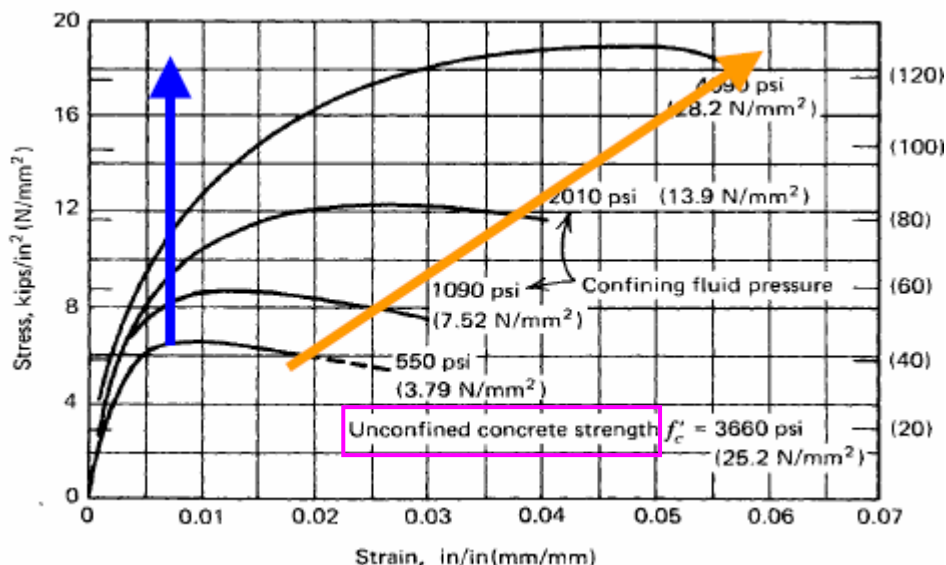


### Chương 3: **BÊ TÔNG BỊ ÉP NGANG** (*confined*)

#### 3.1 THÍ NGHIỆM NÉN 3 TRỤC BÊ TÔNG

Cường độ và độ bền của bê tông trong **thí nghiệm nén 3 trục** đã được trình bày ở phần cuối của **Chương 2**. Hình vẽ dưới đây dựa trên số liệu T1 thực hiện năm 1928 tại Đại học Illinois (University of Illinois at Urbana-Champaign, UIUC). Hình này biểu diễn các đường quan hệ  $\sigma-\epsilon$  của **mẫu BT hình trụ chịu áp lực ngang không đổi (bị ép ngang)** trong lúc **ứng suất dọc trục** vẫn tăng đến khi mẫu bị phá hủy.



Các nhà nghiên cứu UIUC sử dụng số liệu T1 này để thiết lập mối quan hệ giữa **ứng suất dọc trục khi phá hủy** ( $\sigma_1$ ), và **cường độ nén của bê tông** ( $f'_c$ ), và **áp suất nén ngang** ( $\sigma_3$ ):

$$\sigma_1 = f'_c + 4,1\sigma_3 \quad (3-1)$$

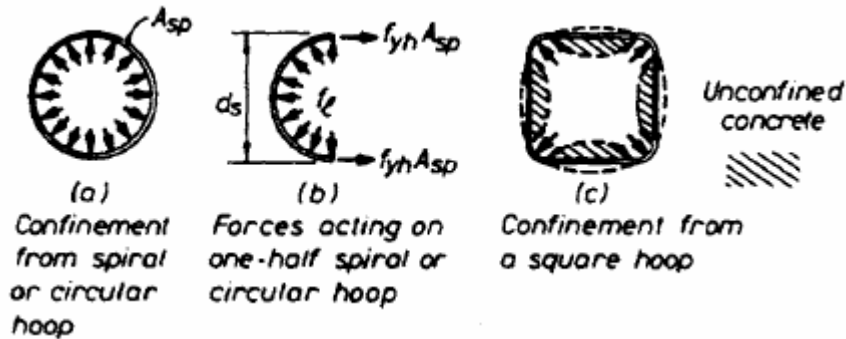
Ở chương này, chúng ta mở rộng khảo sát trên để nghiên cứu **chế độ làm việc của bê tông bị ép ngang** và các **quan hệ  $\sigma-\epsilon$**  mà được lập dành riêng cho **bê tông bị ép ngang**.

#### 3.2 BÊ TÔNG BỊ ÉP NGANG

Ị hư đã bàn luận trong lớp trước đây, **biến dạng nén cực hạn** (*ultimate compression strain*) của bê tông **tự do nở ngang** (*unconfined*) là không đủ để cho phép một thành phần KC đạt đến độ dẻo (*ductility*) cần thiết mà lớp bê tông bảo vệ không bị nứt vỡ (*spalling*).

