

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8
提出年月日	平成30年7月10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7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

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

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

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

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

- 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 (1/4)

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」 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」</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」 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 1-1-5 「換気空調設備の強度計算書」 V-3-別添 1-1-6 「ディーゼル発電機用海水ポンプの強度計算書」 V-3-別添 1-1-7 「ディーゼル発電機用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 1-1-10-3 「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 (2/4)

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. 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	<p data-bbox="387 230 419 1924">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</p> <p data-bbox="419 230 451 1924">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</p> <p data-bbox="451 230 483 1924">2.3 原子炉建屋大物搬入口扉の貫通評価について</p> <p data-bbox="483 230 515 1924">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</p> <p data-bbox="515 230 547 1924">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</p> <p data-bbox="547 230 579 1924">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</p> <p data-bbox="579 230 611 1924">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</p> <p data-bbox="611 230 643 1924">2.8 飛来物として設定する車両の設定について</p> <p data-bbox="643 230 675 1924">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</p>

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 (3/4)

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. 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 (続き)	
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	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」
2.11 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	
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	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」
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	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 (4/4)

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	V-3-別添 1-2-1-1 「防護ネットの強度計算書」
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めについて	V-3-別添 1-2-1-2 「防護鋼板の強度計算書」
7.5 ワイヤロープの初期張力について	V-3-別添 1-2-1-3 「架構の強度計算書」
7.6 補助金網の影響について	
8. 排気管, 放出管及びびべント管の強度計算に関する補足説明資料	
8.1 デイ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, 放出管及びびべント管の強度計算書」

2.8 飛来物として設定する車両の設定について

1. 想定する車両の仕様

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）」については、その影響を過度な保守性を排し合理的に設定する方針のもと、フジタモデルを用いて飛散速度及び飛距離を評価している。

仮にランキン渦モデルを用いて上記の車両を解析した場合でも、飛距離が大きくなるものの飛散速度は同等であり、想定車両の衝突による被衝突物への影響の度合いについては、両モデルの間に差は認められない。

表 1 想定する車両モデル

項目		東海第二	備考
車両の寸法, 重量		3.6m×2.5m×8.6m 5,000kg	種々の車種の解析結果のうち、使用済燃料乾式貯蔵建屋排気口への到達有無を考慮。
飛散速度	水平	52	下記解析手法に基づく。 ※：鉛直方向の有意な衝突箇所は無いと判断
	鉛直	—※	
飛距離		約 186m	
浮上高さ		約 17.5m	初期位置からの浮上がり分
風速場モデル		フジタモデル	
初期高さ		0m	現実的にも車両は地表にあると判断し設定。
ランキン渦モデルによる飛散解析結果		①初期高さ 40m ・水平速度：52m/s ・飛距離：325m ②初期高さ 0m ・水平速度：52m/s ・飛距離：290m	上記車両の場合、飛散速度については、フジタモデルとランキン渦モデルの間に差は認められない。

2. 衝突解析に用いる車両モデルについて

使用済燃料乾式貯蔵建屋壁面への衝突解析には、図 1 に示す FEMモデルを用いる。

本モデルは、車両は、車両剛性を衝突面の接点数で除した剛性を持つバネを、衝突面の接点ごとに配分した剛体としてモデル化した。また、建屋の柱間のスパンと車両（トラック相当）の長さが上回り、横向き時には柱で衝突荷重を支えることになるため、壁面のみで負荷を受けるよう、車両は正面衝突するモデルとした。また、衝突面の寸法については、正面衝突を想定することから、具体的な衝突想定箇所となるキャビンの寸法を踏まえ設定した。

