

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震建物 27 R 1
提出年月日	令和 3 年 10 月 1 日

設工認に係る補足説明資料
耐震計算書に関する
竜巻防護対策設備の水平 2 方向地震力による
影響について

目 次

1.	概要	1
2.	検討内容	1
2.1	影響評価部位の抽出	1
2.2	影響評価	4
3.	検討結果	4
4.	まとめ	4
・別紙 1	安全冷却水 B 冷却塔 飛来物防護ネットの水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果	
・別紙 2	安全冷却水 A 冷却塔 飛来物防護ネットの水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果	
・別紙 3	第 2 非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔 A の飛来物防護ネットの水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果	
・別紙 4	第 2 非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔 B の飛来物防護ネットの水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果	
・別紙 5	使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔 A の飛来物防護ネットの水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果	
・別紙 6	使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔 B の飛来物防護ネットの水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果	
・別紙 7	主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクトの飛来物防護板（主排気筒周り）の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果	
・別紙 8	主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクトの飛来物防護板（分離建屋屋外）の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果	
・別紙 9	主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクトの飛来物防護板（精製建屋屋外）の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果	
・別紙 10	主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクトの飛来物防護板（高レベル廃液ガラス固化建屋屋外）の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果	

1. 概要

本資料は、添付書類「IV-1-1 耐震設計の基本方針」及び添付書類「IV-1-1-7 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」に基づき、水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせにより、竜巻防護対策設備が有する耐震性に及ぼす影響について評価した結果を説明するものである。

2. 検討内容

水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響評価には、基準地震動 S_s を用いる。

ここで、水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響評価に用いる基準地震動 S_s は、複数の基準地震動 S_s における地震動の特性及び包絡関係を、施設の特性による影響も考慮した上で確認し、本影響評価に用いる。

2.1 影響評価部位の抽出

(1) 耐震評価上の構成部位の整理

竜巻防護対策設備の耐震評価上の構成部位を整理し、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認する。

(2) 応答特性の整理

(1) にて整理した耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響が想定される応答特性を整理する。応答特性は、荷重の組み合わせによる影響が想定されるもの及び3次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理を行う。

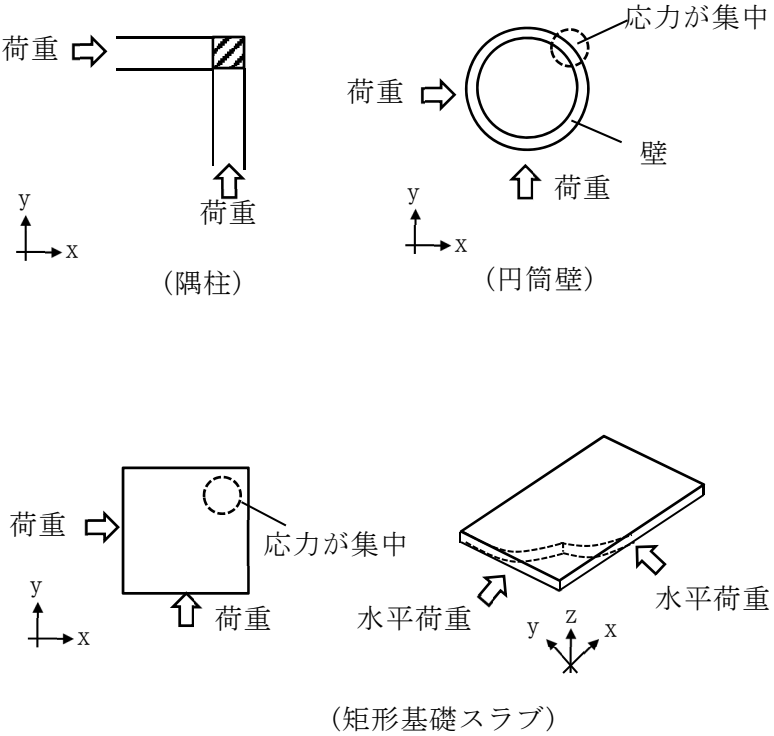
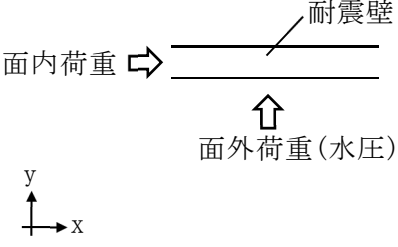
(3) 荷重の組み合わせによる応答特性が想定される部位の抽出

