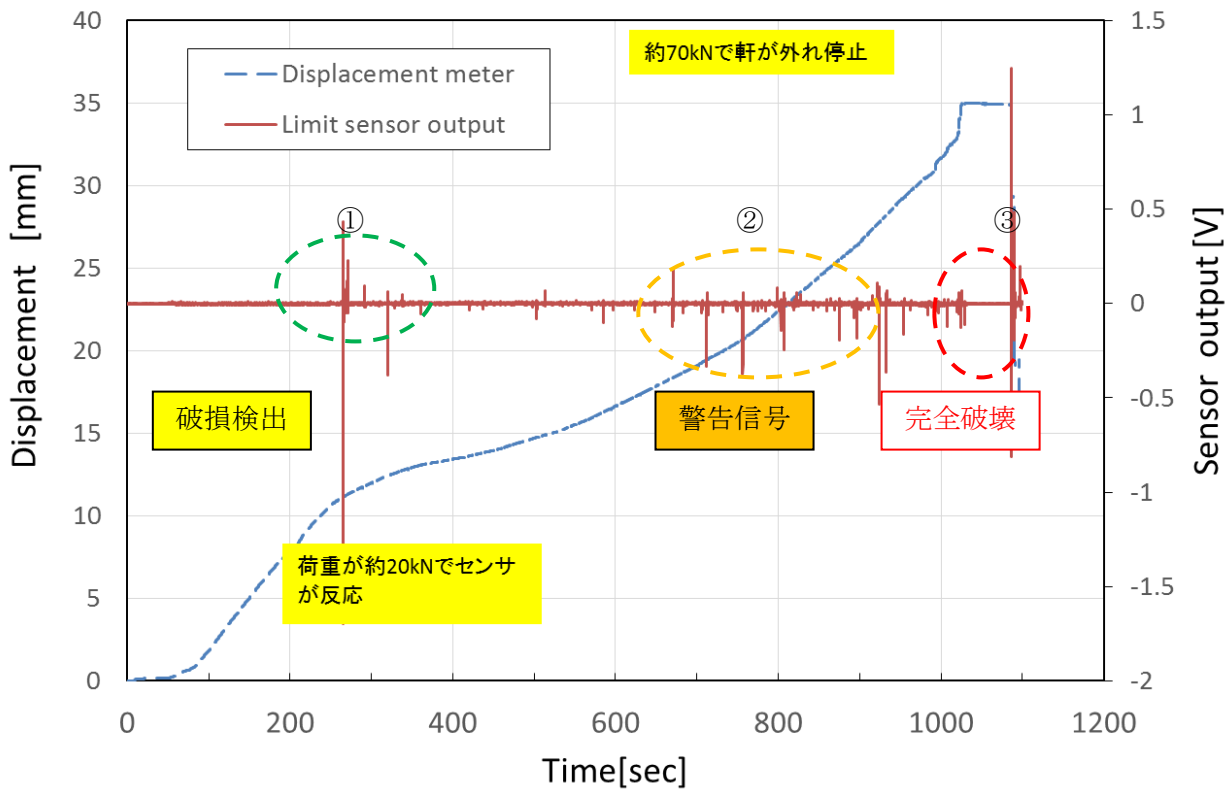


図-10 荷力試験による中央部垂木の変位量とリミット型変位センサの出力の関係

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は、約 10~15mm 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。しかし変位や静的荷重が設定以上に発生した場合は、ガラス管に負荷され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る出力がされる。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。本試験では、計測柵のセッティングの関係により多少は反応する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。また判定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ことから、現状の設定値（約 600mV）で妥当であることを確認した。

### ③ 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（実施項目：A-3）

落石や土石流等の検知の基本特性を評価するため、木高研の屋内にて落下衝撃試験を実施した。静的載荷試験と同様に固定した試験用計測柵の上方から、落石を想定した重量の錘を柵の検出面に衝突させ、接合部等の衝撃振動を加速度計および簡易振動センサで計測し、両センサの特性を比較した（図-11）。落下衝撃試験は、落下質量および落下高さを変えた状態で複数回実施した。

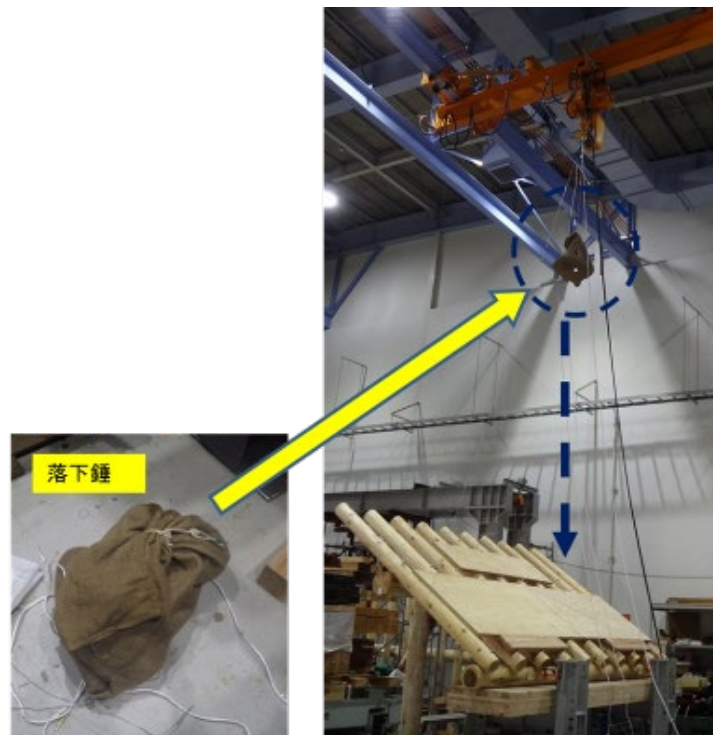


図-11 落下衝撃試験状況

落下衝撃試験の結果を図-12に示す。落下エネルギーと加速度計およびセンサ出力は、ほぼ比例関係であった。このため、この計測柵において落石等の衝撃振動を簡易振動センサによって検知することが可能と考えられる。

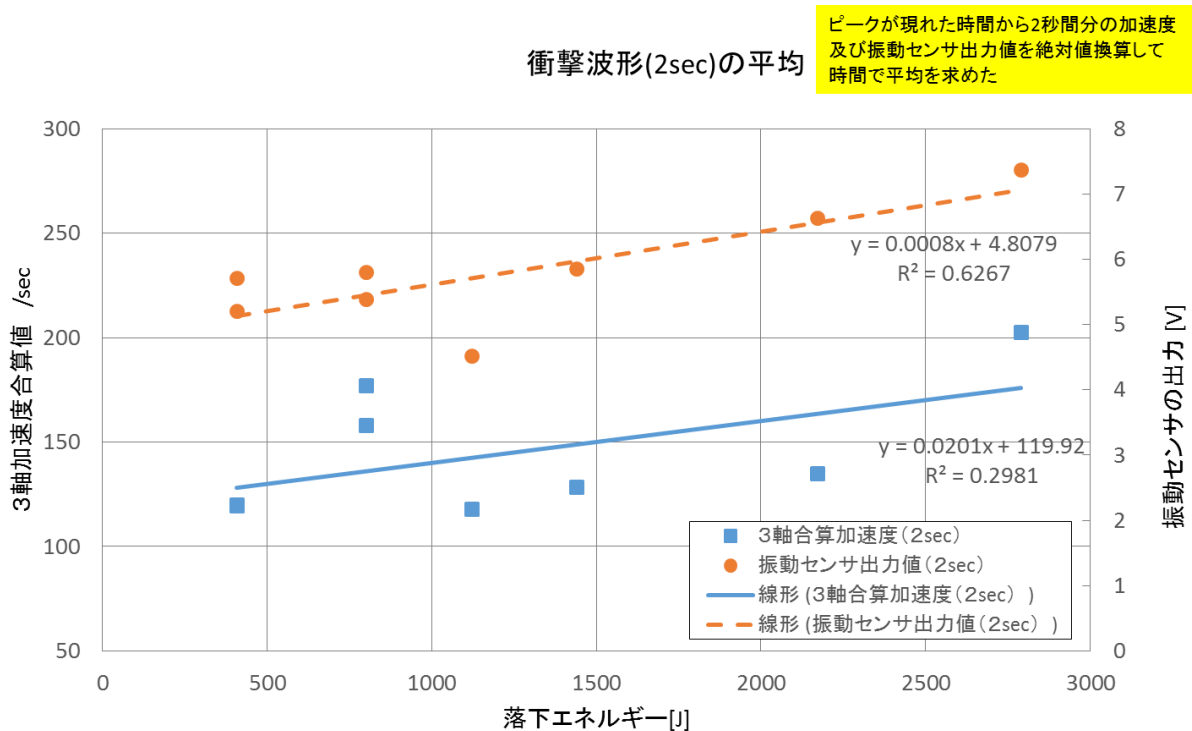


図-12 落下の衝撃振動と落下エネルギーとの相関関係

④ 実証試験場所の確定 (実施項目 : A-2)

