牛舎床部の温度環境に及ぼす 布基礎部に埋設した断熱材の効果

高橋 英紀*・小山 司郎**

(*北海道大学農学部)
(**日熊工機株式会社)

The Effects of Insulated Foundation on the Thermal Environments
at the Floor of the Cow-house

Hidenori TAKAHASHI* and Shiro KOYAMA**

(* Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo)
(** Nichiyu Koki Co. LTD., Tokyo)

1. はじめに

北海道のような寒冷地における厳寒期の畜舎内の環境は、多くの場合内部は低温、多湿であって壁面は結露、凍結し、そのため家畜の疾病の発生率は高く、きわめて劣悪な条件となっている。

畜舎内環境の改善のために、畜舎の断熱と換気システムの併用が最も重要なポイントであることは周知のごとくであり、欧米では古くからそれらの技術が開発され、実際に利用されてきた。しかし我国で、畜舎環境における断熱と換気の重要性が認識されはじめたのは、ここ10年ほど前からであり、それも当初は外国文献の紹介程度であったが、5, 6年前からは我国における具体例が報告されるようになった(堂腰, 1970)。しかし現在までのところ、畜舎の地上構造と畜舎内環境に関する研究が主であり、畜舎の地下部の温度環境については、観測例がほとんど見られない。米国における畜舎の設計例を見ると(Midwest Plan Service, 1971)、布基礎部に断熱材を埋設することも行なわれているので、我国でも畜舎内の環境に影響を及ぼす可能性のある畜舎地下部の温度環境について検討しておく必要がある。

昭和47年度に北限の地、宗谷岬に近い猿払村において建設された乳牛30頭用のスタンション式牛舎は、地上部に75 mmの断熱材(スタイロフォーム)を使用し、また布基礎部には50 mm、牛床の下部には20 mmの断熱

材(スタイロフォーム)を埋設して、牛舎地下部における熱移動をも考慮に入れた特徴を持つものである。この牛舎に対し、建設途中から地下部に10数本の銅・コンスタンタン熱電対線を埋め込み、昭和47・48年度の2ケ年の厳寒期の牛舎地下部の温度環境の測定を行ない、合わせて牛舎内外の気温・湿度の測定も行なった。

2. 牛舎の概要

観測を行なった牛舎は成牛(550 kg)30頭用として設計されたものであり、幅12 m、奥行28 m、高さ4.4 mの半円形牛舎である。舎内には牛に必要な新鮮空気を送るために常時作用している小型ファンや舎内の温度調節を行なうためにサーモスタットと連動している大型ファンなどが装備されている。今回の調査期間中、舎内に収容されていた牛の頭数は、成牛(平均体重約500 kg)19頭、育成牛(平均体重約200 kg)15頭であり、舎内での発生熱量としては計画時の約76%であった。

3. 観測方法

牛舎地下部および床表面の温度は銅・コンスタンタン熱電対線を用いて測定した。なお牛舎地下部の温度は昭和47年度の観測では観測期間中自記記録させたが、その結果、牛舎地下部での温度の日変化はほとんど認められなかった。昭和48年度の観測では約1ヶ月の間隔で直接測定を行なった。なお牛舎地下部の温度測定位置はFig.1に示すごとく、A:断熱材の外側、B:断熱材とコンクリートの間、C:コンクリートの内側、D:

昭和49年11月1日 秋期大会にて発表

昭和50年10月7日 受理

*現在北海道大学理学部

Fig. 1 Cross section of the cow-house and measuring points of temperature.

舎内通路床下のコンクリートと砂利層との間、E：牛床部床下のコンクリートと断熱材との間、F：中央通路床下のコンクリートと砂利層との間、G：中央通路床下のコンクリート層下面から50 cm下方の地中、の各個所である。牛舎内外の気温・湿度は白金抵抗式自記通風乾湿計を用いて記録させた。ただし舎外の湿度は湿球凍結のため測定しなかった。

4. 観測結果と考察

(1) 牛舎内外の気温・湿度

牛舎内の気温はサーモスタットで制御されているため、制御振幅内での変動が激しく、日平均気温を求めることは困難であるため、外気温とも、日最高・最低気温を読み取った。舎内湿度は気温と同様に平均値を求めるのは難しいため、最高・最低気温出現時の相対湿度を求めた。なお最高気温出現時は温度制御用ファンがoffの状態の時、舎内の水蒸気量も多く、そのため相対湿度もほぼ最高値を示し、逆に最低気温の出現時は、舎内の水蒸気がファンによって排気された後であり、その時の相対湿度はほぼ最低となると考えてよい。Fig. 2は昭和49年1月中旬から3月下旬までの観測結果を示したものである。冬期間の気温は一般には1月中旬ごろに最低となるが、猿払村のあるオホーツク沿岸では例年2月初旬ごろからおしよせてくる流水のために2月中旬ごろが最も低温になり、今回の観測期間中における最低気温（ -20°C ）も2月に出現している。

舎内の最高気温の経過を見ると、ほぼ 11°C 前後で制御されていることがわかる。サーモスタットの設定温度は 10°C であるから約 1°C 高温で制御されていることになる。原因としてはサーモスタットが天井の壁に直接取

Fig. 2 Seasonal variations of air temperature and air humidity in and out the cow-house.

