

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-440-1 改 6
提出年月日	平成 30 年 6 月 29 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

8. 排気管、放出管及びベント管の強度計算に関する補足説明資料

8.1 ディーゼル発電機排気管の許容応力について

：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ーナの強度計算書」 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ーナの強度計算書」 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ーナの強度計算書」 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ーナの強度計算書」 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	
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	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」
2.2 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」
8. 排気管，放出管及びベント管の強度計算に関する補足説明資料	
8.1 ディーゼル発電機排気管の許容応力について	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

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。

閉回路循環運転の場合，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，隔離弁（バタフライ弁）が開のため，系統全体に竜巻による気圧差が発生するが，ダンパ前後の気圧差は変化しないため，ダンパベーン，シャフトに影響はない。**なお**，ダンパケーシングに気圧差が発生するが，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。

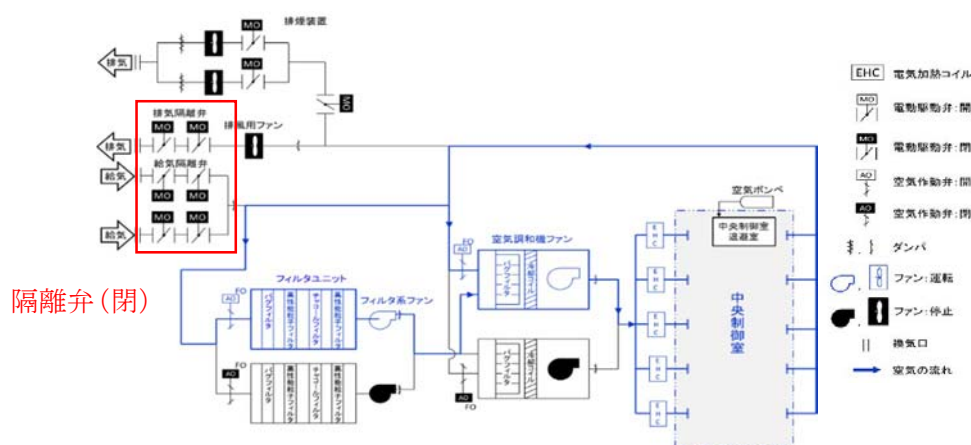


