

ÎMBUNĂTĂȚIREA REZISTENȚEI BETONULUI PRIN CONFINARE CU MEMBRANE COMPOZITE

IMPROVEMENT OF CONCRETE STRENGTH THROUGH CONFINING WITH COMPOSITE MEMBRANES

GABRIEL OPRÎȘAN, NICOLAE ȚĂRANU*, VLAD MUNTEANU, MIHAI BUDESCU,
CIPRIAN COZMÂNCIUC, RUXANDRA OLTEAN

¹ Universitatea Tehnică "Gh. Asachi" Iași, Facultatea de Construcții, Bdul. Mangeron nr. 43., Iași, România, 700050

Reabilitarea structurală a stâlpilor din beton utilizând confinarea cu membrane compozite a devenit o tehnică larg acceptată în practică. La Facultatea de Construcții și Instalații din Iași, s-a desfășurat un program experimental extins, având ca obiectiv evaluarea eficienței efectului de confinare a stâlpilor din beton cu membrane din compozite polimerice, armate cu fibre (CPAF). Prin rezultatele obținute s-a determinat eficacitatea soluției de înfășurare cu membrane din compozite polimerice armate cu fibre din sticlă (CPAFS) și cu fibre din carbon (CPAFC). Rezultatele au evidențiat creșterea rezistențelor betonului cu procente însemnate. Pe baza rezultatelor experimentale a fost propusă o relație predictivă apropiată modelelor analitice propuse de alți cercetători.

Structural rehabilitation of concrete columns using confining with composite membranes has become a largely accepted technique. An extensive experimental program has been carried-out at the Faculty of Civil Engineering and Building Services, Iasi, aiming to evaluate the efficiency of the confining effect on concrete columns using fiber reinforced polymer (FRP) composite membranes. The results have established the effectiveness of wrapping solution, based on glass fiber reinforced polymer (GFRP) and carbon fiber reinforced polymer (CFRP) composites, in increasing both strength and ductility. A predictive equation has been proposed by the authors, based on experimental results, in good agreement with existing models.

Keywords: hybrid confined columns, composite membranes, confinement pressure, wrapping, stress-strain curves, strength improvement

1. Introducere

Extinderea utilizării betonului ca material de construcție se poate obține atât prin diversificarea dozajelor, inclusiv cu adaosuri polimerice [1], cât și prin îmbunătățirea comportării betonului sau betonului armat utilizând procedeul de confinare [2]. Metodele tradiționale de confinare a stâlpilor din beton solicitat la compresiune au fost dezvoltate, în principal, prin folosirea etrierilor din oțel la armarea interioară sau prin cămășuială din oțel dispusă la exterior [3]. Dezvoltarea compozitelor polimerice armate cu fibre (CPAF) a permis inginerilor constructori conceperea de soluții alternative de confinare utilizate atât în stadiile inițiale de construcție cât și la procedeele de reabilitare.

Programele de cercetare-dezvoltare bazate pe sisteme de confinare din CPAF au dovedit că atât capacitatea portantă, cât și ductilitatea stâlpilor din beton și beton armat pot fi îmbunătățite substanțial [4, 5]. Prin înfășurarea exterioară a stâlpilor din beton cu membrane compozite polimerice, armate cu fibre sticlă (CPAFS) sau cu membrane compozite polimerice, armate cu fibre de carbon (CPAFC), se obține o confinare transversală având ca efect creșterea rezistenței la compresiune axială și îmbunătățirea ductilității stâlpilor din beton. Stâlpii din beton confinați cu membrane din CPAFS sau CPAFC sunt solicitați la o stare spațială de tensiuni, care include tensiunile

1. Introduction

An extensive use of concrete as construction material can be achieved by developing new mixes including new polymer materials [1], and by improving the behaviour of plane or reinforced concrete using confining procedures [2]. Traditional confinement methods for concrete subjected to compressive loading have mainly consisted in either internal steel stirrups or externally applied steel confinement systems [3]. The development of fibre reinforced polymer (FRP) composites enables civil and structural engineers to conceive an alternative solution of confinement utilised in both the initial stages of construction and in the rehabilitation procedures.

Extensive research and development programs have proven that FRP based confinement systems can substantially improve the load bearing capacity, as well as ductility of concrete and reinforced concrete (RC) columns [4, 5]. By wrapping the concrete columns using glass fibre reinforced polymer (GFRP) or carbon reinforced polymer (CFRP) composite membranes, a transverse confinement can be obtained leading to the increase of the axial strength and the improvement of the concrete column ductility. The concrete in columns confined with GFRP or CFRP membranes are subjected to a multi-axial stress state including transverse compressive stress, axial

* Autor corespondent/Corresponding author,
Tel. +40 232 278 683 extension 1410, e-mail: taranu@ce.tuiasi.ro

transversale de compresiune, tensiunile axiale de întindere provenite din expansiunea laterală a betonului și presiunea de confinare.

Pe lângă îmbunătățirea rezistenței la compresiune, utilizarea cămășuirii cu membrane din CPAF crește semnificativ și deformația specifică limită a betonului. Tehnica cea mai utilizată de confinare se bazează pe așa-numitul procedeu umed, dar variante bazate pe utilizarea membranelor prefabricate, tuburi compozite și platbande pretensionate sau sisteme automate de confinare, sunt de asemenea aplicabile în practică. Principalele avantaje ale confinării cu membrane compozite se referă la utilizarea eficientă a proprietăților tuturor materialelor din sistemul hibrid beton-membrană compozită și realizarea unor soluții ușoare de reabilitare. Confinarea se poate realiza cu succes atunci când sunt evitate greșelile întâlnite frecvent la punerea în operă: impregnarea incompletă a fibrelor cu rășina polimerică, prezența bulelor de aer blocate în masa compozitului la impregnarea țesăturii cu rășină, neuniformitatea impregnării cu rășină în cazul aplicării mai multor straturi de armătură din fibre, nerespectarea fracțiunilor volumetrice/masice ale componentelor membranei compozite, existența unor fibre deteriorate și insuficiența porțiunii de suprapunere a membranei după perimetrul înfășurat, etc [6].

Studiile numeroase efectuate de diverse echipe de cercetare (Monti [7], Mirmiran și Shahawy [8], Razvi și Saatcioglu [9], Teng et al. [10]) au demonstrat eficiența soluțiilor de consolidare bazate pe confinare cu membrane din CPAF. La Facultatea de Construcții și Instalații din Iași s-a acumulat în timp, o experiență consistentă în ce privește utilizarea compozitelor polimerice armate cu fibre în construcții. În cadrul acestor preocupări s-a inițiat un program complex privind posibilitatea de reabilitare structurală a stâlpilor din beton prin confinare cu membrane compozite. Pentru a evidenția performanțele stâlpilor din beton armat confinați cu membrane din CPAFS și CPAFC s-a desfășurat un program experimental urmărind comparativ răspunsul structural al stâlpilor de beton fără confinare și în variantă confinată.

Confinarea a fost asigurată cu membrane compozite având straturi diferite de compozite polimerice armate cu fibre din sticlă sau fibre din carbon. Rezultatele experimentale au fost comparate cu datele similare din programe de cercetare asemănătoare utilizând modele de tensiuni-deformații specifice corespunzătoare epruvetelor cilindrice din beton confinate cu membrane compozite.

2. Programul experimental

2.1. Materiale

Betonul a fost preparat folosind ciment portland, pietriș, nisip și apă, diametrul maxim al

tensile stress due to lateral expansion and confinement pressure.

In addition to the improvement of compressive strength, the use of FRP composite wrapping significantly increases the ultimate axial strain. The most utilized confinement technique is wet lay-up but other alternatives such as prefabricated membranes and tubes, prestressed strips and fully automatic wrapping systems, can be efficiently applied. An overall evaluation of confinement with FRP composite membranes reveals its main advantages, namely an efficient use of all materials in the hybrid system, concrete and FRP composite wrapping, associated with light weight rehabilitation solutions. A successful confinement consists in avoiding the mistakes which are currently met in situ, such as partial wetting of fibres by polymeric resin, existing of entrapped air bubbles in the preimpregnated fabrics, non uniformity of the resin content in case of multiple layers of confinement, uneven curing of the polymeric resin, mix deficiency of resin components, misalignment of fibres, existence of some damaged fibres and insufficient overlap at the adjacent wrapping zones [6].

