寒冷地における畜舎施設の凍上対策に関する研究

Study on Frost Heave Preventative Method of Livestock Buildings in Cold Region

小林 敏道^{*1}・川端 伸一郎^{*2}
Toshimichi Kobayashi Shinichiro Kawabata

細川 和彦^{*3}・干場 信司^{*4}
Kazuhiko Hosokawa Shinji Hoshiba

苫米地 司^{*5}
Tsukasa Tomabechi

ABSTRACT

The ratio of foundation cost to total cost is high in cold regions subject to ground damage due to frost heave. This is because a continuous footing is selected for foundations, and embedment depth is made larger than frost penetration depth to increase the resistance to frost heave.

In this study, a freezing survey was conducted on the ground in various buildings housing livestock, and a method for preventing frost heave that allows a simplified structure was proposed. Survey results revealed that the freezing environment inside the livestock building was harsher than that outside. It was also found that the inside freezing environment changed with changing building usage. The study results show the freezing characteristics under each condition and the relationship between freezing index and frost penetration depth. A method is proposed for selecting a construction method for livestock buildings that prevents frost heave.

Keywords : Livestock Building, Frost Heave, Foundation, Thermal Insulating Method

1. はじめに

畜舎に代表される畜舎関連施設は、これまで住宅等の一般建築物と同様に、建築基準法に準拠した設計がなされてきた。しかし、近年の農業施設が置かれた効率化や低コスト化の要求に対し、1997年には畜舎施設を対象とした設計荷重等の規制緩和が実現された¹⁾。この規制緩和は、畜舎施設の立地条件、使用状況、作業者の滞在時間などを考慮した内容であり、一元化することが難しい畜舎関連施設では作業者の滞在強度に応じた3つの施設区分を設けてい

る。これらの基本概念に基づき、「畜舎設計基準・同解説」では²⁾、具体的に積雪荷重や風荷重、防火規制の緩和、構造の簡素化などが盛り込まれた。また、今後は更なる効率化・低コスト化を目指しており、新たな対象項目として基礎構造の見直し等も検討事項として挙げられている。

基礎部が占める建設コストの割合は、地盤の凍上被害が深刻な寒冷地において高くなる。これは、凍上や凍着凍上の対策として布基礎を採用することや基礎の根入れ深さを凍結深度以深にするためであり、

*1 コバ建築事務所

*2 北海道工業大学社会基盤工学科 助教授 博士(工学)

*3 北海道工業大学環境デザイン学科 講師 博士(工学)

*4 酪農学園大学酪農学科 教授 農博

*5 北海道工業大学建築学科 教授 工博

[本稿受理：2005年4月28日，修正原稿受理：2005年5月26日，討論期限：2006年9月30日]

寒さの厳しい地域ほどコスト増になる。小林ら³⁾によると、総建設コストは、凍結深度20cm毎に6%程度増加し、この内訳としては土工事や型枠工事のコスト増が著しいことを報告している。凍上現象は、寒冷地特有の問題であるが、国内有数の酪農地帯が北海道や東北などの寒冷地に広く分布していることを考えると、畜舎施設で凍上が問題となる確率は非常に高いといえる。

すでにカナダでは、農用建造物に対する凍上対策設計指針が作成されており、凍上量の予測や断熱材による基礎の凍上対策工法などが提案されている⁴⁾。国内においても寒冷地建築物における基礎部のコスト削減手法としては、すでに一般住宅を対象として発泡プラスチック系断熱材による断熱工法が積極的に取り入れられており、これにより基礎の根入れ深さの低減を図っている^{5),6)}。図1は、断熱工法を模式的に表したものである。この工法は、内部からの熱供給がある一般住宅を主体と考えられており、倉庫や車庫部のように内部からの熱供給が無いような施設では、施設内部からの凍結防止のため床下地盤の断熱が必要となる。畜舎に対してこのような断熱工法を適用するには車庫部のような床下地盤の断熱との併用が望ましいが、床面積が広い畜舎施設では、コスト面からも単純な適用は難しい。さらに、畜舎施設は、一般建築物と異なり、換気や家畜への防風雪対策など使用目的により、外壁を有さない構造、もしくは外壁を有しても外気の進入を大幅に許容するものから密閉型の構造まで多種多様である。また、使用目的によっては、断熱効果が期待される敷藁の存在や家畜の放出する熱によって凍結環境が変化することが予想される。

