

リサイクル燃料備蓄センター設工認
設 2 - 補 - 015 - 01
2021 年 12 月 6 日

リサイクル燃料備蓄センター
設計及び工事の計画の変更認可申請書
(補足説明資料)

竜巻に対する使用済燃料貯蔵建屋の影響評価

令和 3 年 12 月

リサイクル燃料貯蔵株式会社

目次

1. 添付記載事項と補足説明資料の関係	1
2. 評価対象部位の選定について	3
3. 荷重及び荷重の組合せについて	3
4. 貫通評価, 裏面剥離評価に関する許容限界, 評価方法の設定及び 評価結果について	7
5. 風圧力及び気圧差に対する評価に関する許容限界, 評価方法の 設定及び評価結果について	9

1. 添付記載事項と補足説明資料の関係

「添付 7-2-5 竜巻に対する使用済燃料貯蔵建屋の影響評価」では、外部飛来物に対する防護方針及び評価結果について記載している。飛来物による防護は、使用済燃料貯蔵建屋外壁及び屋上スラブの外殻による防護を行うこととしており、図 1 に示す手順で設計している。

一連の評価は、以下の手順に従い、その内容を記載している。添付書類と以下の手順との関係を図 1 に整理している。

設計飛来物の衝突に対する評価については、建屋が外殻として内部の設備を防護していることから、外壁及び屋根スラブを評価部位とする。

考慮すべき荷重及び荷重組合せについては、原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（以下「ガイド」という。）に従い設定しており、詳細については「3. 荷重及び荷重の組合せについて」に記載している。

設計飛来物の衝突荷重に対する許容限界については、貫通評価及び裏面剥離評価それぞれについて設定しており、詳細については「4. 貫通評価，裏面剥離評価に関する許容限界，評価方法の設定及び評価結果について」に記載している。

風圧力及び気圧差による荷重に対する評価については、耐震壁及び屋根スラブを評価部位とする。

風圧力及び気圧差による荷重に対する許容限界については、地震荷重や積雪荷重に対する許容限界の考え方に倣って設定しており、材料の短期許容応力度や耐震壁の保有水平耐力を採用している。詳細については「5. 風圧力及び気圧差に対する評価に関する許容限界，評価方法の設定及び評価結果について」に記載している。

