

Nghiên cứu tính toán khả năng chịu lực của cấu kiện bê tông cốt thép chịu tác dụng của mô men uốn và lực dọc theo TCVN 5574-2018

Study on calculating the load bearing capacity of reinforced concrete structures subject to bending moment and axial force according to TCXD 5574-2018

> TS TRẦN VIỆT TÂM

Khoa XDDD&CN, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội; E-mail: tamtv@huce.com.vn

TÓM TẮT

Một trong những điểm mới của tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép TCVN 5574-2018[1] là quy định về việc tính toán cấu kiện bê tông cốt thép (BTCT) cần được tiến hành theo mô hình biến dạng phi tuyến (BDPT). Tuy nhiên tiêu chuẩn cũng cho phép tính toán trên cơ sở nội lực giới hạn (NLGH) cho một số trường hợp tiết diện chữ nhật, chữ T, chữ I... Bài báo trình bày về lý thuyết tính toán cũng như một số kết quả so sánh giữa 2 mô hình BDPT và NLGH.

Từ khóa: Bê tông cốt thép; biến dạng phi tuyến; nội lực giới hạn; TCVN 5574-2018; nén lệch tâm.

ABSTRACT

One of the new points of TCVN 5574-2018 (concrete and reinforced concrete structure design standard) stipulates that the calculation of reinforced concrete structures shall be carried out according to the nonlinear strain model (BDPT). However, the standard also allows for the calculations on the basis of ultimate internal force (NLGH) for some cases of rectangular, T-shaped, I-shaped cross sections... This paper presents these two calculation theories as well as the calculation examples. The comparison between 2 models BDPT and NLGH are highlighted.

Keywords: Reinforced concrete; nonlinear strain; limit internal force; TCVN 5574-2018; eccentric compression.

1. GIỚI THIỆU

Một trong những điểm mới của tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép TCVN 5574-2018[1] là quy định về việc tính toán cấu kiện bê tông cốt thép (BTCT) cần được tiến hành theo mô hình biến dạng phi tuyến (BDPT). Đây là cách tiếp cận gần

với các tiêu chuẩn thiết kế hiện đại của Hoa Kỳ ACI 318:2019[3], châu Âu EC2:2004[4]. Đây cũng là mô hình tính toán chính được áp dụng trong các phần mềm phân tích thiết kế thương mại như SAP2000, ETABS, PROKON [8].

Tại Việt Nam trước đây, việc tính toán thiết kế chủ yếu theo mô hình nội lực giới hạn, do mô hình tính toán đơn giản, phù hợp để làm các bảng tính. Với các cấu kiện có hình dạng bất kỳ hay cấu kiện chịu nén lệch tâm xiên, tính toán độ bền theo nội lực giới hạn gặp nhiều khó khăn trong xác định kích thước miền nén, ứng suất trong cốt thép, dẫn đến có những sai số trong thiết kế.

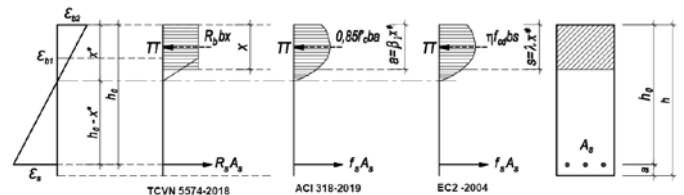
Từ những vấn đề trên, bài báo làm rõ lý thuyết tính toán cũng như một số kết quả so sánh giữa 2 mô hình biến dạng phi tuyến và nội lực giới hạn bằng phần mềm Rdsutie [6], phần mềm được tác giả nghiên cứu và phát triển.