そこで、本研究は寒冷地における畜舎施設の凍結環境を明らかにし、条件に応じた凍上対策の提案を行うことを目的とした。

2. 施設区分と実験対象施設

表1は畜舎施設を滞在強度によって分類した施設区分である。「畜舎設計基準・解説」²⁾では、施設区分の境界値として滞在強度を基に、ⅠとⅡで730[(人・時間)/(50㎡・年)]、ⅡとⅢで2,190[(人・時間)

図1 断熱工法の模式図

表1 畜舎関連施設の施設区分¹⁾

施設区分	対象施設（代表例）
Ⅰ	乳牛舎（搾乳牛舎、育成牛舎等） 肉牛舎（繁殖牛舎、育成牛舎、肥育牛舎等） 豚舎（種雌豚舎、肥育豚舎、分娩豚舎等） 採卵鶏舎（育すう舎、育成舎、成鶏舎等） 肉用鶏舎、堆肥舎
Ⅱ	搾乳舎、生乳処理室 畜舎及び生乳処理室に係わる付属室
Ⅲ	施設区分Ⅰ及びⅡ以外の施設 （選卵及び包装施設、ふ卵舎等）

/(50㎡・年)]を規定している。これらはそれぞれ、1人/50㎡で1日2時間、2人/50㎡で1日3時間の滞在時間に相当する。同基準では、滞在強度を用いることにより施設の重要度を明確にし、滞在強度の低い施設区分ⅠやⅡの構造や防火規制などの緩和を認めている。

施設区分Ⅰは、主として畜舎であり、これらは、換気などを目的に簡易的で外気の進入を容認するような壁構造のものが多く、したがって、外気温と室内温の差はあまり無く、家畜が放出する熱や敷藁などの有無が内部の凍結環境を支配していると考えられる。施設区分Ⅱは、搾乳舎など家畜と作業者が共

に滞在する施設であり、搾乳機械などが配置されていることから周囲を密閉するような壁構造のものが多く、さらに、作業者が比較的長時間に渡り滞在するため、簡易的な暖房設備を有する場合もある。施設区分Ⅲは、作業者のみが滞在する施設であり、壁の構造や暖房設備などは一般住宅と同程度である。このような施設区分は、滞在強度を基に定められているが、同時に内部からの熱供給条件と考えることが可能であり、凍結条件が厳しいものから順にⅠ～Ⅲと定義できる。

本研究では、凍結条件が厳しく、構造的な簡素化が容認される施設区分Ⅰの施設を調査対象とした。

3. 観測内容

基礎部の断熱工法は、一般住宅などでは既に採用されているものであり、断熱により地盤凍結を抑制し基礎の根入れ深さを低減させる工法である。過去において最も凍上被害が深刻な道路構造物などでも断熱工法による凍上抑制は試みられた⁷⁾。しかし、交通荷重を伝達させる構造物の中に断熱材が位置することや改修時の扱いに苦慮することなどの理由から、現在まで積極的な工法利用には至っていない。逆に、建築物の基礎周囲は過度の荷重を受けることが少ないことや頻度の高い改修が行われない利点がある。したがって、近年根入れ深さの低減工法として断熱工法を利用する例が多くなっている。

図2 基礎断熱併用スカート断熱工法^{8),9)}

住宅基礎における断熱工法は、正式には基礎断熱併用スカート断熱工法と称され、図2に示すような基礎断熱部とスカート断熱部の組み合わせによって構成されている。両者の役割は、基礎断熱部が基礎背面土の凍結抑制と基礎部を熱橋とした基礎底面の凍結抑制を目的とし、スカート断熱部が直接的な基礎底面土の凍結抑制を担っている。図2に示した断熱工法は、内部からの熱供給がある一般部の適用例である。既存のスカート断熱工法の仕様書では^{8),9)}、ポーチや車庫部のように内部からの熱供給が無い場合は背面部での基礎断熱と床下地盤の断熱を義務付けている。さらに、車庫部など非住宅部については、住宅本体と接していることを条件としてスカート断

