

REZISTENȚA GRINZILOR DIN FEROCIMENT ÎN SECȚIUNI ÎNCLINATE

Prof.dr.ing.Traian Onet*, drd. ing. Horațiu Iulian**
Asistent drd.ing.Paraschiva Mizgan***

Rezumat: În acest articol sunt studiate calculul și comportarea grinzilor din ferociment în secțiuni înclinate. Ferocimentul este un tip special de material compozit datorită alcătuirii și proprietăților sale tehnico economice avantajoase. El reprezintă o variantă a betonului armat utilizată pentru realizarea elementelor subțiri. Lucrarea prezintă rezultatele încercării unor grinzi la acțiunea predominantă a forței tăietoare. Rezultatele experimentale sunt comparate cu cele calculate după EUROCODE 2 și permit formularea unor concluzii interesante.

Abstract: In this paper the calculus and behavior of beam from ferrocement in bending section are studied. The ferrocement is a special type of composite material due to its detailed structure and its advantageous technical and economical properties. It is a variety of armored concrete used to realize thin elements. The paper presents the results of 1 beam tests to the predominant action of the shearing force. Experimental results compared with those calculated according EUROCODE 2 permits the formulation of very interesting remarks.

1. Introducere

Ferocimentul este un material de construcții compozit de tipul betonului armat dispers cu fibre de oțel, cu deosebirea esențială ca în acest caz există posibilitatea de control al volumului de fibre metalice în fiecare secțiune. Ferocimentul este format dintr-o matrice (microbeton) armată cu plase de sârmă continue de diametru mic. Matricea se realizează din ciment tip Portland, apă, agregate fine cu diametru de până la 10 mm și adaosuri. Institutul American pentru Beton (American Concrete Institute – A.C.I.) prin comitetul 549 a adoptat următoarea definiție a ferocimentului: "Ferocimentul este o variantă a betonului armat utilizată pentru realizarea elementelor subțiri fiind format din mortar de ciment cu straturi de plasă de sârmă continuă ce au un diametru relativ mic. Plasa poate fi confecționată din metal sau alte materiale corespunzătoare".

Folosirea ferocimentului se extinde în tot mai multe domenii datorită consumurilor reduse de materiale, raportate la suprafața construită. Datorită rezistenței și durabilității se folosește la realizarea construcțiilor de locuințe, a construcțiilor industriale, agricole precum și la lucrări de reabilitarea construcțiilor din zidărie sau din beton armat.

Comparativ cu elementele similare din beton armat sau precomprimat, cele din ferociment sunt mai ușoare. Deasemenea se pot realiza elemente prefabricate de mici dimensiuni, ce se pot monta manual, și care prin asamblare, permit realizarea unor module de construcții demontabile: garaje, case de vacanță, magazine etc.

În România, primele cercetări în domeniul ferocimentului au început în 1989 la Institutul Politehnic din Cluj. Cercetările care au urmat au constituit suportul unor comunicări științifice și publicații în țară și străinătate, precum și a unei tentative de reglementare a utilizării ferocimentului ca material de construcție.

* UTCN Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții, E-mail: traianonet@hotmail.com

** SC PROCONSTRUCT SRL Brașov, E-mail: iulian@unitbv.ro

*** Universitatea TRANSILVANIA Brașov, Facultatea de Construcții.

Lipsa procedeele de calcul specifice a făcut ca multă vreme calculul să se facă după metodele folosite la betonul armat ceea ce nu a dat satisfacție în toate situațiile. Din lipsa de date disponibile cu privire la capacitatea la forfecare a placilor sau grinzilor din ferociment încovoiate, Ghidul ACI 549.1R-88 nu face nici o precizare de calcul în acest sens.

Efectul de "bielă de compresiune" semnalat și explicat în [1] a constituit obiectul unui program experimental pe grinzi I din ferociment solicitate la încovoiere cu forță tăietoare.

Apropiata integrare a ROMÂNIEI în Comunitatea Europeană reclamă armonizarea normelor românești de proiectare cu cele europene ("European Standard - Eurocode 2 - Design of concrete structures" - EC2).

În lucrare se prezintă programul experimental efectuat și se compară rezultatele obținute experimental privind capacitatea portantă în secțiuni înclinate cu valorile calculate după EC-2.

