

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-440-1 改 14
提出年月日	平成 30 年 8 月 3 日

工事計画に係る補足説明資料

補足-440-1 【竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書 の全般の補足説明】

平成 30 年 8 月

日本原子力発電株式会社

補足説明資料目次

I. はじめに

1. 強度計算の方針に関する補足説明資料
 - 1.1 風力係数について
 - 1.2 強度計算時の施設の代表性について
 - 1.3 換気空調設備の竜巻の影響を考慮する施設について
 - 1.4 構造強度評価における評価対象部位の選定について

2. 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算に関する補足説明資料
 - 2.1 鉄筋コンクリート部材の裏面剥離評価方法について
 - 2.2 コンクリートの裏面剥離に対する設備対策の評価手法について
 - 2.3 原子炉建屋大物搬入口扉の貫通評価について
 - 2.4 ブローアウトパネル開口部から侵入する風に対する対応方針について
 - 2.5 原子炉建屋外側ブローアウトパネルの飛び出し挙動について
 - 2.6 使用済燃料乾式貯蔵建屋の使用済燃料乾式貯蔵容器冷却性能について
 - 2.7 使用済燃料乾式貯蔵建屋壁面への車両の衝突影響について
 - 2.8 飛来物として設定する車両の設定について
 - 2.9 鉄筋コンクリートの衝突解析モデルにおける破断限界の設定について
 - 2.10 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ変形評価の許容値の設定について
 - 2.11 車両衝突時における使用済燃料乾式貯蔵建屋内壁ライナの挙動について
 - 2.12 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブの貫通及び裏面剥離評価について
 - 2.13 鉄筋コンクリート部材の貫通評価及び裏面剥離評価について

3. 海水ストレーナの強度計算に関する補足説明資料
 - 3.1 海水ストレーナの評価対象部位について

4. 屋外の重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算に関する補足説明資料
 - 4.1 固縛装置の設計における保守性について
 - 4.2 固縛装置の設計における設備の代表性について
 - 4.3 屋外の重大事故等対処設備の収納ラックに対する固縛対応について

5. 主排気筒の強度計算に関する補足説明資料
 - 5.1 竜巻飛来物による構造欠損の想定箇所について
 - 5.2 起因事象を竜巻とした場合の主排気筒に求められる機能について

6. ディーゼル発電機吸気口の強度計算に関する補足説明資料
 - 6.1 ディーゼル発電機吸気口の局部ばね定数及び局部応力の算出について

7. 防護対策施設の強度計算に関する補足説明資料
 - 7.1 シャックルの許容限界について
 - 7.2 飛来物のオフセット衝突の影響について
 - 7.3 金網の設計裕度の考え方
 - 7.4 ワイヤロープの変形を考慮したネットシステムのたわみについて
 - 7.5 ワイヤロープの初期張力について
 - 7.6 補助金網の影響について
 - 7.7 防護対策施設の設計の考え方について
 - 7.8 防護鋼板及び架構の解析手法の保守性について

8. 排気管，放出管及びベント管の強度計算に関する補足説明資料
 - 8.1 ディーゼル発電機排気管の許容応力について

: 今回ご説明分

I. はじめに

1. 概要

本補足説明資料は、以下の説明書についての内容を補足するものである。
本補足説明資料と添付書類との関連を表-1に示す。

- ・ V-3-別添 1 竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

表-1 補足説明資料と添付資料との関連 (1/5)