図1 閉回路循環運転の場合

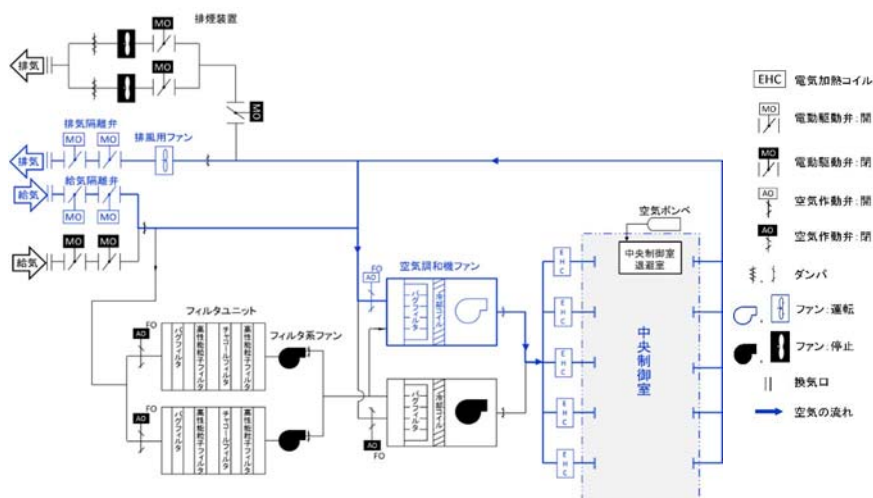


図2 通常運転の場合

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

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。

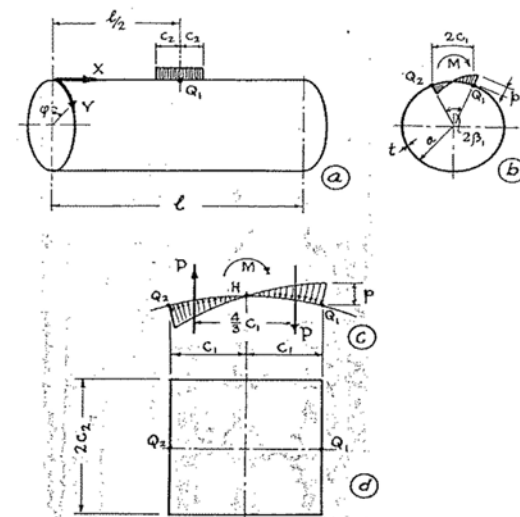


Fig. 1 Loading of vessel by circumferential moment

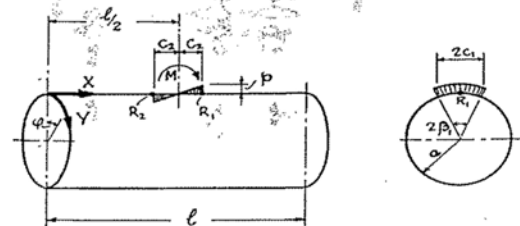


Fig. 2 Loading of vessel by longitudinal moment

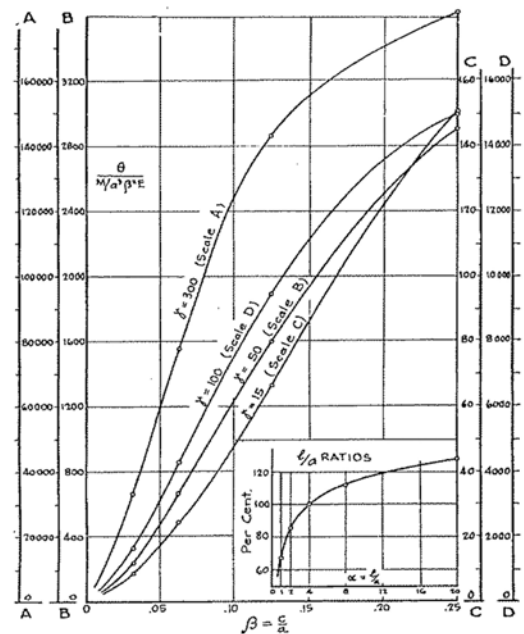


Fig. 3 θ vs. β Angle rotation from external circumferential moment M on surface $2c \times 2c$ on a cylindrical shell with radius a ($\gamma = a/t$)

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

α : l/a (上図は $\alpha=4$ の場合の図)

β : $C1/a, C2/a$

γ : a/t

E : 縦弾性係数

M : 作用する曲げモーメント

θ : 曲げが作用した際の回転角

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

また, 局部ばね定数は, θ 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 (β) 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 β 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, β 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 β 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。

