

## Treball final de Grau

**Estudi:** Grau en Enginyeria Mecànica

**Títol:** Estudi del despreniment prematur entre fissures del reforç FRP en bigues de formigó armat.

**Resum del Treball Final de Grau**

**Alumne:** Martí Ribas i Oliveras

**Tutors:** Cristina Barris Peña i Alba Codina le Boudal

**Departament:** EMCI

**Àrea:** MMCTE

**Convocatòria (mes/any):** Setembre de 2021

## 1.Introducció

Aquest treball consisteix en la realització d'un estudi analític i paramètric del despreniment del material compost, en anglès *Fibre Reinforced Polymer* (FRP), de bigues de formigó armades amb acer reforçades amb aquests materials.

En la construcció, l'ús dels materials compostos FRP, és un dels mètodes més utilitzats per millorar la capacitat resistent d'elements de formigó armat ja existents. Així es pot aplicar una càrrega final superior a l'obtinguda en comparació amb elements no reforçats.

Existeixen dues formes de reforçar una biga amb FRP, la tècnica NSM (*Near Surface Mounted*), que consisteix en afegir el material FRP dins el recobriment de l'element, i la tècnica EBR (*Externally Bonded Reinforcement*), en la qual la làmina d'FRP s'enganxa a la superfície de l'element. Cada cas té els seus avantatges i inconvenients, però la tècnica EBR, té l'inconvenient de que en algunes ocasions el material es desprèn de la biga abans no ha pogut assolir la seva tensió màxima, provocant així una infrutilització dels materials.

Aquest despreniment del material compost de reforç es pot classificar en dos tipus segons la zona de la biga en la que es produeixin. En el cas de l'ED (*End Debonding*), aquest s'inicia en un extrem del reforç, mentre que en el cas de l'ICD (*Intermediate Crack Debonding*), el despreniment comença en un punt entremig del reforç.

Aquest treball pretén estudiar, des d'una vessant teòrica, quins són els factors que influeixen més en el despreniment prematur del material de reforç en el cas del *Intermediate Crack Debonding*.

## 2. Mètodes de predicció del despreniment del material FRP i conceptes claus.

Per poder aprofundir en els mètodes de predicció, abans s'han de conèixer uns conceptes claus referents a la unió FRP-formigó.

El primer d'ells és la **lleï d'adherència de la unió**, que consisteix en 3 paràmetres definits per formules obtingudes d'estudis experimentals. Aquets són el lliscament màxim ( $S_0$ ), la tensió tallant màxima a la interfície de la unió ( $\tau_{b1}$ ) i l'energia efectiva d'unió ( $G_f$ ).

El segon és la **longitud efectiva d'unió**, es defineix com aquella que és capaç de transferir la major càrrega sense patir cap despreniment. En cas de tenir una longitud adherida superior a l'efectiva, la unió no és capaç de transmetre més càrrega.

L'últim concepte és la **capacitat d'adherència del FRP**, aquest és un concepte clau en la formulació dels mètodes. Basant-se ens el supòsit de que en els elements reforçats amb FRP a la zona d'adherència hi predominen les tensions tallants interfacials, les tensions normals es poden considerar insignificants. D'aquesta forma es troba la formulació per calcular la **tensió màxima abans del despreniment**.

El **mètode del fib Bulletin 90 simplificat** és basa en la capacitat d'adherència del FRP, i limita la tensió de tracció del material de reforç a la secció més desfavorable. Per tant si la tensió a la secció més desfavorable supera aquest valor, ens indica que es produirà el despreniment.

El **mètode de Zilch (DAfStb 2012)** funciona de la mateixa forma que l'anterior. Consisteix en limitar la deformació del material de reforç, en aquest cas però es basa en un estudi paramètric que s'hi apliquen certes condicions.

El **mètode fib Bulletin 90 acurat detallat** tracta en comprovar si la força a tracció del FRP es inferior a la resistència a tracció de cada element que es troba entre dos esquerdes de la biga. Per executar aquest mètode s'han de calcular diferents forces i tensions per cada element separat entre esquerdes de la biga. Això fa que sigui un mètode amb una formulació molt amplia i complicada.