車両モデルの諸元を表 2 に示す。

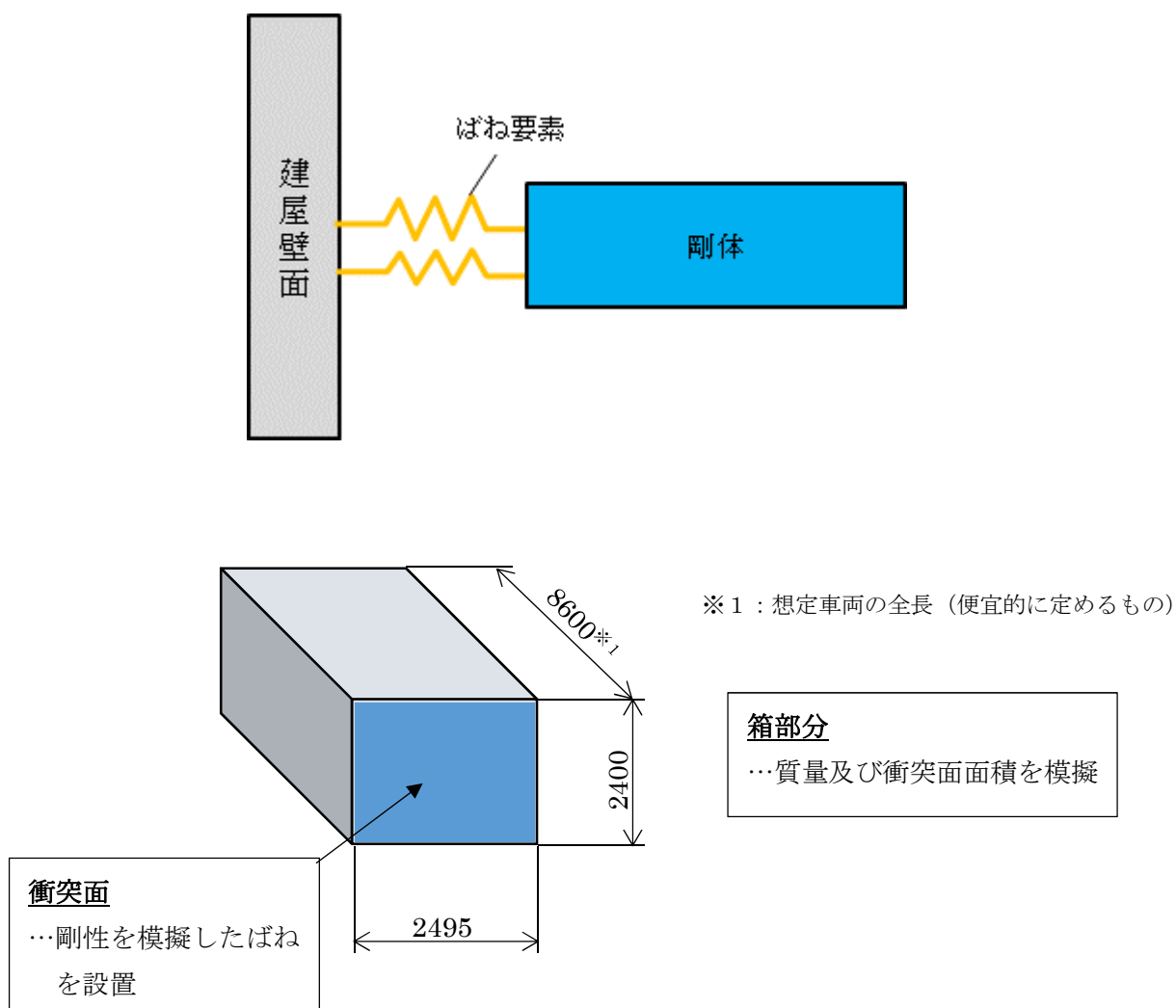


図1 車両の解析モデル

表1 車両モデル諸元

寸法※1 (m)	衝突面寸法※2 (m)	質量 (kg)	剛性※3 (N/m)
3.6×2.5×8.6	幅 2.495 高さ 2.400	5000	2.94×10 ⁶

※1：簡易式評価に用いた寸法

※2：車両諸元のモデルとなったトラック（8tクラス）のキャビン前面寸法をもとに設定

※3：自動車の衝突安全（名古屋大学出版会）を参照し、以下のとおり算出。

$$588 \text{ (N/m/kg)} \times 5,000 \text{ (kg)} = 2.94 \times 10^6 \text{ (N/m)}$$

3. ばね剛性の設定の影響について

柔飛来物である車両の変形能力を考慮し設定するばね要素の剛性については、トラックのキャビンの剛性の値を文献から参照できなかったため、乗用車のデータに基づく値を採用していることから、その影響について考察した。

解析に際しての事前検討として、エネルギー吸収能力が異なる大小2通りのばねの長さを設定し、ばねによるエネルギー吸収分の解析結果への影響を試算した結果、解析上必要な最小長さであるケース1、及び現実的な車両の潰れ代として想定した車両前面～前輪中心

(運転席)の長さであるケース2について、何れの場合もばねのみでは車両の運動エネルギーを吸収しきれず、剛体部分が壁面に接触する結果となった。

この際、図2に示すとおり、車両の運動エネルギーについては、剛体部分の接触後に壁面(RC+ライナ)により吸収される分が、ばねにより吸収される分 비해支配的であることが分かった。また、壁面のうち裏面剥離の有無を判断するライナの変形に関しては、図3に示すとおり、ばね長さが変わってもライナに生じる運動エネルギー(速度)及びライナが吸収するエネルギーは大きく変化していないことが分かった。

上記の結果を踏まえると、今回の条件の様にばね(車両の潰れ代)だけではエネルギーを吸収し切れず剛体部が接触し、剛体部からのエネルギーの付与が支配的になる場合においては、壁面のライナに与える変形に対して、ばねによるエネルギー吸収能力の影響は小さいと考えられる。この点を考慮すれば、仮にトラックのばね剛性が採用した文献値と差があるとしても、ばね長さを短く(=エネルギー吸収能力を極力低く)し、剛体部の衝突の影響が支配的となる様に設定することで、ライナの評価における影響が有意とならないように出来ると判断した。

