

土の凍結と地盤工学

6. 建築物の凍上問題と対策

月 館 司 (つきだて つかさ)

北海道立北方建築総合研究所

6.1 はじめに

本章では、建築物にかかわる凍上問題について概説し、その基本的な対策を述べる。また、最近、ISO 規格となった地盤断熱による凍上防止について、その考え方、諸外国の事例、北海道で作成された設計マニュアルについて述べる。

6.2 建築物と地盤の凍結

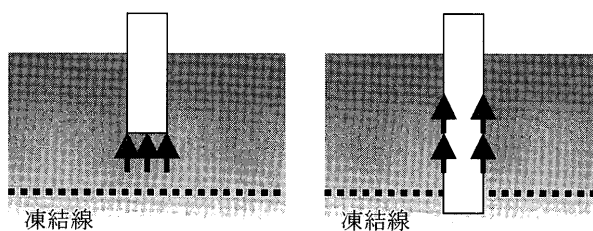
建築基準法施行令において、「建築物の根入れの深さ（基礎の深さ）は、べた基礎の場合12 cm 以上、布基礎の場合24 cm 以上とし、かつ、凍結深度よりも深いものとする」と定められている。したがって、凍上現象が一般に認知されている北海道のような寒冷地では、住宅そのものが凍上被害を受けることはほとんどなくなっている。フェンスの凍上被害例を写真—6.1に示す。

建築物の凍上の形態としては、図—6.1に示す次の4種類がある。

- 1) 建物の基礎底部が凍結深度より上にあるために直下から押し上げられる凍上
- 2) 基礎底面は凍結深度より下にあるが、凍土が基礎側面に凍り付き、地盤の凍上とともに引き上げられる凍着凍上
- 3) 基礎に土間コンクリートが接していて、土間下の土が凍上し、土間の凍土とともに基礎も持ち上げる接触凍上
- 4) 基礎の片面が大気に露出していて（擁壁）、その裏面の土が凍り、上方および水平方向に押し倒される側面凍圧

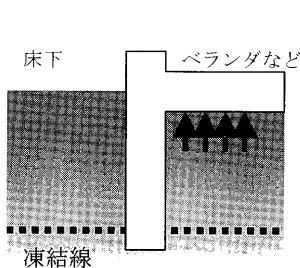


写真—6.1 フェンスの凍上

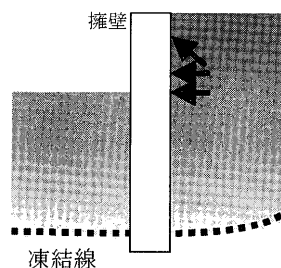


1)凍上

2)凍着凍上



3)接触凍上



4)側面凍圧

図—6.1 建築物の凍上の形態

これまでの講座で述べられているように、土が凍結すると必ず凍上が起きるわけではない。しかしながら、建築物の場合には、道路などに比べ、より安全側に配慮し、凍結深度を基準に凍上に対する基礎深さを決定している。

このほか、建築と地盤凍結のかかわる問題としては、給水管など埋設配管の凍上被害および凍結被害がある。各自治体の水道局は、公道下、宅地内など場所ごとにわけて、給水管の埋設深さを指導している。

6.3 凍結深度

凍結深度は、地中温度が0℃になる位置までの地表からの深さとして定義され、気温など気象条件のほか、土質や含水率によって支配される。積雪も一種の断熱材の役目を果たすので、凍結深度に大きな影響を与える。凍結深度を求めるには、実測によるほか、次式によって概略値が推定できる。

$$Z = C\sqrt{F}$$

ここで、Z：凍結深度 (cm)

講 座

 F : 凍結指数 (°C日) C : 係数

係数 C の値など、詳細は講座第 2 章を参照されたい。

凍結深度は、例えば、北海道では、市町村毎に標準値が定められている。同じ市町村内でも場所により温度が異なるため、経験的にそれよりも深く基礎が施工される場合もある。また、建築物に対する凍結深度と給水管埋設用の凍結深度は異なる。後者の場合、道路下に埋設されるので地表が除雪されること、アスファルト舗装や碎石の施工により地表付近の含水率が小さくなること、などのため凍結深度が深くなる。給水管の場合、凍上以外に凍結も考慮する必要があるため、地盤に凍上性がなくても、凍結深度より深く埋設する必要がある。北海道における建物に対する凍結深度および給水管埋設深さの例を表—6.1に示す。

