

Ảnh hưởng của kích thước lỗ khoét bản bụng đến tải mất ổn định tuyến tính của cấu kiện thép chữ C tạo hình nguội chịu nén, uốn

Effects of web hole dimensions on the elastic buckling loads of cold-formed steel channel members under compression or bending

Phạm Ngọc Hiếu

Tóm tắt

Cấu kiện thép tạo hình nguội có khoét lỗ đã được sử dụng nhiều trong thực tế nhằm đáp ứng các nhu cầu đặt hệ thống đường ống kỹ thuật. Điều này đã ảnh hưởng đến khả năng chịu lực của loại tiết diện này. Việc thiết kế tiết diện thép tạo hình nguội có khoét lỗ này đã được quy định trong tiêu chuẩn Mỹ AISI S100-2016 với việc sử dụng Phương pháp Cường độ trực tiếp (DSM). Phương pháp này dựa trên các phân tích mất ổn định tuyến tính để đưa ra dự đoán về khả năng chịu lực của loại cấu kiện này. Việc xác định các giá trị tải mất ổn định tuyến tính là yêu cầu bắt buộc cho việc áp dụng phương pháp DSM trong thiết kế. Bài báo do đó sẽ trình bày phương pháp xác định các giá trị tải mất ổn định tuyến tính của cấu kiện thép tạo hình nguội có lỗ khoét. Dựa theo phương pháp đã trình bày, một khảo sát sau đó được tiến hành để đánh giá ảnh hưởng kích thước của lỗ khoét bản bụng đến giá trị tải mất ổn định tuyến tính của tiết diện và cấu kiện thép tạo hình nguội chữ C chịu nén hay uốn.

Từ khóa: Lỗ khoét bản bụng, Tải mất ổn định tuyến tính, Cấu kiện thép chữ C tạo hình nguội, Chịu nén, uốn

Abstract

Cold-formed steel members with perforations have been commonly applied to meet the demands for technical installations. This has affected the capacities of this type of structural member. The design of the perforated sections was regulated in the Specification AISI S100-16 using the Direct Strength Method (DSM). This method is based on elastic buckling analyses to predict the capacities of cold-formed steel members. The determination of elastic buckling loads is compulsory for the application of the DSM method in the design. This paper, therefore, presents the method to determine the elastic buckling loads of cold-formed steel members with perforations. According to this method, an investigation is carried out to estimate the effects of the dimensions of web holes on elastic buckling loads of cold-formed steel channel members under compression or bending.

Key words: Web holes, Elastic buckling loads, Cold-formed steel channel members, Compression or bending

TS. Phạm Ngọc Hiếu

Bộ môn Kết cấu thép gỗ, Khoa Xây dựng

Email: hieupn@hau.edu.vn

ĐT: 0862120185

Ngày nhận bài: 14/9/2021

Ngày sửa bài: 21/10/2021

Ngày duyệt đăng: 21/7/2023

1. Giới thiệu

Các cấu kiện thép tạo hình nguội thường được khoét lỗ do yêu cầu sử dụng nhằm đặt hệ thống kỹ thuật như điện, nước, điều hòa hay sưởi ấm. Các lỗ này thường được chế tạo trước và khoét tại bản bụng trên các tiết diện thông dụng như chữ C hay chữ Z, mà điều này có ảnh hưởng đến tính ổn định và khả năng chịu lực của cấu kiện. Tính toán khả năng chịu lực của cấu kiện tạo hình nguội có khoét lỗ đã được trình bày trong tiêu chuẩn thiết kế AISI S100-16 [1] với việc sử dụng phương pháp cường độ trực tiếp. Phương pháp này sử dụng các phân tích mất ổn định tuyến tính tiết diện và tổng thể để dự đoán khả năng chịu lực của tiết diện hay cấu kiện thép tạo hình nguội. Do đó việc xác định các giá trị ứng suất mất ổn định này là cơ sở quan trọng cho việc áp dụng phương pháp cường độ trực tiếp khi tính toán các cấu kiện thép tạo hình nguội có khoét lỗ.

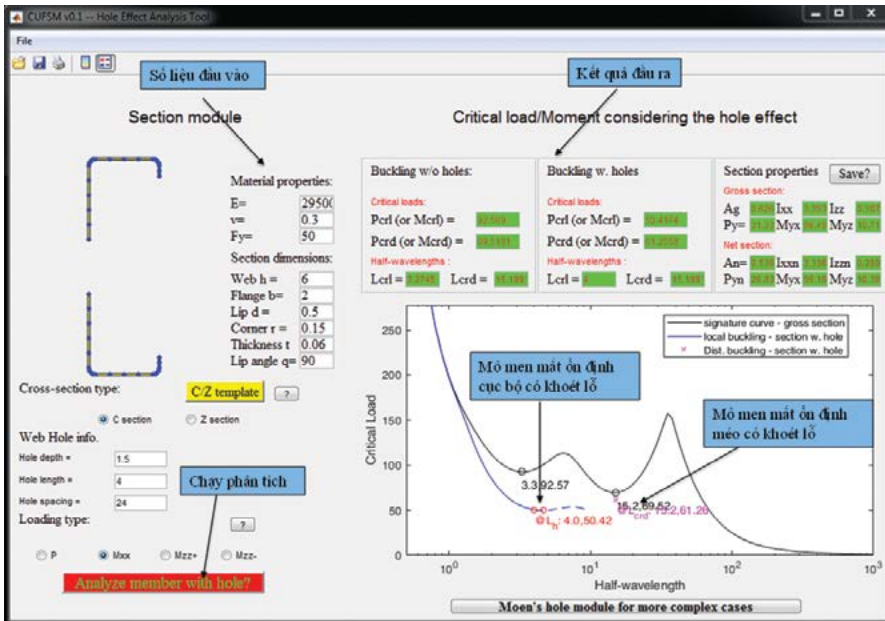
Bài báo này sẽ trình bày phương pháp xác định các giá trị tải mất ổn định tuyến tính của tiết diện và cấu kiện thép tạo hình nguội chữ C dựa trên các quy định trong tiêu chuẩn AISI S100-16 [1]. Một khảo sát sau đó được thực hiện dựa trên các phương pháp đã trình bày để đánh giá ảnh hưởng của kích thước lỗ khoét trên bản bụng đến giá trị tải mất ổn định tuyến tính của cấu kiện thép chữ C tạo hình nguội.