Many studies carried out by research teams (Monti [7], Mirmiran and Shahawy [8], Razvi and Saatcioglu [9], Teng et al. [10]) have proven the efficiency of strengthening with FRP membranes utilised in confining solutions. Based on a long time experience regarding the use of fibre reinforced polymeric composites in construction, a complex program on the possibility of structural rehabilitation of concrete columns with composite systems has been initiated the Faculty of Civil Engineering and Building Services in Iasi. To underline the performance of concrete columns confined with CFRP and GFRP an experimental program has been organised, comparing the structural response of unconfined and confined concrete columns. The confinement has been provided with composite membranes having different layers of composites reinforced with glass or carbon fibres. Our experimental results have been compared with similar research programs utilising stress-strain models of the confined concrete cylinders with composite membranes.

2. Experimental program

2.1. Materials

The concrete was prepared using Portland cement, gravel, sand and water; the maximum aggregate diameter was 8 mm. The concrete was cast in metallic cylindrical moulds, compacted by vibration and kept for 28 days in a curing room with 95% relative humidity [11].

The 28-day compressive strength of the unconfined concrete has been determined using 9 cylindrical samples having 100 mm in diameter

agregatelor fiind egal cu 8 mm. Betonul a fost turnat în matrițe cilindrice metalice, compactat prin vibrare și păstrat timp de 28 zile într-o cameră cu umiditate relativă de 95% [11].

Rezistența la compresiune a betonului simplu a fost determinată după 28 de zile pe 9 probe cilindrice din beton cu diametrul de 100 mm și înălțimea 250 mm și pe 9 cuburi din beton cu latura de 100 mm.

Membranele compozite utilizate la confinare au fost realizate din țesături pe bază de fibre conform tabelului 1 [12], iar impregnarea țesăturilor s-a realizat cu un amestec din doi componenți pe bază de rășină epoxidică, Sikadur 300 VP pentru aderența armăturii la suprafața betonului și între straturile diferite ale aceleiași membrane, tabelul 2 [13-14].

and 250 mm in height; in addition the compressive strength has also been determined on 9 cubes with 100 mm in size.

The following fibre reinforcing products have been utilised for the FRP composite membranes, Table 1 [12]. A Sikadur 300 VP bi-component epoxy resin mix has been utilised to bond the reinforcing fabrics onto the concrete surface and between the fabric layers, Table 2 [13-14].

2.2. Preparation of confined cylindrical specimens

The confined cylindrical specimens have been prepared using concrete with a compressive strength, after 28 days, equal to 28 N/mm², on concrete cylinders and 32.16 N/mm², on concrete cubes.

Tabelul 1

Proprietățile țesăturilor utilizate la armarea circumferențială a membranelor compozite [12]
Properties of fabrics used as hoop reinforcement for composite membranes [12]

Tipul fibrei / Fibre type	Fibre din carbon Carbon fibres	Fibre din sticlă E E-Glass fibres
Orientarea fibrei / Fibre orientation	0°C (unidirectional)	0°C (unidirectional)
Greutatea pe m ² / Areal weight, [g/m ²]	618	913
Grosimea țesăturii / Fabric thickness, [mm]	0.34	0.359
Rezistența la tracțiune a fibrelor / Tensile strength of fibres, [N/mm ²]	3793	2276
Modulul de elasticitate la tracțiune / Tensile E-modulus, [N/mm ²]	234500	72413
Deformația specifică ultimă / Ultimate fibre strain, [%]	1.5	4

Tabelul 2

Proprietățile rășinii epoxidice utilizate la lipirea țesăturilor din fibre de carbon și sticlă [13-14]
Properties of epoxy resin used to bond carbon and glass fabrics [13-14]

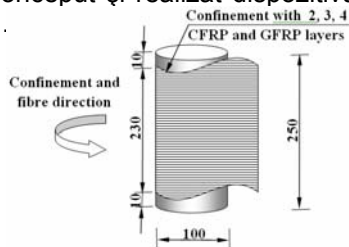
Proprietăți mecanice / Mechanical Properties	Rășină pentru impregnare / Impregnating resin
Densitatea / Density	1,16 g/cm ³
Rezistența la tracțiune / Tensile strength	7 zile la / 7 days at +21 °C: 55 N/mm ²
Modulul de elasticitate la tracțiune / Tensile modulus	7 zile la / 7 days at +21 °C: 1724 N/mm ²
Alungirea la rupere / Fracture elongation	7 zile la / 7 days at +21 °C: 3%

2.2. Pregătirea epruvetelor cilindrice confinate

Epruvetele cilindrice confinate au fost realizate folosind beton cu rezistența la compresiune, după 28 de zile, egală cu 28 N/mm², determinată pe cilindri din beton și 32,16 N/mm², stabilită pe cuburile din beton. La confecționarea cămășuielilor compozite din CPAF s-a utilizat procedeul de formare manuală prin contact, realizându-se membrane care învelesc în întregime probele cilindrice din beton. Conform acestui procedeu, după pregătirea suprafeței de beton s-a depus un strat de rășină pe suprafața laterală a probei. Următorul pas în pregătirea epruvetei a fost înfășurarea cu țesăturile din fibre de sticlă tip E sau fibre de carbon impregnate cu rășină epoxidică, figura 1a. Aderența dintre înfășurarea compozită și beton s-a asigurat prin intermediul primului strat de rășină, figura 1b; impregnarea fiecărui strat de țesătură s-a realizat cu ajutorul unui penson, figura 1c. În continuare, pentru a obține grosimea preconizată a membranei

The hand lay-up wet procedure has been used to wrap the fibre reinforced polymer composite layers in the composite membrane. According to this procedure, after preparation of the concrete surface a layer of resin has been disposed on the concrete column. The next step in sample preparation was the wrapping of the composite products (made of E-glass fibres or carbon fibres) around concrete cylinders, to fully cover them, Figure 1a. The composite-concrete adherence has been achieved with a first resin layer, Figure 1b; the impregnation of each reinforcing fabric was done with a brush, Figure 1c. Consecutive layers of fabrics have been then applied to achieve the required thickness of the membrane. A 100 mm overlap was provided in the hoop direction to ensure the structural continuity of the membrane. The device shown in Figure 1 has been specially conceived to rotate the sample and help the manufacturing of the full thickness wrapping.

s-au aplicat succesiv numărul necesar de straturi impregnate. Continuitatea structurală a membranei a fost asigurată prin suprapunerea, pe o lungime suplimentară de 100 mm, a țesăturii după circumferință. Pentru a roti proba și a înlesni impregnarea membranei compozite a fost conceput și realizat dispozitivul prezentat în figura 1.



a.



b.



c.

Fig. 1 - Pregătirea epruvetelor cilindrice confinate: a - dimensiunile principale ale epruvetei din beton și lățimea benzii de țesătură; b - aplicarea rășinii epoxidice pe epruveta fără cămășuială; c - impregnarea țesăturii pentru formarea membranelor compozite cu fibrele din sticla dispuse după circumferință / Preparation of the confined cylindrical specimens: a - main dimensions of concrete specimen and width of fabric; b - application of epoxy resin on unconfined concrete sample before the confining; c - confining procedure of concrete samples using glass fabrics with fibres oriented circumferentially.

Pentru realizarea programului experimental au fost confecționate 30 probe cilindrice confinate din beton, sortate în grupuri de câte 5 probe, pentru fiecare tip de fibră și grosime a membranei compozite. De aceea s-au confecționat 15 epruvete confinate cu membrane compozite CPAFC și 15 probe confinate cu înfășurări compozite din CPAFS.

Proprietățile mecanice ale membranelor din CPAF au fost evaluate inițial pe cale teoretică, utilizând formulele din mecanica materialelor compozite [15-17] și verificate experimental pe cupoane plate utilizând aceleași tipuri de fibre și rășini [18].

2.3. Încercarea epruvetelor din beton și confinate cu membrane din CPAF

Epruvetele din beton simplu și cele confinate cu membrane compozite au fost testate la compresiune centrică. Testele de compresiune au fost efectuate folosind o mașină universală de încercat, BD 300 cu o capacitate maximă de 3000 kN. Capetele probelor au fost prelucrate astfel încât să se asigure un contact perfect între epruvete și platanele mașinii de încercat. În cadrul programului experimental a fost utilizat un dispozitiv special, patentat de autori, figura 2, în scopul evitării distrugerii rapide a cilindrilor din beton neconfinați. Dispozitivul asigură evaluarea răspunsului structural post elastic al betonului prin ramura descendentă a curbelor tensiuni-deformații specifice [19].

