



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERS
DE CAMINS, CANALS I PORTS DE BARCELONA



ESTUDIO EXPERIMENTAL
DEL COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN
CONFINADO SOMETIDO A COMPRESIÓN

Tesis Doctoral de:
Carlos Aire Untiveros

Dirigida por:
Ravindra Gettu
Joan Ramon Casas Rius

Barcelona, Septiembre 2002

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

7.1 CONSIDERACIONES GENERALES

El presente trabajo comprende el estudio del comportamiento de los efectos del confinamiento sobre el hormigón. El trabajo consistió del estudio de dos tipos de confinamiento: activo y pasivo. Para el confinamiento activo se empleó una célula triaxial en la cual se introduce una probeta cilíndrica de hormigón y se somete a presión hidrostática, mientras que para el confinamiento pasivo se fabricaron tubos de acero rellenos de hormigón y probetas cilíndricas de hormigón zunchadas con materiales compuestos a base de polímeros reforzados con fibra (FRP). El presente capítulo presenta las conclusiones de los sistemas de confinamiento estudiados.

Para un mejor entendimiento, las conclusiones han sido divididas en conclusiones generales y específicas. Las conclusiones generales corresponden a los objetivos principales planteados al inicio de esta investigación, y se refieren a la caracterización del material en términos de su comportamiento tenso-deformacional, y la influencia del confinamiento sobre las características de resistencia y ductilidad del hormigón. Para esto se ha seguido una metodología similar en los capítulos correspondientes a la fase experimental. Además, en el capítulo correspondiente se hace un análisis comparativo que permite establecer las bondades de cada sistema de confinamiento.

Las conclusiones específicas se refieren a cada sistema de confinamiento. Para la facilidad de comparación, los valores de tensión de confinamiento fueron normalizados con respecto a la

tensión del hormigón sin confinar, denominándose a esta relación nivel de confinamiento. De esta manera, se facilita la comparación entre los sistemas de confinamiento usados.

7.2 CONCLUSIONES GENERALES

El análisis comparativo de los sistemas de confinamiento estudiado, permite establecer las siguientes conclusiones generales:

- El confinamiento incrementa significativamente la capacidad de carga y deformación del hormigón, mejorando su ductilidad.
- La influencia del confinamiento sobre la tensión máxima es mayor en el hormigón de baja resistencia cuando se comparan niveles de confinamiento similares. Para un nivel de confinamiento del orden de 0.5, el incremento en la tensión máxima fue de 2.9 veces la tensión máxima del hormigón sin confinar para el hormigón de baja resistencia confinado por presión hidrostática, mientras que para el hormigón de alta resistencia este incremento fue de 2.6 veces. En el caso del hormigón de baja resistencia confinado con tubo de acero para el mismo nivel de confinamiento el incremento fue de 3.3 veces la tensión máxima del hormigón sin confinar, mientras que para el hormigón de alta resistencia fue de 2.5 veces.
- En el caso del hormigón confinado con FRP la influencia del confinamiento en la capacidad de carga es mayor para el hormigón confinado con FRP de carbono cuando se comparan el mismo número de capas. Para el hormigón de baja resistencia confinado con 6 capas de FRP de vidrio este incremento fue de 2, mientras que para el FRP de carbono fue de 2.6. Para el hormigón de alta resistencia confinado con 12 capas de FRP de vidrio el incremento fue de 2.5 y para el confinado con FRP de carbono fue 3.1 veces.
- La influencia del confinamiento sobre la deformación es mayor para el hormigón de baja resistencia, sobretodo para el hormigón confinado por presión hidrostática y tubo de acero, cuando se comparan niveles de confinamiento similares. Para un nivel de confinamiento del orden de 0.50 el incremento en la deformación máxima del hormigón de baja resistencia confinado por presión hidrostática fue de 13 veces la deformación del hormigón sin confinar, mientras que para el hormigón de alta resistencia fue de 7.6 veces. En el caso del tubo de acero para el mismo nivel de confinamiento el incremento en la deformación máxima fue de 19 veces para el hormigón de baja resistencia y 7.9 veces para el hormigón de alta resistencia.
- En el caso del hormigón confinado con FRP los incrementos de deformación fueron igualmente mayores para el hormigón de baja resistencia para el mismo número de capas. Para el hormigón de baja resistencia confinado con 6 capas de FRP de vidrio el