2. Phương pháp xác định giá trị tải mất ổn định tuyến tính của cấu kiện thép tạo hình nguội có khoét lỗ

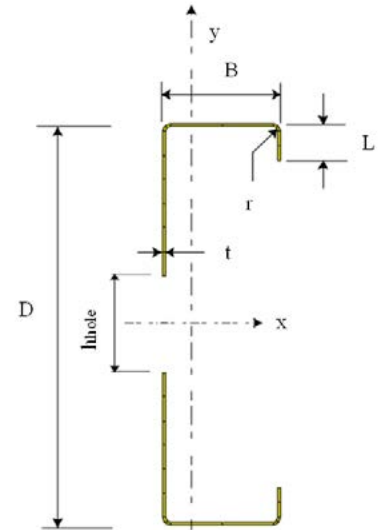
Tài liệu [3] đã đưa phương pháp cường độ trực tiếp (Direct Strength Method - DSM) vào phần chính để xác định lực nén danh nghĩa của cấu kiện bằng thép tạo hình nguội. Phương pháp chiều rộng hữu hiệu (Effective Width Method – EWM) được trình bày trong phần Phụ lục. Mất ổn định tuyến tính của cấu kiện được làm mất ổn định tiết diện và mất ổn định tổng thể. Việc xác định các thành phần này của tiết diện nguyên được thực hiện bằng phân tích tuyến tính sử dụng phương pháp dải bản hữu hạn như CUFSM [2] hay THIN-WALL [3] đã được chứng minh và được sử dụng trong thiết kế. Tuy nhiên các cấu kiện khoét lỗ không liên tục không thể mô hình hóa bằng phương pháp dải bản hữu hạn, nên không dùng được phương pháp này trong xác định các giá trị tải mất ổn định tuyến tính. Phương pháp phần tử hữu hạn mặc dù có thể được dùng trong trường hợp này, nhưng nó lại bộc lộ nhược điểm là mất công lập mô hình và kết quả có thể không chính xác do không tách riêng được từng dạng mất ổn định khác nhau. Một phương pháp đơn giản hóa đã được đề xuất trong xác định các thành phần tải mất ổn định tuyến tính dựa trên các nghiên cứu của Moen và Schafer ([4],[5],[6]), đã được đưa trong tiêu chuẩn AISI S100-16 [1].

2.1. Tải mất ổn định tuyến tính tiết diện

Phương pháp đơn giản sử dụng trong phân tích mất ổn định tuyến tính của tiết diện thép tạo hình nguội khoét lỗ được trình bày chi tiết trong các nghiên cứu của Moen và Schafer ([4],[5],[6]) hoặc dựa trên các tóm tắt của Phạm [7]. Để hỗ trợ cho việc phân tích này, một mô đun tính toán được phát triển bởi Hội đồng tiêu chuẩn cho thiết kế cấu kiện thép tạo hình nguội có kể đến ảnh hưởng của lỗ khoét, chi tiết được trình bày trong các tài liệu ([8], [9]). Mô đun tính toán này yêu cầu các dữ liệu đầu vào đơn giản và đưa ra kết quả trực tiếp về các thông tin mất ổn định tuyến tính của các dạng cục bộ và méo cho cả



Hình 1. Mô đun phần mềm xác định tải mất ổn định tuyến tính của tiết diện có khoét lỗ



Hình 2. Các kích thước chính của tiết diện chữ C có lỗ khoét

tiết diện nguyên và tiết diện có khoét lỗ. Mô đun phần mềm này sẽ được sử dụng trong báo cáo này để thực hiện các khảo sát. Giao diện, cách thức đưa số liệu, chạy phân tích và trả kết quả được biểu thị trên Hình 1.

2.2. Mất ổn định tổng thể

Mất ổn định tổng thể của cấu kiện khoét lỗ được xác định bằng cách sử dụng phương pháp “trọng lượng trung bình”. Tải mất ổn định tổng thể của cấu kiện chịu nén được xác định là giá trị nhỏ hơn trong hai giá trị mất ổn định uốn hay uốn xoắn tương ứng với công thức (1) và (2), còn mô men mất ổn định tổng thể của cấu kiện chịu uốn được xác định theo công thức (3).