(1) にて整理した耐震評価上の構成部位のうち、第2-1表に示す荷重の組み合わせによる応答特性により、水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響が想定される部位を抽出する。

(4) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

(1) にて整理した耐震評価上の構成部位のうち、荷重の組み合わせによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、第2-2表に示す3次元的な応答特性により、水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響が想定される部位を抽出する。

第2-1表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響が想定される応答特性
(荷重の組み合わせによる応答特性)

荷重の組合せによる 応答特性		影響想定部位
① -1	直交する水平 2方向の荷重 が、応力として 集中	<p>応力の集中する隅柱等 (例)</p>  <p>(隅柱)</p> <p>(円筒壁)</p> <p>(矩形基礎スラブ)</p>
①-2	面内方向の荷 重を負担しつ つ、面外方向の 荷重が作用	<p>水圧を負担するプール等 (例)</p>  <p>耐震壁</p> <p>面内荷重</p> <p>面外荷重(水圧)</p>

第2-2表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響が想定される応答特性
(3次元的な応答特性)

3次元的な応答特性		影響想定部位
②-1	面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい	<p>大スパンや吹き抜け部に設置された部位 (例)</p> <p>耐震壁 面内荷重 面外慣性力 (耐震構造部材)</p> <p>面内荷重 面外慣性力 (トラス)</p>
②-2	加振方向以外の方向に励起される振動	<p>塔状構造物などを含む、ねじれ挙動が想定される建物・構築物 (例)</p> <p>荷重 耐震構造部材 (壁)</p> <p>(鉄骨架構)</p> <p>面内荷重 柱 ブレース (床・屋根) (ブレース)</p>

2.2 影響評価

竜巻防護対策設備における水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響評価部位として抽出された部位について、基準地震動 S_s を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響評価を実施する。影響評価に当たっては、従来の設計手法の各部位の解析モデルに対して、基準地震動 S_s の各方向地震成分より個別に計算した最大応答値を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 REGULATORY GUIDE 1.92*の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法(1.0:0.4:0.4)に基づいた評価を実施する。

*: REGULATORY GUIDE (RG) 1.92 “COMBINING MODAL RESPONSES AND SPATIAL COMPONENTS IN SEISMIC RESPONSE ANALYSIS”

3. 検討結果

竜巻防護対策設備の水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響評価結果は、別紙に示す。

4. まとめ

竜巻防護対策設備において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響を受ける可能性がある耐震評価部位を抽出し、その部位における従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる設計に対して影響を確認した。その結果、水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる応力は、水平1方向及び鉛直方向地震力の組み合わせに対し、増加する傾向にあるが、水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる応力が許容値を満足することを確認した。

以上より、水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせについては、竜巻防護対策設備が有する耐震性への影響がないことを確認した。

別紙

設工認に係る補足説明資料【竜巻防護対策設備の水平2方向地震力による影響について】

資料No.	名称			備考
		提出日	Rev	
別紙-1	安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネットの水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果	10/1	1	
別紙-2	安全冷却水A冷却塔 飛来物防護ネットの水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果			
別紙-3	第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔Aの飛来物防護ネットの水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果			
別紙-4	第2非常用ディーゼル発電機用 安全冷却水系冷却塔Bの飛来物防護ネットの水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果			
別紙-5	使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔Aの飛来物防護ネットの水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果			
別紙-6	使用済燃料の受入れ施設及び貯蔵施設用 安全冷却水系冷却塔Bの飛来物防護ネットの水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果			
別紙-7	主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクトの飛来物防護板（主排気筒周り）の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果			
別紙-8	主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクトの飛来物防護板（分離建屋屋外）の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果			
別紙-9	主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクトの飛来物防護板（精製建屋屋外）の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果			
別紙-10	主排気筒に接続する屋外配管及び屋外ダクトの飛来物防護板（高レベル廃液ガラス固化建屋屋外）の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価結果			

令和 3 年 10月 1日 R1

別紙 1

安全冷却水 B 冷却塔 飛来物防護ネットの
水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
影響評価結果

