



Title	鉄筋コンクリート造建物の保温外壁隅角部に於ける二次元定常熱流について
Author(s)	本間, 宏; Homma, Hiroshi
Citation	北海道大學工學部研究報告, 51, 201-218
Issue Date	1968-12-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40909
Type	departmental bulletin paper
File Information	51_201-218.pdf



鉄筋コンクリート造建物の保温外壁隅角部に 於ける二次元定常熱流について

本 間 宏*

(昭和43年9月10日受理)

On Two Dimensional Steady State Heat Flows in Junctions of Insulated Walls and Other Members of Reinforced Concrete Constructions

Hiroshi HOMMA

(Received September 10, 1968)

Abstract

Various sites in wall structures produce two dimensional heat flows which values can not be neglected. Recently, a higher grade of insulation are being employed in outer walls thus heat losses caused by two dimensional heat flow increase in heating load calculations. Besides in colder districts such as in Hokkaido, if cold bridges are formed by a two dimensional heat flow the wall surfaces are often marred or causes dew formation.

In this report in an attempt to cope with these obstacles, certain representative patterns of junctions of insulated walls and other members in reinforced concrete constructions were chosen, and the two dimensional steady state heat flows in the sections of the junctions were calculated. The sections were divided into fine grids, and temperature distributions were computed from the "relaxation method". Then heat flows of the sections were determined from the temperature distributions.

These calculations were performed under various conditions of the sections. The sizes of the sections and insulating conditions are variables. The effect of these conditions are discussed in this report. Thus extra heat losses caused by the two dimensional heat flow were plotted in graphs, so that these values can be used for heating load calculations.

序

鉄筋コンクリート造建物の暖冷房負荷の計算に於いて、伝導によって失なわれる熱損失のうち、一次元流として計算出来るものの他に壁の交差部、柱・梁又は床スラブと外壁との接合部等に於いて二次元又は三次元熱流の生じる個所は非常に多い。特に近年保温材の使用が増加

* 建築工学科

して、壁自身の一次元流による熱損失量が小さくなると、先に挙げたような冷橋部分を通る熱流の値が大きな割合を占めるようになって来る。さらに北海道のような寒冷地では、外壁の温度が低いため冷橋の形成される個所では壁が汚れたり、結露を生じたりして、これが凍害の原因となることさえある。

本報告ではこのような障害を取除き、又熱負荷計算の精度を上げるための一段階として、RC 造建物に於いて二次元熱流を生じやすい断面形数例を選んで、この値を計算によって求めることとした。

1. 計算方法

1.1 弛緩法について

建物の外壁部分で図-1-1のような断面形があり、これはZ方向には同じ形が無限に長く続いているものとする。この場合にはZ方向の熱流は生じないから、 $x-y$ 平面の熱流のみを考慮すれば良い。さらに定常状態に於いては熱容量の項は無視出来る¹⁾。

断面内に微小間隔の直交する格子を仮定し、この格子の内部に於いては熱流は一次元と見做しうると仮定する。断面内の格子の一点を0、その四周の点をそれぞれ1, 2, 3, 4と名付ける(図-1-2)。各点の温度をそれぞれ $\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_4$ とすると定常状態で0点の温度変化がない場合には、0点に於ける熱収支は

$$(\theta_1 - \theta_0) T_1 + (\theta_2 - \theta_0) T_2 + (\theta_3 - \theta_0) T_3 + (\theta_4 - \theta_0) T_4 = 0 \quad (1)$$

となる。この式に於いて $T_1 \sim T_4$ は0点と1~4点との間の熱伝導率であり、格子定数と名付ける。格子定数 T はその格子が代表する熱流に垂直方向の面積に比例し、その長さに反比例する。さらにその断面を形成している材料の熱伝導率に比例する。断面はZ方向には単位厚さの部分と仮定する。格子はそれぞれが隣接する格子との中間迄の熱流を代表するように格子定

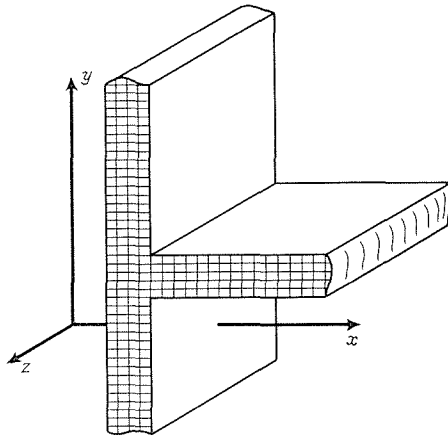


図-1-1

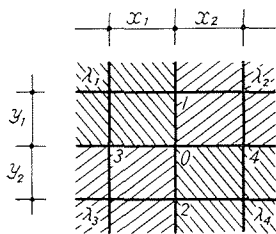


図-1-2

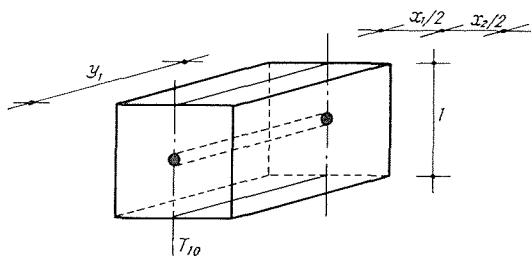


図-1-3

数を定めるならば、例えば T_1 は 図-1-3 のような直方体を表わしているから

$$T_1 = \frac{\lambda_1 \cdot x_1/2 + \lambda_2 \cdot x_2/2}{y_1} \tag{2}$$

によって求められる。格子の或る面が空気に接しているならば、先の直方体の断面積と熱伝達率 α との積が空気とその点の間の熱交換能力であり、これを格子定数とする。

以上のような方法によって断面内の全ての点について熱収支の式 (1) を立て、それらを連立方程式として解くことによって断面内の温度分布を求められる。しかし二次元熱流を問題とする場合には交点の数が多くなり、普通の連立方程式として解くことは困難である。これを解く方法としてはこの格子群を電気抵抗で置き換えて、温度場を電氣的な場として求める方法等²⁾があるが、ここで問題としているような保温材と鉄筋コンクリートのように熱伝導率に大きな差がある場合には十分な精度を得ることは困難である。そのためここでは電子計算機を用いて弛緩法による繰返し計算を行ない、定常状態に於ける温度分布を求める方法によった。

1.2 電子計算機による計算

計算を能率良く行なうために格子上の交点を二次元の添数付の記号で表わし、その点の温度を $T_{i,j}$ 、その点から水平に右側へ連絡している格子の格子常数を $H_{i,j}$ 、垂直上方の格子の格子常数を $V_{i,j}$ と名付ければ総ての格子常数を添字付で表わすことができる (図-1-4)。これを用いると点 (i,j) に於ける熱平衡の式は

$$(T_{i-1,j} - T_{i,j}) \cdot VT_{i,j} + (T_{i,j+1} - T_{i,j}) \cdot HT_{i,j} + (T_{i+1,j} - T_{i,j}) \cdot VT_{i+1,j} + (T_{i,j-1} - T_{i,j}) \cdot HT_{i,j-1} = 0 \tag{3}$$

となる。この式より中心の点 (i,j) の温度 $T_{i,j}$ は四周の温度より

$$T_{i,j} = \frac{T_{i-1,j} \cdot VT_{i,j} + T_{i,j+1} \cdot HT_{i,j} + T_{i+1,j} \cdot VT_{i+1,j} + T_{i,j-1} \cdot HT_{i,j-1}}{VT_{i,j} + HT_{i,j} + VT_{i+1,j} + HT_{i,j-1}} \tag{4}$$

によって求まる。弛緩計算では上式によって断面内の総ての点について四周の温度より新しい中心の温度を求め、次にこれらの新しい温度によって同じ計算を繰返す。このようにして各点の温度が前回の温度と変わらなくなった時には断面内の温度分布は平衡状態にあることになる。この平衡状態へ早く近付けるため、温度を新しい温度と置換える時に種々の方法を取ることが出来るが³⁾、本計算に於いては熱伝導率に大きな差があるため、温度が振動を始めた。このため本計算では直接温度を置換えるだけとした。

