

Khảo sát, phân tích sức kháng uốn thiết kế dầm thép - bê tông liên hợp xét tới cấp thép tính năng cao cho kết cấu cầu

Đặng Việt Đức^{1*}, Yoshiaki Okui²

¹Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy lợi

²Trường Đại học Saitama (Nhật Bản)

Ngày nhận bài 8.6.2015, ngày chuyển phản biện 25.7.2015, ngày nhận phản biện 22.9.2015, ngày chấp nhận đăng 14.10.2015

Số lượng lớn các dầm thép - bê tông liên hợp được xác định sức kháng uốn thông qua phân tích một số mô hình số phi tuyến đàn dẻo theo phương pháp phần tử hữu hạn (PPPTH). Những phân tích và đánh giá hướng vào sự phân loại mặt cắt dầm dựa trên độ mảnh giới hạn bản bụng của dầm liên hợp theo trường hợp dầm thép đồng nhất và dầm thép lai so với phương trình độ mảnh giới hạn được quy định trong các quy trình thiết kế hiện nay. Bên cạnh đó, ảnh hưởng của mô men ban đầu sinh ra do áp dụng biện pháp thi công không chống đỡ đến độ mảnh bản bụng giới hạn cũng được xem xét. Kết quả khảo sát cho thấy, phương trình giới hạn cho mặt cắt không đặc của dầm liên hợp sử dụng trong các quy trình hiện hành như Eurocode, AASHTO và Tiêu chuẩn Việt Nam là quá thiên về an toàn. Có rất nhiều mặt cắt dầm, theo các quy trình hiện hành, được phân loại là dầm mảnh nhưng có đủ sức kháng uốn như dầm không đặc.

Từ khóa: dầm lai, độ mảnh giới hạn bản bụng, hệ số lai, mô hình đàn dẻo, phân loại mặt cắt, thép tính năng cao cho kết cấu cầu.

Chỉ số phân loại 2.1

Investigation of Design Flexural Capacity of Steel - Concrete Composite Girders Accounting for Bridge High-Performance Steel

Summary

In this study, the positive bending moment capacity of steel - concrete composite girders was examined through parametric studies employing elasto-plastic finite element analyses. The web slenderness limits based on section classification for homogeneous and hybrid girders with bridge high-performance steel were explored. Besides, the effects of initial bending moment due to unshored construction method on the web slenderness limit were also investigated. It was shown that the noncompact web slenderness limits in conventional design standards were conservative for composite sections. Many sections which are classified as slender girders by current specifications demonstrate sufficient flexural capacity as noncompact.

Keywords: bridge high-performance steel, elasto-plastic analysis, hybrid girder, hybrid factor, section classification, web slenderness limit.

Classification number 2.1

Đặt vấn đề

Từ năm 2008, loại thép SBHS500 và SBHS700 đã được tiêu chuẩn hóa trong *Japanese Industrial Standard* [1]. Loại thép này có một số ưu điểm như cường độ chảy dẻo lớn với giá trị thiết kế tương ứng là 500 và 700 (MPa), có tính hàn tốt, không cần gia nhiệt khi hàn với loại thép SBHS500. Tuy nhiên, đặc tính sau đàn hồi của loại thép này có một số điểm khác biệt so với các loại thép thông thường, đó là: hầu như không có dải biến dạng dẻo sau đàn hồi, hoặc nếu có thì rất nhỏ, tổng biến dạng dẻo và tỷ số giá trị chảy dẻo/cường độ chịu kéo lớn hơn so với các loại thép thông thường. Cho đến nay, mới chỉ một số ít công trình sử dụng loại thép mới này như cầu Nagata và cầu Tokyo Gate [2, 3]. Bên cạnh đó, mới có một vài nghiên cứu [4, 5] được thực hiện để khảo sát khả năng ứng dụng của loại thép SBHS500 trong kết cấu dầm liên hợp chịu uốn. Như vậy, cần thiết phải tiến hành thêm các nghiên cứu hỗ trợ công tác thiết kế dầm liên hợp áp dụng loại thép mới này.

Ứng dụng của loại thép SBHS500 và dầm liên hợp với dầm thép lai (composite hybrid girders) được hy vọng mang lại các hiệu quả kinh tế và kỹ thuật. Quy trình AASHTO và

*Tác giả chính: Email: dangviet.duc@gmail.com

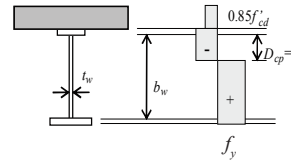
tiêu chuẩn thiết kế cầu đường bộ Việt Nam được xây dựng dựa trên AASHTO [6, 7] hiện tại đang sử dụng hệ số lai (hybrid factor) R_h để tính toán giá trị mô men chảy dẻo (yield moment) M_y của mặt cắt đầm liên hợp lai. Hệ số lai này được đề xuất trong [8, 9]. Tuy nhiên, hệ số này là kết quả của phép biến đổi với giả thiết phân bố biến dạng - ứng suất chỉ trong đầm thép và không xét đến ảnh hưởng của mô men uốn ban đầu (là mô men gây ra bởi tải trọng bê tông tươi trong quá trình thi công và không sử dụng hệ thống chống đỡ phụ trợ). Như vậy, để có thể khảo sát sức kháng uốn của đầm liên hợp sử dụng loại thép SBHS500 cần thiết phải đề xuất lại hệ số lai R_h .