この考えに基づき、解析におけるばね長さは、解析の安定性確保の観点による最小値(ケース1の260 mm)で設定した。

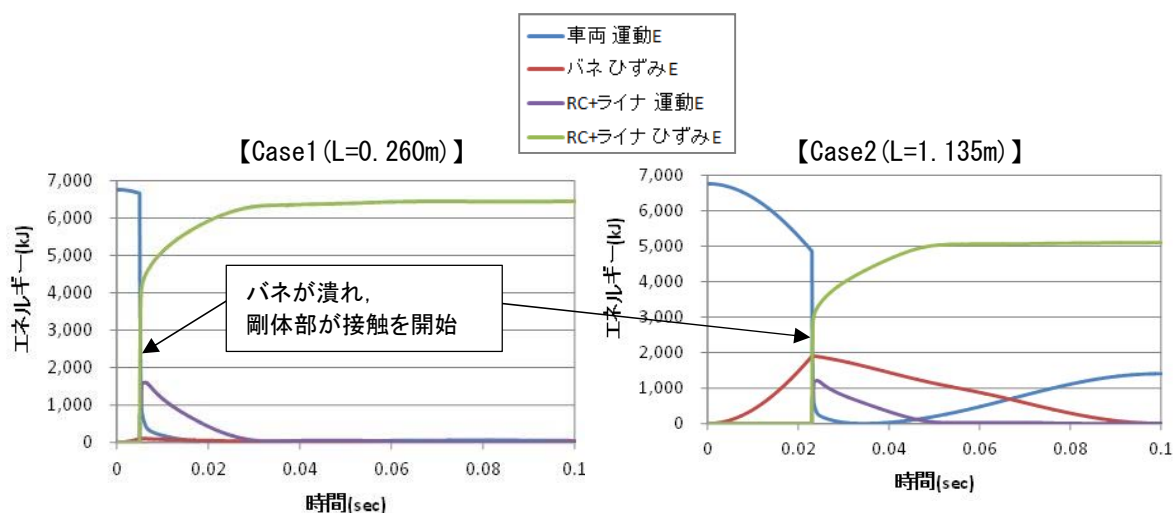


図2 衝突時のエネルギー収支

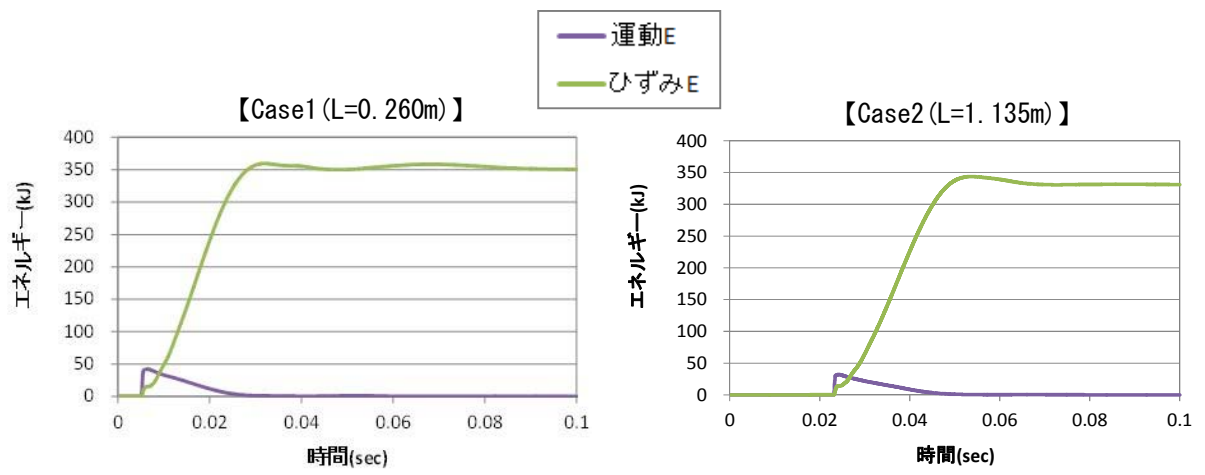


図3 ライナへ与えられるエネルギー

以上

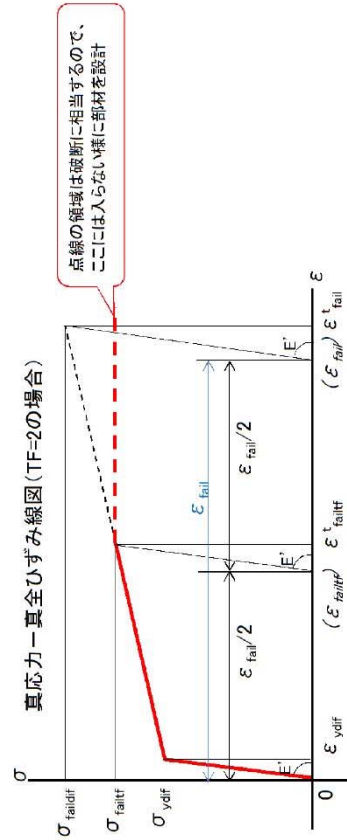
2.9 鉄筋コンクリートの衝突解析モデルにおける破断限界の 設定について

1. 概要

東海第二発電所における鉄筋コンクリートへの設計飛来物の衝突解析においては、NEI07-13の動的物性に関する係数及びJISに定められる伸びの値を基にして、材料の破断限界を設定している。具体的な例について別紙1及び別紙2に示す。