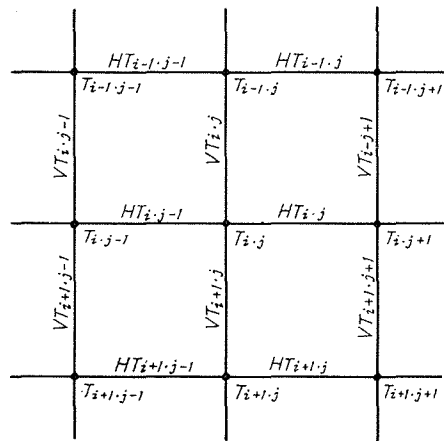


図-1-4

このようにして求めた温度分布よりその断面

を流れる熱流を求めるには表面温度と気温との差より求めるのが適当である。本計算では弛緩計算の繰返し回数を短縮するため、繰返し回数一定回毎に熱流の計算を行ない、この変化が計算回数についての指数函数と見做せるに至った時に熱流の取れん値を予測する方法をとっている。この計算を断面の内表面と外表面の両方について行ない、取れん値のチェックを行なって

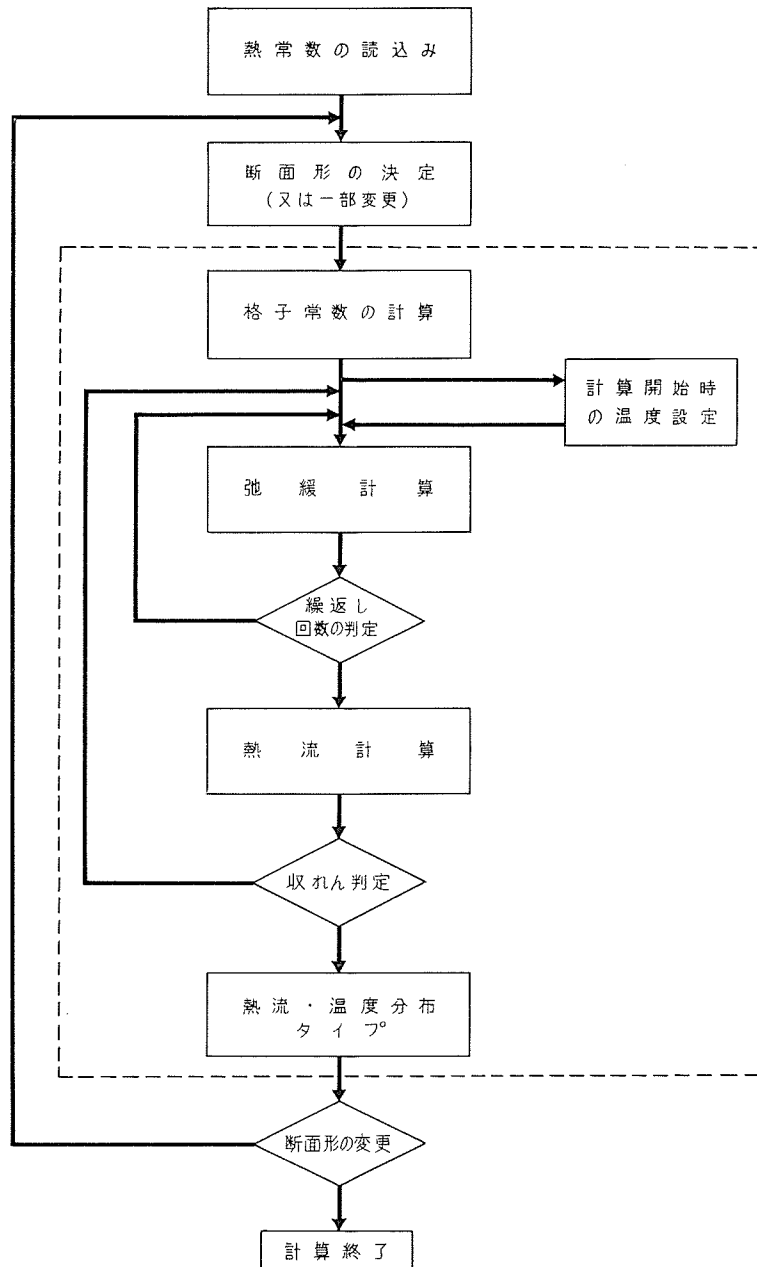


図-1-5 計算のフローチャート

いる。図-1-5 は計算プログラムのフローチャートを示す。一つの断面形については破線内のプログラムだけで計算出来る。本プログラムではその他に断面の保温状態や寸法を変更して比較検討するための部分が含まれている。計算は電子計算機 (HITAC-5020) を使用し、自動プログラム (FÖRTRAN) によった。この場合熱平衡の式 (式 (4)) を一秒钟約 6000 個所の速度で計算していた。必要な精度の熱流の取れん値を得る迄の計算の繰返し回数は交点数約 300 個所で 600 回の繰返しが必要であった。

2. 計算精度について

2.1 格子間隔について

この計算法に於いては格子の内部では熱流は一次元流であるという仮定の下に式が立てられている。この時格子の間隔と計算精度との関係を知るため 図-2-1 のような断面形でコン

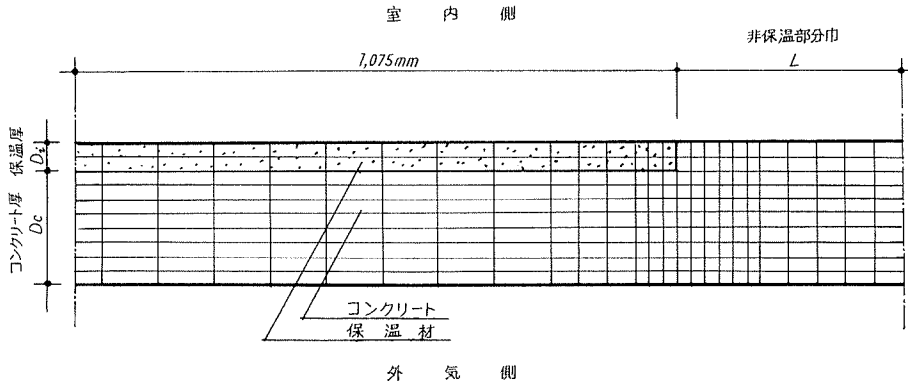


図-2-1 保温及び非保温壁接合部

クリート厚 $D_c=300$, 保温厚 $D_i=50$, 非保温部分幅 $L=50$ mm, 保温材の熱伝導率 $\lambda_i=0.07$ kcal/m·h·°C の場合に格子間隔を 6.25, 12.5, 25, 50 mm として温度分布を求めた。この時温度分布には格子間隔による差はあまり表われていなかった。しかしこの断面を流れる全熱流から二次元熱流による熱流の増分 Q_2 (後述) を求めてグラフに示すと 図-2-2 のようになる。この場合格子間隔の狭い方がより実際の値に近いと考えられるから、格子間隔を粗にすると熱流は実際の値よりやや大きく表われるようである。一方この計算に要する時間は大体断面内の格子の交点数と取れん迄に要する計算の繰返し回数との積に比例する。弛緩計算の繰返し回数は交点数の増大に伴って急激に増大する。実際に計算を行なった時に等しい精度が得られる迄の繰返し回数と交点数の積を示すと 図-2-2 中の破線のようになり、格子間隔が狭くなるとこの値が極度に増大し、計算時間が非常に長時間になることがわかった。このようなことから断面を流れる全熱流の誤差が 1% 以下になると思われる格子間隔 25 mm によって以下の計算を行なうこととした。ただし冷橋部分より十分離れて二次元熱流の影響が少なくなる所では格子間隔をこれより大きくとって計算時間の短縮をはかっている。

