Sur la torsion des cylindres de révolution en béton, armés de cerces et de tirants

Autor(en): **Robinson, J.R.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen**

Band (Jahr): **26 (1966)**

PDF erstellt am: **27.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-20887

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Sur la torsion des cylindres de révolution en béton, armés de cerces et de tirants

Über die Torsion an längs- und ringbewehrten Kreiszylindern aus Beton

Torsion of Concrete Cylinders of Circular Cross-section, Reinforced with Hoops and Longitudinal Ties

J. R. ROBINSON
Paris

O. Graf et E. Mörsch ont soumis à l'essai par torsion un certain nombre de cylindres de révolution en béton armé (Réf. 1). Parmi ces cylindres, trois d'entre eux, portant les numéros 42, 47 et 52 étaient armés d'aciers longitudinaux ancrés dans leurs têtes, ou tirants, et de cerces transversales fermées par soudure. La fig. 1 indique les caractéristiques de ces cylindres.

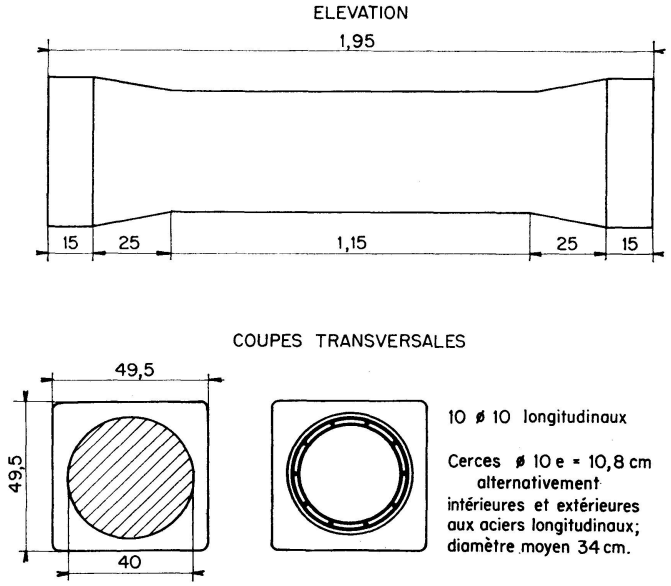

Fig. 1.

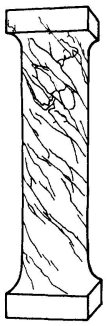

Fig. 2.

La résistance de leur béton à l'âge de l'essai (91 jours) était de 151 kg/cm² mesurée sur cubes (9 cubes de 30 cm d'arête).

Les aciers utilisés furent des aciers ronds de 10 mm de diamètre dont les

Tableau I-A. Cylindre 42

Couples (kgm)	déformations de torsion (rad. 10^{-4}/cm)		Observations
	totales	résiduelles	
250	0,008	—	
500	0,016	0	
1000	0,033	0,0007	
1500	0,052	0,0028	
2000	0,074	0,0064	
2250	0,088	—	
2400	0,099	—	Pas de fissures
2500	0,109	0,018	Fissuration observée
2750	0,80	—	
3000	1,81	0,72	
3500	4,58	2,18	
3900	—	—	Croissance rapide des déformations. La rupture survient au bout d'une minute

Tableau I-B. Cylindre 47

Couples (kgm)	déformations de torsion (rad. 10^{-4}/cm)		Observations
	totales	résiduelles	
250	0,008	—	
500	0,016	0,0007	
1000	0,034	0,0014	
1500	0,055	0,0043	
2000	0,081	0,0078	
2400	0,112	—	
2500	0,125	—	Déformation mesurée à 2 minutes de chargement. La fissuration se produit à 3 minutes de chargement
	0,41	0,13	Déformations mesurées à 10 minutes de chargement
3000	2,33	0,94	
3500	5,38	2,52	
↗			Accompagné de déformations croissantes le couple s'élève jusqu'à 3950 kgm à la rupture