Sistemul de achiziție a datelor a fost instrumentat cu 8 traductori de deplasare, cu următoarele funcțiuni: 3 traductori montați pe înălțimea de 250 mm a probei pentru măsurarea deplasărilor longitudinale, 3 traductori amplasați pe porțiunea centrală a epruvetei, pe o înălțime de 100 mm, pentru determinarea deplasărilor longitu-

A total number of 30 cylindrical specimens have been prepared, so that groups of 5 samples have been assigned to each type of fibre and thickness of wrapping. Consequently 15 test specimens have been confined with CFRP composite membranes and another group of 15 samples have been wrapped with GFRP composite jackets.

The mechanical properties of the cured FRP membranes have been predicted theoretically, using the formulas of mechanics of composite media [15-17] and checked experimentally on flat coupons using identical fibres and resins [18].

2.3. Testing of unconfined and confined concrete specimens

Both types of specimens have been subjected to uniaxial compressive loading. The compression tests have been performed using a BD 300 universal testing machine with a loading capacity equal to 3000 kN. The ends of the samples have been carefully prepared to ensure a perfect contact with the loading plates of the testing machine. A special device invented by our research team, Figure 2, was attached to the experimental setup to avoid rapid failure of the unconfined concrete cylinders. The device enables the evaluation of the post elastic response of brittle materials giving the descending branches of the stress-strain curves [19].

The data acquisition system has been instrumented with 8 linear voltage displacement transducers (LVDT's) with the following destinations: 3 global transducers mounted on the 250 mm height of the specimen for the measurement of longitudinal displacements, 3 mid-height transducers for the determination of the longitudinal displacements positioned on the central portion of 100 mm of the specimen; 1 transverse transducer for the measurement of the radial displacement mounted at the mid-height of the concrete sample and 1 load cell. The arrangement of all transducers is illustrated in Figure 3a, for unconfined specimen and in Figure 3b, for confined concrete cylinders. The transducers for global displacement were fixed in two circular yokes and the transverse transducer



Fig. 2 - Instalația de încercare pentru curba caracteristică completă a betonului: a - detalii ale dispozitivului brevetat pentru curba caracteristică completă; b - modulul pentru achiziția datelor/ *Experimental set-up for the complete stress-strain curve of concrete: a - details of the device for complete stress-strain curve; b - data acquisition module.*

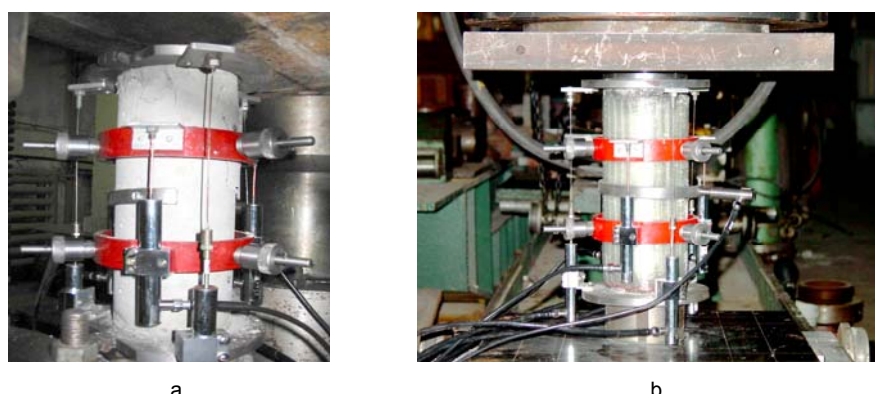


Fig. 3 - Dispunerea traductorilor pe epruvete: a - epruveta cilindrică din beton simplu; b - epruveta cilindrică din beton confinat
Transducers arrangement on the specimens: a - unconfined concrete cylinder specimen; b - confined concrete cylinder specimen.

dinale, 1 traductor transversal pentru măsurarea deplasării radiale, montat la jumătatea înălțimii cilindrului de beton și un traductor de forță.

Dispunerea traductorilor este ilustrată în figura 3a, pentru proba neconfinată, respectiv figura 3b, pentru probele din beton confinate. Traductorii globali au fost fixați în două coliere circulare, iar traductorul transversal a fost instalat pe un semi-inel din oțel, cu un orificiu radial perpendicular pe epruveta din beton. Fiecare bridă circulară se sprijină pe proba din beton în 3 puncte prin intermediul unor șuruburi cu arc și piulițe.

Înainte de testarea epruvetelor, au fost efectuate operațiunile de calibrare a preseii și a sistemului de achiziție a datelor. Pentru procesarea datelor experimentale obținute în timp real a fost utilizat un modul de canale de semnal, cu o interfață de comandă/control dezvoltată pe platforma programului "Test Point", figura 2b. Toate încercările au fost efectuate cu o viteză de creștere a tensiunilor de 0,5 MPa/s.

3. Rezultate experimentale și discuții

Pe baza programului experimental au fost determinate diagramele tensiuni-deformații specifice pentru probele neconfinat și confinat. O curbă de tensiuni-deformații specifice a unei probe

was installed on a steel semi-ring with a radial hole perpendicular to the concrete specimen. Each circular yoke leans upon the specimen in 3 points by means of compression spring screws and adjusting nuts.

3. Experimental results and discussions

Based on the experimental program the stress-strain diagrams of unconfined and confined concrete specimens have been determined. A stress-strain curve of an unconfined concrete specimen, Figure 4, has two distinct branches, an ascending one associated with elastic, viscous and plastic strains, and a descending branch corresponding to pseudo plastic strain, and characterized by an accelerated decrease in load and increase in strain. The axial strain corresponding to the peak value of the axial stress is about 0.0026, Figure 4a. Three distinct deformation zones have been identified during the compressive loading of the unconfined concrete samples: a deformation zone (A), at each end of the cylinder with small and slow deformations, two zones with large deformations (B), in the middle section of the specimens located to the external parts of the concrete samples; a medium deformation zone (C), inside of specimen with

de beton neconfinat este prezentată în figura 4, cu două ramuri distincte, una ascendentă asociată cu deformații specifice elastice, vâscoase și plastice și o ramură descendentă corespunzătoare deformațiilor pseudo plastice, și caracterizate printr-o scădere accelerată a încărcării și o creștere a deformațiilor specifice. Deformația specifică liniară axială corespunzătoare valorii de vârf a tensiunii axiale a fost egală cu 0,0026, figura 4a. Pe parcursul procesului de încărcare, în cazul probelor de beton fără sistem de confinare, au fost identificate trei zone distincte de deformare: o zonă de deformare (A), la fiecare capăt al cilindrului de beton cu deformații mici, dezvoltate lent; două zone cu deformații mari (B), pe porțiunea mediană a probelor din beton, situate la părțile exterioare ale acestora; o zonă de deformare medie (C), în interiorul de epruvetei, cu o rată de creștere a deformațiilor de la mijloc spre capete [20]. Astfel, stările de tensiuni și deformații specifice în cilindri de beton sunt diferite, cu deformații neuniforme. La comprimarea epruvetei se dezvoltă tensiuni tangențiale datorită frecării de la nivelul platanelor mașinii de încercat. Pentru a minimiza acest efect, au fost atașate la extremități fiecărei probe de beton două plăci rotunde din oțel, folosind un adeziv epoxidic Sikadur 30 [21].

Se poate observa din figura 4b că deformațiile specifice radiale sunt de aproximativ două ori mai mari decât deformațiile specifice axiale.