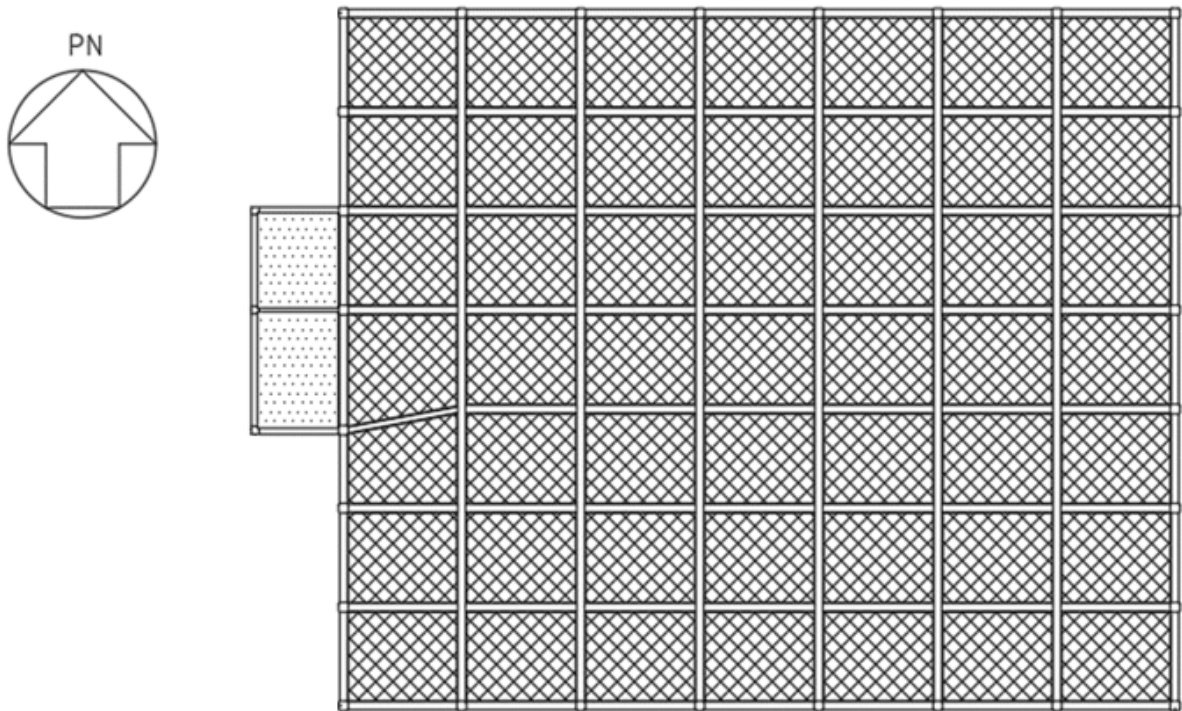
目 次

1. 概要	1
2. 検討内容	3
2.1 影響評価部位の抽出	3
2.2 影響評価部位の抽出結果	6
3. <u>解析条件</u>	<u>7</u>
3.1 <u>評価対象</u>	<u>7</u>
3.2 <u>評価条件</u>	<u>7</u>
4. 評価結果	9
5. <u>考察及びまとめ</u>	<u>10</u>

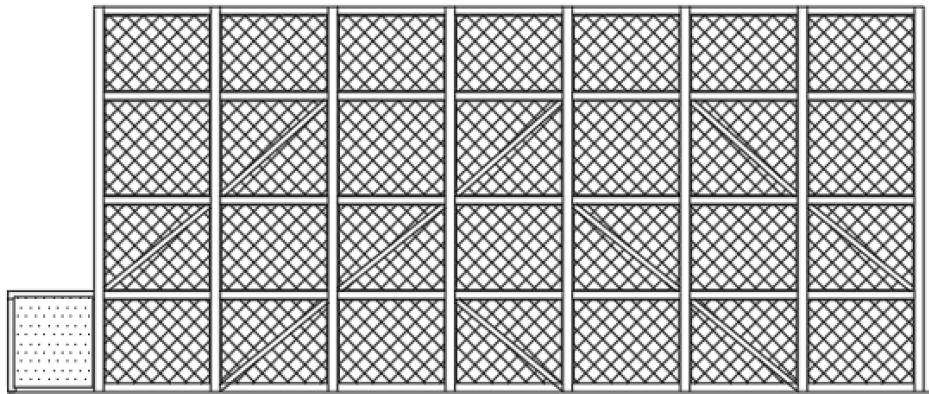
1. 概要

再処理施設の屋外に設置している設備である第1回申請対象設備の安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット(以下、「飛来物防護ネット」という。)について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせにより、竜巻防護対策設備が有する耐震性に及ぼす影響について評価した結果を示す。

