

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-027-10-77 改 02
提出年月日	2023年4月21日

蓄電池の耐震性についての計算書に関する補足説明資料

2023年4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. 蓄電池架台評価.....	1
2.1 構造概要.....	1
2.2 蓄電池固定方法.....	4
2.3 代表蓄電池の選定.....	6
2.4 適用規格・基準等.....	6
2.5 記号の説明.....	7
2.6 評価方針.....	8
3. 評価部位及び評価方法.....	9
3.1 蓄電池架台の評価部位及び評価方法.....	9
3.1.1 柱 (①)	9
3.1.2 長側枠 (②)	10
3.1.3 短側枠 (③)	11
3.1.4 電池台 (④)	12
3.1.5 受梁 (⑤)	13
4. 固有周期.....	14
4.1 固有周期の確認.....	14
5. 構造強度評価.....	14
5.1 荷重の組合せ及び許容応力.....	14
5.1.1 荷重の組合せ及び許容応力状態.....	14
5.1.2 許容応力.....	14
5.1.3 使用材料の許容応力評価条件.....	14
5.2 設計用地震力.....	17
5.3 計算方法.....	18
5.3.1 柱 (①)	18
5.3.2 長側枠 (②)	19
5.3.3 短側枠 (③)	20
5.3.4 電池台 (④)	20
5.3.5 受梁 (⑤)	21
5.4 計算条件.....	23
5.4.1 蓄電池架台の応力計算条件.....	23
5.5 応力の評価.....	23
5.5.1 蓄電池架台の応力評価.....	23
6. 評価結果.....	25
6.1 重大事故等対処施設としての評価結果.....	25

1. 概要

本資料は、蓄電池の耐震性に関連して、蓄電池を設置する架台の構造強度について説明するものである。蓄電池架台の評価においては、代表蓄電池を選定して、地震力により蓄電池架台の各構成部材に生じる応力が許容限界内に収まることを確認する。

工認添付書類の関連図書を表 1-1 に示す。

表 1-1 工認添付書類の関連図書

図書番号	図書名称
VI-2-10-1-2-3-7	緊急用直流 115V 蓄電池の耐震性についての計算書
VI-2-10-1-2-3-8	緊急用直流 60V 蓄電池の耐震性についての計算書
VI-2-10-1-3-5	230V 系蓄電池 (RCIC) の耐震性についての計算書
VI-2-10-1-3-6	A-115V 系蓄電池の耐震性についての計算書
VI-2-10-1-3-7	B-115V 系蓄電池の耐震性についての計算書
VI-2-10-1-3-8	B1-115V 系蓄電池 (SA) の耐震性についての計算書
VI-2-10-1-3-9	SA 用 115V 系蓄電池の耐震性についての計算書
VI-2-10-1-3-10	高圧炉心スプレイ系蓄電池の耐震性についての計算書
VI-2-10-1-3-11	原子炉中性子計装用蓄電池の耐震性についての計算書

2. 蓄電池架台評価

2.1 構造概要

蓄電池架台の鳥瞰図を図 2-1 に、正面図、上面図、右側面図を図 2-2 から図 2-4 に示す。

蓄電池架台は、柱 (①)、長側枠 (②)、短側枠 (③)、電池台 (④)、受梁 (⑤) で構成される。



(単位：mm)

