

**ACADEMIA ROMÂNĂ
FILIALA TIMIȘOARA**

ZILELE ACADEMICE TIMIȘENE

**Ediția a VIII-a
22-23 mai 2003**

**TIMIȘOARA, ROMÂNIA
Simpozion**

**MATERIALE, ELEMENTE ȘI STRUCTURI
COMPOZITE PENTRU CONSTRUCȚII
PREZENT ȘI PERSPECTIVE**



Editor: Corneliu BOB

**Publicat de Editura MIRTON
Timișoara 2003**

Simularea elementelor din beton armat

Reinforced concrete simulation

as. dr. ing. Petru MIHAI, prof. dr. ing. Nicolae FLOREA, ș. I. dr. ing. Ioan TUNS
UNIVERSITATEA "Gh. Asachi" IAȘI UNIVERSITATEA "TRANSILVANIA" BRAȘOV

ABSTRACT

Simulation of reinforced concrete elements have a quite rather rare on the literature because the analytical results are not the same with experimental results.

This paper present a new method for simulating of reinforced concrete elements. Analytical results are verified with experimental results for certified the algorithm.

1. INTRODUCERE

Simularea elementelor structurale din beton armat prin procedee analitice se poate realiza cu ajutorul unei metode de calcul, de departe cea mai răspândită fiind metodei elementului finit.

Particularitățile de comportare ale structurilor din beton armat fac imposibilă utilizarea ca atare a programelor existente deja pe piață. Scrierea integrală a unei aplicații specializate profesionale nu reprezintă nice ea o soluție eficientă, deoarece sunt necesari un număr mare de specialiști care să posede, atât cunoștințe de programare cât și cunoștințe solide privind comportarea elementelor din beton armat. Rezultă ca soluție economică, folosirea unui program deja existent care să fie adaptat scopului propus, numit program de bază.

În acest scop, autorii introduc conceptul de *semi-programare*, ca fiind procesul de generare a unor comenzi, într-o ordine bine stabilită, folosind, nu procedeele specifice limbajelor consacrate de programare (C, Pascal, etc.), ci operații specifice metodei elementului finit. Prin implementarea acestui procedeu, va fi rezolvată problema simulării elementelor din beton armat.

Se va folosi un program propriu denumit în continuare aplicație satelit, capabil să genereze modele de element finit și să interpreteze rezultatele programului de bază. Această aplicație satelit funcționează astfel (fig. 1): într-o primă fază se citesc caracteristicile elementului studiat (dimensiuni geometrice, arii de armătură, rezistențele materialelor etc.) și se generează fișierului de comenzi prin semi-programare. Apoi, se lansează programul Cosmos și se efectuează calculul. În timpul efectuării calculului, aplicația satelit așteaptă în background, și testează dacă s-a terminat calculul. La terminarea analizei, aplicația satelit citește rezultatele și, în funcție de acestea, generează un nou model. Algoritmul se repetă până la atingerea capacității de rezistență sau, până la atingerea unei încărcări maxime impuse de utilizator.

Deoarece durata calculului este foarte mare, s-a căutat ca, aplicația satelit să ocupe cât mai puțină memorie, excluzându-se din program meniuri complicate sau alte părți grafice care ocupă inutil resursele sistemului.

Totodată, pentru reducerea dimensiunilor problemei, s-a adoptat un calcul în domeniul plan, folosindu-se elemente finite plane (PLANE2D), pentru modelarea betonului și elemente finite de tip bară (BEAM2D), pentru modelarea armăturii.

Pentru modelarea fisurilor, pot fi adoptate două procedee. Prima variantă constă în folosirea unor elemente finite speciale, la care fisura reprezintă o caracteristică intrinsecă a

elementului finit. Această variantă este recomandabilă în cazul modelării fenomenului de microfisurare în beton dar armătura nu poate fi prinsă în cadrul acestui model.