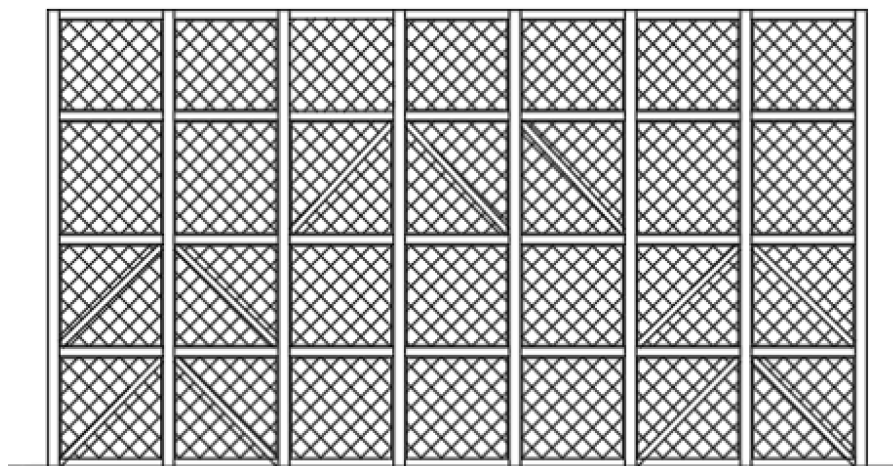
飛来物防護ネットの屋根面平面図を第1-1図に、側面図を第1-2図に示す。本構築物の主体構造は鉄骨造であり、本構築物の主要構造は、鉄骨造の柱、はり、ブレース等である。



第1-1図 飛来物防護ネットの屋根面平面図 (T.M.S.L. +75.60m)



(a) 南面



(b) 東面

第 1 - 2 図 飛来物防護ネットの側面図

2. 検討内容

2.1 影響評価部位の抽出

(1) 耐震評価上の構成部位の整理

竜巻防護対策設備の耐震評価上の構成部位を整理し、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認した。確認した結果を第2-1表に示す。

(2) 応答特性の整理

竜巻防護対策設備における耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響が想定される応答特性を整理した。応答特性は、荷重の組み合わせによる影響が想定されるもの及び三次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理した。整理した結果を第2-2表及び第2-3表に示す。

(3) 荷重の組み合わせによる応答特性が想定される部位の抽出

第2-1表に示す耐震評価上の構成部位のうち、本文第2-1表 荷重の組み合わせによる応答特性により、水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を第2-3表に示す。

応答特性①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中する部位」として、安全冷却水B冷却塔飛来物防護ネットの基礎スラブを抽出した。

また応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用する部位」は、抽出されなかった。

(4) 三次元的な応答特性が想定される部位の抽出

第2-1表に示す耐震評価上の構成部位のうち、本文第2-1表 荷重の組み合わせによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、三次元的な応答特性により、水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を第3-5表に示す。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい可能性がある部位」は、抽出されなかった。

また、応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動が発生する可能性がある部位」は、抽出されなかった。

第2-1表 飛来物防護ネットにおける耐震評価上の構成部位の整理

対象評価部位		安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット
		鉄骨造
柱	一般部	○
	地下部	—
	隅部	○
はり	一般部	○
	地下部	—
	鉄骨トラス	○
壁	一般部	—
	地下部	—
床屋根	一般部	—

凡例 ○：対象の構造部材有り，—：対象の部材なし

第2-2表 飛来物防護ネットにおける水平2方向及び鉛直方向地震力の
組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出
(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

対象評価部位		安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット
		鉄骨造
柱	一般部	—
	地下部	—
	隅部	○ (①-1)
はり	一般部	—
	地下部	—
	鉄骨トラス	—
壁	一般部	—
	地下部	—
床屋根	一般部	—

凡例 ○：評価必要 —：評価不要

2-1：応答特性「直交する水平2方向の荷重が，応力として集中」

第 2-3 表 飛来物防護ネットにおける水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出
(三次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

対象評価部位		安全冷却水 B 冷却塔 飛来物防護ネット
		鉄骨造
柱	一般部	—
	地下部	—
	隅部	—
はり	一般部	—
	地下部	—
	鉄骨トラス	—
壁	一般部	—
	地下部	—
床屋根	一般部	—