図 2-1 蓄電池架台の鳥瞰図



図 2-2 蓄電池架台の正面図

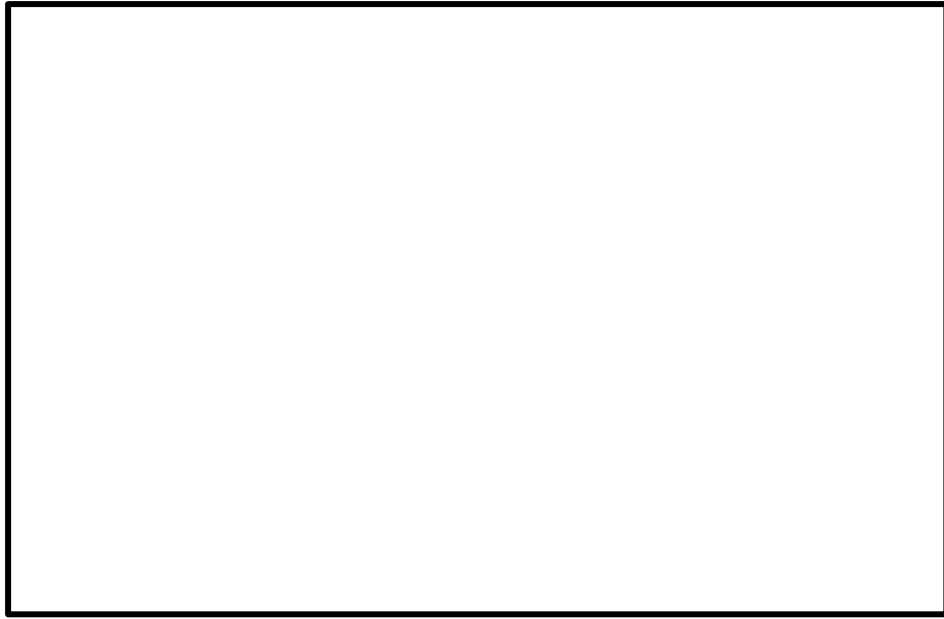


図 2-3 蓄電池架台の上面図

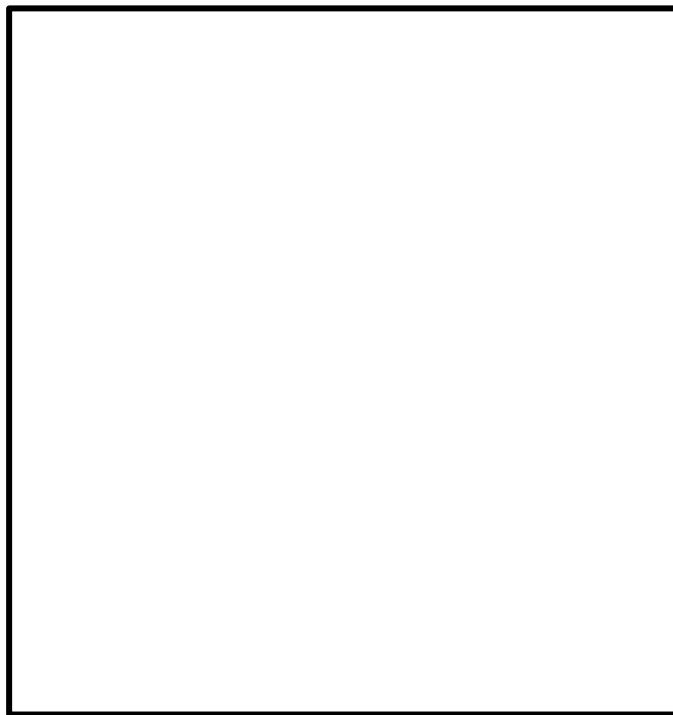


図 2-4 蓄電池架台の右側面図

2.2 蓄電池固定方法

蓄電池は四方側面を鋼材で直接押さえることで架台に固定している。

蓄電池は、前後方向について、架台背面側の長側枠を固定とし、前面側の長側枠を蓄電池と隙間無く密着して固定しており、左右方向について、架台外側の短側枠を固定とし、中央枠を蓄電池と隙間無く密着して固定している。

なお、蓄電池は架台に対して鉛直方向には固定されていないが、表 1-1 に示す蓄電池について、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づく設計用震度 I (基準地震動 S_s) の鉛直方向の震度は表 2-1 に示すとおり、いずれも 1 未満であるため、蓄電池の浮き上がりは生じない。

蓄電池架台の固定概要図を図 2-5 に示す。

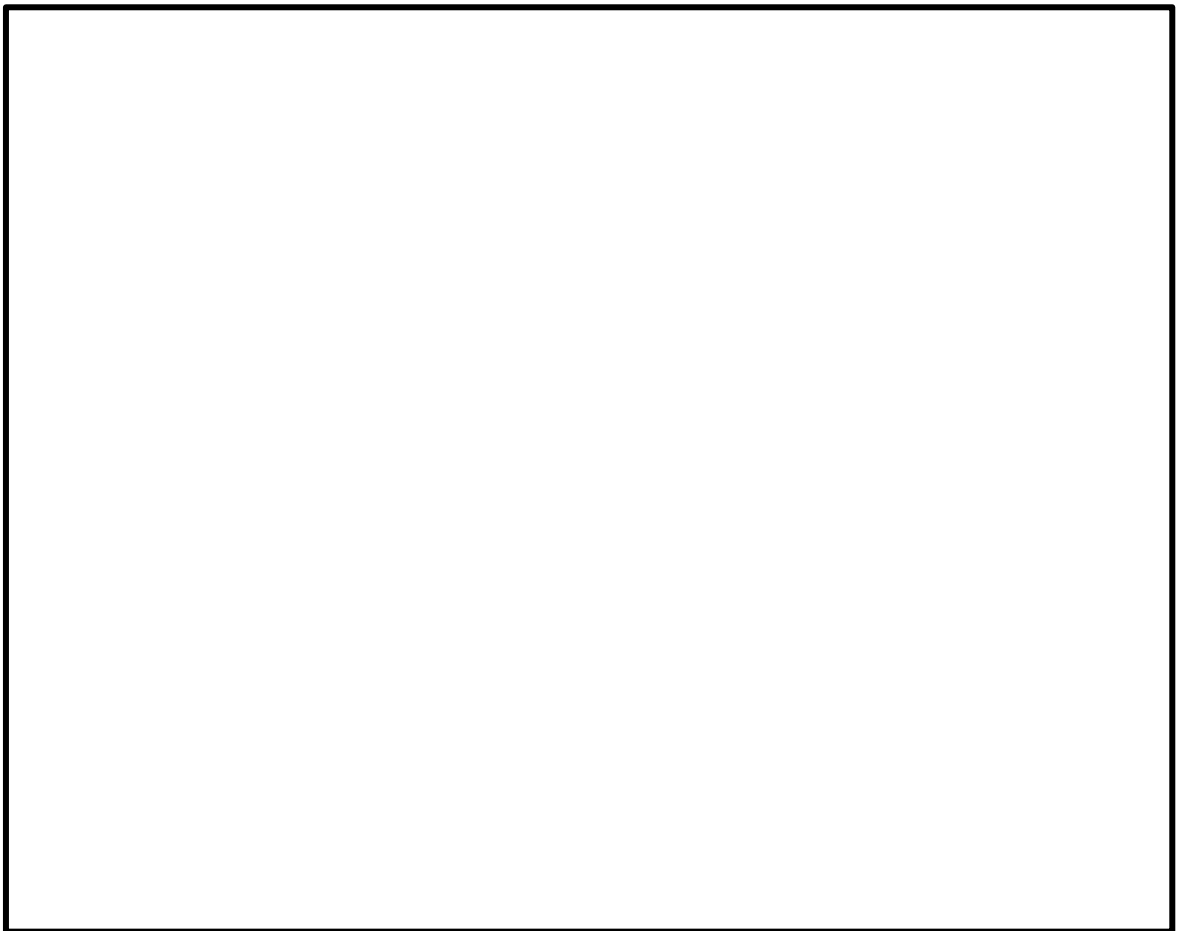


図 2-5 蓄電池架台の固定概要図

表 2-1 蓄電池据付場所における鉛直方向の設計用震度 I (基準地震動 S s)

