

東海第二発電所	工事計画審査資料
資料番号	補足-340-2 改 19
提出年月日	平成 30 年 9 月 28 日

工事計画に係る補足説明資料

耐震性に関する説明書のうち

補足-340-2 【耐震評価対象の網羅性，既工認との手法の相
違点の整理について】

平成 30 年 9 月

日本原子力発電株式会社

改定履歴

改定	改定日 (提出年月日)	改定内容
改0	2018年2月26日	資料番号「補足-342」として提出
改1	2018年3月2日	添付-8(耐震評価における等価繰返し回数の妥当性確認)の追加
改2	2018年3月6日	添付7(既工認との手法の相違(機電分))の追加
改0	2018年3月22日	<ul style="list-style-type: none"> 資料番号を「補足-342」から「補足-340-2」に変更 添付4-2(建物・構築物, 土木構造物及び浸水防護施設の耐震評価フロー並びに評価対象一覧)の追加 添付7(既工認との手法の相違(建物・構築物分))の追加
改1	2018年3月26日	<ul style="list-style-type: none"> 1章, 2章のうち建物・構築物及び屋外重要土木構造物に係る箇所の追加 添付-1, 添付4-1, 添付4-2, 添付-7(建物・構築物, 土木構造物)の追加
改2	2018年4月17日	<ul style="list-style-type: none"> 1.1.2(2)の記載見直し, 補足1(弾性設計用地震動S_dの等価繰返し回数の設定について), 添付-8(耐震評価における等価繰返し回数の妥当性確認について)の資料見直し
改3	2018年5月11日	<ul style="list-style-type: none"> 添付8の記載の適正化
改4	2018年5月22日	<ul style="list-style-type: none"> 本文の記載の適正化 添付-1, 2, 3, 4-1, 7, 7-3の記載の適正化 添付-2-1, 2-2, 2-6, 2-8, 7-7の追加及び添付2-4, 5の削除
改5	2018年7月11日	<ul style="list-style-type: none"> 本文の記載の適正化 添付-6の追加 添付-2-6, 2-8, 7, 7-7の記載の適正化
改6	2018年7月13日	<ul style="list-style-type: none"> S_dの等価繰返し回数を見直したことによる1.1.2(2)の記載見直し, 補足1(弾性設計用地震動S_dの等価繰返し回数の設定について)を削除, 添付-8(耐震評価における等価繰返し回数の妥当性確認について)の資料見直し
改7	2018年7月18日	<ul style="list-style-type: none"> 1.1.2(2)の記載見直し 添付-8(耐震評価における等価繰返し回数の妥当性確認について)の資料見直し
改8	2018年7月20日	<ul style="list-style-type: none"> 添付-8(耐震評価における等価繰返し回数の妥当性確認について)の資料見直し
改9	2018年8月1日	<ul style="list-style-type: none"> 1.1.2及び1.1.3の記載の修正 添付2-8記載の修正及び別紙2の追加 添付7-8の追加
改10	2018年8月3日	<ul style="list-style-type: none"> 添付2-8別紙1, 2及び添付7-8の修正
改11	2018年8月10日	<ul style="list-style-type: none"> 添付2-8別紙2から添付10に変更及び記載の修正 添付7-8から添付11に変更及び記載の修正
改12	2018年8月16日	<ul style="list-style-type: none"> 1.1.2(2)の記載見直し 添付8の資料見直し
改13	2018年8月17日	<ul style="list-style-type: none"> 本文1.の記載見直し 添付6の資料の修正
改14	2018年8月24日	<ul style="list-style-type: none"> 1.1.2(1)bの記載見直し 添付8の資料見直し
改15	2018年8月31日	<ul style="list-style-type: none"> 1.1.2, 1.1.3の記載見直し その他記載の見直し

改定	改定日 (提出年月日)	改定内容
改 16	2018 年 9 月 6 日	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1.1.2(1)の記載見直し ・ 補足 1, 添付 8 の資料見直し
改 17	2018 年 9 月 20 日	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1.1.2(2), 1.4, 1.5, 1.6 及び 2.2.2.1 の記載見直し ・ 添付 1, 添付 4-2, 添付 7 の記載見直し
改 18	2018 年 9 月 26 日	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1.1.3 の記載見直し ・ 添付 5, 6, 8, 9, 10, 11 の記載追加及び見直し
改 19	2018 年 9 月 28 日	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1.1.3 の記載見直し