前年度は、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行い、19箇所候補地の中より4箇所の実証試験候補地を選定した。

当該年度は、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、前年度に選定した4箇所の実証試験候補地の中からの2箇所の実証試験場所を確定した。確定した実証試験場所は秋田県能代市二ツ井町の急傾斜地の1箇所 (No.5 地点) と雪崩発生地域の1箇所 (No.19 地点) である (図-13)。なお計測柵は、斜面の傾斜状況および谷地形等を考慮し、敷設および試験が可能な位置に配置するものとした。





図-13 実証試験場所（左：No.5地点、右：No.19地点）

#### ⑤ 計測システムの構築（実施項目：B-2）

今回構築した計測システム（図-14）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、判定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できる。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、クラウドサーバにはWebブラウザ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。

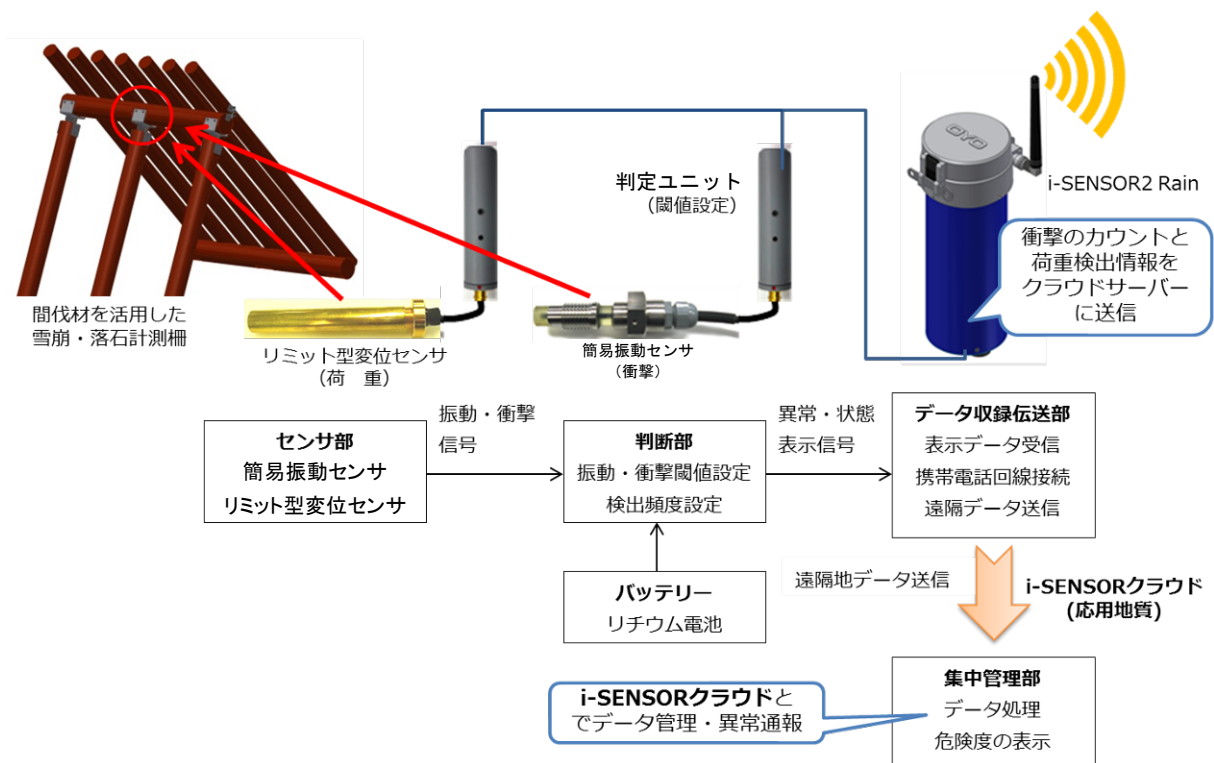


図-14 計測システム構成図

⑥ 実証試験場所への計測システムの敷設 (実施項目 : B-1、C-1、D-1)

確定した 2 箇所の実証試験場所にて、図-15 に示す計測柵および計測システムの設置を行い、概ね 1 年間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ようにして固定し、設置した (図-16)。

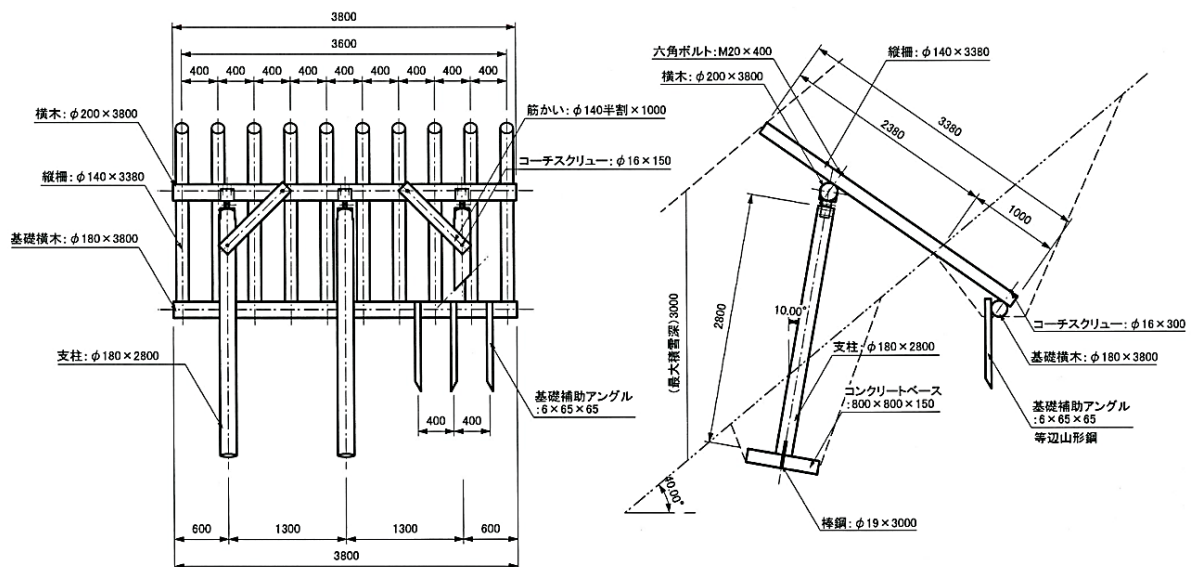


図-15 計測柵設置図

計測システムは、中央部のセンサフォルダにリミット型変位センサおよび簡易振動センサを取り付け、その支柱判定ユニットおよびデータ収録伝送装置を図-17 で示すように固定した。



図-16 No.5地点 実証試験地システム敷設後状況



図-17 計測システム設置状況(判定ユニット)

⑦ リファレンスセンサの設置 (実施項目 : B-1、C-1、D-1)

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に傾斜計を計測柵の梁端部に取り付け（図-18）、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、雨量計と温湿度計を設置した（図-19）。傾斜計は2箇所の計測柵にそれぞれ取付け、雨量計と温湿度計は山間部で気象環境の変化が予想される No.19 地点に設置した。

