

土 木 防 空 資 料

2-6-1 火 災 現 象 (昭. 18. 1.)

火焰の輻射熱による對向壁の延焼に関する研究⁽¹⁾

1. 基本式の誘導

(圖-1) に於て

A: 火焰面 P: 對向壁 y: AP 間の距離

 α : AP 線が A 面の法となす角度 $T_0(t)$: 火焰面の絶対温度 (攝氏温度) $T(t)$: 對向壁の絶対温度 (攝氏温度)

e: A 面上の單位面積より單位時間に放射する熱量

 $e = qT_0^4$ ステファンボルツマンの法則 $q = 1.28 \times 10^{-12}$ Cal/sec 完全暗黒體の輻射定數任意の部分 dA より P に達する熱量 dE は

$$dE = \frac{e \cos^2 \alpha}{\pi y^2} \cdot dA$$

故に A 面全體より P に達する熱量は

$$E = \int_A \frac{e \cos^2 \alpha}{\pi y^2} dA = Ie = Iq \cdot T_0^4$$

$$I = \int_A \frac{\cos^2 \alpha}{\pi y^2} dA$$

P 面の吸収率を μ ($\mu \leq 1$) とすれば P 面の吸収する熱量 E_t は

$$E_t = \mu I q T_0^4$$

P 面より放射する熱量 E_0 は

$$E_0 = q T^4$$

故に Δt 時間に増加する熱量は

$$(E_t - E_0) \Delta t = (\mu I q T_0^4 - q T^4) \Delta t$$

P 面の温度を $\Delta T^\circ\text{C}$ 上昇せしむるに要する熱量は

$$c w d \Delta T = C \Delta T$$

c: 比熱 w: 比重 d: 壁面厚

故に Δt 時間に ΔT° 丈 P 面が上昇するとせば

$$(\mu I q T_0^4 - q T^4) \Delta t = C \Delta T$$

$$\mu I q T_0^4 - q T^4 = C \frac{dT}{dt} \dots \dots \dots (1)$$

平衡状態に達せる際の P 面の温度を T_c とせば $\Delta T = 0$ より

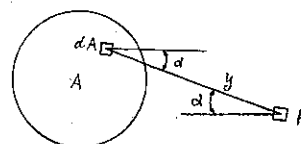
$$T_c = \sqrt[4]{\mu I} T_0 \dots \dots \dots (2)$$

故に (1) 式の T_0 を T_c で書きかへると

$$\frac{dT}{T_c^4 - T^4} = \frac{q}{C} \cdot dt$$

(1) 内務省小宮技師の研究

圖-1.



$$\therefore \frac{1}{2T_c^2} \left\{ \tan^{-1} \frac{T}{T_c} + \frac{1}{2} \log \left| \frac{T_c+T}{T_c-T} \right| \right\} = \frac{q}{C} t \quad \dots (3)$$

故に對向壁 P の最初の温度を T_i , 發火温度を T_b とすれば, 對向壁の發火する迄の時間は

$$t = \frac{C}{2qT_c^2} \left\{ \tan^{-1} \frac{T_c(T_b-T_i)}{T_c^2+T_bT_i} + \frac{1}{2} \log \left| \frac{(T_c+T_b)(T_c-T_i)}{(T_c-T_b)(T_c+T_i)} \right| \right\} \quad \dots (4)$$

今火焰面を矩形とし (圖-2) の如き状態に就て考へると

$$\begin{aligned} I &= \frac{2}{\pi} \{ \sin \theta \tan^{-1} (\tan \phi \cos \theta) \\ &\quad + \sin \phi \tan^{-1} (\tan \theta \cos \phi) \} \\ &= \frac{2}{\pi} \left\{ \frac{k}{\sqrt{k^2+n^2}} \tan^{-1} \frac{1}{\sqrt{k^2+n^2}} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{\sqrt{1+n^2}} \tan^{-1} \frac{k}{\sqrt{1+n^2}} \right\} \quad \dots (5) \end{aligned}$$

但し $n = \cot \phi$, $k = n \cdot \tan \theta$

今 (2) 式に於て $t_0 = 700^\circ\text{C}$, $\mu = 1$, $k = \infty, 10, 2, 1.5, 1$ に於ける平衡温度 t_c を求めると (圖-3) の如くなる。

圖-3.