Tableau I-C. Cylindre 52

Couples (kgm)	déformations de torsion (rad. 10^{-4}/cm)		Observations
	totales	résiduelles	
250	0,008	—	
500	0,016	0	
1000	0,034	0,0014	
1500	0,055	0,043	
2000	0,071	0,078	
2400	0,106	—	La fissuration apparaît
2500	0,120	0,20	
3000	1,66	0,65	
3500			Augmentation continuelle de la déformation et rupture après 6 minutes

limites de rupture varièrent de 5880 à 8530 kg/cm², mais dont les limites d'élasticité ne furent point mesurées parce que les diagrammes de traction de ces aciers ne présentaient pas de palier. D'après les deux diagrammes de traction fournis, il semble que l'on puisse estimer que la limite d'élasticité conventionnelle à 0,2% de ces aciers variait de 4100 à 4800 kg/cm².

Les couples furent appliqués par paliers croissants avec déchargement partiel à 250 kgm à chaque palier.

Les apparences observées ont été les suivantes. Pour chaque cylindre la première fissure est apparue sous un couple sensiblement égal au couple de rupture des cylindres témoins non armés. Puis les fissures, de tracé hélicoïdal et inclinées à 45° sur les génératrices, se sont multipliées avec l'augmentation du couple de torsion jusqu'à couvrir la surface d'un réseau serré et elles se sont élargies progressivement jusqu'à la rupture. Peu avant cette dernière quelques fissures atteignaient 3 mm de largeur. Les ruptures sont survenues de la même manière: une plaque, ou écaille de béton a sauté laissant les armatures à nu à son emplacement. La fig. 2 montre les apparences du cylindre n° 52 après sa rupture, les écailles de béton sautées ayant été remises en place.

Les tableaux I-A, I-B et I-C résument pour chacun des cylindres essayés les résultats des mesures effectuées et les principales observations.

Nous nous proposons d'analyser les phénomènes observés.

Lorsque la fissuration s'est produite, les apparences de l'essai suggèrent à l'évidence l'hypothèse de la formation de bielles hélicoïdales de béton inclinées à 45° et susceptibles d'équilibrer des efforts de compression. Sur une section droite du cylindre, les composantes normales à l'axe de ces efforts de com-

pression équilibrent le couple de torsion. Les composantes parallèles à l'axe sont équilibrées par la traction des tirants. Quant aux cerces, leur rôle est d'équilibrer la poussée au vide que développent les bielles hélicoïdales en raison de leur courbure.

Cerces et tirants, indispensables à l'équilibre ne peuvent entrer en action qu'à la condition de s'allonger. Le cylindre fissuré accuse la même dilatation transversale que les cerces et le même allongement longitudinal que les tirants. Les éléments de béton découpés par les fissures tendent ainsi à se séparer. Il est donc hautement improbable qu'il puisse subsister un noyau axial de béton susceptible d'équilibrer une partie de la poussée au vide des bielles par traction radiale ou une partie de leur poussée axiale et a fortiori un couple de torsion notable. Nous supposerons que le noyau n'exerce aucune de ces actions.

Par raison de symétrie, il y a conservation des sections planes avant et après fissuration.

Nous ferons l'hypothèse que partout où il est sollicité par les efforts nés de la torsion le béton est fissuré à 45° sur la direction de l'axe et plus précisément qu'il est découpé en bielles à 45° n'équilibrant que des efforts de compression sur toute surface cylindrique coaxiale au cylindre-éprouvette.

Repérons les points du cylindre en coordonnées semi-polaires par leur cote z mesurée sur l'axe, leur angle de site φ et leur distance à l'axe ou rayon vecteur r. Une couche cylindrique de rayon r et d'épaisseur dr subit la même déformation angulaire $\frac{d\theta}{dz}$ et la même dilatation longitudinale relative ϵ_l que l'ensemble du cylindre. L'accroissement absolu de son rayon δr est le même que celui du rayon des cerces puisque le béton s'appuie radialement sur ces cerces. Si donc D désigne le diamètre de ces dernières et ϵ_t leur allongement relatif, δr est égal à $D\epsilon_t/2$ et la dilatation transversale relative de la couche cylindrique est égale à:

$$\frac{\delta r}{r} = \frac{D\epsilon_t}{2r}. \tag{a}$$

Considérons au point z, φ, r l'élément de bielle découpé dans la couche précédente, de base $r\,d\varphi$, dr, et limité par les plans de cote z et $z+dz$ (fig. 3).