表2 各施設の調査概要

地点	調査地名	施設種別	壁構造	観測箇所	観測内容	施工内容・環境	観測条件
A	大樹町	畜舎	一部（開放型）	屋外基礎部	凍結深度 凍上量	スカート断熱工法 ・地域区分 D ・断熱幅 600mm ・設計凍結深度 400mm ・断熱材厚 50mm [※]	施工・未施工
						積雪	あり・なし
B	上士幌町	畜舎	一部（開放型）	屋外地表面	地表面温度	積雪	あり
				屋内床下部	床下温度		なし
C	上士幌町	畜舎	一部（開放型）	屋内基礎部	凍結深度	敷藁	あり
				屋内床下部	床下温度		
		給餌舎	なし（開放型）	屋内基礎部	凍結深度	敷藁 床下地盤の断熱 ・断熱材厚 50mm [※]	なし 施工・未施工
				屋内床下部	床下温度	敷藁	なし
D	音更町	畜舎	一部（開放型）	屋内床下部	凍結深度	敷藁	あり・なし
		堆肥舎	なし（開放型）	屋内床下部	床下温度	堆肥	あり・なし

※ 断熱材は押出法ポリスチレンフォーム 2 種 b

熱工法の適用を認めており、独立した車庫などへの適用は認められていない。したがって、現状では、畜舎のような非住宅への適用は認められない。

本研究では、畜舎施設における凍結環境を使用目的別に明らかにし、通常一般住宅等で用いられる断熱工法の畜舎施設への適応を検証した。観測は、北海道十勝管内にある計4箇所の牧場内で実施した。表2に各施設の調査概要を示す。調査地点AおよびCでは、基礎断熱併用スカート断熱工法もしくは床下地盤の断熱を行い断熱工区と未施工区との比較により断熱工法の効果確認を行った。加えて、調査地点Cでは、施設の使用方法による影響を検討している。施設の使用方法とは、使用目的によって床面の状態が異なることを指しており、敷藁など断熱効果が期待される介在物の有無の影響を検討している。このような検討は、調査地点Dの畜舎においても同様に実施した。調査地点Bは、床面が露出した屋内部と積雪下にある屋外部の基礎周囲温度から凍結環境を比較し、積雪の断熱性を検証している。畜舎以外の施設としては、調査地点Dにおいて堆肥舎の凍結環境を調査した。なお、凍結深度の観測は、土中に15 cm 毎の深度でサーミスタ温度センサーを埋設し、得られた温度データから0℃位置(凍結深度)を求めた。

4. 結果と考察

4-1 基礎断熱併用スカート断熱工法の効果確認

図3は、調査地点Aの畜舎において実施したスカート断熱工法の凍結抑制効果である。これは、一般住宅用のスカート断熱工法^{8),9)}に従い、畜舎において基礎屋外部のみにスカート断熱工法を施工した事例であり、施設内部からの熱供給が期待できない条件に加え内部の断熱を行わない場合の影響を検討している。スカート断熱を行った断熱工区と未施工区では、凍結深度で20 cm 程度の差として凍結の抑制効果が確認できる。また、本施工例で設計上定めた凍結深度(地域区分と断熱幅で決定、表2)は40 cm であり、断熱工区で観測された凍結深度と近似することから、施設内部の熱供給条件は、屋外部の凍結深に与える影響は少ないといえる。ただし、畜舎は、

図3 スカート断熱工法の凍結抑制効果

内部からの熱供給が期待できないため、屋外部の対策のみならず、屋内部においての凍結環境を明らかにし、基礎部の凍結抑制を考える必要がある。

4-2 施設内外の凍結環境と積雪の断熱効果

畜舎は、基本的に家畜への風雨対策として屋根と簡易壁で構成された施設である。特に壁構造については、換気や作業上の目的から非常に簡易な構造であり、外気の進入を容認する開放型の畜舎も多い。密閉度の高い畜舎では、家畜の放射熱による室温上昇が報告¹⁰⁾されているが、開放型の畜舎では外気温と室内温は同一と考えられる。図4は、調査地点Bの畜舎における屋内部の床下温度と屋外部の地表面温度を外気温との関係で示したものである。なお、調査地点Bは積雪地域であり、屋外部の地表面温度は、積雪下における温度である。この関係から、屋内部の床下温度は、外気温とほぼ等しいことが分り、屋外部の地表面温度との比較から屋外部が積雪状態にある場合は、屋内部の凍結環境がより厳しくなることが確認される。

雪の断熱性は非常に高く、自然積雪が15~20 cm 程度で継続的に堆積した状態では、地盤凍結は生じないとされている^{11),12),13)}。凍結が生じなくなる限界積雪深に関しては、前述の範囲で諸説あるものの最大値でも20 cm とされ、この積雪量を期待できる地域は、国内においても広域に分布している。そこで、積雪の断熱性を評価するために、調査地点A(未施

