

**MINISTERUL EDUCAȚIEI
UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI
ȘCOALA DOCTORALĂ**

Coloane din beton armat întărind cu compozite din FRP

Coordonator Doctorat:

Prof. Dr. Liviu Crainic

Prof. Dr. Radu Pascu

Prof. Dr. Dan Paul Georgescu

Doctorand Student, Ali Almagsoosi

July, 2017

Listă de conținut

1. Introducere.....	3
2. Informații generale	4
3. Avantajele și dezavantajele utilizării compozitelor FRP	5
4. Materiale FRP	5
4.1 Materiale compozite	6
4.2 Tipuri de compozite FRP	6
4.3 Properties of Matrices	9
4.4 Filamente și fibre	10
4.5 Proprietățile mecanice ale compozitelor polimerice avansate.....	11
4.6 Aderența și pregătirea suprafeței.....	14
4.6.1 Pregătirea suprafeței betonului.....	14
4.7 Operațiunea de legătură	15
5. Tehnici de instalare.....	16
6. Aplicare și utilizare.....	16
7. Confinarea FRP a coloanelor din beton	18
7.1 Comportamentul betonului limitat	20
7.2 Comportamentul coloanelor limitate cu compozite	22
7.2.1 Beton confinat cu FRP în coloană circulară cu secțiuni transversale	22
7.2.2 Beton limitat de FRP în coloane dreptunghiulare	25
8. Moduri de eșec.....	26
9. Bibliografie	26

1. Introducere

Structurile în exploatare sunt supuse unor sarcini de service crescute și condiții de mediu severe decât proiectele lor originale. În plus, betonul simplu are rezistență la tracțiune redusă și o ductilitate limitată datorită naturii sale fragile, ceea ce duce la o absorbție mai mică a energiei și la o rezistență scăzută la controlul fisurilor. Prin urmare, multe structuri trebuie reparate / reabilite sau înlocuite în astfel de condiții. Reabilitarea și reamenajarea structurilor existente se făcea în mod tradițional folosind o manta de oțel sau beton armat [1].

Dezastrele naturale precum uragane, tornade, tsunami și cutremure și impacturi accidentale pot deteriora sau distruge structurile deficitare în câteva secunde. Pe de altă parte, apa sărată, produsele chimice în cuburi și ciclurile de îngheț-dezgheț pot provoca deteriorări structurale pe o perioadă mai lungă de timp. Majoritatea clădirilor și podurilor mai vechi au fost construite conform unor coduri de proiectare mai vechi. Aceste structuri sunt vulnerabile în timpul evenimentelor extreme și trebuie să fie modernizate pentru a respecta codurile și standardele actuale. De exemplu; în timpul unui cutremur sever, structura este susceptibilă să sufere deformări inelastice și trebuie să depindă de ductilitate și capacitatea de absorbție a energiei pentru a evita colapsul. Astfel de clădiri proiectate pentru încărcarea gravitațională trebuie consolidate pentru a crește rezistența, rigiditatea și ductilitatea [2].

Tehnicile tradiționale de modernizare includ mantaua din beton și oțel. Aceste metode consumă mult timp și necesită multă muncă. De asemenea, cresc aria secțiunii transversale a elementului de coloană structurală. O altă metodă mai recentă de reparații este utilizarea polimerilor întărite cu fibre (FRP) datorită proprietăților lor mecanice excelente, rezistenței la coroziune, durabilității, greutateii ușoare, ușurinței de aplicare, timpului redus de construcție, eficienței și costului redus al ciclului de viață [2].

Datorită creșterii suprasolicitării compresive, capacitatea de ductilitate și capacitatea de absorbție a energiei sunt, de asemenea, îmbunătățite considerabil. Utilizarea FRP în această aplicație specială este similară cu cea din reabilitare din cauza deteriorării infrastructurii. Produsul are o rezistență ridicată, ușor, rezistent la coroziune, cost redus și extrem de versatil. Atunci când se tratează în special zonele afectate de cutremure, este deosebit de importantă evitarea necesității de echipamente grele în metodele de reparații. S-a concluzionat prin diferite teste ale coloanelor cu deficiențe seismice atât

înainte, cât și după reparații, că învelișurile compuse din FRP sunt eficiente în restabilirea rezistenței la flexiune și a capacității de ductilitate a coloanelor de beton deteriorate de cutremure. [3]

2. Informații generale

Lipirea plăcilor de oțel sau îmbrăcarea coloanei de beton sunt metodele tradiționale de armare externă. Plăcile de oțel lipite de zonele de tensiune ale elementelor din beton s-au dovedit a crește capacitatea de flexiune a elementelor. Această metodă tradițională a fost folosită în întreaga lume pentru consolidarea podurilor și clădirilor. Cu toate acestea, coroziunea plăcilor de oțel, deteriorarea legăturii dintre oțel și beton, dificultăți de instalare, cum ar fi necesitatea echipamentului greu la instalare, au fost identificate ca dezavantaje majore ale acestei tehnici. Ca rezultat, cercetătorii au investigat întărirea FRP ca alternativă la această metodă. [4]

Statele Unite au arătat un interes pentru armarea pe bază de fibre în structurile de beton încă din anii 1930. Cu toate acestea, dezvoltarea și cercetarea efectivă a utilizării acestor materiale pentru modernizarea structurilor de beton au început în anii 1980.

În Europa, sistemele FRP au fost dezvoltate ca alternative la lipirea plăcilor de oțel. Legarea plăcilor de oțel de zonele de tensiune ale elementelor de beton cu rășini adezive s-au dovedit a fi tehnici viabile pentru creșterea rezistenței la flexiune (Fleming și King 1967). Această tehnică a fost utilizată pentru a întări multe poduri și clădiri din întreaga lume. Deoarece plăcile de oțel se pot coroda, ducând la deteriorarea legăturii dintre oțel și beton și deoarece sunt dificil de instalat, necesitând utilizarea echipamentelor grele, cercetătorii au privit materialele din FRP ca o alternativă la oțel.

Lucrări experimentale folosind materiale FRP pentru modernizarea structurilor de beton au fost raportate încă din 1978 în Germania (Wolf și Miessler 1989). Cercetările efectuate în Elveția au condus la primele aplicații ale sistemelor de FRP lipite extern la podurile din beton armat pentru întărirea flexurii (Meier 1987; Rostasy 1987). [5]

Sistemele FRP au fost aplicate mai întâi pe coloanele din beton armat pentru a asigura închiderea suplimentară în Japonia în anii 1980 (Fardis și Khalili 1981; Katsumata și colab. 1987). O creștere bruscă a utilizării FRP în Japonia a fost observată după cutremurul din Hyogoken-Nanbu din 1995 (Nanni 1995).

3. Avantajele și dezavantajele utilizării compozitelor FRP

Principalele avantaje ale FRP sunt rezumate în următoarele puncte:

1. Putere mare.
2. Rezistență la oboseală remarcabilă
3. Perioade de construcție reduse.
4. Durabilitatea sistemului de întărire (rezistență la coroziune, alcalii și alte materiale agresive).
5. Disponibilitate pe orice lungime și capacitatea de a fi transportat în role.
6. Greutate redusă.
7. Proiectare versatilă a sistemelor.
8. Reducerea sau eliminarea costurilor de întreținere.