Les déformations d'une telle bielle en fonction de celles de la couche cylindrique à laquelle elle appartient se calculent aisément en développant sur un

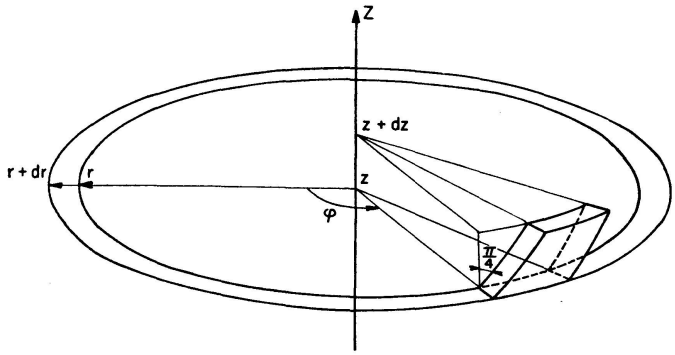

Fig. 3.

plan une tranche de hauteur dz de la couche (fig. 4). L'axe hélicoïdal de la bielle se développe en une droite AB. Dans la déformation par rotation (fig. 4a) le rectangle suivant lequel s'était développée la tranche se transforme en un parallélogramme, les côtés normaux à $0z$ se décalant de $r\,d\theta$. La variation de longueur absolue de AB est égale à la projection de BB' sur AB, soit $-r\,d\theta/\sqrt{2}$, et comme la longueur de AB est égale à $dz\sqrt{2}$ la variation relative de longueur de AB est égale à $-\frac{1}{2}r\frac{d\theta}{dz}$. Par des raisonnements analogues sur les figures b et c, l'on trouve que les variations relatives de longueur de AB sous l'effet des dilatations relatives ϵ_l et $\delta r/r$ sont égales à $\epsilon_l/2$ et à $dr/2r$. La déformation relative de la bielle est égale à la somme de ces trois variations relatives de longueur de AB.

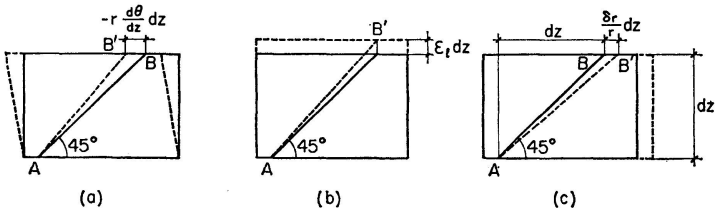

Fig. 4.

Par ailleurs cette déformations relative est égale à la somme de son retrait ρ et de sa déformation relative mécanique.

$$\epsilon' = \frac{\sigma}{E_b} \tag{1}$$

en appelant σ la contrainte de compression du béton et E_b son module sécant (fonction de σ). Nous considérons comme positifs la contrainte de compression et les raccourcissements ρ et ϵ' du béton.

En égalant les déformations géométriques d'une part, mécanique et de retrait d'autre part et en tenant compte de la relation (a), nous obtenons

$$\epsilon' + \rho = \frac{1}{2}r\frac{d\theta}{dz} - \frac{\epsilon_l}{2} - \frac{D\,\epsilon_t}{4r}, \tag{b}$$

qui se met sous la forme:

$$\epsilon' = \frac{1}{2r}\left[r^2\frac{d\theta}{dz} - r\,(\epsilon_l + 2\,\rho) - \frac{D\,\epsilon_t}{2}\right]. \tag{2}$$

Le raccourcissement ϵ' et la contrainte σ attaignent leurs maximums ϵ_b' et σ_b à la paroi où ils sont liés par l'équation (1) sous la forme:

$$\epsilon_b' = \frac{\sigma_b}{E_b} \tag{1'}$$

et où ϵ_b' est donné par l'équation

$$\epsilon_b' = \frac{1}{2\,R}\left[R^2\frac{d\theta}{dz} - R\,(\epsilon_l + 2\,\rho) - \frac{D\,\epsilon_t}{2}\right] \tag{2'}$$

obtenue en remplaçant dans l'équation (2) la variable r par R, rayon du cylindre. De la paroi vers l'intérieur du cylindre, ϵ' et σ décroissent avec r jusqu'à s'annuler pour une valeur r_0, racine positive de l'équation

$$r_0^2 \frac{d\theta}{dz} - r_0 (\epsilon_l + 2\rho) - \frac{D\epsilon_t}{2} = 0. \tag{3}$$