目 次

1. 東海第二発電所における耐震評価について	1
1.1 耐震Sクラス施設の評価（耐震Sクラス設備への波及的影響評価及び非常用取水設備含む）	3
1.1.1 基準地震動 S_s による評価	3
(1) 別表第二を踏まえた対象設備の網羅性について	3
(2) 対象設備の評価部位の網羅性について	3
(3) 対象設備の評価項目（応力分類）の網羅性について	9
(4) 対象設備の耐震重要度分類の区分（主要設備等）を踏まえた整理について	9
(5) 別表第二の対象外である耐震Sクラス施設の耐震安全性評価結果	10
(6) 地震応答解析が記載されていない設備の扱いについて	10
1.1.2 弾性設計用地震動 S_d による評価	11
(1) 機器・配管系	11
(2) 建物・構築物	17
1.1.3 静的地震力による評価	18
1.2 耐震Bクラス施設の評価	24
1.3 耐震Cクラス施設の評価	24
1.4 耐震Sクラス設備の間接支持構造物の評価	24
1.5 耐震Bクラス設備の間接支持構造物の評価	25
1.6 耐震Cクラス設備の間接支持構造物の評価	25
2. 東海第二発電所の既工認との手法の相違点の整理について	26
2.1 既工認との手法の整理一覧	26
2.2 相違点及び適用性の説明	26
2.2.1 機器・配管系	26
2.2.1.1 手法の相違点	26
2.2.1.2 手法の変更項目に対する東海第二発電所への適用性	28
2.2.2 建物・構築物，屋外重要土木構造物	30
2.2.2.1 建物・構築物	30
2.2.2.2 屋外重要土木構造物	33
2.2.2.3 浸水防護施設	33

【補足説明資料】

補足1 弾性設計用地震動 S_d の等価繰返し回数の設定について

【添付資料】

添付-1 別表第二を踏まえた対象設備の網羅性

添付-2 対象設備の評価部位の網羅性

添付2-1 中性子計測ハウジング貫通部及び中性子計測ハウジングの評価省略理由

添付2-2 原子炉圧力容器スタビライザディスクスプリングの評価省略理由

添付2-3 炉心支持板スタッドの評価省略理由

添付2-4 (欠番)

添付2-5 (欠番)

添付2-6 ドライウェルビームシートの評価省略理由

添付2-7 脚材(非常用ガス再循環フィルタトレイン及び非常用ガス処理系フィルタトレイン)の評価省略理由

添付2-8 鉛直方向動的地震力の導入による影響検討について

添付-3 対象設備の評価項目(応力分類)の網羅性

添付4-1 対象設備の耐震重要度分類の区分(主要設備等)を踏まえた整理

添付4-2 建物・構築物及び屋外重要土木構造物の耐震評価フロー並びに評価対象一覧

添付-5 別表第二に記載のない耐震Sクラス施設の耐震安全性評価結果

添付-6 既設設備(機器・配管系)の静的地震力による評価結果

添付-7 既工認との手法の整理一覧

添付7-1-1 原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用について

添付7-1-2 使用済燃料乾式貯蔵建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用について

添付7-2 ポンプ等の解析モデルの精緻化について

添付7-3 容器等の応力解析へのFEMモデルの適用について

添付7-4 最新知見として得られた減衰定数の採用について

添付7-5 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根法による組合せについて

添付7-6 鉛直方向応答解析モデルの追加について

添付7-7 炉心シュラウド等の公式等による評価について

添付-8 耐震評価における等価繰返し回数の妥当性確認について

添付-9 工認耐震計算書に地震応答解析が記載されていない設備の扱いについて

添付-10 再循環系ポンプの軸固着に対する評価について

添付-11 補機類のアンカー定着部の評価について

下線：本日まで提出資料

1.1.3 静的地震力による評価

東海第二発電所の既設設備については、建設工認時は旧建築基準法に基づく静的震度 (C_0) に対する評価を行っていたが、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」(原子力規制委員会)等では、現在の建築基準法に基づく静的震度 (C_i) に対する評価が求められている。このことから、今回工認では機器・配管系について以下の手順にて、静的震度 (C_i) に基づく評価を行う。