2. MÔ HÌNH NỘI LỰC GIỚI HẠN

2.1. Các giả thiết của mô hình nội lực giới hạn

Tính toán cấu kiện bê tông cốt thép theo nội lực giới hạn cần tiến hành với các nội lực giới hạn mà bê tông và cốt thép có thể chịu được dựa trên các giả thiết sau:

- Bỏ qua khả năng chịu lực của bê tông vùng kéo;
- Vùng nén của bê tông được quy đổi thành hình chữ nhật tương đương (Hình 1). Với TCVN 5574-2018[1] ứng suất nén của bê tông có giá trị bằng cường độ chịu nén tính toán của bê tông R_b và được phân bố đều trên vùng chịu nén quy ước $x = 0,8 \times x^*$ (x^* là chiều cao vùng nén) khi $B \leq 60$ và $x = 0,7 \times x^*$ (x^* là chiều cao vùng nén) khi $B > 60$;
- Bỏ qua khả năng chịu lực của bê tông vùng chịu kéo;
- Ứng suất kéo trong cốt thép theo TCVN 5574-2018[1] lấy không lớn hơn cường độ chịu kéo tính toán R_s ;

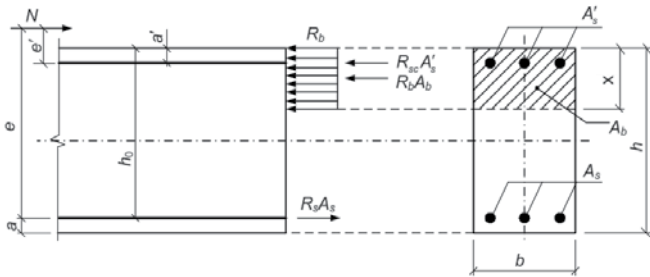


Hình 1. Vùng chịu nén quy ước của bê tông từ sơ đồ biến dạng theo các tiêu chuẩn[7]

Tính toán độ bền cấu kiện BTCT theo nội lực giới hạn được tiến hành theo điều kiện mà nội lực do tải trọng và tác động ngoài F

trong tiết diện đang xét không vượt quá nội lực giới hạn F_u mà cấu kiện có thể chịu được trong tiết diện này.

2.2. Sơ đồ ứng suất và phương trình cân bằng



Hình 2. Sơ đồ ứng suất cấu kiện chịu nén lệch tâm

$$N = \xi R_b b h_0 + R_{sc} A'_s \pm \sigma_s A_s \tag{1}$$

$$M_u = R_b b x (h_0 - 0,5x) + \left(R_{sc} A'_s - \frac{N}{2} \right) z_s \tag{2}$$

$$M_u = R_b b x (a' - 0,5x) + \left(\pm \sigma_s A_s + \frac{N}{2} \right) z_s \tag{2-a}$$

Trong đó:

σ_s - ứng suất cốt thép phía chịu kéo (hoặc nén ít hơn), lấy dấu - khi thép chịu nén;

A'_s - diện tích tiết diện cốt thép chịu nén (đặt gần lực N);

A_s - diện tích tiết diện cốt thép phía đối với tiết diện A'_s , nó có thể chịu nén ít hơn;

a, a' - khoảng cách từ trọng tâm A_s và A'_s đến mép tiết diện gần nhất;

$z_s = h_0 - a'$ - khoảng cách giữa trọng tâm A_s và A'_s ;

x - chiều cao vùng bê tông chịu nén và $\xi = x/h_0$;

N - Lực nén tác dụng lệch tâm với trọng tâm cốt thép chịu kéo là e và chịu nén là e' ;

3. MÔ HÌNH BIẾN DẠNG PHI TUYẾN

3.1. Các giả thiết tính toán

- Tiết diện là phẳng trước và sau biến dạng. Giả thiết được sử dụng để tính toán cấu kiện chịu uốn, nén uốn, dựa trên giả thiết này có thể tính toán biến dạng tại một điểm bất kỳ trên tiết diện theo biến dạng lớn nhất của bê tông vùng nén và cốt thép trong vùng kéo hoặc nén ít;

- Ứng suất trong bê tông và cốt thép được tính theo quan hệ ứng suất - biến dạng được đưa ra trong TCVN 5574-2018 [1];

- Bê tông được giả định bị phá hoại khi đạt tới biến dạng cực đại. Theo TCVN 5574-2018 [1] khi có tác dụng ngắn hạn của tải trọng, biến dạng cực đại đối với bê tông có cấp độ bền chịu nén từ B60 trở xuống $\epsilon_{b2} = 0,0035$;

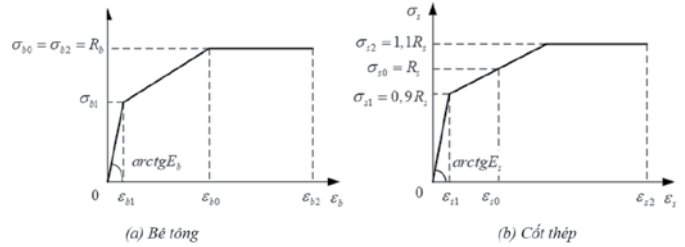
- Bỏ qua khả năng chịu kéo của bê tông;

- Hiện tượng oằn và xoắn của cột được bỏ qua khi phân tích.