設備名称	据付場所及び床面高さ (m)	設計用震度 I (鉛直方向) (基準地震動 S s)
緊急用直流 115V 蓄電池	ガスタービン発電機建物 EL 47.5	0.61
緊急用直流 60V 蓄電池	ガスタービン発電機建物 EL 47.5	0.61
230V 系蓄電池 (RCIC)	廃棄物処理建物 EL 12.3	0.70
A-115V 系蓄電池	廃棄物処理建物 EL 15.3 (EL 16.9)	0.81
B-115V 系蓄電池	廃棄物処理建物 EL 12.3	0.70
B1-115V 系蓄電池 (SA)	廃棄物処理建物 EL 12.3	0.70
SA 用 115V 系蓄電池	廃棄物処理建物 EL 15.3 (EL 16.9)	0.81
高圧炉心スプレイ系蓄電池	原子炉建物 EL 2.8 (EL 8.8)	0.64
原子炉中性子計装用蓄電池	廃棄物処理建物 EL 16.9, 12.3	0.81

2.3 代表蓄電池の選定

蓄電池架台の構造強度の確認に際して、耐震評価上厳しいと考えられる蓄電池を代表として、耐震評価を行う。代表蓄電池の選定にあたっては、以下を考慮する。

- ・蓄電池架台の構造
- ・蓄電池搭載時の総質量
- ・設計震度

蓄電池架台の構造について、柱、長側枠、短側枠、電池台、受梁で構成される点は、どの蓄電池架台についても同様であるため、蓄電池総質量が大きく、その中でも設計震度が大きいSA用115V系蓄電池を評価対象として選定する。

また、SA用115V系蓄電池において蓄電池架台は4個並び2段1列、3個並び2段1列、2,3個並び2段1列の3種類ある。最も重心高さが高く、最も総質量の大きい4個並び2段1列を代表蓄電池として評価する。

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	鋼材の断面積	mm ²
A _f	圧縮フランジの断面積	mm ²
C	許容曲げ応力の計算に使用する係数	-
C _H	水平方向設計震度	-
C _V	鉛直方向設計震度	-
E	縦弾性係数	MPa
F [*]	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F _x	鋼材に水平方向に作用する荷重 (x 方向)	N
F _y	鋼材に鉛直方向に作用する荷重	N
f _b , f _{b'} , f _{b1} , f _{b2}	許容曲げ応力	MPa
f _s	許容せん断応力	MPa
f _t	許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h	据付面から重心までの距離	mm
H	梁のせい	mm
i, i _x , i _y	鋼材の断面二次半径	mm
l _b	支点間距離	mm
l _k	座屈長さ	mm
m	蓄電池 1 個あたりの質量	kg
m ₁	受梁 (⑤) が支持する電池台 (④) の質量	kg
m ₂	各鋼材の質量	kg
M, M _x , M _y , M _z	鋼材に作用する曲げモーメント	N・mm
n	鋼材が支持する蓄電池個数	-
Q, Q _x , Q _y , Q _z	鋼材に作用するせん断力	N
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
W	蓄電池架台込総質量	kg
w	鋼材に作用する等分布荷重	N/mm
w _x , w _{x1} , w _{x2}	鋼材に水平方向に作用する等分布荷重 (x 方向)	N/mm
w _y	鋼材に鉛直方向に作用する等分布荷重	N/mm
w _z	鋼材に水平方向に作用する等分布荷重 (z 方向)	N/mm
Z	鋼材の断面係数	mm ³

記号	記号の説明	単位
Λ	限界細長比	-
λ	有効細長比	-
ν	座屈に対する安全率	-
π	円周率	-
σ_b	鋼材に生じる曲げ応力	MPa
σ_c	鋼材に生じる引張又は圧縮応力	MPa
σ_w	鋼材に生じる組合せ応力	MPa
τ	鋼材に生じるせん断応力	MPa

2.6 評価方針

蓄電池架台の強度評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3.1 蓄電池架台の評価部位及び評価方法」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で測定した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

蓄電池架台の耐震評価フローを図2-6に示す。

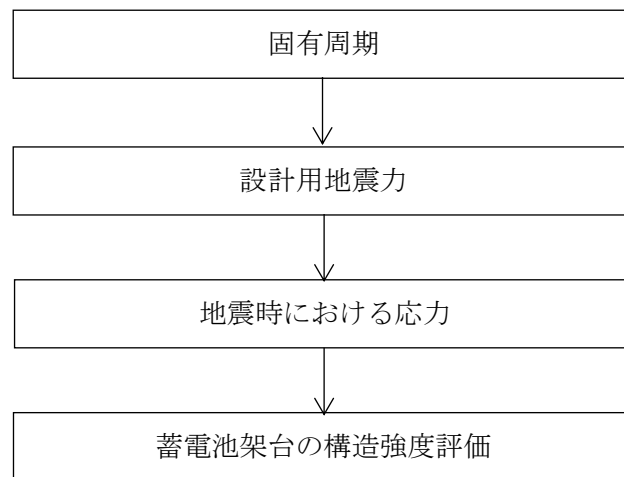


図2-6 蓄電池架台の耐震評価フロー

3. 評価部位及び評価方法

3.1 蓄電池架台の評価部位及び評価方法

蓄電池架台の評価は、3.1.1～3.1.5項に示した部材に対して実施する。

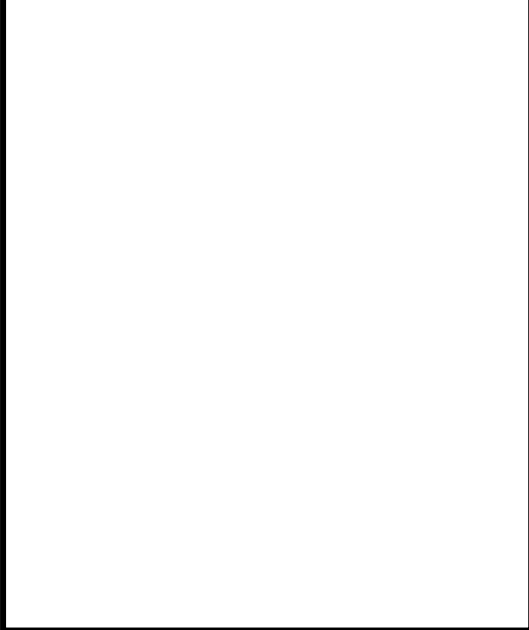
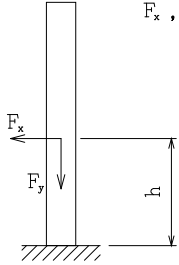
3.1.1 柱 (①)