Dezavantajele FRP sunt următoarele:

1. Comportament plastic neregulat și ductilitate mai mică.
2. Sensibil la denivelări locale.
3. Cost ridicat.

4. Materiale FRP

Materialele compozite polimerice avansate constau din fibre puternice rigide într-o matrice de polimeri și necesită înțelegere științifică din care proceduri de proiectare pot fi dezvoltate. Proprietățile mecanice și fizice ale compozitului sunt controlate de proprietățile constitutive și de configurațiile microstructurale. Matricea trebuie să fie bine legată de suprafața fibrei pentru a permite transferul eficient de solicitări între fibre. Alinierea fibrelor, conținutul de fibră și rezistența interfeței fibra-matrice influențează performanța compozitului. Mai mult, sunt folosite tehnici de prelucrare extrem de specializate care iau în considerare caracteristică de manipulare, în special ale fibrelor de carbon, un material folosit în prezent în mod obișnuit pentru modernizarea sau consolidarea sistemelor structurale. Întărirea cu succes a elementelor structurale cu materiale FRP depinde de calitatea și integritatea adezivului compozit, de eficiența adezivului utilizat și de pregătirea suprafeței celor doi aderenți care urmează să fie uniți. Cerințele de bază pentru crearea unei îmbinări lipite satisfăcătoare sunt: [6]

- Selectarea unui adeziv adecvat.
- Pregătirea adecvată a suprafeței adezive.
- Proiectarea corespunzătoare a îmbinării.
- Fabricarea controlată a articulației.
- O asigurare a calității post-lipire.

4.1 Materiale compozite

Compozitul polimeric avansat constă în esență din două materiale componente: (i) materialul matricial sau polimerul, care este, în general, componenta cu rezistență scăzută și modul redus și (ii) fibra, care este componenta relativ ridicată și cu modul ridicat. Sub stres, fibra utilizează fluxul plastic al matricei pentru a transfera sarcina către fibră; acest lucru are ca rezultat un compozit de înaltă rezistență și modul ridicat. Faza primară, fibrele cu un raport de aspect ridicat, trebuie să fie bine dispersate și legate în faza secundară, matricea. Principalii constituenți ai compozitului sunt, prin urmare, fibra, matricea și interfața. Această ultimă componentă este o regiune de tranziție anizotropă cu o gradare de proprietăți. Interfața este necesară pentru a asigura stabilitatea chimică și fizică adecvată a legăturii între fibră și matrice pentru a maximiza cuplarea dintre cele două faze și pentru a permite astfel dispersarea tensiunilor prin matrice și astfel transferate la armătură. Prin umectarea armăturii cu matricea în stare lichidă sau cu vâscozitate redusă, se asigură cuplarea între cele două componente. În tehnica de legare a plăcilor, rețeaua de fibre este invariabil aliniată de-a lungul direcției longitudinale a fasciculului sau aliniată transversal în jurul coloanei. În consecință, funcția principală a matricei este de a combina și de a proteja fibra împotriva mediului extern în care va fi plasat compozitul. [6]

4.2 Tipuri de compozite FRP

Rolul principal al fibrei este de a rezista porțiunii majore a sarcinii care acționează asupra sistemului compozit. În funcție de tipul matricei și de configurația fibrelor, fracțiunea volumului fibrelor variază de la 30 la 75%. Proprietățile de rezistență și rigiditate ale fibrelor disponibile în comerț acoperă un spectru larg și, în consecință, proprietățile compozitului rezultat au o variație considerabilă. Armăturile tipice de fibre utilizate în industria compozitelor sunt sticla (sticlă E și S), carbonul și aramida, după cum urmează: [8]

Fibre de sticlă: Fibrele de sticlă sunt cele mai comune dintre toate fibrele de armare utilizate în compozite. Avantajele majore ale fibrelor de sticlă includ costuri reduse, rezistență ridicată la tracțiune, rezistență chimică și rezistență la temperaturi ridicate. Dezavantajele sunt modulul de tracțiune scăzut, sensibilitatea la abraziune în timpul manipulării, rezistența la oboseală relativ scăzută și fragilitatea. Cele mai comune două tipuri de fibre de sticlă utilizate în industria materialelor plastice armate cu fibre sunt sticla electrică (cunoscută și sub numele de sticlă E) și sticla structurală (denumită în mod obișnuit sticla S). Figura 1 prezintă rolele din fibră de sticlă.



Fig. 1: Rolele din fibră de sticlă. (Sursa: rapoarte ASD, martie 2014)

Fibre de carbon: Fibrele de carbon oferă cel mai înalt modul dintre toate fibrele de armare. Printre avantajele fibrelor de carbon se numără rapoartele lor excepționale de rezistență la greutate, precum și raporturile ridicate la rezistență la modul-la-greutate. În plus, fibrele de carbon au rezistențe ridicate la oboseală și un coeficient foarte mic de dilatare termică liniară și, în unele cazuri, chiar dilatare termică negativă. Această caracteristică oferă stabilitate dimensională, ceea ce permite compozitului să realizeze o expansiune aproape zero la temperaturi de până la 300 ° C (570 ° F). Fibrele de carbon (figura 2) sunt disponibile comercial cu o varietate de moduli de tracțiune variind de la 30.000 ksi (207 GPa) la capătul inferior până la 150.000 ksi (1035 GPa) la capătul înalt.



Fig. 2: Compozite din fibra de carbon. (Sursa: Un ghid online complet pentru inginerie mecanică, aprilie 2011)

Fibre aramide: Fibra de aramidă este o fibră sintetică de polimer organic (o poliamidă aromatică) produsă prin filarea unei fibre solide dintr-un amestec chimic lichid. Fibra de aramidă este galben auriu strălucitor și este cunoscută în mod obișnuit ca Kevlar® așa cum se arată în figura 3, denumirea sa comercială DuPont. Aceste fibre au greutatea specifică cea mai mică și cel mai mare raport rezistență-greutate la tracțiune dintre fibrele de armare utilizate astăzi. Acestea sunt cu 43% mai ușoare decât sticla și cu aproximativ 20% mai ușoare decât majoritatea fibrelor de carbon. Pe lângă rezistența ridicată, fibrele oferă, de asemenea, o bună rezistență la abraziune și impact, precum și la degradarea chimică și termică. Dezavantajele majore ale acestor fibre includ rezistența la compresiune scăzută, degradarea atunci când sunt expuse la lumina ultravioletă și dificultăți considerabile în prelucrare și tăiere.



Fig.3: Compozite din fibre de aramidă. (Sursa: CHM Composites LTD)

4.3 Properties of Matrices

Polimerul este un material organic compus din molecule obținute din multe repetări ale aceleiași unități mai simple numite monomer. Există multe matrici polimerice diferite utilizate în compozite polimerice avansate, dar, în cadrul familiei compozite, există două tipuri majore, lianții termorezistenți și lianții termoplastici.

Polimerii termorezistenți sunt cei care formează materialul matricei compozitului utilizat în reabilitarea structurilor. Sunt fabricate din precursori lichizi sau semi-solizi, care se întăresc ireversibil. La finalizarea reacției chimice, rășina lichidă este transformată într-un solid dur prin reticulare chimică, care produce o rețea tridimensională strâns legată de lanțuri polimerice.

Reacția chimică este cunoscută sub numele de condensare polimerizată, polimerizare sau întărire. Unitățile moleculare care formează rețeaua și lungimea și densitatea legăturilor transversale ale structurii vor influența proprietățile mecanice ale materialului rezultat; reticularea este o funcție a gradului de vindecare. Matricea polimerică joacă o serie de roluri vitale în formarea caracteristicilor unui compozit. După cum sa menționat, fibra are în general o rigiditate și rezistență ridicate, dar tinde să fie fragilă. Matricea protejează armarea împotriva abraziunii sau a coroziunii mediului, ambele putând iniția fractura fibrelor. Sarcina, care este transportată de fibră, este distribuită prin matrice către fibrele adiacente. Matricea trebuie să fie compatibilă chimic și termic cu fibrele. Cele mai comune sisteme de rășini termorezistente utilizate în ingineria civilă în general și în mod specific în reabilitarea structurilor sunt epoxidele și vinilesterii.