表—6.1 建物に対する凍結深度および給水管埋設深さ

都市名	建物に対する凍結深度*1 (cm)	給水管埋設深さ*2 (道路) (cm)
札幌	60	120
旭川	60~100	140
函館	50	120
帯広	100	150 (普通), 180 (砂礫, 砂質)
北見	100 (砂利), 120 (火山灰)	150

*1: 住宅金融公庫：木造住宅工事共通仕様書（北海道版）

*2: 日本水道協会北海道地方支部：寒冷地の給水装置設計・施工指針

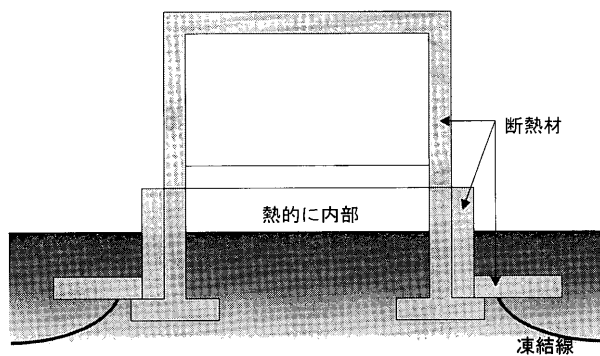
6.4 基本的な凍上防止

建物の基礎の凍上防止は、建築基準法施行令に定められているように、基礎の深さを凍結深度より深く施工することが基本である。後述するような断熱工法を用いる場合にも、断熱により浅くなった凍結深度を基準に、それよりも深く基礎を施工する。

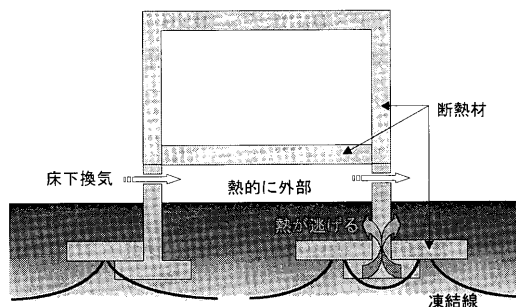
また、6.2で述べた凍上のうち、2)の凍着凍上を防止するためには、基礎周辺の埋戻し土を凍着性の小さい砂利などに置き換え、かつ排水を良くすることが有効である。3)の接触凍上は、玄関ポーチやカーポートなどの建物に接している土間コンクリートの凍上により発生するので、土間下を凍上性のない砂利などに置換する、土間と地表面の間に空間を設ける、建物の基礎と土間の縁を切るなどの対策がある。4)の側面凍圧の場合には、上部のほか側面から凍結が進行するので、擁壁の裏面を凍上性がなく排水の良い砂利などに置換する必要がある。これら2)~4)の凍上に対しても、断熱工法を用いることで、土の砂利などへの置換範囲を大幅に減少することができる。

6.5 地盤断熱による凍上防止

凍結深度が深い地域では、多量の残土処理や掘削時の周辺への配慮を要し、基礎工事に多大な費用がかかることになる。このため、北欧や北米では、地盤を断熱することで凍結深度を低減しようとする研究が行われてきた。



図—6.2 地盤断熱による凍上防止



基礎の周りを断熱しても基礎のコンクリートを伝って熱が逃げるのであまり効果がない。

図—6.3 床断熱の場合の地盤断熱

建築物の地盤断熱による凍上防止は、図—6.2に示すように、建物の断熱効果も含めて、基礎周りをすっぽり断熱材で覆うことにより、基礎周りの地盤の温度低下を防止するものである。したがって、建物が暖房され室温が高く保たれていれば、建物の断熱性能が低くても凍上防止効果は得られるが、暖房が行われない場合には、基礎周りだけではなく建物の断熱性能が重要になってくる。図—6.3のように床断熱の建物では、床下温度が外気温に近くなるため、基礎周囲を断熱しても、地盤温度を保てない。図—6.3右側に示す基礎のように、基礎の両側を断熱したとしても、基礎のコンクリートは熱を伝えやすいため、基礎から熱が逃げ、十分な効果を得るのは難しい。