蓄電池架台における柱 (①) 使用箇所と部材強度評価モデル図を表 3-1 に示す。

部材強度評価方法は以下に示す。

- (1) 荷重は蓄電池架台重心位置に総質量に相当する水平力及び鉛直力が集中荷重として加わり、柱 6 本に対して均等に加わるとし、評価は柱 1 本あたりの強度の計算を行う。
- (2) 地震力は部材に対して、水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。
また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。
- (3) 柱は取付ボルトによりチャンネルベースに固定された固定端とする。
- (4) 強度評価はせん断応力、曲げ応力、引張（圧縮）応力、組合せ応力の計算を行う。
- (5) 重心位置はVI-2-10-1-3-9「SA 用 115V 系蓄電池の耐震性についての計算書」に基づき代表蓄電池と同じ高さを設定する。
- (6) 強度計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

表 3-1 柱 (①) 使用箇所と部材強度評価モデル図

構成部材使用箇所	強度計算モデル
	<p>片持ち梁</p>  <p> F_x, F_y : 柱 1 本あたりに加わる集中荷重 h : 荷重が加わる位置 (架台重心高さ) </p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> <p> 曲げモーメント $M = F_x \times h$ せん断力 $Q = F_x$ </p> </div>

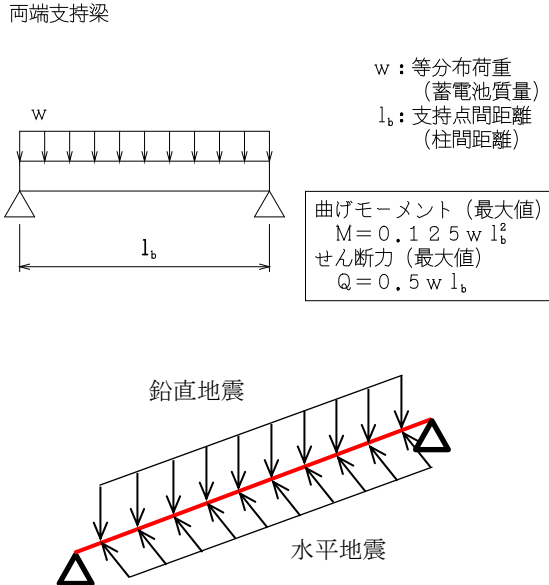
3.1.2 長側枠 (②)

蓄電池架台における長側枠 (②) 使用箇所と部材強度評価モデル図を表 3-2 に示す。

部材強度評価方法は以下に示す。

- (1) 荷重は長側枠に対して蓄電池質量及び長側枠の架台の質量が水平方向及び鉛直方向に均等に等分布荷重で加わるとし、長側枠は正面側 4 本、裏面側 4 本とも同様の構造であるため、評価は長側枠 1 箇所の強度計算を行う。
- (2) 地震力は部材に対して、水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。
- (3) 部材は梁両端の支点をピンとして両端支持梁で計算し、支持間隔は柱間距離とする。
- (4) 強度評価はせん断応力、曲げ応力、組合せ応力の計算を行う。
- (5) 強度計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

表 3-2 長側枠 (②) 使用箇所と部材強度評価モデル図

構成部材使用箇所	強度計算モデル
	<p>両端支持梁</p>  <p> w : 等分布荷重 (蓄電池質量) l_b : 支持点間距離 (柱間距離) </p> <p> 曲げモーメント (最大値) $M = 0.125 w l_b^2$ せん断力 (最大値) $Q = 0.5 w l_b$ </p> <p>鉛直地震</p> <p>水平地震</p>

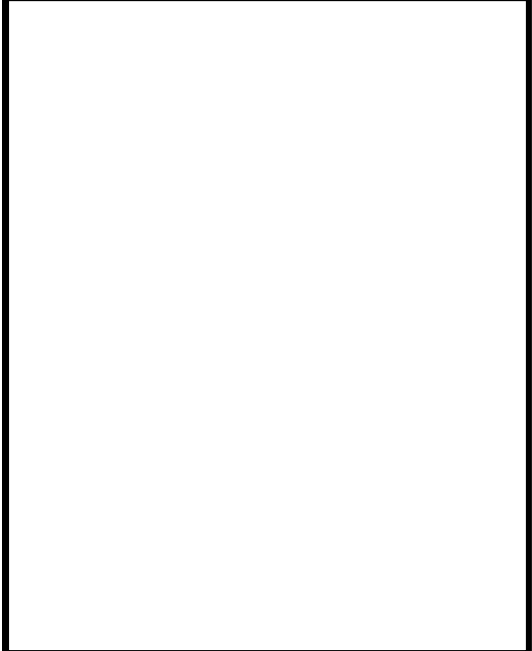
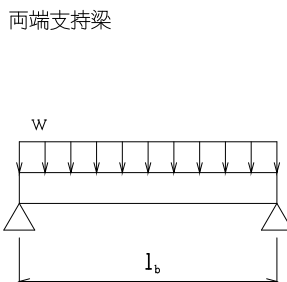
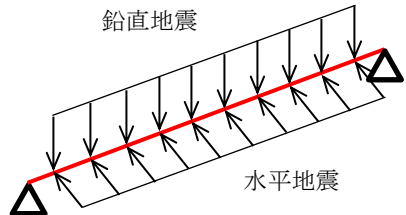
3.1.3 短側枠 (③)

