Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 7 (1964)

Artikel: Étude théorique et expérimentale d'une poutre en caisson asymétrique avec deux appendices

Autor: Dziewolski, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-7826

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Ib 3

Etude théorique et expérimentale d'une poutre en caisson asymétrique avec deux appendices

Theoretische und experimentelle Untersuchung eines unsymmetrischen Kastenträgers mit zwei Flanschen

Theoretical and Experimental Researches of an Asymmetrical Box Girder with two Flanges

R. DZIEWOLSKI

Ingénieur Docteur, Centre Technique Industriel de la Construction Métallique, Paris

1. Notations

x, y, z	coordonnées rectangulaires.
s	abscisse curviligne d'un point de l'arc.
A	section transversale.
$s_0 =$	$\oint \frac{ds}{e}$.
e	épaisseur des parois.
a, b	dimensions de la section transversale.
l	longueur de la poutre.
λ	distance entre les raidisseurs.
$\Omega = \oint r\,ds$	double de l'aire comprise à l'intérieur de la ligne médiane de la section fermée.
r	longueur de la perpendiculaire abaissée du centre de cisaillement sur la tangente au contour.
ϕ	surface sectorielle (surface de gauchissement) des profils fermés.
$S_{\phi c}$	moment sectoriel statique des profils fermés.
I_c	moment d'inertie polaire.
I_0	moment d'inertie à la torsion uniforme.
I_ϕ	moment sectoriel d'inertie des profils fermés.
ζ	coefficient de gauchissement.
k, n	coefficients entrant dans l'équation différentielle de torsion.
M	moment de torsion.
σ_z, σ_v	composantes normales des contraintes.
τ	contrainte de cisaillement.
$q = \tau e$	flux de cisaillement.
u, w, v	composantes des déplacements élémentaires.
$\alpha_{(z)}$	angle de torsion.
$f_{(z)}$	fonction de gauchissement.

E module de Young.
G module d'élasticité au cisaillement.
ν coefficient de Poisson.
$E_1 = \dfrac{E}{1-\nu^2}$.

2. Introduction

Au cours de ces 35 dernières années, le problème de torsion non uniforme des poutres en caisson a été traité par plusieurs auteurs (Reissner, Grzedzielski, Karman et Christensen, Beskin, Vlassov, Bornscheuer, Benscoter, Dabrowski). Certains de ces auteurs ont élaboré une théorie approchée, basée sur l'hypothèse de l'indéformabilité du contour. Dans un premier développement de cette théorie [1] et [2], le gauchissement est supposé proportionnel à l'angle de torsion (comme dans le cas de la torsion uniforme). Benscoter [4] a modifié cette théorie en introduisant une «fonction de gauchissement». Deux équations différentielles lient cette fonction, l'angle de torsion et le moment de torsion. Dans cet exposé, nous avons appliqué la théorie de Benscoter aux profils doublement asymétriques composés d'éléments fermés et ouverts.

Les hypothèses de cette théorie sont les suivantes:

1. Le contour de la section transversale est indéformable.
2. Les contraintes normales longitudinales dues à la torsion sont réparties dans la section de la même façon que le gauchissement dans le cas de torsion uniforme.
3. Les tensions de cisaillement sont uniformément distribuées sur toute l'épaisseur de la paroi. Cette hypothèse peut être admise lorsque les dimensions de la pièce sont telles que:

$$\frac{e}{a} < 0{,}1\,; \qquad \frac{a}{l} < 0{,}1\,.$$

3. Rappel de la théorie de torsion non uniforme des barres à parois minces et à profil composé

Conformément à l'hypothèse, le gauchissement de la section transversale sera déterminé par la formule:

$$u = -\phi \frac{df}{dz} \tag{1}$$

où ϕ est la surface sectorielle du profil fermé (surface de gauchissement) qui caractérise le gauchissement dans l'hypothèse de torsion uniforme.

$f_{(z)}$ = la fonction de gauchissement introduite par Benscoter (certains

auteurs assimilent la fonction de gauchissement à l'angle de torsion, ce qui est inexact dans le cas de torsion non uniforme).

