

設工認第3回申請書における数式、単位、数値の誤記載に係る計算結果への影響について

令和5年4月20日
原子力科学研究所
臨界ホット試験技術部

設工認第3回申請書において数式、単位、数値の記載誤りがあった該当箇所について、計算のインプットを確認した。その結果、正しい数式、単位、数値を入力して計算しており、計算結果に影響を及ぼすものでないことを確認した。

【資料1の関連頁 p.12】

ケース① 地表火評価式中のパラメータ計算シート（途中式）

地表火計算		値	備考
可燃物の表面積-体積比: σ	cm ⁻¹	70.44	参考文献よりアカマツ
可燃物の真の密度: ρ_p	kg/m ³	516.19	参考文献よりアカマツ
単位面積当たりの可燃物量: W_0	kg/m ²	0.33	参考文献よりアカマツ
可燃物の堆積深: δ	m	0.05	調査結果
可燃物の含水率: M_f		0.01	参考文献よりアカマツ
限界含水率: M_x		0.31	参考文献よりアカマツ
可燃物中のシリカ以外の無機含有率: S_e		0.024	参考文献よりアカマツ
可燃物中の無機含有率: S_r		0.031	参考文献よりアカマツ
可燃物の発熱量: h	kJ/kg	19958	参考文献よりアカマツ
炎の高さ中央部の風速: U	m/min	315.0	
傾斜角度: ϕ	deg	0.900	切り上げ
① 可燃物中の有機物量: W_n	kg/m ²	0.32	
可燃物の堆積密度: ρ_b	kg/m ³	6.6	
可燃物の堆積密度と比重の比: β		0.013	
② 熱分解速度が最大となるときの β : β_{op}		0.006	
③ 定数: A (Γ' に使用)		0.307	
④ 最大熱分解速度定数: Γ'_{max}		15.61	
理想熱分解速度定数: Γ'		14.11	
可燃物中の水分による熱分解速度減少係数: η_M		0.922	
可燃物中の無機物による熱分解速度減少係数: η_S		0.353	
燃焼による単位時間当たりの放出熱量: I_f	kJ/min·m ²	29339	
⑤ 炎によって加熱される可燃物の割合 ε		0.938	
⑥ 可燃物の加熱に消費される放出熱量の割合 ξ		0.051	
単位重量当たりの可燃物が発火するまでに必要な熱量 Q_{if}		607	
定数: B (ϕ_{wl} に使用)		1.591	
定数: C (ϕ_{wl} に使用)		0.001	
定数: E (ϕ_{wl} に使用)		0.331	
風による割増し係数: ϕ_w		43.4	
傾斜による割増し係数: ϕ_s		0.005	

①可燃物の有機物量: W_n [kg/m²]

$$W_n = W_0(1 - S_r) = 0.33 \times (1 - 0.031) = \underline{0.32}$$

②熱分解速度が最大となるときの β : β_{op}

$$\beta_{op} = 0.20395 \cdot \sigma^{-0.8189} = 0.20395 \times 70.44^{-0.8189} = \underline{0.006}$$

③定数 (Γ' に使用)

$$A = 8.9033 \cdot \sigma^{-0.7913} = 8.9033 \times 70.44^{-0.7913} = \underline{0.307}$$

④最大熱分解速度定数: Γ'_{max}

$$\Gamma'_{max} = (0.0591 + 2.926 \sigma^{-1.5})^{-1} = (0.0591 + 2.926 \times 70.44^{-1.5})^{-1} = \underline{15.61}$$

⑤炎によって加熱される可燃物の割合: ε

$$\varepsilon = \exp(-4.528/\sigma) = \exp(-4.528/70.44) = \underline{0.938}$$

⑥可燃物の加熱に消費される放出熱量の割合: ξ

$$\xi = (192 + 7.9095 \sigma)^{-1} \cdot \exp[(0.792 + 3.7597\sqrt{\sigma})(\beta + 0.1)] = (192 + 7.9095 \times 70.44)^{-1} \cdot \exp[(0.792 + 3.7597\sqrt{70.44})(0.013 + 0.1)] = \underline{0.051}$$

【資料1の関連頁 p.13】

樹冠火評価式中のパラメータ

CFB計算		
臨界表目燃焼速度: R_0		12.56
有効樹冠延焼速度RAC		50
⑦ 延焼速度とCFB間の係数 α_c		0.07
樹冠燃焼率CFB	%	0.301

