



INVESTIGATION AND ASSESSMENT OF THE FLEXURAL RESISTANCE OF THE STEEL U-GIRDER'S COMPRESSIVE FLANGE ACCORDING TO TCVN11823:2017, WITH CONSIDERATION OF NORMAL AND SBHS STEEL GRADES

Dang Viet Duc

University of Thuyloi, No 175 Tay Son Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 13/03/2026

Revised: 11/08/2026

Accepted: 11/08/2026

Published online: 15/08/2026

<https://doi.org/10.47869/tcsj.77.6.3>

* *Corresponding author*

Email: dangviet.duc@gmail.com; Tel: +84936020377

Abstract. The flexural resistance of the steel U-girder's unstiffened compressive flange is an important design value of steel bridge structures. The steel material properties and the imperfections of initial deflection and residual stress influence significantly this design value. Recently, Japanese steel products have become popular for steel highway and railway bridges in Vietnam. It is necessary to investigate the applicability of these steel products according to the Vietnamese design code, which is based on the American design code. To investigate the design resistance, it is necessary to consider the statistical information regarding input factors, specifically initial deflection and residual stress of the steel plates. This paper will present an investigation of the normalised resistances (σ_u/σ_y) of steel plates, focusing on two SBHS grades and one normal steel grade from the Japanese Industrial Standard, which will allow for the evaluation of the reliability of the current design formula and the applicability of these steel grades.

Keywords: Compressive strength, SBHS steel grades, SM490Y steel grade, probability distribution, mean value, variance, and standard deviation.

@ 2026 University of Transport and Communications



KHẢO SÁT ĐÁNH GIÁ CÔNG THỨC THIẾT KẾ SỨC KHÁNG TẤM BẢN DẦM HỘP THÉP CHỊU NÉN THEO TCVN11823:2017 VỚI CẤP THÉP THƯỜNG VÀ SBHS NHẬT BẢN

Đặng Việt Đức

Trường Đại học Thủy Lợi, Số 175 Tây Sơn, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 13/03/2026

Ngày nhận bài sửa: 11/08/2026

Ngày chấp nhận đăng: 11/08/2026

Ngày xuất bản Online: 15/08/2026

<https://doi.org/10.47869/tcsj.77.6.3>

* Tác giả liên hệ

Email: dangviet.duc@gmail.com; Tel: +84936020377

Tóm tắt. Sức kháng làm việc của tấm bản chịu nén là giá trị thiết kế quan trọng của kết cấu cầu dầm hộp thép. Các đặc tính vật liệu và mức độ không hoàn hảo về biến dạng ban đầu và ứng suất dư do hàn sẽ ảnh hưởng đáng kể đến giá trị thiết kế này. Những năm gần đây các sản phẩm thép Nhật Bản được áp dụng rất phổ biến trong các công trình cầu thép cho đường bộ và đường sắt ở Việt Nam. Khảo sát tính khả dụng của sản phẩm thép Nhật Bản với tiêu chuẩn thiết kế cầu Việt Nam, vốn căn cứ chủ yếu trên quy trình thiết kế cầu đường bộ Hoa Kỳ, là hết sức cần thiết. Để đánh giá sức kháng thiết kế cần phải xét đến các yếu tố xác suất thống kê của giá trị đầu vào là ứng suất dư và mức độ biến dạng ban đầu. Nghiên cứu sẽ khảo sát giá trị sức kháng đối chiếu với giá trị chảy dẻo (σ_u/σ_y) của tấm thép ứng với 2 cấp thép tính năng cao và một cấp thép thường phổ dụng trong thực tiễn Nhật Bản để từ đó đưa ra các đánh giá về độ tin cậy của công thức thiết kế hiện hành và khả năng ứng dụng của các cấp thép khảo sát.

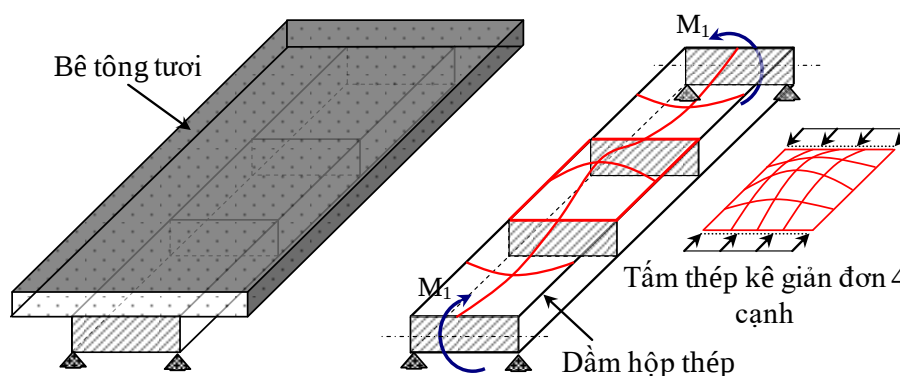
Từ khóa: Sức kháng nén, cấp thép SBHS, cấp thép SM490Y, phân phối xác suất, giá trị trung bình, phương sai, độ lệch chuẩn.

