SSNV229 - Validation des formules ETCC dans DEFI_CABLE_BP

Résumé :

Le but de ce cas-test est de valider les formules ETCC implanté dans l'opérateur DEFI_CABLE_BP, qui calcule les profils de tension dans les câbles de précontrainte d'une structure de béton. Les pertes prises en compte dans Code_Aster sont les pertes de tension par frottement entre les câbles et le béton, par recul aux ancrages, et par relaxation de l'acier, matériau constituant les câbles.

La structure considérée est un cylindre, contenant dans son épaisseur dix câbles de précontrainte. Les câbles décrivent chacun un cercle dans un plan horizontal, et parcourent la structure sur sa longueur. Tous les câbles sont ancrés sur la même ligne.

Les résultats obtenus sont validés par comparaison avec ceux théoriquement attendus. Deux modélisations sont proposées. La modélisation A permet de tester la prise en compte directe de la relaxation des aciers (méthode approchée). La modélisation B permet de modéliser plus finement la relaxation des aciers en réalisant un calcul à court terme et un calcul à long terme qui pourra être combiné à la modélisation du retrait et du fluage dans le béton.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Il s'agit d'un cylindre en béton de hauteur est $H=10\,m$ et de rayon moyen $R=20.5\,m$.

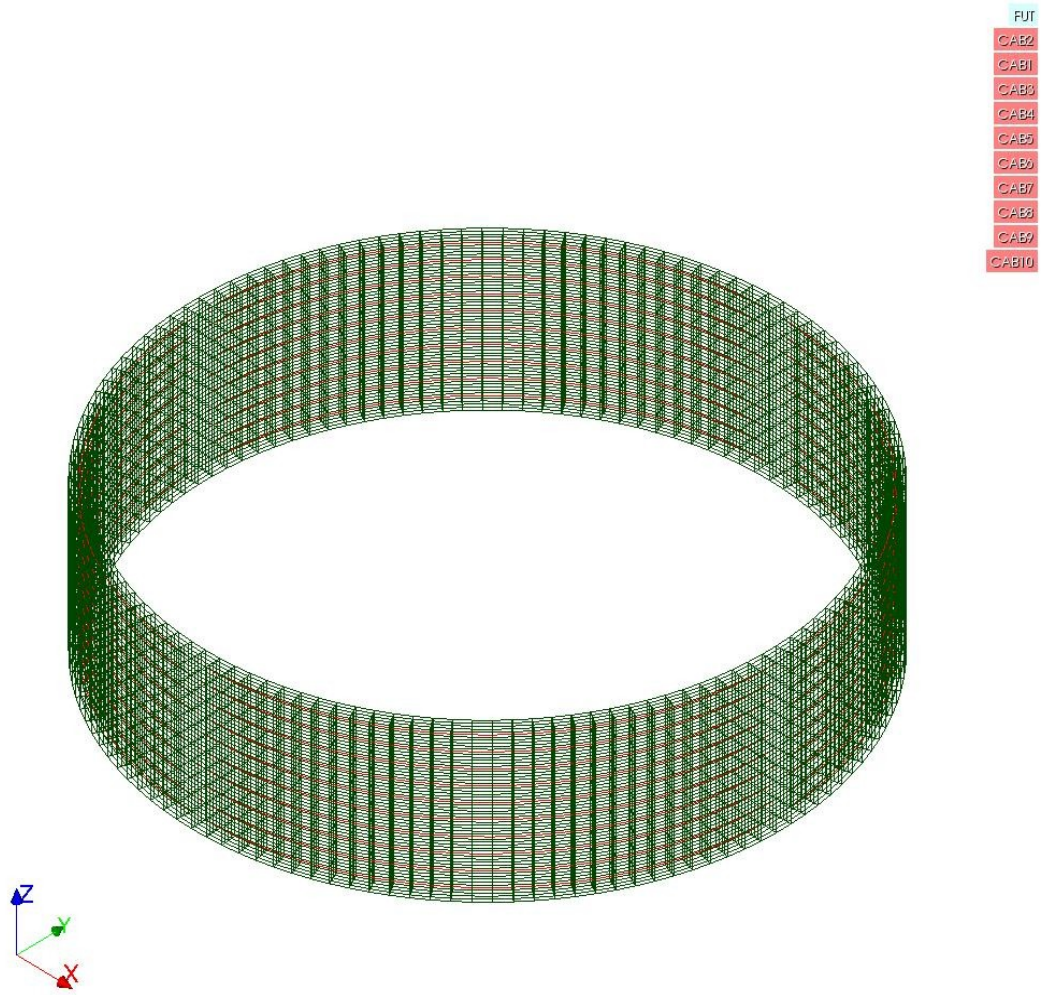

Figure 1.1-a: modèle étudié

L'épaisseur du voile vaut $e=1\,m$.

Les câbles décrivent chacun un cercle dans un plan horizontal, et parcourent ainsi la structure sur sa longueur. Tous les câbles sont ancrés sur la même ligne. Les 10 câbles sont espacés de $1\,m$ entre $z=-4.5\,m$ et $z=4.5\,m$.

L'aire de la section droite de chacun des câbles vaut $S_a=7.923\,10^{-3}\,m^2$.

1.2 Propriétés des matériaux

1.2.1 Matériau béton constituant le voile

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Propriétés élastiques :

Module d'Young $E_b = 3.10^{10}\,Pa$

Coefficient de Poisson $\nu_b = 0,2$

1.2.2 Matériau acier constituant les câbles

Propriétés élastiques :

Module d'Young $E_a = 1,915.10^{11}\,Pa$

Coefficient de Poisson $\nu_a = 0,3$

