

本資料のうち、枠囲みの内容は防
護上の観点から公開できません。

※なお、本資料は抜粋版のため、防護
上の観点から公開できない箇所はあ
りません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0457_改3
提出年月日	2021年11月12日

02-工-B-19-0457_改2 (2021年11月10日提出) からの
変更箇所のみ抜粋

VI-2-11-2-22 防護設備（防潮堤（鋼管式鉛直壁））の

耐震性についての計算書

2021年11月

東北電力株式会社

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	6
2.3 評価方針	8
2.4 適用規格・基準等	9
3. 評価部位	10
4. 固有周期の評価	13
4.1 鋼製ブラケット	13
4.2 L型擁壁	15
4.3 防護柵	17
4.4 歩廊支持材	18
4.5 手摺	19
5. 耐震評価	21
5.1 荷重及び荷重の組合せ	21
5.2 設計用地震力	22
5.3 使用材料	33
5.4 許容限界	34
5.5 評価方法	45
6. 評価結果	72
6.1 鋼製ブラケット	73
6.2 L型擁壁	76
6.3 防護柵	78
6.4 点検通路	79

 : 本日の説明範囲

5.4 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

防護設備が設置されている防潮堤背面補強工は土木構造物に適用されている基準により設計していることから、同様の規格・基準を用いて許容限界を設定する。ただし、上記規格・基準に無い項目については、類似する部材の設計に用いられている日本建築学会等の規格・基準を用いて設定する。

(1) 鋼製ブラケット

a. 鋼製ブラケット本体

鋼材の許容限界は「日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」を踏まえて表 5-6 の値とする。

表 5-6 鋼製ブラケット本体の短期許容応力度

材料	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SM400	210	120

b. アンカーボルト

アンカーボルトの許容荷重は「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

アンカーボルトは躯体に埋め込まれていることから、アンカーボルトが引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる許容荷重 (P_{a1})、コンクリートのコーン状破壊により決まる許容荷重 (P_{a2}) を比較して、いずれか小さい値を採用する。

また、アンカーボルトがせん断力を受ける場合においては、アンカーボルトのせん断強度により決まる許容荷重 (q_{a1})、定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容荷重 (q_{a2}) 及びコーン状破壊により決まる許容荷重 (q_{a3}) を比較して、いずれか小さい値を採用する。

アンカーボルトは六角ボルトと丸鋼を接合する構造となっていることから、アンカーボルトの降伏により決まる許容荷重 (P_{a1}) の算出に当たっては、六角ボルト及びアンカーボルト丸鋼ねじ切り部の短期許容荷重のうち、いずれか小さい値を採用することとする。アンカーボルトの詳細図を図 5-7 に示す。

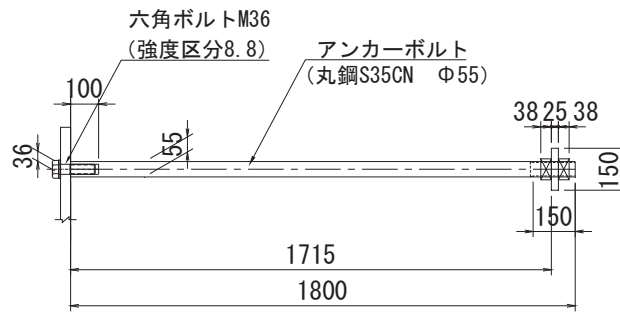


図 5-7 アンカーボルト詳細図

地震荷重を考慮する場合のアンカーボルトの許容荷重の設定に用いる入力値を表 5-7 に、許容荷重を表 5-8 に示す。

引張力を受ける場合

$$P_{a1} = \Phi_1 \cdot s \sigma_{pa} \cdot s_{ca}$$

$$P_{a2} = \Phi_2 \cdot c \sigma_t \cdot A_c$$

ここで、 P_{a1} : アンカーボルトの降伏により決まる場合のアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力 (N)

P_{a2} : 定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により定まる場合のアンカーボルト 1 本当たりの許容引張力 (N)

Φ_1 : 低減係数 (短期荷重用)

Φ_2 : 低減係数 (短期荷重用)

$s \sigma_{pa}$: アンカーボルトの引張強度 ($= s \sigma_y$) (N/mm²)

s_{ca} : アンカーボルトの断面積 (mm²)

