

THIẾT KẾ CẤU KIỆN CƠ BẢN BÊ TÔNG CỐT THÉP THEO CHỈ SỐ ĐỘ TIN CẬY

Th.S Phạm Đức Cường

Trường Cao đẳng xây dựng Nam Định

TÓM TẮT: Phương pháp trạng thái giới hạn đang được sử dụng phổ biến trên thế giới (trong đó có Việt Nam) để xây dựng tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép. Hiện nay, một số nước phát triển đã nghiên cứu và sử dụng tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép theo độ tin cậy nhằm phản ánh ngày càng đúng hơn bản chất làm việc thực của kết cấu. Trong bài báo này, tác giả trình bày một phương pháp thiết kế cấu kiện cơ bản bằng bê tông cốt thép theo chỉ số độ tin cậy. Từ đó rút ra một số nhận xét.

Từ khoá: Thiết kế, cấu kiện, chỉ số độ tin cậy.

1. Khái quát về lý thuyết tính cấu kiện bê tông cốt thép theo chỉ số độ tin cậy

1.1. Phương pháp tính cấu kiện bê tông cốt thép.

Phương pháp tính cấu kiện bê tông cốt thép (BTCT) theo trạng thái giới hạn có nội dung khá phong phú và đảm bảo an toàn, kinh tế và hợp lý hơn các phương pháp tính theo một hệ số an toàn tổng hợp. Tuy vậy, trong quá trình khai thác sử dụng, không ít những công trình xây dựng bằng BTCT đã bị biến dạng hoặc phá hoại trước thời gian dự kiến, nguyên nhân chính là do những tác động ngẫu nhiên của các yếu tố về tải trọng, cường độ vật liệu, kích thước hình học,... mà trong quá trình tính toán chưa được kể đến. Để khắc phục vấn đề này, một số nước phát triển như Mỹ, Nhật, Anh, Trung Quốc... đã nghiên cứu sử dụng lý thuyết độ tin cậy (ĐTC) để tính cấu kiện, kết cấu theo mô hình ngẫu nhiên và đã xây dựng tiêu chuẩn thiết kế kết cấu theo điều kiện của mỗi nước.

1.2. Tham số tính cấu kiện bê tông cốt thép.

Bản chất các tham số để tính kết cấu là các biến ngẫu nhiên [1], [3]. Phương pháp tính cấu kiện BTCT theo trạng thái giới hạn đã sử dụng hệ số thành phần để bù cho độ sai lệch của các tham số theo những quan niệm về mức độ an toàn và điều kiện riêng của mỗi nước. Mặt khác, một số công trình khoa học [5] đã tìm ra cách quy đổi hàm trạng thái từ phi tuyến về tuyến tính, đại lượng ngẫu nhiên có phân bố bất kỳ về phân bố chuẩn và quy đổi các đại lượng ngẫu nhiên tương quan về không tương quan (độc lập). Do vậy, việc nghiên cứu tính cấu kiện và kết cấu theo mô hình ngẫu nhiên ngày càng được quan tâm và phát triển.

1.3. Quãng an toàn và chỉ số độ tin cậy.

Gọi R là đại lượng ngẫu nhiên biểu thị cho sức bền của cấu kiện với các đặc trưng là kỳ vọng μ_R và độ lệch chuẩn σ_R . Ký hiệu $R \in N(\mu_R; \sigma_R)$

Gọi S là đại lượng ngẫu nhiên biểu thị cho hiệu ứng tải trọng gây ra cho cấu kiện với các đặc trưng là kỳ vọng μ_S và độ lệch chuẩn σ_S . Ký hiệu $S \in N(\mu_S; \sigma_S)$

Gọi $g(r)$ là hàm mật độ của sức bền; $f(s)$ là hàm mật độ của hiệu ứng tải trọng.

$$\text{Đặt } M = R - S \quad (1)$$

R, S là đại lượng ngẫu nhiên $\Rightarrow M = R - S$ cũng là đại lượng ngẫu nhiên và M được gọi là quãng an toàn (khoảng an toàn hoặc hàm trạng thái) của cấu kiện $\Rightarrow M \in N(\mu_M; \sigma_M)$ - Hình 1 và Hình 2.