(1) 評価手順

静的震度 (C_i) に対する評価は、以下の①～④の手順により評価を実施する。耐震裕度を算出する際の応答加速度は、1.2ZPA を用いる。評価フローを図4に示す。

【耐震評価における関係性】

- ・ $3.6C_i$ 及び $3.6C_0$ に対する許容限界 = 設計用地震及び S_d に対する許容限界
- ・ 建設時に $3.6C_0$ による発生値 \leq 許容限界 を確認済み

【評価手順】

- ①：建設工認時、耐震評価の入力として用いた静的震度 C_0 と静的震度 C_i を比較し、 $C_0 \geq C_i$ となる設備は静的震度 C_i による評価を省略する。図5に建設時と今回工認震度分布図を示す。

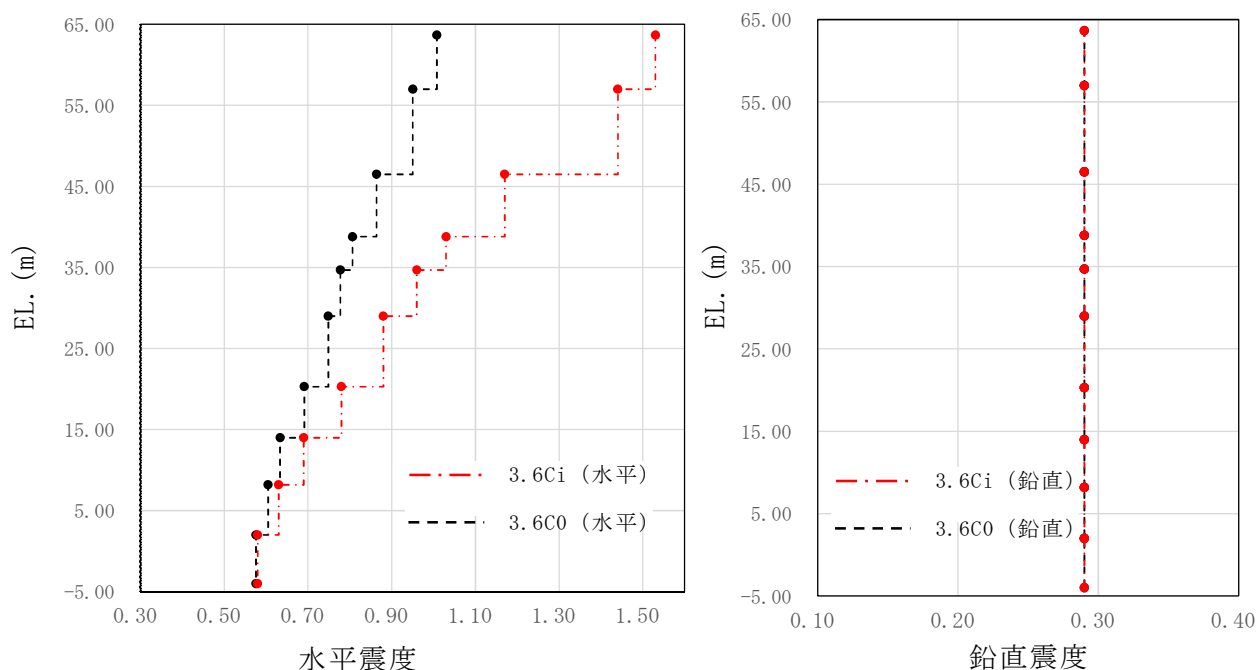


図5 建設時 C_0 と今回工認 C_i の震度分布図 (原子炉建屋)

②：震度を用いて簡易的に判断することが困難な設備

建屋機器連成解析設備のうち建屋機器連成解析結果にて得られた荷重を用いて直接評価を実施する設備、配管系及び配管反力を用いる設備については、静的震度による評価省略を簡易的に判断することが難しいことから静的震度 C_i を用いた評価を実施する。