Ainsi, seule participe à l'équilibre, une couche périphérique du béton du cylindre. Les bielles qui s'y forment sont donc comparables dans leur action à celles qui se forment dans la paroi d'un tube et elles s'associent aux aciers d'une manière analogue. Il semble ainsi que l'on puisse, à titre de première approximation, se servir de la théorie du tube pour évaluer les contraintes des aciers.

Rappelons que dans un tube dont l'épaisseur de la paroi est supposée petite par rapport au diamètre, la contrainte σ_{at} des cerces est donnée par la relation:

$$\sigma_{at} = \frac{2tC}{A_t \pi D^2} \tag{c}$$

et celle des tirants σ_{al} par la relation:

$$\sigma_{al} = \frac{2C}{D \sum A_l} \tag{d}$$

relations où:

- C représente le couple de torsion.
- D le diamètre des cerces, égal au diamètre à mi-paroi du tube.
- t l'espacement de deux cerces consécutives.
- A_t l'aire de la section droite de l'acier constitutif d'une cerce.
- $\sum A_l$ la somme des aires des sections droites des tirants.

Pour l'un des couples mesurés aux essais nous obtiendrons, en utilisant les formules (c) et (d), des valeurs approchées des contraintes des aciers dont nous pourrions déduire leur allongements par les équations classiques

$$\epsilon_t = \frac{\sigma_{at}}{E_a}, \tag{4}$$

$$\epsilon_l = \frac{\sigma_{al}}{E_a}. \tag{5}$$

E_a étant le module d'Young de l'acier auquel on peut attribuer la valeur $2{,}1 \cdot 10^6$ kg/cm^2.

Ces allongements nous permettraient de calculer la racine r_0 de l'équation (3), puisque nous connaissons la déformation mesurée $\frac{d\theta}{dz}$, si nous connaissions la valeur ρ du retrait. Mais devant les valeurs élevées que prend ϵ_l, la valeur de ρ apparaît comme un terme correctif qu'il n'est pas nécessaire d'évaluer avec précision. Les cylindres ont bien été soumis à une cure prolongée (4

semaines), ce qui justifierait une basse valeur de ρ. Cependant ce n'est pas le retrait moyen des cylindres qui intervient dans le calcul, mais bien le retrait de leurs couches superficielles. Dans ces conditions il semble raisonnable de prendre

$$\rho = 3 \cdot 10^{-4}.$$

Nous pouvons alors calculer r_0 et aussi ϵ_b', déformation du béton à la paroi, par l'équation (2) en y faisant $r = R$. Mais la connaissance de cette déformation ne nous renseigne pas sur la contrainte du béton parce que le diagramme déformation contrainte du béton en compression simple n'a été déterminé que jusqu'à $4 \cdot 10^{-4}$ et 75 kg/cm².

Pour obtenir une évaluation de la contrainte σ_b du béton à la paroi, nous chercherons à calculer cette contrainte à partir du couple appliqué et du rayon intérieur r_0 du tube de béton comprimé. Une bielle de béton à 45° s'appuyant sur l'élément d'aire $r\,d\varphi\,dr$ de la section droite du cylindre a pour section $r\,d\varphi\,dr/\sqrt{2}$. Si sa contrainte de compression est σ, la projection de l'effort qu'elle supporte sur la section droite, dirigée suivant la direction tangentielle a pour valeur

$$\sigma\, r\, d\varphi\, dr/2. \tag{e}$$

Il s'ensuit que le couple C a pour valeur

$$C = \pi \int_{r_0}^{R} \sigma\, r^2\, dr. \tag{f}$$

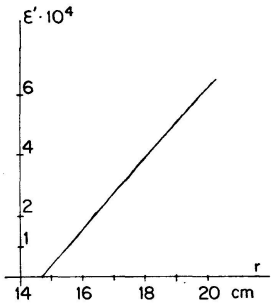

Fig. 5. Diagramme r, ϵ' d'après l'équation (2) pour le cylindre 42 sous le couple de 3000 kgm.

