

暖冷房負荷設計用相当外気温度に関する研究

宮野 秋彦・大沢 徹夫

ON SOL-AIR TEMPERATURE

This experimental studies are on the sol-air temperature which can be used in calculations for cooling and heating load on building.

Akihiko MIYANO, Tetsuo ŌSAWA

1. 緒 言

建築物の屋内気候計画、特に、暖冷房並びに空調設備設計計画に当って最も重要な要素となる熱負荷算定用の相当外気温度 (Sol-Air Temperature) とそれに関連する諸数値を、実大の模型壁体に関する屋外実験により得た各測定項目のデータを基にして、種々のアレンジを行いこれを求めたところを報告する。

2. 実験装置ならびに測定方法

実験に供した壁体の種類は表-4 に示す如き乾式木構造 4 種、半乾式木構造 3 種、湿式木構造 6 種、およびコンクリート造、コンクリートブロック造、ドリゾールブロック造、気泡コンクリートブロック造、気泡コンクリート造、セラミックブロック造の計19種である。またRC屋根版10種に関して実際の建物について測定を行った。各種木構造、コンクリートブロック造、ドリゾールブ

ック造および気泡コンクリートブロック造に関しては図-1aに示す如き模型壁体を、本学前寮業研究施設棟の西壁に作成し、その他の壁体に関しては 図-1b の如き模型家屋を本学土木建築研究棟塔屋上に設け、それぞれ8~12ヶ月間測定を行った。各模型壁体の大きさは、約 $2 \times 1 \text{ m}^2$ で正しく四方位に面して設けた。供試体の室内側壁面中央に内法 $0.9 \times 0.9 \times 0.5 \text{ m}^3$ の断熱保温箱を密着させて室内模型とした。箱の断面は、ウレタンフォーム板厚さ 6 cm を合板で仕上げたもので、熱貫流率は約 $0.4 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}$ である。

測定項目は、壁体の内外表面温度、室内気温および外気温を、CC熱電対を12点用熱電式電子管自動温度記録計に接続せしめ、連続記録した他、各垂直四方位面および水平面全日射量 (ゴルチンスキー日射計)、外気温湿度 (自記温湿度計)、外気風向風速 (プロペラ型発電式自記風向風速計)、雨量を同時に連続測定した。

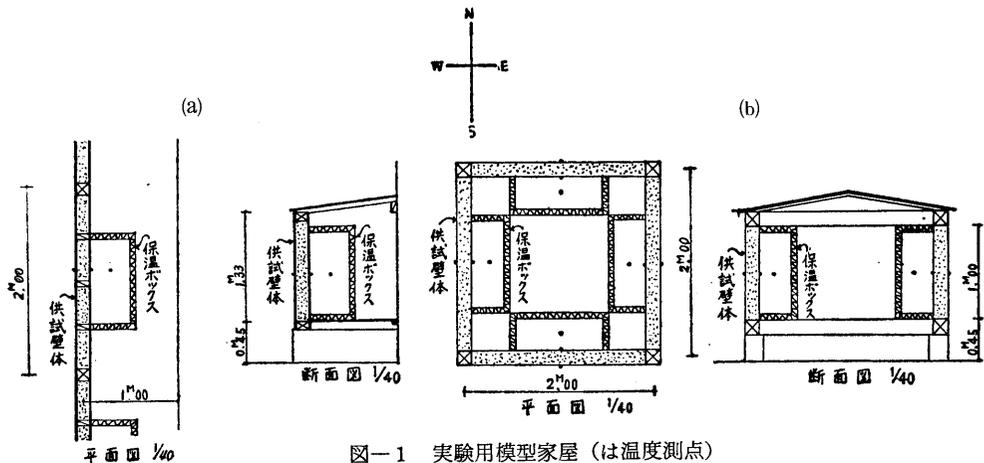


図-1 実験用模型家屋 (は温度測点)