Từ công thức (1) ta có các trạng thái làm việc của cấu kiện như sau:

$M < 0$ ứng với trạng thái không an toàn.

$M > 0$ ứng với trạng thái an toàn.

$M = 0$ ứng với ranh giới giữa an toàn và không an toàn.

$$\text{Giá trị trung bình (kỳ vọng)} \mu_M = \mu_R - \mu_S \quad (2)$$

Độ lệch chuẩn của hàm M được xác định theo công thức

$$\sigma_M = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{M-X_i}^2} \quad (3)$$

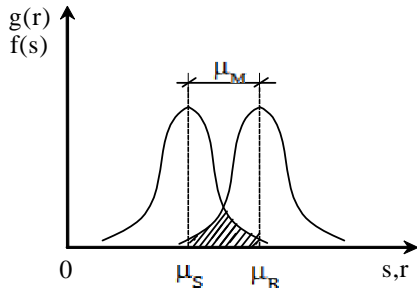
Trong đó:

X_i là biến ngẫu nhiên của hàm trạng thái $M(x_i)$

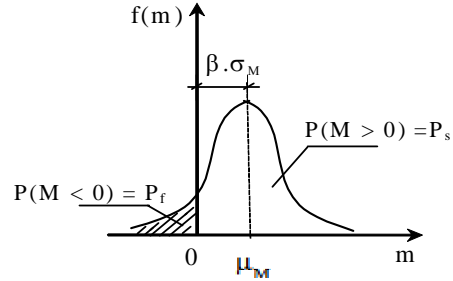
σ_{M-X_i} là độ lệch chuẩn thành phần của hàm trạng thái M theo biến ngẫu nhiên x_i .

Chỉ số ĐTC β được tính theo công thức:

$$\beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M} \quad (4)$$



Hình 1. Quãng an toàn của cấu kiện.



Hình 2. Trạng thái làm việc của cấu kiện.

1.4. Ý nghĩa của chỉ số độ tin cậy β

Khi có β , tra bảng biết được xác suất làm việc an toàn $P_s = \Phi(\beta)$ tương ứng của cấu kiện, hàm $\Phi(\beta)$ là hàm đã được tính sẵn và lập thành bảng để sử dụng [2], [3] – Xem Bảng 1.

Nếu gọi P_f là xác suất phá hủy của phần tử thì ứng với mỗi phần tử ta có: $P_f = 1 - P_s$

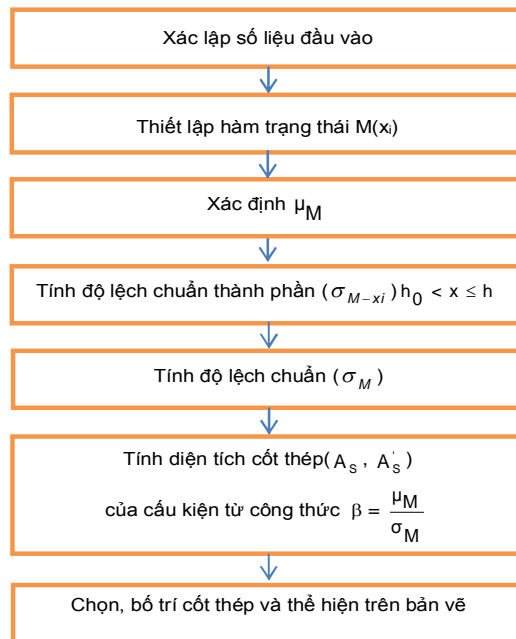
β càng lớn thì ĐTC càng cao hay xác suất phá hủy càng thấp và ngược lại.