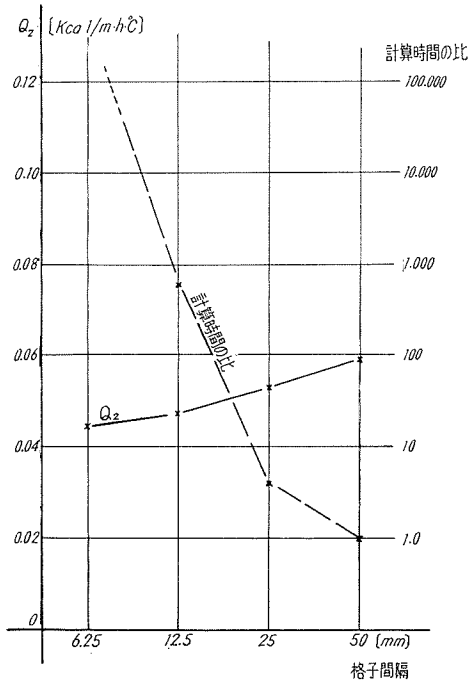


図-2-2 余分の熱流 Q_2 及び計算時間に対する格子間隔の影響

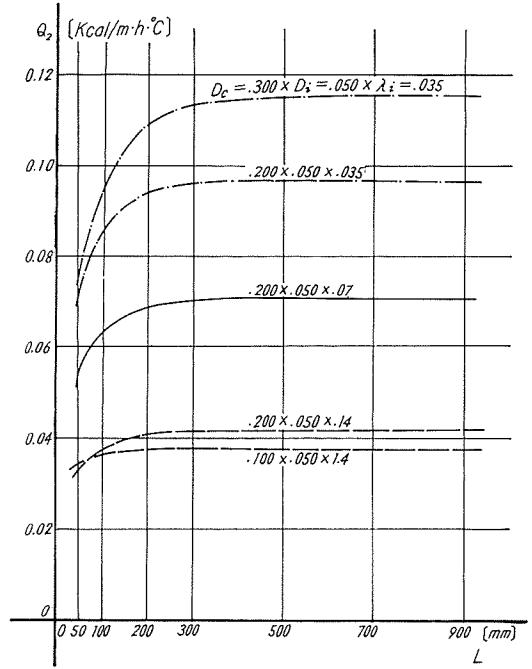


図-2-3 非保温部分の幅 L による Q_2 の変化

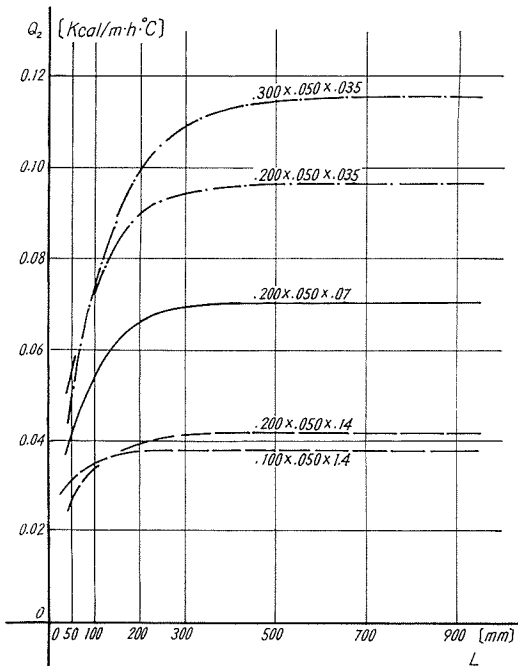


図-2-4 保温部分の幅 L による Q_2 の変化

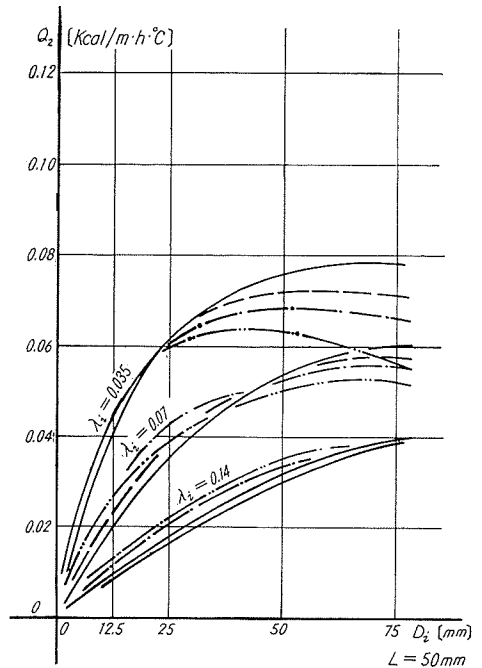


図-3-1-a Q_2 と保温厚の関係

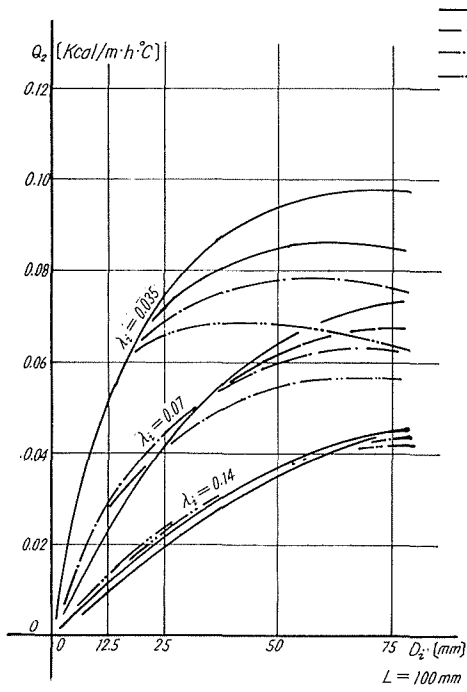


図-3-1・b Q_2 と保温厚の関係

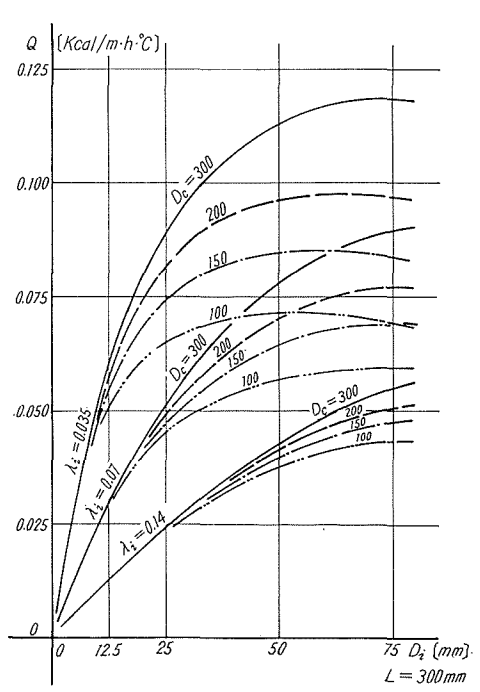


図-3-1・c Q_2 と保温厚の関係

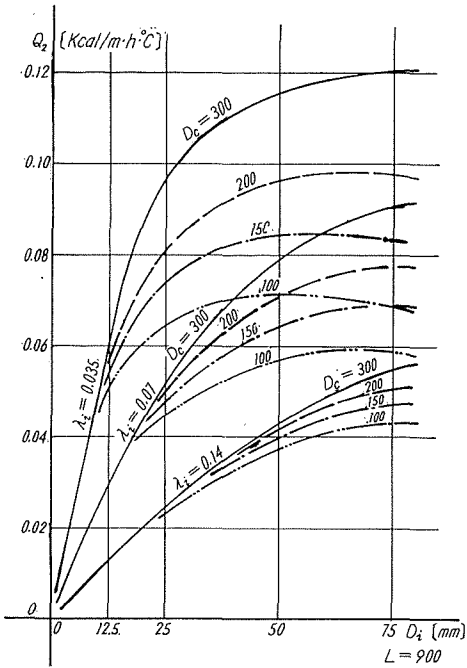


図-3-1・d Q_2 と保温厚の関係

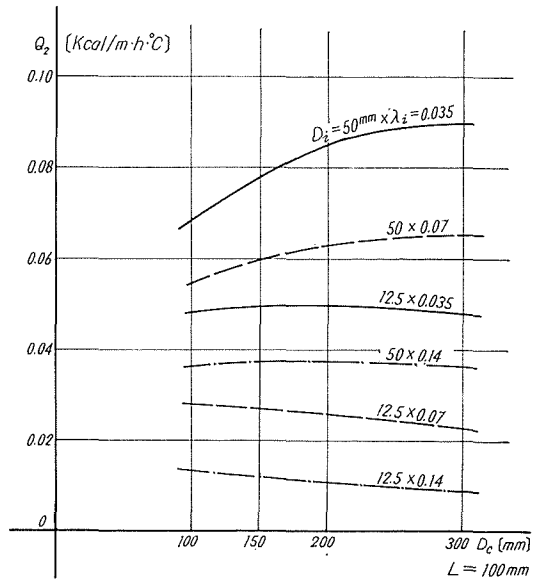


図-3-2

2.2 二次元熱流の影響範囲について

十分長い保温平面壁に同じ厚さの非保温部分が接続している場合(図-2-1), その非保温部分の幅 L と二次元熱流のために生じている余分な熱流 Q_2 との関係は 図-2-3 のようになり, L が或る値迄は増加を続けるがやがて一定値を保つようになる。反対に十分長い非保温平面壁に接続する保温部分の幅による Q_2 の変化も 図-2-4 のようになり, 図-2-3 と同様な傾向を示す。これらの Q_2 に変化がなくなる長さ迄を平面壁部分への二次元熱流の影響範囲と考えることができる。この影響はコンクリート部分の厚さが厚い程, 又保温の程度が高い程遠く迄及んでいる。しかし本計算で取扱う範囲ではこの幅は 500~700 mm を越えることはないと思われる。そのため本計算では冷橋部分等に接続する平面壁部分の長さは約 900 mm 迄計算を行なえば十分であると思われた。

3. 基本的な断面形数例に於ける二次元熱流について

ここでは鉄筋コンクリート造の建物の熱負荷計算時にしばしば遭遇する断面形で二次元熱流を生じやすいもの数例を取り上げ二次元熱流の計算を行なった。この値を用いて一次元熱流と二次元熱流を独立に計算してより精度の高い熱負荷計算値を得るために, 隅角部長さ 1 m 当りの二次元熱流の値を求めるためのグラフを作った。熱負荷計算に於いては壁, 柱, 梁等のそれぞれについて熱貫流率より一次元熱流を算出し, さらに隅角部長さ 1 m 当りの二次元熱流による余分な熱流 Q_2 をグラフより求め, この値に隅角部長さと室内外温度差を掛けたものを加えなければならない。

3.1 保温平面壁及び非保温平面壁の接合部

冷橋の最も単純な形である保温平面壁と同じ厚さの非保温部分との接合部(図-2-1)に於ける二次元熱流の計算を行ない, 二次元熱流に対する断面各部の寸法, 保温条件等の影響を調べた。計算を行なった条件は下記の通りである。