蓄電池架台における短側枠 (③) 使用箇所と部材強度評価モデル図を表 3-3 に示す。

部材強度評価方法は以下に示す。

- (1) 荷重は短側枠に対して蓄電池質量と短側枠の架台の質量が水平方向及び鉛直方向に均等に等分布荷重で加わるものとし、短側枠 4 箇所とも同様の構造であるため、評価は短側枠 1 箇所の強度計算を行う。
- (2) 鋼材が支持する蓄電池個数は安全側に他方の蓄電池 2 個を加えて 4 個が作用するものとする。
- (3) 地震力は部材に対して、水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。
- (4) 部材は梁両端の支点をピンとして両端支持梁で計算し、支持間隔は短側枠の固定ボルト間距離とする。
- (5) 強度評価はせん断応力、曲げ応力、組合せ応力の計算を行う。
- (6) 強度計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

表 3-3 短側枠 (③) 使用箇所と部材強度評価モデル図

構成部材使用箇所	強度計算モデル
	<p>両端支持梁</p>  <p> w : 等分布荷重 (蓄電池質量) l_b : 支持点間距離 (柱間距離) </p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> <p> 曲げモーメント (最大値) $M = 0.125 w l_b^2$ せん断力 (最大値) $Q = 0.5 w l_b$ </p> </div>
	<p>鉛直地震</p>  <p>水平地震</p>

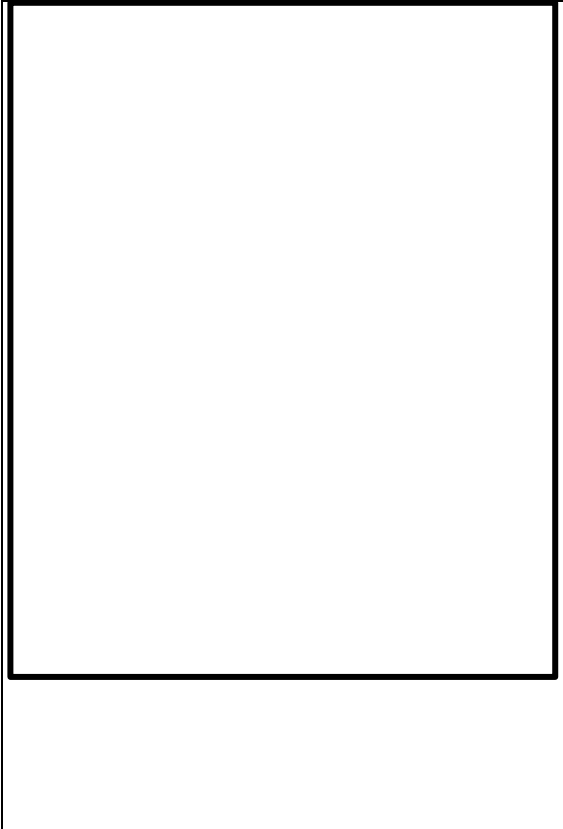
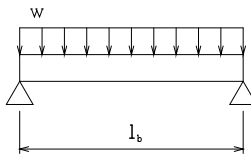
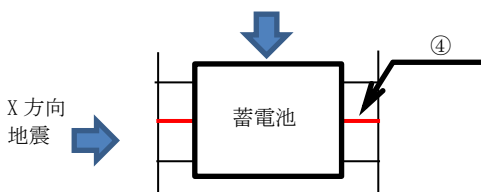
3.1.4 電池台 (④)

蓄電池架台における電池台 (④) 使用箇所と部材強度評価モデル図を表 3-4 に示す。

部材強度評価方法は以下に示す。

- (1) 鉛直方向の荷重は電池台に対して蓄電池質量及び電池台の質量が均等に等分布荷重で加わり，電池台上下段とも同様の構造であるため，評価は電池台 3 本に対して均等に加わるものとして，1 本あたりの強度の計算を行う。
- (2) 水平方向の評価は電池台の質量による荷重が作用するものとして，1 本あたりの強度の計算を行う。
- (3) 電池台は蓄電池架台正面より見て左右対称構造であり，左右それぞれで蓄電池 2 個を支持しているため，評価は片一方のみを対象として行う。
- (4) 地震力は部材に対して，水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。
また，水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには，絶対値和を適用する。
- (5) 部材は梁両端の支点をピンとして両端支持梁で計算するものとし，支持間隔は電池台の固定ボルト間距離とする。
- (6) 強度評価はせん断応力，曲げ応力，組合せ応力の計算を行う。
- (7) 強度計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

表 3-4 電池台 (④) 使用箇所と部材強度評価モデル図

構成部材使用箇所	強度計算モデル
	<p>両端支持梁</p> <p>荷重方向：鉛直 w：等分布荷重 (蓄電池質量) l_b：支持点間距離 (柱間距離)</p>  <p>曲げモーメント (最大値) $M = 0.125 w l_b^2$ せん断力 (最大値) $Q = 0.5 w l_b$</p> <p>荷重方向：水平</p> <p>Z 方向地震</p>  <p>X 方向地震</p> <p>蓄電池</p> <p>④</p>

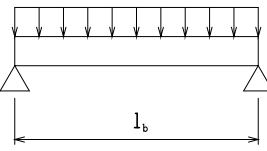
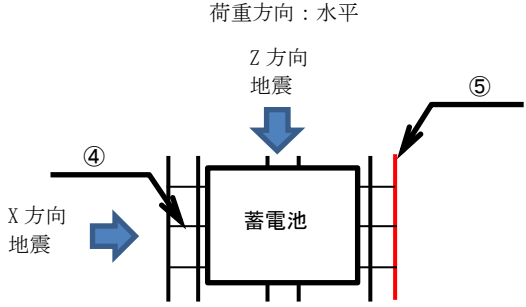
3.1.5 受梁 (⑤)

