

戦略的創造研究推進事業  
(社会技術研究開発)  
平成27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. 概要

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組込んだ検知柵を製作し、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、災害発生の可能性を検知する検知システムの有効性及び性能評価を実施する。この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作りを目指すものである。

本年度は初年度の実装活動であるため、現地および室内でのシステム実証実験に向けての資材調達および間伐材による検知柵の製作が主な活動内容となる。

資材調達においては、センサユニットの製作および間伐材による検知柵の製作を実施した。検知柵の製作においては、土砂や雪崩の荷重等を受けセンサが反応するように取り付可能なセンサフォルダーおよび柵の設計製作や、センサフォルダー単体での荷重試験を実施し、基礎的な評価を行った。

また、次年度以降の実証試験を行うに当たり、秋田県内の急傾斜地等から本実装活動に最適な実証試験地を、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、現地視察を行い候補地選定まで行った。次年度は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協力を得て実施する予定である。

## 2. 実装活動の具体的内容

本年度の実装活動は、現地および室内でのシステム実証実験に向けての資材調達および間伐材による検知柵の製作が主な内容であり、以下にその具体的な内容を示す。

### 2. 1 振動型センサユニットの製作

振動型センサユニットは、ボルト型の振動センサを組込んだもので、 piezo素子が振動で発電した電圧を利用した安価で簡易的な振動センサである。(図-1 振動型センサユニット)。

振動センサの出力は、周波数や振幅に比例した出力が得られるため(図-2)、電源環境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ので本システムには適したものとする。

本振動センサは、橋梁などの微小な振動波形を対象として開発したが、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考えた。そこで、簡易判断ユニットを改良・調整し、振動センサと組み合わせる事でユニット化し、振動型センサユニットとした。また、遠隔への通報システムへの対応のため、簡易判断ユニットで判定した出力を外部のシステムへ接続できるように工夫した。