工区)において積雪条件を変化させ、凍結深度と地表面凍上量を観測した。この観測は、同一観測点で1年目を除雪状態とし2年目を自然積雪状態で行ったものである。図5は、積雪条件ごとの凍結深度の推移である。除雪状態とした年度は、凍結深度が75 cm程度まで達したのに対して、積雪状態の年度では、凍結は大幅に抑制され20 cm程度まで減少している。また、積雪状態の凍結深度の推移が、凍結初期段階で急激に変化した後、20 cm程度で収束していることは、前述した限界積雪深に達するまでの時間遅れに起因する凍結進行である。このような時間遅れは、年度による気象条件の違いによって変動するものと考えられるが、北海道における一般建築物の標準的な根入れ深さは、最小でも50 cm程度を必要とするため、時間遅れに伴う凍結には十分対応可能であると考えられる。図6は、図5の観測時に同時観測した地表面凍上量である。凍上量は、凍結深度と対応して変化しており、除雪状態で観測された7 cm程度の凍上は、積雪状態では観測されていない。なお、凍上量がマイナスを示していることは、初年度の凍上・融解によって若干の沈下が生じたことを表している。

以上の結果から、積雪が期待できる場合には、屋外部の基礎周囲での凍結は無視できることが示唆された。住宅などの一般建築物では、施設の重要性や安全面の配慮から、不確定要素である積雪を設計に加味することは難しい。しかし、畜舎施設に関しては、独自の観点で施設の重要度をある程度低下させて容認できれば、積雪条件を設計に加味することも可能であると考えられる。

4-3 使用方法の違いが凍結環境に与える影響

前項までの結果から、畜舎などでは、屋外部よりも屋内部の凍結環境が厳しくなることを述べてきた。そのため、施設内部の凍結環境を明らかにすることが、畜舎施設の凍上対策を考える上では重要となる。

畜舎関連の施設は、内部の環境が使用目的によって大きく異なり、凍結環境に関しても単純に一元化することが難しい。例えば、畜舎では、使用目的から敷藁を床面に敷く場合などが多く見受けられるが、

図4 畜舎における屋内外の凍結環境

図5 積雪の有無による凍結深度の変化

図6 積雪の有無による凍上量の変化

畜舎内部をさらに目的別に柵などで区別し、作業用搬路など床面が露出した条件で一部を使用する場合もある。

そこで、使用条件ごとの施設内部の凍結環境について検討した。図7は、調査地点Cにおける畜舎および給餌舎の床下温度と両施設の室温差である。両施設は、同一の敷地内に同時期に建設された施設であり、畜舎は床面全面に敷藁がある条件、給餌舎は床面が露出した条件で使用されている。なお、両施設の床構造は共通であり、同図は、建設期間から供用開始直後の期間を意図的に抽出したものである。図から分るように建設期間中は、両施設共に、ほぼ同値の床下温度を示しているのに対して、供用開始以降は、畜舎の床下温度のみ上昇する傾向がみられる。供用開始以降の施設内部の条件の違いとしては、敷藁の搬入のみであり、室温差に明確な差異が見られないことから、このような違いは敷藁の断熱性を表しているものと考えられる。

敷藁の敷設条件や管理方法に厳密な規定は存在しない。しかし、複数の施設の目視調査では、本来の敷設目的である家畜保護（敷料）の観点から敷厚などに著しい差は見受けられず、総じて20 cm以上の厚さで全面に敷藁が敷かれていることが一般的である。ただし、敷藁のような施設の使用方法に関連する条件は、施設ごとの管理上の違い（敷設厚さのばらつき、敷藁の種類、交換頻度など）も影響することが予想されるため、一施設のみの観測結果から断定的な結論を導くことは難しい。表2で示したように敷藁の有無による凍結環境の調査は、管理者が異なる2箇所の調査地点の畜舎において実施しており、本研究では、施設管理の違いが凍結環境に与える影響も検討している。この検討では、図7の施設以外にも、調査地点Dにおいて敷藁条件を変化させた土中温度の観測を行っている。また、調査地点Cでは、施設内部に断熱工法（床下に断熱材を敷設）を適用した場合の観測も実施している。これら複数の施設で観測された結果を一般化し比較検討するため、凍結指数と凍結深度の関係を求めた。結果の一例として、図8に調査地点Cの給餌舎（床面露出条件）における凍結指数と凍結深度の関係を示す。調査地点Cの施設は、1998年～2003年まで観測を継続しており、本結果は、年度ごとに整理されたすべてのデータが含まれている。凍結深度は、凍結指