3.2. Quan hệ ứng suất biến dạng của vật liệu

Theo TCVN 5574:2018, quan hệ giữa ứng suất và biến dạng (US-BD) của bê tông (BT) có thể lấy theo mô hình quan hệ 3 đường thẳng hoặc 2 đường thẳng. Hình 3(a) biểu diễn quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông trong đó R_b là cường độ chịu nén dọc trục tính toán của bê tông đối với các trạng thái giới hạn thứ nhất; ϵ_b là biến dạng co ngắn tương đối của bê tông; $\sigma_{b1} = 0,6R_b$ tương ứng với biến dạng ϵ_{b1} ; $\sigma_b = R_b$ tương ứng với biến dạng ϵ_{b0} ; ϵ_{b2} là biến dạng cực hạn của bê tông; E_b là mô đun đàn hồi ban đầu của bê tông khi nén và kéo.

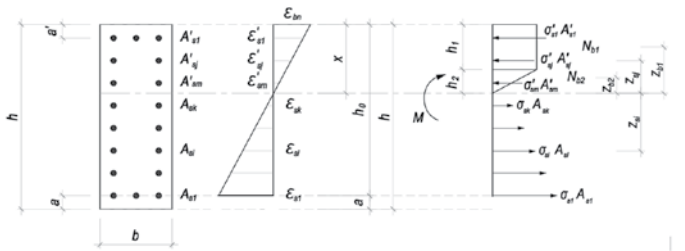
Hình 3(b) biểu diễn quan hệ ứng suất - biến dạng của cốt thép trong đó R_s là cường độ chịu kéo tính toán của cốt thép đối với các trạng thái giới hạn thứ nhất; ϵ_s là biến dạng tương đối của cốt thép; E_s là mô đun đàn hồi của cốt thép.



Hình 3. Quan hệ ứng suất biến dạng theo TCVN 5574-2018 [1]

3.3. Sơ đồ ứng suất và phương trình cân bằng

Hình 4 chỉ ra sơ đồ tính toán theo cường độ trên tiết diện thẳng góc theo mô hình biến dạng phi tuyến, trong đó vùng nén của bê tông sử dụng mô hình 2 đường thẳng. Các phương trình cân bằng như sau:



a) Tiết diện thẳng góc b) Biểu đồ biến dạng c) Biểu đồ ứng suất

Hình 4. Sơ đồ tính toán theo cường độ trên tiết diện thẳng góc theo mô hình biến dạng phi tuyến, quan hệ US-BD BT mô hình 2 đoạn thẳng.

Điều kiện về biến dạng;

$$|\epsilon_{b,max}| \leq \epsilon_{b,u} \quad |\epsilon_{s,max}| \leq \epsilon_{s,u}$$

Phương trình cân bằng nội và ngoại lực;

$$N_{b1} + N_{b2} + \sum_{j=1}^m N'_{sj} - \sum_{i=1}^k N_{si} = 0$$

Triển khai chi tiết theo TCVN 5574-2018:

$$R_b b h_1 + 0,5 R_b b h_2 + \sum_{j=1}^m \sigma'_{sj} A'_{sj} + \sum_{i=1}^k \sigma_{si} A_{si} = 0$$

$$M_{ult} = R_b b h_1 z_{b1} + 0,5 R_b b h_2 z_{b2} + \sum_{j=1}^m \sigma'_{sj} A'_{sj} z'_{sj} - \sum_{i=1}^k \sigma_{si} A_{si} z_{si}$$

Trong đó:

A_{si}, A'_{sj} - diện tích tiết diện của thanh cốt thép chịu kéo i và chịu nén j ;