- **biến dạng nén cực hạn** của bê tông **tự do nở ngang** là bao nhiêu ? 0.001 ; 0.003 ; 0.005 ; 0.010 ; 0.05 ? **Ans: 0.003**
- Tại sao **biến dạng nén cực hạn** là quan trọng ?

Áp suất nén ngang được thực hiện ra sao trong các mặt cắt BTCT điển hình? Xem Paulay and Priestley mô tả ở hình dưới :



Thép đai xoắn hay tròn được đặt bao quanh vùng chịu kéo xuất hiện khi bê tông giãn nở dưới tải trọng nén, do hình dạng của nó mà tạo thành một đường tải trọng liên tục bao quanh chu vi của bê tông chịu nén (hình a.). Áp suất nén ngang hiệu quả lớn nhất của bê tông (*maximum effective lateral pressure*),  $f_l$ , xuất hiện khi thép đai xoắn đạt cường độ chảy dẻo (*yield strength*),  $f_{yh}$ . Từ hình b. ở trên, cân bằng lực đòi hỏi:

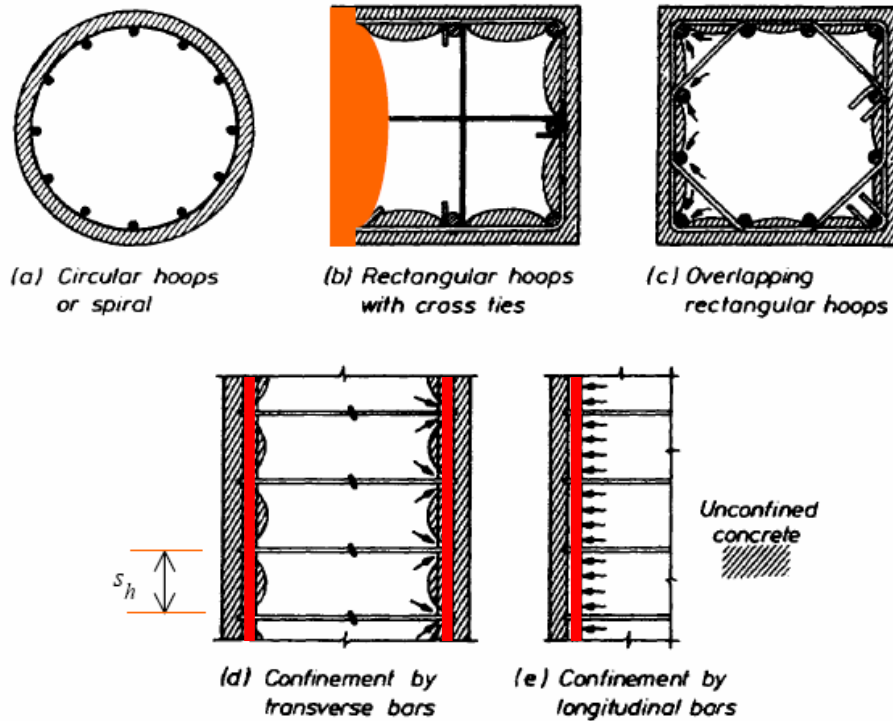
$$f_l = \frac{2f_{yh} A_{sp}}{d_s s_h} \quad (3-2)$$

Với  $d_s$  là đường kính thép đai,  $A_{sp}$  là diện tích thép đai,  $s_h$  là bước thép đai xoắn hay tròn.

Hình c. ở trên cho thấy thép đai hình vuông không hiệu quả bằng thép đai hình tròn; thép đai hình vuông chỉ hiệu quả ở vùng lân cận góc đai.

Điều này giải thích tại sao?

- Áp suất nở ngang của bê tông áp vào thép đai có xu hướng đẩy các cạnh thép đai ra phía ngoài
  - thép đai hình vuông không đủ cứng bằng thép đai hình tròn : biên dạng uốn trong thép đai hình vuông so với biên dạng dọc trục trong thép đai hình tròn.
- Sự ép ngang (*confinement*) do thép đai hình vuông có thể được cải thiện một cách căn bản khi sử dụng đai giằng (*cross-tie*) hay đai chéo (*diagonal tie*) được cấu tạo bằng ngang trong tiết diện tới hạn (*critical cross section*).



