B.3 Prise en compte de l'amortissement

B.3 Prise en compte de l'amortissement

L'amortissement des amplitudes des phénomènes vibratoires d'une structure est lié à des phénomènes dissipatifs d'origines très variées qui peuvent se produire au sein de la structure. Il peut s'agir de phénomènes visqueux propres à des amortisseurs fluides que l'on peut trouver dans des boîtes à ressort ou des amortisseurs (isolateurs à câble, amortisseur de type Jarret™, amortisseur à fluide visqueux). Il peut s'agir également de phénomènes de dissipation structurelle liés à des états de fissurations et aux frottements aux interfaces des matériaux. L'énergie est consommée dans les hystérésis de comportement des matériaux.

Dans l'essentiel des cas, la prise en compte de l'amortissement s'opère dans les calculs dynamiques au travers d'une matrice d'amortissement visqueux $\boldsymbol{C}$. Les termes de cette matrice peuvent être localement définis exactement pour les cas où l'amortissement est totalement maîtrisé parce qu'il s'agit d'équipements amortissants dont on connaît les caractéristiques. Mais la plupart du temps, pour les structures de GC, il est rare de connaître le terme d'amortissement compte tenu de l'hétérogénéité des structures et du caractère non visqueux des matériaux eux-mêmes.

On préfère construire cette matrice à partir des taux d'amortissement critique, définis réglementairement pour les différents matériaux. Ces taux sont définis avec une hypothèse de comportement visqueux proportionnel à la vitesse de sollicitations ; il s'agit d'une fraction de la valeur d'amortissement critique qui conduit pour un oscillateur simple à un retour à l'équilibre sans passer par un régime d'oscillations.

Pour les cas où les termes d'amortissement sont connus, la matrice $\boldsymbol{C}$ est construite explicitement et il est nécessaire d'avoir recours à une méthode de calcul temporel dédiée, afin de bien respecter les caractéristiques de celle-ci :

- soit avec un calcul par intégration directe : il s'agit de résoudre l'équilibre dynamique à chaque instant en ayant discrétisé le temps,
- soit avec un calcul par projection sur base modale, faisant appel à des modes complexes.

Les analyses de phénomènes de dynamique rapide (explosion, impact) doivent faire l'objet de considérations spécifiques.

En effet, il n'est pas nécessaire de considérer d'amortissement pour les études de vérifications locales de résistance ou de vibrations sur des temps trop courts pour « activer » des réponses harmoniques de la structure. On peut donc se passer pour ces cas de prendre en compte l'amortissement.

Il convient par ailleurs de noter que ce genre de calculs, effectués par des codes de dynamique faisant appel à des schémas d'intégration temporelle dit explicite (LS-Dyna, Radioss, PAM-Crash, Europlexus, …) n'ont pas recours à une résolution classique faisant intervenir une « inversion » de la matrice de rigidité. Pour les analyses de vibrations induites sur une fenêtre de temps succédant la durée du choc, il est par contre nécessaire de caractériser l'amortissement.

> Nota : dans des calculs de dynamiques rapides (quelques millisecondes), le terme d'amortissement est généralement négligé car son ordre de grandeur est très inférieur à celui des termes inertiels et de rigidité locale sur le temps très court où le phénomène est analysé.

Pour les cas plus « classiques », on a généralement recours à une construction de la matrice d'amortissement à partir des taux d'amortissement critique définis pour les matériaux et par combinaison linéaire des matrices $\boldsymbol{M}$ et $\boldsymbol{K}$ qui ont déjà été élaborées par le code de calcul aux éléments finis. Cette démarche permet de simplifier considérablement les étapes de calcul. Cette approche est liée à l'hypothèse dite « de Basile » pour les analyses modales. Cette hypothèse a été formulée dans le cadre de l'identification de l'amortissement structurel (principalement en aéronautique), et est restitué comme suit :

« Même en présence de couplage modal d'amortissement, les équations modales du mouvement sont dynamiquement découplées, pour les structures faiblement amorties, si la séparation des modes en fréquences est satisfaisante ».

> Attention : prendre en compte l'hypothèse de Basile conduit à sous-évaluer la réponse dynamique ailleurs qu'à proximité des matériaux ou points d'appuis qui présentent un amortissement élevé par rapport à un calcul temporel par intégration directe ou à l'utilisation de méthodes plus sophistiquées comme celles des modes complexes. Ceci justifie le fait d'avoir recours à un calcul par intégration directe des équations de mouvement ou en faisant appel à des modes complexes.

Le plus souvent, l'hypothèse de Basile est considérée et la matrice est construite à partir de la méthode de Rayleigh.

$$\boldsymbol{C} = \alpha\boldsymbol{M} + \beta\boldsymbol{K}$$

Les termes α et β sont à caler. De manière pragmatique, la démarche qui suit doit être prise en compte. On considère :

$\alpha = \xi \frac{2\omega_1\omega_n}{\omega_1+\omega_n}$, soit exprimé en fréquence : $\alpha = 4\pi\xi \frac{2f_1f_n}{f_1+f_n}$,

$\beta = \xi \frac{2}{\omega_1 + \omega_n}$, soit exprimé en fréquence : $\beta = \xi \frac{1}{\pi(f_1 + f_n)}$,

f_1 étant une valeur inférieure au premier mode significatif de la structure, et f_n le premier mode rencontré après la coupure du spectre de réponse élastique caractérisant le signal temporel appliqué. On reconstitue pour toute valeur de ω la valeur de l'amortissement réduit, en faisant appel à la formule ci-dessous :

$\xi(\omega_i) = \frac{1}{2}\left(\frac{\alpha}{\omega_i} + \beta\omega_i\right)$, soit exprimé en fréquence : $\xi(\omega_i) = \frac{\alpha}{4\pi f_i} + \beta\pi f_i$

Attention : l'amortissement étant très largement surévalué au-delà des 2 fréquences d'intérêt, il est nécessaire de maîtriser ces deux valeurs. Si f_n a bien été choisie, la surévaluation de l'amortissement est sans conséquence car on trouve sur ces plages de fréquences des modes de corps rigides qui seront sollicités dans la réponse et les modes au-delà de la fréquence de coupure sont insensibles à l'amortissement. Mais il faut être sûr pour cela que l'on ne prête pas attention à d'éventuels modes locaux à haute fréquence.

L'impact d'une erreur dans le choix de la première fréquence peut être plus lourd de conséquences si un mode significatif a été oublié car sa réponse sera dès lors négligée.

Il importe de noter qu'entre les deux fréquences, l'amortissement est sous-évalué. On a en ce cas une évaluation conservative de la réponse de la structure.

Révision #2
★Créé 8 December 2023 11:25:25 par Paul Terrasson Duvernon
✎Mis à jour 12 December 2023 10:44:00 par Paul Terrasson Duvernon