Pentru a forma un compozit polimeric structural, fibre lungi sunt introduse în matricea rășinii. Această combinație de două materiale diferite duce la o componentă care are o rezistență, rigiditate și rezistență sporite asupra proprietăților pieselor individuale. Proprietățile mecanice și în funcțiune ale compozitului final matrice de fibre vor depinde de proprietățile individuale ale celor două părți componente, proprietatea anterioară (respectiv mecanică) fiind în mare măsură dependentă de fibră și cea de-a doua proprietate (și anume serviciu) fiind în mare măsură dependentă de matrice. Prin urmare, următoarele vor afecta proprietățile mecanice generale și într-o măsură mai mică proprietățile în funcțiune ale compozitului: [6]

- Tipul fibrei folosite (și anume fibre de carbon, sticlă sau aramidă)
- Proporțiile relative ale polimerului și fibrei (fracțiunea volumului fibrelor);

- Orientarea fibrei (și anume unidirecțională, aliniată bidirecțional sau orientată aleatoriu);
- Metoda de fabricație;
- Temperatura și durata ciclului de întărire;
- Vârsta compozitului polimeric.

4.4 Filamente și fibre

Cele trei fibre, care sunt utilizate pentru reabilitarea componentelor structurale, sunt (i) fibra de carbon, (ii) fibra de aramida și (iii) fibra de sticlă. Probabil, cea mai utilizată dintre acestea pentru flexie, forfecare și înfășurare a grinzilor și coloanelor este fibra de carbon, dar fibra aleasă în cele din urmă ar depinde de materialul unității structurale care urmează să fie modernizat și de rezistența, rigiditatea, proprietățile în funcțiune necesare și cost. Fibrele constau în general dintr-un număr de filamente lungi, care au o rigiditate și rezistență specifice excepțional de ridicate. Diametrele lor sunt de ordinul a 10 μm cu un raport de aspect, de lungime la diametru, între 1000 și infinit pentru fibrele continue. Filamentele sunt extrem de fragile și trebuie manipulate cu mare atenție.

Proprietățile compozitelor lungi de fibre-polimeri vor fi, în general, anizotrope, cu excepția cazului în care se utilizează un sistem de straturi de unghi orientat de matrice de fibre de 0°, 30°, 60° sau 90° sau se utilizează matrici de fibre scurte orientate aleatoriu, caz în care prezintă proprietăți cvasi-izotrope. Direcția și fracția de volum a fibrelor din compozite vor determina rezistența și rigiditatea compozitului. În soluțiile de lipire a plăcii flexurale, fibrele sunt aliniate unidirecțional de-a lungul lungimii longitudinale a elementului. Pentru a menține alinierea, în special în timpul procesului de fabricație, poate fi necesar să adăugați un procent mic de fibre în direcția transversală. Pentru întărirea forfecării, se utilizează din nou fibrele aliniate unidirecționale. Pentru reabilitarea sau adaptarea coloanelor RC, fibrele înfășurate continuu în direcția cercului se aplică pe coloană la un unghi ușor pozitiv. Aceste fibre limitează betonul în coloane și, deoarece fibrele de tracțiune pot rezista la o rezistență la tracțiune mult mai mare în comparație cu cea a betonului, coloana va conține o sarcină de compresie mult mai mare. [6]

4.5 Proprietățile mecanice ale compozitelor polimerice avansate

Tensile properties: S-a afirmat mai sus că rezistența și rigiditatea fibrelor, fracția de volum și orientarea vor determina proprietățile mecanice ale compozitului final; acest lucru este ilustrat în Tabelul 1, care oferă proprietăți tipice ale compozitelor fabricate prin tehnica pultruziunii folosind rășină epoxidică și armături lungi direcționate din fibră de sticlă, aramid și carbon cu un raport fibră-matrice în greutate de 60%.

Tabelul 1: Proprietățile mecanice tipice ale compozitelor lungi direcționate fibra-matrice (fracțiunea în greutate a fibrelor 58%) fabricate prin tehnica pultruziunii (materialul matricei este epoxidic). (Sursă: L.C. Hollaway and J.G. Teng, Book, 2008).

Composite material	Specific weight	Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (GPa)	Flexural strength (MPa)	Flexural modulus (Gpa)
E-glass	1.90	750–1050	40.00	1450	40.00
S-2 glass	1.80	1650	55.00	–	–
Aramid 49	1.45	1150–1400	70–110	–	–
Carbon (PAN)	1.60	2670–1950	150–220	1600	–
Carbon (pitch)	1.80	1400–1500	280–350	Failure strain $\approx 0.40 > 330$	

Proprietăți de compresie: Integritatea atât a fibrei, cât și a matricei într-un compozit sub o sarcină de compresie este mult mai critică decât în sarcina de tracțiune. Fibrele sunt principalele elemente purtătoare ale unui compozit și sunt susținute de matrice pentru a oferi stabilitate locală și pentru a preveni o defecțiune a micro-flambării compozitului. În consecință, deteriorarea locală a rășinii și a interfeței ar duce la o instabilitate a fibrelor, care este mai severă decât modul de izolare a fibrelor, care apare la încărcarea cu tracțiune. Posibilele moduri de defectare pentru FRP sub compresie longitudinală sunt:

- (i) Defecțiune la tracțiune transversală,
- (ii) Microfibrăție de fibre și
- (iii) Eșec de forfecare;

Rezistențele la compresiune ale compozitelor FRP cresc în mod normal pe măsură ce cresc rezistențele la tracțiune; cu toate acestea, dintre cele trei compozite de fibre utilizate în construcții, polimerul armat cu fibre de aramidă (AFRP) prezintă un comportament neliniar în compresie la un nivel relativ scăzut de stres. Valorile tipice ale

modulelor de compresiune ale elasticității și rezistențelor la compresiune ale materialelor compozite din polimer armat cu fibră de sticlă (GFRP), AFRP și polimer armat cu fibră de carbon (CFRP) comparativ cu rezistențele la tracțiune sunt în general mai mici cu aproximativ 80%, 100% și 85% 55%, 20% și, respectiv, 78%. [6]

Caracteristici de creep ale compozitelor FRP sub o sarcină de tracțiune: Cele două componente ale compozitului, și anume, polimerul și fibra, au caracteristici de fluaj foarte diferite; polimerul este un material visco-elastic și, prin urmare, se va strecura sub sarcină, dar fibrele de carbon, sticlă și aramidă nu au practic nici o componentă fluentă. În consecință, fibrele au un efect stabilizator asupra caracteristicilor de fluaj ale polimerului; prin urmare, caracteristicile generale ale vitezei de fluaj ale materialelor compozite FRP și valoarea finală a fluajului vor fi mult mai mici decât cea a polimerului. Valoarea reală de fluaj a compozitului FRP va depinde de fracțiunea volumului fibrei, de orientarea fibrei și de tipul de fibră utilizată. [6]

Rezistența la oboseală a compozitelor polimerice avansate: Comportamentul la oboseală al materialelor compozite fibroase este mai complex decât cel al metalelor datorită naturii anizotrope a materialului. Mecanismele de eșec complexe și modurile de deteriorare excesive pot fi cauzate de ciclurile de oboseală și de posibila lor interacțiune. În general, compozitele polimerice suferă o degradare progresivă a oboselii datorită defectării fibrelor, secvenței de stivuire a fibrelor și tipului de încărcare a oboselii. Cu toate acestea, magnitudinea stresului maxim într-un ciclu de încărcare este de obicei o mică proporție din stresul final în aplicații practice, iar rezistența la oboseală în plan a compozitelor este în general bună. Cele mai sensibile moduri de eșec sensibile la oboseală sunt modurile dominate de matrice, dar dacă tensiunea de eșec a matricei o depășește pe cea a fibrei, fractura fibrei va domina eșecul de oboseală. La încărcarea prin oboseală există patru mecanisme de bază de eșec ale compozitelor polimerice:

- *Dezactivarea interfeței de rupere a fibrelor;*
- *Eroare interfață matrice-fibră;*
- *Delaminare:* Compozitele de fibre direcționale utilizate în principal în reabilitarea sistemelor structurale conțin un procent mic de fibre transversale pentru stabilitatea laminatelor. În direcția longitudinală, compozitele vor avea rezistență și rigiditate, dar tind să fie slabe în direcția grosimii. Această slăbiciune poate crește probabilitatea de

delaminare între straturile laminatelor, în special în zonele cu forfecare interlaminară ridicată.