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-18 リファレンス用傾斜計

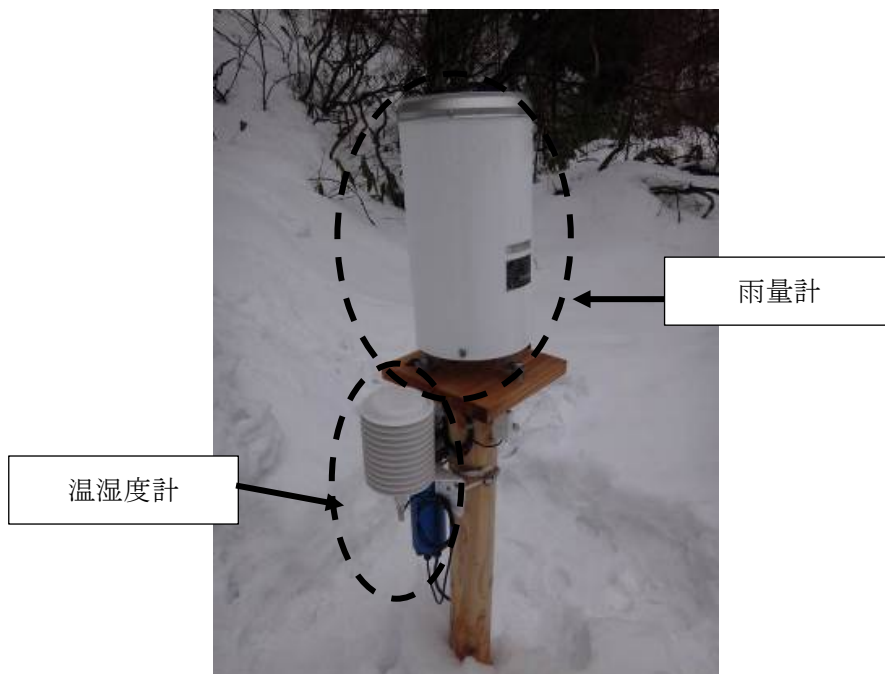


図-19 リファレンス用の雨量計と温湿度計

⑧ 計測システムの運用状況の確認 (実施項目：B-2)

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にて管理を実施した。

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期間があったが評価に影響が出る期間ではなかった。

⑨ 実証試験場所の定期確認 (実施項目：B-3)

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た。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ないことを確認した。

## (2) - 3 平成 29 年度実施活動

### ① 年度目標

平成 29 年度実施目標を以下の通り定め、実施し、目標どおりの成果を得ることができた。

- 木高研敷地内にて屋外実証試験を実施するための機材設置、計測準備を行う (A-4)
- 木高研敷地内にて屋外実証試験を実施し、正常に検知できることを確認する (B-4、C-4)
- 長期試験を実施し、耐久性、データの妥当性を確認する (B-3、C-2、D-2)

### ② 木高研敷地内の野外斜面に実証試験用の計測柵および計測システムの構築 (実施項目 : A-4)

土石流、落石、雪崩の状況を人為的に発生させて実証評価を行うため、木高研敷地内の野外斜面に計測柵を設置した。設置場所の概況ならびに計測柵の設置状況を図-20に示す。計測柵は、平成28年度実施の屋内評価試験に使用した同様の柵を使用し、実証試験場所に設置している計測柵を再現した。



図-20 木高研敷地内に設置した計測柵

### ③ 木高研敷地内の野外斜面での計測柵の荷重による実証試験 (実施項目 : B-4)

検証のために、研究所敷地内の野外斜面に設置した計測柵で荷重試験を実施した。平成 28 年度実施の屋内評価試験で得られた荷重および変位データより検討した危険予測の設定値に関する検知範囲の設定の妥当性を検証した。

荷重試験は、重さ 500kg の砂袋 (内 1 個は 1000kg) 複数個をクレーンで計測柵の上に荷重する方法で積雪荷重を模擬した (図-21)。屋内評価試験と同様に柵の変状を計測するため、変位計を各接合部分および梁等の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センサフォルダ部に装着した。荷重量およびリミット型変位センサの出力値の荷重試験結果を図-22に示す。



図-21 50kN载荷の計測柵上面

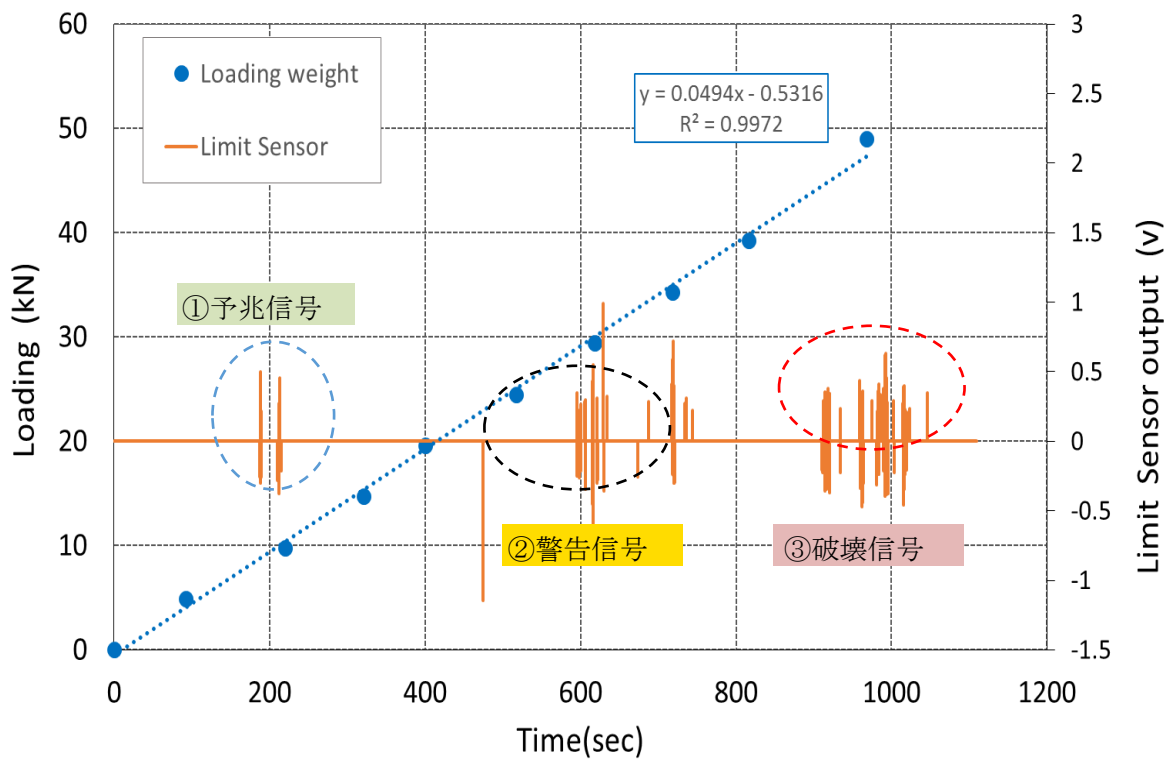


図-22 加力とリミット型変位センサの出力関係

試験結果より、リミット型変位センサは载荷量の増加に伴い電圧による出力回数が増加し、10kN 付近で初動信号を検出した。リミット型変位センサの構造は、ピエゾ素子をガラス管に固着し、さらに金属製の保護管内に挿入している。この構造上、設定以下の加力ではセンサ出力はされず、変位や静的荷重が発生した場合にガラスが割れ、センサ出力が認められる。

構造上の特性から、初動信号は中央支柱の接合部に設定以上の変位が発生した場合に予兆信号

(図-22 ①)と判断できる。また、30kN 付近 (②警報信号) と 40kN を超えた段階 (③破壊信号) でセンサの出力の度数が急増しており、計測柵に大きな変異や変形が生じたことを示していると考えられる。

#### ④ 木高研敷地内の野外斜面での計測柵の衝撃による実証試験 (実施項目 : C-3)

研究所敷地内の野外斜面に設置した計測柵で模擬的な落石状況を実施させ、平成 28 年度に実施した屋内評価試験で得られた衝撃振動データの算定した値が、検知範囲の設定値と同様であるかを検証した。

