

Mô hình vật liệu bê tông vùng chịu nén khi uốn có xét đến hiệu ứng bao của cốt đai

TS. NGUYỄN DUY TIẾN
Trường Đại học GTVT

Tóm tắt: Bài báo trình bày các mô hình vật liệu khác nhau cho bê tông sử dụng trong phân tích dầm bê tông cốt thép chịu uốn xét đến trạng thái chịu lực của loại vùng này trong dầm. Bài báo cũng đề xuất một mô hình vật liệu cho bê tông vùng chịu nén khi uốn có xét đến hiệu ứng bao của cốt đai. Một số kết quả tính toán được trình bày giúp người đọc hiểu rõ hơn ảnh hưởng của hiệu ứng này đối với mô hình vật liệu.

Abstract: In this paper different material models for concrete used for the analysis of RC beams under bending moment are shown, taking the bearing behaviour of this type of region in RC beams into consideration. A material model for concrete in flexural compression zone with confining effects of hoops is proposed and some results are shown to get a better understanding about these effects on the material model.

1. Giới thiệu

Từ trước đến nay, việc mô hình hóa vật liệu bê tông trong phân tích kết cấu và kiểm toán mặt cắt bê tông cốt thép được tiến hành theo nhiều cách khác nhau. Trong một số trường hợp đơn giản, vật liệu được mô hình dưới dạng quan hệ đàn hồi - tuyến tính giữa ứng suất và biến dạng. Trong những trường hợp khác, quan hệ có thể là dạng dẻo, đàn - dẻo hoặc phi tuyến. Trong trường hợp thông thường, ứng xử vật liệu được mô tả thông qua biểu đồ ứng suất - biến dạng đơn trục như thường được đo trong các thí nghiệm, ví dụ như trong thí nghiệm nén thử mẫu bê tông. Ứng xử của vật liệu ở trạng thái ứng suất đa trục thường được mô hình hóa bằng phương trình quan hệ lý thuyết và kiểm chứng bằng thực nghiệm. Một xu hướng khác là mô hình hóa ứng xử của vật liệu bằng các biểu đồ ứng suất - biến dạng có điều chỉnh. Trong phân tích và kiểm toán dầm bê tông cốt thép chịu uốn thì biểu đồ ứng suất - biến dạng của bê tông ở trạng thái ứng suất đơn trục có thể điều chỉnh sao cho ảnh hưởng của trạng thái ứng suất đa chiều đối với ứng xử của bê tông do hiệu ứng bao của cốt đai cũng được xét đến.

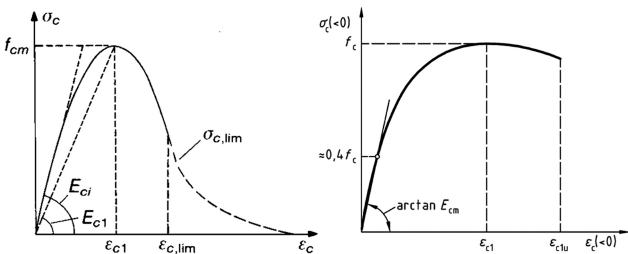
2. Các dạng biểu đồ ứng suất - biến dạng của bê tông vùng chịu nén khi uốn

Nhánh đi lên của biểu đồ ứng suất - biến dạng của bê tông khi chịu nén đơn trục thường được mô tả dưới dạng đường cong parabol từ điểm gốc tọa độ tới điểm ứng suất cực đại. Phương trình mô tả ứng xử phi tuyến sau đây được sử dụng trong [1], [2] và [3]:

$$\frac{\sigma_c}{f_c} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2) \cdot \eta}$$

$$\text{với } \eta = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}}; k = E_{c0} \cdot \frac{\epsilon_{c1}}{f_c} = 1,1 \cdot E_{cm} \cdot \frac{\epsilon_{c1}}{f_c}$$

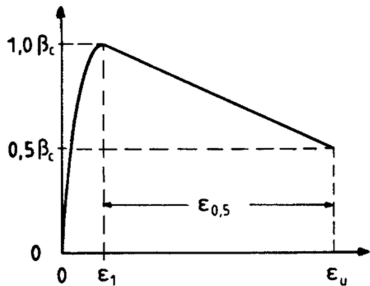
theo DIN 1045-1
($\epsilon_c, \epsilon_{c1}, f_c < 0$)



Hình 1: Biểu đồ ứng suất - biến dạng của bê tông dùng cho phân tích kết cấu theo Model Code 90 (trái) và DIN 1045-1 (phải)

