

XÂY DỰNG PHẦN MỀM TÍNH TOÁN KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CỦA CẦU KIẾN BÊ TÔNG CỐT THÉP CHỊU NÉN LỆCH TÂM XIÊN CÓ TIẾT DIỆN BẤT KỲ THEO TCVN 5574:2018

Trần Việt Tâm^{a,*}, Phạm Thanh Tùng^a, Nguyễn Tuấn Ninh^b, Phạm Ngọc Vượng^b

^aKhoa Xây dựng dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng,
số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

^bCông ty Cổ phần Công nghệ và Tư vấn Thiết kế Xây dựng RD,
số 174 đường Giải phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 16/08/2019, Sửa xong 07/09/2019, Chấp nhận đăng 08/09/2019

Tóm tắt

Cầu kiện bê tông cốt thép chịu nén lệch tâm xiên như cột, vách đóng vai trò quan trọng trong hệ kết cấu chịu lực của công trình nhằm mục đích truyền tải trọng đứng và một phần tải trọng ngang xuống móng. Do yêu cầu giải pháp kiến trúc, tiết diện cột ngoài hình dáng đơn giản như hình chữ nhật, hình tròn còn có nhiều hình dáng khác như hình chữ L, hình chữ T, hình đa giác. Trong những trường hợp tiết diện phức tạp việc xác định khả năng chịu lực của cầu kiện bằng các cách tính toán giải tích thông thường gặp nhiều khó khăn. Để giải quyết vấn đề này phương pháp số đã được một số tác giả đề cập tới như một giải pháp hữu hiệu. Trong bài báo này, nhóm tác giả thực hiện nghiên cứu xây dựng phần mềm tính toán khả năng chịu lực của cầu kiện chịu nén lệch tâm xiên có tiết diện bất kỳ theo phương pháp biểu đồ tương tác trong TCVN 5574:2018. Một số ví dụ tính toán được thực hiện và so sánh với số liệu từ phần mềm ETABS để đánh giá độ tin cậy của chương trình.

Từ khoá: cột; bê tông cốt thép; khả năng chịu lực; tiết diện bất kỳ; đa giác; biểu đồ tương tác.

PROGRAMMING SOFTWARE FOR LOAD BEARING CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE BI-AXIALLY LOADED MEMBERS WITH ARBITRARY CROSS-SECTIONS BASED ON TCVN 5574:2018

Abstract

Reinforced concrete biaxially loaded members play an important role to transfer the vertical and horizontal loads to the building foundation. Due to the architectural requirements, the cross-section shapes of these members are not only in simple shapes such as rectangular, circle but also other shapes like L, T, polygons. In the complex cross-section shape cases, it is difficult to determine the load bearing capacity of a column based on analytical methods. The numerical solutions were referred by some authors as an effective tool for the cases. In the paper, the author programs a software to calculate the load bearing capacity of biaxially loaded members with arbitrary sections based on the interaction chart method in TCVN 5574:2018. Some examples are implemented and compared with the data from ETABS to evaluate the accuracy of the program.

Keywords: column; reinforced concrete; load bearing capacity; arbitrary cross-section; polygons; interaction chart.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(4V\)-05](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(4V)-05) © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Nhu cầu xây dựng nhà cao tầng và nhà siêu cao tầng đang bùng nổ mạnh mẽ ở Việt Nam, đặc biệt ở các đô thị lớn như Hà Nội, TP. Hồ Chí Minh, Đà Nẵng... Trong kết cấu này, hệ thống cột, vách và

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: vtamhn@gmail.com (Tâm, T. V.)

lõi cứng là đóng vai trò quan trọng để chịu toàn bộ tải trọng đứng và một phần tải trọng ngang. Do điều kiện mặt bằng và giải pháp kiến trúc, hình dáng cột không chỉ đơn giản là hình chữ nhật, tròn mà còn có nhiều hình dáng khác như chữ T, chữ L, hộp và đa giác. Việc tính toán kiểm tra khả năng chịu lực của cột vách loại này khó có thể giải chính xác bằng phương pháp giải tích [1] do vùng bê tông chịu nén có hình dáng phức tạp. Trong thiết kế hiện nay chủ yếu thường dùng các phần mềm nhập khẩu như Etabs, Prokon, Csicol...tuy nhiên nhiều phần mềm nhập khẩu chưa có tiêu chuẩn thiết kế của Việt Nam TCVN 5574:2018 [2].