衝撃試験の実施方法を図-23 に示す。木高研敷地内の野外斜面に設置した計測柵に、落石を模擬した球体を衝突させ、その衝撃を観測した。球体の衝突位置がそのつど変わらないようにガイド管を斜面に設置し、その内部に球体を滑らせるよう工夫した。図-24 に示すように、球体の重量は 6kg、11kg、31kg の全 3 種類を作製した。このうち 31kg の鉄球は、直径 30cm 程度の落石を想定した落下物である。衝撃試験に際しては、簡易振動センサの他にリファレンス用として 3 軸加速度計を計測柵に取り付け、簡易振動センサからの出力と加速度計の値を比較検討した。

衝撃試験は、6kg、11kg、31kg の球体を使用して各々 5 回ずつ実施した。各実験における加速度 (x, y, z 軸の 3 軸の合成) と簡易振動センサの出力値および球体の落下エネルギーの関係の比較した結果を図-25 に示す。

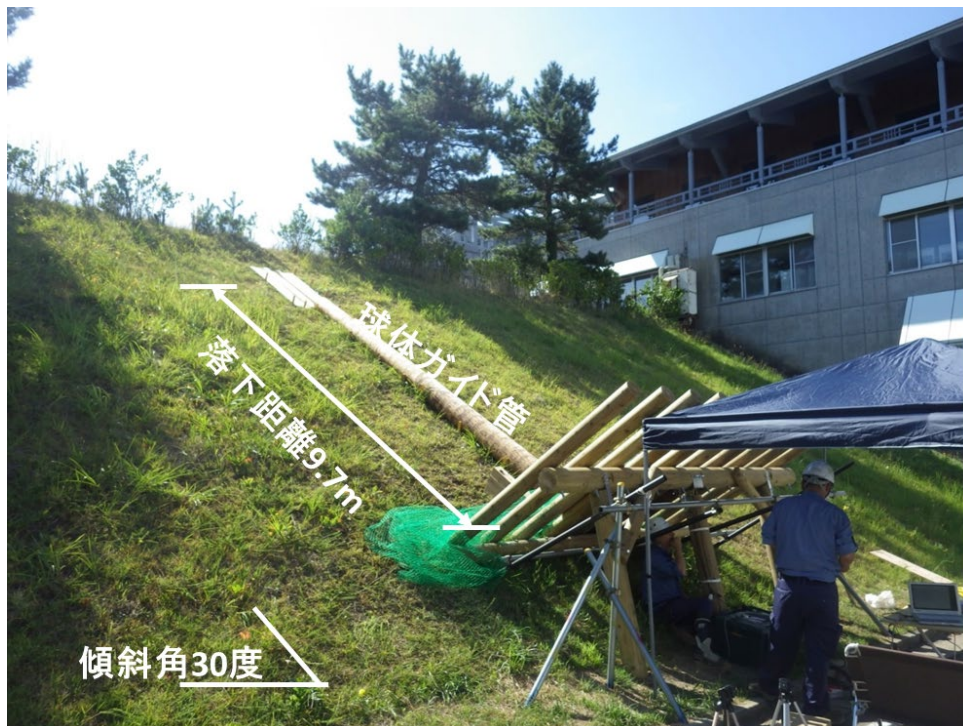


図-23 衝撃試験実施状況



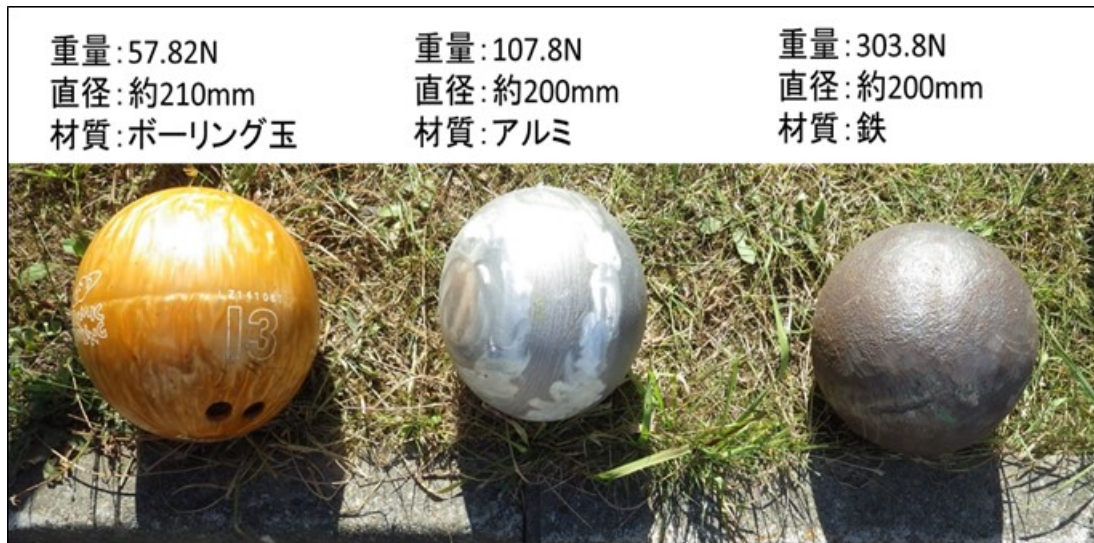


図-24 落石を模擬した試験用球体

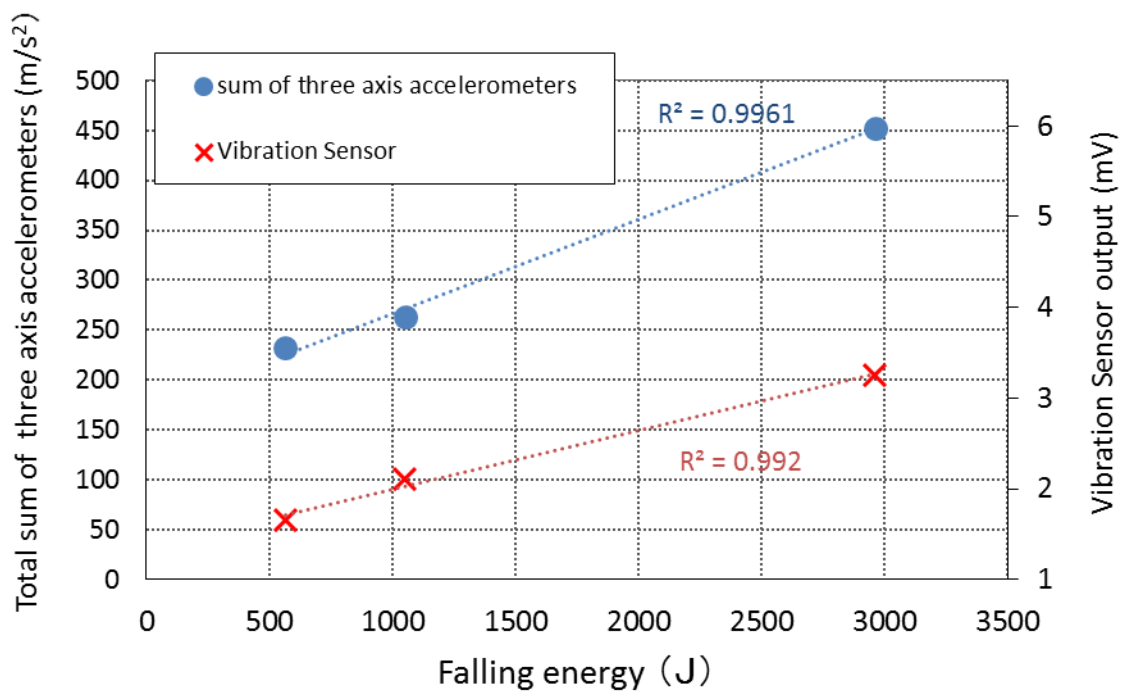


図-25 3方向加速度の和と簡易振動センサの出力和の比較 (平均値)

