

DEFORMAȚIILE BETONULUI PRODUSE DE ACȚIUNEA ÎNCĂRCĂRILOR

Diana PORUMBESCU

Universitatea Tehnică a Moldovei

Rezumat: Betonul reprezintă un material de construcție deformabil, deoarece are proprietatea de a-și schimba forma și dimensiunile la acțiunea unor factori interiori (temperatură, umiditate) sau exteriori (încărcare). Deformațiile produse de încărcări sunt impuse de natura solicitărilor, de durata lor de acțiune, de starea de solicitare, de mărimea eforturilor unitare produse, de componența betonului și tipului de ciment etc. Caracteristicile acestor tipuri de deformații pot fi puse în evidență dacă se efectuează un ciclu de încărcare-descărcare sau mai multe cicluri repetate. Deformațiile produse de acțiunea încărcărilor influențează suficient starea tensionată în construcțiile din beton, beton armat și beton precomprimat, de aceea sunt cercetate în laborator și luate în considerație la calculul construcțiilor.

Cuvinte cheie: beton, încărcare, deformație, tensiune.

Betonul este un material artificial obținut din întărirea unui amestec de ciment, apă, agregate și uneori adaosuri, în proporții corespunzătoare. Utilizarea cu succes a betonului în construcții se datorează calităților sale, cum ar fi: durabilitatea bună în condițiile normale de exploatare, rezistența mare la foc, posibilitatea de a realiza elemente cu cele mai diverse forme arhitecturale, prețul de cost relativ scăzut în comparație cu alte materiale ș.a. Datorită structurii sale mixte, betonul suportă deformații de natură elastică, vâscoasă și plastică. Proprietățile de deformare ale betonului se modifică în timp pe măsura întăririi pietrei de ciment.

Pentru beton deosebim 2 tipuri de deformații: deformații de sarcină și deformații de volum. Deformațiile produse de acțiunea sarcinilor exterioare se clasifică ca deformații de sarcină. Ele se dezvoltă în beton de la acțiunea forțelor exterioare.

Deformațiile de sarcină depind în mare măsură de caracterul încărcărilor și se clasifică în:

- A. deformații de la acțiunea sarcinilor de scurtă durată;
- B. deformații de la acțiunea sarcinilor de lungă durată;
- C. deformații de la acțiunea sarcinilor repetate.

A. Una din principalele caracteristici pentru toate materialele de construcții este deformabilitatea lor la sarcini statice, adică dependența deformațiilor specifice de tensiune. Această dependență se exprimă prin curba caracteristică a betonului.

Conform rezultatelor de laborator, chiar de la începutul încărcării în epruveta de beton se dezvoltă concomitent deformații elastice și plastice, iar deformațiile vâscoase sunt mici în comparație cu celelalte două și sunt neglijate. La orice moment de încărcare, deformația totală a betonului este alcătuită din 2 componente:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_{ce} + \varepsilon_{c,pl}$$

unde:

ε_c – deformația specifică totală a betonului;

ε_{ce} – deformația specifică elastică a betonului, care se restabilește la descărcare;

$\varepsilon_{c,pl}$ – deformația specifică plastică a betonului, care în mare parte nu se reabstabilește la descărcare.

Diagrama $\sigma_c - \varepsilon_c$ pentru beton are forma unei linii curbe de la începutul încărcării până la ruperea epruvetei. Din diagramă se observă că relația $\sigma_c - \varepsilon_c$ este neliniară chiar de la trepte de încărcare mici, astfel betonul este considerat un material elasto-plastic și pentru el nu este valabilă legea lui Hooke ($\sigma = \varepsilon E$). Însă în cazul când valorile tensiunilor sunt mici: $\sigma_c \leq (0,2 \div 0,3) R_c$, adică când deformațiile plastice sunt relativ mai mici decât cele elastice, betonul se admite convențional ca un material elastic.

Dacă eforturile unitare σ_c nu depășesc limita de microfisurare R_0 , se admite în general că betonul are numai deformații elastice. Peste limita de microfisurare încep să se dezvolte din ce în ce mai pronunțat deformațiile plastice. La un ciclu de încărcare-descărcare deformațiile elastice se restabilesc, pe când cele plastice nu se restabilesc. Însă, după descărcarea epruvetei se observă că peste un timp oarecare o parte din deformațiile elastice mai continuă să se restabilească, și se numesc deformații elastice după acțiunea încărcării $\varepsilon_{ce,rest}$.