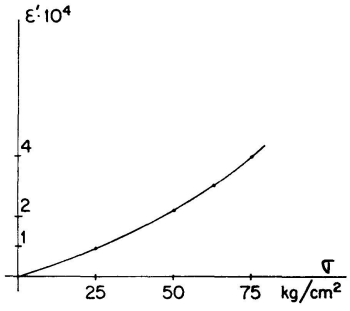

Fig. 6. Diagramme de compression du béton d'après O. Graf.

Les diagrammes représentatifs de la déformation ϵ' du béton évaluée en fonction du rayon r d'après l'équation (2) d'une part, et de cette même déformation en fonction de la contrainte dans l'essai de compression simple d'autre part (fig. 5 et 6) semblent autoriser à titre de première approximation à supposer que la contrainte σ varie linéairement de 0 à σ_b en fonction du rayon r quant ce dernier vaire de r_0 à R:

$$\sigma = \frac{r - r_0}{R - r_0}\, \sigma_b. \tag{6}$$

Des équations (f) et (6) on tire

$$C = \frac{\pi}{12}\sigma_b (R - r_0)(3 R^2 + 2 R r_0 + r_0^2) \tag{7}$$

équation qui fournit une valeur de σ_b.

Cependant, les équations utilisées ne sont pas parfaitement cohérentes, les relations (c) et (d) n'étant strictement applicables qu'à un tube dont l'épaisseur de la paroi peut être négligée par rapport au rayon, ce qui n'est pas le cas. Cherchons donc des expressions des contraintes des aciers qui soient en accord avec l'hypothèse (6).

Le rayon de courbure de l'hélice à 45° tracée sur un cylindre de rayon r étant égal à $2r$, la poussée au vide, ou poussée radiale d'une bielle d'épaisseur dr située sur ce cylindre est égale à $\sigma dr/2r$ par unité de sa surface. Pour l'élément de surface $dr\,dz$ cette poussée est égale à $\sigma dr\,d\varphi\,dz/2$. Par unité d'angle de site, φ, et par unité de hauteur z, elle est égale à $\sigma dr/2$. Pour l'ensemble des bielles comprimées, par unité d'angle de site et de hauteur, la poussée au vide est égale à

$$p_v = \tfrac{1}{2}\int_{r_0}^{R} \sigma\, dr \tag{g}$$

soit en tenant compte de (4)

$$p_v = \frac{\sigma_b}{4}(R - r_0). \tag{h}$$

D'autre part la poussée radiale d'un élément de cerce sous-tendu par l'angle $d\varphi$ est égale à $A_t \sigma_{at} d\varphi$. Par unité d'angle de site et de hauteur la poussée radiale des cerces est ainsi égale à

$$p_{at} = \frac{A_t \sigma_{at}}{t} \tag{i}$$

En égalant p_v et p_{at} et en tenant compte de (7) on obtient:

$$\sigma_{at} = \frac{3 t C}{\pi A_t (3 R^2 + 2 R r_0 + r_0^2)}. \tag{8}$$

La projection sur l'axe du cylindre de l'effort de compression d'une bielle a même valeur que sa projection sur la section droite, soit la valeur (e). D'où la poussée axiale sur l'ensemble du béton comprimé

$$P_{bl} = \pi \int_{r_0}^{R} \sigma r\, dr \tag{j}$$

ou en tenant compte de (6):