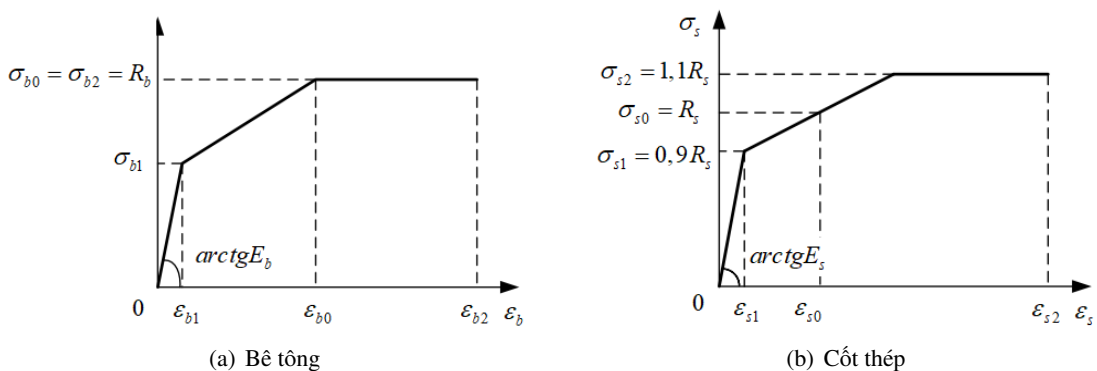
Có khá nhiều đề tài trong nước nghiên cứu tính toán cấu kiện chịu nén lệch tâm xiên theo tiêu chuẩn Việt Nam [3–7]. Các nghiên cứu này mới chỉ dừng lại ở việc tính toán cho các cấu kiện với một loại tiết diện nhất định như chữ nhật, chữ L, chữ T mà chưa có thuật toán tổng quát. Trong xu thế hội nhập và điều kiện thực tế của Việt Nam, nhu cầu đặt ra cần xây dựng phần mềm thiết kế kiểm tra cột bê tông cốt thép có tiết diện bất kỳ theo TCVN 5574:2018 [2]. Phần mềm không chỉ hỗ trợ việc thiết kế Cột BTCT có tiết diện bất kỳ được an toàn và hợp lý hơn, mà còn là công cụ hữu hiệu trong nghiên cứu và giảng dạy.

Từ những vấn đề trên, nhóm tác giả tiến hành xây dựng thuật toán và phần mềm tính toán cấu kiện bê tông cốt thép chịu nén lệch tâm xiên có tiết diện bất kỳ theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018 [2], có xét đến ảnh hưởng của hiện tượng uốn dọc. Phần mềm được viết bằng ngôn ngữ lập trình Embarcadero Delphi, kiểm chứng so sánh với phần mềm Etabs phiên bản 2017 (Etabs 2017) [8]. Phần mềm được xây dựng có thể thay thế các phần mềm như CSI-Col, Prokon trong tính toán cột vách..., phát huy được nguồn nhân lực trong nước và tiết kiệm chi phí ngoại tệ để mua phần mềm nhập khẩu.

2. Cơ sở xây dựng thuật toán

2.1. Quan hệ ứng suất biến dạng của vật liệu theo TCVN 5574:2018 [2]

Quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông và cốt thép là một trong những chỉ tiêu quan trọng nhất trong việc xác định khả năng chịu lực của kết cấu. Trên Hình 1(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 ngấn tương đối của bê tông; $\sigma_{b1} = 0,6R_b$ tương ứng với biến dạng ε_{b1} ; $\sigma_{b2} = R_b$ 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. Trên Hình 1(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 1. Quan hệ ứng suất biến dạng theo TCVN 5574:2018 [2]

2.2. 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 [2].

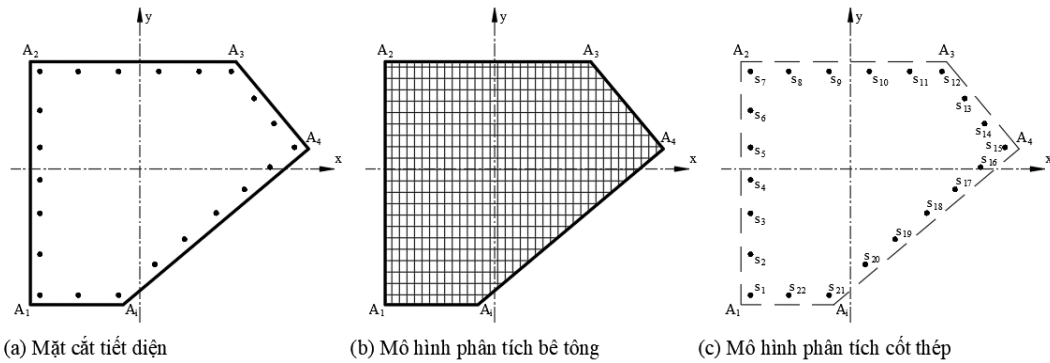
- Bê tông được giả định bị phá hoại khi đạt tới biến dạng cực đại. Theo TCVN 5574:2018 [2] khi có tác dụng ngắn hạn của tải trọng, biến dạng cực đại đối với bê tông có cấp độ bền chịu nén từ B60 trở xuống $\varepsilon_{b2} = 0,0035$.

- Bỏ qua khả năng chịu kéo của bê tông.

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

2.3. Mô hình tính toán xây dựng biểu đồ tương tác tiết diện bất kỳ [9]

Xét tiết diện cột BTCT có bố trí trước cốt thép, các đỉnh cột là các điểm $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ và hệ trục Oxy với tâm O trùng với tọa độ trọng tâm tiết diện cột. Mỗi thanh thép được mô hình bằng một hình tròn có đường kính ϕ và diện tích A_s . Phần bê tông được rời rạc hóa thành một ma trận các phần tử bằng nhau. Mỗi phần tử trong ma trận là hình vuông có kích thước d_u và diện tích d_u^2 . Kích thước của các phần tử này tương đối nhỏ do vậy có thể giả thiết rằng ứng suất trong phần tử được coi là phân bố đều trong phạm vi phần tử đó.



Hình 2. Mô hình tính toán tọa độ biểu đồ tương tác

Nội lực do bê tông gây ra được tính như sau:

$$N = \sum_{\Omega} \sigma_{cij} d_u^2; \quad M_x = \sum_{\Omega} \sigma_{cij} x_i d_u^2; \quad M_y = \sum_{\Omega} \sigma_{cij} y_i d_u^2 \quad (1)$$

trong đó Ω đại diện cho vùng nén và x_i, y_j là tọa độ tương ứng của các phần tử bê tông.

