

玄海原子力発電所 3 号機
蓄電池室（3 系統目）、計装電源盤室（3 系統目）
新設壁及び天井の耐震設計について

目 次

	頁
1. 概 要	2
2. 先行プラント（川内）と今回設置設備の比較	3
2.1 浸水防護施設（堰）と建物の区別	3
2.2 新設設備と既設設備の区別	3
3. 壁及び天井の耐震健全性評価	4
3.1 構造概要	4
3.2 影響検討方針	5
3.3 適用規格	7
4. 健全性評価方法	8
4.1 基本方針	8
4.2 評価対象部位	8
4.3 荷重及び荷重の組合せ	9
4.4 材料の諸元	11
4.5 許容限界	12
4.6 評価方法	14
4.7 評価条件	20
5. 健全性評価結果	22

1. 概 要

所内常設直流電源設備（3 系統目）の設置工事において、技術基準規則第 54 条の要求を受ける施設として玄海原子力発電所 3 号機の原子炉周辺建屋に浸水防護施設（堰）、技術基準規則の要求を受けない施設として堰の上部の壁、間仕切り壁（以下「壁」という。）及び天井を設置する。

本資料は、技術基準の要求を受けない施設である堰の上部の壁、壁及び天井について設置機器の近傍に設置されることから、基準地震動 S_s による地震力が作用する状態（以下「 S_s 地震時」という。）においても各部材が健全性を維持する設計としており、その評価内容について説明するものである。

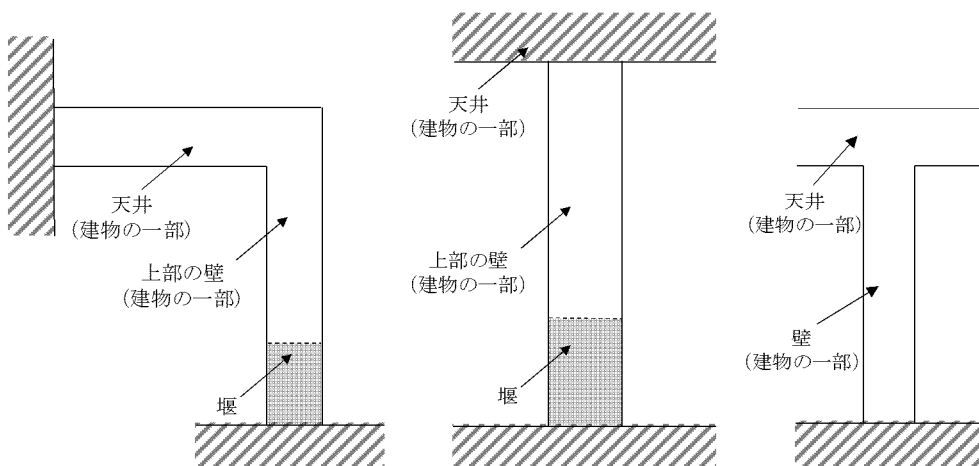
2. 先行プラント（川内）と今回設置設備の比較

2.1 浸水防護施設（堰）と建物の区別

今回申請（玄海 3 号機）（以下「玄海」という。）においては、堰が設置される床から浸水防護上必要な高さまでが浸水防護施設としての「堰」である。必要な高さより上部の壁、天井等については、「建物」の一部として評価を実施している。

先行プラント（川内）（以下「川内」という。）においても構造物の形状は異なるが、必要な高さまでが浸水防護施設としての「堰」、必要な高さより上部の壁を「建物」の一部としている。