$$P_{bl} = \frac{\pi \sigma_b}{6}(R - r_0)(2 R + r_0). \tag{k}$$

En égalant à l'effort de traction des tirants

$$P_l = \sigma_{al} \sum A_l \tag{l}$$

Tableau II

Couple appliqué: 3000 kgm									
Cylindre	$\frac{d\theta}{dz}$ (10^{-4} rad/cm)	calcul de σ_{at} et σ_{al}	σ_{at} (kg/cm²)	σ_{al} (kg/cm²)	ϵ_t (10^{-3})	ϵ_l (10^{-3})	r_0 (cm)	σ_b (kg/cm²)	ϵ_b' (10^{-3})
42	1,81	(c) et (d)	2260	2240	1,08	1,07	14,3	128	0,52
		(8) et (9)	1960	2080	0,94	0,99	14,7	108	0,64
47	2,33	(c) et (d)	2260	2240	1,08	1,07	13,1	88	1,04
		(8) et (9)	2100	2150	1,00	1,03	12,8	85	1,09
52	1,66	(c) et (d)	2260	2240	1,08	1,07	16,7	161	0,37
		(8) et (9)	1900	2060	0,91	0,98	15,6	126	0,40

Tableau III

Couple appliqué: 3500 kgm									
Cylindre	$\frac{d\theta}{dz}$ (10^{-4} rad/cm)	calcul de σ_{at} et σ_{al}	σ_{at} (kg/cm²)	σ_{al} (kg/cm²)	ϵ_t (10^{-3})	ϵ_l (10^{-3})	r_0 (cm)	σ_b (kg/cm²)	ϵ_b' (10^{-3})
42	4,58	(c) et (d)	2650	2620	1,26	1,25	9,1	75	3,1
		(8) et (9)	2770	2650	1,32	1,26	9,4	76	3,1
47	5,38	(c) et (d)	2650	2620	1,26	1,25	8,3	71	3,9
		(8) et (9)	2860	2690	1,38	1,28	8,4	70	3,9

et en tenant compte de (7) il vient:

$$\sigma_{al} = \frac{2\,(2\,R + r_0)\,C}{(3\,R^2 + 2\,R\,r_0 + r_0^2)\sum A_l}. \tag{9}$$

On calcule aisément la racine r_0 du second membre de l'équation (1) qui est cohérente avec les contraintes et les allongements des aciers déduits des équations (8), (9), (4) et (5) par le moyen d'approximations successives, en employant r_0 comme paramètre et en utilisant comme valeurs de départ les valeurs données par les équations (c) et (d) du tube mince. La contrainte du béton à la paroi peut être alors calculée au moyen de l'équation (7), et la déformation ϵ_b' du béton à la paroi par l'équation (2) où $r = R$. Nous donnons aux tableaux suivants les résultats de ces calculs. Nous nous limitons aux valeurs des couples appliqués pour lesquels la fissuration était complète — hypothèse de base de la théorie développée — et pour lesquels les déformations ont été mesurées.

Rappelons les données géométriques des essais:

$$D = 35 \text{ cm}; \quad \sum A_l = 7{,}85 \text{ cm}^2; \quad t = 10{,}8 \text{ cm}; \quad A_t = 0{,}785 \text{ cm}^2$$

et les hypothèses adoptées:

$$E_a = 2{,}1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2; \quad \rho = 3 \cdot 10^{-4}.$$

Il est possible d'apprécier les résultats portés aux tableaux II et III en calculant les valeurs du module sécant E_b du béton auxquels ils conduisent et en les comparant aux valeurs obtenues par O. Graf dans l'essai de compression simple du béton employé. Rappelons tout d'abord ces valeurs:

σ_b	E_b
6,2 kg/cm²	304 000 kg/cm²
25 kg/cm²	260 000 kg/cm²
50 kg/cm²	221 000 kg/cm²
75 kg/cm²	187 000 kg/cm²

Fixons maintenant notre attention sur le tableau II, relatif au palier de couple 3000 kgm, et calculons les valeurs de E_b qui résultent de la théorie

Tableau IV

Couple appliqué 3000 kgm				
Cylindre	σ_b (kg/cm²)	ϵ_b' (10^{-3})	E_b (kg/cm²)	Appréciation sur E_b
42	108	0,64	170 000	Valeur plausible
47	85	1,09	78 000	Valeur trop basse
52	126	0,40	315 000	Valeur nettement trop haute

développée (éq. 8 et 9). Nous groupons au tableau IV les résultats de ces calculs et les appréciations qui semblent pouvoir être portées sur eux.

