

2/1

تقویت به شیوه FRP

STRENGTHEN WITH FRP METHODE



آشنایی با انواع الیاف FRP

نکات اجرایی تقویت به شیوه الیاف FRP

نکات نظارتی تقویت به شیوه الیاف FRP

ضوابط تحلیل و طراحی تقویت به شیوه FRP



ACI 440.2R-17.1

این آیین نامه توسط Institute American Concrete منتشر شده است و شامل راهنمایی های جامع برای طراحی و اجرای بهسازی ساختمان ها با استفاده از FRP می باشد. ترجمه این آیین نامه توسط سازمان تحقیقات مسکن ارائه شده است.

2. نشریه 345

راهنمای طراحی و ضوابط اجرای بهسازی ساختمان های بتنی موجود با استفاده از مصالح تقویتی FRP

3. CSA S806-12

این آیین نامه توسط "Canadian Standards Association" منتشر شده است و شامل الزامات و روش های صحیح برای بهسازی ساختمان با FRP در کانادا می باشد.

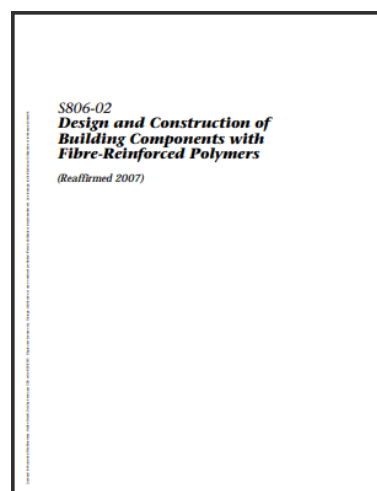
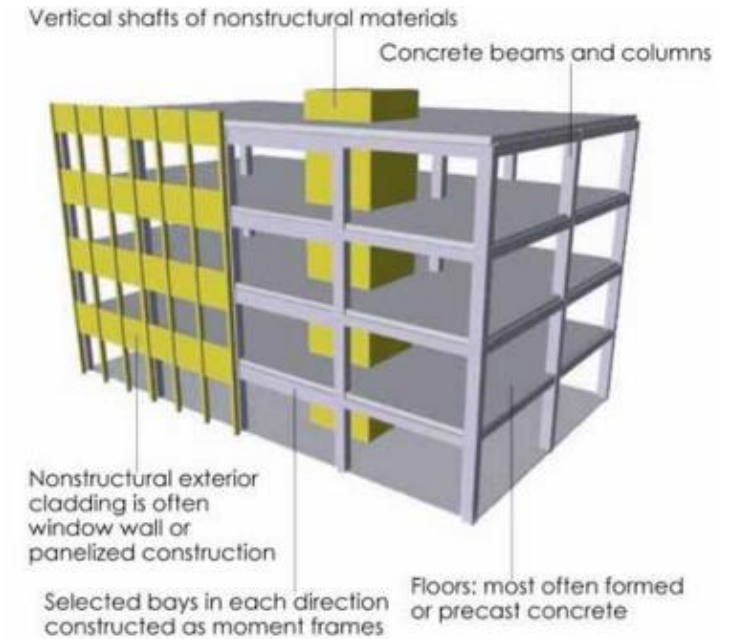




Table 12.3-1: Seismic Deficiencies and Potential Rehabilitation Techniques for C1 Buildings

Deficiency		Rehabilitation Technique				
Category	Deficiency	Add New Elements	Enhance Existing Elements	Improve Connections Between Elements	Reduce Demand	Remove Selected Components
Global Strength	Insufficient number of frames or weak frames	Concrete/masonry shear wall [12.4.2] Steel braced frame [12.4.1] Concrete or steel moment frame Steel moment frame	Increase size of columns and/or beams [12.4.5]		Remove upper story or stories [24.2] Seismically isolate [24.3] Supplemental damping [24.4]	
Global Stiffness	Insufficient number of frames or frames with inadequate stiffness تعداد قاب کم یا سختی ناکافی قاب ها	Concrete/masonry shear wall [12.4.2] Steel braced frame [12.4.1] Concrete or steel moment frame	Increase size of columns and/or beams [12.4.5] Fiber composite wrap of gravity columns [12.4.4] Concrete/steel jacket of gravity columns [12.4.5] Provide detailing of all other elements to accept drifts		Supplemental damping [24.4]	Remove components creating short columns
Configuration	Soft story or weak story	Add strength or stiffness in story to match balance of floors				
	Re-entrant corner Torsional layout	Add floor area to minimize effect of corner Add balancing walls, braced frames, or moment frames		Provide chords in diaphragm		

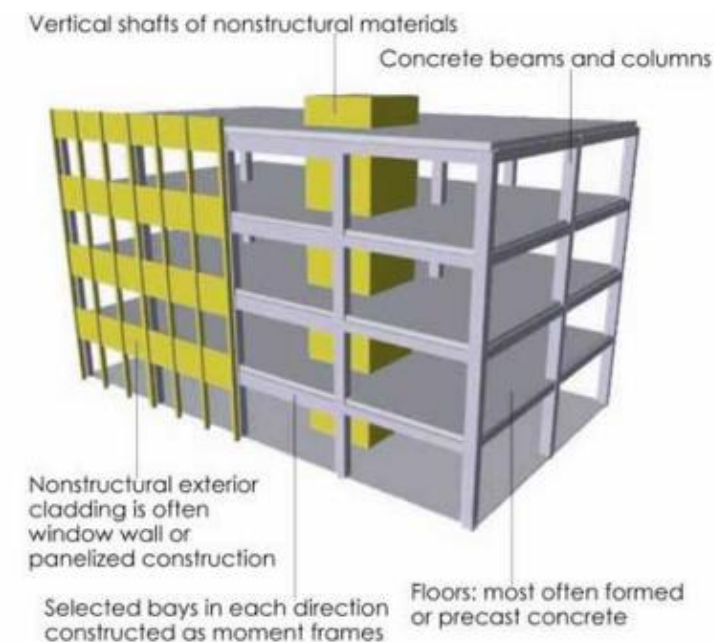


C1: Concrete Moment Frames



Table 12.3-1: Seismic Deficiencies and Potential Rehabilitation Techniques for C1 Buildings

Deficiency		Rehabilitation Technique				
Category	Deficiency	Add New Elements	Enhance Existing Elements	Improve Connections Between Elements	Reduce Demand	Remove Selected Components
Configuration (continued)	Incidental walls failing or causing torsion	Add balancing walls, braced frames, or moment frames	Uncouple incidental walls Convert incidental walls to lateral elements walls			Remove incidental walls
Load Path	Inadequate collector	Add or strengthen collector [12.4.3]				
Component Detailing	Lack of Ductile detailing-- general		Perform selected improvements to joints [12.4.6]		Seismic isolation [24.3]	
	Lack of ductile detailing: Strong column-weak beam		Jacket columns [12.4.4]			
فقدان جزئیات شکلپذیری مقاومت برشی ناکافی در ستون یا تیر فقدان جزئیات شکلپذیری محصورشدگی برای شکلپذیری یا وصله	Lack of ductile detailing: Inadequate shear strength in column or beam		Fiber composite wrap [12.4.4] Concrete/steel jacket [12.4.5]			
	Lack of ductile detailing: Confinement for ductility or splices		Fiber composite wrap [12.4.4] Concrete/steel jacket [12.4.5]			
Diaphragms	Inadequate in-plane shear capacity	Concrete or masonry shear wall [12.4.2] Braced frame [12.4.1] Moment frame	R/C topping slab overlay FRP overlays [22.2.5]			

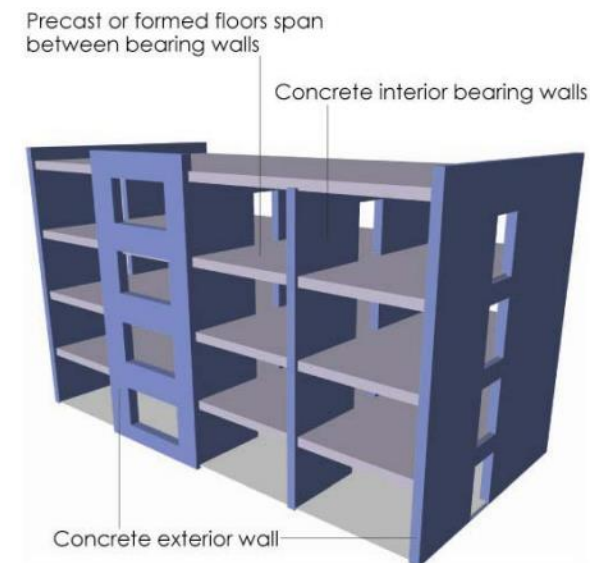


C1: Concrete Moment Frames



Table 13.3-1: Seismic Deficiencies and Potential Rehabilitation Techniques for C2b Buildings

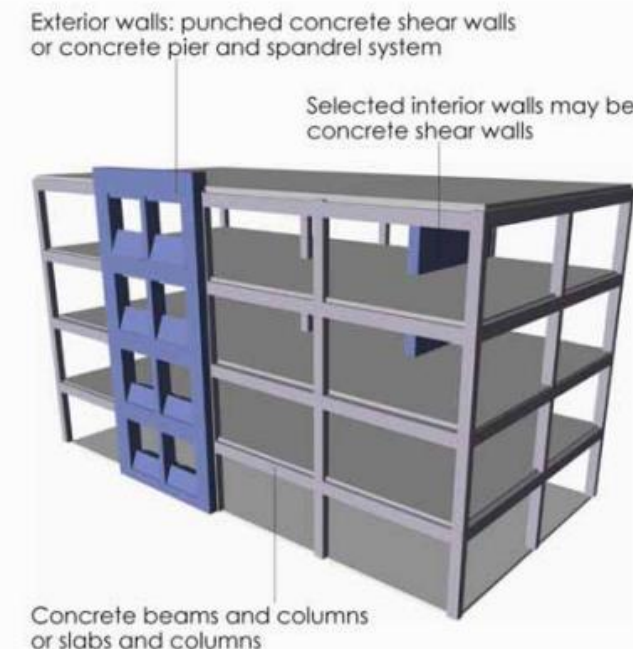
Deficiency		Rehabilitation Technique				
Category	Deficiency	Add New Elements	Enhance Existing Elements	Improve Connections Between Elements	Reduce Demand	Remove Selected Components
Global Strength	Insufficient in-plane wall shear strength	Concrete/masonry shear wall [12.4.2]	Concrete wall overlay [21.4.5] Fiber composite wall overlay [13.4.1] Steel overlay		Seismic isolation [24.3] Reduce flexural capacity [13.4.4]	
	Insufficient flexural capacity	Concrete/masonry shear wall [12.4.2]	Add chords [12.4.3]			
	Inadequate capacity of coupling beams	Concrete/masonry shear wall [12.4.2]	Strengthen beams [12.4.2] Improve ductility of beams [12.4.2]			Remove beams
Global Stiffness	Excess drift (normally near the top of the building)	Concrete/masonry shear wall [12.4.2]	Fiber composite wrap of columns to improve lateral displacement capability [12.4.4] Provide detailing of all other elements to accept drifts Concrete wall overlay [21.4.5]		Supplemental damping [24.4]	
Configuration	Discontinuous walls	Add wall or adequate columns beneath [12.4.2]	Fiber composite wrap of supporting columns [12.4.4] Concrete/steel jacket of supporting columns [12.4.5]	Improve connection to diaphragm [13.4.3]		Remove wall
	Soft story or weak story	Add strength or stiffness in story to match balance of floors				



C2b: Concrete Shear Walls (Bearing Wall Systems)

Table 14.3-1: Seismic Deficiencies and Potential Rehabilitation Techniques for C2f Buildings

Deficiency		Rehabilitation Technique				
Category	Deficiency	Add New Elements	Enhance Existing Elements	Improve Connections Between Elements	Reduce Demand	Remove Selected Components
Global Strength	Insufficient in-plane wall shear strength	Concrete/masonry shear wall [12.4.2] Steel braced frame [12.4.1] Steel plate shear wall	Concrete wall overlay [21.4.5] Fiber composite wall overlay [13.4.1] Steel wall overlay		Seismic isolation [24.3] Reduce flexural capacity [13.4.4]	
	Insufficient flexural capacity	Concrete/masonry shear wall [12.4.2] Steel braced frame [12.4.1]	Add or enhance chords [12.4.3]			
	Inadequate capacity of coupling beams	Concrete/masonry shear wall [12.4.2] Steel Braced frame [12.4.1]	Strengthen beams Improve ductility of beams [13.4.2]			Remove beams
Global Stiffness	Excess drift (normally near the top of the building)	Concrete/masonry shear wall [12.4.2] Steel braced frame [12.4.1]	Fiber composite column wrap [12.4.4] Concrete/steel column jacket [12.4.5] Provide detailing of all other elements to accept drifts Thicken walls		Supplemental damping [24.4]	
	Configuration	Discontinuous walls	Enhance existing column for overturning loads	Improve connection to diaphragm [13.4.3]		Remove wall
	Soft story or weak story	Add strength or stiffness in story to match balance of floors				



C2f: Concrete Shear Walls (Gravity Frame Systems)



این کلمه ، اختصاری از کلمات Fiber Reinforced Polymer Or Plastic می باشد. (پلاستیکهای مسلح به الیاف)

FRP را میتوان برای ترمیم یا تقویت و بهسازی انواع سازه های بتنی (یا فولادی) با نصب بر روی سطح (دالها و تیرها، ستونها، دیوارهای حمال، شناژها و فونداسیون) و در ساختمانهای مسکونی، اداری و تجاری، ساختمانهای صنعتی، تکیه گاههای ماشین آلات و تاسیسات سنگین، سازه های آبی از قبیل سد، کانال، و غیره، پلهای جاده ای و ریلی، مخازن و منابع آب و مایعات، سیلوها و برج های خنک کننده بکار برد.

به عبارت دیگر به يك ماده مرکب و کامپوزیتی اطلاق می شود که از یک **ماتریس** و یک ماده تقویت کننده بصورت الیاف تشکیل شده است. ماتریس خود نیز ترکیبی از یک رزین (پلی استر، اپوکسی ، ...) و مواد افزودنی مناسبی است که برای کاهش قیمت ماتریس و بهبود بخشیدن به ویژگی های رزین از آنها استفاده می شود. در کامپوزیت ها ماده تقویت کننده باعث ایجاد کیفیت مکانیکی بالا میگردد، در حالی که ماتریس نقش انتقال بار خارجی به الیاف و محافظت آنها را در مقابل تهاجم محیط خارجی دارد. الیاف در کامپوزیت ها حجم قابل توجهی را بخود اختصاص داده و وظیفه اصلی تحمل بار برعهده آنها می باشد. نوع الیاف ، مقدار مناسب آنها جهت مصرف و نحوه قرار گیری آنها می تواند بر مقاومت کششی، فشاری، خمشی، خستگی، ضرایب انتقال حرارت و الکتریسیته و مهم تر از همه، قیمت، تاثیر گذار باشد که هر یک از فاکتورهای ذکر شده می تواند عامل تعیین کننده ای جهت رد یا قبول انواع الیاف مختلف باشد.

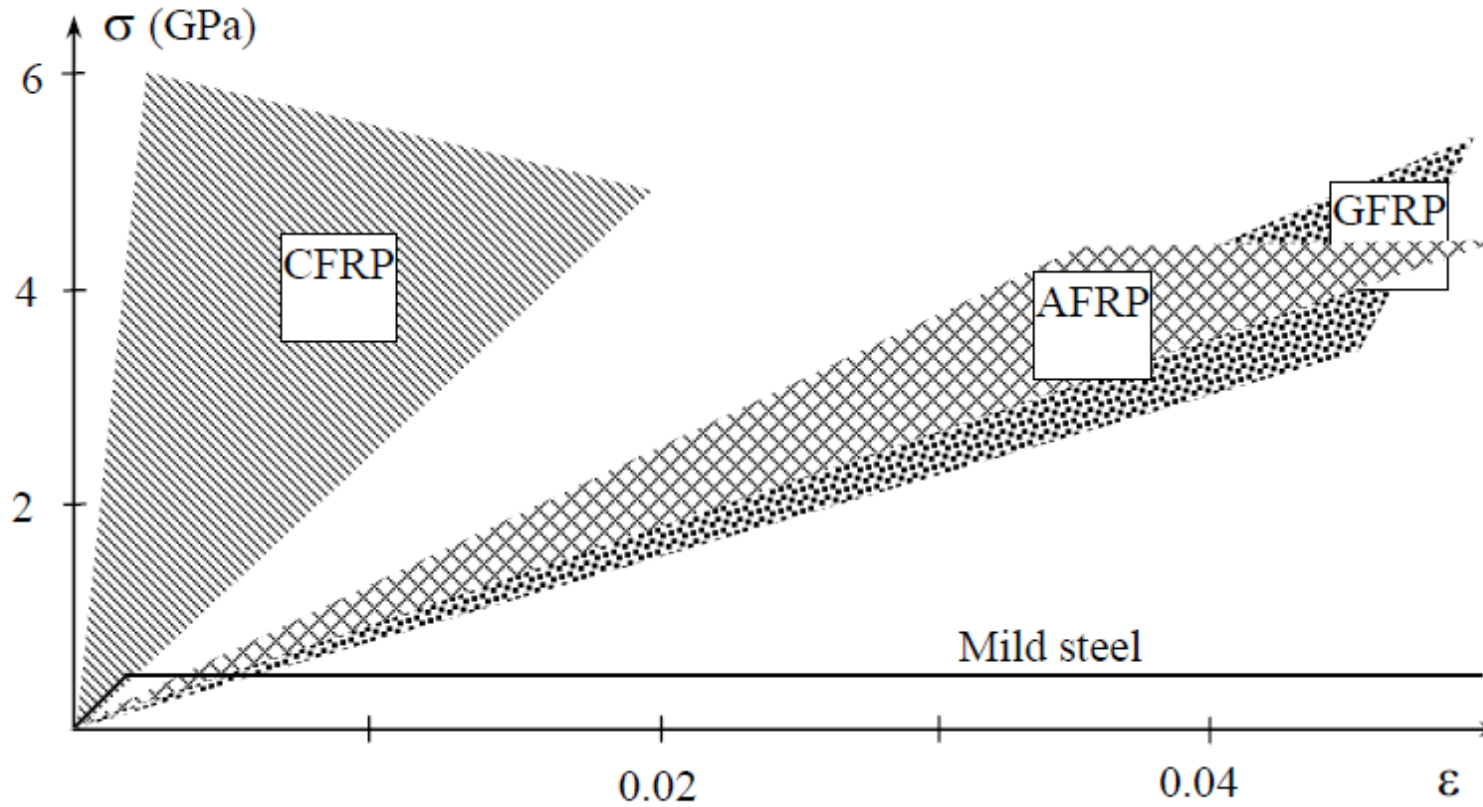
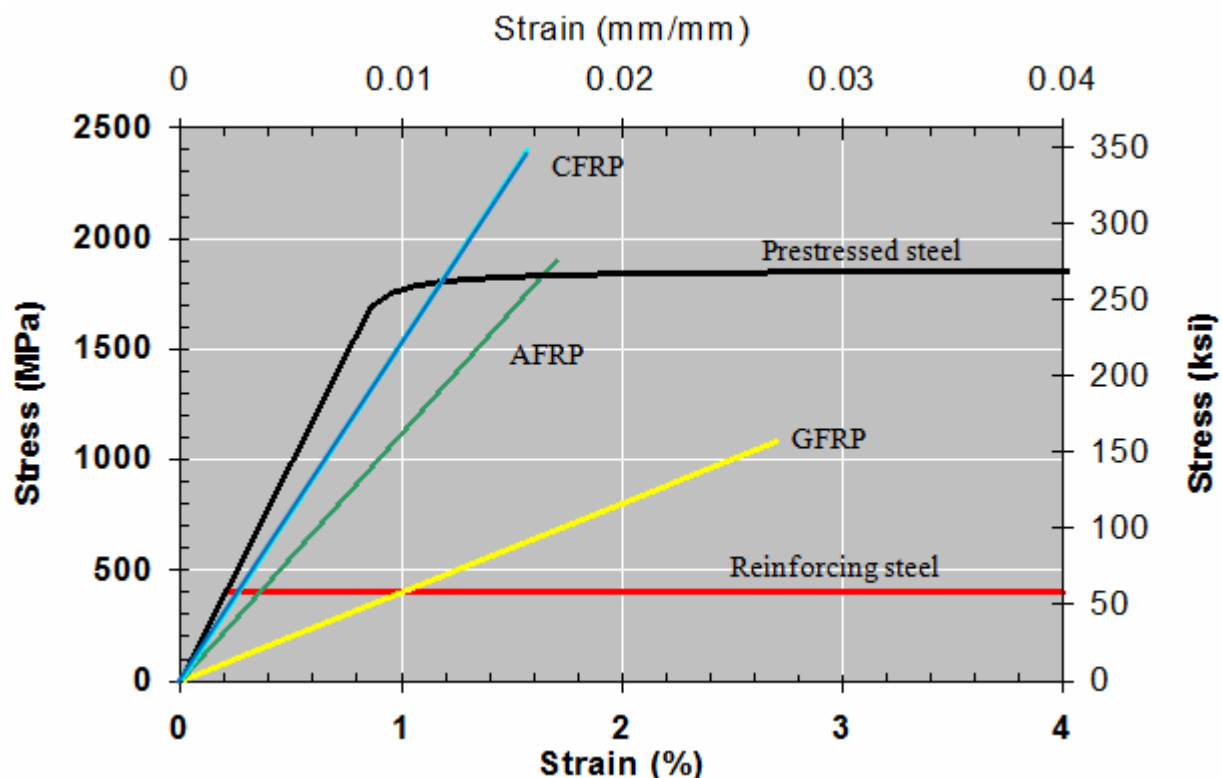


Fig. 1-1: Uniaxial tension stress-strain diagrams for different unidirectional FRPs and steel. CFRP = carbon FRP, AFRP = aramid FRP, GFRP = glass FRP.

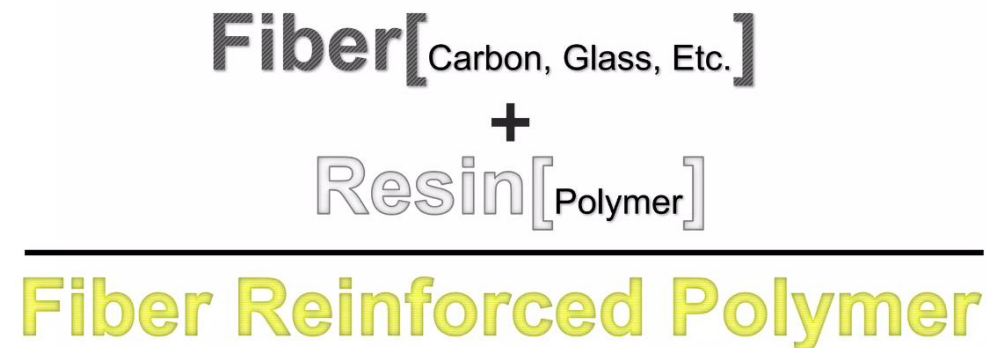


خواص مکانیکی الیاف ، آرایش الیاف (جهت بافته شدن الیاف دوجهته) و چسب مورد استفاده فاکتورهای اصلی در کارایی فیزیکی کامپوزیتهای FRP هستند.

به همین دلیل کامپوزیتهای با توجه به نوع الیاف بکار رفته در آنها نام گذاری می شوند.