RH_{in} : Relative humidity in the cow-house, θ_{ain} , θ_{aout} : Air temperatures in and out the cow-house respectively.

- : Maximum value in a day,
- : Minimum value in a day,
- : Minimum value at night.

けられていたことにより、気温に比べサーモスタット本体がやや低温になったことが考えられる。

一方、舎内の最低気温では1日（0時～24時）の最低気温をとると昼間の給飼・清掃作業中に扉を長い時間開放状態にするため、外の寒気が流入し、極端な低温が現われることがあり、この牛舎の性能を知るためには不適當である。そこで作業があまり行なわれていない夜間（18時～6時）における最低気温をとると、ほとんどの日が 5°C 以上に保たれており、温度的には良好な飼育環境であることがわかった。

舎内の湿度環境の場合、最高湿度は87%前後で抑えられており、比較的良好ではあるが、まだ十分ではなく、少なくとも80%以下で抑えるべきである。しかし今回は収容している牛の頭数が少なく、舎内で発生する熱量は牛体重から推計すると、計画時の約76%程度であったため湿度環境が多少悪化したものと考えられる。

(2) 牛舎基礎部の温度分布と外部への熱移動量

Fig. 3は牛舎の布基礎部の温度分布を昭和48年12月15日から昭和49年3月1日の間に4回の観測を行ない、その平均値を図示したものである。A-B間は断熱材の効果により温度差が大きく、特に地表付近では3℃以上の差を示している。一方、B-C間は厚さ20 cmのコンクリート壁であるが温度差はほとんどなく、断熱の効果は全く認められない。

この布基礎部の断熱材が熱的にはどの程度の役割を牛舎全体の熱移動に対して持つか概略値を求めてみた。

Table 1は牛舎の奥行方向に1mの単位幅を考え、布基礎部を通り移動する熱量と地上部の壁体を通して移動する熱量を、布基礎部では断熱材の表裏の温度差から、地上部では単純化のため75 mmの断熱材のみの構造と考えて内外の気温差から求めて比較したものである。なお内部壁面と外部壁面における空気層の熱抵抗値は、それぞれ $R_{win}=0.139\text{ m}^2\cdot\text{hr}\cdot^\circ\text{C}/\text{kcal}$ 、 $R_{wout}=0.035\text{ m}^2\cdot\text{hr}\cdot^\circ\text{C}/\text{kcal}$ を用いた。地上部の構造はここでは75 mmの厚さの断熱材のみと考えたが、実際には外表面にカーポートなどの外装があり、地上部の壁体を通る熱量は

Fig. 3 Vertical profiles of temperature at the insulated foundation.

Table 1 Comparison of heat loss through the insulated foundation (Q_f) with that through the wall above the ground (Q_w).

Date	Insulated foundation (Q_f) Kcal/hr	Wall above the ground (Q_w) Kcal/hr	Q_f/Q_w %
1973			
14-18 Feb.	3.06	66.5	4.6
19-23 Feb.	3.56	62.7	5.7
24-28 Feb.	2.94	85.8	3.4
1-5 Mar.	3.66	86.4	4.2
6-10 Mar.	3.82	93.4	4.1
11-15 Mar.	3.24	106.2	3.1

若干多く見積られている可能性はあるが、断熱材の熱抵抗値は $2.17\text{ m}^2\cdot\text{hr}\cdot^\circ\text{C}/\text{kcal}$ ときわめて大きいため量的にはあまり大きな影響はないであろう。Table 1によると厚さ50 mmの断熱材を埋設した布基礎部を通過する熱量は、牛舎の地上部を通過する熱量の3~6%程度であって、あまり大きな値ではない。しかし厚さ200 mmのコンクリートのみの布基礎部の場合には、熱抵抗値は $0.126\text{ m}^2\cdot\text{hr}\cdot^\circ\text{C}/\text{kcal}$ で、この値は50 mmの断熱材を張った場合の1/13程度の値であるため、布基礎部を通過する熱量は無視できない量となる可能性があり、今後の検討が必要であろう。なお熱抵抗値はMidwest Plan Service (1971)の値を用いた。

(3) 舎内床部の地下および表面の温度分布

Fig. 4(a)は舎内床部のコンクリート(厚さ約10 cm)下部における温度の水平分布を示したものである。布基礎部での断熱材の効果がここでは明らかに現われており、A-B間の温度差がきわめて大きなものであることがわかる。もし布基礎部に断熱材が埋設されていなければ、図中の点線のごとき温度分布を示すものと考えられ、舎

Fig. 4 Horizontal distributions of ground temperature under the floor and surface temperature on the floor. (a) ground temperature, (b) surface temperature. Broken line is the estimated curve.