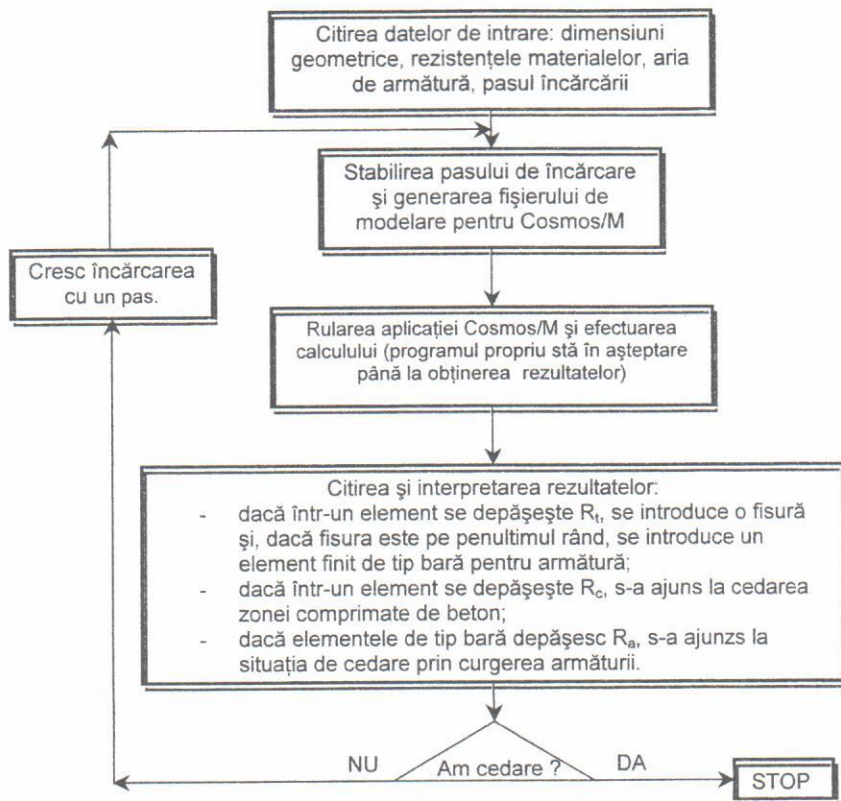


Fig. 1 – Schema logică a algoritmului propus

A doua posibilitate de introducere a fisurilor constă în întreruperea continuității în nod (fig. 2.a.) iar, dacă fisura apare pe penultimul rând, se introduce între cele două noduri și un element finit de tip armătură (fig. 2.b.). Deoarece, în acest caz, este posibilă și modelarea armăturii, această ultimă variantă va fi implementată în continuare.

Dezavantajul metodei constă din faptul că, deși la apariția fisurii, aceasta are o deschidere foarte mică, elementul finit de armătură nu poate fi oricât de mic, datorită erorilor de rotunjire. S-a adoptat un element finit de 0,005 cm, care va reprezenta deschiderea inițială a fisurii.

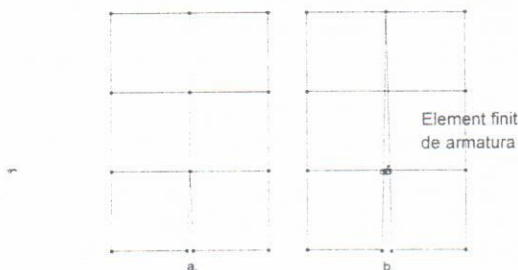


Fig. 2 – a. Modul de introducere a fisurilor și b. a elementelor de armătură

Modelarea comportării neliniare a betonului a fost evidențiată astfel:

- se împarte curba caracteristică în unsprezece intervale, având unsprezece valori ale modului de elasticitate, corespunzătoare fiecărui interval;
- pentru fiecare element finit de beton, se citește valoarea tensiunii aferente la un moment dat și se încadrează într-un anumit interval, de pe curba caracteristică;
- se atribuie elementului finit de beton valoarea modului de elasticitate corespunzătoare intervalului de încadrare.

Pentru a vedea dacă această modelare a curbei caracteristice prin segmente de dreaptă este suficient de precisă, s-a determinat modulul de elasticitate pe un cilindru de beton cu aria secțiunii $A=200 \text{ cm}^2$ și înălțimea $H=320 \text{ mm}$. Pasul de încărcare aplicat a fost de 200 daN , ceea ce corespunde unei tensiuni de 10 daN/cm^2 .

Curba caracteristică este prezentată în fig. 3 (curba albastră). Pe același grafic s-a trasat și curba caracteristică simplificată, formată din cele unsprezece segmente de dreaptă, corespunzător celor 11 intervale propuse (fig. 3 – curba roșie). După cum se poate observa, cele două curbe sunt practic identice de unde rezultă că, cele 11 intervale oferă o precizie suficient de mare pentru modelarea curbei caracteristice.