堰、建物の設備設置状況の概略図を第 2-1 図～第 2-3 図に示す。



第 2-1 図 概略図（玄海の堰） 第 2-2 図 概略図（川内の堰） 第 2-3 図 概略図（壁）

2.2 新設設備と既設設備の区別

玄海と川内における堰、壁、天井の区別を第 2-1 表に示す。

玄海においては、天井の火災感知器等の施工性と設置場所の状態を考慮し、新たに天井を設置する。

第 2-1 表 玄海と川内における設備の区別

	玄海	川内
堰	新設構造物	新設構造物
上部の壁	新設構造物	新設構造物
壁	新設構造物	新設構造物
天井	新設構造物	既設構造物

3. 壁及び天井の耐震健全性評価

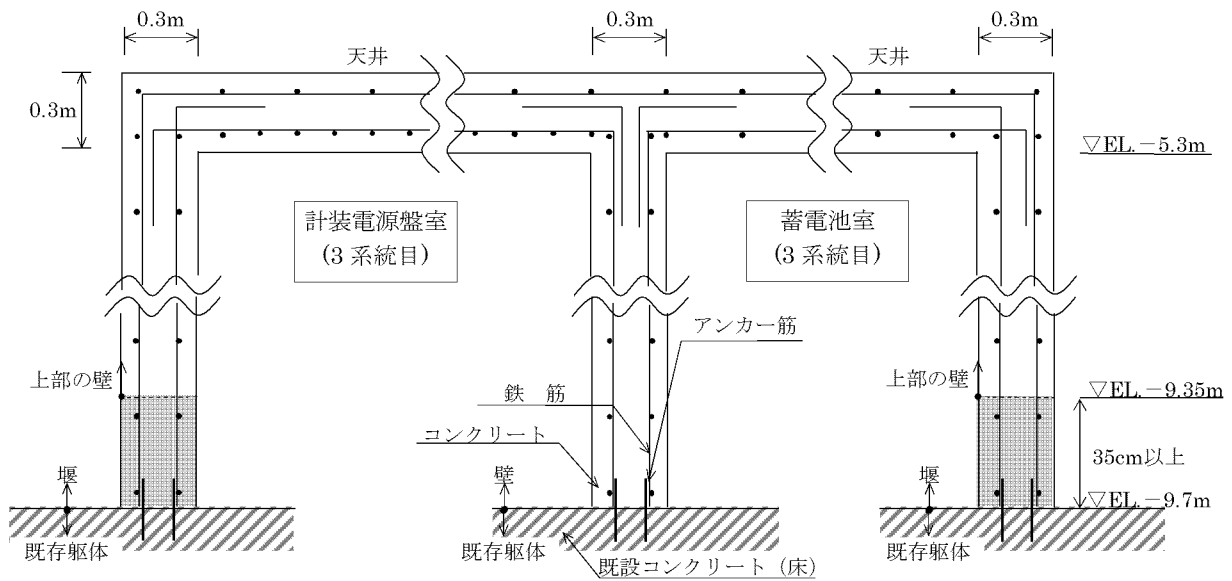
3.1 構造概要

所内常設直流電源設備（3系統目）は原子炉周辺建屋の EL. -9.7m レベルに設置され、その周囲を堰及び天井により囲まれている。また、蓄電池室（3系統目）と計装電源盤室（3系統目）の間に壁を設けている。