工事計画添付書類に係わる補足説明資料 (竜巻)		該当添付資料
1. 強度計算の方針に関する補足説明資料		
1.1 風力係数について		<p>V-3-別添 1-1-2 「残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書」</p> <p>V-3-別添 1-1-3 「残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書」</p> <p>V-3-別添 1-1-4 「主排気筒の強度計算書」</p> <p>V-3-別添 1-1-5 「換気空調設備の強度計算書」</p> <p>V-3-別添 1-1-6 「ディーゼル発電機海水ポンプの強度計算書」</p> <p>V-3-別添 1-1-7 「ディーゼル発電機海水ストレーナの強度計算書」</p> <p>V-3-別添 1-1-8 「ディーゼル発電機吸気口の強度計算書」</p> <p>V-3-別添 1-1-9 「配管および弁の強度計算書」</p> <p>V-3-別添 1-1-10-2 「消音器の強度計算書」</p> <p>V-3-別添 1-1-10-3 「排気管、放出管およびベント管の強度計算書」</p>
1.2 強度計算時の施設の代表性について		<p>V-3-別添 1-1-2 「残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書」</p> <p>V-3-別添 1-1-3 「残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書」</p> <p>V-3-別添 1-1-5 「換気空調設備の強度計算書」</p> <p>V-3-別添 1-1-6 「ディーゼル発電機用海水ポンプの強度計算書」</p> <p>V-3-別添 1-1-7 「ディーゼル発電機用海水ストレーナの強度計算書」</p> <p>V-3-別添 1-1-8 「ディーゼル発電機吸気口の強度計算書」</p> <p>V-3-別添 1-1-9 「配管および弁の強度計算書」</p> <p>V-3-別添 1-1-10-3 「排気管、放出管およびベント管の強度計算書」</p>
1.3 換気空調設備の竜巻の影響を考慮する施設について		<p>V-3-別添 1-1-5 「換気空調設備の強度計算書」</p>

表-1 補足説明資料と添付資料との関連 (2/5)

工事計画添付書類に係わる補足説明資料 (竜巻)	該当添付資料
1.4 構造強度評価における評価対象部位の選定について	V-3-別添 1-1-2 「残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書」 V-3-別添 1-1-3 「残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書」 V-3-別添 1-1-4 「主排気筒の強度計算書」 V-3-別添 1-1-5 「換気空調設備の強度計算書」 V-3-別添 1-1-6 「ディーゼル発電機海水ポンプの強度計算書」 V-3-別添 1-1-7 「ディーゼル発電機海水ストレーナの強度計算書」 V-3-別添 1-1-8 「ディーゼル発電機吸気口の強度計算書」 V-3-別添 1-1-9 「配管および弁の強度計算書」 V-3-別添 1-1-10-2 「消音器の強度計算書」 V-3-別添 1-1-10-3 「排気管、放出管およびベント管の強度計算書」

2. 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算に関する補足説明資料

2.1 鉄筋コンクリート部材の裏面剥離評価方法について	
2.2 コンクリートの裏面剥離に対する設備対策の評価手法について	
2.3 原子炉建屋大物搬入口扉の貫通評価について	
2.4 ブローアウトパネル開口部から侵入する風に対する対応方針について	
2.5 原子炉建屋外側ブローアウトパネルの飛び出し挙動について	V-3-別添 1-1-1 「竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書」

表-1 補足説明資料と添付資料との関連 (3/5)

工事計画添付書類に係わる補足説明資料（竜巻）	該当添付資料
2.6 使用済燃料乾式貯蔵建屋の使用済燃料乾式貯蔵容器冷却性能について	V-3-別添 1-1-1 「竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書」
2.7 使用済燃料乾式貯蔵建屋壁面への車両の衝突影響について	
2.8 飛来物として設定する車両の設定について	
2.9 鉄筋コンクリートの衝突解析モデルにおける破断限界の設定について	
2.10 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ変形評価の許容値の設定について	
2.11 車両衝突時における使用済燃料乾式貯蔵建屋内壁ライナの挙動について	
2.12 原子炉建屋原子炉棟屋根スラブの貫通及び裏面剥離評価について	
2.13 鉄筋コンクリート部材の貫通評価及び裏面剥離評価について	

表-1 補足説明資料と添付資料との関連 (4/5)