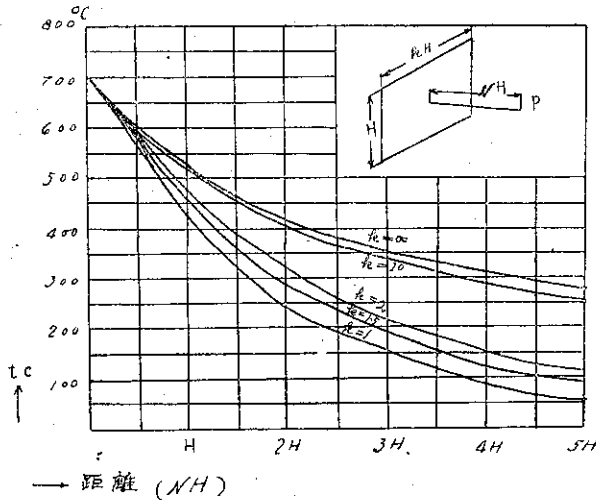
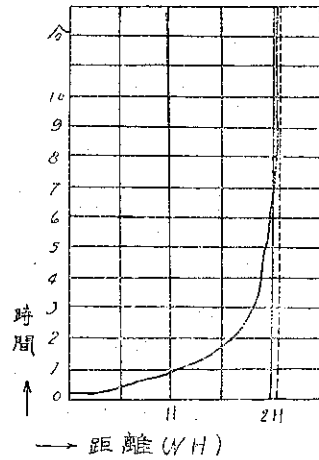


圖-4.



次に (4) 式を用ひて下の如き假定の下に 各距離に於ける 壁面温度 T が 30°C より 300°C (發火温度と假定) に達するに要する時間 t を算出すれば (圖-4) の如くなる。

對向壁の厚さ $d = 0.6 \text{ cm}$ (4 分板)

比 重 $w = 0.4$ (絶對乾燥時の米松)

比 熱 $c = 0.3$

吸 收 率 $\mu = 1$ (最大吸收の場合)

火焰面温度 $t_0 = 700^\circ\text{C}$

$k = 2$

2. 植樹帯の輻射熱遮蔽效果

今幅無限大の火焰面による輻射を考へ, 樹木を半径 r なる圓柱と看做すと, (圖-5) に於て

$$I_n = I(\phi, \theta_{1,1}) + \{I(\phi, \theta_{2,1}) - I(\phi, \theta_{1,0})\} + \{I(\phi, \theta_{3,1}) - I(\phi, \theta_{2,0})\} + \dots + \{I(\phi, \theta_{m,1}) - I(\phi, \theta_{m-1,0})\}$$

$$= \Sigma I(\phi, \theta_{m,1}) - \Sigma I(\phi, \theta_{m-1,0}) \dots \dots \dots (6)$$

但し

$$\theta_{m,1} > \theta_{m-1,0}$$

$$I(\phi, \theta) = \frac{2}{\pi} \left\{ \sin \theta \cdot \tan^{-1} \left(\frac{\cos \theta}{n} \right) + \frac{1}{\sqrt{n^2+1}} \tan^{-1} \left(\frac{n}{\sqrt{n^2+1}} \tan \theta \right) \right\}$$

$$n = \cot \phi$$

$$\theta_{m,1} = \alpha_m \mp \sin^{-1} \frac{r}{\sqrt{a_m^2 + d^2}} = \sin^{-1} \frac{a_m}{\sqrt{a_m^2 + d^2}} \mp \sin^{-1} \frac{r}{\sqrt{a_m^2 + d^2}}$$

$$= \sin^{-1} \frac{a_m \sqrt{a_m^2 + d^2 - r^2} \mp r \cdot d}{a_m^2 + d^2}$$

圖-5.