【フローで NO となる設備例】

原子炉圧力容器、炉心支持構造物、原子炉圧力容器内部構造物（建屋機器連成解析の荷重を使用する設備）原子炉格納容器、配管系

③：許容応力状態Ⅲ_AS の評価に用いる設計震度（以下「設計震度」という。）と静的震度とを比較し、設計震度／静的震度 \geq 必要比率となる設備

設計震度と静的震度とを比較し、設計震度を用いた評価結果における水平方向と鉛直方向の荷重の組合せ方法に応じた比率（以下「必要比率」という。）以上であれば、静的震度による評価を省略する。

なお、震度を用いた荷重の算出は一般的に線形解析を実施しており、震度と荷重の関係は線形的な関係になることから、震度比を用いて静的震度による評価の省略の判断に用いることは問題ないと考える。

動的地震力による設計震度の水平方向と鉛直方向の荷重の組合せは、SRSS 法又は絶対値和法を適用し、静的震度の水平方向と鉛直方向の荷重の組合せについては、絶対値和法を適用している。

なお、絶対値和法は水平方向と鉛直方向の最大荷重を絶対値和として組み合わせる方法であり、水平と鉛直の最大荷重が同時刻に同位相で生じることを仮定している。このため、実際の荷重以上の荷重が加わる保守的な組合せである。

設計震度の荷重の組合せにおいて SRSS 法を適用した場合、水平方向及び鉛直方向の動的震度が静的震度よりも大きくても、水平方向と鉛直方向の組合せ後では動的地震力の荷重のほうが小さくなる場合がある。

また、水平震度と鉛直震度の荷重に対する応答は異なるため、水平震度と鉛直震度の組合せが静的震度より大きい場合でも、荷重又は応力としては小さくなる場合がある。

このため、設計震度／静的震度の比較は、設計震度による評価においての荷重の組合せ方法に応じて、また水平震度及び鉛直震度の荷重に対する応答が異なることを踏まえ、以下検討を行う。

③－１：設計震度による評価において荷重の組合せが絶対値和法の場合
設計震度の絶対値和と静的震度の絶対値和は以下の様に表わされる。

$$\text{静的震度の絶対値和} = C_i + C_v \quad \dots (1)$$

$$\text{設計震度の絶対値和} = C_{HD} + C_{VD} \quad \dots (2)$$

C_{HD} ：設計震度 (水平)

C_{VD} ：設計震度 (鉛直)

C_i ：静的震度 (水平)

C_v ：静的震度 (鉛直) (=0.29)

静的震度の水平震度と鉛直震度の絶対値和が設計震度の水平震度と鉛直震度の絶対値和より大きい場合でも、水平震度と鉛直震度の荷重に対する応答が異なることにより、震度の絶対値和の大小関係と荷重の絶対値和の大小関係が異なる場合がある。

このため、組合せ震度の比較ではなく、水平震度と鉛直震度を分けて評価する。

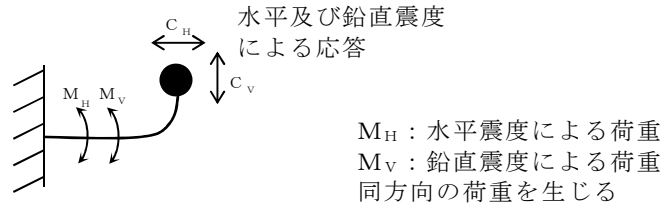
簡易的には $C_i \leq C_{HD}$ かつ $C_v \leq C_{VD}$ であれば、水平、鉛直及び組合せの震度と荷重は設計震度による評価の方が静的震度による評価より大きくなる。

このため、水平方向と鉛直方向の荷重の組合せに絶対値和法を適用する場合の静的震度の省略条件としては、設計震度の水平及び鉛直震度のそれぞれが静的震度の水平及び鉛直震度以上とする。

③-2 : 設計震度による評価において荷重の組合せが SRSS 法の場合

a. 震度による評価の考え方について

一般的に、水平震度と鉛直震度による荷重の組合せ(絶対値和法と SRSS 法)としては、以下の様に表わされる。



絶対値和法 : $|M_H|_{\max} + |M_V|_{\max}$

(水平及び鉛直震度による同方向の最大荷重が同時刻・同位相で発生すると仮定して、絶対値和として組み合わせる。)

