RCCM13 – Analyse de tuyauterie avec POST_RCCM en ZE200

Résumé :

Ce test est un test de validation élémentaire de la commande POST_RCCM avec le TYPE_RESU_MECA='ZE200a' et 'ZE200b'.

La solution analytique est simple, et permet de tester le post-traitement au sens du RCC-M. Les contraintes ne sont pas calculées mais extraites de tables.

Plus précisément, la modélisation A permet de tester les options SN et FATIGUE pour des résultats de type ZE200a avec et sans séisme.

Plus précisément, la modélisation B permet de tester l ' option SN pour des résultats de type ZE200b avec et sans séisme.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Propriétés de matériaux

Les propriétés matériau et les caractéristiques propres au calcul RCC-M sont les suivantes :

1) module d'Young : $E=2.E+05\,MPa$;
2) constantes matériau pour le calcul de Ke : $n=0.2$, $m=2$;
3) module d'Young de référence : $E_{REFE}=2.E+05\,MPa$;
4) contrainte admissible : $Sm=2000\,MPa$.

La courbe de Wöhler est définie analytiquement : $N_{adm}=\frac{5.10^5}{S_{alt}}$

1.2 Évolution des contraintes

Les contraintes sur le segment d'analyse ne sont pas calculées mais lues directement dans une table. La seule composante non nulle du tenseur des contraintes est σ_{yy} . Deux situations sont considérées. Ces situations ne visent pas à représenter un transitoire réel spécifique, mais à couvrir l'ensemble des contraintes possibles (évolution constante, linéaire ou non-linéaire de la contrainte dans l'épaisseur).

Instant	**Contraintes thermiques**			**Contraintes dues à la pression**			**Contraintes thermiques+pression**		
	Abscisse			*Abscisse*			*Abscisse*		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2
1,5	90	100	110	90	100	110	180	200	220
2,5	0	100	0	0	100	0	0	200	0
3,5	100	-50	-100	100	-50	-100	200	-100	-200
4,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 1.2-1 : Définition des contraintes σ_{yy} (en MPa) pour les instants de la situation 1 en fonction de l'abscisse curviligne

Instant	**Contraintes thermiques**			**Contraintes dues à la pression**			**Contraintes thermiques+pression**		
	Abscisse			*Abscisse*			*Abscisse*		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2
1	90	100	90	0	0	0	90	100	90
2	0	100	0	0	0	0	0	100	0
3	100	-50	-100	0	0	0	100	-50	-100
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 1.2-2 : Définition des contraintes σ_{yy} (en MPa) pour les instants de la situation 2 en fonction de l'abscisse curviligne

En ZE200, les moments sont définis selon deux torseurs (en ze200a, la pression également)

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

	P_A	P_B	M_{xA}	M_{yA}	M_{zA}	M_{xB}	M_{yB}	M_{zB}
Situation 1	201	1	21	0	0	1	0	0
Situation 2	0	0	1	0	0	61	0	0

Tableau 1.2-3 : Définition des torseurs sur les moments (en N.mm) et la pression (en MPa) pour les situations 1 et 2

En ZE200, l es caractéristiques de la tuyauterie(épaisseur, rayon, moment d'inertie) sont nécessaires au calcul des grandeurs, de même que les indices de contraintes. Dans cet exemple, on choisit **arbitrairement**

$$e=1\,mm$$
$$R=0,5\,mm$$
$$I=1\,m^4$$

$$K_1=1 \quad \text{et} \quad C_1=1$$
$$K_2=1 \quad \text{et} \quad C_2=2$$
$$K_3=1 \quad \text{et} \quad C_3=1$$

M_{xS}	M_{yS}	M_{zS}
21	0	0

Tableau 1.2-4 : Définition des torseurs sur les moments (en N.mm) p our le séisme

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Solution de référence

2.1 Résultats de référence

2.1.1 ZE200a

2.1.1.1 Calcul de Sn

Le paramètre Sn représente l'amplitude de variation de la contrainte linéaire (contrainte moyenne $\pm$ contrainte de flexion) entre deux instants du transitoire considéré.

$$S_n = C_1 \frac{R}{e} |P_A - P_B| + C_2 \frac{R}{I} \sqrt{((M_{xA}-M_{xB})^2 + (M_{yA}-M_{yB})^2 + (M_{zA}-M_{zB})^2)} + \| \sigma^{lin}_{tran}(t_1) - \sigma^{lin}_{tran}(t_2) \|$$

Sans contraintes thermiques, pour la situation 1 $S_n = 120$ et pour la situation 2 $S_n = 60$ (à l'origine et à l'extrémité).