工事計画添付書類に係わる補足説明資料 (竜巻)		該当添付資料
3.	海水ストレーナの強度計算に関する補足説明資料	
3.1	海水ストレーナの評価対象部位について	V-3-別添 1-1-3 「残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書」 V-3-別添 1-1-7 「ディーゼル発電機海水ストレーナの強度計算書」
4.	屋外の重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算に関する補足説明資料	
4.1	固縛装置の設計における保守性について	
4.2	固縛装置の設計における設備の代表性について	V-3-別添 1-3 「屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」 V-3-別添 1-3-1 「屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算書」
4.3	屋外の重大事故等対処設備の収納ラックに対する固縛対応について	
5.	主排気筒の強度計算に関する補足説明資料	
5.1	竜巻飛来物による構造欠損の想定箇所について	
5.2	起因事象を竜巻とした場合の主排気筒に求められる機能について	V-3-別添 1-1-4 「主排気筒の強度計算書」
6.	ディーゼル発電機吸気口の強度計算に関する補足説明資料	
6.1	ディーゼル発電機吸気口の局部ばね定数及び局部応力の算出について	V-3-別添 1-1-8 「ディーゼル発電機吸気口の強度計算書」

表-1 補足説明資料と添付資料との関連 (5/5)

工事計画添付書類に係わる補足説明資料 (竜巻)	該当添付資料
7. 防護対策施設の強度計算に関する補足説明資料	
7.1 シヤックルの許容限界について	
7.2 飛来物のオフセット衝突の影響について	
7.3 金網の設計裕度の考え方	
7.4 ワイヤロープの変形を考慮したネットシステムのたわみについて	V-3-別添 1-2-1-1 「防護ネットの強度計算書」
7.5 ワイヤロープの初期張力について	V-3-別添 1-2-1-2 「防護鋼板の強度計算書」
7.6 補助金網の影響について	V-3-別添 1-2-1-3 「架構の強度計算書」
7.7 防護対策施設の設計の考え方について	
7.8 防護鋼板及び架構の解析手法の保守性について	
8. 排気管, 放出管及びベント管の強度計算に関する補足説明資料	
8.1 デイジーゼル発電機排気管の許容応力について	V-3-別添 1-1-10-3 「排気管, 放出管及びベント管の強度計算書」

(空白)

2.11 車両衝突時における使用済燃料乾式貯蔵建屋内壁ライナの
挙動について

1. はじめに

当社の管理が及ばない隣接事業所からの飛来物として設定した「車両（トラック）」が使用済燃料乾式貯蔵建屋に衝突し得るのは、建屋の東及び南側の壁面となるが、これらの壁に車両が衝突した場合の裏面剥離を抑止するため、壁の内表面に鋼板ライナを施工する計画としている。

ライナはあと施工アンカーボルトにより既設壁面に取り付ける設計としているが、外表面への車両の衝突によりコンクリートの変形、損傷が想定されることから、ボルト及びライナの挙動について検討した。

