

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-025-25
提出年月日	2023年2月6日

建物開口部竜巻防護対策設備の耐震性についての計算書
に関する補足説明資料

2023年2月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

目 次

1. 概要.....	1
2. 検討概要.....	1
3. 構造概要.....	2
4. 検討方針.....	3
5. 評価用地震力.....	3
6. 荷重及び荷重の組合せ.....	5
7. 許容限界.....	6
8. 評価方法.....	7
9. 断面の評価結果.....	13

1. 概要

本補足説明資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき耐震評価を実施し、VI-2-11-2-6-2「建物開口部竜巻防護対策設備の耐震性についての計算書」に評価結果をとりまとめている建物開口部竜巻防護対策設備のうち竜巻防護鋼板対策設備の耐震評価について補足するものである。

2. 検討概要

竜巻防護鋼板対策設備は、アンカーボルトを介して原子炉建物の西面の耐震壁で支持する構造となっている。

本資料では、竜巻防護鋼板対策設備を支持する原子炉建物の耐震壁（以下「支持壁」という。）について、S_s地震時の竜巻防護鋼板対策設備の慣性力により生じる面外反力及び支持壁の面外慣性力に対して十分な構造強度を有していることを確認する。

4. 検討方針

支持壁の評価は、FEMモデルを用いた弾性応力解析により行う。

S_s地震時の竜巻防護鋼板対策設備の面外反力及び支持壁の面外慣性力の組合せにより発生する応力が「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）」（以下「RC-N規準」という。）に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

5. 評価用地震力

(1) 竜巻防護鋼板対策設備の面外反力

竜巻防護鋼板対策設備の面外反力は，VI-2-11-2-6-2「建物開口部竜巻防護対策設備の耐震性についての計算書」で設定した設計震度を評価用震度として設定する。

竜巻防護鋼板対策設備の評価用震度を表5-1に示す。

表5-1 竜巻防護鋼板対策設備の評価用震度

据付場所 及び 床面高さ (m)	基準地震動 S _s		
	水平方向		鉛直方向 Z方向 (UD方向) 設計震度
	X方向 (NS(面内)方向) 設計震度	Y方向 (EW(面外)方向) 設計震度	
原子炉建物 EL 51.9 (EL 51.7* ¹)	C _{HX} = 4.43* ²	C _{HY} = 9.54* ²	C _V = 2.66* ²

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）又はこれを上回る設計震度

(2) 支持壁の面外慣性力

支持壁の面外慣性力は，VI-2-12「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結果」で行った建物 3 次元モデルを用いた地震応答解析による S s 地震時の E W（面外）方向最大応答加速度に基づき算定する。

支持壁の評価用震度を図 5-1 に示す。建物 3 次元モデルの節点の最大応答加速度を節点間で線形補間することにより評価用震度コンター図（刻み震度 0.1）を作成し，支持壁解析モデルの各節点近傍の等高線のうち大きい震度を採用する。