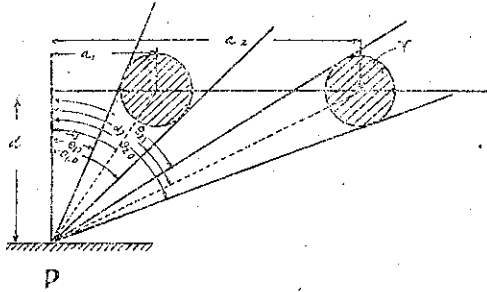
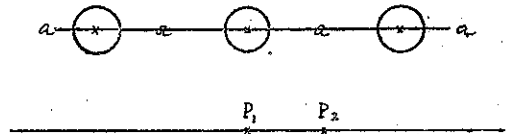


圖-6.



今樹間隔同一 (a とす) なる場合 (圖-6) に於て

i) P₁ に対し

$$\sin \theta_{m,1} = \frac{ma\sqrt{m^2a^2 + d^2 - r^2} - rd}{m^2a^2 + d^2} \quad m = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$\sin \theta_{m-1,0} = \frac{ma\sqrt{m^2a^2 + d^2 - r^2} + rd}{m^2a^2 + d^2} \quad m = 0, 1, 2, \dots, m-1$$

ii) P₂ に対し

$$\sin \theta_{m,1} = \frac{\frac{2m-1}{2} a \sqrt{\left(\frac{2m-1}{2} a\right)^2 + d^2 - r^2} - rd}{\left(\frac{2m-1}{2} a\right)^2 + d^2}$$

$$\sin \theta_{m-1,0} = \frac{\frac{2m-1}{2} a \sqrt{\left(\frac{2m-1}{2} a\right)^2 + d^2 - r^2} + rd}{\left(\frac{2m-1}{2} a\right)^2 + d^2}$$

故に對向壁平衡温度は

$$t_{c,n} = \sqrt[4]{\mu I_n (t_0 + 273)} - 273$$

$\mu=1$, とせば

$$t_{0n} = \sqrt{I_n}(tb+273) - 273 \dots\dots(7)$$

(圖-7) は $\sin \theta$ と $I(\theta)$ の関係圖である。

(圖-8) は火焰面との距離と平衡温度との關係圖である。

3. 準耐火構造壁體の場合

無限に厚い壁體の表面が一定時間ある温度を受けた場合、壁の表面よりある深さの點に於ける温度の變化を求めると、熱傳導の基本式は

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \dots\dots(8)$$

茲に

$$a^2 = \frac{\lambda}{cp}$$

- θ : 温度
- λ : 壁體の熱傳導率
- x : 距離(深さ)
- c : 比熱
- t : 時間
- ρ : 密度

今境界條件として $x=0$ (表面) に於て

$$t < 0, \quad t > \tau \quad \text{のとき} \quad \theta = 0$$

$$0 \leq t \leq \tau \quad \text{のとき} \quad \theta = \theta_0$$

但し τ は温度繼續時間

このときの(8)式の解は

$0 \leq t \leq \tau$ に於て

$$\theta_x = \frac{2\theta_0}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2a\sqrt{t}}} e^{-a^2 u^2} du \dots\dots(9)$$

$t > \tau$ に於て

$$\theta_x = \frac{2\theta_0}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2a\sqrt{t-\tau}}} e^{-a^2 u^2} du \dots\dots(10)$$

a^2 の値は(表-1)の如し。

又 $\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2a\sqrt{t-\tau}}} e^{-a^2 u^2} du$ は(圖-9)に示す如くなる。

今コンクリート構造 ($a^2=0.417$) に對し温度繼續時間 $\tau=20$ 分とせる場合の各深さに於ける温度變化は(圖-10)の如くなる。

任意の深さ x に於て温度が極大値となる迄の時間 t は(10)式に於て $\partial \theta / \partial t = 0$ とおくことにより

圖-7.