El **mètode fib Bulletin 90 acurat simplificat** és basa en el mètode detallat però de forma simplificada i és complementari a ell. El mètode acurat detallat només te en compte la tensió del FRP a l'esquerda més desfavorable de cada element entre esquerdes. Amb aquest mètode simplificat s'aconsegueix trobar la resistència a tracció de l'element entre esquerdes, sense la necessitat d'enfocar-se només a una esquerra de l'element.

### **3. Estudis paramètrics**

Aquest apartat del treball consta de tres estudis paramètrics diferents. Tots ells tenen la finalitat de veure com es comporten els diferents mètodes per preveure el despreniment prematur del material de reforç.

El primer estudi consisteix en variar diferents paràmetres que afecten al disseny de bigues de formigó armat amb reforç FRP i alhora als mètodes de IC debonding. En aquest estudi s'espera veure quin són els paràmetres que afecten més als diferents mètodes per preveure'n el despreniment.

El segon estudi avalua com afecten els paràmetres de l'estudi anterior amb la incorporació d'una pre-càrrega a la biga en el moment d'aplicar el reforç. D'aquesta forma s'espera veure com afecta la pre-càrrega als valors ja estudiats i veure si tenen la mateixa importància que abans.

Finalment el tercer estudi consisteix en comprovar com afecta la variació de la quantia d'acer i alhora la pre-càrrega en una biga de formigó armat reforçada amb FRP. La quantia d'acer de la biga és un factor molt important per al disseny de bigues, i amb aquest estudi es pretén observar com afecta als mètodes per preveure el despreniment del material de reforç amb i sense pre-càrrega.

### **4. Conclusions**

Un cop finalitzat el treball, es pot afirmar que s'han pogut complir tots els objectius d'estudi definits inicialment, els quals eren: estudi dels mètodes del material FRP i el seu despreniment, estudi de la rutina del càlcul del despreniment, estudi paramètric de bigues reforçades amb FRP, estudi paramètric de bigues reforçades amb FRP i pre-carregades, i fer un estudi paramètric de bigues reforçades amb FRP, pre-carregades i amb models de bigues diferents. Aquets estudis s'han pogut realitzar a través de tres assajos amb quatre mètodes de predicció del despreniment prematur del material de reforç FRP.

Mitjançant l'estudi paramètric dels models de predicció de l'IC debonding s'han pogut extreure diferents conclusions. En primer lloc, variant la geometria de l'àrea FRP, s'ha vist que la superfície de contacte és inversament proporcional al despreniment. En segon lloc, a través dels mètodes acurats s'ha comprovat que l'energia de fractura és un paràmetre crític en el càlcul, ja que com més alt és menys despreniment es produirà.

Per via de l'estudi paramètric de l'efecte de la pre-càrrega en els models d'IC debonding s'ha pogut comprovar diferents conclusions respecte la pre-càrrega. Inicialment, quan la base del material de reforç FRP és més petita i per tant hi ha menys superfície de contacte, la pre-càrrega és més perjudicial a la biga. En segon lloc, que la pre-càrrega de la biga és menys desfavorable a bigues on la resistència característica del formigó és més alta. Finalment, s'ha vist que la pre-càrrega és més perjudicial quan els paràmetres de la llei d'adherència són trobats amb la formulació "Strips and sheets" de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Per mitjà de l'estudi paramètric de l'efecte de la pre-càrrega i la quantia en els models d'IC debonding s'han pogut extreure diferents conclusions. Primerament, en les bigues que el seu mode de falla és per ruptura d'FRP i estan pre-carregades suporten més càrrega que les que no ho estan. Pel contrari quan el mode de falla és per formigó la pre-càrrega és perjudicial. En segon lloc, quan el mode de falla és per FRP, amb la secció desfavorable a una distància similar la pre-càrrega és perjudicial per a quanties més grans.

Com a conclusions generals dels estudis, s'extreu que el mètode de la *fib* és el mètode més regular presentant una restricció semblant a la dels mètodes acurats. El mètode de Zilch és el mètode més restrictiu i, alhora més simple, ja que els seus valors són de disseny i tenen aplicats un coeficient de seguretat a diferència dels altres mètodes que utilitzen valors mitjans. Els mètodes acurats, que consideren un major nombre de paràmetres en la formulació per tal d'ajustar-se a tots els factors que influeixen en la realitat, en general són menys restrictius que els altres, essent el mètode acurat detallat el que menys.

Girona, 2 de Setembre 2021

Martí Ribas i Oliveras