衝撃試験の結果、簡易振動センサ出力と落下エネルギーに予想していた正の相関関係が認められた。高性能の加速度計の値と比べても、簡易振動センサの計測性能は劣らないという結果が得られ、屋内評価試験の結果と同様に、簡易振動センサにより落石の危険度を識別・判定することが可能であることが検証できた。簡易振動センサを用いた簡易計測技術は、計測用電源を必要としない利便的で安価な計測装置であり、耐久性にも優れた実用的なセンサであるといえる。

⑤ 実証試験場所での積雪状況確認（能代市二ツ井）（実施項目：D-2）

実証試験場所の降雪状況において、計測柵への積雪深および計測柵への影響を確認した。評価の信頼性向上のために、積雪深を計測できるようにレーザ変位計の追加設置を実施した（図-26）。

降雪期間（2017年12月～2018年2月）の積雪データを図-27に示す。なお、レーザ変位計を測定している観測機器において、一部電源不足により停止していた期間があったが、評価に影響が出る期間ではなかった。

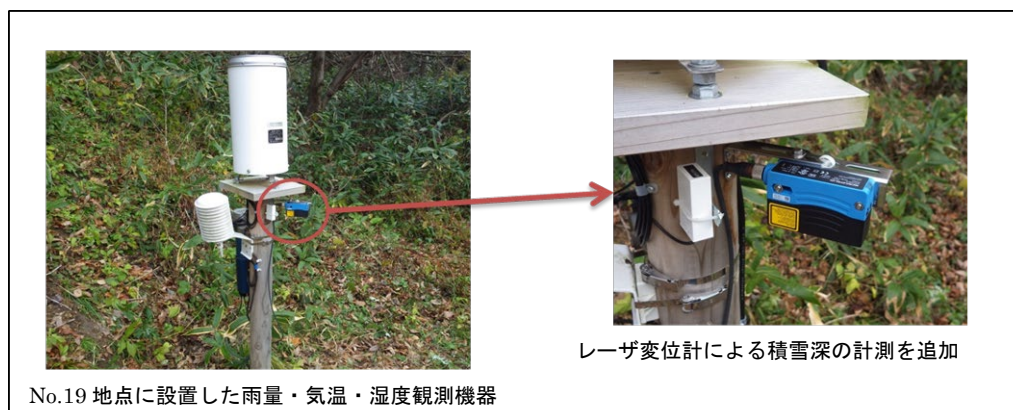


図-26 二ツ井に設置したレーザ変位計による積雪深計測

⑥ 野外における計測システムの長期計測の信頼性評価と耐久性の評価（実施項目：C-2）

計測システムがバッテリーで長期間（約1年間）の観測が可能であることを検証した。確認は隔週で実施し、現地にて状況確認作業を実施した。この結果、計測システムからの測定データが、遠隔地のクラウドサーバに送信され、安定した運用が可能であることを確認することができた。

また、野外に設置した状態における耐久性の評価を行った。計測柵および計測システムの簡易振動センサ、リミット型変位センサの腐食や破損などの耐久性の評価を行い、長期計測に関する耐久性については問題のないことを確認した。

⑦ 計測データの確認およびその機能評価（実施項目：B-3、C-2、D-2）

実証試験場所にて約1年間の継続した計測を行い、リファレンスセンサで得られた環境状況および計測柵の挙動と、測定データおよび検知結果との照合を実施した。No.19地点の冬季（2017年12月～2018年2月）のデータを図-27に示す。

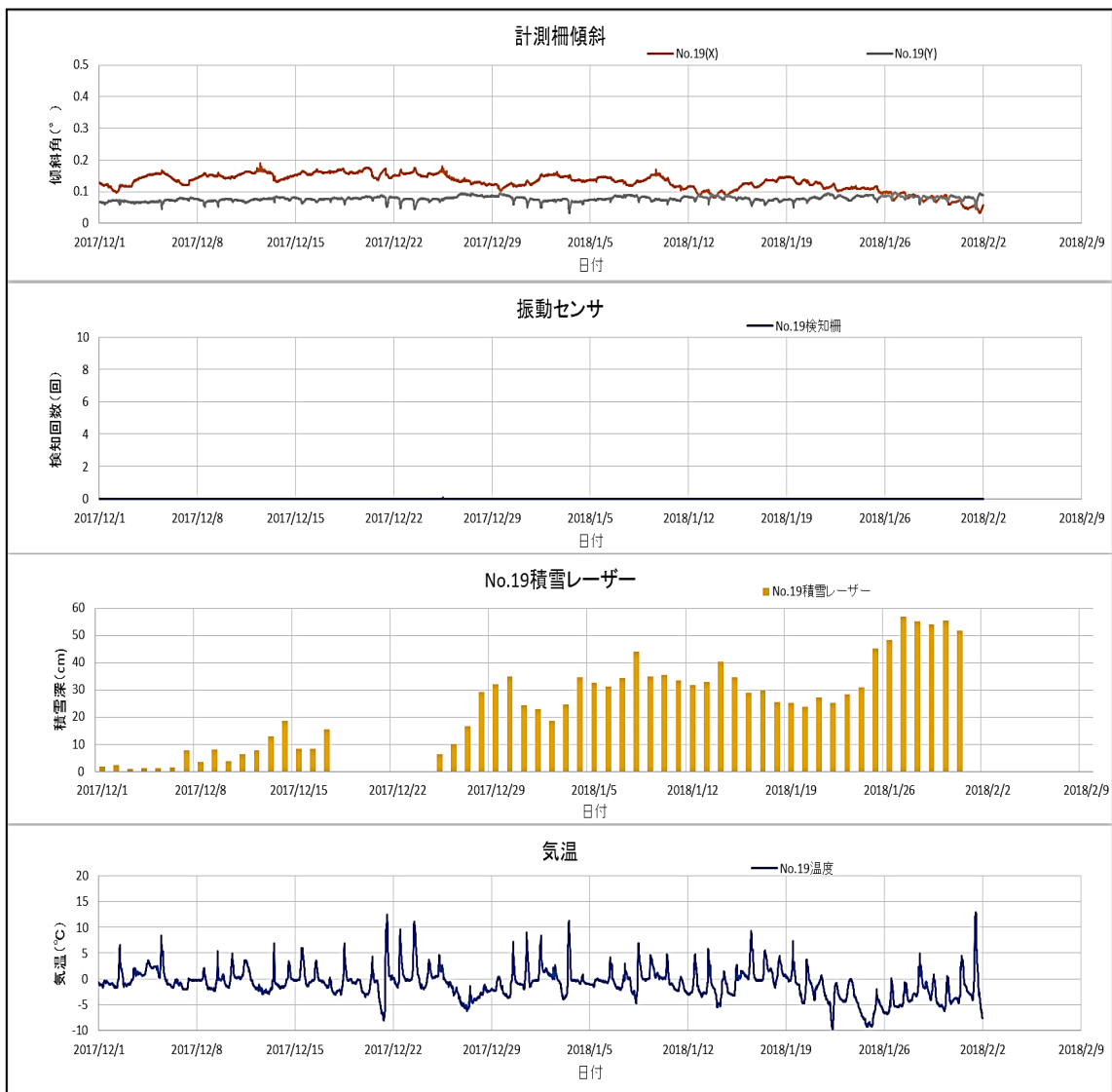


図-27 2017年12月1日～2018年2月1日までの観測結果

リファレンス用の傾斜計の値から確認した結果、積雪深が深まるに従い、計測柵の Y 軸方向（斜面下方向）に 0.1 度程度の変形が認められた。しかしながら、簡易振動センサの出力値からは、変形による危険状態を示す出力は確認されておらず、かつ、現地における計測柵の定期目視調査においても雪崩や落石の痕跡は認められなかった。このことから、斜面は安定した状態にある事が証明された。

⑧ 異常検出時の初動対応のシステム構築（実施項目：E-1）

計測システムは、平成 27 年度より応用地質株式会社が提供するクラウド型災害試験システム「ServiBers」と連携させている（図-28）。平成 29 年度は、異常通報を迅速に検知できるように計測システムに遠隔警報装置を追加した。これにより異常を検知した場合に直ちに災害支援システム上で状況が確認でき、災害初動対策が実施可能な計測システムである事を確認した。