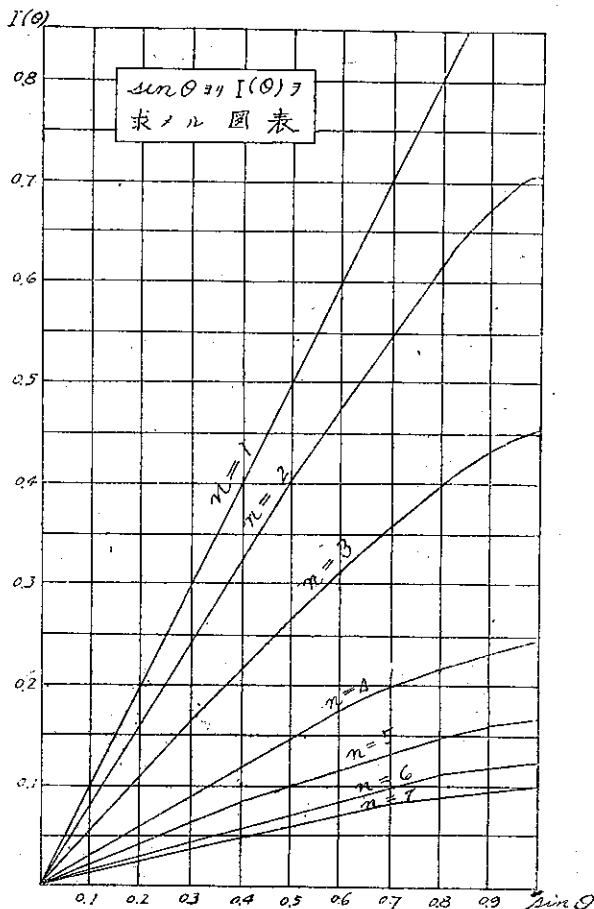


圖-8.

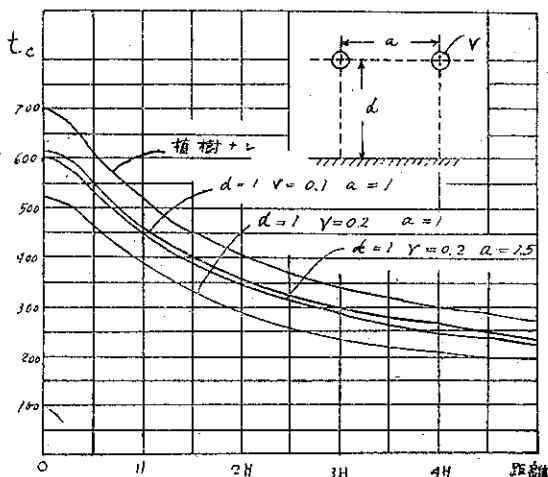


表-1.

材 料	λ (Cal/m. °C. hr)	ρ (kg/m ³)	c	α^2
コンクリート	1.10	2200	0.2	0.417 cm ² /min (0.0025 m ² /hr)
セメントモルタル	0.99	2000	0.2	0.417 (0.0025 ")
鉄 板				(0.042 ")
煉 瓦				(0.0018 ")
石 材				(0.005 ")
木 材				(0.0004 ")

F(R)

図-9.