◆ General Composition





- ورقهای FRP

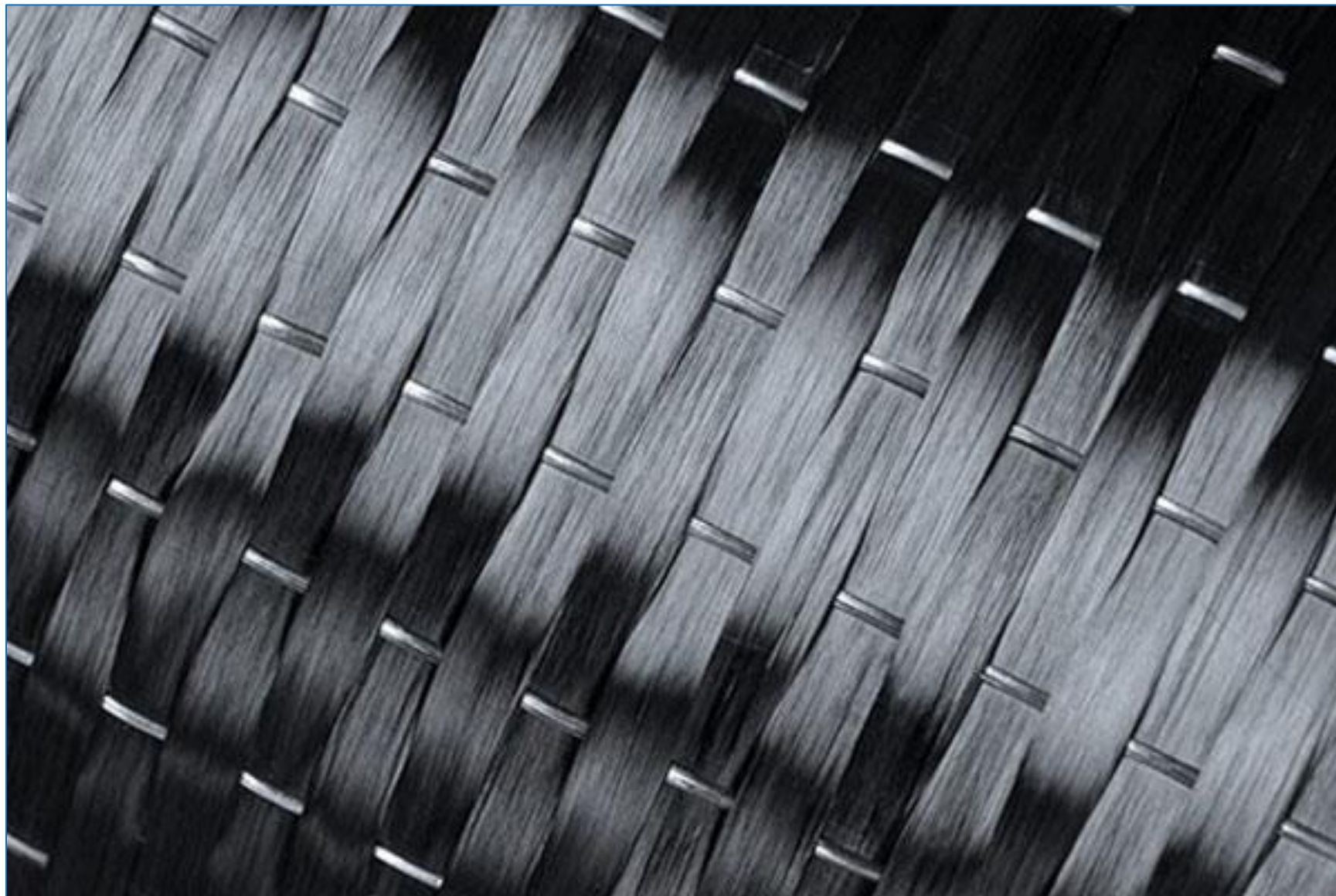


میلگردهای FRP



پارچه های FRP

FRP Rope- طناب یا کابل FRP



مزیت ها :

- مقاومت بسیار بالای کششی
- وزن بسیار ناچیز
- استحکام بالای خستگی
- ضریب انبساط حرارتی بسیار پایین
- مقاومت بالا در مقابل خوردگی
- تحت تاثیر رطوبت هوا، حلالها، بازها و اسیدهای ضعیف در دمای محیط قرار نمی گیرند

معایب :

- ترد بودن در شکست
- هدایت الکتریکی
- کرنش کم در شکست
- قیمت بالا



الیاف کربن بافته شده دو جهته
70% تار - 30% پود





مزیت ها :

- وزن بسیار ناچیز
- استحکام کششی نسبتاً بالا
- شکل پذیری مناسب
- مقاومت شیمیایی بالا
- عایق بودن در برابر حرارت و الکتریسته
- حساسیت به سایش
- قیمت پایین (به خصوص در مقایسه با الیاف کربن)

معایب :

- تابع شرایط محیطی است (افزایش دما و یا افزایش رطوبت موجب کاهش استحکام الیاف)





الیاف شیشه تولید شده نظر **شیمیایی** اندکی با هم تفاوت دارند و به دلیل این تفاوت مصارف مختلفی دارند.

الیاف شیشه نوع : E

نوع E بیشتر از سایر انواع مورد مصرف قرار می‌گیرد (**98% کل الیاف شیشه تولید شده در دنیا از نوع E می‌باشد**). مدول یانگ بسیار بالایی دارد و در نتیجه سختی زیادی را در کامپوزیت به وجود می‌آورد. این شاخه از الیاف شیشه مقاومت کششی و فشاری مناسبی را در کامپوزیت به وجود می‌آورد، با وجود این مقاومت آن در برابر ضربه پایین است، از طرف دیگر از نظر قیمت بسیار مناسب بوده و از این رو کاربرد فراوانی دارد.

الیاف شیشه نوع : S

که در بعضی مواقع به عنوان گرید R و یا حتی T هم نامیده می‌شود دارای استحکام خیلی زیاد است. شیشه نوع S در آمریکا، در اروپا به نام R و در ژاپن به نام T تولید می‌گردد. به دلیل استحکام خیلی بالا معمولاً در کاربردهای خاص که نیاز به فن‌آوری پیچیده دارد، مصرف می‌شوند. این نوع الیاف شیشه معمولاً برای ساخت قطعات تجهیزات هوایی و در صنایع نظامی کاربرد وسیعی دارند. قیمت این نوع شیشه نسبتاً بالا می‌باشد.

الیاف شیشه نوع : C

شیشه نوع C مقاومت خوبی در برابر عوامل شیمیایی دارد. معمولاً به صورت پارچه بسیار نرم در روی سطح خارجی به کار می‌رود. استفاده از این نوع شیشه در روی سطوح سبب می‌شود که اولاً سطح صاف و یکنواختی به وجود آید و ثانیاً مقاومت قطعه در برابر مواد شیمیایی که در تماس با قطعه هستند افزایش یابد. این نوع شیشه به طور وسیعی در سطح داخلی لوله‌های انتقال آب و یا مواد شیمیایی استفاده می‌شود.

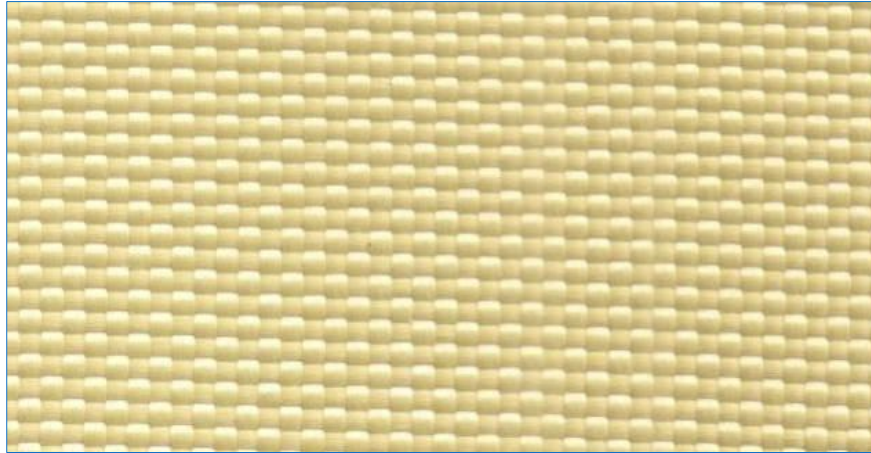


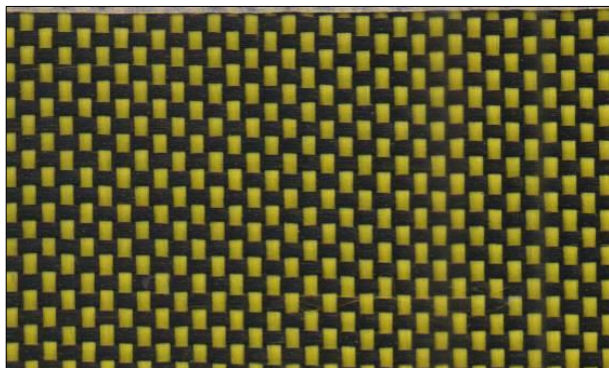
Fiber type	Density, (g/cm ³)	Tensile Strength, MPa	Modulus, GPa	Percent Elongation
A-glass	2.44	3300	72	4.8
AR-glass	2.7	1700	72	2.3
C-glass	2.56	3300	69	4.8
D-glass	2.11	2500	55	4.5
E-glass	2.54	3400	72	4.7
ECR-glass	2.72	3400	80	4.3
R-glass	2.52	4400	86	5.1
S-glass	2.53	4600	89	5.2
Rebar All	7.850	400	200	25-20



- الیاف شیشه بافته شده دو جهته پنجاه درصد تار - پنجاه درصد پود







- الیاف هیبرید آرامید و کربن



الیاف هیبرید کربن و شیشه



هیبرید شیشه و آرامید

برای نصب الیاف FRP، انتخاب چسب مناسب و با کیفیت بسیار حائز اهمیت است تا اتصال قوی و پایداری بین الیاف و سطح مورد نظر فراهم شود. برخی از چسب‌های مناسب برای نصب الیاف FRP عبارتند از:

1. چسب پلی‌اورتان: چسب‌های پلی‌اورتان عموماً برای نصب الیاف FRP بر روی سطوح مختلف استفاده می‌شوند. این چسب‌ها دارای خواص چسبندگی بالا، انعطاف‌پذیری و مقاومت در برابر عوامل محیطی هستند.
 2. چسب اپوکسی: چسب‌های اپوکسی نیز برای نصب الیاف FRP مناسب هستند. این چسب‌ها دارای خواص مکانیکی قوی تر، مقاومت در برابر خوردگی و حرارت بالا و خواص چسبندگی مناسب هستند.
- قبل از استفاده از هر چسب، حتماً باید توجه کنید که آیا آن چسب مناسب برای سطح و شرایط محیطی مورد نظر شما است یا خیر. همچنین، باید دستورالعمل‌های تولید کننده چسب را به دقت دنبال کرده و به صورت صحیح اعمال کنید تا اتصال الیاف FRP به سطح به بهترین شکل انجام شود.

در برخی از اعضا نظیر تیرها به دلیل حاکم شدن حالت Debonding گزینه ای به جز چسب اپوکسی نداریم.

چسب های اپوکسی یک نوع چسب پلیمری هستند که از دو ترکیب اصلی، یعنی رزین و hardener تشکیل شده‌اند. این دو ترکیب در زمان ترکیب با یکدیگر واکنش شیمیایی ایجاد می‌کنند که به تشکیل یک لایه پایدار و مقاوم منجر می‌شود.

تعداد زیادی از چسب های اپوکسی دارای خصوصیت‌های زیر هستند:

1. مقاومت مکانیکی بالا: چسب های اپوکسی دارای قدرت چسبندگی و مقاومت بالا در برابر فشار، خمش و شکست هستند.
2. مقاومت در برابر آب: بسیاری از انواع چسب های اپوکسی مقاوم در برابر آب هستند و می‌توانند در شرایط مرطوب و آبی استفاده شوند بدون اینکه کیفیت چسبندگی آنها تحت تاثیر قرار گیرد.
3. مقاومت در برابر حرارت: چسب های اپوکسی معمولاً مقاوم در برابر دماهای بالا هستند و می‌توانند در شرایط داغ استفاده شوند بدون اینکه تخریب شوند.
4. چسبندگی بالا: این نوع چسب ها معمولاً قابل استفاده برای اتصال سطوح مختلف مانند فلز، بتن، پلاستیک، سرامیک و چوب هستند.
5. زمان خشک شدن قابل تنظیم: با تغییر در نسبت رزین به مشترک، زمان خشک شدن چسب قابل تنظیم است.
6. مقاومت شیمیایی: اسیدها، بازها، حلال‌ها و ...

با توجه به خصوصیات مختلف چسب های اپوکسی، این نوع چسب در صنایع مختلف از جمله صنعت ساختمان، صنعت خودرو، الکترونیک، صنعت دریایی و صنایع دستگاه‌های پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.



- ساب زدن بتن و گروت اپوکسی جهت فراهم نمودن سطحی مناسب برای نصب الیاف FRP در ابتدا می بایست سطحی از بتن و گروت که قرار است توسط این الیاف تقویت شوند با ساب زدن صاف و تمیز شده تا هرگونه خط قالب، شیره بتن و آلودگی های موجود بر روی آن از بین روند. همچنین گوشه های تیز، توسط ساب زدن گرد می شوند تا از تمرکز تنش در الیاف جلوگیری شود.

- سوراخکاری و نصب پکر تزریق اپوکسی

- پوشاندن سطح ترکها توسط بتونه اپوکسی جهت جلوگیری از خروج اپوکسی هنگام تزریق

- تزریق اپوکسی و پر کردن ترکها





1. ساب زنی سطوح

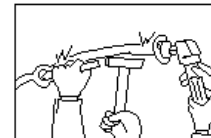
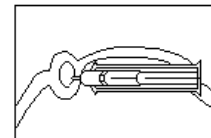
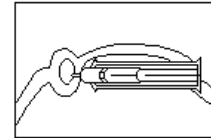
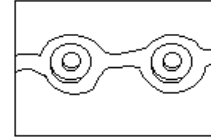
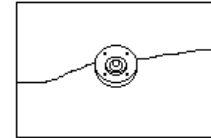
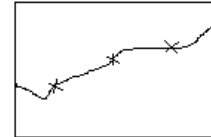
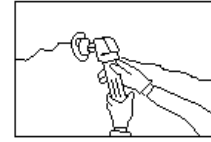


Rounding of Edge



preparation of the substrate





با استفاده از فرچه سیمی و یا سنگ فرز، سطح ترک را صاف نموده و پوشش روی سطح را از بین می بریم تا به سطح بتن برسیم.

نقاط تزریق را مشخص می کنیم. (فاصله هر دو نقطه تزریق حدود ۳۰ سانتیمتر می باشد).

پایه های تزریق را توسط بتونه اپوکسی بر روی نقاط تزریق نصب میکنیم.

بقیه مسیر ترک را با بتونه اپوکسی می پوشانیم. (عرض بتونه کاری در حدود ۳ سانتیمتر و ضخامت آن بین ۱ الی ۲ میلیمتر می باشد).

پس از سفت شدن بتونه اپوکسی، عملیات تزریق انجام می شود.

پس از سفت شدن ماده تزریقی، تزریق کننده ها از پایه ها جدا میشوند.

پایه های نصب شده و بتونه اپوکسی با استفاده از سنگ فرز و چکش برداشته می شوند



روش های ترمیم و بتونه سطوح بتنی می بایست منطبق بر ICRI03730 و ACI 546R







application of the resin on the substrate

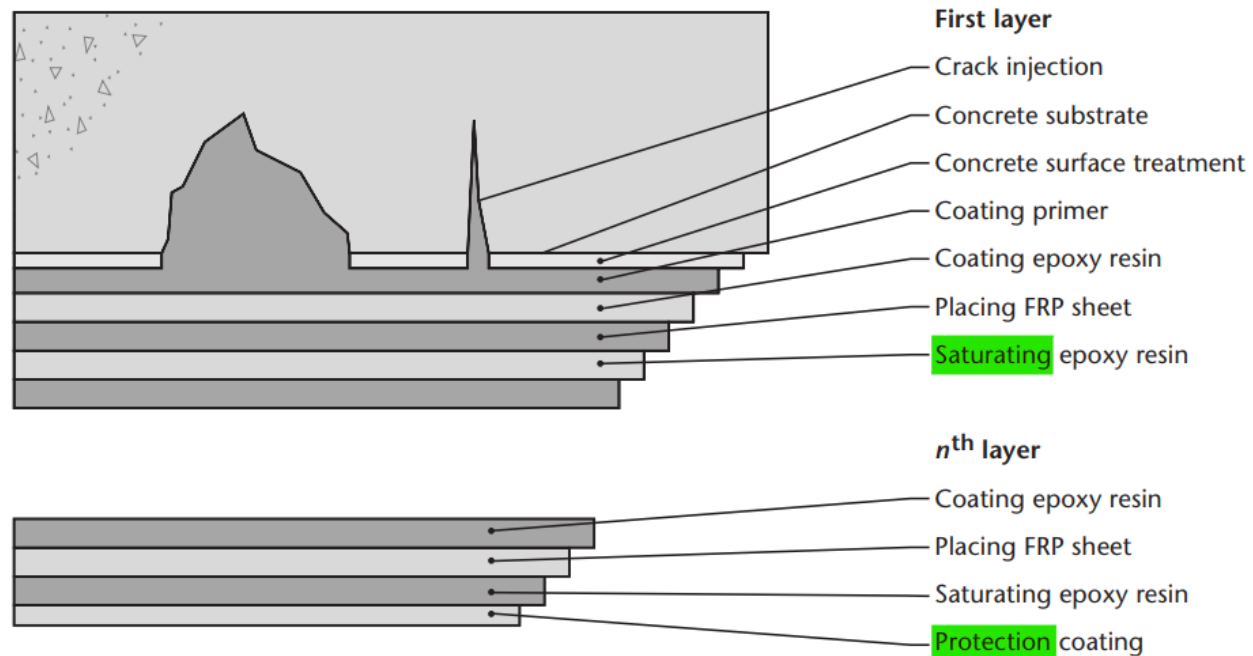






آیا سطح روی الیاف نیاز به چسب دارد؟

بله، FRP یک ماده کاپوزیتی است
مطابق با استاندارد کانادا میبایست با چسب اشباع شود

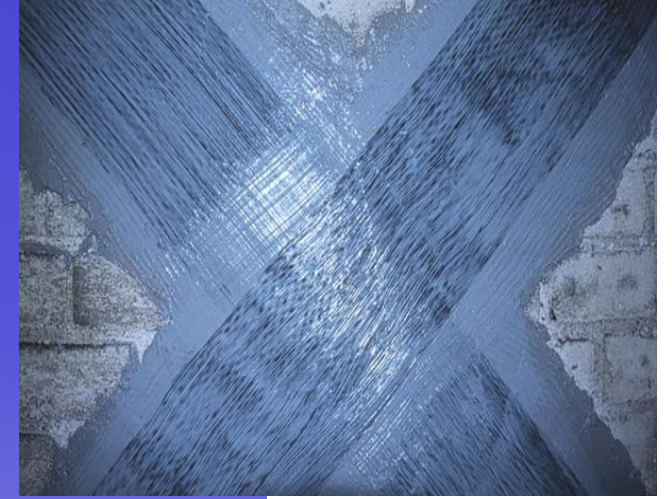


Notes:

- (1) The first coat of epoxy resin shall be applied over the primer within the time frame recommended by the manufacturer.
- (2) Application of the entire first layer, including coating epoxy resin, placing FRP sheet, and saturating epoxy resin, may typically take 0.5 to 3 h in total.
- (3) If a second layer is added, the saturating epoxy resin from the first layer may be used as the coating epoxy resin of the second, in which case the application of the second FRP sheet would typically follow within about 30 min.



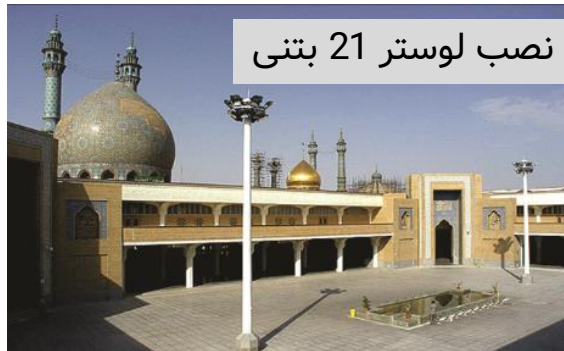
کاربرد های FRP در تقویت اجزای مختلف > تقویت سازه آجری با الیاف FRP





گنبد مسجد اعظم قم- به جهت نصب لوستر 21 بتنی

شرکت پایون





کاربرد های FRP در تقویت اجزای مختلف > تقویت ستون بتنی





کاربرد های FRP در تقویت اجزای مختلف > تقویت خمشی تیر بتنی









الیاف برندها متفرقه و ناشناس، پیش از استفاده تست شوند
معمولا به ازای هر متر مربع ، 1.2 kg چسب نیاز می باشد.

محدوده قیمتی الیاف تک جهت ساخت چین: 300 الی 400 هزار تومان به ازای هر مترمربع
محدوده قیمتی الیاف تک جهت ساخت اروپا : 800 الی 1.200 میلیون تومان به ازای هر مترمربع





ACI 440.3R-04

Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures

Reported by ACI Committee 440

Sami H. Rizkalla Chair	John P. Busel Secretary		
Tarek Alkhrdaji	Edward R. Fyfe	Vistasp M. Karbhari	Morris Schupack
Charles E. Bakis	Ali Ganjeleh	James G. Korff	David W. Scott
P. N. Balaguru	Duane J. Gee	Michael W. Lee	Rajan Sen
Lawrence C. Bank	T. Russell Gentry ¹	John Levar	Mohsen A. Shahawy
Abdeljelil Belarbi	Janos Gergely	Torahim Mahfouz	Carol K. Shield
Brahim Benmokrane ²	William J. Gold	Henry N. Marsh	Khaled A. Soudki
Gregg J. Blaszak	Nabil F. Grace	Orange S. Marshall	Robert E. Steffen
Timothy E. Bradberry	Mark F. Green	Amir Mirmiran	Gamil Tadros
Gordon L. Brown	Mark Greenwood	Ayman S. Mossallam	Jay Thomas
Vicki L. Brown	Doug D. Gremel	Antonio Nanni	Houssam A. Toutanji
Thomas I. Campbell	H. R. Hamilton	Kenneth Neale	Miroslav Vadovic
Charles W. Dolan	Issam E. Harik	John P. Newhook	David Vanderpool
Dat Duthinh	Kent A. Harries	Max L. Porter	Milan Vatovec
Garth J. Fallis	Mark P. Henderson	Mark A. Postma	David White
Amir Fam	Bobdan N. Horeczko	Hayder A. Rasheed	

¹Chair, Subcommittee that prepared this document.
²Co-Chair, Subcommittee that prepared this document.

Fiber-reinforced polymer (FRP) materials have emerged as a practical material for producing reinforcing bars and laminates for concrete structures. FRP reinforcing bars and laminates offer advantages over steel reinforcement in that FRP is noncorrosive and nonconductive. FRP reinforcing

bars, grids, and tendons are being used for nonprestressed and prestressed concrete structures. FRP laminates are being used as external reinforcement for strengthening of existing concrete and masonry structures. Due to differences in the physical and mechanical behavior of FRP materials compared to steel, unique test methods for FRP bars and laminates are required.

This document provides model test methods for the short-term and long-term mechanical, thermo-mechanical, and durability testing of FRP bars and laminates. It is anticipated that these model test methods may be considered, modified, and adopted, either in whole or in part, by a U.S. national standards-writing agency such as ASTM International or ASHTO. The publication of these test methods by ACI Committee 440 is an effort to aid in this adoption.

The recommended test methods are based on the knowledge gained from research results and literature worldwide. Many of the proposed test methods for reinforcing rods are based on those found in "Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures using Continuous Fiber Reinforcing Materials" published in 1997 by the Japan Society for Civil Engineers (JSCE). The JSCE test methods have been modified extensively to add details and to adapt the test methods to U.S. practice.

Keywords: anchorage; bond; concrete; coupler; creep; fatigue; fiber-reinforced polymers (FRP); modulus of elasticity; reinforced concrete; shear; splice; stirrup; strength; tendon.

ACI 440.3R-04 became effective June 28, 2004.
Copyright © 2004, American Concrete Institute.
All rights reserved including rights of reproduction and use in any form or by any means, including the making of copies by any photo process, or by electronic or mechanical device, printed, written, or oral, or recording for sound or visual reproduction or for use in any knowledge or retrieval system or device, unless permission in writing is obtained from the copyright proprietor.

CONTENTS

Part 1—General, p. 440.3R-2
 1.1—Introduction
 1.2—Scope
 1.3—Existing ASTM test methods
 1.4—Definitions
 1.5—Notation

Part 2—Test methods for FRP bars for concrete structures, p. 440.3R-7
 B.1—Test method for cross-sectional properties of FRP bars
 B.2—Test method for longitudinal tensile properties of FRP bars
 B.3—Test method for bond strength of FRP bars by pullout testing
 B.4—Test method for transverse shear strength of FRP bars
 B.5—Test method for strength of FRP bent bars and stirrups at bend locations
 B.6—Accelerated test method for alkali resistance of FRP bars
 B.7—Test method for tensile fatigue of FRP bars
 B.8—Test method for creep rupture of FRP bars
 B.9—Test method for long-term relaxation of FRP bars
 B.10—Test method for performance of anchorages of FRP bars
 B.11—Test method for tensile properties of deflected FRP bars
 B.12—Test method for determining the effect of corner radius on tensile strength of FRP bars

Part 3—Test methods for FRP laminates for concrete and masonry, p. 440.3R-30
 L.1—Test method for direct tension pull-off test
 L.2—Test method for tension test of flat specimen
 L.3—Test method for overlap splice tension test

References, p. 440.3R-36
 R.1—Guides and related standards
 R.2—Conference proceedings
 R.3—Individual papers, reports, and theses

Appendix A—Anchor for testing FRP bars under monotonic, sustained, and cyclic tension, p. 440.3R-38
Appendix B—Methods for calculating tensile properties of flat specimen, p. 440.3R-39

The pull-off test is performed by securing a 25 to 40 mm square or circular plate area adhered to the surface of the FRP or concrete with a bonding agent. After the bonding agent is cured, a test apparatus is attached to the loading fixture and aligned to apply tension perpendicular to the concrete. The specimen is loaded until the adhesion fixture detaches from the surface. The pull-off strength is computed

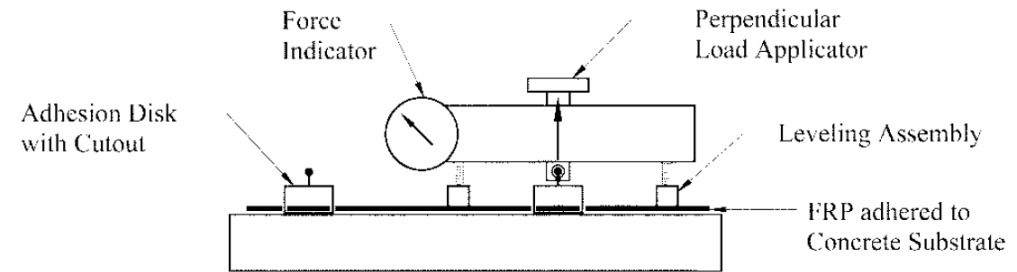


Fig. L.1.1—Direct tension pull-off test setup.

