

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26750136

研究課題名(和文) AEセンサを用いた雪崩発生予測手法の開発

研究課題名(英文) Development of prediction method for avalanche occurrence using the AE sensor

研究代表者

小田 憲一(Oda, Kenichi)

日本大学・理工学部・助教

研究者番号：70632298

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、AEセンサを用いた新たな積雪内部構造の検出手法の開発を目指している。申請当初の研究目的は、積雪内部の雪崩発生個所を、AEセンサを用いて把握することであったが、積雪内部のAE検出は、積雪内部の伝播速度の減衰が非常に大きく、ウェーブガイドを用いた場合であっても、AEの変化を直接的にとらえることが難しいことが分かった。そこで、ウェーブガイドに伝播するAE特性に着目し、供試体密度とAE特性の関係から、供試体密度や供試体の材料が異なることで、計測される周波数特性に異なる相関が得られることを確認した。今後は引き続きデータ分析を行い、積雪内部の構造と音の関係を追及していく。

研究成果の概要(英文)：In this study, to develop a method of new measuring for snow covered internal structure using the AE sensor. Initial intent of this study was to understand the condition of avalanche occurring point using AE sensor. However, experiment result has reserved that it is difficult to measure some detection of AE because it is decreasing on snow covered condition even if using wave guide. Therefore, the characteristic of AE propagation on wave guide were used. It was confirmed that the correlation of frequency was changed to use specimen density and specimen of material from the relationship of the specimen density and AE characteristics. Further issues in this study to constituting analysis of relationship the snow covered and AE characteristic.

研究分野：雪氷工学

キーワード：AEセンサ AE特性 周波数応答 ウェーブガイド 積雪内部構造

1. 研究開始当初の背景

雪崩の発生後の状況は、すでに幾多の調査研究や経験の積み重ねによって概ね把握されている。しかしながら、雪崩発生前の積雪内部や雪崩発生時の雪崩強度、影響範囲、持続時間などを詳細かつ正確に予測する方法は未だ確立されていない。また、雪崩の発生によって死者・行方不明者につながった被害では、昭和55年から現在までの30年間を比較しても、年間で発生した雪崩件数の約1割を占めている状況は改善されていない。特に、温暖化が問題視されている今日においても、平成18年や平成21年には日本各地で記録的な豪雪が多数報告されており、雪崩での被害は例年の10倍近く発生している。雪崩は、雪氷現象と深く関連する雪質、雪の物理量、雪の力学的強度も、その地域の環境により多様に変化するため、雪崩対策は経験者の判断を加えながら、ケース・バイ・ケースで対応せざるを得ないことが、現状の改善が進まない原因と言える。これらを踏まえ、合理的な雪崩対策を実施するうえで、積雪の基本的特性をより一層理解することが望ましい。

国内外を問わず、雪崩が発生する危険な斜面の有無を確認するため、積雪の危険度評価は、管理者や雪崩の知識を有した技術者によって行われている。アメリカやスイス、カナダといった国外では、乾雪表層雪崩の危険度評価手法として積雪の断面調査による実績が豊富なため、積雪内部の弱層と呼ばれるウィークポイントを直接特定し、周囲の積雪環境と気象変化から雪崩の発生するタイミングを推定している。日本と異なり、乾燥した雪質の雪崩(乾雪表層雪崩)の発生が多く、主な被害対象はスキー場や登山者などの観光者であるため、未然の雪崩対策を施しやすい傾向にある。一方で、日本国内の多くは、水分を多く含んだ雪質の雪崩(湿雪全層雪崩)の発生から被害につながるケースが多く、発生する個所も、集落や道路、鉄塔などの重要構造物の周辺が多い。また、湿雪全層雪崩の危険度評価は、自治体や民間の管理者がパトロールを行い、可能であれば積雪の断面調査と合わせて雪崩が発生するタイミングを推定している。現状では、これらの対策によって定性的に雪崩の発生を予測することが主であり、よりの確かつ迅速に雪崩の発生を予測するために、定量的に観測を行う技術が求められている。一方で、近年では新たな観測技術として、人の手ではなく、機械によって内部構造を把握する非破壊検査手法が発達してきた。その手法の中でもAEセンサを用いた観測技術(以下、AE法)は、音響分野で発達し、土木工学の分野では、コンクリート構造物の非破壊検査手法の一つとして提案されている。AE法の利点として、対象構造物に伝わる弾性波を材料の表面に設置した変換子、すなわちAEセンサで検出し、信号処理を行うことにより材料の破壊過程を評価することができるが挙げられる。国外ではスイスの雪・雪崩研究所が、AEセンサ