Trong hình vẽ bên trên đây, Paulay and Priestley trình bày với các mức độ ép ngang khác nhau do thép dọc và thép ngang trong các mặt cắt cột BTCT. **Bê tông tự do nở ngang (unconfined)** được đánh dấu **dạng gạch chéo**. Chú ý rằng trong cột tròn ở **hình a**, tại vị trí thép ngang (thép đai) toàn bộ bê tông phía trong là bị ép ngang. Ở **hình b** và **hình c**, mức độ ép ngang của cột vuông có đai giằng là ít hơn so với cột tròn. ả hư các hình vẽ, các vòm bê tông giữa các điểm neo cột (**giao điểm của thép dọc và thép đai**): vòm càng thấp, bê tông bị ép ngang càng nhiều. Chú ý rằng **nếu đai giằng bị loại bỏ khỏi cột, mức độ ép ngang sẽ bị giảm** như được minh họa ở 1/4 cột trong **hình b (màu cam)**. Sự ép ngang bê tông được cải thiện rõ ràng nếu bước đai  $s_h$  đặt gần nhau hơn (xem **hình d**) và nếu thép dọc được giằng buộc tại mỗi lớp thép ngang (xem **hình e**).

### 3.3 MÔ HÌNH QUAN HỆ ( $\sigma-\epsilon$ ) CỦA BÊ TÔNG BỊ ÉP NGANG

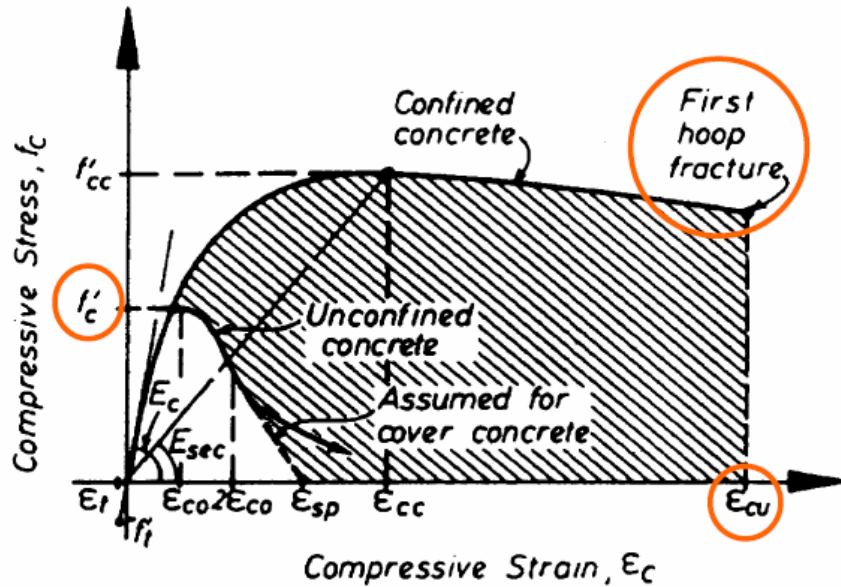
ả hiệu nghiên cứu đã thực hiện nhằm thiết lập quan hệ ( $\sigma-\epsilon$ ) của **bê tông bị ép ngang**. Một số mô hình tiên tiến cho các loại bê tông được liệt kê dưới đây:

- **Bê tông thông thường**
  - Scott et al., J. ACI, January 1982
  - Sheikh et al., J. Structural Division, ASCE, December 1982
  - **Mander et al.**, J. Structural Division, ASCE, August 1988
- **Bê tông nhẹ**
  - Manrique et al., UCB/EERC Report 79/05, May 1979
  - Shah et al., J. Structural Division, ASCE, July 1983
- **Bê tông cường độ cao**
  - Yung et al., J. Structural Division, ASCE, February 1988
  - Martinez et al., J. ACI, September 1984
  - Bing et al., Proceedings, Pacific Conference on Earthquake Engineering, ả ovember 1991

Trong giáo trình này, chúng ta tập trung vào mô hình **Mander** về quan hệ  $(\sigma-\epsilon)$  của **bê tông thông thường bị ép ngang**.

### 3.4 MÔ HÌNH MANDER VỀ QUAN HỆ $(\sigma-\epsilon)$ CỦA BÊ TÔNG BỊ ÉP NGANG

Trước hết xem xét mô hình  $(\sigma-\epsilon)$  khái quát dưới đây của bê tông tự do nở ngang và bê tông bị ép ngang trong thí nghiệm nén (theo *Mander et al.*; *Paulay and Priestley*; *Priestley, Seible, and Calvi*).



Diện tích gạch chéo của quan hệ  $(\sigma-\epsilon)$  đặc trưng cho **năng lượng cộng thêm** mà có thể được tiêu tán trong một **tiết diện bị ép ngang**. ả hư được trình bày ở phần sau đây, tỷ số giữa **biến dạng max bê tông bị ép ngang** và **biến dạng max bê tông không ép ngang** khoảng  $\epsilon_{cu}/\epsilon_{sp} = 4-15$ , mà chỉ thị ưu thế quan trọng của bê tông bị ép ngang trong vùng kết cấu BTCT đòi hỏi cần tiêu tán năng lượng trong tương lai.