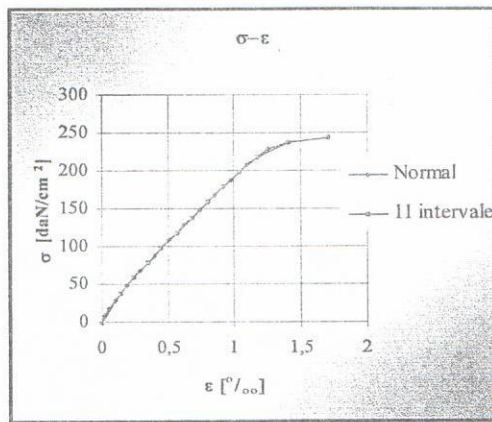


Fig.3 – Simplificarea curbei $\sigma-\epsilon$ pentru un cilindru din beton

Conlucrarea reală dintre beton și armătură este introdusă ținându-se cont că, în dreptul fisurii aceasta este nulă, creștând pe măsură ce ne depărtăm de fisură. Determinarea distanței pe care se manifestă micșorarea conlucrării între beton și armătură se poate afla din condiția de echilibru:

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} \sigma_a = \pi \cdot d \cdot l_a \cdot \tau_a^{\text{final}}, \quad (1)$$

unde:

σ_a – tensiunea în armătură;

d – diametrul armăturii;

l_a – lungimea de aderență, (a nu se confunda cu lungimea de ancorare [116]);

τ_a^{final} – tensiunea maximă de aderență, calculată cu relația (4.2.).

Din relația (4.3.) rezultă lungimea de aderență:

$$l_a = \frac{d \cdot \sigma_a}{4 \cdot \tau_a^{\text{final}}} \quad (2)$$

pe această lungime fiind afectată conlucrarea betonului cu armătura.

Deoarece stabilirea unor pași de încărcare constanți ar conduce la durate de calcul foarte mari, s-a adoptat un algoritm de stabilire a pașilor de încărcare neliniar.

2. TESTAREA ALGORITMULUI PROPUȘ

Simuleștarea algoritmului s-a făcut pe grinzi experimentale, prezentate în fig. 4-7.