Sau đây là nội dung khảo sát phương trình độ mảnh giới hạn bản bụng (web slenderness limit) của đầm thép - bê tông liên hợp áp dụng cấp thép mới SBHS500. Sức kháng uốn của đầm liên hợp có quan hệ mật thiết với sự phân loại của mặt cắt đầm và sức kháng nén cục bộ của các thành phần trong đầm thép. Đối với đầm liên hợp dạng nhịp giản đơn, phần bản cánh trên chịu nén đã bị kiểm chế bởi phần bản bê tông, chỉ còn một phần của sườn đầm phải chịu nén. Vậy trong trường hợp này, sự phân loại mặt cắt ảnh hưởng chủ yếu bởi độ mảnh của bản bụng đầm.

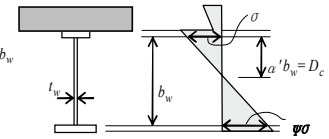
Bảng 1 tóm tắt tiêu chuẩn phân loại cho mặt cắt đầm liên hợp theo AASHTO và Eurocode dựa trên độ mảnh của bản bụng, trong đó M_u là sức kháng tới hạn của đầm liên hợp; M_p và M_y theo thứ tự là giá trị mô men dẻo (plastic moment) và mô men chảy (yield moment). Các ký tự trong bảng 1 được định nghĩa trong hình 1.

Bảng 1: Độ mảnh giới hạn bản bụng quy định bởi Eurocode và AASHTO [7, 10]

Loại mặt cắt		Sức kháng uốn	Độ mảnh bản bụng giới hạn	
AASHTO (TCVN)	Eurocode		AASHTO (TCVN)	Eurocode
Đặc (compact)	Cấp 1	$M_u \geq M_p$	$\frac{2D_w}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E_s}{f_y}}$	$b_w/t_w \leq \begin{cases} \frac{36\varepsilon}{\alpha} & \alpha \leq 0,5 \\ \frac{396\varepsilon}{13\alpha-1} & \alpha > 0,5 \end{cases}$
	Cấp 2			$b_w/t_w \leq \begin{cases} \frac{41,5\varepsilon}{\alpha} & \alpha \leq 0,5 \\ \frac{456\varepsilon}{13\alpha-1} & \alpha > 0,5 \end{cases}$
Không đặc (noncompact)	Cấp 3	$M_p \geq M_u \geq M_y$	$\frac{2D_w}{t_w} < 5,7 \sqrt{\frac{E_s}{f_y}}$	$b_w/t_w \leq \begin{cases} \frac{42\varepsilon}{0,67+0,33\psi} & \psi \geq -1,0 \\ 62\varepsilon(1-\psi)\sqrt{-\psi} & \psi \leq -1,0 \end{cases}$
Mảnh (slender)	Cấp 4	$M_y \geq M_u$	Còn lại	Còn lại



Hình 1a: phân bố ứng suất trong trạng thái dẻo hoàn toàn của mặt cắt đặc



Hình 1b: phân bố ứng suất của mặt cắt không đặc và mặt cắt mảnh ứng với loại đầm mặt cắt đồng nhất

Đối với đầm liên hợp thi công bằng biện pháp không chống đỡ, là biện pháp rất phổ biến hiện nay, trước tiên đầm thép sẽ chịu toàn bộ tĩnh tải bản thân và tải trọng rải đều do bê tông tươi gây ra. Sau khi bê tông đông cứng, hiệu ứng liên hợp sẽ có tác dụng với các thành phần tĩnh tải giai đoạn 2 và hoạt tải. Do vậy, thành phần mô men uốn ban đầu M_i gây ra trong quá trình thi công phải được xét đến. Tuy nhiên, phương trình thiết kế quy định bởi AASHTO và Eurocode đã không xét đến ảnh hưởng của thành phần mô men uốn ban đầu này.

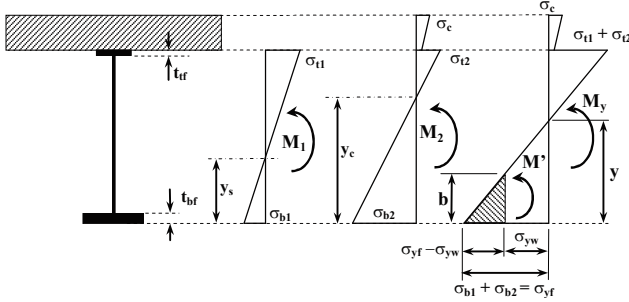
Gupta và đồng nghiệp [11] đã đề cập ảnh hưởng của mô men uốn ban đầu đến độ mảnh giới hạn bản bụng trong phân loại mặt cắt đầm liên hợp. Theo các tác giả, mô men ban đầu có ảnh hưởng đáng kể đến độ mảnh giới hạn phân loại mặt cắt không đặc. Tuy nhiên, nghiên cứu của Gupta chỉ khảo sát đầm liên hợp áp dụng loại thép thông thường SM490Y.

Xem xét lại các nghiên cứu đã thực hiện và mục đích chuyển từ phương pháp thiết kế ứng suất cho phép, như đang được áp dụng trong quy trình thiết kế cầu đường bộ Nhật Bản [12] sang phương pháp thiết kế trạng thái giới hạn, nghiên cứu này sẽ hướng đến các mục tiêu chính sau: đề xuất hệ số lai có xét đến ảnh hưởng của mô men ban đầu; đánh giá sự phân loại mặt cắt đầm liên hợp có áp dụng cấp thép mới SBHS500 trong đầm liên hợp mặt cắt thép đồng nhất và mặt cắt thép lai.

