

本資料は、建物・構築物の耐震計算についての補足説明資料 補足-370-2【応力解析におけるモデル化、境界条件及び拘束条件の考え方】の補足説明資料に含める説明内容を記載したものである。

建物・構築物の耐震計算についての補足説明資料

補足-370-2【応力解析におけるモデル化、

境界条件及び拘束条件の考え方】

(抜粋)

平成30年9月

日本原子力発電株式会社

表 2-7 主排気筒（上部構造物）（1/4）

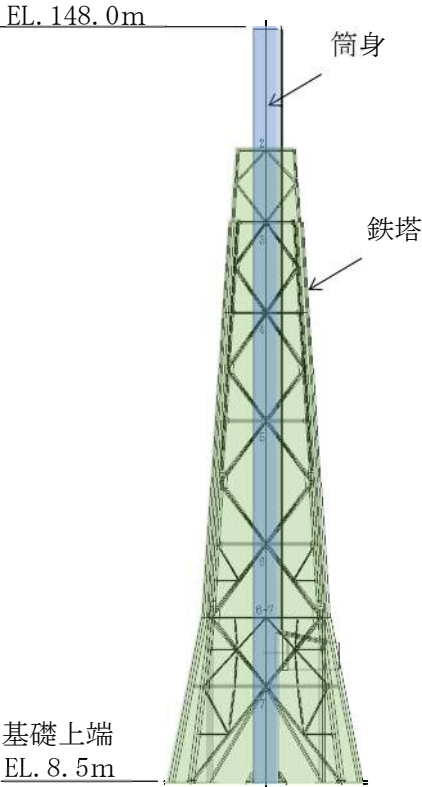
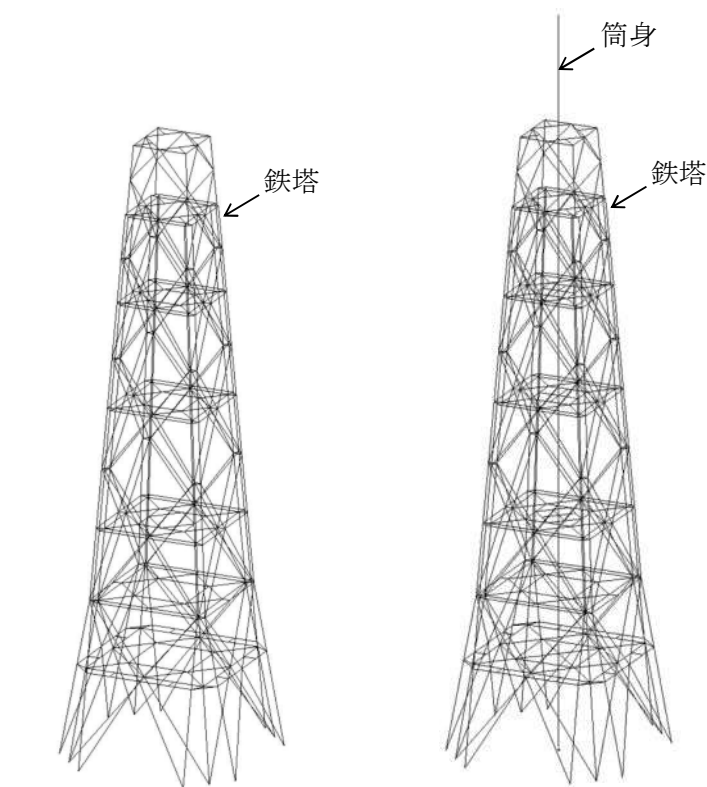
モデル概要	
<p>○モデル化範囲，対象部材</p> <ul style="list-style-type: none"> ・基礎上端より上部の（EL. 8.5m～EL. 148.0m）の範囲 ・筒身，鉄塔構成部材（主柱材，斜材，水平材，補助主柱材，補助斜材，補助水平材） 	
<p>○使用要素</p> <ul style="list-style-type: none"> ・梁要素：筒身，鉄塔構成部材（主柱材，斜材，水平材，補助主柱材，補助斜材，補助水平材） 	
<p><解析モデルの使い分け></p> <ul style="list-style-type: none"> ・地震荷重：2軸の質点系モデル（応力伝達考慮）による地震応答解析により鉄塔と筒身の応答が分離して出力される。このため，各応答に対する部材応力評価モデルとして，鉄塔については，トラス構造の各部材の応力を計算するため鉄塔のみの立体骨組モデルを使用し，筒身については1本の連続梁とみなして手計算を実施する。 ・風荷重：鉄塔－筒身間の応力伝達を評価するため，鉄塔と筒身をモデル化する。両者の応力伝達を担うダンパ部について，オイルダンパは風荷重（静的荷重）に対して効かないためモデル化せず，弾塑性ダンパは風荷重に対して塑性変形しない設計としているため，鉄塔－筒身間の応力伝達部材の一部としてモデル化する。 	
<p>EL. 148.0m</p>  <p>基礎上端 EL. 8.5m</p>	 <p>筒身</p> <p>筒身</p> <p>鉄塔</p> <p>鉄塔</p> <p>地震荷重による応力評価用</p> <p>風荷重による応力評価用</p>
<p>図 1 モデル化範囲</p>	<p>図 2 解析モデル</p>