incremento en la deformación máxima registrada fue de 8.4 veces la deformación máxima del hormigón sin confinar mientras que para el hormigón de alta resistencia fue de 2.6 veces para el mismo número de capas. Aún para el doble número de capas en el hormigón de alta resistencia, este incremento (6 veces) fue inferior al del hormigón de baja resistencia. En el caso del hormigón de baja resistencia confinado con 6 capas de FRP de carbono el incremento en la deformación fue de 13 veces la deformación del hormigón sin confinar mientras que para el hormigón de alta resistencia fue de 7 veces. Igualmente, para 12 capas el incremento en la deformación máxima para el hormigón de alta resistencia fue de 10 veces

- Se pueden alcanzar tensiones muy elevadas cuando el hormigón es confinado mediante estos procedimientos. En el caso del hormigón de baja resistencia se alcanzaron tensiones del orden de 150 MPa cuando fue confinado por presión hidrostática y tubo de acero, y 100 MPa para el confinado con FRP de carbono. Para el hormigón de alta resistencia se alcanzaron tensiones del orden de 200 MPa cuando fue confinado con presión hidrostática, del orden de 170 MPa para el confinado con tubo de acero y 170 MPa y 215 MPa para el confinado con FRP de vidrio y carbono, respectivamente.
- El comportamiento tenso-deformacional de los hormigones confinados estudiados es muy similar. En general estas curvas se caracterizan por presentar un tramo inicial lineal, seguido por un tramo curvo hasta alcanzar el valor máximo, y finalmente un tramo descendente, cuya pendiente es función del tipo y tensión de confinamiento. En el caso del hormigón de baja resistencia confinado con 3 o más capas de FRP la curva tensión-deformación no presenta brazo descendente, por el contrario la curva asciende hasta alcanzar la carga máxima de rotura. Lo mismo sucede para el hormigón de alta resistencia cuando es confinado con 6 o más capas de FRP.
- Se hizo una comparación con dos modelos analíticos existentes en la literatura. Los resultados muestran que estos modelos representan satisfactoriamente los resultados experimentales.

7.3 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

7.3.1 Hormigón confinado en célula triaxial

- El modo de fallo de las probetas confinadas es de tipo cortante, que se manifiesta por una rotura diagonal a lo largo de toda la probeta. En la mayoría de los casos también se presentó una rotura de dos a tres piezas, generalmente en la base inferior de la probeta.
- La ductilidad de los hormigones confinados, calculada mediante valores que relacionan áreas bajo la curva tensión-deformación, se incrementa en función del confinamiento. Sin

embargo, el valor de índice de tenacidad calculado es mayor para el hormigón de baja resistencia.

- El criterio de Mohr-Coulomb aplicado al hormigón, permite establecer que el ángulo de fricción interna y el coeficiente de fricción interna son mayores en el hormigón de baja resistencia.