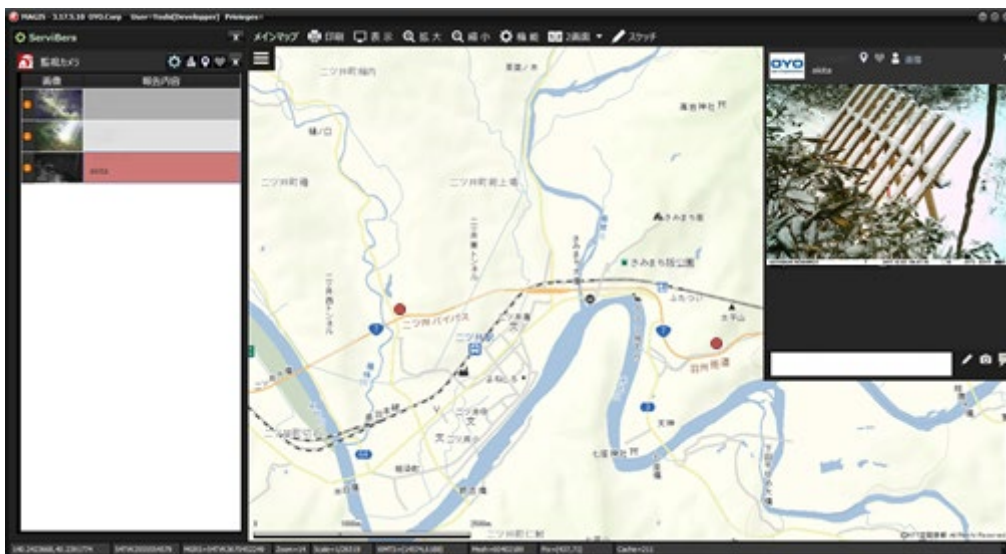


図-28 クラウドシステムの現況確認画面例

## (2) - 4 平成 30 年度実施活動

### ① 年度目標

平成 30 年度実施目標を以下に設定し実施した結果、概ね目標どおりの成果を得ることができた。

- 実施場所における長期試験を実施し、センサの耐久性と計測値の妥当性を確認する (B-3、C-2、D-2)
- 実施場所における計画された全ての試験を終了し、設置された機材等を撤去し、原状復帰する (F-1)

### ② 計測データの確認および性能評価 (実施項目 : B-3、C-2、D-2)

前年度に引き続き、実証試験場所にて継続した計測を実施し、リファレンスセンサで得られた環境状況および計測値の挙動と、測定データおよび検知結果との照合を実施した。前年度と同様に、簡易振動センサの出力値からは、変形による危険状態を示す出力は確認されておらず、かつ、現地における計測値の定期目視調査においても雪崩や落石の痕跡は認められなかったが、落石に見立てた土嚢袋(5kg)を用いて所定の出力を得られたので、良好な判断を実施することができた。

### ③ センサ異常検出時の初動対応のシステム (実施項目 : E-1)

No.19 地点の実証試験場所において、簡易振動センサのセンサ異常を検出し、関係機関と連携できるシステムの模擬初動対応確認試験を実施した (図-29)。

本試験では、計測値に土嚢袋 (5kg) を落下したことを監視者が目視で確認できるように、計測値から数百メートル離れた場所に現場管理本部を設置して検証した。

模擬落石発生から関係機関との連絡手段までの連絡フローを図-30 に示す。模擬した落石を投下後、1 分程度の時間で遠隔装置 (パトライト) の点滅を確認した。その後、災害支援システムを利用して関係機関に模擬連絡を実施し、円滑な初動対応を行うことができた。このことから、落石や雪崩等の災害初動対策が可能になるシステムを試験運用できたと考えられる。

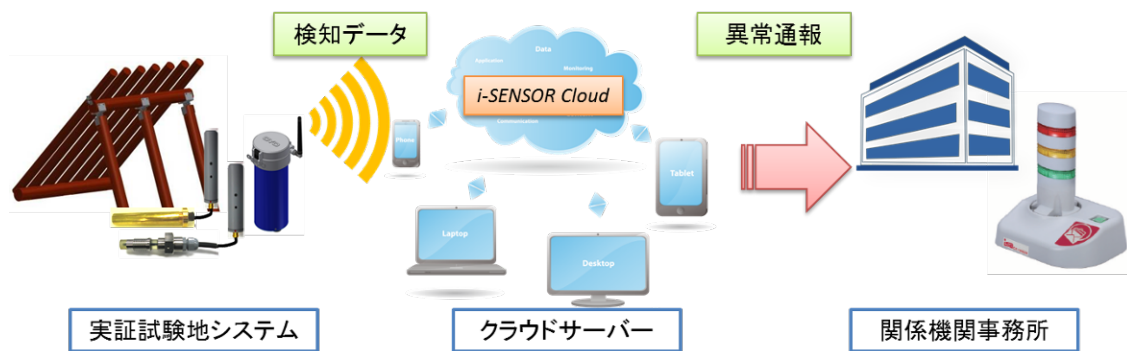


図-29 応用地質㈱が提供する災害支援システムとの連携確認状況

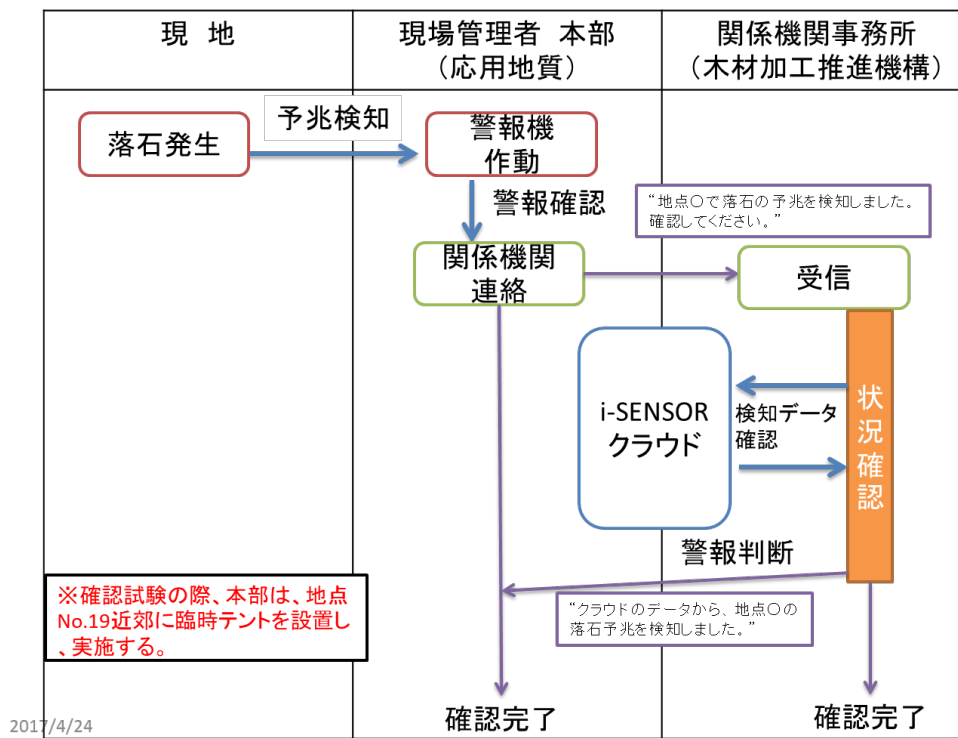


図-30 連絡フロー

④ 評価試験機材の撤収と原状復帰 (実施項目 : F-1)

実証試験場所にて設置した計測柵を撤去し、原状復帰を実施した。No.5 地点の撤去状況を図-31 に、No.19 地点の撤去状況を図-32 に示す。



図-31 No.5地点の計測柵撤去状況（左図：撤去前、右図：撤去後）



図-32 No.19地点の計測柵撤去状況（左図：撤去前、右図：撤去後）

### 3. 実装活動の成果

#### (1) 目標達成及び実装状況

【実装支援期間終了時の目標（到達点）】	【実装状況】
① 間伐材を用いた計測柵の基本性能評価	① 間伐材で作製した柵と簡易振動センサにより、計測柵を開発し、有効性を検証した。
② 計測柵による土砂災害の検知性能評価	② 実証試験により、落石や土石流の検知性能を把握し、有効性を確認した。
③ 計測柵による雪崩災害の検知性能評価	③ 実証試験により、雪崩の検知性能を把握し、有効性を確認した。
④ 予兆現象を検知した際の災害初動対策（ソフト対策）の確認	④ クラウドシステムを構築し、災害初動対応の確認を実施した。