2. Calculul în secțiuni înclinate după EC2

Metoda de calcul după - EC2 :

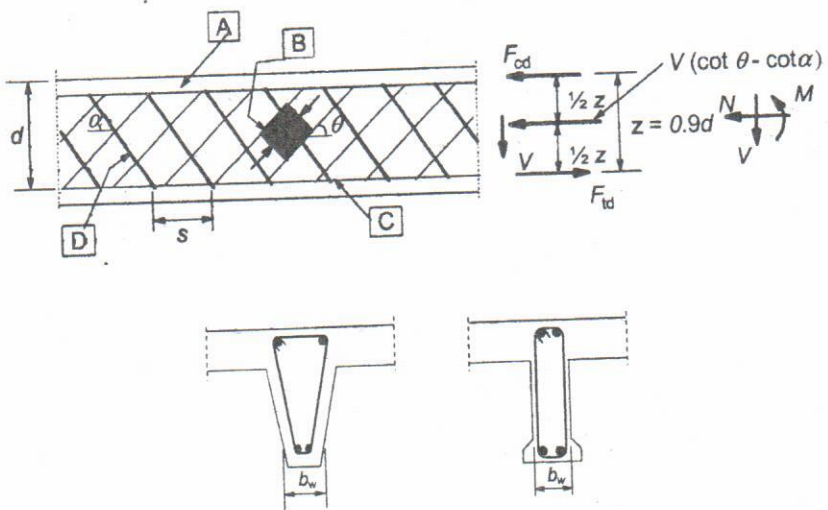


Fig. 1. Notațiile folosite la calcul

$$V_{Rd,c} = \left[\frac{0,18}{\gamma_c} \cdot K \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \quad (1)$$

unde:

γ_c - Coeficient parțial de siguranță al betonului = 1,5 ;

$$K = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{235}} = 1,922 \leq 2$$

d = înălțimea utilă a secțiunii = 235 mm

$$\rho_1 = \frac{A_{S1}}{b_w \cdot d} - \text{coeficientul de armare}$$

$$A_{S1} = \text{aria armăturii întinse (4\phi 5)} = 78 \text{ mm}^2$$

$$b_w = \text{lățimea minimă} = 40 \text{ mm}$$

$$\rho_1 = 78 / (40 \times 235) = 0,0083$$

$$f_{ck} = \text{rezistența caracteristică a betonului} = 34,4 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{cP} = N_{Ed} / A_c = 0 ;$$

unde : N_{Ed} - forță ax ; A_c = aria secțiunii de beton

Cu datele de la punctul 3 rezultă:

$$V_{Rd,C} = 0,23 \cdot \sqrt{28,56} \cdot 9400 = 6608 \text{ N} .$$

Deoarece

$$V_{Rd,C} = 5,9 \text{ kN} \ll V_E = 28 \text{ kN},$$

rezultă necesitatea armăturii transversale.

Forța $V_{Rd,S}$ preluată de armătura înclinată are valoarea

$$V_{Rd,S} = \frac{A_{SW}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\text{ctg}\theta + \text{ctg}\alpha) \cdot \sin\alpha \quad (2)$$

unde:

$$A_{SW} = \frac{3\pi d^2}{4} = \frac{3\pi \cdot 1}{4} = 2,35 \text{ mm}^2, \text{ este aria armăturii transversale}$$

$$s = \sqrt{144 - 36} = 20,8 \text{ mm, distanța armăturii}$$

$$z = 0,9 d = 0,9 \times 235 = 211,5 \text{ mm}$$

$$f_{ywd} = 550 \text{ Mpa, rezistența de calcul a armăturii}$$

$$\text{ctg}\theta = 1,732$$

$$\text{ctg}\alpha = 1,732$$

$$\sin\alpha = 0,5$$

Rezultă că $V_{Rd,S} = 22762,79 \text{ N}$.

Forța tăietoare maximă pe care o poate suporta elementul fără strivirea diagonalei comprimate este :

$$V_{Rd,max} = \alpha_c \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \frac{(\text{ctg}\theta + \text{ctg}\alpha)}{1 + \text{ctg}^2\theta} \quad (3)$$

unde :

$$\alpha_c = 1$$

$$b_w = 40 \text{ mm}$$

$$z = 211,5 \text{ mm}$$

$$v = 0,6$$

f_{cd} = rezistența de calcul a betonului la comprimare

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 16,67 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,max} = 1 \cdot 211,5 \cdot 0,6 \cdot 16,67 \cdot 40 \frac{3,464}{4} = 73278 \text{ N}$$

$$U_E > \{ \min (V_{Rd,S} = 22762,80; V_{Rd,max} = 73278 \text{ N}) \}$$

$$V_{Rd,C} = 5941,03 \text{ N}$$

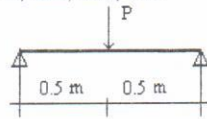
$$28000 \text{ N} < 28703,83 \text{ N}$$

$$V_{Rd} = V_{Rd,S} + V_{Rd,C}$$

Calculul capacității portante în secțiuni înclinate, prezentat mai sus nu ia în considerare efectul de bielă de compresiune.