表 2-7 主排気筒（上部構造物）（2/4）

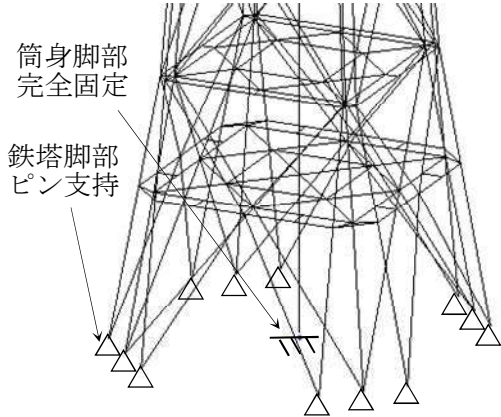
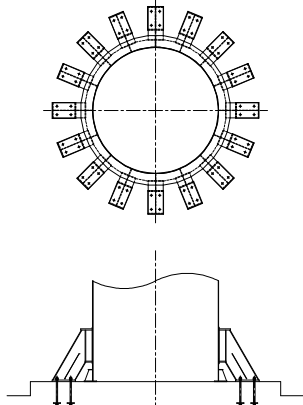
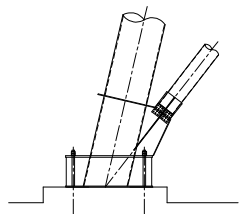
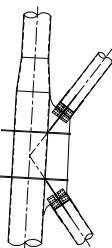
境界条件, 拘束条件	
上部構造物と基礎の境界	
<p>○境界条件及び拘束条件</p> <ul style="list-style-type: none"> 筒身脚部と基礎の境界は、$\phi 4m$ の構造体が接地しており、軸力、せん断力、曲げモーメントとも伝達するため完全固定（移動、回転とも拘束）、筒身脚部の構造は図 4 を参照 鉄塔脚部と基礎の境界は、鉄塔がトラス構造で脚部には軸力、せん断力のみが発生するためピン接合（移動拘束）、鉄塔脚部の構造は図 5 を参照 主柱材同士、補助主柱材同士、筒身同士については、溶接もしくはフランジ接合で軸力、せん断力、曲げモーメントとも伝達するため剛接合 その他部材同士については、ガセットを介した高力ボルト摩擦接合としており、ガセット剛性が部材に与える曲げモーメントの影響は小さいことからピン接合、その他部材同士（例：鉄塔継手部）の構造は図 6 を参照 <p>○部材の要素分割</p> <p>鉄塔はトラス構造のため、モデルは梁要素で構成され、部材交点ごとに要素分割している。</p> <p>○荷重の入力方法</p> <ul style="list-style-type: none"> 長期荷重は、排気筒頂部、主柱材、補強主柱材の支持平面レベルに質点荷重として入力 地震荷重（鉄塔）は、地震応答解析により得られた最大応答（曲げモーメント、せん断力）に対し、等価な曲げモーメント及びせん断力分布となる水平荷重及びモーメントを算出し、これを地震荷重として、鉄塔のみの解析モデルに入力 地震荷重（筒身）は、連続梁とみなして、地震応答解析により得られた最大応答（曲げモーメント、せん断力）を断面力として使用 風荷重は、鉄塔-筒身間の応力伝達を評価するため、鉄塔及び筒身をモデル化した解析モデルに入力 地震荷重及び風荷重は、筒身頂部及び各支持平面の 4 隅に均等に入力 	 <p style="text-align: center;">図 3 境界条件</p>  <p style="text-align: center;">図 4 筒身脚部</p>  <p style="text-align: center;">図 5 補助主柱材脚部</p>  <p style="text-align: center;">図 6 鉄塔継手部（代表例）</p>