#### (2) 実装支援期間終了後の実装の自立的継続性

来年以降も、国立研究開発法人 科学技術振興機構等のご支援をいただき、学協会や展示会等でアウトリーチ活動を実施し、本システムの実績を積み上げていきたい。

#### (3) 実装支援期間終了後の実装の他地域への普及可能性

実証試験の公開等により、秋田県仙北市が間伐材を活用した災害監視システムに興味を示している。現状、システム導入には至っていないが、地場のコーディネーターを通じて引き続き情報を共有していく。

#### (4) 実装活動の社会的副次成果

学協会等の発表した結果、多くの反響をいただき、間伐材に関する問題は全国の都道府県で共通する課題であった。本研究結果を災害対策等に活用しつつ、間伐材の有効活用と地場産業の活性化に貢献が期待されることを希望する。

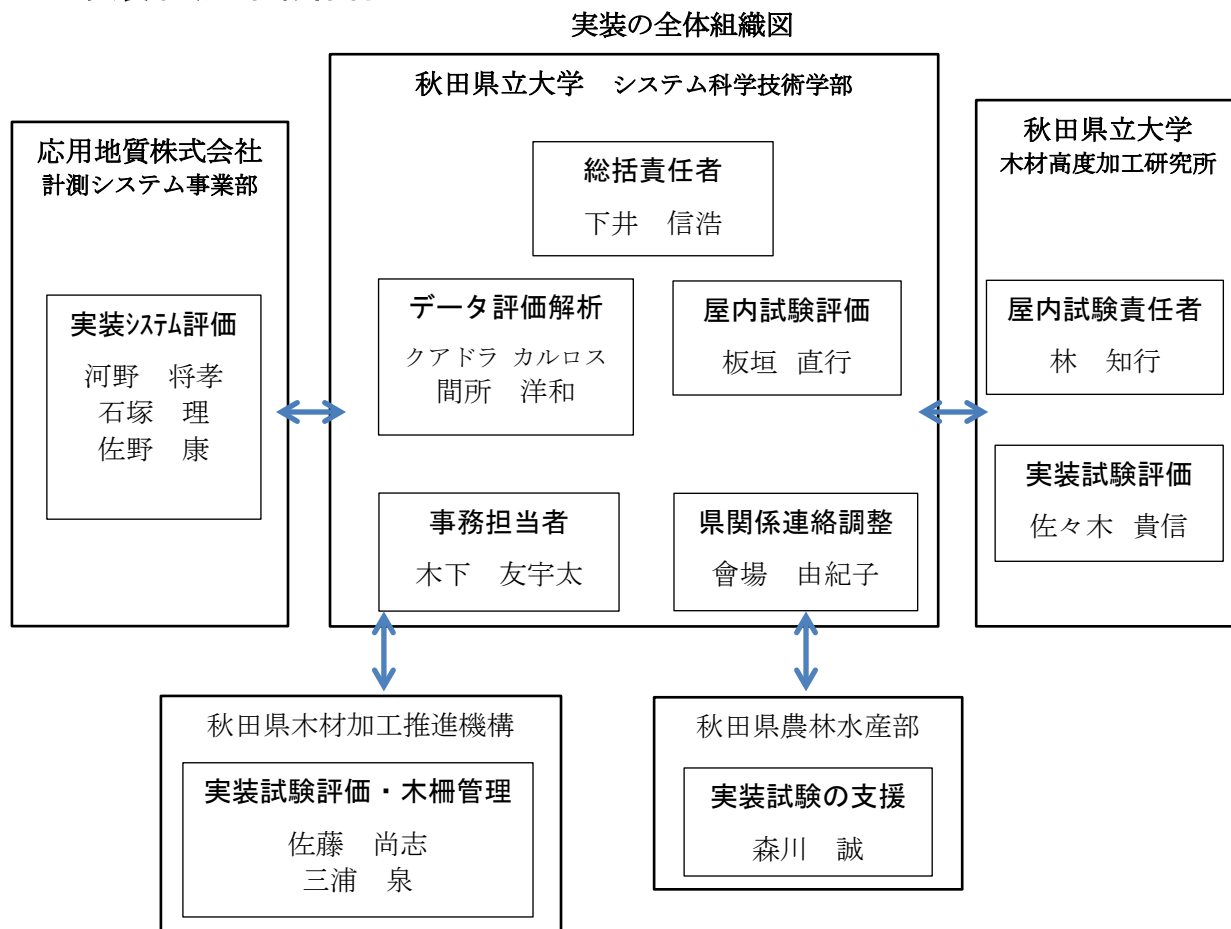
#### (5) 人材育成

間伐材に関する事業に関しては、林業全体で高齢化や就業者減少による人手不足が起こり、間伐が行われない森林や間伐をしても木材を運び出さない現況にあることが問題となっている。そのため、災害対策等の計測機器を付加することで、新たな産業を生むことや若い人材の育成ができることと期待されている。

#### (6) 実装活動で遭遇した問題とその解決策

雪崩や土砂災害が発生する危険度の高い谷地形において検知柵を設置する必要があるが、設置箇所の選定については、地質災害および減災に関する専門技術者の判定が必要である。誰もが設置運用できるモニタリングシステムではないことから、地場のコンサル企業等との連携が重要になると考える。

#### 4. 実装活動の組織体制



#### 5. 実装成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動等

##### (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 ～ H28.10.14	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

##### (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
H28.3.14	JST 実装試験の中間報告	JST 市ヶ谷本部	「間伐材を用いた土砂・雪崩災害警報システムの実装」について (計 15 名)	文部科学省	あり
H28.9.15	JST 実装試験現地視察説明等報告会	秋田県、木材高度加工研究所	「間伐材を用いた土砂・雪崩災害警報システムの実装」について (計 45 名)	文部科学省、秋田県地域振興課	あり
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	山の斜面に設置した警報システムの実装状況の公開 (計 15 名)	自治体、マスコミ	あり



H29.8.8 ～ H29.8.10	土砂・雪崩災害 警報システムの 野外実装試験	秋田県 木材高度加工研 究所	野外において、屋外載荷試 験および屋外衝撃試験によ る特性評価（希望1社）	一般企業	あり
H29.11.22	JST 実装試験現 地視察説明等報 告会	秋田県 木材高度加工研 究所	「間伐材を用いた土砂・雪 崩災害警報システムの実 装」について（計35名）	文部科学 省、 秋田県地域 振興課	あり
H30.6.29	土砂・雪崩災害 警報システムの 野外実装試験	秋田県能代市二 ツ井町小繁	山の斜面に設置した警報シ ステムの実装状況の公開 （計15名）	自治体、 マスコミ	あり

### (3) 書籍、DVD

なし

### (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/>
- ・ NHK 秋田放送局（2016.12.8）間伐材活用の土砂崩れ警報システムの実装状況  
<http://www3.nhk.or.jp/lnews/akita/6014891031.html?t=1481247392572>
- ・ ABS 秋田放送（2016.12.8）  
<http://www.akita-abs.co.jp/news/nnn/news86111057.html>
- ・ 「AI Lab Map 2018」で下井研究室の紹介情報を公開  
<http://ainow.ai/labmap2018/>（2018.4.23）、ディップ株式会社商品開発本部次世代事業準備室

