

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
営業秘密又は防護上の観点から  
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-440-1 改4
提出年月日	平成30年6月22日

## 工事計画に係る補足説明資料

### 補足-440-1 【竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書 の全般の補足説明】

平成30年6月

日本原子力発電株式会社

## 補足説明資料目次

### I. はじめに

1. 強度計算の方針に関する補足説明資料
  - 1.1 風力係数について
  - 1.2 強度計算時の施設の代表性について
  - 1.3 換気空調設備の竜巻の影響を考慮する施設について
  
2. 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算に関する補足説明資料
  - 2.1 鉄筋コンクリート部材の裏面剥離評価方法について
  - 2.2 コンクリートの裏面剥離に対する設備対策の評価手法について
  - 2.3 原子炉建屋大物搬入口扉の貫通評価について
  - 2.4 ブローアウトパネル開口部から侵入する風に対する対応方針について
  - 2.5 原子炉建屋外側ブローアウトパネルの飛び出し挙動について
  - 2.6 使用済燃料乾式貯蔵建屋の使用済燃料乾式貯蔵容器冷却性能について
  - 2.7 使用済燃料乾式貯蔵建屋壁面への車両の衝突影響について
  
3. 海水ストレーナの強度計算に関する補足説明資料
  - 3.1 海水ストレーナの評価対象部位について
  
4. 屋外の重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算に関する補足説明資料
  - 4.1 固縛装置の設計における保守性について
  
5. 主排気筒の強度計算に関する補足説明資料
  - 5.1 竜巻飛来物による構造欠損の想定箇所について
  
6. ディーゼル発電機吸気口の強度計算に関する補足説明資料
  - 6.1 ディーゼル発電機吸気口の局部ばね定数及び局部応力の算出について
  
7. 防護ネットの強度計算に関する補足説明資料
  - 7.1 シャックルの許容限界について

: 今回ご説明分

## I. はじめに

### 1. 概要

本補足説明資料は、以下の説明書についての内容を補足するものである。  
本補足説明資料と添付書類との関連を表-1に示す。

- ・ V-3-別添 1 竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書

表-1 補足説明資料と添付資料との関連 (1/3)

工事計画添付書類に係わる補足説明資料 (竜巻)	該当添付資料
1. 強度計算の方針に関する補足説明資料	
1.1 風力係数について	V-3-別添 1-1-2 「残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書」 V-3-別添 1-1-3 「残留熱除去系海水系ストレナの強度計算書」 V-3-別添 1-1-4 「主排気筒の強度計算書」 V-3-別添 1-1-5 「換気空調設備の強度計算書」 V-3-別添 1-1-6 「ディーゼル発電機海水ポンプの強度計算書」 V-3-別添 1-1-7 「ディーゼル発電機海水ストレナの強度計算書」 V-3-別添 1-1-8 「ディーゼル発電機吸気口の強度計算書」 V-3-別添 1-1-9 「配管および弁の強度計算書」 V-3-別添 1-1-10-2 「消音器の強度計算書」 V-3-別添 1-1-10-3 「排気管、放出管およびベント管の強度計算書」
1.2 強度計算時の施設の代表性について	V-3-別添 1-1-2 「残留熱除去系海水系ポンプの強度計算書」 V-3-別添 1-1-3 「残留熱除去系海水系ストレナの強度計算書」 V-3-別添 1-1-5 「換気空調設備の強度計算書」 V-3-別添 1-1-6 「ディーゼル発電機用海水ポンプの強度計算書」 V-3-別添 1-1-7 「ディーゼル発電機用海水ストレナの強度計算書」 V-3-別添 1-1-8 「ディーゼル発電機吸気口の強度計算書」 V-3-別添 1-1-9 「配管及び弁の強度計算書」 V-3-別添 1-1-10-3 「排気管、放出管及びベント管の強度計算書」
1.3 換気空調設備の竜巻の影響を考慮する施設について	V-3-別添 1-1-5 「換気空調設備の強度計算書」

表-1 補足説明資料と添付資料との関連 (2/3)

工事計画添付書類に係わる補足説明資料 (竜巻)	該当添付資料
2. 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算に関する補足説明資料	V-3-別添 1-1-1 「竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書」
2.1 鉄筋コンクリート部材の裏面剥離評価方法について	
2.2 コンクリートの裏面剥離に対する設備対策の評価手法について	
2.3 原子炉建屋大物搬入口扉の貫通評価について	
2.4 ブローアウトパネル開口部から侵入する風に対する対応方針について	
2.5 原子炉建屋外側ブローアウトパネルの飛び出し挙動について	
2.6 使用済燃料乾式貯蔵建屋の使用済燃料乾式貯蔵容器冷却性能について	
2.7 使用済燃料乾式貯蔵建屋壁面への車両の衝突影響について	

表-1 補足説明資料と添付資料との関連 (3/3)