Nội dung và phương pháp nghiên cứu

Đề xuất hệ số lai

Bài viết sẽ trình bày sự hình thành hệ số lai điều chỉnh có xét đến ảnh hưởng của mô men uốn ban đầu. Trong giai đoạn thi công với giải pháp không chống đỡ, tổng mô men phát sinh trong đầm là do tải trọng bản thân đầm thép và tải trọng bê tông tươi cùng các thiết bị thi công có giá trị M_j , tổng mô men do tĩnh tải phần 2 và các hoạt tải có giá trị M_2 . Sự phân bố ứng suất trong mặt cắt liên hợp qua các giai đoạn thi công được diễn tả trong hình 2. Trong nghiên cứu này, hệ số lai được đề xuất với trường hợp đầm chịu mô men uốn dương như sơ đồ đầm tĩnh định và với giả thiết chảy dẻo xuất hiện trước tiên ở thớ dưới mặt cắt đầm.



Hình 2: giả thiết phân bố ứng suất trong dầm liên hợp lại xét đến ảnh hưởng của mô men ban đầu \$M_1\$

Giá trị mô men chảy của mặt cắt dầm liên hợp lại \$M_{yf}\$ được dự tính bằng cách lấy giá trị mô men chảy của mặt cắt liên hợp đồng nhất tương ứng \$M_y\$ trừ đi thành phần mô men hao hụt do hiện tượng chảy dẻo sớm ở bản bụng \$M'\$, giả thiết này được thể hiện ở phương trình:

$$M_{yf} = M_y - M' = M_1 + M_2 - M' \quad (1)$$

Trong đó \$M_y = M_1 + M_2\$ là giá trị chảy dẻo của mặt cắt liên hợp đồng nhất tương ứng. Hệ số lại được định nghĩa bằng tỷ số \$M_{yf}/M_y\$ và được diễn giải theo công thức:

$$R_h = \frac{M_{yf}}{M_y} = \frac{M_1 + M_2 - M'}{M_y} \quad (2)$$

Biến đổi phương trình (2) ta thu được công thức tính hệ số lại \$R_h\$ có xét đến ảnh hưởng của mô men ban đầu như sau:

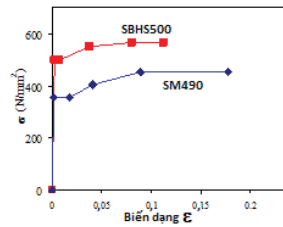
$$\alpha = \frac{f_{yw}}{f_{yf}} R_h = \frac{(2+\alpha)(1-\alpha)^2 \left\{ \frac{h}{1 + \left[\Phi + \left(1 - \frac{\Phi y_s}{h - y_s} \right) \left(\frac{h}{y_c} - 1 \right) \right]} \right\} t_w}{3S_{1,yf} \left(\frac{1}{S_{2,bf}} - \frac{1}{S_{1,bf}} \right) + 1} \quad (3)$$

Trong đó \$S_{1,yf}\$, \$S_{1,bf}\$ và \$S_{2,bf}\$ tuần tự là giá trị mô đun của mặt cắt (section modulus, hay còn gọi là mô men kháng uốn) của mặt cắt dầm thép xét với trục trên, trục dưới và mặt cắt liên hợp trục dưới; \$f_{yw}\$ và \$f_{yf}\$ thể hiện giá trị chảy dẻo của vật liệu thép áp dụng cho bản bụng và bản cánh của dầm thép mặt cắt lại; \$\Phi\$ là tỷ số giữa

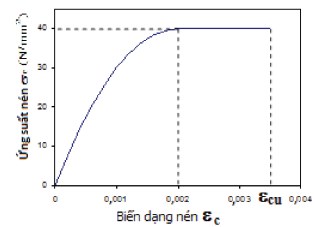
mô men uốn ban đầu \$M_1\$ và mô men chảy của mặt cắt dầm thép \$M_{ys}\$. Các ký hiệu còn lại trong công thức (3) được giải thích trong hình 2.

Mô hình phi tuyến đàn dẻo của dầm liên hợp

Mô hình vật liệu đàn dẻo của thép được thiết lập với sự kết hợp của phương trình Prandtl - Reuss và giả thiết tiêu chuẩn chảy dẻo của vật liệu theo mặt phẳng von Mises. Đường quan hệ ứng suất - biến dạng đơn trục áp dụng cho vật liệu thép SM490Y và SBHS500 được lý tưởng hóa dựa trên thí nghiệm kéo nén mẫu thực tế và thể hiện ở hình 3.

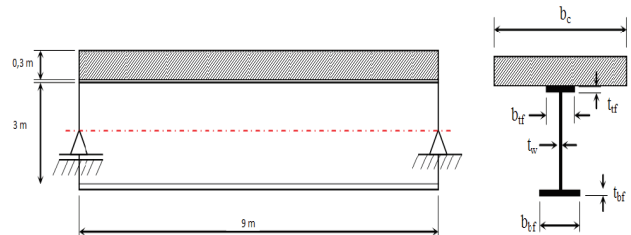


Hình 3: quan hệ ứng suất - biến dạng đơn hướng của vật liệu thép SBHS500 và SM490Y



Hình 4: quan hệ ứng suất - biến dạng đơn hướng của vật liệu bê tông 40 Mpa

Đối với mô hình vật liệu bê tông 40 Mpa trước khi bị ép vỡ, giả thiết đàn hồi tuyến tính - dẻo hoàn toàn sau đàn hồi, tiêu chuẩn chảy dẻo theo mặt Mohr - Coulomb được áp dụng. Đối với quan hệ ứng suất - biến dạng đơn hướng, phương trình đề xuất bởi Hiệp hội kỹ sư Nhật Bản JSCE [13] được áp dụng và thể hiện ở hình 4.