堰、壁及び天井設置位置の概略平面図及び概略断面図を第 3-1 図及び第 3-2 図に示す。



第 3-1 図 概略平面図



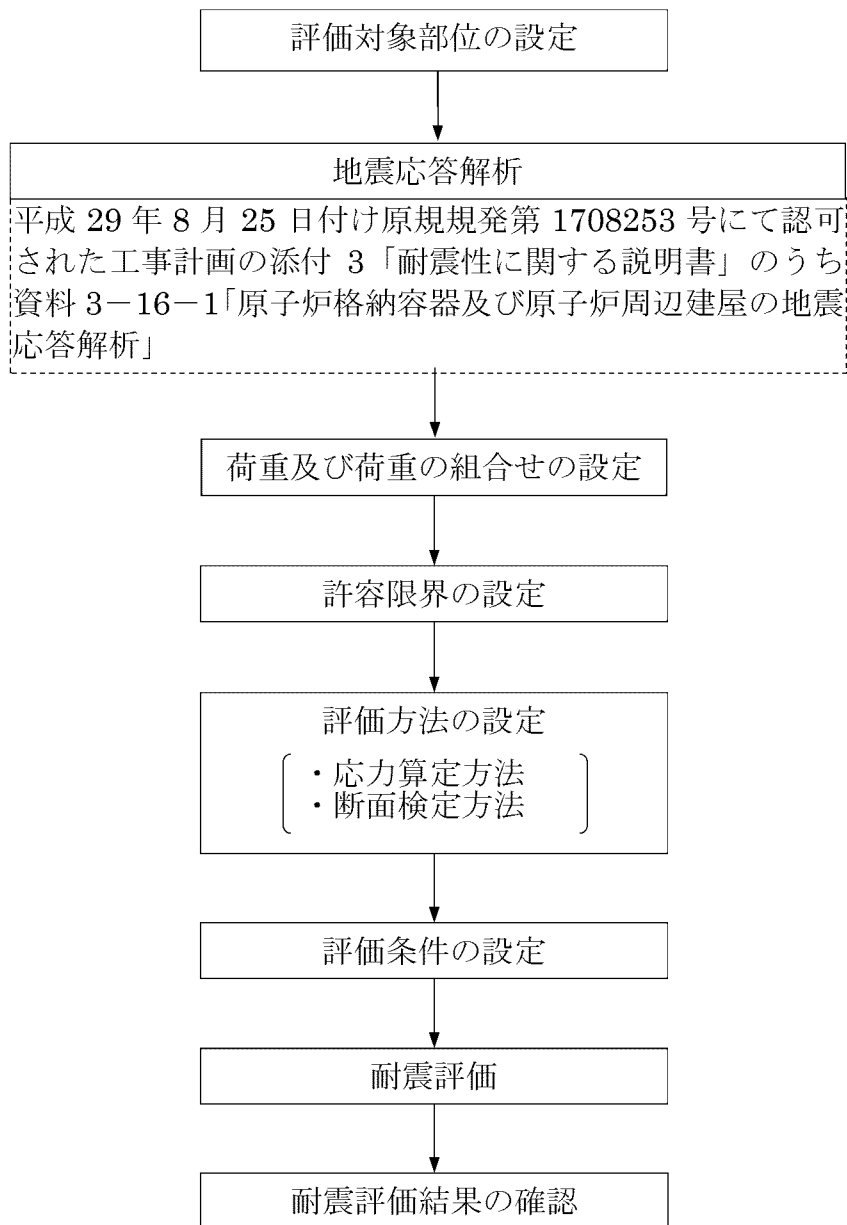
第 3-2 図 概略断面図 (A-A 断面)

3.2 健全性検討方針

壁及び天井の評価について、Ss 地震時に対する静的解析を行い、解析結果の応力を用いた断面の評価により、壁及び天井が耐震健全性を有することを確認する。

静的解析に用いる地震力について、平成 29 年 8 月 25 日付け原規規発第 1708253 号にて認可された工事計画の添付 3「耐震性に関する説明書」のうち資料 3-16-1「原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋の地震応答解析」の解析結果を用い、地盤定数を含む材料物性のばらつきを考慮する。

耐震健全性の評価フローを第 3-3 図に示す。



第 3-3 図 耐震健全性の評価フロー

3.3 適用規格

壁及び天井の評価において、適用する規格、基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法及び同施行令
- ・ 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）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会、2010 改定）

4. 健全性評価方法

4.1 基本方針

壁及び天井に生じる応力は、鉄筋に生じる軸力及び曲げモーメント、アンカー筋に生じる曲げモーメント、軸力及びせん断力並びにコンクリートに生じるせん断力及び圧縮力に対する確認を行う。

壁及び天井の重量は設計積載荷重以内であることから、既存躯体への影響はない。

4.2 評価対象部位

評価対象部位は、壁及び天井とする。評価対象となる壁及び天井の仕様を第4-1表に示す。天井の評価対象部位は天井の短辺方向のスペンが長い蓄電池室(3系統目)とする。

第4-1表 評価対象となる壁及び天井の仕様

設計断面					
	厚さ	高さ又は長さ	位置		配筋量 (mm ² /m)
壁	0.30m	4.55m	全て		794 (D16@250 縦横ダブル)
天井	0.30m	5.11m (注1)	蓄電池室 (3系統目) 中央部	NS 方向	上端筋： 794 (D16@250) 下端筋： 1,589 (D16@125)
				EW 方向	上端筋： 794 (D16@250) 下端筋： 794 (D16@250)
		3.35m (注2)	蓄電池室 (3系統目)端部 計装電源盤室 (3系統目)全て	794 (D16@250NS,EW ダブル)	