凡例 ○：三次元的な応答特性を踏まえたスクリーニングで抽出済み
—：三次元的な応答特性を踏まえたスクリーニングで抽出無し

2.2 影響評価部位の抽出結果

飛来物防護ネットの水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響が想定されるとして抽出した部位を第2-4表に示す。

応答特性①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中する部位」のうち、安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネットの柱について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響評価を行う。

第2-4表 飛来物防護ネットにおける水平2方向及び鉛直方向地震力の
組合せによる影響評価部位の抽出結果

応答特性	耐震評価部位		対象建物・構築物
①-1	柱	隅部	安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネット

3. 解析条件

3.1 評価対象

Ss 地震時を対象として、直交する水平 2 方向の荷重が、重畳する部位である飛来物防護ネットの四隅の柱について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響評価を実施する。

3.2 評価条件

ここで、安全冷却水 B 冷却塔飛来物防護ネットは、矩形形状を有しており、平面上の 2 軸において応答軸が明確である。このような設備では、水平 2 方向の地震力を想定した場合、平面上の 2 軸の対角方向に振動するモードは生じ難く、各応答軸の応答に分解可能である。

このため本評価は、基準地震動 Ss の各水平 1 方向及び鉛直方向の地震応答解析から得られた結果を用いて、水平 2 方向及び鉛直方向の地震荷重を応力解析モデルに入力し影響評価を行う。地震荷重の組み合わせの方法は、米国 REGULATORY GUIDE 1.92「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参照し、組合せ係数法（1.0 : 0.4 : 0.4）に基づくものとする。

水平 1 方向及び鉛直方向の地震動を考慮した柱の耐震評価において、最も厳しい地震動が Ss-C1 であったことから、Ss-C1 を対象に評価を行う。

第 3-1 表に解析評価モデル及び手法を示す。

第3-1表 飛来物防護ネットの応力解析モデル及び手法

項目	内容	詳細	備考
解析手法		地震荷重及びその他考慮すべき荷重を三次元フレームモデルに入力し、応力解析を実施	—
解析コード		midas iGen	—
モデル	材料物性	・縦弾性係数：205000MPa ・ポアソン比：0.3	鋼構造設計規準に基づき設定
	要素種別	梁要素	—
	境界条件	基礎下端	—
	地盤物性	地盤物性ばらつき考慮	—
	座屈拘束 プレスの耐力	中間値でモデル化	—
荷重の組合せ		D + 0.35Ls + Ss + WL D：固定荷重 Ls：積雪荷重 Ss：地震荷重 WL：風荷重	別紙 1-1 補説 23 3.3.2 参照
荷重の 設定	固定荷重	支持架構（耐火被覆重量を含む）、防護ネット、防護板、取付金物等	別紙 1-1 補説 23 3.3.1 参照
	積雪荷重	飛来物防護ネット上部の積雪荷重を考慮する。 なお、係数は 0.35 とする。	別紙 1-1 補説 23 3.3.1 参照
	地震荷重	(1) 水平地震荷重 質点系モデルによる水平 1 方向それぞれの地震応答解析により得られた荷重を水平 2 方向に入力する (2) 鉛直地震荷重 質点系モデルによる地震応答解析により得られた鉛直方向荷重を入力する	別紙 1-1 補説 23 3.4 参照 柱の耐震評価で最も厳しい Ss-C1 を対象とする
	風荷重	風荷重を節点荷重として入力	別紙 1-1 補説 23 3.3.1 参照
評価方法		地震荷重及びその他考慮すべき荷重による発生応力が柱の許容応力を超えないことを確認	—

4. 評価結果

2方向水平地震力が作用する場合の応力度を計算する。第3-2表に評価結果を示す。計算の結果、許容応力度比は1.00以下となる。

第3-2表 飛来物防護ネットにおける水平2方向及び鉛直方向地震力の
組合せによる影響評価結果

地震動	部材	応力度	応力度比(－)		許容値 (－)
			1方向水平地震 と鉛直地震の組 合せ	2方向水平地震 と鉛直地震の組 合せ	
Ss-C1	柱	組合せ (圧縮+曲げ)	0.63	0.78	1.00

5. 考察及びまとめ

飛来物防護ネットの部材の内，直交する水平2方向の荷重が，重畳する部位である飛来物防護ネットの四隅の柱について，水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせにより，耐震性に及ぼす影響について評価を実施した。

評価の結果，水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせを考慮した許容応力度比は1.00以下となることを確認した。