

COMPORTAREA ELEMENTELOR DIN BETON ARMAT LA SOLICITĂRI AXIALE CENTRICE

H. GARBEA, Emilia MANOLE

U.S.A.M.V. București

e-mail: ghoria00@pcnet.ro

Although rarely occurring, steel-concrete elements subject to elongation and centric compression or of low centring error are an important issue. Their challenging particularities contribute to the full knowledge of the behaviour of the steel concrete as a material that is still essential for construction purposes in the 21st century. The present paper is aimed at providing a thorough analysis of these elements and their behaviour under centrically-applied stress conditions.

Keywords: elongation, steel concrete, centric compression and error.

Elementele din beton armat care preiau forțe axiale sunt mai rar întâlnite decât cele la care forțele se aplică perpendicular pe axa longitudinală (grinzi) determinând încovoierea și forfecarea acestor elemente și decât cele la care forța se aplică axial dar cu o anumită excentricitate, ceea ce duce la apariția încovoierii. Elementele din beton armat supuse la întindere și compresiune centrică sau cu mică excentricitate, deși au o incidență redusă, constituie un subiect de studiu care nu poate fi ignorat și care prezintă particularități interesante, de natură să contribuie la o cunoaștere completă a comportării betonului armat ca material esențial încă pentru realizarea construcțiilor în secolul XXI.

MATERIAL ȘI METODĂ

Comportarea elementelor din beton armat la întindere axială

Elementele din beton armat care preiau forțe axiale de întindere se alcătuiesc cu armare longitudinală simetrică. Sub acțiuni de exploatare, comportarea acestor elemente prezintă două domenii distincte:

- până la apariția fisurilor (stadiul I);
- după fisurare (stadiul II).

Dacă eforturile din beton nu depășesc rezistența lui la întindere R_t , cele două materiale – oțelul și betonul – se deformează concomitent și solidar: $\varepsilon_a = \varepsilon_b$.

Între valoarea solicitării exterioare și eforturile interioare există o relație de echilibru static de forma:

$$N = N_{\text{beton}} + N_{\text{armatură}} = A_b \sigma_t + A_a \sigma_a = A_b \sigma_t \left(1 + \frac{A_a \sigma_a}{A_b \sigma_t} \right) \quad (1)$$

Deoarece deformațiile betonului și armăturii înainte de fisurare sînt egale, în ecuație se face următoarea înlocuire: $\frac{\sigma_a}{\sigma_t} = \frac{\varepsilon_a E_a}{\varepsilon_b E_b} = \frac{E_a}{E_b}$ (2)

În aceste relații matematice ca și în cele ce urmează, indicele a desemnează armătura, iar indicele b , betonul.

Modulul de deformare al betonului întins E'_b este variabil; valoarea minimă egală cu $0,5 E_b$ se atinge în stadiul I_a , în momentul rupei betonului la întindere. Se notează raportul $A_a/A_b = \mu$, coeficient de armare.

În baza relației de mai sus se obține forța N_f la care pot apărea primele fisuri:

$$N_f = R_t A_b \left(1 + 2\mu \frac{E_a}{E_b} \right) \quad (3)$$

Deformațiile specifice ale betonului armat în momentul apariției fisurilor au valori între 0,1 și 0,15 mm/m adică reprezintă 0,1-0,15 la mie.

Pentru aceste valori ale deformației specifice, efortul unitar de întindere din armătura de oțel variază între 20 și 30 N/mm². Aportul armăturii la preluarea forțelor exterioare înainte de fisurarea betonului este foarte redus, având în vedere capacitatea oțelului de a prelua eforturi în domeniul elastic de peste 200-300 N/mm².

Pentru forțe ce depășesc capacitatea la fisurare ($N > N_f$) elementul de beton se divizează în corpuri distincte, fiecare având lungimea egală cu distanța dintre cele două fisuri care-l delimitează. Această distanță se notează cu λ .