3. 実験結果とその検討

各測定項目の記録は時刻毎に読み取ったが、その中から日射の影響が比較的顕著で各測定項目に関して日変動特性にむらの少ない晴または快晴の日を選び出して検討を加えた。

相当外気温度 θ_e に関するアレンジの方法は、まず、壁体外表面温度 θ_{os} と外気温 θ_o の差 $\theta_{os}-\theta_o$ と全日射量の時刻毎の相関性を考え、これをグラフ上に月別、壁の向う方位別にプロットした。さらに冷房負荷の算定用としては安全を見込まなければならない。そこで、月別に、時刻毎に $\theta_{os}-\theta_o$ のその月に出現した最大値 $(\theta_{os}-\theta_o)_{max}$ を得、それにその月のその時刻に出現した外気温 θ_o の最大値を加えて、出現する可能性のある θ_{os} の最大値 $(\theta_{os})_{max}$ と考え、これを時刻ごとに結んで設計用の壁体外表面温度の日変動とした。風速は 0~3 m/sec の場合を含んでいる。また、室内気温変動の外表面温度変動に対する減巾率 η' (室内気温変動日較差/外表面温度変動日較差) とその時間的遅れ ϕ' を日毎に、方位別に算出しそれらを相加平均して得た値を $(\theta_{os})_{max}$ の日変動に対する室内気温の変動特性とし、それらの日変動に対応する仮想の外気温度変動、即ち相当外気温度変動を、前田敏男氏および長谷川房雄氏による逐次計算法により求めた。このようにして得られた相当外気温度 $\theta_e - (\theta_{os})_{max}$ と $(\theta_{os}-\theta_o)_{max}$ が出現した時刻の全日射量 i との対応を同様にグラフ上にプロットした。

実験結果より得た $(\theta_{os})_{max}$, $(\theta_o)_{max}$ および数値

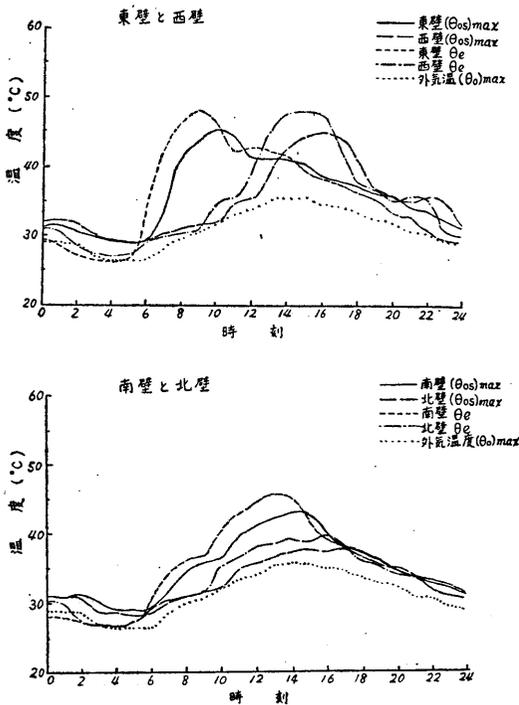


図-2a コンクリート壁の $(\theta_{os})_{max}$ と θ_e の日変動 (40年8月)

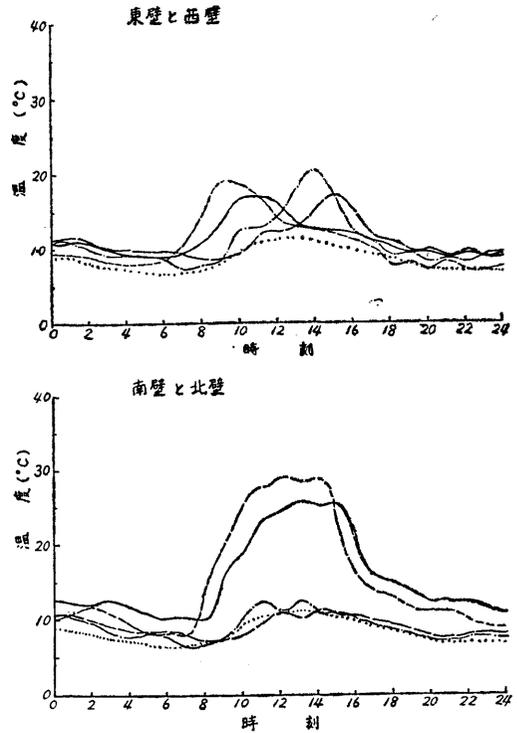


図-2b コンクリート壁の $(\theta_{os})_{max}$ と θ_e の日変動 (40年1月)