Schemele de încărcare a grinzilor au fost următoarele:

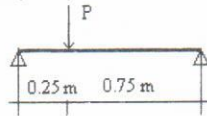
- Schema de încărcare pentru I1a, I2a, I3a, I4a



$$M_{\max} = P/2 \times 0,5 P = 0,25 P; V_r = 0,5 P$$

Citirea la cadran = P

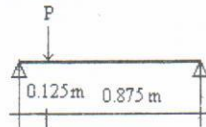
- Schema de încărcare pentru I1b, I2b,



$$M_{\max} = P (0,25 \times 0,75) = 0,875 P; V_r = 0,75 P$$

Citirea la cadran = P

- Schema de încărcare pentru I3b, I4b,



$$M_{\max} = P \frac{0,125 \times 0,875}{1,0} = 0,109 P; V_r = 0,875 P$$

Citirea la cadran = P

Rezultatele calculelor după relațiile de mai sus sunt prezentate în tabelul 1

Tabel 1

Indicativ	Nr. Plase	Pr [tf]	Mr [tf m]	Mu [-tf m]	Mr/Mn	Vr [tf]	Vu [tf]	Vr/Vu
I1a	3	6.4	1.6	1.51	1.060	3.2	2.278	1.405
I2a	4	6.5	1.625	1.625	0.977	3.25	3.037	1.070
I3a	4	5.75	1.437	1.437	0.864	2.875	3.037	0.947
I4a	3	5.6	1.4	1.4	0.927	2.8	2.278	1.229
I1b	3	10	1.875	1.875	1.241	7.5	2.593	2.892
I2b	4	8.3	1.556	1.556	0.935	6.225	3.043	2.046
I3b	4	13.1	1.428	1.428	0.858	11.462	3.837	2.987
I4b	3	13.3	1.449	1.449	0.959	11.637	4.287	2.714

Calculul grinzilor cu efectul de bielă de compresiune ($0.5d < x < 2.0d$) se face cu relațiile:

$$V_{Rd} = V_{Rd, ct} + A_{sw} f_{ywd} \sin \alpha \quad (4)$$

$$V_{Rd, ct} = [C_{Rd, c} k (100 \rho_1 f_{cm})^{1/3} (\frac{2d}{x})] b w d \leq 0.5 b w d v_{fd} \quad (5)$$

Cu:

$$v = 0.6 [1 - f_{ck}/250] = 0.6 [1 - 25/250] = 0.54$$

$$C_{Rd, c} = 0.18/1.5 = 0.12$$

$$k = 1.92$$

$$\rho_1 = \frac{78}{40 \cdot 235} = 0.0083$$

și rezultă valorile din tabelul 1 pentru grinzile I1b, I2b, I3b și I4b.

Efectul de "bielă de compresiune" este evidențiat cu datele din tabelul 2 și este reprezentat în figura 2.

Tabel 2

Indicativ	$\frac{V_r}{b w \cdot d}$	$\frac{x}{d}$
I1a	340.42	2.12
I2a	345.74	2.12
I3a	305.85	2.12
I4a	297.87	2.12
I1b	797.87	1.06
I2b	662.23	1.06
I3b	1219.14	0.53
I4b	1239.36	0.53

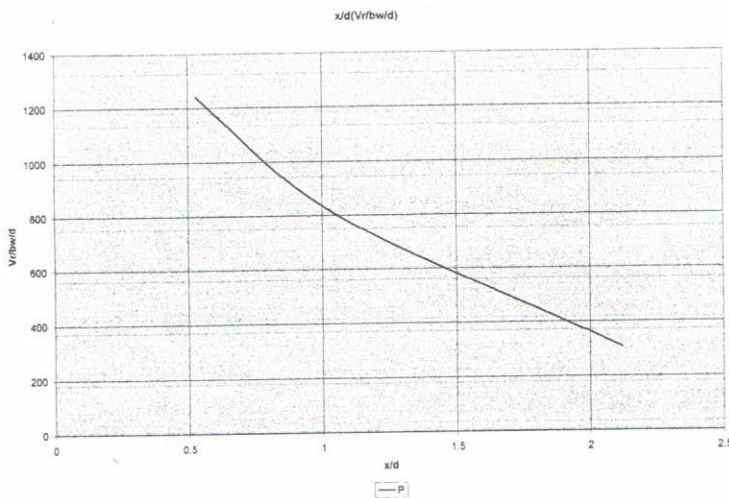


Fig. 2. Grafic reprezentând efectul de bielă de compresiune

3. Programul experimental

Armarea și planul de cofraj al elementelor sunt prezentate în fig. 3.