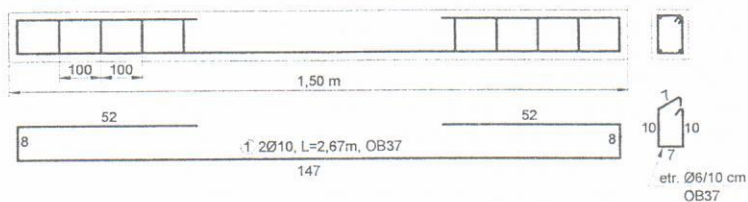


Fig. 4 – Detalii de cofraj și armare grindă experimentală

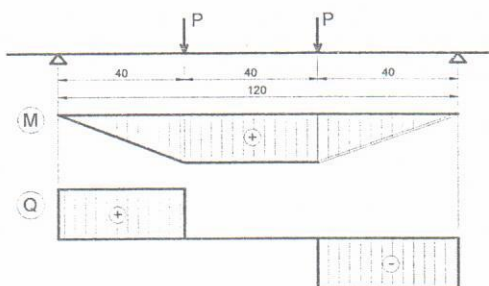


Fig. 5 – Modul de aplicare a încărcărilor

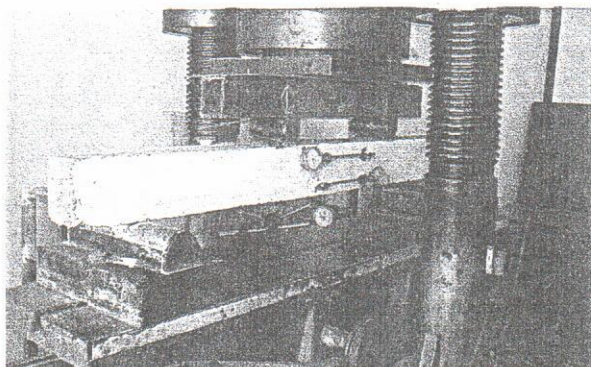


Fig. 6 – Standul de încercare a grinzilor experimentale

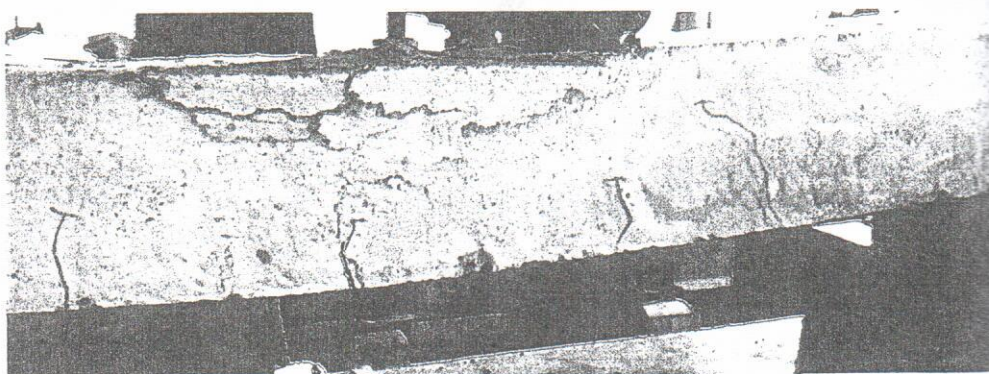
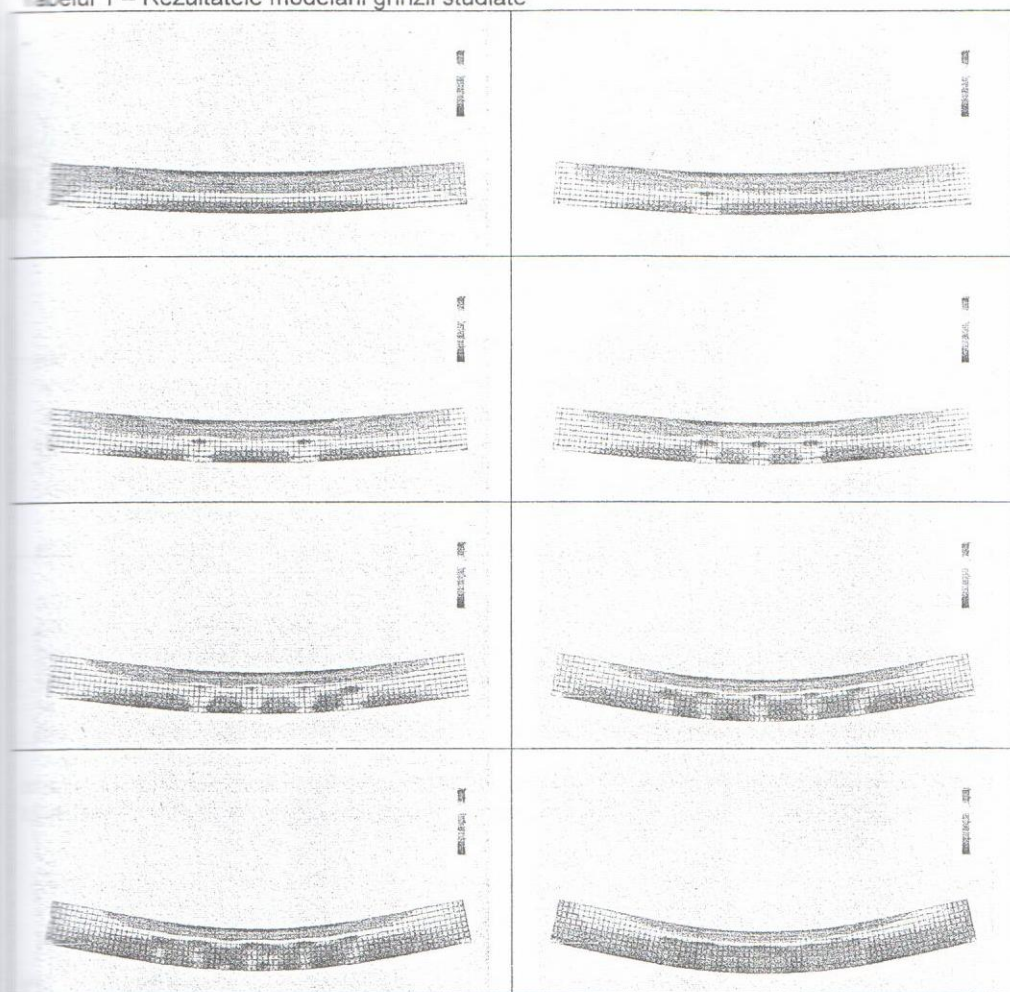


Fig. 7 – Rezultatele obținute prin încercări

Rezultatele modelării grinzii analizate sunt prezentate în tabelul 1. Se face observația că nu se pot prezenta rezultatele detaliate deoarece spațiul este insuficient, mai multe detalii putând fi găsite în [1].

