

# NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN ĐỘ VÔNG NGẮN HẠN DẦM BÊ TÔNG CỐT HỖN HỢP THÉP VÀ POLYME CỐT SỢI THỦY TINH THEO TCVN 5574:2018

Phan Minh Tuấn<sup>a,\*</sup>, Trần Việt Tâm<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

*Nhận ngày 04/5/2022, Sửa xong 28/6/2022, Chấp nhận đăng 29/6/2022*

---

## Tóm tắt

Thanh cốt sợi thủy tinh (GFRP) có cường độ cao nhưng mô đun đàn hồi thấp, khiến dầm bê tông cốt GFRP thuần túy thường có độ võng lớn. Việc sử dụng kết hợp cốt thép và cốt GFRP sẽ giúp cải thiện vấn đề này. Tuy nhiên, việc xác định độ võng dầm bê tông cốt hỗn hợp thép và GFRP (cốt SGFRP) hiện chưa có tiêu chuẩn hướng dẫn. Dựa theo các quan hệ ứng suất-biến dạng của vật liệu theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018, bài báo trình bày một phương pháp xác định độ võng ngắn hạn bằng các nghiên cứu lý thuyết. Qua đó nghiên cứu đã khảo sát độ võng ngắn hạn dầm bê tông cốt SGFRP với các thông số thay đổi, đã so sánh độ võng ngắn hạn dầm bê tông cốt SGFRP với độ võng dầm bê tông cốt thép và dầm bê tông cốt sợi thủy tinh thuần túy.

*Từ khóa:* cốt GFRP; cốt thép; cốt hỗn hợp thép và GFRP; độ võng ngắn hạn; TCVN 5574:2018.

RESEARCH ON CALCULATION SHORT-TERM DEFLECTION OF REINFORCED CONCRETE BEAM USING HYBRID (STEEL AND GFRP) BARS CONFORMING TO TCVN 5574:2018

## Abstract

The glass fiber reinforcement polymer (GFRP) has a high yield strength but a low elastic modulus, causing the pure GFRP reinforced concrete (RC) beams to have a large deflection. Using a combination of steel and GFRP bars will help to improve this. However, prediction of the deflection of RC beams using hybrid (steel and GFRP) bars (denoted as SGFRP bars) has not been implemented in any common design codes. Based on a theoretical study using the stress-strain relationship of materials proposed in TCVN 5574:2018, this paper presents a method to predict the short-term deflection of the SGFRP RC beams. The authors then conduct a parametric study to investigate the short-term deflection of SGFRP RC beams with different parameters. The results of the short-term deflection of three types of beams (SGFRP RC beam, normal RC beams, and pure GFRP RC beam) are then compared.

*Keywords:* GFRP bar; steel bar; hybrid (steel and GFRP) bars; short-term deflection; TCVN 5574:2018.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2022-16\(3V\)-06](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2022-16(3V)-06) © 2022 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

---

## 1. Giới thiệu

Thanh polyme cốt sợi thủy tinh GFRP (Glass fiber reinforcement polymer) với cường độ cao, trọng lượng nhẹ, không bị ăn mòn và có giá thành thấp hứa hẹn là vật liệu mới thay thế cho cốt thép truyền thống [1, 2]. Tuy nhiên trong thực tế, do cốt GFRP có mô đun đàn hồi thấp (chỉ bằng khoảng 1/4 của cốt thép), dầm bê tông cốt GFRP thuần túy thường bị võng lớn, vượt quá giới hạn sử dụng

---

\*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: [tuanpm@huce.edu.vn](mailto:tuanpm@huce.edu.vn) (Tuấn, P. M.)

làm hạn chế khả năng ứng dụng của loại vật liệu này [3]. Để khắc phục vấn đề này thường phải tăng kích thước dầm hoặc bố trí thêm nhiều cốt GFRP, điều này làm tăng giá thành và khiến cốt GFRP khó đưa vào áp dụng trong thực tế. Một giải pháp giúp cải thiện vấn đề này đã được đề xuất là sử dụng cốt GFRP kết hợp với cốt thép tạo ra một vật liệu mới, vật liệu cốt hỗn hợp thép và GFRP (cốt SGFRP) [4].