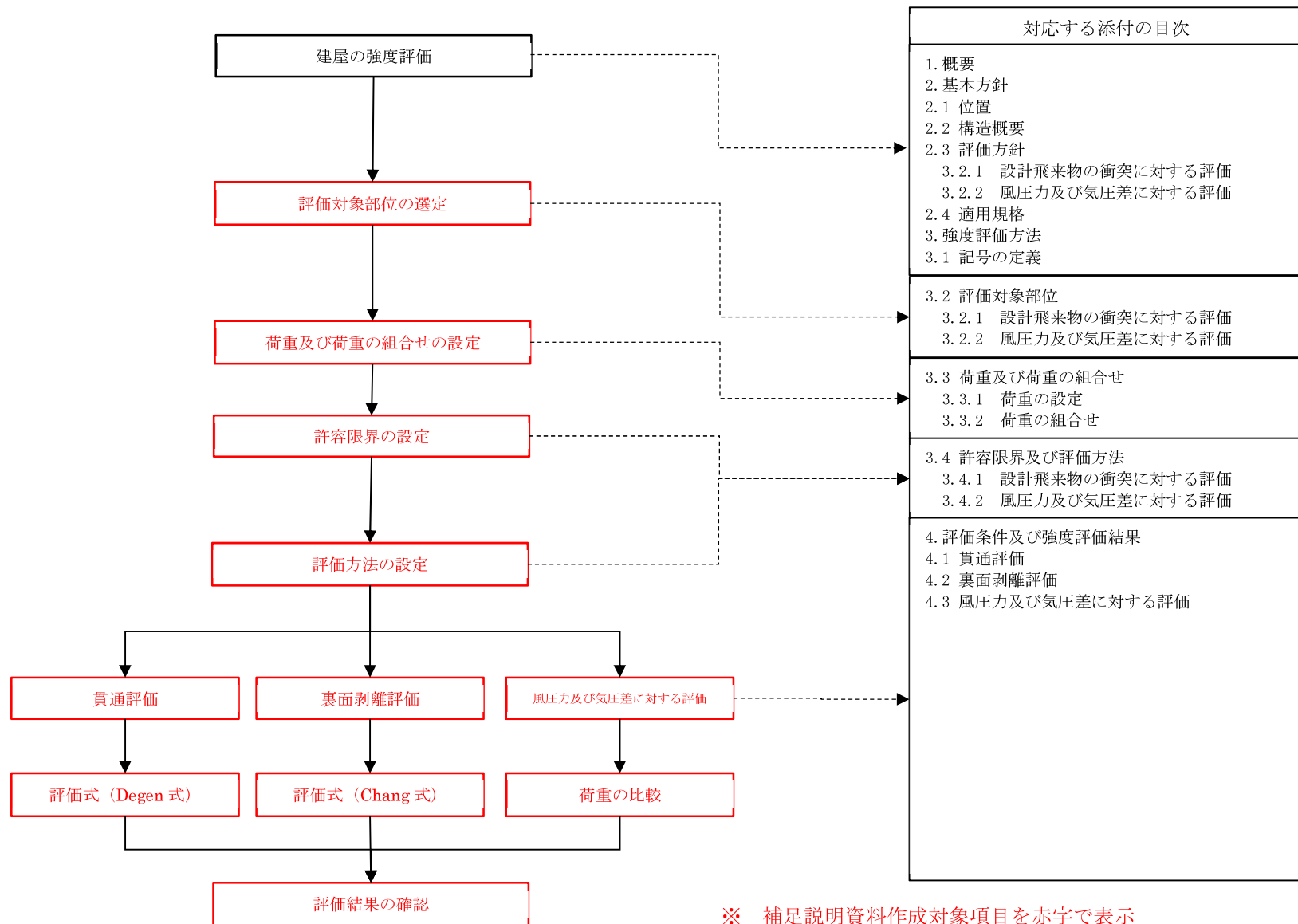


図1 設工認図書添付記載事項の分類と補足説明資料の関係

2. 評価対象部位の選定について

貫通評価及び裏面剥離評価に対しては、設計飛来物の浮き上がり高さを踏まえ、地上高約 17.2m 以下の建屋外殻を構成する外壁及び屋根スラブを評価対象とする。

風圧力及び気圧差に対する評価に対しては、風圧力及び気圧差による荷重が作用する建屋外殻を構成する外壁及び屋根スラブを評価対象として抽出する。

3. 荷重及び荷重の組合せの設定について

(1) 風圧力による荷重 (W_w)

風圧力による荷重 W_w は、下式により算定する。

風力係数 C は、「建築基準法及び同施行令」に基づき設定する。

$$W_w = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで、

W_w : 風圧力による荷重 (N)

q : 設計用速度圧 (N/m^2)

G : ガスト影響係数 (=1.0) 「竜巻影響評価ガイド」による

C : 風力係数 («建築基準法及び同施行令」に基づき、風上壁面值 0.8 と風下壁面の値 -0.4 の合算値として 1.2 とする。)

A : 貯蔵建屋の受圧面積 (m^2)

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^2$$

ρ : 空気密度 (=1.22 kg/m^3)

「建築物荷重指針・同解説 (日本建築学会2004年)」による

V_D : 設計竜巻の最大風速 (m/s)

(2) 気圧差による荷重 (W_p)

気圧差による荷重 W_p については、気圧差による荷重が最大となる「閉じた施設」を想定し、下式により算定する。

$$W_p = \Delta P_{\max} \cdot A$$

ここで、

W_p : 気圧差による荷重 (N)

ΔP_{\max} : 最大気圧低下量 (N/m^2)

A : 貯蔵建屋の受圧面積 (m^2)

$$\Delta P_{\max} = \rho \cdot V_{Rm}^2$$

ρ : 空気密度 (=1.22 kg/m^3)

V_{Rm} : 設計竜巻の最大接線風速 (m/s)

(3) 設計飛来物による衝撃荷重 (W_M)