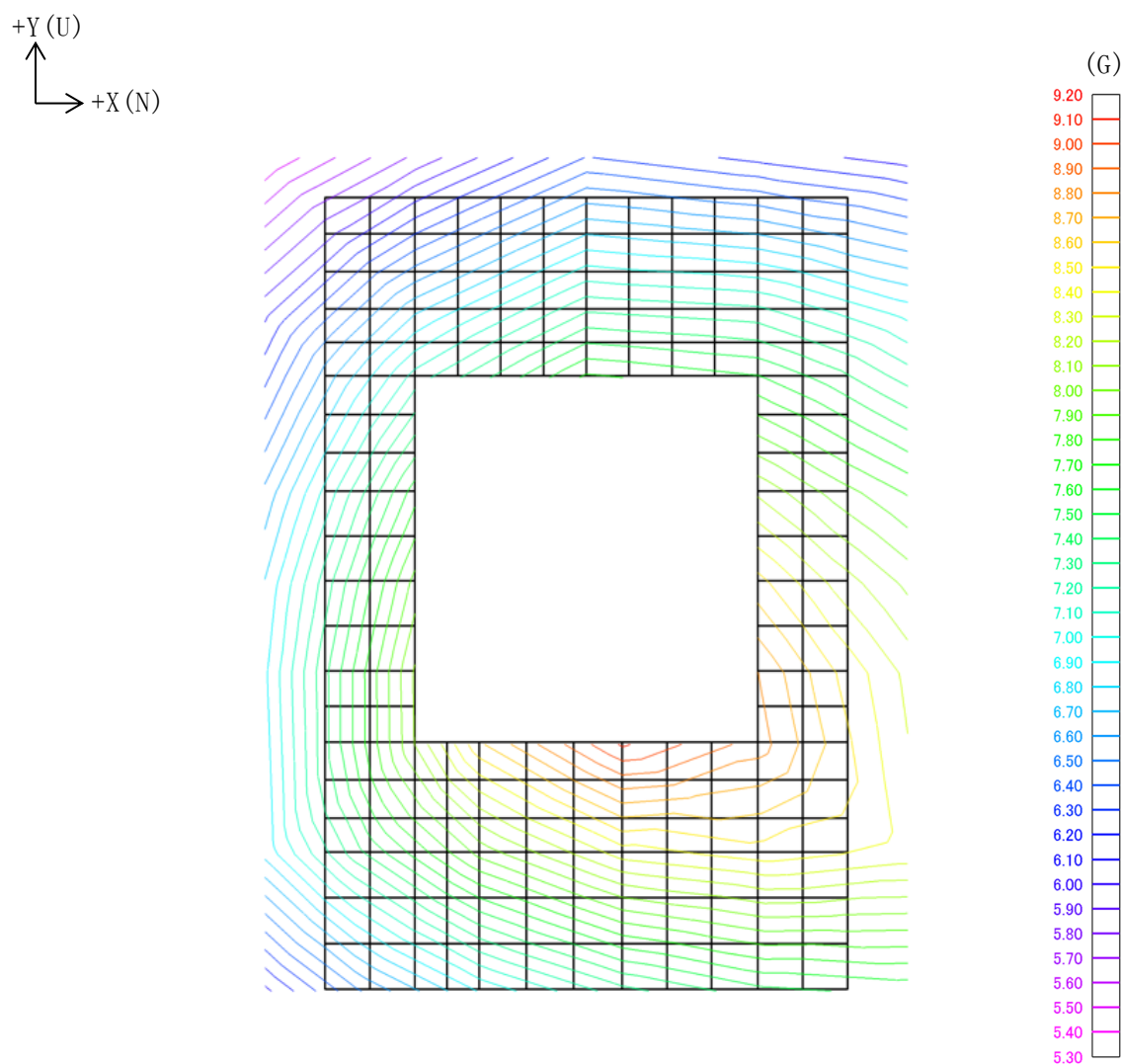


図 5-1 支持壁の評価用震度コンター図

6. 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重

a. 地震荷重

(a) 支持壁の面外慣性力 (S_s)

支持壁の面外慣性力は、「5. 評価用地震力」で設定した評価用震度を用いて算定する。

(b) 竜巻防護鋼板対策設備の面外反力 (U_s)

竜巻防護鋼板対策設備の面外反力は、水平方向 (EW(面外)方向) の評価用震度を用いて算定する面外反力及び鉛直方向 (UD方向) の評価用震度を用いて算定する面外反力とし、支持点となるアンカーボルト位置に考慮する。

(2) 荷重の組合せ

支持壁の評価に用いる荷重の組合せを表 6-1 に示す。

表 6-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S_s 地震時	$S_s + U_s$

S_s : 支持壁の面外慣性力

U_s : 竜巻防護鋼板対策設備の面外反力

7. 許容限界

(1) コンクリート

「RC-N規準」に基づき算定した短期許容応力度を表7-1に示す。

表7-1 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm²)

設計基準強度 F _c	圧縮	せん断
23.5	15.6	1.08

(2) 鉄筋

「RC-N規準」に基づく許容応力度を表7-2に示す。

表7-2 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm²)

