

LẬP TRÌNH GUI MATLAB TÍNH TOÁN CỘT TRÒN BÊ TÔNG CỐT THÉP THEO TCVN 5574-2018

MATLAB GUI PROGRAMMING TO CALCULATE REINFORCED CONCRETE CIRCULAR COLUMNS ACCORDING TO TCVN 5574-2018

➔ **Ths. Nguyễn Thành Chung** - Khoa Xây dựng - Trường Đại học Xây dựng Miền Trung

Tóm tắt: Ở Việt Nam đã có một số phần mềm dùng để tính toán cột bê tông cốt thép trong đó có cột tròn. Tuy nhiên, các phần mềm đều phải cài đặt phức tạp và có tính phí không tiện lợi cho đa số sinh viên tiếp cận. Bài viết này trình bày phương pháp lập trình một công cụ tính toán cột tròn bê tông cốt thép theo TCVN 5574-2018 dựa trên nền GUI của phần mềm MATLAB. 2 cột tròn của một công trình thực tế được tính toán và so sánh với kết quả theo phương pháp lập trình. Sản phẩm sẽ được tạo thành một chương trình độc lập không cần cài đặt MATLAB để sử dụng.

Từ khóa: Tính toán cột tròn bê tông cốt thép, lập trình, GUI MATLAB, ISO 5574-2018.

Abstract: In Vietnam, there are some software used to calculate reinforced concrete columns, including circular columns. However, the software requires complicated installation and is charged, which is inconvenient for most students to access. This article presents a programming method for a tool to calculate reinforced concrete circular columns according to TCVN 5574-2018 based on the GUI of MATLAB software. Two circular columns of a real construction are calculated and compared with the results by programming method. The product will be created as a standalone program that does not require MATLAB installation to use.

Keywords: Circular columns, programming, GUI MATLAB, TCVN 5574-2018.

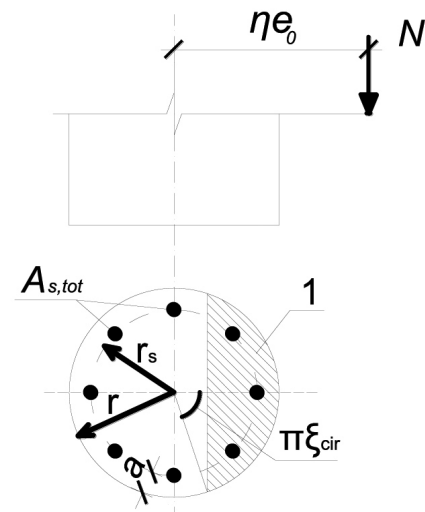
1. Giới thiệu

Hiện tại đa số công trình bê tông cốt thép ở Việt Nam sử dụng cột có tiết diện chữ nhật, hoặc cột tròn nhưng lớp bê tông cốt thép là tiết diện chữ nhật và được trát tròn. Tuy nhiên cũng có khá nhiều công trình có tiết diện cột bê tông cốt thép là tròn ở những tầng dưới sử dụng làm sảnh hoặc cột tròn để trang trí. Ở Việt Nam đã có một số phần mềm dùng để tính toán cột bê tông cốt thép trong đó có cột tròn. Một trong những phần mềm đang được sử dụng khá rộng rãi ở nước ta là bộ phần mềm KETCAUSOFT [1], RDSuite [2] hay phiên bản ETABS v17 [3] đã cập nhật phân tích tính toán theo TCVN 5584-2018. Các phần mềm khác nhau sẽ có phương pháp tính toán cốt thép cột khác nhau đưa ra kết quả có sự sai lệch, và đa số các phần mềm đều có tính phí.