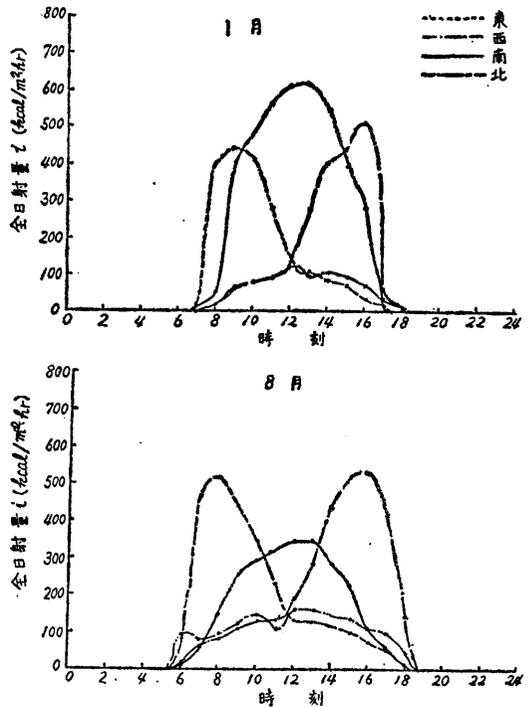


図-3 $(\theta_{os}-\theta_o)_{max}$ 出現時の全日射量 i

計算によって求めた θ_e の日変動の一例として、コンクリート壁厚 14.5cm に関するものを図-2a, b に掲げる。またこれに対応する日射量変動は図-3 の如くである。

これらは上記した如く実際の日変動ではなく、冷房負荷算定用として設定したものであるが、方位特性、季節的特性をよく表わし、 θ_e および θ_{os} は日射量と外気温の日変動特性に従っていることがわかる。 θ_e から日射量および外気温の地方特性を除くため、これから $(\theta_o)_{max}$ を差引き、 $\theta_e - \theta_o$ を取り出して、これと日射量との対比をグラフに描くとほぼ直線関係となる。図-4 a, b に一例としてコンクリート壁の一部を掲げる。

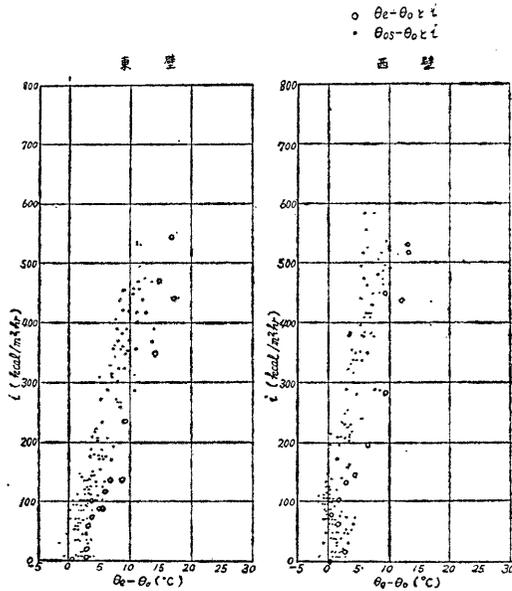


図-4 a コンクリート壁の $(\theta_e - \theta_o)$ と i (40年 8月)

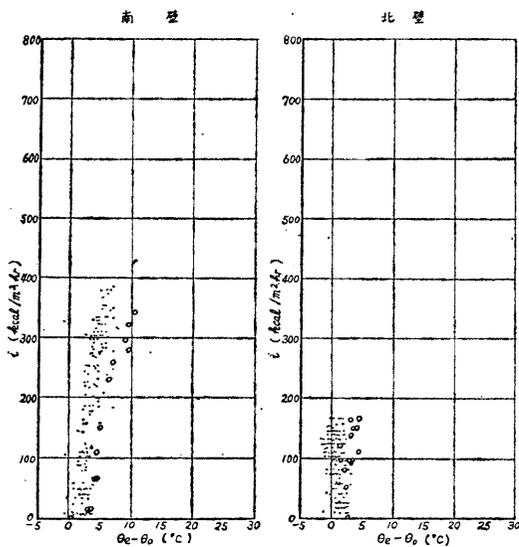


図-4 b コンクリート壁の $(\theta_e - \theta_o)$ と i (40年 8月)

冷房負荷設計用としては安全側を採り、これらの点群を包む右端の直線を採用した。この直線を方位別に季節的变化を見ると 図-5 a, b の如くなる。東壁および西壁に関しては 5, 6, 7, 8 月のものはよく一致し、1月に関する