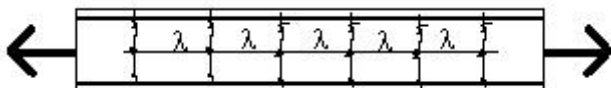


Figura 1. Fisuri la întindere centrică.
Se observă că sunt perpendiculare pe axa barei întinse

În acest stadiu, continuitatea unui element întins centric se asigură numai prin armătură, betonul neavând nici o contribuție. În dreptul fisurilor forța exterioară se preia integral de către armătura din oțel. Eforturile unitare în armătură în dreptul fisurilor se determină printr-un raport direct conform relației lui Bernoulli la întindere axială:

$$\sigma_a = N/A_a \quad (4)$$

Între fisuri, blocurile de beton continuă să rămână aderente de armătură și conlucrează cu aceasta preluând eforturi de întindere.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Comportarea elementelor din beton armat la compresiune centrică

Betonul are o comportare bună la compresiune, față de cea la întindere. Acest fapt determină utilizarea eficientă a betonului în elemente de construcții supuse la solicitarea de compresiune. Totuși, în elementele de beton comprimate centric se dispune și armătură longitudinală capabilă să preia eforturile de întindere care apar în elemente sub acțiunea excentrică accidentală a încărcărilor sau sub efectele date de contracție, de variațiile de temperatură și de exotermie care are loc la încălzirea betonului. Dacă elementele de construcții se realizează prin prefabricare sau preturnare, în timpul operațiilor de transport, depozitare și montare, ele sunt solicitate temporar la încovoiere, situație în care prezența armăturii în elemente este absolut necesară.

Conlucrarea betonului cu armătura longitudinală în elemente comprimate centric este mult mai bună decât în elementele solicitate la întindere. Aceasta

datorită capacității mai mari de deformare a armăturii și absenței fisurilor transversale în betonul din jurul armăturii. Betonul și armătura sunt două materiale care se deformează solidar și participă la preluarea eforturilor odată cu creșterea solicitării, până la epuizarea capacității de rezistență a elementului.

Starea de eforturi în element sub acțiunea încărcărilor pune în evidență o comportare elastică a armăturii și a betonului – *stadiul I* – la solicitări mai mici decât jumătate din solicitările de rupere, respectiv o comportare elastică a armăturii și o comportare neelastică a betonului la solicitări mai mari – *stadiul II*. Solicitarea de compresiune centrică N se distribuie între beton și armătură proporțional cu rigiditatea acestora:

$$N = N_b + N_a = \sigma_b A_b + \sigma_a A_a = \sigma_b A_b \left(1 + \frac{\sigma_a A_a}{\sigma_b A_b}\right) \quad (5)$$

Considerând că sub încărcări de scurtă durată deformațiile neelastice ale betonului pot fi neglijate și admitând că scurtarea betonului este egală cu a armăturii, rezultă:

$$\varepsilon_a = \frac{\sigma_a}{E_a} = \varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_b} \text{ sau } \frac{\sigma_a}{\sigma_b} = \frac{E_a}{E_b} = n \quad (6)$$

Raportul n se numește coeficient de echivalență sau coeficientul lui Neuman. Pentru betonul armat valoarea acestui coeficient adimensional este aproximativ 10.

Relația se poate scrie sub forma:

$$N = N_a + N_b = \sigma_b A_b (1 + n\mu) \quad (7)$$

și permite să se obțină eforturile unitare în beton și în armătură pentru o comportare cvasielastică a elementului:

$$\sigma_b = \frac{N}{A_b (1 + n\mu)} \quad (8)$$

$$\sigma_a = n\sigma_b = \frac{nN}{A_b (1 + n\mu)} = \frac{n\mu N}{A_a (1 + n\mu)} \quad (9)$$

Contrația și curgerea lentă a betonului modifică starea de eforturi a elementelor din beton armat comprimate centric din momentul aplicării încărcărilor exterioare. Sub efectul contracției, în armătură iau naștere eforturi de compresiune, iar în beton, eforturi de întindere. Prin suprapunerea acestei stări de eforturi inițiale peste cea de încărcări exterioare rezultă o sporire a eforturilor din armătură și o diminuare a eforturilor din beton.

Curgerea lentă produce o creștere în timp a deformațiilor betonului. Scurtarea betonului antrenează prin aderență o scurtare suplimentară a armăturii $\Delta\varepsilon_a$. Întrucât armătura se comportă elastic, scurtarea ei generează sporirea efortului unitar. Sporirea efortului din armătură nu este posibilă decât pe seama reducerii efortului în beton. După un timp t , solicitarea se distribuie între armătură și beton diferit față de momentul încărcării:

$$N = A_a(\sigma_a + \Delta\sigma_a) + A_b(\sigma_b - \Delta\sigma_b) \quad (10)$$

Redistribuirea eforturilor în elementele de beton armat se poate evalua în baza ecuațiilor reologice de stare (exprimând compatibilitatea deformațiilor betonului și armăturii cu luarea în considerare a efectului timpului), prin diferite procedee de calcul. Dar indiferent de procedeul utilizat, creșterea efortului este mai accentuată în cazul procentelor mici de armare, iar scăderea efortului în beton este mai mare la procente mari de armare a elementului.