もともと、地盤断熱の発想は昔のラップランドから始まったとされている。ラップランドの住宅では、壁の外側に雪の塊を積み上げて断熱層とし、建物の中を暖めておけば、壁は凍らず、かつ凍上による建物へのダメージはないということが経験からわかっていたという。地盤断熱の研究・開発が盛んに行われたのは北欧諸国が最初であり、1950年代初頭には実験的な取り組みが開始され、その時の研究結果として基礎の外側を断熱すれば室内から基礎やスラブを通して地盤に逃げる熱が凍上防止に効果があることが明らかとなっている。その後、コンピュータシミュレーションによって、基礎の隅角部における広い幅の断熱の必要性が明らかにされている。また、1970年代はじめには、ノルウェーで大がかりな研

究予算が投じられ、実験や予測手法の技術向上が図られている。

地盤断熱は、1967年、スウェーデンの建築基準法の中に組み込まれ、ノルウェーでは1973年、フィンランドでは1978年に組み込まれている。この後、100万戸以上の住宅が北欧諸国で建設されたが、凍上障害を起こした事例はなく、現在では住宅はもちろん、低層の事務所ビルでも、この方法が一般的に用いられている。

地盤断熱に用いられる断熱材は、アメリカでは、断熱材への水分浸透による性能低下が小さい点を考慮して、XPS（押出法発泡ポリスチレン）が一般的である。北欧諸国では40年近く XPS または EPS（ビーズ法発泡ポリスチレン）が使用されてきている。ノルウェー工科大学のトゥーア教授によれば、ノルウェー国内では、基本的に XPS かロックウールが使用されているとされ、防水処理などの特別な断熱材上部の保護処理はせず、そのまま地中に埋めているという。ただし、ロックウールの場合は、ポーラスな材料であることから、確実に排水を行えるように断熱材の下に排水層を必ず設けているという。フィンランドでは、断熱材の水分浸透に関する防護策として、当初、断熱材上部で防湿していたが、その効果に関する比較実験を行った結果、防湿した方がやや良いが、コストや工事手間をかけて行うほどの違いはなかったという結論に達したとのことである。

6.6 ISO 規格

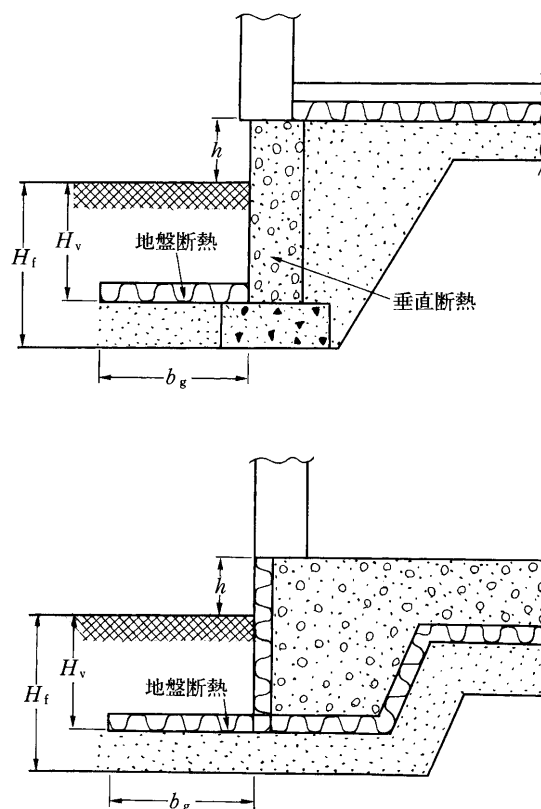
2001年、ISO13793, Thermal performance of buildings—Thermal design of foundations to avoid frost heave が制定された。ISO 規格では、建物が暖房されることが前提となっている。まず、基本的な地盤断熱の方法が図—6.4のように示されており、基礎のコーナー部や一般の基礎壁部分、非暖房空間の部位に応じて、凍結指数をパラメーターとして、基礎の深さ（図中 H_t ）、断熱材の性能、地盤断熱の幅（図中 b_g ）が数表または線図により示されている。冬季に室温が 5°C 以下になる建物の場合（我が国においては、床断熱の住宅の床下に相当する）には、図—6.5のような仕様が示されており、断熱の幅などが同様に示されている。しかし、この仕様は断熱材に建物の加重がかかるため、強度の点から一般