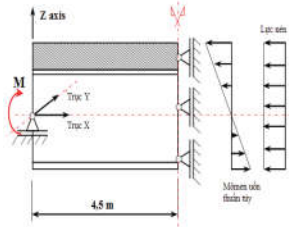


Hình 5: mô hình đơn giản hóa kết cấu của dầm liên hợp

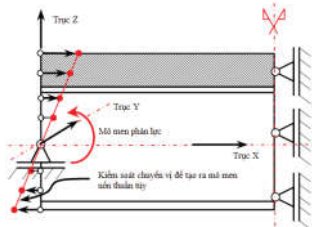
Mô hình kết cấu của dầm liên hợp được sơ họa như hình 5, trong đó chiều dài dầm, chiều cao bản bụng và chiều dày tấm bản bê tông được cố định với các giá trị lần lượt là 9; 3 và 0,3 m. Các giá trị này được đề xuất dựa trên kích thước thực của các công trình đã được thiết kế và khai thác hiện nay. Chiều dày và rộng bản cánh trên \$t_{uf}\$, \$b_{uf}\$; chiều dày và rộng bản cánh dưới \$t_{df}\$, \$b_{df}\$; chiều dày bản bụng \$t_w\$; chiều rộng của bản bê tông \$b_c\$ được xét với các giá trị thay đổi để có được các giá trị khác nhau của chiều cao chịu nén \$D_{cp}\$ và \$D_c\$ (được giải thích trong hình 5).

Để giảm bớt thời gian phân tích, chỉ một nửa mô hình số theo thuật toán PPPTHH sẽ được rời rạc hóa

theo nguyên tắc đối xứng. Điều kiện biên tương ứng sẽ được áp dụng cho mô hình như trình bày trong hình 6. Để tạo ra trong dầm một tải trọng mô men uốn thuần túy, phương pháp kiểm soát chuyển vị với góc uốn cưỡng bức được áp dụng như thể hiện trong hình 7. Đây là một phương pháp phổ biến áp dụng trong các mô hình số phân tích phi tuyến bao gồm cả hình học và vật liệu.



Hình 6: điều kiện biên cho mô hình kết cấu

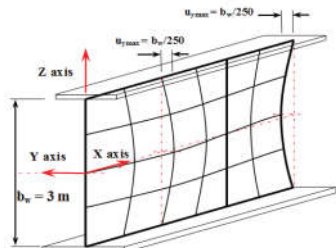


Hình 7: mô men uốn thuần túy được tạo ra trong dầm bằng phương pháp kiểm soát chuyển vị

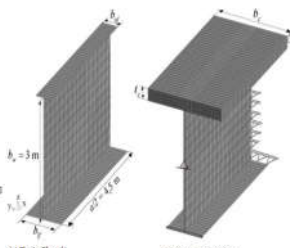
Mô hình số sẽ mô tả biến dạng (mức phẳng móp) ban đầu trong phần bản bụng của dầm liên hợp. Mức biến dạng ban đầu lớn nhất được lấy theo quy định trong quy trình thiết kế cầu thép đường bộ Nhật Bản hiện hành [12] với giá trị $b_w/250$, trong đó b_w là chiều cao của bản bụng. Mặt biến dạng ban đầu được lý tưởng hóa với phương trình mặt sin (4), các ký hiệu trong phương trình được giải thích trong hình 8.

$$u_y = \frac{b_w}{250} \sin\left(\frac{\pi}{b_w} z\right) \cos\left(\frac{\pi}{b_w} x\right) \quad (4)$$

Bản bụng và bản cánh của dầm thép được rời rạc hóa bằng các phần tử vỏ Q20SH định nghĩa bởi phần mềm phân tích kết cấu DIANA với 5 bậc tự do (3 chuyển vị thẳng và 2 chuyển vị xoay) được xét đến tại mỗi nút của phần tử. Kết quả phân tích của mô hình có thể dự báo chính xác hiện tượng mất ổn định cục bộ và lan tỏa vùng chảy dẻo trong kết cấu dạng thép tấm.



Hình 8: mặt phẳng móp ban đầu mô tả cho bản bụng dầm liên hợp



Hình 9: phân tích chia pha được áp dụng để ảnh hưởng của mô men uốn ban đầu M_1

Phần bản bê tông sẽ được mô hình hóa bởi các phần tử khối HX24L, trong thư viện phần tử của phần mềm DIANA. 3 bậc tự do chuyển vị thẳng sẽ được xét đến tại mỗi nút trong phần tử. Như đã trình bày ở phần giới

thiệu, nghiên cứu này chỉ xét đến dầm nhịp giản đơn nên phần bê tông chỉ làm việc chịu nén. Biến dạng nén của bản bê tông sẽ chỉ được quan tâm trong phạm vi $\varepsilon_c < 0,0035$, do vậy mô hình kết cấu bê tông cốt thép sẽ không nhất thiết phải xem xét tới ở đây.