7.3.2 Hormigón confinado con tubo de acero

- El modo de fallo de las probetas confinadas con aplicación de carga únicamente sobre el hormigón está caracterizado por el pandeo local. En el caso de las probetas confinadas con tubos de acero de 1.8 mm, el pandeo se presentó en el extremo superior. A medida que se incrementó el espesor del tubo, este se localizó hacia el centro de la probeta. En el caso de las probetas con aplicación de carga en toda la sección, el pandeo se presentó en uno de los extremos de la probeta, siendo más notoria para el tubo de menor espesor.
- Se alcanzaron mayores cargas cuando las probetas fueron ensayadas con aplicación de carga únicamente sobre la superficie de hormigón, en comparación con aquellas con aplicación de carga en toda la sección. Esto indica que el confinamiento es dependiente de la condición de carga, siendo mayor cuando la probeta se carga únicamente sobre el hormigón usando el tubo de acero como restricción circunferencial.
- Los resultados del análisis mediante el criterio von Mises muestran que aún cuando se colocó una lámina de teflón entre la superficie de acero y hormigón para eliminar la fricción, existe una diferencia entre el valor experimental del confinamiento y el teórico calculado, lo que indica que no se eliminó completamente la fricción. Sin embargo, este mismo análisis confirma que las probetas con aplicación de carga únicamente en el hormigón fueron sometidas a mayor confinamiento en comparación con las probetas cargadas en toda la sección.
- Se han propuesto expresiones para calcular la carga última de la sección compuesta de hormigón confinado con tubo de acero, cuya aplicación muestran valores muy similares a los obtenidos experimentalmente.

7.3.3 Hormigón confinado con polímeros reforzados con fibra

- El modo de fallo de las probetas confinadas fue debido a la rotura de los FRP. En el caso de los hormigones confinados con FRP de vidrio el fallo fue menos explosivo en comparación a los confinados con FRP de carbono. La rotura típica de una probeta confinada con FRP de vidrio presenta macrogrietas y la probeta permanece relativamente sólida. En el caso de las probetas confinadas con FRP de carbono y especialmente para mayores de 3 capas de confinamiento, el fallo fue repentino con un gran sonido debido a

la explosión del FRP. En este caso, la probeta queda completamente destruida. En todos los casos, después del ensayo se observó una pequeña capa de hormigón o mortero adherida al FRP ensayado. Esto confirma, la buena adherencia entre el hormigón y el FRP.

- Aún cuando las pendientes de las curvas tensión-deformación transversal incrementa con el número de capas, las deformaciones transversales últimas no se incrementan significativamente. Esto indica que la falla es controlada por la rotura del FRP.

7.4 RECOMENDACIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

Este trabajo experimental investigó el comportamiento de probetas cilíndricas de hormigón sometidas a confinamiento. Aunque el trabajo experimental ha sido extenso en términos de niveles de confinamiento, es necesario llevar a cabo investigaciones adicionales para complementar la información obtenida. En este sentido se recomienda continuar en esta línea de investigación incorporando otras variables, como por ejemplo diferentes secciones transversales como la sección cuadrada y rectangular, así como otras relaciones de esbeltez (H/D) diferentes a la presente investigación.

Otro tema interesante por investigar es referente a la fatiga y flujo plástico sobretodo en los tubos de acero rellenos de hormigón y los encamisados con materiales FRP. Estos ensayos son de larga duración que fácilmente pueden ser implementados en el laboratorio.

Del mismo modo con el fin de evaluar el efecto del confinamiento sobre elementos estructuras reales es conveniente hacer ensayos que puedan reproducir elementos tan comunes como columnas de edificios, pilares de puentes, vigas o uniones viga-columna, entre otros. Esto puede implementarse bajo un sistema de carga a través de un muro de reacción o marco de carga.

Con relación a los ensayos confinados con FRP sería interesante continuar la investigación con otros tipos de fibras y sobretodo con otro tipo de configuraciones de ensayo. Puede estudiarse el efecto del confinamiento cuando los FRP sean dispuestos en otra dirección diferente a la estudiada, por ejemplo colocando el zunchado a 45° con respecto a la probeta, zunchado continuo o fabricando tubos de FRP para posteriormente rellenarlos de hormigón.

En cuanto a la realización de los ensayos es necesario tomar todas las precauciones necesarias con el fin de evitar la dispersión de los resultados. Esto es aplicable desde la fabricación de los hormigones, procedimientos de confinamiento, instrumentación y desarrollo del ensayo. De esta manera se podrá realizar una más exacta valoración y validez de los ensayos.