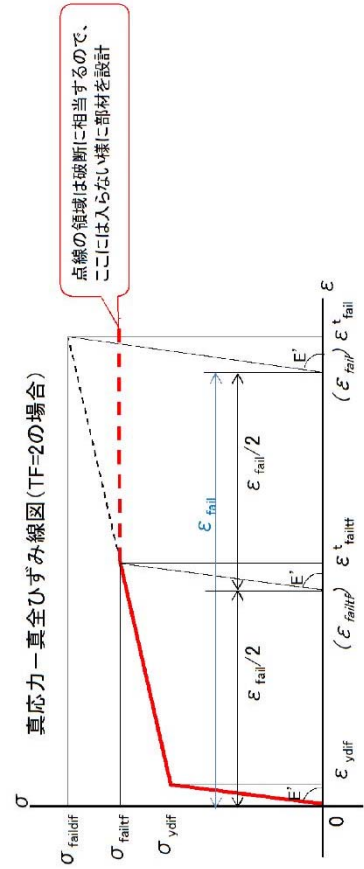
鋼材の真応力-真ひずみモデルの設定

物性値		単位	記号	算出式	備考
静的物性値	ヤング率	MPa	E	—	SD345 (D19) 繰返し処理後 (入力値)
	ポアソン比	—	ν	—	205000
	降伏強度	MPa	σ_{engy}	—	0.3
	降伏ひずみ	—	ϵ_{engy}	σ_{engy} / E	345 JISの“降伏点”下限値
	破断強度	MPa	σ_{enrfail}	—	0.00168
	破断塑性ひずみ	—	$\epsilon_{\text{enrfail}}$	—	490 公称破断力は規格類から読めないで、JISの“引張強さ”下限値で代用 公称破断塑性ひずみは規格類から読めないで、JISの“伸び”で代用 ($\epsilon_{\text{enrfail}}$ はネッキング後の値なので本来適用不可だが、便宜的に使用)
	破断全ひずみ	—	$\epsilon_{\text{enrfail}}^t$	$\epsilon_{\text{enrfail}} + \sigma_{\text{enrfail}} / E$	0.182
	DIF (降伏強さ)	—	DIF_y	—	1.10 NEI07-13
	降伏強度 (DIF考慮)	MPa	σ_{engydif}	$\sigma_{\text{engy}} * \text{DIF}_y$	379.5
	降伏ひずみ (DIF考慮)	—	$\epsilon_{\text{engydif}}$	$\sigma_{\text{engydif}} / E$	0.00185
動的物性考慮	公称破断強度 (DIF考慮)	MPa	$\sigma_{\text{enrfaildif}}$	$\sigma_{\text{enrfail}} * \text{DIF}_{\text{fail}}$	1.05 NEI07-13
	TF	—	TF	—	514.5 2 被衝突部材: NEI07-13より“2”とする。 飛来物 (鋼製材): “1”とする。
	降伏強度	MPa	σ_{yelf}	$\sigma_{\text{engydif}} * (1 + \epsilon_{\text{engydif}})$	380.2
	降伏ひずみ	—	ϵ_{yelf}	$\ln(1 + \epsilon_{\text{engydif}})$	0.00185
	ヤング率	MPa	E^*	$\sigma_{\text{yelf}} / \epsilon_{\text{yelf}}$	2.06.E+05
	破断強度	MPa	σ_{faildif}	$\sigma_{\text{enrfaildif}} * (1 + \epsilon_{\text{enrfail}}^t)$	608.1
	破断全ひずみ	—	ϵ_{fail}^t	$\ln(1 + \epsilon_{\text{enrfail}}^t)$	0.167
	破断塑性ひずみ	—	ϵ_{fail}	$\epsilon_{\text{fail}}^t - \sigma_{\text{faildif}} / E^*$	0.164
	第2折れ点応力	MPa	σ_{failtf}	$\sigma_{\text{yelf}} + (\sigma_{\text{faildif}} - \sigma_{\text{yelf}}) / \text{TF}$	494.2 図形的に算出
	第2折れ点全ひずみ	—	ϵ_{failtf}	$\epsilon_{\text{yelf}} + (\epsilon_{\text{fail}}^t - \epsilon_{\text{yelf}}) / \text{TF}$	0.084 図形的に算出
第2折れ点塑性ひずみ	—	$\epsilon_{\text{failtf}}^t$	$\epsilon_{\text{failtf}} - \sigma_{\text{failtf}} / E^*$	0.082	



鋼材の真応力-真ひずみモデルの設定

静的物性値	物性値	単位	記号	算出式	備考
動的物性考慮	ヤング率	MPa	E	—	
	ポアソン比	—	ν	—	
	降伏強度	MPa	σ_{engy}	—	JISの“降伏点”下限値
	降伏ひずみ	—	ϵ_{engy}	σ_{engy} / E	
	破断強度	MPa	σ_{engfail}	—	公称破断応力は規格類から読めないで、JISの“引張強さ”下限値で代用
	破断塑性ひずみ	—	$\epsilon_{\text{engfail}}$	—	公称破断塑性ひずみは規格類から読めないで、JISの“伸び”で代用
	破断全ひずみ	—	$\epsilon_{\text{t-engfail}}$	$\epsilon_{\text{engfail}} + \sigma_{\text{engfail}} / E$	
	DIF (降伏強さ)	—	DIF _y	—	NEI07-13
	降伏強度 (DIF考慮)	MPa	σ_{engydiff}	$\sigma_{\text{engy}} * \text{DIF}_y$	264.5
	降伏ひずみ (DIF考慮)	—	$\epsilon_{\text{engydiff}}$	$\sigma_{\text{engydiff}} / E$	0.00129
DIF (破断強さ)	—	DIF _{fail}	—	1.10	
破断強度 (DIF考慮)	MPa	$\sigma_{\text{engfaildiff}}$	$\sigma_{\text{engfail}} * \text{DIF}_{\text{fail}}$	297.0	
TF	—	TF	—	2	被衝突部材: NEI07-13より“2”とする。 飛来物(鋼製材): “1”とする。
降伏強度	MPa	σ_{ydiff}	$\sigma_{\text{engydiff}} * (1 + \epsilon_{\text{engydiff}})$	264.8	
降伏ひずみ	—	ϵ_{ydiff}	$\ln(1 + \epsilon_{\text{engydiff}})$	0.00129	
ヤング率	MPa	E'	$\sigma_{\text{ydiff}} / \epsilon_{\text{ydiff}}$	2.05.E+05	
破断強度	MPa	σ_{faildiff}	$\sigma_{\text{engfaildiff}} * (1 + \epsilon_{\text{t-engfail}})$	350.8	
破断全ひずみ	—	ϵ_{fail}	$\ln(1 + \epsilon_{\text{t-engfail}})$	0.166	
破断塑性ひずみ	—	ϵ_{fail}	$\epsilon_{\text{fail}} - \sigma_{\text{faildiff}} / E'$	0.164	
第2折れ点応力	MPa	σ_{faltdf}	$\sigma_{\text{ydiff}} + (\sigma_{\text{faildiff}} - \sigma_{\text{ydiff}}) / \text{TF}$	307.8	図形的に算出
第2折れ点全ひずみ	—	ϵ_{faltdf}	$\epsilon_{\text{ydiff}} + (\epsilon_{\text{fail}} - \epsilon_{\text{ydiff}}) / \text{TF}$	0.084	図形的に算出
第2折れ点塑性ひずみ	—	ϵ_{faltdf}	$\epsilon_{\text{faltdf}} - \sigma_{\text{faltdf}} / E'$	0.082	



