

平成22年 6月18日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19560219

研究課題名（和文） 冷水循環式雪冷房における貯雪の強度と熱交換特性の評価

研究課題名（英文） Evaluation of the heat exchange characteristics and strength of stored snow in the snow cooling system with water circulating

研究代表者

河田 剛毅（KAWADA YOSHITAKA）

長岡工業高等専門学校・機械工学科・教授

研究者番号：50177705

研究成果の概要（和文）：保冷コンテナを改造した貯雪庫に約4ヶ月間雪を保存した後に、その底部に水を流して冷熱を取り出す実験を行った。その結果、(1)雪を長期保存することでその強度が増すため、貯雪底部の融解が進んでも貯雪の崩れや割れが起りにくくなり、水の冷却性能が低下すること、(2)貯雪に崩れや割れが発生すると、水の冷却度合いが急に増加すること、(3)水の冷却性能は貯雪庫内の水位が高いほど高いが、水位10cm程度で飽和することがわかった。

研究成果の概要（英文）：A characteristics of the heat exchange between the snow reserved in the snow storage for about 4 months and water flowing through the bottom of the stored snow was investigated experimentally. A 20 ft. reefer container was modified into the snow storage. As the result, the following knowledge was obtained. The snow particles combine with each other to form a block of the whole stored snow. The bonding strength of the stored snow fairly increases for a long stored period. Thus, the stored snow hardly falls off into the water even when melting of the snow proceeds. These characteristics of the snow cause reduced efficiency of chilling water. If the crack occurs in the stored snow and the snow block separates, the efficiency of chilling water improves temporarily. The efficiency of chilling water becomes higher as the water level in the snow storage rises, but saturates at about 10 cm levels.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2008年度	100,000	30,000	130,000
2009年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：エネルギー利用、雪氷冷熱エネルギー、熱交換

## 1. 研究開始当初の背景

省エネ、CO<sub>2</sub>排出削減に有効な方策の1つとして雪氷冷熱エネルギーの利用が期待されている。特に、雪を冷熱源として利用する雪冷房は、電気やガスを動力源用エネルギーとして利用する従来の冷房装置に置き換えることにより、大きなCO<sub>2</sub>排出削減効果を生み出すことができる。雪冷房はこれまでに山あいの豪雪地域、北海道・東北地方のどちらかといえば寒冷な積雪地域を中心に、パブリックスペース、集合住宅など、人がある程度集まる比較的大きな建物への導入が進んでいる。今後、個人住宅などの小規模設備への導入も含めて、一層の普及が期待される場所であるが、導入に際しての主たるネックはコストと貯雪庫設置用のスペースの確保である。したがって、これらネックを解消していくためには、まず雪冷房システムの心臓部とも言える貯雪からの冷熱取り出しにおける熱交換性能を把握し、これをもとに貯雪庫の寸法や運転条件を最適化し、さらに何らかの改良を加えていく必要がある。

雪冷房の方式は雪から冷熱を取り出す媒体別に空気循環式と冷水循環式に大別される。このうち、前者についてはいくつかの研究報告がされており、例えば、鉛直孔を有する雪塊と空気との間の熱交換特性が調べられている。一方、冷水循環式については比較的冷房負荷が高い、もしくは個別空調が必要な建物を主な対象として導入されているものの、熱交換特性はほとんど解明されていないのが現状である。

そこで、申請者らは貯雪底部を水が横断して流れる型式の冷水循環式雪冷房を対象として、その熱交換特性を解明するための研究に着手しており、これまでに、(1)貯雪における熱交換状況の基礎理解を目的とした実設備における運転データの採取と、(2)各種条件が熱交換性能に与える影響を調べることを目的とした実験室サイズの縮小モデルにおける熱交換実験を行ってきた。その成果として、「貯雪の形状変化の特徴として、雪の付着性に起因して貯雪全体が大きな塊を形成し、これにより貯雪が割れや崩れを伴いながら消滅していくこと」、「この貯雪の形状変化が水の冷却性能に大きく影響すること」、が明らかとなり、さらに「水の冷却性能に与える水の流量・水位の影響」についてある程度の知見を得た。しかし(1)の実設備では運用している状態でのデータ取りとなるため各種条件を変えることは難しい。一方、(2)の実験室サイズの縮小モデルでは装置のサイズが小さすぎて、現象そのものが実際の設備と対

応する保証がない。したがって、実設備と対応する熱交換性能の評価のためにはもう少し大きいサイズの装置で各種実験条件を変えた系統的な実験を行う必要がある。

## 2. 研究の目的

前述のこれまでの成果を受けて、本研究課題は冷水循環式雪冷房設備における雪水間の熱交換性能の評価を目的として、貯雪部の寸法が実設備の数分の1程度である縮小装置を用いて系統的な実験を行うことにより、貯雪とその底部を横断して流れる水との間の熱交換特性を解明するとともに、実用上重要なパラメータである貯雪部の水位が熱交換性能に与える影響を明らかにする。