(注1) 蓄電池室(3系統目)のNS方向の長さ

(注2) 計装電源盤室(3系統目)のEW方向の長さ

4.3 荷重及び荷重の組合せ

4.3.1 荷 重

(1) 固定荷重(G)

壁及び天井の自重を第 4-2 表に示す。

第 4-2 表 壁及び天井の自重

	種 類	単位体積重量 (kN/m ³)	形状	幅 (m)	高さ (長さ) (m)	単位幅あたりの重量(kN) ^(注1)
壁	鉄筋コンクリート Fc 30.0(N/mm ²)	24	一方向版	0.3	4.55	32.8
天井			一方向版	0.3	5.11 ^(注2)	36.8

(注1) 1mあたりの重量。保守的に開口部にも鉄筋コンクリートが存在するものとして自重を算出する。

(注2) 蓄電池室 (3系統目) のNS方向の長さ

(2) 地震荷重(Ks)

地震荷重は、基準地震動 Ss による荷重を考慮する。

地震荷重は、平成 29 年 8 月 25 日付け原規規発第 1708253 号にて認可された工事計画の添付 3「耐震性に関する説明書」のうち資料 3-16-1「原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋の地震応答解析」による材料物性のばらつき等を考慮した地震応答解析結果に基づき設定する。

評価においては、基準地震動 Ss-1～Ss-5 による最大応答加速度を用いる。地震応答解析に基づいて算定された壁及び天井の設置高さより上階における最大応答加速度から設計震度を設定する。壁及び天井の設置高さより上階の最大応答加速度を重力加速度で除して算出した耐震評価に用いる設計震度を第 3-3 表に示す。

$$K_s = (G) \cdot k$$

ここで、Ks : 地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

第 4-3 表 壁及び天井の設置位置における最大応答加速度及び設計震度

質 点	地震力の作用方向		応答加速度(cm/s ²)						設計震度 k
			Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5		
							Ss-5NS	Ss-5EW	
33 (EL.3.7m)	水平	NS 方向	814	504	804	925	651	605	0.944
		EW 方向	791	400	638	829	716	772	
		鉛直	418	206	422	395	593		0.605

○ : 最大値

4.3.2 荷重の組合せ

壁及び天井の耐震計算では、壁及び天井の固定荷重(G)と地震荷重(K_{SH}, K_{SUD})との組合せを考慮する。

荷重の組合せを第4-4表に示す。

第4-4表 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
Ss 地震時	G + K_{SH} + K_{SUD}

G : 固定荷重

K_{SH} : 基準地震動 Ss による水平方向の地震荷重

K_{SUD} : 基準地震動 Ss による鉛直方向の地震荷重

4.4 材料の諸元

壁及び天井の仕様を第4-5表に示す。

第4-5表 壁及び天井の仕様

種類	仕様
コンクリート	設計基準強度 30.0(N/mm ²)
	設計基準強度 23.5(N/mm ²) (既設部)
鉄筋	SD295A

4.5 許容限界

「3.2 評価対象部位」にて設定している評価対象部位の部材ごとに機能損傷モードを考慮し、短期許容応力度又は短期許容荷重を設定する。

(1) 鉄筋

「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）」に基づき算定した短期許容応力度を許容限界として設定する。鉄筋の短期許容応力度を第 4-6 表に示す。

第 4-6 表 鉄筋の短期許容応力度

鉄筋径	種 類	短期許容応力度 (N/mm ²)
D16	SD295A	295

(2) アンカー筋

「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会、2010 改定）」に基づき算定した短期許容荷重を許容限界として設定する。アンカー筋の短期許容荷重を第 4-7 表に示す。

第 4-7 表 アンカー筋の短期許容荷重

	鉄筋径	種 類	短期許容荷重 (kN/本)	
			アンカー筋	
			引張 ^(注1)	せん断 ^(注2)
壁	D16	SD295A	40.4	41.0
天井	D13	SD295A	23.4	26.1