2. 壁面へのライナの施工計画

建屋内表面へのライナの取付計画を図 1 に示す。厚さ 3.2mm の鋼板を、図 1 に示す割付で取りつける計画としている。

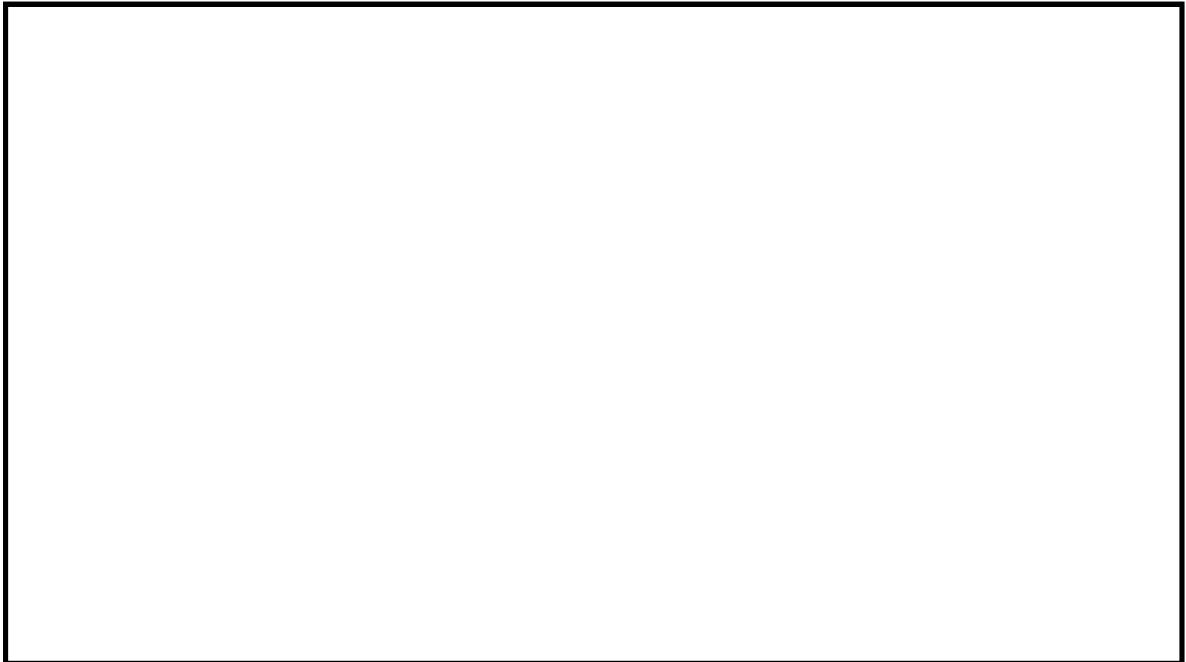
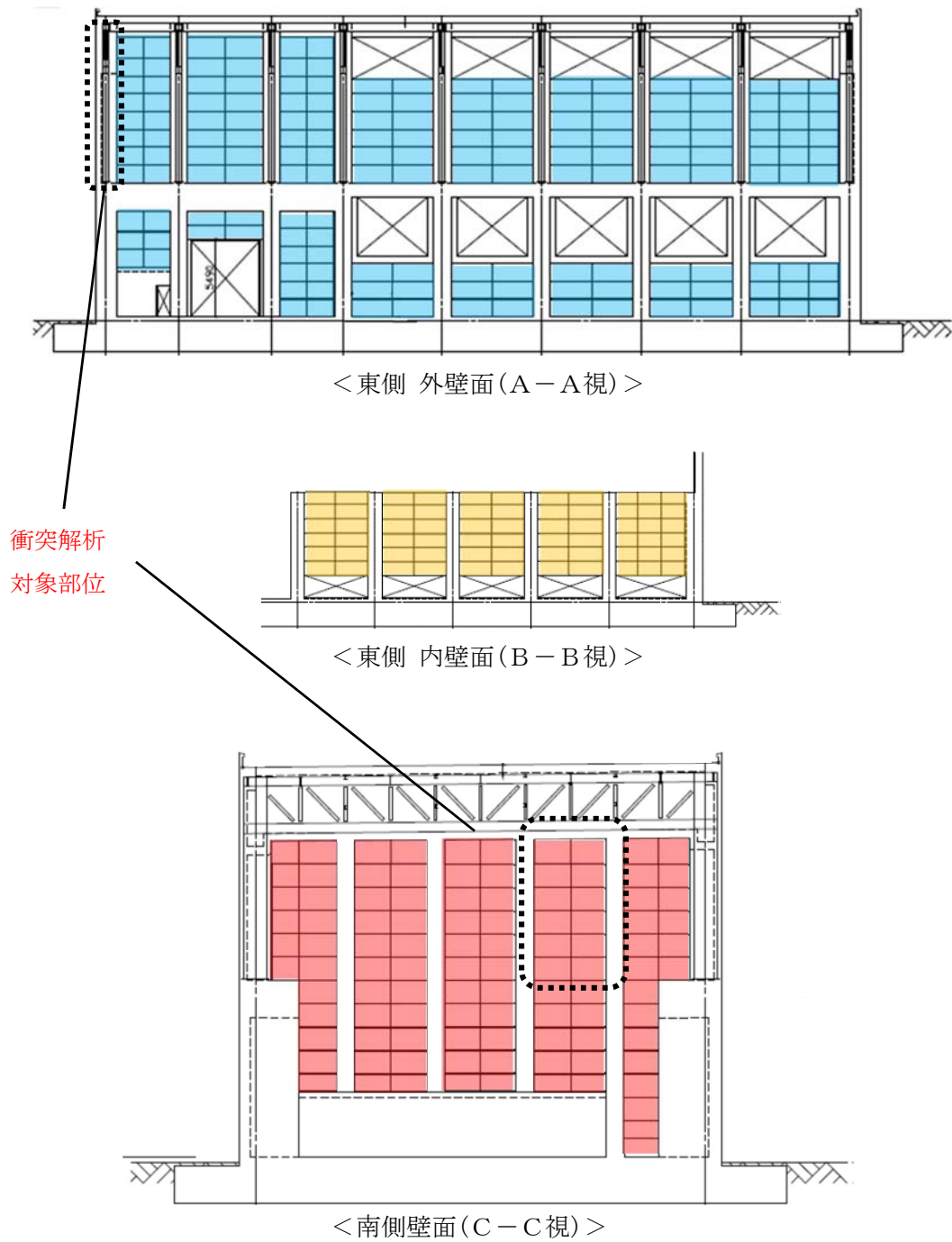