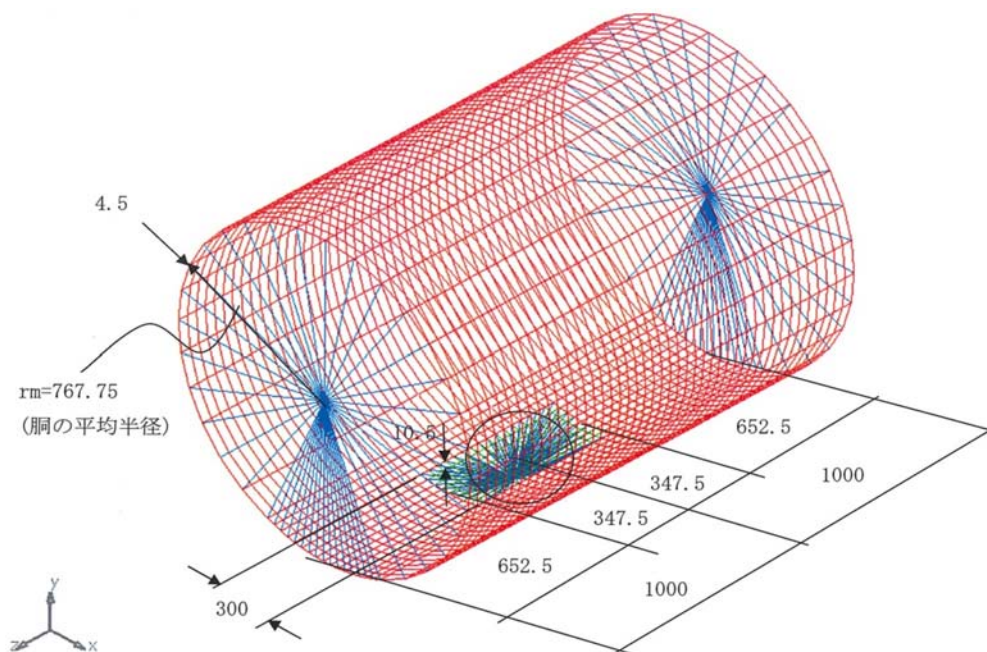
2.2 FEM 解析による算出法

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。

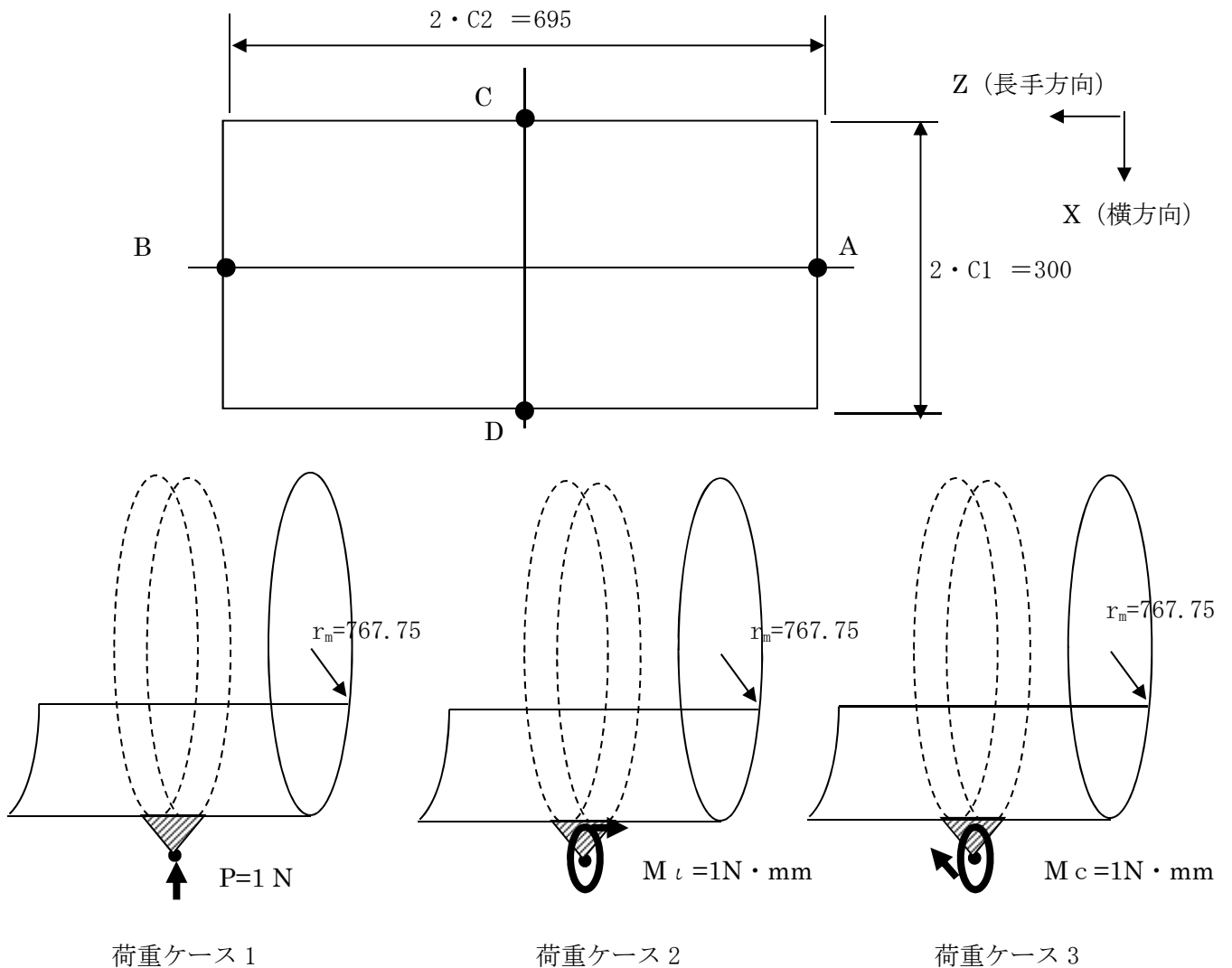


(2) 載荷点及び変位，応力算出点

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，1N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. FEM 解析