Hiệu ứng kiểm chế biến dạng ngang đối với ứng xử của bê tông thường được xét đến thông qua nhánh đi xuống của biểu đồ ứng suất - biến dạng và sự gia tăng biến dạng nén cực đại của bê tông do ứng suất kiểm chế. Hiệu ứng này phụ thuộc chủ yếu vào hàm lượng cốt thép ngang và kích thước của vùng chịu nén. Trong [5] đã sử dụng biểu đồ ứng suất - biến dạng cho vùng bê tông chịu nén khi uốn với nhánh đi xuống tuyến tính (Hình 2). Ứng suất cực đại được xác định bằng cường độ chịu nén mẫu lăng trụ và biến dạng tương ứng được lấy theo đề xuất của Wesche:

$$\epsilon_1 = 1 + 0,023 \cdot \beta_c$$



Hình 2: Biểu đồ ứng suất - biến dạng cho bê tông bị kiểm chế theo [5]

Độ dốc của nhánh đi xuống được lấy theo Kent và Park như sau:

$$\epsilon_{0,5} = 0,75 \cdot \rho_{b\bar{u}} \cdot \sqrt{\frac{b}{s_{b\bar{u}}}}$$

$$\text{Với } \rho_{b\bar{u}} = \frac{A_{b\bar{u}} \cdot [b' + 2 \cdot (x - \bar{u}_{b\bar{u}})]}{s_{b\bar{u}} \cdot b' \cdot (x - \bar{u}_{b\bar{u}})}$$

b - Giá trị nhỏ hơn của b' và (x - $\bar{u}_{b\bar{u}}$)

b' - Khoảng cách giữa các mép ngoài của nhánh cốt đai

x - Chiều cao vùng bê tông chịu nén ở trạng thái giới hạn cực hạn

Dựa trên biểu đồ ứng suất - biến dạng của Sargin trong đã đề xuất hệ số D trong phương trình quan hệ của bê tông xét đến hiệu ứng bao của cốt đai:

$$\frac{\sigma_c}{f_c} = K_3 \cdot \frac{\delta \cdot \eta + (D-1) \cdot \eta^2}{1 + (\delta-2) \cdot \eta + D \cdot \eta^2}$$

Trong đó:

$$\delta = \frac{K_4 \cdot \varepsilon_{c1} \cdot E_c}{K_3 \cdot f_c}; \quad \eta = \frac{\varepsilon_c}{K_4 \cdot \varepsilon_{c1}}; \quad D = 3,5 \cdot \frac{K_3}{K_4} \cdot K_5$$

Với $K_3 = K_1 + 0,7K_5$

K_1 - Hệ số nằm giữa 1,0 và 0,85 xét đến ảnh hưởng dài hạn của tải trọng

$$K_4 = 1 + 2,5K_5; \quad K_5 = \left(1 - 0,5 \cdot \frac{s_{b\bar{u}}}{b_0}\right) \cdot \omega_{b\bar{u}}$$

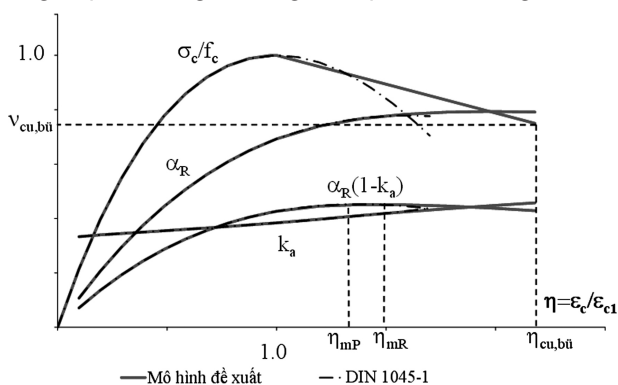
$$E_c = 5,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} + 8 \cdot 10^3$$

$$\varepsilon_{c1} = 1,8 + 0,01 \cdot f_c; \quad \varepsilon_{cu,b\bar{u}} = 4,0 + 29 \cdot K_5;$$

$$\omega_{b\bar{u}} = \mu_{b\bar{u}} \cdot \frac{f_y}{f_c} = \frac{4 \cdot A_{b\bar{u}}}{s_{b\bar{u}} \cdot b_0} \cdot \frac{f_y}{f_c}$$

3. Đề xuất mô hình vật liệu bê tông vùng chịu nén khi uốn có xét đến hiệu ứng bao của cốt đai