σ_{si} - ứng suất trong thanh cốt thép chịu kéo i , được xác định theo biểu đồ biến dạng của cốt thép đã chọn trong tính toán, tương ứng với các biến dạng tương đối ϵ_{si} của thanh cốt thép i ;

σ'_{sj} - ứng suất trong thanh cốt thép chịu nén j , được xác định theo biểu đồ biến dạng của cốt thép đã chọn trong tính toán, tương ứng với các biến dạng tương đối ϵ'_{sj} của thanh cốt thép;

Sử dụng phương pháp đúng đắn với các giá trị x theo điều kiện (3) để tìm giá trị x thỏa mãn phương trình cân bằng (4) hoặc (5), từ đó xác định M_{ult} theo (6) với giả thiết ban đầu với các biến dạng cực hạn thường chọn tùy thuộc vào tiêu chuẩn, đối với TCVN 5574-2018[1] là $\epsilon_{bn} = 0,0035$; $\epsilon_{sn} = 0,025$.

4. TÍNH TOÁN VÀ SO SÁNH KẾT QUẢ GIỮA 2 MÔ HÌNH

Phần mềm Rdsuite[6] là phần mềm phân tích thiết kế kết cấu móng, khung BTCT, kết cấu thép theo TCVN và một số tiêu chuẩn hiện đại trên thế giới được tác giả nghiên cứu phát triển. Trong

phần mềm có cả 2 phương pháp tính toán cấu kiện BTCT theo mô hình BDPT và NLGH.

Sử dụng phần mềm Rdsuite để chạy so sánh kết quả thiết kế cột chịu nén lệch tâm phẳng đặt cốt thép đối xứng theo 2 mô hình BDPT và NLGH, bỏ qua ảnh hưởng của uốn dọc. Tiết diện và diện tích thép theo bảng 1, vật liệu được lấy như sau: Bê tông B25 có $R_b = 14,5$ MPa, cốt thép CB300-V có $R_s = 260$ MPa và $E_s = 200000$ Mpa. Hệ số giới hạn vùng nén $\alpha_R = 0,583$.

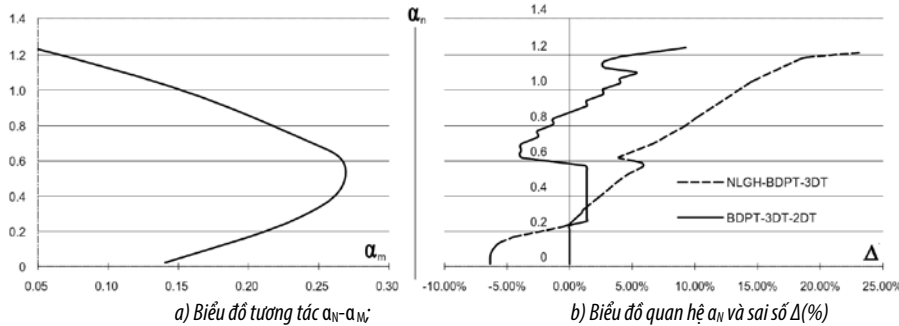
Các bước tính toán so sánh cho một tiết diện cột thực hiện như sau: Với tiết diện cột và diện tích cốt thép được bố trí, tính toán theo mô hình biến dạng phi tuyến, quan hệ ứng suất biến dạng của bê tông theo biểu đồ 3 đoạn thẳng (BDPT3), từ đó vẽ được biểu đồ tương tác (M-N). Lấy các cặp (M-N) trên biểu đồ tương tác vừa tìm được, tính lại bài toán thiết kế cột theo 2 mô hình, mô hình

NLGH và mô hình biến dạng phi tuyến theo quan hệ 2 đường thẳng (BDPT2). So sánh diện tích thép thiết kế với diện tích thép bố trí để vẽ các biểu đồ quan hệ giữa $\alpha_N = N/(R_b b h_0)$ và $\alpha_M = M/(R_b b h_0^2)$, quan hệ giữa α_N và sai số Δ (%).