Mô hình **Mander** có thể áp dụng cho tất cả các dạng tiết diện và cho tất cả mức độ ép ngang. Quan hệ ứng suất-biến dạng  $(f_c-\epsilon_c)$  của **bê tông bị ép ngang** được xác định bằng hệ phương trình (3-3) sau đây :

$$f_c = \frac{f'_{cc} x^r}{r - 1 + x^r} \quad (3-3a)$$

$$x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \quad r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (3-3b) \quad (3-3c)$$

$$f'_{cc} = f'_c \left( 2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94 f'_1}{f'_c}} - \frac{2 f'_1}{f'_c} - 1.254 \right) \quad (3-3d)$$

$$\epsilon_{cc} = \epsilon_{co} [1 + 5 \left( \frac{f'_{cc}}{f'_c} - 1 \right)] \quad (3-3e)$$

$$\epsilon_{co} = 2 \frac{f'_c}{E_c} \quad (3-3f)$$

(ACI 318: thông thường  $\epsilon_{co} \approx 0,002$ )

$$E_c = 60000 \sqrt{f'_c} \text{ (psi)} = 5000 \sqrt{f'_c} \text{ (MPa)} \quad (3-3g)$$

$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\epsilon_{cc}} \quad (3-3h)$$

Trong hệ phương trình trên, **cường độ bê tông bị ép ngang** (*peak concrete stress*),  $f'_{cc}$ , là hàm số của **áp suất nén ngang hiệu quả** (*effective lateral confining pressure*),  $f'_1$ .

Với  $f'_1 = 0$ , phương trình (3-3b) dẫn đến  $f'_{cc} = f'_c$  mà phù hợp với trường hợp **bê tông tự do nở ngang** (không thép đai).

Áp suất nén ngang hiệu quả  $f'_1$ , tính theo **áp suất nén ngang trung bình**  $f_1$  của tiết diện tròn:

$$f'_1 = K_e f_1 = K_e \left( \frac{2f_{yh} A_{sp}}{d_s s_h} \right) \quad (3-4)$$

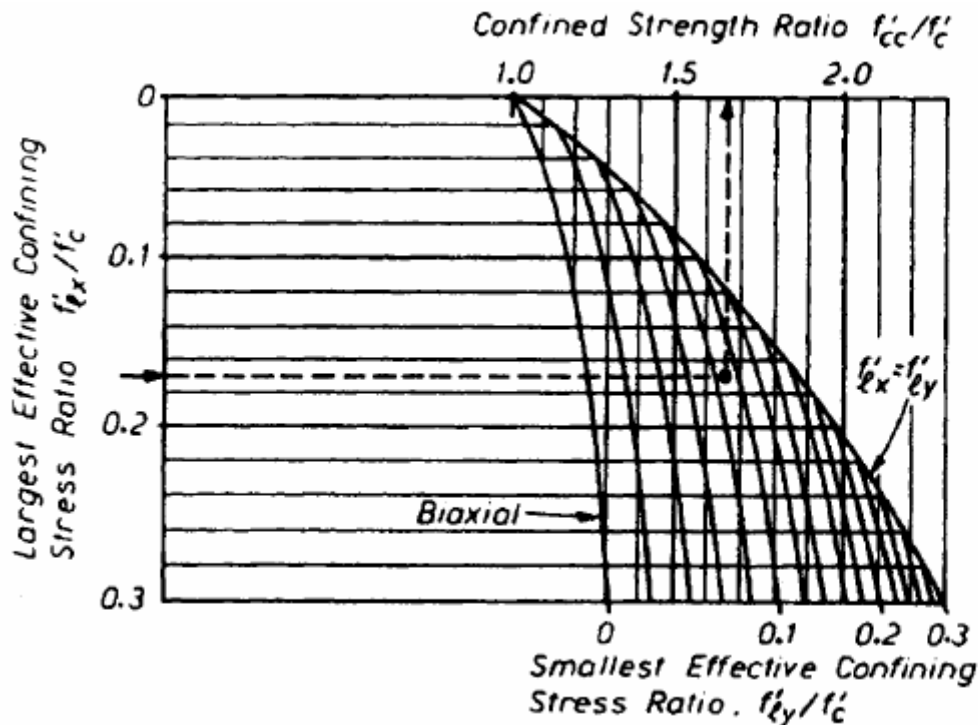
với  $K_e$  là **hệ số hiệu quả nén ngang** (*confinement effectiveness coefficient*), mà liên quan trực tiếp đến diện tích **lõi nén ngang hiệu quả** so với diện tích **lõi danh nghĩa** được bao vây bởi tâm chu vi các thép đai. Giá trị điển hình của hệ số này là:

- $K_e = 0.95$  cho m/c cột tròn
- $K_e = 0.75$  cho m/c cột chữ nhật
- $K_e = 0.6$  cho m/c tường chữ nhật