Bài viết này trình bày sản phẩm là một công cụ tính toán cột tròn bê tông cốt thép dựa trên nền GUI của phần mềm MATLAB. Đây là một công cụ mạnh cung cấp môi trường tính toán và lập trình, được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực trong đó có lĩnh vực xây dựng. Sản phẩm của đề tài trên nền GUI của MATLAB sẽ được tạo thành một chương trình độc lập không cần cài đặt MATLAB để sử dụng. Đây là một công cụ để sử dụng tính toán cột tròn một cách thuận tiện, dễ sử dụng và miễn phí cho sinh viên cũng như giảng viên dùng trong học tập, nghiên cứu và lao động sản xuất.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Sơ đồ tính toán và các công thức cơ bản



1. Vùng chịu nén

Hình 1. Sơ đồ tính toán tiết diện tròn

Trong tiết diện tròn có từ 6 thanh cốt thép trở lên, đặt đều theo chu vi, diện tích tiết diện ngang của toàn bộ cốt thép dọc là $A_{s,tot}$, a là khoảng cách từ tâm của thanh thép đến mép ngoài tiết diện. Sơ đồ tính toán đưa về thành lực N đặt cách trục cột một đoạn ηe_0 . Vùng nén của tiết diện được giới hạn bởi góc $2\alpha = 2\pi\xi_{cir}$. Trong vùng nén xem ứng suất trong bê tông phân bố đều và bằng R_b ; ứng suất

trong cốt thép phân bố đều và bằng R_{sc} .

Điều kiện kiểm tra độ bền tiết diện cốt tròn khi sử dụng cốt thép từ CB400-V trở xuống:

$$M \leq \frac{2}{3} R_b A r \frac{\sin^3 \pi \xi_{cir}}{\pi} + R_s A_{s,tot} \left(\frac{\sin \pi \xi_{cir}}{\pi} + \varphi \right) r_s \quad (1)$$

Trong đó:

r là bán kính đường tròn của tiết diện;

r_s là bán kính đường tròn đi qua trọng tâm các thanh cốt thép dọc;

ξ_{cir} là diện tích tương đối của vùng chịu nén của bê tông, được xác định như sau:

Khi thỏa mãn điều kiện:

$$N \leq 0,77R_b A + 0,645R_s A_{s,tot} \quad (2)$$

Thì:

$$\xi_{cir} = \frac{N + R_b A \frac{\sin 2\pi \xi_{cir}}{2\pi}}{R_b A + R_s A_{s,tot}} \quad (3)$$

Khi điều kiện (2) không thỏa mãn thì:

$$\xi_{cir} = \frac{N + R_s A_{s,tot} + R_b A \frac{\sin 2\pi \xi_{cir}}{2\pi}}{R_b A + 2,55R_s A_{s,tot}} \quad (4)$$

φ là hệ số, kể đến sự làm việc của cốt thép chịu kéo và lấy như sau:

Khi thỏa mãn điều kiện (2) thì: $\varphi = 1,6(1 - 1,55\xi_{cir})\xi_{cir}$, nhưng không lớn hơn 1,0; khi không thỏa mãn điều kiện (2) thì: $\varphi = 0$.

2.2. Các bước tính toán

* Chuẩn bị số liệu tính toán.

- Chọn trước kích thước tiết diện cột tròn: D – đường kính cột; $D = 2r$.

- Xác định chiều dài tính toán của cột: $l_0 = \psi l$;

l là chiều dài cột; ψ – hệ số uốn dọc.

- Từ vật liệu sử dụng xác định các đặc trưng: R_b , E_b , R_s .

- Giả thiết a, tính: $r_s = r - a$.

* Xác định hệ số uốn dọc

- Từ các cặp nội lực tính toán: lực dọc N , momen xoay quanh trục tọa độ địa phương số 3 $M_3 = M_x$, momen xoay quanh trục tọa độ địa phương số 2

$M_2 = M_y$. Tính giá trị $M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$.

Xác định hệ số uốn dọc theo các bước:

- Xác định độ lệch tâm ban đầu e_0 ;

+ Xác định độ lệch tâm ngẫu nhiên e_a theo công thức:

$$e_a \geq \begin{cases} l/600 \\ h/30 \\ 10mm \end{cases}$$

+ Xác định độ lệch tâm tĩnh học e_1 theo

$$\text{công thức: } e_1 = \frac{M}{N}$$

+ Xác định độ lệch tâm ban đầu e_0 theo công thức: $e_0 = \max(e_1, e_a)$ (với kết cấu siêu tĩnh); $e_0 = e_1 + e_a$ (với kết cấu tĩnh định)

* Xét ảnh hưởng của uốn dọc η:

- Xác định độ mảnh của tiết diện theo phương mặt phẳng uốn λ:

$$\text{+ Khi } \lambda = \frac{l_0}{i} \leq 14 \text{ (với } i = 0,25D \text{ – bán kính}$$

quán tính hình tròn) bỏ qua ảnh hưởng của uốn dọc, lấy hệ số uốn dọc $\eta = 1$.

$$\text{+ Khi } \lambda = \frac{l_0}{i} > 14 \text{ cần phải xét đến ảnh hưởng}$$

của uốn dọc, tính: $\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}}$, với N_{cr} là lực dọc tới hạn.