種別	引張及び 圧縮	せん断
SD35 (SD345相当)	345*	345

注記*：材料強度は許容応力度（引張及び圧縮）を1.1倍して算定する。

8. 評価方法

(1) 解析モデル及び諸元

応力解析は、FEMモデルを用いた弾性応力解析とする。解析には、解析コード「MSC NASTRAN」を用いる。

解析モデルの概念図を図8-1に、評価対象部位を図8-2に、解析モデル図を図8-3に示す。

解析モデルに使用するFEM要素はシェル要素とし、境界条件は柱及びはりを固定とする。

使用材料の物性値を表8-1に示す。

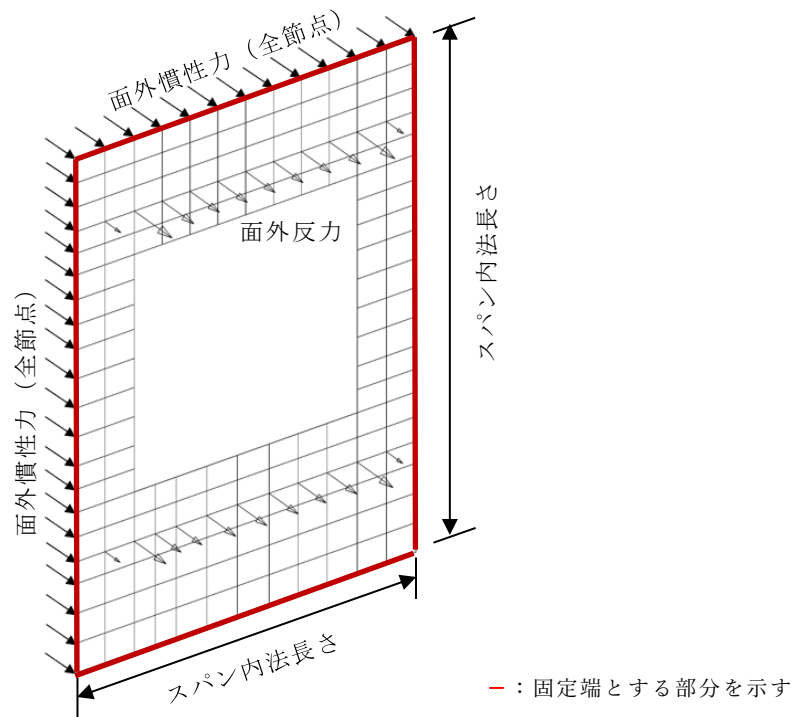


図8-1 解析モデルの概念図

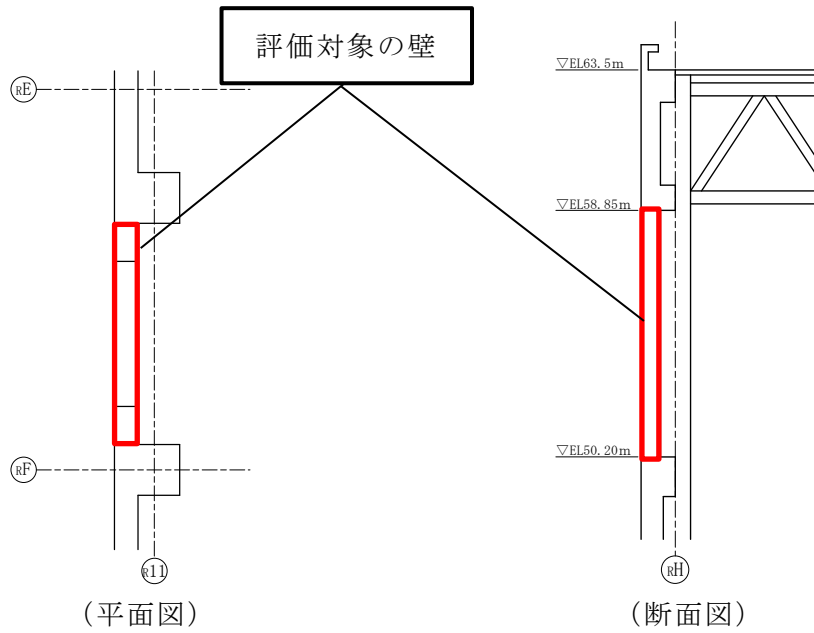


図 8-2 評価対象部位

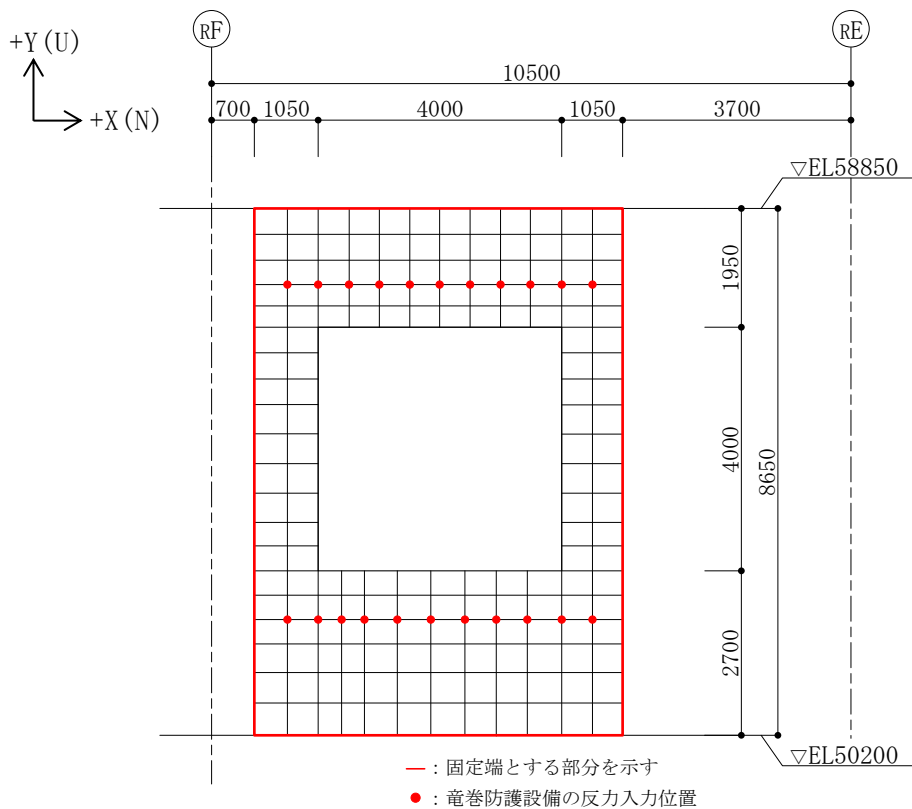