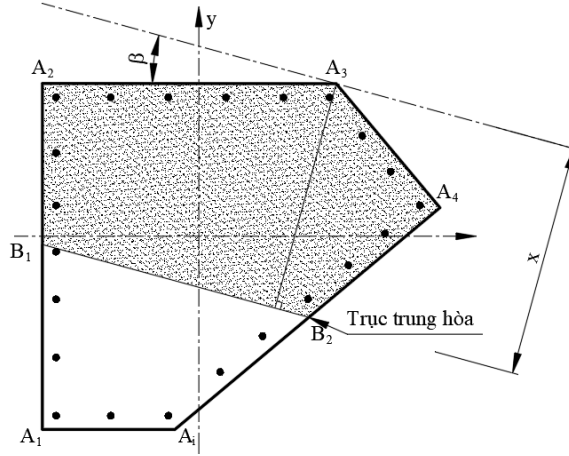
2.4. Các bước xây dựng biểu đồ tương tác cột tiết diện bất kỳ

Bước 1: Chuẩn bị dữ liệu gồm kích thước cột, bố trí thép, thông số vật liệu; Chọn đỉnh nén là một trong các đỉnh lồi của mặt cắt tiết diện;

Bước 2: Khởi tạo trục trung hòa đại diện bởi hai tham số góc xoay β và khoảng cách x ;

Bước 3: Ứng với mỗi vị trí của trục trung hòa, xác định được biến dạng của phần tử được tính toán từ biến dạng cực đại của bê tông tại đỉnh nén:

$$\varepsilon_{ci} = \frac{x_0 - x_{ij}}{x_0} \varepsilon_{c2} \quad (2)$$



Hình 3. Khối động trục trung hòa

Dựa vào quan hệ ứng suất biến dạng được cho trong TCVN 5574:2018 [2] tính toán được ứng suất trong mỗi phần tử bê tông và cốt thép như sau:

Phần tử bê tông:

$$\sigma_b = E_b \varepsilon_b \quad (3)$$

Khi $0 \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b1}$

$$\sigma_b = \left[\left(1 - \frac{\sigma_{b1}}{R_b} \right) \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_{b1}}{\varepsilon_{b0} - \varepsilon_{b1}} + \frac{\sigma_{b1}}{R_b} \right] R_b \quad (4)$$

Khi $\varepsilon_{b1} \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b0}$

$$\sigma_b = R_b \quad (5)$$

Khi $\varepsilon_{b0} \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b2}$

Phần tử cốt thép:

$$\sigma_s = \varepsilon_s E_s \quad (6)$$

Khi $0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s1}$

$$\sigma_s = \left[\left(1 - \frac{\sigma_{s1}}{R_s} \right) \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_{s1}}{\varepsilon_{s0} - \varepsilon_{s1}} + \frac{\sigma_{s1}}{R_s} \right] R_s \quad (7)$$

Khi $\varepsilon_{s1} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s2}$

$$\sigma_s = 1.1 R_s \quad (8)$$

Khi $\varepsilon_s > \varepsilon_{s2} = 0,015$

Bước 4: Tính toán tọa độ biểu đồ tương tác:

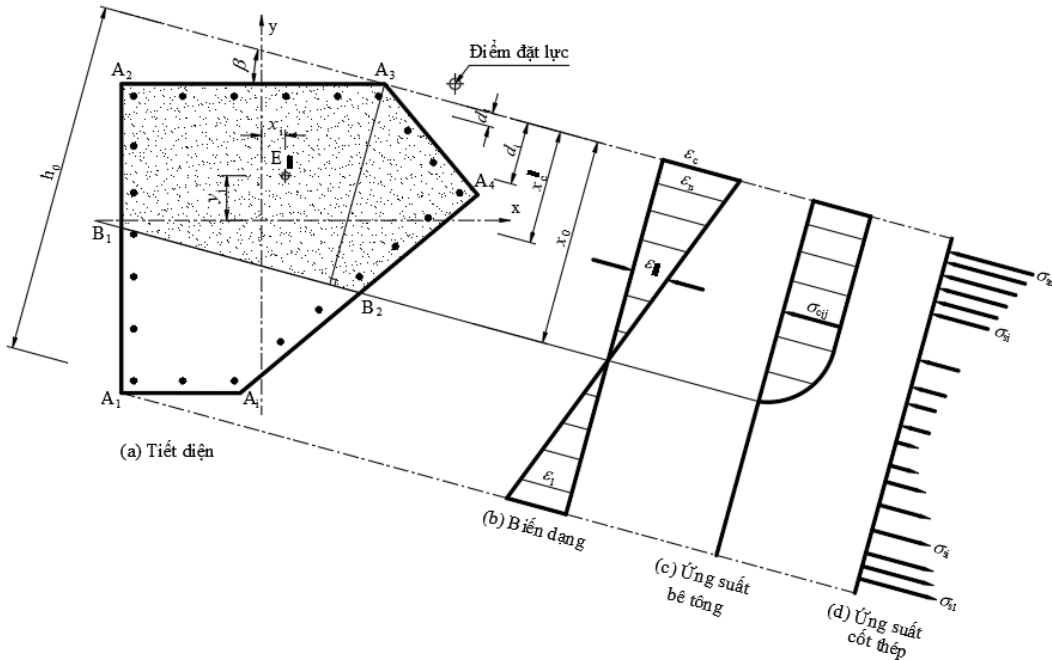
$$N = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{cij}^{ij} d_{uy} d_{ux} + \sum_{k_1=1}^{p_c} A_{sk_1} (f_{sck_1}^{k_1} - \sigma_{sck_1}^{k_1}) + \sum_{k_2=1}^{p-p_c} A_{sk_2} f_{sck_2}^{k_2} \quad (9)$$