Connaissant le gauchissement, nous pouvons déterminer la contrainte normale longitudinale:

$$\sigma_z = E_1 \frac{du}{dz} = -E_1 \frac{d^2 f}{dz^2} \phi. \tag{2}$$

En intégrant l'équation d'équilibre de l'élément de surface $ds\,dz\,e$ d'un profil fermé, et en écrivant la condition d'équilibre des contraintes tangentielles autour du centre de cisaillement, on détermine le flux de cisaillement.

Pour la partie fermée du profil:

$$q = \frac{M}{\Omega} + E_1 \frac{d^3 f}{dz^3} S_{\phi c}. \tag{3}$$

Pour les appendices:

$$q = E_1 \frac{d^3 f}{dz^3} S_{\phi c}. \tag{4}$$

En utilisant la condition de continuité des déplacements longitudinaux au long du contour:

$$\oint \frac{\partial u}{\partial s} ds = 0 \tag{5}$$

et en tenant compte des équations:

$$\tau = G\left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial s}\right) = G\left(\frac{\partial \alpha}{\partial z} r + \frac{\partial u}{\partial s}\right) \tag{6}$$

et

$$M = \int_A r \tau e\, ds. \tag{7}$$

Nous trouvons deux équations différentielles:

$$\frac{d\alpha}{dz} I_c - \frac{df}{dz} \zeta = \frac{M}{G} \tag{8}$$

et

$$\frac{d^4 f}{dz^4} - k^2 \frac{d f^2}{dz^2} = -n \frac{dM}{dz} \tag{9}$$

où:

$$I_c = \int_A r^2 e\, ds; \qquad k^2 = \frac{I_0}{I_\phi} \zeta \frac{1-\nu}{2}; \qquad I_0 = \frac{\Omega^2}{s_0};$$

$$n = \frac{\zeta}{E_1 I_\phi}; \qquad \zeta = 1 - \frac{I_0}{I_c}; \qquad I_\phi = \int_A \phi^2 e\, ds.$$

La résolution du problème de torsion non uniforme des sections composées se conduit donc en deux étapes:

1. Calcul des caractéristiques géométriques de la section transversale (ϕ, $S_{\phi c}$, I_c, I_0, I_ϕ, k, n).
2. Résolution de l'équation différentielle (9), calcul de la fonction de gauchissement f et de ses dérivées, calcul de l'angle de torsion α en fonction du chargement de la poutre et des conditions aux extrémités de la barre.

4. Vérification expérimentale

Pour vérifier la présente théorie et pour résoudre les problèmes de torsion rencontrés lors de la réalisation du complexe sidérurgique de Dunkerque, la Cie Française d'Entreprises a procédé à une série d'essais expérimentaux. Ces essais de torsion ont été effectués au Laboratoire de Mécanique de la Faculté des Sciences de Paris en novembre 1961 sous la direction de l'auteur[1]). La poutre d'essai était une maquette simplifiée à l'échelle 1/5 d'une poutre de roulement destinée à supporter les charges de trois ponts roulants de 50 t circulant dans une des travées de la grosse tôlerie de l'Usine de Dunkerque.

La section du modèle est composée de deux âmes de 390×5 et de deux semelles de 163×10 soudées sur ces âmes, l'ensemble formant un caisson asymétrique avec deux appendices. Le caisson est raidi à l'intérieur et à l'extérieur par des raidisseurs en plat de 75×5 espacés de 400 mm, soudées sur les deux semelles et sur une âme. La longueur totale de la poutre est de 4200 mm, distance entre appuis 4000 mm.

Le module d'élasticité et le coefficient de Poisson de l'acier utilisé ont été déterminés expérimentalement. Le schéma de la mise en charge est présenté sur la fig. 1.

Deux techniques complémentaires ont été employées pour l'étude des contraintes:

1. Méthode des vernis craquelants pour l'étude de leur répartition en surface.
2. Utilisation d'extensomètres électriques (jauges à 3 directions) pour leur mesure.