図7 敷藁の有無による床下温度の変化

図8 凍結指数と凍結深度の関係

数によって一般化することが可能であり、凍結指数の二乗根の関数で表現することができる。凍結指数と凍結深度の関係は、いずれの調査箇所においても同様に整理できることから、すべての条件で両者の関係式を求めた。なお、調査地点Dについては、2000年～2003年までの観測結果である。図9は、各施設および内部条件ごとの凍結指数と凍結深度の関係である。2施設における敷藁条件の関係は、20 cm程度の凍結深度の違いとして現れているが、より深部に凍結が達している調査地点Dの値においても、敷藁の断熱性が断熱材と同程度で期待できることが分る。また、床面が露出した条件においては、2施設で10 cm程度の違いはみられるものの、ほぼ同様な傾向を示している。

ここで、一般的な床構造は、RC 構造と敷き均し碎石によって構成されることが多く、その層厚は、40～50 cm 程度となる。本研究で対象としたすべての実験施設においても、ほぼ同様に RC=15 cm、碎石=30 cm の構造である。さらに、寒冷地においては、前述したように基礎の根入れ深さも最低限 50 cm 程度は必要となることから、50 cm までの深度については、施設の標準仕様として凍上対策が実施されていると解釈できる。ここで、50 cm の範囲まで凍上対策が施されていると想定すれば、最大凍結深度で考えると、対策深さの約 1.4 倍の凍結深度まで現状の構造で対応可能と考えることができる。これは、通常の道路設計などで用いられている置換率の概念を適用した場合であり、凍上対策が最大凍結深度の 70% までとする考え方である。この概念を適用すれば、凍結深度（許容最大凍結深度）70 cm (= 50 cm × 1.4) 程度までは、現状の構造で対応可能となり、図 9 の関係から、最大の凍結深度となる床面露出条件でも凍結指数（許容最大凍結指数）が 300℃・days 以内の地域では、凍上対策の必要は無いと判断される。ここで、許容最大凍結指数を 300℃・days とした判断は、調査地点 D の結果から考えるとやや危険側であるが、300℃・days の値は、寒冷地において比較的小さな値であり、そのような地域で凍上被害が報告される例が非常に少ないことから、経験的な判断も加味し決定している。また、敷藁がある条件では、70 cm 以上に凍結が進行することはなく、施設内部の凍結に関しては考える必要はない。このような結果を利用すると、建設予定地の凍結指数と施設の使用方法から、凍上対策の必要性を検討することが可能となり、対策が必要な場合は、断熱工法（スカート断熱工法や床下地盤の断熱）の結果などを参考にして、工法の選定が可能となる。

つぎに、その他の施設例として、図 10 に調査地点 D における堆肥舎の床下温度を示す。堆肥の発酵熱は非常に高く、冬季においても床下温度はプラス数 10℃ の値を示している。このため、堆肥舎における地盤凍結問題は、基本的に想定する必要はないが、同図に見られるような急激な温度の低下や上昇は、堆肥の搬出と搬入によるものであるため、冬季間の

図 9 施設使用条件と凍結深度の関係

図 10 堆肥舎における床下温度の推移

堆肥管理が地盤凍結を抑制するために重要である。

4-4 施設の特性を考慮した凍上対策工法の提案

これまで述べた内容から、一般建築物と比較すると畜舎施設の基礎周囲は、内部の条件などによって図 11 に示すような地盤凍結イメージとして表現できる。一般建築物は、施設内部の熱供給により、屋内部に行くに従い凍結が解消されるのに対して、畜舎などは、屋内外の区別は無く、施設内部の条件によって凍結環境が大きく変化する。特に、屋外部に積雪がある場合などは、屋外部よりも内部の凍結環境が厳しくなることも、畜舎施設の特徴であり、さらに、内部の凍結環境は、敷藁などによって変化するものである。