$$M_x = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{cij}^{ij} d_{uy} d_{ux} x_j + \sum_{k_1=1}^{p_c} A_{sk_1} (f_{sck_1}^{k_1} - \sigma_{sck_1}^{k_1}) x_{k_1} + \sum_{k_2=1}^{p-p_c} A_{sk_2} f_{sck_2}^{k_2} x_{k_2} \quad (10)$$

$$M_y = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{cij}^{ij} d_{uy} d_{ux} y_j + \sum_{k_1=1}^{p_c} A_{sk_1} (f_{sck_1}^{k_1} - \sigma_{sck_1}^{k_1}) y_{k_1} + \sum_{k_2=1}^{p-p_c} A_{sk_2} f_{sck_2}^{k_2} y_{k_2} \quad (11)$$

trong đó i, j là các chỉ số để xác định vị trí của các phần tử bê tông chịu nén; k_1, k_2 là các chỉ số để xác định vị trí của các thanh thép trên mặt cắt ngang; p là tổng số thanh thép trên mặt cắt ngang; p_c là tổng số thanh thép thuộc vùng nén trên mặt cắt ngang; x_j, y_j là tọa độ của các phần tử bê tông trên mặt cắt ngang; x_k, y_k là tọa độ của các thanh thép trên mặt cắt ngang; $\sigma_{sck_1}^{k_1}$ là ứng suất kéo của thép trong vùng chịu nén; $f_{sck_1}^{k_1}, f_{sck_2}^{k_2}$ là ứng suất của thép trong vùng chịu nén và chịu kéo của thép;

Trong mô hình này, phần diện tích bê tông bị chiếm bởi cốt thép được kể đến bằng cách trừ đi ứng suất trong thanh thép một lượng bằng ứng suất trong bê tông tại vị trí trùng với vị trí của thanh thép.

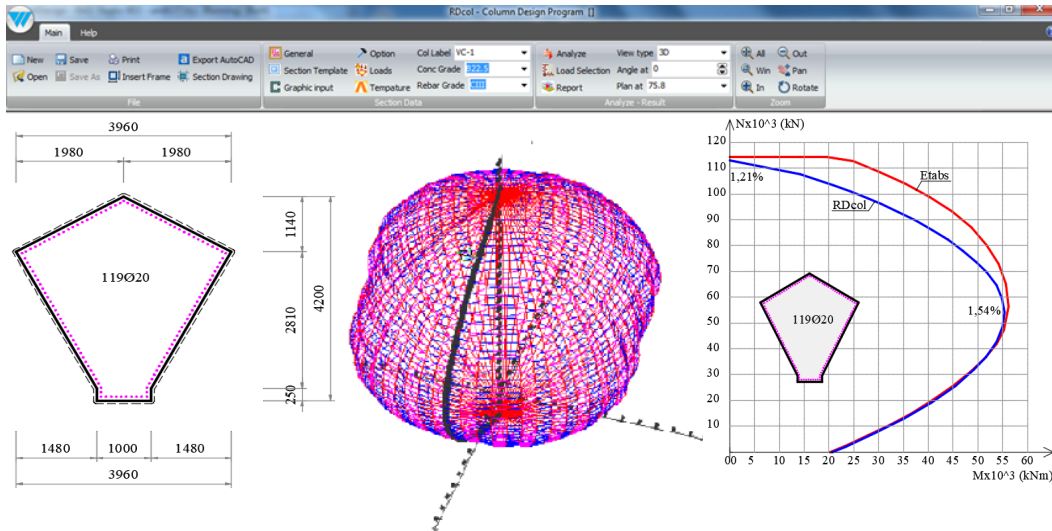


Hình 4. Mô hình phân tích tiết diện cầu kiện BTCT chịu nén lệch tâm xiên

Bước 5: Quay lại bước 2 tiếp tục tính toán cho đến khi xảy ra hết tất cả các trường hợp của cột chịu nén. Từ đó xây dựng được mặt cong của biểu đồ tương tác.

3. Sơ đồ thuật toán và giao diện phần mềm

Dựa vào các nguyên tắc nêu trên, nhóm tác giả đã xây dựng thuật toán (Hình 5) và phần mềm máy tính “RDcol” (Hình 6) sử dụng ngôn ngữ lập trình Embarcadero Delphi. Phần mềm có khả năng tính toán khả năng chịu lực của cầu kiện bê tông cốt thép chịu nén lệch tâm xiên có tiết diện bất kỳ. Ngoài ra phần mềm có giao diện song ngữ tiếng Việt-Anh, có môi trường nhập số liệu đồ họa và nhập từ AutoCAD, kết nối đọc nội lực từ phần mềm Etabs nên rất thuận tiện trong nghiên cứu – giảng dạy, trong tư vấn thiết kế xây dựng công trình.



Hình 5. Giao diện của phần mềm

4. Kiểm chứng phần mềm

Nhóm tác giả kiểm chứng độ chính xác của phần mềm RDcol bằng cách so sánh với phần mềm Etabs 2017 [8] cho 5 loại cột có điển hình: cột tiết diện vuông, cột dạng vach, lõi thang máy 1 buồng, cột tiết diện tròn, cột tiết diện đa giác. Do TCVN 5574:2018 [2] được xây dựng trên tiêu chuẩn Nga SP63 [10] và trong Etabs 2017 [8] mới chỉ có tiêu chuẩn TCVN 5574:2012 [11], nên nhóm tác giả sử dụng tiêu chuẩn Nga SP63 [10] có sẵn trong phần mềm để làm công cụ kiểm chứng RDcol.