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

1. 概要

東海第二発電所における原子炉建屋原子炉棟屋根スラブ変形評価の許容値について、「各種合成構造指針」及び「RC 規準」に基づく算出過程を別紙 1 に示す。

1. 各種合成構造指針によるスタッドの許容引張力の算出

記号	定義	値	単位	備考
d	スタッドの(軸部の)外径	19	mm	
D	スタッドの(頭部の)外径	30.4	mm	
Le	(有効)埋込深さ	88.6	mm	頭部の厚さ 0.6d を長さ (100mm) から差し引いた値
s_{ca}	スタッドの(軸部の)断面積	284	mm ²	$\phi 19$ の棒の断面積
$s\sigma_y$	スタッドの規格降伏点強度	235	N/mm ²	SS400(建設時:SS41)
$s\sigma_{pa}$	スタッドの引張強度	235	N/mm ²	$s\sigma_y$ に等しい
l_{ce}	強度計算用埋込深さ	88.6	mm	l_e に等しい
A_c	コーン状破壊面の有効水平投影面積	33123	mm ²	「合成構造設計指針」のとおり。 $\pi \cdot l_{ce} \cdot (l_{ce} + D)$
A_0	スタッド頭部の支圧面積	442.3	mm ²	$\pi (D^2 - d^2) / 4$
F_c	コンクリートの設計基準強度	22.1	N/mm ²	
$c\sigma_t$	(コーン状破壊に対する)コンクリートの引張強度	1.457	N/mm ²	$0.31\sqrt{F_c}$
f_n	コンクリートの支圧強度	132.6	N/mm ²	$F_c \cdot \sqrt{A_c/A_0}$ ($\sqrt{A_c/A_0}$ は 6 を上限)
ϕ_1	低減係数	1	—	短期荷重用の係数
ϕ_2	低減係数	0.67	—	
P_{a1}	ボルトの降伏により定まる、スタッド(1本)の許容引張力	66.7	kN	$\phi_1 \cdot s\sigma_{pa} \cdot s_{ca} / 1000$
P_{a2}	コンクリートのコーン状破壊により定まる、スタッド(1本)の許容引張力	32.3	kN	$\phi_2 \cdot c\sigma_t \cdot A_c / 1000$
P_{a3}	コンクリートの支圧破壊により定まる、スタッド(1本)の許容引張力	58.6	kN	$f_n \cdot A_0 / 1000$
P_a	スタッドの許容引張力	32	kN	$\min\{P_{a1}, P_{a2}, P_{a3}\}$

2. 「RC 規準」による屋根スラブの許容曲げモーメント及びせん断力の算出(1/2)

記号	定義	値	単位	備考
ω_d	常時作用する荷重による 単位幅あたりの荷重	3.37	kN/m	
ω_T	評価に用いる竜巻の荷重 による単位幅(奥行方向) あたりの荷重	-10.55	kN/m	・上向き荷重 ・ $\max\{\omega_{T1}, \omega_{T2}\}$ の絶対値 の大きいもの
ω_{T1}	評価に用いる竜巻の荷重 W_{T1} による単位幅あたりの 荷重	-8.9	kN/m	・上向き荷重 ・ $-\Delta P \cdot 1/1000$
ω_{T2}	評価に用いる竜巻の荷重 W_{T2} による単位幅あたりの 荷重 (設計飛来物による衝撃荷 重 W_M は考慮しない)	-10.55	kN/m	・上向き荷重 ・ $-q \cdot G \cdot C \cdot 1/1000 + (1/2) \cdot$ $\Delta P \cdot 1/1000$ ・・・代表ケースとなる。 ・BOP 開放を考慮した場合 ($C=1.0+$ 内部吹込 $0.6=1.6,$ かつ $\Delta P=0$) の場合の荷重 -9.76 も包含する。
L	屋根スラブの支持スパン	2270	mm	
M	単位幅の屋根スラブにお ける発生曲げモーメント	3	kN・m/m	上向き凸の曲げに相当 ($\omega_T - \omega_d$) $\cdot(L/1000)^2/12$
Q	屋根スラブにおける単位 幅の発生せん断力	9	kN/m	($\omega_T - \omega_d$) $\cdot(L/1000)/2$
p	スタッドの配置間隔	360	mm	
T	スタッド(1本)に生じる引 張力	4	kN	$Q \cdot (p/1000)$
f_s	コンクリートの許容せん断 応力度(短期)	1.06	N/mm ²	
f_t	鉄筋の許容引張応力度	345	N/mm ²	
a_t	引張鉄筋の断面積	703.9	mm ²	(D13 鉄筋 126.7mm ² × 単 位幅当たりの本数 1000/180 本) ←180:配 筋ピッチ
b	部材(屋根スラブ)の幅	1,000	mm	奥行方向単位幅