図 8-3 解析モデル図

表 8-1 使用材料の物性値

コンクリートの 設計基準強度 F_c (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
23.5	2.25×10^4	0.2

(2) 荷重ケース

S_s 地震時の応力は、次の荷重を組み合わせて求める。

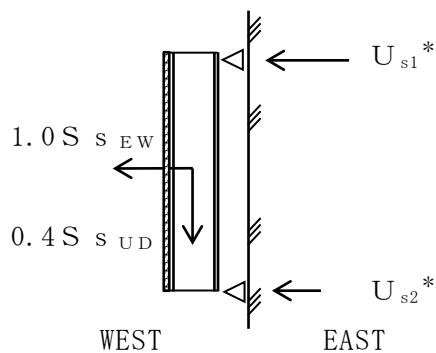
- S_s : 支持壁の面外慣性力
- $S_{s_{EW}}$: E → W 方向地震時 竜巻防護鋼板対策設備に作用する面外反力
- $S_{s_{WE}}$: W → E 方向地震時 竜巻防護鋼板対策設備に作用する面外反力
- $S_{s_{UD}}$: U → D 方向地震時 竜巻防護鋼板対策設備に作用する面外反力
- $S_{s_{DU}}$: D → U 方向地震時 竜巻防護鋼板対策設備に作用する面外反力