工事計画添付書類に係わる補足説明資料 (竜巻)	該当添付資料
3. 海水ストレーナの強度計算に関する補足説明資料	
3.1 海水ストレーナの評価対象部位について	V-3-別添 1-1-3 「残留熱除去系海水系ストレーナの強度計算書」 V-3-別添 1-1-7 「ディーゼル発電機海水ストレーナの強度計算書」
4. 屋外の重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算に関する補足説明資料	
4.1 固縛装置の設計における保守性について	V-3-別添 1-3 「屋外重大事故等対処設備の固縛装置の強度計算の方針」
5. 主排気筒の強度計算に関する補足説明資料	
5.1 竜巻飛来物による構造欠損の想定箇所について	V-3-別添 1-1-4 「主排気筒の強度計算書」
6. ディーゼル発電機吸気口の強度計算に関する補足説明資料	
6.1 ディーゼル発電機吸気口の局部ばね定数及び局部応力の算出について	V-3-別添 1-1-8 「ディーゼル発電機吸気口の強度計算書」
7. 防護ネットの強度計算に関する補足説明資料	
7.1 シャックルの許容限界について	V-3-別添 1-2-1-1 「防護ネットの強度計算書」

### 1.3 換気空調設備の竜巻の影響を考慮する施設について

## 1. 概要

竜巻の影響を考慮する施設のうち、換気空調設備の外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設としてダンパを選定していない理由を示す。

## 2. 理由

換気空調設備の外気と繋がっている屋内の外部事象防護対象施設のうち、ダンパが設置されているのは中央制御室換気系のみである。

中央制御室換気系は、外気との境界となるダンパはなく、閉回路循環運転とした場合は隔離弁（バタフライ弁）が外気との境界になり、ダンパに竜巻による気圧差は発生しない。

通常運転の場合は、給気弁、排気弁が開のため、系統全体に竜巻による気圧差が発生する。ダンパ前後の気圧差は変化しないためダンパペーン、シャフトに影響はないが、ダンパケーシングに気圧差が発生する。しかし、ダンパケーシング形状はダクトと同様であり、面間寸法は約 30cm とダクトに比べ明らかに寸法が短く、肉厚もダクト以上でありダクトの評価に包絡されることから、ダンパを評価対象として選定していない。