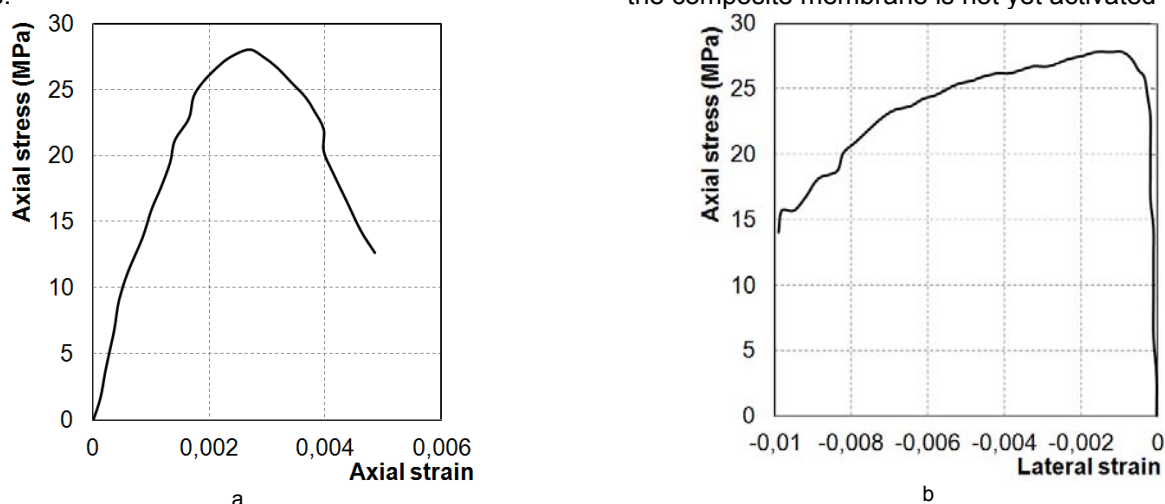


Fig. 4 - Răspunsul structural al epruvetei din beton simplu: a - tensiuni axiale și deformații specifice axiale; b - tensiuni axiale și deformații specifice laterale / Structural response of unconfined concrete cylinders subjected to compression: a - axial stress and axial strains; b - axial stress and lateral strains.

Probele din beton confinate cu membrane din CPAFS și CPAFC au fost testate la compresiune axială cu instalația patentată, utilizată și pentru probele de beton fără cămășuială. Prin mărirea forței de compresiune axială pe probele cilindrice din beton este inițiată expansiunea laterală a betonului. Astfel, deformațiile specifice axiale și radiale induc o stare spațială de tensiuni în membranele compozite [22]. În figura 5 este prezentat un exemplu de curbă caracteristică tensiune-deformație specifică, construită cu valorile

increasing rate from the middle to the ends [20]. Thus, the states of stresses and strains in the concrete cylinders are different, due to uneven deformations. Tangential stresses occur due to friction to the machine loading plate when the concrete specimen is compressed. To minimize this effect, two steel round plates have been bonded to the ends of each specimen, using the Sikadur 30 epoxy adhesive [21].

Compared to axial strains it can be seen from Figure 4b that the lateral strains, caused by expansion, are about two times larger.

The confined concrete specimens wrapped with GFRP and CFRP composite membranes have been tested to axial compression with our original installation, utilised for the unconfined concrete samples. By increasing the axial compression force on cylindrical concrete specimens the lateral expansion of concrete develops. Thus, axial and radial deformations induce a tri-axial state of stress in the composite membranes [22]. A typical stress-strain diagram for FRP confined specimens, using the average values of the five samples group is illustrated in Figure 5. The stress-strain diagrams of confined concrete with FRP composite membranes reveal three different working stages, Figure 5.

In the first stage, the behaviour of the confined concrete follows the pattern of the unconfined concrete, since the confining effect of the composite membrane is not yet activated

because of the low expansion of the concrete core.

In the second stage, the expansion of concrete begins due to the occurrence and the development of microcracks. Consequently the composite wrapping is mobilised and the concrete confining is initiated [23]. With the increase in load the stress may reach a so called critical value at which cracking development occurs at an unpredictable manner. This phenomenon is particularly true if concrete is not well confined.

In the third stage, the slope of the stress-

medii ale grupului de epruvete. Diagramele tensiuni-deformații specifice ale betonului confinat cu membrane din CPAF reliefează existența a trei stadii de lucru diferite, figura 5.

În primul stadiu, comportarea betonului confinat este similară comportării betonului fără cămășuială, deoarece efectul de confinare nu este încă activat din cauza expansiunii laterale reduse a miezului de beton.

În stadiul al doilea, începe procesul de expansiune laterală a betonului ca efect direct al apariției și dezvoltării microfisurilor. În consecință, înfășurarea compozită este solicitată concomitent cu inițierea confinării betonului [23]. Pe măsura creșterii încărcării axiale tensiunile pot ajunge la o valoare critică la care dezvoltarea fisurării se produce într-o manieră imprevizibilă. Acest fenomen este mai probabil dacă betonul nu este bine confinat.

În al treilea stadiu de lucru, panta curbei tensiune-deformație specifică se stabilizează după deteriorarea semnificativă a betonului confinat.

Toate aceste trei stadii se pot identifica pe curbele tensiuni-deformații specifice ale probelor din beton confinate, figura 5.

Rezistența betonului confinat a fost raportată la rezistența betonului neconfinat obținând valori normalizate pentru o analiză comparativă. S-au stabilit, de asemenea, rapoartele dintre deformațiile specifice axiale și cele laterale pentru epruvetele din beton cu înfășurare și neconfinate. Tensiunile axiale normalizate și deformațiile axiale normalizate astfel obținute pot fi vizualizate în figurile 6 și 7, pe baza valorilor medii ale grupurilor de cinci epruvete.

O prezentare completă a rezultatelor experimentale care evidențiază efectul de confinare este dată în tabelul 3.

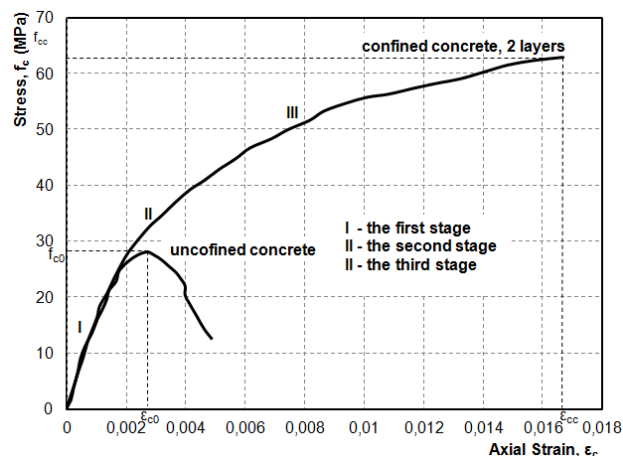


Fig. 5 - Curbe caracteristice, tipice pentru beton simplu și pentru beton confinat cu membrană compozită din două straturi / Typical stress-strain curves for unconfined and two layer GFRP composite membrane confined concrete.

strain curve stabilizes after substantial damage of the confined concrete.

All these three stages can be identified on the stress strain curve of the FRP composite confined concrete samples, Figure 5.

The confined concrete strength has been divided by the unconfined one, giving normalized values for a comparative analysis. In addition, the ratios between axial and lateral strains for confined and unconfined specimens have also been determined. Thus, normalized axial stresses and normalised axial strains are illustrated in Figures 6 and 7, in which the average values of each group of test specimen have been utilised.

A complete characterisation of the experimental results describing the confining effect is presented in Table 3.

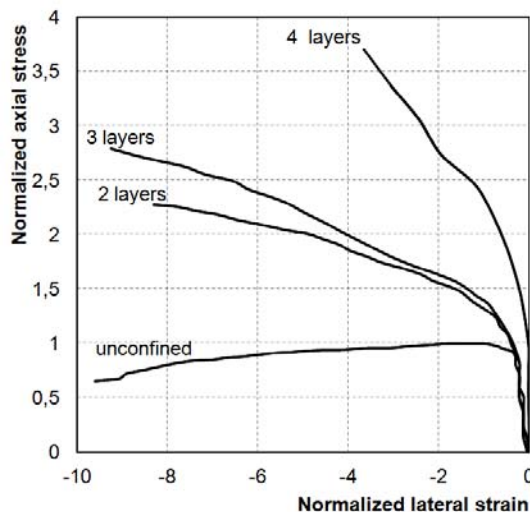
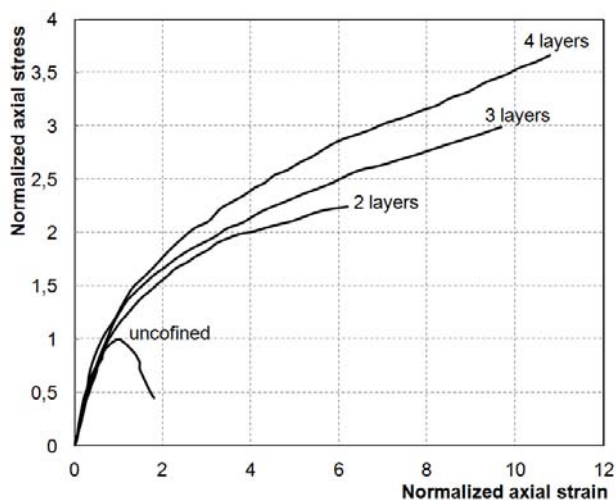


Fig. 6 - Curbele tensiuni-deformații specifice pentru epruvetele din betonul confinat cu membrane compozite armate cu fibre din sticlă: a - tensiunile axiale normalizate în raport cu deformațiile specifice axiale normalizate; b - tensiunile axiale normalizate în raport cu deformațiile specifice laterale normalizate / Stress-strain curves of GFRP confined concrete samples in compression: a - normalized axial stress versus normalized axial strain; b - normalized axial stress versus normalized lateral strain.