(3) 荷重の組合せケース

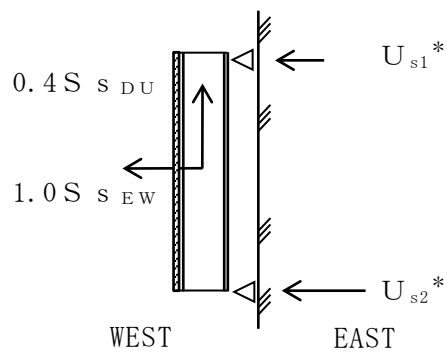
支持壁評価における荷重の組合せケースを表 8-2 に、荷重の組合せの概念図を図 8-4 に示す。

表 8-2 支持壁評価における荷重の組合せケース

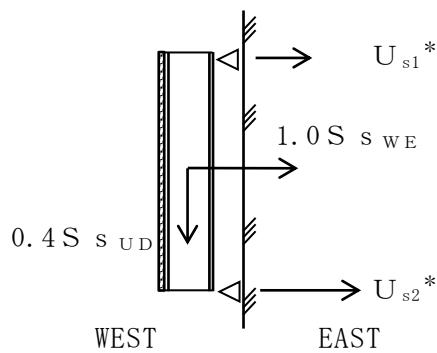
外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S_s 地震時	1-1	$S_s + 1.0 S_{sEW} + 0.4 S_{sUD}$
	1-2	$S_s + 1.0 S_{sEW} + 0.4 S_{sDU}$
	2-1	$S_s + 1.0 S_{sWE} + 0.4 S_{sUD}$
	2-2	$S_s + 1.0 S_{sWE} + 0.4 S_{sDU}$



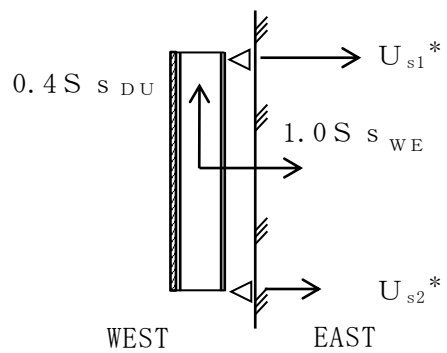
(a) ケース 1-1



(b) ケース 1-2



(c) ケース 2-1



(d) ケース 2-2

注記* : 竜巻防護鋼板対策設備の面外反力

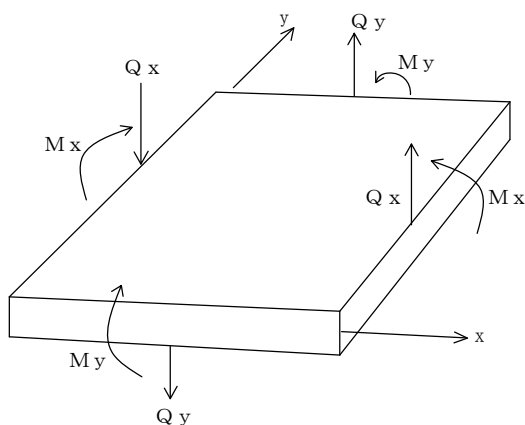
図 8-4 荷重の組合せの概念図

(4) 断面の評価方法

支持壁の断面の評価は以下の方法で行う。

曲げモーメント及び面外せん断力を算定し、各許容限界を超えないことを確認する。

断面力成分を図 8-5 に示す。



M_x, M_y : 曲げモーメント
 Q_x, Q_y : せん断力
(矢印の方向を正とする。)

図 8-5 断面力成分

a. 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象部位に生じる曲げモーメントが次式をもとに計算した許容曲げモーメントを超えないことを確認する。

$$M_A = a_t \cdot f_t \cdot j$$

ここで、

M_A : 許容曲げモーメント (N・mm)

a_t : 引張鉄筋断面積 (mm²)

f_t : 鉄筋の許容引張応力度で、表 7-2 に示す値* (N/mm²)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

注記* : 「平 12 建告第 2464 号」に基づく鉄筋の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による。

b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断力が、次式をもとに計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$$

ここで、

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

α : 許容せん断力の割増し係数

(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1}$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度で、表 7-1 に示す値 (N/mm²)