2. 「RC 規準」による屋根スラブの許容曲げモーメント及びせん断力の算出(2/2)

記号	定義	値	単位	備考
d	部材(屋根スラブ)の有効せい	50	mm	
j	応力中心距離	43.8	mm	$(7/8)*d$
α	許容せん断力の割り増し係数	1	—	$4/(M/(Q \cdot d)+1)$ ただし、 $1 \leq \alpha \leq 2$
M_a	屋根スラブの単位幅の許容曲げモーメント	10	kN・m/m	$a_t \cdot f_t \cdot j / 10^6$
Q_a	屋根スラブにおける単位幅の許容せん断力	46	kN	$b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s / 10^3$

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、図に示す割付で取りつける計画としている。

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。

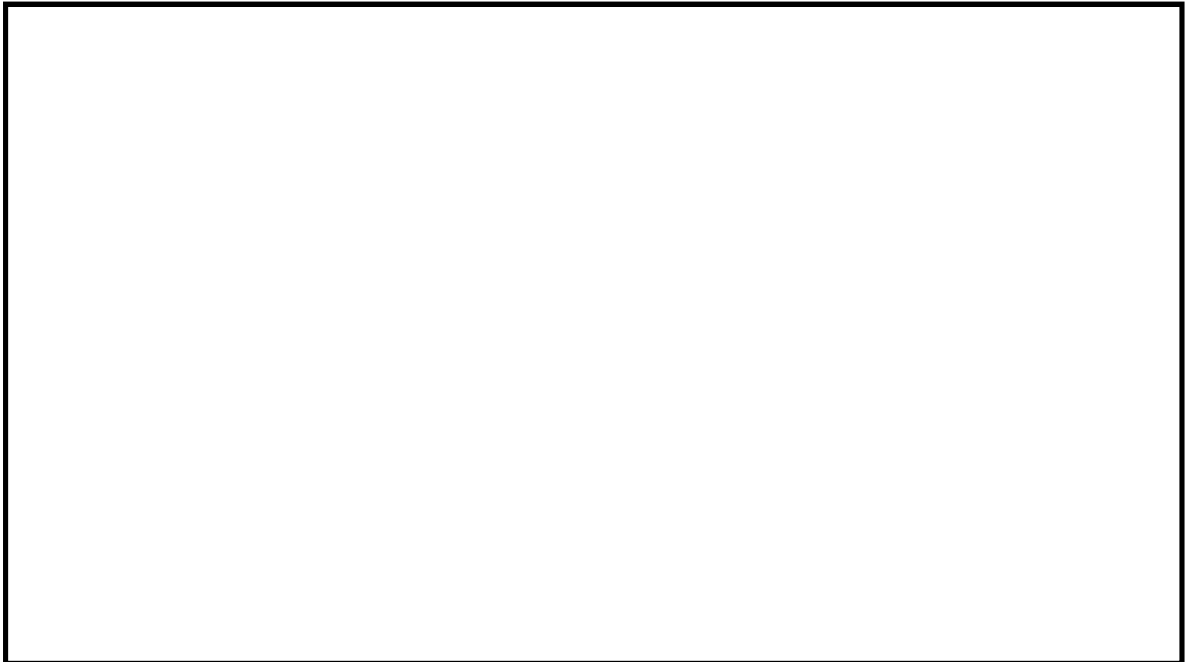
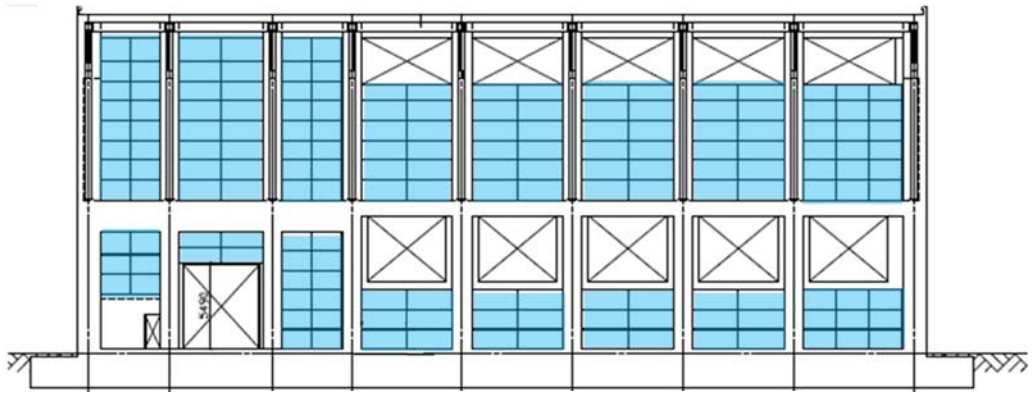
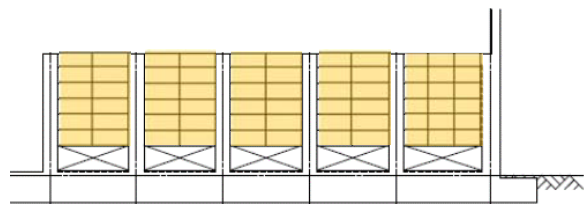