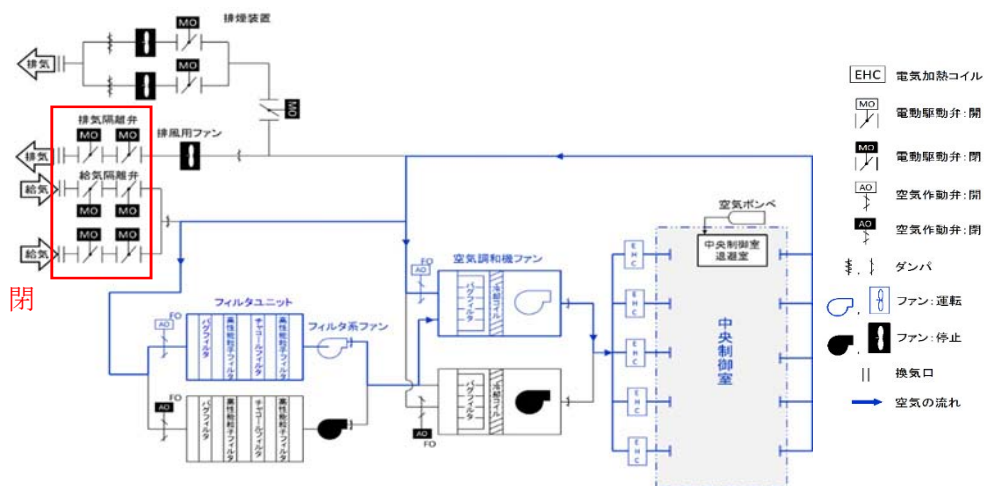


図1 閉回路循環運転の場合

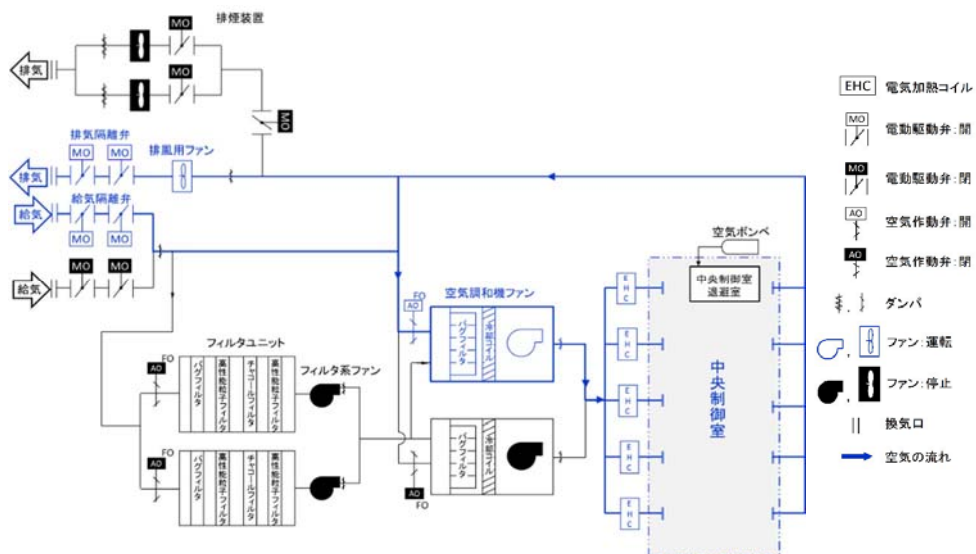


図2 通常運転の場合



## 5 主排気筒の強度計算に関する補足説明資料

## 5.1 竜巻飛来物による構造欠損の想定箇所について

## 1. 概要

V-3-別添 1-1-4「主排気筒の強度計算書」で実施する主排気筒の強度評価において、設計飛来物による影響は鉄塔部材を損傷させることで考慮することとしている。

本資料は、V-3-別添 1-1-4「主排気筒の強度計算書」において、「鉄塔部材の損傷を想定する箇所については、座屈の観点から軸力（圧縮）の影響を考慮し、健全時に負担する軸力（圧縮）が最大であり、損傷による荷重の再配分の影響が最も大きい最下層の主柱の補助柱とする」としていることに関し、その詳細について説明するものである。

## 2. 構造

主排気筒の構造を以下に示す。

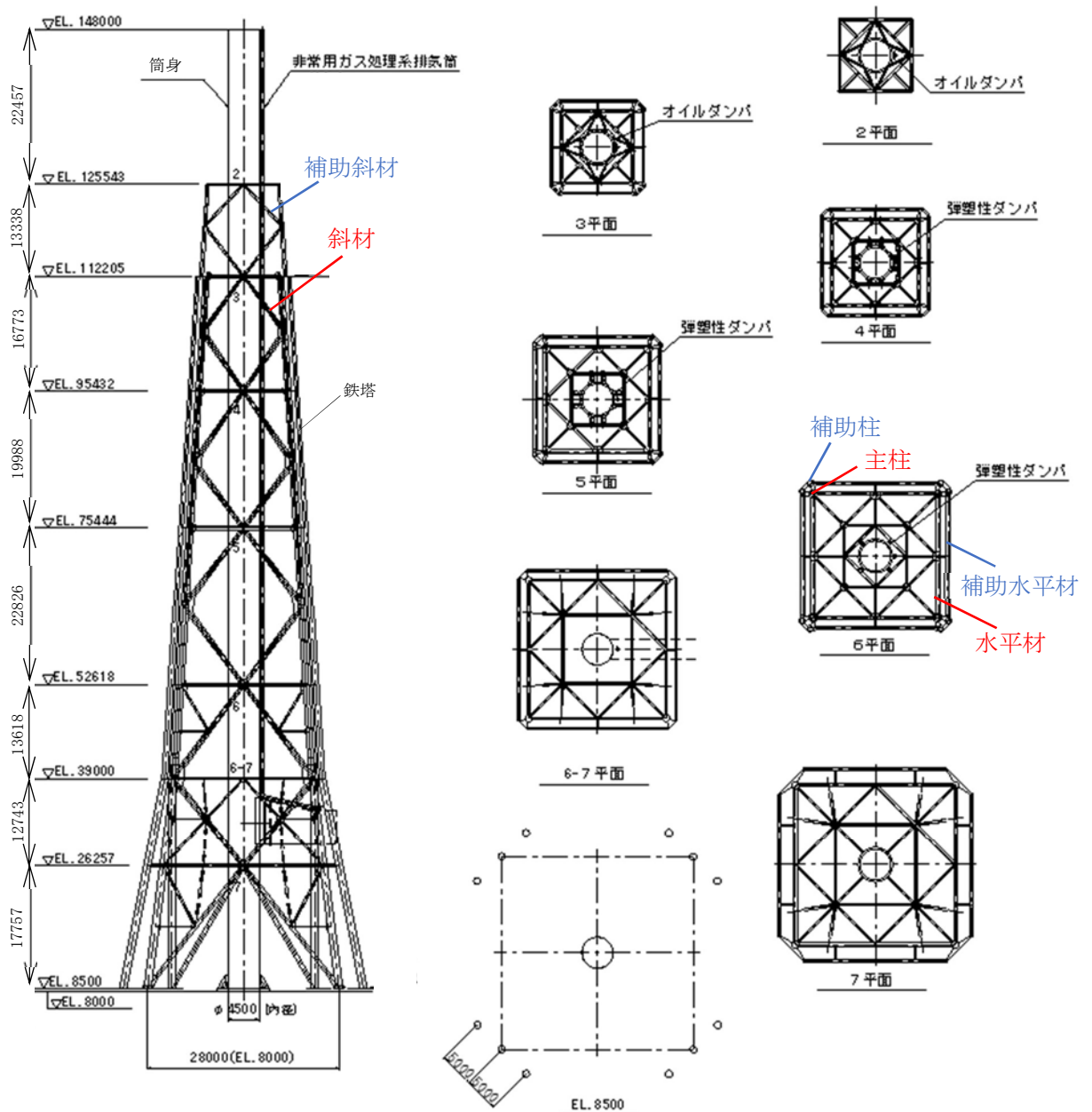


図 2-1 主排気筒の構造

3. 健全時に鉄塔の各部材に生じる軸力

(1) 主柱

EL. (m)	使用部材	材質	軸力 (kN)
112.205	Φ 406.4×6.4	STK400	118
95.432	Φ 406.4×12.7	STK400	287
75.444	Φ 558.8×12.7	STK400	1669
52.618	Φ 812.8×12.7	STK400	2888
26.257	Φ 1016.0×12.7	STK400	4245