Avec contraintes thermiques, on calcule les amplitudes maximales de contraintes thermiques linéarisées à l'origine puis à l'extrémité.

Situation 1

Instant	Contraintes thermiques			σ^{moyen}	$\sigma^{flexion}$	σ^{lin}_0	σ^{lin}_L
	Abscisse						
	0	1	2				
1,5	90	100	110	100	1 0	90	11 0
2,5	0	100	-90	27,5	-45	72,5	-17,5
3,5	100	-50	-100	-25	-100	75	-125
4,5	0	0	0	0	0	0	0

Instant 1	Instant 2	Sn_0	Sn_L
1,5	2,5	17,5	127,5
1,5	3,5	15	**235**
1,5	4,5	**90**	110
2,5	3,5	2,5	107,5
2,5	4,5	72,5	17,5
3,5	4,5	75	125

Pour la situation 1 avec contraintes thermiques, $Sn_0 = 120 + 90 = 210$ et $Sn_L = 120 + 235 = 355$.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Situation 2

Instant	Contraintes thermiques			σ^{moyen}	$\sigma^{flexion}$	σ_0^{lin}	σ_L^{lin}
	Abscisse						
	0	1	2				
1	90	100	90	95	0	95	95
2	0	100	-90	27,5	-45	72,5	-17,5
3	100	-50	-100	-25	-100	75	-125
4	0	0	0	0	0	0	0

Instant 1	Instant 2	Sn_0	Sn_L
1	2	22,5	112,5
1	3	20	**220**
1	4	**95**	95
2	3	2,5	107,5
2	4	72,5	17,5
3	4	75	125

Pour la situation 2 avec contraintes thermiques, $Sn_0=60+95=155$ et $Sn_L=60+220=280$.

2.1.1.2 Calcul de Sn avec séisme

On vient ajouter la contribution du séisme à la grandeur Sn telle que

$$S_{nS}=\begin{matrix} C_1\frac{R}{e}|P_A-P_B| \\ +C_2\frac{R}{I}\sqrt{((M_{xA}-M_{xB}\pm 2M_{xS})^2+(M_{yA}-M_{yB}\pm 2M_{yS})^2+(M_{zA}-M_{zB}\pm 2M_{zS})^2)} \\ +\|\sigma_{tran}^{lin}(t_1)-\sigma_{tran}^{lin}(t_2)\| \end{matrix}$$

Pour la situation 1 sans contraintes sous forme de transitoire,

$$S_{nS}=C_1\frac{R}{e}|P_A-P_B|+C_2\frac{R}{I}\sqrt{((M_{xA}-M_{xB}\pm 2M_{xS})^2)}$$

$Sn_S=1*\frac{0,5}{1}|201-1|+2*\frac{0,5}{1}\sqrt{((21-1\pm 2*21)^2)}=100+62=162$ à l'origine et à l'extrémité.

Pour la situation 2 sans contraintes sous forme de transitoire,

$Sn_S=1*\frac{0,5}{1}|0-0|+2*\frac{0,5}{1}\sqrt{((1-61\pm 2*21)^2)}=102$ à l'origine et à l'extrémité.

2.1.1.3 Calcul de fatigue pour les situations 1 et 2 dans le même groupe

Le calcul est détaillé pour la combinaison des situations 1 et 2 uniquement et à l'origine.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

On cherche à remplir le tableau des facteurs d'usage élémentaires.

On calcule d'abord les grandeurs par situations puis la combinaison.