保 温 厚 D_i : 12.5, 25, 50, 75 mm

コンクリート厚 D_c : 100, 150, 200, 300 mm

保温材の熱伝導率 λ_i : 0.035, 0.07, 0.14 kcal/m·h·°C

非保温部分の幅 L : 50, 100, 200, 300, 500, 700, 900 mm

コンクリートの熱伝導率 $\lambda_c=1.4$, 熱伝達率は室内側 $\alpha_i=7.0$, 外気側 $\alpha_0=28.0$ kcal/m²·h·°C によって計算している。弛緩法によって温度分布を求め, 表面温度から断面を流れる全熱流 Q_0 を計算する。この値から保温部分, 非保温部分をそれぞれ一次元流として流れる熱流 Q_1 を差し引いた残りを二次元熱流が存在するために生じている余分な熱流 Q_2 としている。

この余分な熱流 Q_2 を保温厚 D_i を横軸としたグラフに示すと 図-3-1·a~d のようになる。一般には Q_2 は保温の程度が高い方が大きい。一方コンクリート厚 D_c を横軸としたグラフは 図-3-2 のようになる。ここでは保温の程度が高い場合には D_c の増加と共に Q_2 も増加するが,

保温が悪くなるに従ってこの傾向が逆になってくる。図-3-1・a~d に於いて保温材の熱伝導率 λ_i が小さな場合には D_c が厚い所で Q_2 は減少を始めている。そしてこの現象はコンクリート厚が薄い場合及び非保温部分の幅が狭い場合に著しい。これは保温材に隣接している非保温部分に熱流が集中するため、この部分の寸法が Q_2 に大きな影響力を持つためである。熱抵抗の等しい保温法では λ_i が大きくとも厚い材料を使用した方が Q_2 が小さくなるのもこのためである。又保温の程度が悪い場合にはコンクリート厚の厚い方が Q_2 が小さくなる現象は保温壁中でコンクリートの熱抵抗の占める割合が大きくなり、非保温部分と保温部分で温度差があまりなくなるためと思われる。以上のように二次元熱流に対しては断面の各部の寸法、保温条件等が複雑に作用し合っているが、この熱流は保温部分、非保温部分のそれぞれに一次元熱流が流れている時の壁内の温度分布の差によって生じていると仮定すれば、この温度分布は熱貫流率

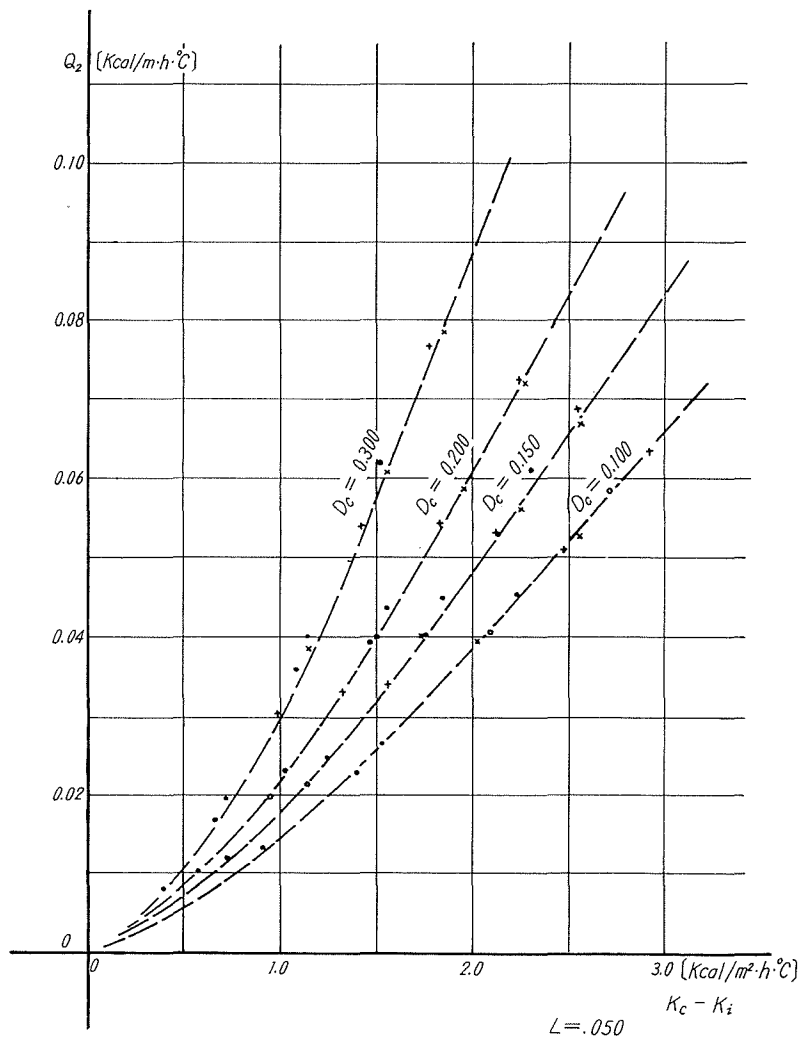


図-3-3-a

によって定まるから、両方の熱貫流率の差を横軸としたグラフを書くと Q_2 の値は保温の状態には無関係に 図-3-3・a~c のような曲線附近へ集中することがわかった。

3.2 保温壁・間仕切壁接合部

壁式構造の建物によく現われる外壁に間仕切壁が直角に接合している 図-3-4 のような断面に於ける二次元熱流を求めた。最初に外壁のみへ保温が施されている場合の二次元熱流に対する各部の寸法や保温の影響を調べ、次に冷橋となっている間仕切と冷橋との接合部附近へ保温を延長することの効果について調べている。