蓄電池架台における受梁 (⑤) 使用箇所と部材強度評価モデル図を表 3-5 に示す。

部材強度評価方法は以下に示す。

- (1) 荷重は受梁に対して蓄電池質量及び電池台質量が鉛直方向に均等に等分布荷重で加わり，受梁 6 本に対して均等に加わるとし，評価は受梁 1 本あたりの強度の計算を行う。
- (2) 水平方向の評価は電池台の質量及び受梁の質量による荷重が作用するものとして，1 本あたりの強度の計算を行う。
- (3) 地震力は部材に対して，水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。
また，水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには，絶対値和を適用する。
- (4) 部材は梁両端の支点をピンとして両端支持梁で計算し，支持間隔は柱間距離とする。
- (5) 強度評価はせん断応力，曲げ応力，組合せ応力の計算を行う。
- (6) 強度計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

表 3-5 受梁 (⑤) 使用箇所と部材強度評価モデル図

構成部材使用箇所	強度計算モデル
	<p>両端支持梁</p> <p>荷重方向：鉛直</p> <p>w：等分布荷重 (蓄電池質量，電池台質量)</p> <p>l_b：支持点間距離 (柱間距離)</p>  <p>曲げモーメント (最大值) $M = 0.125 w l_b^2$</p> <p>せん断力 (最大值) $Q = 0.5 w l_b$</p> <p>荷重方向：水平</p> <p>Z 方向地震</p> <p>X 方向地震</p> 

4. 固有周期

4.1 固有周期の確認

蓄電池架台の固有周期は、VI-2-10-1-3-9「SA用115V系蓄電池の耐震性についての計算書」に基づき、剛構造であることを確認している。

5. 構造強度評価

5.1 荷重の組合せ及び許容応力

5.1.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

蓄電池架台の荷重の組合せ及び許容応力状態は、VI-2-10-1-3-9「SA用115V系蓄電池の耐震性についての計算書」に基づき、代表蓄電池と同じ設定とする。

5.1.2 許容応力

蓄電池架台の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表5-1のとおりとする。

5.1.3 使用材料の許容応力評価条件

蓄電池架台の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処施設の評価に用いるものを表5-2に示す。

表 5-1 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)			
	一次応力			
	引張	せん断	圧縮	曲げ
IVAS				
VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-2 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
H形鋼 (柱 (①))	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
溝形鋼 (長側枠 (②), 短側枠 (③), 受梁 (⑤))	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—
角形鋼管 (電池台 (④))	STKR400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—

5.2 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-3 に示す。

設計用地震力は、VI-2-10-1-3-9「SA 用 115V 系蓄電池の耐震性についての計算書」に基づき代表蓄電池と同じ地震力を設定する。

表 5-3 設計用地震力

機器名称	据付場所 及び 床面高さ (m)	基準地震動 S_s	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
SA 用 115V 系蓄電池 (4 個並び 2 段 1 列)	廃棄物処理建物 EL 15.3 (EL 16.9 ^{*1})	$C_H=2.48^{*2}$	$C_V=1.47^{*2}$

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 ）を上回る設計震度

5.3 計算方法

5.3.1 柱 (①)

(1) 曲げ応力, せん断応力

柱には架台重心より水平力が加わるものとして, 柱 1 本あたりに加わる力 F_x は架台重心による力が柱 6 本に均等に加わるものとして計算する。

$$F_x = \frac{W \cdot g \cdot C_H}{6} \dots\dots\dots (5.3.1.1)$$

柱の荷重は重心位置で受けるものとして, 曲げモーメント M , せん断力 Q , せん断応力 τ , 曲げ応力 σ_b は以下のように表される。

$$M = F_x \cdot h \dots\dots\dots (5.3.1.2)$$

$$Q = F_x \dots\dots\dots (5.3.1.3)$$

$$\tau = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (5.3.1.4)$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots (5.3.1.5)$$

(2) 引張 (圧縮) 応力

柱には架台重心より引張 (圧縮) 力 F_y が柱 6 本に均等に加わるものとして引張 (圧縮) 応力 σ_c を計算する。

$$F_y = \frac{W \cdot g \cdot (1 + C_V)}{6} \dots\dots\dots (5.3.1.6)$$

$$\sigma_c = \frac{F_y}{A} \dots\dots\dots (5.3.1.7)$$

(3) 組合せ応力

a. 垂直応力とせん断応力の組合せ

$$\sigma_w = \sqrt{(\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (5.3.1.8)$$

b. 圧縮力と曲げモーメントの組合せ

圧縮力と曲げモーメントを受ける柱の組合せ応力は, 式 (5.3.1.9), (5.3.1.10) を満足することを確認する。ただし, 式 (5.3.1.10) については, 許容引張応力 f_t が許容曲げ応力 f_b' 以上であること, σ_c/f_t を減じていることから, 式 (5.3.1.9) に代表する。

$$\frac{\sigma_b}{f_b'} + \frac{\sigma_c}{f_c} \leq 1 \dots\dots\dots (5.3.1.9)$$

かつ

$$\frac{\sigma_b - \sigma_c}{f_t} \leq 1 \dots\dots\dots (5.3.1.10)$$

5.3.2 長側枠 (②)

(1) 曲げ応力, せん断応力

長側枠には鋼材に作用する等分布荷重が水平方向及び鉛直方向に加わるものとして計算する。曲げモーメント図及びせん断力図は、最も厳しい条件として図5-1で考える。

水平方向に作用する荷重

$$w_x = \frac{(m \cdot n + m_2) \cdot g \cdot C_H}{l_b} \dots\dots\dots (5.3.2.1)$$

