

東海第二発電所 審査資料	
資料番号	TKK補-III-6 改20
提出年月日	平成30年10月11日

## 東海第二発電所 劣化状況評価

(コンクリート構造物：

コンクリートの強度低下及び遮蔽能力低下

(含む鉄骨の強度低下))

### 補足説明資料

平成30年10月11日

日本原子力発電株式会社

## 目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
3. 評価対象と評価手法	5
(1) 代表構造物の選定	5
(2) 高経年化対策上着目すべき経年劣化事象の抽出	11
(3) 劣化要因毎の評価対象部位の選定結果	14
(4) 評価手法	14
4. 代表構造物の技術評価	16
(1) コンクリートの強度低下	16
(2) コンクリートの遮蔽能力低下	26
(3) 現状保全	27
(4) 総合評価	27
(5) 高経年化への対応	27
5. 代表構造物以外の技術評価	28
6. まとめ	29
(1) 審査基準適合性	29
(2) 保守管理に関する方針として策定する事項	29
別紙 1. 実体顕微鏡観察結果の妥当性確認について	37
別紙 2. 排気筒の疲労評価について	48
別紙 3. 点検マニュアルにおける目視点検の項目、方法及び判定基準について	54
別紙 4. 東海第二周辺地域の凍害危険度について	55
別紙 5. 耐火能力の考え方及び耐火能力が要求されている壁の位置と厚さについて	57
別紙 6. 温度測定の方法、位置及び結果について	101
別紙 7. 震災影響評価について	103
別紙 8. 熱による遮蔽能力低下の評価点における温度分布解析について	108
別紙 9. 放射線照射量の算出方法、条件、過程及び結果について	110
別紙 10. 空気環境の測定方法及び位置について	117
別紙 11. 中性化深さ推定値の算定過程について	123
別紙 12. 塩分浸透における鉄筋の腐食減量の算定過程について	125
別紙 13. 機械振動の評価対象部位及び評価点の選定過程について	129

## ＜排気筒の疲労評価について＞

### 1. はじめに

風などの繰返し荷重が継続的に鉄骨に作用することにより、疲労による損傷が蓄積され、鉄骨部材あるいは接合部の健全性が損なわれる可能性がある。

東海第二の機器・構造物のうち、風による繰返し荷重を受ける対象として、主排気筒及び非常用ガス処理系排気筒が抽出されるが、非常用ガス処理系排気筒の種類は主排気筒支持型鋼製であり、主排気筒よりサポートを取って支持される構造であることから、主排気筒を評価対象として疲労評価を行うこととする。

評価対象である主排気筒の筒身及び鉄塔について、建設時において、筒身は全て現地溶接構造とする必要があったことから、溶接士の力量を確認した上で現地溶接を実施するとともに、当該溶接部については放射線透過検査にて異常な欠陥がないことを確認している。その一方で、鉄塔は現地溶接構造とせず全て工場溶接構造としており、工場出荷時に寸法測定を含めた外観点検を実施するとともに、現地ではボルトによる接合を行っている。主排気筒建設以降は、筒身、鉄塔ともに点検計画に基づく外観点検を行っており、表面に機能・性能に影響を及ぼす恐れのある亀裂、変形等の異常がないことを確認している。

主排気筒の疲労評価は、日本建築学会「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—2005」（以下、「S規準」という）に示される疲労損傷評価法を参照し、疲労評価を実施している。

S規準の「7.1 適用範囲」には、「 $1 \times 10^4$ 回を超える繰返し応力を受ける部材、及び接合部に対して疲労の検討を行う」と規定されており、日本鋼構造協会編「鋼構造物の疲労設計指針・同解説 1993」等の最新知見を取り入れた上で、建築鋼構造の各種継手形式に対応する疲労設計曲線を定め、応力の繰返し数に応じた許容疲労強さを規定するとともに、変動応力振幅や組合せ応力の繰返しに対する疲労の検討を可能としている。

疲労設計曲線には、応力範囲の打切り限界（疲労限）が設定されており、打切り限界以下の繰返し応力範囲は疲労を考慮する必要はないとされているため、本評価においては、応力の繰返し数及び繰返し応力範囲を算定し、許容疲労強さ並びに打切り限界と比較することにより、疲労を考慮する必要性の有無を評価する。