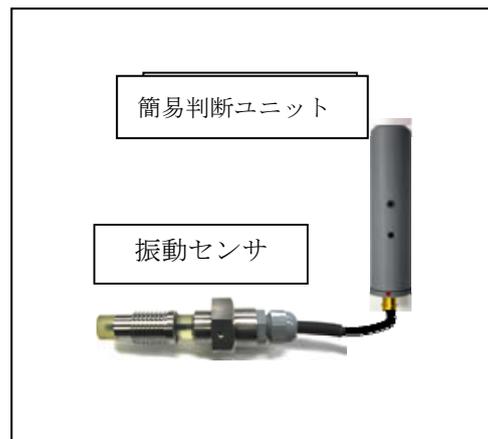


図-1 振動型センサユニット

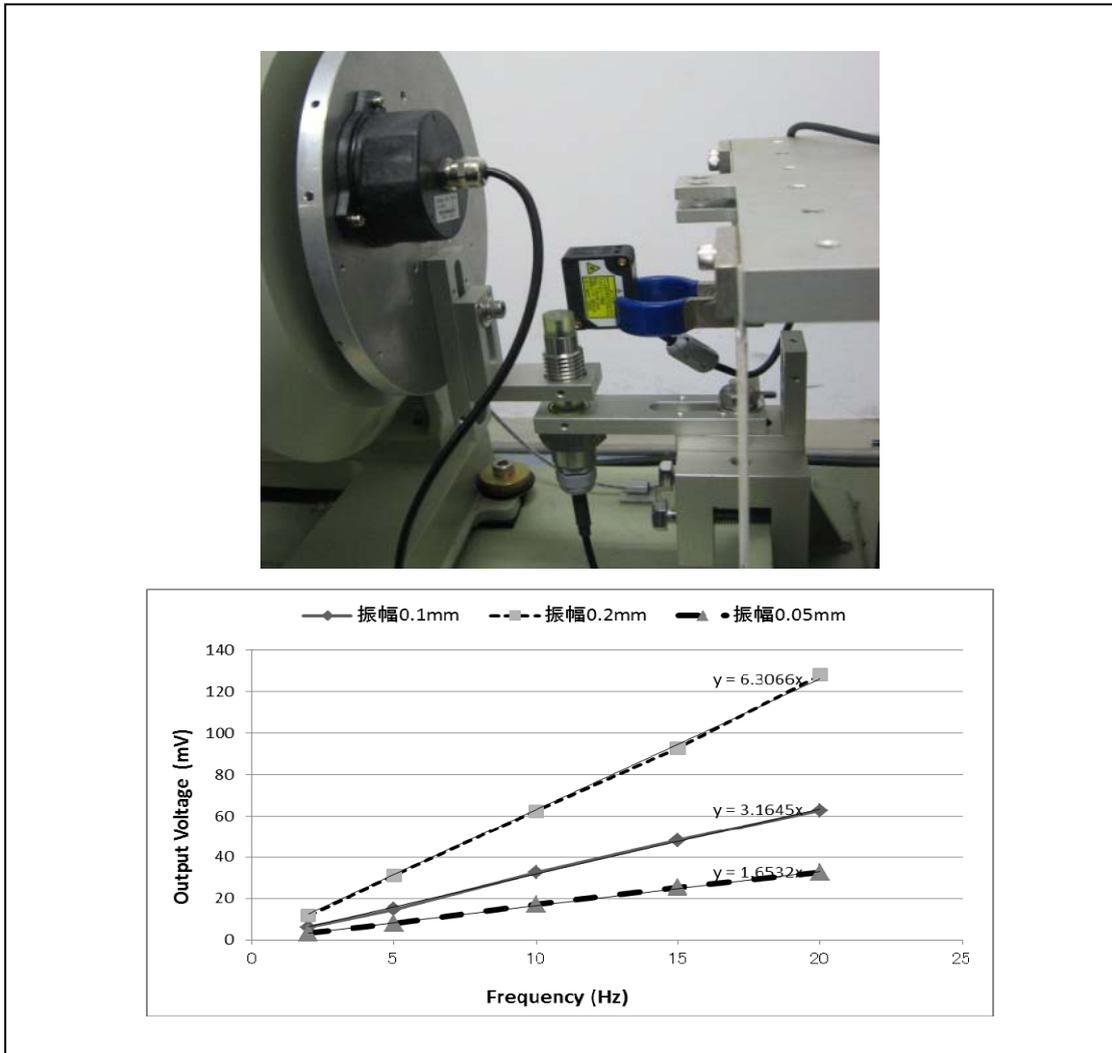


図-2 ボルト型振動センサの出力特性

## 2. 2 変位型センサユニットの製作

変位型センサユニットは、図-3に示す通り、無電源で動作可能なリミット型変位センサと前項同様に簡易判断ユニットと組み合わせたものである。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、安価に製作可能な簡易的に変位や静的荷重を捉えるものである（図-3 変位型センサユニット）。

リミット型変位センサは、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、大きな破損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



図-3 変位型センサユニット

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、ガラス管に掛かった荷重によってガラス管が割れ、その衝撃および金具の動きにより、ピエゾ素子が発電し出力を発生する構造である。リミット型変位センサを用いた煉瓦建造物の破壊試験では、煉瓦の破壊と荷重と関連した出力が得られていることより(図-4)、本実装活動では、柵の荷重検知のために活用する事にした。