Paramètres caractéristiques pour estimation des pertes de tension :

Contrainte limite élastique de l'acier $f_{prg} = 1,814.10^{9}\,Pa$

Coefficient de frottement $\mu = 0,17$

Coefficient de perte en ligne $k = \frac{0,0015}{0,17}\,m^{-1}$

Relaxation de l'acier à 1000 heures $\rho_{1000} = 2,5\,\%$

1.3 Chargement

On applique aux deux extrémités de chaque câble un effort normal de traction. La valeur de la contrainte appliquée dans l'acier est $\sigma_0 = 0,8\,F_{prg} = 1487,48\,MPa$ soit une tension $F_0 = 11,785.10^{6}\,N$.

Pour évaluer les pertes de tension au voisinage des ancrages, on tient compte d'un recul aux ancrages $\Delta = 8.10^{-3}\,m$.

Les caractéristiques sont évaluées après 65 ans, soit $t = 569790\,h$ qui correspond au paramètre NBH_RELAX.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Solution de référence

2.1 Effort normal dans les câbles

La solution de référence a été obtenue par une feuille de calcul sous Excel réalisée par la société GDS.

Les deux modélisations correspondent à deux modes de calcul de la perte de précontrainte due à la relaxation des aciers.

- Dans la modélisation A, les pertes par relaxation sont considérées en négligeant les pertes élastiques (calcul direct avec DEFI_CABLE_BP) soit :

$$F_i(s) = F_0 \exp^{-\mu(\theta + k\,s)} - \text{recul d'ancrage}$$

et finalement :

$$F(s) = F_i(s) - 0{,}66\,\rho_{1000}\,.\exp^{9{,}1\,F_i(s)/F_{prg}}.\left(\frac{t}{1000}\right)^{0{,}75(1-F_i(s))/F_{prg}}.10^{-5}\,F_i(s)$$

- Dans la modélisation B, les pertes par relaxation des aciers sont calculées à partir de la tension prenant en compte les pertes élastiques obtenues par un précédent calcul, où les câbles ont été mis en tension en 2 groupes, soit :

pour le groupe 1 (câbles impairs) :

$$F_i^1(s) = F_0 \exp^{-\mu(\theta + k\,s)} - \text{recul d'ancrage} - \frac{A_p E_p \Delta\sigma_c(x)}{E}$$

pour le groupe 2 (câbles pairs) :

$$F_i^2(s) = F_0 \exp^{-\mu(\theta + k\,s)} - \text{recul d'ancrage}$$

et $F(s) = F_i^{1,2}(s) - 0{,}66\,\rho_{1000}\,.\exp^{9{,}1\,F_i^{1,2}(s)/F_{prg}}.\left(\frac{t}{1000}\right)^{0{,}75(1-F_i^{1,2}(s))/F_{prg}}.10^{-5}\,F_i^{1,2}(s)$