@2026 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. GIỚI THIỆU

Kết cấu dầm hộp thép với bản cánh cấu tạo bởi các tấm thép không có sườn tăng cường (KSTC), sở hữu những ưu điểm về thẩm mỹ kết cấu và tiến độ thi công nhanh, được ứng dụng rất rộng rãi trong công trình cầu thép và thép – bê tông liên hợp. Cầu vượt Láng Hạ - Lê Văn Lương, Nguyễn Chí Thanh – Láng, Hà Nội; cầu vượt Nguyễn Tri Phương, T.P. Hồ Chí Minh

là những ví dụ điển hình của dạng kết cấu này. Thời gian gần đây các công ty thép của Nhật Bản đã nghiên cứu và chế tạo các loại thép tấm tính năng cao là SBHS500 và SBHS700 [1] với một số ưu điểm nổi trội như cường độ chảy dẻo cao hơn, tính hàn được rất tốt, tuy nhiên có sự khác biệt rõ rệt về đặc tính sau đàn hồi (đàn dẻo) như không có biến dạng dẻo hoặc biến dạng dẻo là rất nhỏ so với các cấp thép thông thường.



Hình 1. Tấm thép đại diện cho khả năng chịu nén của bản cánh dầm hộp không có sườn tăng cường

Sức kháng uốn thiết kế của dạng kết cấu dầm hộp thép có quan hệ mật thiết với sức kháng nén (SKN) (hay sức kháng mất ổn định cục bộ) của thành phần tấm bản thép cấu thành có dạng bản kê 4 cạnh (hình 1). Để thuận tiện cho quá trình nghiên cứu khảo sát, sức kháng của kết cấu này sẽ được đại diện bởi một tấm thép kê giản đơn 4 cạnh tương ứng. Các kết quả thí nghiệm được trình bày trong Dwight và Moxham [2] và Fukumoto và Itoh [3] đã chỉ ra rằng không có sự khác biệt đáng kể về SKN của tấm thép với điều kiện biên dạng kê hay ngàm trên 4 cạnh và giữa tấm thép đại diện với cột thép ngắn hoặc bản cánh chịu nén dầm hộp KSTC xét theo tiêu chí ứng suất.

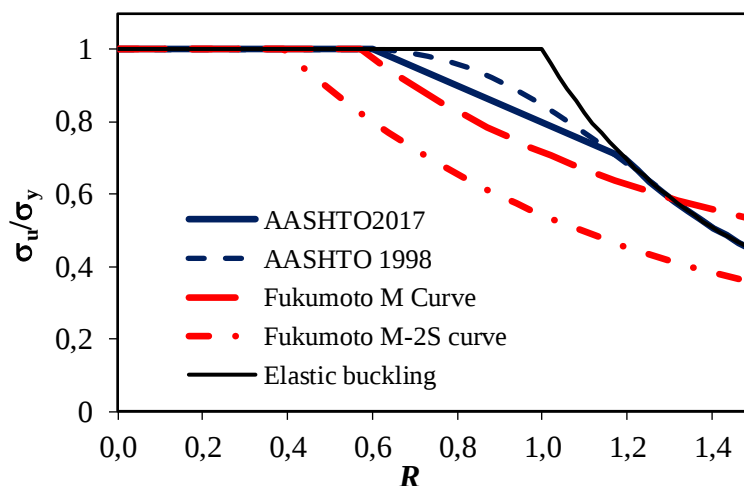
Công thức thiết kế SKN của dầm hộp thép trong quy trình thiết kế TCVN 11823:2017 [4] được biểu diễn theo dạng hàm với biến số là độ mảnh b/t (chiều rộng/chiều dày) của tấm thép đại diện. So với phiên bản trước đó, 22 TCN 272-05 [5], sức kháng thiết kế này của quy trình thiết kế hiện hành được đề xuất thấp hơn trong dải độ mảnh không đặc chắc (Non-compact). Tuy nhiên với định dạng của công thức thiết kế hiện hành, sử dụng biến số là độ mảnh b/t , rất không thuận tiện để so sánh đánh giá hiệu quả làm việc chịu nén của kết cấu cầu tạo từ các cấp thép khác nhau với đặc tính sau đàn hồi khác nhau. Nghiên cứu sẽ quy đổi tương đương công thức thiết kế SKN của kết cấu dầm hộp thép KSTC với biến số là tham số độ mảnh R . Tham số độ mảnh (slenderness parameter) R của tấm thép được biểu diễn như trong công thức (1) với b , t , σ_y , E , ν và k theo thứ tự là chiều rộng, chiều dày của tấm thép, cường độ chảy dẻo, modul đàn hồi, hệ số nở hông của vật liệu thép, và tham số mất ổn định của điều kiện biên tấm thép. Bên cạnh đó nghiên cứu cũng sẽ khảo sát SKN của tấm bản thép đại diện đối chiếu với giá trị chảy dẻo cấp thép tương ứng σ_u/σ_y .

$$R = \sqrt{\frac{\sigma_y}{\sigma_E}} = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}} \quad (1)$$

SKN của tấm thép đại diện phụ thuộc rất nhiều vào 2 yếu tố không hoàn hảo về ứng suất dư do hàn và mức độ biến dạng (độ phồng móp) ban đầu. Các thông số không hoàn hảo về ứng suất dư và biến dạng ban đầu sẽ được sử dụng trong nghiên cứu ở dạng: σ_{rc}/σ_y , sự đối chiếu của giá trị ứng suất dư tạo phân bố nén so với giá trị chảy dẻo của cấp thép; và W_0/b : tỉ lệ giữa mức

biến dạng (phồng mốp) ban đầu lớn nhất và chiều rộng của tấm đại diện. Các giá trị này sẽ được giải thích rõ hơn trong hình 3.