(1) 間仕切へ保温を施さない場合

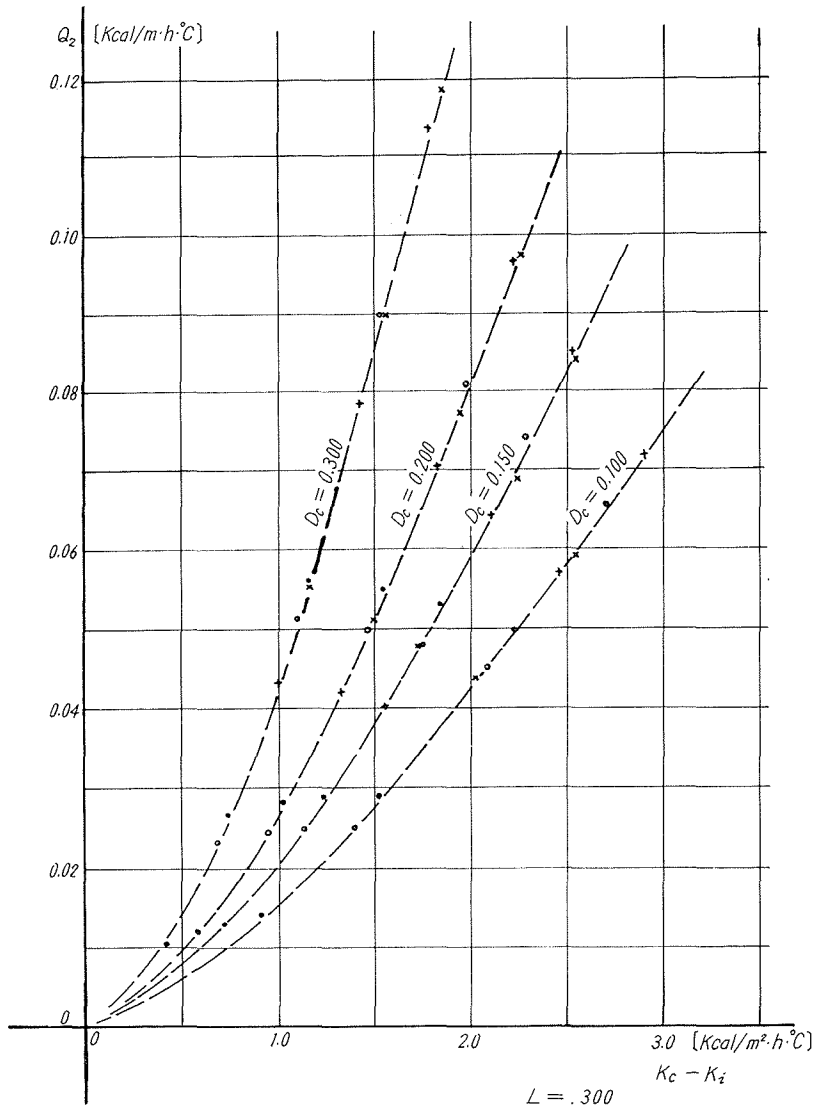


図-3-3・b

図-3-4 のような断面形で外壁と間仕切の接合部が冷橋となっている場合の二次元熱流の計算を行なった。ここでは間仕切壁の厚さ D_p を 100, 150, 200 mm の 3 種類について計算し、冷橋部分の寸法の影響を調べた。外壁の平面部分は 3.1 と同じ条件で計算した。

平面壁部分の長さ L として 図-3-4 のように間仕切壁内側迄をとって平面壁部分を一次元熱流として流れる分 Q_1 を計算し、断面を流れる全熱流 Q_0 から Q_1 を引いたものを二次元熱流のために生じている余分な熱流とする。この値は保温厚の変化に従って 図-3-5・a~d のような変化を示す。

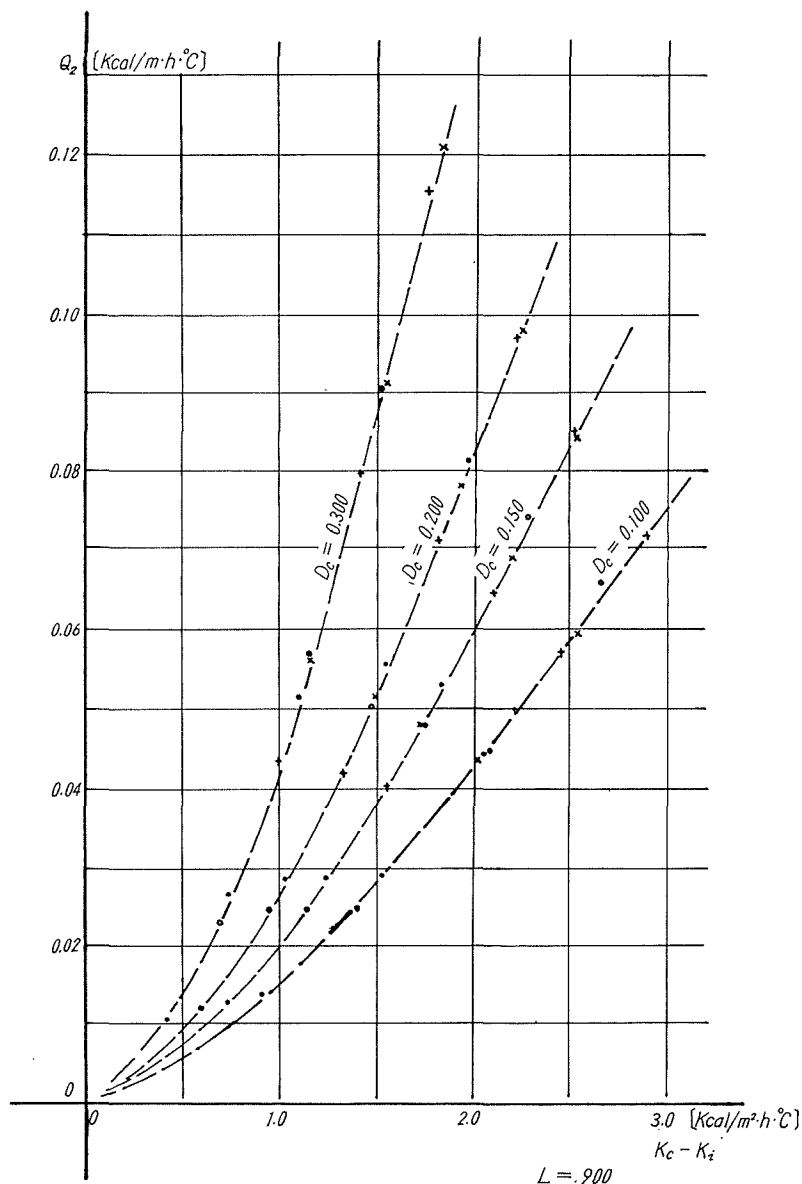


図-3-3・c

(2) 間仕切迄保温を延長する場合

(1) のような断面では隅角部の温度が室内外温度差の 60~65% と低い値になる。このため間仕切壁で冷橋となっている部分迄保温を延長することについて検討した。ここで間仕切壁への保温は外壁と同じ条件のものとした。この計算結果から (1) と同じ方法で一次元熱流を計算し、二次元熱流による余分な熱流 Q_2 を計算するとこの値は間仕切壁への保温長さと共に 図-3-6・a~d のように減少する。

間仕切壁へ保温を行わない場合には間仕切壁が放熱フィンのような働きをして間仕切壁の付かない 2.1 のような断面

面形に比べてかなり Q_2 が大きくなっている。間仕切壁厚 D_p 、コンクリート厚 D_c による Q_2 の差は明確であるが、保温厚による差は殆んど現われなかった。これは間仕切壁の保温材へ隣接する部分の熱流方向の長さが保温厚と共に増加し、この部分の熱抵抗が増加するため、保温の増加により外壁のコンクリート温度が低下しても二次元熱流は増加しないためである。