⑦延焼速度とCFB間の係数: a_c

$$a_c = -\ln(0.1) / 0.9(RAC - R_0)$$
$$= -\ln(0.1) / 0.9(50 - 12.56) = \underline{0.07}$$

【資料1の関連頁 p.14】

火災の熱影響評価（想定火災源：常陸那珂港火力発電所軽油タンク）

燃料量V	7000	m ³
燃料タンク投影面積S	800	m ²
輻射発散度Rf	4.20E+04	W/m ²
燃焼速度v	5.50E-05	m/s
隔離距離L	2000	m
燃焼半径R	16.0	m
火炎の高さH	47.9	m
m=H/R	3	
n=L/R	125	
A=(1+n) ² +m ²	15969	
B=(1-n) ² +m ²	15467	
形態係数φ	1.223E-04	
輻射強度E	5.14	W/m ²
燃焼継続時間t	159091	s
燃焼継続時間t	44.19	hr
初期温度T0	50	°C
⑧ 輻射強度E	5.14	W/m ²
コンクリート関係		
温度伝導率a	7.53E-07	
比熱Cp	963	J/kgK
密度ρ	2400	kg/m ³
熱伝導率λ	1.74	W/mK
深さx(表面)	0	m
燃焼継続時間t	159091	s
⑨ コンクリート温度T表面	51.2	°C

⑧ 輻射強度：E [W/m²]

$$E = R_f \times \phi$$

$$= 4.20 \times 10^4 \times 1.223 \times 10^{-4} = \underline{5.14}$$

⑨ 外壁表面温度：T [°C]

$$T = T_0 + \frac{2 \times E \sqrt{a \times t}}{\lambda} \times \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \times \exp\left(-\frac{x^2}{4 \times a \times t}\right) - \frac{x}{2 \times \sqrt{a \times t}} \times \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2 \times \sqrt{a \times t}}\right) \right]$$

$$= 50 + \frac{2 \times 5.14 \sqrt{7.53 \times 10^{-7} \times 159091}}{1.74} \times \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \times \exp\left(-\frac{0^2}{4 \times 7.53 \times 10^{-7} \times 159091}\right) - \frac{0}{2 \times \sqrt{7.53 \times 10^{-7} \times 159091}} \times \operatorname{erfc}\left(\frac{0}{2 \times \sqrt{7.53 \times 10^{-7} \times 159091}}\right) \right]$$

$$= \underline{51.2} = 52$$

設工認申請書の添付書類「Ⅲ-2-2-(1) 外部火災防護に関する評価書」では適切な単位で計算を実施していることを確認した。その他の想定火災源においても同じ。

(設工認申請書 p. 添Ⅲ-2-2-(1)-25)

表5-5 火災の熱影響評価結果

想定火災場所	想定火災源	内容物	最大貯蔵量(kℓ)	STACY 施設外壁からの距離(m)	STACY 施設外壁表面温度(°C)
原科研敷地外	①常陸那珂港火力発電所軽油タンク	軽油	7000	2000	52
	②核燃料サイクル工学研究所重油タンク	重油	588	1900	51
	③日本原子力発電重油タンク	重油	500	1400	51
	④日立ハイテクマテリアルズ及び出光興産重油タンク	重油	10885	5000	51
原科研敷地内	中央変電所重油タンク	重油	30	900	51

【資料1の関連頁 p.15】

航空機落下による火災の熱影響評価（想定機種：B747-400）

燃料量V	216.84	m ³
燃料タンク投影面積S	700	m ²
輻射発散度Rf	5.00E+04	W/m ²
燃焼速度v	4.59E-05	m/s
隔離距離L	360	m
燃焼半径R	14.9	m
火炎の高さH	44.8	
m=H/R	3	
n=L/R	24	
A=(1+n) ² +m ²	640	
B=(1-n) ² +m ²	543	
形態係数φ	3.36E-03	
輻射強度E	1.68E+02	W/m ²
燃焼継続時間t	6748.8	s
燃焼継続時間	1.87	hr
初期温度T0	50	°C
⑩ 輻射強度E	1.68E+02	W/m ²
コンクリート関係		
温度伝導率a	7.53E-07	
比熱Cp	963	J/kgK
密度ρ	2400	kg/m ³
熱伝導率λ	1.74	W/mK
深さx(表面)	0	m
燃焼継続時間	6748.8	s
⑪ コンクリート温度T 表面	57.8	°C