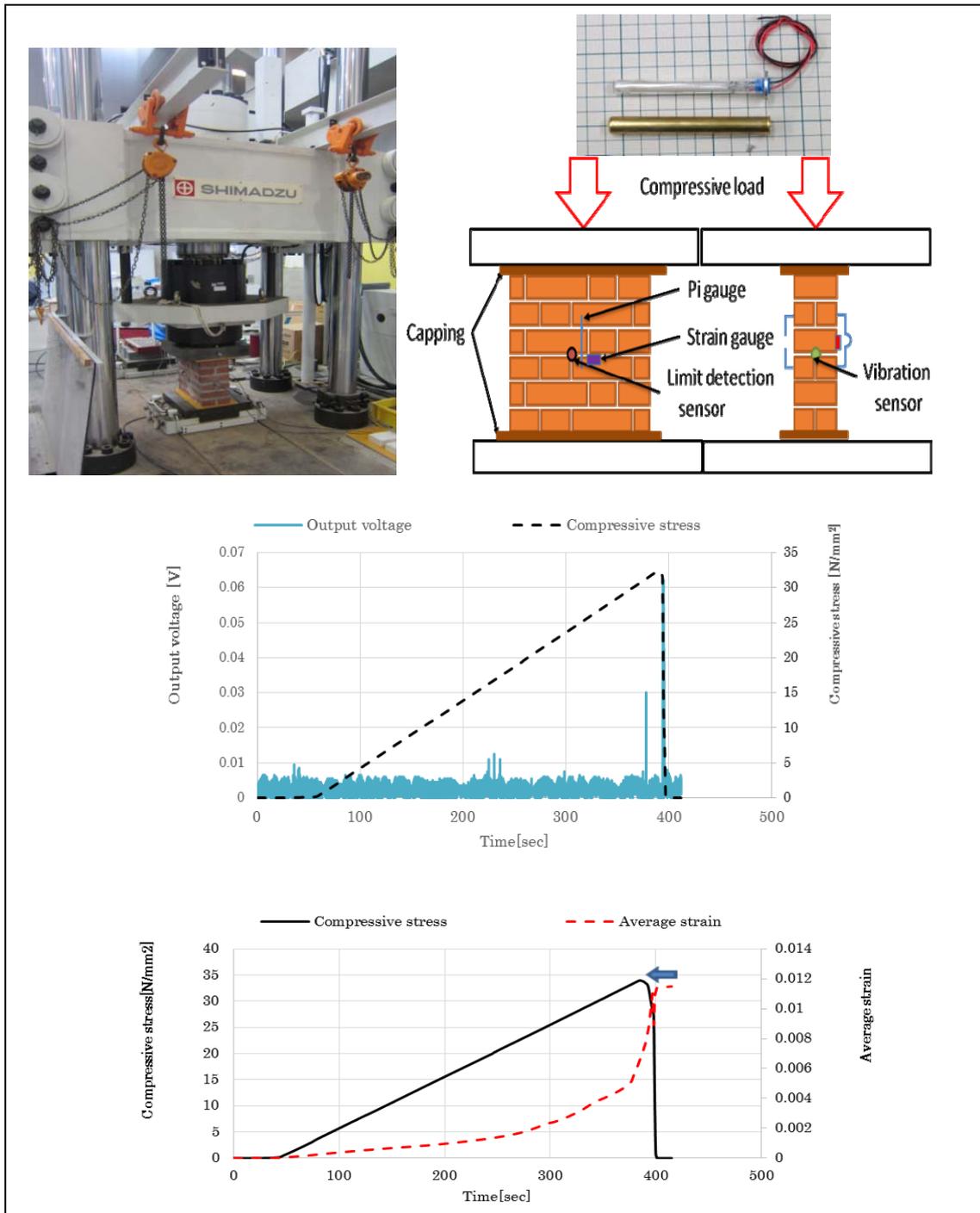


図-4 リミット型変位センサの出力特性

### 2. 3 センサフォルダーの設計製作

落石の衝撃や雪崩の可能性のある積雪荷重を図-6に示す木柵で受け、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（センサフォルダー）の設計・製作を行った。（図-5 センサフォルダー）

センサフォルダーは、木柵の支柱と柵部の接合部に配置し、木柵前面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た。センサフォルダーは、間伐材の丸太にボルト等で固定し、現地でも簡単に取り付け加工が可能なものとした。