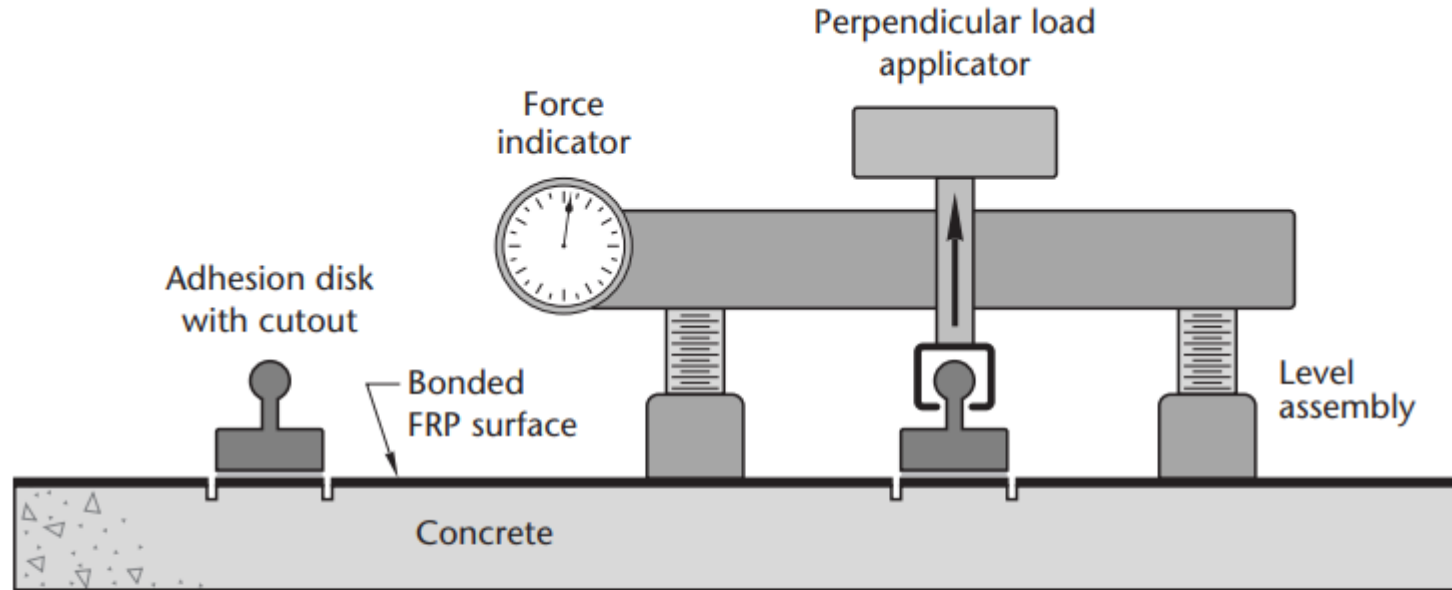


Figure F1
Direct Tension Pull-off Test
(See Clause F4.2.)

CSA S806-12



مراحل انجام این تست بر اساس آیین نامه ACI440.3R-04 بشرح زیر می باشد:

1. محل تخت و مناسبی را جهت نمونه گیری انتخاب می کنیم .
2. سطح FRP را برای نصب گوی آماده کرده و سطح مورد نظر را با دقت تمیز می نماییم .
3. با توجه به سایز گوی با استفاده از مته گردبر، برشی در سطح FRP ایجاد می نماییم .، برش باید 6 الی 12 میلیمتر به داخل بتن نفوذ کند.
4. گوی را با چسب مناسب بر روی سطح برش داده می چسبانیم . با توجه به نوع چسب استفاده شده زمان مناسب برای گیرش چسب را تعیین می کنیم . مقاومت کششی چسب باید از مقاومت کششی رزین و FRP بیشتر باشد .
5. دستگاه را کاملا عمود بر الیاف نصب می کنیم و سپس پایه های دستگاه را تنظیم می نماییم .
6. پیچ وسط گوی را چرخانده و تنظیم می کنیم .
7. نیروسنج را بر روی صفر تنظیم می کنیم .
8. نیروی کششی را بصورت دستی یا ماشینی وارد کرده تا گوی گسیخته شود.
9. نیروی Pull-off بدست آمده را ثبت می کنیم . مقدار نیرو بر سطح مقطع تقسیم شده و تنش نهایی بدست می آید .



8 Test method

8.1—Select a flat measurement site in accordance with the sampling schedule.

8.2—Prepare the FRP surface for bonding the fixture. The FRP surface should be cleaned with solvent, sanded with medium-grit sandpaper, rinsed with solvent, and allowed to dry.

8.3—Core drill or square cut through the FRP laminate into the substrate concrete, according to the size and shape of the adhesion fixture, using a carbide tipped or diamond core bit or cutting wheel. Cut into the concrete to a depth of 6 to 12 mm.

8.4—Attach the adhesion fixture with the designated bonding agent. Cure in accordance with the bonding agent manufacturer's instructions.

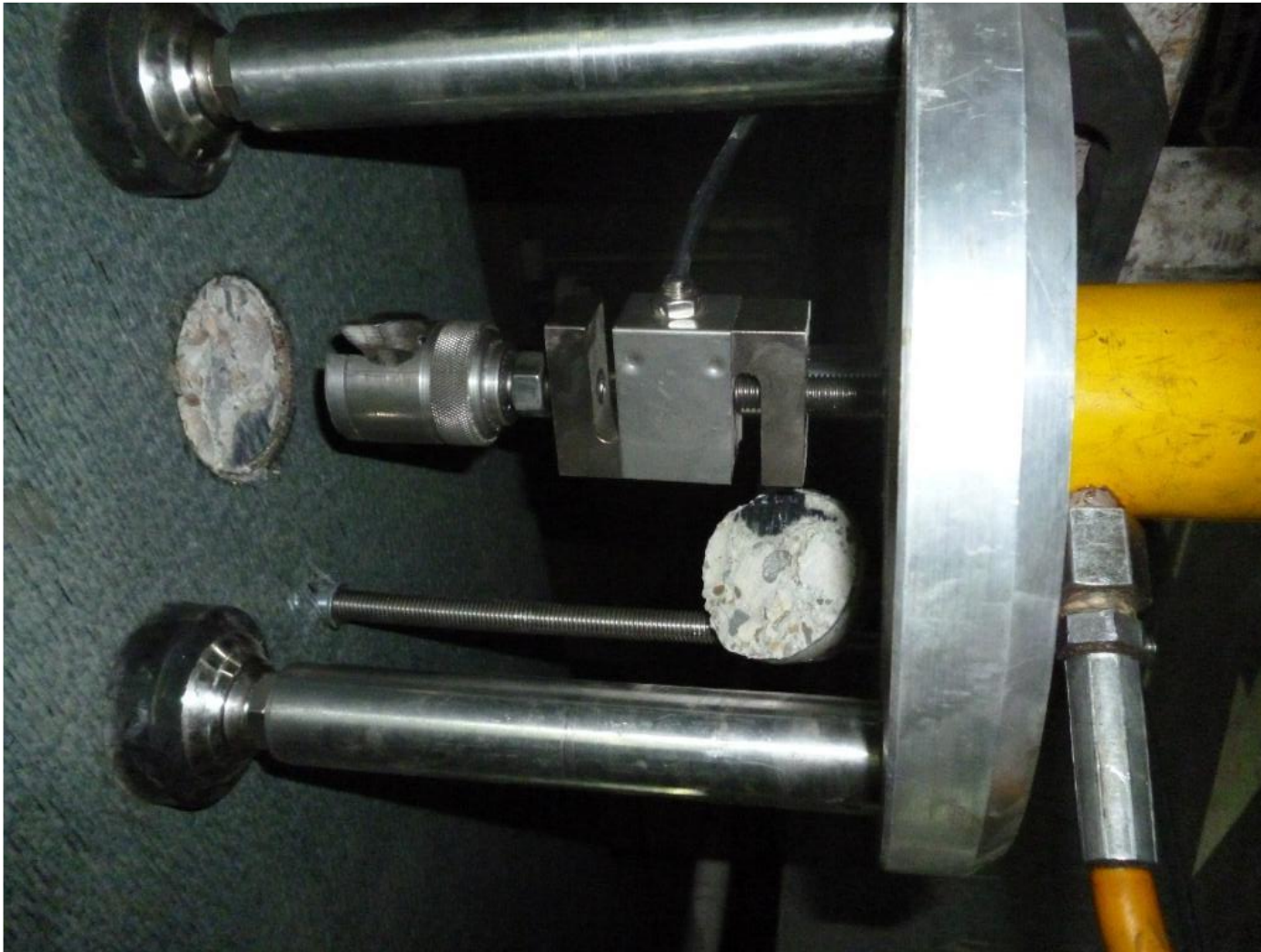
8.5—Position the detaching assembly over the adhesion fixture and attach the adhesion fixture to the detaching assembly. Align the load applicator perpendicularly. Adjust the detaching-assembly legs as required.

8.6—Take up the slack in the adhesion tester by screwing down the adjustment knob.

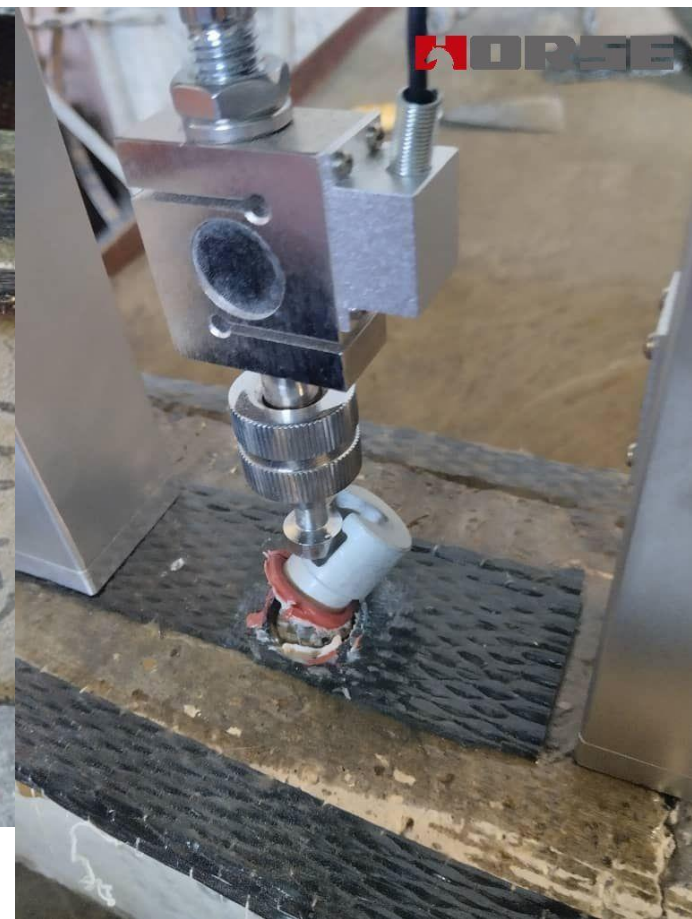
8.7—Set the force indicator to the zero mark.

8.8—Apply manual or mechanized loading so that it











440.3R-32

ACI COMMIT

9.2.2—Adhesive failure occurring at the interface of the FRP laminate or the concrete.

9.2.3—Cohesive failure within the FRP laminate.

9.2.4—Cohesive failure within the concrete.

9.2.5—Combinations of 8.1.1, 8.1.2, and 8.1.3 above.

9.2.6—Bonding agent failure is not an acceptable failure mode.

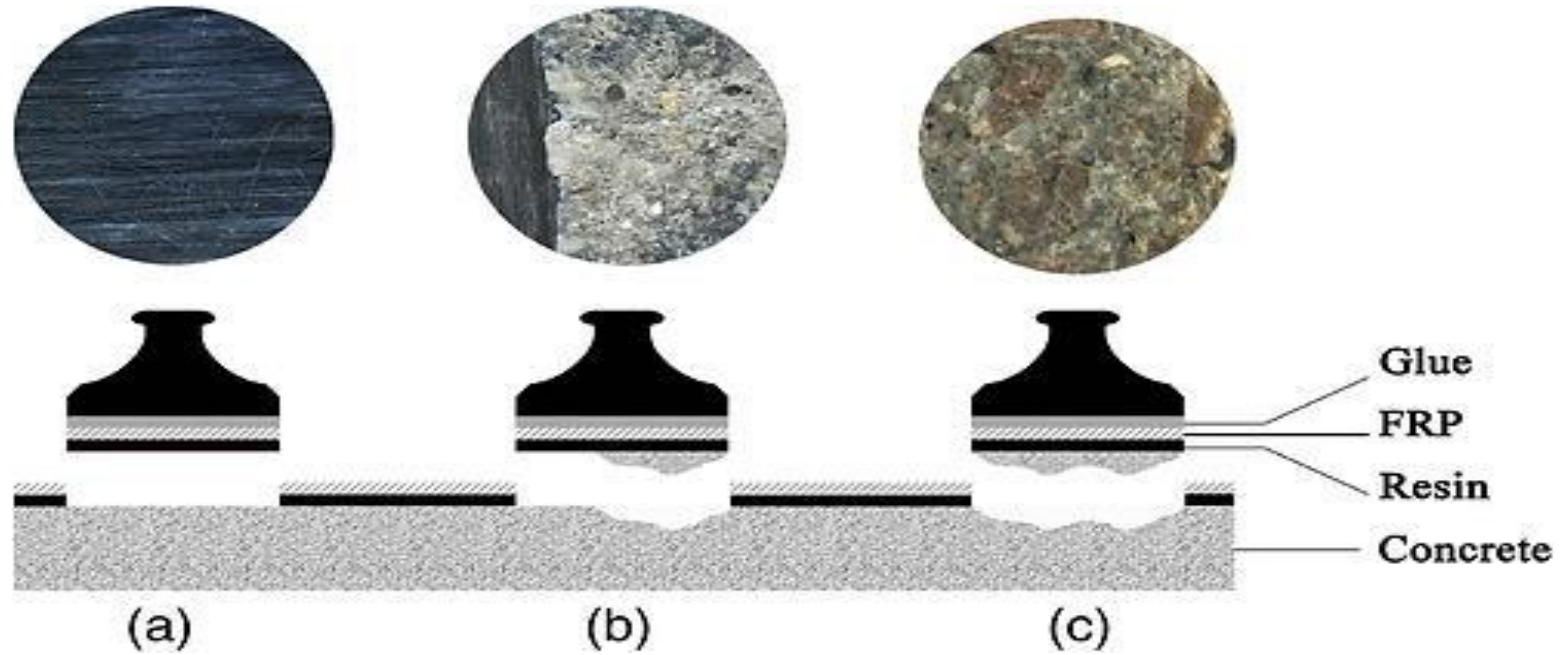
مود های شکست احتمالی در تست Pull-off بر اساس ACI440.3 عبارتند از:

1) شکست چسب در سطح رابط بین لمینیت و بتن

2) گسیختگی در ورق FRP

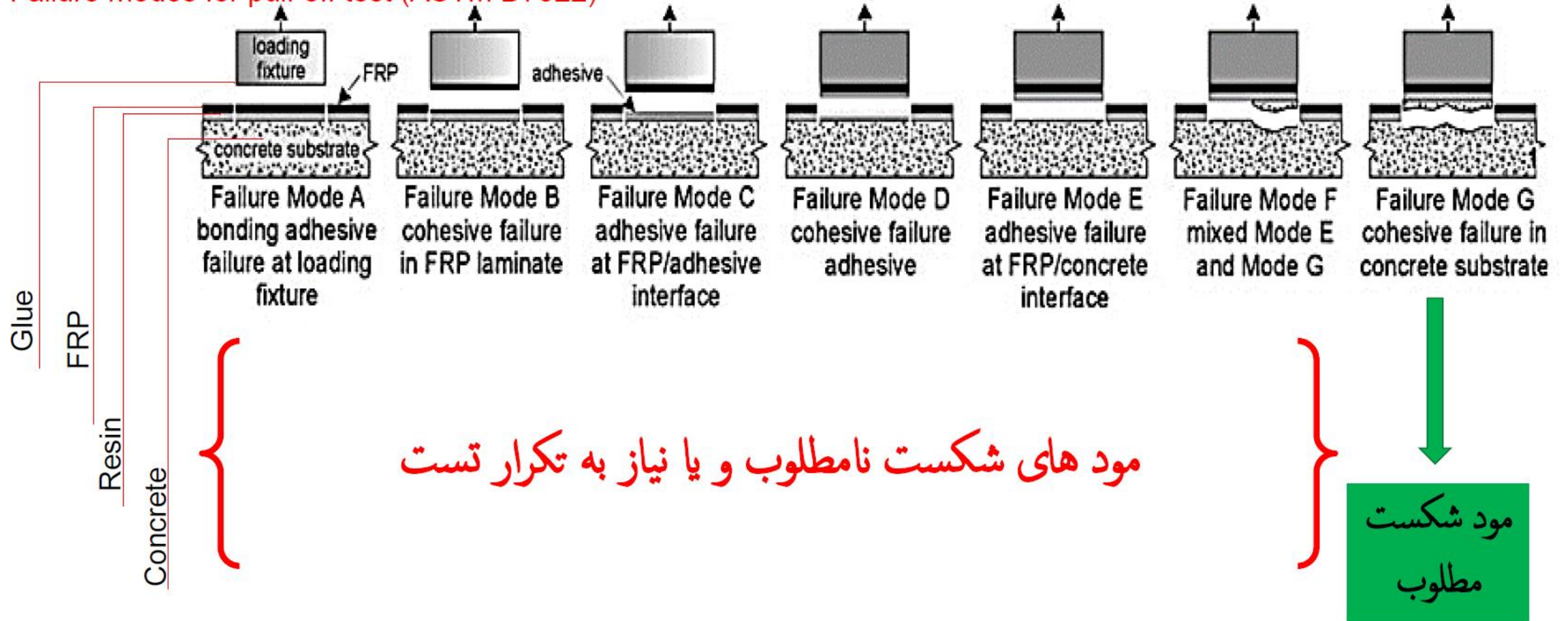
3) گسیختگی در بستر بتنی

4) ترکیبی از سه مود شکست بالا





Failure modes for pull-off test (ASTM D7522)





الف) نتیجه جدا شدن چسب اپوکسی از گوی فلزی(دالی) :

- 1 - وجود آلودگی روی دالی یا الیاف FRP و عدم آماده سازی صحیح سطوح
- 2 - عدم اتصال صحیح چسب و FRP
- 3 چسب اپوکسی نامرغوب

ب) نتیجه ی جدا شدن الیاف FRP از سطح بتونه یا جدا شدن بتونه از سطح بتن :

- 1 - عدم نصب و اجرای صحیح الیاف
- 2-کیفیت پایین چسب اپوکسی و الیاف FRP

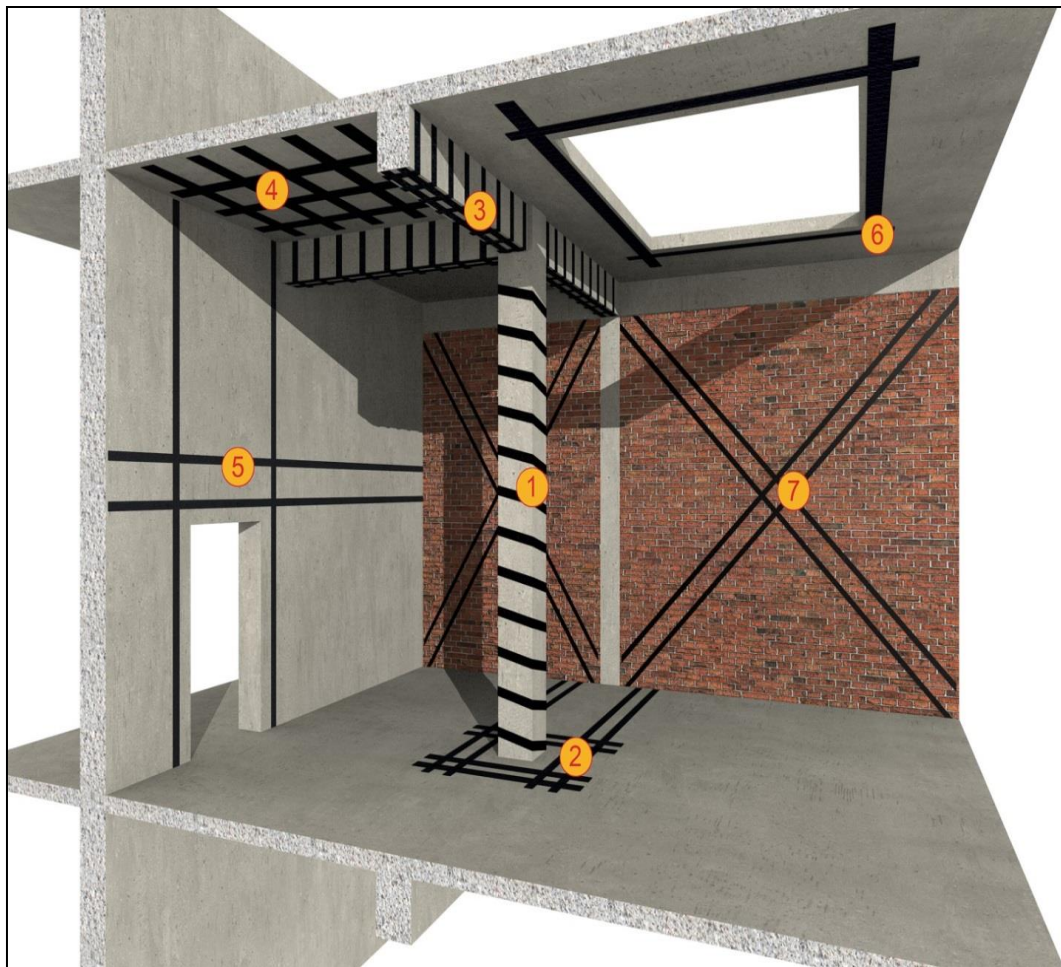
ج) نتیجه ی پدیدار شدن آسیب در بتن :

- 1 - این نتیجه ، نتیجه مورد نظر و مناسب می باشد ، بدلیل اینکه نشان دهنده ی نصب و اجرا صحیح FRP است . گسیختگی بتن در آزمایش PULL OFF نشان میدهد ضعیف ترین بخش مورد نظر همان ناحیه ی بتن است .