や、地震計(低周波の弾性波)を用いて、乾雪表層雪崩を対象に、雪崩発生個所の特定を目的として研究が進められている。国内では、AEセンサを用いた雪崩の観測ではなく、積雪内部の音響特性を把握した研究が報告されているのみである。

2. 研究の目的

これまで申請者が開発を行ってきた雪崩の流動予測手法は、実際に発生した雪崩の運動を精度よく再現することが可能である。しかしながら、雪崩が発生する場所やタイミングを的確かつ迅速に検出する方法が未だ確立されていないため、正確な雪崩の流動予測を行うには十分な情報収集体制が整っていないのが現状である。そこで本研究では、研究申請当初の計画として、雪崩の発生を的確かつ迅速に検出できる方法を確立するため、毎年雪崩が発生する斜面にAEセンサ(Acoustic Emission Sensor)を設置し、積雪内部のAE(高周波の弾性波)を継続的に計測する予定であった。これにより、積雪内部の弱層位置、大きさ、進行状況を把握し、雪崩の発生強さ、分布域、持続時間等の予測法を明確化し、従来よりも精密な流動予測解析を行うことを目的としていたが、実斜面での計測では、雪質の時間的変化が予想以上に大きく、詳細な分析を行うことが困難であるため、室内模型実験を対象とした分析にターゲットを絞って研究を行った。

3. 研究の方法

(1) AE計測装置の開発

積雪内部の構造を雪の密度に着目して把握することを目的として、AE波を積雪内部で伝播させるための計測装置開発を行った。

(2) 異なる粒径のガラスビーズ試料を用いたAE計測

積雪内部の構造を間接的に把握するため、ウェーブガイド(アルミ棒)を用いたAE計測を時間的密度変化が生じないガラスビーズを異なる粒径で4種類用いて行った。

(3) 低温室内環境におけるザラメ雪を用いたAE計測

ガラスビーズを用いた実験同様、ウェーブガイドにAEセンサを設置し、ザラメ雪内にウェーブガイドを埋設した状態で得られるAE波形を検出し、ザラメ雪の密度とAE特性の関係を把握した。

(4) 野外計測

ここまでで得られた結果をもとに、野外計測を行い、今後の課題と問題点をまとめた。

4. 研究成果

(1) AE計測装置の開発

積雪内部の構造を把握するため、供試体密度の違いによって、計測されるAE特性にど

のような影響があるかを求める必要がある。本研究では、模型実験を用いた実験によって、積雪内部の密度と AE 特性の関係を検討する。本研究で用いた AE 計測装置を図 1 に示す。計測装置には、AE 計測部にウェーブガイドを設置し、積雪内部の任意で AE 計測を可能な状態とさせている。また、AE 計測用の PC 内に AE 信号を受信させ、モニタ観測ならびにデータ収集を行った。実験に使用した AE センサは、図 1 に示すように各ウェーブガイドに 3 基設置し、その内両端の 2 基について発信と受信を交互に計測を行った。なお、中間の AE センサは補助的な役割として設置させた。また、ウェーブガイドを供試体内に 2 体設置し、全体として計 6 基の AE センサを用いた実験を行った。

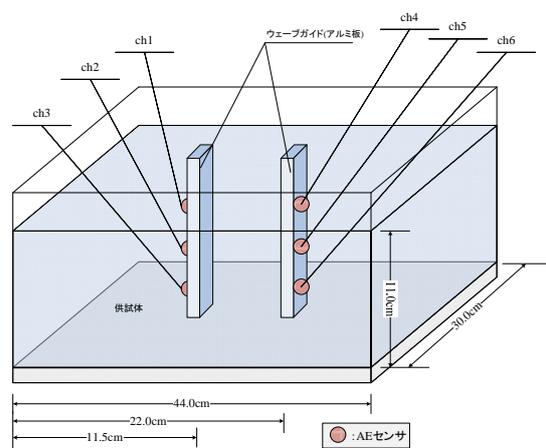


図 1 AE 計測に用いた模型

(2) 異なる粒径のガラスビーズ試料を用いた AE 計測

実験は、ウェーブガイド片端(ch1)から一定の入力波を与え、ウェーブガイド中央と他端に設置した AE センサ(ch2 および ch3)から受信波を検出した。同様に、もう片方のウェーブガイドでも計測を行った。また、本研究では異なる供試体密度を用いることでウェーブガイドに伝わる AE 波形に及ぼす影響を把握し、間接的に積雪内部の構造を把握することを目的としているため、粒径の異なるガラスビーズを 4 種類用意し、それぞれを模型内に充填させた計測を行った。表 1 に本実験で行った実験条件を示す。入力波発生装置には、ハンディタイプのシグナルジェネレータ、FieldCal を用いた。実験に使用した入力波形を図 2 に示す。