(注1) アンカー筋として使用する鉄筋の降伏強度又は付着力により決まる1本当たりの許容引張力

(注2) アンカー筋として使用する鉄筋のせん断強度、既存躯体の支圧強度及び既存躯体のコーン状破壊により決まる1本当たりの許容せん断力

(3) コンクリート

「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）」に基づき算定したコンクリートの短期許容応力度を許容限界として設定する。コンクリートの短期許容応力度を第 4-8 表に示す。

第 4-8 表 コンクリートの短期許容応力度

設計基準強度 F _c (N/mm ²)	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	せん断	圧縮
30.0	1.18	20.0
23.5 (既設部)	1.08	15.6

4.6 評価方法

壁及び天井の耐震評価は、Ss地震時において壁及び天井に生じる応力度又は荷重が、「4.5 許容限界」で設定した許容限界値を超えないことを確認する。

4.6.1 応力算定

Ss地震時において壁及び天井に生じる応力は、第4-1図～第4-3図に示すとおり、地震荷重が壁及び天井に等分布荷重として作用するものとし、単位幅あたりの算定とする。

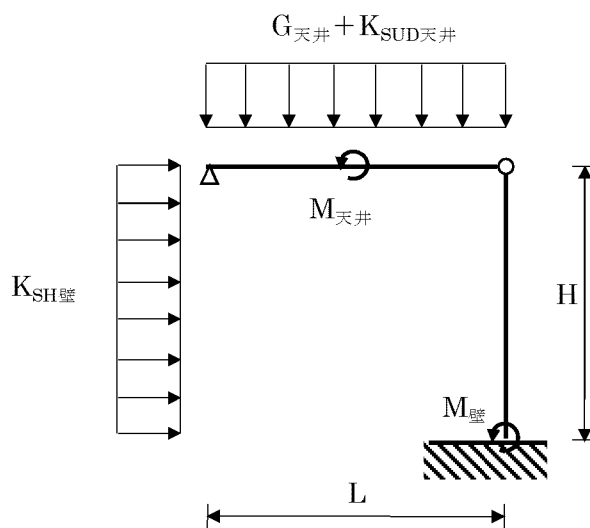
(1) 曲げモーメント

曲げモーメントは次式により算定する。

$$M_{\text{壁}} = \frac{1}{8} \cdot K_{\text{SH壁}} \cdot H$$

$$M_{\text{天井}} = \frac{1}{8} \cdot (G_{\text{天井}} + K_{\text{SUD天井}}) \cdot L$$

- ここで、 $M_{\text{壁}}$: 壁の曲げモーメント(kN/m)
 $K_{\text{SH壁}}$: 壁の水平方向の地震荷重(kN)
 H : 壁の高さ(m)
 $M_{\text{天井}}$: 天井の曲げモーメント(kN/m)
 $K_{\text{SUD天井}}$: 天井の鉛直方向の地震荷重(kN)
 $G_{\text{天井}}$: 天井の固定荷重(kN)
 L : 天井の長さ(m)



第4-1図 応力模式図 (曲げモーメント)