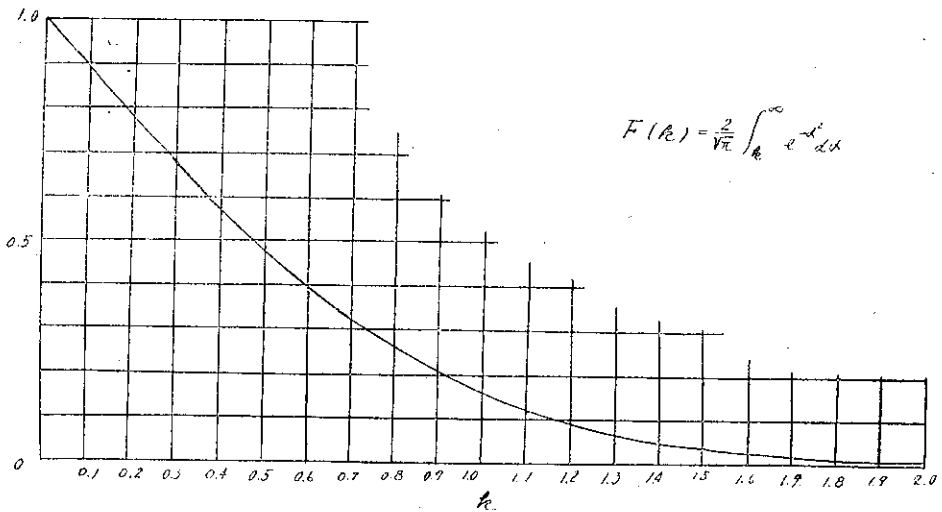
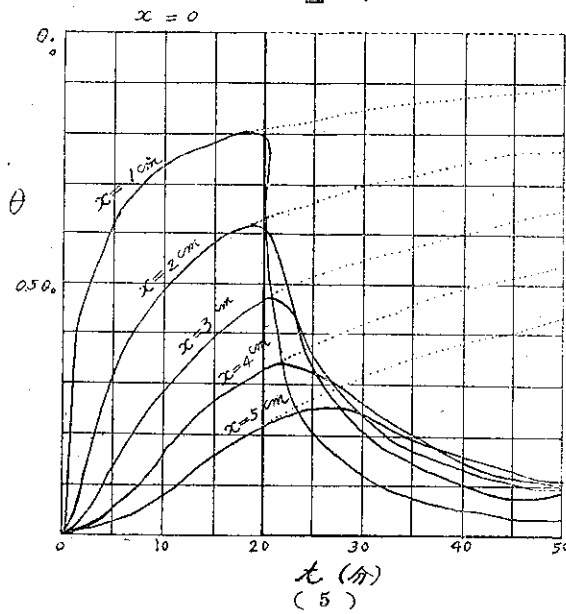


図-10.



(5)

$$\frac{x}{4a(t-\tau)^{1/2}} e^{-\frac{x^2}{4a^2(t-\tau)}} = \frac{x}{4a\tau^{3/2}} e^{-\frac{x^2}{4a^2\tau}}$$

$$\therefore x = 3.72 a \sqrt{\frac{t(t-\tau)}{\tau} \log_{10}\left(\frac{t}{t-\tau}\right)} \dots\dots\dots (11)$$

(圖-11) は $a^2=0.417$ (コンクリート構造物) の場合の $x-t$ 曲線なり。

(11) 式より逆に x に対する t を求め (9), (10) 式より θ を算出すると各点の到達する最高温度を知ることが出来る。(圖-12) は $a^2=0.417$ の場合に対する $\theta-x$ 曲線である。

圖-11.

$a^2 = 0.417$ 場合

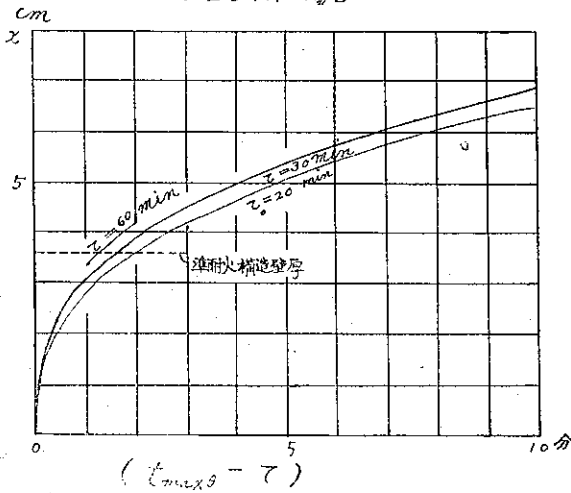
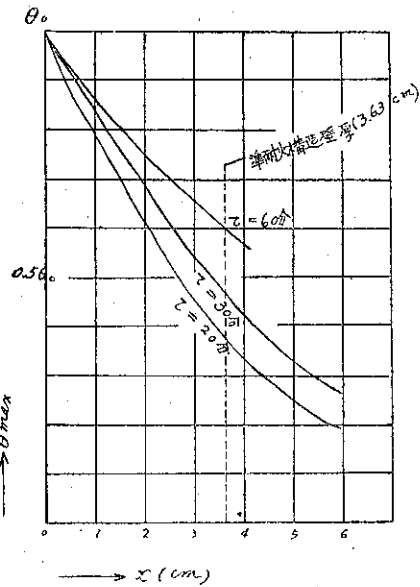


圖-12.