Bảng 1

β	2,25	3,25	3,75	4,25	4,75	5,25
P_f	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
$P_s = 1 - P_f$	$1 - 10^{-2}$	$1 - 10^{-3}$	$1 - 10^{-4}$	$1 - 10^{-5}$	$1 - 10^{-6}$	$1 - 10^{-7}$

1.5. Sơ đồ khối thiết kế cấu kiện cơ bản BTCT theo chỉ số ĐTC β

Theo lý thuyết ĐTC [5], [3] \Rightarrow lập được sơ đồ khối như Hình 3



Hình 3. Sơ đồ khối thiết kế cấu kiện cơ bản BTCT theo chỉ số ĐTC β

2. Thiết kế cấu kiện BTCT cơ bản theo chỉ số ĐTC

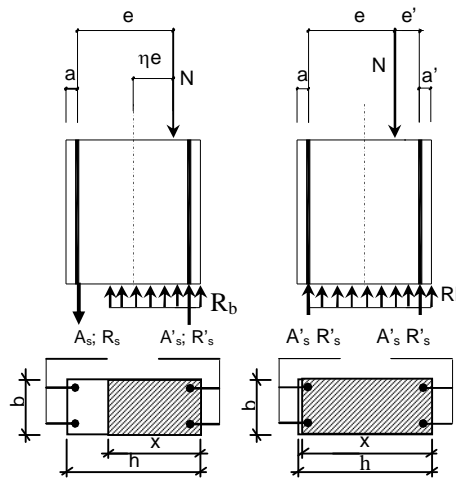
Cấu kiện BTCT cơ bản gồm có: Cấu kiện (CK) chịu uốn; CK chịu nén và CK chịu kéo. Trong phạm vi bài báo, tác giả trình bày hai CK điển hình là: CK chịu nén lệch tâm và CK chịu uốn ngang phẳng. Các CK khác thực hiện tương tự.

2.1. Thiết kế cấu kiện BTCT chịu nén lệch tâm theo chỉ số ĐTC

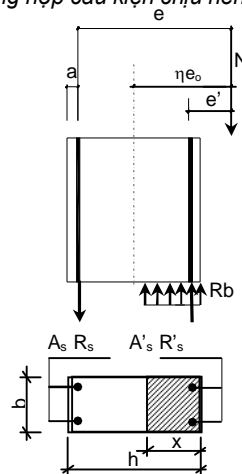
2.1.1. Bài toán

Cho cấu kiện chịu nén lệch tâm có sơ đồ ứng suất tại Hình 4 và Hình 5 với các tham số là các biến ngẫu nhiên độc lập $X_i \in N(\mu_{x_i}, \sigma_{x_i})$; chỉ số ĐTC của cấu kiện theo yêu cầu thiết kế là β