SRSS 法 : $\sqrt{(|M_H|_{\max})^2 + (|M_V|_{\max})^2}$

(水平及び鉛直震度による同方向の最大荷重の非同時性を考慮して、各々の最大荷重を SRSS として組合せる。)

本評価においては、水平震度による荷重 M_H と鉛直震度による荷重 M_V はそれぞれの震度と線形的な関係にあることを踏まえて、簡易的に震度に置き換えて評価する。

b. 静的震度の絶対値和と設計震度の SRSS の比較

a. の考えを踏まえて、静的震度の絶対値和と設計震度の SRSS は以下のように示される。

静的震度の絶対値和 = $C_i + C_v$. . . (1)

設計震度の SRSS = $\sqrt{(C_{HD})^2 + (C_{VD})^2}$. . . (3)

③-1 と異なり、設計震度の水平震度と鉛直震度の組合せは SRSS であることから、(1)と(3)を比較するために、(3)に設計震度 $\frac{C_{HD} + C_{VD}}{C_{HD} + C_{VD}} (= 1)$ を乗じると、

I : 設計震度の絶対値和

II : 組合せ方法の変更

$$\frac{C_{HD} + C_{VD}}{C_{HD} + C_{VD}} \times \sqrt{(C_{HD})^2 + (C_{VD})^2} = (C_{HD} + C_{VD}) \times \frac{\sqrt{(C_{HD})^2 + (C_{VD})^2}}{(C_{HD} + C_{VD})} \cdot (5)$$

となり，設計震度の水平震度と鉛直震度の絶対値和に絶対値和法から SRSS に組合せ方法を変更することによる減少分を乗じた関係になる。このため，③-1 の静的震度の絶対値和と設計震度の絶対値和の比較に加えて組合せ方法の変更による減少分を設計震度に考慮する。

Ⅱは設計震度の SRSS と絶対値和の震度の比であり，この比と水平震度と鉛直震度の比 C_{VD}/C_{HD} との関係を図 6 に示す。

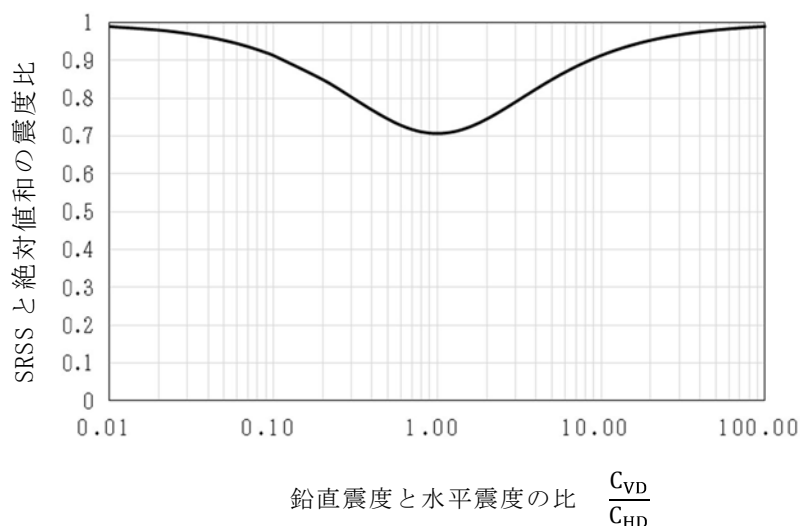


図 6 SRSS と絶対値和の震度比と鉛直震度と水平震度の比との関係図

なお，図 6 の SRSS と絶対値和の震度比は，以下のように式を変換して算出している。

$$\frac{\sqrt{(C_{HD})^2 + (C_{VD})^2}}{C_{HD} + C_{VD}} = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{C_{VD}}{C_{HD}}\right)^2}}{1 + \frac{C_{VD}}{C_{HD}}}$$

図 6 から，SRSS と絶対値和の震度比が最小となるのは鉛直震度と水平震度の比が 1（鉛直震度と水平震度が同じ）の場合であり，このときの SRSS と絶対値和との比は以下に示すとおり $1/\sqrt{2}$ となる。

$$\frac{\sqrt{(C_{HD})^2 + (C_{HD})^2}}{C_{HD} + C_{HD}} = \frac{\sqrt{2 \cdot (C_{HD})^2}}{2 \cdot C_{HD}} = \frac{C_{HD} \cdot \sqrt{2}}{C_{HD} \cdot 2} = \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}} (\approx 0.707)$$