なお、主排気筒においては耐震補強工事を計画していることから、検討条件は耐震補強工事後の工事認可申請図書の条件を適用して評価を実施した。

### 2. 主排気筒（鉄骨構造部）の疲労評価

#### 2.1 評価条件

##### (1) 評価対象

風による繰返し荷重を受ける主排気筒の鉄骨構造部を対象とする。

##### (2) 評価内容

##### ① 使用材料

鉄塔（支柱材）：炭素鋼（SS400）\*1，炭素鋼（STK400）\*2

筒身：炭素鋼（SS400）\*1

補強材：炭素鋼（590N 級）\*3

\*1：一般構造用圧延鋼管，\*2：一般構造用炭素鋼鋼管，\*3：建築構造用高性能鋼管

## ② 検討用風速及び発生日数

風に関する記録として、国立天文台編「理科年表 2016 年版」（以下、「理科年表」という）には、日最大風速（「10 分間の風速の平均値」を表す）10 m/s 以上及び 15 m/s 以上の日数の月別平均値（1981～2010 年までの平均値）が掲載されており、これらのうち、東海第二近傍の気象官署 2 地点として、発電所近傍の水戸及び近傍かつ比較的地形の似ている小名浜を選定する。気象官署における風に関する記録を表 1 に示す。

表 1 発電所近傍の気象官署における風に関する記録

項目	水戸	小名浜
日最大風速 10 m/s 以上の日数の年間平均値（日）	5.3	16.0
日最大風速 15 m/s 以上の日数の年間平均値（日）	0.1	0.5

これらを踏まえ、小名浜気象官署の記録を用いてケース 1, 2 として検討を行うこととする。なお、保守的評価の観点から、平均風速 15m/s 以上の風が年間 16 日発生すると想定したケース 3 についても併せて検討を行うこととする。

- ・ ケース 1：検討用風速  $V_1 = 10.0$  m/s，年間平均日数 16.0 日
- ・ ケース 2：検討用風速  $V_2 = 15.0$  m/s，年間平均日数 0.5 日
- ・ ケース 3：検討用風速  $V_3 = 15.0$  m/s，年間平均日数 16.0 日

## (3) 応力の繰返し数

理科年表より求められた年間平均日数を評価年数 60 年分の累積時間（秒）に換算し、各ケースに対する累積時間を以下のように算定する。

- ・ ケース 1：発生日数（16.0 日）×1 日中（24 時間×3,600 秒）×評価年数（60 年間）
- ・ ケース 2：発生日数（0.5 日）×1 日中（24 時間×3,600 秒）×評価年数（60 年間）
- ・ ケース 3：発生日数（16.0 日）×1 日中（24 時間×3,600 秒）×評価年数（60 年間）

この累積時間を、工事認可申請図書に示される排気筒の一次固有周期で除した値を、応力の繰返し数として求める。応力の繰返し数の算出結果について表 2 に示す。

表 2 (1/2) 各ケースの応力の繰返し数（筒身）

ケース	検討用風速 (m/s)	累積時間の算定				筒身の 1 次固有周期 (秒)	応力の繰返し数 (回)
		発生日数	評価年数	累積日数	累積秒数		
1	10.0	16.0	60 年	960	82,944,000	1.17	$7.09 \times 10^7$
2	15.0	0.5		30	2,592,000		$2.22 \times 10^6$
3	15.0	16.0		960	82,944,000		$7.09 \times 10^7$

表 2 (2/2) 各ケースの応力の繰返し数 (鉄塔 (支柱材, 補助柱材))

ケース	検討用風速 (m/s)	累積時間の算定				鉄塔の 1 次固有周期 (秒)	応力の繰返し数 (回)
		発生 日数	評価 年数	累積 日数	累積秒数		
1	10.0	16.0	60 年	960	82,944,000	0.62	$1.34 \times 10^8$
2	15.0	0.5		30	2,592,000		$4.18 \times 10^6$
3	15.0	16.0		960	82,944,000		$1.34 \times 10^8$

(4) 基準疲労強さ及び応力の打切り限界 (変動振幅)

① 鉄塔 (支柱材), 補強材及び筒身の母材は, S 規準の表 7.1 における「圧延材, 引抜き材」に該当するが, 鉄塔, 補強材接合部は高力ボルトとしていること及び筒身は縦横方向に完全溶込み溶接されていることを考慮し, 基準疲労強さ  $\Delta \sigma_F$  及び変動振幅の応力範囲の打切り限界  $\Delta \sigma_{VL}$  を以下のとおりとする。

- ・ 基準疲労強さ :  $\Delta \sigma_F = 100 \text{ N/mm}^2$
- ・ 応力範囲の打切り限界 :  $\Delta \sigma_{VL} = 39 \text{ N/mm}^2$