Để đánh giá về SKN danh định và hệ số sức kháng cần thiết phải thu thập phân phối xác suất của các yếu tố không hoàn hảo đã đề cập để từ đó xác định phân phối xác suất của dữ liệu sức kháng. Các thông số đặc tính xác suất như giá trị trung bình, phương sai, độ lệch chuẩn của sức kháng là cơ sở tin cậy để đánh giá, đề xuất giá trị sức kháng thiết kế và hệ số sức kháng. Tuy nhiên việc xác định các giá trị này trực tiếp từ phân phối xác suất của giá trị sức kháng đòi hỏi khối lượng tính toán rất lớn, tối thiểu là hàng chục ngàn bước chạy mô hình hoặc phép tính toán phải thực hiện. Để giảm bớt khối lượng tính toán rất lớn này có thể áp dụng phương pháp xấp xỉ với chuỗi Taylor, đề xuất bởi Haldarand and Mahadevan [6], xung quanh các điểm đặc biệt để xác định gần đúng các giá trị đặc tính xác suất sức kháng trực tiếp từ các giá trị đặc tính của phân phối xác suất các thông số không hoàn hảo đã đề cập.



Hình 2. Đường cong thiết kế SKN của quy trình hiện hành so sánh với kết quả thực nghiệm

Fukumoto và Itoh [3] thông qua khảo sát 793 thí nghiệm về nén uốn kết cấu hộp thép trong đó 13% là nén các hộp thép ngắn đã đề xuất 2 đường cong SKN của tấm bản thép ứng với giá trị trung bình (đường M) và giá trị trung bình trừ đi hai lần độ lệch chuẩn (đường M-2S). Đây là các thông số rất quan trọng để đề xuất công thức xác định giá trị sức kháng danh định và hệ số sức kháng. Trong hình 2 sẽ biểu diễn 2 đường cong này cùng với đường cong thiết kế SKN của tấm thép quy định trong 22 TCN 272-05 vốn dựa trên AASHTO.(1998) [7] và quy trình hiện hành TCVN 11823:2017 được chuyển ngữ từ AASHTO.(2017) [8]. Tương quan giữa các đường cong cho thấy đường cong thiết kế SKN của AASHTO 2017 lớn hơn đáng kể so với đường M-2S và thậm chí vẫn lớn hơn so với đường M của Fukumoto và Itoh trong vùng $0,7 < R < 1,2$. Điều này cho thấy quy trình thiết kế hiện hành của Việt Nam đang dự báo quá lớn SKN thiết kế tấm thép nếu so sánh với các kết quả thí nghiệm. Tuy nhiên một số thí nghiệm trong dữ liệu của Fukumoto và Itoh có biến dạng ban đầu W_0/b lớn hơn mức 1/150, là mức tối đa mà JSHB [9] cho phép, do vậy cần thiết phải thực hiện thêm các nghiên cứu khảo sát so sánh giá trị thiết kế của SKN tấm bản thép theo quy trình thiết kế hiện hành.

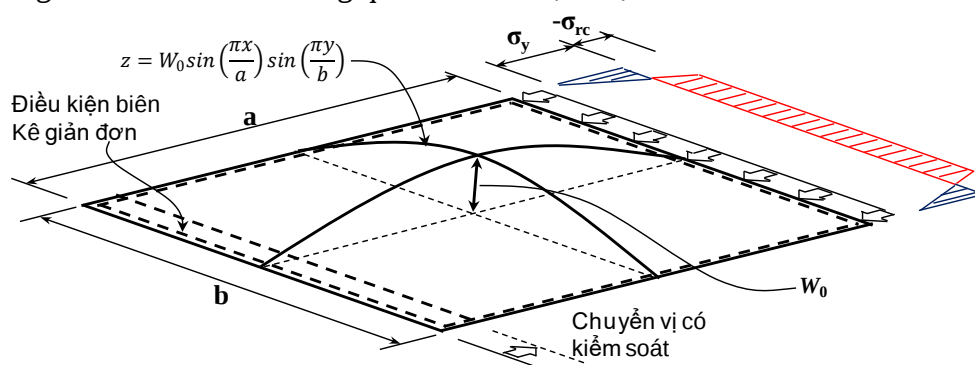
Nội dung chính của bài báo này là trình bày khảo sát thông số đặc tính xác suất thông kê SKN của tấm thép với mô hình số áp dụng giả thiết đàn dẻo mô tả ứng xử sau đàn hồi của vật liệu 1 cấp thép thường SM490Y, 2 cấp thép thép cường độ cao SBHS500, SBHS700 và phi tuyến hình học khi mất ổn định xảy ra với đầu vào là phân bố xác suất của ứng suất dư do hàn

và biến dạng ban đầu, từ đó sẽ đánh giá lại mức độ tin cậy của công thức quy trình thiết kế hiện hành.

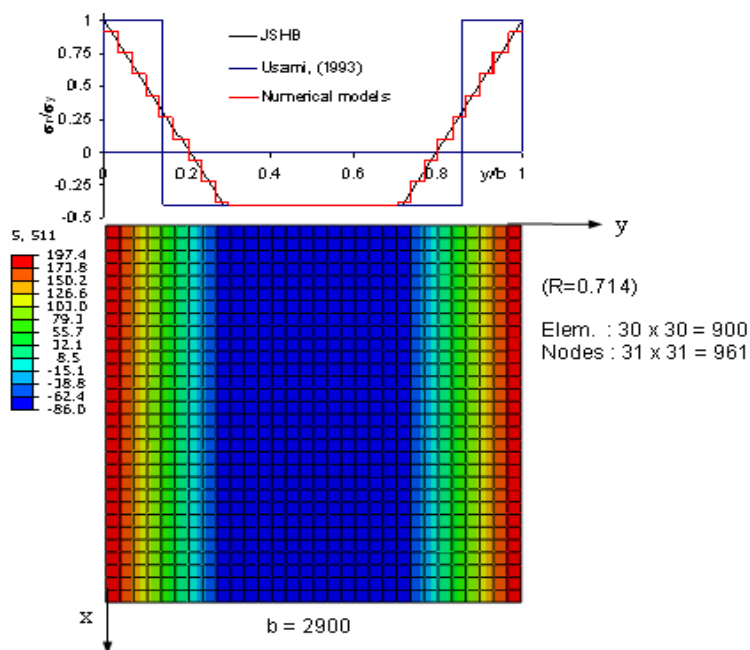
2. MÔ HÌNH XÁC ĐỊNH ĐẶC TÍNH XÁC SUẤT SKN CỦA TẤM THÉP