表 1 実験条件

実験名	Case1	Case2	Case3	Case4
ガラスビーズ平均粒径(mm)	0.20	1.25	2.25	6.00
見かけの密度(g/cm ³)	1.45	1.49	1.51	1.48

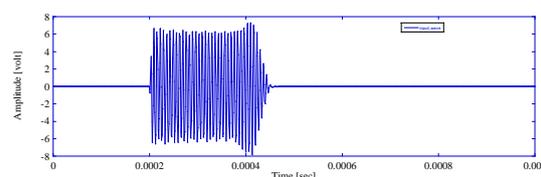


図 2 AE 入力波形

本研究では、実験で計測した AE 波形から AE 特性を算出した。算出した AE 特性は、AE エネルギーを表す RMS 値および各センサから伝播した AE 波の距離減衰を表す D 値の 2 つである。RMS 値は式(1)を、D 値は式(2)を用いて求めた。ここで、 T_d は持続時間、 $x(t)$ は時刻 t における AE 波形の振幅値、 $D(f)$ は距離減衰による周波数応答関数、 f は卓越周波数、 V_p は弾性波速度、 Q は材料の距離減衰特性を表すパラメータ、 d は伝播距離、 E はエネルギーを表す。

$$\text{RMS 値} = \sqrt{\frac{1}{T_d} \int_0^{T_d} x^2(t) dt} \quad (1)$$

$$D(f) = \exp\left(-\frac{\pi f}{V_p Q} d\right) \quad (2)$$

$$Q = 2\pi \frac{E}{\Delta E} \quad (3)$$

図 2(a)に Case1、図 2(b)に Case2、図 2(c)に Case3、図 2(d)に Case4 で得られた AE 波形を示す。ここで示した AE 波形は、ch1 から入力波を発信し、ch3 で受信した結果を示している。図中の赤実線で示したものがガラスビーズ供試体内にウェーブガイドを入れた結果を表し、青点線で示したものがウェーブガイドのみを装置内に設置した結果を表している。図 2 より、全ケースにおいて受信側で計測された AE 波形の振幅が発信側の振幅に比べて小さいことがわかる。

図 2 で示した AE 波形の違いは、ウェーブガイドをガラスビーズで覆ったことが要因と考えられる。そこで、受信側で得られた RMS 値を発信側で得られた RMS 値で除し、各ケースの供試体密度との比較を行った。図 3 に得られた結果を示す。図中に示した三角はガラスビーズを充填する前に計測した結果を、丸はガラスビーズを充填した後に計測した結果を表している。図 3 より、ガラスビーズを充填していない場合においてもエネルギーの減衰が確認されていることがわかる。しかしながら、ガラスビーズを充填することによって、エネルギーの減衰は大きくなり、供試体密度の変化によって減衰量も変化することがわかる。