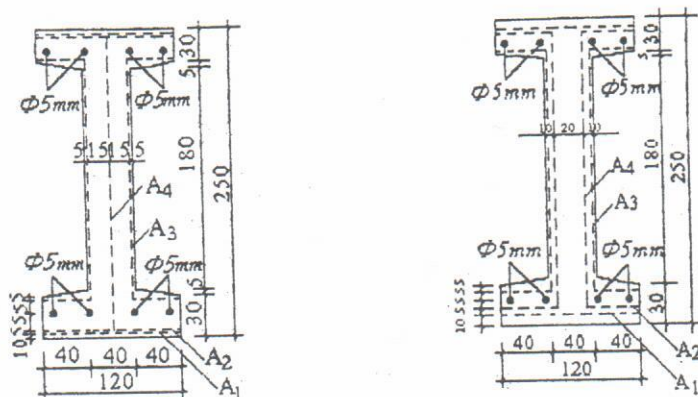


Fig.3 Secțiuni ale grinzilor încercate

Grinda din ferociment s-a realizat cu ciment Pa 35 (450 kg/mc), nisip 0-7 (1680 kg/mc) și apa (205 Vmc) și au fost armate cu două și trei plase hexagonale din sârmă de 1 mm, cu latura de 12 mm, (fig. 4).

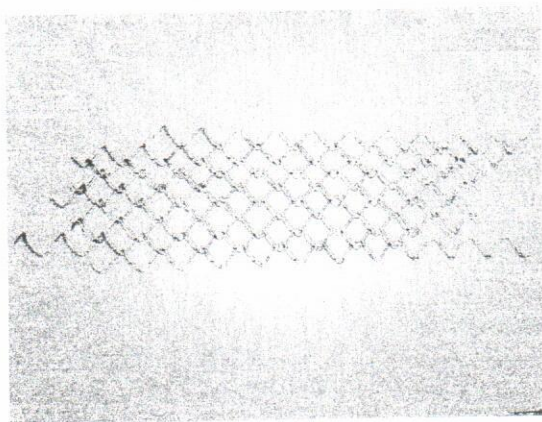


Fig. 4

Pe parcursul încercărilor s-a urmărit comportarea elementelor privind: capacitatea portanță și starea limită de fisurare și de deformare sub sarcini de exploatare. Măsurarea săgeților a fost efectuată folosind fleximetrul cu fir, având precizia de 0,1 mm.

Pentru măsurarea deformațiilor specifice ale betonului s-au poziționat ceasuri comparatoare cu precizia de 0,01 mm (fig. 5). Deschiderea fisurilor a fost măsurată cu o lupa microscopica tip Brinell.

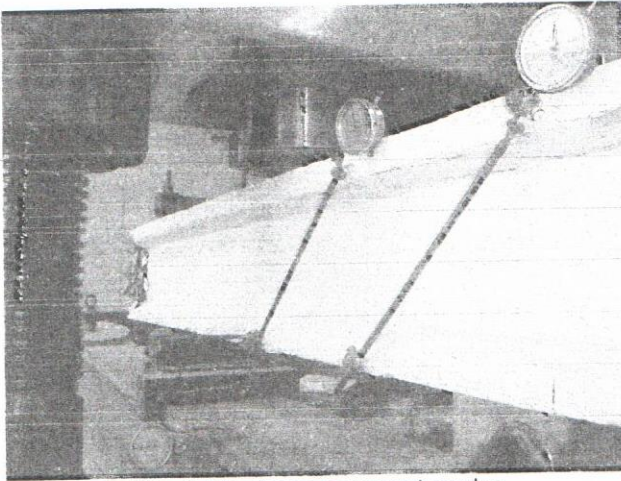


Fig. 5. Montarea comparatoarelor

Starea de fisurare a unei grinzi din ferociment este prezentată în figura 6. Ruperea s-a produs în cazul respectiv prin deschiderea fisurii 1.