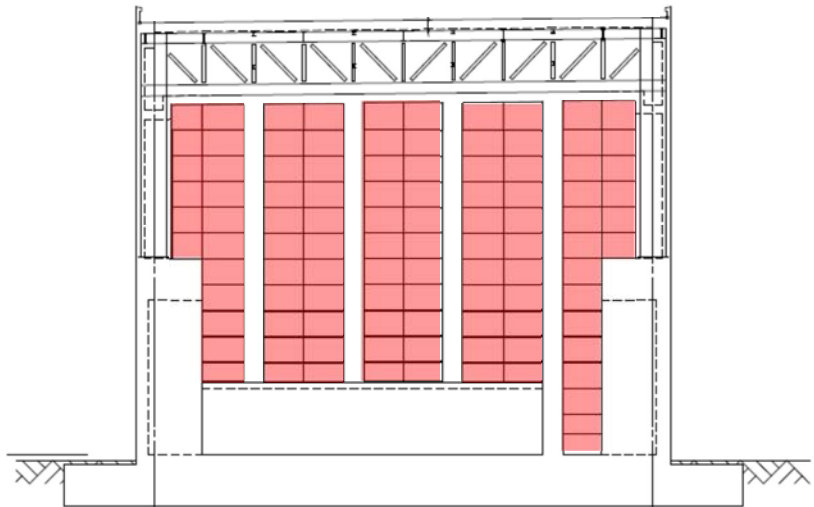
図 1 ライナの割付計画(1/2)



< 東側 外壁面 (A-A 視) >



< 東側 内壁面 (B-B 視) >



< 南側壁面 (C-C 視) >



< ライナ詳細 >

図1 ライナの割付計画(2/2)

3. 車両衝突時のライナの挙動

ライナの割り付けと車両の衝突面の関係の例を図2に示す。車両衝突時は、衝突中心近傍において壁のコンクリートは変形、損傷を生じ、ライナを留めるアンカーボルトもコンクリートとの付着力を喪失すると考えられるため、ライナはコンクリートの変形（押し込みによる面外への膨らみ）に合わせて変形すると考えられる。

いま、ライナが継ぎ目のない一枚板であると仮定したモデルの衝突評価では、図3に示すとおり、押し込みによる壁の変位が衝突中心で384mmになるとの解析結果が得られている。また、図4に示すように、ライナによるエネルギー吸収量はRCに比べ小さく、壁面の変形の抑制に対する寄与は大きくないと考えられるため、アンカーボルトの付着力を喪失しライナによる変形の抑止が期待できない、実際の板割りを考慮したモデルにおいても、衝突中心の変形はライナ1枚モデルと大きな差異は生じないと考え、400mmと想定した。