曲げモーメント

$$M_x = 0.125 \cdot w_x \cdot l_b^2 \dots\dots\dots (5.3.2.2)$$

せん断力

$$Q_x = 0.5 \cdot w_x \cdot l_b \dots\dots\dots (5.3.2.3)$$

鉛直方向に作用する荷重

$$w_y = \frac{m_2 \cdot g \cdot (1 + C_V)}{l_b} \dots\dots\dots (5.3.2.4)$$

曲げモーメント

$$M_y = 0.125 \cdot w_y \cdot l_b^2 \dots\dots\dots (5.3.2.5)$$

せん断力

$$Q_y = 0.5 \cdot w_y \cdot l_b \dots\dots\dots (5.3.2.6)$$

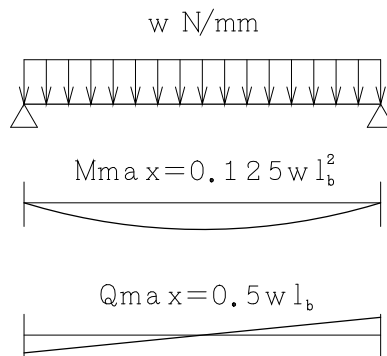


図5-1 曲げモーメント図及びせん断力図

ここで、水平方向と鉛直方向を合成して曲げモーメントMとせん断力Qを計算する。せん断応力 τ 、曲げ応力 σ_b は式(5.3.1.4)、(5.3.1.5)により求める。

$$M = M_x + M_y \dots\dots\dots (5.3.2.7)$$

$$Q = \sqrt{(Q_x)^2 + (Q_y)^2} \dots\dots\dots (5.3.2.8)$$

(2) 組合せ応力

$$\sigma_w = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (5.3.2.9)$$

5.3.3 短側枠 (③)

短側枠は長側枠と同様に評価し、5.3.2項の式により求める。

5.3.4 電池台 (④)

(1) 曲げ応力、せん断応力

電池台には鋼材に作用する荷重が等分布荷重として鉛直方向に加わり、電池台3本に均等に加わるものとして計算する。

曲げモーメント図及びせん断力図を図5-1に示す。

鉛直方向に作用する荷重

$$w_y = \frac{(m \cdot n + 3 \cdot m_2) \cdot g \cdot (1 + C_v)}{3 \cdot l_b} \dots\dots\dots (5.3.4.1)$$

曲げモーメント

$$M_y = 0.125 \cdot w_y \cdot l_b^2 \dots\dots\dots (5.3.4.2)$$

せん断力

$$Q_y = 0.5 \cdot w_y \cdot l_b \dots\dots\dots (5.3.4.3)$$

水平方向の評価では、電池台の質量による荷重が加わるものとして計算する。

水平方向に作用する荷重

(電池台の質量による荷重)

$$w_z = \frac{m_2 \cdot g \cdot C_H}{l_b} \dots\dots\dots (5.3.4.4)$$

曲げモーメント

$$M_z = 0.125 \cdot w_z \cdot l_b^2 \dots\dots\dots (5.3.4.5)$$

せん断力

$$Q_z = 0.5 \cdot w_z \cdot l_b \dots\dots\dots (5.3.4.6)$$

ここで、水平方向と鉛直方向を合成して曲げモーメントMとせん断力Qを計算する。せん断応力 τ 、曲げ応力 σ_b は式(5.3.1.4)、(5.3.1.5)により求める。

$$M = M_y + M_z \dots\dots\dots (5.3.4.7)$$

$$Q = \sqrt{(Q_y)^2 + (Q_z)^2} \dots\dots\dots (5.3.4.8)$$

(2) 組合せ応力

組合せ応力 σ_w は式(5.3.2.9)により求める。

5.3.5 受梁 (⑤)

(1) 曲げ応力, せん断応力

受梁には鋼材に蓄電池、電池台及び受梁の質量による鉛直方向に作用する荷重が等分布荷重として加わり、受梁6本に均等に加わるものとして計算する。

曲げモーメント図及びせん断力図は図5-1として、曲げモーメント M_y 、せん断力 Q_y は式(5.3.4.2)、(5.3.4.3)により求める。

鉛直方向に作用する荷重

$$w_y = \frac{(m \cdot n + m_1 + 6 \cdot m_2) \cdot g \cdot (1 + C_v)}{6 \cdot l_b} \dots\dots\dots (5.3.5.1)$$

水平方向の評価では、受梁の質量及び電池台の質量による荷重が加わるものとして計算する。

水平方向に作用する荷重

(受梁の質量による荷重)

$$w_{x1} = \frac{m_2 \cdot g \cdot C_H}{l_b} \dots\dots\dots (5.3.5.2)$$

(電池台の質量による荷重)

$$w_{x2} = \frac{m_1 \cdot g \cdot C_H}{6 \cdot l_b} \dots\dots\dots (5.3.5.3)$$

曲げモーメント

$$M_x = 0.125 \cdot (w_{x1} + w_{x2}) \cdot l_b^2 \dots\dots\dots (5.3.5.4)$$

せん断力

$$Q_x = 0.5 \cdot (w_{x1} + w_{x2}) \cdot l_b \dots\dots\dots (5.3.5.5)$$

ここで、水平方向と鉛直方向を合成して曲げモーメントMとせん断力Qを計算する。せん断応力 τ , 曲げ応力 σ_b は式 (5.3.1.4) , (5.3.1.5) により求める。

$$M = M_x + M_y \dots\dots\dots (5.3.5.6)$$

$$Q = \sqrt{(Q_x)^2 + (Q_y)^2} \dots\dots\dots (5.3.5.7)$$

(2) 組合せ応力

組合せ応力 σ_w は式 (5.3.2.9) により求める。

5.4 計算条件

5.4.1 蓄電池架台の応力計算条件

蓄電池架台の応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【SA用115V系蓄電池架台の強度計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5 応力の評価

5.5.1 蓄電池架台の応力評価

5.3項で求めた蓄電池架台にかかるせん断応力 τ は表5-4に示す許容せん断応力 f_s 以下であること。

圧縮応力 σ_c は表5-4に示す許容圧縮応力 f_c 以下であること。

組合せ応力（垂直応力とせん断応力） σ_w は表5-4に示す許容引張応力 f_t 以下であること。

曲げ応力 σ_b は次式より求めた許容曲げ応力 $f_{b'}$ 以下であること。ただし、 f_b は表5-4による。

また、組合せ応力（圧縮力と曲げモーメント）が式(5.3.1.9)を満足すること。

(1) H形鋼の場合

$$f_{b1} = \left(1 - \frac{0.4 \cdot l_b^2}{C \cdot \Lambda^2 \cdot i^2}\right) \cdot \frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5 \dots\dots\dots (5.5.1.1)$$