Tải mất ổn định tuyến tính do uốn:

$$P_{cre} = \frac{\pi^2 E I_{y,avg}}{(K_y L)^2} \quad (1)$$

Tải mất ổn định do uốn-xoắn:

$$P_{cre} = \frac{1}{2\beta} \left[(P_{ex} + P_t) - \sqrt{(P_{ex} + P_t)^2 - 4\beta P_{ex} P_t} \right] \quad (2)$$

Mô men mất ổn định do uốn-xoắn:

$$M_{cre} = \frac{\pi}{K_y L} \sqrt{E I_{y,avg} \left(G J_{avg} + \frac{\pi^2 E C_{w,net}}{(K_t L)^2} \right)} \quad (3)$$

trong đó:

$$P_{ex} = \frac{\pi^2 E I_{x,avg}}{(K_x L)^2}; P_t = \frac{1}{r_{o,avg}^2} \left(G J_{avg} + \frac{\pi^2 E C_{w,net}}{(K_t L)^2} \right)$$

$I_{x,avg}$, $I_{y,avg}$, J_{avg} , $r_{o,avg}$ là các thành phần đặc trưng cơ học được xác định bằng phương pháp “trọng lượng trung bình” theo tỉ lệ giữa chiều dài tiết diện nguyên và tiết diện khoét lỗ.

$$I_{avg} = \frac{I_g L_g + I_{net} L_{net}}{L}; J_{avg} = \frac{J_g L_g + J_{net} L_{net}}{L};$$

$$r_{o,avg} = \sqrt{\frac{x_{o,avg}^2 + y_{o,avg}^2 + \frac{I_{x,avg} + I_{y,avg}}{A_{avg}}}{A_{avg}}}$$

$$A_{avg} = \frac{A_g L_g + A_{net} L_{net}}{L}; x_{o,avg} = \frac{x_{o,g} L_g + x_{o,net} L_{net}}{L};$$

$$y_{o,avg} = \frac{y_{o,g} L_g + y_{o,net} L_{net}}{L}$$

(I_g , J_g , A_g , L_g , $x_{o,g}$, $y_{o,g}$) và (I_{net} , J_{net} , A_{net} , L_{net} , $x_{o,net}$, $y_{o,net}$) tương ứng là các đặc trưng hình học của tiết diện nguyên và tiết diện tại vị trí có lỗ khoét. $C_{w,net}$ là hằng số xoắn kiểm chế của tiết diện khoét lỗ với chiều cao lỗ khoét giả định h_{hole}^* xác định bằng công thức (4) với h_{hole} là chiều cao lỗ khoét thực và H là chiều cao tiết diện.

$$h_{hole}^* = h_{hole} + \frac{1}{2} (H - h_{hole}) \left(\frac{h_{hole}}{H} \right)^{0.2} \quad (4)$$

3. Khảo sát ảnh hưởng lỗ khoét bản bụng đến giá trị tải mất ổn định tuyến tính của cấu kiện thép tạo hình nguội chữ C chịu nén hoặc uốn

3.1. Mất ổn định tiết diện

Dựa theo báo cáo của Phạm [7], tải mất ổn định cục bộ phụ thuộc vào tỉ số chiều cao lỗ khoét và chiều cao tiết diện h_{hole}/D , trong khi đó giá trị của tải mất ổn định mero lại chịu ảnh hưởng của chiều dài lỗ khoét L_{hole} . Nên khảo sát sẽ xem xét các yếu tố ảnh hưởng này đến từng loại tải mất ổn định tương ứng. Tiết diện chữ C được dùng trong khảo sát với các kích thước hình học được trình bày như trong Bảng 1.

Bảng 1. Kích thước của tiết diện chữ C (Đơn vị mm)

Tiết diện	t	D	B	L
C15012	1,2	152	64	14,5
C20015	1,5	203	76	19,5
C25019	1,9	254	76	21,5
C30024	2,4	300	96	27,5
C35030	3,0	350	125	30,0
C40030	3,0	400	125	30,0

Ghi chú: bán kính trong $r = 5\text{mm}$.

3.1.1. Ảnh hưởng của chiều cao lỗ khoét đến tải mất ổn định cục bộ

Tỉ số chiều cao lỗ khoét và chiều cao tiết diện h_{hole}/D được lấy từ 0,05 đến 0,8. Chiều dài lỗ khoét L_{hole} được lấy bằng hai lần chiều cao tiết diện ($L_{hole} = 2D$, trong đó D là chiều cao tiết diện) và cần đảm bảo chiều dài lỗ khoét L_{hole} lớn hơn chiều dài nửa bước sóng mất ổn định cục bộ của tiết diện giảm yếu đang xét $L_{cri,h}$ ($L_{hole} > L_{cri,h}$). Kết quả khảo sát được biểu diễn tại Hình 3 và Hình 4.

Kết quả cho thấy lỗ khoét có kích thước tăng thì tải mất ổn định cục bộ tại vị trí lỗ khoét có xu hướng tăng lên. Với lỗ khoét nhỏ thì mất ổn định cục bộ xảy ra tại vị trí lỗ khoét, còn với lỗ khoét lớn thì mất ổn định cục bộ xảy ra giữa các lỗ khoét. Lỗ khoét kích thước nhỏ làm giảm tải mất ổn định cục bộ của tiết diện nên khi đó mất ổn định cục bộ xảy ra tại vị trí lỗ khoét. Lỗ khoét kích thước lớn, tải mất ổn định cục bộ tại lỗ khoét cao hơn giá trị tải mất ổn định cục bộ của tiết diện nguyên, nên mất ổn định sẽ không xảy ra tại vị trí lỗ khoét mà tại tiết diện nguyên giữa các lỗ khoét. Điều này được giải thích là khi kích thước lỗ khoét tăng, phần phẳng còn lại của phía trên và dưới lỗ khoét bản bụng giảm, dẫn đến độ mảnh của các phần bản bụng này giảm và làm tính ổn định tăng.

Với tiết diện chịu nén, khi h_{hole}/D đạt khoảng 0,22 cho tất cả các tiết diện đang khảo sát thì tải mất ổn định cục bộ tại lỗ khoét và tại tiết diện nguyên là bằng nhau. Với các lỗ khoét có tỉ số h_{hole}/D lớn hơn 0,22 thì không cần xác định thành phần tải mất ổn định tại vị trí lỗ khoét vì khi đó mất ổn định sẽ xảy ra tại khoảng giữa hai lỗ khoét, và bằng giá trị tải mất ổn định cục bộ của tiết diện nguyên.