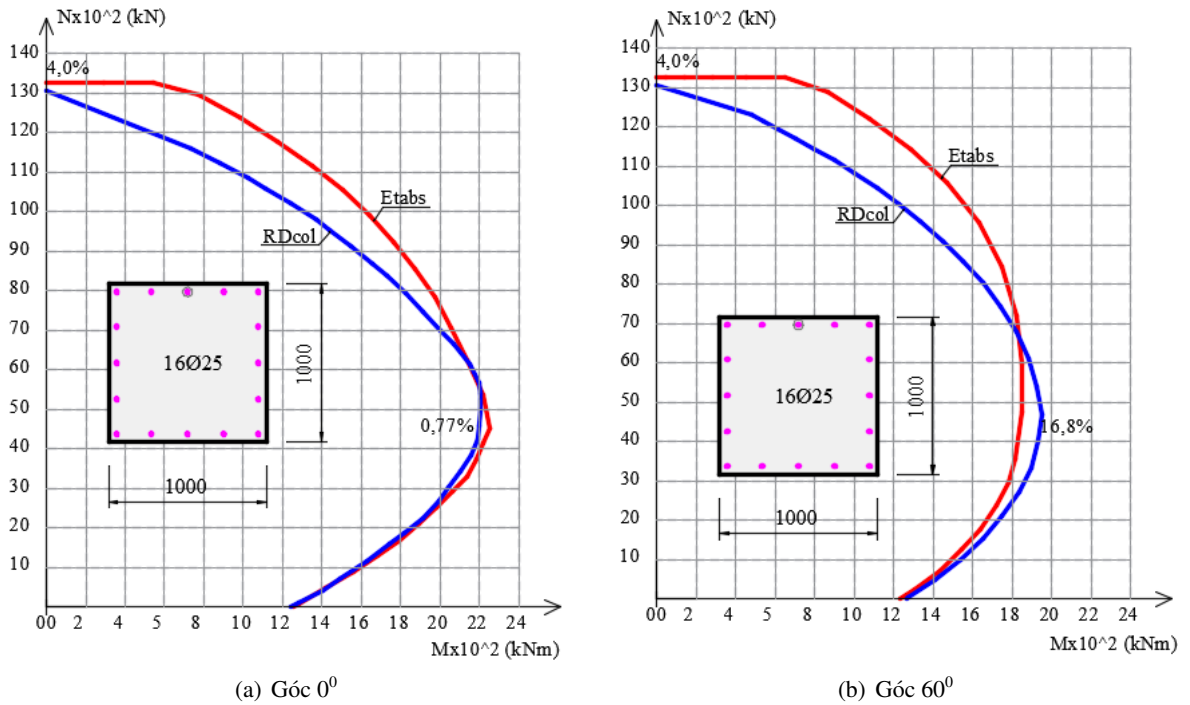
Vật liệu của các tiết diện được lấy như sau: Bê tông có $R_{bn} = 18,5$ MPa, thép có $R_{sn} = 400$ MPa và $E_s = 200000$ MPa.

Bảng 1. Thông số tiết diện cấu kiện kiểm chứng

Tiết diện	Kích thước tiết diện (mm)	Lớp bê tông bảo vệ (mm)	Bố trí thép	Hàm lượng
Cột vuông	1000 × 1000	25	16 ϕ 25	0,78%
Cột tròn	D800	25	16 ϕ 25	1,56%
Cột dạng vach	300 × 1800	25	24 ϕ 25	2,18%
Cột đa giác	3960 × 4200	25	119 ϕ 20	0,39%
Lõi thang máy 1 buồng	2500 × 3500 × 300	25	100 ϕ 20	1,07%

4.1. Cột vuông

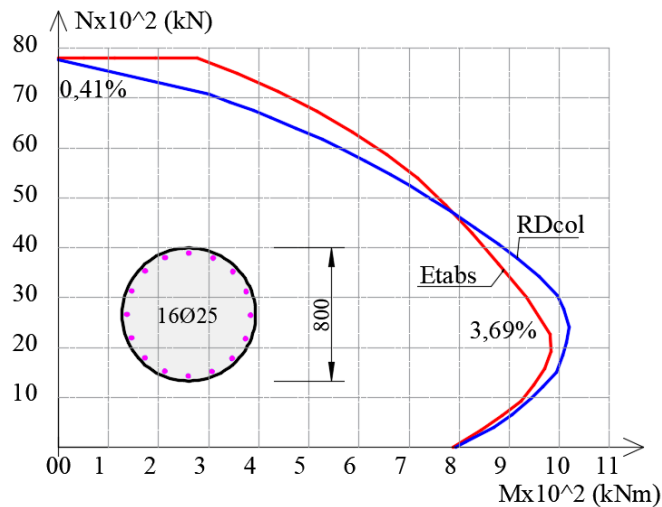
- Các điểm giao với trục tung và trục hoành, cả 2 phần mềm cho kết quả trùng nhau với sai số 4,0%.
- Điểm có mô men lớn nhất thì sai số từ 0,77% tại góc 0° đến 16,6% tại góc 45°.
- Vùng biểu đồ từ điểm phá hoại cân bằng đến điểm giao với trục tung, đường cong tương tác Rdcol nằm dưới đường cong tương tác của Etabs 2017 [8].