(2) 補助柱

EL. (m)	使用部材	材質	軸力 (kN)
125.543	Φ 406.4×19.0	STK400	85
112.205	Φ 508.0×19.0	590材	213
95.432	Φ 508.0×19.0	590材	563
75.444	Φ 609.6×19.0	590材	1797
52.618	Φ 812.8×19.0	590材	3153
26.257	Φ 1016.0×19.0	590材	5147

(3) 斜材

EL. (m)	使用部材	材質	軸力 (kN)
112.205	Φ 355.6×6.4	STK400	37
95.432	Φ 457.2×6.4	STK400	803
75.444	Φ 508.0×6.4	STK400	593
52.618	Φ 508.0×6.4	STK400	783
26.257	Φ 508.0×6.4	STK400	948

(4) 補助斜材

EL. (m)	使用部材	材質	軸力 (kN)
125.543	Φ 355.6×12.7	STK400	45
112.205	Φ 355.6×12.7	STK400	159
95.432	Φ 457.2×12.7	STK400	1042
75.444	Φ 508.0×12.0	STK490	995
52.618	Φ 508.0×12.0	STK490	1207
26.257	Φ 558.8×19.0	590材	1980

(5) 水平材

EL. (m)	使用部材	材質	軸力 (kN)
112.205	Φ 355.6×6.4	STK400	80
95.432	Φ 457.2×6.4	STK400	114
75.444	Φ 508.0×6.4	STK400	173
52.618	Φ 508.0×6.4	STK400	207
26.257	Φ 508.0×6.4	STK400	369

(6) 補助水平材

EL. (m)	使用部材	材質	軸力 (kN)
125.543	Φ 355.6×6.4	STK400	34
112.205	Φ 355.6×6.4	STK400	96
95.432	Φ 457.2×6.4	STK400	709
75.444	Φ 508.0×6.4	STK400	127
52.618	Φ 508.0×6.4	STK400	341
26.257	Φ 508.0×6.4	STK400	329

4. 損傷させる部材の選定

「3. 健全時に鉄塔の各部材に生じる軸力」より、健全時に負担する軸力（圧縮）が最大であり、損傷による荷重の再配分の影響が最も大きい部位である、最下層の補助柱を損傷させる部材として選定する。

## 6. ディーゼル発電機吸気口の強度計算に関する補足資料

## 6.1 ディーゼル発電機吸気口の局部ばね定数及び局部応力の算出について

1. 概要

JEAG4601 に準拠し、四脚たて置円筒容器の応力評価を行う際には、胴の脚つけ根部の局部ばね定数及び局部応力を算出する必要があるため、算出法について説明するものである。

2. 算出方針

JEAG4601 の手順では、局部ばね定数を“Bijlaard, P.P. : Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels” (参考文献 6.6.3-4)、局部応力を“Local stresses in Spherical and Cylindrical shells due to External loadings” (参考文献 6.6.3-2) により算出することが記載されている。

2.1 JEAG4601 による算出法

JEAG4601 に示される“Bijlaard”の方法は、円筒シェルに剛体のアタッチメントが付き、そのアタッチメントに外力が加わった際にシェル側に生じる変形及び応力を、図表を用いて求める手法である。

以下に“Bijlaard, P.P. : Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels” (参考文献 6.6.3-4) の抜粋を示す。