- **Crăpătura matricei:** Acest mecanism nu se aplică de obicei compozitelor din FRP utilizate pentru reabilitarea sistemelor structurale datorită compozitelor din fibre aliniate în principal unidirecționale. Crăparea va apărea în mod normal în straturile din afara axei și este de obicei primul mecanism de deteriorare din cauza lipsei fibrelor orientate în direcția sarcinii aplicate, determinând astfel distribuirea mai multor sarcini către matrice. [6]

Durabilitate: Durabilitatea pe termen lung a unui compozit FRP depinde intrinsec de alegerea materialelor constitutive, a metodelor de prelucrare și a condițiilor de mediu la care acestea sunt expuse pe toată durata de viață. Expunerea la o varietate de condiții de mediu nefavorabile și uneori dure în construcții ar putea degrada materialul compozit din FRP și, prin urmare, această degradare le va modifica performanțele mecanice. Expunerea la variații de temperatură ridicată și scăzută, pătrunderea umezelii și a soluției de sare, razele ultraviolete de la soare și foc vor duce la performanțe mecanice reduse. Materialele compozite oferă unele avantaje semnificative de durabilitate față de materialele de construcție mai convenționale. Durabilitatea din punct de vedere al ingineriei civile poate fi împărțită în șase grupe: [6]

- Umezeală și soluții apoase;
- Mediul alcalin;
- Vârsta compozitului polimeric;
- Foc;
- Efecte termice;
- Radiații ultraviolete.

Rezistența la foc a FRP: Componenta matricială a compozitului utilizat pentru reabilitare este compusă din atomi de carbon, hidrogen, oxigen și azot și va arde, dar nu toți polimerii sunt la fel de predispuși la aprindere și la creșterea focului pe suprafețele lor; gradul de aprindere va depinde puternic de stabilitatea termică a polimerului. În plus, atunci când materialul este relativ subțire, acesta se arde destul de repede; dimpotrivă, atunci când materialul este relativ gros, formează rapid o cremă de protecție și poate supraviețui timp de perioade relativ lungi înainte de a pierde o

proporție semnificativă din rezistența sa. Există câțiva polimeri rezistenți, dar în general sunt impracticabili pentru utilizarea infrastructurii datorită costului ridicat. O excepție este rășina fenolică, care este atât relativ ieftină, cât și rezistentă, dar este dificil de pultrudat la o calitate suficientă pentru a fi utilizată în lipirea plăcilor, iar proprietățile de funcționare necesare acestora în această calitate nu sunt suficiente. [6]

4.6 Aderența și pregătirea suprafeței

Unul dintre cele mai importante aspecte în lipirea și laminarea adezivului este pregătirea suprafeței, care este un subiect critic căruia nu i se acordă adesea atenția necesară. Când pregătirea suprafeței este realizată ca parte a fabricării îmbinărilor lipite, fie într-o fabrică, fie pe un șantier, este vital ca proiectanții, agenții și supraveghetorii acestora să înțeleagă principiile care stau la baza obținerii unei aderențe satisfăcătoare pe termen scurt și lung. Adezivii și rășinile sunt în mod frecvent învinuiți că „nu se lipesc”, dar sursa problemei rezidă în general în pregătirea suprafeței. Un obstacol major în calea utilizării mai sigure a adezivilor și rășinilor este lipsa de înțelegere a aderenței, a tehnicilor adecvate de pregătire a suprafeței și a efectelor acestora asupra rezistenței inițiale a aderenței și, într-un grad mai mare, durabilității pe termen lung.

Scopul pregătirii suprafeței este de a elimina contaminarea și straturile de suprafață slabe, de a schimba rugozitatea suprafeței substratului la un nivel mic și / sau de a introduce noi grupuri chimice pe suprafață pentru a le lega cu adezivul (sau grundul). Etapele cheie implicate în realizarea acestui scop sunt: [6]

- curatenie;
- Îndepărtarea materialului și modificarea suprafeței;
- Curățare suplimentară (pentru a elimina contaminarea introdusă de tratamente, cum ar fi ceața de ulei, praful sau reziduurile chimice).

4.6.1 Pregătirea suprafeței betonului

Natura chimică și fizică a suprafeței betonului este complexă și variabilă. Suprafața acestui material multifazic poate conține agregate expuse, nisip, particule de ciment nehidratate și gel de ciment, împreună cu fisuri și goluri; conținutul de umiditate de la suprafață poate fi, de asemenea, variabil. Tratamentele de suprafață ar trebui să elimine contaminarea semnificativă, straturile bogate în ciment și urmele de agenți de

eliberare a mușgaiului. În esență, scopul pregătirii suprafeței este de a îndepărta pielea exterioară, slabă și potențial contaminată, împreună cu materialul slab legat, pentru a expune bucăți de agregat de dimensiuni mici până la mijlocii (Fig. 4). Acest lucru trebuie realizat fără a provoca micro-fisuri sau alte daune în stratul din spate; acest lucru ar duce la un plan de slăbiciune și, prin urmare, la o reducere a rezistenței conexiunii adezive. [6]

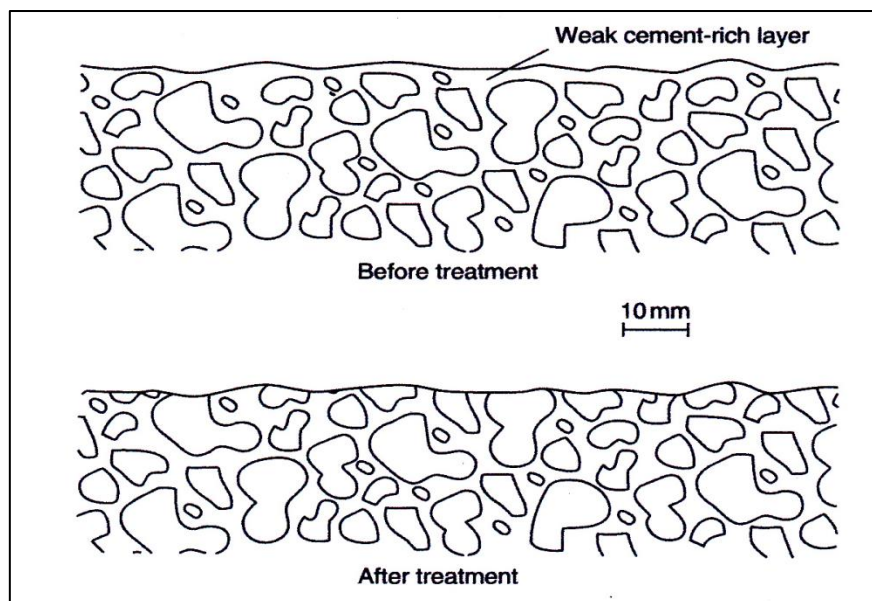


Fig. 4: Idealizarea schematică a betonului după pregătirea suprafeței. (Sursă: L.C. Hollaway and J.G. Teng, Book, 2008).

4.7 Operațiunea de legătură

Investigația inițială a stării structurii ar trebui să includă o inspecție amănunțită a suprafețelor pe care se va efectua lipirea. Trebuie întreprinse evaluări ale temeiniciei și trebuie identificate orice cerințe pentru repararea defectelor. În acest stadiu trebuie efectuate și încercări de aderență a sistemelor candidate de adeziv / grund. Aspectele care afectează direct aderența și calitatea articulațiilor sunt:

- Evaluarea condiției;
- Pregătirea suprafeței;
- Protecția mediului de lucru;
- Amestecarea, aplicarea și întărirea adezivului;
- Eșantioane de control al calității.

Mediul de lucru trebuie să fie uscat și cât mai curat posibil. Mulți adezivi nu se vor vindeca sub aproximativ 5 °C, deci trebuie acordată atenție controlului atât al temperaturii ambiante, cât și al temperaturii suprafețelor componente. De exemplu, un adeziv cald aplicat pe o suprafață foarte rece, chiar dacă este pregătit corespunzător, poate să nu adere la acesta în mod adecvat din cauza tendinței de „piele” din cauza șocului termic.