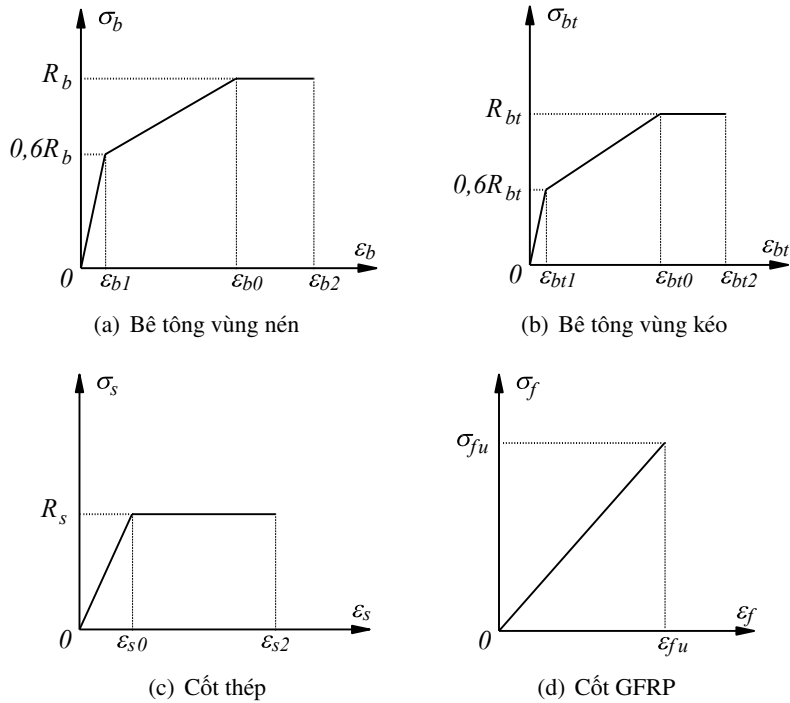
Các nghiên cứu về dầm bê tông cốt SGFRP rất được quan tâm trong những năm gần đây cả về thực nghiệm lẫn lý thuyết. Từ những công bố về nghiên cứu thực nghiệm của Tan [4], Aiello và Ombres [5], Lau và Pam [6], ..., các nhà khoa học đã tiến tới tổng quát hóa bằng các nghiên cứu lý thuyết. Có thể kể đến các nghiên cứu lý thuyết của Leung [7] vào năm 2004, Jia và cs. [8] năm 2014, Ge và cs. [9] năm 2015, Pang và cs. [10] năm 2015 và Kheyrodin & Maleki [11] năm 2017. Các nghiên cứu này đều dựa trên công thức đề xuất trong tiêu chuẩn ACI 440.1R-06 [2] của Branson để chính xác hóa công thức tính độ võng dầm bê tông cốt hỗn hợp qua giá trị mô men quán tính hiệu quả  $I_e$  theo tiêu chuẩn Hoa Kỳ. Đây là cách làm đi từ thực nghiệm và hoàn thiện công thức tính toán có sẵn nên khả năng ứng dụng các công thức còn hạn chế, chỉ phù hợp với một phạm vi hẹp.

Ở Việt Nam, các nghiên cứu tính toán lý thuyết về độ võng của loại dầm này còn khá hạn chế. Trong TCVN 5574:2018, trình bày tính toán độ võng dầm bê tông cốt thép trên cơ sở xác định độ cong của dầm (giá trị nghịch đảo của độ cứng). Độ cứng của dầm theo công thức sức bền vật liệu là EI được thay bằng độ cứng chống uốn D có kể đến sự thay đổi độ cứng ở những vùng dầm bị không nứt và nứt, thường được chính xác hóa qua hệ số thực nghiệm  $\psi_s$ . Tiêu chuẩn Việt Nam chưa đề cập đến tính toán độ võng dầm bê tông cốt SGFRP. Trong nghiên cứu của Tuần [12] đã trình bày tính toán khả năng chịu mô men uốn của dầm bê tông cốt SGFRP theo TCVN 5574:2018 [13]. Nghiên cứu này kế thừa và hoàn thiện nghiên cứu trước đó, đề xuất một cách tính toán độ võng ngắn hạn dầm bê tông cốt SGFRP theo TCVN 5574:2018 có bổ sung thêm ảnh hưởng của biến dạng bê tông vùng kéo và cốt dọc chịu nén  $A'_s$ . Qua đó có thể khảo sát độ võng ngắn hạn dầm bê tông cốt SGFRP với các thông số thay đổi. So sánh độ võng ngắn hạn dầm bê tông cốt SGFRP với độ võng dầm bê tông cốt thép và dầm bê tông cốt sợi thủy tinh GFRP thuần túy.

