

Resum

El comportament deformatiu d'una secció del formigó armat (FA) té una component clarament no-lineal degut, principalment, a la no-linealitat dels seus materials constituents, formigó i acer però també degut a la fissuració del formigó a tracció.

La relació càrrega-fletxa d'una biga de FA es pot calcular a partir de l'anàlisi seccional, la doble integració de curvatura al llarg de la biga i la interpolació entre la resposta fissurada i no fissurada seguint l'Eurocodi 2. Aquesta metodologia es troba actualment implementada en una rutina numèrica que disposa el grup AMADE per a bigues isostàtiques. No obstant això, la gran majoria de les estructures de FA solen ser hiperestàtiques. La resolució d'aquest cas, on s'espera que hi hagi una redistribució de moments on es crea una ròtula plàstica, encara no es troba resolta.

L'objecte de l'estudi ha estat desenvolupar una eina numèrica que permeti reproduir el comportament càrrega-fletxa d'una biga contínua de formigó armat. S'han tingut en compte les diferents rigideses de les seccions al llarg de la biga, degut a l'armat discontinu, i la redistribució de moments que es generarà en els suports centrals.

Per a facilitar la comprensió del estudi, s'ha realitzat una introducció als conceptes necessaris per poder entendre la metodologia emprada i els resultats obtinguts. En primer lloc s'ha introduït la resolució de bigues contínues segons la Resistència de Materials. Es mostren les simplificacions de les bigues contínues que es prendran gràcies a la seva simetria geomètrica i de càrrega.

Seguidament es resumeix el comportament tensió-deformació dels materials constituents de les bigues contínues que s'han analitzat. S'han introduït les capacitats mecàniques més significatives de l'acer i el formigó. S'ha explicat que segons l'Eurocodi 2 es poden prendre simplificacions en les corbes tensió-deformació de l'acer i formigó. També s'ha esmentat el comportament deformatiu dels materials compostos amb fibra contínua.

Una secció de formigó armat, sotmesa a flexió pura, passa per diferents estadis fins arribar a la ruptura. El primer estadi és on el formigó treballa a tracció i a compressió, conjuntament amb l'armat. Seguidament el formigó fissura a tracció i deixa de resistir esforços a tracció. Fins arribar a la ruptura que pot ésser degut a la ruptura a compressió del formigó o a per la ruptura a tracció de l'acer de l'armat.

La fletxa s'ha calculat a partir del mètode de diferències finites. Aquest permet resoldre la fletxa per tot tipus de biga i càrrega, aplicant de forma directa el quart teorema de Mohr. Amb la limitació que tan sols funciona per a bigues bi-recolzades.

L'últim concepte que s'ha mostrat en la introducció són els mètodes iteratius de càlcul aproximat de zeros. S'ha realitzat una breu introducció de tres models diferents. En les rutines s'utilitza el mètode de la bisecció, el qual convergeix fins a resoldre el lligam hiperestàtic de la biga contínua. Per que hi hagi convergència, es necessita una funció on hi hagi la solució que es busca. Aquesta funció és el tercer teorema de Mohr.

Així doncs el primer cas que s'ha estudiat és una biga contínua de dos trams d'un material elàstic i amb resistència infinita. Aquesta s'ha resolt amb dos metodologies diferents. La primera és el principi de la superposició i en la segona s'ha implementat un codi de càlcul numèric, que mitjançant el mètode de la bisecció i el tercer teorema de Mohr convergeix fins a trobar el lligam hiperestàtic de la biga contínua. Aquest mètode numèric de convergència s'utilitza per a tots els casos de l'estudi. Així doncs el primer cas és la comprovació del seu correcte funcionament.

El segon cas és l'anàlisi d'una biga d'acer amb perfil IPE. Per a la seva resolució es considera un diagrama de tensió-deformació amb enduriment en la plasticitat. D'aquest comportament, i tenint en compte les propietats geomètriques de la secció, s'ha extret el diagrama moment-curvatura seccional. El comportament de la biga s'ha resolt aplicant el tercer teorema de Mohr. S'augmenta la càrrega de la biga fins arribar a la seva ruptura en la secció del suport central de la biga contínua. Es pren la consideració que la secció ha plastificat totalment quan la fibra més allunyada de la línia neutra arriba al límit elàstic de l'acer.