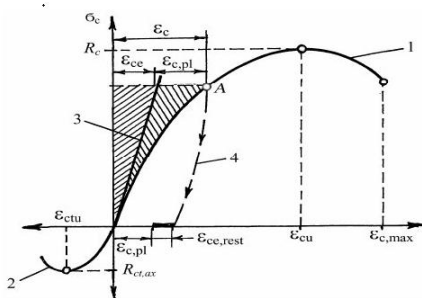


fig.1 Diagrama $\sigma_c - \epsilon_c$ pentru beton la compresiune(1) și îndindere centrică(2) la o singură încărcare

Forma curbei depinde de viteza de încărcare. Dacă epruveta se încarcă treptat, și la fiecare treaptă măsurăm valoarea deformațiilor îndată după încărcare și peste un timp oarecare de menținere a acestei încărcări (5-15 min), se observă că diagrama $\sigma_c - \epsilon_c$ are forma unei linii cu trepte (fig.2). [1] Segmentele înclinate cu un oarecare unghi de înclinație constant α prezintă deformațiile elastice. Segmentele orizontale prezintă deformațiile plastice a căror valoare depinde de durata menținerii sarcinii la fiecare treaptă. De asemenea la nivelurile mai înalte de tensiuni valoarea deformațiilor plastice este mai mare. Diagrama $\sigma_c - \epsilon_c$ a betonului încărcat pe trepte permite de a determina separat valorile deformațiilor elastice și plastice ale betonului.

Deformațiile elastice se dezvoltă numai la încărcări rapide ale epruvetei, iar cele plastice se dezvoltă în timp și depind de viteza de încărcare. Odată cu mărirea valorii vitezei de încărcare, deformațiile elastice se dezvoltă mai mult decât cele plastice. Se observă că rezistențele betonului cresc, iar deformațiile specifice ultime scad, cu cât încărcarea este aplicată cu viteză mai mare. Dacă, teoretic, încărcarea ar fi aplicată instantaneu, curba caracteristică ar deveni o dreaptă, având panta $E=tg\alpha$ (modulul de elasticitate); deformațiile, produse tot instantaneu, ar fi numai elastice. În acest caz diagrama $\sigma_c - \epsilon_c$ este numită diagrama deformațiilor elastice (momentane), însă acest mod de încărcare nu poate fi realizat practic. Astfel la încărcarea betonului cu o viteză mai mare, diagrama $\sigma_c - \epsilon_c$ este mai aproape de o linie dreaptă și are un unghi de înclinație mare, iar la viteze mai mici, diagrama $\sigma_c - \epsilon_c$ are forma unei linii curbe cu un unghi de înclinație mai mic (fig.3).

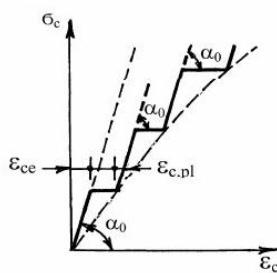


fig.2 Diagrama $\sigma_c - \epsilon_c$ a betonului încărcat pe trepte

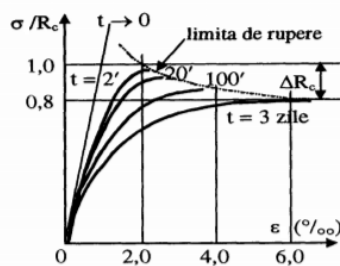


fig.3 Diagrama $\sigma_c - \epsilon_c$ a betonului încărcat cu diferite viteze de încărcare

B. Problema calculului caracteristicilor betonului aflat sub acțiunea sarcinilor de lungă durată este una din cele mai complicate în teoria betonului armat. Neglijarea deformațiilor care se dezvoltă în timp, în special la edificiile de mare valoare, duce la greșeli tragice. Numeroasele experimente au arătat că dacă încărcăm betonul până la o oarecare tensiune mai mică decât rezistența lui la rupere ($0,3R_c \leq \sigma_c \leq 0,5R_c$) și lășăm să acționeze această sarcină timp îndelungat, deformațiile plastice ale betonului vor fi în continuă creștere. [3] Aceste deformații cresc mai intensiv în primele 3-4 luni de acțiune a sarcinii, apoi se stabilizează și cresc lent până la o valoare limită.

Proprietatea betonului care se caracterizează prin creșterea deformațiilor plastice la acțiunea de lungă durată a unei sarcini constante sau cu variații lente în timp se numește curgere lentă sau fluaj. Curgerea lentă se dezvoltă în paralel cu deformațiile produse de diferite alte cauze, cum ar fi: contractia, variații de temperaturi, încărcări de scurtă durată statice sau dinamice, influențându-se reciproc. Curgerea lentă apare la

betoanele tinere la care componenta gelică nu a îmbătrânit complet. La început se dezvoltă cu o viteză mai mare, apoi din ce în ce mai încet, tinde asimptotic spre zero.