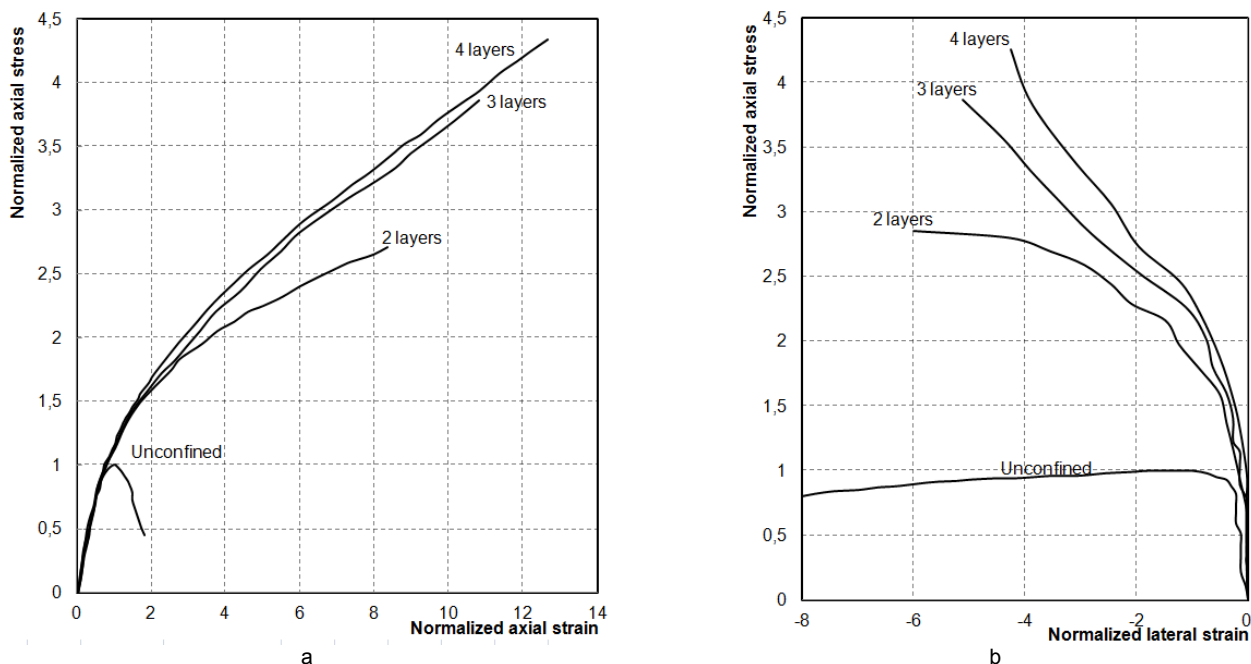


Fig. 7 - Curbele tensiuni-deformații specific pentru epruvetele din betonul confinat cu membrane compozite armate cu fibre din carbon: a - tensiunile axiale normalizate în raport cu deformațiile specifice axiale normalizate; b - tensiunile axiale normalizate în raport cu deformațiile specifice laterale normalizate / Stress-strain curves of CFRP confined concrete samples in compression: a - normalized axial stress versus normalized axial strain; b - normalized axial stress versus normalized lateral strain.

Tabelul 3

Efectul confinării asupra caracteristicilor de rezistență și deformații specifice / The confining effect on strength and strain characteristics

Proba / Specimen	Numărul straturilor / Number of layers	Tensiuni normalizate / Normalized stresses	Deformații specific axiale normalizate / Normalized axial strains	Deformații specific laterale normalizate / Normalized lateral strains
Cilindru neconfinat / Unconfined cylinder	-	1	1	1
Cilindri confinați cu CPAFC / CFRP confined cylinders	2	2.71	8.36	5.99
	3	3.86	10.81	5.12
	4	4.25	12.20	4.39
Cilindri confinați cu CPAFS / GFRP Confined Cylinders	2	2.25	6.19	8.30
	3	2.99	9.69	7.61
	4	3.67	10.80	3.67

Pe baza rezultatelor experimentale obținute se pot formula următoarele observații:

- s-au obținut creșteri semnificative ale rezistenței, respectiv o sporire cu 171% la betonul confinat cu două straturi de CPAFC, comparativ cu betonul neconfinat și 125% când epruvetele cilindrice din beton au fost înfășurate cu două straturi de CPAFS;
- prin îngroșarea cămășuielii utilizând trei straturi din CPAF au fost înregistrate creșteri ale rezistenței la compresiune cu 286% mai mari în cazul betonului confinat cu CPAFC, respectiv 199% la confinare cu membrane din trei straturi compozite din CPAFS;
- în cazul înfășurărilor compozite cu patru straturi s-au obținut creșteri ale rezistenței de 325% pentru membranele din CPAFC, respectiv 267% prin utilizarea membranelor din CPAFS.

Toate probele din beton confinat s-au comportat cvasi-elastic până la ruperea membranei compozite, astfel că raportul dintre rezistența

Based on the experimental results the following observations can be formulated:

- significant increases in strength have been obtained, namely an increase of about 171% of confined concrete strength compared to unconfined concrete, in case of samples jacketed with 2 layers of CFRP and 125% when GFRP layers have been wrapped around concrete cylinders;
- when the wrapping thickness has been supplemented using three composite layers, increases of confined concrete strengths exceeding 286% in case of 3 layer CFRP membranes and 199% when 3 layer GFRP membranes have been used, were determined.
- in case of 4 layer composite wrapping the increase of strength was 325 % for CFRP membranes and 267% when GFRP membranes have been utilised.

All confined specimens have shown a quasi-elastic behaviour up to the composite membrane rupture and the ratio between strength

betonului confinat și a betonului neconfinat (f_{cc}/f_{co}) a rezultat după cum urmează: 2,25 în cazul înfășurării probelor cu două straturi din CPAFS și 2,71 pentru două straturi din CPAFC; 2,99 pentru cămășuirea în trei straturi de CPAFS și 3,86 pentru trei straturi din CPAFC; 3,67 când probele au fost confinate cu patru straturi de CPAFS și 4,25 în cazul a patru straturi de înfășurare din CPAFC.

După cum se poate observa în tabelul 3, deformațiile specifice axiale normalizate prezintă creșteri semnificative pentru fiecare tip și grosime de membrană compozită. În același timp se constată că deformațiile specifice laterale normalizate descresc odată cu îngroșarea membranei.

Ruperea are un caracter exploziv și este inițiată în membrana compozită când se atinge presiunea maximă de confinare [24]. Modurile de cedare depind de tipul de confinare, de grosimea membranei stabilită prin numărul de straturi și de calitatea realizării înfășurării. În figurile 8a și 8b sunt prezentate epruvetele confinate cu membrane din CPAFC și CPAFS după cedarea cămășuielilor compozite. Toate probele din beton confinate au cedat prin ruperea membranelor din CPAFC. Cedările s-au caracterizat prin ruperi explozive cauzate de comportarea liniar-elastică până la rupere a membranelor compozite.

of confined concrete specimens to unconfined concrete samples (f_{cc}/f_{co}) resulted as it follows: 2.25 in case of 2 layer GFRP composite wrapping and 2.71 for 2 layer CFRP composite membrane; 2.99 for a 3 layer GFRP composite jacketing and 3.86 for the 3 layer CFRP composite wrapping; 3.67 when the samples were confined with a 4 layer GFRP composite jacketing and 4.25 in case of a 4 layer CFRP composite wrapping.

As it can be seen from Table 3 the normalized axial strains increase significantly for each of type of composite membrane and number of layers. At the same time it can be noticed that the normalized lateral strains of confined cylinders decrease with increasing the membrane thickness.

The explosive rupture is initiated in the composite membrane when the ultimate confinement pressure is reached [24]. The failure modes depend on the type of confinement, the thickness of membrane determined by the number of layers and the quality of wrap installation. The failed specimens confined with CFRP and GFRP membranes are illustrated in Figure 8a and 8b. All confined concrete samples have failed due to FRP membrane rupture. Failures had an explosive manner due to quasi-brittle behaviour up to rupture of the composite membranes.