的に採用するのは難しいと考えられる。

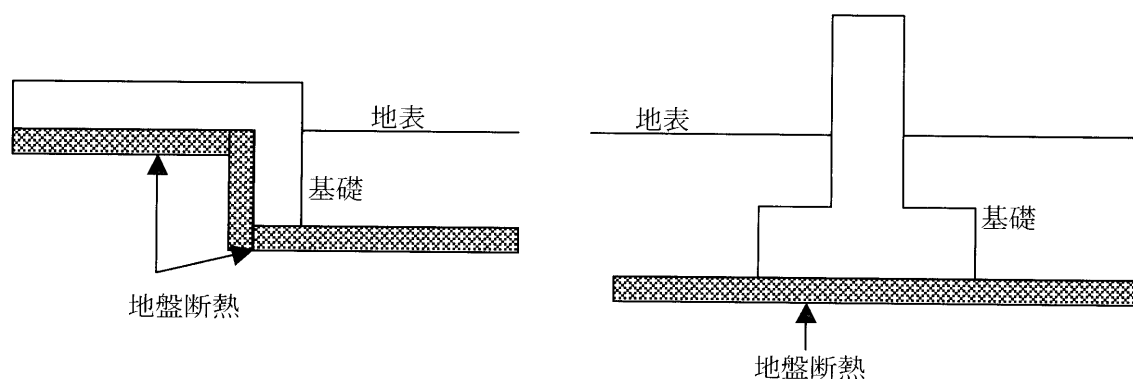
また、これらの図以外の仕様が検討できるように、規格のもとになった数値計算法、境界条件、地盤の物性値も示されている。

6.7 北海道におけるスカート断熱

北海道では、基礎工事における残土処理やコストの低減を目的として、基礎付近の地盤の凍結深度を低減する地盤断熱の設計手法が、「スカート断熱工法、設計・施工マニュアル」として、1997年にまとめられている。設計手法をまとめる際、すでに ISO の規格案が示されていたが、北海道の住宅で採用するには次のような課題が残っていた。一つは、図—6.6のタイプの断熱手法を採用する場合、ISO 案では、室温が 5°C 以上に保持されることを前提としていた。北海道では建売や空家での最



図—6.4 暖房される建物の地盤断熱の例（ISO13793）



図—6.5 暖房されない建物の地盤断熱の例（ISO13793）

講 座

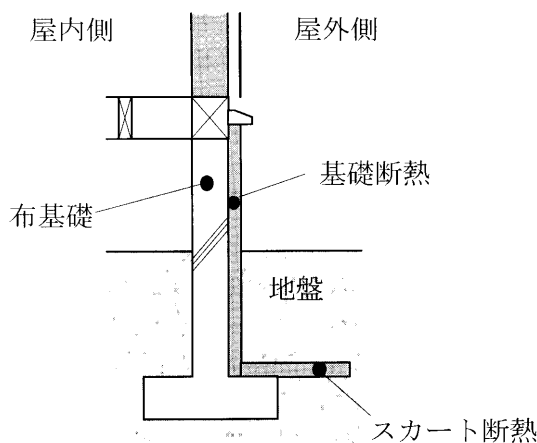


図-6.6 スカート断熱

低温度保持の習慣がないことから、実用的に見て、無暖房の場合にも適用できるものとする必要があった。二つ目は、ISO 案では積雪が無視されている点である。積雪の断熱効果は大きく、これを無視すると、多雪地域において、これまで運用されてきた各市町村の凍結深度と大きくかけ離れてしまうおそれがあった。これらのことから、北海道においてスカート断熱工法を採用するため、北海道の気候特性や住宅の断熱性能を踏まえた独自の設計資料を作成することとなった。

まず、北海道で最も寒い地域の一つである陸別町で、無暖房の試験棟(断熱性能は新省エネルギー基準レベル)で実測を行い、スカート断熱の効果の検証と、ISO 規格案に示されていたシミュレーション手法(凍結潜熱を考慮した三次元非定常熱伝導計算)の検証を行った。その後、新省エネルギー基準レベルの断熱性能をもった無暖房の住宅を対象に、シミュレーションにより地域に応じた仕様を決定した。