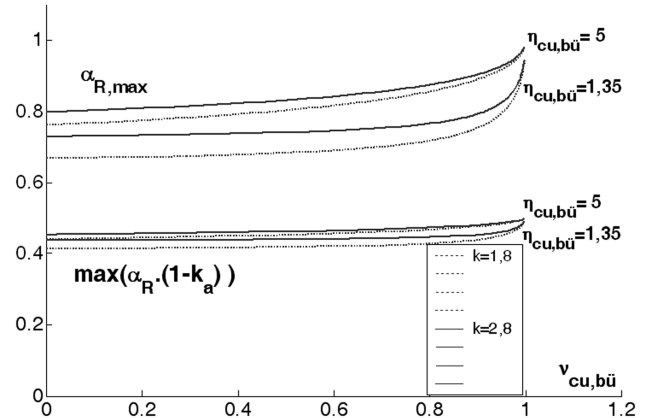
Biểu đồ ứng suất - biến dạng của vật liệu bê tông chịu nén khi uốn có xét đến hiệu ứng bao của cốt đai với nhánh đi xuống dạng tuyến tính được đề xuất như trên Hình 3. Các thông số của biểu đồ thay đổi theo ứng suất phá hoại tương đối $v_{cu,b\bar{u}}$ và biến dạng phá hoại tương đối $\eta_{cu,b\bar{u}}$ được thể hiện trên Hình 4. Đối với biểu đồ parabol - chữ nhật (ứng với $v_{cu,b\bar{u}} = 1$), hệ số đầy α_R và sức kháng uốn tương đối $\alpha_R \cdot (1 - k_a)$ tăng lên cùng với biến dạng phá hoại tương đối và cùng đạt giá trị tối đa tại giá trị này. Đối với biểu đồ đề xuất cực đại của hai giá trị này cùng biến dạng tương đối tăng tiếp tục tăng khi ứng suất phá hoại tăng lên.



Hình 3: Biểu đồ ứng suất - biến dạng chuẩn hóa của bê tông và các thông số đi kèm khi có xét và không xét tới hiệu ứng bao của cốt đai

Khi ứng suất phá hoại tăng đến giá trị $\sigma_{cu,b\bar{u}} \approx 0,75 \cdot f_c$ thì giá trị cực đại của sức kháng uốn tương đối gần như không đổi và chỉ tăng mạnh hơn khi ứng suất phá hoại tương đối nằm trong khoảng 0,75 và 1,0. Điều này có nghĩa là ứng với một biến dạng phá hoại $\varepsilon_{cu,b\bar{u}}$ nhất định thì giá trị ứng suất phá hoại $\sigma_{cu,b\bar{u}}$ dưới $0,75 \cdot f_c$ chỉ ảnh hưởng rất nhỏ đến sức kháng uốn tương đối của vùng chịu nén. Biến dạng phá hoại của

bê tông có xét đến hiệu ứng bao của cốt đai, tuy nhiên lại có tính quyết định đối với khả năng biến dạng của mặt cắt bởi mặt phẳng biến dạng của mặt cắt phụ thuộc trực tiếp vào biến dạng của bê tông.



Hình 4: Các thông số của biểu đồ ứng suất - biến dạng đơn giản hóa của bê tông có xét tới hiệu ứng bao của cốt đai

Từ những nhận xét trên có thể giả thiết rằng ứng suất cực đại và biến dạng tương ứng của bê tông trong vùng chịu nén khi uốn khi có hiệu ứng bao của cốt đai tăng lên rất ít so với khi không có cốt đai. Ảnh hưởng của cốt đai trước khi đạt đến giá trị cực đại của sức kháng uốn tương đối của vùng bê tông chịu nén là có thể bỏ qua. Biểu đồ ứng suất - biến dạng của bê tông trước khi đạt tới cường độ chịu nén có thể lấy theo Hình 1. Giá trị ứng suất phá hoại $\sigma_{cu,b\bar{u}} = 0,75 \cdot f_c$ được lấy đặc trưng cho sức kháng uốn tương đối của vùng chịu nén khi xét đến hiệu ứng bao của cốt đai. Biến dạng phá hoại của bê tông sẽ được xác định dựa trên ứng suất phá hoại này.