$c \sigma_t$: コーン状破壊に対するコンクリートの

引張強度 (N/mm²) ($= 0.31 \sqrt{F_c}$)

A_c : 有効投影面積 (mm²)

せん断力を受ける場合

$$q_{a1} = \Phi_1 \cdot s \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a2} = \Phi_2 \cdot c \sigma_{qa} \cdot s c a$$

$$q_{a3} = \Phi_2 \cdot c \sigma_t \cdot A_{qc}$$

- ここで、
- q_{a1} : アンカーボルトのせん断強度により決まる場合の固定ボルト1本当たりの許容せん断力 (N)
 - q_{a2} : 定着した躯体の支圧強度により決まる場合のアンカーボルト1本当たりの許容せん断力 (N)
 - q_{a3} : 定着した躯体のコーン状破壊により決まる場合のアンカーボルト1本当たりの許容せん断力 (N)
 - Φ_1 : 低減係数 (短期荷重用)
 - Φ_2 : 低減係数 (短期荷重用)
 - $s \sigma_{qa}$: アンカーボルトのせん断強度 ($=0.7 \cdot s \sigma_y$) (N/mm²)
 - $s c a$: アンカーボルトの断面積 (mm²)
 - $c \sigma_{qa}$: コンクリートの支圧強度 (N/mm²)
($=0.5 \sqrt{F_c \cdot E_c}$)
 - $c \sigma_t$: コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度 (N/mm²) ($=0.31 \sqrt{F_c}$)
 - A_{qc} : せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積 (mm²)

表 5-7 アンカーボルトの許容荷重の設定に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
Φ_1	—	低減係数（短期荷重用）	1.0
Φ_2	—	低減係数（短期荷重用）	2/3
$s\sigma_{pa}$	N/mm ²	六角ボルトの許容引張応力度	660
$s\sigma_y$	N/mm ²	六角ボルトの規格降伏点強度	660
$s_c a$	mm ²	六角ボルトの断面積	816.7
$s\sigma_{pa}$	N/mm ²	アンカーボルトの許容引張応力度	305
$s_c a$	mm ²	タップ部の断面積	1559.1
$c\sigma_t$	N/mm ²	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	1.70
A_c	mm ²	有効投影面積	1047528
d_a	mm	アンカーボルトの径	36
$s\sigma_{qa}$	N/mm ²	アンカーボルトのせん断応力度	213.5
$c\sigma_{qa}$	N/mm ²	コンクリートの支圧強度	446.7
A_{qc}	mm ²	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積	277088

表 5-8 地震荷重を考慮する場合のアンカーボルトの短期許容荷重

短期許容荷重 (kN)			
引張			
P_{a1} (固定ボルト部)	P_{a1} (丸鋼ねじ切り部)	P_{a2}	設定値
539.0	475.5	1185.8	475.5

短期許容荷重 (kN)			
せん断			
q_{a1}	q_{a2}	q_{a3}	設定値
174.4	243.2	313.7	174.4

c. スタッドジベル

(a). せん断力を受ける場合

スタッドジベルの許容限界は「日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」を踏まえて表 5-9 の値とする。

スタッドジベルの許容せん断力 Q_a は以下の通り算出される。

$$Q_a = 9.4 \times d^2 \times \sqrt{\sigma_{ck}} = 37156.7$$

ここで Q_a : スタッドジベルの許容せん断力 (N/本)

d : スタッド径 (mm)

σ_{ck} : コンクリート強度 (N/mm²)

表 5-9 スタッドジベルの許容限界

スタッド径 d (mm)	コンクリート強度 σ_{ck} (N/mm ²)	許容せん断力 Q_a (kN/本)
25	40	37.1

(b). 引張力を受ける場合

引張力を受ける場合のスタッドジベルの許容限界は「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

スタッドジベルは躯体に埋め込まれていることから、スタッドジベルが引張力を受ける場合においては、スタッドジベルの降伏により決まる許容荷重 (P_{a1})、コンクリートのコーン状破壊により決まる許容荷重 (P_{a2}) を比較して、いずれか小さい値を採用する。

なお、スタッドジベルは 1 箇所当たり 2 本設置されることから、評価においては 1 箇所当たりで評価を行う。

地震荷重を考慮する場合のスタッドジベルの許容荷重の設定に用いる入力値を表 5-10 に、許容荷重を表 5-11 に示す。

$$P_{a1} = \phi_1 \times c \sigma_{pa} \times s_{ca}$$

$$P_{a2} = \phi_2 \times c \sigma_t \times A_c$$

P_{a1} : スタッドジベルの降伏により決まる場合のスタッドジベル 1 箇所当たりの許容引張力 (kN)