$a^2 = 0.417$



以上は極めて厚い壁に対する場合であるが、薄い壁にも適用し得るとすると、前各式より壁の内面が危険温度に達しない爲の壁厚を算出することが出来る譯である。

4. 應 用

(1) 建物安全間隔

火焰面温度 $t_0 = 700^\circ\text{C}$

對向壁危険温度 $t_b = 300^\circ\text{C}$

火焰面 (矩形) 面積 = (軒高 $\times 1.5$) \times (建物幅)

例へば軒高を 3m (平家建), 建物幅を 9m とすると (圖-3) より

安全間隔 $nH = 2.1 H = 9.5 \text{ m}$

(2) 防火道路幅員

前項と同一の假定に於て火焰面の幅が無限に長きものとせば (圖-3) より

平家建に對し 安全幅員 = $4.15 H = 18.6 \text{ m}$

二階建に對し " = $4.15 H = 37.2 \text{ m}$

(3) 同上 (植樹ある場合)

前各項の假定に更に

樹木の大きさ $r=0.4\text{ m}$
 樹木間隔 $a=3\text{ m}$
 樹木と對向壁の間隔 $d=2\text{ m}$

とし、又樹木の防火能力は對向壁側のもののみ有効と考へると(圖-8)より

安全幅員 $\approx 2.9H=13\text{ m}$ (但し平家建)

この際樹木の平衡温度は 380°C に達する。

(4) 準耐火構造の場合

モルタル又はコンクリート壁厚 3.63 cm 程度の構造(市街地建築物法施行規則第 128 條-2-(ハ)の準耐火構造)に對し、その結果は(表-2)の如くなる。

表-2.

繼續時間	θ_{\max}	許容表面温度 θ_0	安 全 幅	
$t=20\text{ 分}$	$0.39\theta_0$	640°C	$0.4H$	{ 2 階建 (軒高 6m) 3.6 m { 平家建 (" 3m) 1.8 "
" 30 "	$0.47 "$	$530 "$	$1.0 "$	{ 2 階建 9.0 " { 平家建 4.5 "
" 60 "	$0.61 "$	$410 "$	$2.0 "$	{ 2 階建 18.0 " { 平家建 9.0 "

表-3.

	壁體構造	植樹帯の有無	火災繼續時間	建築物壁面間隔	
				平 家	二階建
①	木 造	なし	—	18.6 m	37.2 m
②	木 造	{ 植帯の間隔 3 m { 壁面との距離 2 m { 樹形半径 40 cm	—	13.0 m	—
③	木 造	{ 植帯の間隔 2 m { 壁面との距離 2 m { 樹形半径 40 cm	—	8.6 m	—
④	準耐火構造	なし	20 分	1.8 m	3.6 m
⑤	準耐火構造	なし	30 分	4.5 m	9.0 m
⑥	準耐火構造	なし	1 時間	9.0 m	18.0 m

(表-2)に於て θ_{\max} は $x=3.6\text{ cm}$ に於ける最高温度であつて(11)式及(9)式又は(圖-12)より算出される。

許容表面温度 θ_0 は、内面危険温度 $\theta_{\max}=250^\circ\text{C}$ と假定して求めたものである。

安全幅員は第 1 項の場合と同様 $tb=\theta_0$ として(圖-3)より求めることが出来る。

5. 結 語

以上は各種の假定のもとに於ける推論であつて、實際火災に於ける風速による流の影響、火焰流、飛火等の影響を無視せる場合であるから、基本式適用の可否、各係数の當、不當は、實際に防火道路等の設計を考慮する場合には適當に考慮されねばならない。