Les causes physiques de dispersion que néglige la théorie développée, l'intervention de l'adhérence et celle de la résistance à la traction du béton, nous paraissent avoir des effets plus importants que l'arbitraire de l'hypothèse de la variation linéaire de la contrainte du béton avec le rayon (équation 6) ou que l'arbitraire du choix de la valeur du retrait ρ. Dans ces conditions il nous semble possible de conclure que cette théorie décrit convenablement, sous la réserve d'une large dispersion, l'équilibre interne des cylindres sous le couple de torsion de 3000 kgm.

Si maintenant nous examinons le tableau III relatif au couple de torsion de 3500 kgm, nous constatons d'abord que la contrainte σ_b du béton y est moins élevée qu'au tableau II, relatif au couple de 3000 kgm, ce qui est hautement anormal. D'autre part les valeurs du module sécant E_b qu'on peut déduire du tableau:

pour le cylindre 42: $76/3{,}1 \cdot 10^{-3} = 24\,500$ kg/cm²

pour le cylindre 47: $70/3{,}9 \cdot 10^{-3} = 18\,000$ kg/cm²

sont absurdes.

De plus les déformations angulaires totales sous charge sont devenues considérables et les déformations résiduelles après déchargement sont devenues de l'ordre de la moitié de ces déformations totales.

Les ancrages des tirants n'auraient-ils pas glissé?

Si l'on suppose que pour le cylindre 42 ce glissement équivaut à un allongement de $4 \cdot 10^{-3}$ c'est-à-dire si l'on pose

$$\epsilon_l = \frac{\sigma_{al}}{E_a} + 4 \cdot 10^{-3}$$

on trouve $r_0 = 15{,}1$ cm, $\sigma_b = 134$ kg/cm², $\epsilon_b' = 1{,}25 \cdot 10^{-3}$ et $E_b = 107\,000$ kg/cm², toutes valeurs plausibles.

Si de même pour le cylindre 47 on suppose

$$\epsilon_l = \frac{\sigma_{al}}{E_a} + 5{,}5 \cdot 10^{-3}$$

on trouve $r_0 = 15{,}6$ cm, $\sigma_b = 147$ kg/cm², $\epsilon_b' = 1{,}3 \cdot 10^{-3}$ et $E_b = 113\,000$ kg/cm² valeur plausible.

Ces résultats de calcul confirment qu'il y a bien eu glissement des ancrages des tirants dont l'examen confirme que leurs dispositions n'étaient pas parfaites. C'est ce glissement qui a provoqué les ruptures.

Le groupe des huit équations (1'), (2'), (3), (4), (5), (7), (8) et (9) aux huit inconnues,

$$\epsilon_b', \ \frac{d\theta}{dz}, \ \epsilon_l, \ \epsilon_t, \ r_0, \ \sigma_b, \ \sigma_{at}, \ \sigma_{al}$$

fournit une théorie des cylindres armés de cerces et de tirants dans l'état fissuré. De nouveaux essais sont nécessaires pour juger de sa validité.

Référence

1. O. Graf, E. Mörsch: Verdrehungsversuche zur Klärung der Schubfestigkeit von Eisenbeton. Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens. Heft 258. Berlin, 1922.

Résumé

O. Graf et E. Mörsch ont essayé en 1921 à la torsion des cylindres de révolution en béton, armés de cerces et de tirants. Une théorie est développée pour décrire le comportement des cylindres fissurés. Ellé conduit à la conclusion que les ruptures des cylindres sont survenues par le glissement des ancrages des tirants.

Zusammenfassung

O. Graf und E. Mörsch stellten 1921 an längs- und ringbewehrten Kreiszylindern aus Beton Torsionsversuche an. Es wird eine Theorie entwickelt, welche das Verhalten der gerissenen Zylinder beschreibt. Sie führt zum Schluß, daß die Brüche der Zylinder durch das Gleiten der Längseisen in den Verankerungen eintreten.

Summary

In 1921 O. Graf and E. Mörsch tested in torsion concrete cylinders of circular cross-section, reinforced with hoops and longitudinal ties. A theory is developed in order to describe the behaviour of the cracked cylinders. This theory leads to the conclusion that failures occured as a result of yielding of the anchorages of the longitudinal ties.