(2) せん断力

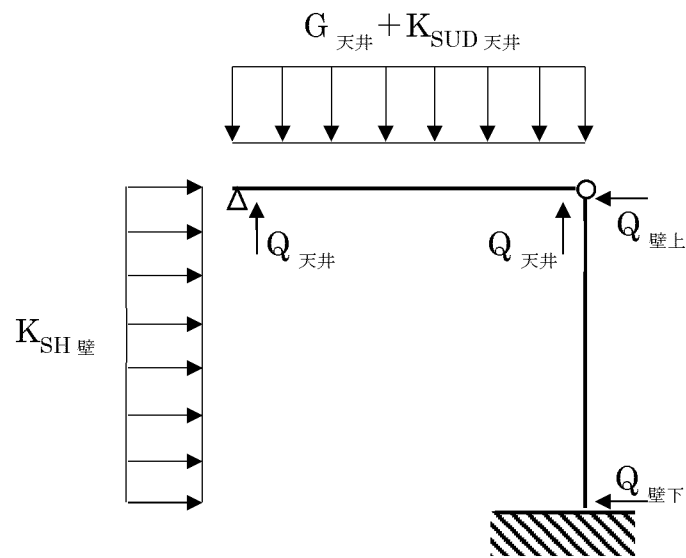
せん断力は次式により算定する。

$$Q_{\text{壁上}} = \frac{3}{8} \cdot K_{\text{SH壁}}$$

$$Q_{\text{壁下}} = \frac{5}{8} \cdot K_{\text{SH壁}}$$

$$Q_{\text{天井}} = \frac{1}{2} \cdot (G_{\text{天井}} + K_{\text{SUD天井}})$$

- ここで、 $Q_{\text{壁上}}$: 壁上端のせん断力(kN)
 $Q_{\text{壁下}}$: 壁下端のせん断力(kN)
 $K_{\text{SH壁}}$: 壁の水平方向の地震荷重(kN)
 $Q_{\text{天井}}$: 天井端のせん断力(kN)
 $G_{\text{天井}}$: 天井の固定荷重(kN)
 $K_{\text{SUD天井}}$: 天井の鉛直方向の地震荷重(kN)



第4-2図 応力模式図 (せん断力)

(3) 軸力

軸力は次式により算定する。

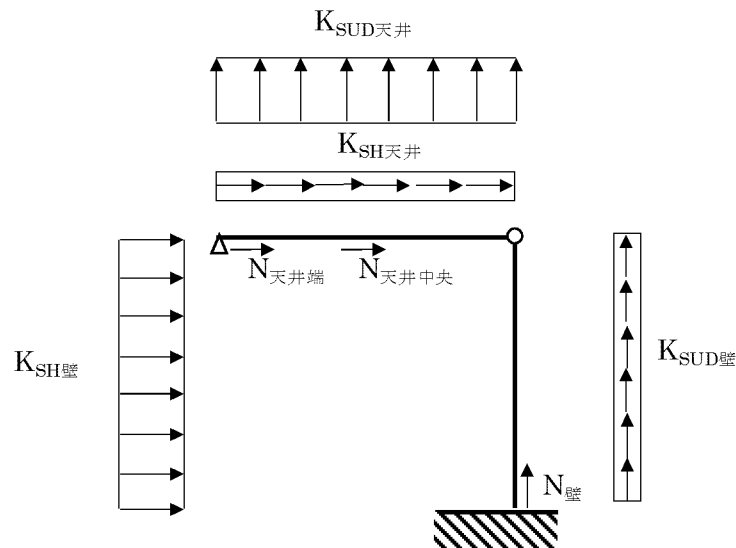
$$N_{\text{壁}} = K_{\text{SUD壁}} + \frac{1}{2} \cdot K_{\text{SUD天井}} \quad (\text{注})$$

$$N_{\text{天井端}} = \frac{3}{8} K_{\text{SH壁}} + K_{\text{SH天井}}$$

$$N_{\text{天井中央}} = \frac{3}{8} K_{\text{SH壁}} + \frac{1}{2} \cdot K_{\text{SH天井}}$$

- ここで、
- $N_{\text{壁}}$: 壁の軸力(kN)
 - $N_{\text{天井端}}$: 天井端の軸力(kN)
 - $N_{\text{天井中央}}$: 天井中央の軸力(kN)
 - $K_{\text{SH壁}}$: 壁の水平方向の地震荷重(kN)
 - $K_{\text{SUD壁}}$: 壁の鉛直方向の地震荷重(kN)
 - $K_{\text{SH天井}}$: 天井の水平方向の地震荷重(kN)
 - $K_{\text{SUD天井}}$: 天井の鉛直方向の地震荷重(kN)

(注) 計装電源盤室 (3 系統目) の天井の鉛直方向の地震荷重を考慮



第 4-3 図 応力模式図 (軸力)

4.6.2 断面検定

(1) 鉄筋

a. 軸力及び曲げモーメントに対する検定

壁及び天井に生じる軸力及び曲げモーメントより、単位幅当りに必要な鉄筋量を次式により算定し、配筋量を超えないことを確認する。荷重の組合せ係数は、組合せ係数法に基づいて設定する。

$$a_t = \frac{M}{f_t \cdot j} + \frac{N}{f_t} : \text{鉄筋}$$

ここで、 a_t : 単位幅当りの必要鉄筋量(mm²/m)