2.1. Mô hình phân tích SKN tấm thép

Để khảo sát SKN của tấm thép, nghiên cứu đề xuất một mô hình theo thuật toán phương pháp phần tử hữu hạn (PP PTHH) với tấm thép chữ nhật sẽ được rời rạc bởi các phần tử tám vỏ 4 nút, được phần mềm ABAQUS định danh là S4R [10]. Mô hình sẽ mô tả 2 yếu tố không hoàn hảo là biến dạng ban đầu và ứng suất dư do hàn. Biến dạng (độ phồng móp) ban đầu sẽ được lý tưởng hóa như một nửa mặt sin, được thể hiện ở hình 3. Ứng suất dư với phân bố lý tưởng hóa được thể hiện ở trong hình 3 với vùng và mức nén là yếu tố ảnh hưởng đến SKN của tấm thép. Do ABAQUS chỉ cho phép định nghĩa phân bố ứng suất dư do hàn không đối xứng trong phạm vi một phần tử tám nên sự mô tả xấp xỉ phân bố ứng suất dư được áp dụng và thể hiện trong hình 4. Mức biến dạng ban đầu W_0/b và mức phân bố ứng suất dư gây nén σ_{rc}/σ_y sẽ là 2 thông số đầu vào không hoàn hảo xét đến trong quá trình xác định đặc tính xác suất SKN của tấm thép.



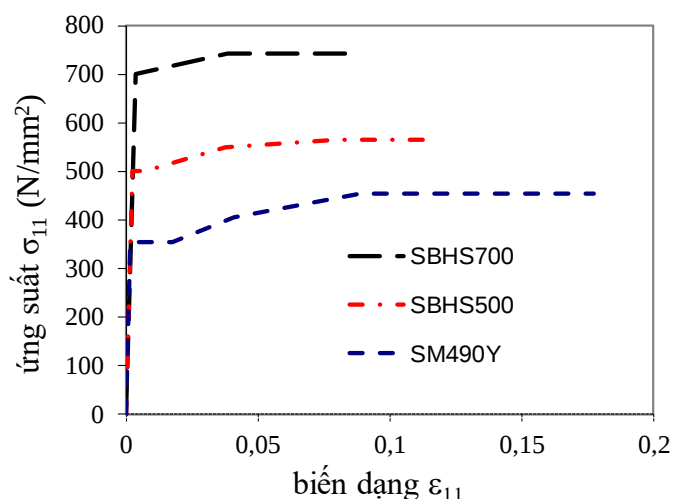
Hình 3. Mô hình kết cấu của tấm thép khảo sát.



Hình 4. Ứng suất dư được mô tả trong mô hình tấm thép.

Điều kiện biên kê giản đơn được áp dụng ở 4 cạnh của mô hình tấm thép. Để tạo ra trạng thái nén trong mô hình tấm thép, một cạnh của tấm vuông góc với hướng tác dụng của ứng suất dư do hàn sẽ được định nghĩa để chuyển vị số lượng lớn bước theo hướng tạo nén trong tấm. Mức chuyển vị trong mỗi bước được kiểm soát phải đủ nhỏ để đảm bảo yếu tố đàn hồi – tuyến tính trong mỗi bước. Giải pháp tạo lực nén bằng chuyển vị kiểm soát sẽ cho phép xác định các trạng thái ứng suất - biến dạng của mô hình tấm sau khi đã đạt được SKN tốt nhất.

Để mô tả vật liệu thép trong mô hình tấm thép, giả thiết biến dạng tái bền đàn dẻo đẳng hướng (isotropic elasto-plastic strain hardening) với mặt chảy dẻo theo định nghĩa của Von Mises sẽ được áp dụng. Quan hệ ứng suất - biến dạng được lý tưởng hóa của mỗi cấp thép áp dụng cho mô hình phân tích sẽ được định nghĩa dựa vào dữ liệu kéo mẫu thí nghiệm của các chủng loại thép đó, hình 5 sẽ thể hiện quan hệ ứng suất - biến dạng dọc trục của 3 cấp thép SM490Y, SBHS500, và SBHS700 được khảo sát trong nghiên cứu này.