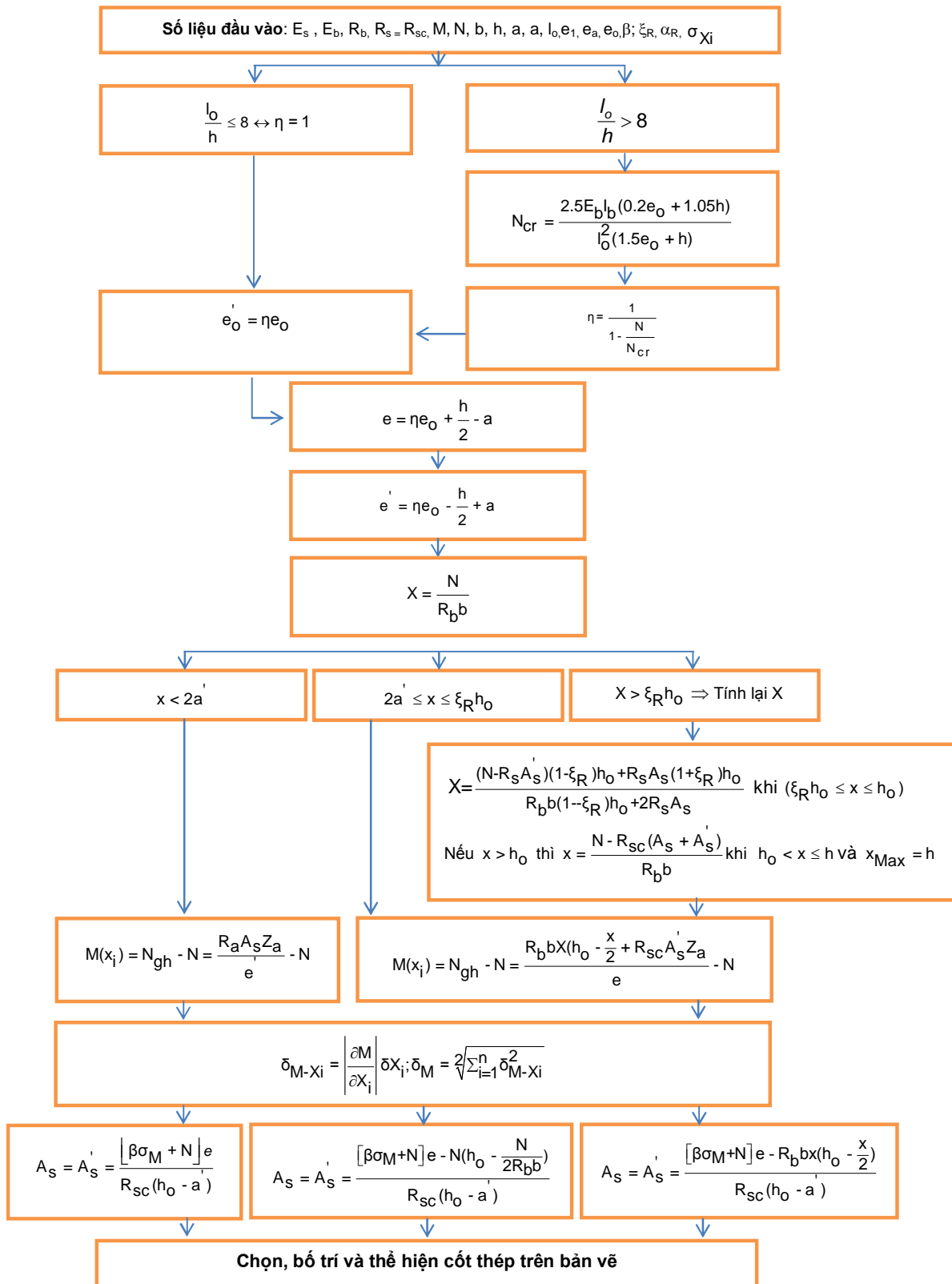
Yêu cầu tính cốt thép dọc đối xứng cho cấu kiện theo chỉ số ĐTC (β).



Hình 4. Trường hợp cấu kiện chịu nén lệch tâm bé



Hình 5. Trường hợp cấu kiện chịu nén lệch tâm lớn



Hình 6. Sơ đồ thuật toán thiết kế cấu kiện chịu nén lệch tâm theo chỉ số ĐTC

2.1.2. Trình tự tính toán cấu kiện chịu nén lệch tâm theo chỉ số ĐTC

Bước 1: Giải bài toán tiền định [4] ta có $R = N_{gh}; \quad S = N \Rightarrow M(x_i) = R - S = N_{gh} - N \Rightarrow \mu_M = M(\mu_{x_i})$

Bước 2: Tính độ lệch chuẩn σ_M của hàm $M(x_i)$

Từ kết quả khảo sát, đo đạc thí nghiệm và thống kê hoặc theo tiêu chuẩn thiết kế ta có các độ lệch chuẩn của từng tham số x_i là σ_{x_i}

$M(x_i)$ là hàm phi tuyến nhiều biến x_i và x_i là các đại lượng ngẫu nhiên độc lập thống kê [5], [1] \Rightarrow Tính được các độ lệch chuẩn thành phần và độ lệch chuẩn của $m(x_i)$ như sau:

$$\text{Độ lệch chuẩn thành phần của hàm } M(x_i) \text{ theo công thức } \sigma_{M-X_i} = \left| \frac{\partial M}{\partial x_i} \right| \sigma_{x_i} \quad \sigma_{M-X_i} = \left| \frac{\partial M}{\partial x_i} \right| \sigma_{M-x_i}$$

Độ lệch chuẩn của hàm $M(x_i)$ theo công thức

$$\sigma_M = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{M-X_i}^2}$$

Bước 3: Tính A_s, A'_s theo chỉ số ĐTC từ $\beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M}$

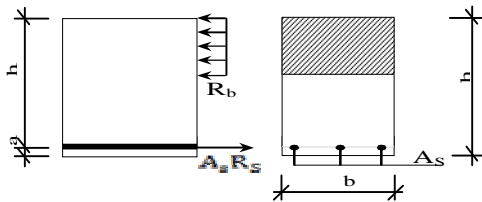
Bước 4: Chọn, bố trí và thể hiện bản vẽ. Các bước tính được biểu diễn trên sơ đồ Hình 6.