また、これまでに貯雪全体が結合し塊を形成することが、熱交換の過程における特有の形状変化を引き起こし、これが熱交換性能に直接影響することがわかっている。そこで、この熱交換性能に関わる貯雪強度の評価方法を確立し、貯雪強度に与える貯雪保管条件（保管期間、貯雪高さ、気温等の環境条件）の影響についても明らかにする。

## 3. 研究の方法

### (1) 冷熱取り出し時の熱交換特性の解明

貯雪庫として、海上輸送用20フィート保冷コンテナ（寸法約2.5m×2.5m×6m）を3基用意し、実験用に改造した。2月下旬から3月上旬頃に周辺の雪を集め、ロータリー式除雪機等を用いて3つの貯雪庫へほぼ満杯に投入し、7月頃まで保存する。その後、貯雪庫内の貯雪底部に水を流し、雪との間の熱交換実験を行う。具体的には3つの貯雪庫で貯雪部水位を異なる値に設定し、熱交換運転に伴う貯雪の融解減少状況、および雪と水との間の熱交換性能（雪による水の冷却性能）の変化を調べる。

### (2) 貯雪の強度評価

貯雪からの冷熱取り出し時の熱交換性能に関わる貯雪の強度として、引張り強度とせん断強度が主要と考え、それらを評価する簡便な装置を製作し、実際に保存条件（保存期間、貯雪高さ）をパラメータとした強度測定を行う。

試料として用いる雪は野外に設置した貨車用12フィート保冷コンテナで保存する。この雪は前述の熱交換実験用と同様に2月下旬から3月上旬頃にロータリー式除雪機等を用いて貯雪庫へほぼ満杯に投入する。ただし、この貯雪庫での保存は実用時の状況には近いものの、頻繁に雪試料を採取することがで

きない。そこで保存時間の経過に伴う強度の変化をより詳しく調べられるよう、2年目からは約0°Cの恒温室内に設置した高さ約2m、内径194mmの複数の鉛直樹脂製パイプに充填し保存した雪も用意した。これらの試料を用いて、設定した保存期間ごとに強度評価実験を行う。

並行して貯雪断面の顕微鏡観察も行い、雪粒子の結合状態が保存条件によりどのように変わるかをも調べる

#### 4. 研究成果

##### (1) 冷熱取り出し時の熱交換特性

20 フィート保冷コンテナを貯雪庫とするモデル装置を用いた冷熱取り出し実験に用いた装置を図1に示す。1年目は実験開始時までの雪の融解量が多く、これが実験条件上問題であった。そこで、2年目は保存期間中は貯雪の周りをシートで覆い、実験開始時には貯雪と貯雪庫側壁の隙間に発泡板を挿入するという対策を施した。これによりほぼ問題のない条件下で冷熱取り出し実験を行うことができた。その結果として得られた主な知見は以下のようにまとめられる。

①融解進行に伴う貯雪形状の変化、ならびに貯雪通過による水温低下量の変化の特徴について

結果例として、水位条件15cmにおける定点カメラによる貯雪の撮影画像を図2に、水温低下率（貯雪通過による水温低下度合い）の経時変化を図3に示す。変化の特徴は概略次のように表される。

- ・雪を長期保存することにより全体が強固な塊となるため、水に浸っている貯雪底部の融解が進んでも雪は崩れにくい
- ・ある程度貯雪底部の融解が進むと、突然貯雪のある場所で流れに対してほぼ垂直面をなす割れが発生する
- ・貯雪に割れが発生する直前までは水の冷却度合い（貯雪通過による水温低下量）は低下傾向にあるが、割れが発生した直後は水の冷却度合いが急に増加する

②水の冷却性能に影響する要素に関して

図4に異なる水位条件に対する貯雪長さと水温低下率の関係を示す。これより次のこと

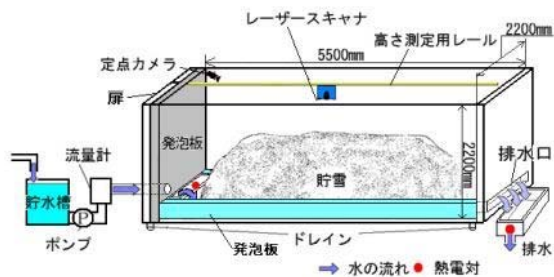


図1 冷熱取り出し実験用装置

が言える。

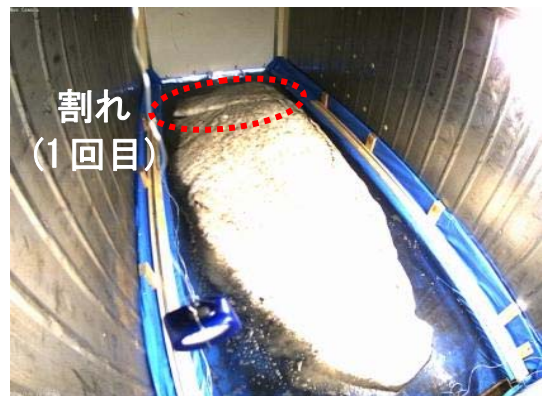
- ・貯雪庫内の水位が高いほど水の冷却性能は高くなるが、水位10cm程度で飽和する
- ・貯雪長さが3~4m程度以上であれば、水位に応じた概ね一定水準の水温低下率を維持する