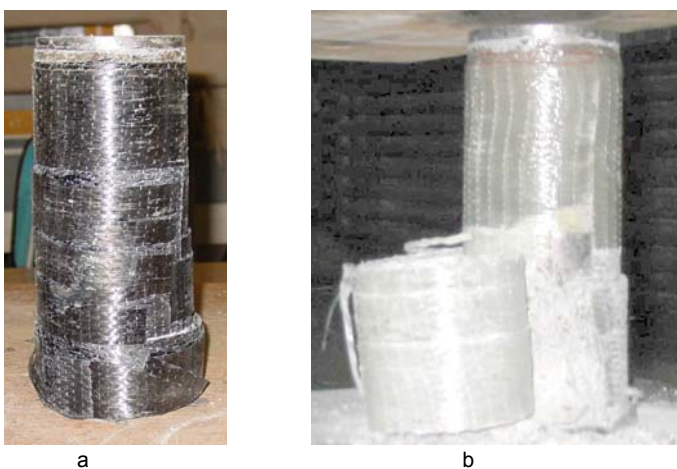


Fig. 8 - Modurile de cedare ale epruvetelor confinate: a - epruvetă confinată cu membrane din CPAFC; b - epruvetă confinată cu membrane din CPAFS / Failure types of confined specimens: a - CFRP confined concrete sample; b - GFRP confined concrete sample.

4. Analiza teoretică

Starea de tensiuni în cazul confinării unei secțiuni circulare cu membrane compozite este ilustrată în figura 9. Presiunea de confinare poate fi evaluată în raport cu fracțiunea volumetrică de armare circumferențială, într-un mod similar cu cel al armăturii transversale din oțel [25]. Întrucât grosimea membranei compozite este relativ redusă, raza miezului din beton (r_i) poate fi considerată aproximativ egală cu raza membranei compozite (r).

Din condiția de echilibru a forțelor pe axa y se poate scrie:

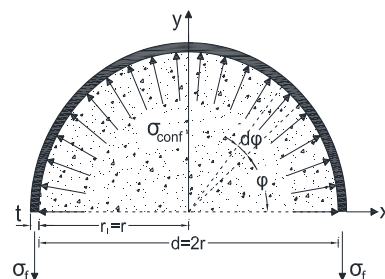


Fig. 9 - Tensiuni circumferențiale și presiunea de confinare în epruveta confinată / Hoop stresses and confining pressure in a confined specimen.

$$2\sigma_f t = \int_0^{\pi} f_l r \sin \phi d\phi = 2f_l r \quad (1)$$

unde:

- σ_f - tensiunea circumferențială în membrana compozită, care poate ajunge până la valoarea rezistenței la întindere a înfășurării;
- t - grosimea membranei compozite;
- f_l - presiunea de confinare exercitată datorită expansiunii laterale a betonului;
- r - raza miezului de beton confinat;
- ϕ - unghiul dintre raza r a cercului de înfășurare și axa x .

Presiunea de confinare poate fi exprimată în funcție de tensiunea circumferențială de întindere din membrana compozită:

$$f_l = \sigma_f \frac{t}{r} = \sigma_f \frac{2t}{d} = \sigma_f \frac{\rho_f}{2} \quad (2)$$

unde:

- d - diametrul miezului de beton;
- ρ_f - fracțiunea volumetrică de armare circumferențială cu membrană compozită, determinată cu relația:

$$\rho_f = \frac{\pi dt}{\pi d^2} = \frac{4t}{d} \quad (3)$$

Când membrana compozită este alcătuită dintr-un număr de n straturi de grosime t , ρ_f se calculează cu:

$$\rho_f = \frac{4nt}{d} \quad (4)$$

Studii anterioare au arătat că modelele analitice utilizate pentru stâlpii din beton confinați cu armătură transversală din oțel nu sunt aplicabile pentru stâlpii din beton confinați cu membrane CPAF, din cauza diferențelor în comportare a materialelor, evidențiate de curbele caracteristice ale celor două clase de materiale [6]. Richart [26] a propus un model de bază pentru betonul confinat, ecuația (5):

$$\frac{f'_{cc}}{f'_{c0}} = 1 + k_1 \frac{f_l}{f'_{c0}} \quad (5)$$

unde:

- f'_{cc} - rezistența la compresiune a betonului confinat, figura 5;
- f'_{c0} - rezistența la compresiune a betonului fără cămășuială, figura 5;
- k_1 - coeficientul de confinare egal cu 4,1.

Presiunea de confinare, f_l , depinde de caracteristicile membranei din CPAF și de diametrul epruvetei din beton, care pentru un strat de înfășurare este:

4. Theoretical analysis

The state of stress in case of confinement with the circular composite membrane, in a cross-section is illustrated in Figure 9. The confining pressure can be evaluated in terms of volumetric ratio of hoop reinforcement, in a similar mode to that of transverse steel reinforcement [25]. Since the thickness of the composite membrane is small, the concrete core radius (r) can be taken approximately equal to the composite membrane radius (r).

Equating the equilibrium forces along axis y it can be written:

$$2\sigma_f t = \int_0^{\pi} f_l r \sin \phi d\phi = 2f_l r \quad (1)$$

where:

- σ_f - the tensile hoop stress in the composite membrane which can be increased up to composite tensile strength;
- t - the thickness of the composite membrane;
- f_l - the confining pressure exerted due to the lateral expansion of concrete;
- r - the radius of the concrete core;
- ϕ - the angle between the circular membrane radius and axis x .

The confining pressure can be expressed in term of the tensile hoop stress of the composite membrane:

$$f_l = \sigma_f \frac{t}{r} = \sigma_f \frac{2t}{d} = \sigma_f \frac{\rho_f}{2} \quad (2)$$

where:

- d - the diameter of the concrete core;
- ρ_f - the volumetric ratio of composite reinforcement, determined with:

$$\rho_f = \frac{\pi dt}{\pi d^2} = \frac{4t}{d} \quad (3)$$

When the composite membrane is made of n elementary layers with thickness t , ρ_f is calculated with:

$$\rho_f = \frac{4nt}{d} \quad (4)$$

Previous research studies have shown that analytical models used for confined concrete columns with transverse steel reinforcement are not applicable to concrete columns confined with FRP membranes, due to different stress-strain curves of composites compared to steel [6]. Richart [26] proposed a basic model for confined concrete, Equation (5):

$$\frac{f'_{cc}}{f'_{c0}} = 1 + k_1 \frac{f_l}{f'_{c0}} \quad (5)$$

$$f_l = \frac{2E_{frp}t\varepsilon_{h,rup}}{d} \quad (6)$$

- E_{frp} - modulul de elasticitate al cămășuielii din CPAF;
- t - grosimea membranei, variabilă în funcție de numărul straturilor aplicate;
- $\varepsilon_{h,rup}$ - deformația specifică circumferențială ultimă a membranei compozite;

Ecuția (5) propusă de Richart a fost adoptată de către alți cercetători, care au introdus unele modificări pentru calibrare cu rezultatele experimentale proprii. În cadrul lucrării au fost selectate cele mai reprezentative modele din literatura de specialitate pentru a caracteriza variația rezistențelor probelor confinate utilizând membrane compozite din patru straturi, situație pentru care autorii au obținut rezultate semnificative.

Figurile 10a și 10b oferă o comparație a rezultatelor obținute și utilizate pentru a valida datele experimentale, în cazul membranelor compozite cu patru straturi. În cadrul lucrării au fost analizate toate modelele analitice semnificative din literatura de specialitate care stabilesc legătura dintre proprietățile probelor din beton confinat și

where:

- f'_{cc} - the compressive strength of the confined concrete, Figure 5;
- f'_{c0} - the compressive strength of the unconfined concrete, Figure 5;
- k_1 - the confinement effectiveness coefficient, equal to 4.1.