Tabelul 1 – Rezultatele modelării grinzii studiate



Se poate observa că, există o bună concordanță între rezultatele obținute pe grinzile experimentale și cele deduse prin simulare. În ceea ce privește comportarea betonului din zona întinsă se observă că, dacă la început, fisurile pornesc chiar de la fața inferioară a betonului, ulterior, odată cu creșterea eforturilor, datorită conlucrării între beton și armătură fisurile pornesc din dreptul armăturii pentru că, în acel punct, tensiunea este maximă, la limită egală cu rezistența betonului la întindere (fig. 8.a). La pasul următor (fig. 8.b), fisura apare în beton, la partea superioară a armăturii (în dreptul solicitării maxime) și se dezvoltă în sus. Această observație este în deplină concordanță cu încercările experimentale, așa cum se poate observa din fig. 8.c.

O altă concluzie interesantă, rezultă în urma analizării efortului din armătură, pentru diverse etape de încărcare (tabelul 4.12). Sunt prezentați pașii de încărcare corespunzători apariției primelor fisuri și un pas apropiat stadiului de cedare. În zonele în care apar fisuri,

tensiunea în armătură înregistrează o creștere locală, rezultat aflat în deplină concordanță cu comportarea reală a grinzilor din beton armat (tabelul 2).

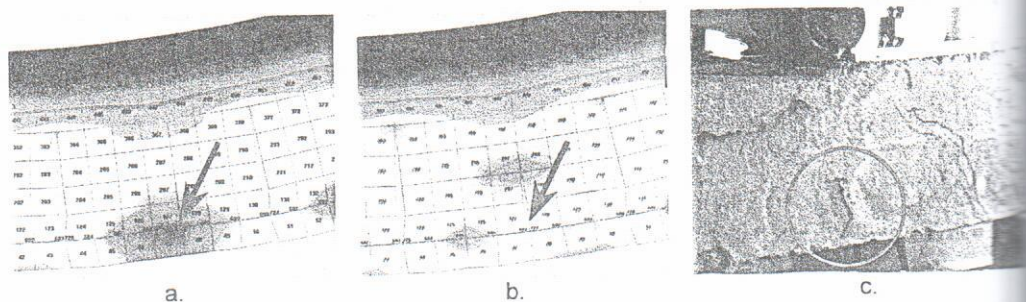
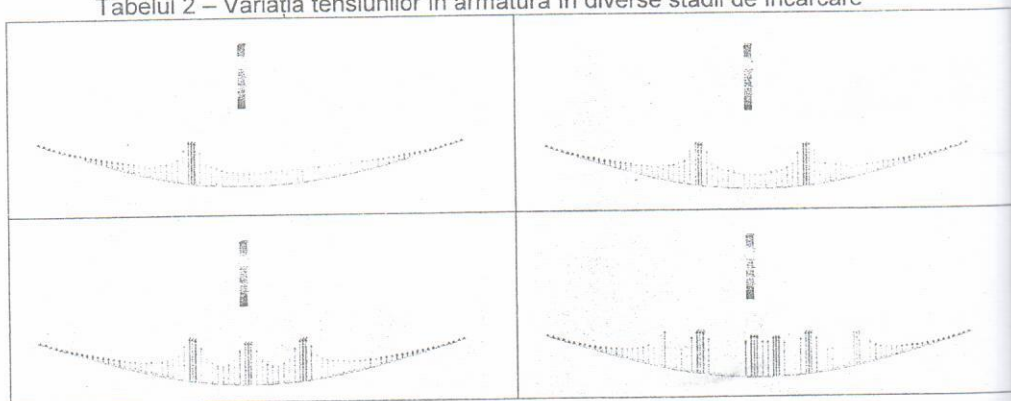


Fig. 8. – Apariția fisurilor în beton din dreptul armăturii (săgeata indică locul unde apare fisura)

Tabelul 2 – Variația tensiunilor în armătură în diverse stadii de încărcare



Din cele prezentate, rezultă o bună corespondență între datele furnizate de încercările experimentale și cele furnizate de metoda analitică propusă, rezultând clar faptul că, algoritmul propus este unul corect.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Petru MIHAI – *Contribuții la studiul caracteristicilor mecanice reziduale ale elementelor din beton armat*. Teză de doctorat. Iași, febr. 2003.
- [2] R. Agent, D. Dumitrescu, T. Postelnicu – *Îndrumător pentru calculul și alcătuirea elementelor structurale de beton armat*. Ed. Tehnică, București 1992.