Trong thiết kế thực tế có thể dùng công thức gần đúng do GS.TS. Nguyễn Đình Cống đề xuất như sau:

$$N_{cr} = \frac{2,5\theta E_b I}{l_0^2} \quad (5)$$

Trong đó: θ – hệ số xét đến ảnh hưởng của độ lệch tâm:

$$\theta = \frac{0,2e_0 + 1,05D}{1,5e_0 + D} \quad (6)$$

- Momen sau khi uốn dọc: $M' = N\eta e_0$

* Xác định diện tích tương đối của vùng chịu nén của bê tông ξ_{cir}

- Giả thiết tổng diện tích tiết diện ngang cốt thép

thiết kế: $A_{s,tot}$

- Tính $N_{qu} = 0,77R_b A + 0,645R_s A_{s,tot}$.

+ Trong trường hợp $N \leq N_{qu}$ thì giả thiết ξ_{cir} sau đó tính đúng dẫn theo điều kiện:

$$\xi_{cir} = \frac{N + R_b A \frac{\sin 2\pi \xi_{cir}}{2\pi}}{R_b A + R_s A_{s,tot}}$$

Tính hệ số kể đến sự làm việc của cốt thép chịu kéo: $\varphi = 1,6(1 - 1,55\xi_{cir})\xi_{cir}$

+ Trong trường hợp $N > N_{qu}$ thì tính đúng dẫn ξ_{cir} theo điều kiện:

$$\xi_{cir} = \frac{N + R_s A_{s,tot} + R_b A \frac{\sin 2\pi \xi_{cir}}{2\pi}}{R_b A + 2,55R_s A_{s,tot}} \text{ và } \varphi = 0$$

Có thể xác định đúng dẫn ξ_{cir} bằng phương pháp chia đôi khoảng nghiệm:

❖ Phương pháp chia đôi khoảng nghiệm:
Với diện tích tương đối của vùng chịu nén của bê tông $0 < \xi_{cir} \leq 1$,

đặt: $a = 0,01$; $b = 1,00$; nghiệm ξ_{cir} nằm trong khoảng $[a, b]$.

- Tìm: $\xi_1 = \frac{a+b}{2}$; tính ξ_{cir} theo các trường hợp

ở trên; nếu $\xi_1 < \xi_{cir}$ thì nghiệm ξ_{cir} nằm trong khoảng

$[a, \xi_1]$; tính $\xi_2 = \frac{a+\xi_1}{2}$. Nếu $\xi_2 > \xi_{cir}$ thì nghiệm

ξ_{cir} nằm trong khoảng $[\xi_1, b]$; tính $\xi_2 = \frac{\xi_1+b}{2}$.

- Tìm ξ_2 ; và tiếp tục bước trên đến khi $|\xi_n - \xi_{cir}| < \delta$ (với δ gần bằng 0 cho trước). Khi đó nghiệm $\xi_{cir} = \xi_n$. Ngừng vòng lặp.

* Xác định khả năng chịu lực giới hạn của tiết diện M_u :

- Sau khi có được ξ_{cir} thì tính M_u theo công thức:

$$M_u = \frac{2}{3} R_b A_r \frac{\sin^3 \pi \xi_{cir}}{\pi} + R_s A_{s,tot} \left(\frac{\sin \pi \xi_{cir}}{\pi} + \varphi \right) r_s$$

- So sánh M và M_u :

+ Trường hợp $M' > M_u$: giả thiết lại $A_{s,tot}$ tăng lên đến khi $M_u = M$

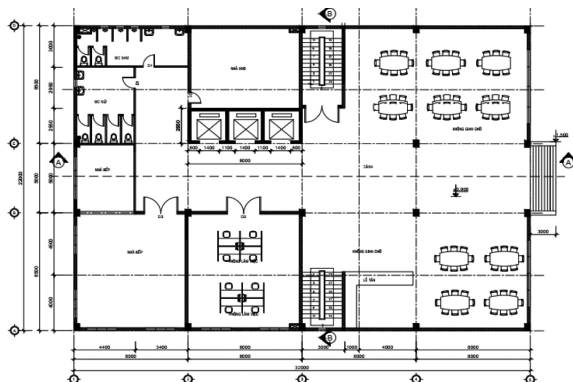
+ Trường hợp $M' < M_u$: có thể giả thiết lại $A_{s,tot}$ để tính lại sao cho M_u lớn hơn và gần bằng M cho tiết kiệm.