##### (2) 貯雪の強度評価

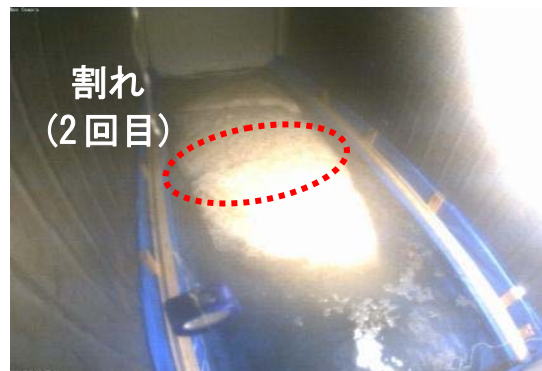
恒温室内で鉛直樹脂製パイプに保存した雪試料から作成される小さいサイズの試験



(a) 実験開始時 : (5204mm / 9.9m<sup>3</sup>)



(b) 16.5 時間後 : (4853mm / 3.2m<sup>3</sup>)



(c) 18.5 時間後 : (4452mm / 2.6m<sup>3</sup>)

図2 定点カメラによる貯雪の撮影画像 (水位15cm、かっこ内の数値は、その時点での貯雪長さと貯雪体積を表す)

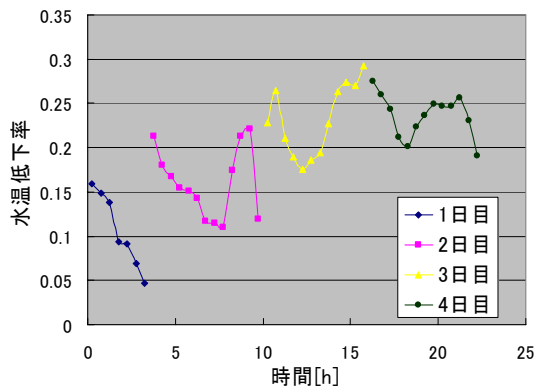


図3 水温低下率の経時変化(水位15cm)

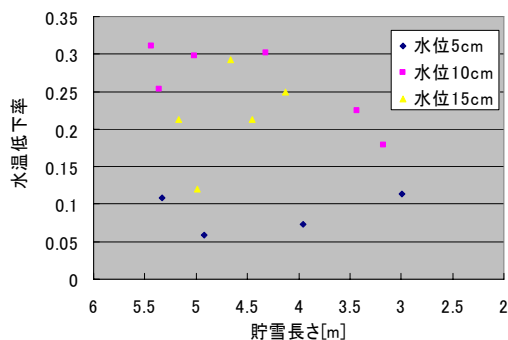


図4 異なる水位に対する貯雪長さと水温低下率の関係

片に対応し、かつ試験片の応力集中等の影響を抑え正しい測定ができるよう工夫した強度試験装置を製作し、その動作を確認することができた。

現時点において保存期間が増加するにつれ貯雪の密度と引張り・せん断強度が増加するという定性的な傾向は得られているが、定量的な評価のためには雪の保存方法、試験片の切り出し方、試験装置、いずれもまだ改善点があることが明らかとなっている。

### (3) 今後の展望

本研究により貯雪庫内で長期間保存した雪から冷水を用いて冷熱を取り出す際の熱交換性能の基本的な振る舞いが解明できた。また貯雪の長期間保存による強度増加がその熱交換性能を低下させることもわかったので、今後はそれを考慮した簡便な熱交換性能向上方法を考案・実証する予定である。これにより、従来よりも小規模の貯雪庫の雪冷房設備が実用可能となり、雪冷房設備の普及に貢献できると考えている。

## 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3件)

- ① 河田剛毅, 星海斗, 若月佑介、冷水循環式雪冷房のモデル装置における熱交換特性、第20回ふゆトピア研究発表会論文集、査読無、2008、pp.100
- ② 河田剛毅, 星海斗, 前川龍一、保冷コンテナを用いた貯雪庫における雪保存および冷水による冷熱取り出し実験、第21回ゆきみらい研究発表会論文集、査読無、2009、pp.6
- ③ 河田剛毅, 前川龍一、保冷コンテナを用いた貯雪庫における雪保存および冷水による冷熱取り出し実験、第22回ゆきみらい研究発表会論文集、査読無、2010、pp.62

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

河田 剛毅 (KAWADA YOSHITAKA)  
長岡工業高等専門学校・機械工学科・教授  
研究者番号：50177705

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：