センサフォルダーの材質は、耐久性の面からステンレス鋼材を使用し製作しているが、今後は実用化に向けて、コスト等も考慮し検討するものと考えている。

資料-1に、センサフォルダーの図面を添付する。

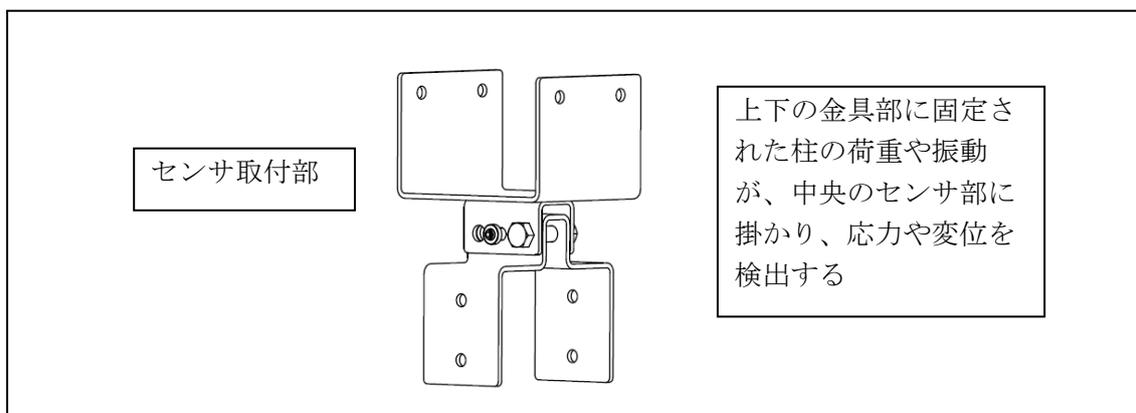


図-5 センサフォルダーの構造

## 2. 4 間伐材を用いた検知柵の設計製作

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柵のモデルを参考にして検知柵を設計し、試験用に3式を製作した(図-6 検知柵イメージ図)。

落石や雪崩を検知する木柵は、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しない物では無く、ある程度の荷重に対して受け止め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せず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耐える構造とした。構造的には、積雪荷重や落石等の検知を対象とするため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ーを取り付けた検知柵とした。

資料-2に、検知柵の図面を添付する。

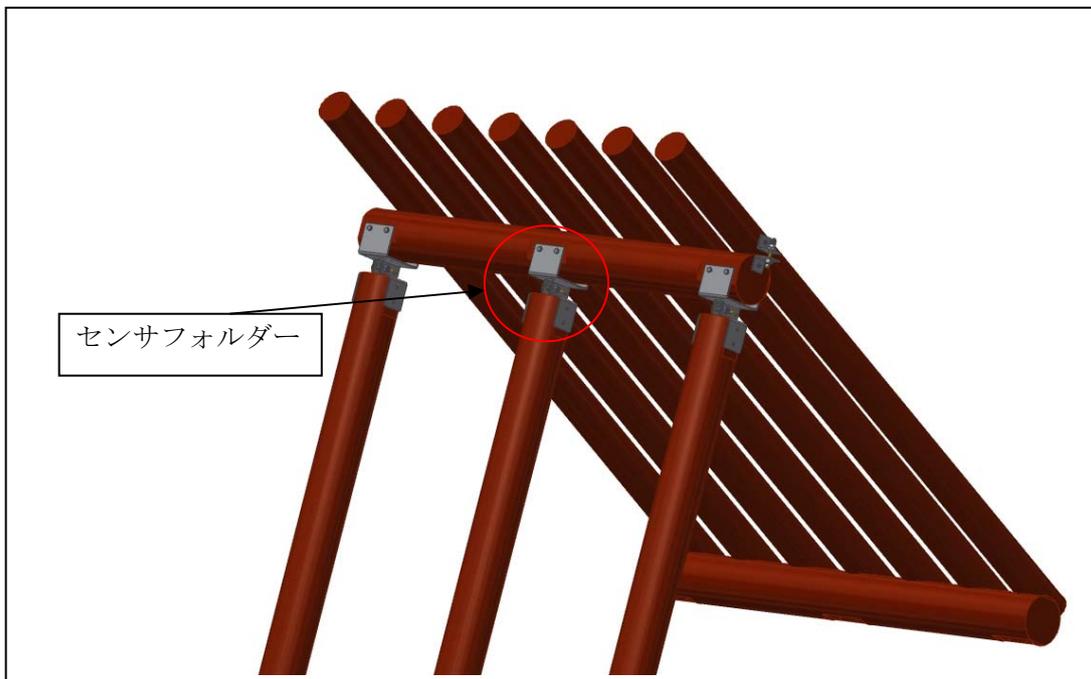


図-6 検知柵イメージ図

## 2. 5 センサホルダーの基本特性試験

センサホルダーの基本試験として、製作したセンサホルダーに変位型センサユニットを組み込み、室内で荷重試験を実施した。この試験で、センサホルダーの強度や変位型センサの検出特性を確認した。(図-7～10 基礎試験状況)