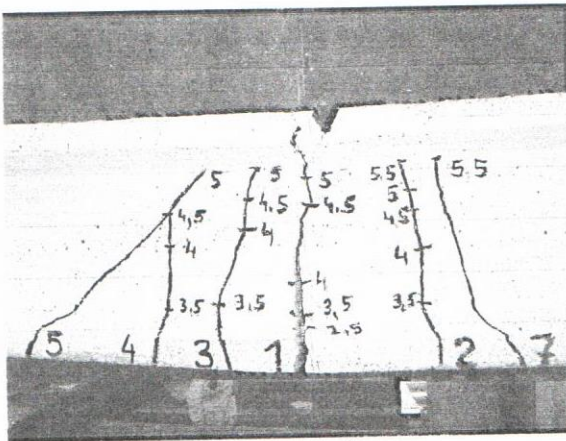


Fig. 6. Starea de fisurare

Studiul efectuat a subliniat *comportarea buna* sub sarcini de exploatare și la rupere a elementelor din ferociment.

4. Compararea rezultatelor experimentale cu cele de calcul

În tabelul 1 s-a făcut o comparare a rezultatelor experimentale cu cele de calcul după EC-2. Așa cum s-a arătat mai sus la primele patru grinzi (I1a, I2a, I3a și I4a) nu intervine efectul de bielă de compresiune. Acest efect este evident numai la grinziile cu raportul $x/d < 2.0$. Rezultă, însă, că EC-2 subvaluează acest efect cu un nivel rezonabil de siguranță.

Preluarea rezultatelor experimentale obținute conduce la evaluarea efectului de bielă de compresiune cu ajutorul relației :

$$\frac{V_r}{b_w \cdot d} = 3,315 - 0,0043 \frac{x}{d} + 1,63 \cdot 10^{-6} \left(\frac{x}{d} \right)^2 \quad (6)$$

reprezentată grafic pentru valorile experimentale în figura 7.

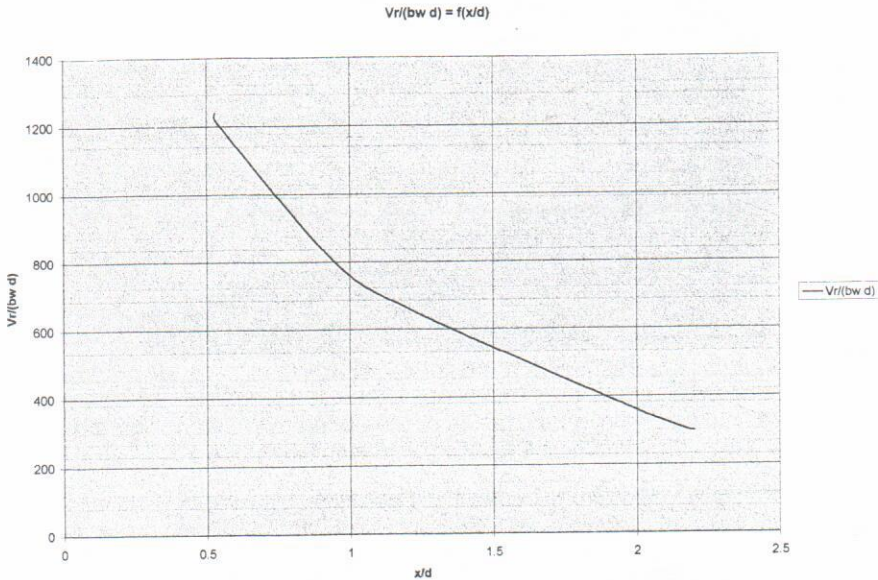


Fig. 7

5. Concluzii

Analiza de mai sus permite formularea următoarelor concluzii :

1. Efectul de bielă de compresiune trebuie luat în considerare pentru situațiile în care $0,5 < x < 2d$
2. Luînd în considerare acest efect după prevederile EC2 rezultă valorile de calcul V_d din tabelul 1.
3. Comparînd valorile calculate cu valorile stabilite experimental notate V_r în tabelul 1 rezultă că EC2 subevaluează acest efect cu un nivel rezonabil de siguranță.
4. Preluarea valorilor obținute experimental a permis să se reprezinte efectul de bielă de compresiune prin relația 6 și figura 7.

Bibliografie

- [1] Nicula, I., Oneț, T. – Beton armat. Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1982.
- [2] *** "European Standard - Eurocode 2 - Design of concrete structures" – EC2
- [3] A.C.I. 549 R – 93 – State of Art Raport on Ferrocement
- [4] A.C.I. 549 - 1R – 93 – Guide for the Design. Construction and Repair of Ferrocement
- [5] UTCN, Fac. de Construcții, catedra CBACM – Ghid de utilizare a ferocimentului în construcții, faza de ante proiect, contract nr. 64/1995 cu MLPAT.