Kiểm tra hàm lượng cốt thép:

$$2\mu_{min} \leq \mu_t = \frac{A_{s,tot}}{A} \leq \mu_{max}$$

3. Bài toán áp dụng

Trong phần này 2 cột tròn trục C4 và B4 sẽ được tính toán của công trình khách sạn Hưng Thịnh, quận 4, TP. Hồ Chí Minh. Công trình gồm có 9 tầng, tầng 1 cao 4,5m được sử dụng để làm sảnh đón khách, phòng làm việc và nhà bếp (Hình 2), tầng 2 và 3 cao 3,7m được sử dụng để làm phòng hội nghị và tiệc buffet, các tầng còn lại cao 3,7m được sử dụng để làm các phòng khách sạn. Các cột C4 và B4 nằm giữa



Hình 2. Mặt bằng tầng 1

$M' = N\eta e_0 = 5670,19 \times 1,2 \times 0,01833 = 124,6 \text{ kNm}$ sảnh tầng 1 và phòng buffet tầng 2 nên cần được làm cột tròn để đảm bảo yếu tố thẩm mỹ và an toàn. Vật liệu sử dụng bê tông B25, cốt thép CB-400V.

Công trình được mô hình trong phần mềm ETABS để xác định các nội lực. Chọn ra 1 cặp nội lực để tính toán thủ công tại tiết diện chân cột B4 tầng 1 có lực dọc lớn nhất: $N_{max} = P = -5670,19 \text{ kN}$; $M_{xtu} = M_3 = 35,79 \text{ kNm}$; $M_{ytu} = M_2 = 2,43 \text{ kNm}$. Chọn trước kích thước tiết diện cột tròn: D - đường kính cột; $D = 550 \text{ mm} = 2r$. Momen sau khi uốn dọc tính được với độ lệch tâm ban đầu $e_0 = 18,33 \text{ mm}$ và hệ số uốn dọc $\eta = 1,2$: $M' = N\eta e_0 = 5670,19 \times 1,2 \times 0,01833 = 124,6 \text{ kNm}$.

* Xác định diện tích tương đối của vùng chịu nén của bê tông ξ_{cir}

- Giả thiết tổng diện tích tiết diện ngang cốt thép thiết kế: $A_{s,tot} = 4908 \text{ mm}^2$ (10Ø25)

- Tính $N_{qu} = 0,77R_b A + 0,615R_s A_{s,tot} = 0,77 \times 14,5 \times \pi \times 550^2 / 4 + 0,645 \times 350 \times 4908 = 3759060 \text{ N} = 3759,06 \text{ kN}$

Vì $N = 5670,19 \text{ kN} > N_{qu} = 3759,06 \text{ kN}$ thì tính đúng dẫn ξ_{cir} theo điều kiện:

$$\xi_{cir2} = \frac{N + R_s A_{s,tot} + R_b A \frac{\sin 2\pi \xi_{cir}}{2\pi}}{R_b A + 2,55 R_s A_{s,tot}} \quad \text{và } \varphi = 0$$

Bảng 1. Tính toán vòng lặp giá trị ξ_{dr} cột B4 tầng 1

STT	ξ	$\sin 2\pi \xi$	ξ_1	ξ_2	ξ_{dr}	φ	$\sin \pi \xi_{dr}$	$\sin 3\pi \xi_{dr}$
1	0,010	0,063	1,105	0,948	0,948	0,000	0,161	0,004
2	1,000	0,000	1,098	0,944	0,944	0,000	0,175	0,005
3	0,505	-0,031	1,095	0,942	0,942	0,000	0,182	0,006
4	0,753	-1,000	0,992	0,874	0,874	0,000	0,386	0,057
5	0,876	-0,702	1,024	0,895	0,895	0,000	0,324	0,034
6	0,938	-0,379	1,058	0,918	0,918	0,000	0,256	0,017
7	0,907	-0,551	1,040	0,905	0,905	0,000	0,293	0,025
8	0,892	-0,629	1,031	0,900	0,900	0,000	0,309	0,030
9	0,899	-0,591	1,036	0,903	0,903	0,000	0,301	0,027
10	0,903	-0,571	1,038	0,904	0,904	0,000	0,297	0,026
11	0,905	-0,561	1,039	0,905	0,905	0,000	0,295	0,026
12	0,904	-0,566	1,038	0,904	0,904	0,000	0,296	0,026