このため，絶対値和法から SRSS 法に組合せ方法を変更した場合，組合せ荷重は最大 $1/\sqrt{2}$ 減少する。

これを踏まえ、(5)のⅡを簡易的に最小値である $1/\sqrt{2}$ に置き換えると、設計震度の SRSS は以下のように設計震度の水平震度と鉛直震度に $1/\sqrt{2}$ を乗じた絶対値和となる。

$$(C_{HD} + C_{VD}) \times \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}C_{HD} + \frac{1}{\sqrt{2}}C_{VD} \quad \dots (6)$$

これは、③-1 に示す静的震度の水平震度と鉛直震度の絶対値和と設計震度の水平震度と鉛直震度の絶対値和と同じ関係であり、設計震度の水平震度と鉛直震度に対して $1/\sqrt{2}$ 減少しただけである。

このため、③-1 の省略条件である $C_i \leq C_{HD}$ かつ $C_v \leq C_{VD}$ に加えて減少分 $1/\sqrt{2}$ を考慮して、設計震度の水平及び鉛直震度のそれぞれが静的震度の水平及び鉛直震度の 1.42 倍 ($\approx \sqrt{2}$) 以上であれば、静的震度による評価を省略することとする。

c. 設計震度と静的震度の絶対値和又は SRSS 同士での比較

b. では静的震度の絶対値和と設計震度の SRSS での比較を示したが、これは絶対値和又は SRSS 同士での比較より厳しくなることを以下に記す。

【設計震度と静的震度を絶対値和法で比較】

絶対値和での比		SRSS と絶対値和の比 (現状評価)
$\frac{C_{HD} + C_{VD}}{C_i + C_v}$	\geq	$\frac{\sqrt{(C_{HD})^2 + (C_{VD})^2}}{C_i + C_v}$

分子(設計震度)を SRSS から絶対値和に変更しており、絶対値和の方が SRSS より大きくなることから、SRSS と絶対値和の比より大きくなる。

【設計震度と静的震度を SRSS 法で比較】

SRSS での比		SRSS と絶対値和の比 (現状評価)
$\frac{\sqrt{(C_{HD})^2 + (C_{VD})^2}}{\sqrt{(C_i)^2 + (C_v)^2}}$	\geq	$\frac{\sqrt{(C_{HD})^2 + (C_{VD})^2}}{C_i + C_v}$

分母(静的震度)を絶対値和から SRSS に変更しており、SRSS の方が絶対値和より小さくなることから、SRSS と絶対値和の比より大きくなる。

【フローで YES となる設備例】

③-1：ほう酸水注入系ポンプ（絶対値和法を適用している設備）

・評価方法

$$C_{HD} \geq 3.6C_i \quad \text{かつ} \quad C_{VD} \geq 1.2C_v$$

・計算方法

$$\text{水平震度} : 1.67 \geq 1.03(3.6C_i) \quad \text{かつ}$$

$$\text{鉛直震度} : 1.44 \geq 0.29(1.2C_v)$$

水平及び鉛直ともに静的震度より設計震度の方が大きいため、評価を省略できる。

③-2：炉心スプレイスパーチャ（SRSS法を適用している設備）

・評価方法

$$C_{HD} \geq 1.42 \times 3.6C_i \quad \text{かつ} \quad C_{VD} \geq 1.42 \times 1.2C_v$$