なお、限界細長比 Λ は次式により求め、係数 C は許容応力を小さくなるように安全側に最小値の $C = 1$ として計算する。

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \dots\dots\dots (5.5.1.2)$$

$$f_{b2} = 1.5 \cdot \frac{0.433 \cdot E \cdot A_f}{l_b \cdot H} \dots\dots\dots (5.5.1.3)$$

$$f_{b'} = \text{Min} (\text{Max} (f_{b1}, f_{b2}), f_t) \dots\dots\dots (5.5.1.4)$$

(2) 溝形鋼の場合

$$f_{b'} = \text{Min} \left(1.5 \cdot \frac{0.433 \cdot E \cdot A_f}{l_b \cdot H}, f_t\right) \dots\dots\dots (5.5.1.5)$$

表5-4 許容応力

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_s	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容引張応力 f_t	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_c	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{\nu} \cdot 1.5$

許容圧縮応力は以下の式を用いて計算する。なお、限界細長比 Λ は式(5.5.1.2)により求める。

$$\lambda = \frac{l_k}{i} \dots\dots\dots (5.5.1.6)$$

$$\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (5.5.1.7)$$

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処施設としての評価結果

蓄電池架台の重大事故等対処施設としての強度評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【SA用115V系蓄電池架台の強度計算結果】

1. 重大事故等対処施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
SA用115V系蓄電池 (4個並び2段1列)	常設耐震/防止 常設/緩和	廃棄物処理建物 EL 15.3 (EL 16.9 ^{*1})	C _H =2.48 ^{*2}	C _V =1.47 ^{*2}	40

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) を上回る設計震度

1.2 機器要目 (1/2)

部材	鋼材仕様	W (kg)	m (kg)	m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	h (mm)	H (mm)	i (mm)	l _b (mm)	l _k (mm)	A (mm ²)	A _f (mm ²)	Z (mm ³)	n
柱 (①)	H形鋼 125×125×6.5		—	—	—	683	125	31.3 ^{*2}	1150	2415	3000	1125	4.69×10 ⁴	—
長側枠 (②)	溝形鋼 100×50×5	—	220 ^{*1}	—	7 ^{*1}	—	100	—	537.5	—	1192	375	7.52×10 ³	2
短側枠 (③)	溝形鋼 100×50×5	—	220 ^{*1}	—	9 ^{*1}	—	100	—	761	—	1192	375	7.52×10 ³	4
電池台 (④)	角形鋼管 75×45×3.2	—	220 ^{*1}	—	6 ^{*1}	—	—	—	489.5	—	700.7	—	1.01×10 ⁴	2
受梁 (⑤)	溝形鋼 75×40×5	—	220 ^{*1}	40 ^{*1}	7 ^{*1}	—	75	—	711	—	881.8	280	4.47×10 ³	4

注記*1: 質量を保守的な質量に設定して評価する。

*2: $i = \text{Min}[i_x, i_y]$

1.2 機器要目 (2/2)

部材	E (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F [*] (MPa)
柱 (①)	2.02×10 ⁵	245 (厚さ≦16mm)	400 (厚さ≦16mm)	280
長側枠 (②)	2.02×10 ⁵	245 (厚さ≦16mm)	400 (厚さ≦16mm)	280
短側枠 (③)	2.02×10 ⁵	245 (厚さ≦16mm)	400 (厚さ≦16mm)	280
電池台 (④)	2.02×10 ⁵	245 (厚さ≦16mm)	400 (厚さ≦16mm)	280
受梁 (⑤)	2.02×10 ⁵	245 (厚さ≦16mm)	400 (厚さ≦16mm)	280

27

1.3 計算数値

1.3.1 蓄電池架台に作用する力とモーメント

部材	M (N・mm)	Q (N)	F _y (N)
	基準地震動 S _s	基準地震動 S _s	基準地震動 S _s
柱 (①)			
長側枠 (②)			
短側枠 (③)			
電池台 (④)			
受梁 (⑤)			

1.4 結論

1.4.1 蓄電池架台の応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S _s		備考
			算出応力	許容応力	
柱 (①)	SS400	せん断	$\tau = 3$	$f_s = 161$	—
		曲げ	$\sigma_b = 134$	$f_{b'} = 280$	—
		圧縮	$\sigma_c = 3$	$f_c = 182$	—
		組合せ (垂直+せん断)	$\sigma_w = 137$	$f_t = 280$	—
		組合せ (圧縮+曲げ)	0.50	1	単位無し
長側枠 (②)	SS400	せん断	$\tau = 5$	$f_s = 161$	—
		曲げ	$\sigma_b = 99$	$f_{b'} = 280$	—
		組合せ	$\sigma_w = 99$	$f_t = 280$	—
短側枠 (③)	SS400	せん断	$\tau = 9^*$	$f_s = 161$	—
		曲げ	$\sigma_b = 277^*$	$f_{b'} = 280$	—
		組合せ	$\sigma_w = 277^*$	$f_t = 280$	—
電池台 (④)	STKR400	せん断	$\tau = 3$	$f_s = 161$	—
		曲げ	$\sigma_b = 24$	$f_{b'} = 280$	—
		組合せ	$\sigma_w = 24$	$f_t = 280$	—
受梁 (⑤)	SS400	せん断	$\tau = 3$	$f_s = 161$	—
		曲げ	$\sigma_b = 84$	$f_{b'} = 280$	—
		組合せ	$\sigma_w = 84$	$f_t = 280$	—

注記*：保守的に蓄電池4個分の質量を考慮して応力を算出している。
すべて許容応力以下である。