M : 曲げモーメント(kN・m)

f_t : 鉄筋の短期許容引張応力度(N/mm²)

j : 応力中心距離($j = \frac{7}{8} \cdot d$)(mm)

d : 部材の有効せい(mm)

N : 軸力(kN)

(2) アンカー筋

a. 軸力及び曲げモーメントに対する検定

壁及び天井の接合部に生じる軸力及び曲げモーメントより、アンカー筋 1 本あたりに生じる引張力を次式により算定し、許容限界を超えないことを確認する。地震荷重は、組合せ係数法に基づいて設定する。

$$T = \frac{M}{n \cdot j} + \frac{N}{n}$$

ここで、 T : アンカー筋 1 本あたりに生じる引張力(kN/本)

M : 曲げモーメント(kN・m)

j : 応力中心距離($j = \frac{7}{8} \cdot d$)(mm)

d : 部材の有効せい(mm)

N : 軸力(kN)

n : 単位幅 (1m) 当たりのアンカー筋本数(本)

b. せん断力に対する検定

壁及び天井の接合部に生じるせん断力より、アンカー筋 1 本あたりに生じるせん断力を次式により算定し、許容限界を超えないことを確認する。

$$Q_a = \frac{Q}{n}$$

ここで、 Q_a : アンカー筋 1 本あたりに生じるせん断力(kN/本)

Q : せん断力(kN)

n : 単位幅 (1m) 当たりのアンカー筋本数(本)

(3) コンクリート

a. せん断力に対する検定

壁及び天井に生じるせん断応力度を次式により算定し、コンクリートの許容限界を超えないことを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

ここで、 τ : せん断応力度(N/mm²)

Q : せん断力(kN)

A : 壁及び天井の断面積(mm²)

b. 軸力に対する検定

壁に生じる曲げモーメントにより発生するコンクリートの圧縮縁応力度を次式により算定し、コンクリートの許容限界を超えないことを確認する。圧縮縁応力の算定にあたり、圧縮側アンカー筋は考慮しない。

$$\sigma_c = \frac{T' \cdot 2}{x_n \cdot b} \quad \text{: 既設側コンクリート}$$

ここで、 σ_c : コンクリートの圧縮縁応力度(N/mm²)

T' : 引張側アンカー筋に生じる引張力(M/j)(kN)

M : 曲げモーメント(kN・m)

j : 応力中心距離($j = \frac{7}{8} \cdot d$)(mm)

d : 部材の有効せい(mm)

x_n : 中立軸から圧縮縁までの距離(mm)

$x_n = (d - j) \cdot 3$

b : 単位幅(1,000)(mm)

4.7 評価条件

評価に用いる入力値を第4-9表に示す。

第4-9表 評価に用いる入力値(1/2)

記号	単位	定義	数値
K _s	kN	壁の地震荷重 K _{SH} 堰 (水平方向)	30.9
		壁の地震荷重 K _{SUD} 堰 (鉛直方向)	19.8
		天井の地震荷重 K _{SH} 天井 (水平方向)	34.7
		天井の地震荷重 K _{SUD} 天井 (鉛直方向)	22.3
G	kN	壁の固定荷重 G 堰	32.8
		天井の固定荷重 G 天井	36.8
k	—	設計震度 (水平方向)	0.944
		設計震度 (鉛直方向)	0.605
M _壁	kN・m	壁下端の曲げモーメント	17.6
M _{天井}	kN・m	天井中央の曲げモーメント	37.7
H	m	壁の高さ	4.55
L	m	天井の長さ	5.11
Q _{壁上}	kN	壁上端のせん断力	11.6
Q _{壁下}	kN	壁下端のせん断力	19.3
Q _{天井}	kN	天井のせん断力	29.5
N _壁	kN	壁の軸力	30.9
N _{天井中央}	kN	天井中央の軸力	29.0
N _{天井端}	kN	天井端部の軸力	46.3
at _壁	mm ² /m	壁の単位幅当たりの必要鉄筋量	348
at _{天井}	mm ² /m	天井の単位幅当たりの必要鉄筋量	695
T _壁	kN/本	壁のアンカー筋 1 本あたりに生じる引張力	25.6
T _{天井}	kN/本	天井のアンカー筋 1 本あたりに生じる引張力	11.6