⑩ 輻射強度：E [W/m²]

$$E = R_f \times \phi$$

$$= 5.00 \times 10^4 \times 3.36 \times 10^{-3} = \underline{1.68 \times 10^2}$$

⑪ 外壁表面温度：T [°C]

$$T = T_0 + \frac{2 \times E \sqrt{a \times t}}{\lambda} \times \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \times \exp\left(-\frac{x^2}{4 \times a \times t}\right) - \frac{x}{2 \times \sqrt{a \times t}} \times \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2 \times \sqrt{a \times t}}\right) \right]$$

$$= 50 + \frac{2 \times 1.68 \times 10^2 \times \sqrt{7.53 \times 10^{-7} \times 6748.8}}{1.74} \times \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \times \exp\left(-\frac{0^2}{4 \times 7.53 \times 10^{-7} \times 6748.8}\right) - \frac{0}{2 \times \sqrt{7.53 \times 10^{-7} \times 6748.8}} \times \operatorname{erfc}\left(\frac{0}{2 \times \sqrt{7.53 \times 10^{-7} \times 6748.8}}\right) \right]$$

$$= \underline{57.8} = 58$$

設工認申請書の添付書類「Ⅲ-2-2-(1) 外部火災防護に関する評価書」では適切な単位で計算を実施していることを確認した。その他の想定機種においても同じ。

(設工認申請書 p. 添Ⅲ-2-2-(1)-30)

表6-3 航空機落下による火災の影響評価結果

カテゴリ	民間航空機		自衛隊機、米軍機		
	計器飛行方式 飛行場での 離着陸時	航空路を 巡航中	有視界飛行方式	訓練空域外を飛行中	基地・訓練空 域間往復時
想定機種	B747-400		AS332L1	KC-767	F-15
離隔距離(m)	360		33	351	36
実験棟A外壁 表面温度	58		82	55	99

【資料1の関連頁 p. 16】

設計飛来物の衝突による施設の影響評価（飛来物：ボンベ台車）

修正NDRC式			
K	180/√Fc	3.08	
W	重量	20	kg
		44.1	lbs
Fc	コンクリート強度	240	kg/cm2
		3414	psi
D	飛来物直径	0.35	m
		13.8	in
V	衝突速度	19	m/s
		62.3	ft/s
N	形状係数	1.14	
αc	飛来物低減係数	1	
Xc	貫入深さ	0.717	in
Degen式			
αp	飛来物低減係数	1	
tp	貫通限界厚さ	1.57	in
		3.98	cm

⑫貫通限界厚さ： t_p [in]

$$t_p = \alpha_p D \left\{ 2.2 \left(\frac{x_c}{\alpha_c D} \right) - 0.3 \left(\frac{x_c}{\alpha_c D} \right)^2 \right\}$$

$$= 1 \times 13.8 \left\{ 2.2 \left(\frac{0.717}{1 \times 13.8} \right) - 0.3 \left(\frac{0.717}{1 \times 13.8} \right)^2 \right\}$$

$$= 1.57 \text{ [in]} = \underline{3.98} \text{ [cm]} \doteq 4 \text{ [cm]}$$

設工認申請書の添付書類「Ⅲ-2-2-(2) 竜巻防護に関する評価書」では適切な単位で計算を実施していることを確認した。

(設工認申請書 p. 添Ⅲ-2-2-(2)-29)

表5-1 設計飛来物に対する施設の健全性評価結果

評価対象	飛来物	方向	コンクリート厚さ (cm)	貫通限界厚さ (cm)	裏面剥離限界厚さ (cm)	評価結果	
						貫通	裏面剥離
実験棟A外壁	ボンベ台車	水平	30	4	17	無	無

【資料1の関連頁 p.17】

1次元輸送計算コードANISNのインプット（着目計算点：P₇'）

*----- ゾーン数					
*----- ゾーンデータ					
*----- 厚さ(cm)/分割数/物質のインデックス/密度係数/線源強度分布					
1	2	0	1	1	
4	1	0	1	0	
700	70	0	1	0	
145	145	6	1.04	0	

物質インデックス
0: 空気
6: 普通コンクリート

1次元輸送計算コードANISNのインプットにおいて、遮蔽までの距離（空気：705cm）、遮蔽厚さ（普通コンクリート：145cm）が正しく入力されていることを確認した。