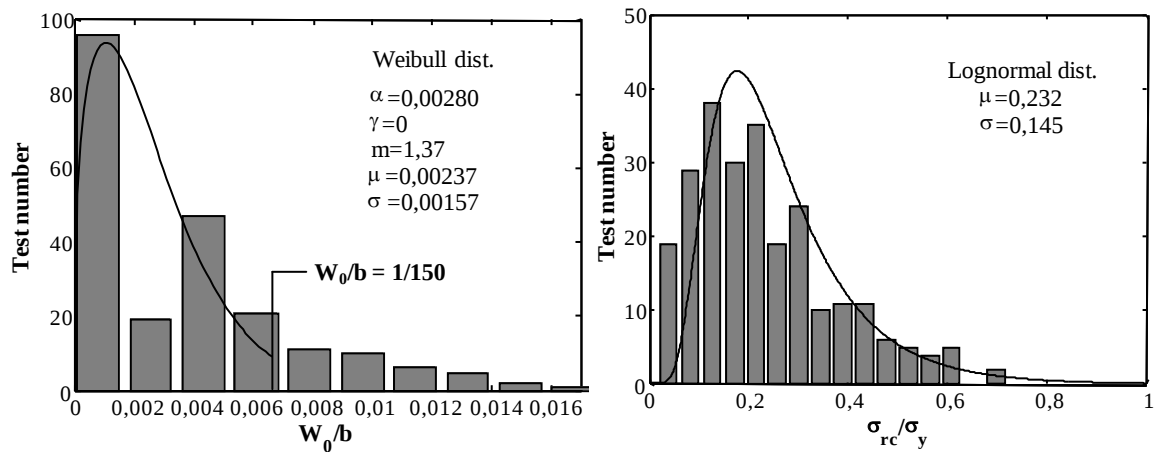
Hình 5. Quan hệ ứng suất biến dạng của 3 cấp thép được khảo sát trong nghiên cứu.

Mô hình phân tích tấm thép chịu nén theo thuật toán PP PTHH sẽ được rời rạc với kích cỡ 30 x 30 phần tử (hình 4). Với quy mô phần tử này, SKN của mô hình tấm đạt được qua phân tích sẽ đảm bảo sự hội tụ về kết quả, xác định SKN từ kết quả phân tích số và sự hội tụ SKN của mô hình phụ thuộc vào số lượng phần tử có thể tham khảo trong [11].

Nghiên cứu sẽ khảo sát các tấm thép với kích cỡ khác nhau với 10 giá trị tham số độ mảnh R nằm trong khoảng từ 0,4 đến 1,4; vùng giá trị R này đủ để bao phủ giá trị độ mảnh tấm thép áp dụng trong các nghiên cứu và kết cấu thực tiễn.

2.2. Phân phối xác suất của dữ liệu ứng suất dư và biến dạng ban đầu

Dữ liệu phân phối xác suất của giá trị ứng suất dư vùng nén và mức biến dạng ban đầu của tấm thép là 2 thông số đầu vào quan trọng để xác định các đặc tính xác suất SKN của tấm thép. Fukumoto và Itoh giới thiệu trong [3] một bộ dữ liệu lớn đo đạc về ứng suất dư vùng nén σ_{rc}/σ_y và biến dạng ban đầu W_0/b của tấm thép đơn và cột thép ngắn dạng hộp, hình 6 sẽ thể hiện biểu đồ tần suất của 2 thông số này. Như trình bày trong [3] biểu đồ tần suất của biến dạng ban đầu và ứng suất dư là khớp nhất theo thứ tự với dạng phân phối Weibull và dạng phân phối Loga Chuẩn. Đây là cơ sở để có thể phát sinh số lượng lớn cặp dữ liệu đầu vào trong tiến hành phân tích mô hình gần đúng xác định các thông số đặc tính xác suất SKN của tấm thép, và các giải pháp phân tích tính toán xác suất khác.



Hình 6. Biểu đồ tần suất biến dạng ban đầu và ứng suất dư trong bộ dữ liệu [3].

Tuy nhiên dữ liệu về biến dạng ban đầu báo cáo trong [3] có xét cả những trường hợp $W_0/b > 1/150$, như vậy sẽ vi phạm quy định trong quy trình thiết kế cầu của Nhật Bản [9]. Trong nghiên cứu này các thông số đặc tính xác suất về biến dạng ban đầu sẽ chỉ được xác định với những dữ liệu có $W_0/b \leq 1/150$. Trong vùng giới hạn như vậy giá trị biến dạng ban đầu trung bình, $M(W_0/b)$, có giá trị là $1/400$; độ lệch chuẩn, $SD(W_0/b)$, có mức $1/520$. Đối với dữ liệu đầu vào ứng suất dư giá trị trung bình và độ lệch chuẩn, $M(\sigma_{rc}/\sigma_y)$ và $SD(\sigma_{rc}/\sigma_y)$, được báo cáo trong bộ dữ liệu lần lượt ở mức 0,23 và 0,145.

2.3. Xác định các đặc tính xác suất SKN của tấm thép bằng phương pháp xấp xỉ

Haldarand and Mahadevan [6] dựa vào biến đổi chuỗi Taylor đã đề xuất với mức xấp xỉ bậc nhất giá trị trung bình $E(\bar{\sigma}_u)$, phương sai $Var(\bar{\sigma}_u)$ và độ lệch chuẩn $\bar{\sigma}_{u,i}^{\pm}$ sức SKN của tấm thép dựa trên các đặc tính xác suất của thông số đầu vào x_i với công thức được trình bày như sau:

$$E(\bar{\sigma}_u) \approx \bar{\sigma}_u(\mu_{x_1}, \mu_{x_2}) \quad (2)$$

$$Var(\bar{\sigma}_u) \approx \sum_{i=1}^2 \left(\frac{\partial \bar{\sigma}_u}{\partial x_i} \right)^2 Var(x_i) \approx \sum_{i=1}^2 \left(\frac{\bar{\sigma}_{u,i}^+ - \bar{\sigma}_{u,i}^-}{2} \right)^2 \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{u,1}^{\pm} &\equiv \bar{\sigma}_u(\mu_{x_1} \pm \sigma_{x_1}, \mu_{x_2}) \\ \bar{\sigma}_{u,2}^{\pm} &\equiv \bar{\sigma}_u(\mu_{x_1}, \mu_{x_2} \pm \sigma_{x_2}) \end{aligned} \quad (4)$$