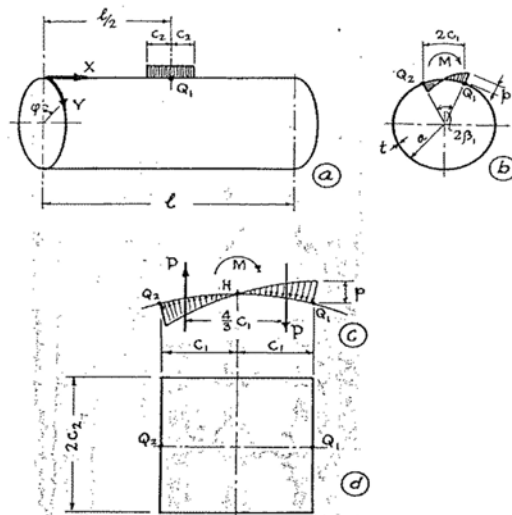


Fig. 1 Loading of vessel by circumferential moment

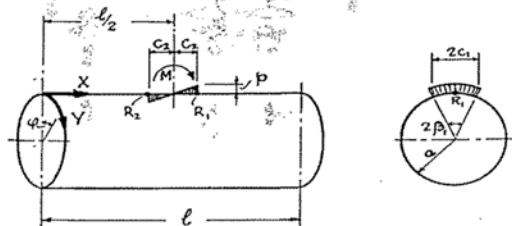


Fig. 2 Loading of vessel by longitudinal moment

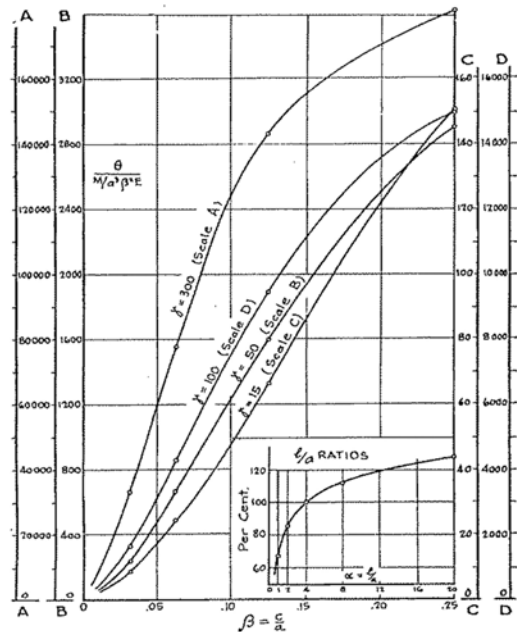


Fig. 3  $\theta$  vs.  $\beta$  Angle rotation from external circumferential moment  $M$  on surface  $2c \times 2c$  on a cylindrical shell with radius  $a$  ( $\gamma = a/t$ )



ここで,

a : 円筒シェルの半径

l : 円筒シェルの長さ

t : 円筒シェルの板厚

C1 : アタッチメントの円周方向の長さの 1/2

C2 : アタッチメントの長手方向の長さの 1/2

$\alpha$  :  $1/a$  (上図は  $\alpha = 4$  の場合の図)

$\beta$  :  $C1/a, C2/a$

$\gamma$  :  $a/t$

E : 縦弾性係数

M : 作用する曲げモーメント

$\theta$  : 曲げが作用した際の回転角

回転角  $\theta$  の算出法は, シェル及びアタッチメントの形状により,  $\beta, \gamma$  を算出し, 上図より  $\theta / (M / (\alpha^3 \beta^2 E))$  の値を読み取り,  $\theta$  を求める。

また, 局部ばね定数は,  $\theta$  と M の関係より算出する。

上図に示される通り, アタッチメント幅の 1/2 と円筒シェル半径の比率 ( $\beta$ ) は 0.25 以下の場合が提示されている。

ディーゼル発電機吸気口の円筒シェル及びアタッチメント (脚取付補強板) の寸法から  $\beta$  を算出すると,

円筒シェルの半径 (板厚の平均半径) は  $a=767.75\text{mm}$

円周方向  $C1=150\text{mm}$

$$\beta = C1/a = 0.195$$

長手方向  $C2=347.5\text{mm}$

$$\beta = C2/a = 0.453$$

となり,  $\beta$  の値が 0.25 を超えるため, “Bijlaard” の方法を適用する場合の Fig. 3 の  $\beta$  の範囲に含まれない。