2.2. Thiết kế cấu kiện BTCT chịu uốn theo chỉ số ĐTC

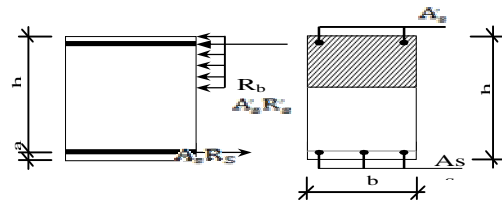
2.2.1. Bài toán

Cho cấu kiện chịu uốn có sơ đồ ứng suất tại Hình 7 và Hình 8 với các tham số là các biến ngẫu nhiên $X_i \in N(\mu_{x_i}, \sigma_{x_i})$; chỉ số ĐTC theo yêu cầu thiết kế của cấu kiện là β .

Yêu cầu tính cốt thép dọc cho cấu kiện theo chỉ số ĐTC (β).



Hình 7. Sơ đồ ứng suất của cấu kiện chịu uốn đặt cốt đơn.



Hình 8. Sơ đồ ứng suất của cấu kiện chịu uốn đặt cốt kép.

2.2.2 Trình tự tính toán thiết kế cấu kiện BTCT chịu uốn

Bước 1: Giải bài toán tiền định [4] ta được $R = M_{gh}; S = M \Rightarrow m(x_i) = R - S = M_{gh} - M \Rightarrow \mu_m = m(\mu_{x_i})$

Bước 2: Tính độ lệch chuẩn σ_m của hàm $m(x_i)$

Từ kết quả khảo sát, đo đạc thí nghiệm và thống kê hoặc theo tiêu chuẩn thiết kế ta có các độ lệch chuẩn của từng tham số x_i là σ_{x_i}

$m(x_i)$ là hàm phi tuyến nhiều biến x_i . Các biến x_i là các đại lượng ngẫu nhiên độc lập thống kê [1] [5] \Rightarrow Tính được các độ lệch chuẩn thành phần và độ lệch chuẩn của $m(x_i)$ như sau:

$$\text{Độ lệch chuẩn thành phần của hàm } m(x_i) \text{ theo công thức } \sigma_{m-X_i} = \left| \frac{\partial m}{\partial x_i} \right| \sigma_{x_i} \quad \sigma_{m-X_i} = \left| \frac{\partial m}{\partial x_i} \right| \sigma_{x_i}$$

$$\text{Độ lệch chuẩn của hàm } m(x_i) \text{ theo công thức } \sigma_m = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{m-X_i}^2} \quad \sigma_m = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{m-X_i}^2}$$

Bước 3: Tính A_s, A'_s theo chỉ số ĐTC từ $\beta = \frac{\mu_m}{\sigma_m}$

Bước 4: Chọn, bố trí và thể hiện bản vẽ

Các bước tính được biểu diễn trên sơ đồ Hình 9.

3. Ví dụ thiết kế một số cấu kiện BTCT cơ bản theo chỉ số ĐTC

3.1. Bài toán

- Cho các cấu kiện BTCT chịu nén lệch tâm (CKNLT) và chịu uốn (CKCU) có các số liệu đầu vào tại Bảng 2. Trong đó:

+ Kỳ vọng của cường độ vật liệu và tải trọng là các giá trị tiêu chuẩn của chúng.