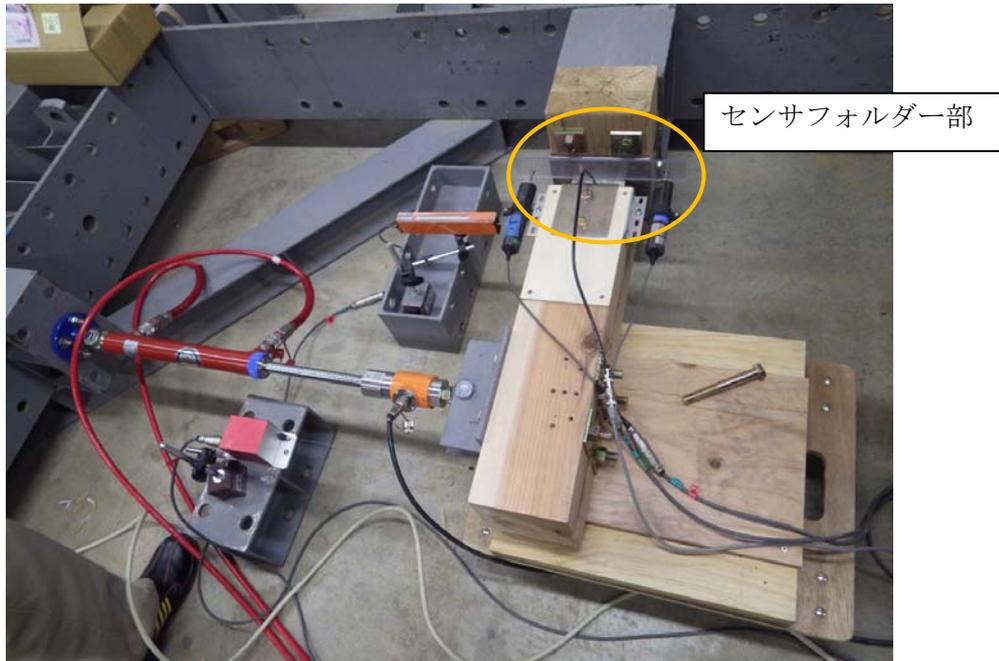


図-7 基礎試験セットアップ状況



図-8 センサホルダーセットアップ状況

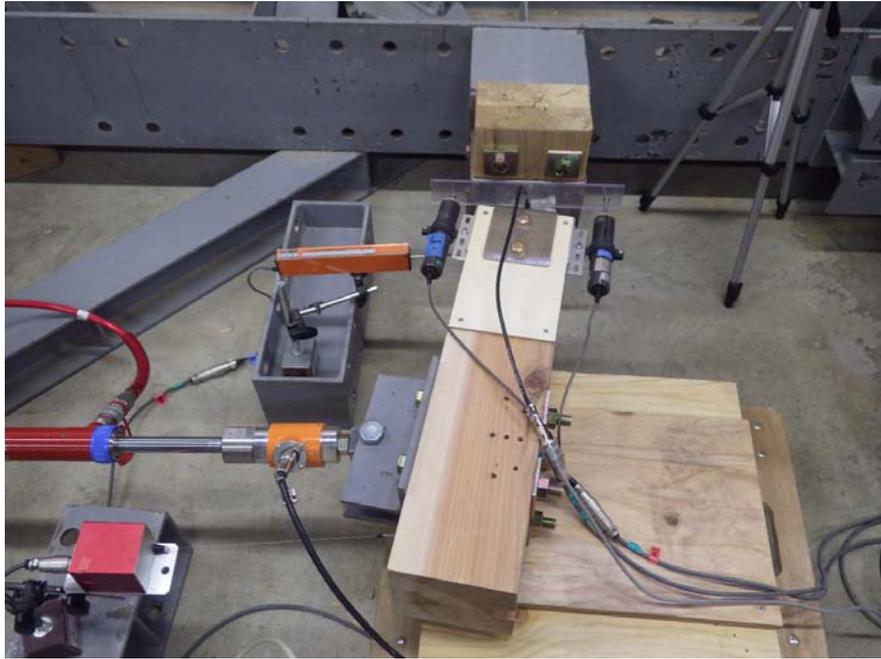


図-9 基礎試験終了後状況



図-10 センサフォルダー試験終了後状況



図-11 リミット型変位センサ破断状況

試験結果を図-12に示す。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てリミット型変位センサが反応しセンサ出力が発生していることが分かる。