Table 2 Estimated temperatures at the inside surface of foundation wall.

Date	Insulated foundation ℃	Non-insulated foundation ℃	Dew point temp. in the cow-house ℃
1973			
14-18 Feb.	4.4	2.3	3.8
19-23 Feb.	4.6	2.5	3.6
24-28 Feb.	5.3	2.8	3.4
1- 5 Mar.	7.4	3.1	6.4
6-10 Mar.	7.3	3.1	5.9
11-15 Mar.	6.8	3.4	6.1

内の側壁に近い床面で結露が発生する可能性は十分にある。例えば、布基礎部の外表面温度として、Fig. 3 の中の A 点地上 20 cm での観測値、舎内気温としては舎内中央部における観測値を用いて、布基礎が厚さ 20 cm のコンクリートのみの場合と、それに厚さ 50 mm の断熱材を張った場合について舎内側の表面温度を概算して比較すると Table 2 のごとくとなり、断熱材を張った布基礎では舎内表面温度は、常に露点温度以上であるが、コンクリートだけの場合には舎内側の表面温度は露点温度を大きく下まわることから、結露が発生するとの結果が得られている。なお上記の計算の中の断熱材、コンクリート、舎内壁面空気層の熱抵抗値はそれぞれ前出のものを用いた。

Fig. 4 (b) は舎内における床の表面温度の分布を示したものである。本来、最も結露しやすい壁側の床が露点温度以上となっていることから、この牛舎では床面での結露の可能性は少ないことがわかる。しかし、この図では中央部の表面温度が低くなっているが、これは観測の直前に行なわれた給飼・清掃作業のために牛舎の中央扉を開放したので、中央通路を通して冷気が流入したことが原因と考えられる。なお、糞尿溝の周辺が糞尿の飛散およびその乾燥が遅いために湿潤状態となっているが、これは舎内の温度環境を改善することである程度改善されるであろう。

牛床下に埋設した厚さ 20 mm の断熱材については、比較対照とすべき観測値が得られていないため明らかなこ

とは言えないが、曾根ら(1974)によると、断熱材を埋設することにより、約 1℃ の牛床温度の上昇が観測されており、今回観測を行なった牛舎でも同程度の昇温効果はあるものと考えられる。

5. ま と め

牛舎の布基礎部に埋設した断熱材が、寒冷地の牛舎内の冬の期間の環境にどのような効果を持つか、実測に基づき検討を行なった。得られた結果を要約すると次のごとくとなる。

(1) 牛舎の布基礎部に埋設した厚さ 50 mm の断熱材により、断熱材の内側の温度は外表面温度より 2~3℃ 高温であったが、厚さ 20 cm のコンクリート部の内外の温度差はほとんど認められなかった(Fig. 3)。

(2) 断熱材を埋設した布基礎部を通過する熱量は地上部の壁体を通る熱量の 3~6% 程度の量である(Table 1)。

(3) 布基礎部に埋設された断熱材は牛舎内の床温の低下を防ぎ(Fig. 4)、床表面での結露の発生を防いでいる(Table 2)。

終りに、本研究を行なうにあたり、測定器具の設置作業などに多大な御協力をいただいた日熊工機株式会社札幌営業所、芝原慶次氏、長尾真一氏、石川一男氏、天野徹氏の各氏に深謝の意を表するとともに、北大農学部在学中に厳寒の猿払原野で幾度か猛吹雪に遭遇しながらも観測に同行して下さった、日大農獣医学部農業工学科浦野慎一氏、北海道立新得畜産試験場干場信司氏、内外エンジニアリング株式会社札幌支社繁永幸久氏に心から御礼申し上げる次第である。

参 考 文 献

- 1) 堂腰 純(1970): 畜舎換気の具体的例, 北海道家畜管理研究会報, 5, 26-32
- 2) Midwest Plan Service(1971): Structure and Environment Handbook, 9-11
- 3) 曾根章夫・干場信司(1974): 牛床埋設断熱材の断熱効果, 北海道の農業気象, 25, 4-7

Summary

Distributions of ground temperature under a cow-house were measured to make clear the effects of the insulated foundation on the thermal environment in the cow-house.

The results obtained from this study were summarized as follows:

- (1) The inside temperature of the foundation insulator was 2-3℃ higher than the outside. But the temperature difference between inside and outside of foundation concrete was very small (Fig. 3).
- (2) Heat flow through the insulated foundation was 3-6% in comparison with that through the wall above the ground (Table 1).
- (3) The insulated foundation was useful to make warmer the outer edge of the floor (Fig. 4), and protected to condense the water vapor at the inner surface of foundation wall (Table 2).