Mô tả kết cấu qua 2 giai đoạn thi công: khi bê tông đổ còn ướt, chỉ dầm thép làm việc và bê tông đã đông cứng, dầm liên hợp bắt đầu làm việc, mô hình áp dụng phương thức pha phân tích (được định nghĩa bởi phần mềm DIANA, thể hiện trong hình 9). Ở pha đầu, chỉ phần mô hình rời rạc của dầm thép được phân tích, chuyển vị kiểm soát cưỡng bức tăng dần cho đến giá trị tương ứng với giá trị mô men ban đầu M_1 , và chuyển sang pha phân tích thứ 2. Bắt đầu pha phân tích thứ 2, các phần tử khối “bê tông” sẽ được kích hoạt và chuyển vị cưỡng bức tiếp tục được tăng lên cho đến khi thu được giá trị sức kháng uốn cực đại.

Kết quả và thảo luận

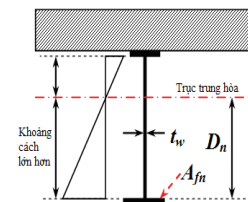
Kiểm chứng hệ số lai

Hệ số lai đề xuất được so sánh với giá trị thu được từ mô hình phân tích theo PPPTH. Giá trị M_{yf} và M_y xác định từ phân tích mô hình số khi biến dạng thứ trên cùng hoặc thứ dưới cùng của mô hình dầm thép đạt đến giá trị chảy dẻo trong quá trình tăng dần giá trị chuyển vị cưỡng bức ở gối đầu mô hình dầm.

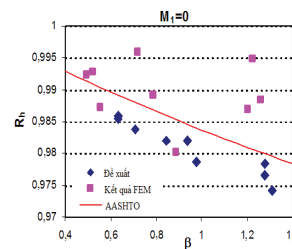
Sự so sánh các hệ số lai được biểu diễn trong hệ trục tọa độ với giá trị β tương ứng, hình 10 giải thích ý nghĩa các tham số trong công thức thể hiện giá trị β . Nghiên cứu đã khảo sát mặt cắt các kết cấu nhịp cầu liên hợp đã thiết kế và xây dựng ở Pháp được trình bày trong tài liệu Sétra [14].

$$R_h = \frac{M_{yf}}{M_y} = \frac{12 + \beta(3\alpha - \alpha^3)}{(12 + 2\beta)} \quad [6]$$

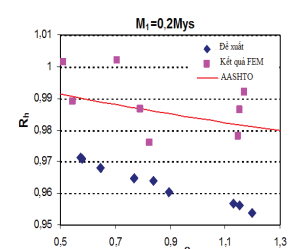
$$\alpha = \frac{f_{yw}}{f_{yf}}; \quad \beta = \frac{2D_n t_w}{A_{fn}}$$



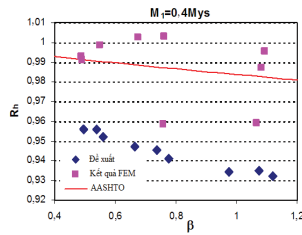
Hình 10: giải thích giá trị β



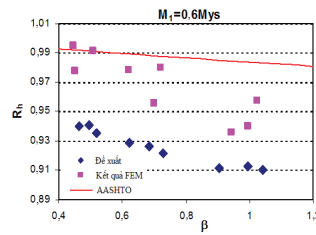
Hình 11: so sánh giá trị R_h trong trường hợp không xét đến ảnh hưởng của mô men ban đầu M_1



Hình 12: so sánh giá trị R_h với $M_1 = 0,2 M_{ys}$



Hình 13: so sánh giá trị R_h với $M_l = 0,4 M_{ys}$



Hình 14: so sánh giá trị R_h với $M_l = 0,6 M_{ys}$

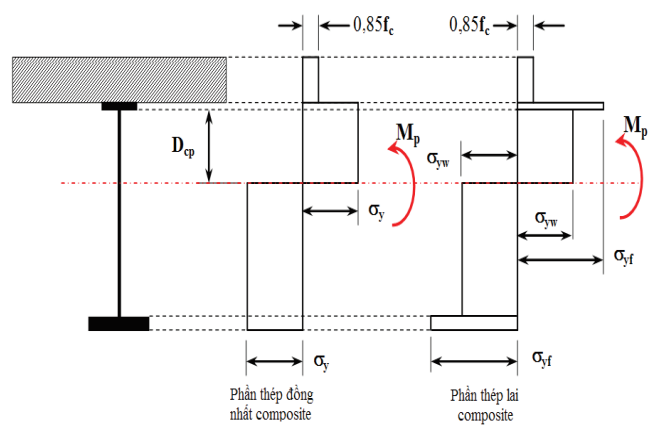
Trong trường hợp không xét đến mô men ban đầu như trình bày ở hình 11, phần lớn các giá trị hệ số lai đề xuất đều nhỏ hơn so với giá trị thu được từ kết quả phân tích mô hình số và nhỏ hơn hệ số được quy định trong quy trình AASHTO.