ضوابط تحلیل و طراحی تقویت به شیوه FRP

- تقویت فشاری ستون با مقطع دایره ای تحت بار محوری خالص
- تقویت فشاری ستون با مقطع مستطیلی تحت بار محوری خالص
- تقویت برشی ستون
- تقویت ستون به علت عدم تامین طول وصله مناسب
- تقویت خمشی تیر بتنی
- تقویت برشی تیر بتنی
- تقویت دیوار برشی
- تقویت باربر بنایی
- تقویت دال بتنی





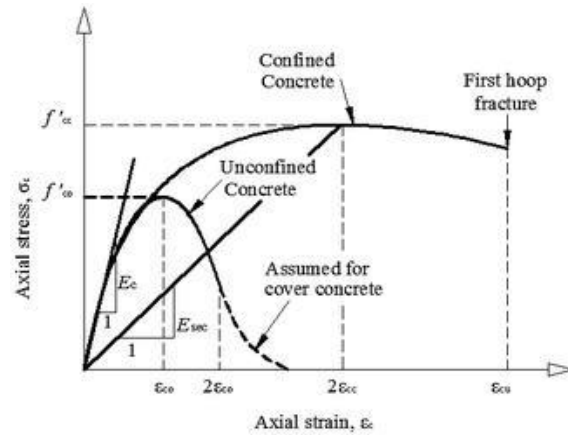
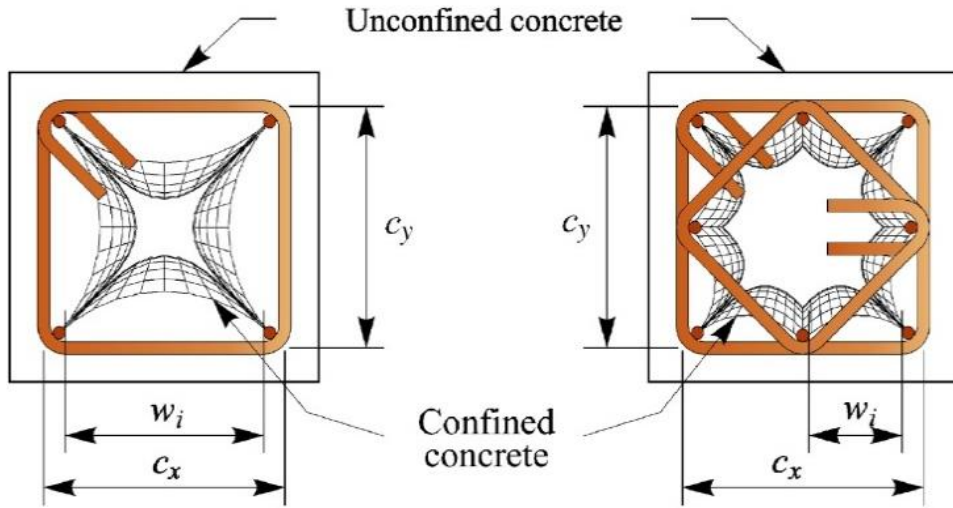
تقویت فشاری ستون با مقطع مستطیلی تحت بار محوری خالص

Compressive reinforcement of a rectangular column under pure axial load

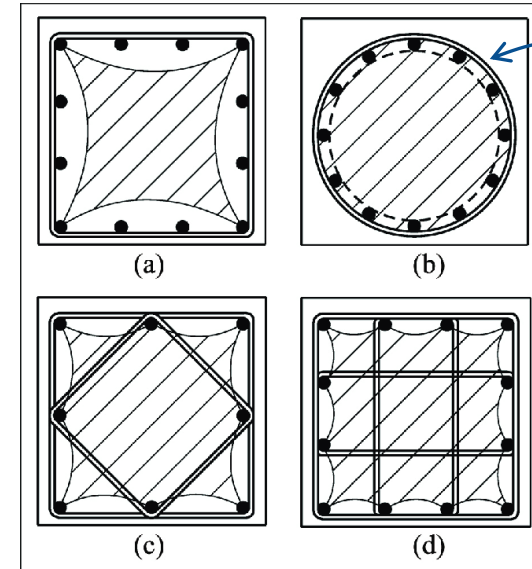
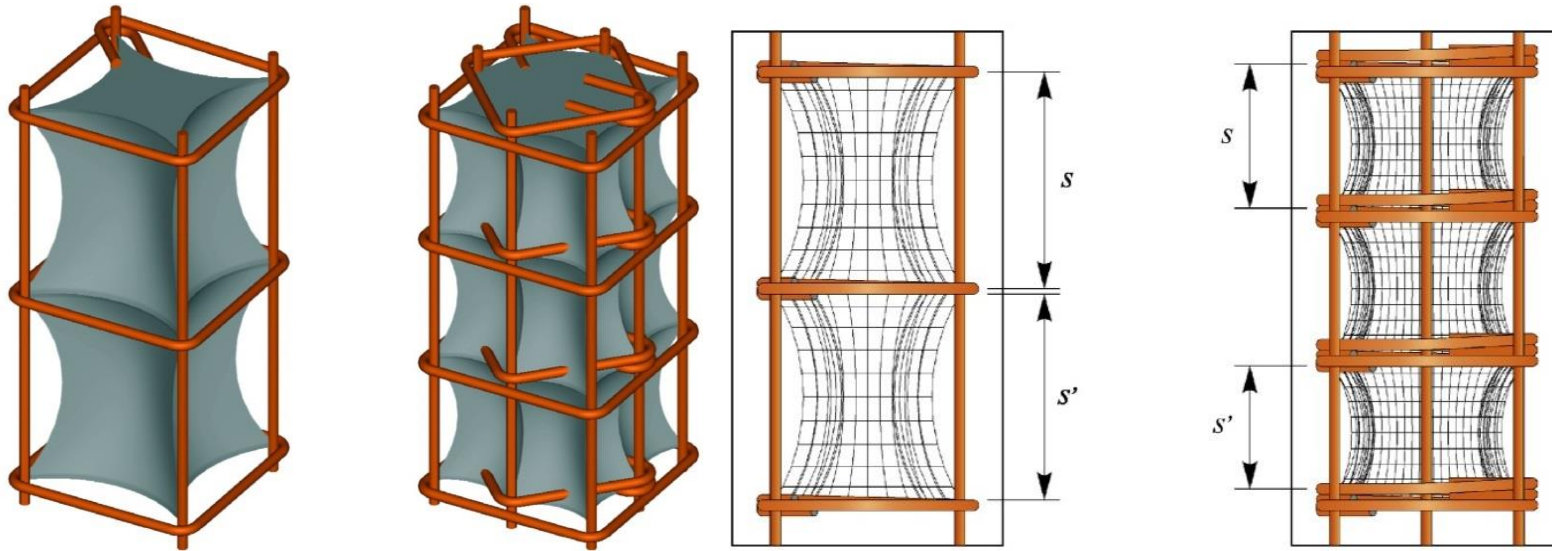


تقویت فشاری ستون < محصورشدگی (Confinement)

محصورشدهگی (Confinement) در بتن یکی از مهمترین موضوعات در بهسازی می باشد که به دلیل ممانعت از انبساط جانبی (Lateral expansion) حاصل می گردد و مزایای زیادی از قبیل افزایش در مقاومت فشاری، سختی و شکل پذیری را به همراه دارد.



مناسب ترین محصور شدگی



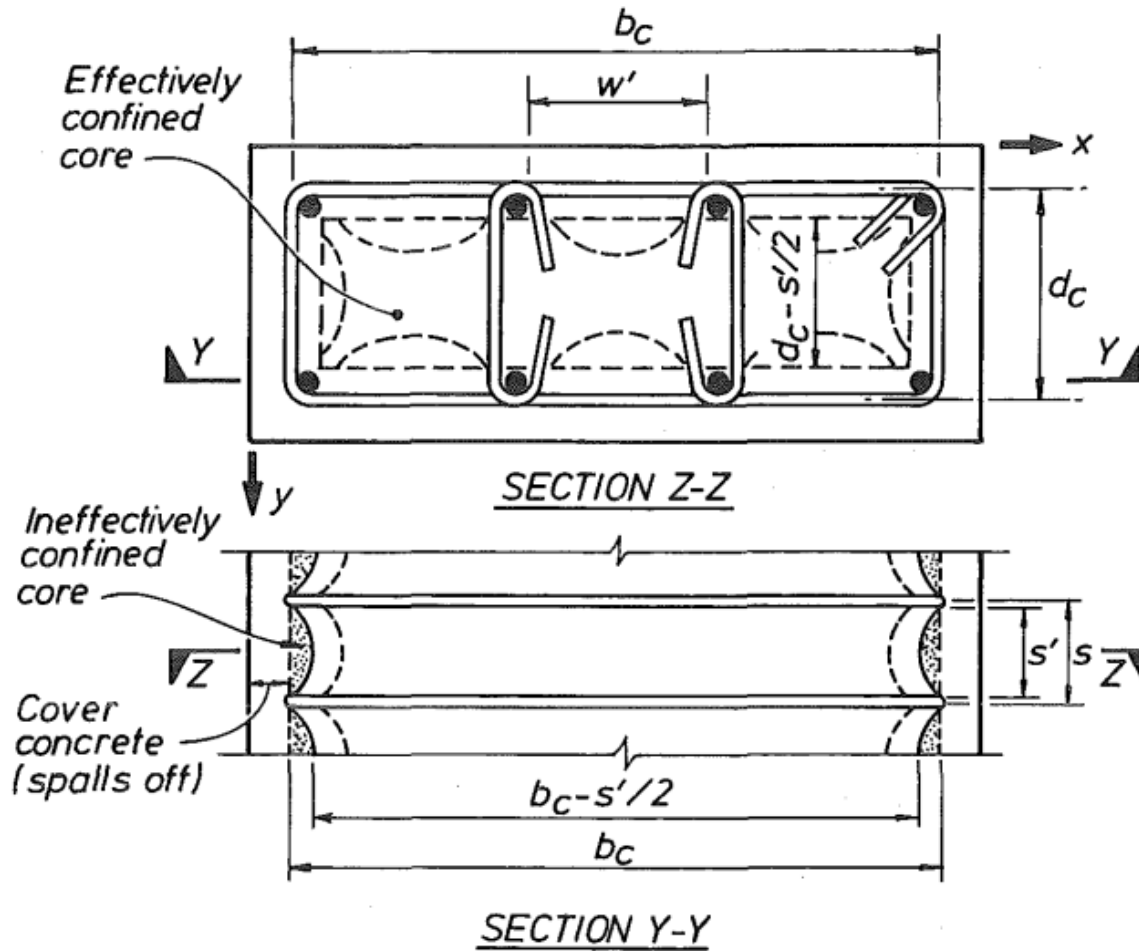

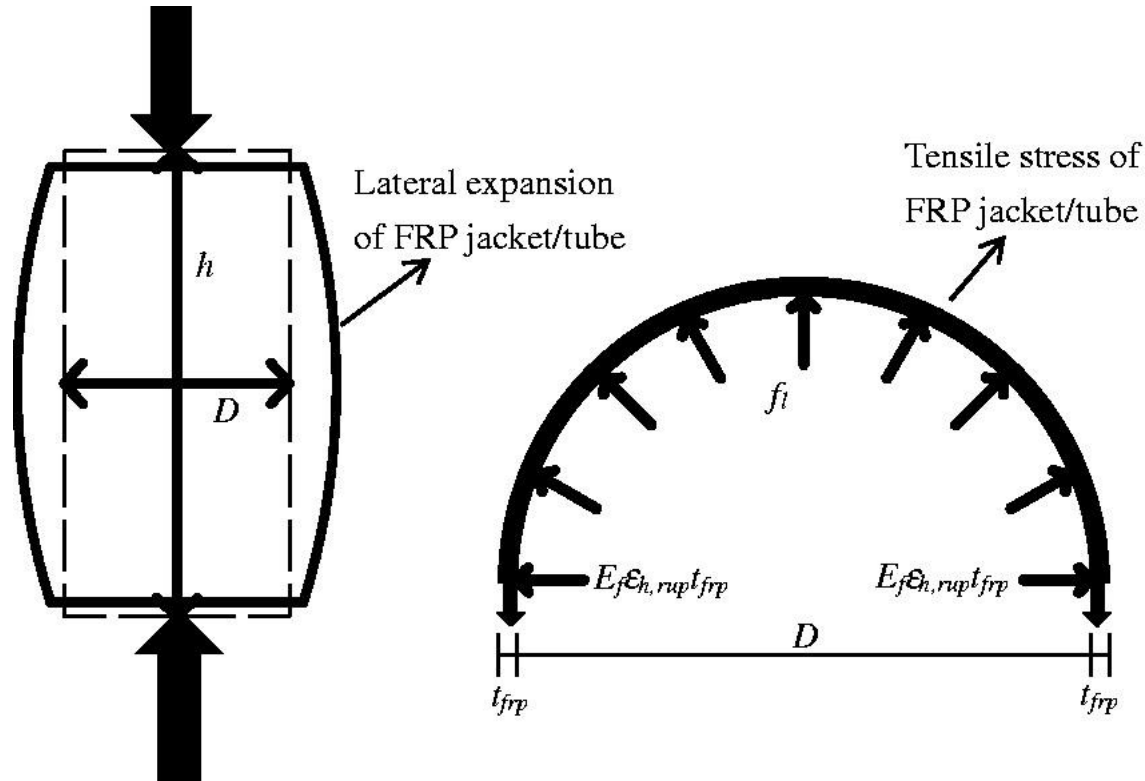


FIG. 3. Effectively Confined Core for Rectangular Hoop Reinforcement

اثر محصورشدگی Passive می باشد، به این معنا که تا زمانی که مقطع تحت باری که موجب اتساع جانبی نگردد، قرار نگیرد تفاوتی در مقاومت مقطع حاصل نمی شود.

FRP jackets provide passive confinement to the compression member, remaining unstressed until dilation and cracking of the wrapped compression member occur. For this reason, intimate contact between the FRP jacket and the concrete member is critical. 





یکی از معروفترین روابط ارائه شده در ادبیات فنی، رابطه مندر و همکاران (Mander et al) می باشد.

این رابطه هم برای مقاطع مستطیلی و هم برای مقاطع دایره ای شکل قابل استفاده می باشد که در آن تنش و کرنش فشاری بتن از رابطه زیر محاسبه می گردد:

رابطه *Sheikh-Uzumeri 1982*

$$P_{occ} = 0.85f'_c(b^2 - A_s)$$

$$K = 1 + \frac{b_c^2}{140P_{occ}} \left[\left(1 - \frac{nb_i^2}{5.5b_c^2} \right) \left(1 - \frac{s}{2b_c} \right)^2 \right] \sqrt{P_w f_{yw}}$$

رابطه *Park, Priestley & Gill 1982*

$$f_{cc} = Kf_c$$

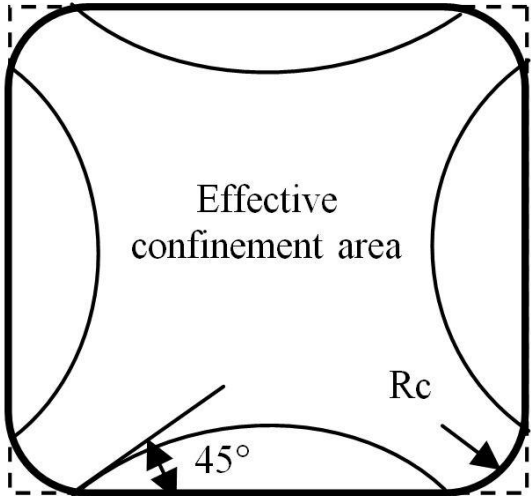
$$K = 1 + \frac{\rho_w f_{yw}}{f'_c}$$



Model	Equations	Comments
Fafitis & Shah (1985)	$f_{cc} = \lambda_2 \left[f_c + \left(1.15 + \frac{21.02}{f_c} \right) \sigma_l \right]$ $\lambda_2 = 1 + 15 \left(\frac{\sigma_l}{f_c} \right)^3$ $\epsilon_{0.50f_{cc}} = \epsilon_{cc1} - \left(\frac{\ln 0.5}{k} \right)^{1.15}$ $\sigma_l = \left(\frac{A_{sw}^{tot} f_{yw}}{s d_e} \right)$ $k = 24.65 f_c e^{\left(-1.45 \frac{\sigma_l}{\lambda_1} \right)}$ $\lambda_1 = 1 + 25 \frac{\sigma_l}{f_c} \left[\left(1 - e^{(-0.0223 f_c)^9} \right) \right]$	f_{cc} , ϵ_{cc1} derived from statistical analysis of experimental data on 76x152mm cylinders with $26 \leq f_c \leq 66$ MPa
Yong et. al. (1988)	$f_{cc} = f_c (1 + 0.11 \sigma_l)$ $\epsilon_{0.50f_{cc}} = \epsilon_{cc1} \left[- (C + 2) \pm \sqrt{(C + 2)^2 + 4(D - 1)} \right] / [2(D - 1)]$ $\sigma_l = \left(1 - \frac{0.245s}{d_c} \right) \left(\rho_w'' + \frac{n\Phi_w}{8s\Phi_l} \rho_l \right) \frac{f_{yw}}{\sqrt{f_c}}$ $C = \left(\frac{\epsilon_{2i} - \epsilon_i}{\epsilon_{cc1}} \right) \left\{ \frac{\epsilon_{2i} E_i}{f_{cc} - f_i} - \frac{4\epsilon_i E_{2i}}{f_{cc} - f_{2i}} \right\}$ $D = (\epsilon_i - \epsilon_{2i}) \left\{ \frac{E_i}{f_{cc} - f_i} - \frac{4E_{2i}}{f_{cc} - f_{2i}} \right\}$	$\rho_w'' = \frac{\text{Volume of Ties}}{(b_c d_c - A_{st}^{tot})s}$ f_{cc} , ϵ_{cc1} derived from linear regression of test results on 152x152x457 and 133x133x457 mm lightly confined specimens with $84 \leq f_c \leq 94$ MPa
Bjerkeli et. al. (1990)	$f_{cc} = f_c + 4\alpha\sigma_l \quad 45 < f_c \leq 80 \text{ MPa}$ $f_{cc} = f_c + 3\alpha\sigma_l \quad 80 < f_c \leq 90 \text{ MPa}$ $\epsilon_{0.50f_{cc}} = \epsilon_{cc1} + \frac{f_{cc}}{2Z}$ $\sigma_l = \frac{\rho_w' f_{yw}}{2}$ $Z = \frac{0.15 f_{cc}}{\epsilon_{0.85 f_{cc}} - \epsilon_{cc1}}$ $\alpha_n = \left(1 - \frac{\sum b_i^2}{5.5 b_c d_c} \right)$ $\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{d_{so}} \right)$ $F = \frac{1}{1 + (1/\alpha\sigma_l)^{0.25}}$	$\epsilon_{0.85f_{cc}} = \epsilon'_{cc85} + \frac{0.05\alpha\sigma_l}{f_c(1-F)}$ Tests on small and large-scale specimens were used in developing the model; α is the largest of α_n, α_s
Nagashima et. al. (1992)	$f_{cc} = 0.85f_c + 9.83 \sqrt{\alpha \rho_w f_{yw}} \quad f_c \leq 118 \text{ MPa}$ $\epsilon_{0.50f_{cc}} = \epsilon_{cc1} + 0.193 \left(\frac{\alpha \rho_w f_{yw}}{0.85 f_c} \right)$ $\alpha = \left(1 - \frac{\sum b_i^2}{6 b_c d_c} \right) \left(1 - \frac{s}{2b_c} \right) \left(1 - \frac{s}{2d_c} \right)$	f_{cc} , ϵ_{cc1} and $\epsilon_{0.50f_{cc}}$ derived from linear regression analysis of test results on 225x225x716mm specimens confined with high yield steel columns with $60 \leq f_c \leq 118$
Muguruma et. al. (1993)	$f_{cc} = (1 + 49\sigma_l) f_c \quad 20 \leq f_c \leq 160 \text{ MPa}$ $\sigma_l = 0.313 \rho_w \frac{\sqrt{f_{yw}}}{f_c} \left(1 - \frac{s}{d_{so}} \right)$ $\epsilon_{cu} = (1 + 611\sigma_l) \epsilon_{ult}$	f_{cc} , ϵ_{cc1} derived from regression analysis on 147x147x400mm specimens confined by high yield steel without longitudinal reinforcement



Cusson & Paultre (1993)	$f_{cc} = f_c \left[1 + 2.1 \left(\frac{\sigma_l}{0.85 f_c} \right)^{0.7} \right]$ $\alpha = \left(1 - \frac{\sum b_i'^2}{6 b_c d_c} \right) \left(1 - \frac{s'}{2 b_c} \right) \left(1 - \frac{s'}{2 d_c} \right) / (1 - \rho_l)$	$\epsilon_{0.50fcc} = \epsilon_{0.50fc} + 0.15 \left(\frac{\sigma_l}{0.85 f_c} \right)^{1.1}$ $\sigma_l = \alpha \rho_w \sigma_{sw}$	$f_{cc}, \epsilon_{cc1}, \epsilon_{0.50fcc}$ derived from linear regression analysis of test results on large-scale specimens with $52 \leq f_c \leq 118 \text{ MPa}$; σ_{sw} is calculated by an iterative procedure; to determine $\epsilon_{0.50fcc}$, σ_l is computed assuming $\sigma_{sw} = f_{yw}$; $\epsilon_{0.50fc} = 0.004$
Sun & Sakino (1993)	$f_{cc} = f_c + 11.5 \sigma_l$ $\sigma_l = \rho_w f_{yw} \frac{\Phi_w}{b_i} \left(1 - \frac{s}{2 d_c} \right)$	$\epsilon_{0.50fcc} = \epsilon_{cc1} \left[- (A + 2) \pm \sqrt{(A + 2)^2 + 4A + 4(D - 1)} \right] / [2(D - 2)]$ $D = 1.5 - 0.017 f_c + 1.6 \sqrt{\frac{(f_{cc} - f_c)}{23}}$ $A = \frac{E_c}{E_{c1}}$	f_{yw} not greater than 687 MPa
Li et. al. (1994)	$f_{cc} = f_c \left[-0.413 + 1.413 \sqrt{1 + 11.4 \frac{\sigma_l}{f_c} - \frac{2\sigma_l}{f_c}} \right]$ for $f_{yw} \leq 550 \text{ MPa}$ $f_{cc} = f_c \left[-1.254 + 2.254 \sqrt{1 + 7.94 a_s \frac{\sigma_l}{f_c} - 2 a_1 \frac{\sigma_l}{f_c}} \right]$ for $f_{yw} > 1200 \text{ MPa}$	$\sigma_l = \frac{1}{2} \alpha \rho_w f_{yw}$ $a_1 = 1.56 \left(\frac{\sigma_l}{f_c} \right)$	<ul style="list-style-type: none"> -for $f_{yw} \leq 550 \text{ MPa}$ & $f_c < 80 \text{ MPa}$ $c_1 = 122.5, c_2 = -0.92$ -for $f_{yw} \leq 550 \text{ MPa}$ & $f_c < 80 \text{ MPa}$ $c_1 = 82.75, c_2 = -0.37$ -for $f_{yw} > 1200 \text{ MPa}$ & $f_c \leq 52 \text{ MPa}$ $c_1 = 69.85, c_2 = -0.6$ -for $f_{yw} > 1200 \text{ MPa}$ & $f_c > 52 \text{ MPa}$ $c_1 = 49.0, c_2 = -0.2$
Ibrahim & MacGregor (1996)	$f_{cc} = f_c + 4 \alpha \sigma_l$ $45 < f_c \leq 80 \text{ MPa}$ $f_{cc} = f_c + 3 \alpha \sigma_l$ $80 < f_c \leq 90 \text{ MPa}$ $f_{cc} = f_c + 2 \alpha \sigma_l$ $f_c \geq 90 \text{ MPa}$	$\epsilon_{0.50fcc} = \epsilon_{cc1} + \frac{f_{cc}}{2Z}$ $\sigma_l = \frac{\rho_w f_{yw}}{2}$	$\epsilon_{0.85fcc} = \epsilon'_{cc85} + \frac{0.04 \alpha \sigma_l}{f_c (1 - F)}$
	$Z = \frac{0.15 f_{cc}}{\epsilon_{0.85fcc} - \epsilon_{cc1}}$ $\alpha = \left(1 - \frac{\sum b_i'^2}{5.5 b_c d_c} \right) \left(1 - \frac{s}{2 b_c} \right) \left(1 - \frac{s}{2 d_c} \right)$ $F = \frac{1}{1 + (1/\alpha \sigma_l)^{0.25}}$	Modification of the Bjerkeli et. al. model	
Diniz & Frangopol (1997)	$f_{cc} = \left[f_c + \left(1.15 + \frac{21.02}{f_c} \right) \sigma_l \right]$ $k = 24.65 f_c e^{\left(-1.45 \frac{\sigma_l}{\lambda_1} \right)}$	$\epsilon_{0.50fcc} = \epsilon_{cc1} \cdot \left(\frac{\ln 0.5}{k} \right)^{1.15}$ $\lambda_1 = 1 + 25 \frac{\sigma_l}{f_c} \left[\left(1 - e^{(-0.0223 f_c)^9} \right) \right]$ $\sigma_l = \left(\frac{\rho_w f_{yw}}{2} \right) \left(1 - \frac{s}{d_c} \right)$	Modification of the Fafitis et. al. model f_{yw} not greater than 482.7 MPa for $f_c \leq 89.6 \text{ MPa}$ or 413.7 MPa for $f_c > 89.6 \text{ MPa}$



(a) Effectively confined concrete in a square column



(b) Dilated square column confined with carbon/epoxy jacket [19]

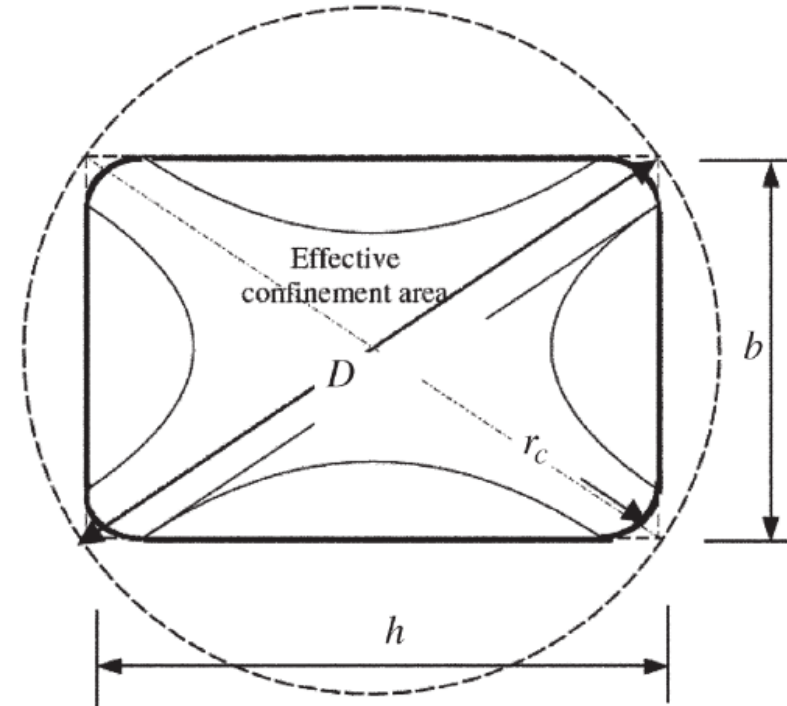
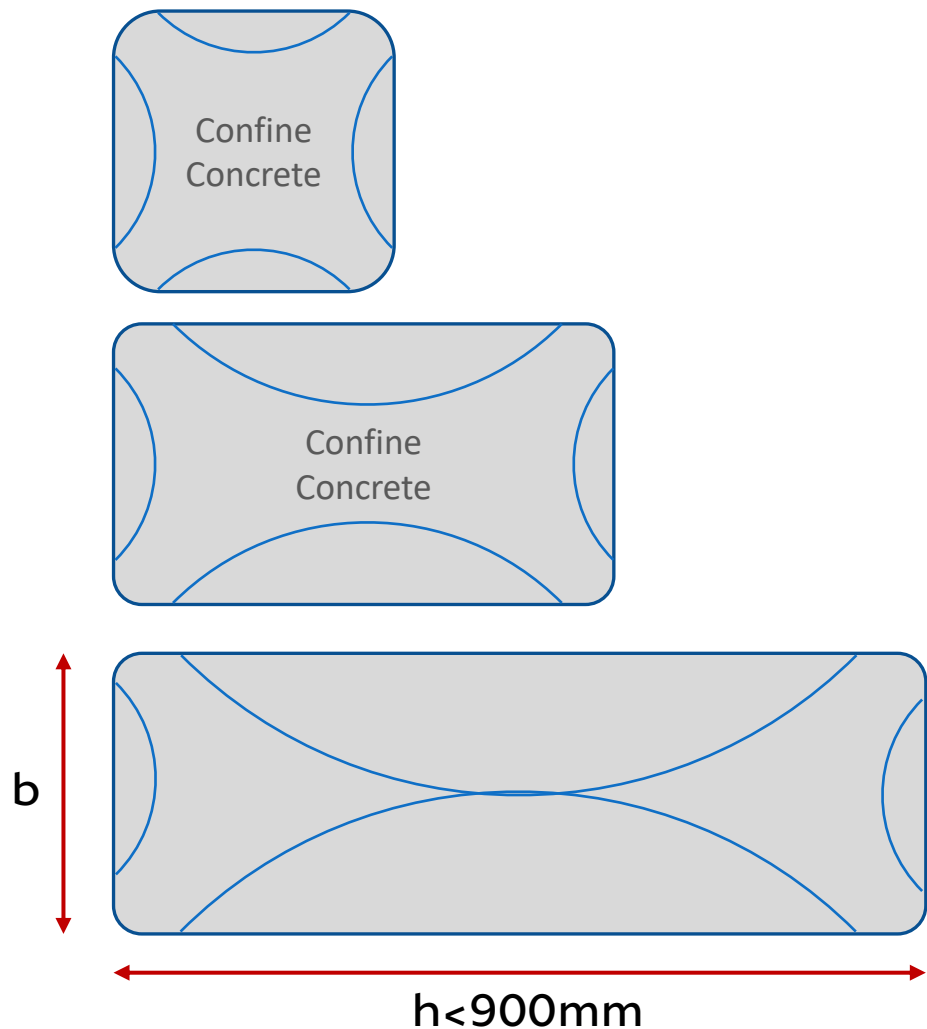