Hình 6. Biểu đồ tương tác của cột vuông

4.2. Cột tròn

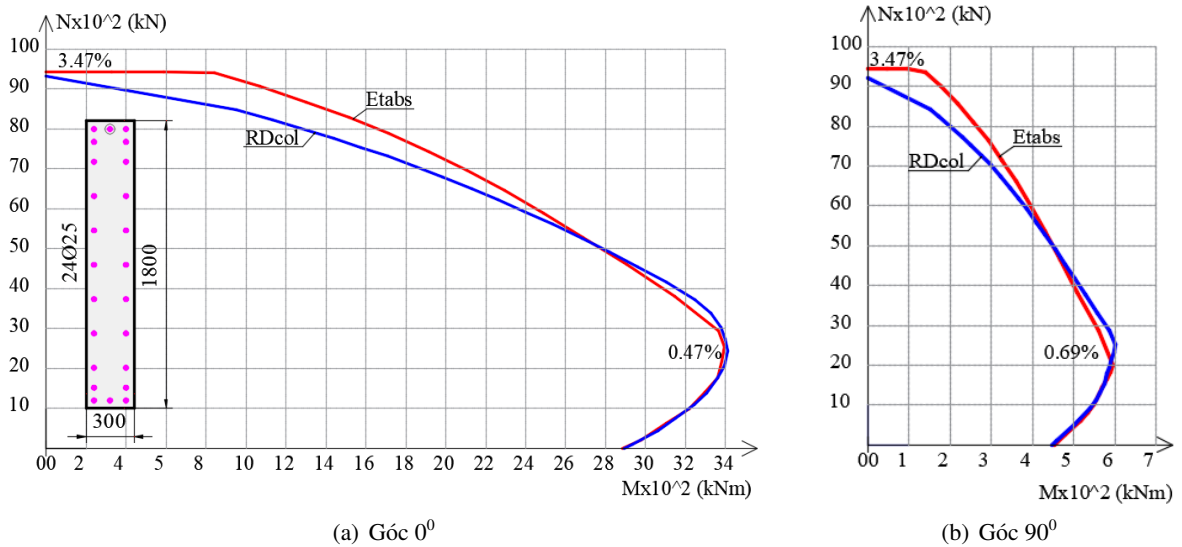
- Các điểm giao với trục tung và trục hoành, cả 2 phần mềm cho kết quả trùng nhau với sai số nhỏ, trung bình là 0,41%.
- Điểm có mô men lớn nhất thì sai số 3,69%.
- Vùng biểu đồ từ điểm phá hoại cân bằng đến điểm giao với trục tung, đường cong tương tác RDcol nằm dưới đường cong tương tác của Etabs 2017 [8].



Hình 7. Biểu đồ tương tác của cột tròn

4.3. Cột dạng vách

- Các điểm giao với trục tung và trục hoành, cả 2 phần mềm cho kết quả trùng nhau với sai số trung bình là 3,47%.
- Điểm có mô men lớn nhất thì sai số nhỏ từ 0,47% đến 0,69%.
- Vùng biểu đồ từ điểm phá hoại cân bằng đến điểm giao với trục tung, đường cong tương tác Rdcoll nằm dưới đường cong tương tác của Etabs 2017 [8].



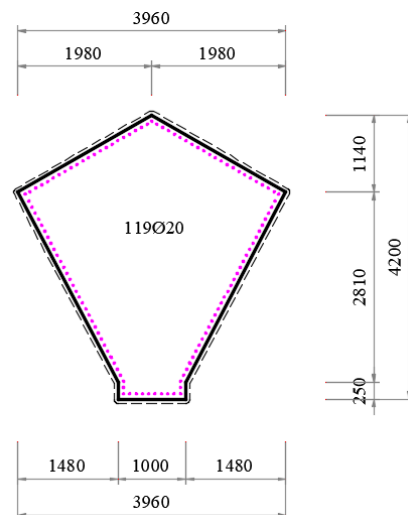
Hình 8. Biểu đồ tương tác của cột dạng vách