## 2. Lý thuyết tính toán độ võng ngắn hạn của dầm bê tông cốt SGFRP

Như đã biết, việc tính toán độ võng dầm bê tông cốt thép ngắn hạn là một công việc phức tạp do bị ảnh hưởng của nhiều yếu tố như kích thước tiết diện, ảnh hưởng của việc bố trí cốt dọc, ảnh hưởng của vật liệu, sự làm việc chung giữa cốt thép và cốt GFRP, ảnh hưởng của vết nứt làm thay đổi độ cứng... Bài báo này đề xuất một phương pháp tính toán thực hành đơn giản để tính toán độ võng ở giữa dầm với các giả thiết: tiết diện sau khi biến dạng vẫn phẳng, ứng suất trong bê tông, cốt thép và cốt GFRP được xác định từ đường cong ứng suất biến dạng, giả thiết độ cứng dầm không thay đổi trong suốt chiều dài dầm và độ cứng dầm được lấy bằng độ cứng nhỏ nhất ở giữa dầm.

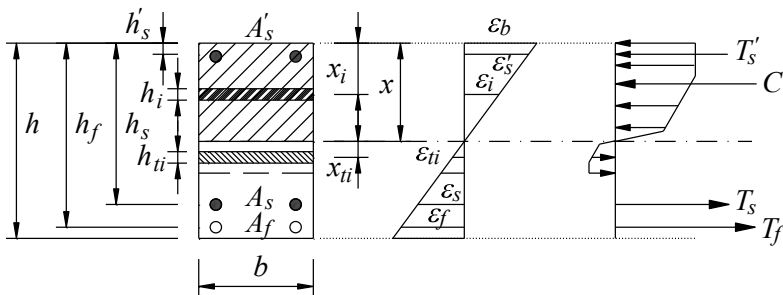
Quan hệ ứng suất-biến dạng của vật liệu theo TCVN 5574:2018 [13, 14] và tiêu chuẩn SP 295.1325800.2017 [15] được biểu diễn như Hình 1. Trong đó  $\sigma_b$  và  $\varepsilon_b$  lần lượt là ứng suất nén và biến dạng nén của bê tông;  $R_b$  là cường độ chịu nén tính toán của bê tông ở trạng thái giới hạn thứ nhất (MPa);  $E_b$  là mô đun đàn hồi ban đầu của bê tông khi nén (MPa);  $\varepsilon_{b1}$  là biến dạng nén tương đối của bê tông,  $\varepsilon_{b1} = \frac{\sigma_{b1}}{E_b} = \frac{0,6R_b}{E_b}$ ;  $\varepsilon_{b0}$  là biến dạng tương đối giới hạn của bê tông khi nén đều ứng với ứng suất trong bê tông đạt tới cường độ tính toán  $R_b$ ,  $\varepsilon_{b0} = 0,002$  khi có tác dụng ngắn hạn của tải trọng;  $\varepsilon_{b2}$  là biến dạng nén tương đối giới hạn của bê tông khi nó bị phá hoại, lấy bằng 0,0035 đối với bê tông nặng;  $\sigma_s$  là ứng suất kéo của cốt thép;  $\varepsilon_s$  là biến dạng kéo của cốt thép;  $R_s$  là cường độ chịu kéo tính toán của cốt thép ở trạng thái giới hạn thứ nhất (MPa);  $E_s$  là mô đun đàn hồi của cốt thép



Hình 1. Quan hệ ứng suất-biến dạng của các vật liệu

(MPa);  $\varepsilon_{s0}$  là biến dạng giãn dài tương đối của cốt thép khi ứng suất đạt tới cường độ tính toán  $R_s$ ;  $\varepsilon_{s2}$  là biến dạng nén tương đối của cốt thép, lấy bằng 0,025;  $\sigma_f$  là cường độ chịu kéo của cốt GFRP;  $\varepsilon_f$  là biến dạng kéo của cốt GFRP;  $E_f$  là mô đun đàn hồi của cốt GFRP;  $\varepsilon_{fu}$  là biến dạng tương đối giới hạn cốt GFRP.

Dựa vào các quan hệ ứng suất biến dạng trên ta đi thiết lập các bước tính toán cho dầm bê tông cốt SGFRP. Hình 2 thể hiện sơ đồ ứng suất dầm bê tông cốt SGFRP.



Hình 2. Sơ đồ ứng suất của dầm bê tông cốt SGFRP

Tiến hành chia tiết diện dầm được thành các phần nhỏ hơn có chiều cao là  $h_i$ . Ứng với mỗi biến dạng  $\varepsilon_b$  cho trước của bê tông, một giá trị chiều cao  $x$  (khoảng cách từ mép ngoài cùng của bê tông chịu nén đến trục trung hòa) ban đầu được giả thiết. Dựa trên giả thiết tiết diện phẳng, biến dạng của

mỗi phần chia của bê tông  $\varepsilon_i$  được xác định theo công thức:

$$\varepsilon_i = \frac{x - x_i}{x} \varepsilon_b \quad (1)$$

$$\varepsilon_{ti} = \frac{x_{ti}}{x} \varepsilon_b \quad (2)$$

trong đó  $x_i$  là khoảng cách từ mép bê tông chịu nén đến trọng tâm phần tử bê tông thứ  $i$ .