スカート断熱の幅と厚さ、および凍結指数の最大凍結深度に及ぼす影響を図-6.7、図-6.8に示す。凍結指数が増すと、その平方根に比例するように凍結深度は深くなる。スカート断熱の幅が広くなるにつれ、凍結深度が浅くなり、スカート断熱を設計する上で、幅の設定は重要な要素であることがわかる。また、図-6.7からスカート断熱の厚さが100 mm と50 mm の場合では、同じ凍結深度となるスカート断熱の幅に、おおむね50 mm、最大で100 mm 程度の差があることがわかる。しかし、通常、断熱材の切断寸法は歩留まりを考慮して300, 450, 600, 900 mm となることから、断熱材厚さを50 mm から100 mm に増しても、切断の寸法が変わる可能性は低い。このため、簡便性を考慮してスカート断熱材厚さは50 mm に固定して設計資料を作成している。

また、凍結深度は、気温(凍結指数)のみならず、積雪の影響も大きい。北海道内の各市町村の建築物に対する凍結深度を調べてみると、最大積雪深が大きいほど凍結深度が浅い傾向が見出せた。この凍結深度は約20年間、住宅基礎の凍上に対し何ら問題なく運用されてきたものであり、積雪等の気候条件や地盤の性質等の要素を含んだ各地域の特性に合致したものであると考えること

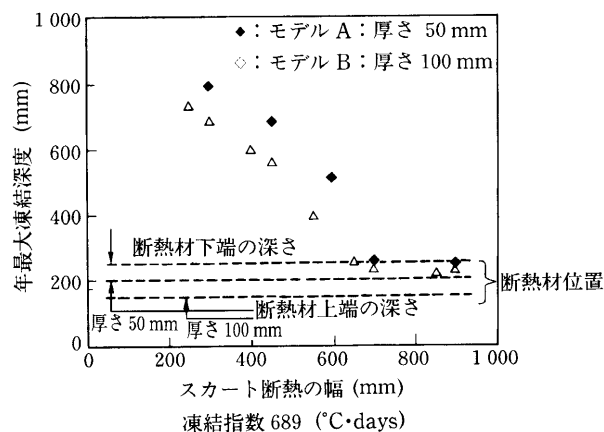
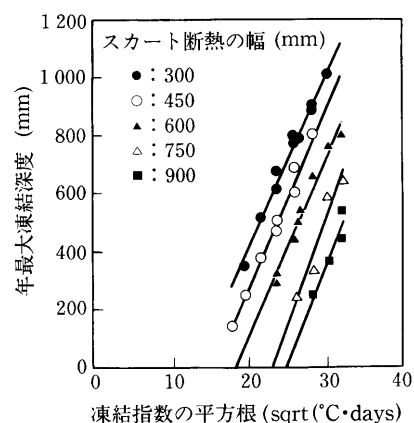
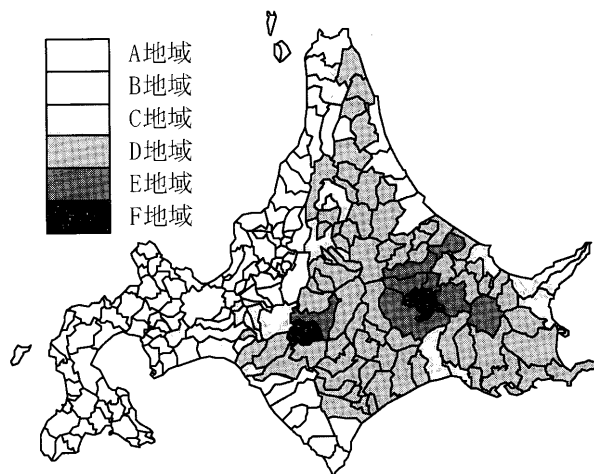
図-6.7 スカート断熱の幅、厚さと凍結深度⁷⁾図-6.8 凍結指数・スカート断熱の幅と凍結深度⁷⁾