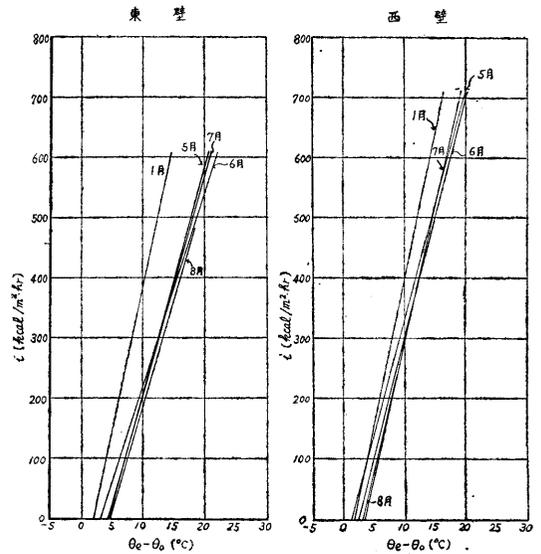


図-5 a コンクリート壁の $(\theta_e - \theta_o)_{max}$ と i の季節的变化 (40年)

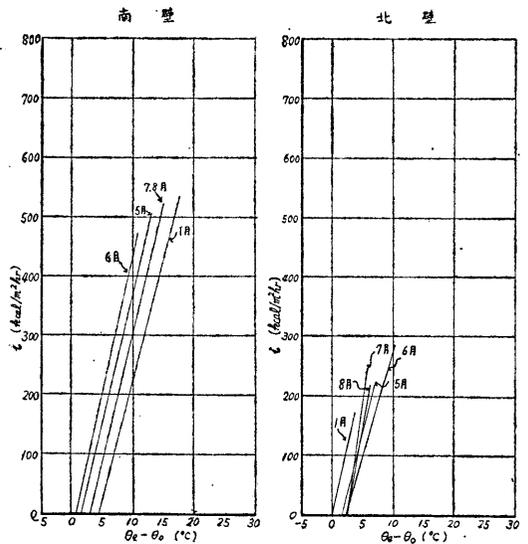


図-5 b コンクリート壁の $(\theta_e - \theta_o)_{max}$ と i の季節的变化 (40年)

るものが、それらより内側へ移動し勾配もやや立つ。南壁に関しては、外側より 1月, 7および8月, 5月, 6月の順に平行に並び、北壁に関するものは、6, 5, 8, 7, 1月の順となる。東壁, 西壁および北壁に関しては、1月が最も小さく、6月が最も大きいか、または大きいグループに属する。また、南壁に関してはそれと全く逆の傾向を示す。これらは、各壁面に対する日射の可照時間、または日平均日射量、日射入射角等の太陽運行の年変動に関する傾向と一致し、縦軸に全日射量を探ったにもかかわらず、このよう変化が現われるのは、壁面における熱の授受には日射の垂直入射量の瞬間値以外にこれらの季節的要素が可成り影響するためと考えられる。これを壁の方位別に比較すると 図-6 の如くなり、夏季にお

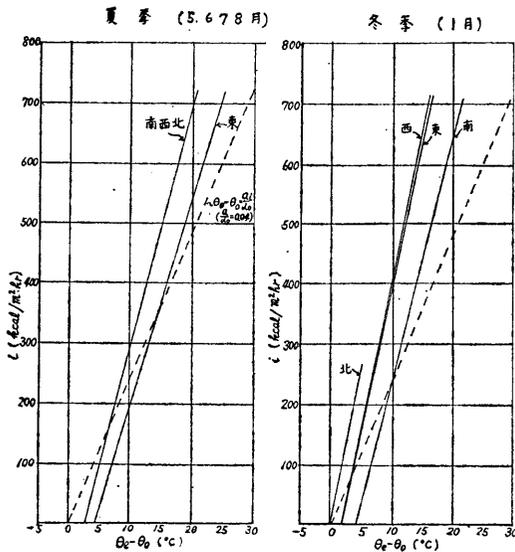


図-6 コンクリート壁の $(\theta_e - \theta_o)$ i の方位別の比較 (40年)