Bảng 1: Thông số tiết diện cấu kiện cột

Thứ tự	Tiết diện (mm)	a=a' (mm)	A _{st} (mm ²)	Hàm lượng cốt thép (%)
1	220x400	40	1156	1,37
2	400x400	40	950	0,65
3	500x700	40	2746	0,75
4	400x700	40	1914	1,17

4.1. Cột chữ nhật 220x400 (mm)



Hình 5. Kết quả so sánh cột chữ nhật 220x400 (mm)

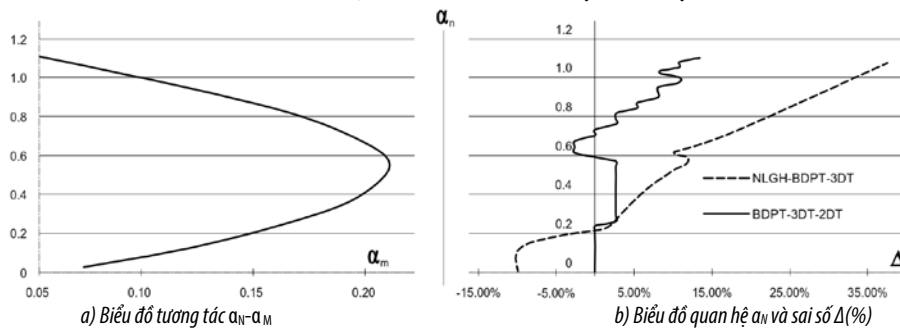
- Khi $\alpha_N \leq \alpha_R$ (miền cấu kiện chịu nén lệch tâm lớn), sai số giữa BDPT3 và NLGH khá nhỏ trung bình 2,90%, sai số BDPT3 và BDPT2 là 1,31%, khi $\alpha_N < 0,235$ thì kết quả giữa BDPT3 và BDPT2 trùng nhau.

- Khi tăng $\alpha_R \leq \alpha_N < 1$ (miền cấu kiện chịu nén lệch tâm bé) khi α_N tăng thì sai số giữa các phương pháp cũng tăng, ở miền này thì sai

số BDPT3 và NLGH trung bình 9,65%, giữa BDPT3 và BDPT2 có sai số nhỏ khoảng 1,97%.

- Khi tăng $\alpha_N > 1$ sai số giữa BDPT3 và NLGH tăng rất nhanh trung bình 17,94%, giữa BDPT3 và BDPT2 có sai số nhỏ khoảng 4,86%.

4.2. Cột chữ nhật 400x400 (mm)



Hình 6. Kết quả so sánh cột chữ nhật 400x400 (mm)

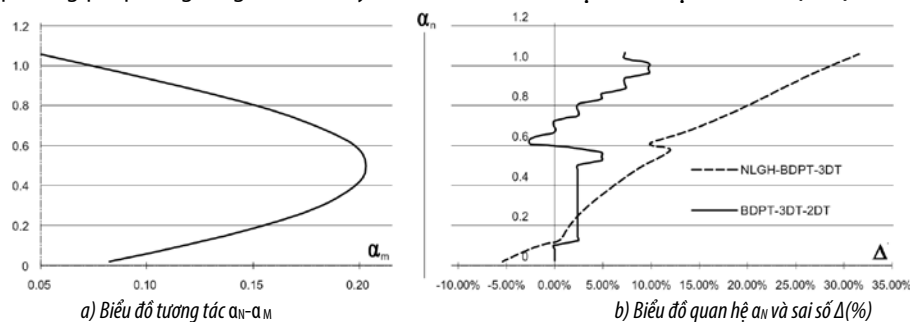
- Khi $\alpha_N \leq \alpha_R$ (miền cấu kiện chịu nén lệch tâm lớn), sai số giữa BDPT3 và NLGH khá nhỏ trung bình 6,40%, sai số BDPT3 và BDPT2 là 1,70%, khi $\alpha_N < 0,162$ thì kết quả giữa BDPT3 và BDPT2 trùng nhau.

- Khi tăng $\alpha_R \leq \alpha_N < 1$ (miền cấu kiện chịu nén lệch tâm bé) khi α_N tăng thì sai số giữa các phương pháp cũng tăng, ở miền này thì sai

số BDPT3 và NLGH trung bình 22,83%, giữa BDPT3 và BDPT2 có sai số nhỏ khoảng 5,44%.