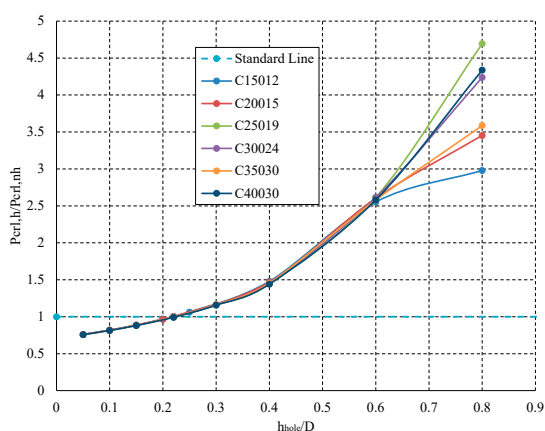
Khi chịu nén, tỉ số giữa tải mất ổn định cục bộ của tiết diện khoét lỗ và tiết diện nguyên có giá trị xấp xỉ bằng nhau với các tiết diện khác nhau dùng trong khảo sát với khoảng h_{hole}/D đến 0,6. Do đó, dựa vào các tỉ số đã thể hiện trên Hình 3 hoàn toàn có thể xác định được các giá trị tải mất ổn định cục bộ của tiết diện có lỗ khoét một cách khá chính khi đã biết được giá trị tải mất ổn định cục bộ của tiết diện nguyên.

Với tiết diện chịu uốn, ảnh hưởng của lỗ khoét này đến tải mất ổn định cục bộ rõ ràng hơn khi độ mô men mất ổn định cục bộ tại vị trí lỗ khoét giảm khá nhiều đến hơn 40% so với không khoét lỗ. Tải mất ổn định cục bộ có xu hướng xảy ra ở khu vực khoét lỗ khi tỉ số h_{hole}/D nhỏ hơn 0,6, thậm chí tiết diện C15012 có xảy ra mất ổn định tại lỗ khoét khi h_{hole}/D đạt đến 0,8. Khi tỉ số h_{hole}/D nhỏ hơn 0,6 thì tỉ số mô men mất ổn định cục bộ của tiết diện khoét lỗ và tiết diện nguyên xấp xỉ bằng nhau với các tiết diện khác nhau. Nên mô men mất ổn định cục bộ của tiết diện khoét lỗ có thể được xác định khá chính xác dựa trên các tỉ số trên Hình 4 khi đã có mô men mất ổn định cục bộ của tiết diện nguyên.

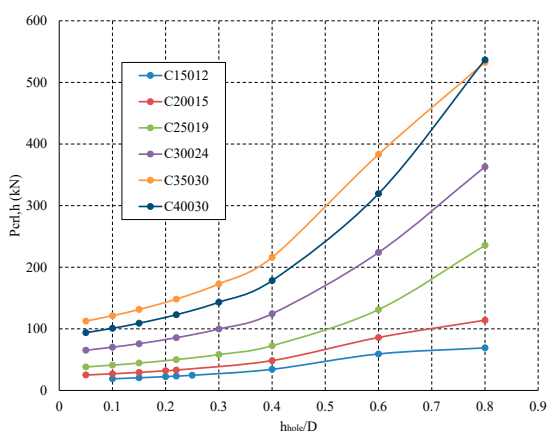
3.1.2. Ảnh hưởng của chiều dài lỗ khoét đến tải mất ổn định méo tiết diện

Tỉ số giữa chiều dài lỗ khoét và chiều cao tiết diện khảo sát L_{hole}/D lấy từ 0,5 đến 3,0. Chiều cao lỗ khoét lấy bằng một nửa chiều cao tiết diện khảo sát. Kết quả khảo sát được biểu diễn tại Hình 5 và Hình 6.

Từ các kết quả thu được có thể thấy chiều dài lỗ khoét tăng thì tải mất ổn định méo tiết diện giảm. Tỉ số giữa kích thước bản bụng và bản cánh càng tăng thì ảnh hưởng của

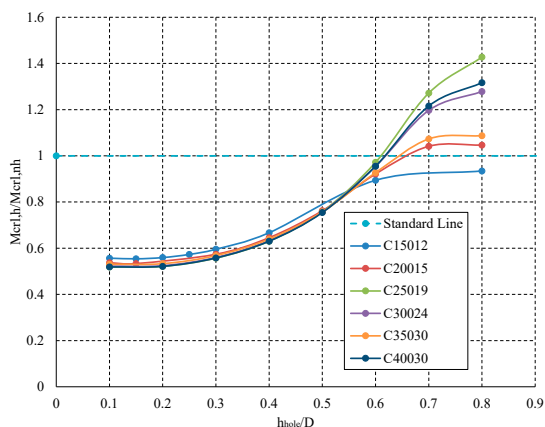


Hình 3. Kết quả dạng mất ổn định cục bộ của tiết diện chịu nén

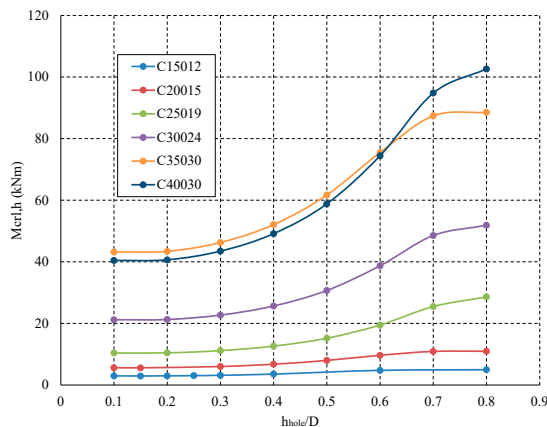


Ghi chú:

$P_{cri,h}$ và $P_{cri,nh}$ là tải mất ổn định cục bộ của tiết diện có khoét lỗ và tiết diện nguyên

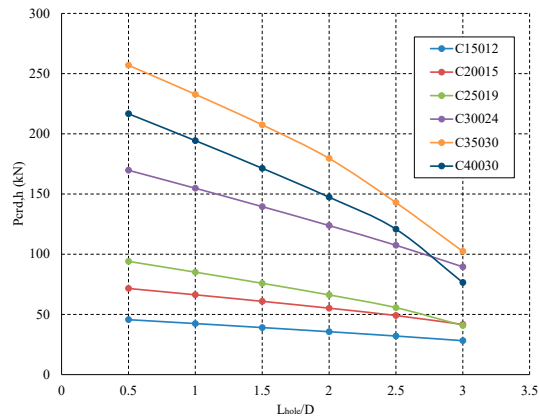
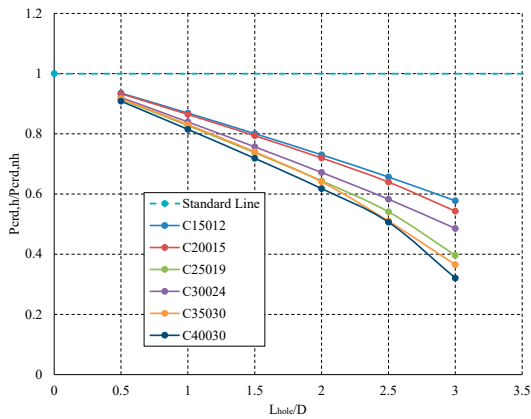


Hình 4. Kết quả dạng mất ổn định cục bộ của tiết diện chịu uốn



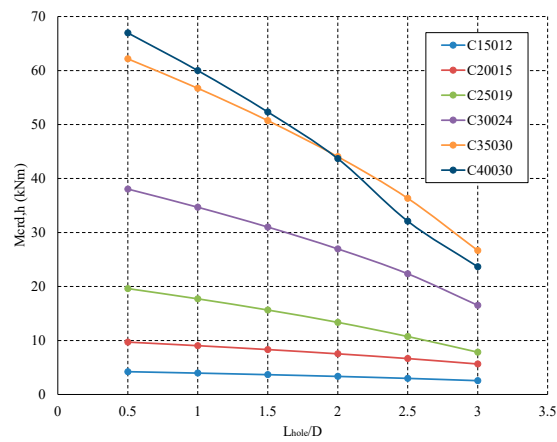
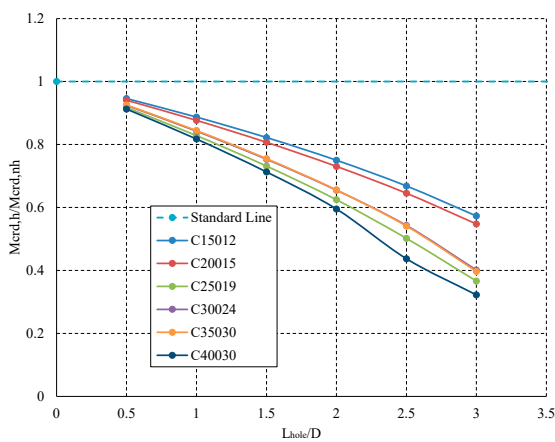
Ghi chú:

$M_{cri,h}$ và $M_{cri,nh}$ là mô men mất ổn định cục bộ của tiết diện có khoét lỗ và tiết diện nguyên



Ghi chú:
 $P_{crd,h}$ và $P_{crd,nh}$
 là tải mất ổn
 định méo của
 tiết diện có
 khoét lỗ và tiết
 diện nguyên

Hình 5. Kết quả dạng mất ổn định méo của tiết diện chịu nén



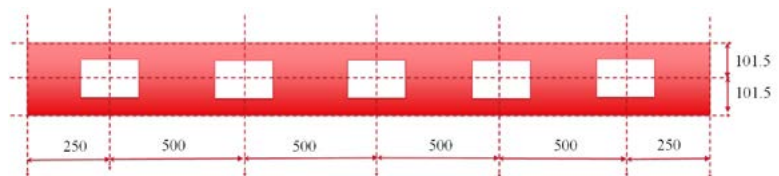
Ghi chú:
 $M_{crd,h}$ và
 $M_{crd,nh}$ là
 mô men
 mất ổn định
 của tiết diện
 có khoét lỗ
 và tiết diện
 nguyên