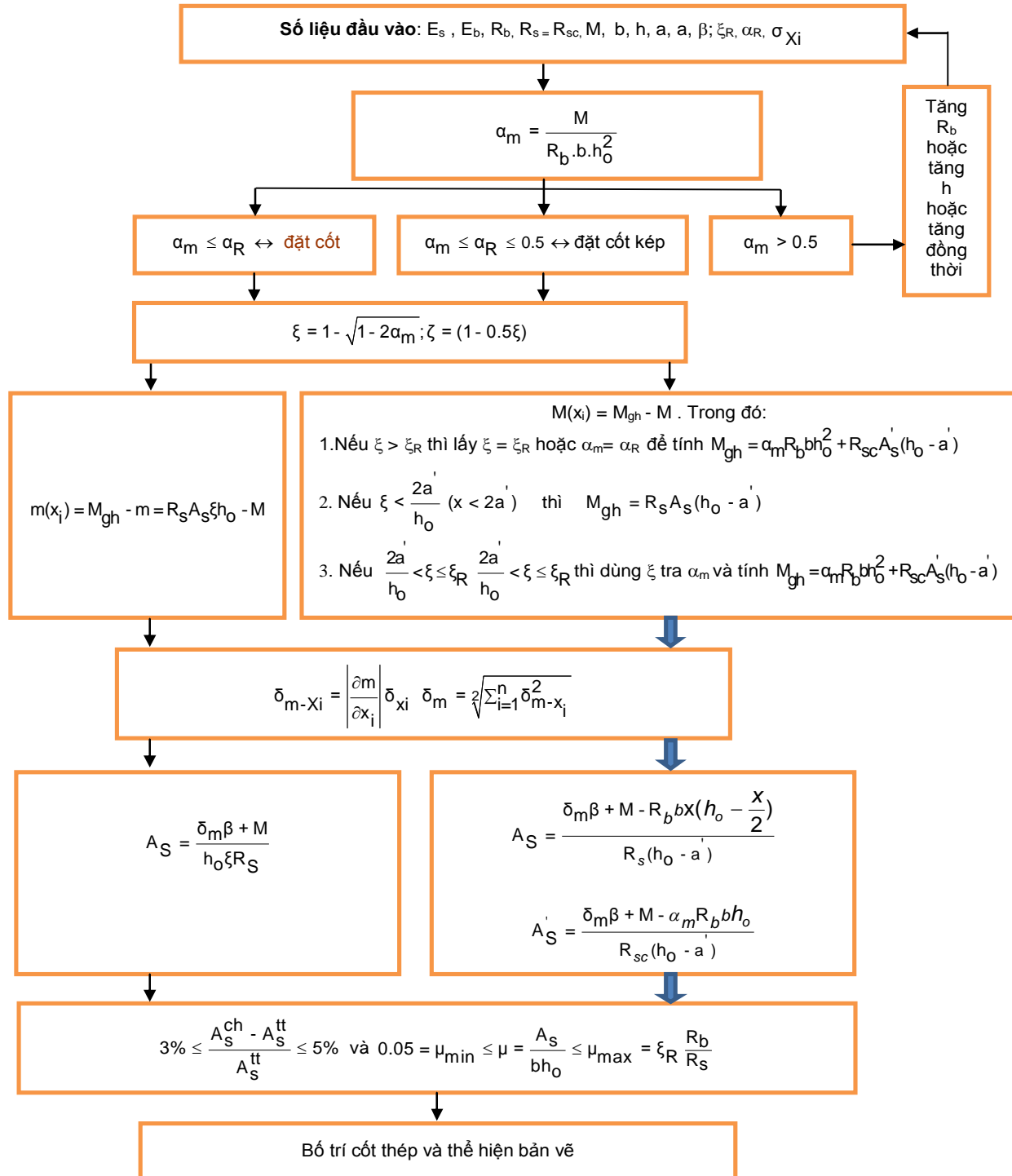
+ Độ sai lệch chuẩn (σ_{x_i}) của mỗi tham số x_i tại bảng 1 là số liệu dự kiến (được lấy từ kết quả khảo sát, đo đạc thí nghiệm và thống kê của nhiều công trình hoặc quy định tại tiêu chuẩn thiết kế).

- Hãy tính diện tích cốt thép dọc cho hai cấu kiện với yêu cầu về chỉ số ĐTC $\beta = 3,5$.

3.2. Lời giải

- Sử dụng các sơ đồ Hình 6 và Hình 9, ta tính được diện tích cốt thép A_s ; A'_s theo chỉ số ĐTC $\beta = 3,5$ (kết quả ghi tại Bảng 2).