În cazul în care adezivii cu două componente sunt amestecați într-o cutie sau recipient, există o durată de viață finită utilizabilă sau o durată de viață. Vâscozitatea și, prin urmare, ușurința aplicării, a materialului adeziv poate varia semnificativ în funcție de temperatură. Adezivii cu caracteristicile corecte la 20 °C pot fi imposibil de vâscoși la 5-10 °C sau prea fluizi la 30 °C. Este important să împrăștiați adezivul imediat după amestecare pentru a disipa căldura generată și pentru a prelungi durata de viață utilizabilă a acestuia.

5. Tehnici de instalare

Deși, deși o varietate de tehnici pot fi utilizate pentru a aplica armarea CFRP externă la structurile de beton armat, două tehnici similare sunt cele mai utilizate [7]. Primul este denumit așezare umedă. În această tehnică, foile flexibile sau țesăturile din fibre brute sau pre-impregnate sunt saturate cu o rășină adezivă epoxidică și plasate pe suprafața betonului. Ca rezultat, rășina acționează atât ca adeziv, cât și ca matrice CFRP. A doua tehnică implică adeziunea de benzi sau plăci rigide din FRP pre-întărite la suprafața betonului folosind un adeziv epoxidic. În această tehnică, adezivul nu devine matricea pentru FRP, deci se creează o linie de legătură bine definită. A doua tehnică este mai asemănătoare cu tehnicile convenționale de reabilitare, dar nu oferă flexibilitatea de care se bucură procedura de așezare pe teren umed.

6. Aplicare și utilizare

Există o serie de aplicații ale compozitelor din FRP ca materiale de întărire ale elementelor din beton armat. Benzile compozite din FRP pot fi lipite de zonele de tensiune externe ale grinzilor și plăcilor, crescând astfel rezistența la flexiune a elementului [4]. (Figura 5 a, b). Țesăturile sau foile din FRP pot fi înfășurate în jurul coloanelor din beton armat, crescând astfel confinarea și rezistența axială. În plus, crește rezistența la flexiune, forfecare și torsiune și îmbunătățește ductilitatea [4].

(Figura 5 c). Consolidarea forfecării în îmbinările grinzi-coloane este o altă aplicație a compozitelor FRP care a fost dezvoltată recent [4]. (Figura 5 d).

Pentru a evalua adecvarea unui sistem FRP pentru o anumită aplicație, profesionistul în proiectare autorizat ar trebui să efectueze o evaluare a stării structurii existente, care să includă stabilirea capacității sale de încărcare existente, identificarea deficiențelor și cauzele acestora și determinarea stării substratului de beton. Evaluarea generală ar trebui să includă o inspecție aprofundată pe teren, o revizuire a proiectelor existente sau a documentelor așa cum sunt construite și o analiză structurală în conformitate cu ACI 364.1R. Documentele de construcție existente pentru structură ar trebui să fie revizuite, inclusiv desenele de proiectare, specificațiile proiectului, informațiile așa cum sunt construite, rapoartele de testare pe teren, documentația de reparații anterioare și documentația istoricului întreținerii. Profesionistul autorizat în proiectare ar trebui să efectueze o investigație aprofundată pe teren a structurii existente, în conformitate cu ACI 437R și alte documente ACI aplicabile. Cel puțin, investigația pe teren ar trebui să determine următoarele [5]:

- Dimensiunile existente ale elementelor structurale.
- Localizarea și amploarea coroziunii oțelului de armare.
- Cantitatea și amplasarea oțelului de armare existent.
- Rezistența la compresiune în loc a betonului.
- Soliditatea betonului, în special a capacului de beton în toate zonele în care sistemul FRP trebuie să fie lipit de beton.

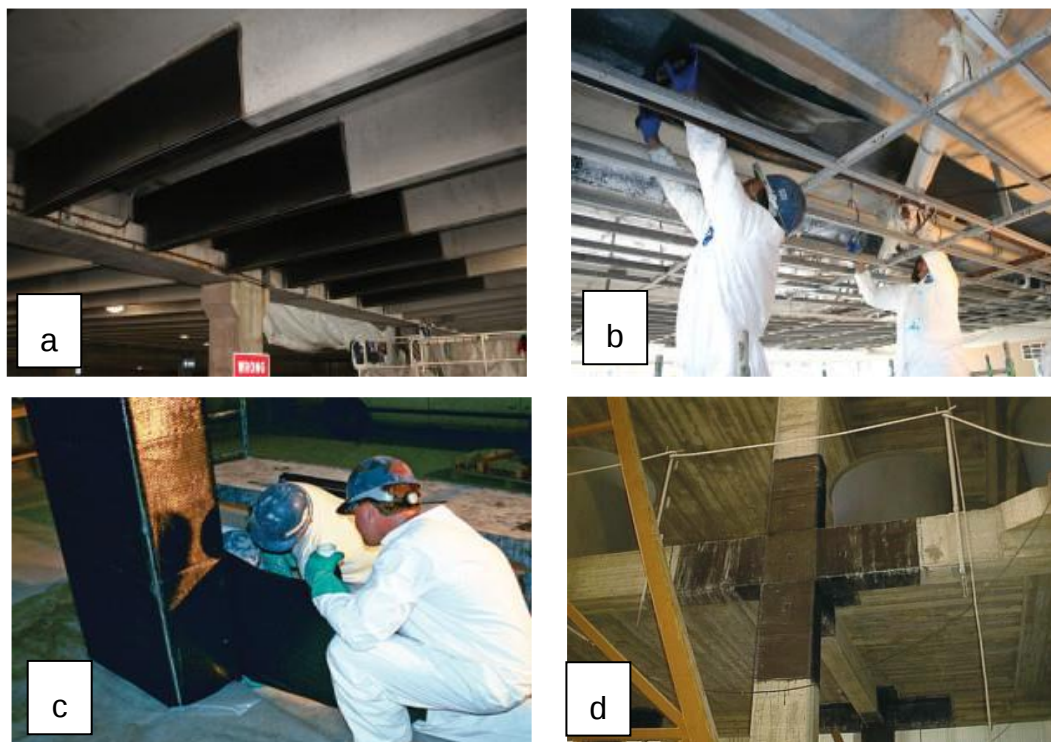


Fig. 5: Aplicații tipice ca materiale de întărire a structurilor RC. (Sursă: Teach Engineering Lessons).

7. Confinarea FRP a coloanelor din beton

Compozitele de înaltă rezistență au fost foarte eficiente în adaptarea coloanelor pentru a îmbunătăți rezistența la cutremur. Un număr mare de investigații efectuate în aplicații de laborator și de teren în clădiri și poduri au stabilit viabilitatea compozitelor pentru îmbunătățirea performanței membrilor încărcăți axial (ACI Committee 440, 2002). Compozitele sunt utilizate în esență pentru confinarea betonului, rezultând îmbunătățirea: [8]

- (i) Rezistența la compresiune sau capacitatea forței axiale,
- (ii) Rezistența la flexiune și la forfecare,
- (iii) Ductilitatea flexurală și
- (iv) Performanța îmbinărilor. Compozitele pot fi, de asemenea, utilizate pentru repararea și reabilitarea grinzilor capacelor și a îmbinărilor grinzi-coloane.