(5) 許容疲労強さ

許容疲労強さは, 荷重の繰返し数 (N) に応じて応力範囲で示され, S 規準の 7.1 式により以下のように示される。

- ・ 垂直応力範囲の許容疲労強さ :  $\Delta \sigma_a = (126 / \sqrt[3]{N}) \times \Delta \sigma_F$   
 N : 総繰返し数  
 $\Delta \sigma_F$  : 垂直応力範囲の規準疲労強さ

(6) 検討用応力

工事認可申請図書の風荷重に対する応力解析結果は, 基準風速  $V_0=30.0 \text{ m/s}^*$  を用いて算定された数値であるため, 風荷重が風速の 2 乗に比例することから, 本検討においては (2) の検討用風速  $V_1, V_2$  及び  $V_3$  と基準風速  $V_0$  との比  $\alpha$  (観測記録の最大風速の 2 乗 / 基準風速の 2 乗) を算定し, 係数倍した応力を風荷重に対する検討用応力とする。

- ・ ケース 1 :  $\alpha_1 = V_1^2 / V_0^2 = 10.0^2 / 30.0^2 = 0.11 \dots \approx 0.11$
- ・ ケース 2 :  $\alpha_2 = V_2^2 / V_0^2 = 15.0^2 / 30.0^2 = 0.25$
- ・ ケース 3 :  $\alpha_3 = V_3^2 / V_0^2 = 15.0^2 / 30.0^2 = 0.25$

\* : 基準風速  $V_0$  は, 各地域における風の性状に応じて 30~46 m/s の範囲で国土交通大臣が定める風速を示す

## 2.2 評価内容

### (1) 検討用応力の算定

検討用応力は、工事認可申請図書に記載される設計用風荷重による曲げモーメント  $M_1$  を用いて算定する。検討用応力の算定結果について表 3 に示す。

- 検討用風荷重による曲げモーメント： $M_2 = \alpha M_1$

表 3 (1/2) 検討用応力の算定例 (筒身)

ケース	標高 EL. (m)	寸法 (mm)	風荷重		
			設計用応力	検討用応力	
			曲げモーメント $M_1$ (kN・m)	係数 $\alpha$	曲げモーメント $M_2$ (kN・m)
1	EL. 95.4m	4,532 $\phi$ $\times 16$	12,756	0.11	1,404
2, 3			12,756	0.25	3,189

表 3 (2/2) 検討用応力の算定例 (鉄塔 (主柱材, 補助柱材))

ケース	標高 EL. (m)	寸法 (mm)	風荷重		
			設計用応力	検討用応力	
			曲げモーメント $M_1$ (kN・m)	係数 $\alpha$	曲げモーメント $M_2$ (kN・m)
1	EL. 95.4m	406.4 $\phi$ $\times 12.7$	22	0.11	3
2, 3			22	0.25	6

### (2) 検討用応力範囲の算定

検討用応力範囲  $\Delta \sigma$  は、工事認可申請図書に記載される断面算定結果を用いて、最大風速が正負交番荷重 (完全両振り) として作用した場合を想定し、以下のように算定する。検討用応力範囲の算定結果について表 4 に示す。

- 検討用応力範囲： $\Delta \sigma = (M_2/Z) \times 2$

表 4 (1/2) 検討用応力範囲の算定結果 (筒身)

ケース	標高 EL. (m)	寸法 (mm)	断面係数 $Z$ ( $\times 10^3 \text{ mm}^3$ )	検討用応力曲 げモーメント $M_2$ (kN・m)	曲げ応力度 $M_2/Z$ (N/mm <sup>2</sup> )	検討用応力 範囲 $\Delta \sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )
1	EL. 95.4 m	4,532 $\phi$ $\times 16$	223,000	1,404	6.3	12.6
2, 3			223,000	3,189	14.4	28.8

表 4 (2/2) 検討用応力範囲の算定結果 (鉄塔 (支柱材, 補助柱材))

ケース	標高 EL. (m)	寸法 (mm)	断面係数 Z ( $\times 10^3 \text{ mm}^3$ )	検討用応力曲 げモーメント $M_2$ (kN・m)	曲げ応力度 $M_2/Z$ (N/mm <sup>2</sup> )	検討用応力 範囲 $\Delta \sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )
1	EL. 95.4 m	406.4 $\phi$	1,370	3	2.2	4.4
2, 3		$\times 12.7$	1,370	6	4.4	8.8