Giả thiết bê tông dính chặt (perfect bond) với cốt chịu lực, biến dạng trong cốt thép  $\varepsilon_s, \varepsilon'_s$  và biến dạng  $\varepsilon_f$  trong cốt GFRP được xác định từ công thức:

$$\varepsilon'_s = \frac{x - h'_s}{x} \varepsilon_b \quad (3)$$

$$\varepsilon_s = \frac{h_s - x}{x} \varepsilon_b \quad (4)$$

$$\varepsilon_f = \frac{h_f - x}{x} \varepsilon_b \quad (5)$$

trong đó  $h_s, h'_s$  và  $h_f$  lần lượt là khoảng cách từ mép bê tông chịu nén đến trọng tâm cốt thép chịu kéo, cốt thép chịu nén và trọng tâm cốt GFRP.

Dựa vào phương trình quan hệ ứng suất và biến dạng của bê tông ta có thể xác định được ứng suất  $\sigma_{bi}, \sigma_{bti}$  của phần tử bê tông chịu nén và bê tông chịu kéo thứ  $i$ . Hợp lực của bê tông  $C$  được xác định bằng công thức sau:

$$C = \sum_{i=1}^n (\sigma_{bi}bh_i - \sigma_{bti}bh_{ti}) \quad (6)$$

trong đó  $b, h_i, h_{ti}$  lần lượt là bề rộng dầm, chiều dày (chiều cao) của phần tử bê tông nén thứ  $i$  và bê tông kéo thứ  $i$

$$h_i = \frac{h}{n} \quad (7)$$

$$h_{ti} = \frac{h - x}{n} \quad (8)$$

trong đó  $h$  là chiều cao dầm và  $n$  là tổng số phần tử chia nhỏ của dầm.

Giá trị chiều cao vùng nén của phần tử bê tông nén và kéo thứ “ $i$ ” được tính theo công thức:

$$x_i = (i - 0,5)h_i \quad (9)$$

$$x_{ti} = (i - 0,5)h_{ti} \quad (10)$$

Lực kéo  $T_s$  trong cốt thép,  $T_f$  trong cốt GFRP và lực nén  $T'_s$  trong cốt thép chịu nén được xác định lần lượt theo các công thức:

$$T_s = E_s \varepsilon_s A_s \quad (11)$$

$$T_f = E_f \varepsilon_f A_f \quad (12)$$

$$T'_s = E_s \varepsilon'_s A'_s \quad (13)$$

trong đó  $A_s, A'_s, A_f$  lần lượt là diện tích của cốt thép chịu kéo, cốt thép chịu nén và cốt GFRP.

Thiết lập phương trình cân bằng lực, ta có:

$$C + T'_s = T_s + T_f \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^n \sigma_{bi} b h_i + A'_s E_s \varepsilon'_s = A_s E_s \varepsilon_s + A_f E_f \varepsilon_f \quad (15)$$

Từ phương trình (15) ta sẽ xác định được chiều cao  $x$  ứng với mỗi biến dạng nén  $\varepsilon_b$ , bằng cách chạy lặp dần  $x$  cho tới khi giá trị  $C + T'_s - T_f - T_s$  tiến dần tới bằng 0.

Độ cong của dầm  $\varphi$  ứng với mỗi giá trị  $x$  và  $\varepsilon_b$  được xác định từ công thức:

$$\varphi = \varepsilon_b / x \quad (16)$$

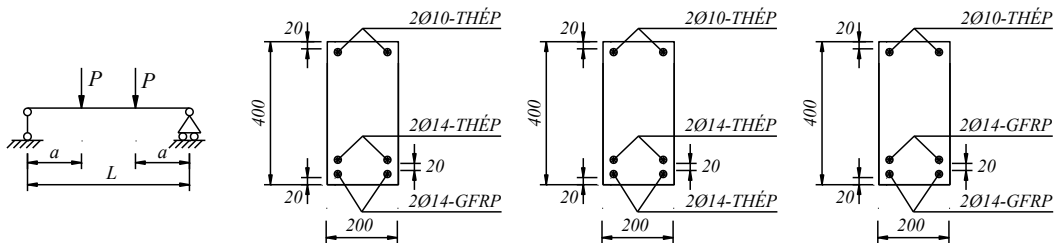
Với giả thiết độ cứng dầm không thay đổi trong suốt chiều dài dầm và độ cứng dầm được lấy bằng độ cứng nhỏ nhất ở giữa dầm, khi xác định được độ cong  $\varphi$  của tiết diện giữa dầm, ta có thể tính được độ võng  $f$  ở giữa dầm của dầm đơn giản nhịp  $L$  chịu hai lực tập trung với nhịp chịu cắt bằng  $a$  theo công thức:

$$f = \varphi \frac{(3L^2 - 4a^2)}{24} \quad (17)$$

Ứng với mỗi giá trị  $\varepsilon_b$  cho trước sẽ xác định được một giá trị chiều cao bê tông vùng nén  $x$ . Từ đây sẽ xác định các giá trị lực tác dụng  $P$ , độ cong  $\varphi$  và độ võng  $f$  tương ứng. Tập hợp các giá trị  $\varepsilon_b$  thay đổi từ 0 đến  $\varepsilon_{b2}$  sẽ xây dựng được đường cong quan hệ lực tác dụng và độ võng của dầm.

### 3. Khảo sát độ võng dầm bê tông có các loại cốt dọc khác nhau

Tiến hành khảo sát độ võng dầm bê tông cốt SGFRP để so sánh với dầm bê tông cốt thép và dầm bê tông cốt GFRP thuần túy.



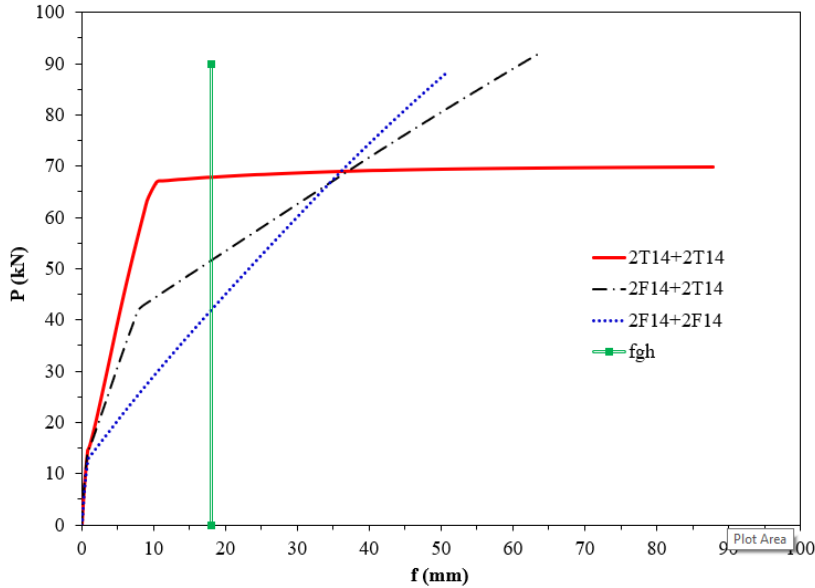
Hình 3. Sơ đồ và mặt cắt các dầm bố trí cốt dọc khác nhau

Khảo sát dầm đơn giản như Hình 3 có nhịp  $L = 3600$  mm, chịu hai lực tập trung  $P$  với khoảng cách từ lực tập trung đến gối tựa  $a = 1200$  mm. So sánh độ võng dầm bê tông cốt SGFRP với dầm bê tông cốt thép cùng dầm bê tông cốt GFRP thuần túy. Các thông số đầu vào: chiều cao  $h = 400$  mm, bề rộng  $b = 200$  mm, bê tông B30, thép CB400-V, GFRP có cường độ  $f_{fu} = 900$  MPa, môđun  $E_f = 45000$  MPa, cốt chịu nén  $A'_s$  ( $2\phi 10$ ). Độ võng giới hạn của dầm  $f_{gh} = L/200 = 18$  mm.

Dầm bê tông cốt SGFRP ( $2F14+2T14$ ) có cốt GFRP  $2\phi 14$ , cốt thép  $A_s$  ( $2\phi 14$ ).

Dầm bê tông cốt thép ( $2T14+2T14$ ) có bố trí cốt thép  $A_s$  ( $2\phi 14 + 2\phi 14$ ).

Dầm bê tông cốt GFRP ( $2F14+2F14$ ) có bố trí cốt GFRP  $A_f$  ( $2\phi 14 + 2\phi 14$ ).