次に間仕切迄保温を延長することによって Q_2 は低下するが保温しない場合に比べて約 60% 以下にはならない。これは間仕切の冷橋部分を通して外壁へ流入していた熱流が減少するため、平面壁部分の温度が低下し、この部分の熱流が増加するためである。このため、間仕切壁への保温は隅角部より約 30 cm 以下とした方が隅角部の温度を高く保つ上からも有利と思われる。

3.3 柱・保温壁接合部

ここでは断面積の大きな柱と保温壁との接合部に於ける二次元熱流について調べている。柱の寸法は柱厚 $B_p=450, 600, 750, 900$ mm, 柱厚 $D_p=600, 750, 900$ mm の場合について計算している。断面形は 図-3-7 のように平面壁の中心線と柱の厚さ方向の中心線とが一致する場合について計算した。

断面を流れる全熱流から平面壁部分、柱部分の熱貫流率より求めた一次元熱流の値を引いたものを二次元熱流による余分な熱流とする。この値は 図-3-8・a~c のようになる。 Q_2 は保温厚 $D_i=20\sim 25$ mm の場合に最大値を示す。柱幅の差による Q_2 の差は殆んどないが柱厚による差はかなり顕著である。柱のように断面積が大きい場合には、3.1 の保温壁と非保温壁との接合部に比べて約 5 倍以上の余分な熱流が生じている。これは断面積が大きいため二次元熱流