Hình 6. Kết quả dạng mất ổn định méo của tiết diện chịu uốn

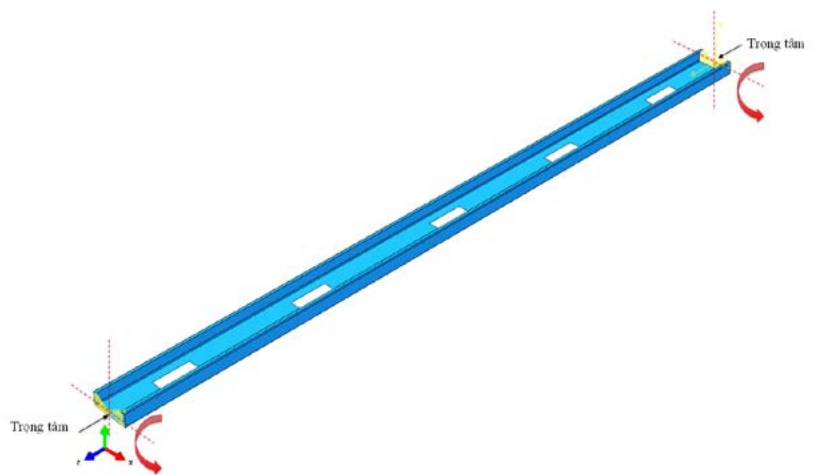
Lỗ khoét đến tải mất ổn định méo tiết diện càng trở lên rõ rệt hơn. Cụ thể cho điều này, tiết diện C15012 có tỉ số này là 2,38 thì tải mất ổn định méo bị giảm xuống khoảng 40% cho cả nén lẫn uốn, khi đó C40030 có tỉ số này là 3,23 thì tải mất ổn định méo giảm xuống tới khoảng 65% khi chịu nén hay uốn. Điều này được giải thích do ảnh hưởng của bản bụng đến ứng xử mất ổn định méo của bản cánh, bản bụng có tính ổn định càng cao (tức là tỉ số bản bụng và bản cánh nhỏ) thì sẽ giảm ảnh hưởng của lỗ khoét đến tải mất ổn định méo tiết diện của bản cánh. Thậm chí do bản bụng quá rộng (độ mảnh cao) đã làm cho ứng suất mất ổn định méo bản cánh của tiết diện C40030 còn nhỏ hơn ứng suất này của tiết diện C35030 như thể hiện trên Hình 5 khi tiết diện chịu nén.

3.2. Mất ổn định tổng thể

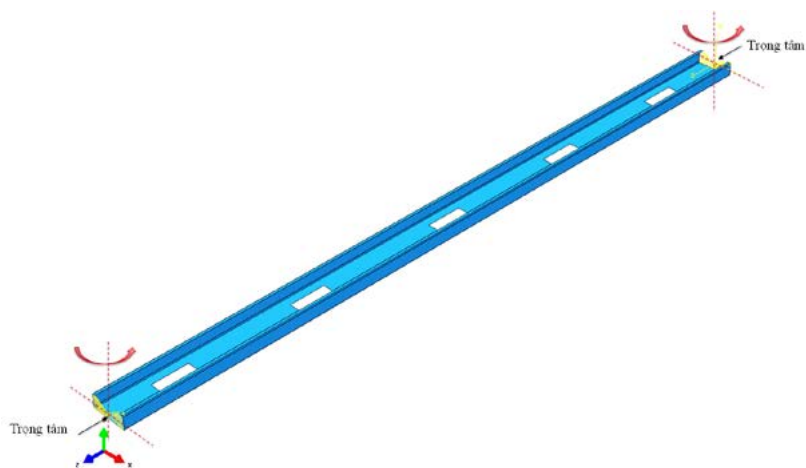
Tiết diện C20015 được lựa chọn để khảo sát với các thông số hình học như trong Bảng 1. Cấu kiện khảo sát có chiều dài 2500mm được khoét 05 lỗ đều và đối xứng với chiều cao hhole dao động từ 0,2 đến 0,8 lần chiều cao tiết diện, và chiều dài L_{hole} lấy từ 0,5 đến 2 lần chiều cao tiết diện.



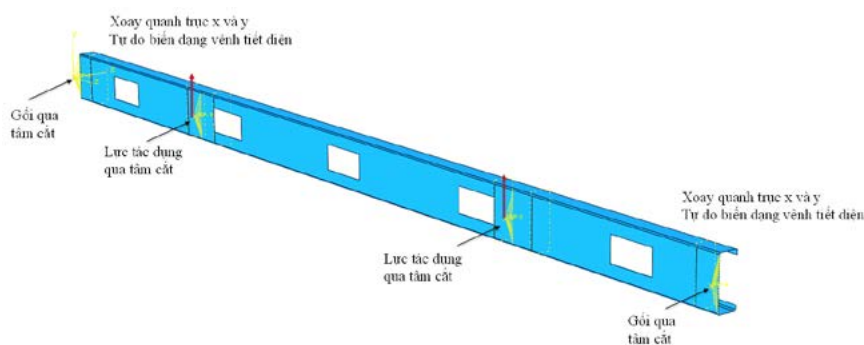
Hình 7. Vị trí các lỗ khoét trên bản bụng tiết diện



Hình 8. Mô hình mất ổn định uốn do nén



Hình 9. Mô hình mất ổn định uốn-xoắn do nén



Hình 10. Mô hình mất ổn định uốn-xoắn do uốn

Chi tiết vị trí các lỗ khoét được biểu diễn trên Hình 7.

Cấu kiện khảo sát chịu nén đúng tâm hoặc uốn thuần túy. Điều kiện biên cho chịu nén chia làm hai trường hợp, bao gồm liên kết khớp theo trục khỏe hay liên kết khớp theo trục yếu để thu được tương ứng dạng mất ổn định uốn-xoắn hoặc uốn. Điều kiện biên đảm bảo chống vênh tiết diện dọc theo chiều dài cấu kiện khi chịu xoắn. Do đó, các hệ số chiều dài tính toán được lấy như sau: $L_x=L$; $L_y=0,5L$; $L_z=0,5L$ cho mất ổn định uốn; và $L_x=0,5L$; $L_y=L$; $L_z=0,5L$ cho mất ổn định uốn-xoắn, với L là chiều dài cấu kiện. Với cấu kiện chịu uốn, điều kiện biên đảm bảo liên kết khớp theo cả trục yếu lẫn trục khỏe và không ngăn biến dạng vênh tiết

diện dọc theo chiều dài cấu kiện do xoắn, với các hệ số chiều dài tính toán cụ thể $L_x=L_y=L_z=L$, với L là chiều dài cấu kiện. Chi tiết các mô hình này được biểu diễn từ Hình 8 đến Hình 10. Kết quả tính toán các giá trị mất ổn định tuyến tính tổng thể được biểu diễn thành các biểu đồ từ Hình 11 đến Hình 13.