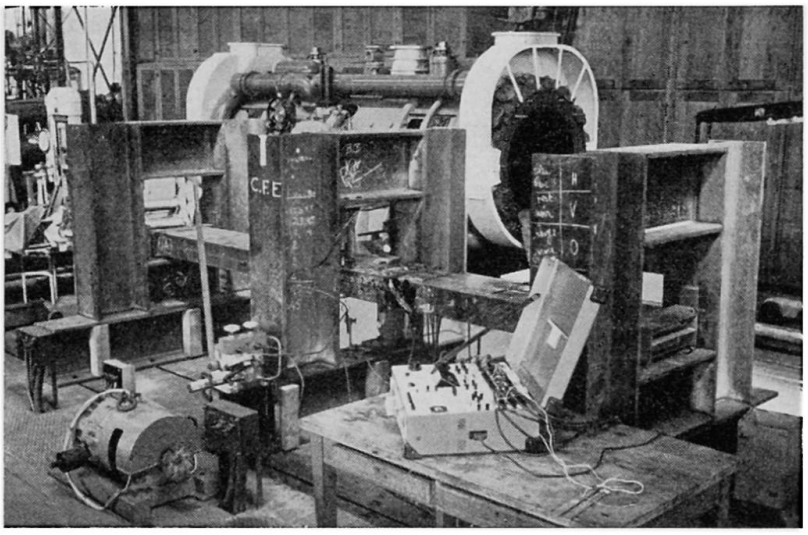

Fig. 1. Poutre en position d'essais

---

[1]) Ces essais font partie d'une thèse d'Ingénieur Docteur présentée à la Faculté des Sciences de Paris par l'auteur.

La mesure des déformations a été réalisée à l'aide de comparateurs et de miroirs.

Le schéma du relevé des lignes isostatiques normales en chaque point à la direction de la contrainte de traction maximale est donné fig. 4. Les résultats des mesures extensométriques sont représentés sous la forme de graphiques de

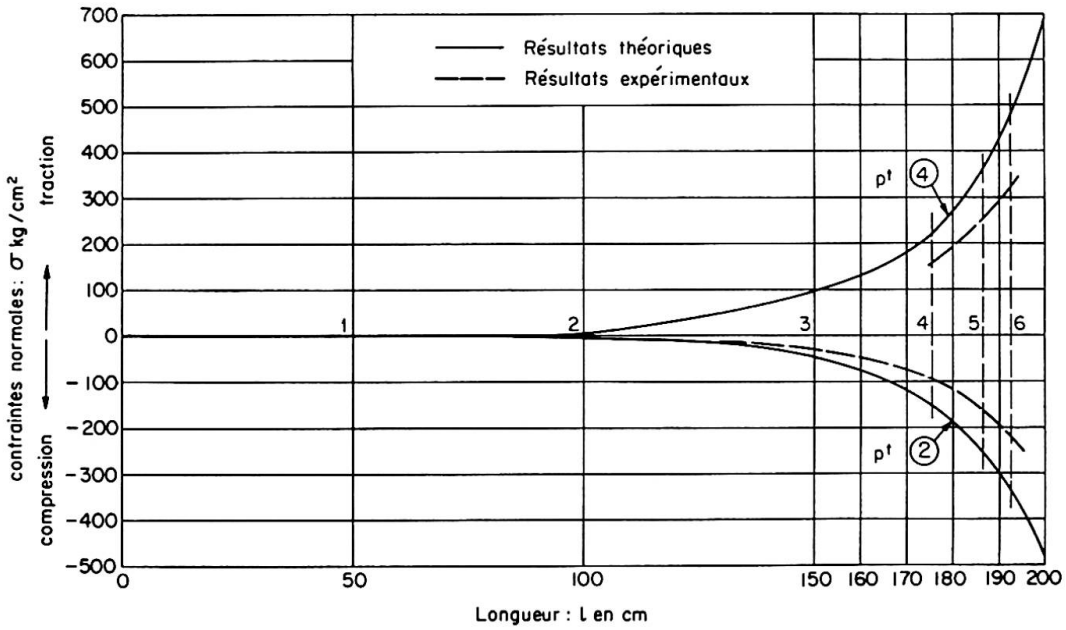

Fig. 2. Répartition des contraintes normales longitudinales le long de la poutre dans les points (2) et (4).