Efectul curgerii lente, ca și al contracției asupra comportării elementelor din beton armat comprimate centric este favorabil, facilitând utilizarea capacității portante a ambelor materiale în stadiul de rupere.

În mod obișnuit, descărcarea și reîncărcarea elementelor comprimate centric de un număr redus de ori nu afectează sensibil comportarea acestora.

Exista însă situații particulare în care descărcarea poate pune în evidență un efect defavorabil al curgerii lente. Astfel, dacă stâlpii supuși la încărcări mari de durată se descarcă brusc ei pot fisura, întrucât armătura acumulează deformații mai mari decât deformația elastică a betonului.

În cazul solicitărilor ciclice, repetate de un număr mare de ori, se poate produce apariția fenomenului de oboseală a betonului și/sau a armăturii ca și a conlucrării dintre ele.

Ruperea elementelor comprimate centric are loc în *stadiul III* de solicitare prin apariția fisurilor longitudinale vizibile în beton, odată cu atingerea rezistenței la compresiune ($\sigma_b = R_c$). La procente mici și mijlocii de armare (utilizate frecvent în practică) și la folosirea oțelului cu limita de curgere sub 400 N/mm², armătura intră în curgere înainte sau concomitent cu strivirea betonului. Aportul armăturii longitudinale asupra sarcinii de rupere a stâlpului N_r se evidențiază prin relația:

$$N_r = A_b R_c + A_a R_a = A_b R_c \left(1 + \mu \frac{R_a}{R_c} \right) \quad (11)$$

Termenul al doilea din paranteză are, la procente medii de armare, valoarea:

$$\mu R_a / R_c = 0,3 \quad (12)$$

CONCLUZII

Rezultă, deci, că pentru o secțiune dată de beton, capacitatea portantă poate fi mărită prin plasarea unei armături longitudinale, în medie cu 30%.

Diagrama forță-deformație a unui element de beton armat solicitat la compresiune centrică are o latură asemănătoare cu curba caracteristică a betonului simplu la solicitarea de compresiune.

Aportul armăturii transversale constă în îmbunătățirea comportării betonului din interiorul acesteia, materializat prin sporirea rezistenței de rupere și a deformației specifice limită, dependent de cantitatea și calitatea oțelului din care se confecționează.

Efectul favorabil de cofinare (fretare) a betonului se obține prin armarea semnificativă a elementului în sens transversal.

BIBLIOGRAFIE

1. ***, *La Sperimentazione dinamica delle strutture, metode e tecniche di indagine*, Manuali Tecnici ISMES, 1995.
2. ***, *Standard Practice for Concrete for Civil Works Structures*, U.S. Army Corps of Engineers Staff, American Society of Civil Engineers, October 1994.
3. ***, *Strengthening of Reinforced Concret Structures*, L. C. Hollaway (Editor), M. Leeming (Editor), CRC Press, April 1999.
4. Amuttoni A., Schwartz J., Thurlimann B., Thurlimann Bruno - *Design of Concrete Structures with Stress Fields*, Birkhauser Boston, January 1997.
5. Agent R., Dumitrescu D., Postelnicu T. - *Îndrumător pentru calculul și alcătuirea elementelor structurale din beton armat*, Ed. Tehnică, 1992.
6. Anghel Gh. - *Elemente de calculul construcțiilor*, Editura didactică și pedagogică, 1974.
7. Gârbea Horia - *Structuri și construcții*, Ed. Carte de suflet, 2003, ed. II 2004.
8. Giuffre A. - *L'Eurocodice 8 - terza generazione di norme sismiche. Atti delle Giornate AICAP*, 1985.
9. Mo Y.L. - *Dynamic Behavior of Concrete Structures*, Elsevier Science, June 1994.
10. Nawy Edward G. G., Edwards, G. - *Reinforced Concrete: A Fundamental Approach*, Pearson Education , August 1999.