P_{a2} : 定着した躯体のコーン状破壊により決まるスタッドジベル 1 箇所当たりの許容引張力 (kN)

ϕ_1 : 低減係数

ϕ_2 : 低減係数

σ_{pa} : スタッドジベル引張強度 (kN/mm²)

σ_t : コーン状破壊に対するコンクリートの割裂強度 (kN/mm²)

sca : スタッドジベルの断面積 (mm²)

A_c : 有効投影断面積 (mm²)

P_a : スタッドジベル 1 箇所当たりの許容引張力 (kN)

表 5-10 スタッドジベルの許容荷重の設定に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
ϕ_1	—	低減係数 (短期荷重用)	1.0
ϕ_2	—	低減係数 (短期荷重用)	2/3
σ_{pa}	N/mm ²	スタッドジベル引張強度	235
σ_t	N/mm ²	コーン状破壊に対するコンクリートの割裂強度	1.96
sca	mm ²	スタッドジベルの断面積	981.7
A_c	mm ²	有効投影断面積	92623

表 5-11 地震荷重を考慮する場合のスタッドジベルの短期許容荷重

短期許容荷重 (kN)		
引張		
P_{a1}	P_{a2}	P_a
230.7	121.1	121.1

d. 補強ボルト

補強ボルトは作用する引張力及びせん断力も負担するが、評価では保守的にせん断力はスタッドジベルのみで負担すると仮定し、引張力に対して評価する。

補強ボルトの許容限界は「日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」を踏まえて表 5-12 の値とする。

表 5-12 補強ボルトの短期許容応力度

対象	材質	有効断面積 (mm ²)	許容引張応力度* (N/mm ²)	許容引張力 (kN)
補強ボルト	強度区分 8.8	245	540	132.3

注記* : 短期許容応力度は、許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

(2) L型擁壁

L型擁壁の評価に用いる許容限界は、「土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」に基づき、設定する短期許容応力度とする。

L型擁壁の許容限界を表 5-13 に示す。

表 5-13(1) L型擁壁の許容限界（曲げ軸力系の破壊）

材料	許容応力度 (N/mm ²)	短期許容応力度* (N/mm ²)
コンクリート ($f'_{ck}=40$ N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	14
鉄筋 (SD345)	許容引張応力度 σ_{sa}	196

注記*：短期許容応力度は、許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

表 5-13(2) L型擁壁の許容限界（せん断破壊）

項目	許容応力度 (N/mm ²)	短期許容応力度* (N/mm ²)
コンクリート ($f'_{ck}=40$ N/mm ²)	許容せん断応力度 τ_{a1}	0.55

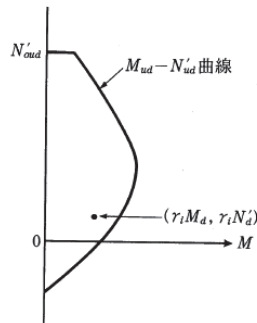
注記*：短期許容応力度は、許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

短期許容応力度による照査を満足しない場合の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、土木学会 2002年 コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕に基づく圧縮耐力及び曲げ耐力とする。圧縮耐力と曲げ耐力の関係を図 5-8 に示す。

また、設計断面耐力は、以下の仮定に基づき行うものとする。

- (1) 維ひずみは、断面の中立軸からの距離に比例する。
- (2) コンクリートの引張応力は無視する。

コンクリートおよび鋼材の応力-ひずみ曲線は図 5-9 に従う。



解説 図 6.2.1 軸方向耐力と曲げ耐力の関係

図 5-8 圧縮耐力と曲げ耐力の関係

(土木学会 2002年 コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕抜粋)

圧縮耐力の上限値 N'_{oud} は、下式により算定する。

$$N'_{oud} = (k_1 f'_{cd} A_c + f'_{yd} A_{st}) / \gamma_b$$

ここに、

k_1 : 強度の低減係数 ($=1-0.003f'_{ck} \leq 0.85$)

f'_{ck} : コンクリート強度の特性値

f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度

A_c : コンクリートの断面積

f'_{yd} : 軸方向鉄筋の設計圧縮降伏強度

A_{st} : 軸方向鉄筋の全断面積

γ_b : 部材係数 ($=1.3$)