Foile FRP sau carcasa pot fi utilizate pentru a crește capacitatea de încărcare axială a coloanei cu o creștere minimă a secțiunii transversale. Închiderea constă în înfășurarea coloanei cu foi din FRP, învelișuri prefabricate sau foi întărite in situ cu fibre care rulează în direcție circumferențială. Utilizarea închiderii crește presiunea laterală asupra

elementului, ceea ce duce la o mai mare ductilitate și o capacitate de încărcare mai mare. Îngrădirea este mai puțin eficientă pentru coloanele RC de formă dreptunghiulară și pătrată decât circulară, datorită eforturilor limitate care sunt transmise betonului la cele patru colțuri ale secțiunii transversale. Acest fenomen este prezentat în Figura 6, unde eficiența confinării este prezentată ca zonă gri umbrită pentru diferite forme de coloane. Eficiența confinării se îmbunătățește odată cu creșterea razei colțurilor. Studii recente arată că aplicarea materialelor din FRP în cerc sau direcție laterală poate crește în mod eficient capacitatea de încărcare și capacitatea de deformare a betonului coloanelor sub încărcare axială. [2]

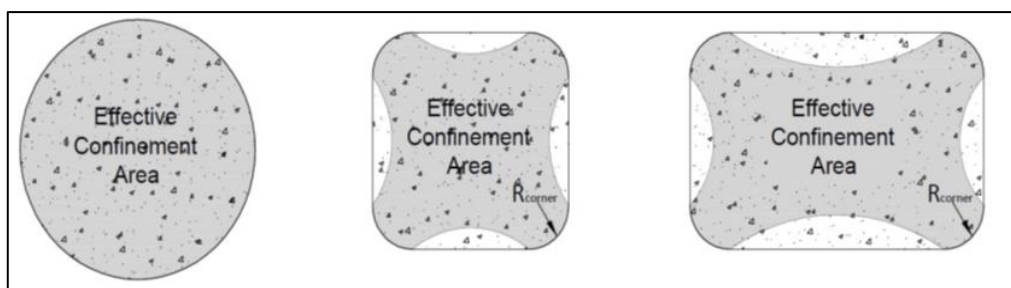


Fig. 6: Zonele de închidere eficiente în coloane circulare, pătrate și dreptunghiulare.

(sursă: Azadeh Parvin and David Brighton, 2014)

S-a luat în considerare și efectul configurațiilor de straturi „cerc-unghi-cerc” și „unghi-cerc-unghi” (prezentate în Figura 7) pentru cilindrii de beton înfășurați în FRP sub încărcare uniaxială prin compresie. Termenii „cerc” și „unghi” indică faptul că împachetările au fost orientate la un unghi de 0° și 45° în raport cu direcția circumferențială pentru acest caz. Rezultatele au arătat o creștere substanțială a rezistenței la compresiune axială și a ductilității cilindrilor de beton confinați cu FRP în comparație cu cei neconfinați. Cilindrii cu configurație de straturi „cerc-unghi-cerc”, în general, au prezentat capacități axiale și tensiuni mai mari comparativ cu cilindrii cu configurația stratului „unghi-cerc-unghi-cerc”. De asemenea, performanța coloanelor de beton confinate axial FRP cu trei grosimi diferite de înfășurare, configurații ale unghiului stratului de înfășurare de 0° , $\pm 15^\circ$ și $0^\circ / \pm 15^\circ / 0^\circ$ în raport cu direcția circumferențială și rezistența betonului s-au investigat valori de la 20,7 la 41,4 MPa. Câștigul rezistenței la compresiune axială în coloanele învelite în FRP a fost observat a fi mai mare pentru betonul cu rezistență mai mică și cel mai mare în coloanele înfășurate cu configurația unghiului de straturi de 0° . Nu numai combinația de configurație a unghiurilor și a învelișului de cerc, ci și secvența de stivuire a acestora, oferă un nivel diferit de

rezistență și îmbunătățire a ductilității pentru aceeași grosime totală de înfășurare. Prin urmare, pe baza cererii de rezistență și/sau ductilitate, configurația corectă de înfășurare poate fi selectată în scopuri de proiectare. [2]

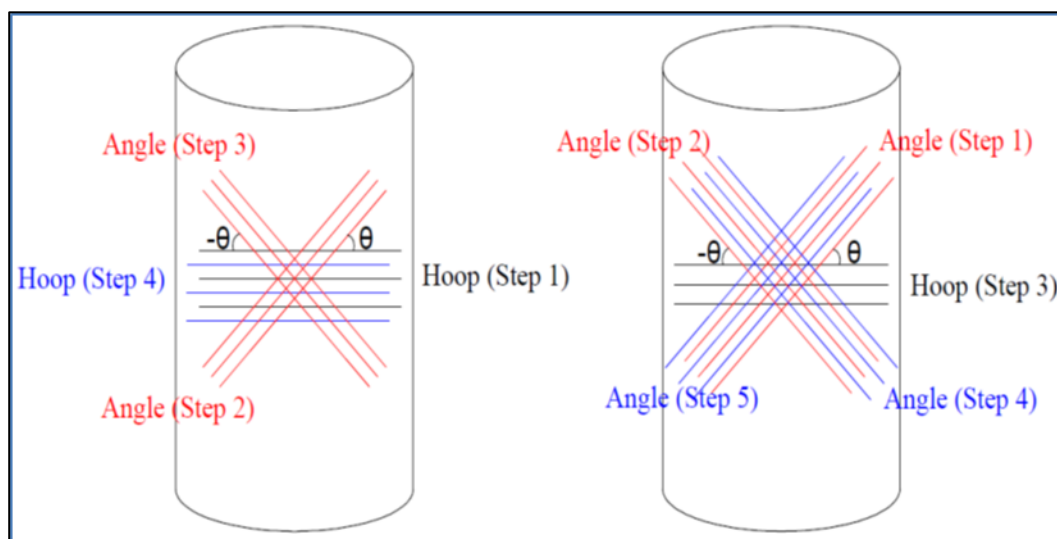


Fig. 7: Configurații de straturi în cilindri înfășurați cu polimeri întăriți cu fibre (FRP). (a) cerc-unghi-cerc; și (b) unghiul unghi-cerc. (sursă: Azadeh Parvin and David Brighton, 2014)

7.1 Comportamentul betonului limitat

Este bine stabilit că betonul limitat poate susține o rezistență la compresie și o solicitare mult mai mare decât betonul neconfigurat. Îngrădirea previne extinderea exemplarelor încărcate uniaxial, contribuind la o capacitate de încărcare mai mare. În cazul betonului confinat de compozite de înaltă rezistență, Figura 8, confinarea este pasivă. La niveluri de sarcină reduse, expansiunea betonului este proporțională cu raportul Poisson, iar magnitudinea este mică. Prin urmare, solicitările induse în compozit sunt mici până când fisurile longitudinale se dezvoltă în beton. În funcție de tipul de beton, fisurile longitudinale pot apărea la niveluri de sarcină variind de la 0,5 f_c pentru betonul cu rezistență redusă la 0,9 f_c pentru betonul cu rezistență foarte mare. Comportamentul tipic este prezentat în Figura 9.

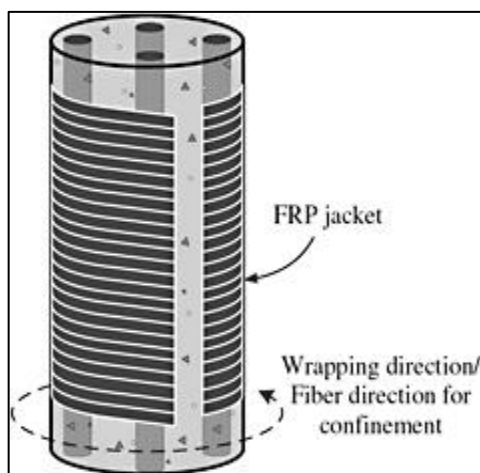


Fig 8: Schema unei coloane învelite în FRP care arată orientarea fibrelor (Sursa: Master Builders, Inc. and Structural Preservation Systems, 1998).

Partea dreaptă a figurii 9 reprezintă tensiunea uniaxială stres, iar partea stângă prezintă tensiunea laterală sau expansiunea. După apariția fisurilor longitudinale, specimenul se extinde rapid. Acest fenomen induce stresuri în armarea limitată. Cantitatea de presiune de închidere va depinde de rigiditatea și grosimea armăturii de închidere. Creșterea presiunii de închidere va duce la creșterea rezistenței la compresiune și a tensiunii, așa cum se arată în Figura 10.