Đối với **m/c chữ nhật** do **tỷ số thép ngang** theo hai phương chính **x** và **y** nhìn chung khác nhau ( $\rho_x \neq \rho_y$ ), các **ứng suất nén ngang** cũng được tính toán khác nhau:

$$f'_{lx} = K_e \rho_x f_{yh} \quad (3-5a); \quad f'_{ly} = K_e \rho_y f_{yh} \quad (3-5b)$$

Trong trường hợp  $f'_{lx} \neq f'_{ly}$ , **hệ số cường độ nén ngang K** (*confined strength ratio*) của bê tông bị ép ngang ( $K = f'_{cc}/f'_c$ ) có thể nội suy từ hình vẽ dưới đây do Mander cung cấp, trong đó lưu ý  $f'_{lx} > f'_{ly}$



Biến dạng nén cực hạn (*ultimate compressive strain*),  $\epsilon_{cu}$ , có thể tính theo đề nghị của Mander như sau:

$$\epsilon_{cu} = 0,004 + \frac{1,4\rho_s f_{yh} \epsilon_{sm}}{f'_{cc}} \quad (3-6)$$

với  $\rho_s = \rho_x + \rho_y$  (tỷ số thể tích của thép ngang) và  $\epsilon_{sm}$  là biến dạng thép tại vị trí có ứng suất kéo maximum (giới hạn bền – TS). Thép thanh Grade 40 có  $\epsilon_{sm} \approx 0.15$  ; thép thanh Grade 60 có  $\epsilon_{sm} \approx 0.10$  . Một dạng khác của phương trình trên là:

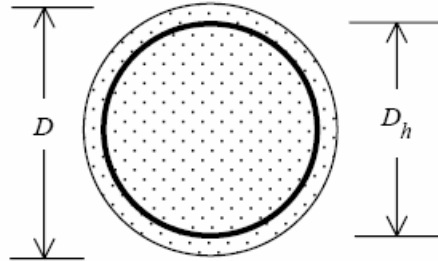
$$\epsilon_{cu} = 0,004 + \frac{0,14\rho_s f_{yh}}{f'_c} \leq 0,020 \quad (3-7)$$

với biến dạng giới hạn thép là  $\epsilon_{sm} \approx 0.10$  and  $f_{cc}$  qui định lấy bằng  $f'_c$  . Giá trị giới hạn 0.02 qui định là xác đáng.

### 3.5 TÍNH TOÁN CÁC TỶ SỐ THÉP NGANG

Để tính áp lực nén ngang hiệu quả  $f'_1$ , phải xác định trước các tỷ số  $\rho_x$  và  $\rho_y$  cho tiết diện chữ nhật, và tỷ số  $\rho_s$  cho tiết diện tròn.

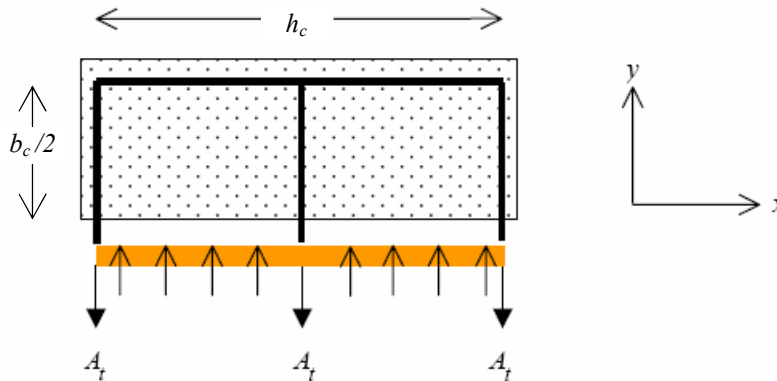
- Trước hết xét **tiết diện tròn** bên dưới.  $D_h$  là **đường kính của vòng thép** xoắn hay đai tròn;  $A_{sp}$  là **diện tích m/c ngang** thép đai. Giả sử rằng **bước thép đai** là  $s_h$



Tỷ số thể tích thép đai là :

$$\rho_s = \frac{\pi D_h A_{sp}}{s_h \pi D_h^2 / 4} = \frac{4 A_{sp}}{s_h D_h} \quad (3-8)$$

- Bây giờ xét **tiết diện chữ nhật** bên dưới, thép đai gồm **một đai vòng theo chu vi** và **một đai giằng** ở giữa tiết diện như hình vẽ. Giả sử rằng **diện tích mỗi thép đai** là  $A_t$  và **bước thép đai** là  $s_t$ .