Các hình 12-14 thể hiện sự so sánh có xét đến ảnh hưởng của mô men uốn ban đầu với các mức lần lượt là $M_I = 0,2; 0,4$ và $0,6 M_{j3}$. Trong tất cả các trường hợp, giá trị hệ số lai đề xuất đều nhỏ hơn so với giá trị thu được từ phân tích mô hình số và giá trị quy định bởi AASHTO. Mức độ sai khác của giá trị đề xuất và giá trị quy định trong AASHTO vào khoảng 2, 3 và 5% ứng với mức độ mô men uốn ban đầu lần lượt là $M_I = 0,2; 0,4$ và $0,6 M_{j3}$. Với mức mô men uốn ban đầu lớn, tất cả các giá trị hệ số lai thu được từ phân tích mô hình số đều nhỏ hơn giá trị quy định bởi AASHTO. Hiện tượng này chỉ ra rằng, hệ số lai sử dụng trong quy trình AASHTO là không đủ an toàn với mức mô men uốn ban đầu lớn ($M_I \geq 0,6 M_{j3}$).

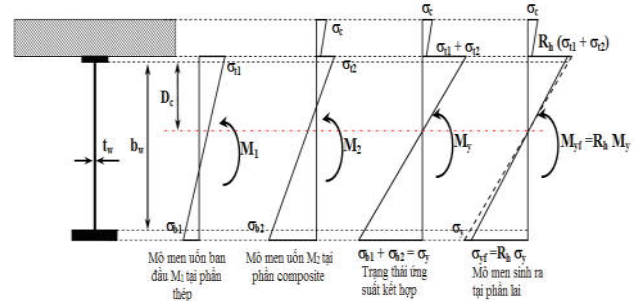
Độ mảnh giới hạn bản bụng của dầm liên hợp

Phân loại mặt cắt dựa vào kết quả phân tích mô hình số: giá trị mô men uốn cực hạn (sức kháng uốn) M_u của dầm liên hợp được xác định dựa trên kết quả phân tích phi tuyến mô hình số theo PPHHH. Sức kháng M_u sẽ được so sánh với giá trị mô men dẻo M_p và mô men chảy M_y . Nếu $M_u \geq M_p$ dầm sẽ được phân loại có mặt cắt đặc. Trường hợp $M_p < M_u \leq M_y$ mặt cắt dầm liên hợp sẽ được phân loại không đặc. Và trường hợp còn lại $M_u < M_y$ dầm liên hợp sẽ có mặt cắt phân loại là mảnh.

Giá trị mô men dẻo và mô men chảy của mặt cắt đầm liên hợp đồng nhất và mặt cắt lai sẽ được xác định dựa trên giả thiết phân bố ứng suất khi mặt cắt có thể đạt tới trạng thái chảy dẻo hoàn toàn (hình 15) và phân bố ứng suất đàn hồi tuyến tính khi thớ trên hoặc thớ dưới của đầm thép bắt đầu đạt tới giá trị chảy dẻo (hình 16).



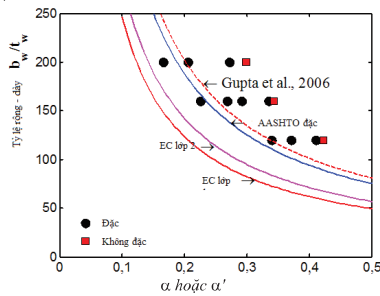
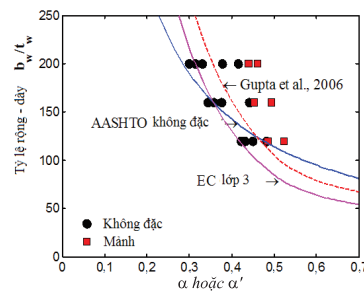
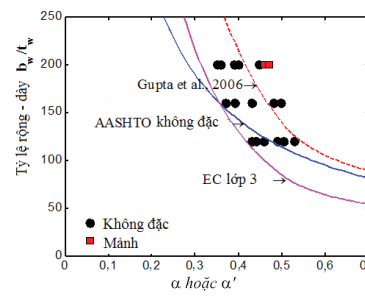
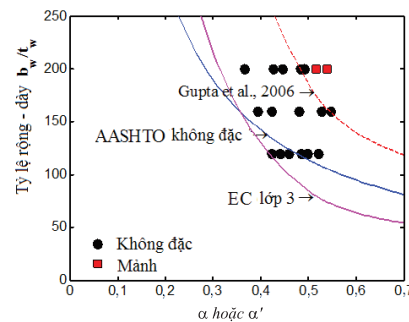
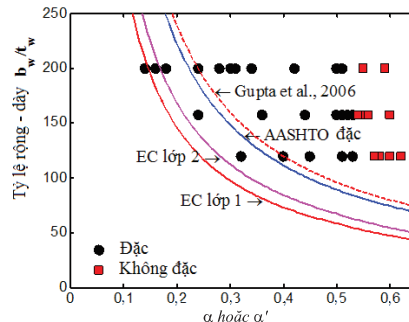
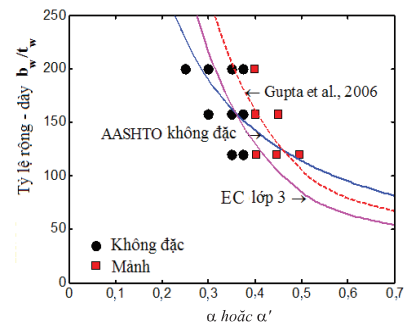
Hình 15: giả thiết phân bố ứng suất chảy dẻo hoàn toàn trên mặt cắt



Hình 16: giả thiết phân bố ứng suất khi giá trị chảy dẻo xuất hiện ở thớ trên hoặc thớ dưới dầm thép

Khảo sát phân loại mặt cắt dầm liên hợp mặt cắt dầm thép đồng nhất SBHS500: các hình 17-20 biểu diễn kết quả phân loại mặt cắt thu được từ phân tích mô hình số đối với số lượng lớn các dầm liên hợp mặt cắt dầm thép đồng nhất SBHS500 cùng với các đường cong thiết kế độ mảnh giới hạn bản bụng đang được sử dụng trong quy trình hiện hành của AASHTO, Eurocode và đường thiết kế đề xuất của Gupta và đồng nghiệp [11]. Trong các hình này, giá trị b_w/t_w và α lần lượt thể hiện tỷ số chiều rộng/chiều dày bản bụng và tham số vùng nén (được giải thích trong hình 1).