Trong đó:

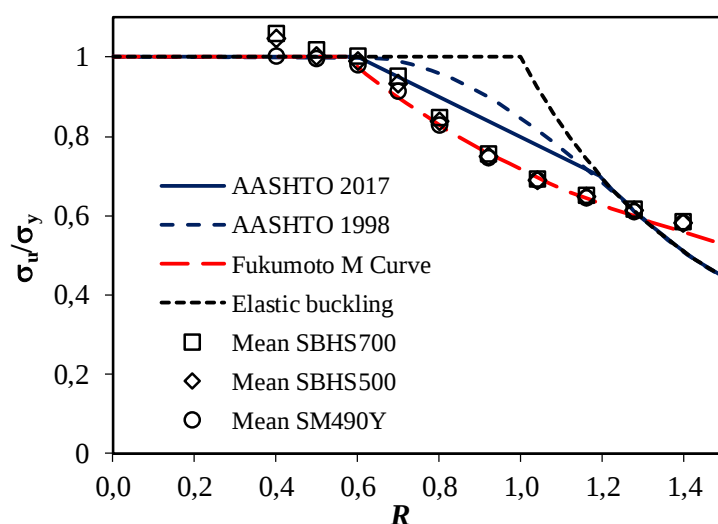
$\bar{\sigma}_u$ là giá trị đối chiếu SKN của tấm thép với giá trị chảy dẻo σ_u/σ_y .

μ_{x_1}, μ_{x_2} : là giá trị trung bình của biến đầu vào x_1 và x_2 trong trường hợp này lần lượt chính là W_0/b và σ_{rc}/σ_y .

Đánh giá các phương trình (2), (3), và (4) có thể thấy các giá trị đặc tính xác suất về SKN của tấm thép như giá trị trung bình, phương sai và độ lệch chuẩn có thể xác định trực tiếp từ các phân tích kết cấu tấm thép theo thuật toán PP PTHH như đã trình bày với các mức thông số đầu vào đã được tính toán gần đúng cụ thể.

3. PHÂN TÍCH MÔ HÌNH & ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

Kết quả SKN trung bình của tấm thép trong phạm vi $0,4 \leq R \leq 1,4$ ứng với 2 cấp thép SBHS500 và SBHS700 và 1 cấp thép thông thường SM490Y được xác định từ phân tích mô hình tấm thép theo thuật toán PP PTHH kết hợp với phương pháp xấp xỉ [6] được thể hiện trong hình 7 cùng với đường cong mất ổn định đàn hồi [12], đường cong thiết kế đề xuất trong quy trình AASHTO 1998, AASHTO 2017, và đường cong xác định từ mức trung bình các giá trị trong bộ dữ liệu [3] (Fukumoto M curve).

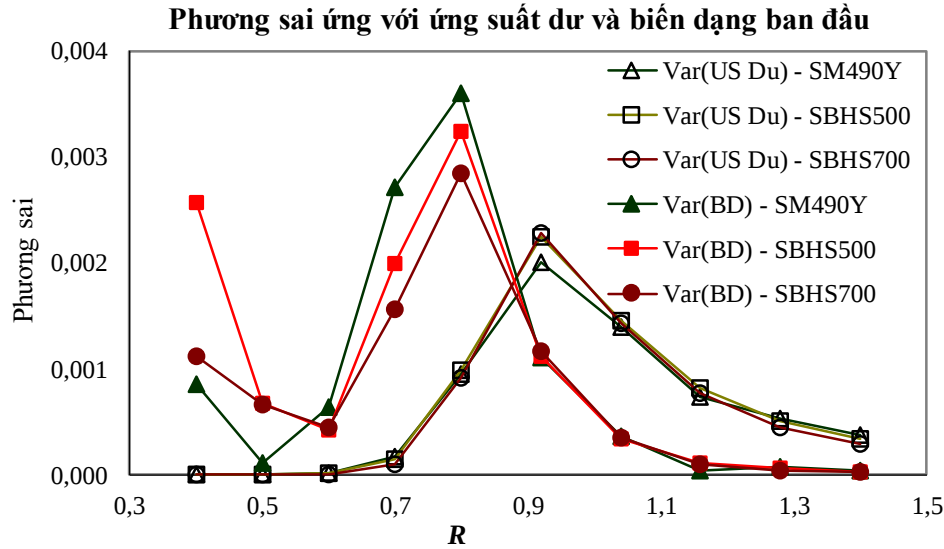


Hình 7. Kết quả SKN trung bình của tấm thép.

Giá trị SKN trung bình của tấm thép thu được từ phân tích trong nghiên cứu ứng với 3 cấp thép khảo sát bám rất sát với đường cong trung bình đề xuất bởi Fukumoto vốn thu được từ dữ liệu thí nghiệm [3], thể hiện độ tin cậy của mô hình kết cấu và giải pháp xấp xỉ. Ở vùng tham số độ mảnh $R < 0,9$, với cấp thép cao hơn thì SKN cao hơn tuy nhiên SKN trung bình của 3 cấp thép khảo sát gần như không có mức khác biệt. Sự chênh lệch đáng kể hơn quan sát được với $R = 0,4$ cho thấy ảnh hưởng của đặc tính sau đàn hồi cấp thép thường và thép cường độ cao đến SKN trong vùng tham số độ mảnh này. Với R trong khoảng từ 0,75 đến 1,22, SKN trung bình của tấm thép với cả 3 cấp thép khảo sát đều nhỏ hơn đáng kể SKN danh định của quy trình thiết kế Việt Nam hiện hành [4] và quy trình thiết kế phiên bản trước đó [5]. Hiện tượng này cho thấy công thức thiết kế SKN của tấm thép trong quy trình hiện hành là chưa đảm bảo an toàn trong phạm vi hệ số độ mảnh đề cập.