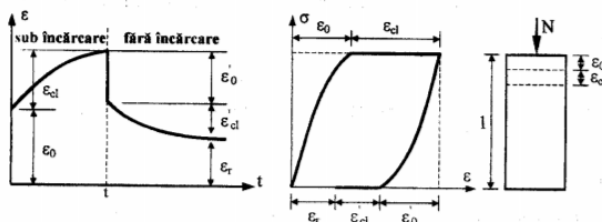


fig.4 Curgerea lentă a betonului

Când se aplică încărcarea se produce o deformăție instantanee (ϵ_0), care se repartizează în cuprinsul masei gelice, concrețiunilor cristaline și agregatelor. Masa gelică se deformează vâscos-plastic, implicând atât concrețiunile cât și agregatele. Astfel apare deformăția de curgere lentă (ϵ_{cl}) (fig.4). Dacă la timpul t elementul se descarcă, se produce o restabilire elastică instantanee ($\epsilon'_0 < \epsilon_0$), după care are loc o creștere în timp a acestei restabiliri, adică o curgere lentă inversă (ϵ'_{cl}). Dar $\epsilon'_{cl} < \epsilon_{cl}$, căci în timp vâscozitatea masei gelice a crescut și în final rămâne o deformăție remanentă (ϵ_r). [3]

Rezultatele experimentale au stabilit o serie de factori care influențează valoarea curgerii lente a betonului, dintre care cei mai importanți sunt:

1. valoarea tensiunilor în beton. La tensiuni mai mari curgerea lentă a betonului din același amestec de beton este mai mare (fig.5). Această dependență a fost studiată în experimentele lui Rüşch, efectuate pe mai multe epruvete cilindrice, solicitate la valori ale efortului unitar de compresiune constante în timp, dar diferite.
2. vârsta betonului la momentul încărcării. Cu creșterea vârstei betonului la momentul încărcării, curgerea lentă este mai mică datorită cristalizării masei gelice. În fig.6 se observă că diagramele deformațiilor curgerii lente pentru betonul încărcat la diferite vârste sunt paralele, ceea ce înseamnă că intensitatea creșterii cu timpul a deformațiilor curgerii lente nu depinde de vârsta betonului la momentul încărcării. [1]
3. umiditatea mediului ambiant. Cu creșterea umidității mediului ambiant deformațiile de curgere lentă ale betonului se micșorează (fig.7).
4. dimensiunile epruvetei. La epruvetele cu dimensiuni mai mici deformațiile de curgere lentă sunt mai mari, încercate în condiții egale, și invers.
5. fenomenele capilare din beton. Prin extinderea încărcării exterioare se produce o modificare a tensiunii capilare din porii pietrei de ciment care conduce la o pierdere suplimentară de apă. Piatra de ciment este "stoarsă" și apare astfel o nouă deformăție de curgere lentă. [4]

Curgerea lentă a betonului depinde și de alți factori considerabili: procesul tehnologic, componența betonului, tipul cimentului și compoziției sale mineralogice, agregatele prin modulul de elasticitate, granulozitate și natura suprafeței, ș.a.

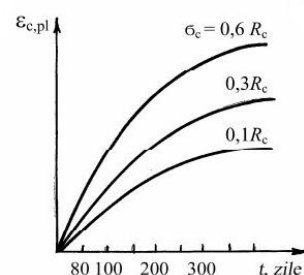


fig.5

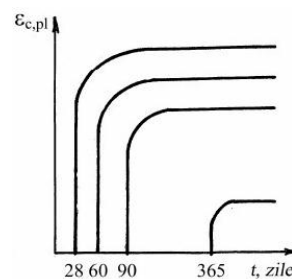


fig.6

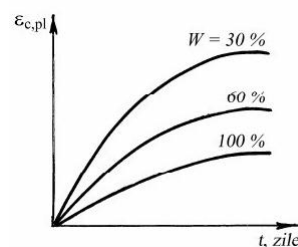


fig.7

Când tensiunile în beton sunt comparativ mici $\sigma_c \leq 0,45R_c$, se observă o dependență aproape liniară dintre deformațiile curgerii lente și tensiuni, de aceea aceste deformații se numesc deformații de curgere lentă liniară. Aceasta rezultă din curgerea vâscoasă a gelului de ciment și nu este însoțită de schimbarea structurii betonului. Pentru tensiuni mai mari $\sigma_c > 0,45R_c$, care depășesc limita rezistenței de formare a fisurilor, se observă o dependență liniară dintre tensiuni și deformațiile curgerii lente care se numesc deformații de curgere lentă neliniară. [2] Acest tip de curgere se caracterizează prin dezvoltarea microfisurilor în locurile slabe și defectate ale betonului fără schimbarea structurii lui.