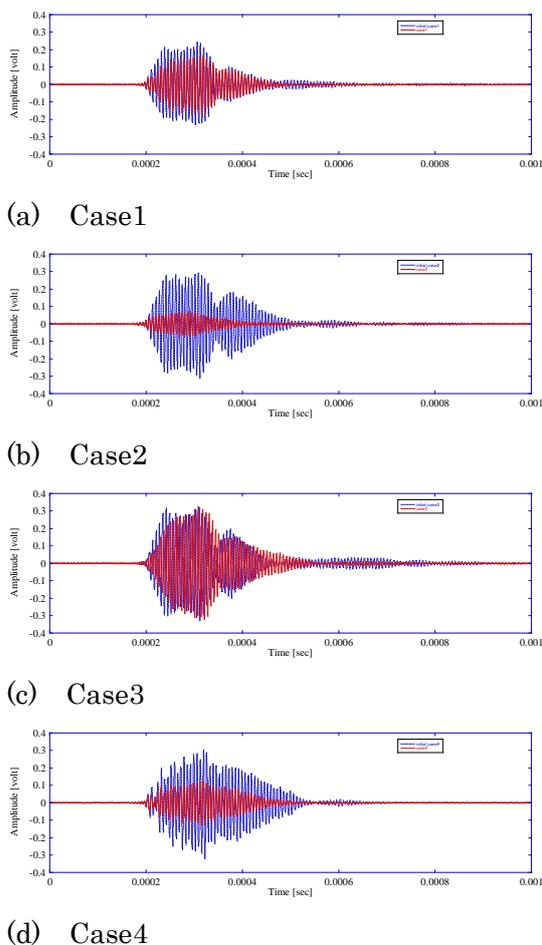


図 2 AE 波形

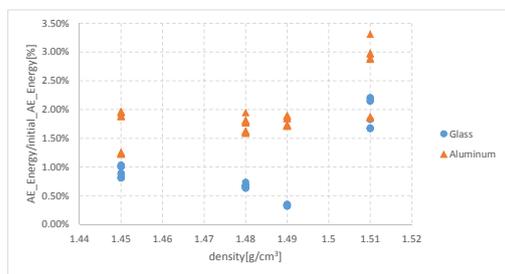


図 3 AE エネルギーの減衰率と供試体密度の関係

次に、各ケースで得られた AE 波から D 値を求め、ウェーブガイド内で発信した入力波から受信の間でどの程度減衰するかを確認するため、伝播距離との比較を行った。D 値と伝播距離の関係を図 4 に示す。どの結果においても、D 値は伝播距離によって減少することがわかる。しかしながら、各ケースを比較しても明確な差を確認することができない。そこで、伝播距離によって AE 波の周波数応答がどのように変化しているかを確認するため、受信した AE 波の振幅スペクトルを発信した AE 波の振幅スペクトルで除したものを周波数応答として評価し、各ケースで比較を行った。図 5 に、各ケースの ch3(受信)から ch1(発信)を除いて求めた周波数応答の関係を示す。また、ここで得られた周波数応答の近似直線から得た相関係数と供試体密度との関係を図 6 に示す。これらの結果から、供試体密度が大

きくなることで、周波数応答から得られた相関係数が増加する傾向にあることが得られた。

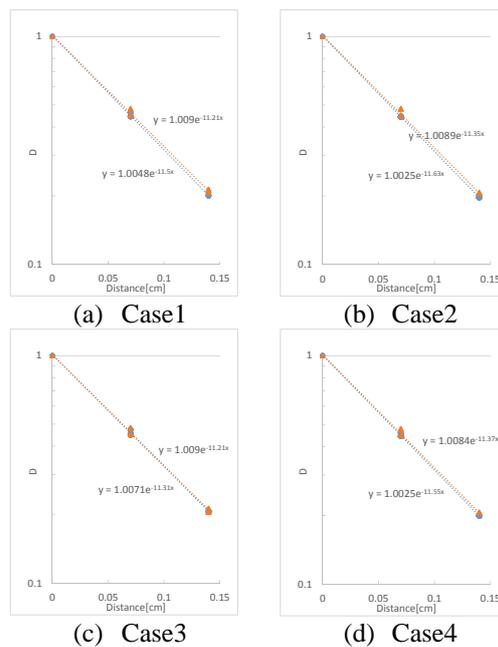


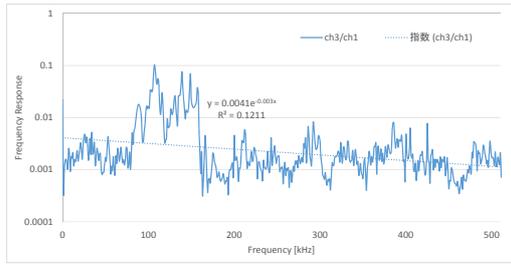
図 4 D 値と伝播距離の関係

(3) 低温室内環境におけるザラメ雪を用いた AE 計測

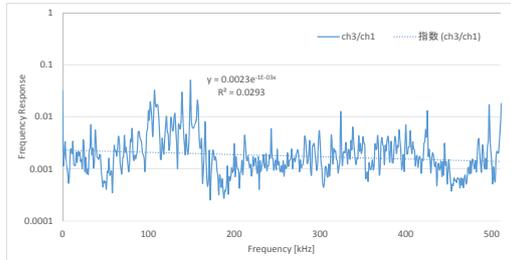
実験に使用した AE センサは、ウェーブガイドの両端に設置し、片側から入力波を発信し他方から受信させた。実験に用いた入力波は図 2 に示すとおりである。また、ウェーブガイドと AE センサの設置位置は、図 1 に示すとおりであり、2 つのウェーブガイドで同様の高さからそれぞれ AE を発信し、計測を行った。図 7 に、実験で得られた周波数応答を示す。なお、周波数応答は、ch3(受信)で得られた振幅スペクトルを ch1(発信)で得られた振幅スペクトルで除したものである。図 8 にザラメ雪を用いた供試体密度と周波数応答から得られた相関係数の関係と、ガラスビーズを用いた結果を比較したものを示す。これらの結果から、供試体に用いる材料が異なることで、周波数応答も変化することが分かった。