Tổng diện tích thép đai băng qua tiết diện cắt ngang là  $A_{sh} = nA_t$ , với  $n$  là số thép đai (= 3 theo phương khảo sát). Tỷ số thể tích thép đai  $\rho_y$  theo **phương y** là :

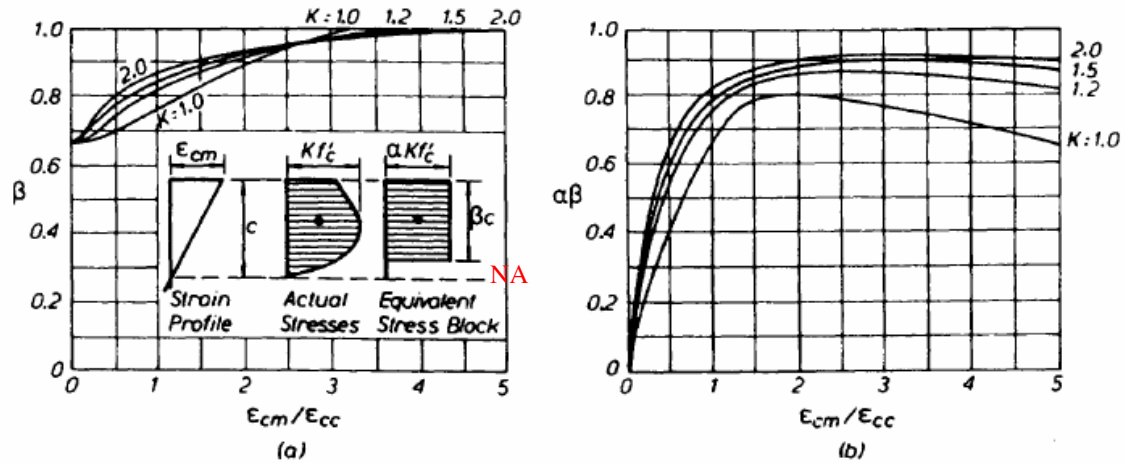
$$\rho_y = \frac{A_{sh}}{h_c s_t} = \frac{3A_t}{h_c s_t} \quad (3-9a)$$

Tương tự, tỷ số thể tích thép đai  $\rho_x$  theo **phương x** là :

$$\rho_x = \frac{A_{sh}}{b_c s_t} = \frac{2A_t}{b_c s_t} \quad (3-9b)$$

### 3.6 THÔNG SỐ KHỐI ỨNG SUẤT NÉN CỦA BÊ TÔNG BỊ ÉP NGANG

Các thông số khối ứng suất chữ nhật tương đương được dùng trong thiết kế bê tông tự do nở ngang có thể mở rộng dùng cho bê tông bị ép ngang. Paulay và Priestley trình bày trong hình vẽ dưới đây các thông số khối ứng suất chữ nhật (*stress block parameters*) cho tiết diện bê tông bị ép ngang bởi thép đai kín.



Ứng suất trung bình lấy bằng  $\alpha f_c$  cho bê tông tự do nở ngang được thay thế bằng  $\alpha f_{cc}$  hay  $\alpha K f_c$ , với  $K = f_{cc}/f_c$ . Với một giá trị chọn trước của biến dạng nén tại đỉnh (*peak compression strain*)  $\epsilon_{cm}$ , được thể hiện ở dạng tỷ số  $\epsilon_{cm}/\epsilon_{cc}$ , một giá trị  $\beta$  được xác định từ hình (a); và một giá trị  $\alpha$  cũng được suy ra từ hình (b) ở trên.

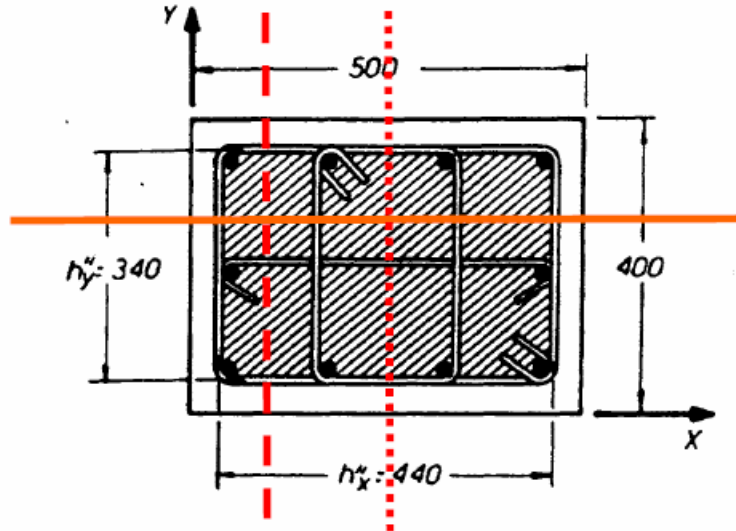
Đối với các tiết diện phức tạp, các phần mềm tính toán như BIAX hay UCFyber, chia tiết diện thành nhiều lớp để tính toán. Tương ứng với các giá trị cho trước của trục trung hoà (ở A) và độ cong ( $\phi$ ), các biến dạng ( $\epsilon_i$ ) được tính tại tâm mỗi lớp, và các ứng suất tương ứng ( $\sigma_i$ ) sẽ được tính trực tiếp từ quan hệ ( $\sigma-\epsilon$ ) đã lập trình sẵn. Các nội lực ( $F_i$ ) trong mỗi lớp tương ứng với các ứng suất  $\sigma_i$  sẽ được xác định bằng tích phân trên toàn bộ chiều cao tiết diện và từ đó tính được mômen tính toán trên tiết diện đó (xem phần 4.4, trong chương 4 sẽ trình bày sau).