Kết quả khảo sát cho thấy kích thước lỗ khoét càng lớn thì giá trị tải mất ổn định tổng thể càng giảm. Quan hệ giữa tải mất ổn định và chiều dài lỗ khoét có quan hệ bậc nhất, do đó có thể nội suy được được tải mất ổn định nằm giữa các điểm tải mất ổn định đã xác định. Điều này cũng thấy rõ thông qua quan hệ bậc nhất của các đặc trưng hình học với chiều dài của lỗ khoét như trình bày trong mục 2.2.

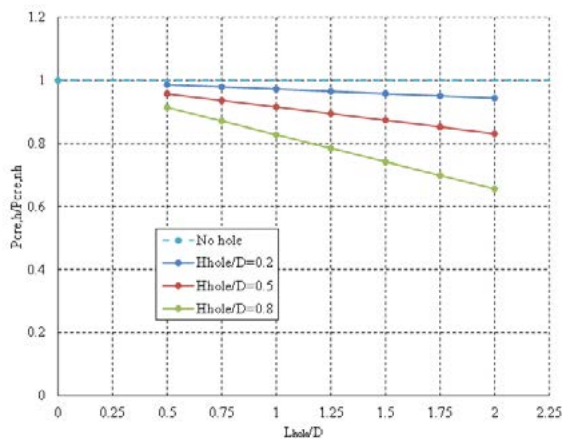
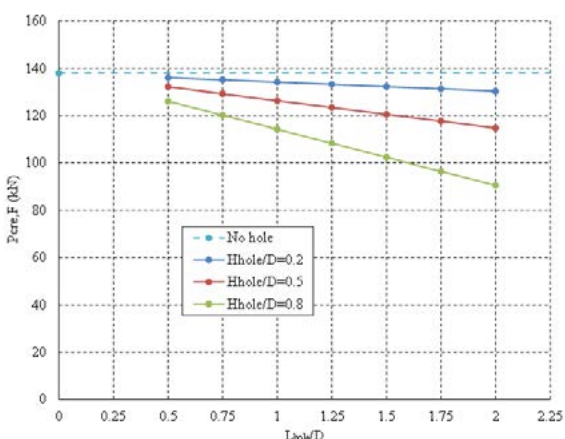
Theo như số liệu khảo sát, tải mất ổn định uốn-xoắn do nén ảnh hưởng lớn nhất bị giảm tới gần 50% so với giá trị tải mất ổn định của tiết diện nguyên, trong khi đó giá trị này là 35% và 40% với tải mất ổn định uốn do nén và tải mất ổn định uốn xoắn do uốn.

Với lỗ khoét nhỏ (ví dụ như $h_{hole}/D=0,2$) thì sự thay đổi của chiều dài lỗ khoét không ảnh hưởng đáng kể đến tải mất ổn định tuyến tính thông qua góc dốc đường giá trị tải mất ổn định khá nhỏ. Với các lỗ khoét có tỉ số h_{hole}/D lớn thì độ giảm về tải mất ổn định có xu hướng mạnh hơn khi chiều dài lỗ khoét tăng, có thể thấy thông qua góc dốc của đường tải mất ổn

định tăng nhiều.

4. Kết luận

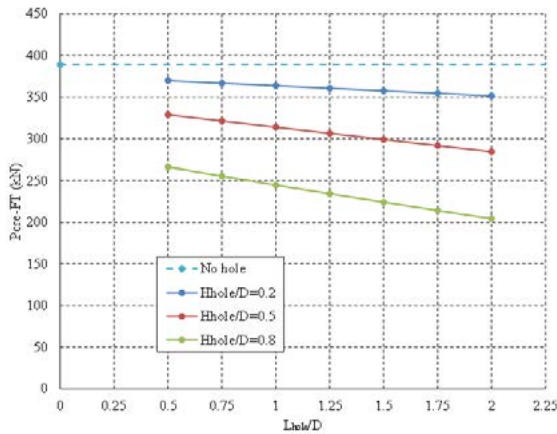
Bài báo đã trình bày phương pháp đơn giản trong xác định các giá trị tải mất ổn định tuyến tính của tiết diện cấu kiện thép tạo hình nguội theo tiêu chuẩn AISI S100-16. Phương pháp đơn giản này sau đó đã được xây dựng thành một mô đun tính toán được phát triển bởi Hội đồng tiêu chuẩn của Mỹ nhằm phục vụ cho việc phân tích tải mất ổn định tuyến tính của tiết diện thép tạo hình nguội. Khảo sát sau đó được tiến hành sử dụng phương pháp đơn giản đã trình bày để xem



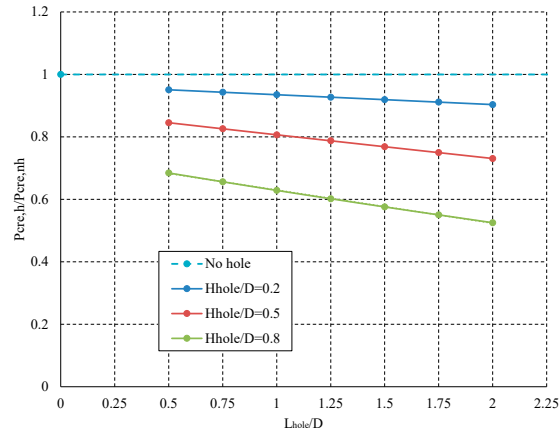
Hình 11. Kết quả khảo sát dạng mất ổn định uốn do nén