(4) 野外計測

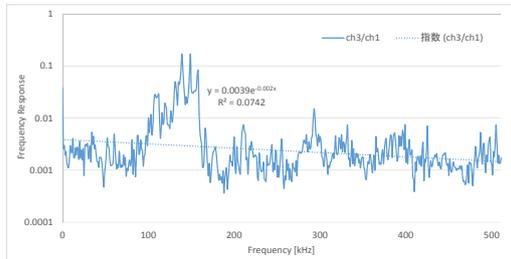
野外観測は、本研究に使用した低温室と同施設内にある、防災科学技術研究所雪氷防災研究センターの野外観測場において平成 28 年 3 月時点で積もった積雪を使用した。しかしながら、実験時の気温などにより一定した雪質を保つことができず、再現性のある実験結果を得ることができなかった。しかしながら、今後も引き続き AE 計測装置の改良を行い、計測を継続していく予定である。



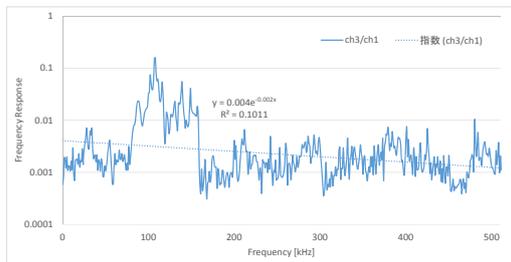
(a) Case1



(b) Case2



(c) Case3



(d) Case4

図 5 周波数応答と伝播距離の関係

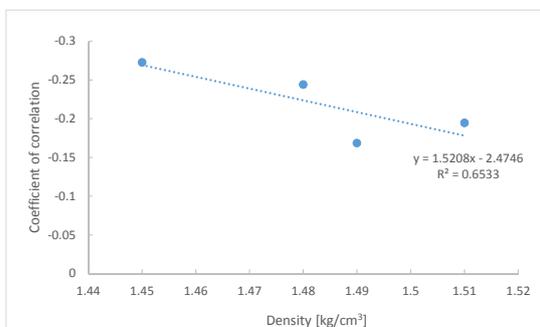


図 6 周波数応答の相関係数と密度の関係

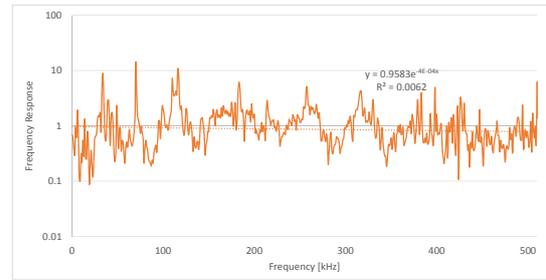


図 7 ザラメ雪で得られた周波数応答

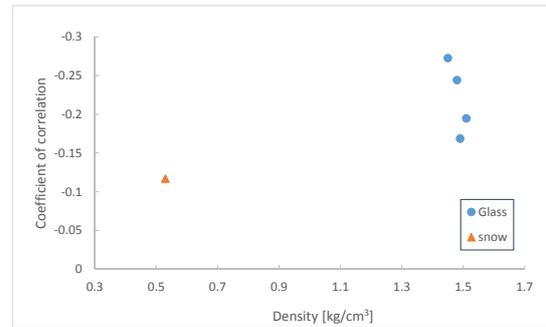


図 8 周波数応答の相関係数と密度の関係

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

- ① Kenichi Oda : Simulation of Snow Avalanche based on Snowpacked Model, International Snow and Avalanche Symposium in Niseko (Japan), ニセコ町民センター, 北海道虻田郡ニセコ町, 2015.12.11
- ② 小田憲一 : 積雪内部の AE 特性を利用した密度検出に関する基礎的検証, 雪氷研究大会(2015・松本), 信州大学理学部, 長野県松本市, 2015.9.15

6. 研究組織

(1)研究代表者

小田 憲一 (ODA, Kenichi)

日本大学理工学部・助教

研究者番号 : 70632298

(2)研究分担者

【該当なし】

(3)連携協力者

【該当なし】