設計飛来物による衝撃荷重 W_M については、設計飛来物の衝突に伴う荷重とする。

衝突荷重の設定に当たって、ガイドに示される「大きな貫通力を持つ物品」として鋼製材を選定している。

鋼製材の寸法及び質量はガイドに示される以下の値を採用している。

表1 鋼製材の寸法及び質量

寸法(長さ×幅×奥行)	4.2m×0.3m×0.2m
質量	135kg

また、「大きな運動エネルギーをもつ物品」としては、飛散距離範囲内の小型車両としてワゴン車を選定しており、その寸法及び質量以下の値を採用している。

表2 ワゴン車の寸法及び質量

寸法(全長×全幅×全高)	5.4m×1.9m×2.3m
質量	1970kg

衝突荷重の算定に当たっては、飛来物と衝突体の接触時間を設定し、飛来物の運動量と衝突荷重の力積の関係から以下のように設定している。

飛来物による衝撃荷重の算定式を以下に示す。

$$W_M = F_m = \frac{m \cdot V}{\tau} = \frac{m \cdot V^2}{L_1}$$

$$I = F_m \cdot \tau = m \cdot V$$

ここで、

I : 衝撃荷重による力積

F_m : 静的な値として算定した設計飛来物による衝撃荷重

m : 設計飛来物の質量

- τ : $\tau=L/V$ (設計飛来物と被衝突体の接触時間)
 L : 設計飛来物の最も短い辺の長さ

(4) 常用作用する荷重 (F_d)

常用作用する荷重 F_d として、自重及び上載荷重を考慮する。

(5) 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、設計竜巻荷重及び常時作用する荷重を組み合わせる。荷重の組合せを表3に示す。

表3 荷重の組合せ

設計飛来物の衝突に対する評価		
評価内容	評価部位	荷重の組合せ
貫通評価	外壁・屋根スラブ	W_M
裏面剥離評価	外壁・屋根スラブ	W_M
風圧力及び気圧差に対する評価		
評価内容	評価部位	荷重の組合せ
風圧力及び気圧差に対する評価	耐震壁・屋根スラブ	$W_P + F_d$
		$W_W + 0.5W_P + W_M + F_d$

W_W : 風圧力による荷重

W_P : 気圧差による荷重

W_M : 設計飛来物による衝撃荷重

F_d : 常時作用する荷重

荷重の算定に用いる竜巻の特性値及び設計飛来物の諸元を表4及び表5に示す。

表5の最大水平速度，最大鉛直速度については，竜巻の最大風速100m/sにて，ランキン渦モデルを適用した風速場の中での速度を算出した。また，表5の設計飛来物は，初期高さの影響を考慮して，設計飛来物の衝突する範囲は，貯蔵建屋低層部（排気塔遮蔽ルーバ上端部（地上高さ約17m）以下の部分）の外壁及び屋根とする。

表4 荷重の算定に用いる竜巻の特性値

最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線 風速 V_{Rm} (m/s)	最大接線 風速半径 R_m (m)	最大気圧 低下量 ΔP_{max} (hPa)	最大気圧 低下率 $(dp/dt)_{max}$ (hPa/s)
100	15	85	30	89	45

表5 設計飛来物の諸元

設計飛来物	サイズ (m)	質量 (kg)	最大水平速度 (m/s)	最大鉛直速度 (m/s)
鋼製材	長さ×幅×奥行 4.2×0.3×0.2	135	51	34
ワゴン車	全長×全幅×全高 5.4×1.9×2.3	1,970*	53	27

※：ワゴン車の質量は、車両の乾燥質量に加え、ガソリン等（燃料タンク満杯かつ冷却水や油脂類が規定量充填）を含んでいる状態とする。

4. 貫通評価，裏面剥離評価に関する許容限界，評価方法の設定及び評価結果について

(1) 評価方法

衝突荷重に対する許容限界は，ガイドに示されるように，「設計飛来物が設計対象施設あるいはその特定の区画に衝突した際に，竜巻防護施設の安全機能の維持に影響を与えない」ことを確認するために，「貫通及び裏面剥離（コンクリート等の部材に衝突物が衝突した際に，衝突面の裏側でせん断破壊等に起因した剥離が生じる破壊現象）に対して，施設の構造健全性を確認」している。

なお，貫通限界厚さ及び裏面剥離厚さの算出に用いる低減係数 α については，鋼製材のような剛な飛来物には低減を考慮せず，ワゴン車のような柔な飛来物については，実験的に確かめられた既往の論文に記載のある値を採用している。