Situation 1

Pour la situation 1, on rappelle qu 'avec les contraintes thermiques $Sn_0=210$ (partie 2.1.1). On calcule la grandeur Sp à l'origine .

$$S_p=K_1C_1\frac{R}{e}|P_A-P_B|+K_2C_2\frac{R}{I}\sqrt{((M_{xA}-M_{xB})^2+(M_{yA}-M_{yB})^2+(M_{zA}-M_{zB})^2)}+\|\sigma_{tran}(t_1)-\sigma_{tran}(t_2)\|$$

Sans contraintes thermiques, pour la situation 1 $S_p^0=120$.

Avec contraintes thermiques, on calcule les amplitudes maximales de contraintes thermiques linéarisées à l'origine :

Instant 1	Instant 2	Sp_0
1,5	2,5	90
1,5	3,5	10
1,5	4,5	90
2,5	3,5	**100**
2,5	4,5	0
3,5	4,5	**100**

Pour la situation 1, on a donc $Sp_0=120+100=220$.

Pour $Sm=2000\,MPa$, on a donc $Ke=1$ et $Salt_0=\frac{1}{2}\frac{E_c}{E}Ke\,Sp_0=110\,MPa$. D'après la courbe de Wöhler on a donc $Nadm_0=\frac{500000}{Salt_0}=4545$ soit $FU_0=2{,}2\,10^{-4}$.

Situation 2

De manière similaire pour la situation 2, on a $Sn_0=155$, $Sp_0=60+100=160$, soit $Ke=1$ et $Salt_0=80\,MPa$ soit $FU_0=1{,}6.10^{-4}$.

Combinaison des situations 1 et 2

Pour la combinaison des situations 1 et 2 on a sans la thermique

$$S_n^0=C_1\frac{R}{e}|201-0|+C_2\frac{R}{I}\sqrt{((21-61)^2)}=100{,}5+40=140{,}5$$

Avec la thermique on a $Sn_0=95+140{,}5=235{,}5$ pour les instants 4,5 et 1. Donc $Ke=1$.

Sans la thermique $Sp_0^1=140{,}5$ puis par exemple en combinant les instants 2,5 et 3 $Sp_0^1=240{,}5$ soit $FU_0^1=2{,}405.10^{-4}$.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

On calcule le deuxième transitoire fictif, sans la thermique sur les moments et la pression on prend les états complémentaires soit $Sp_0^2=C_1\frac{R}{e}|1-0|+C_2\frac{R}{I}\sqrt{((1-1)^2)}=0,5$. Puis en combinant les instants 3,5 et 2 $Sp_0^2=100+0,5=100,5$ soit $FU_0^2=1,005.10^{-4}$.

Le facteur d'usage de la combinaison des situations 1 et 2 est donc $FU=FU_0^1+FU_0^2=2,405.10^{-4}+1,005.10^{-4}=3,41.10^{-4}$

Le tableau des facteurs d'usage élémentaires à l'origine est donc

	Situation 1	Situation 2
Situation 1	$2,2\,10^{-4}$	$3,41.10^{-4}$
Situation 2		$1,6.10^{-4}$

Comme on a $Nocc_1=1$ et $Nocc_2=1$ on a $FU_{TOTAL}^{ORI}=3,41.10^{-4}$.

2.1.2 ZE200b

2.1.2.1 Calcul de Sn

Le paramètre Sn représente l'amplitude de variation de la contrainte linéaire (contrainte moyenne $\pm$ contrainte de flexion) entre deux instants du transitoire considéré.

$$S_n=C_2\frac{R}{I}\sqrt{((M_{xA}-M_{xB})^2+(M_{yA}-M_{yB})^2+(M_{zA}-M_{zB})^2)}+\|\sigma_{tran}^{lin}(t_1)-\sigma_{tran}^{lin}(t_2)\|$$

Sans contraintes thermiques ni de pression, pour la situation 1 $S_n=20$ (à l'origine et à l'extrémité).

Avec contraintes sous forme de transitoire, on calcule les amplitudes maximales de contraintes thermiques+pression linéarisées à l'origine puis à l'extrémité.