Fig. 12.1.2—Equivalent circular cross section (Lam and Teng 2003b).

$$\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \left[\left(\frac{b}{h} \right) (h - 2r_c)^2 + \left(\frac{h}{b} \right) (b - 2r_c)^2 \right] \rho_g}{3A_g - \rho_g}$$



سوال: وقتی مقطع کتابی می شود، چه اتفاقی می افتد؟



12.1.2 Noncircular cross sections—Testing has shown that confining square and rectangular members with FRP jackets can provide marginal increases in the maximum axial compressive strength f'_{cc} of the member (Pessiki et al. 2001; Wang and Restrepo 2001; Harries and Carey 2003; Youssef 2003; Rocca et al. 2008). The provisions in this guide are not recommended for members featuring side aspect ratios h/b greater than 2.0, or face dimensions b or h exceeding 36 in. (900 mm), unless testing demonstrates their effectiveness.

$$\frac{h}{b} < 2$$

$$h < 900\text{mm}$$

بنابراین بهترین مقاطع برای تقویت به شیوه ژاکت FRP
مقطع مربعی و بهتر از آن مقطع دایره ای میباشد.



$$h < 900mm$$



سوال: ستون هایی که تحت لنگر خمشی هستند؟

چنانچه مقدار خروج از مرکزیت بار فشاری کمتر از 0.1 بعد ستون باشد همانند روابط فشار خالص (Pure Axial) طرح می گردد **در غیر این صورت** استفاده از سیستم FRP جهت تقویت ستون ها، تنها برای اعضای قابل استفاده می باشد که در ناحیه فشارکنترل دیاگرام اندرکنش PMM باشند (بالای خط توازن Balance Line)

$$\frac{M_u}{N_u} = e < 0.1h \rightarrow \text{Small Eccentricity}$$

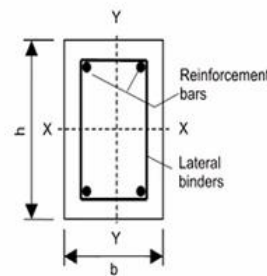
It is calculated as before

$$\frac{M_u}{N_u} = e > 0.1h \rightarrow \text{Large Eccentricity}$$

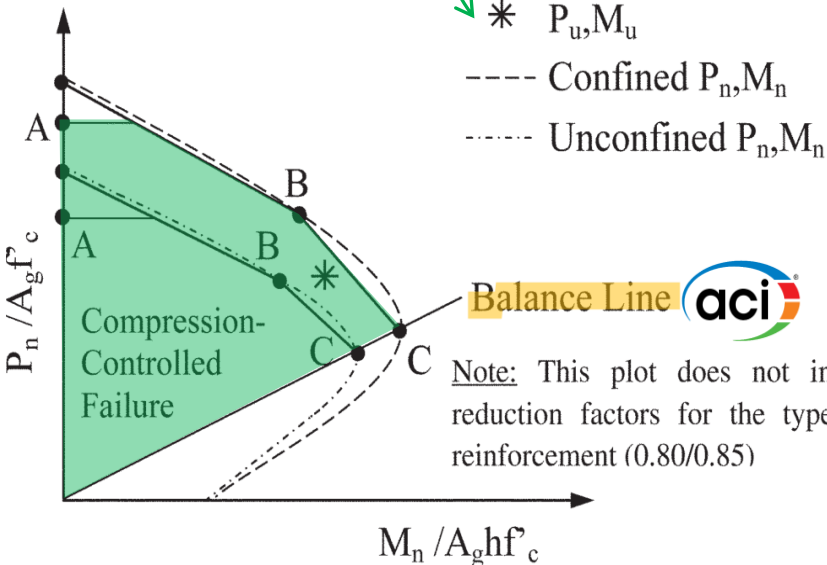
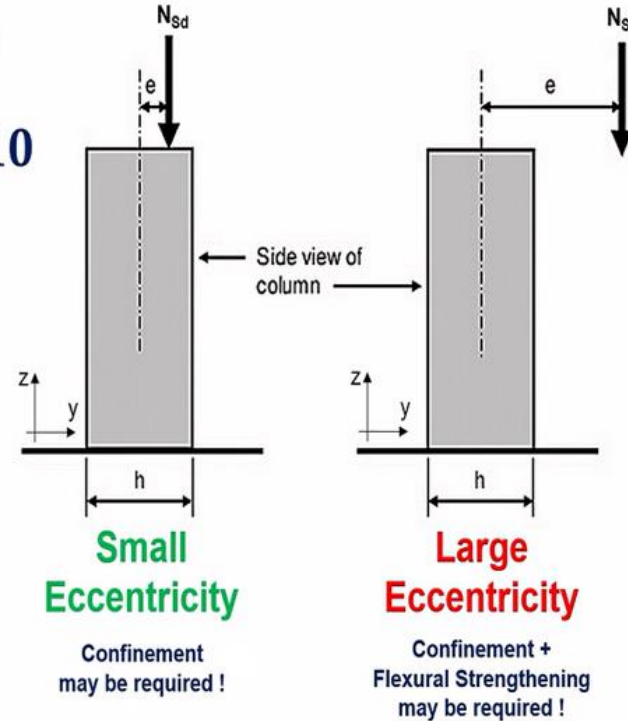
The ratio of applied moment to the applied axial load is "Eccentricity" $e = \frac{M_{Sd}}{N_{Sd}}$

ACI Condition for Small Eccentricity

$$\frac{M_{Sd}}{(N_{Sd} \cdot h)} \leq 0.10$$

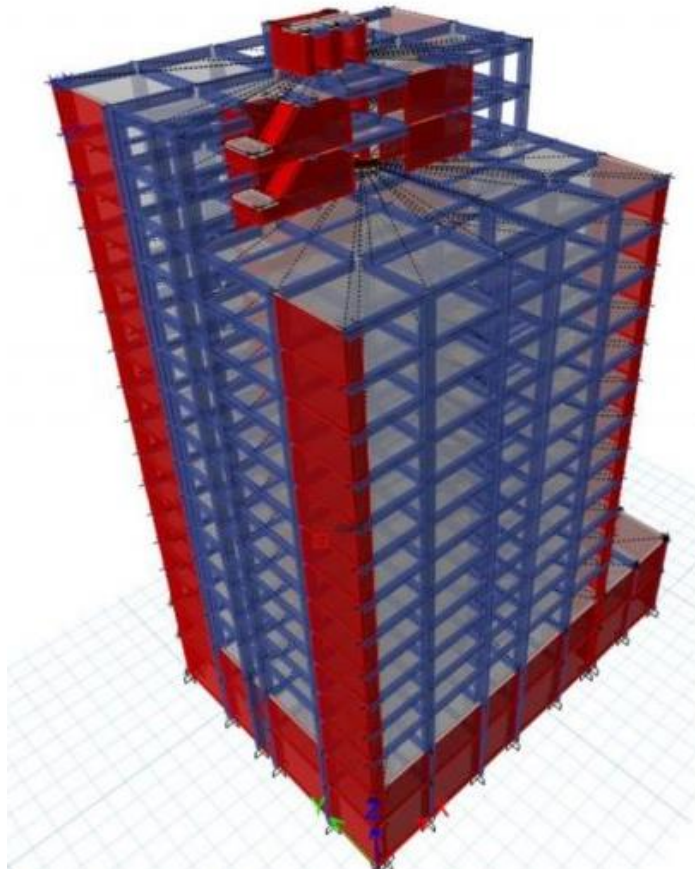


e = Eccentricity
 M_{Sd} = Applied moment
 N_{Sd} = Applied axial load
 h = Height of cross section
 b = Width of cross section





ستون هایی که تحت اثر فشار خالص (Pure Axial) هستند بیشتری کارایی را در تقویت به شیوه ژاکت FRP دارند. به همین دلیل چنانچه سیستم سازه ای دارای دیوار برشی باشد یا ستون در طبقات تحتانی واقع شده باشد، حالت های ایده آلی برای تقویت به این شیوه هستند.



در سایر سازه ها نظیر قاب های خمشی ، ستون های طبقات فوقانی نیروی محوری کمتر شده و بحث خمش داریم FRP توان محصور کنندگی کمتری دارد.

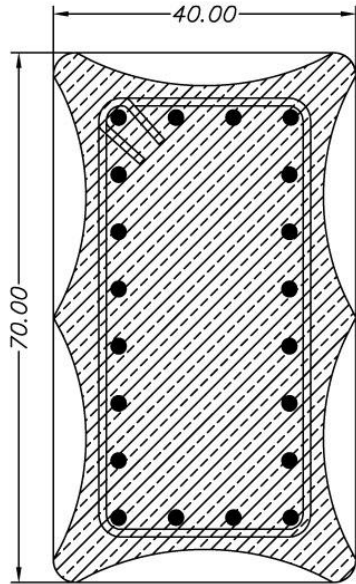


ضریب کاهش ظرفیت به دلیل شرایط محیطی

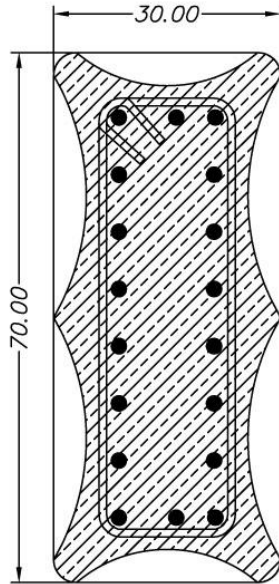
Table 9.4—Environmental reduction factor for various FRP systems and exposure conditions



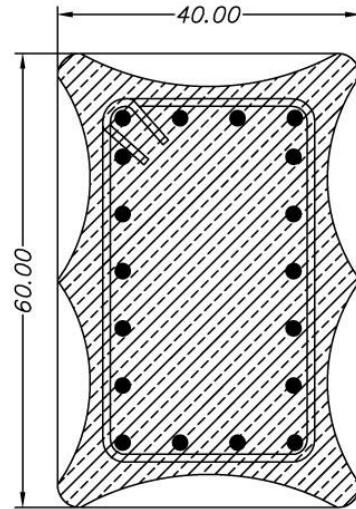
Exposure conditions	Fiber type	Environmental reduction factor C_E
Interior exposure	Carbon	0.95
	Glass	0.75
	Aramid	0.85
Exterior exposure (bridges, piers, and unenclosed parking garages)	Carbon	0.85
	Glass	0.65
	Aramid	0.75
Aggressive environment (chemical plants and wastewater treatment plants)	Carbon	0.85
	Glass	0.50
	Aramid	0.70



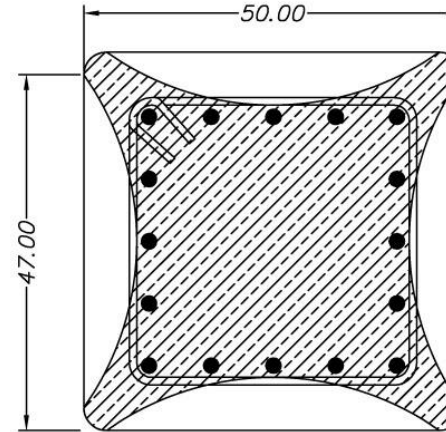
$A_e: 2218 \text{ cm}^2$
 $A_g: 2792 \text{ cm}^2$
 $k: 0.749 \text{ cm}^2$



$A_e: 1574 \text{ cm}^2$
 $A_g: 2092 \text{ cm}^2$
 $k: 0.752 \text{ cm}^2$



$A_e: 1875 \text{ cm}^2$
 $A_g: 2392 \text{ cm}^2$
 $k: 0.783 \text{ cm}^2$



$A_e: 1654 \text{ cm}^2$
 $A_g: 2492 \text{ cm}^2$
 $k: 0.663 \text{ cm}^2$





2. Determine the required maximum compressive strength of confined concrete

$$f'_{cc} = \frac{1}{0.85(A_g - A_{st})} \left(\frac{\phi P_{n,req}}{0.80\phi} - f_y A_{st} \right)$$

تعیین حداکثر مقاومت فشاری مورد نیاز
(حاصل از محصور شدگی)

3. Determine the maximum confining pressure due to the FRP jacket

$$f_\ell = \frac{f_{cc} - f'_c}{3.3\kappa_a}$$

تعیین فشار محصور شدگی حداکثر ناشی از استفاده FRP

$$\kappa_a = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{b}{h} \right)^2$$

$$\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \left[\left(\frac{b}{h} \right) (h - 2r_c)^2 + \left(\frac{h}{b} \right) (b - 2r_c)^2 \right] \rho_g}{3A_g - 1 - \rho_g}$$

محاسبه ضریب عملکرد مقطع

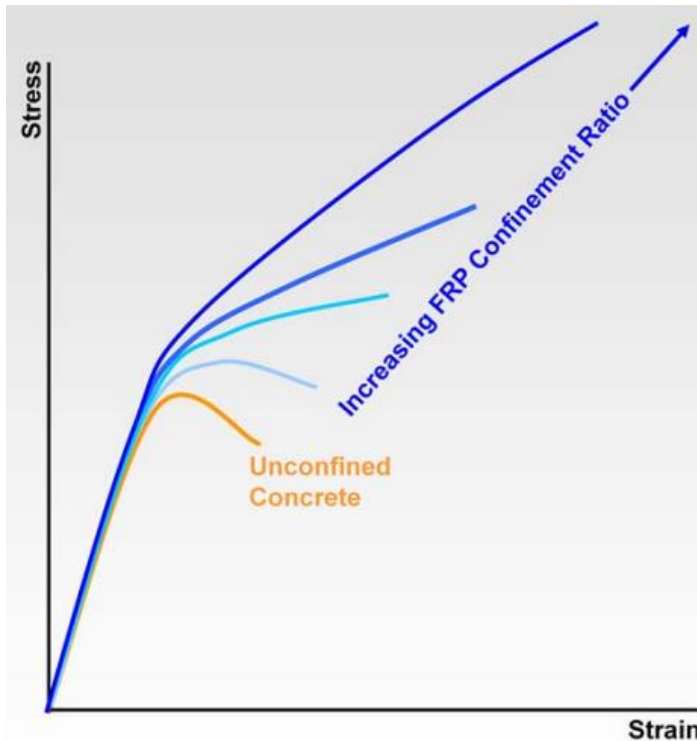
4. Determine the number of plies n

$$n = \frac{f_\ell \sqrt{b^2 + h^2}}{2E_f t_f \epsilon_{fe}} \quad \epsilon_{fe} = \kappa_e \epsilon_{fu}$$

محاسبه تعداد لایه های FRP



کنترل حداقل مقدار FRP – [Checking the minimum confinement ratio]



Light FRP confinement will exhibit “descending branch” and should be avoided.

$$\frac{f_l}{f'_c} \geq 0.08$$

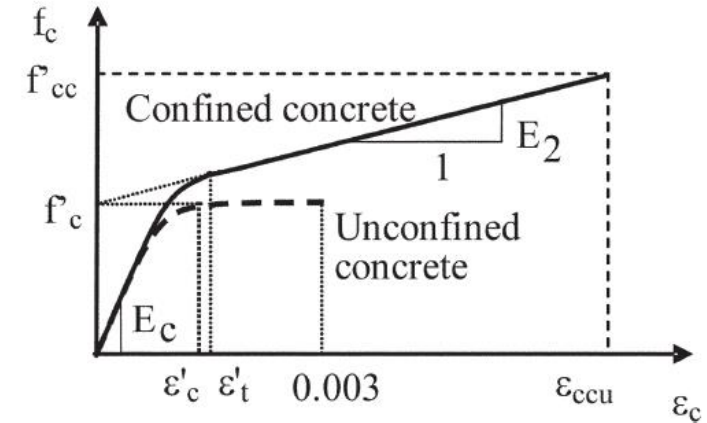


Fig. 12.1b—Stress-strain model for FRP-confined concrete (Lam and Teng 2003a).

It is important to note that a minimum amount of FRP reinforcement needs to be used to ensure the **bilinear model described**. For low levels of FRP confinement, a strain softening is still evident. In order to ensure that an ascending branch will be attained (and therefore an increase in strength), the ratio of the confining pressure to the unconfined compressive strength should be greater than 0.08.



ARG Retrofitting Company

Strengthening of rectangular Column with FRP
programmed by AliReza Khooyeh

Column Properties

Column width $b = 500$ mm
Column height $h = 700$ mm
concrete Cylindrical strength $f_c = 25$ Mpa
steel yeild strength $f_y = 400$ Mpa

$$r \geq \min \left\{ \frac{b}{6}, 35 \text{ mm} \right\}$$

Rounded Corner $r = 45$ mm OK
Gross Area of Column $A_g = 348258.5$ mm²
Total Steel Area $A_{st} = 8800$ mm²
Reinforcement restriction $ro = 0.02526859$

Phi Pn = 5581416 N

5581416.425 N

FRP باربری فشاری ستون بدون

ratio = 1.1

expected strength of column with FRP Pn req = 6139557.6 N

باربری مورد نیاز فشاری ستون با FRP

FRP Properties (Manufacturer's reported FRP system properties)

FRP product name CFRP300
FRP layer thickness $t_f = 0.17$ mm
FRP rupture Strength $f^*f_u = 3792$ N/mm
FRP strain at rupture point $e^*f_u = 0.0167$ mm/mm
FRP Elastic modulus $E_f = 227527$ N/mm²

Fiber type	Elastic modulus GPa	Ultimate strength GPa	Rupture strain minimum %
Carbon			
General purpose	230 to 240	2050 to 2300	1.2
High strength	220 to 240	3790 to 4820	1.4
U -high strength	220 to 240	4820 to 6200	1.3
High modulus	340 to 520	1720 to 3100	0.5
Ultra-high modulus	520 to 690	1380 to 2400	0.2
Glass			
E-glass	69 to 72	1860 to 2680	4.5
S-glass	86 to 90	3440 to 4140	5.4
Aramid			
General purpose	69 to 83	3440 to 4140	2.5
High performance	110 to 124	3440 to 4140	1.0

Table 9.1—Environmental reduction factor for various FRP systems and exposure conditions

Exposure conditions	Fiber type	Environmental reduction factor C_E
Interior exposure	Carbon	0.95
	Glass	0.75
	Aramid	0.85
	Carbon	0.85
Exterior exposure (bridges, piers, and unclosed parking garages)	Glass	0.65
	Aramid	0.75
Aggressive environment (chemical plants and wastewater treatment plants)	Carbon	0.85
	Glass	0.50
	Aramid	0.70

Compute the design FRP material properties

The column is located in an interior environment

Environmental reduction factor $C_e = 0.95$
 $f_{fu} = C_E f_u^* = 3602.4$ Mpa
 $e_{fu} = C_E e_{fu}^* = 0.015865$ mm/mm

Ultimate compressive strength of confine concrete

$$f'_{cc} = \frac{1}{0.85(A_g - A_{st})} \left(\frac{\phi P_{n, req}}{0.80 \phi} - f_y A_{st} \right) \rightarrow 28.720 \text{ Mpa}$$

Calculation of Shape Factor

$$\frac{A_g}{A_c} = \frac{1 - \left[\left(\frac{r}{b} \right) (h - 2r_c)^2 + \left(\frac{r}{b} \right) (b - 2r_c)^2 \right]}{3A_g} - P_g \rightarrow 0.50791656$$

$$\kappa_a = \frac{A_g}{A_c} \left(\frac{b}{h} \right)^2 \rightarrow 0.2591$$

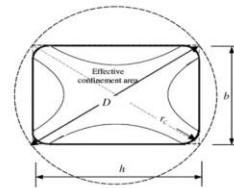


Fig. 12.3—Equivalent circular cross section (Lam and Teng 2003b).

ARG Retrofitting Company

Strengthening of rectangular Column with FRP
programmed by AliReza Khooyeh

Ultimate compressive strength of confine concrete with FRP

$$f_l = \frac{f_{cc} - f'_c}{3.3 \kappa_a} \rightarrow f_l = 4.34995596 \text{ Mpa}$$

Required Number of FRP layer

additional reduction factor $\psi = 0.95$

$$n = \frac{f_l \sqrt{b^2 + h^2}}{\psi f_2 E_f t_f e_{f_e}} \rightarrow n = 3$$

minimum confinement check

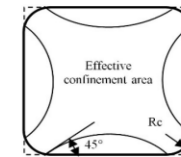
$f_l / f'_c = 0.17399824$ OK

maximum Strain compressive check

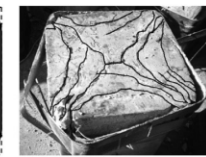
Verify that the ultimate axial strain of the confined concrete $\epsilon_{ccu} \leq 0.01$

$K_b = 0.600975$

$$\epsilon_{ccu} = \epsilon'_c \left(1.5 + 12 \kappa_b \frac{f_l}{f'_c} \left(\frac{\epsilon_{f_e}}{\epsilon'_c} \right)^{0.45} \right) = 0.007888 \text{ OK}$$



(a) Effectively confined concrete in a square column



(b) Dilated square column confined with carbon/epoxy jacket [19]



- ستون 60 در 60 با مقاومت بتن C25 ، Ratio=1.15 **بدون گردشگی گوشه های ستون = 4 لایه FRP**
- ستون 60 در 60 با مقاومت بتن C25 ، Ratio=1.15 با گردشگی گوشه 25 میلیمتر = **3 لایه FRP**
- ستون 60 در 60 با مقاومت بتن C25 ، Ratio=1.15 با گردشگی گوشه 35 میلیمتر = **3 لایه FRP**
- ستون 60 در 60 با مقاومت بتن C25 ، Ratio=1.15 با گردشگی گوشه 35 میلیمتر = **2 لایه FRP**



تذکر بسیار مهم: در شعاع های بالاتر حتما اثر کاهش سطح مقطع در تحلیل لحاظ شود.