- Khi tăng $\alpha_N > 1$ sai số giữa BDPT3 và NLGH tăng rất nhanh trung bình 36,18%, giữa BDPT3 và BDPT2 có sai số nhỏ khoảng 10,86%.

4.3. Cột chữ nhật 500x700 (mm)



Hình 7. Kết quả so sánh cột chữ nhật 500x700 (mm)

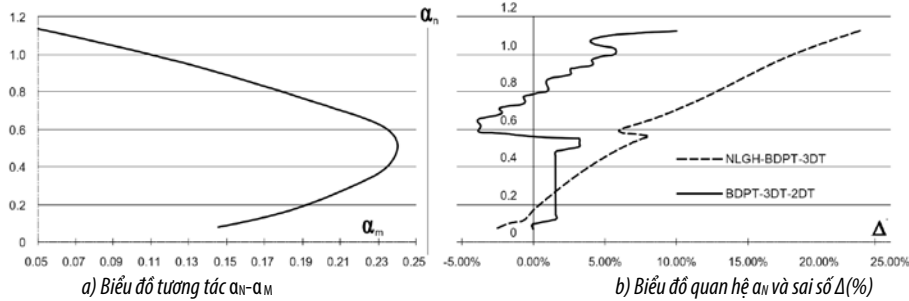
- Khi $\alpha_N \leq \alpha_R$ (miền cấu kiện chịu nén lệch tâm lớn), sai số giữa BDPT3 và NLGH khá nhỏ trung bình 5,38%, sai số BDPT3 và BDPT2 là 2,44%, khi $\alpha_N < 0,117$ thì kết quả giữa BDPT3 và BDPT2 trùng nhau.

- Khi tăng $\alpha_R \leq \alpha_N < 1$ (miền cấu kiện chịu nén lệch tâm bé) khi α_N tăng thì sai số giữa các phương pháp cũng tăng, ở miền này thì sai

số BDPT3 và NLGH trung bình 20,28%, giữa BDPT3 và BDPT2 có sai số nhỏ khoảng 4,88%.

- Khi tăng $\alpha_N > 1$ sai số giữa BDPT3 và NLGH tăng rất nhanh trung bình 31,02%, giữa BDPT3 và BDPT2 có sai số nhỏ khoảng 7,32%.

4.4. Cột chữ nhật 400x700 (mm)



Hình 8. Kết quả so sánh cột chữ nhật 400x400 (mm)

- Khi $\alpha_N \leq \alpha_R$ (miền cấu kiện chịu nén lệch tâm bé), sai số giữa BDPT3 và NLGH khá nhỏ trung bình 3,63%, sai số BDPT3 và BDPT2 là 1,57%, khi $\alpha_N < 0,154$ thì kết quả giữa BDPT3 và BDPT2 trùng nhau.

- Khi tăng $\alpha_R \leq \alpha_N < 1$ (miền cấu kiện chịu nén lệch tâm lớn) khi α_N tăng thì sai số giữa các phương pháp cũng tăng, ở miền này thì sai

số BDPT3 và NLGH trung bình 12,10%, giữa BDPT3 và BDPT2 có sai số nhỏ khoảng 2,28%.

- Khi tăng $\alpha_N > 1$ sai số giữa BDPT3 và NLGH tăng rất nhanh trung bình 20,52%, giữa BDPT3 và BDPT2 có sai số nhỏ khoảng 5,71%.

4.5. Nhận xét

Bảng 2: Bảng tổng hợp so sánh kết quả sai số Δ (%) giữa các mô hình

	220x400 (mm)		400x400 (mm)		500x700 (mm)		400x700 (mm)		Trung bình	
	PP1-2	PP1-3	PP1-2	PP1-3	PP1-2	PP1-3	PP1-3	PP1-3	PP1-2	PP1-3
$\alpha_N < \alpha_R$	2,90	0,89	6,40	1,70	5,38	2,44	1,57	1,57	4,57	1,65
$\alpha_R < \alpha_N < 1$	9,65	1,97	22,83	5,44	20,28	4,88	2,28	2,28	16,21	3,64
$\alpha_N > 1$	17,94	4,86	36,18	10,86	31,02	7,32	5,71	5,71	26,42	6,25

PP1-2: Sai số (%) giữa mô hình BDPT3 và NLGH.
 PP1-3: Sai số (%) giữa mô hình BDPT3 và BDPT2.