Chọn $\xi_{cir} = 0,01$ ban đầu tính được $\xi_{cir2} = 0,948$. Chọn lại giá trị ξ_{cir} và thực hiện tính toán lại cho đến khi $\xi_{cir2} = \xi_{cir}$ thì dừng. Sau nhiều vòng lặp tính toán được các giá trị như bảng sau:

* Xác định khả năng chịu lực giới hạn của tiết diện M_u :

- Sau khi có được $\xi_{cir} = 0,904$ thỏa mãn điều kiện thay các thông số trong bảng 1 thì tính M_u theo công thức:

$$\begin{aligned}
 M_u &= \frac{2}{3} R_b A_r \frac{\sin^3 \pi \xi_{cir}}{\pi} + \\
 &+ R_s A_{s,tot} \left(\frac{\sin \pi \xi_{cir}}{\pi} + \varphi \right) r_s \\
 &= \frac{2}{3} \times 14,5 \times \frac{\pi \times 550^2}{4} \times 275 \times \frac{0,026}{\pi} + \\
 &+ 350 \times 4908 \times \left(\frac{0,296}{\pi} + 0 \right) \times 230 = \\
 &= 42402672 Nmm = 42,40kNm
 \end{aligned}$$

- So sánh M' và M_u : Ta thấy $M' = 124,6kNm > M_u = 42,40kNm$ do đó tiết diện không đảm bảo điều kiện bền. Cần giả thiết lại lượng cốt thép lớn hơn. Sau nhiều lần lặp thì tìm được lượng cốt thép bố trí là 14Ø25 có $A_{s,tot} = 6870 \text{ mm}^2$ với khả năng chịu lực tính được $M_u = 156,81kNm > M' = 124,6kNm$. Có thể tiếp tục giả thiết lại $A_{s,tot}$ để tính sao cho $M_u \approx M'$ khi đó lượng cốt thép là tiết kiệm nhất.

Tương tự với cột C4 tầng 3 chọn ra 1 cặp nội lực tại tiết diện chân cột có độ lệch tâm lớn nhất: $N = P = -3956 \text{ kN}$; $M_{xtu} = M_3 = -166 \text{ kNm}$; $M_{ytu} = M = -28,9 \text{ kNm}$. Chọn trước kích thước tiết diện cột tròn: D - đường kính cột; $D = 550 \text{ mm} = 2r$. Momen sau khi uốn dọc tính được với độ lệch tâm ban đầu $e_0 = 42,6 \text{ mm}$ và hệ số uốn dọc $\eta = 1,09$: $M' = N\eta e_0 = 3956 \times 1,09 \times 0,0426 = 183,7 \text{ kNm}$. Với các bước tính toán tương tự sau nhiều lần lặp thủ công chọn được lượng cốt thép bố trí là 12Ø12 có $A_{s,tot} = 3770 \text{ mm}^2$ với khả năng chịu lực tính được $M_u = 186,07 \text{ kNm} > M' = 183,7 \text{ kNm}$.