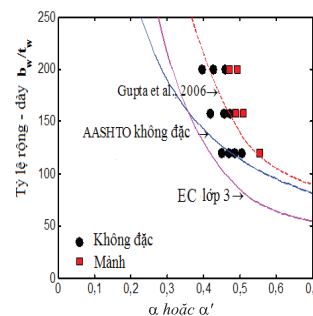
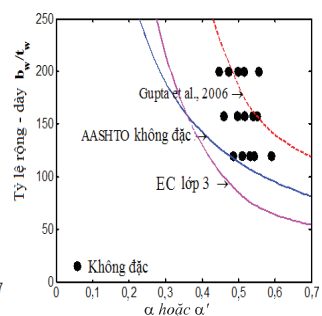
Trong hình 17, các điểm ký tự đen tròn thể hiện kết quả thu được từ phân tích mô hình số đánh giá dầm có mặt cắt đặc, trong khi đó các điểm ký tự đỏ vuông đánh giá dầm có mặt cắt không đặc. Mặt cắt dầm liên hợp đồng nhất SBHS500 không xét đến ảnh hưởng của mô men uốn ban đầu ($M_1 = 0$) có độ mảnh bản bụng giới hạn đặc - không đặc lớn hơn đáng kể so với đường giới hạn thiết kế quy định trong AASHTO, Eurocode và đường đề xuất của Gupta. Đặc tính vật liệu sau đàn hồi được xem là nguyên nhân chủ yếu của hiện tượng này. Với giá trị chảy dẻo lớn và vùng biến dạng dẻo sau đàn hồi nhỏ, loại thép SBHS500 sở hữu sức kháng mất ổn định cục bộ đàn dẻo tốt hơn so với các loại thép thông thường khác.


 Hình 17: giới hạn đặc - không đặc của mặt cắt dầm liên hợp đồng nhất SBHS500 ($M_1=0$)

 Hình 18: giới hạn không đặc - mảnh của mặt cắt dầm liên hợp đồng nhất SBHS500 ($M_1=0$)

 Hình 19: giới hạn không đặc - mảnh của mặt cắt dầm liên hợp đồng nhất SBHS500 ($M_1 = 0,4 M_{ys}$)

 Hình 20: giới hạn không đặc - mảnh của mặt cắt dầm liên hợp đồng nhất SBHS500 ($M_1 = 0,6 M_{ys}$)

 Hình 21: giới hạn đặc - không đặc của dầm liên hợp mặt cắt lai SBHS500-SM490 ($M_1=0$)

 Hình 22: giới hạn không đặc - mảnh của dầm liên hợp mặt cắt lai SBHS500-SM490 ($M_1=0$)

Đối chiếu với một số phát biểu của Gupta và đồng nghiệp trong [11] về ảnh hưởng đáng kể của mô men uốn ban đầu M_1 đến giới hạn không đặc - mảnh, hình 19, 20 thể hiện kết quả thu được từ phân tích mô hình số ứng với trường hợp khảo sát giới hạn không đặc - mảnh tại 2 trường hợp mô men ban đầu $M_1 = 0,4$ và $0,6 M_{ys}$. Trong các hình này, biểu tượng tròn đen biểu diễn dầm liên hợp có mặt cắt không đặc, các biểu tượng vuông đỏ biểu diễn dầm liên hợp có mặt cắt mảnh. Với sự gia tăng của mức độ mô men uốn ban đầu M_1 thì kết quả độ mảnh bản bụng giới hạn dựa trên phân tích số cũng cho thấy sự tăng lên rõ ràng, giống như xu thế đã được báo cáo trong [11].

Khảo sát phân loại mặt cắt dầm liên hợp mặt cắt dầm thép lai SBHS500-SM490Y: hình 21 biểu diễn sự so sánh giữa kết quả thu được từ phân tích mô hình số dầm liên hợp mặt cắt lai SBHS500-SM490Y và phương trình độ mảnh giới hạn bản bụng sử dụng trong AASHTO và Eurocode. Độ mảnh giới hạn đặc - không đặc thu được từ kết quả phân tích theo thuật toán PPPHH lớn hơn các giá trị tương ứng trên đường cong thiết kế của AASHTO và Eurocode. So sánh kết quả biểu diễn trong hình 17 và hình 21 cho thấy vùng độ mảnh giới hạn đặc - không đặc của mặt cắt lai SBHS500-SM490Y thậm chí lớn hơn vùng giới hạn tương ứng với mặt cắt đồng nhất SBHS500.