Column Properties			
Column width	$b =$	600	mm
Column height	$h =$	600	mm
concrete Cylindrical strength	$f_c =$	25	Mpa
steel yeild strength	$f_y =$	420	Mpa
Rounded Corner	$r =$	35	mm
Gross Area of Column	$A_g =$	358946.5	mm ²
Total Steel Area	$A_{st} =$	9800	mm ²
Reinforcement restriction	$\rho_r =$	0.02730212	
	$\Phi P_n =$	5998388.83	N
	ratio =	1.15	





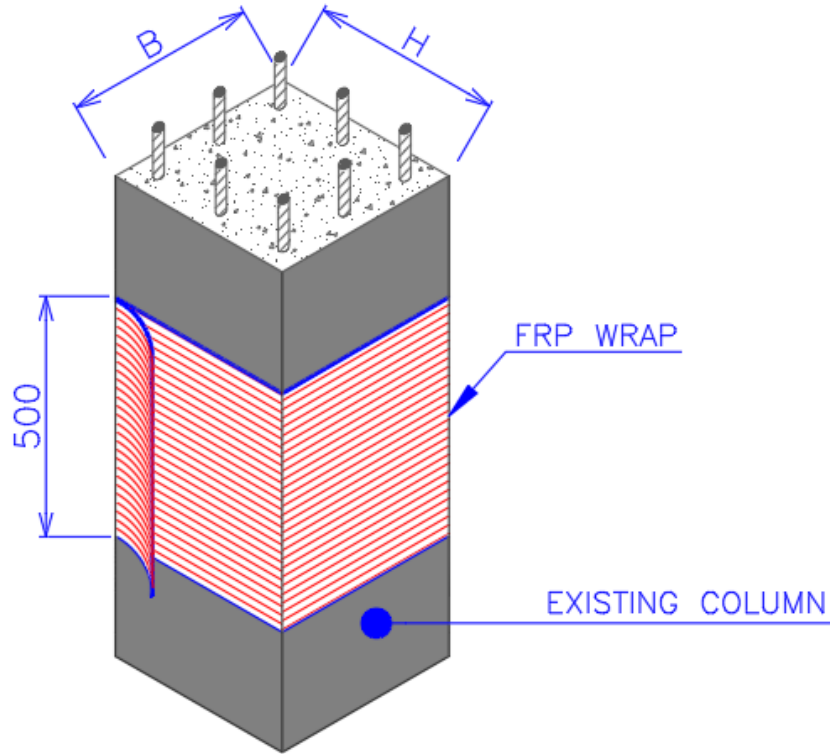
با توجه به روابط اسلاید قبل، میزان الیاف FRP تابع موارد ذیل میباشد:

1. مقاومت بتن موجود
2. سطح مقطع ستون
3. مقدار فولاد به کار رفته
4. آرایش خاموت ها
5. مقدار خاموت های موجود
6. میزان انحنای گوشه ستون

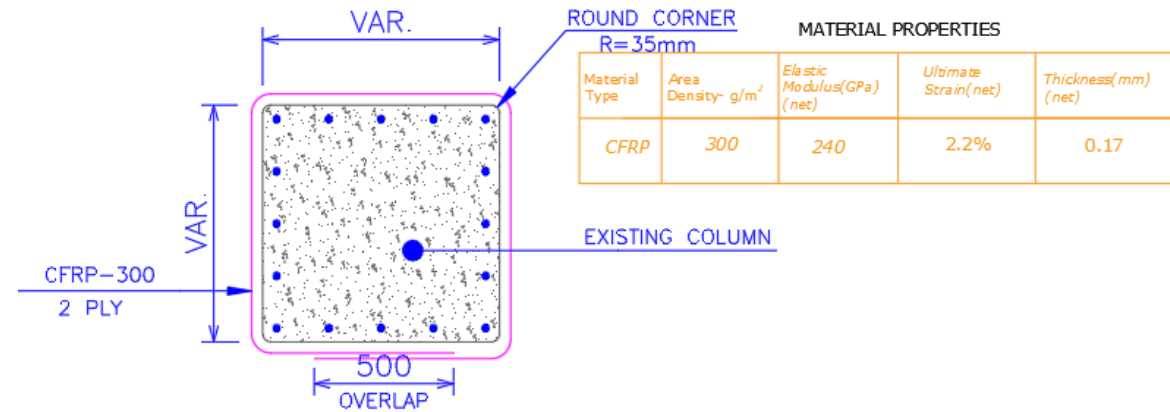


در نقشه های تقویت موارد ذیل را باید طراح مشخص نماید:

1. مشخصات الیاف کربن (جهت الیاف، ضخامت الیاف،
2. میزان گرد شدگی گوشه های ستون ها
3. مقدار اورلپ در لایه ها
4. طول مهارى هر لایه و نحوه قطع آن ها
5. میزان گپ نزدیک تکیه گاه ها
6. نحوه انکر کردن الیاف



SCHEMATIC VIEW OF RETROFITTED COLUMN
AXIAL OR SHEAR STRENGTHENING



RETROFITTED COLUMN SECTION
AXIAL OR SHEAR STRENGTHENING



جزئیات ارائه شده در FEMA-547

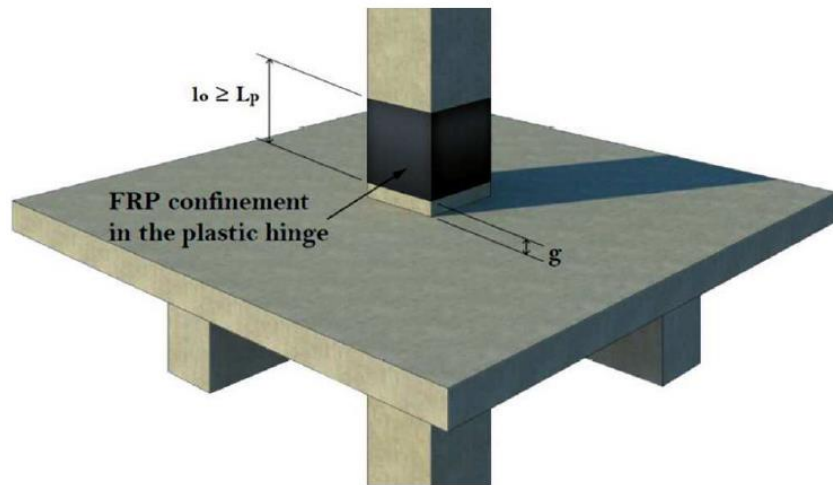
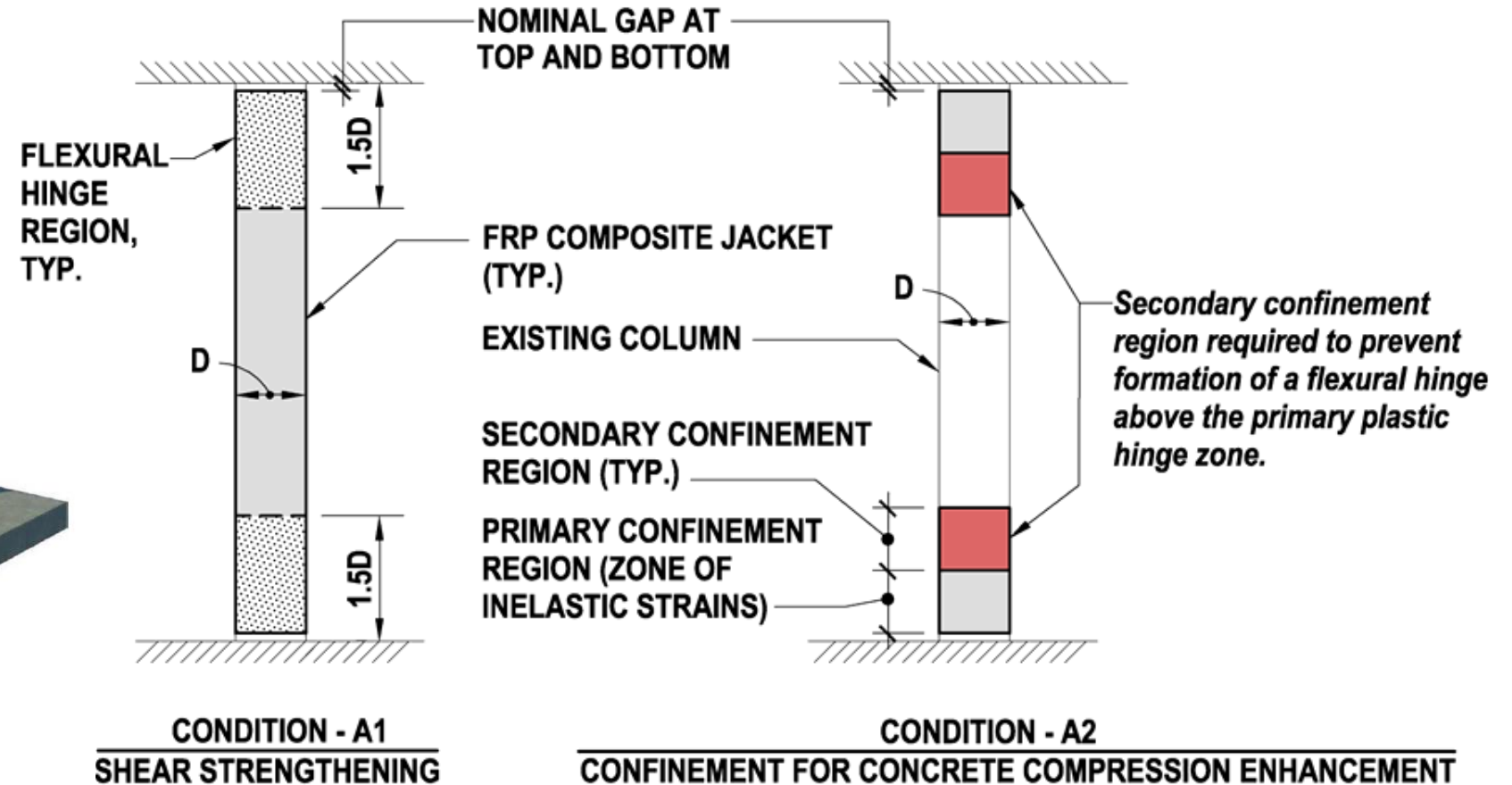
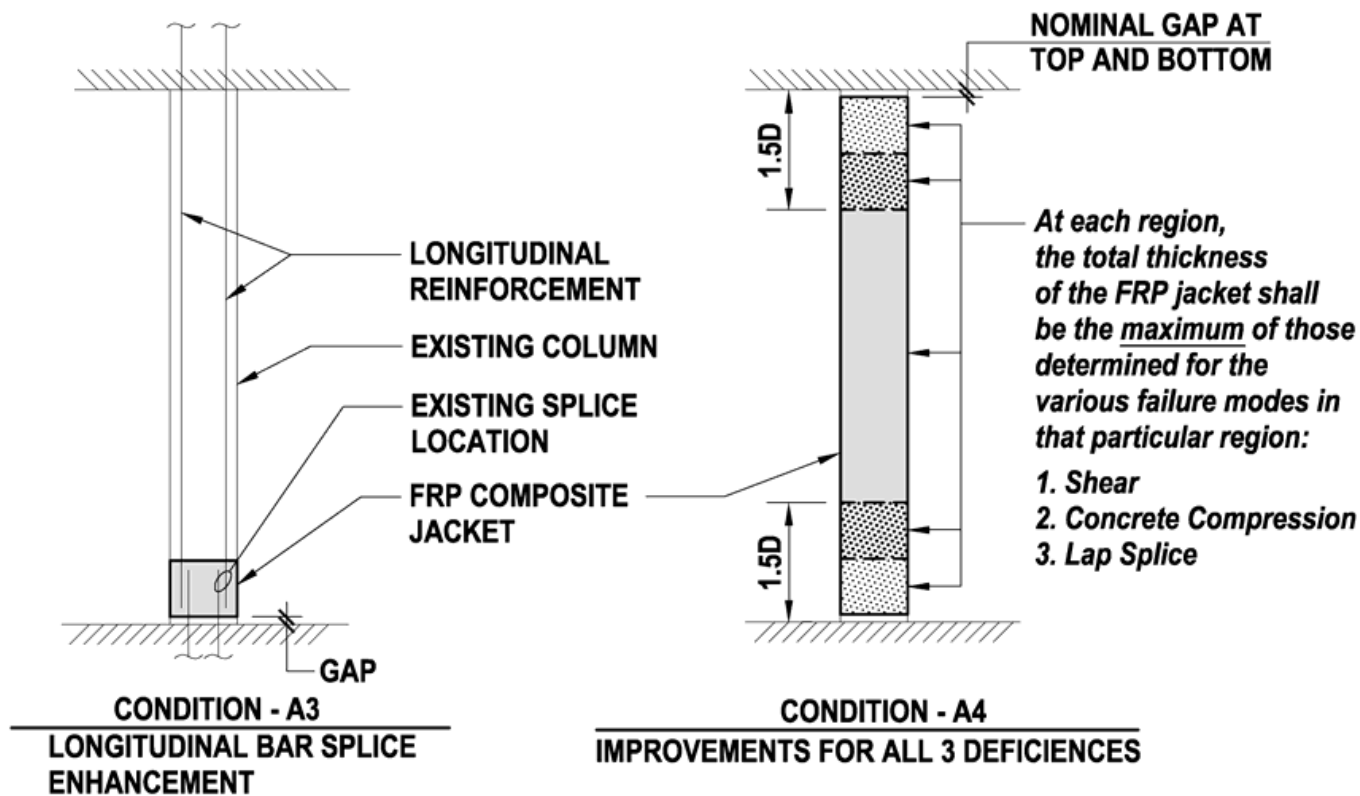


Fig. 13.3.2—Column plastic hinge confinement.





جزئیات ارائه شده در FEMA-547



- NOTES: 1. AND DENOTES SLAB, BEAM OR FOOTING.
2. SEE Figure 12.4.4-1B FOR COLUMN SECTION.

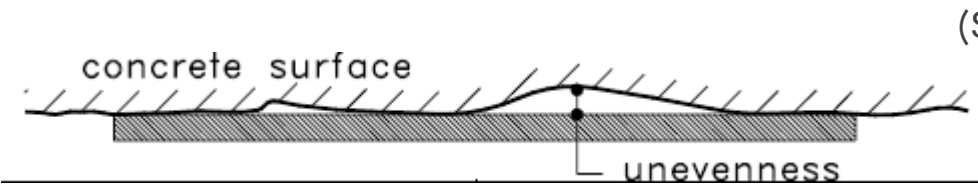


جهت مدلسازی مقطع تقویت شده در Etabs، پس از انجام محاسبات ارائه شده به صورت دستی متریال جدید با f'_c جدید (حاصل شده از محصور شدگی FRP) را در Etabs معرفی می کنیم در متریال جدید تعریف شده مقدار E (مدول الاستیسته) نباید تغییر کند. سپس متریال جدید را برای مقاطع تقویت شده استفاده می کنیم

ETABS®

1. ستون میبایست عاری از نواحی مقعر باشد.

Remove weak concrete and contaminations, roughen surface, round corners and make dust free



2. سطوح شن زده پیش از نصب الیاف می بایست ترمیم شوند. (SURFACE PREPARATION)

3. در استفاده از لمینت های FRP سطح یکدست اهمیت بیشتری دارد

4. پس از اتمام نصب الیاف و عمل آوری چسب، لازم است از الیاف نصب شده محافظت موقت یا دائمی صورت پذیرد (Finishing). لایه محافظ (OVERCOATING) می بایست این الیاف را از ضربه، آتش و آسیب دیگری محافظت نماید.



تقویت خمشی تیر بتنی به روش FRP

Flexural Strengthening Of Concrete Beams Using FRP Method



تقویت به شیوه FRP < ضوابط تحلیل و طراحی > تقویت خمشی تیر بتنی

راستای الیاف در در ناحیه کششی و در جهت طولی عضو باید باشد.

با استفاده از FRP افزایش مقاومت خمشی 10 الی 160 درصد حاصل می گردد.

افزایش مقاومت خمشی تا 40 درصد به سهولت قابل دستیابی می باشد (با شرط تامین مهار)

استفاده از FRP در تیرها موجب کاهش قابل توجه ظرفیت انحنای دوران (شکل پذیری) در قسمت های تقویت شده می باشد.

تیر تقویت شده به روش FRP باید بتواند نیروی برشی مربوط به افزایش ظرفیت خمشی مقطع را تحمل کند. (یا با استفاده از الیاف در جهت عرضی مقاومت برشی تیر نیز متناسب با مقاومت خمشی تیر افزایش یابد)

ایجاد وصله پوششی در الیاف در نواحی که نیروی کشش زیر تیر حداکثر می باشد ممنوع است. (در نواحی که میزان نیروی کشش کمتر از 60 درصد نیروی Debading باشد وصله الیاف مجاز است- فقط تحت بار استاتیکی)

استفاده از بیش از 5 لایه الیاف توصیه نمی گردد و بهتر است به سراغ FRP Laminet رفت.



تقویت به شیوه FRP < ضوابط تحلیل و طراحی > تقویت خمشی تیر بتنی مودهای خرابی FRP در تیرهای

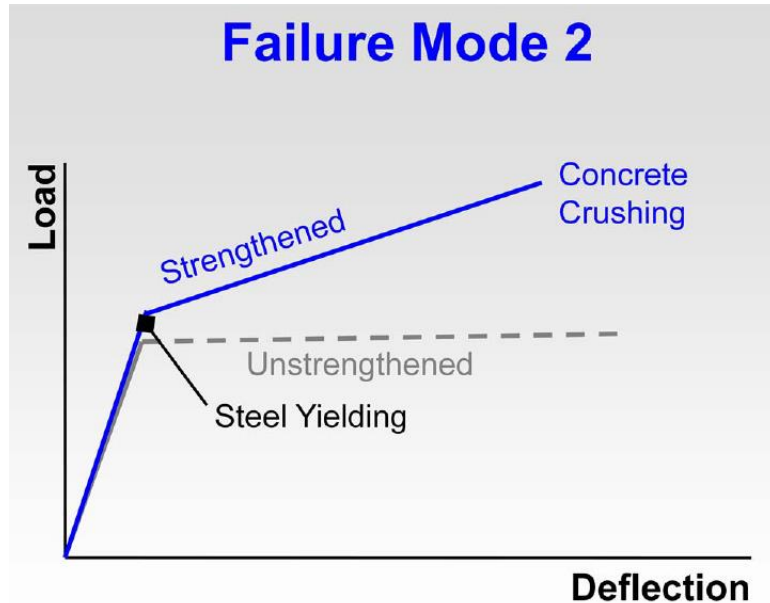
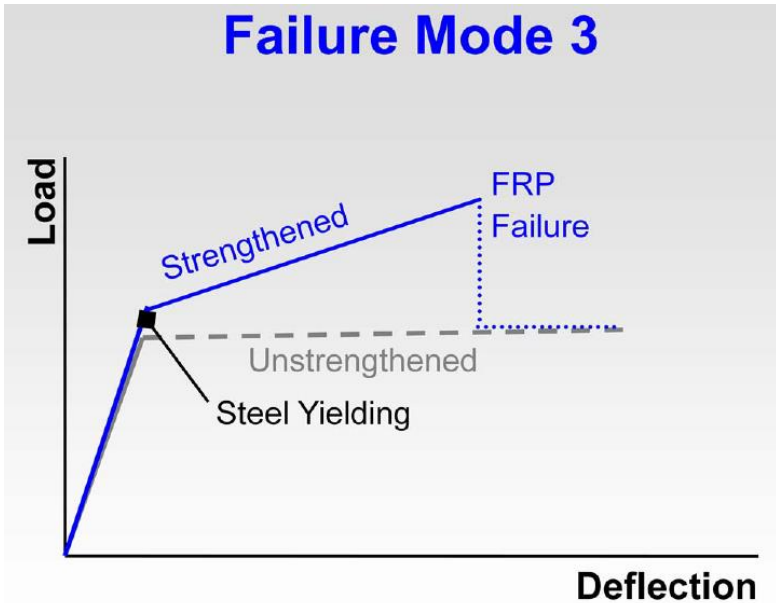
1. crushing of concrete prior to steel yield
2. yield of steel followed by concrete crushing
3. yield of steel followed by FRP failure
4. shear / tension delamination in concrete cover
5. FRP debonding from substrate (FRP debonding)



1. گسیختگی بتن فشاری پیش از تسلیم فولاد کششی
2. تسلیم فولاد کششی پیش از گسیختگی بتن فشاری
3. تسلیم فولاد کششی پس از گسیختگی لایه های FRP
4. تخریب کاور در اثر کشش یا برش
5. جداسدگی FRP از سطح بتن

The desired mode of failure is usually mode 2 or 3.

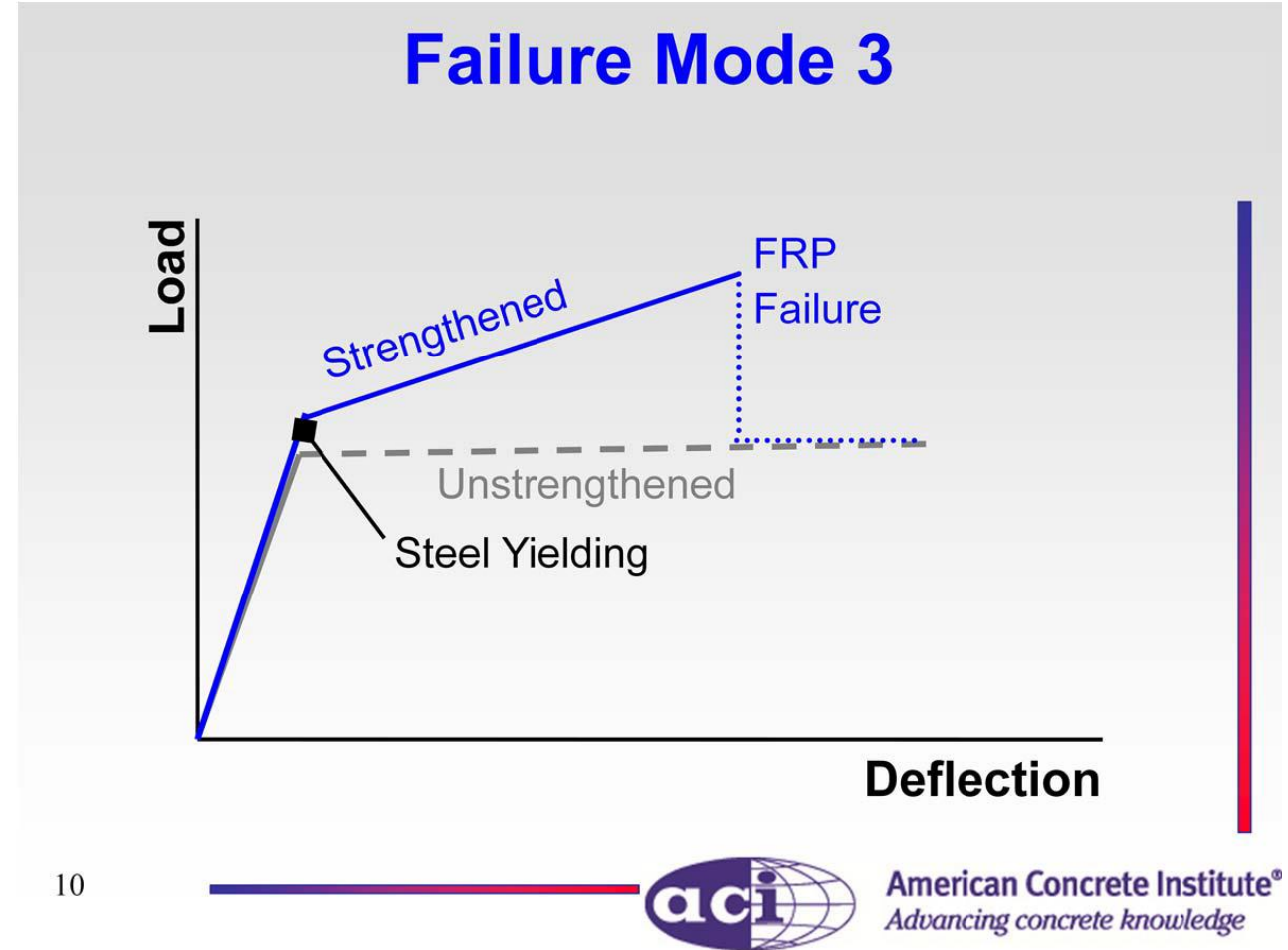
به منظور جلوگیری از به وجود آمدن هر کدام
از این 5 مود خرابی چه عملیاتی باید انجام داد؟

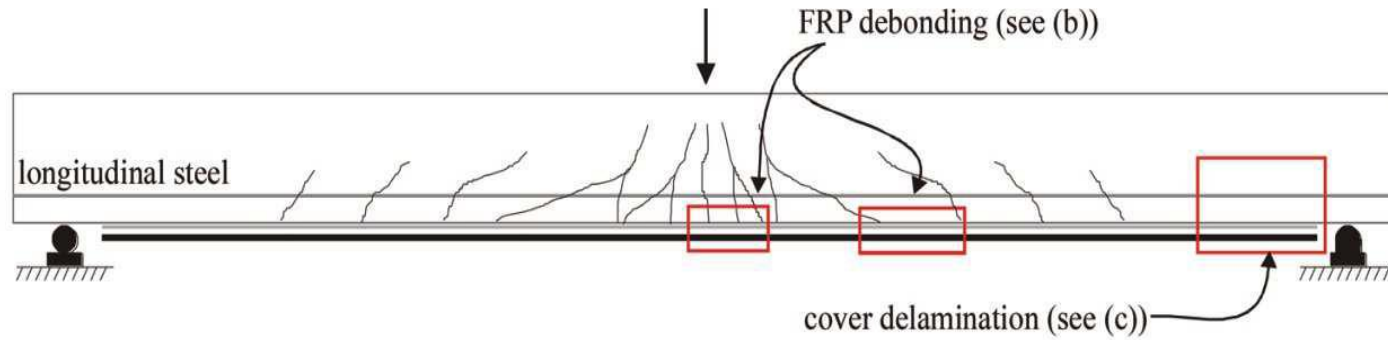




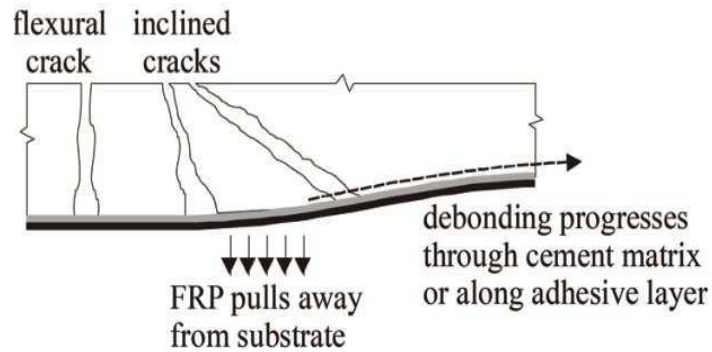
مود شکست سوم یک مود شکست ایده آل می باشد چرا که حتی با گسیختگی FRP ، میلگردهای موجود در مقطع همچنان می توانند در باربری و مقاومت خمشی نقش خود را ایفا کنند

significant deformation is attained by significant post-yield elongation of the existing steel reinforcement. (Also note with this failure mode that once the FRP fails, the beam does still have some residual strength and deflection capacity based on the original unstrengthened section.)