図-6.9 スカート断熱設計用の地域区分

ができる。

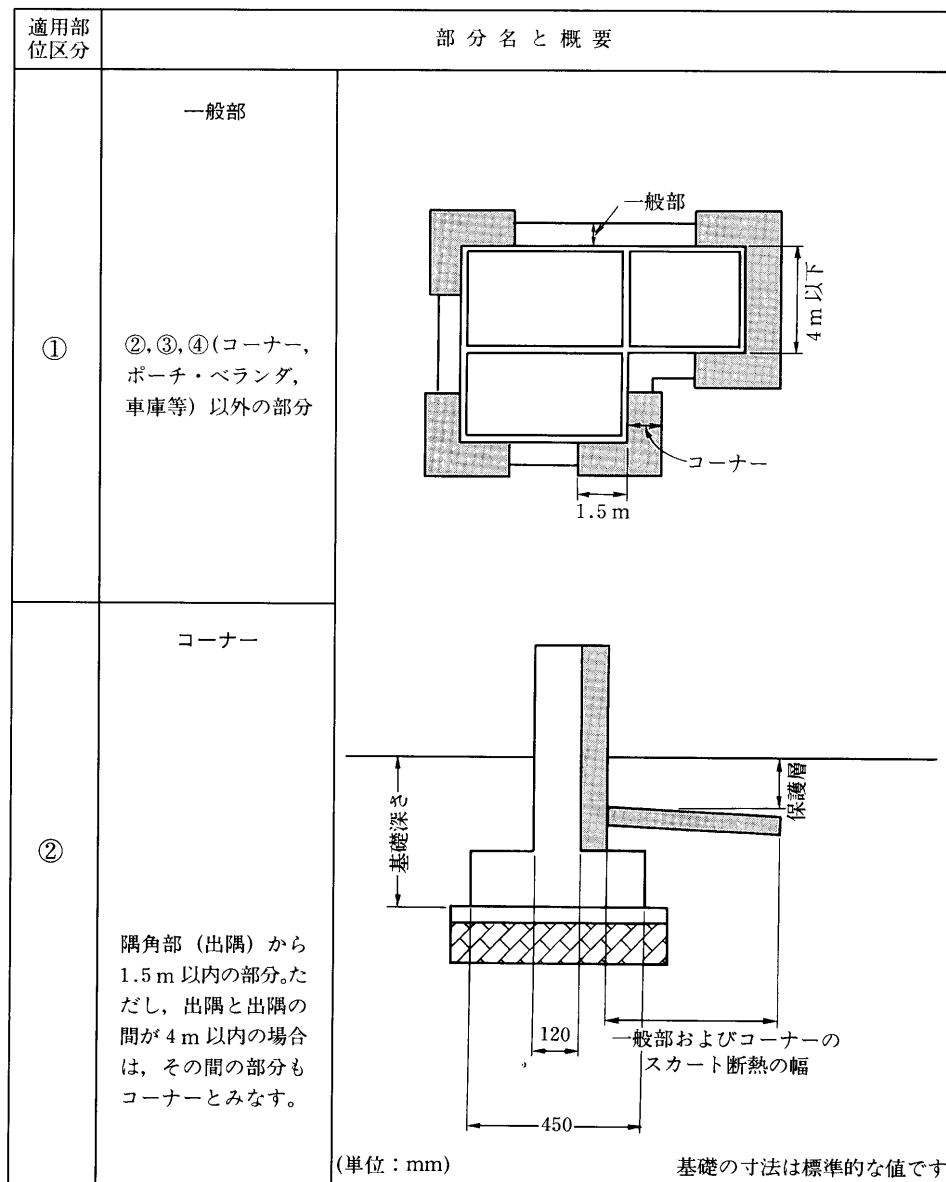
したがって、「スカート断熱工法、設計・施工マニュアル」では、凍結指数のほか、多雪地域については積雪の効果も考慮することとして、北海道を図-6.9のようにA～Fの六つの地域に分類している。A地域は最も温暖な地域であり、札幌市を含み、従来の設計用凍結深度が500～600 mm の地域が主である。またC地域は設計用凍結深度600～800 mm の地域が主で、旭川市など寒冷ではあるが積雪量も多い北海道中央の地域を多く含む。