### (5) 学会以外のシンポジウム等への招聘講演実施等

なし

### (6) 論文発表（国内誌 3 件・国際誌 2 件）

- ・ 下井信浩, CH.Cuadra, 佐々木拓哉, 間所洋和, 西條雅博, 「ピエゾ極限センサを用いた静的荷重試験による破壊前の測定比較」, 計測時動制御学会, 次世代センシング最前線特集号, Vol.51, No.10, pp696-705 (2015.8)
- ・ 下井信浩, クアドラ カルロス, 中正和久, 間所洋和, 「ピエゾセンサを用いた木造構造物の振動解析」, 超音波テクノ, 日本工業出版(株), Vol 29, No2. pp29-33 (2017.4.1)
- ・ Nobuhiro Shimoi, Kazuhisa Nakasho, Carlos Cuadra, Masahiro Saijo and Hirokazu Madokoro, “Avalanche and Falling Rock Measurement Using Piezoelectric Dynamics and Static Sensors”, American Journal of Remote Sensing issued by Science Publishing Group. Vol.5, Issue.2, pp10-15 (2017.7), doi:10.11648/j.ajrs.20170502.11
- ・ Nobuhiro Shimoi, Kazuhisa Nakasho, Carlos Cuadra, and Hirokazu Madokoro, “Landslide and Falling rock Measurement Using Piezoelectric Smart Sensors”, IJSEI Vol.7, Issue77, pp134-138, (2018.7), ISSN:2251-8843
- ・ 下井信浩, 中正和久, Carlos CUADRA, 間所洋和, 「ピエゾ極限センサを用いた雪崩発生計測柵の性能試験」, 日本機械学会論文集, Vol.84, No.866 (2018)

## (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 (国内会議  0  件、国際会議  0  件)

②口頭発表 (国内会議  2  件、国際会議  5  件)

- ・ Nobuhiro SHIMOI, Carlos CUADRA, IEEE, “Comparison of Vibration Analysis for a Bridge Using Accelerometers and a Piezoelectric Cable Sensor”, Multi-Conference on system and control (MSC), 978-1-4799-7786-4/15, IEEE. pp595-600, September21-23, Sydney, Australia (2015)
- ・ Nobuhiro SHIMOI, Carlos CUADRA, “ COMPARSION OF FREQUENCIES OF VIBRATION FOR A BRIDGE OBTAINED FROM MEASUREMENTS WITH ACCELEROMETERS AND PIEZOELECTRIC SENSORS”, The 13th International Workshop on Advanced Infrared Technology and Applications (AITA), Pisa, Italy, pp346-349, Sep.29-Oct.2 (2015)
- ・ 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): 「落石計測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 (2016.7.15)
- ・ Nobuhiro SHIMOI, Calros CUADRA, Kazuhisa NAKASHO, Hirokazu MADOKORO, “Active image processing for wooden traditional structure using IR cameras”, The 14th International Workshop on Advanced Infrared Technology and Applications (AITA), Canada Quebec, Sep.27-29 (2017)
- ・ Kazuhisa Nakasho, Carlos Cuadra, Hirokazu Madokoro, Nobuhiro Shimoi, “Infrared Thermography Applied for Robust Image Processing to Examine Historical Wooden Buildings”, The 14th International Workshop on Advanced Infrared Technology and Applications (AITA), Kanada, Quebec, Sep.27-29 (2017)
- ・ Hirokazu Madokoro, Kazuhito Sato, Kazuhisa Nakasho and Nobuhiro Shimoi, “Adaptive Learning Based Driving Episode Description on Category Maps”, 2017 International Joint Conference on Neural Networks, May 14-19, 2017 Anchorage, Alaska (2017)
- ・ 下井信浩, 中正和久, 間所洋和, Carlos Cuadra, 「間伐材を用いた雪崩計測柵の性能試験」, 第 35 回センシングフォーラム, 山口大学 (2018.8.30-31)

③ポスター発表 (国内会議  2  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 (H28.7.16-17)
- ・ 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 (H29.7.17)

## (8) 新聞報道・投稿、受賞等

①新聞報道・投稿 ( 9  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」)
- ・ 北羽新報 (H30.6.30, 「秋田杉間伐材で災害警報システム 土砂・雪崩の危険察知」)
- ・ 秋田魁新報 (H30.6.30, 「土砂崩れや雪崩察知 県立大 システム実用化へ試験」)
- ・ 読売新聞 (H30.7.18, 「土砂災害 柵で前兆検知 落石にセンサー反応」)

②TV放映（  8  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」）
- ・秋田テレビ（2018.6.29、AKT プライムニュースあきた、装置開発の経緯・実験内容・展望など）
- ・秋田朝日放送（2018.6.29 18:34-18:35）、スーパーJ チャンネル トレタテ！「土砂・雪崩災害警報システムの実装」）

③雑誌掲載（  2  件）

- ・「ピエゾセンサを用いた木造建造物の振動解析」, 下井 信浩, クアドラ カルロス, 中正 和久, 間所 洋和, 超音波テクノ, Vol 29, No2. pp29-33 (2017.4.1)
- ・「ピエゾセンサによる落石・がけ崩れ計測技術」, 下井 信浩, クアドラ カルロス, 間所 洋和, 超音波テクノ, 2018年12月号掲載決定 (2018)

④受賞（  0  件）

**（9）知財出願**

なし

**（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>

- ・土砂・雪崩警報システムの導入（仙北市玉川エリア）
- ・地域の林業組合会員企業の活用（施行関連）
- ・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）

## 6. 結び

### (1) 達成度及び得られた意義等の自己評価

#### ① 間伐材を用いた計測柵の基本性能評価

間伐材で作製した柵と簡易振動センサの開発により計測システムを開発し、その有効性を実証試験場所の秋田県能代市二ツ井の山中で検証することができた。

#### ② 計測柵による土砂災害の検知性能評価

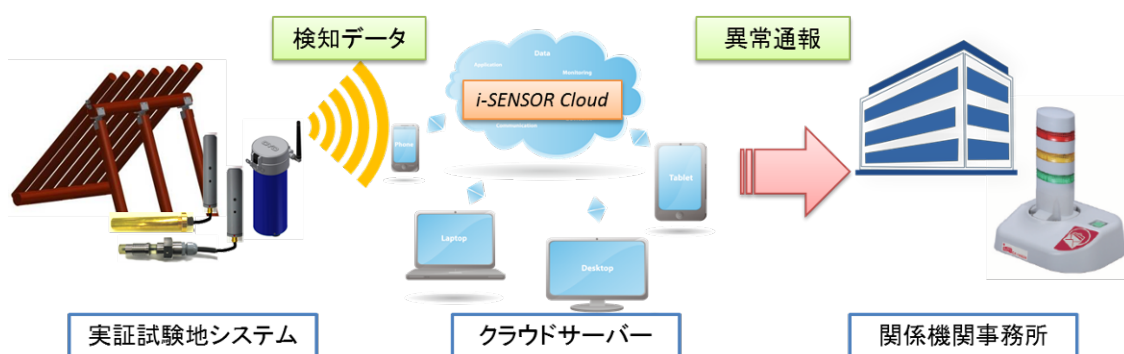
屋内評価試験および屋外における実証試験から、落石や土石流を想定した検知柵の性能を把握することができ、その有効性を検証することができた。

#### ③ 計測柵による雪崩災害の検知性能評価

屋内評価試験および屋外における実証試験から、雪崩の検知性能を予測・検討し、その有効性を検証することができた。

#### ④ 予兆現象を検知した際の災害初動対策（ソフト対策）等の検討および確認

実証試験により、落石や土石流の検知性能を把握することができ、その検知に関する有効性を確認した。社会実装の効果を確認するために、マスコミに対応した公開試験を実施し、本研究テーマでもあるクラウドシステムの性能評価や、災害初動対応のシステム構築に関する評価を受けることができた。



参考図：雪崩・落石の検知及び警報システムの運用構想図

### (2) 実装支援期間終了後の実装の自立的継続性

今後も、国立研究開発法人 科学技術振興機構や関係省庁等の支援をいただき、研究開発を進展させ、広く国民に紹介し雪崩や落石等による天災や人災の撲滅に貢献したいと考えている。また、展示会等でアウトリーチ活動を実施し、本システムの信頼性を構築していきたい。

### (3) 謝辞

本実装試験を実施するにあたり、ご支援とご指導を賜り適切なるご助言をいただきました国立研究開発法人 科学技術振興機構（JST）の総括である富浦梓 様に心から感謝申し上げます。また、実装試験場所の用地調整のご支援を頂きました秋田県農林水産部 森林整備課 治山・林道班 主幹 森川誠 様に深謝致します。誠に有り難うございました。