いては、南、西、北の各壁体に関するものはよく一致す

表-1 全日射量 i と相当外気温度差 $\theta_e - \theta_o$

材 料 名	壁の向 う方位	全日射量 i (kcal/m ² ·hr)								
		100	200	300	400	500	600	700	800	
杉 板	W	3.2	6.0	9.0	11.8	14.8	17.6	20.5	23.4	
石 綿 板	W	5.2	7.2	9.0	11.0	13.0	15.0	17.0	19.0	
モ ル タ ル	W	3.2	5.1	7.0	9.0	11.0	13.0	15.0	17.0	
パーライトモルタル	W	2.3	4.2	6.2	8.1	10.0	12.0	14.0	16.0	
蛭石モルタル	W	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.1	10.0	11.6	
発泡コンクリート	E	7.6	10.8	14.0	17.3	20.5	23.8	27.1	—	
	S	7.3	10.3	13.9	16.4	—	—	—	—	
	W	6.3	9.0	11.8	14.6	17.3	20.1	22.7	25.3	
	N	7.5	10.5	—	—	—	—	—	—	
コンクリートブロック	W	6.0	8.0	10.0	11.9	13.9	15.7	17.6	19.5	
ドリゾール	W	4.5	8.4	12.3	16.1	20.0	23.8	27.6	31.5	
セラミックブロック (二孔横溝)	E	7.0	11.1	15.3	19.5	23.6	27.8	32.0	—	
	S	7.9	11.6	15.5	19.3	—	—	—	—	
	W	6.5	9.9	13.4	17.0	20.4	23.9	27.4	30.8	
コンクリート	E	7.0	10.0	12.9	15.8	18.8	21.7	24.5	—	
	S	5.3	7.7	10.2	12.6	—	—	—	—	
	W	5.3	7.7	10.2	12.6	15.1	17.6	20.0	22.5	
	N	5.3	7.7	—	—	—	—	—	—	

るが、東壁はやや大きくなっている。これらの傾向は、各種の壁体についても覗うことができる。

従来、使用されている $\theta_e - \theta_o$ の値に、壁体外表面における熱の授受を、壁面の日射吸収能と熱伝達率の2つの要素に基づいて考察して得られる式、

$$\theta_e - \theta_o = \frac{a}{\alpha_0} i$$

ただし、 a ; 日射吸収能、 α_0 ; 熱伝達率 (kcal/m²·hr·°C) があるが、コンクリートの日射吸収能を0.80、熱伝達率を20kcal/m²·hr·°Cとして、同時にグラフに描くと破線の如くなり、日射量の大なる所では実測結果より得られた値の方が小さくなっている。即ち、設計用負荷としては上式によるのはやや大きく採り過ぎるようである。

夏季3ヶ月の内最も外側の直線を冷房負荷設計用として、各種の壁体に関する値を表-1に掲げる。

壁体を通過して室内に流入する熱量は、外気温度変動に対して壁体の外表面近くで流れる熱量に比較すると、その日変動が減巾され、時間的にも遅れを生じてくる。暖冷房負荷を算定する際、これを考慮しなければならないが、非定常伝熱の正確解は複雑で実際に応用することは

表一 2 壁体の $\Delta\theta$ 算定用の振巾減少率 f と時間的遅れ τ

壁 番 号	振巾減少率 f ($\Delta\theta$ 算定用)				時間的遅れ τ (hr)			
	E	S	W	N	E	S	W	N
1	1.0	1.0	1.0	1.0	4.5	2.5	1.5	2.5
2	1.0	1.0	1.0	1.0	4.5	2.5	1.5	2.5
3	1.0	1.0	1.0	1.0	5.5	3.5	2.5	3.5
4	1.0	1.0	1.0	1.0	5.5	3.5	2.5	3.5
5	1.0	1.0	1.0	1.0	5.5	3.5	2.5	3.5
6	1.0	1.0	1.0	1.0	5.5	3.5	2.5	3.5
7	1.0	1.0	1.0	1.0	5.5	3.5	2.5	3.5
8	1.0	1.0	1.0	1.0	5.5	3.5	2.5	3.5
9	1.0	1.0	1.0	1.0	5.5	3.5	2.5	3.5
10	1.0	1.0	1.0	1.0	5.5	3.5	2.5	3.5
11	1.0	1.0	1.0	1.0	5.0	3.0	2.0	3.0
12	1.0	1.0	1.0	1.0	4.5	2.5	1.5	2.5
13	1.0	1.0	1.0	1.0	4.5	2.5	1.5	2.5
14	0.69	0.72	0.69	0.73	5.5	2.5	2.5	2.5
15	0.61	0.74	0.68	0.81	7.0	5.0	4.0	5.0
16	0.92	0.97	0.95	0.99	6.0	4.0	3.0	4.0
17	0.85	0.90	0.87	0.91	5.5	3.5	2.5	3.5
18	0.96	1.0	1.0	1.0	6.5	5.0	3.5	5.0
19	0.81	0.92	0.87	0.95	5.0	3.0	3.0	3.0