以上のことを参考にして、図 12 に畜舎施設に対す

図11 条件ごとの基礎周囲地盤凍結イメージ

る凍上対策のフローチャートを提案する。本案は、対象を畜舎などに限定し、施設の重要度を意識的に低下させたことにより、通常の設計では加味しない項目を付加している。フローでは、凍結指数 $300^{\circ}\text{C}\cdot\text{days}$ を境界値として凍上対策の必要性を判断し、基礎屋外部から屋内部の順に検討を行いながら、具体的な対策を決定していく。この際、予め施設の使用方法を考慮に入れ、敷藁の有無や積雪条件を判断して設計に盛り込むことが必要となり、部分的な断熱工法の導入や施設管理者への意識の徹底も重要となる。また、一部の条件で生じる可能性がある床面の凍上被害についても施設の機能性が著しく低下しない限り過度の凍上抑制工法は用いず、ある程度の凍上を許容することも選択肢の一つとして考えられる。ただし、このような場合は、床面の凍上による基礎部への悪影響や床面変位の自由度を増すため、一般的に用いられている床スラブと基礎部の結合設計を行わず、独立した床構造にする必要がある。

5. まとめ

畜舎関連施設は、建設費の低コスト化の要望が強く、建築構造の簡素化に加え、基礎構造の見直しもコスト削減には、重要な項目とされている。しかし、寒冷地においては、基礎部に対して凍上対策を施す必要があり、単純な根入れ深さの低減などは難しい。

図12 畜舎施設に対する凍上対策フロー

本研究は、構造の簡素化がある程度容認される畜舎施設に対する凍上対策の提案を目的として、各種の畜舎施設における凍結環境について考察した。結果は以下の通りである。

- 1) 畜舎において一般住宅に用いられるスカート断熱工法を屋外部のみに施工した結果から、実測の凍結深度は、設計上の凍結深度と近似しており、施設内部の熱供給条件が屋外部の凍結深度に与える影響は少ないことが明らかとなった。
- 2) 開放型の畜舎では、施設内温度は外気温と等しく、屋外部に積雪がある場合には、施設内部の凍結環境が屋外部より厳しくなる。
- 3) 積雪の断熱性は非常に高いことが凍結深度および凍上量の観測から明らかとなり、基礎周囲に限界積雪深以上の積雪があれば、屋外部の凍結は無視できる。
- 4) 敷藁の断熱性は非常に高く、断熱材と同等の凍結抑制効果が見込める。
- 5) 施設条件ごとに凍結指数と凍結深度の関係を求

め、敷藁条件における凍結深度が許容最大凍結深度以内に抑制されることを確認した。また、最も過酷な凍結条件となる床面露出条件の結果を参考とし、凍上対策を必要としない許容最大凍結指数を $300^{\circ}\text{C}\cdot\text{days}$ と定めた。

- 6) 堆肥舎における床下温度を示し、冬季の堆肥管理の重要性を明らかにした。
- 7) 各項目で明らかにした内容を基に、畜舎施設を対象とした凍上対策の選定方法をフローチャートとして示した。

参考文献

- 1) 姫田 尚：畜舎建築の低コスト化と規制緩和，第12回農業施設研究会資料，pp.41～49，1997
- 2) 日本畜産施設機械協会：畜舎設計基準・同解説，1997
- 3) 小林敏道・苫米地 司・干場信司：積雪寒冷地における畜舎施設の建設コスト分析，農業施設，Vol.30，No.4，pp.43～50，2000
- 4) 土谷富士夫：カナダにおける農用建造物の凍上対策設計指針，第37回農業土木学会北海道支部研究発表会講演要旨集，pp.29～32，1988
- 5) 藤村成夫・服部勝雄・阿部宏侑：断熱材を用いたベタ基礎の凍上防止の試験，第3回寒地技術シンポジウム講演論文集，pp.288～293，1987
- 6) 藤村成夫：建物の凍上被害と対策，土と基礎，Vol.38，No.6，pp.78～80，1990
- 7) 伊福部宗夫：断熱材による道路の凍上防止試験，北海学園大学工学部研究報告，No.1，1972
- 8) 北海道建設部建築指導課：スカート断熱工法設計・施工マニュアル，1997
- 9) 住宅金融普及協会：木造住宅工事共通仕様書（北海道版），2003
- 10) 干場信司：畜舎等農業建築物に対する法規制の考え方について，第12回農業施設研究会資料，pp.50～61，1997
- 11) 福田正巳：自然積雪下の土の凍結の深さの推定法について，北海道大学低温科学研究所業績，2446号，pp.55～74，1982
- 12) 東 晃：北海道の土壤凍結—積雪との関係—，農業物理研究 第3，養賢堂，pp.145～157，1961
- 13) 土谷富士夫：十勝地方における火山灰土壌の凍結，凍上が農地に及ぼす影響に関する研究，北海道大学博士論文，pp.100～114，1986