図 1 ライナの割付計画(1/2)



衝突解析
対象部位

図1 ライナの割付計画(2/2)

ライナの取付計画を図2に示す。アンカーボルトの呼び径はM16、ボルト施工ピッチは鉄筋のピッチ(250mm)を考慮し500mmとする。また、ライナの継目は溶接にて接合することで母材と同等の強度を維持し、1枚板と同等の条件とするため、FEM解析モデルの結果に示すとおり、ライナが車両の衝突により破断することはない。

また、コンクリートの破壊によりアンカーボルトとの付着力が失われることが想定され

るが、図3に示す様に、今回解析対象とした、**版厚が薄く**、**鉄筋径が小さくかつ幅が狭い**壁面においても**辺縁のコンクリートは健全に維持される**ことから、**接合され一体となったライナは、健全なコンクリート部のアンカーボルトにより壁面に支持され、脱落することはない。**

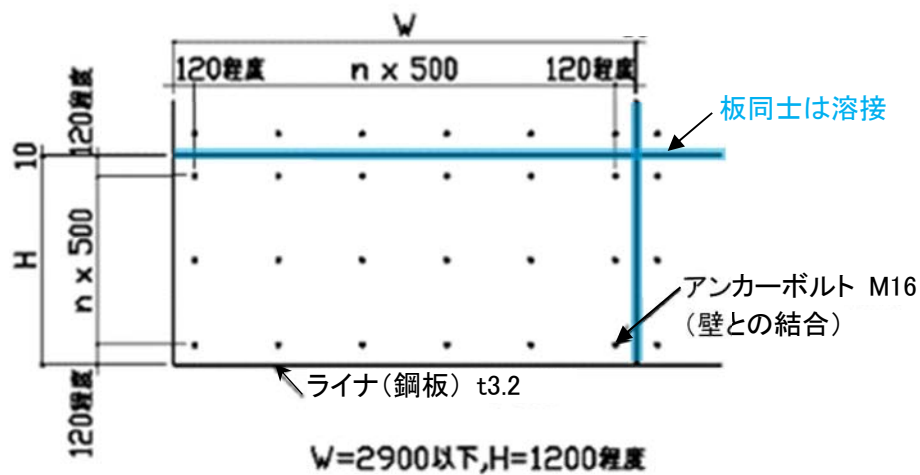


図2 ライナの取付計画

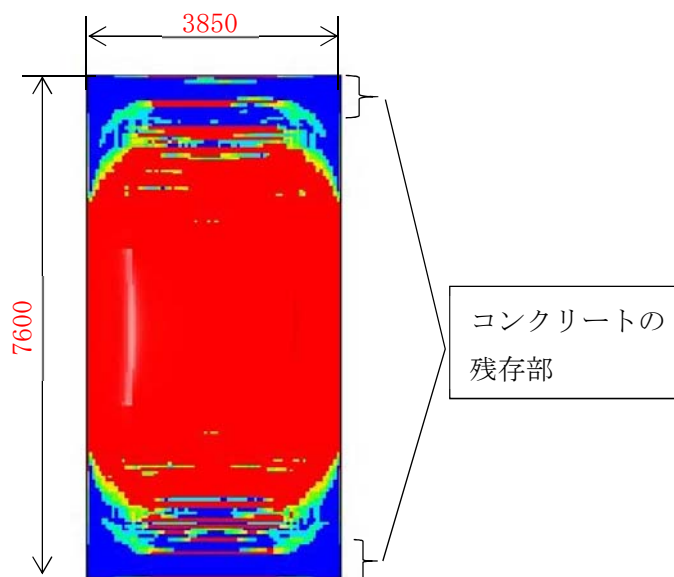


図3 コンクリートの**損傷範囲**

以上

2.13 鉄筋コンクリート部材の貫通評価及び裏面剥離評価について

1. 概要

V-3-別添 1-1-1「竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書」における「貫通評価」では、鉄筋コンクリート部材の飛来物の衝突に対する貫通限界厚さを算定し、施設の部材厚さとの比較を行っている。また、「裏面剥離評価」では裏面剥離限界厚さを算定し、施設の部材厚さとの比較を行っている。なお、評価の結果、裏面剥離の発生が想定される場合には、詳細な衝突解析を実施し、鉄筋又は裏面のライナ(デッキプレート含む)に発生するひずみにより評価を行っている。

ここでは、貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さの評価式及び評価式における入力値の詳細について示す。

2. 貫通限界厚さ及び裏面剥離限界厚さの算定方法

貫通評価において、貫通限界厚さの算定には Degen 式を用いており、Degen 式における貫入深さは修正 NDRC 式により算定している。また、裏面剥離評価における裏面剥離限界厚さの算定には Chang 式を用いている。