Seguidament s'analitzen els casos d'una biga de formigó armat (FA) amb secció fissurada i un altre on es contempla l'estadi previ a la fissuració (estadi elàstic). L'armat és variable al llarg de la seva longitud, donant lloc a diferents tipologies de secció al llarg de la longitud de la biga. S'ha realitzat el mateix anàlisi que en la biga d'acer, es passa per els varis estadis del formigó, fins que apareix la ruptura en el suport central de la biga contínua.

La biga de FA estudiada en el cas anterior, es reforça amb FRP per augmentar la seva capacitat portant. S'ha dut a terme el mateix anàlisi que en els anteriors casos.

L'últim cas que s'ha analitzat és el d'una biga de FA amb una càrrega distribuïda, donat que és el tipus de càrrega que es troba habitualment a l'edificació. S'ha realitzat el mateix anàlisi que en els anteriors casos.

Ja coneguts els resultats obtinguts de les diferents simulacions, es pot realitzar una valoració de l'estudi en funció del plantejament inicial.

En primer lloc s'ha aconseguit programar tots els codis numèrics capaços de solucionar els diversos casos plantejats en l'abast de l'estudi. Aquests són capaços de determinar la càrrega per la qual una biga contínua de dos trams i amb dues càrregues puntuals trenca. Els codis s'han programat de forma que siguin fàcilment adaptables a diferents propietats dels materials, geometria de cada secció i de la biga, valors i tipus de càrrega, etc.

A nivell de biga s'ha implementat el càlcul numèric per solucionar l'estàtica d'una biga contínua hiperestàtica de dos trams. S'han explicat diferents mètodes de càlcul de zeros de forma aproximada i s'ha implementat en les simulacions per convergir a la solució desitjada. La condició que s'imposa en les simulacions per trobar el moment flector en el suport central de la biga contínua és el tercer teorema de Mohr, el qual s'ha demostrat que es pot utilitzar tant en règim elàstic com plàstic.

A nivell de seccional s'ha resolt els diferents diagrames de moment-curvatura, suposant diferents tipus de secció (secció d'acer, secció de FA, secció de FA reforçada amb materials compostos), tenint en compte les no-linealitats dels materials constituents. Per a casos d'una biga constituïda de varis materials, com per exemple el FA, s'ha mostrat i explicat el procés per comprendre i poder simular el seu comportament deformatoral.

En la biga de FA estudiada al treball, s'observa la redistribució de moments flexors al llarg de la biga. El diagrama de moments flexors inicialment, i fins que una secció arriba al seu moment de plastificació, pivota respecte la secció amb moment flector nul. Quan l'acer de l'armat a tracció plastifica, ja sigui en el suport central (màxim moment negatiu) o al centre de la llum entre recolzaments (màxim moment positiu), el diagrama deixa de pivotar respecte d'aquest i es desplaça cap a dreta o esquerra del pivot. També s'ha observat en els casos de FA que quan el formigó a tracció no ha fissurat per un determinat valor de càrrega, el seu diagrama de moments passa per l'esquerra del pivot.

En tots els casos de FA sense reforç que s'han simulat al treball, la ruptura apareix en la secció del suport central de la biga contínua, indicant que la ductilitat produïda per la plastificació del formigó no és suficient per fer arribar la secció central al seu moment plàstic. A diferència del cas de la biga de FA reforçada en els moments negatius, on la ruptura apareix al punt d'aplicació de la càrrega. Durant l'execució de l'estudi es va triar aquest cas expressament perquè la ruptura aparegués al punt d'aplicació de la càrrega, i així ho fa.

En els casos de FA reforçat amb material compost s'observa que tant en el diagrama de moments com en el diagrama de curvatures, en la plastificació de l'acer, el seu comportament és lineal degut al material compost.

Finalment, per el cas de la càrrega distribuïda, s'ha comprovat que tot i canviar el tipus de càrrega, la biga respon d'una manera molt similar a la càrrega puntual, a diferència de que els seus diagrames estan constituïts per corbes d'ordre 2.