Qua bảng 2 thấy được khi tăng tỉ số $\alpha_N = N/(R_b b h_0)$ thì sai số Δ (%) giữa các mô hình cũng tăng theo, có thể chia thành 3 miền cụ thể như sau:

- Trong khoảng $0 < \alpha_N < \alpha_R$ (nén lệch tâm lớn) thì sai số trung bình giữa mô hình NLGH và BDPT3 là 4,57 %.
- Trong khoảng $\alpha_R \leq \alpha_N < 1$ (nén lệch tâm bé) thì sai số trung bình giữa mô hình NLGH và BDPT3 là 16,21 %.
- Trong khoảng $\alpha_N > 1$ thì sai số trung bình giữa mô hình NLGH và BDPT3 là 26,42 %.
- Sai số giữa BDPT3 và BDPT2 trong cả 3 miền đều nhỏ trung bình dưới 6,25%.

Khi cột chịu nén lệch tâm bé, chiều cao miền nén và ứng suất ở trong cốt thép theo mô hình nội lực giới hạn được lấy theo công thức thực nghiệm, còn theo mô hình biến dạng phi tuyến được tính trên cơ sở biến dạng với giả thiết tiết diện phẳng nên cho kết quả chính xác hơn. Ngoài ra trong mô hình NLGH, miền nén của bê tông được quy đổi thành hình chữ nhật tương đương, phép quy đổi này dẫn đến sai khác, trong nghiên cứu này cho kết quả diện tích thép nhỏ hơn so với mô hình BDPT.

Nghiên cứu cho thấy có thể sử dụng mô hình NLGH cho cấu kiện chịu nén lệch tâm lớn. Với cấu kiện chịu nén lệch tâm bé nên sử dụng mô hình BDPT2 hoặc BDPT3 do mô hình NLGH có sai số lớn từ 16,21% đến 26,42%.

Việc lập bảng tính theo mô hình biến dạng phi tuyến khá phức tạp, do đó với các cột chịu nén lệch tâm bé, cột chịu nén lệch tâm xiên... nên sử dụng các phần mềm thương mại như Rdsuite, CSIcol, Prokon...

5. KẾT LUẬN

Tính toán độ bền của cấu kiện BTCT theo mô hình BDPT là cách tính hiện đại đã được đưa vào trong tiêu chuẩn Việt nam TCVN 5574-2018. Với ưu điểm có thể tính toán cho tiết diện BTCT bất kỳ, mô hình BDPT được ứng dụng trong nhiều phần mềm thương mại như CSIcol, Prokon...Phần mềm Rdsuite với ưu điểm thiết kế được theo cả 2 mô hình BDPT và NLGH nên phù hợp với điều kiện Việt nam hiện nay đang trong quá trình chuyển đổi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. TCVN 5574:2018. *Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế*. Viện khoa học Công nghệ Xây dựng - Bộ Xây dựng.
- [2]. Minh, P. Q., Phong, N. T., Thăng, N. T., Tùng, V. M. (2021). *Kết cấu bê tông cốt thép (phần cấu kiện cơ bản)* TCVN 5574:2018. NXB Khoa học và kỹ thuật.
- [3]. ACI 318-2019, *Building Code Requirements for Structural Concrete*, American Concrete Institute, 2019.
- [4]. Eurocode 2, *Design of concrete structures*, CEN on 8 July 2004.
- [5]. Bộ môn Công trình Bê tông cốt thép, Trường Đại học Xây dựng (2021). *Hướng dẫn tính toán cấu kiện bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018*. Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.
- [6]. Tam, T.V, *Rdsuite-Phần mềm phân tích thiết kế kết cấu theo Tiêu chuẩn Việt nam*.
- [7]. Tung, P. T., Tam, T. V, *Tính toán Cột bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn TCVN 5574-2018, EC2-2004 và ACI 318-19*, NXB xây dựng, Hà Nội.
- [8]. Computer and Structure Incorporation, *Reference Manual for Etabs 2020*, Bekery University, USA 2020.