4. Chương trình tính toán cột tròn bê tông cốt thép theo TCVN 5574-2018

4.1. Lưu đồ tính toán

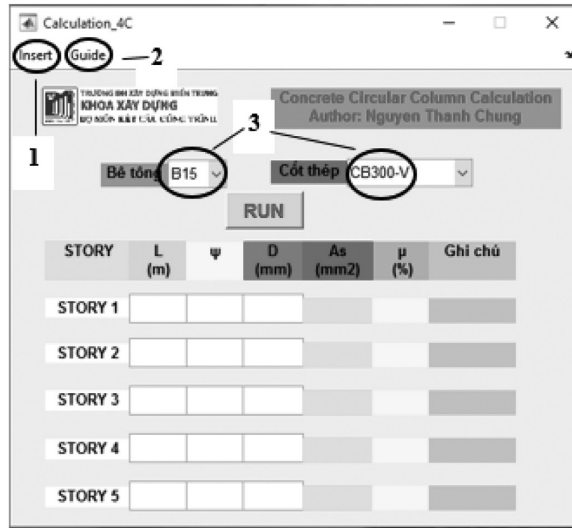
Chương trình được khởi tạo trên giao diện GUI của MATLAB, được sử dụng có hiệu quả, nhanh chóng và đơn giản xác định lực diện tích tiết diện ngang của cốt thép và hàm lượng cốt thép trong cột tròn BTCT. Với mỗi cặp nội lực (N, M_x, M_y) chương trình sẽ tính ra một giá trị diện tích tiết diện ngang của cốt thép $A_{s,tot}$; sao cho khả năng chịu lực của tiết diện M_u được giới hạn lớn hơn M' nhưng không vượt quá $0,01M'$. Sau đó chương trình sẽ so sánh các giá trị tính ra được từ các cặp nội lực và xuất ra giá trị lớn nhất cho 1 phần tử cột. Từ các bước tính toán ở các mục trên, lưu đồ tính toán để chạy chương trình được thiết lập như hình 3.

4.2. Hướng dẫn sử dụng chương trình

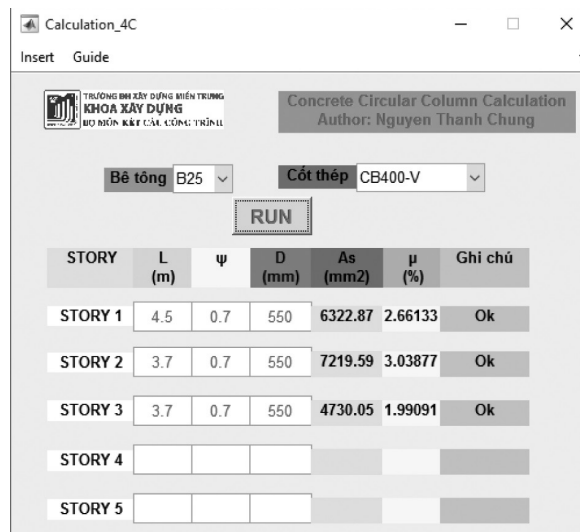
Chương trình được xây dựng trên nền giao diện GUI của phần mềm MATLAB. Sau đó được đóng gói thành 1 chương trình độc lập để chạy trên các máy tính mà không cần cài đặt MATLAB. Cách sử dụng như sau:

- Cài đặt chương trình: chạy file cài đặt

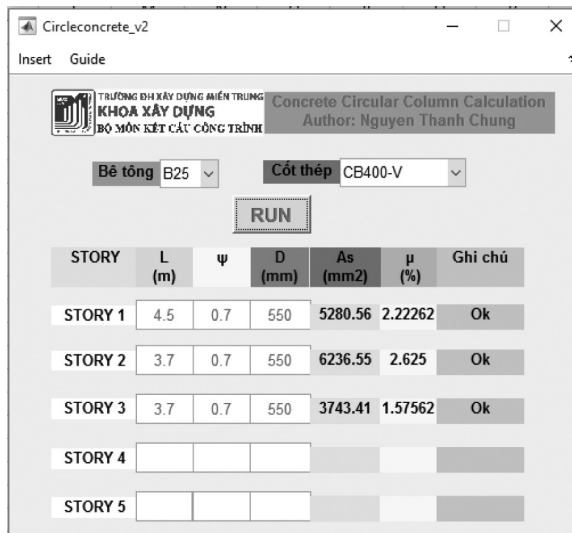
MCRinstaller theo file hướng dẫn trong gói chương trình. Có thể download file theo đường link: <https://>