・計算方法

$$\text{水平震度} : 1.68 \geq 1.42 \times 0.96(3.6C_i) = 1.37 \quad \text{かつ}$$

$$\text{鉛直震度} : 0.77 \geq 1.42 \times 0.29(1.2C_v) = 0.42$$

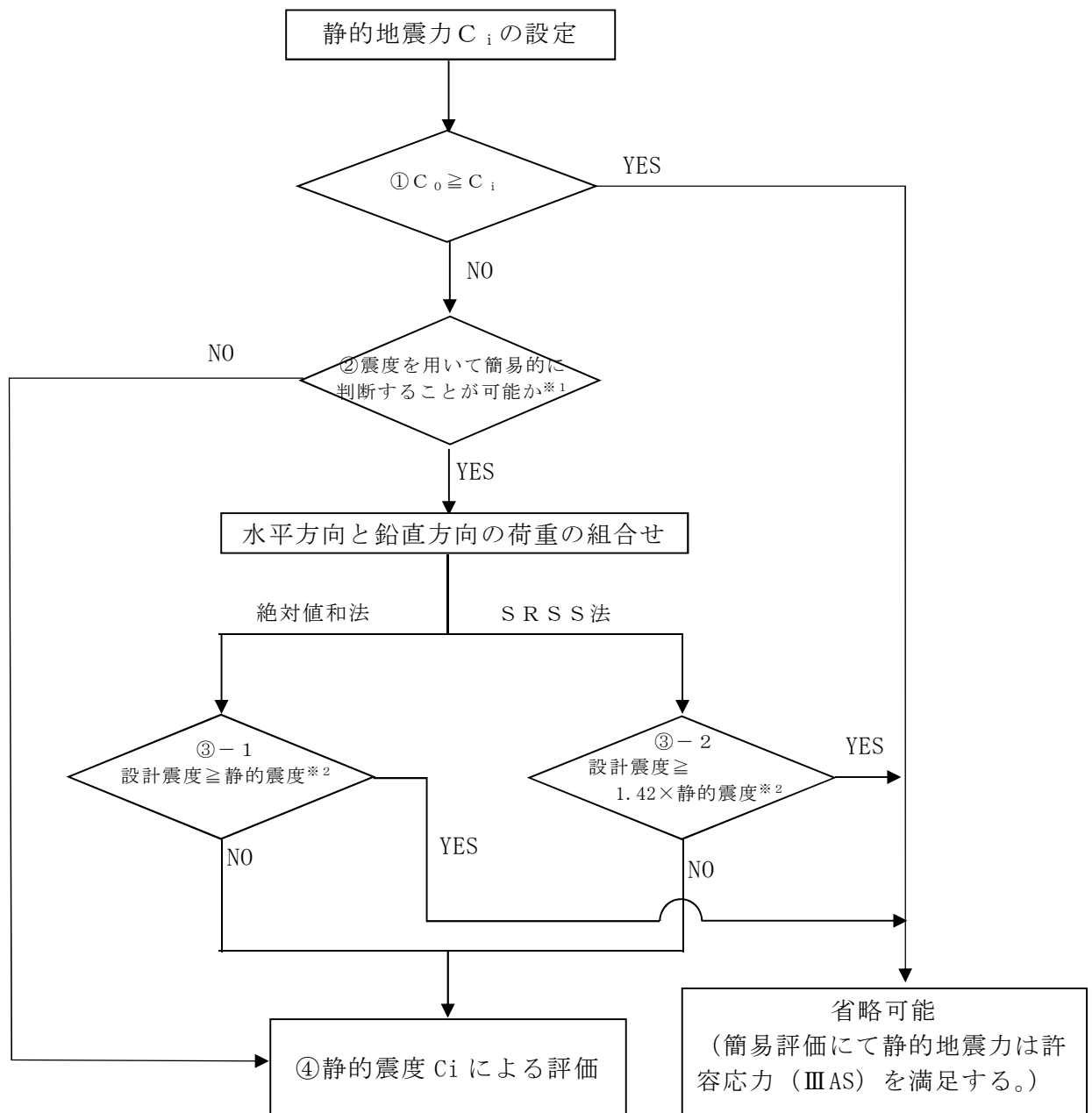
静的震度の水平及び鉛直を 1.42 倍した震度より設計震度の方がともに大きいため、評価を省略できる。

④：静的震度（3.6Ci）による評価を実施

①～③のフローにて抽出された設備について静的震度（3.6Ci）による評価を実施する。

(2) 評価結果

評価結果を添付-6に示す。添付-6に示すとおり、すべての機器において、静的震度に対する耐震安全性を確認している。



※1：簡易的に判断することが困難な機器は，建屋機器連成解析で得られた荷重を用いる設備，配管系等をいう。

※2：水平方向及び鉛直方向の各々に対して満足することとする。

図4 静的地震力に対する評価フロー