容易でない。通常は、建築環境計画に一応間に合う、下に記す如き式を用いて近似値を求めている。

$$\Delta\theta = (\theta_{em} - \theta_r) + f(\theta_e' - \theta_{em})$$

ただし、

$\Delta\theta$; 定常熱計算が適用し得る相当温度差(°C)

θ_r ; 計画室内気温(一定値)(°C)

f ; 振巾減少率

θ_e' ; τ 時間以前の相当外気温度(°C), τ は時間的遅れ(hr)

θ_{em} ; 相当外気温度の日平均値(°C)

この $\Delta\theta$ を時刻毎に求め、これに壁体の熱貫流率を乗じて、その時刻の貫流熱量を算出している。式中の θ_r は一定値として取扱われており、第一項は定常項、第二項は変動項である。この計算に必要な f および τ を、実測値で得られる減巾率 η' (室内気温変動日較差/外表面温度変動日較差)、時間的遅れ φ' (hr) および η' (内表面温度変動日較差/外表面温度変動日較差)、時間的遅れ φ' に基づき、室内温度一定の場合の減巾率 η''' (内表面温度変動日較差/相当外気温度変動日較差)、時間的遅れ

φ''' を逐次計算法により求め、これとの関係より得た。 η''' 、 φ''' と f 、 τ の関係について述べると、相当外気温度の変動項が $\Theta \cos \omega t$ の場合、壁体内表面から室内へ、変動項によって伝達される熱量は $\alpha_i \cdot \eta''' \Theta \cos(\omega t - \varphi''')$ となる。ただし、 α_i は内表面熱伝達率(kcal/m², hr, °C) Θ は日較差(°C)である。これと上式の変動項 $f(\theta_e' - \theta_{em})$ に壁体の熱貫流率 K (kcal/m², hr, °C) を乗じた値と等しいと置くと、

$$K \cdot f(\theta_e' - \theta_{em}) = \alpha_i \eta''' \Theta \cos(\omega t - \varphi''')$$

ここに、相当外気温度を $\Theta \cos \omega t + \theta_{em}$ と置くと

$$\theta_e' - \theta_{em} = \Theta \cos(\omega t - \tau)$$

即ち、

$$K \cdot f \Theta \cos(\omega t - \tau) = \alpha_i \cdot \eta''' \Theta \cos(t - \varphi''')$$

したがって

$$f = \frac{\alpha_i}{K} \cdot \eta''', \tau = \varphi''' \quad \text{となる。}$$

各種の構造壁体に関する f および τ 値を表一2に掲げる。また、減巾率 η (室内気温変動日較差/相当外気温度日較差) および時間的遅れ φ は、室内環境計画を行

表-3 壁体の減巾率 η と時間的遅れ ϕ

壁 番 号	減巾率 η				時間的遅れ ϕ (hr)			
	E	S	W	N	E	S	W	N
1	0.42	0.54	0.47	0.56	4.5	2.5	1.5	2.5
2	0.40	0.52	0.45	0.55	4.5	2.5	1.5	2.5
3	0.22	0.32	0.27	0.35	5.5	3.5	2.5	3.5
4	0.25	0.55	0.30	0.38	5.5	3.5	2.5	3.5
5	0.31	0.44	0.37	0.47	5.5	3.5	2.5	3.5
6	0.29	0.40	0.34	0.43	5.5	3.5	2.5	3.5
7	0.32	0.42	0.36	0.45	5.5	3.5	2.5	3.5
8	0.29	0.41	0.35	0.44	5.5	3.5	2.5	3.5
9	0.19	0.28	0.24	0.31	5.5	3.5	2.5	3.5
10	0.23	0.33	0.28	0.36	5.5	3.5	2.5	3.5
11	—	—	0.39	—	5.0	3.0	2.0	3.0
12	—	—	0.37	—	4.5	2.5	1.5	2.5
13	—	—	0.35	—	4.5	2.5	1.5	2.5
14	0.51	0.53	0.51	0.55	6.5	3.5	3.0	3.5
15	0.26	0.29	0.26	0.31	7.5	5.5	4.5	5.5
16	0.19	0.28	0.24	0.31	6.5	4.5	3.5	4.5
17	0.27	0.29	0.28	0.36	6.0	4.0	3.0	4.0
18	0.38	0.41	0.40	0.52	7.0	5.0	4.0	5.0
19	0.45	0.51	0.48	0.52	5.0	3.5	3.0	3.5