The confinement pressure, f_l , depends on the characteristics of the FRP composite membrane and the diameter of the concrete column which for one layer of wrapping is:

$$f_l = \frac{2E_{frp}t\varepsilon_{h,rup}}{d} \quad (6)$$

- E_{frp} - the elastic modulus of the composite jacket;
- t - the thickness of the membrane, which can be varied function of the number applied layers;
- $\varepsilon_{h,rup}$ - the ultimate hoop strain of the composite membrane;

Equation (5) proposed by Richart was

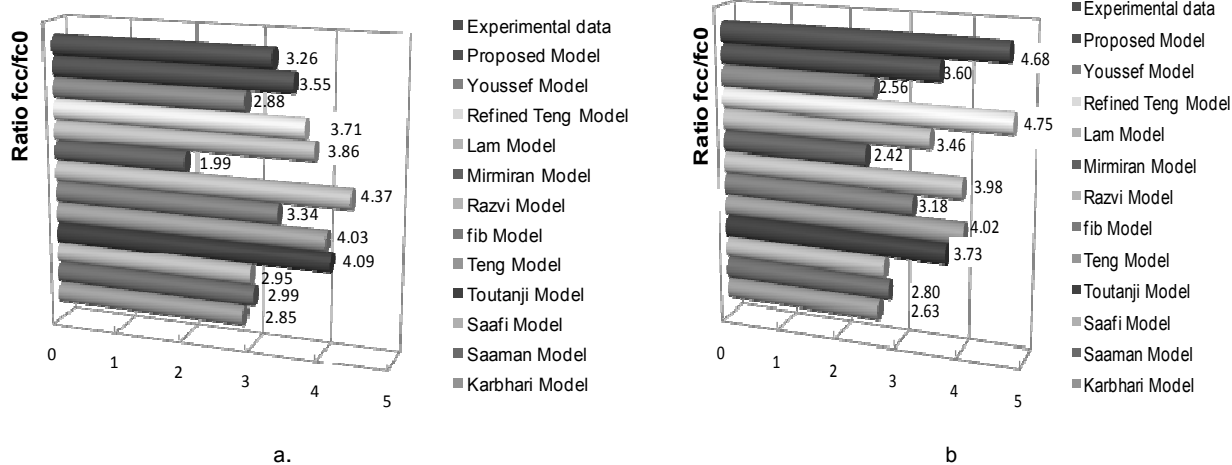


Fig. 10 - Studiul comparativ al rezultatelor pe modelele analitice de confinare: a - confinarea cu membrane compozite din patru straturi armate cu fibre de sticlă; b - confinarea cu membrane compozite din patru straturi armate cu fibre de carbon / Comparative study of existing analytical confinement models: a - confinement with 4 GFRP composite layers; b - confinement with 4 CFRP composite layers.

beton neconfinat și relaționate cu modelul propus. O prezentare selectivă a celor mai utilizate modele analitice pentru betonul confinat este sintetizată în tabelul 4 [27-34].

Se poate observa, din figurile 10a și 10b, că modelul *fib* [22] se apropie cel mai bine de rezultatele experimentale obținute pe epruvetele confinate din beton cu patru straturi de CPAFS, iar modelul îmbunătățit a lui Teng [33] este cel mai apropiat model de cazul epruvetelor confinate din beton cu patru straturi de CPAFC.

basically adopted by other researchers, that introduced some alterations to fit their own experimental data. The most representative analytical models have been selected from literature to characterize the variation of confined concrete cylindrical samples strengths utilizing the composite membranes made of 4 layers, case for which the authors have many significant results.

Figures 10a and 10b give a comprehensive comparison of the results obtained and utilised to validate the experimental results in case of 4 layer composite membranes.

Tabelul 4

Modele cu valori diferite ale eficienței coeficientului de confinare
Models with different values of confinement effectiveness coefficient

Modele Models	Karbhari [27]	Samaan [28]	Saafi [29]	Toutanji [30]
$\frac{f'_{cc}}{f'_{c0}} =$	$1 + 2.1 \left(\frac{f_l}{f'_{c0}} \right)^{0.87}$	$1 + 6.0 \frac{f_l^{0.7}}{f'_{c0}}$	$1 + 2.2 \left(\frac{f_l}{f'_{c0}} \right)^{0.84}$	$1 + 3.5 \left(\frac{f_l}{f'_{c0}} \right)^{0.85}$
Modele Models	Teng [31]	fib 14 [22]	Razvi [9]	Mirmiran [8]
$\frac{f'_{cc}}{f'_{c0}} =$	$1 + 3.5 \frac{f_l}{f'_{c0}}$	$\left(2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_l}{f'_{c0}}} - 2 \frac{f_l}{f'_{c0}} - 1.254 \right)$	$1 + 6.7 \frac{f_l^{0.83}}{f'_{c0}}$	$1 + 4.2556 \frac{f_l}{f'_{c0}}$
Modele Models	Lam [32]	Modelul lui Teng rafinat / <i>Refined Teng model</i> [33]	Youssef [34]	Modelul Propus / <i>Proposed model</i> [6]
$\frac{f'_{cc}}{f'_{c0}} =$	$1 + 3.3 \frac{f_l}{f'_{c0}}$	$1 + 3.5(\rho_k - 0.01)\rho_\varepsilon$ where: $\rho_k = \frac{2E_{fpp}t}{\left(\frac{f'_{c0}}{\varepsilon_{c0}}\right)D}$; $\rho_\varepsilon = \frac{\varepsilon_{h,rup}}{\varepsilon_{c0}}$	$1 + 2.25 \left(\frac{f_l}{f'_{c0}} \right)^{\frac{5}{4}}$	$1 + 2.5 \left(\frac{f_l}{f'_{c0}} \right)^{-0.14}$

* ρ_k este raportul relativ al rigidității confinării și ρ_ε -raportul relativ al deformației specifice [33].
 ρ_k is the confinement stiffness ratio and ρ_ε is the strain ratio [33].

5. Concluzii

Confinarea stâlpilor din beton cu membrane din CPAFS și CPAFC reprezintă o metodă eficientă de reabilitare a structurilor existente din beton supuse la compresiune.

Pentru a evalua eficiența confinării betonului cu membrane din CPAFS și CPAFC s-a testat la compresiune axială un număr semnificativ de epruvete cilindrice înfășurate cu membrane compozite.

Curbele tensiuni-deformații specifice ale betonului confinat sunt cvasi-biliniare cu a doua porțiune ascendentă datorită efectului confinării.

Eficiența confinării a fost evidențiată în primul rând prin analiza răspunsului structural al epruvetelor din beton confinate cu membrane din CPAF solicitate la compresiune și apoi, comparând tensiunile axiale normalizate cu deformațiile specifice axiale normalizate, respectiv tensiunile axiale normalizate cu deformațiile specifice laterale normalizate.

Rezistența la compresiune axială a betonului confinat depinde de rezistența la compresiune axială a betonului neconfinat și de presiunea de confinare laterală.

Presiunea laterală de confinare poate fi calculată cunoscând proprietățile la întindere ale membranei compozite (modulul de elasticitate și deformația specifică ultimă din întindere) și diametrul miezului din beton. Creșterea numărului straturilor de CPAF conduce la membrane mai groase și la presiuni de confinare mai mari.

Au fost obținute creșteri semnificative ale rezistenței la compresiune și ale deformației specifice axiale datorită efectului de confinare.

All important existing analytical models establishing a relationship between the properties of confined and unconfined concrete samples have been analysed and related to our proposed model [27-34].

A selective presentation of the most utilised analytical models on concrete confining is given in Table 4.

It can be seen, from Figures 10a and 10b that the best fit of a confinement model prediction is given by *fib* model [22] in case of GFRP composite membranes and by the refined Teng model [33] for CFRP composite membranes.

5. Conclusions

Confinement of concrete columns using GFRP and CFRP wrappings represents an efficient method of structural rehabilitation of the existing concrete structures subjected to compression loading.

A significant number of concrete cylinders confined with GFRP and CFRP membranes have been tested under axial compression load by our research team to evaluate the confinement efficiency.

The stress-strain curves of CFRP or GFRP confined concrete exhibit a quasi bilinear shape with an ascending second portion due to the confining effect. The efficiency of confinement has been firstly revealed by analyzing the structural response of FRP confined concrete specimens loaded in compression and then, comparing the normalized axial stresses versus normalized axial strains and normalized axial stresses versus normalized lateral strains.

Totuși se poate observa că îngroșarea membranelor compozite conduce la tensiuni axiale și deformații specifice axiale normalizate mai mari, în timp ce datorită efectului de confinare rezultă deformații specifice laterale normalizate mai mici.

Mulțumiri

Acest material a fost elaborat cu ajutorul CNCSIS - UEFISCSU, număr proiect 737, PNII - IDEI cod 369/2008 cu titlul: Structuri inginerești hibride cu performanțe superioare din compozite polimerice și materiale tradiționale.