そのため, 局部ばね定数及び局部応力を FEM 解析により算出した。

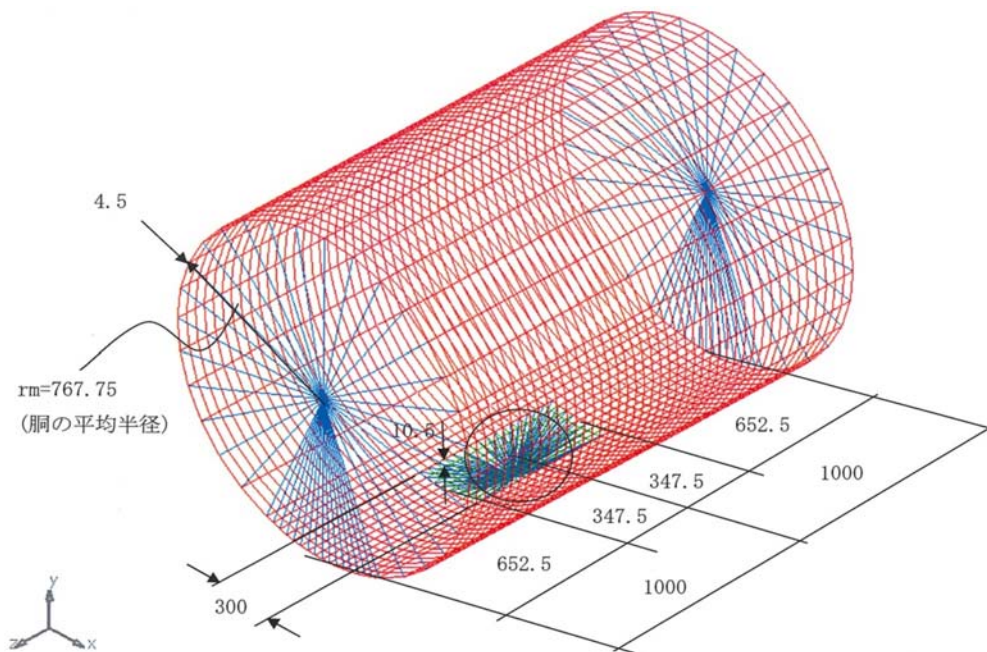
## 2.2 FEM 解析による算出法

ディーゼル発電機吸気口の円筒シェル及びアタッチメント（脚取付補強板）の寸法から FEM モデルを作成し、必要な局部ばね定数及び局部応力を算出する。

### (1) 解析モデル

下記のモデルに単位力・単位モーメントを作用させ、支持脚と胴つけ根部の局部応力とばね定数を算出する。

解析プログラムは、MSC/NASTRAN (Ver. 2012. 2. 0) を使用する。

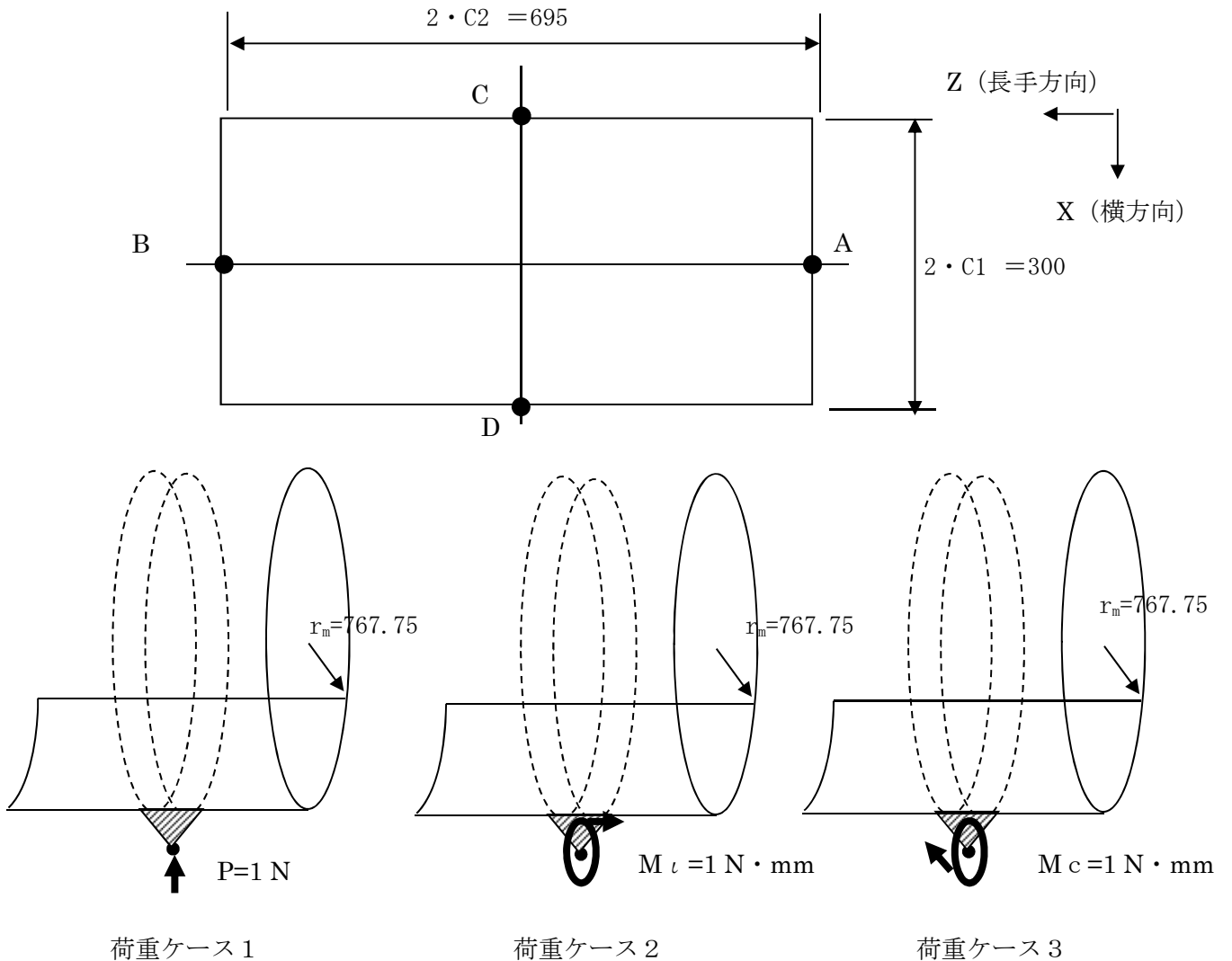


(2) 載荷点及び変位, 応力算出点

脚付け根部の胴補強板に単位荷重を載荷し, 変位, 回転角, 応力を算出する。  
変位及び回転角によりばね定数を算出する。応力は補強板の4点で算出し,  
最大の値を胴の評価に使用する。

載荷する単位荷重は, JEAG4601 の評価式に適用するため,

- ① 半径方向へ, 1 N の単位力 (荷重ケース 1)
  - ② 円筒シェルの長手方向へ,  $1\text{N}\cdot\text{mm}$  の単位モーメント (荷重ケース 2)
  - ③ 円筒シェルの円周方向へ,  $1\text{N}\cdot\text{mm}$  の単位モーメント (荷重ケース 3)
- の3種類とする。



### 3. 算出結果

以下に各単位荷重に対する局部応力及び局部ばね定数を示す。

表 3-1 半径方向力 P=1N (荷重ケース 1) のときの局部応力 (MPa)

荷重	種類	方向	A	B	C	D
半径方向 P	膜	周方向 $\phi$	-2.58E-04	-2.58E-04	-1.31E-04	-1.31E-04
		軸方向 x	-8.91E-04	-8.91E-04	-4.60E-05	-4.60E-05
	曲げ	周方向 $\phi$	1.06E-04	1.06E-04	3.03E-03	3.03E-03
		軸方向 x	3.34E-04	3.34E-04	9.10E-04	9.13E-04