4.4. Cột đa giác

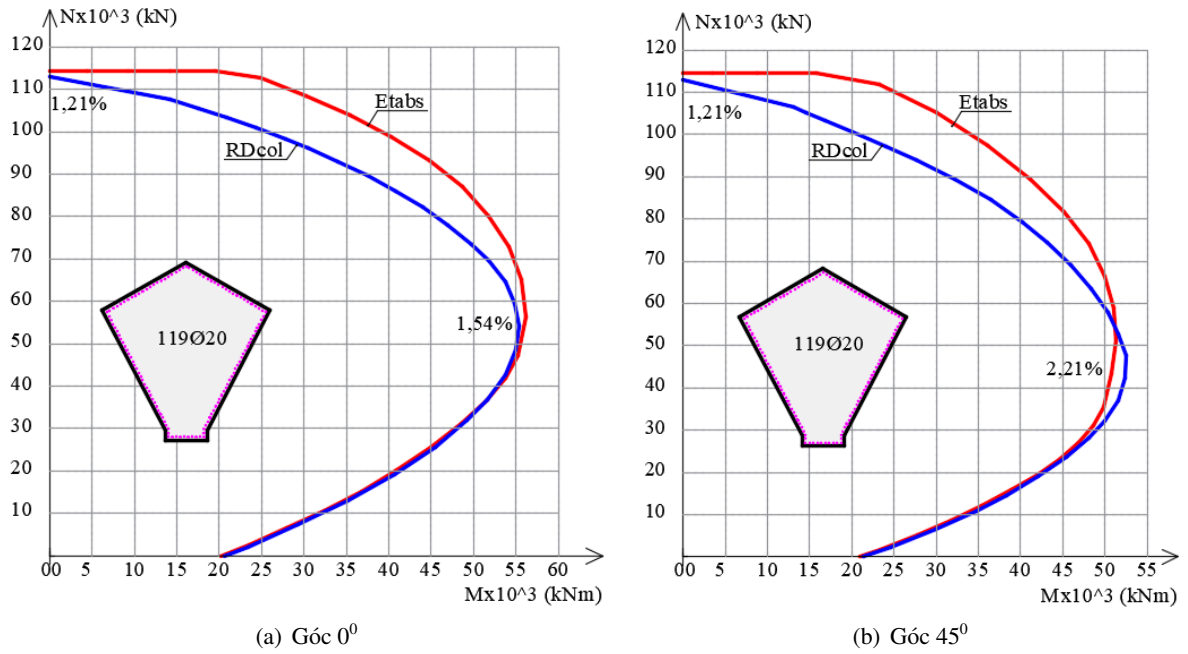
- Các điểm giao với trục tung và trục hoành, cả 2 phần mềm cho kết quả trùng nhau với sai số nhỏ 1,21%.
- Điểm có mô men lớn nhất thì sai số nhỏ từ 1,54%–2,21%.
- Vùng biểu đồ từ điểm phá hoại cân bằng đến điểm giao với trục tung, đường cong tương tác Rdcoll nằm dưới đường cong tương tác của Etabs 2017 [8].

4.5. Lối thang máy 1 buồng

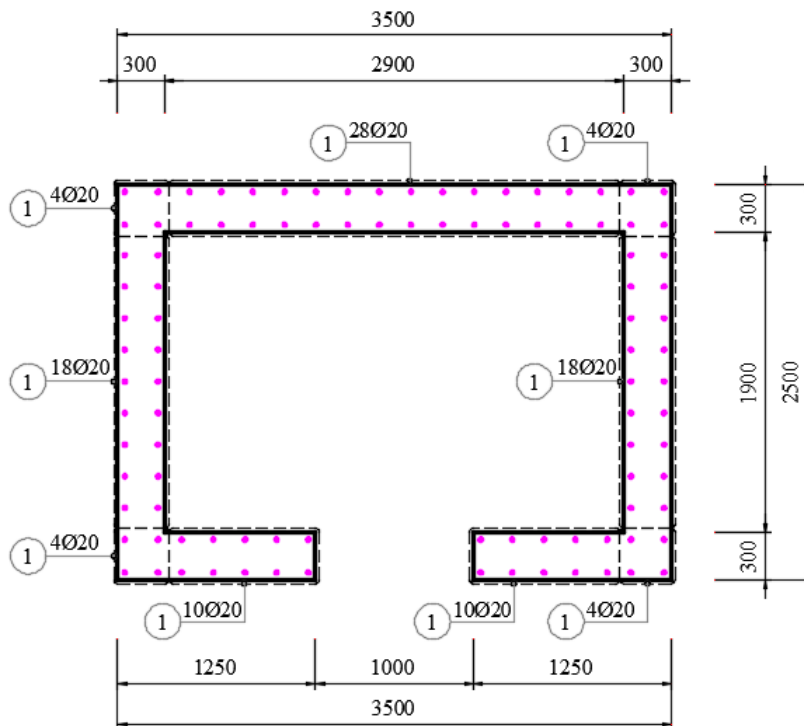
- Các điểm giao với trục tung và trục hoành, cả 2 phần mềm cho kết quả trùng nhau với sai số nhỏ trung bình là 0,51%.
- Điểm có mô men lớn nhất thì sai số từ 0,27% đến 5,75%.
- Vùng biểu đồ từ điểm phá hoại cân bằng đến điểm giao với trục tung, đường cong tương tác Rdcoll nằm dưới đường cong tương tác của Etabs 2017 [8].