Degen 式、修正 NDRC 式及び Chang 式は米国 NRC の基準類^{*1}及び NEI07-13^{*2}に、飛来物の衝突に対する鉄筋コンクリート構造物の局部損傷評価式として記載されており、「構造物の衝撃挙動と設計法」((社)土木学会)においては、貫通限界厚さの評価式として、Degen 式の適用性が高く、裏面剥離限界厚さの評価式として、Chang 式の適用性が高いとされている。

Degen 式、修正 NDRC 式及び Chang 式を以下に示す。

(1) Degen 式及び修正 NDRC 式

<修正 NDRC 式>

$X/d \leq 1.52$ の場合、

$$e = \alpha_e \{2.2(X/d) - 0.3(X/d)^2\} \cdot d$$

$X/d \leq 2.0$ の場合、

$$X/d = \{(48580/\sqrt{F_c}) \cdot N \cdot d^{0.2} \cdot D \cdot (V/1000)^{1.8}\}^{0.5}$$

e : 貫通限界厚さ (cm)

x : 貫入深さ (cm)

F_c : コンクリートの設計基準強度

d : 飛来物の直径 (cm) (飛来物の衝突面の外形の最小投影面積に等しい円の直径)

M : 飛来物の重量 (kg)

V : 飛来物の最大水平速度 (m/s)

N : 飛来物の先端形状係数

α_e : 飛来物の低減係数

(2) Chang 式

$$S = 1.84 \alpha_s \cdot \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0.13} \cdot \frac{\left(\frac{W \cdot V^2}{0.0980} \right)^{0.4}}{d^{0.2} \cdot f_c^{0.4}}$$

- d : 飛来物の（等価）直径 (cm)
 f_c' : コンクリートの設計基準強度
 S : 裏面剥離限界厚さ (cm)
 V : 飛来物の衝突速度 (m/s)
 V₀ : 飛来物基準速度 (m/s)
 W : 飛来物重量 (kgf)
 α_s : 低減係数

*1 : U. S NUCLEAR REGULATORY COMMISSION:STANDARD REVIEWPLAN, 3.5.3 BARRIER DESIGNPROCEDURES, NUREG-0800, Revision 3-March 2007

*2 : Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs (Nuclear Energy Institute 2011 Rev8 (NEI07-13))