- Chọn, bố trí cốt thép và thể hiện trên bản vẽ.



Hình 9. Sơ đồ thuật toán thiết kế cấu kiện chịu uốn theo chỉ số ĐTC

Bảng 2. Số liệu đầu vào và kết quả từ máy tính

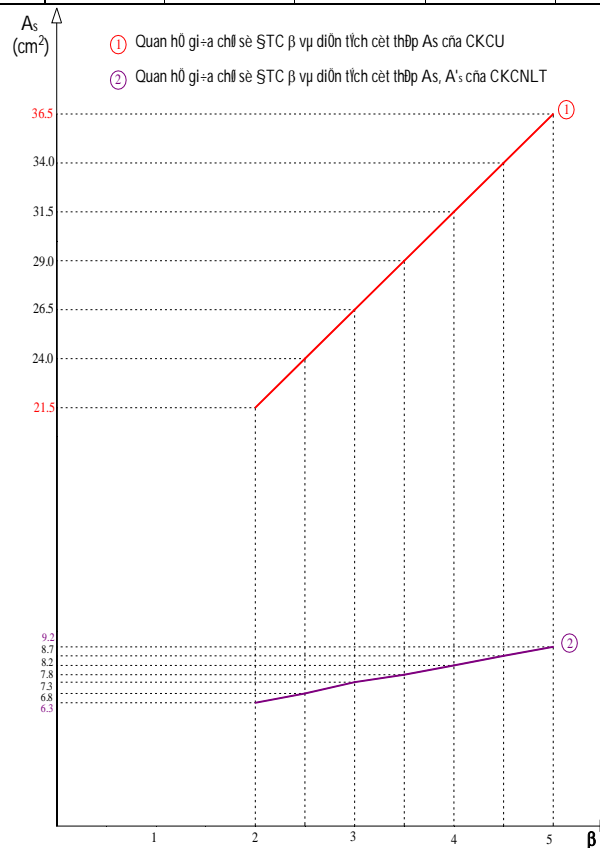
Loại cấu kiện	Số liệu đầu vào		Kết quả	
			A_s (mm ²)	A'_s (mm ²)
Chịu nén lệch tâm	Chỉ số ĐTC $\beta=3,5$	$M = 774 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$; $N = 161500 \text{ N}$; $E_a = 21 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$; $E_b = 27 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$; $R_b = 15 \text{ N/mm}^2$; $R_s = R_{sc} = 300 \text{ N/mm}^2$; $b = 220$; $h = 400$; $l_0 = 2800$; $\sigma_N = 0,2N$, $\sigma_{Rb} = 0,15R_b$, $\sigma_{Rs} = 0,05R_s$, $\sigma_b = 0,05b$, $\sigma_h = 0,1h$, $\sigma_{As} = 0,10A_s$	776.8	776.8
Chịu uốn	Chỉ số ĐTC $\beta=3,5$	$M = 133 \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{mm}$; $b = 250$; $h = 500$; $R_b = 15 \text{ N/mm}^2$; $R_s = R_{sc} = 300 \text{ N/mm}^2$; $a = a' = 40$; $\sigma_M = 0,2M$, $\sigma_{Rb} = 0,15R_b$, $\sigma_{Rs} = 0,05R_s$, $\sigma_b = 0,05b$, $\sigma_h = 0,1h$, $\sigma_{As} = 0,10A_s$	2901.1	Đặt cốt đơn \Rightarrow thép dọc vùng nén là thép cấu tạo

3.3. Ảnh hưởng của chỉ số ĐTC β đến diện tích cốt thép A_s và A'_s của cấu kiện BTCT

Tùy theo nhu cầu của chủ đầu tư hoặc theo tầm quan trọng của mỗi công trình mà lựa chọn chỉ số ĐTC β khác nhau cho mỗi cấu kiện. Từ đó tính được các giá trị A_s ; A'_s tương ứng với mỗi β bằng cách thay chỉ số ĐTC β vào các sơ đồ thuật toán (Hình 6 và 9) ta được kết quả A_s ; A'_s tương ứng tại bảng 3 và đồ thị tại Hình 10 (Tiêu chuẩn thiết kế của Trung Quốc quy định $\beta \geq 3,5$ đối với cấu kiện BTCT của công trình dân dụng).