Hình 4. Khảo sát độ võng dầm có các loại cốt dọc khác nhau

Bảng 1. Bảng giá trị lực  $P$  tại  $f_{gh}$  của dầm có các loại cốt dọc khác nhau

Dầm	2F14+2F14	2F14+2T14	2T14+2T14
$P$ (kN) tại $f_{gh}$	41,51	50,89	67,84
% so sánh	100%	123%	163%

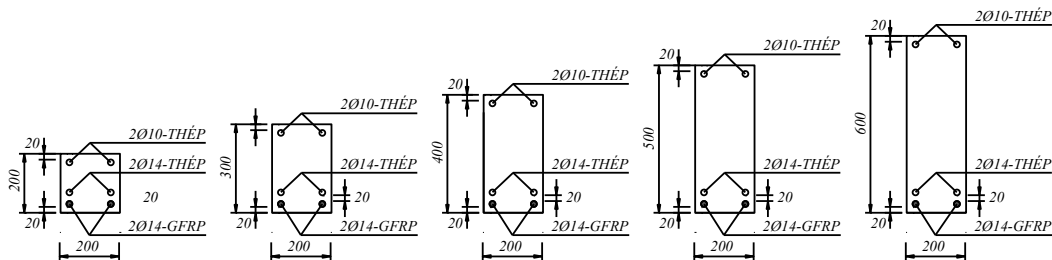
Nhận xét: Tính ở cùng mức độ võng giới hạn  $f_{gh}$  thì dầm bê tông cốt GFRP thuần túy có mức tải  $P$  nhỏ nhất, mức tải này tăng lần lượt khi sử dụng dầm bê tông cốt SGFRP và dầm bê tông cốt thép. Điều này là do ảnh hưởng của độ cứng của cốt dọc với yếu tố chính là mô đun đàn hồi. Có thể thấy, cốt thép có mô đun đàn hồi lớn hơn cốt GFRP 4,4 lần nên sẽ có độ cứng lớn hơn. Khi dầm có cùng một diện tích cốt dọc thì dầm sử dụng nhiều cốt thép hơn sẽ có độ cứng lớn hơn và chịu được tải trọng  $P$  lớn hơn. Có thể thấy sau khi cốt thép chảy dẻo thì đường quan hệ  $P - f$  của dầm bê tông cốt thép hầu như nằm ngang, trong khi ở dầm bê tông cốt GFRP và dầm bê tông cốt SGFRP thì vẫn tiếp tục chịu thêm tải trọng và có khả năng chịu lực tiếp tục tăng lên cho đến khi cốt GFRP bị phá hoại.

#### 4. Khảo sát độ võng dầm bê tông cốt hỗn hợp SGFRP

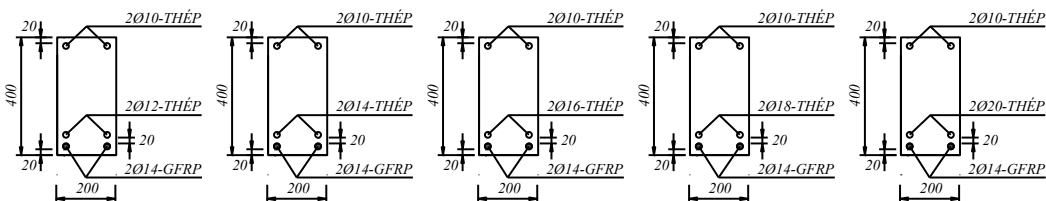
Khảo sát dầm đơn giản chịu 2 lực tập trung với nhịp  $L$  và khoảng cách  $a$  như mục 3.

Trường hợp 1: Khảo sát độ võng dầm bê tông cốt SGFRP khi chiều cao dầm thay đổi  $h = 200, 300, 400, 500, 600$  mm các thông số khác không thay đổi: bề rộng  $b = 200$  mm, cốt chịu kéo  $A_s$  ( $2\phi 14$ ),  $A_f$  ( $2\phi 14$ ), cốt chịu nén  $A'_s$  ( $2\phi 10$ ), bê tông B30, thép CB400-V, GFRP có cường độ  $f_{fu} = 900$  MPa, mô đun  $E_f = 45000$  MPa.

Trường hợp 2: Khảo sát độ võng dầm bê tông cốt SGFRP khi cốt thép chịu kéo thay đổi  $A_s = 2\phi 12, 2\phi 14, 2\phi 16, 2\phi 18, 2\phi 20$ , các thông số khác không thay đổi:  $b = 200$  mm,  $h = 400$  mm, cốt GFRP chịu kéo  $A_f$  ( $2\phi 14$ ), cốt thép chịu nén  $A'_s$  ( $2\phi 10$ ), bê tông B30, thép CB400-V, GFRP có cường độ  $f_{fu} = 900$  MPa, mô đun  $E_f = 45000$  MPa.