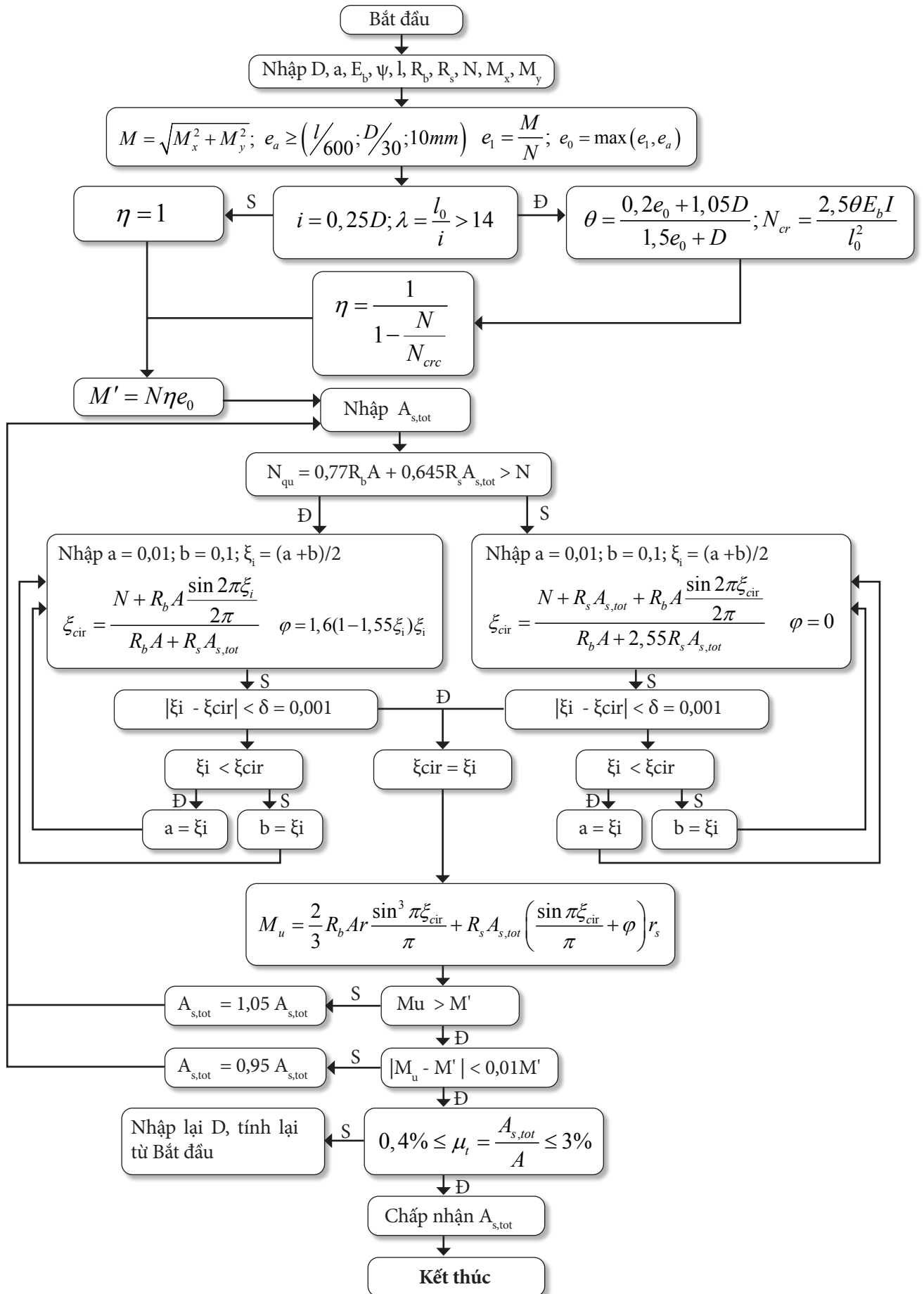
Hình 4. Giao diện chương trình tính toán 4C (Concrete Circular Column Calculation)



a) Cột B4



b) Cột C4 Hình 5. Kết quả tính toán cột B4 và C4



Hình 3. Lưu đồ tính toán cột tròn

www.mathworks.com/products/compiler/matlab-runtime.html ; với phiên bản R2017b.

Sau đó chạy file Calculation_4C.exe.

- Giao diện chương trình:

1- Lấy dữ liệu trong file EXCEL vào chương trình

2- Hướng dẫn các bước sử dụng chương trình

3 – Chọn loại vật liệu bê tông và cốt thép

STORY 1,2,3,4,5: phần tử cột đang tính thuộc các tầng 1,2,3,4,5.

Khai báo các thông số :

L(m): chiều dài thực của cột.