La valeur de référence a en réalité était obtenue en considérant qu'on avait les mêmes pertes élastiques sur tous les câbles valant $\Delta F_{el}(s) = \frac{A_p E_p \Delta\sigma_c(x)}{2E}$.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques des modélisations

Le mur en béton est représenté par des éléments 3D supportés dans les deux cas par des mailles hexaédriques à 8 nœuds : on compte 10 mailles sur une génératrice verticale, 4 mailles dans l'épaisseur et 126 sur la circonférence.

Pour valider séparément la prise en compte des pertes par frottement et par recul d'ancrage, on ne considère les pertes par relaxation que sur les câbles pairs.

3.2 Grandeurs testées et résultats

La composante testée est la tension dans les câbles N.

Valeur abscisse curviligne (en mètres)	Câble concerné	Type de référence	Valeur de référence [N]	Tolérance (%)
0.	'CAB1'	'ANALYTIQUE'	$9{,}537.10^6$	0.50%
9.2	'CAB1'	'ANALYTIQUE'	$10{,}436.10^6$	0.50%
64.4	'CAB1'	'ANALYTIQUE'	$6{,}273.10^6$	0.50%
0.	'CAB2'	'ANALYTIQUE'	$9{,}286.10^6$	0.50%
9.2	'CAB2'	'ANALYTIQUE'	$10{,}079.10^6$	0.50%
64.4	'CAB2'	'ANALYTIQUE'	$6{,}210.10^6$	0.50%

3.3 Remarques

Les écarts sont très faibles, sachant que la discrétisation du câble n'est pas tout à fait identique. L'écart le plus important se situe au niveau de l'ancrage et de l'estimation des pertes par recul d'ancrage.

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation et maillage

Le maillage est identique à la modélisation A. En revanche, le calcul de la tension est réalisé en 2 étapes.

- Dans la première le calcul de la tension est réalisé en prenant uniquement en compte les pertes par frottement et par recule d'ancrage. La mise en tension est ensuite effectuée à l'aide de CALC_PRECONT , en deux étapes permettant de récupérer les pertes élastiques : la mise en tension des câbles impairs dans un premier temps puis la mise en tension des câbles pairs.
- Dans la deuxième phase, le calcul de la tension des câbles est réalisé en modélisant la relaxation des aciers.

4.2 Grandeurs testées et résultats

La composante testée est la tension dans les câbles N.

Valeur abscisse curviligne (en mètres)	Câble concerné	Type de référence	Valeur de référence [N]	Tolérance (%)
0.	'CAB9'	'ANALYTIQUE'	$9{,}289.10^6$	0.50%
9.2	'CAB9'	'ANALYTIQUE'	$10{,}085.10^6$	0.50%
64.4	'CAB9'	'ANALYTIQUE'	$6{,}210.10^6$	0.50%
0.	'CAB10'	'ANALYTIQUE'	$9{,}289.10^6$	0.50%
9.2	'CAB10'	'ANALYTIQUE'	$10{,}085.10^6$	0.50%
64.4	'CAB10'	'ANALYTIQUE'	$6{,}210.10^6$	0.50%

5 Synthèse des résultats

Les résultats obtenus sont validés par comparaison avec ceux théoriquement attendus avec une bonne précision.

Les fonctionnalités particulières testées sont les suivantes :

- opérateur DEFI_MATERIAU [U4.23.01] : définition des paramètres caractéristiques des matériaux acier et béton permettant le calcul de la tension le long des câbles de précontrainte, conformément aux règles de l'ETCC ;
- opérateur DEFI_CABLE_BP [U4.23.06] : calcul de la tension le long des câbles ;

Copyright 2015 EDF R&D - Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)