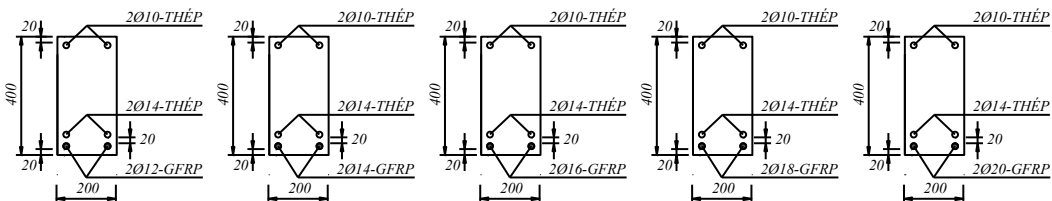


Hình 5. Mặt cắt tiết diện dầm cho trường hợp 1



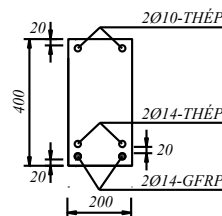
Hình 6. Mặt cắt tiết diện dầm cho trường hợp 2

Trường hợp 3: Khảo sát độ võng dầm bê tông cốt SGFRP khi cốt GFRP chịu kéo thay đổi  $A_f = 2\phi 12, 2\phi 14, 2\phi 16, 2\phi 18, 2\phi 20$ , các thông số khác không thay đổi:  $b = 200 \text{ mm}$ ,  $h = 400 \text{ mm}$ , cốt thép chịu kéo  $A_s (2\phi 14)$ , cốt chịu nén  $A'_s (2\phi 10)$ , bê tông B30, thép CB400-V, GFRP có cường độ  $f_{fu} = 900 \text{ MPa}$ , mô đun  $E_f = 45000 \text{ MPa}$ .



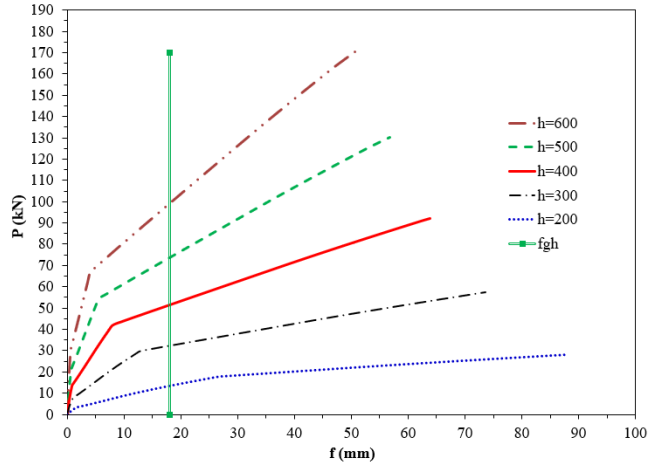
Hình 7. Mặt cắt tiết diện dầm cho trường hợp 3

Trường hợp 4: Khảo sát độ võng dầm bê tông cốt SGFRP khi cấp độ bền bê tông dầm thay đổi B20, B25, B30, B35, B40, các thông số khác không thay đổi:  $b = 200 \text{ mm}$ ,  $h = 400 \text{ mm}$ , cốt chịu kéo  $A_s (2\phi 14)$ ,  $A_f (2\phi 14)$ , cốt chịu nén  $A'_s (2\phi 10)$ , thép CB400-V, GFRP có cường độ  $f_{fu} = 900 \text{ MPa}$ , mô đun  $E_f = 45000 \text{ MPa}$ .



Hình 8. Mặt cắt tiết diện dầm cho trường hợp 4 và trường hợp 5

Trường hợp 5: Khảo sát độ võng dầm bê tông cốt SGFRP khi nhóm thép dầm thay đổi CB240-T, CB300-V, CB400-V, CB500-V, các thông số khác không thay đổi:  $b = 200 \text{ mm}$ ,  $h = 400 \text{ mm}$ , cốt chịu kéo  $A_s (2\phi 14)$ ,  $A_f (2\phi 14)$ , cốt chịu nén  $A'_s (2\phi 10)$ , bê tông B30, GFRP có  $f_{fu} = 900 \text{ MPa}$ , mô đun  $E_f = 45000 \text{ MPa}$ .