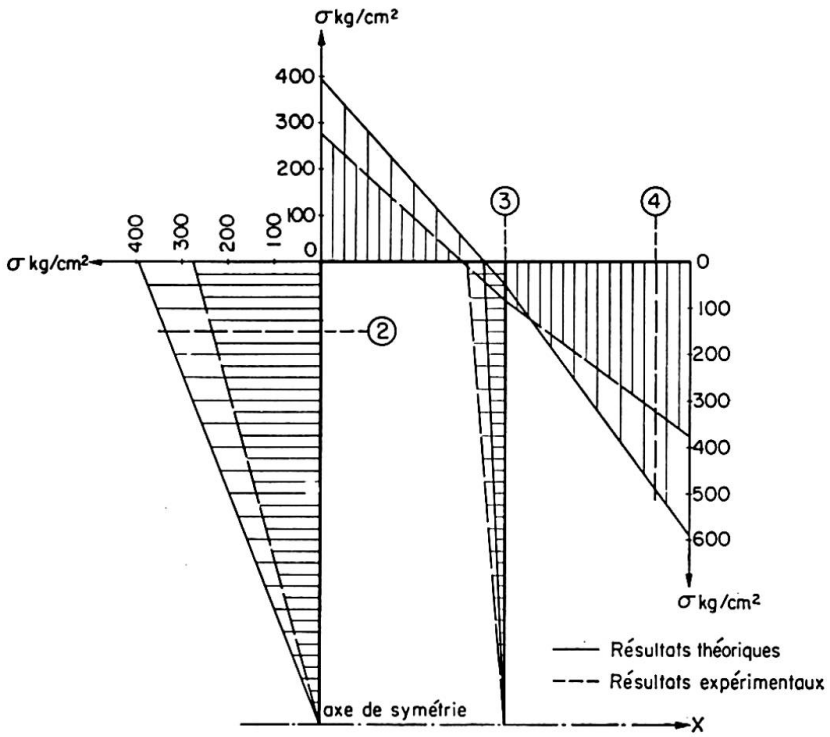

Fig. 3. Diagramme des contraintes normales longitudinales dans la section 6.

répartition des tensions normales longitudinales: la fig. 2 montre leur répartition le long de la pièce, la fig. 3 montre leur répartition dans la section transversale. On a reproduit sur les mêmes graphiques les courbes de répartition de ces contraintes obtenues par le calcul théorique. (Dans ce calcul, nous n'avons pas tenu compte de l'influence des diaphragmes et de la déformation des parois sur la résistance de la poutre à la torsion. Les valeurs des contraintes trouvées par le calcul seront donc supérieures aux valeurs réelles.)