3.1 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

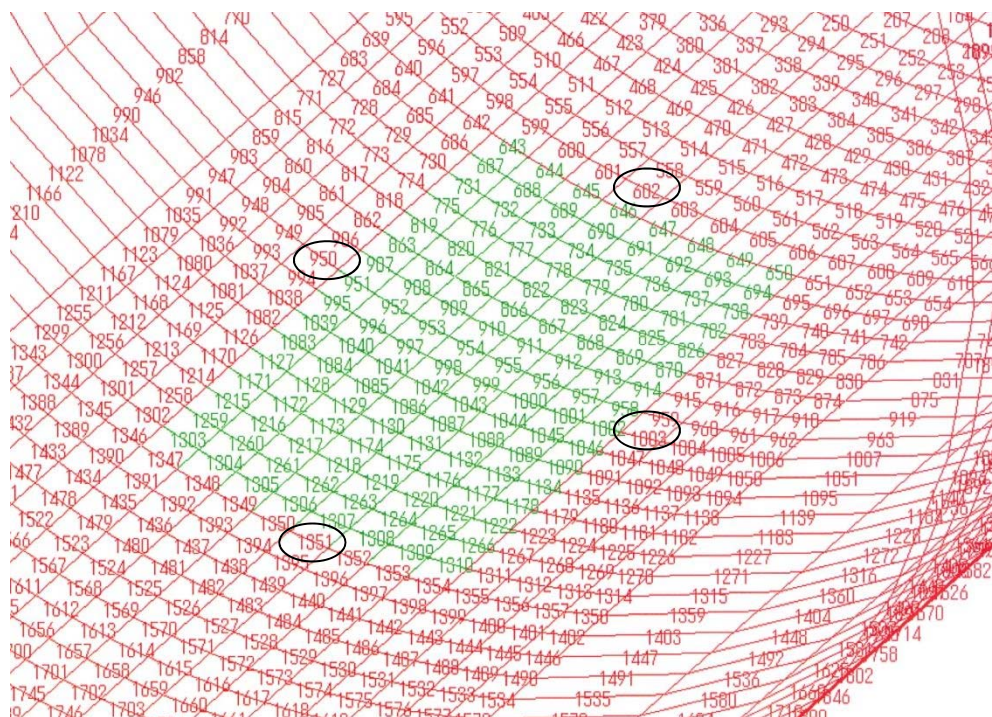


図 3-1 モデル要素番号

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。

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

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。

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

FORCES IN QUADRILATERAL ELEMENTS (QUAD4)

荷重ケース 1

ELEMENT	MEMBRANE FORCES			BENDING MOMENTS			TRANSVERSE SHEAR FORCES	
ID	FX	FY	FX	MY	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

4

荷重ケース 2

ELEMENT	MEMBRANE FORCES			BENDING MOMENTS			TRANSVERSE SHEAR FORCES	
ID	FX	FY	FX	MY	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

4

荷重ケース 3

ELEMENT	MEMBRANE FORCES			BENDING MOMENTS			TRANSVERSE SHEAR FORCES	
ID	FX	FY	FX	MY	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

4

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。

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

この値に単位荷重による応力値を代入する。

3.2 局部ばね定数

局部ばね定数は、各荷重ケースの荷重（単位荷重）を変形量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）の逆数が局部ばね定数（N/mm 又は N・mm/rad）となる。

・ 局部ばね定数 = 1 / 変位量

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

4. 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 4-1 半径方向力 $P=1\text{N}$ (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 ϕ	-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 ϕ	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 $K_p = 1 / 2.935382\text{E-}05 = 3.4067\text{e+}4$ (N/mm)

表 4-2 長手方向モーメント荷重 $M_L = 1\text{N} \cdot \text{mm}$ (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 ϕ	-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 ϕ	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 $K_L = 1 / 1.407487\text{E-}10 = 7.1048\text{e+}9$ (Nmm/rad)

表 4-3 周方向モーメント荷重 $M_C = 1\text{N} \cdot \text{mm}$ (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 ϕ	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 ϕ	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 $K_C = 1 / 2.735953\text{E-}09 = 3.6550\text{e+}8$ (Nmm/rad)