局部ばね定数  $K_p = 1 / 2.935382E-05 = 3.4067e+4$  (N/mm)

表 3-2 長手方向モーメント荷重  $M_l = 1N \cdot mm$  (荷重ケース 2) のときの局部応力 (MPa)

荷重	種類	方向	A	B	C	D
長手方向 モーメント $M_l$	膜	周方向 $\phi$	-9.14E-07	9.14E-07	-2.5E-08	2.5E-08
		軸方向 x	-3.21E-06	3.21E-06	-3.44E-09	3.44E-09
	曲げ	周方向 $\phi$	5.45E-07	-5.45E-07	5.25E-07	-5.25E-07
		軸方向 x	1.6E-06	-1.6E-06	1.1E-07	-1.1E-07

局部ばね定数  $K_l = 1 / 1.407487E-10 = 7.1048e+9$  (Nmm/rad)

表 3-3 周方向モーメント荷重  $M_c = 1N \cdot mm$  (荷重ケース 3) のときの局部応力 (MPa)

荷重	種類	方向	A	B	C	D
周方向 モーメント $M_c$	膜	周方向 $\phi$	3.74E-07	-3.74E-07	1.73E-06	-1.73E-06
		軸方向 x	1.45E-06	-1.45E-06	9.1E-07	-9.1E-07
	曲げ	周方向 $\phi$	3.74E-07	-3.74E-07	-4.15E-05	4.15E-05
		軸方向 x	2.5E-07	-2.5E-07	-1.25E-05	1.25E-05

局部ばね定数  $K_c = 1 / 2.735953E-09 = 3.6550e+8$  (Nmm/rad)

#### 4. FEM 解析結果

##### 4.1 局部応力

以下に脚取付部補強板（緑色部）の局部応力を算出する要素（A～D）を示す。

- A : 要素番号 602
- B : 要素番号 1351
- C : 要素番号 950
- D : 要素番号 1003

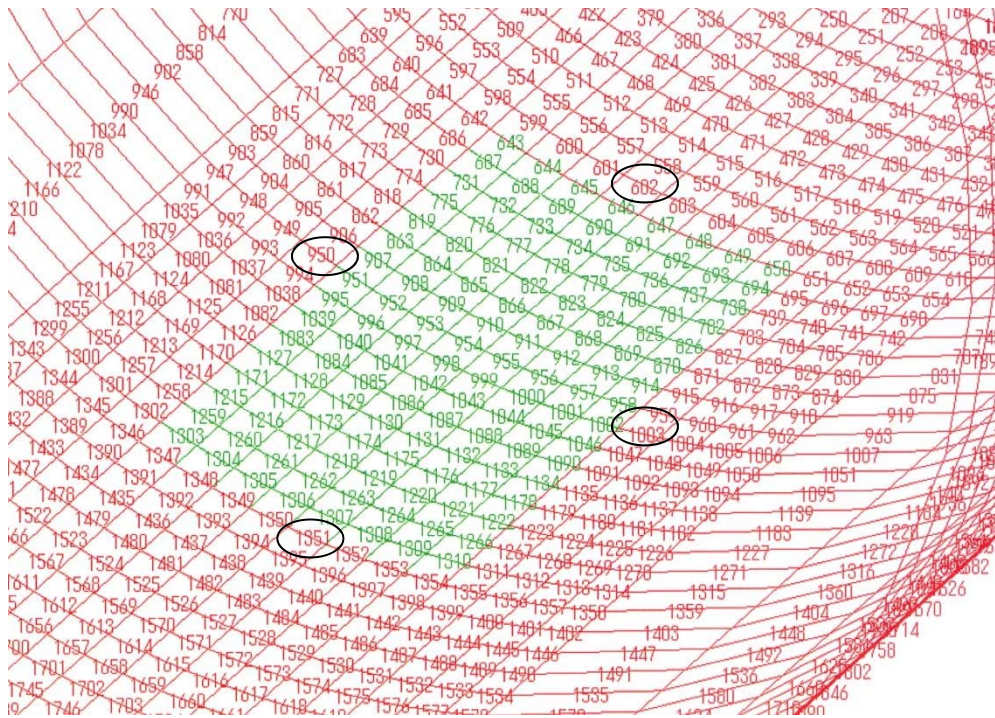


図 4-1 モデル要素番号

以下に各荷重ケースの局部応力算出位置の部材力を示す。

膜力 F (MEMBRANE FORCES) を応力に変換するには、板厚 t で割って算出する。

$$\text{膜応力 } \sigma = F / t \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

曲げモーメント M ( BENDING MOMENTS) を応力に変換するには、断面係数 ( $t^2/6$ ) で割って算出する。

$$\text{曲げ応力 } \sigma = 6M / t^2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

FORCES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUAD4)