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が見える。

(図-11)

これにより、このような出力値を閾値として検出することにより変形の程度を判断することが可能と考えられる。

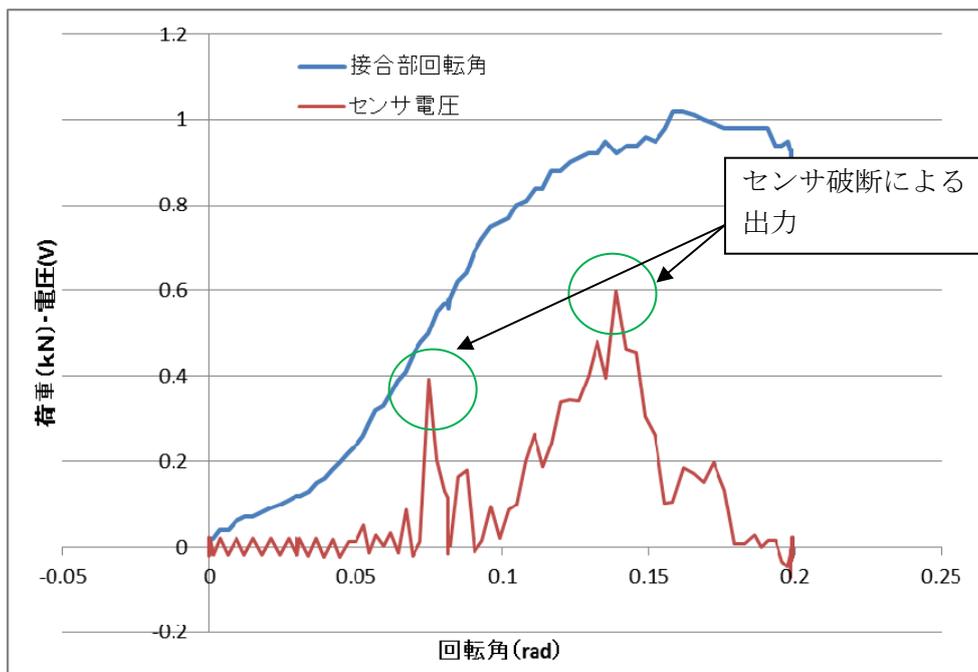


図-12 変位センサ出力結果

## 2. 6 実証試験現場の予備調査と候補地選定

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、雪崩検知の実証試験現場候補地を4地点選定した。次年度に実証試験地の確定に向け、地権者との協議を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実施予定である。

実証試験の候補地選定においては、秋田県内の急傾斜地危険箇所と土石流危険溪流、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
  - 一般市民の往来が少ない場所(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

以上の選定条件および現地調査の一覧を表-1 に示す。検討の結果、実証試験候補地は、急傾斜地を2箇所（No.2 および No.5）、雪崩発生地域2箇所（No.17 および No.19）の合計4箇所を選定した。今後は、次年度の実証試験に向け、詳細調査および地域住民との合意形成を経て実際に試験地を2~3箇所程度に絞る予定である。