表-4

- 1 乾式木構造 : 外装 杉板下見板, 内装 プラスタボード
2 同 上 : 外装 同 上, 内装 合 板
3 同 上 : 外装 インシュレーション張スレート下見板, 内装 プラスタボード
4 同 上 : 外装 スレート下見板, 内装 インシュレーション・プラスタボード
5 半乾式木構造 : 外装 ラスモルタル, 内装 プラスタボード
6 同 上 : 外装 パーライトモルタル, 内装 プラスタボード
7 同 上 : 外装 蛭石モルタル, 内装 同 上
8 湿式木構造 : 外装 ラスモルタル, 内装 プラスタボード張プラスタ塗
9 同 上 : 外装 パーライトモルタル, 内装 プラスタボード張パーライトプラスタ塗
10 同 上 : 外装 蛭石モルタル, 内装 プラスタボード張蛭石プラスタ塗
11~13 同 上 : No. 8~10 の二重壁内通気, いずれも柱 10cm
14 コンクリート造 : 壁厚 14.5cm
15 コンクリートブロック造 : 壁厚 23.0cm
16 ドリゾールブロック造 : 壁厚 24.0cm
17 発泡コンクリートブロック造 : 壁厚 12.0cm
18 発泡コンクリートブロック造 : 壁厚 10.0cm
19 セミラックブロック造 : 壁厚 15.0cm

表-5 RC屋根板の η および φ (hr)

屋根番号	η	φ (hr)	備考
1	0.75	2.5	無 天 井
2	0.60	4	同 上
3	0.31	5	同 上
4	0.30	3	天 井 空 間 20cm
5	0.39	2.5	同 上
6	0.35	2.5	同 上
7	0.50	2.5	無 天 井
8	0.28	2.5	同 上
9	0.35	2.5	同 上
10	0.22	2.5	同 上

注) 本表の数値は実際の建物について測定したもので多少他の壁面よりの影響を含んでいる。

1. 12cm RC版
2. No. 1 上に 3cm 厚断熱マスチック
3. No. 1 上にセラミックベンチレーションブロック
4. No. 1 上にコンクリートベンチレーションブロック, 天井プラスタボード
5. No. 1 下に 2.4cm 厚木毛セメント板, 天井プラスタボード
6. No. 1 下に天井空間にウレタンフォーム吹込み, 天井プラスタボード
7. 15cm 厚パーライトコンクリート
8. 20cm 発気泡コンクリート(現場打ち)
9. No. 8 上に砂付ルーフィング
10. No. 8 にアルミ反射断熱材

う際の基礎的資料となるので表-3に掲げる。 η , φ および f , τ の値にはそれぞれ壁の向う方向により多少異なり η , f 値に関しては東, 西, 南, 北の順に大きくなっており, また τ 値に関しては東向きの壁が他より可成り大きな値を示している。RC屋根版に関する η および φ 値を10種のものについて表-5に掲げる。これらは実際の建物について測定したものである。

4. 結 言

建築物の暖冷房ならびに空気調和を行う際の負荷設計

計算に当って主要な数値である相当外気温度については従来僅かに A. S. H. V. E の Guide に記載された計算値が知られているのみである。しかも, これらの資料は材料, 構造的に極めて限られており, その数値も計算値であるため, 可成り実状と隔たる感がある。

筆者らが, ここに提出した諸数値は, いずれも, 実大模型壁体による屋外実験より求めたものであって, なお二~三の点について, 検討, 吟味を必要とするが, 従来の計算により求めた数値に代えて使用して, 充分実用に供しうるものとする。