Ghi chú:

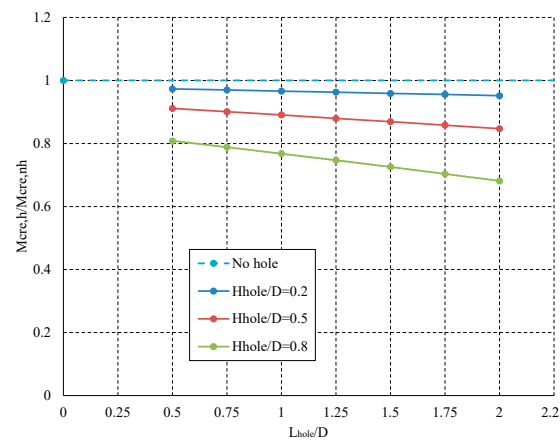
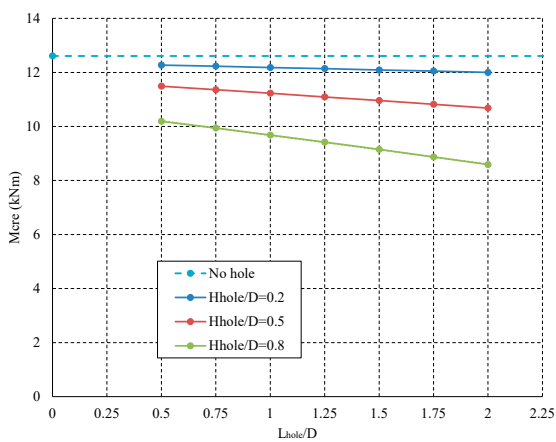
P_{cr} , F là lực gây ra mất ổn định uốn; $P_{cr,h}$ và $P_{cr,nh}$ là tải mất ổn định của cấu kiện có khoét lỗ và tiết diện nguyên.



Hình 12. Kết quả khảo sát dạng mất ổn định uốn-xoắn do nén



Ghi chú:
 P_{cr} , FT là lực gây ra mất ổn định uốn-xoắn;
 $P_{cr,h}$ và $P_{cr,nh}$ là tải mất ổn định của của cấu kiện với tiết diện có khoét lỗ và tiết diện nguyên.



Ghi chú:
 M_{cr} , FT là mô men gây ra mất ổn định uốn-xoắn; $M_{cr,h}$ và $M_{cr,nh}$ là mô men mất ổn định của cấu kiện với tiết diện có khoét lỗ và tiết diện nguyên

Hình 13. Kết quả khảo sát dạng mất ổn định uốn-xoắn do uốn

xét ảnh hưởng của kích thước lỗ khoét trên bản bụng đến tải mất ổn định tuyến tính của tiết diện và cấu kiện thép chữ C tạo hình nguội với các kết luận chính được đưa ra như sau:

Tải mất ổn định cục bộ phụ thuộc vào chiều cao lỗ khoét, còn tải mất ổn định méo tiết diện lại chịu ảnh hưởng của chiều dài lỗ khoét;

Chiều cao lỗ khoét nhỏ đi thì tải mất ổn định cục bộ có xu hướng giảm. Mất ổn định cục bộ xảy ra tại vị trí lỗ khoét với lỗ khoét nhỏ, còn xảy ra tại giữa các lỗ khoét khi lỗ khoét có kích thước lớn;

Chiều dài lỗ khoét tăng thì tải mất ổn định méo tiết diện có xu hướng giảm. Tỷ số giữa kích thước bản bụng và bản cánh càng lớn thì ảnh hưởng của lỗ khoét đến tải mất ổn định méo tiết diện càng trở nên rõ rệt;

Kích thước lỗ khoét càng lớn thì giá trị tải mất ổn định tổng thể càng giảm. Lỗ khoét có chiều cao càng lớn thì giá trị tải mất ổn định tuyến tính có xu hướng giảm mạnh hơn khi chiều dài lỗ khoét tăng lên./.

Tài liệu tham khảo

1. American Iron and Steel Institute, North American Specification for the Design of Cold-formed Steel Structural Members. Washington DC: American Iron and Steel Institute, 2016.
2. Z. Li and B. W. Schafer, Buckling analysis of cold-formed steel members with general boundary conditions using CUFSM: Conventional and constrained finite strip methods. Saint Louis, Missouri, USA, 2010.
3. V. V. Nguyen, G. J. Hancock, and C. H. Pham, "Development of the Thin-Wall-2 for Buckling Analysis of Thin-Walled Sections Under Generalised Loading" in Proceeding of 8th International Conference on Advances in Steel Structures, 2015.
4. C. D. Moen, "Direct Strength design for cold-formed steel members with perforations", Johns Hopkins University, Baltimore, 2008.
5. C. D. Moen and B. W. Schafer, "Experiments on cold-formed steel columns with holes", Thin-Walled Structures, vol. 46, no. 10, pp. 1164–1182, 2008.
6. C. D. Moen and B. W. Schafer, "Elastic buckling of cold-formed steel columns and beams with holes", Engineering Structures, vol. 31, no. 12, pp. 2812–2824, 2009.
7. N. H. Pham, Nghiên cứu ảnh hưởng của lỗ khoét đến sự mất ổn định tuyến tính của cấu kiện thép tạo hình nguội. Đại học Kiến trúc Hà Nội, 2021.
8. AISI, "Development of CUFSM Hole Module and Design Tables for the Cold-formed Steel Cross-sections with Typical Web Holes in AISI D100", Research Report 1, 2021.
9. AISI, "Development of CUFSM Hole Module and Design Tables for the Cold-formed Steel Cross-sections with Typical Web Holes in AISI D100", Research Report 2, 2021.