表 2-7 主排気筒（上部構造物）（3/4）

境界条件, 拘束条件
<p>オイルダンパの解析モデル上の扱い</p> <p>○渦励振による風直交方向風荷重について</p> <p>1) 渦励振現象</p> <p>流れ場にある円筒構造物には、後方にカルマン渦と呼ばれる交番渦が発生する。この交番渦が起振源となり、円筒構造物が流れと直交方向に振動する現象を「渦励振」と言う。渦励振の概念図を図 8 に示す。</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>図 8 渦励振の概念図</p> <p>2) 主排気筒に対する渦励振の影響</p> <p>「煙突構造設計指針」によれば、渦励振を抑制するための対策として以下の記載がある。</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">(2) 減衰付加による対策 (煙突構造設計指針 抜粋)</p> <p>減衰付加による対策とは、煙突に減衰性能を付加することで、風方向、風直行方向、近接する構造物の空力干渉による振動を抑制するものである。煙突の場合は、渦励振を抑えるために TMD（同調形質量ダンパー）を用いることが多いが、チェーンを使用した衝撃ダンパーなどを用いることもある。</p> </div> <p>東海第二発電所の主排気筒に設置しているオイルダンパ[*]についても、上述の煙突の構造減衰を増大させるための措置の一種であり、渦励振の影響は抑えられていることから、本評価においても渦励振に対する考慮は不要としている。また、煙突分野の設計においては、渦励振のような定常的な振動は、地震のような非定常な振動のある特殊な状態であるとみなされており、地震用のオイルダンパが設置されていれば、風（渦励振）による振動も制御できるとみなされている。</p> <p>[*]東海第二発電所『既工事計画届出書 添付資料IV-1-2「主排気筒の耐震性についての計算書」(発室発第 583 号) 平成 21 年 3 月 9 日届出』</p> <p>3) オイルダンパの解析モデル上の扱い</p> <p>主排気筒の風荷重に対する応力評価では、鉄塔と筒身をモデル化した解析モデルに対し、基準風速 30m/s を静的負荷として主排気筒に作用させる。このとき、オイルダンパは、振動現象に対しては効果を発揮するものの、静的変位に対しては静的に伸縮するのみであり、応力伝達をしないため、モデル化はしない。一方、弾塑性ダンパについては、弾塑性ダンパは風荷重に対して塑性変形しない設計としているため、鉄塔-筒身間の応力伝達部材の一部としてモデル化する。</p>

表 2-7 主排気筒（上部構造物）（4/4）

境界条件, 拘束条件
<p>渦励振に関する考察</p> <p>○渦励振の共振風速と設計風速の比較</p> <p>「煙突構造設計指針」より、渦励振の共振風速 U_r（円形断面）を、以下の式により算定する。</p> $U_r = 5 \cdot f \cdot D = 5 \times 0.86 \times 4.532 \approx 19.5 \text{ m/s}$ <p>ここで、U_r : 共振風速（円形断面）（m/s）</p> <p>f : 風直交方向振動の一次固有振動数 0.86（Hz）</p> <p>D : 円形断面を有する煙突の高さ $2H/3$ における外径 4.532（m）</p> <p>上記の共振風速は主排気筒の $2/3$ 高さ（93.3m）における共振風速であり、建築基準法で定める設計風速は地上 10m における値であるため、共振風速を地上 10m での風速に換算する。風速がべき乗則に従うとして、「建築物荷重指針」の計算式より、以下のとおり計算する。</p> $U_{r10} = U_r \cdot (10/93.3)^\alpha = 19.5 \cdot (10/93.3)^{0.15} \approx 13.9 \text{ m/s}$ <p>ここで、U_{r10} : 地上 10m 位置での共振風速（m/s）</p> <p>α : 風速の鉛直分布を定めるパラメータ（-）</p> <p>以上より、主排気筒の設計風速は 30m/s は、地上 10m での共振風速 $U_{r10} = 13.9 \text{ m/s}$ を上回る。</p> <p>○渦励振に対する影響検討</p> <p>「煙突構造設計指針」の渦励振の判定式によると、以下の条件に当てはまることから、渦励振に対する検討が必要となる。</p> $U_H / (f \cdot D) = 30 / (0.86 \times 4.532) \approx 7.7 \geq 4.2$ <p>ここで、U_H : 設計風速 30（m/s）</p> <p>f : 風直交方向振動の一次固有振動数 0.86（Hz）</p> <p>D : 円形断面を有する煙突の高さ $2H/3$ における外径 4.532（m）</p> <p>渦励振の影響の程度を確認するため、オイルダンパによる主排気筒の構造減衰を 3次元 FEM モデルより求め*、「煙突構造設計指針」の渦励振による風直交方向荷重の算定式に基づき渦励振による荷重を計算し、他の荷重を比較した。この結果、渦励振による荷重は、他の荷重に対して小さいことを確認した。渦励振による荷重と他の荷重を比較した結果を図 9 に示す。</p> <div style="text-align: right;"> </div> <p style="text-align: center;">図 9 渦励振による荷重と他の荷重を比較した結果</p> <p>注記 * : 3次元 FEM モデルの筒身頂部に強制変位を与え、変位拘束を解除した際の主排気筒の挙動を解析により求め、得られた減衰曲線から主排気筒全体の構造減衰を算定した。</p>