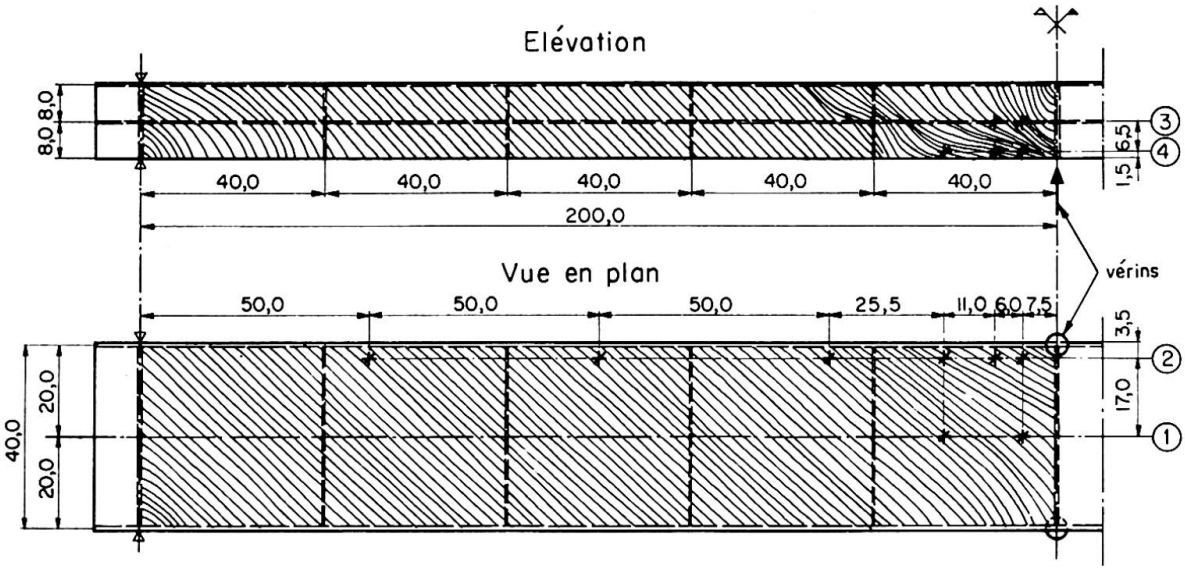

Fig. 4. Schéma du relevé des lignes isostatiques et emplacement des jauges sur la poutre.

5. Conclusions

L'analyse des graphiques et la comparaison des résultats théoriques et expérimentaux permettent les conclusions suivantes:

1. La répartition des contraintes normales longitudinales dans la section et le long de la poutre, donnée par les essais, confirme les hypothèses du calcul.
2. Les valeurs des contraintes normales trouvées expérimentalement sont inférieures d'environ 35% aux valeurs calculées.
3. Les écarts relevés entre la solution théorique et les résultats des mesures pratiques peuvent, en majeure partie, être attribués à la présence des diaphragmes et des barrettes (dont l'influence a été négligée dans le calcul).
4. L'angle de torsion trouvé expérimentalement est inférieur d'environ 5% à l'angle calculé.
5. Les diaphragmes diminuent le gauchissement de la section, et les contraintes normales en augmentent la rigidité à la torsion.
6. Au droit des diaphragmes, il se produit une légère concentration des contraintes normales (légère inflexion des craquelures isostatiques). Cette concentration confirme la proposition de calculer les barres raidies par les

diaphragmes (ou barrettes) comme des poutres chargées en plus de la charge extérieure par une série de bimoments extérieurs appliqués aux endroits de fixation des diaphragmes sur la pièce.

7. La théorie exposée ci-dessus peut être appliquée au calcul des poutres continues à sections composées d'éléments ouverts et fermés, doublement asymétriques. Elle s'adapte parfaitement à la programmation sur les ordinateurs électroniques.

Bibliographie

1. Bornscheuer: «Beispiel und Formelsammlung zur Spannungsberechnung dünnwandiger Stäbe mit wölbbehindertem Querschnitt.» Stahlbau 1952, n. 12 — 1953, n. 2.
2. Konishi et Komatsu: «Etude théorique et expérimentale des ponts à poutres continues en caisson.» Mémoires de l'AIPC 1959.
3. Benscoter: "A theory of torsion bending for multicell beams." Journal of applied mechanics. March 1954.
4. Dąbrowski: «Skrecanie mostowych i hydrotechnicznych konstrukcji cienkosciennych o przekroju zamknietym.» Rozprawy Inzynierskie T VI z 2, 1958.
5. Vlassow: «Pièces longues en voiles minces.» (Traduction du russe.) Eyrolles 1962.
6. Dziewolski: «Torsion des poutres à parois minces et à profils composés d'éléments fermés et ouverts.» Thèse d'Ingénieur Docteur présentée à la Faculté des Sciences de Paris. Paris 2. 4. 1963.

Résumé

L'auteur rappelle les principes de la théorie de torsion non uniforme des poutres à parois minces et à profils fermés. Partant des essais effectués par la Cie Française d'Entreprises sur la maquette d'une poutre de roulement, il montre l'importance des contraintes normales et compare les résultats du calcul aux résultats expérimentaux.

Zusammenfassung

Der Verfasser wiederholt die allgemeine Theorie der Wölbkraft-Torsion in geschlossenen dünnwandigen Querschnitten. Er zeigt, anhand der von der Cie Française d'Entreprises an einem Kranbahnträgermodell durchgeführten Versuche, den starken Einfluß der Längsspannungen und vergleicht die errechneten Resultate mit den experimentellen Ergebnissen.

Summary

The author is evoking the principles of the torsion-bending theory for thin-walled beams of closed cross-section. From the tests carried out by the Cie Française d'Entreprises on the model of a runway-girder, he shows the importance of normal stresses and compares the calculation results with the experimental ones.

Leere Seite
Blank page
Page vide