なお現地調査による評価において、土石流危険溪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。

表-1 実証試験用地選定調査箇所一覧

NO	地点	種類	備考	評価	関係局
1	I-260 谷地 能代 急傾斜	急傾斜	史跡有り	×	山本
2	Ⅲ-57 金拓1号 能代 急傾斜	急傾斜		○	山本
3	Ⅲ-0048 能代 土石流	土石流		△	山本
4	Ⅲ-0042 能代 土石流	土石流		△	山本
5	Ⅲ-66 竹原5号 二ツ井 急傾斜	急傾斜		○	山本
6	Ⅲ-0077 二ツ井 土石流	土石流		△	山本
7	Ⅲ-67 竹原6号 二ツ井 急傾斜	急傾斜		△	山本
8	Ⅲ-0078 二ツ井 土石流	土石流	上流側接続道路に鎖	×	山本
9	Ⅲ-85 一本木 土崎 急傾斜	急傾斜	秋印本社背後地に施設 有り	△	秋田
10	Ⅲ-0297 土崎 土石流	土石流	金足東小学校隣接山林	△	秋田
11	Ⅲ-0280 土崎 土石流	土石流	補陀寺周辺山林	△	秋田
12	Ⅲ-0279 土崎 土石流	土石流	ダム有り	△	秋田
13	202-02 雪崩 能代	雪崩	施設有り	△	山本
14	342-06 雪崩 能代	雪崩	一部崩落有り	△	山本
15	342-07 雪崩 能代	雪崩	施設有り(保安林指定地)	△	山本
16	342-01 雪崩 能代	雪崩	コンクリート法枠工有り	△	山本
17	346-09 雪崩 鷹巣	雪崩	モルタル吹き付け工有り	○	山本
18	346-06 雪崩 鷹巣	雪崩	雪崩防止柵工有り	×	山本
19	342-11 雪崩 鷹巣	雪崩	施設有り	○	山本



図-13 実証試験現場候補地(No. 2)



図-14 実証試験現場候補地(No. 5)



図-15 実証試験現場候補地(No. 17)



図-16 実証試験現場候補地(No. 19)

### 3. 理解普及のための活動とその成果

#### (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

#### (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
H27.6.2	打合せ会議	秋田県庁	実験選定地及び実験にかかる協力依頼		
H27.10.27	打合せ会議	秋田県庁	平成27年度実装活動の概要説明等		
H28.3.2	打合せ会議	秋田県庁	実験選定地の決定及び平成28年度実装活動計画の説明等		

#### (3) 新聞報道、TV放映、ラジオ報道、雑誌掲載等

#### (4) 論文発表（国内誌 1 件、国際誌 0 件）

Piezoelectric Sensorを用いた静的荷重試験による破壊前の測定比較：下井信浩，CH. CUADRA，佐々木拓哉，間所洋和，西條雅博，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)

#### (5) WEBサイトによる情報公開

<http://www.akita-pu.ac.jp/robotics/>  
[http://www.akita-pu.ac.jp/stic/contents/contents\\_show.php?serial\\_no=255](http://www.akita-pu.ac.jp/stic/contents/contents_show.php?serial_no=255)  
[http://www.akita-pu.ac.jp/stic/contents/contents\\_show.php?serial\\_no=256](http://www.akita-pu.ac.jp/stic/contents/contents_show.php?serial_no=256)

#### (6) 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）

##### ①国際学会

“Comparison of Vibration Analysis for a Bridge Using Accelerometers and a Piezo-electric Cable Sensor”, Nobuhiro SHIMOJI, Carlos CUADRA, IEEE Multi-Conference on system and control, 978-1-4799-7786-4/15, IEEE, pp595-600, September 21-23, Sydney, Australia (MSC 2015)

“COMPARISON OF FREQUENCIES OF VIBRATION FOR A BRIDGE OBTAINED FROM MEASUREMENTS WITH ACCELEROMETERS AND PIEZOELECTRIC SENSORS”, Nobuhiro SHIMOJI, Carlos CUADRA, The 13<sup>th</sup> International Workshop on Adv

anced Infrared Technology and Applications. Pisa,Italy,pp346-349 (AITA2015) Sep.29-Oct.02,

②国内学会

「ピエゾフィルムセンサを用いたレンガ構造物の破壊試験」, 佐々木拓哉, 下井信浩, 石井正樹, 日本機械学会, 2015 年度年次大会, 北海道 G1000702 (2015.9.15)

③招待講演 (国内会議 0 件、国際会議 0 件)

④口頭講演 (国内会議 1 件、国際会議 2 件)

⑤ポスター発表 (国内会議 0 件、国際会議 0 件)

(7) 特許出願

①国内出願 (0 件)

(8) その他特記事項

なし