3. 評価式における入力値

各評価式に用いる入力値を表 3-1～表 3-3 に示す。

表3-1 Degen式及び修正NDRC式に用いる入力値

(1) 鋼製材

記号	数値	単位	定義	
d	27.6	cm	飛来物の（等価）直径	
F _c	—*	kgf/cm ²	コンクリートの設計基準強度	
N	1.14	—	飛来物の形状係数	
V	51	m/s	外壁	飛来物の衝突速度（水平）
	34		屋根	飛来物の衝突速度（鉛直）
M	135	kgf	飛来物重量	
α _e	1.0	—	低減係数	

* : 評価対象建屋による

(2) 車両

記号	数値	単位	定義	
d	338.5	cm	飛来物の（等価）直径	
F_c	—*	kgf/cm ²	コンクリートの設計基準強度	
N	0.72	—	飛来物の形状係数	
V	52	m/s	外壁	飛来物の衝突速度（水平）
	—		屋根	飛来物の衝突速度（鉛直）
M	5000	kgf	飛来物重量	
α_e	0.60	—	低減係数	

*：評価対象建屋による

表3-3 Chang式に用いる入力値

(1) 鋼製材

記号	数値	単位	定義	
d	27.6	cm	飛来物の（等価）直径	
F_c'	—*	kgf/cm ²	コンクリートの設計基準強度	
V	51	m/s	外壁	飛来物の衝突速度（水平）
	34		屋根	飛来物の衝突速度（鉛直）
V_0	60.96	m/s	飛来物基準速度	
W	135	kgf	飛来物重量	
α_s	1.0	—	低減係数	

*：評価対象建屋による

(2) 車両

記号	数値	単位	定義	
d	338.5	cm	飛来物の（等価）直径	
F_c'	—*	kgf/cm ²	コンクリートの設計基準強度	
V	52	m/s	外壁	飛来物の衝突速度（水平）
	—		屋根	飛来物の衝突速度（鉛直）
V_0	60.96	m/s	飛来物基準速度	
W	5000	kgf	飛来物重量	
α_s	0.55	—	低減係数	

*：評価対象建屋による

4 評価式における低減係数及び形状係数

鋼製材については、航空機エンジン以上に剛体であり得ることも想定されるため、柔飛来物に対する低減は考慮せず、修正 NDRC 式の形状係数は非常に鋭い場合として 1.14、Degen 式及び Chang 式の低減係数は 1.0 としている。

車両については、航空機エンジンよりも柔構造体であり、衝突時には車両自体が大きく変形し得るため、航空機エンジンよりも低減係数は小さくなると推定できるが、保守的に航空機エンジン相当と考え、修正 NDRC 式の形状係数は平坦な先端として 0.72、低減係数は Degen 式について 0.60、Chang 式において 0.55 としている。これらの値については、Degen 式、修正 NDRC 式及び Chang 式が引用されている NEI07-13 の値を採用している。

既往文献と今回の評価における採用値の比較を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価式における形状係数及び低減係数

	Degen 式	修正 NDRC 式	Chang 式	想定飛来物
	低減係数 α_e	飛来物の形状係数 N	低減係数 α_s	
NEI07-13	0.60	0.72	0.55	大型商用機のエンジン
文献*1	—	0.72~1.14	—	—
文献*2	0.65	—	0.60	航空機エンジン
採用値	1.00	1.14	1.00	鋼製材
	0.60	0.72	0.55	車両

*1：構造工学シリーズ 6 構造物の衝撃挙動と設計法，土木学会

*2：Experimental Studies on Local Damage of Reinforced Concrete

Structures by the Impact of Deformable Missiles Part 4: overall Evaluation of Local Damage, Kiyoshi Muto, etc., 10th SMiRT

以上

(空白)

5.2 起因事象を竜巻とした場合の主排気筒に求められる機能について

竜巻影響評価においては、設計荷重に対し、設計対象施設の構造健全性等が維持され、安全機能が維持されることを確認することとされている。

「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（以下、「設置許可基準規則」という。）において、「安全機能」は次のように定義されている。