### 3.7 VÍ DỤ THIẾT KẾ

Xét tiết diện cột bên dưới bị nén ngang bởi thép đai số #5 gồm đai 2 vòng và một đai giằng ( $A_t = 0,31 \text{ in}^2$ ,  $s_t = 4 \text{ in}$ ). Giả sử thép Grade 60 có  $f_y = 60 \text{ ksi}$  và cường độ bê tông  $f'_c = 4 \text{ ksi}$ .

**Tính:** a) cường độ lõi bê tông bị ép ngang, b) biến dạng nén cực hạn, c) các thông số thiết kế của khối ứng suất tương đương.



Theo phương Y có 4 thanh thép #5 bị cắt ngang bởi đường thẳng màu cam. Tỷ số thép ngang  $\rho_y$  bằng :

$$\rho_y = \frac{4A_t}{s_t h'_x} = \frac{4(0,31)}{4(440 / 25,4)} = 0,0179$$

Vậy theo phương X có bao nhiêu thanh thép bị cắt ngang bởi đường thẳng màu đỏ? đường cắt màu đỏ có vị trí ở đâu? Chúng ta có 3 khả năng:

- Đường chấm dài: cắt qua 3 thanh
- Đường chấm ngắn: cắt qua 5 thanh
- Lấy trung bình trọng số: 1/3 ở giữa có 5 thanh và 2/3 ở ngoài có 3 thanh

Vậy giải pháp chọn tốt nhất là gì?

- Để an toàn chọn 3 thanh đai

$$\rho_x = \frac{3A_t}{s_t h'_y} = \frac{3(0,31)}{4(340 / 25,4)} = 0,0174$$

Bây giờ, giả thiết hệ số hiệu quả  $K_e = 0.75$  cho tiết diện chữ nhật, ta có:

$$f'_{lx} = K_e \rho_x f_{yh} = 0,75 \times 0,0174 \times 60 = 0,783 \text{ ksi}$$

$$f'_{ly} = K_e \rho_y f_{yh} = 0,75 \times 0,0179 \times 60 = 0,806 \text{ ksi}$$

Sử dụng hình vẽ ở trang 6, với các thông số sau:

$$\frac{f'_{lx}}{f'_c} = \frac{0,783}{4} = 0,196 \quad \frac{f'_{ly}}{f'_c} = \frac{0,806}{4} = 0,201$$

Suy ra được hệ số **cường độ hiệu quả K** là :

$$K = \frac{f'_{cc}}{f'_c} = 1,98$$

Do đó **cường độ lõi bê tông bị ép ngang** là:

$$f'_{cc} = Kf'_c = 1,98 \times 4 = 7,92 \text{ksi}$$

**Biến dạng nén cực hạn** của bê tông bị ép ngang là hàm số của **tỷ số thể tích thép ngang** (với  $\rho_s = \rho_x + \rho_y = 0,0174 + 0,0179 = 0,0353$ ), được xác định bằng:

$$\epsilon_{cu} = 0,004 + \frac{1,4\rho_s f_{yh} \epsilon_{sm}}{f'_{cc}}$$

$$\epsilon_{cu} = 0,004 + \frac{1,4 \times 0,0353 \times 60 \times 0,1}{7,92} = 0,041$$

Để thiết lập các thông số thiết kế ( $\alpha, \beta$ ) cho **khối ứng suất tương đương**, biến dạng  $\epsilon_{cc}$  phải được tính toán:

$$\epsilon_{cc} = 0,002 \left[ 1 + 5 \left( \frac{f'_{cc}}{f'_c} - 1 \right) \right] = 0,002 \left[ 1 + 5 \left( \frac{7,92}{4} - 1 \right) \right] = 0,012$$