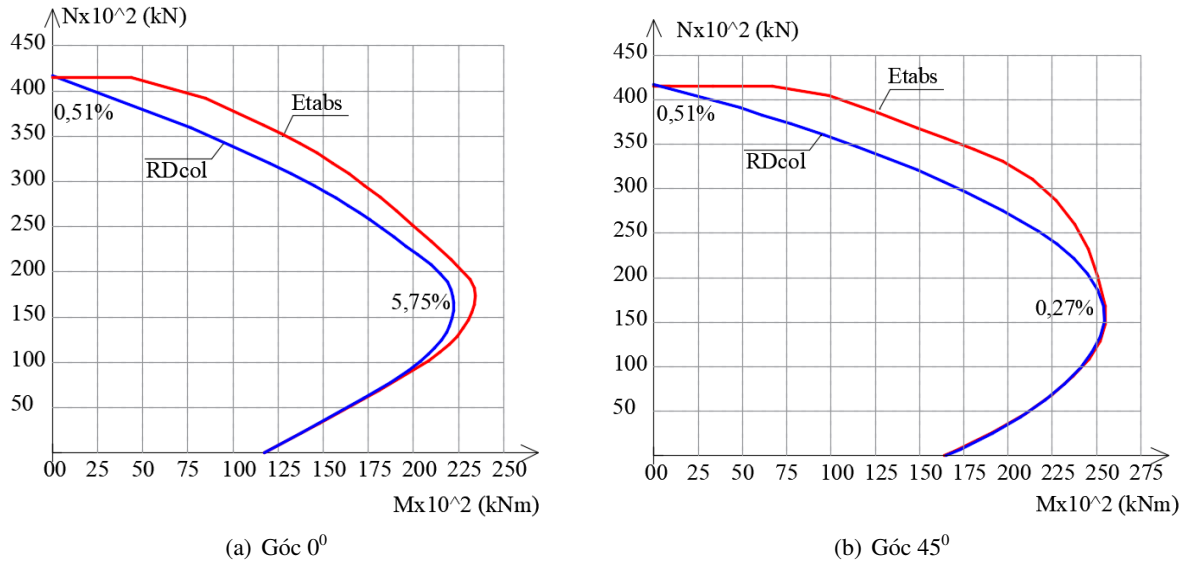
Hình 9. Kích thước tiết diện đa giác



Hình 10. Biểu đồ tương tác của cột đa giác



Hình 11. Kích thước tiết diện lõi thang máy 1 buồng



Hình 12. Biểu đồ tương tác của lõi thang máy 1 buồng

4.6. Nhận xét chung

- Bằng phương pháp vẽ chồng biểu đồ tương tác (Hình 7, 8, 9, 11, 12) cho thấy RDcol và Etabs 2017 [8] cho kết quả trùng nhau trong miền phá hoại dẻo với sai số trung bình 3,58%.

- Trong miền phá hoại giòn, điểm giao với trục tung (vị trí $N_{\max}$) 2 phần mềm cho kết quả sai khác nhỏ với sai số trung bình 1,92%, trong miền còn lại sai khác lớn nhất 14,3%, đường tương tác của RDcol nằm phía dưới nên thiên về an toàn. Kết quả sai khác có nguyên nhân là rời rạc hóa miền nén không giống nhau, trong Etabs 2017 [8] quan hệ giữa ứng suất và biến dạng của bê tông khi chịu nén theo tài liệu hướng dẫn không nêu rõ thiết lập theo quan hệ 2 đoạn thẳng, 3 đoạn thẳng hay đường cong phi tuyến.

- RDcol có ưu điểm cho phép người dùng can thiệp được vào kích thước lưới chia, mặt cắt dọc nên dễ dàng kiểm soát ở các vị trí góc khác nhau.

- Qua kết quả kiểm chứng cho thấy RDcol có thể tin cậy được trong nghiên cứu, giảng dạy và kiểm tra khả năng chịu lực của cấu kiện chịu nén lệch tâm xiên có tiết diện bất kỳ.

5. Kết luận và kiến nghị

Cấu kiện BTCT chịu nén lệch tâm xiên có tiết diện bất kỳ nên vùng nén có hình dạng phức tạp, các phương pháp tính toán như giải tích hay quy nén lệch tâm phẳng tương đương cho kết quả có độ chính xác còn hạn chế. Hiện nay với sự trợ giúp của máy tính và phương pháp biểu đồ tương tác, nhóm nghiên cứu đã lập trình được phần mềm RDcol để tính toán xác định khả năng chịu lực của cấu kiện BTCT chịu nén lệch tâm xiên có tiết diện bất kỳ theo TCVN 5574:2018 [2]. Phần mềm có độ tin cậy cao vì đã được kiểm chứng tính đúng đắn bằng cách so sánh kết quả với phần mềm Etabs 2017 [8] thông qua 5 loại tiết diện điển hình là: cột vuông, cột tròn, cột vách, lõi thang máy 1 buồng, cột đa giác. Cần có thêm những nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng số để đánh giá độ tin cậy của phương pháp xác định khả năng chịu lực của cấu kiện BTCT chịu lệch tâm xiên có tiết diện bất kỳ.

Tài liệu tham khảo

- [1] Minh, P. Q., Phong, N. T., Công, N. Đ. (2011). *Kết cấu bê tông cốt thép (phần cấu kiện cơ bản)*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [2] 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.
- [3] Sơn, L. H. (2006). *Nghiên cứu phương pháp thiết kế cấu kiện bê tông cốt thép chịu nén lệch tâm xiên*. Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, Đại học Xây dựng.
- [4] Hùng, N. P. Đ. (2007). *Nghiên cứu đánh giá phương pháp tính toán thực hành cấu kiện cột bê tông cốt thép chịu nén lệch tâm xiên*. Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, Đại học Xây dựng.
- [5] Tư, L. V. (2015). *Phương pháp phân tích trực tiếp cấu kiện bê tông cốt thép chịu nén lệch tâm xiên*. Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, Đại học Xây dựng.
- [6] Tâm, T. V., Tùng, P. T. (2019). *Xây dựng phần mềm tính toán cột Bê tông cốt thép tiết diện bất kỳ theo TCVN 5574-2012, EC2, ACI-318*. Đề tài khoa học công nghệ cấp trường trọng điểm, Đại học Xây dựng.
- [7] Công, N. Đ. (2006). *Tính toán tiết diện cột bê tông cốt thép*. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- [8] Computer and Structure Incorporation (2017). *Reference manual for Etabs 2017*. Bekery University, USA.
- [9] Thắng, N. T., Ninh, N. T. (2016). *Biểu đồ tương tác của cột bê tông cốt thép ở nhiệt độ cao theo tiêu chuẩn châu Âu EC2*. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXD*, 10(2):55–61.
- [10] SP 63.13330.2012. *Concrete and reinforced concrete structures – Design requirements*. Viện tiêu chuẩn Nga.
- [11] TCVN 5574:2012. *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.