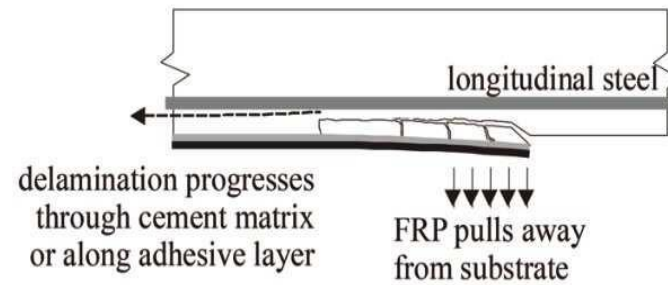




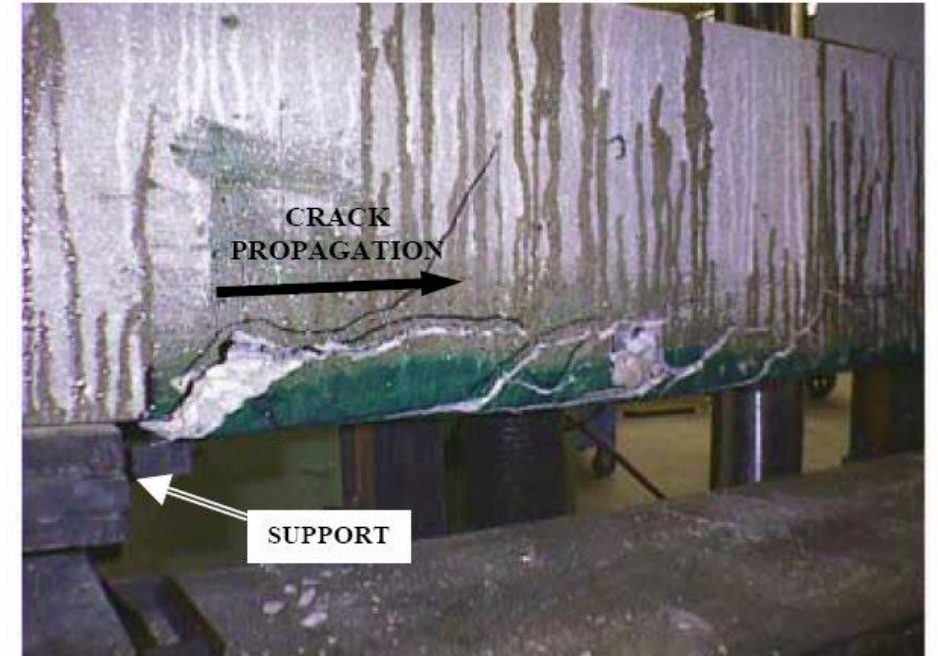
(a) Behavior of flexural member having bonded reinforcement on soffit



(b) Debonding initiated by flexural and/or shear cracks



(c) Cover delamination initiated at curtailment of bonded FRP reinforcement



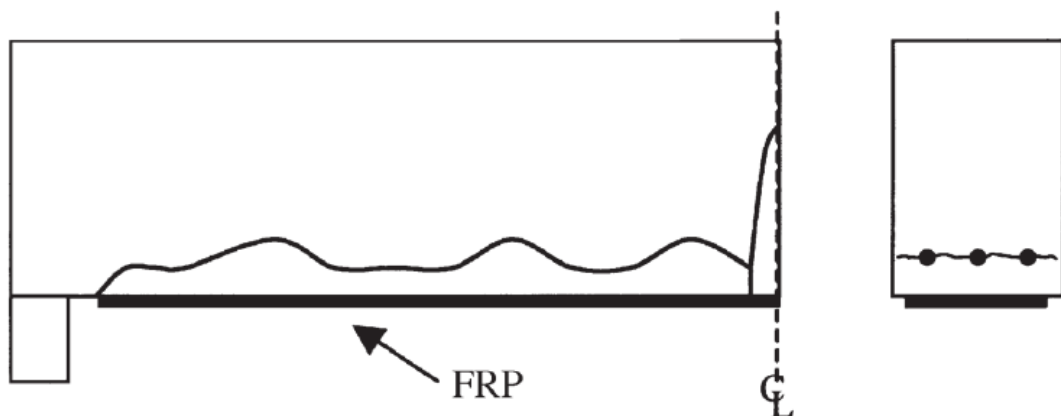
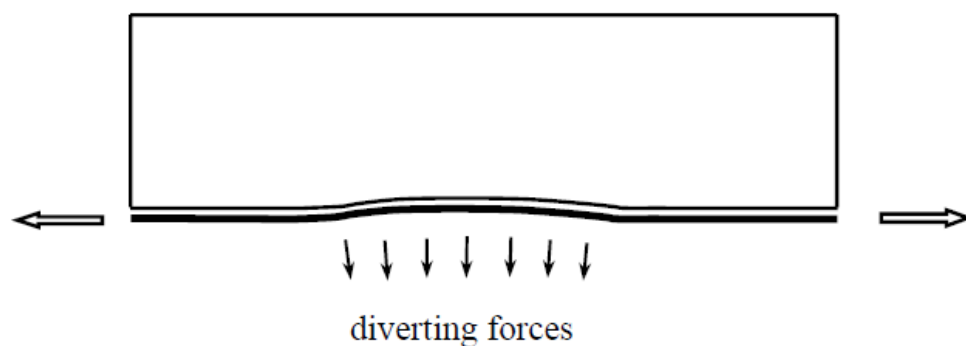


Fig. 14.1.2a—Delamination caused by tension failure of the concrete cover.



Peeling-off caused by unevenness of concrete surface.

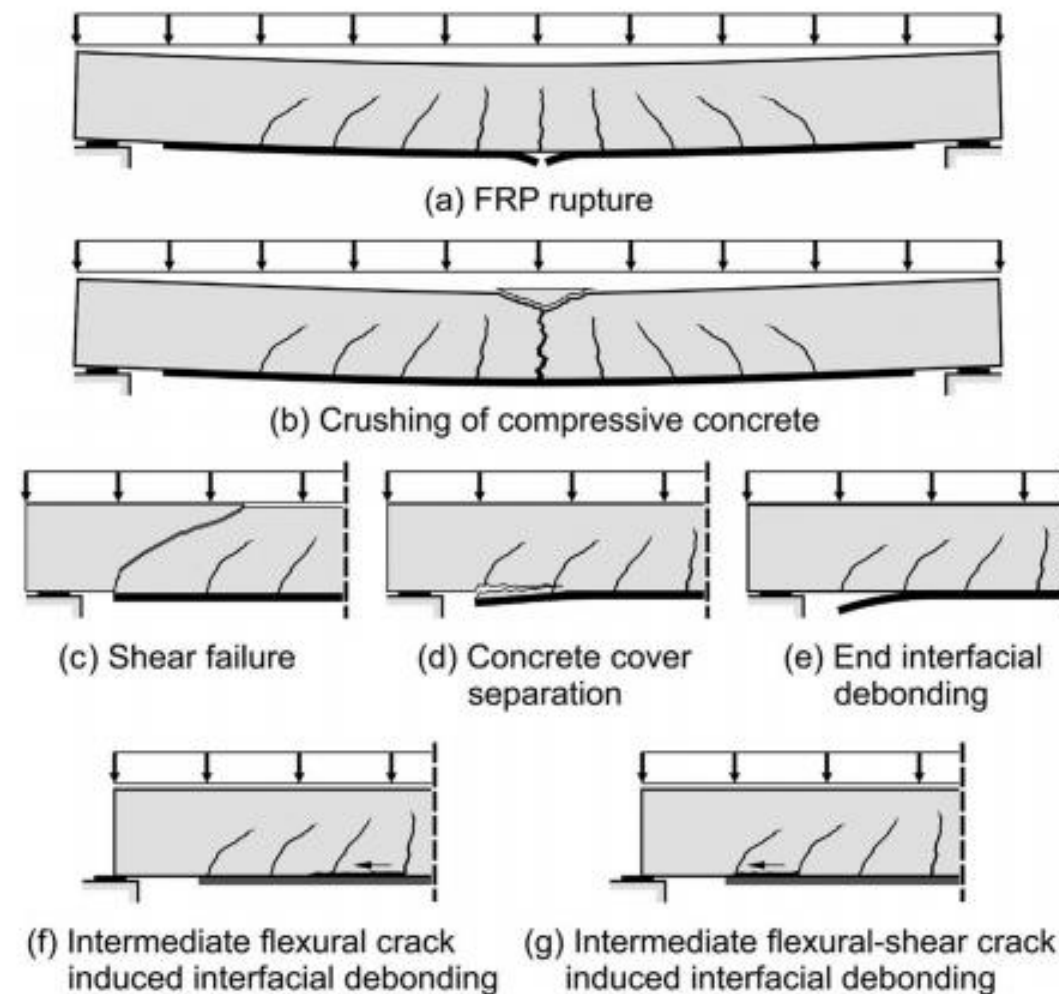
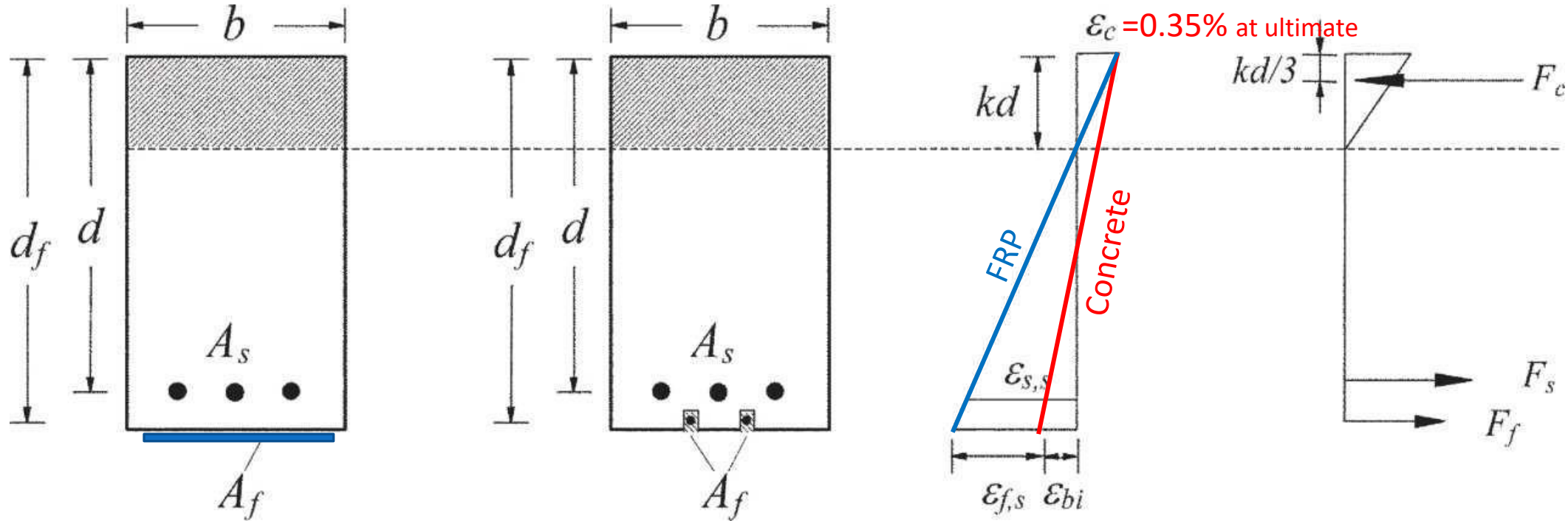


Figure 1: Failure modes of RC beams strengthened with FRP [35]



$$\epsilon_{fd} = 0.41 \sqrt{\frac{f'_c}{nE_f t_f}} \leq 0.9\epsilon_{fu}$$

$$\epsilon_{bi} = \frac{M_{DL}(d_f - kd)}{I_{cr} E_c}$$



این رابطه بر اساس آزمایشات فراوان حاصل شده است.

$$\epsilon_{fd} = 0.41 \sqrt{\frac{f'_c}{nE_f t_f}} \leq 0.9\epsilon_{fu} \quad (\text{SI})$$

مطابق با این رابطه ، کرنش جداشدگی الیاف از سطح بتنی به عوامل زیر وابسته است:

1. مقاومت فشاری بتن
2. تعداد و ضخامت لایه ها
3. مدول یانگ الیاف

آزمایشات نشان می دهد با مهار مناسب الیاف می توان به طور کامل از جداشدگی (ور آمدن) الیاف جلوگیری کرد. معمولاً این پارامتر در حدود 0.6 الی 0.9 کرنش گسیختگی حاصل می گردد.



The maximum strain that can be achieved in the FRP reinforcement

کرنش موثر: کرنش الیاف FRP در زمانی که مقطع گسیخته می شود (concrete crushing, FRP debonding, etc) رفتار الیاف 100 درصد خطی و الاستیک می باشد بنابراین کرنش ها دقیقا متناسب با تنش ایجاد شده در الیاف تغییر می کنند.

عمق موثر الیاف در مقطع

فاصله آخرین
تار فشاری تا تار خنثی

کرنش ورامدن الیاف
debonding strain

$$\epsilon_{fd} = 0.41 \sqrt{\frac{f'_c}{nE_f t_f}} \leq 0.9\epsilon_{fu}$$

$$\epsilon_{fe} = \epsilon_{cu} \left(\frac{d_f - c}{c} \right) - \epsilon_{bi} \leq \epsilon_{fd}$$

کرنش اولیه در بتن
initial strain of concrete

از لحاظ کردن تمامی پارهای وارده بر عضو در زمان تقویت به شیوه FRP حاصل می شود.
بر اساس وضعیت واقعی مقطع (ترک خورده یا ترک نخورده)

$$\epsilon_{bi} = \frac{M_{DL} (d_f - kd)}{I_{cr} E_c}$$













تقویت به شیوه FRP < تقویت فونداسیون با الیاف FRP > مهار الیاف ها











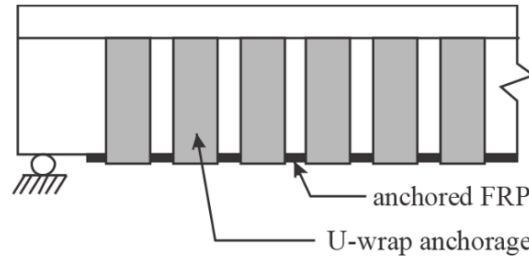




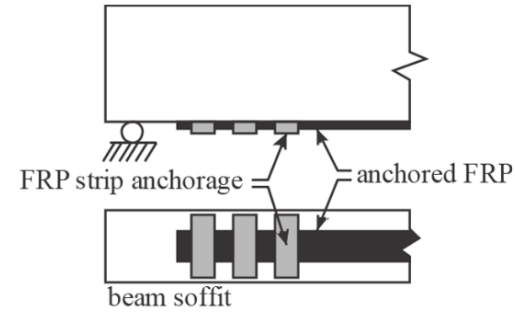
FOCUS ON FIBER ANCHORS



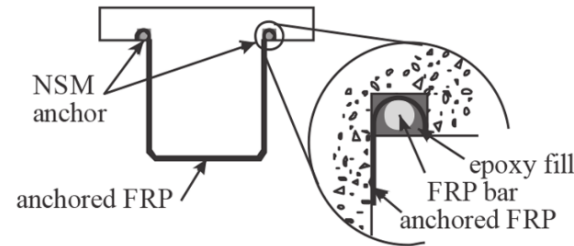
FRP anchorage systems



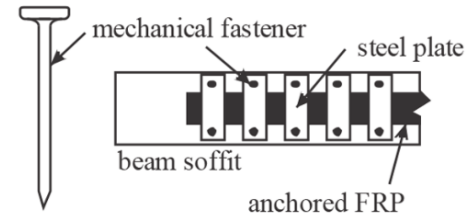
(a) U-wraps



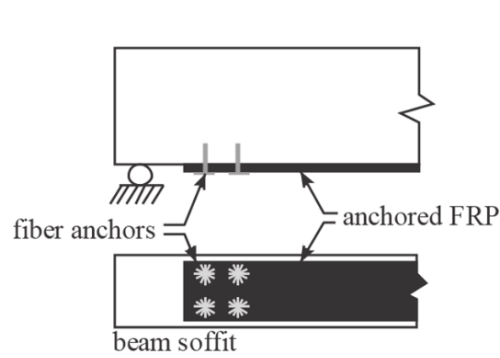
(b) FRP strips



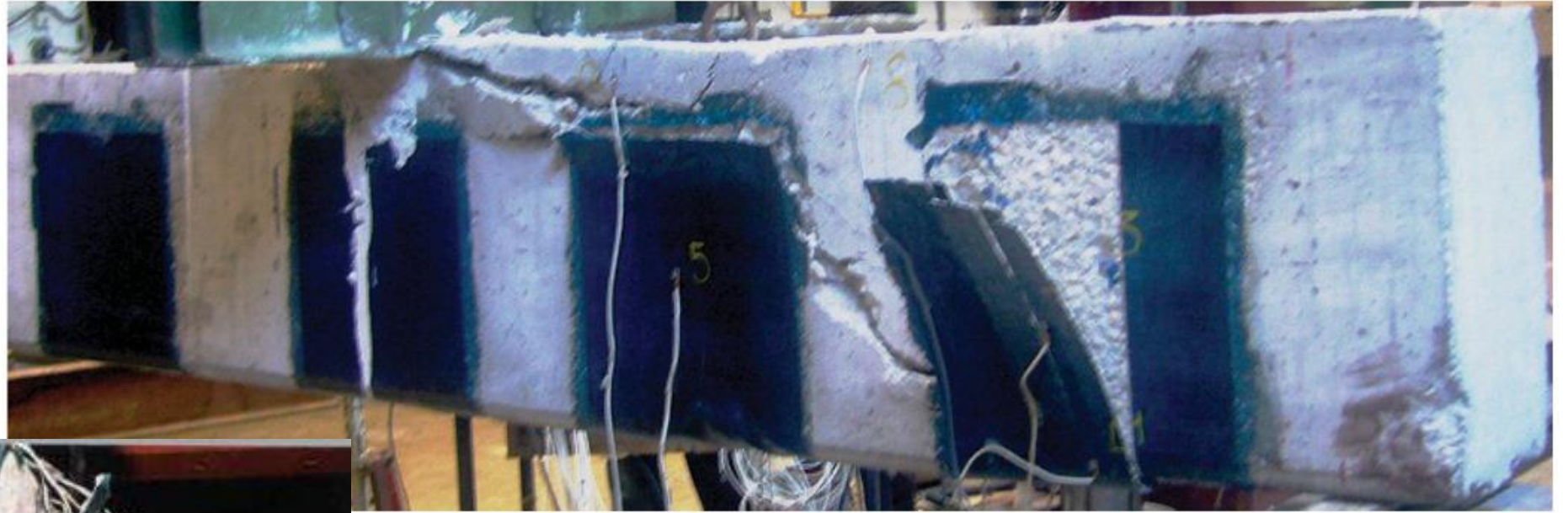
(c) NSM anchor

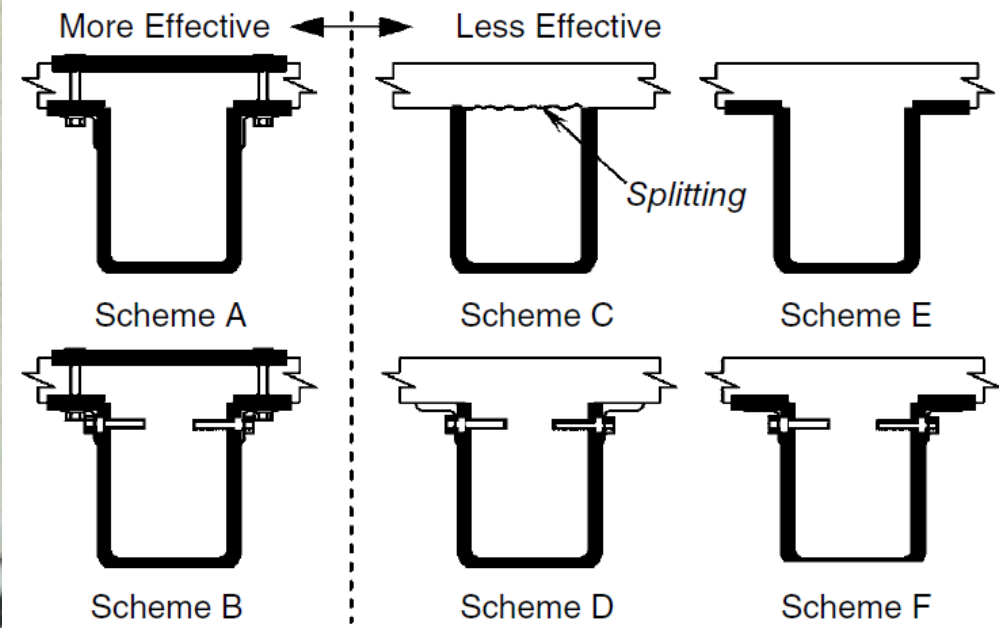
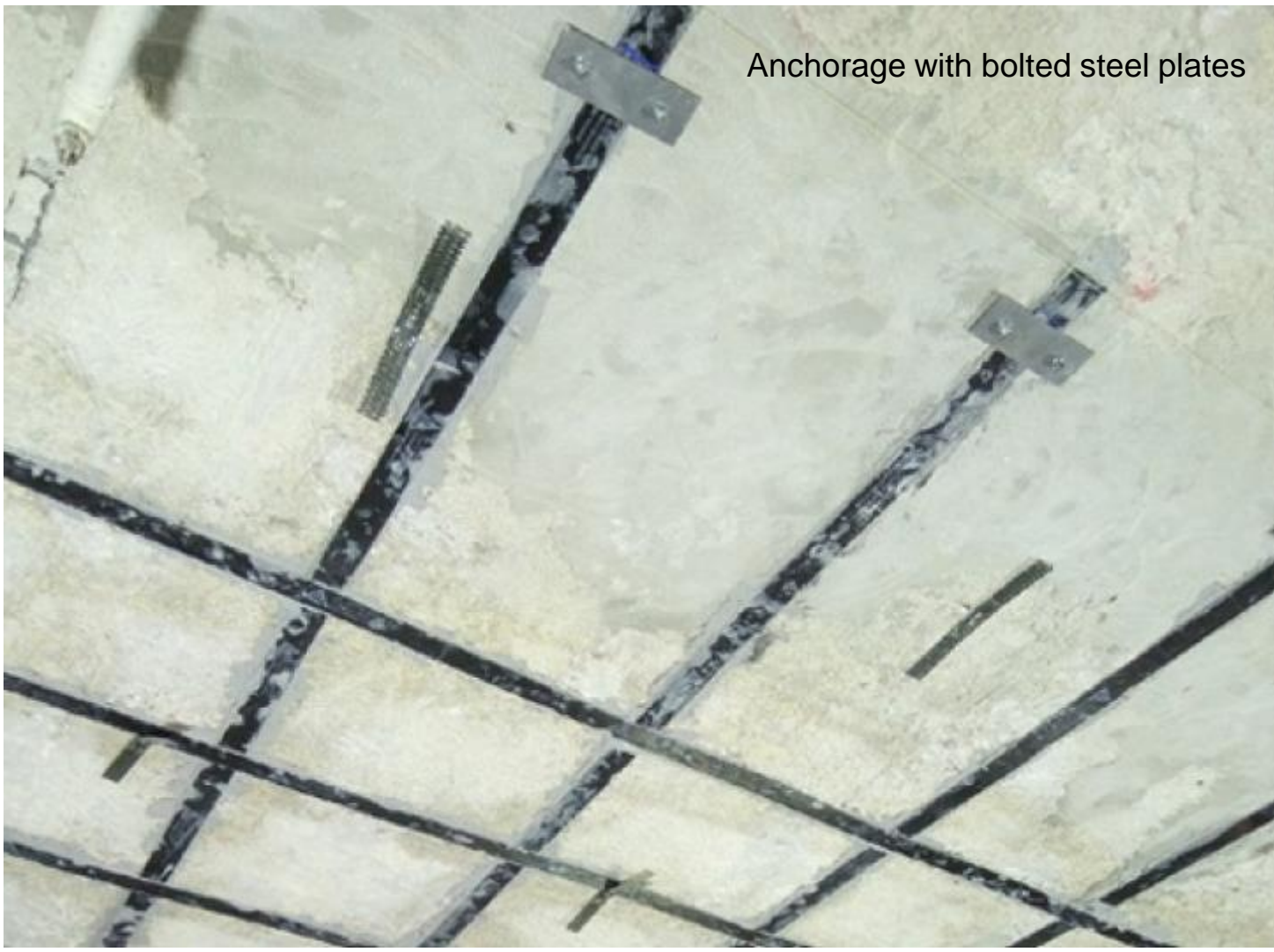