### 2.3 評価結果

算定した検討用応力範囲  $\Delta \sigma$  と許容疲労強さ  $\Delta \sigma_a$  の比較を行い許容疲労強さ及び打ち切り限界 (疲労限) 以下であることを確認する。2.2 で算定した検討用応力範囲  $\Delta \sigma$  と許容疲労強さ  $\Delta \sigma_a$  の比較結果を表 5 に示す。

また, S 基準の図 7.1.1 を参考に, 検討結果をプロットしたものを図 1 に示す。

したがって, いずれの部材も許容疲労強さ及び打ち切り限界 (疲労限) 以下となっている。

表 5 (1/2) 検討用応力範囲の算定結果 (筒身)

ケース	基準疲労強さ $\Delta \sigma_F$ (N/mm <sup>2</sup> )	総繰返し数 (回)	許容疲労強さ $\Delta \sigma_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	検討用応力範囲 $\Delta \sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\Delta \sigma$ と $\Delta \sigma_a$ との比較
1	100	$7.09 \times 10^7$	39.0*	12.6	0.33
2	100	$2.22 \times 10^6$	96.5	28.8	0.30
3	100	$7.09 \times 10^7$	39.0*	28.8	0.74

\* : 打ち切り限界値を示す (図 1 参照)

表 5 (2/2) 検討用応力範囲の算定結果 (鉄塔 (支柱材, 補助柱材))

ケース	基準疲労強さ $\Delta \sigma_F$ (N/mm <sup>2</sup> )	総繰返し数 (回)	許容疲労強さ $\Delta \sigma_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	検討用応力範囲 $\Delta \sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\Delta \sigma$ と $\Delta \sigma_a$ との比較
1	100	$1.34 \times 10^8$	39.0*	4.4	0.12
2	100	$4.18 \times 10^6$	78.2	8.8	0.12
3	100	$1.34 \times 10^8$	39.0*	8.8	0.23

\* : 打ち切り限界値を示す (図 1 参照)

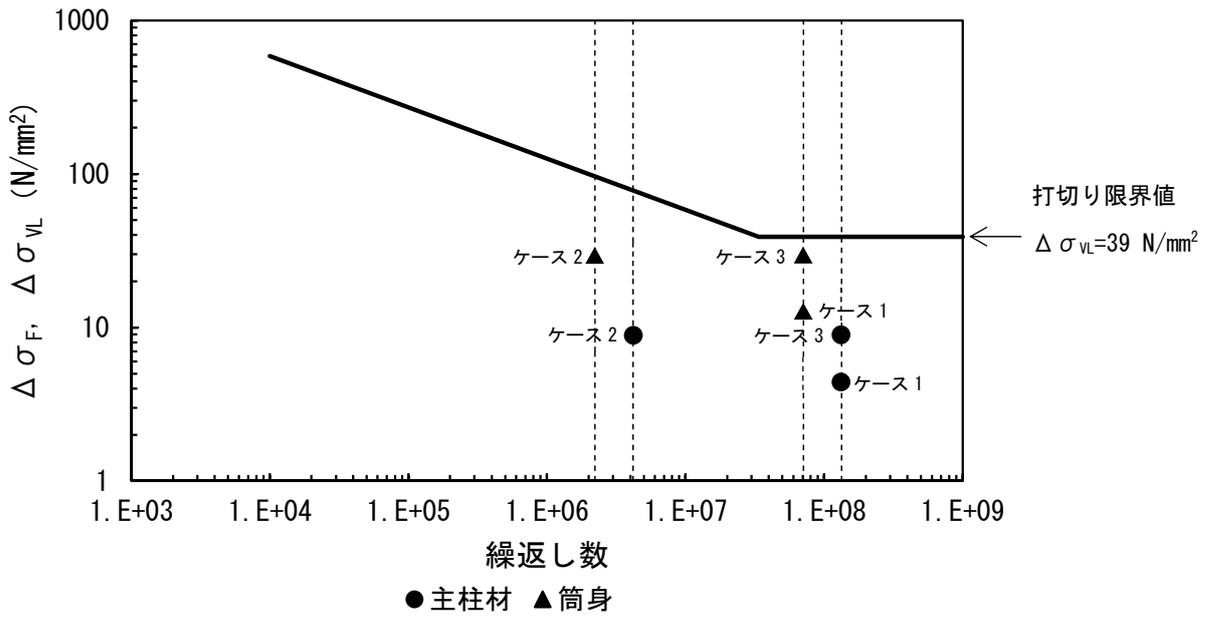


図1 垂直応力範囲の繰返しによる疲労設計曲線