Từ Hình 3 có thể thấy rằng, nhờ có hiệu ứng bao của cốt đai mà sức kháng uốn tương đối của vùng chịu nén đã đạt được giá trị cực đại ở biến dạng tương đối η_{mR} lớn hơn so với khi không có cốt đai η_{mP} . Giả định rằng cốt đai đạt giới hạn chảy khi tại thời điểm này, sau đó sức kháng uốn tương đối của vùng chịu nén sẽ không tăng lên. Lượng tăng biến dạng tương đối $\Delta\eta_{mR} = \eta_{mR} - \eta_{mP}$ tương ứng với biến dạng tương đối của bê tông cần thiết để đưa cốt đai đạt tới giới hạn chảy. Từ đó có:

$$\Delta\eta_{mR} = \eta_{mR} - \eta_{mP} = \frac{1}{\varepsilon_{c1}} \cdot \frac{0,5 \cdot \varepsilon_{y,b\bar{u}} \cdot f_{y,b\bar{u}} \cdot A_{b\bar{u}} \cdot (2x_0 + b_0)}{f_c \cdot x_0 \cdot b_0 \cdot s_{b\bar{u}}} = A \cdot \rho_{b\bar{u}}$$

$$\text{Với } A = \frac{1}{2} \cdot \frac{\varepsilon_{y,b\bar{u}}}{\varepsilon_{c1}} \cdot \frac{f_{y,b\bar{u}}}{f_c}; \quad \rho_{b\bar{u}} = \frac{A_{b\bar{u}} \cdot (2x_0 + b_0)}{x_0 \cdot b_0 \cdot s_{b\bar{u}}}$$

$$x_0 = x - c; \quad b_0 = b - 2\bar{u}_{b\bar{u}}$$

Biến dạng tương đối η_{mP} ứng với giá trị cực đại của sức kháng uốn tương đối của vùng chịu nén khi không có cốt đai được xác định chỉ phụ thuộc vào hệ số k, trong khi biến dạng tương đối η_{mR} của biểu đồ đề xuất còn phụ thuộc thêm vào biến dạng phá hoại tương đối của bê tông $\eta_{cu,b\bar{u}}$. Từ phương trình xác định $\Delta\eta_{mR}$ ở trên có thể xác định biến dạng phá hoại tương đối này gần đúng theo phương trình sau:

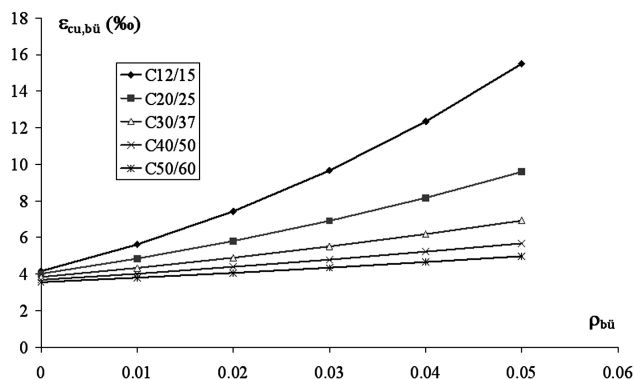
$$\eta_{cu,b\bar{u}} = 0,24 \cdot k \cdot (\Delta\eta_{mR} + \eta_{mP})^3 + 0,44$$

Thay $\Delta\eta_{mR}$ từ phương trình ở trên được:

$$\varepsilon_{cu,b\bar{u}} = \varepsilon_{c1} \cdot \left(0,24 \cdot k \cdot (A \cdot \rho_{b\bar{u}} + \eta_{mP})^3 + 0,44\right)$$

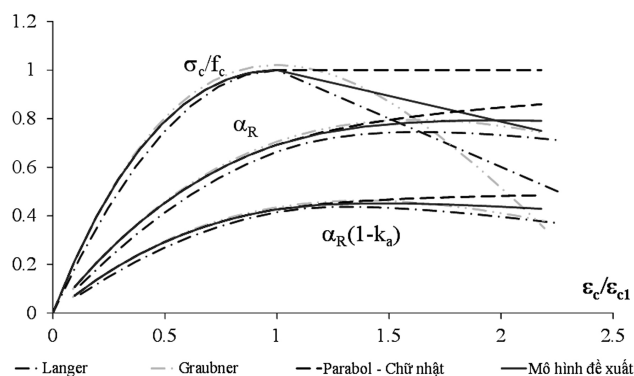
với $\eta_{mR} \cong 1,18 k^{0,18}$

Hình 5 là biểu đồ xác định biến dạng phá hoại của bê tông theo đề xuất trên đối với các cấp cường độ bê tông khác nhau và cốt thép có giới hạn chảy 500 MPa phụ thuộc vào hàm lượng cốt thép đai. Có thể thấy rằng trong trường hợp bê tông cấp cường độ thấp và hàm lượng cốt đai lớn thì biến dạng phá hoại của bê tông có thể được tăng lên đáng kể. Đối với các cấp bê tông có cường độ cao hơn thì ảnh hưởng này cũng kém rõ rệt hơn.