- 五 「安全機能」とは、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能であって、次に掲げるものをいう。
- イ その機能の喪失により発電用原子炉施設に運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生し、これにより公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがある機能
 - ロ 発電用原子炉施設の運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の拡大を防止し、又は速やかにその事故を収束させることにより、公衆又は従事者に及ぼすおそれがある放射線障害を防止し、及び放射性物質が発電用原子炉を設置する工場又は事業所外へ放出されることを抑制し、又は防止する機能

ここで、主排気筒の有する安全機能、つまり放射性物質の放出低減機能は、「発電用原子炉施設の運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の拡大を防止し、又は速やかにその事故を収束させることにより、公衆又は従事者に及ぼすおそれがある放射線障害を防止し、及び放射性物質が発電用原子炉を設置する工場又は事業所外へ放出されることを抑制し、又は防止する機能」に該当する。

しかしながら、竜巻を起因として放射性物質の放出を伴う事象が発生することはないことから、竜巻影響評価においては、主排気筒に求められる安全機能要求はないと判断している。（表 1-1 参照）また、主排気筒に損傷が確認された場合は、安全上支障の無い期間に損傷箇所の補修を行うこととする。

なお、設置許可基準規則の安全機能には該当しないが、通常時（プラント停止時含む）においても、気体廃棄物等を主排気筒から高所放出していることから、通常時において損傷した主排気筒から放出した場合の被ばくを評価した結果を表 1-2 に示す。実際には、主排気筒に損傷が認められた場合にはプラントを停止し補修を行うが、本評価においては、保守的な設定（プラントが通常運転を継続し、かつ補修に時間を要する）を用いた場合においても、通常時における線量目標値を満足することを確認した。

以 上

表 1-1 設計基準事故（環境への放射性物質の異常な放出を伴う事象）に関する竜巻による影響

設計基準事故(環境への放射性物質の異常な放出を伴う事象)	事象の概要	評価結果
放射性気体廃棄物処理施設の破損	放射性気体廃棄物施設の一部が破損し、貯留されていた気体状の放射性物質環境に放出される。	放射性気体廃棄物処理設備である活性炭式希ガスホルドアップ装置、隔離弁等は原子炉建屋及びタービン建屋内にあり、竜巻により破損することはない。
燃料集合体の落下	燃料交換時に燃料集合体が落下して破損し、放射性物質が環境に放出される。	使用済燃料プールがある原子炉建屋原子炉棟には、有意な飛来物は侵入しない。また、竜巻準備体制発令時は燃料交換作業を中止する運用とする。したがって、竜巻により燃料集合体が落下・破損することはない。
原子炉冷却材喪失	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する配管あるいはこれに付随する機器等の破損等により、冷却材が系外に流出する。	原子炉冷却材圧力バウンダリは原子炉格納容器内及び原子炉建屋原子炉等内にあり、竜巻により破損することはない。
制御棒落下	制御棒駆動機構あるいは同ハウジングの損傷等により制御棒が炉心外に落下し、冷却材が系外に流出する。	制御棒駆動機構あるいは同ハウジングは原子炉格納容器内にあり、竜巻により破損することはない。

表 1-2 通常時（プラント停止時含む）における主排気筒破損時の被ばく評価結果

被ばく経路	主排気筒破損時の 1年間の累積線量* (μ Sv/y)	主排気筒健全時の 1年間の累積線量 (μ Sv/y)	目標値 (μ Sv/y)
希ガス	約 10	約 2.8	—
よう素	約 24	約 0.4	—
液体（よう素除く）	約 5.2	約 5.2	—
合計	約 39	約 8.4	50

注記* 評価条件は以下のとおり。

- ・実際には、筒身に損傷が認められた場合にはプラントを停止し補修を行うが、本評価においては、プラントが通常運転を1年間継続すると保守的に仮定した。
- ・補修に必要な期間として、筒身に想定される局所的な損傷モード（貫通）に対しては保守的と考えられる6ヶ月を想定し、補修完了までの6ヶ月を地上放出、補修完了後の6ヶ月を高所放出とした。
- ・地上放出は放出源有効高さ0mとし、気象データは地上観測データとした。
- ・その他の条件は、設置変更許可申請（平成26年5月20日）と同じとした。