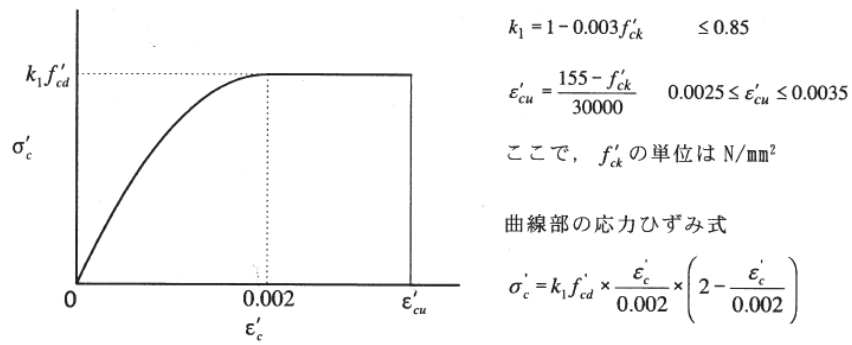


図 3.2.1 コンクリートの応力-ひずみ曲線

(コンクリート)

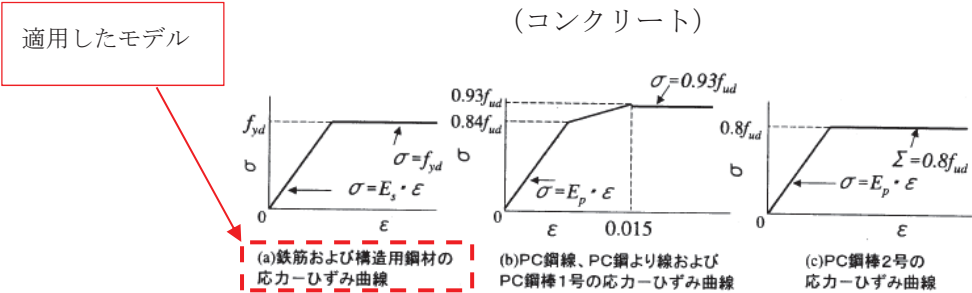


図 3.3.1 鋼材のモデル化された応力-ひずみ曲線

(鋼材)

図 5-9 コンクリートおよび鋼材の応力-ひずみ曲線

(土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] 抜粋)

なお、部材断面のひずみがすべて圧縮となる場合以外は、コンクリートの圧縮応力度の分布を図 5-10 に示す長方形圧縮応力度の分布（等価応力ブロック）と仮定する。

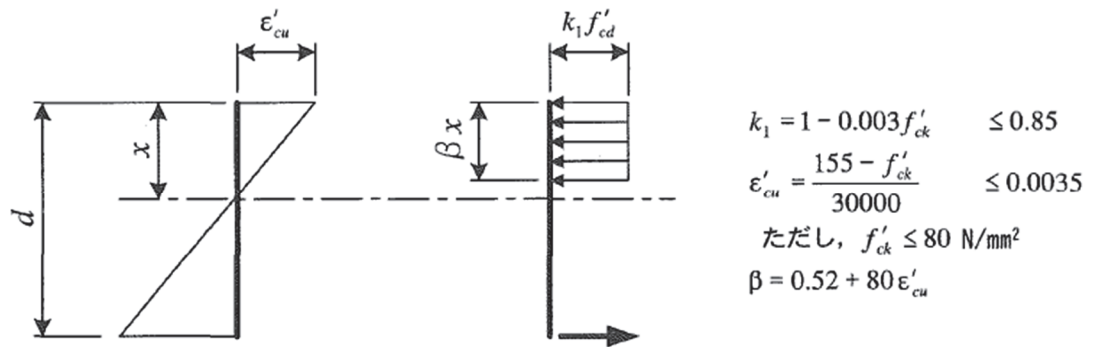


図 6.2.1 等価応力ブロック

図 5-10 等価応力ブロック

(「土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」 抜粋)

(3) 防護柵

防護柵については、重量物を支持しておらず、防護柵自体が基準地震動 S_s の地震力が作用した際に破断し落下することにより上位クラス施設に波及的影響を及ぼすことが考えられる。このため、主柱に大きな変形が生じ耐力が低下する前の変形量を許容限界とする。