貫通限界の確認については，先行施設で使用実績のある評価式のある Degen 式を用いて貫通限界厚さを算出し，建屋の外壁及び屋根スラブのコンクリート最小厚さがこれを上回ることにより健全性を確認している。

裏面剥離の確認についても先行施設で使用実績のある評価式のある chang 式を用いて裏面剥離限界厚さを算出し，貫通限界の検討同様に建屋の外壁及び屋根スラブのコンクリート最小厚さがこれを上回ることにより健全性を確認している。

(2) 許容限界

許容限界は，飛来物が衝突する可能性のある範囲における壁及びスラブの最も壁厚の薄い壁の部材厚さとする。その値は以下のとおりである。

表 6 貫通及び裏面剥離評価の許容限界

評価内容	評価部位	許容限界 部材厚さ (mm)
貫通及び裏面剥離評価	受入れ区域外壁	<input type="text"/>
	貯蔵区域屋根スラブ	<input type="text"/>

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

(3) 評価結果

貫通限界厚さと許容限界の比較を表 7 に示す。貫通限界厚さが許容限界を超えないことを確認した。

表 7 評価結果と許容限界の比較

評価項目	部位	飛来物	評価結果 (mm)	許容限界 (mm)
貫通限界 厚さ	受入れ区域 外壁	鋼製材	250	
		ワゴン車	220	
	貯蔵区域 屋根スラブ	鋼製材	180	
		ワゴン車	130	
裏面剥離 限界厚さ	受入れ区域 外壁	鋼製材	400	
		ワゴン車	470	
	貯蔵区域 屋根スラブ	鋼製材	310	
		ワゴン車	300	

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

5. 風圧力及び気圧差に対する評価に関する許容限界，評価方法の設定及び評価結果について

(1) 評価方法及び許容限界

評価対象部位は耐震壁及び屋根スラブであり，それぞれの評価方法と許容限界は以下のとおりである。

耐震壁については，風圧力を考慮した組合せ荷重が建屋の保有水平耐力を超えないことにより健全性を確認する。

屋根スラブについては，風圧力による荷重の許容限界を短期許容応力度としていること，建屋の積雪時に対して考慮する長期の荷重に対してコンクリートの長期と短期の許容応力度の比率が 2.0 であるのに対し，鉄筋の長期と短期の許容応力度の比率が 1.5 であることから，この比率の小さい値である 1.5 を採用し，短期荷重に相当する風圧力による荷重が長期の荷重の 1.5 倍以内であることにより健全性を確認する。

(2) 評価結果

耐震壁の評価結果は以下のとおりである。いずれの層においても許容限界を超えないことを確認している。

表 8 風圧力を考慮した組合せ荷重による層せん断力と保有水平耐力の比較

(1) NS 方向

T. P. (m)	層せん断力		保有水平耐力 Q_u ($\times 10^4$ kN)
	複合荷重 W_{T1} ($\times 10^4$ kN)	複合荷重 W_{T2} ($\times 10^4$ kN)	
43.5	0.024	0.032	5.73
39.3	0.226	0.301	30.74
33.22	0.500	0.957	60.10
29.22	0.979	1.594	67.25
16.3			

(2) EW 方向

T. P. (m)	層せん断力		保有水平耐力 Q_u ($\times 10^4$ kN)
	複合荷重 W_{T1} ($\times 10^4$ kN)	複合荷重 W_{T2} ($\times 10^4$ kN)	
43.5	0.254	0.338	24.03
39.3	0.815	1.085	26.73
33.22	1.399	2.153	35.01
29.22	2.386	3.465	92.32
16.3			

また、竜巻の風圧力及び気圧差による屋根スラブの強度評価結果は以下のとおりであり、許容限界を超えないことを確認している。

表9 屋根スラブの強度評価結果

対象部位	荷重方向	P_c (P_B/P_A)	許容限界	判定
受入区域屋根	上向き	0.03	1.5	良
	下向き	1.44		
貯蔵区域屋根	上向き	0.35		良
	下向き	1.28		
排気塔屋根	上向き	0.09		良
	下向き	1.18		