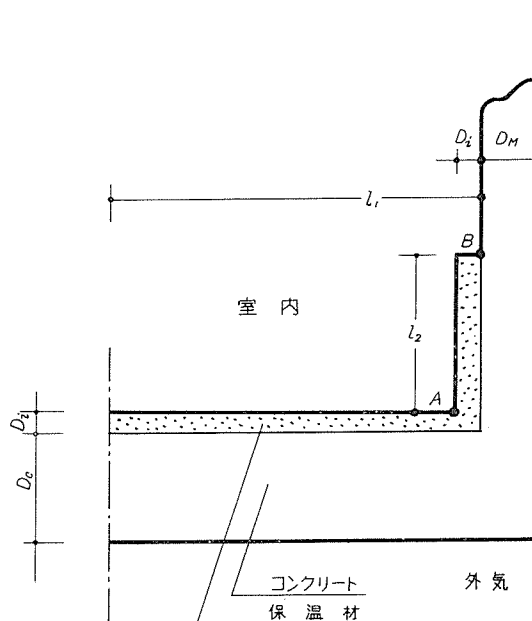


図-3-4 断面形

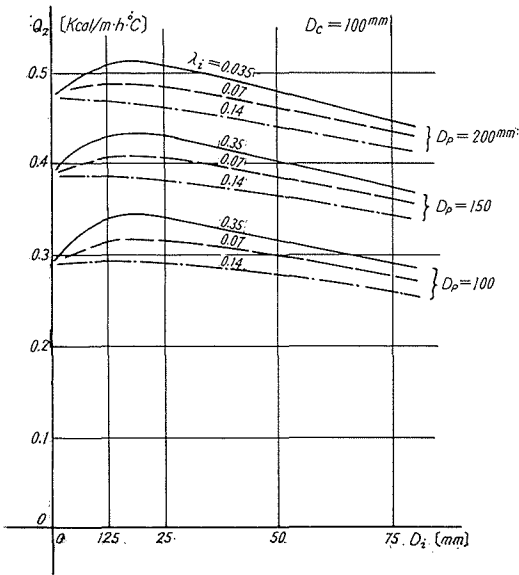


図-3-5・a

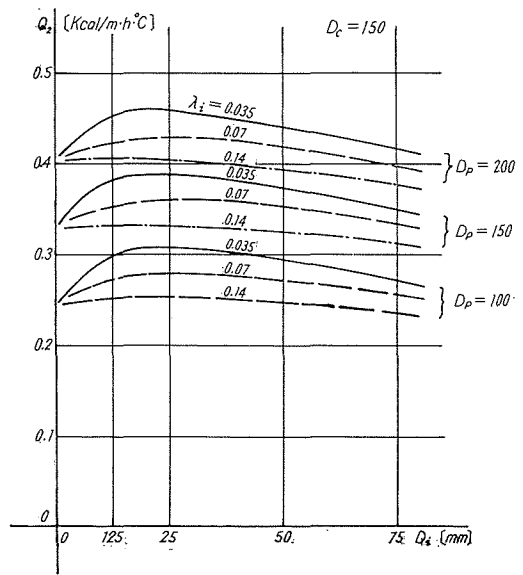


図-3-5・b

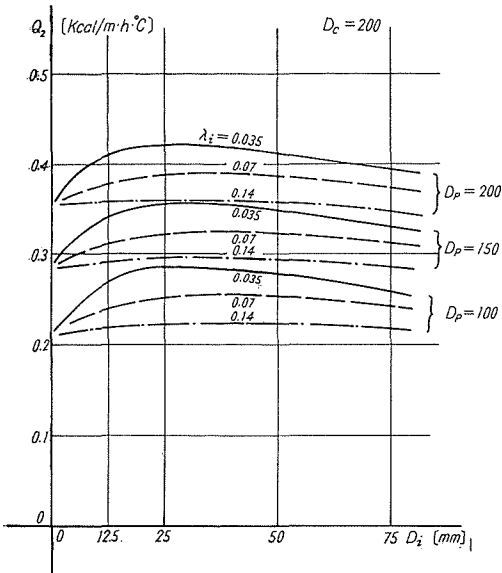


図-3-5・c

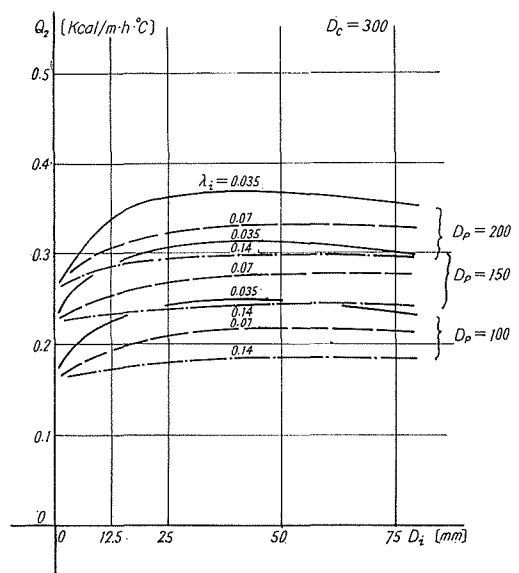


図-3-5・d

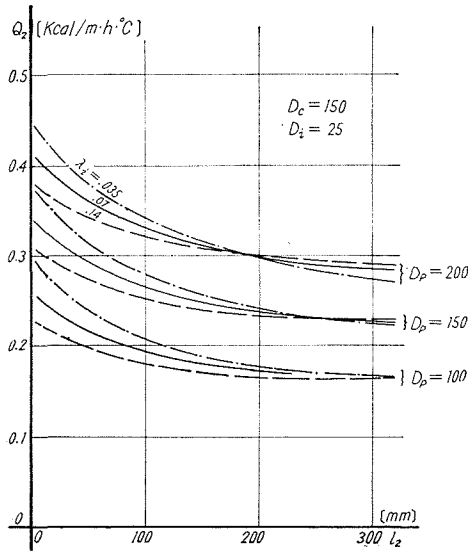


図-3-6・a

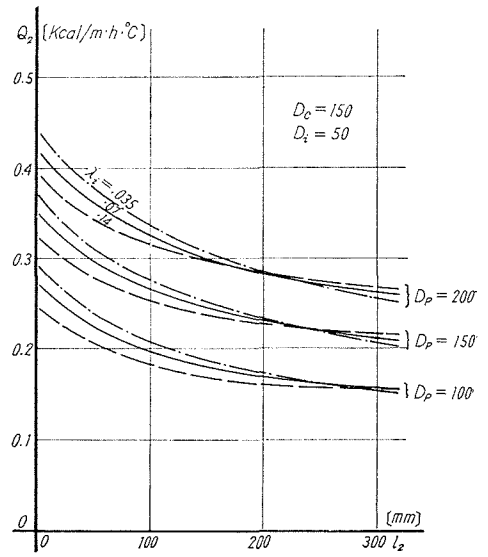


図-3-6・b

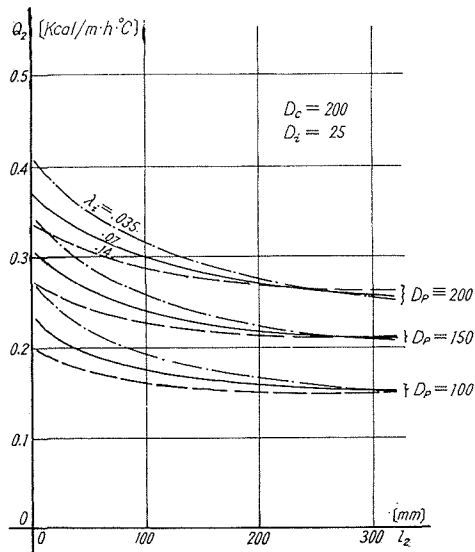


図-3-6・c

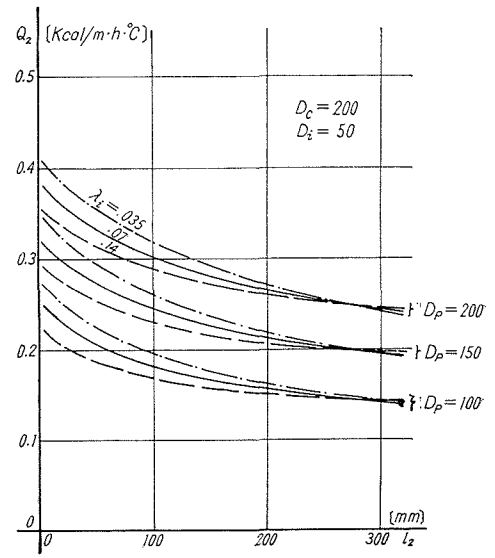


図-3-6・d

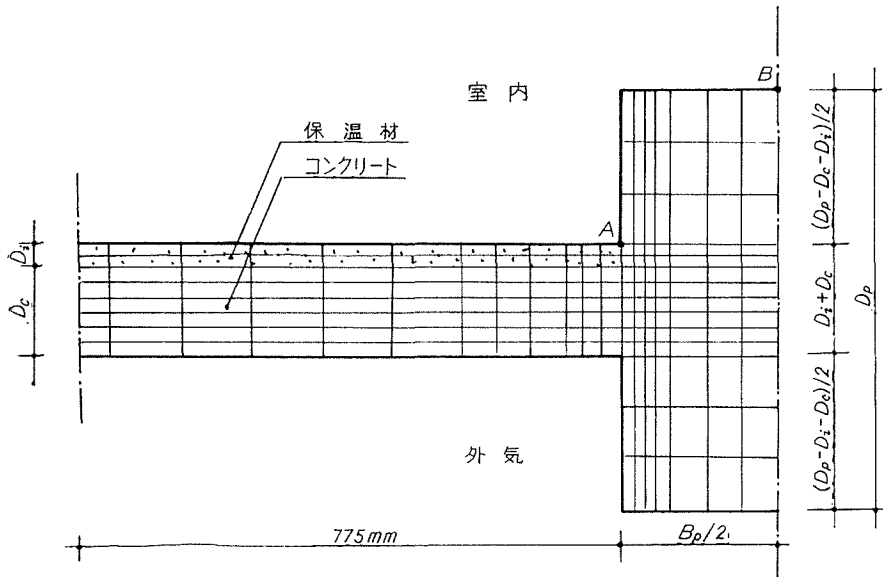


図-3-7 断面形

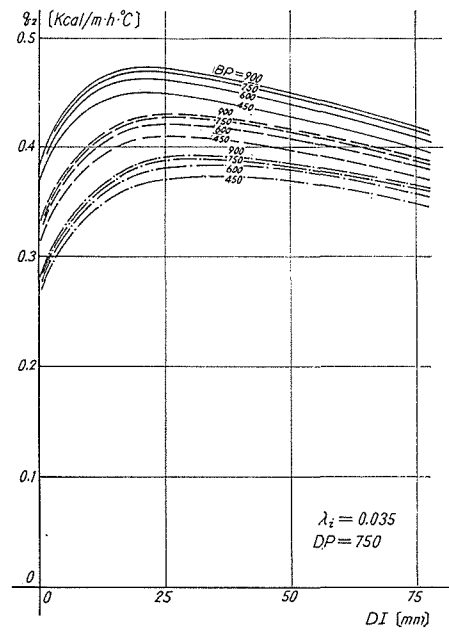
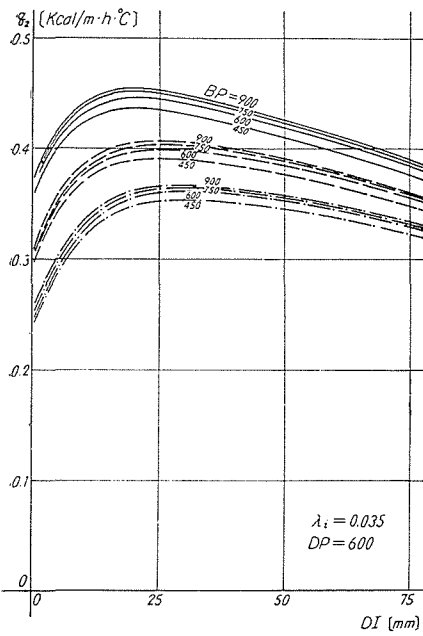