REFERENCES

1. M. Barbuță, M Harja, and D. Babor, Concrete polymer with fly ash. Morphologic analysis based on scanning electron microscopic observations, Romanian Journal of Materials, 2010, **40**(1), 3.
2. L. Bank, Composites for construction: structural design with FRP materials, John Wiley and Sons, New Jersey, 2006.
3. L.C. Hollaway and J.G. Teng, Strengthening and rehabilitation of civil infrastructures using fibre-reinforced polymer (FRP) composites, CRC Press, Boca Raton, USA, 2008.
4. ACI 440.2R-08, Guide test for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures, Farmington Hills, USA, 2008.
5. W. Sun and J. Wang, State-of-the-art for Experimental Studies on the Mechanical Behavior of FRP-confined Concrete, Advances Materials Research, 2011, **168-170**, 1313.
6. N. Țăranu, G. Oprișan, D. Isopescu, I. Entuc, V. Munteanu, Composite solutions for strengthening of engineering structures, Ed. STEF, Iași, 2006.
7. G. Monti, N. Nistico and S. Santini, Design of FRP jackets for upgrade of circular bridge piers. ASCE Journal of Composites for Construction, (2001), **5**(2), 94.
8. A. Mirmiran and M. Shahawy, Behavior of concrete columns confined by fiber composites, Journal of Structural Engineering, 1997, **123**(5), 583.
9. S. Razvi and M. Saatcioglu, Confinement model for high-strength concrete, Journal of Structural Engineering, 1999, **125**(3), 281.
10. J.G. Teng, Y.L. Huang, L. Lam and L.P. Ye, Theoretical model for fiber reinforced polymer-confined concrete, Journal of Composite for Construction, 2007, **11** (2), 201.
11. xxx, SR EN 12390-2:2002. Testing hardened concrete – Part 2: Making and curing specimens for strength tests.
12. Sika, 2008, www.sikausa.com, Lyndhurst, NJ., Sikadur330, Product Data Sheet, Edition 7.1.2008, Identification no.347.
13. Sika, 2010, www.sikausa.com, Lyndhurst, NJ., SikaWrap Hex 103C, Product Data Sheet, Edition 6.23.2010, Identification no.332-30.
14. Sika, 2010, www.sikausa.com, Lyndhurst, NJ., SikaWrap Hex 100G, Product Data Sheet, Edition 6.23.2010, Identification no.332-15F.
15. L. Bejan and V.F. Pôterașu, Woven Composite Material Design by Orthotropic Compliance Averaging Method using MATHEMATICA, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 1999, **179**(1-2), 53.
16. L. Bejan, A. Sîrbu, and N. Țăranu, The influence of component properties on the elastic moduli of textile reinforced polymeric composites, Plastic Material Journal, 2007, **44**(1), 22.
17. N. Țăranu, G. Oprișan, I. Entuc, R. Oltean and V. Munteanu, Modern strengthening techniques in civil engineering structures, in Proceedings of the Conference on Management of Technological Changes, Alexandroupolis, Greece, September, 2009, edited by C. Rusu, p.737.

It can be observed from the analytical formulas that the axial compressive strength of confined concrete cylinders depends of the axial compressive strength of unconfined concrete cylinder and on the lateral confining pressure.

The lateral confining pressure can be calculated knowing the tensile properties of the composite membrane (elastic modulus and ultimate strain) and the diameter of the confined concrete core. Increasing the number of composite layers leads to thicker membranes and to higher confining pressures.

Significant increases of the compressive strength and of the axial strain have been obtained due to confining effect. It can be noticed, however that the thicker composite membranes lead to higher normalized axial stresses and axial strains, but to lower values of the normalized lateral strains due to confining effect.

Acknowledgements

This work was supported by CNCSIS - UEFISCSU, project number 737, PNII - IDEI code 369/2008 on hybrid structures made of polymeric composites and traditional building materials.

18. N. Țăranu, C. Banu, G. Oprișan, M. Budescu, V. Munteanu and O. Ioniță, Tensile characteristics of glass fibre reinforced polymeric bars , Romanian Journal of Materials, 2010, **40**(4), 323.
19. A. Negoită, M. Budescu, R. Ciornei, L. Strat, N. Țăranu, and I. Filipescu, Method and installation for post elastic testing of materials, especially brittle ones., Brevet 77051, Group 24/82 no. Current 28304, State Office for Inventions and Trade Marks, 1979, Owner Polytechnic Institute of Iasi (in Romanian language).
20. M.D. Kotsovos, Effect of testing techniques on the post ultimate behaviour of concrete in compression, Materiaux et Constructions, RILEM TECHNICAL COMMITTEES, 1983, **16**(91), 2.
21. Sika, 2008, www.sikausa.com, Lyndhurst, NJ., Sikadur 30, Product Data Sheet, Edition 7.1.2008, Identification no.332-15.
22. Fédération Internationale du Béton (fib), Bulletin 14, Externally bonded FRP reinforcement for RC structures. Technical report on the Design and use of externally bonded fibre reinforced polymer reinforcement (FRP EBR) for reinforced concrete structures, Published by the International Federation for Structural Concrete, Lausanne, 2001.
23. G. Li, Experimental study of FRP confined concrete cylinders, Engineering Structures, 2006, **28**(7), 1001.
24. H. Gangarao, N. Taly and P.V. Vijay, Reinforced concrete design with FRP composites, Taylor and Francis Group, Boca Raton, 2007.
25. M.R. Spoelstra and G. Monti, FRP-Confined concrete model, ASCE Journal of composites for construction, 1999, **3**(3), 143.
26. F.E. Richart, A. Bradtzaeg, and R.L. Brown, A study of failure of concrete under combined compressive stresses," Engineering Experiment Station Bulletin No.185, Urbana, IL. 1928.

27. V.M. Karbhari and Y. Gao, Composite jacketed concrete under uniaxial compression-verification of simple design equations, J. Mater. Civ. Eng., 1997, **9**(4), 185.
28. M. Samaan, A. Mirmiran, M. Shahawy, Model of concrete confined by fiber composites", Journal of Structural Engineering, September, 1998, **124**(9), 1025.
29. M. Saafi, H. A. Toutanji, , and Z. Li, Behavior of concrete columns confined with fiber reinforced polymer tubes, ACI Mater. J., 1999, **96**(4), 500.
30. H. A. Toutanji, Stress-strain characteristics of concrete columns externally confined with advanced fiber composite sheets, ACI Mater. J., 1999, **96**(3), 397.
31. Jiang T. and J.G. Teng, Analysis-oriented stress-strain models for FRP-confined concrete, Engineering Structures, 2007, **29**, 2968.
32. L. Lam and J.G. Teng, Stress-strain model for FRP-confined concrete under cyclic axial compression, Engineering Structures, 2009, **31**(2), 308.
33. J.G. Teng, T. Jiang, and L. Lam, Refinement of a design-oriented stress-strain model for FRP-confined concrete, Journal of Composites for Construction, 2009, **13**(4), 269.
34. Youssef M.N., M.Q. Feng and A.S. Mosallam, Stress-strain model for concrete confined by FRP composites, Composites: Part B Engineering, 2007, **38**, 614.

MANIFESTĂRI ȘTIINȚIFICE / SCIENTIFIC EVENTS

Shotcrete 2012, January 12, 2012 to January 13, 2012

Congress Centrum Alpbach, Tirol, Alpbach, Austria:

This platform has gathered shotcrete specialists for twenty years, in a surrounding field where the exchange easily takes place. Topics of the conference will be accelerators and early strength, composite shell tunnel linings, water tightness of shotcrete linings, leaching behavior, sulfate attack, shotcrete deformation behavior, sprayable membranes, manipulators, fiber reinforced shotcrete, testing of fiber reinforced shotcrete, polymer modified shotcrete for repair works, the use of white cement for shotcrete, shotcrete with special surface appearance, shotcrete for the Darwin Cocoon, nozzleman training.

An exhibition will take place parallel to the conference, presenting special materials, products and equipment for the production and testing of shotcrete.

Conference Language: German, English Summaries of all presentations will be available. Some presentations will be in English.

Website: www.spritzbeton-tagung.com, **E-mail:** spritzbeton@kusterle.net

Ultra-High Performance Concrete and Nanotechnology, March 7, 2012 to March 9, 2012

University of Kassel, Kassel, Germany:

Third International Symposium on Ultra-High Performance Concrete and Nanotechnology for High Performance Construction Materials

Website: <http://www.spp1182.de/>