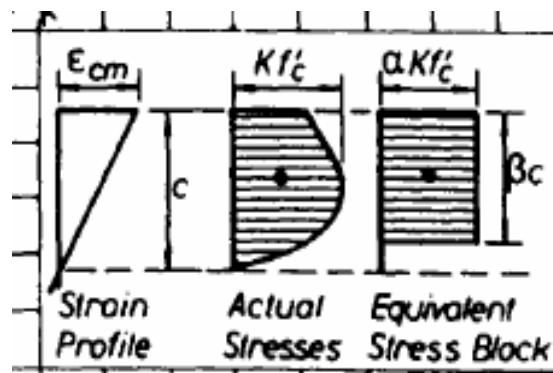
và  $\epsilon_{cu} / \epsilon_{cc} = 0,041 / 0,012 = 3,42$

Sử dụng hình vẽ ở phần 3.6, ta có:

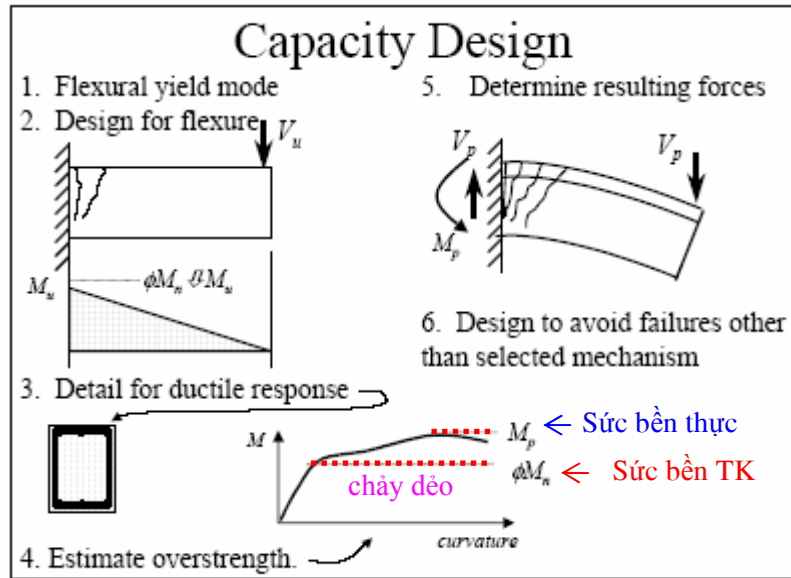
$$\beta = 0,98 \quad \text{và} \quad \alpha\beta = 0,9 \quad \Rightarrow \quad \alpha = 0,92$$

Ấu hư vậy **cường độ trung bình** dùng cho **khối ứng suất chữ nhật tương đương** dưới đây là:

$$\alpha K f'_c = 0,92 \times 1,98 \times 4 = 7,29 \text{ksi}$$



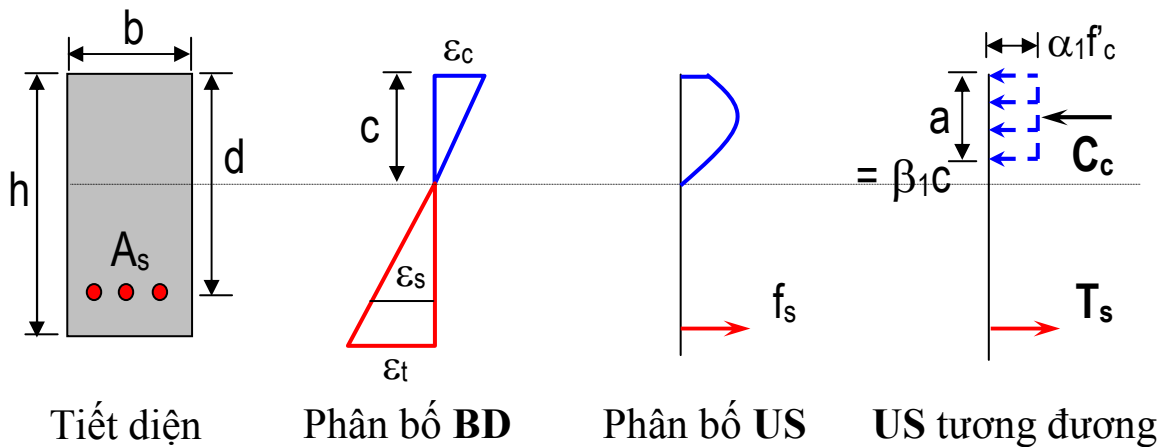
**PHU LUC 1**



Ảnh hưởng ép ngang do thép đai cải thiện khả năng chịu uốn, đặc biệt tăng độ dẻo dai (ductility) của tiết diện so với tính toán LRFD bình thường (chảy dẻo):

$[M_u] = \phi M_p > [M_y] = \phi M_n$

$[\phi_u] \gg [\phi_y]$



Khả năng chịu lực của tiết diện BTCT chịu uốn không ép ngang:

$$M_n = T_s \left[ d - \frac{a}{2} \right]$$