Bảng 3. Diện tích cốt thép A_s và A'_s tương ứng với giá trị của chỉ số ĐTC β

Giá trị A_s ; A'_s (cm ²)	Chỉ số ĐTC β						
		2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
$A_s = A'_s$ của CKNLT	6,3	6,8	7,3	7,8	8,2	8,7	9,2
A_s của CKCU	21,5	24	26,5	29	31,5	34	36,6



Hình 10. Quan hệ giữa chỉ số ĐTC β và diện tích cốt thép A_s, A'_s của CKCU & CKNLT

4. Kết quả và nhận xét

4.1. Kết quả đạt được

- Xây dựng sơ đồ khối thiết kế các cấu kiện cơ bản BTCT theo chỉ số ĐTC β
- Xây dựng sơ đồ thuật toán thiết kế CKCNLT và CKCU theo chỉ số ĐTC β cho trước.
- Lập trình tính hai loại cấu kiện BTCT điển hình là CKCNLT và CKCU theo chỉ số ĐTC β .
(với cách làm tương tự sẽ thiết kế được mọi cấu kiện cơ bản bằng BTCT theo chỉ số ĐTC).

4.2. Nhận xét

- Nếu tăng hoặc giảm chỉ số ĐTC β cùng một giá trị thì mức độ (tỷ lệ) tăng hoặc giảm diện tích cốt thép A_s của CKCU sẽ lớn hơn mức độ tăng hoặc giảm A_s của CKCNLT (hình 10).
- Nếu tính cấu kiện BTCT theo chỉ số ĐTC β (có xét đến độ lệch (σ_{xi}) của các tham số ngẫu nhiên) thì mức độ làm việc an toàn của cấu kiện BTCT được phản ánh đầy đủ và chính xác hơn so với các phương pháp tiền định. Đó cũng là cơ sở để chủ động tạo ra được những cấu kiện và kết cấu BTCT có ĐTC phù hợp cho mỗi công trình với chi phí hợp lý nhất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. **Nguyễn Xuân Chính**, “*Phương pháp đánh giá độ tin cậy của khung bê tông cốt thép thiết kế theo tiêu chuẩn Việt Nam*”. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Viện KH CN Xây dựng, Hà Nội - 2000.
2. **Đào Hữu Hồ** “*Lý thuyết xác suất thống kê*”. NXB đại học Quốc Gia- Hà Nội - 2002.
3. **Phan Văn Khôi**, “*Cơ sở đánh giá độ tin cậy*”. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội - 2001.
4. **Phan Quang Minh, Ngô Thế Phong, Nguyễn Đình Cống** “*Kết cấu bê tông cốt thép - Phần cấu kiện cơ bản*”. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội – 2011.
5. **Nguyễn Văn Phó** “*Độ tin cậy và tuổi thọ công trình*”. Bài giảng cho học viên cao học ngành Xây dựng công trình-Hà Nội – 2012.
6. **Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 356:2005- Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép**.
7. **Tiêu chuẩn Quốc tế ISO 2394- 1998** – Nguyên lý chung về độ tin cậy của kết cấu công trình.
8. **Tiêu chuẩn thống nhất thiết kế kết cấu công trình theo độ tin cậy JB50153-92-** Tiêu chuẩn nhà nước Cộng hòa nhân dân Trung Hoa.
9. **Andrzej S. Nowk & Kevin R. Collins**, “*RELIABILITY OF STRUCTURES*”, Univesity of Michigan.

Ngày nhận bài: 16/10/2013.

Design basic reinforced concrete structural elements according to the reliability

MEng. PHAM DUC CUONG

Limit State Method is widely used around the world (including Vietnam) to establish the design standards for reinforced concrete structures. Currently, some developed countries have conducted researches and used the design standards for reinforced concrete structures basing on the reliability in order to reflect more accurately the real nature of the behavior of structure. In this article, the author presents a design method of basic reinforced concrete elements according to the reliability index. Some remarks are made at the end of the article.