第 4-9 表 耐震評価に用いる入力値 (2/2)

記号	単位	定義	数値
n	本	壁の単位幅 (1m) 当たりのアンカー筋本数 (曲げモーメント及び引張力)	4
n	本	壁の単位幅 (1m) 当たりのアンカー筋本数 (せん断力)	8
n	本	天井の単位幅 (1m) 当たりのアンカー筋本数	4
j	mm	応力中心距離	195
d	mm	部材の有効せい	223
$Q_{a \text{ 壁}}$	kN/本	壁のアンカー筋 1 本あたりに生じるせん断力	2.42
$Q_{a \text{ 天井}}$	kN/本	天井アンカー筋 1 本あたりに生じるせん断力	7.38
$\tau_{\text{壁上}}$	N/mm ²	壁上端のせん断応力度	0.0387
$\tau_{\text{壁下}}$	N/mm ²	壁下端のせん断応力度	0.0644
$\tau_{\text{天井}}$	N/mm ²	天井のせん断応力度	0.0984
A	mm ²	壁及び天井の断面積	300,000
σ_c	N/mm ²	コンクリートの圧縮縁応力度	2.16
T'	kN	引張側アンカー筋に生じる引張力	90.1
x_n	mm	中立軸から圧縮縁までの距離	83.6
b	mm	単位幅	1,000

5. 健全性評価結果

健全性評価結果を第5-1表に示す。

Ss地震時における壁及び天井に生じる応力度又は荷重が許容限界を超えず、各部材が耐震健全性を有することを確認した。

第5-1表 健全性評価結果

部位	使用材料		①発生応力度 ^(注1)	②許容限界 ^(注2)	検定値 (①/②)
壁	鉄筋	軸力及び 曲げモーメント	348 (mm ² /m)	794 (mm ² /m)	0.44
	コンクリート	せん断力 (上端)	3.87×10^{-2} (N/mm ²)	1.18 (N/mm ²)	0.04
		せん断力 (下端)	6.44×10^{-2} (N/mm ²)	1.18 (N/mm ²)	0.06
		軸力	2.16 (N/mm ²)	15.6 (N/mm ²)	0.14
	アンカー筋	軸力及び 曲げモーメント	25.6 (kN/本)	40.4 (kN/本)	0.64
		せん断力	2.42 (kN/本)	41.0 (kN/本)	0.06
天井	鉄筋 ^(注3)	軸力及び 曲げモーメント	695 (mm ² /m)	1,589 (mm ² /m)	0.44
	鉄筋 ^(注4)	軸力及び 曲げモーメント	313 ^(注5) (mm ² /m)	794 (mm ² /m)	0.40
	コンクリート	せん断力	9.84×10^{-2} (N/mm ²)	1.18 (N/mm ²)	0.09
	アンカー筋	軸力及び 曲げモーメント	11.6 (kN/本)	23.4 (kN/本)	0.50
		せん断力	7.38 (kN/本)	26.1 (kN/本)	0.29

(注1) 鉄筋は必要鉄筋量、アンカー筋は1本あたりの発生荷重を示す。

(注2) 鉄筋は設計配筋量を示す。

(注3) 蓄電池室(3系統目)NS方向中央部下端筋

(注4) その他

(注5) 蓄電池室(3系統目)と計装電源盤室(3系統目)のスパン比(3.35/5.11)より、

$$M = (3.35/5.11)^2 \cdot M_{\text{天井中央}} = 16.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$N = 3/8 \cdot K_{\text{SH壁}} + (3.35/5.11) \cdot 1/2 K_{\text{SH天井}} = 23.0 \text{ kN}$$

$$a_t = 1.0 \cdot M/(f_t \cdot j) + 0.4 \cdot N/f_t = 313 \text{ mm}^2$$