表—6.2 スカート断熱の幅を決定する早見表

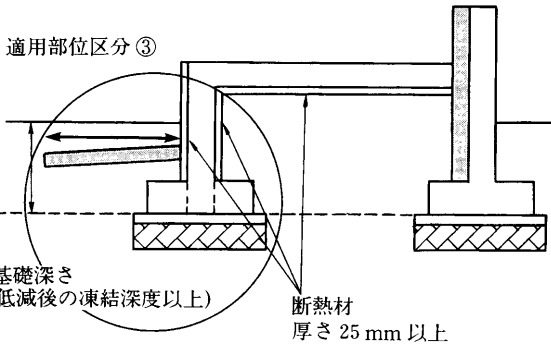
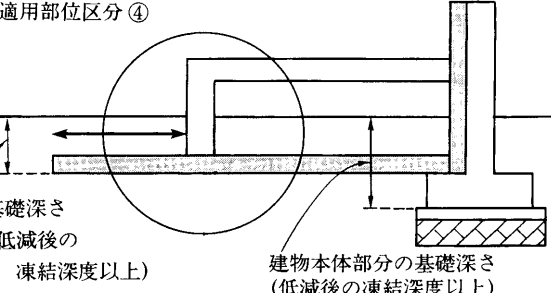
基礎深さ (凍結深度) (mm)	適用 部位 区分	スカート断熱の幅の最低値 (mm)					
		地 域 区 分					
		A	B	C	D	E	F
400	①	300	300	450	600	700	
	②	300	450	600	750	900	
	③	450	600	750	900	1050	
250	④	550	700	800	950	1100	
600	①		300	300	400	500	600
	②		300	400	600	750	900
	③		450	600	750	900	1050
450	④		550	700	850	1000	1100
900	①					300	300
	②					450	600
	③					600	750
750	④					750	900

F 地域は最も寒冷な地域で陸別町など二つの町である。

表—6.2に、スカート断熱工法を一般に利用可能なものとするために作成した、北海道全域を対象とする設計用の早見表を示す。スカート断熱の厚さや種類については、押出法ポリスチレンフォーム2種、厚さ50 mm 相当以上という、単一の規定とすることで、より簡便な設計手法となるようにしている。また、同一の建物の基礎であっても、基礎の直線部分と出隅部分などの部位によって、あるいは、断熱材の施工方法によって凍結深度が異なる。そのため、部位と断熱方法から、基礎を図—6.10のような①～④の適用部位区分に分類し、それぞれの適用部位区分に応じた最適設計ができるようにしている。適用部位区分①は住宅居住部分の基礎の直線部分、適用部位区分②は住宅居住部分の基礎のコーナー部分などである。また、③はポーチ・ベランダであり、④は自重以外の荷重がかからないポーチ・ベランダに適用できるものである。



図—6.10(1) スカート断熱の例

適用部位区分	部分名と概要	
③	ポーチ・ベランダ (2) ポーチ・ベランダ部分。(当該部分の基礎の躯体内側等に断熱材を施工し、基礎の布部分が熱橋となるもの。)	適用部位区分③ 
④	主体構造を担わない ポーチ・ベランダの 基礎 ポーチ・ベランダ部分で、2階以上の荷重がかからない基礎。	ポーチ・ベランダ 適用部位区分④ 

図—6.10(2) スカート断熱の例

早見表以外の基礎深さにしたい場合には、別に作成されたチャートにより、設計することができる。

6.8 おわりに

ここでは、建築物にかかわる凍上問題とその対策を述べた。建築物の凍上防止は、基礎を凍結深度より深く施工することが基本であるが、適切な地盤断熱を行うことで、凍結深度が浅くなり、基礎工事および残土処理のコスト削減が可能となる。具体的な地盤断熱の方法として、北海道で作成されたスカート断熱の設計マニュアルについて概略を紹介した。

参 考 文 献

- 1) 財北海道建築指導センター編：寒地住宅の計画と設計，pp. 91～93, 1986.
- 2) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱，p. 31, 1993.
- 3) 日本水道協会北海道地方支部：寒冷地の給水装置設計・施工指針．
- 4) 北海道立寒地住宅都市研究所：住宅建設コスト低減に関する研究，1997.
- 5) ISO13793: Thermal performance of buildings—Thermal design of foundations to avoid frost heave.
- 6) 北海道建設部建築指導課・北海道立寒地住宅都市研究所：スカート断熱工法設計・施工マニュアル，1997.
- 7) 北谷幸恵・月館 司・福島 明・鈴木大隆：北海道における戸建住宅の基礎断熱併用スカート断熱工法の適用に関する検討，日本建築学会技術報告集，第12号，p. 115, 2001.