図-3-8・a, b Q_2 と保温厚の関係

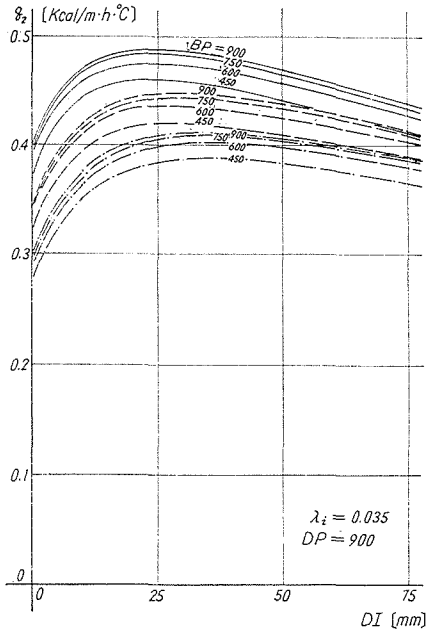


図-3-8.c Q_2 と保温厚の関係

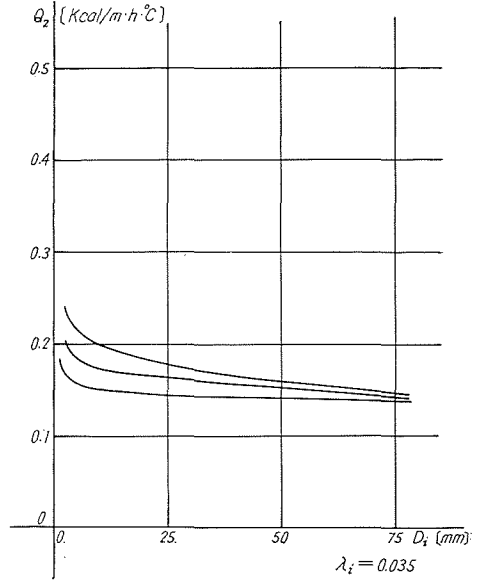


図-3-9.a

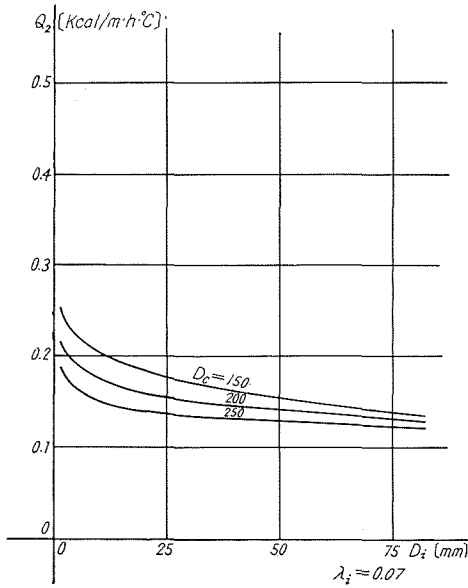


図-3-9.b

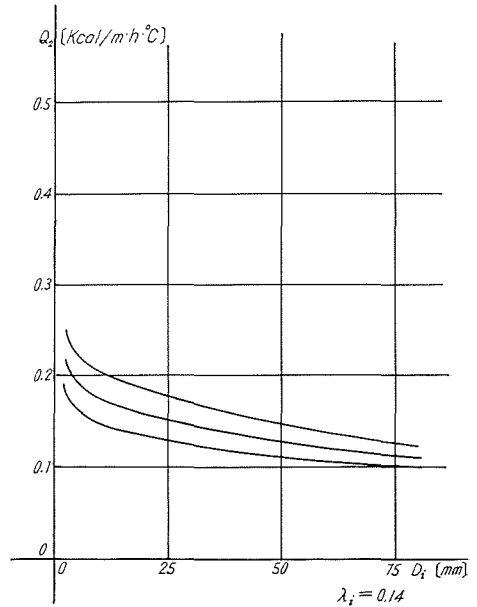


図-3-9.c

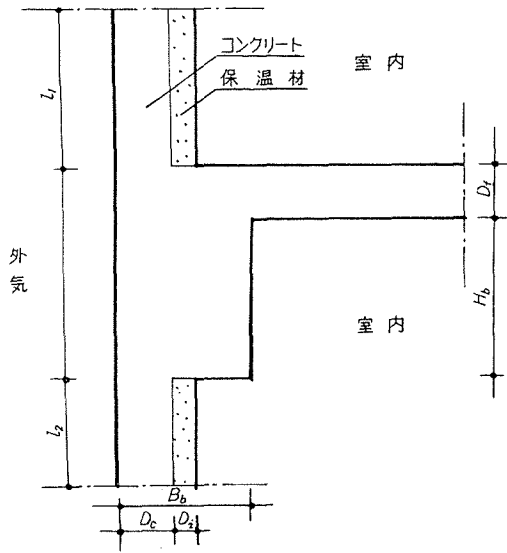


図-3-10 断面形

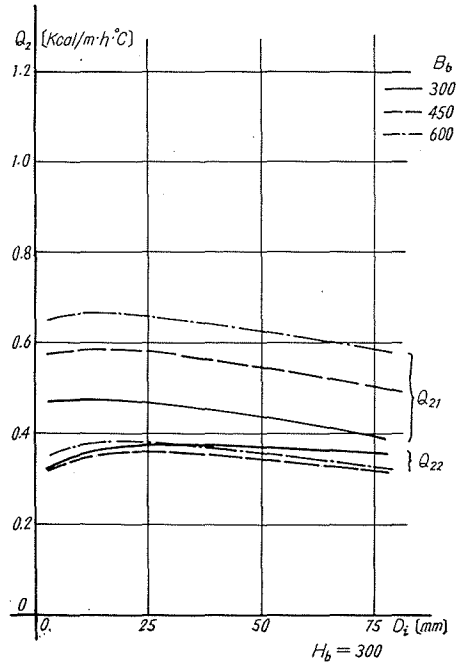


図-3-11.a

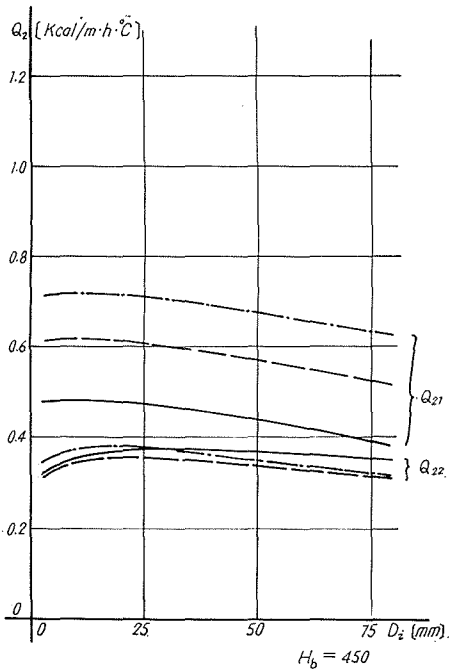


図-3-11.b

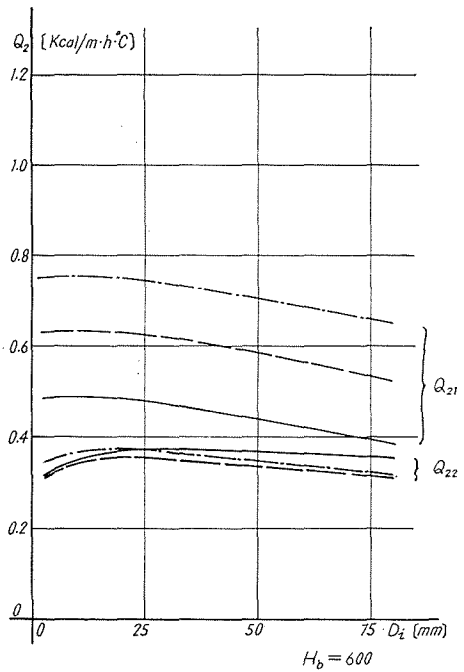


図-3-11.c

の影響する範囲が広くなることと、柱の側面よりの熱の流出入の増加があるためである。

次に平面壁と同じ保温材を柱の側面迄延長すると Q_2 は 図-3-9・a～c のように保温を延長しない場合に比べて約 3 分の 1 に減少し、隅角部の温度も約 10% 上昇する。

3.4 梁・保温壁接合部

図-3-10 のような梁及び床スラブと保温外壁との接合部に於ける二次元熱流について調べた。断面形の各部の寸法は次のような種類について計算した。

梁 幅 B_b : 300, 450, 600 mm

梁 脊 H_b : 300, 450, 600 mm

保温厚 D_i : 5, 10, 25, 50, 75 mm

床スラブ、外壁のコンクリート厚とも 150 mm、保温材の熱伝導率は $0.035 \text{ kcal/m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$ とした。この断面形は今迄の形と違って対称形ではない。断面全体の温度分布を求めてから、床スラブの上階の室よりの熱損失と下階の室よりの熱損失に分けて熱流を求めた。

上階の室の床面附近より失なわれる熱流のうち、二次元熱流により余分に流れる熱流 Q_{21} は 図-3-11・a～c のようになり、3.2 の間仕切壁接合部に於ける熱流より 1.5～2 倍に増加している。

下階の室の天井面及び梁附近より余分に流れる熱流 Q_{22} は 図-3-11・a～c 中 Q_{22} と示された曲線のようになり、3.3 の柱形との接合部よりもやや少ない値である。この値は梁せい及び梁幅による影響は殆んど受けていないが、逆に床スラブ上面よりの熱流の方が梁幅による影響を大きく受けていることがわかった。

このように外壁の床面附近では熱損失量が非常に多くなり、又表面温度も低くなる。本計算では熱伝達率を平面部分、異形部分共同値で計算しているが実際には隅角部附近では空気が停滞し、さらに表面温度が低下するものと思われる。これを避けるため床面にも間仕切壁の場合と同じように外壁側へ幅 20～30 cm の保温層を配置することが望ましい。

結 語

以上のようにして代表的な断面形数例に於ける二次元熱流値を計算によって求め、グラフに表わすことが出来た。保温材を多く使用した建物に於いてはこの二次元熱流の値は熱負荷の中で無視出来ない大きさとなっている。このため熱負荷計算には二次元熱流を独立に計算して、平面部分を通る熱流の他にこの値をも加える必要がある。

参 考 文 献

- 1) 前田敏男：建築学大系 第8巻, p. 310.
- 2) 堀江・荒谷・本間：第24回研究発表会論文集 日本建築学会北海道支部, p. 105.
- 3) Y. Palm and S. Öberg: Beräkning av Tvådimensionell Stationär Värmeströmning BYGGMÅSTAREN 1961, nv 2.