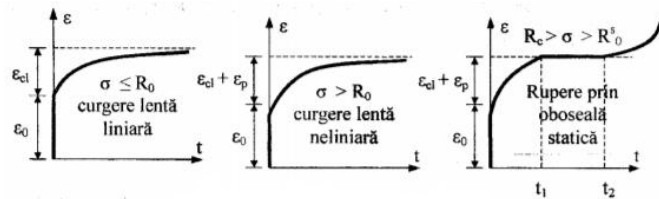


fig.8 Tipurile de curgere lentă

În ziua de azi sunt aplicate sisteme contemporane pentru efectuarea analizei influenței timpului și încărcăturilor de lungă durată asupra betonului cu ajutorul computerului, care permite să fie obținute rezultate destul de bune, aproape optime pentru calculul deformațiilor betonului.

C. Deformațiile betonului la sarcini repetate sunt provocate de repetarea multiplă a ciclurilor de încărcare-descărcare ale betonului, acumulându-se treptat deformațiile plastice. Dacă tensiunile în beton sunt relativ mici $\sigma_c = (0,4 \div 0,5)R_c$ și numărul ciclurilor de încărcare-descărcare destul de mare, atunci în beton se epuizează toate deformațiile plastice și betonul începe să lucreze elastic. [1] În acest caz numărul de cicluri poate fi practic nelimitat, fără să ducă la micșorarea rezistenței betonului. Astfel de caracter de comportare a betonului se numește limita (rezistența) de oboseală a betonului $R_{c,fat}$.

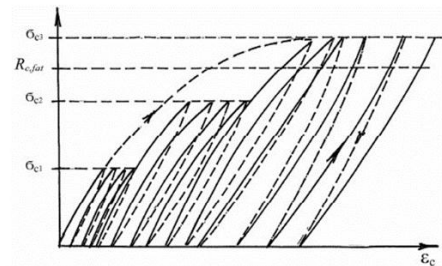


fig.9 Diagrama $\sigma_c - \epsilon_c$ a betonului la încărcări repetate

Dacă tensiunile în beton sunt mai mari decât rezistența lui la oboseală ($\sigma_c > R_{c,fat}$), atunci după primele cicluri de repetare a sarcinii, diagrama $\sigma_c - \epsilon_c$ obține o formă liniară, apoi începe să-și schimbe curbura în direcție opusă. [1] Momentul schimbării curburii reprezintă începutul oboselii betonului. Majorarea de mai departe a numărului de cicluri de încărcare-descărcare ale betonului duce la creșterea esențială a deformațiilor plastice, și în final betonul se rupe.

În cazul în care numărul ciclurilor de solicitare este redus, dar valoarea efortului unitar maxim în beton este foarte ridicat, iar viteza de deformare este redusă, se produc deformații remanente inelastice foarte mari (fig.10), acumulându-se pe parcursul ciclurilor și fenomenul de hysteresis se manifestă foarte puternic.

Dacă numărul ciclurilor de solicitare este redus, dar viteza de deformare sub încărcare este mare, se poate produce o rupere bruscă a betonului. Seismul provoacă solicitări ciclice alternante ca din fig.10. Betonul nu poate prelua aceste solicitări alternante, de asemenea, nu este capabil să disipeze energia indusă de seism, de aceea o parte din energia absorbită în timpul unui ciclu seismic trebuie să fie disipată prin deformații vâscoase și mai ales prin deformații plastice. [2]

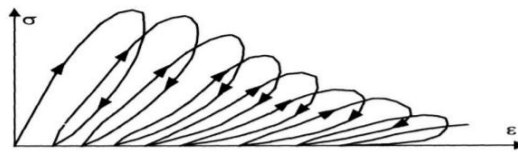


fig.10 Curba caracteristică a betonului acționat ciclic peste limita elastic

Bibliografie:

1. "Beton armat și beton precomprimat" Ion Ciupac
2. "Bazele teoriei betonului armat și precomprimat" Lvovschi Evghenii
3. "Beton armat" Vladimir Corobceanu
4. "Durabilitatea betonului armat" Traian Oneț