荷重ケース1

ELEMENT ID	-MEMBRANE FORCES-			-BENDING MOMENTS-			-TRANSVERSE SHEAR FORCES-	
	FX	FY	FX	MX	MY	MX	QX	QY
602	-1.160899E-03	-4.009193E-03	-1.791155E-04	3.566861E-04	1.128299E-03	1.566039E-05	-1.244953E-06	6.445995E-05
950	-5.861848E-04	-2.060700E-04	-1.465822E-05	1.019779E-02	3.070274E-03	1.219589E-05	-1.614531E-04	-6.605230E-07
1003	-5.879444E-04	-2.070056E-04	-1.484153E-05	1.022926E-02	3.079722E-03	1.220907E-05	1.618245E-04	6.616178E-07
1351	-1.161298E-03	-4.010718E-03	-1.739926E-04	3.564115E-04	1.128119E-03	1.557861E-05	1.235728E-06	6.446488E-05

荷重ケース2

ELEMENT ID	-MEMBRANE FORCES-			-BENDING MOMENTS-			-TRANSVERSE SHEAR FORCES-	
	FX	FY	FX	MX	MY	MX	QX	QY
602	-4.111181E-06	-1.446618E-05	-6.908672E-07	1.837791E-06	5.394002E-06	1.464975E-07	-4.817688E-09	-2.566061E-07
950	-1.109132E-07	-1.549670E-08	5.668830E-06	1.770650E-06	3.719149E-07	1.194525E-06	-3.873345E-08	1.956026E-09
1003	1.109116E-07	1.549752E-08	-5.668479E-06	-1.770605E-06	-3.719115E-07	-1.194502E-06	-3.873051E-08	1.956195E-09
1351	4.111241E-06	1.446636E-05	6.903910E-07	-1.837830E-06	-5.394026E-06	-1.465079E-07	-4.817267E-09	-2.566087E-07

荷重ケース3

ELEMENT ID	-MEMBRANE FORCES-			-BENDING MOMENTS-			-TRANSVERSE SHEAR FORCES-	
	FX	FY	FX	MX	MY	MX	QX	QY
602	1.682207E-06	6.507434E-06	-2.129280E-05	1.262137E-06	8.445891E-07	3.937805E-07	-4.001571E-08	1.788371E-08
950	7.782941E-06	4.097238E-06	7.946484E-07	-1.399553E-04	-4.202683E-05	-5.976673E-08	1.690877E-06	5.027688E-09
1003	-7.782937E-06	-4.097262E-06	-7.946494E-07	1.399540E-04	4.202647E-05	5.976797E-08	1.690782E-06	5.027591E-09
1351	-1.682731E-06	-6.508726E-06	2.129262E-05	-1.261893E-06	-8.440435E-07	-3.937303E-07	-4.001593E-08	1.794198E-08

JEAG4601 の評価式に適用するために、本計算で算出した単位荷重による応力に、実荷重を乗じて実荷重による応力を算出する。

例として、半径方向荷重 P1 により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{x61} = \left[ \begin{array}{c} N_x \\ P_1 / r_m \end{array} \right]^* \left( \begin{array}{c} P_1 \\ r_m t \end{array} \right)$$

この値に単位荷重による応力値を代入する。

#### 4.2 局部ばね係数

局部ばね係数は、各荷重ケースの変形量を荷重（単位荷重）で割った値として算出する。

以下に各荷重ケースの荷重載荷点の変形量を示す。

各荷重ケースは単位荷重（1N 又は 1N・mm）を載荷しているため、各変位量（mm 又は rad）の逆数がばね定数（N/mm 又は N・mm/rad）となる。

DISPLACEMENT VECTOR							
POINT ID.	TYPE	T1 (X 方向変位)	T2 (Y 方向変位)	T3 (Z 方向変位)	R1 (X 軸周り回転)	R2 (Y 軸周り回転)	R3 (Z 軸周り回転)
荷重ケース 1							
10003	G	2.727343E-08	2.935382E-05	7.368460E-14	-7.265397E-16	1.105079E-19	3.119182E-10
荷重ケース 2							
10003	G	-7.736339E-20	-7.265397E-16	-1.658626E-08	1.407487E-10	-1.948948E-14	2.173288E-22
荷重ケース 3							
10003	G	2.047069E-07	3.119182E-10	-3.908802E-20	2.172454E-22	1.286372E-19	2.735953E-09

## 7. 防護ネットの強度計算に関する補足説明資料



## 7.1 シャックルの許容限界について

## 1. 概要

防護ネットの構成部品であるシャックルの許容限界として、製造メーカーの保証値を採用する方針としていることから、その内容について説明するものである。

## 2. 保証値の設定経緯

防護ネットの標準設計においては、ネットの枠材（H型鋼等で構成）への部品の収まり考慮して、シャックルについては、高強度である「軽量シャックル」（K社製）の使用荷重 8t タイプ（78.4 kN）を標準設計として採用している。

また、ネット寸法は出来るだけ大きい方が軽量化の観点でメリットがあるが、ネットの寸法が大きくなると飛来物の衝突時にシャックルに発生する引張荷重も増大するため、メーカーにてプルーフロード（使用荷重の2倍：156.8 kN）で引張試験を実施し、この荷重を短期荷重に対する保証値として設定することで、ネット寸法の設定に幅を持たせることが可能となっている。

## 3. 保証について

上記シャックルの納品に際しては、メーカーより添付に示す様な試験成績書が発行され、上記の保証値を担保するものとして残される。

以 上

メーカー試験成績書（例）