Hình 22 biểu diễn độ mảnh giới hạn bản bụng không đặc - mảnh trường hợp không xét đến ảnh hưởng của mô men uốn ban đầu. Trong phần này giá trị mô men chảy M_{yf} của dầm liên hợp mặt cắt lai được xác định từ giá trị mô men chảy M_y của dầm liên hợp mặt cắt đồng nhất tương ứng nhân với hệ số lai như đã được trình bày ở mục nội dung và phương pháp nghiên cứu. So sánh kết quả trình bày ở hình 18 và kết quả biểu diễn trong hình 22 cho thấy, giá trị độ mảnh bản bụng giới hạn không đặc - mảnh của mặt cắt lai SBHS500-SM490Y nhỏ hơn so với các giá trị tương ứng của mặt cắt đồng nhất SBHS500. Đường giới hạn trong trường hợp mặt cắt lai này gần như nằm theo phương thẳng đứng.


 Hình 23: giới hạn không đặc - mảnh của dầm liên hợp mặt cắt lai SBHS500-SM490 ($M_1 = 0,4 M_{ys}$)

 Hình 24: giới hạn không đặc - mảnh của dầm liên hợp mặt cắt lai SBHS500-SM490 ($M_1 = 0,6 M_{ys}$)

Hình 23 và 24 biểu diễn kết quả từ mô hình phân tích số xét đến mức mô men uốn ban đầu với $M_I = 0,4 M_{ys}$ và $0,6 M_{ys}$. Với mức $M_I = 0,4 M_{ys}$, độ mảnh giới hạn bản bụng không đặc - mảnh của mặt cắt lai SBHS500-SM490Y nhỏ hơn các giá trị tương ứng của mặt cắt đồng nhất SBHS500 với sự sai khác khoảng 10%. Có thể nhận định rằng với mức mô men ban đầu $M_I \leq 0,4 M_{ys}$ các giá trị độ mảnh bản bụng giới hạn không đặc - mảnh của mặt cắt lai SBHS500-SM490Y nhỏ hơn khoảng 10% các giá trị tương ứng của mặt cắt đồng nhất SBHS500. Như thể hiện trong hình 24, không có một dầm liên hợp nào có mặt cắt được phân loại là mảnh. Điều này cho thấy rằng, trong phạm vi thiết kế thực tế, dầm liên hợp mặt cắt lai SBHS500-SM490Y sẽ luôn được phân loại là không đặc chắc với mức cao của mô men ban đầu ($M_I > 0,4 M_{ys}$).

Kết luận

Áp dụng cấp thép mới SBHS500 với cả dầm liên hợp mặt cắt đồng nhất và mặt cắt lai đều cho phép nâng cao đáng kể độ mảnh giới hạn bản bụng trong phân loại mặt cắt dầm liên hợp. Độ mảnh giới hạn không đặc - mảnh của dầm liên hợp mặt cắt lai SBHS500-SM490Y nhỏ hơn khoảng 10% giá trị tương ứng của mặt cắt đồng nhất SBHS500. Với mức mô men uốn ban đầu cao $M_I > 0,4 M_{ys}$ dầm liên hợp mặt cắt lai SBHS500-SM490Y luôn có thể được phân loại là không đặc. Với việc áp dụng loại thép SBHS500 cho dầm liên hợp mặt cắt đồng nhất hoặc lai thì bản bụng đều có thể được thiết kế với độ mảnh b_w/t_w lớn hơn đáng kể so với quy định của quy trình hiện hành, như AASHTO và Eurocode.

Tài liệu tham khảo

- [1] Japanese Industrial Standard (2008), *JIS G 3140, Higher yield strength steel plates for bridges*.
- [2] Nippon Steel a: http://www.nsc.co.jp/en/product/use/bridge/adoption_case/Nagata.html.
- [3] Nippon Steel b: http://www.nsc.co.jp/en/product/use/bridge/adoption_case/Tokyo_Rinkai_Doro.html.
- [4] Okada J, Kato M (2009), "Study on characteristics of bending resistance to composite I-girders using high strength steels allowing for yielding", *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. A*, **1(65)**, pp.151-164.
- [5] Tonegawa T, Yamahuchi T, Sugiura K, Watanabe E (2006), "Assessment on ultimate strength of composite hybrid steel box girder with thinner web panel by using FE analysis", *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. A*, **62(2)**, pp.300-311.
- [6] American Association of State Highway and Transportation Officials (2005), *AASHTO LRFD bridge design specification*.
- [7] American Association of State Highway and Transportation Officials (2007), *AASHTO LRFD bridge design specification - Fourth edition*.
- [8] Schilling G (1968), "Bending Behavior of Composite Hybrid Beams", *Journal of the Structural Division, ASCE*, **94(8)**, pp.1945-1964.
- [9] Subcommittee on Hybrid Beams and Girders (1968), "Design of Hybrid Steel Beams", *Journal of the Structural Division, ASCE*, **94(6)**, pp.1397-1426.
- [10] CEN Eurocode4 (1994), *Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 2, General rules and rules for bridges*, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- [11] Gupta V.K, Okui Y, Nagai M (2006), "Development of web Slenderness Limits for Composite I-Girders accounting for Initial Bending Moment", *Doboku Gakkai Ronbunshuu A*, **62(4)**, pp.854-864.
- [12] Japan Road Association (2002), *Specifications for Highway Bridges - part II, Steel Bridges*.
- [13] Japan Society of Civil Engineers - JSCE (2007), *Standard Specifications for Concrete Structures*.
- [14] S tra Steel - concrete composite bridge - Sustainable design guide, www.setra.developpement-durable.gouv.fr/.