「日本建築センター 時刻歴応答解析建築物性能評価業務方法書」において、倒壊、崩壊限界の評価判定クライテリアが部材の塑性率 4 以下とされていることを参照し、主柱の変形量の許容限界の指標として、許容塑性率を 4 と設定する。

また、松田ら^{*1}によると、主柱と類似する鋼管杭について実験を行い、塑性率が 4 程度までは直ちに耐力低下につながらないことが示されている（図 5-11）。

防護柵の許容塑性率を表 5-14 に示す。

注記*1：高レベル地震動履歴を受けた鋼管杭の圧縮耐力について（松田ら，1999）

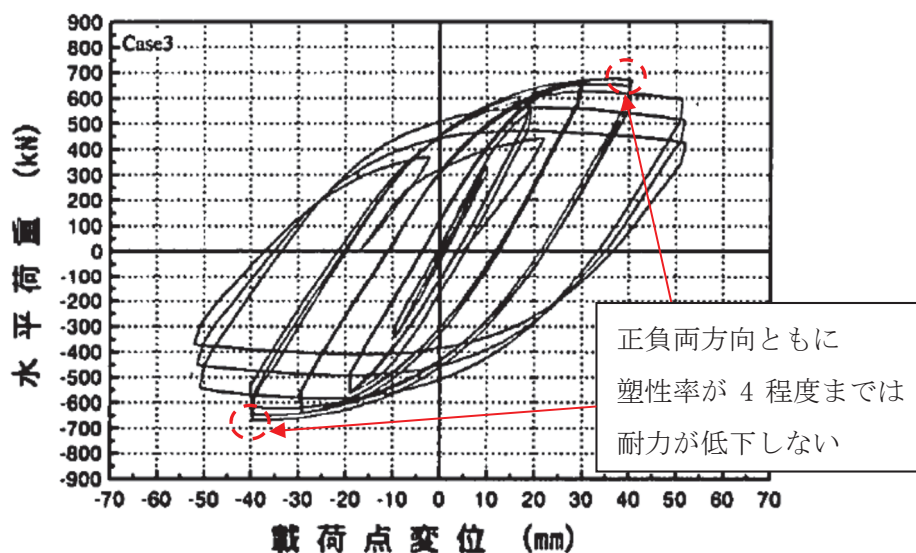


図 5-11 鋼管杭（コンクリート中詰めなし）の水平荷重と載荷点変位の関係

表 5-14 防護柵の許容塑性率

対象	材質	許容塑性率
主柱	STK400	4

せん断力に対する許容限界は、「基本建築基準法関係法令集 建築資料研究社 2006 年版」及び「日本建築学会 2019 年 鋼構造許容応力度設計基準」に基づき設定する。

防護柵のせん断力に対する短期許容応力度を表 5-15 に示す。

表 5-15 防護柵のせん断力に対する短期許容応力度

対象	材質	許容せん断応力度* (N/mm ²)
主柱	STK400	135

注記*：短期許容応力度は，許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

(4) 点検通路

点検通路の許容限界は、「日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」に基づき設定する。

点検通路の短期許容応力度を表 5-16 に示す。

表 5-16 点検通路の短期許容応力度

対象	材質	許容曲げ引張応力度* (N/mm ²)	許容せん断応力度* (N/mm ²)
歩廊支持材	SS400	210	120
手摺支柱	SS400	210	120
アンカーボルト 固定ボルト	強度区分 4.6	210	135

注記*：短期許容応力度は，許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

6.3 防護柵

防護柵の照査結果を表 6-7 に示す。

防護柵支柱の変形量は、塑性率で評価したときの許容塑性率に対して十分な裕度があり、耐力低下に至らない領域であることを確認した。

また、せん断照査についても許容限界に対して十分な裕度があることを確認した。

表 6-7(1) 防護柵の照査結果 (変形量)

曲げモーメント (M_1) (kN・m)	全塑性モーメント (M_p) (kN・m)	塑性率 (a)	許容塑性率 (b)	照査値 (a / b)
3.84	1.83	2.1	4.0	0.53

表 6-7(2) 防護柵の照査結果 (せん断)

評価項目	発生 応力度 (a) (N/mm ²)	許容限界 (b) (N/mm ²)	照査値 (a / b)
せん断応力度	14.4	135	0.11