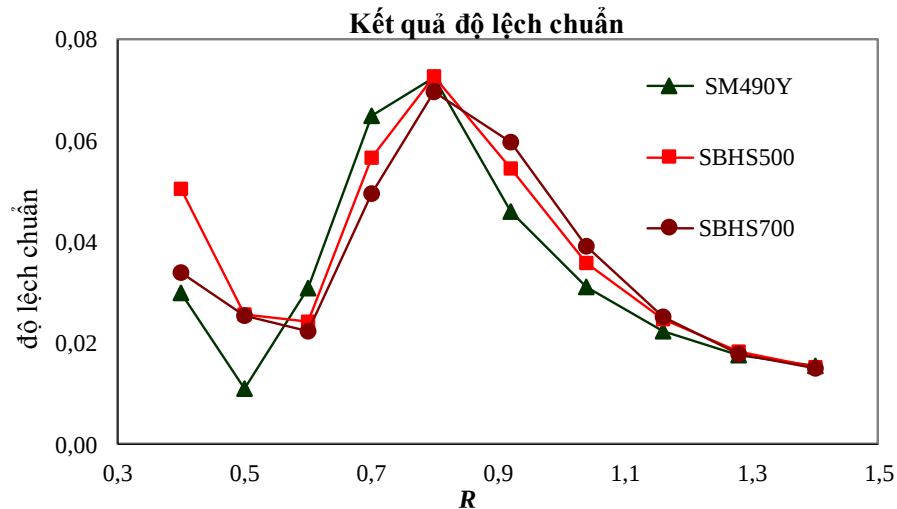
Kết quả về phương sai ứng với 2 yếu tố đầu vào (ảnh hưởng) là biến dạng ban đầu (BD) và ứng suất dư (US Du) với 3 cấp thép khảo sát được thể hiện trong hình 8. Ý nghĩa vật lý của kết quả phương sai này là thể hiện độ nhạy thay đổi SKN của tấm thép do ảnh hưởng của ứng suất dư và biến dạng ban đầu. Kết quả thu được cho thấy ứng suất dư gây ra sự thay đổi lên SKN của tấm thép với $R > 0,75$, đáng kể nhất trong khoảng $0,8 < R < 1,16$, và gần như không có ảnh hưởng với $R < 0,65$. SKN của tấm thép ứng với cấp thép SBHS có độ nhạy với ứng suất dư lớn hơn không đáng kể so với độ nhạy của cấp thép thường SM490Y trong khoảng $0,8 < R <$

1,04; trong dải tham số độ mảnh R còn lại độ nhạy ảnh hưởng của của yếu tố đầu vào ứng suất dư đến SKN của tấm thép ứng với 3 cấp thép khảo sát gần như là tương đương.



Hình 8. Kết quả phương sai SKN của tấm thép.

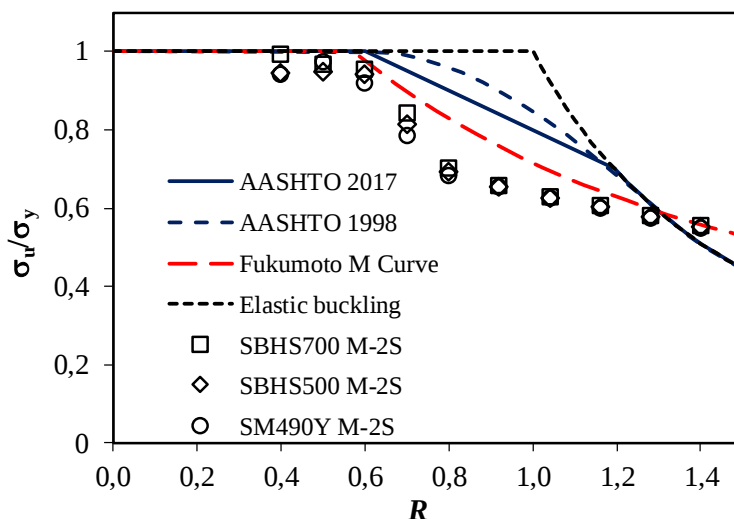
Biến dạng ban đầu ảnh hưởng đến SKN của tấm thép trong khoảng $R < 1,10$, gần như không có ảnh hưởng trong khoảng $R \geq 1,16$; và có ảnh hưởng đáng kể ở vùng $R < 1,04$. Với $R \geq 0,92$ biến dạng ban đầu ảnh hưởng đến độ nhạy thay đổi SKN của tấm thép ứng với 3 cấp thép khảo sát là gần như tương đương nhau. Trong khoảng $0,6 < R < 0,85$ độ nhạy thay đổi SKN do ảnh hưởng của biến dạng ban đầu của tấm thép với 3 cấp thép nghiên cứu sẽ có thứ tự $SBHS700 < SBHS500 < SM490Y$; và trong khoảng $R < 0,5$ sẽ có thứ tự $SM490Y < SBHS700 < SBHS500$. Có thể nhận định xu hướng kết quả trong khoảng $0,6 < R < 0,85$ bị ảnh hưởng bởi bởi tỉ lệ f_u/σ_y , trong đó f_u là ứng suất tới hạn của cấp thép sau tái bền, thể hiện ở hình 5. Với $R < 0,5$ độ nhạy thay đổi SKN là yếu tố kết hợp cả thông số tái bền và mức chảy dẻo của cấp thép.