Hình 5: Biến dạng phá hoại của biểu đồ ứng suất - biến dạng đề xuất của bê tông có xét tới hiệu ứng bao của cốt đai

Các dạng biểu đồ ứng suất - biến dạng của bê tông xét đến hiệu ứng bao của cốt đai cùng các thông số tương ứng được so sánh trên Hình 6. Các biểu đồ ứng suất - biến dạng này được chuẩn hóa qua cường độ chịu nén và biến dạng tương ứng. Biến dạng phá hoại của biểu đồ parabol - chữ nhật được xác định theo công thức đề xuất. Có thể thấy rằng, các tham số của mô hình đề xuất khá đơn giản và phù hợp nhưng đã xét được khá đầy đủ các thông số ảnh hưởng đến hiệu ứng bao của cốt đai như đặc trưng của bê tông, cốt thép, kích thước vùng chịu nén và hàm lượng cốt thép đai.



Hình 6: So sánh các biểu đồ ứng suất - biến dạng đề xuất của bê tông có xét tới hiệu ứng bao của cốt đai ứng với cấp cường độ bê tông C20/25 và $\rho_{bi} = 0,7\%$

4. Kết luận

Trên đây là một số mô hình vật liệu khác nhau cho bê tông vùng chịu nén sử dụng trong phân tích dầm bê tông cốt thép chịu uốn khi không và có xét đến hiệu ứng bao của cốt đai. Một số kết quả tính toán được trình bày giúp người đọc hiểu rõ hơn ảnh hưởng của hiệu ứng này đối với mô hình vật liệu, cần có thêm những kết quả nghiên cứu thực nghiệm để kiểm chứng mô hình đã đề xuất □

Ký hiệu

- A_{bi} - Diện tích mặt cắt cốt đai
- E_c - Mô đun đàn hồi của bê tông
- b - Bề rộng sườn dầm
- b_0 - Bề rộng vùng chịu nén
- d_1 - Khoảng cách từ hợp lực kéo trong cốt thép tới mép chịu kéo ngoài cùng
- f_c - Cường độ nén của bê tông
- f_y - Giới hạn chảy của thép
- h - Chiều cao mặt cắt
- k_a - Tỷ lệ giữa khoảng cách từ hợp lực nén trong bê tông đến mép ngoài cùng chịu nén và chiều cao vùng bê tông chịu nén
- s_{bi} - Bước cốt đai
- u_{bi} - Chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt đai
- z - Cánh tay đòn nội ngẫu lực
- α_R - Hệ số "đẩy" của biểu đồ bê tông vùng chịu nén
- ε_c - Biến dạng của bê tông
- ε_{ct} - Biến dạng của bê tông khi đạt ứng suất cực đại
- ε_{cu} - Biến dạng cực hạn của bê tông
- $\varepsilon_{cu,bi}$ - Biến dạng cực hạn của bê tông có xét đến hiệu ứng bao của cốt đai
- ρ - Hàm lượng hình học của thép chịu kéo
- ω - Hàm lượng cơ học của thép chịu kéo
- μ_{bi} - Hàm lượng hình học của thép đai
- ω_{bi} - Hàm lượng cơ học của thép đai
- ϕ_{bi} - Đường kính cốt đai
- σ_c - Ứng suất bê tông
- σ_s - Ứng suất cốt thép

Tài liệu tham khảo

- [1]. ENV 1992-1-1: Eurocode 2: *Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1: Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau*, Oktober, 1991.
- [2]. CEB-FIB Model Code 1990: *Bulletin D'Information N° 203 und 204*, July, 1991.
- [3]. DIN 1045-1: *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1: Bemessung und Konstruktion*, July, 2001.
- [4]. Graubner, C. -A.: *Schnittgroßenverteilung in statisch unbestimmten Stahlbetonbalken unter Berücksichtigung wirklichkeitsnaher Stoffgesetze*, Dissertation, TU München, 1989.
- [5]. Langer, P.: *Verdrehfähigkeit plastizierter Tragwerksbereiche im Stahlbetonbau*, Dissertation, Universität Stuttgart, 1987.

Ngày nhận bài: 10/02/2014

Ngày chấp nhận đăng: 26/02/2014

Người phản biện: TS. Bùi Tiến Thành

TS. Nguyễn Duy Phương

ĐÀO HÀNH

Rét Lộc

Tháng Hai rét lộc lê thê
Lên chùa bà Vãi nặng nề bước chân
Ngát thơm hoa Đại trắng ngần
Tiếng chuông gió đầy xa dần, dần xa.