Ψ : hệ số kể đến biến dạng của cột ở vị trí bất lợi nhất của tải trọng

D(mm): Đường kính cột tròn.

RUN: chạy chương trình

Kết quả từ chương trình :

$A_s(\text{mm}^2)$: Diện tích tiết diện ngang lớn nhất của cốt thép tính được từ các tổ hợp nội lực.

$\mu(\%)$: Hàm lượng cốt thép cột.

4.3. Kết quả tính toán của chương trình

Kết quả chương trình tính toán được cho 3 tầng của cột B4 trong mục 3.

Giá trị diện tích tiết diện ngang của cốt thép cho tổ hợp có lực dọc lớn nhất tại tiết diện chân cột của cột B4 theo chương trình tính được là $A_{s,tot} = 6323\text{mm}^2$ nhỏ hơn giá trị tính toán bằng tay trong mục 3 là $A_{s,tot} = 6870\text{mm}^2$. Khả năng chịu lực giới hạn của chương trình tính được là $M_u = 125,49\text{kNm} > M' = 124,6\text{kNm}$ và rất sát so với M' .

Giá trị diện tích tiết diện ngang của cốt thép cho combo9 tại tiết diện chân cột của cột C4 theo chương trình tính được là $A_{s,tot} = 3743,4\text{mm}^2$ nhỏ hơn giá trị tính toán bằng tay trong mục 3 là $A_{s,tot} = 3770\text{mm}^2$. Khả năng chịu lực giới hạn của chương trình tính được là $M_u = 184,7\text{kNm} > M' = 183,7\text{kNm}$ và rất sát so với M' .

Kết luận

Tính toán cột tròn một cách thủ công mất nhiều thời gian khi thực hiện nhiều bước lặp và phải chọn lại diện tích tiết diện ngang cốt thép $A_{s,tot}$ nhiều lần để đảm bảo điều kiện về khả năng chịu lực M_u . Kết quả tính ra có sự chênh lệch lớn giữa M_u và mô men của ngoại lực sau khi kể đến uốn dọc M' dẫn đến lượng cốt thép đã chọn không phải là nhỏ nhất.

Chương trình tính toán diện tích tiết diện ngang cốt thép $A_{s,tot}$ cho cột tròn bê tông cốt thép một cách nhanh chóng, hiệu quả với thời gian nhập dữ liệu và tính toán cho cả 5 tầng với số lượng tổ hợp tùy ý không mất quá 2,0 phút. Cùng giá trị khả năng chịu lực giới hạn của tiết diện M_u lớn hơn mô men của ngoại lực sau khi kể đến uốn dọc là M' với chênh lệch không quá 1% M' . Do đó giá trị $A_{s,tot}$ tính được

là tiết kiệm nhất để từ đó người sử dụng lựa chọn bố trí cốt thép phù hợp cho công trình.

Chương trình có thể được sử dụng hiệu quả trong giảng dạy, học tập, làm tài liệu tham khảo cho giảng viên và sinh viên; cũng như có thể sử dụng trong sản xuất, dùng cho so sánh kiểm tra, đối chiếu với những kết quả tính toán theo những phương pháp khác.

Mặc dù đề tài đã đạt được một số kết quả quan trọng như trình bày ở trên nhưng vẫn còn một số hạn chế có thể bổ sung để tăng thêm mức độ sử dụng hiệu quả của đề tài như:

- Tăng thêm số lượng tầng có thể tính toán;

- Có thể tính toán cho nhiều ký hiệu cột trong một lần tính toán. □

Tài liệu tham khảo

[1] <https://ketcausoft.com>

[2] <http://www.rds.com.vn/index.php/rdsuite-phan-tich-va-thiet-ke-ket-cau-theo-tcvn>

[3] <https://www.consoft.vn/csi/etabs.html>

[4] Tiêu chuẩn TCVN 5574-2018, Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép – Tiêu chuẩn thiết kế, Bộ Xây dựng, 2018.

[5] Nguyễn Đình Cống, Tính toán thực hành cấu kiện bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn TCXDVN 356-2005, Nhà xuất bản Xây Dựng, Hà Nội, 2011.

[6] Nguyễn Hoàng Hải – Nguyễn Việt Anh, Lập trình MATLAB và ứng dụng, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, 2020.