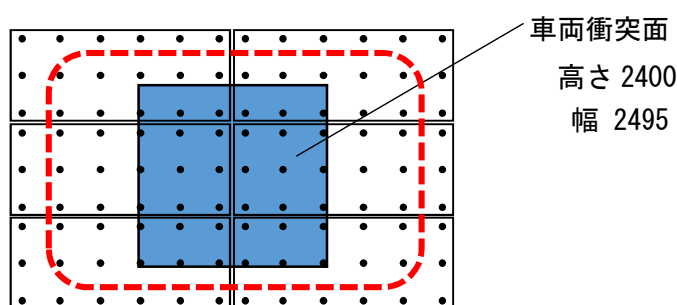


図2 ライナ割付と車両の衝突状況の例

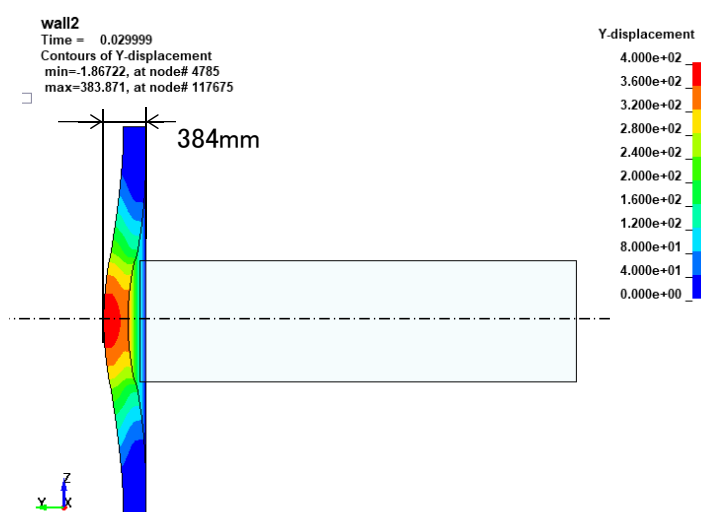


図3 建屋壁の最大変位（ライナ1枚板モデルの解析結果）

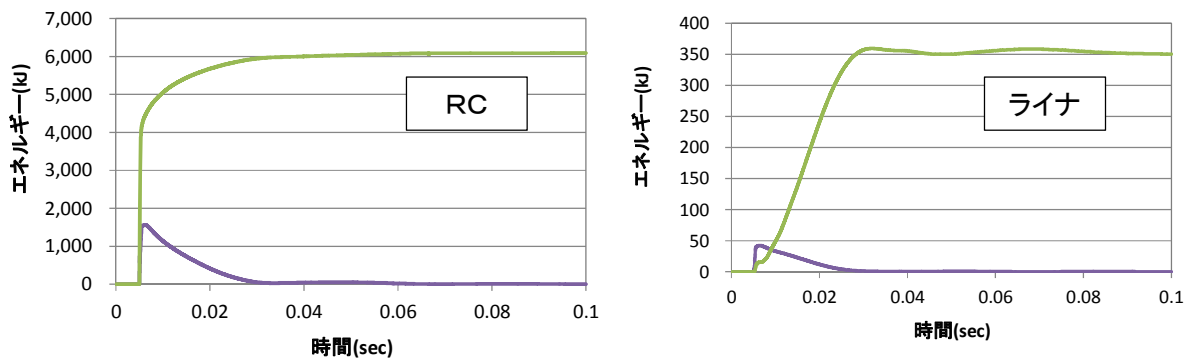


図4 ライナとRCによるエネルギー吸収量（ライナ1枚板モデルの解析結果）

上記の想定を図示したものを図5に示す。ここで、衝突中心においては壁の変形に伴いライナも持ち上げられ、ライナ継ぎ目の隙間が拡大する。拡大前の隙間をC、ライナ変形後の隙間の拡大幅を δ とすると、車両衝突時のライナ継ぎ目の隙間の大きさC'は、

$$C' = C + 2\delta$$

で表される。

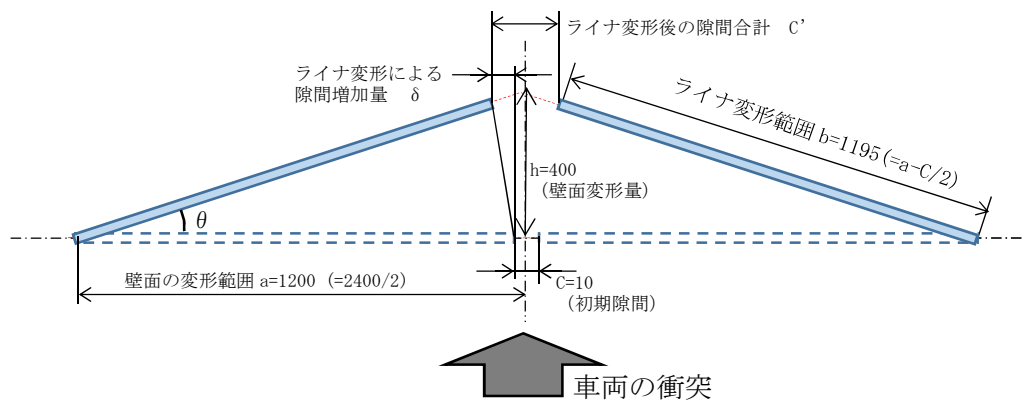


図5 車両の衝突に伴うライナの持ち上がりと隙間の増加の模式図

図5におけるパラメータを表1に示す。ここで、壁面及びライナの変形の傾斜が急であるほど δ は大きくなるため、壁面の変形範囲は車両衝突面の最小寸法(2400mm)を考慮して保守的に設定した。

表1の条件においてライナの変形を考慮したライナ継ぎ目の隙間C'は約133mmとなるが、仮に1片がC'に等しく、奥行きがコンクリートのかぶり厚(50mm)相当の剥離片が飛び出したとしても、表2に示すとおり、この剥離片の貫通力は小さく、図6に示す使用済燃料乾式貯蔵容器(最薄部 mm)の機能の喪失には至らないものと判断する。

表 1 図 5 における数値

パラメータ	値	備考
壁面変形量 h	400 mm	
ライナ初期隙間 C	10mm	
壁面変形範囲 a	1200mm	2400/2 (車両衝突面の最少寸法を考慮)
ライナ変形長さ b	1195mm	$a-C/2$
ライナ持ち上がり角 θ	0.322 (rad)	$\tan^{-1}(h/a)$
隙間増加量 δ	61.6 (mm)	$b(1-\cos \theta)$
ライナ変形後の隙間合計 C'	133 (mm)	$C+2\delta$

表 2 表 1 の結果を踏まえたコンクリート剥離片と砂利 (設計飛来物) との比較

パラメータ	値		備考 (剥離片に関するもの)
	砂利	剥離片	
飛散速度	62 (m/s)	133 (m/s)	飛来物の速度に等しいと仮定
寸法	40mm×40mm× 40mm	厚さ : 50mm	かぶり厚さ 50mm
		辺長 : 133mm	表 1 の値
質量	0.18kg	2.13kg	密度 2.4g/cm ³
BRL 式における 等価直径	4.5cm	9.2 cm	最小断面 (133mm×50mm) に等しい円の直径
BRL 式による 鋼板の貫通限界 厚さ	1mm	1.8mm	剛飛来物として評価

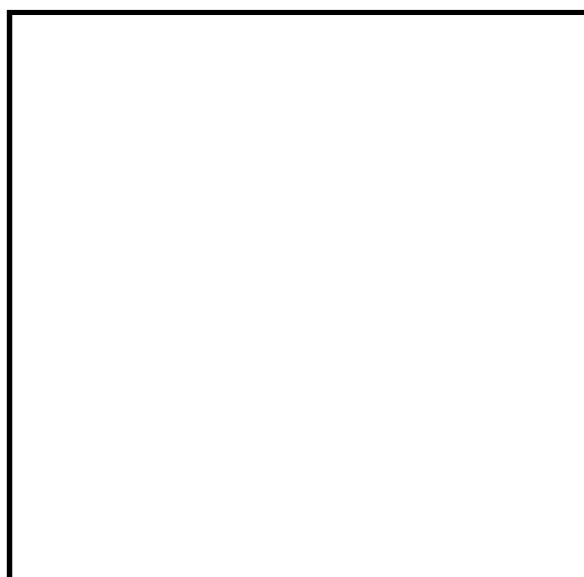


図 6 使用済燃料乾式貯蔵容器外形図

以 上