Hình 9. Kết quả độ lệch chuẩn SKN của tấm thép.

Kết quả độ lệch chuẩn SKN thể hiện ở hình 9 cho thấy dữ liệu đạt giá trị lớn nhất trong khoảng $0,7 < R < 0,92$. Trong khoảng này với $R < 0,8$ $S(SM490Y) > S(SBHS500) > S(SBH700)$

và với $R > 0,8$ kết quả có xu hướng ngược lại $S(\text{SBH700}) > S(\text{SBH500}) > S(\text{SM490Y})$, S là ký hiệu cho độ lệch chuẩn (Standard deviation). Trong khoảng $0,8 < R < 0,9$ kết quả phương sai đều đạt được độ lớn đáng kể với cả 2 yếu tố đầu vào biến dạng ban đầu và ứng suất dư, tuy nhiên xét đến xu hướng kết quả về độ lệch chuẩn S như đã trình bày cho thấy ảnh hưởng của phương sai ứng với yếu tố biến dạng ban đầu đến độ lệch chuẩn là đáng kể hơn so với ứng với yếu tố ứng suất dư.



Hình 10. Kết quả M-2S SKN của tấm thép.

Theo đề xuất và khuyến cáo của nhiều nhà nghiên cứu và chuyên gia, giá trị M-2S là mức khá tương đồng với các giá trị thiết kế kết cấu thực tế, trong nghiên cứu này giá trị M-2S SKN bản thép ứng với 3 cấp thép nghiên cứu sẽ được khảo sát với đường cong thiết kế quy trình hiện hành [4], và quy trình phiên bản trước đó [5], thể hiện trong hình 10. Kết quả cho thấy SKN tấm thép với 3 cấp thép khảo sát thấp hơn so với mức thiết kế quy định bởi quy trình hiện hành trong khoảng $R < 1,28$ và thấp hơn đáng kể trong khoảng $0,65 < R < 1,16$. Với mức M-2S, SKN $\bar{\sigma}_u(\text{SBHS700}) > \bar{\sigma}_u(\text{SBHS500}) > \bar{\sigma}_u(\text{SM490Y})$ trong khoảng $R < 0,8$, hiện tượng này thể hiện ưu điểm về cường độ vật liệu của 2 cấp thép mới so với cấp thép thông thường trong khoảng áp dụng phổ biến của kết cấu cầu dầm hộp thép.

4. KẾT LUẬN

Xét với mức độ trung bình M và mức độ trung bình trừ 2 lần độ lệch chuẩn (M-2S) SKN của tấm thép, kết quả thu được trong nghiên cứu khảo sát với 3 cấp thép SBHS700, SBHS500 và SM490Y cho thấy đường cong thiết kế của quy trình hiện hành không đủ an toàn trong khoảng $R < 1,28$; đặc biệt trong khoảng $0,65 < R < 1,16$.

Kết quả khảo sát SKN dạng đối chiếu $\bar{\sigma}_u$ của tấm thép ở mức M và M-2S cho thấy cường độ làm việc của 2 cấp thép mới SBHS tốt hơn so với cấp thép thông thường SM490Y trong khoảng độ mảnh phổ dụng của kết cấu cầu dầm hộp thép.

SKN của tấm thép với cấp thép SBHS có độ nhạy thay đổi với ứng suất dư lớn hơn so với cấp thép thông thường. Ngược lại SKN của tấm thép với cấp thép thông thường SM490Y thay đổi nhạy hơn với biến dạng ban đầu so với 2 cấp thép SBHS.

Nên tiến hành thêm các nghiên cứu để đề xuất hệ số sức kháng ϕ_f và hàm số giá trị danh định cho SKN bản chịu nén dầm hộp thép, mục 5.4.2 phần 6 [4], đảm bảo cho yếu tố an toàn trong khai thác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Japanese Industrial Standard, JIS G 3140, Higher yield strength steel plates for bridges, 2008.
- [2]. J. B. Dwight, K. E. Moxham, Welded steel plates in compression, Structural Engineer, 1969.
- [3]. Y. Fukumoto, Y. Itoh, Basic compressive strength of steel plates from test data, PROC. OF JSCE No.334/I-1, 1984.
- [4]. TCVN 11823: 2017, Thiết kế cầu đường bộ, 2017.
- [5]. 22 TCN 272-05, Tiêu chuẩn thiết kế cầu, Bộ GTVT, 2005.
- [6]. A. Haldar, S. Mahadevan, Probability, Reliability, and Statistical Methods in Engineering Design, First edition, 1999.
- [7]. AASHTO.(1998)., American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), LRFD bridge design specifications, 2nd Ed., Washington, D.C., 1998.
- [8]. AASHTO. (2017), AASHTO LRFD bridge design specifications, 8th Ed., Washington, DC., 2017.
- [9]. JSHB, Japan Road Association, Specifications for Highway Bridges – part II, Steel Bridges, 2002.
- [10]. ABAQUS. User's Manual, Version 6.8, Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc., Pawtucket, Rhode Island, USA, 2008.
- [11]. Đặng Việt Đức, Khảo sát sức kháng mất ổn định cục bộ của tấm thép có xét đến cấp thép tính năng cao SBHS500 và SBHS700, Tạp chí Khoa Học Giao Thông vận tải, 76 (2025) 139-148. <https://doi.org/10.47869/tcsj.76.2.2>
- [12]. S. Timoshenko, J. M. Gere, Theory of Elastic Stability, 2nd ED., McGraw-Hill, New York, 1961.