Situation 1

Instant	Contraintes thermiques+pression			σ^{moyen}	$\sigma^{flexion}$	σ_0^{lin}	σ_L^{lin}
	Abscisse						
	0	1	2				
1,5	180	200	220	200	2 0	180	22 0
2,5	0	200	-180	55	-90	145	-35
3,5	200	-100	-200	-50	-200	150	-250
4,5	0	0	0	0	0	0	0

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Instant 1	Instant 2	Sn_0	Sn_L
1,5	2,5	35	255
1,5	3,5	30	**470**
1,5	4,5	**180**	220
2,5	3,5	5	215
2,5	4,5	145	35
3,5	4,5	150	250

Pour la situation 1 avec contraintes sous forme de transitoire, $Sn_0=20+180=200$ et $Sn_L=20+470=490$.

Situation 2

Sans contraintes thermiques ni de pression, pour la situation 2 $S_n=60$ (à l'origine et à l'extrémité).

La situation 2 n'a pas de contraintes de pression donc le calcul de la partie sous forme de transitoire est le même qu'en ZE200a (partie2.1.1.1).

Pour la situation 2 avec contraintes thermiques, $Sn_0=60+95=155$ et $Sn_L=60+220=280$.

2.1.2.2 Calcul de Sn avec séisme

On vient ajouter la contribution du séisme à la grandeur Sn telle que

$$S_{nS}=C_2\frac{R}{I}\sqrt{\left(\left(M_{xA}-M_{xB}\pm 2M_{xS}\right)^2+\left(M_{yA}-M_{yB}\pm 2M_{yS}\right)^2+\left(M_{zA}-M_{zB}\pm 2M_{zS}\right)^2\right)}+\left\|\sigma^{lin}_{tran}(t_1)-\sigma^{lin}_{tran}(t_2)\right\|$$

Pour la situation 1 sans contraintes sous forme de transitoire,

$S_{nS}=C_2\frac{R}{I}\sqrt{\left(\left(M_{xA}-M_{xB}\pm 2M_{xS}\right)^2\right)}=2*\frac{0,5}{1}\sqrt{\left(\left(21-1\pm 2*21\right)^2\right)}=62$ à l'origine et à l'extrémité.

Pour la situation 2 sans contraintes sous forme de transitoire,

$S_{nS}=C_2\frac{R}{I}\sqrt{\left(\left(M_{xA}-M_{xB}\pm 2M_{xS}\right)^2\right)}=2*\frac{0,5}{1}\sqrt{\left(\left(1-61\pm 2*21\right)^2\right)}=102$ à l'origine et à l'extrémité.

2.2 Incertitude sur la solution

Solution analytique.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Aucun calcul thermique ou mécanique n'est réalisé dans ce test : les tableaux de relevés de contraintes sont directement fournis à l'opérateur POST_RCCM. Les résultats de type ZE200a sont analysés pour les options SN et FATIGUE.

3.2 Grandeurs testées et résultats

Sur ce cas test simple, l'ensemble des résultats testés est en accord avec la solution de référence avec une précision de 10^{-4} % .

- pour le calcul de Sn, de Sp, de Salt et du facteur d'usage,
- pour une jonction de tuyauterie,
- avec et sans séisme.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Aucun calcul thermique ou mécanique n'est réalisé dans ce test : les tableaux de relevés de contraintes sont directement fournis à l'opérateur POST_RCCM. Les résultats de type ZE200b sont analysés pour l'option SN.

4.2 Grandeurs testées et résultats

Sur ce cas test simple, l'ensemble des résultats testés est en accord avec la solution de référence :

- pour le calcul de Sn,
- pour une jonction de tuyauterie,
- avec et sans séisme.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5 Synthèse des résultats

Les résultats sont exacts et montrent que l'opérateur POST_RCCM sélectionne correctement les quantités à traiter et calcule correctement les intégrales (moyennes sur les segments) aussi bien pour les résultats de type ZE200a que de type ZE200b.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)