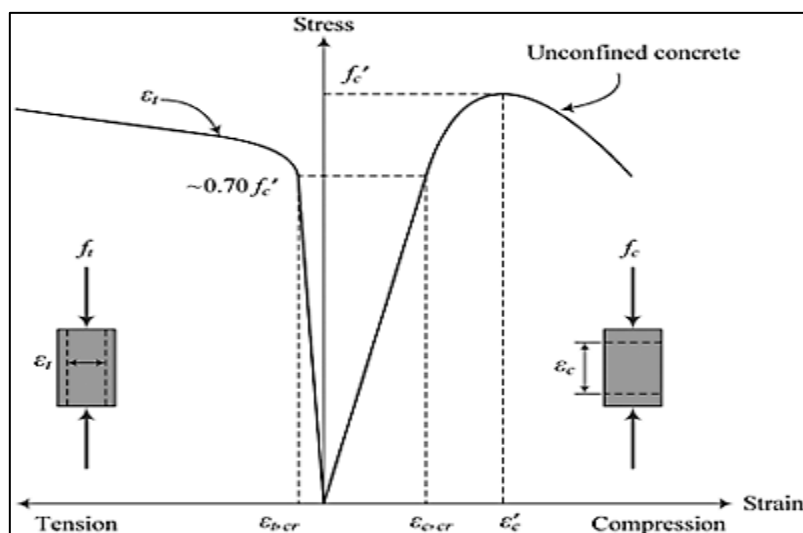


Fig.9: Relația tipică pentru betonul neconfigurat încărcat uniaxial care prezintă tensiune versus deformare longitudinală, transversală și volumetrică. (Sursă: Master Builders, Inc. and Structural Preservation Systems, 1998).

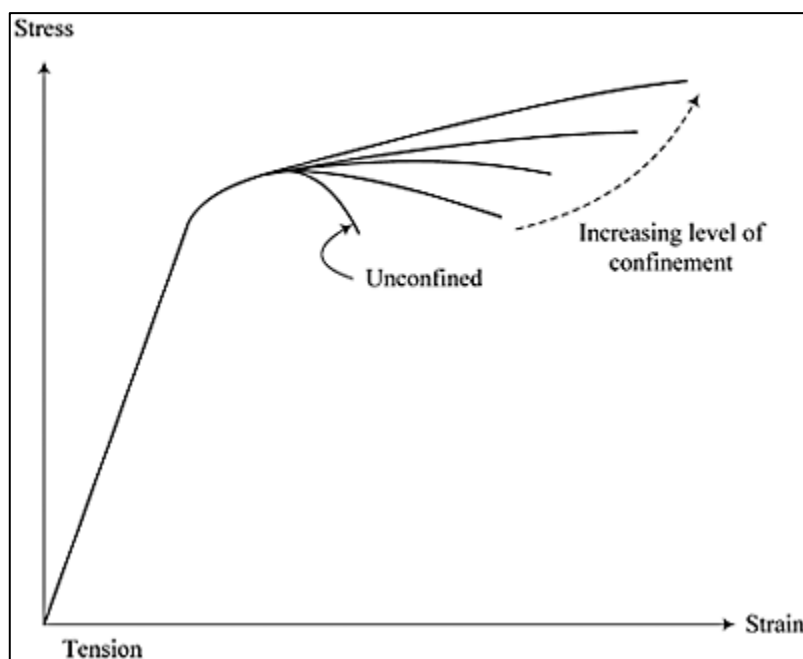


Fig. 10: Curbele de tensiune-deformare pentru beton sub diferite niveluri de închidere.
(Sursă: Master Builders, Inc. and Structural Preservation Systems, 1998).

7.2 Comportamentul coloanelor limitate cu compozite

7.2.1 Beton confinat cu FRP în coloană circulară cu secțiuni transversale

Crăparea betonului induce tensiune în cercul compozit. Primul pas este de a stabili ecuații pentru calculul presiunii de limitare. Diagrama corpului liber a unei secțiuni transversale circulare, limitată de un compozit a cărui grosime este t_j , este prezentată în Figura 11. Folosind principiile de rezistență a materialelor, limitând presiunea pentru a induce pe coloană, f_{cp} poate fi exprimat ca o funcție a compozitului, grosimea și rigiditatea.

$$f_{cp} = \frac{2t_j f_f}{D} \dots\dots\dots (1)$$

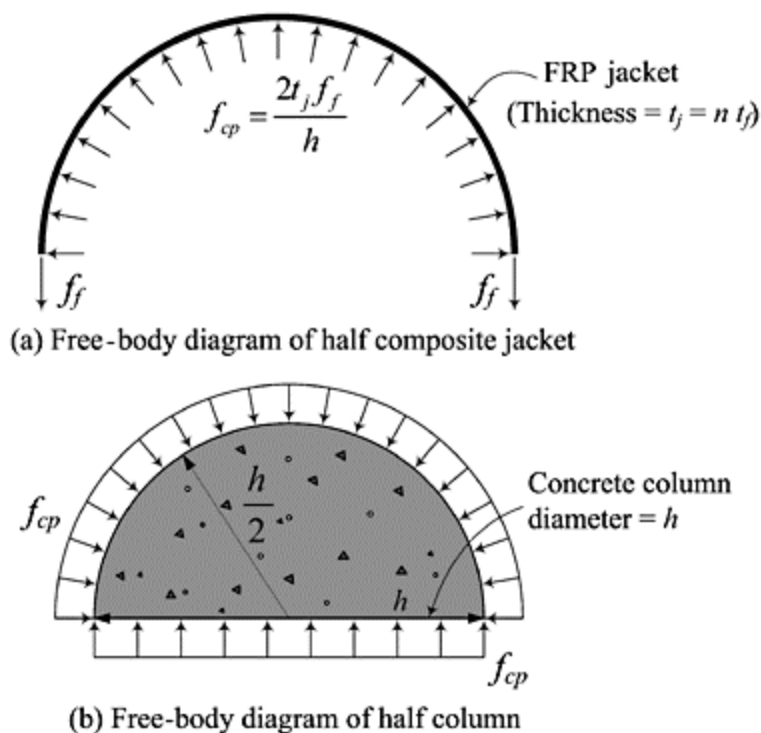


Fig. 11: Diagrama corpului liber care arată forțele interne și externe pe jacheta din FRP și pe coloana de beton. (Sursă: Master Builders, Inc. and Structural Preservation Systems, 1998).

Unde

D = este diametrul coloanei

f_f = este forța generată de compozit

E_f = este modulul fibrei (compozit)

t_f = este grosimea echivalentă a fibrelor

ϵ_f = este tulpina de cerc

n_f = este numărul de straturi

Atunci:

$$f_f = n_f t_f E_f \epsilon_f \quad \dots\dots\dots(2)$$

Prin urmare:

$$f_{cp} = \frac{2 n_f t_f E_f \epsilon_f}{D} \quad \dots\dots\dots(3)$$

Pe baza rezultatelor experimentale (Comitetul ACI 440, 2002), rezistența la compresiune la această presiune limitată, f'_{cc} , poate fi exprimată ca:

$$f_{cc} = f_c \left[2.25 \sqrt{1 + 7.9 \frac{f_{cp}}{f_c}} - 2 \frac{f_{cp}}{f_c} - 1.25 \right] \quad \dots\dots\dots(4)$$

Tulpina corespunzătoare acestei tensiuni de vârf:

$$\varepsilon'_{cc} = \varepsilon'_c \left[\frac{6 f'_{cc}}{f'_c} - 5 \right] \quad \dots\dots\dots(5)$$

Unde

f'_c = stresul compresiv de vârf

ε'_c = tensiunea corespunzătoare pentru betonul neconfigurat

Dacă ε'_c nu este dat, acesta poate fi estimat folosind ecuația:

$$\varepsilon'_c = 1.71 \frac{f'_c}{E_c} \quad \dots\dots\dots(6)$$

Rezistența la compresiune îmbunătățită, f'_{cc} , poate fi utilizată pentru calculul capacității de forță axială a coloanei. Pentru contribuția concretă se recomandă un factor de reducere de φ_f .

The recommended value for φ_f is = 0.95.