(d) Mechanical fasteners



(e) Fiber anchors





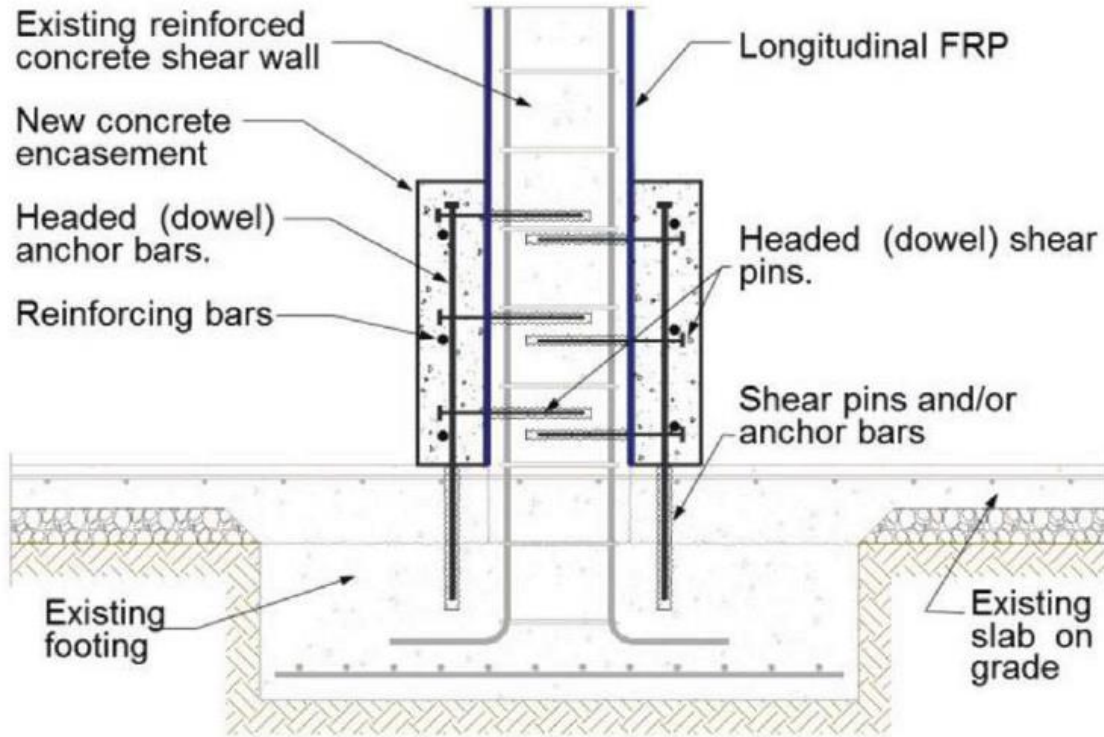
Different FRP mechanical anchorage systems



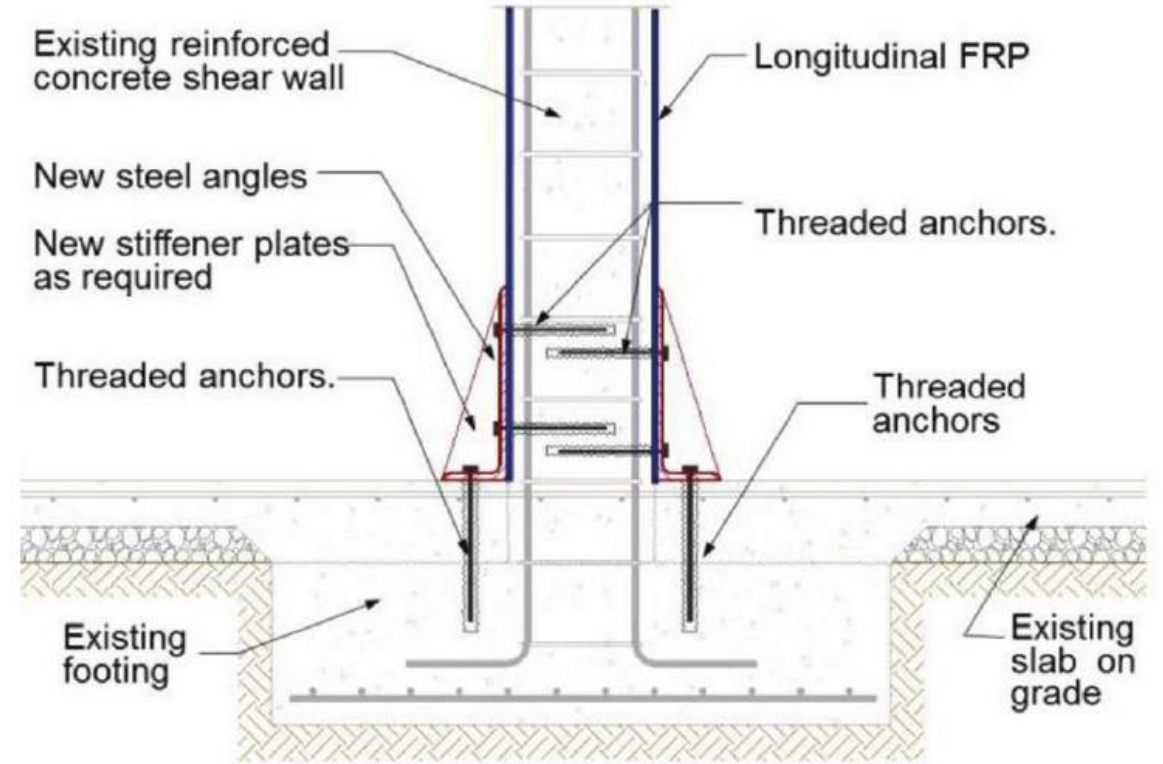


Anchorage of U-shaped FRP wraps using FRP strings.



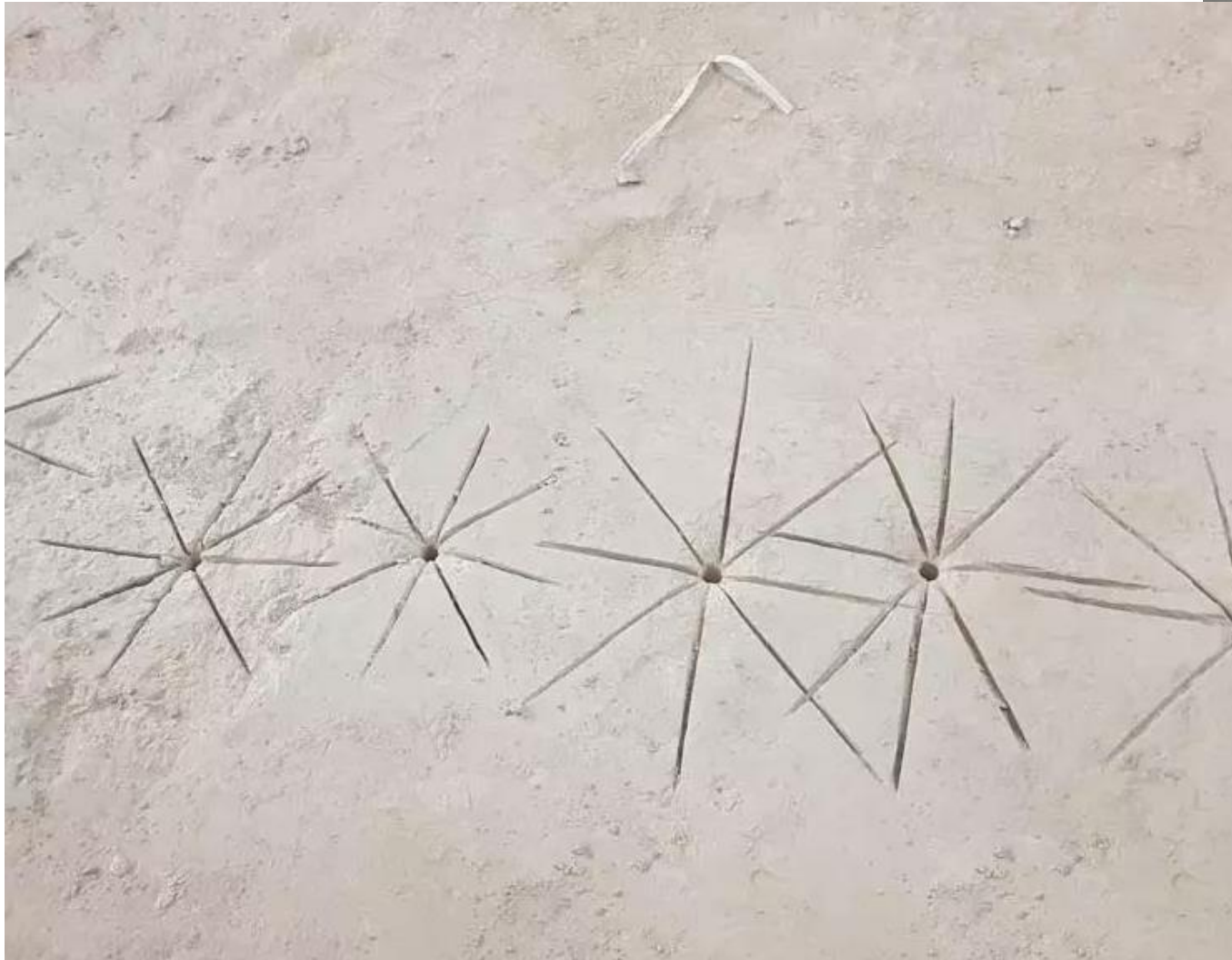


(a) Anchorage with concrete encasement



(b) Anchorage with steel angles







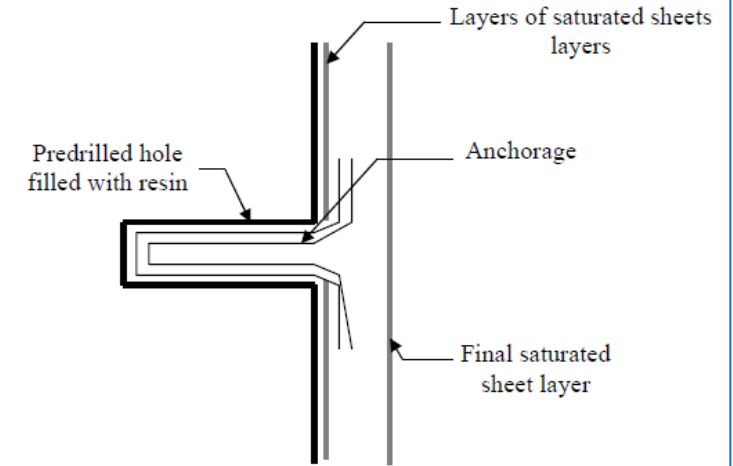
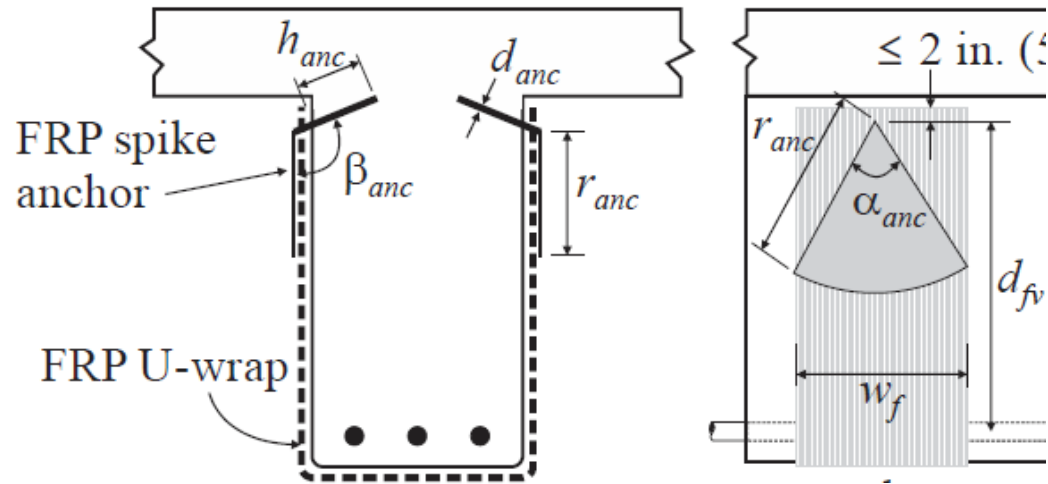


Fig. 7-7: Section of the anchor system.

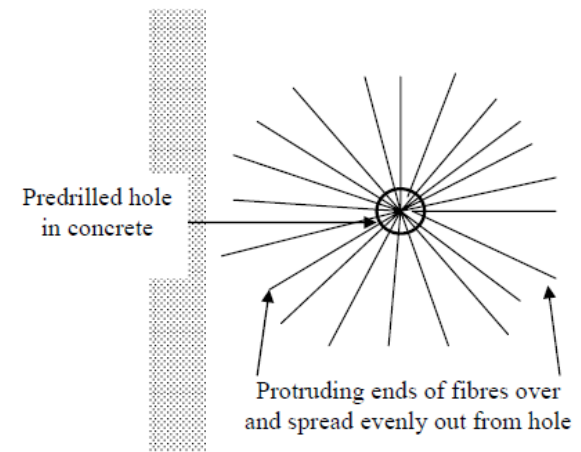
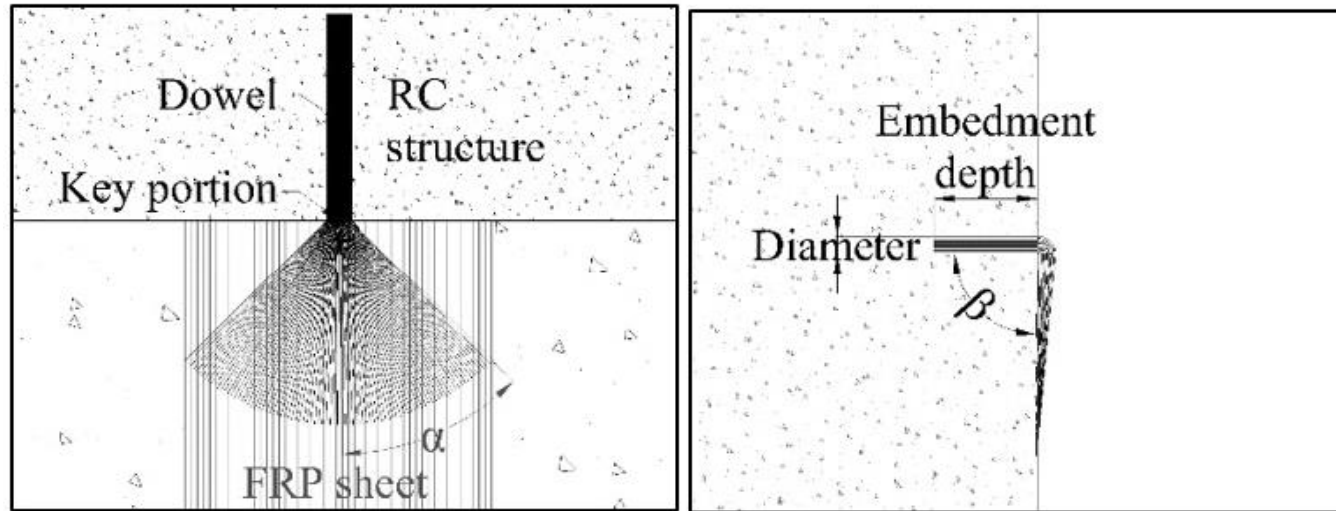
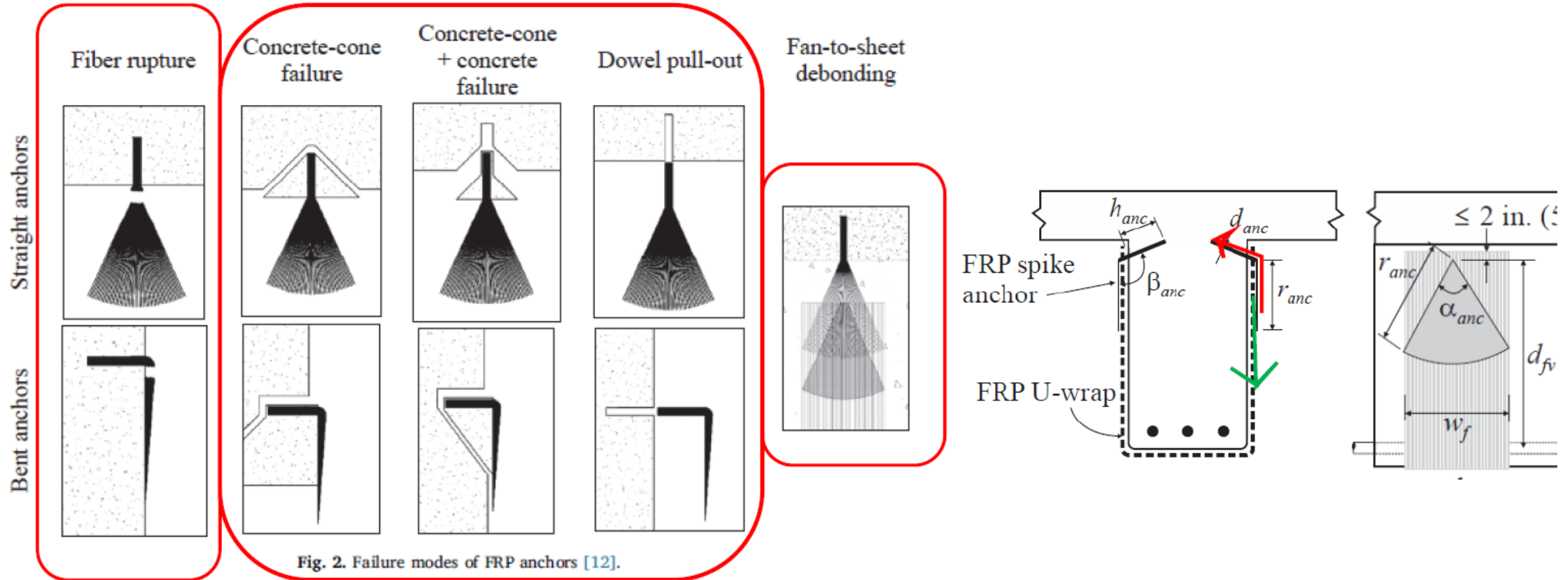


Fig. 7-8: Top view of the anchor system.

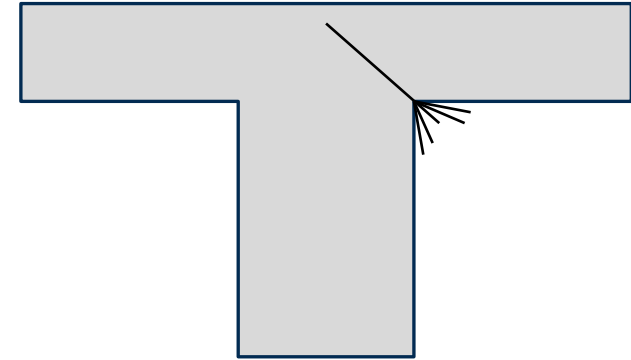


Understanding & Designing Fiber Anchors



Design approach for FRP spike anchors in FRP-strengthened RC structures

Enrique del Rey Castillo^{a,*}, Ravi Kanitkar^b, Scott T. Smith^c, Michael C. Griffith^d,
 Jason M. Ingham^a





Anchor Fiber Rupture

STRAIGHT ANCHORS

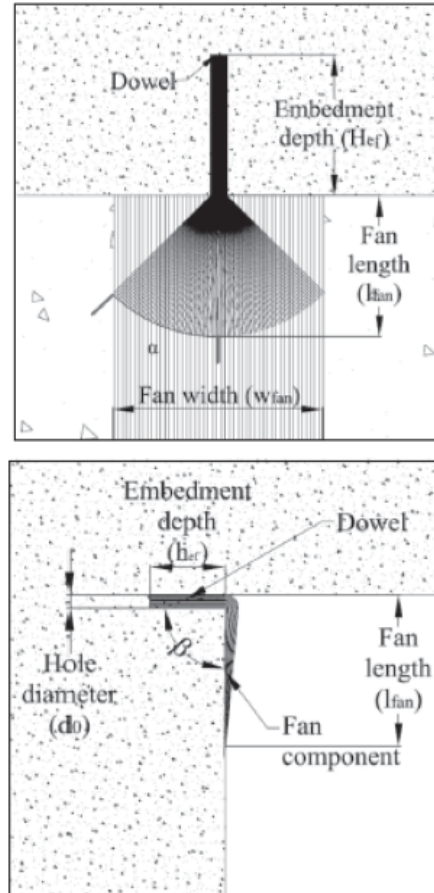
$$\bar{N}_{fr} = 4.9E_a \varepsilon_a 10^{-3} A_{dowel}^{0.56} \left(\frac{90 - \alpha}{90} \right)$$

$$N_{fr}^{95\%} = 3.1E_a \varepsilon_a 10^{-3} A_{dowel}^{0.62} \left(\frac{90 - \alpha}{90} \right)$$

ANCHORS INSERTED AT 90°

$$\bar{N}_{fr} = 3.0E_a \varepsilon_a 10^{-3} A_{dowel}^{0.56} \left(\frac{90 - \alpha}{90} \right)$$

$$N_{fr}^{95\%} = 2.2E_a \varepsilon_a 10^{-3} A_{dowel}^{0.62} \left(\frac{90 - \alpha}{90} \right)$$



Key findings from available research:

- Ultimate tensile capacity of anchors tends to be lower (60% or so) that FRP strips with equivalent amount of fiber.
- Tensile capacity of anchors is a function splay angle (α) and insertion angle (β).
- Anchor capacity is not linear based on size, i.e. twice the anchor area doesn't mean twice the tensile capacity.



Carbon Spike Anchor- CSA™

TECHNICAL DATA

Tensile Strength	4.90 GPa
Tensile Modulus	230 GPa
Ultimate Elongation	1.7%
Shelf life	10 years





Anchor Pullout in Concrete



(a)



(b)



(c)



(d)



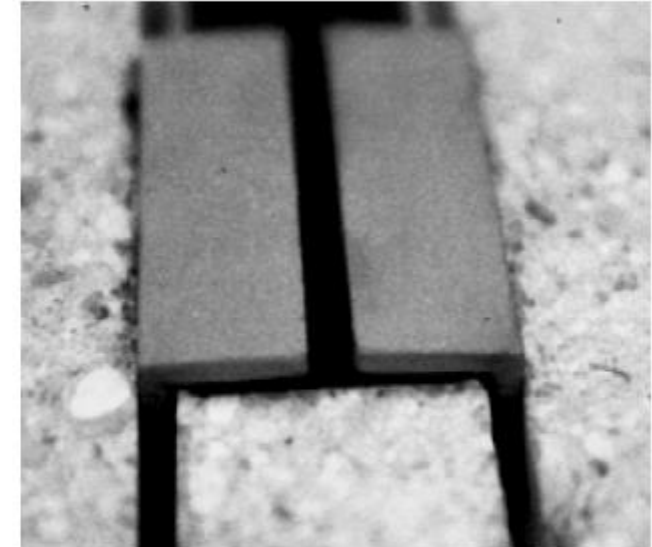
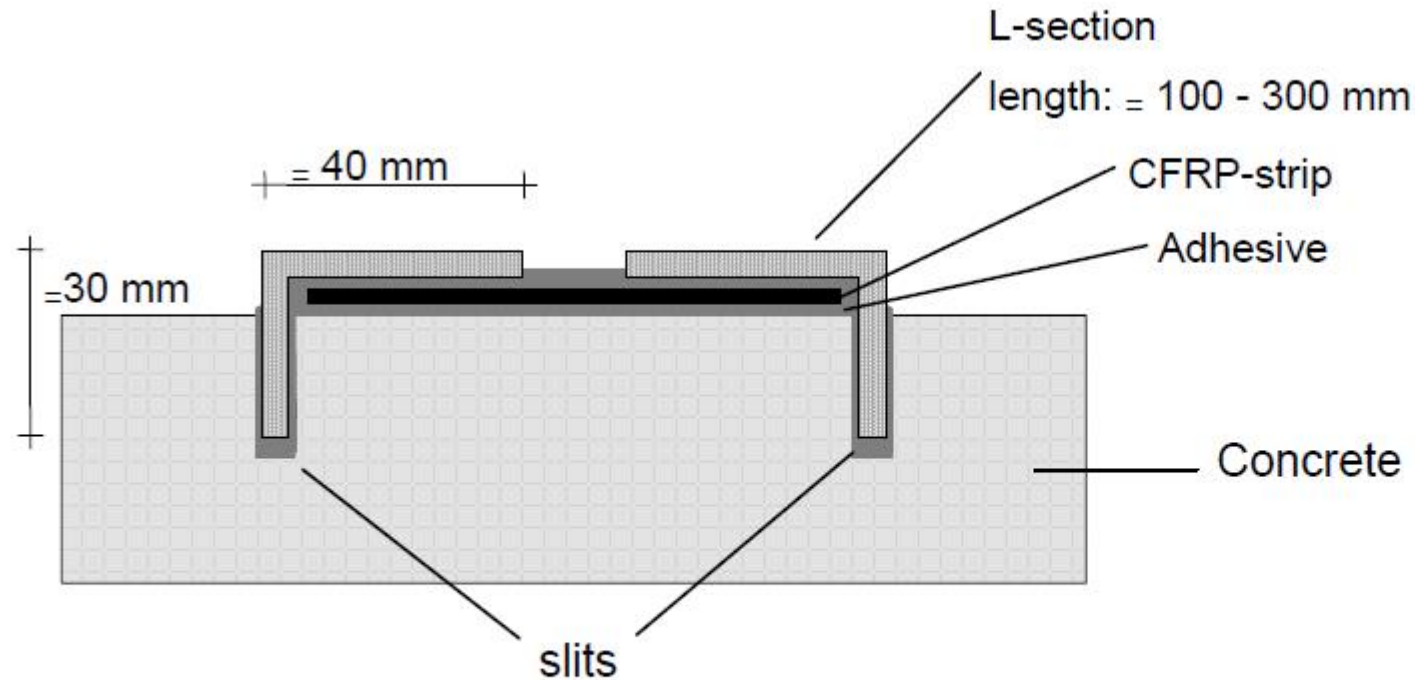


Fig. 7-6: Anchorage for CFRP strips, special anchorage system (Zehetmaier 2000).



نمونه نقشه تقویت تیر به روش الیاف

جهت الیاف مشخص باشد . لایه ها شماره گذاری شوند (بر اساس توالی اجرای لایه ها) .