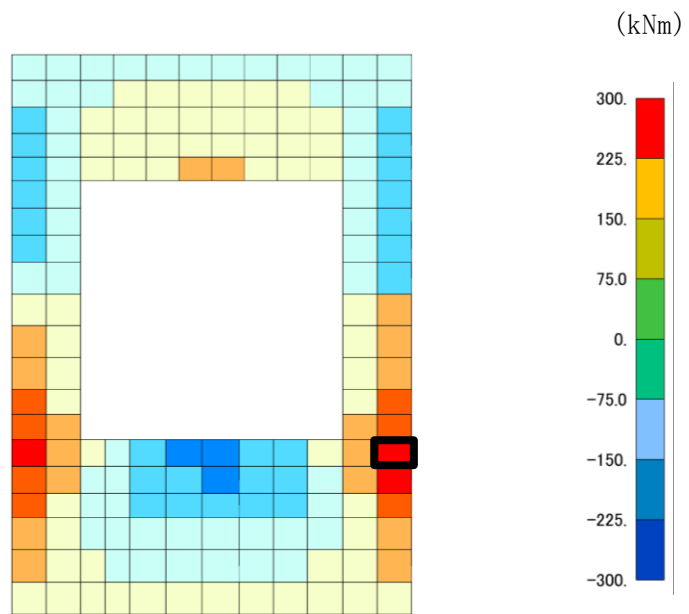
9. 断面の評価結果

評価結果については、支持壁について曲げモーメント及び面外せん断力に対する検討において、検定値が最大となる要素をそれぞれ選定する。

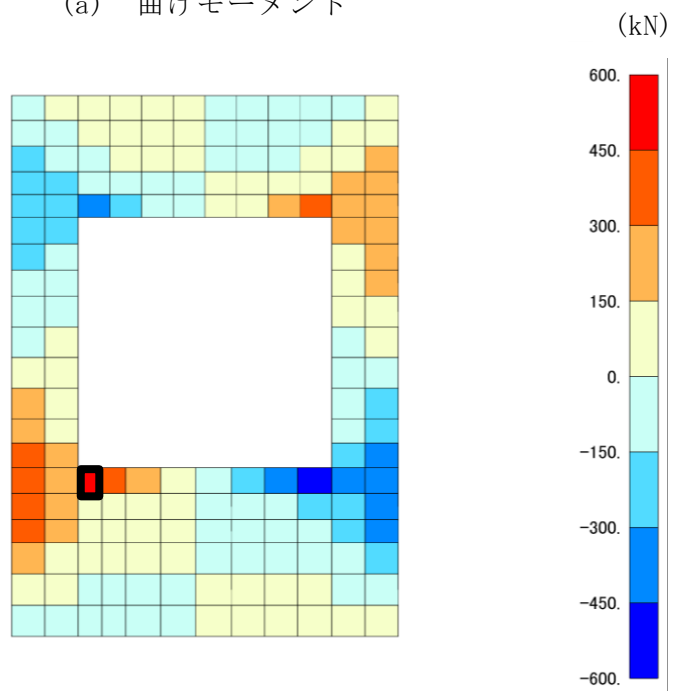
支持壁の断面の評価結果を表 9-1 に、検定値が最大となる要素を図 9-1 に示す。発生する曲げモーメント及び面外せん断力が許容限界を超えないことを確認した。

表 9-1 支持壁の断面の評価結果

厚さ t (mm) × 幅 b (mm)		□ × 1000
有効せい d (mm)		□
配筋	縦筋 (鉄筋断面積)	D29@200 (3210mm ² /m)
	横筋 (鉄筋断面積)	D25@200 (2535mm ² /m)
曲げモーメント	方向	X 方向
	発生曲げモーメント M (kN・m/m) (解析ケース)	231.9 (2-1)
	許容限界 (kN・m/m)	462.3
	検定値 (発生曲げモーメント/許容限界)	0.51
面外せん断力	方向	X 方向
	発生せん断力 Q (kN/m) (解析ケース)	560.3 (2-1)
	許容限界 (kN/m)	1039.5
	検定値 (発生せん断力/許容限界)	0.54
判定		可



(a) 曲げモーメント



(b) せん断力

図 9-1 検定比の最大要素