Pentru membrii care nu sunt precomandați, capacitatea nominală a unei coloane poate fi calculată folosind ecuațiile recomandate în codul ACI (ACI Committee 440, 2002).

Pentru o coloană cu armătură spirală:

$$P_n = 0.85 \left[0.85 f'_{cc} \varphi_f (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y \right] \quad \dots\dots\dots(7)$$

Pentru o coloană cu legături laterale:

$$P_n = 0.80 \left[0.85 f'_{cc} \varphi_f (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y \right] \quad \dots\dots\dots(8)$$

Unde:

A_g = este aria secțiunii transversale a betonului.

A_{st} = este zona de armare longitudinală.

7.2.2 Beton limitat de FRP în coloane dreptunghiulare

S-a stabilit bine că închiderea FRP este mult mai puțin eficientă pentru coloanele dreptunghiulare (inclusiv coloanele pătrate ca un caz special) decât pentru coloanele circulare, chiar și cu rotunjirea colțurilor. Acest lucru se datorează faptului că, în primul, presiunea de limitare este distribuită neuniform și doar o parte a miezului de beton este în mod eficient limitată. Eșecul apare în general la colțuri prin ruperea de tracțiune a FRP (Fig. 12). Curbele stres-deformare sunt mai susceptibile de a prezenta o ramură descendentă, dar în astfel de cazuri, confinarea FRP oferă în mod normal puțină îmbunătățire a rezistenței. Eficacitatea închiderii crește pe măsură ce crește cantitatea de FRP sau raza colțului și pe măsură ce raportul de aspect al secțiunii (raportul dintre laturile mai lungi și cele mai scurte ale unei secțiuni dreptunghiulare) se reduce. Figura 13 prezintă două curbe experimentale de tensiune-deformare a betonului confinat cu FRP în coloane pătrate corespunzătoare a două cantități diferite de confinare FRP. Pentru o comparație ușoară, efortul axial și tensiunile sunt normalizate de rezistența la compresiune a betonului neconfigurat și respectiv, deformarea axială corespunzătoare a acestuia. Dintre cele două curbe, cea pentru o rază de colț mai mică și o jachetă cu un singur strat are o ramură descendentă. [6]

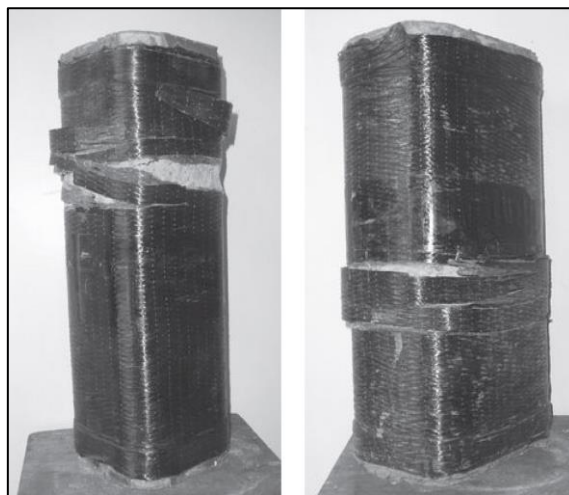


Fig. 12: Defecțiuni ale coloanelor de beton pătrate și dreptunghiulare confinate cu FRP cu colțuri rotunjite prin rupere FRP: (a) coloană pătrată; (b) coloană dreptunghiulară. (Sursă: L.C. Hollaway and J.G. Teng, Book, 2008).

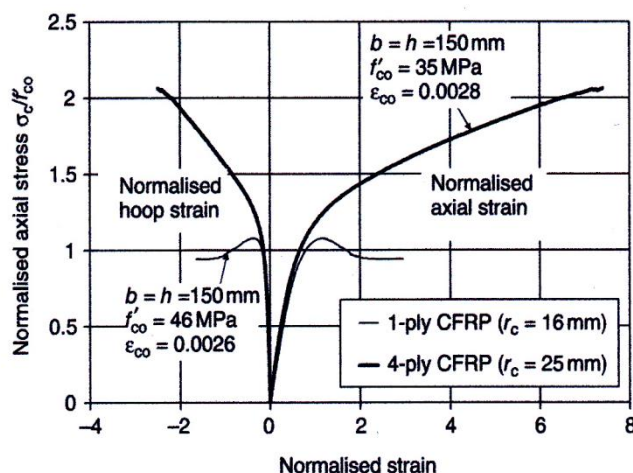


Fig 13: Curbele tipice de tensiune-deformare a betonului confinat cu FRP în coloane pătrate. (Sursă: L.C. Hollaway and J.G. Teng, Book, 2008).

8. Moduri de eșec

Eșecul structural poate apărea în materialele FRP atunci când [9]:

1. Forțele de întindere întind matricea mai mult decât fibrele, provocând forfecarea materialului la interfața dintre matrice și fibre.
2. Forțele de tracțiune apropiate de capătul fibrelor depășesc toleranțele matricei, separând fibrele de matrice.
3. Forțele de tracțiune pot depăși, de asemenea, toleranțele fibrelor, determinând fracturile fibrelor în sine, ducând la defectarea materialului.
4. Defecțiunea materialului adeziv, cauzând separarea compozitelor din FRP de suprafața betonului.

9. Bibliografie

1. Pessiki, S., Harries K.A., Kestner, J.T., Sause, R., and Ricles, J.M. **"Comportamentul axial al coloanelor din beton armat limitate cu jachete din FRP"**. Journal of Composite Construction, 2001, pp 237. DOI: 10.1061/(ASCE)1090-0268(2001)5:4(237).
2. Azadeh Parvin and David Brighton, **"FRP Composites Consolidarea coloanelor de beton în diferite condiții de încărcare"**. 2014, Departamentul de Inginerie Civilă, Universitatea din Toledo, Toledo, OH 43606, USA. Polymers 2014, 6, 1040-1056; doi:10.3390 / polym6041040.

3. M. Reza Esfahani and M. Reza Kianoush. **"Rezistența la compresiune axială a coloanelor din beton armat înfășurate cu polimeri cu fibră armată (FRP)"**
Departamentul de Inginerie Civilă, Universitatea Pyerson din Toronto, Canada, pp 11.
IJE Transactions: Vol. 18, No.1, April 2005.
4. . Dr. Sujeeva Setunge, Prof. Arun Kumar, Dr. Abe Nezamian, Dr. Saman De Silva, Dr. Alan Carse, Mr. Jhon Spathonis, Ms. Louise Chandler, Mr. Bruce Johnson, Prof. Alan Jeary and Dr. Lam Pham. **"Revizuirea tehnicilor de întărire utilizând compozite din polimer armat cu fibră legată extern"**. Raport 2002-005-C-01.
5. American Concrete Institute (ACI). **"Ghid pentru proiectarea și construcția sistemului FRP lipit extern pentru întărirea structurilor din beton"**. ACI 440.2R-08, 2008.
6. L.C. Hollaway and J.G. Teng, **"Consolidarea și reabilitarea infrastructurilor civile folosind compozite din polimeri întărite cu fibre (FRP)"**, Institutul de materiale, Minerals & Mining, Library of Congress. Woodhead Publishing ISBN 978-1-84569-489-0 (e-book), 2008.
7. Chaallal O., Shahawy M., Al-Saad A., **"Comportamentul coloanelor dreptunghiulare scurte încărcate axial întărit cu împachetare compozită CFRP"**, Raportul tehnic, FDOT Structures Research Center 2007 E. Paul Dirac Drive Tallahassee, FL 32310, August, 2000, 164 pp.
8. P. Balaguru, A. Nanni and J. Giancaspro. **"Compozite FRP pentru structuri din beton armat și precomprimat"**, Taylor & Francis's Structural Engineering: Mechanics and Design series, New York, NY, USA, ISBN 0-203-92688-9 Master e-book ISBN, 2009.
9. Erhard, Günter. **"Proiectarea cu materiale plastice"**. Trans. Martin Thompson. Munich: Hanser Publishers, Library of Congress Cataloging, ISBN-10: 1-56990-386-7, 2006.