Hình 9. Khảo sát độ võng dầm khi chiều cao thay đổi

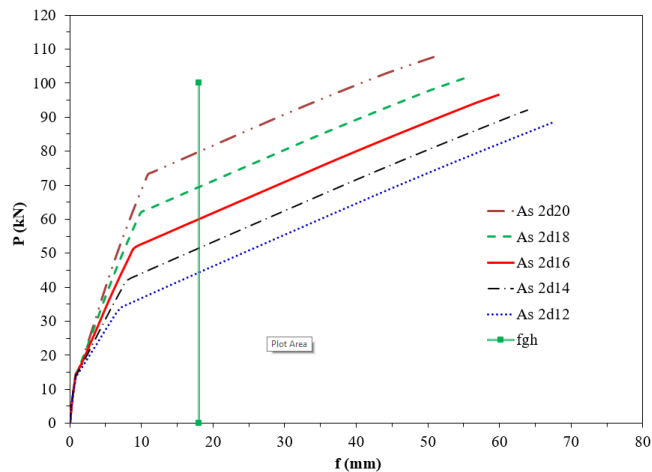
Bảng 2. Bảng giá trị lực  $P$  tại  $f_{gh}$  khi chiều cao dầm thay đổi

Dầm	$h = 200$	$h = 300$	$h = 400$	$h = 500$	$h = 600$
$P$ (kN) tại $f_{gh}$	13,17	31,91	50,89	72,98	98,12
% so sánh	100%	242%	386%	554%	745%

#### 4.1. Khảo sát độ võng dầm cốt SGFRP cho trường hợp 1

Nhận xét: Cùng mức độ võng giới hạn  $f_{gh}$  thì dầm càng cao thì tải  $P$  càng lớn. Các đường quan hệ  $P - f$  khá xa nhau. Dầm cao 600 mm (cao gấp 3 lần độ cao của dầm cao 200 mm) có mức tải  $P$  cao hơn 745%, chứng tỏ khi tăng chiều cao dầm đạt hiệu quả rất lớn để khống chế độ võng.

#### 4.2. Khảo sát độ võng dầm cốt SGFRP cho trường hợp 2



Hình 10. Khảo sát độ võng dầm khi diện tích cốt thép  $A_s$  thay đổi

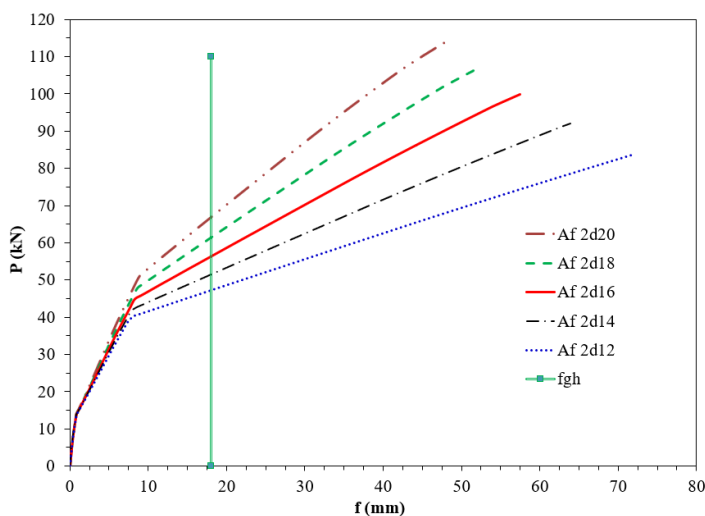


Bảng 3. Bảng giá trị lực  $P$  tại  $f_{gh}$  khi diện tích cốt thép  $A_s$  thay đổi

Dầm	$A_s$ 2d12	$A_s$ 2d14	$A_s$ 2d16	$A_s$ 2d18	$A_s$ 2d20
$P$ (kN) tại $f_{gh}$	44,06	50,89	59,31	69,15	79,79
% so sánh	100%	115%	135%	157%	181%

Nhận xét: Tính ở cùng mức độ võng giới hạn  $f_{gh}$  thì dầm có diện tích cốt thép  $A_s$  càng lớn thì chịu tải  $P$  càng lớn. Việc thay đổi diện tích cốt thép ảnh hưởng không nhiều đến việc thay đổi độ võng so với việc thay đổi kích thước chiều cao của dầm. Khi diện tích cốt thép tăng từ 2d12 ( $226 \text{ mm}^2$ ) thành 2d20 ( $628 \text{ mm}^2$ ) thì mức tải  $P$  chỉ tăng 181%.

#### 4.3. Khảo sát độ võng dầm cốt SGFRP cho trường hợp 3



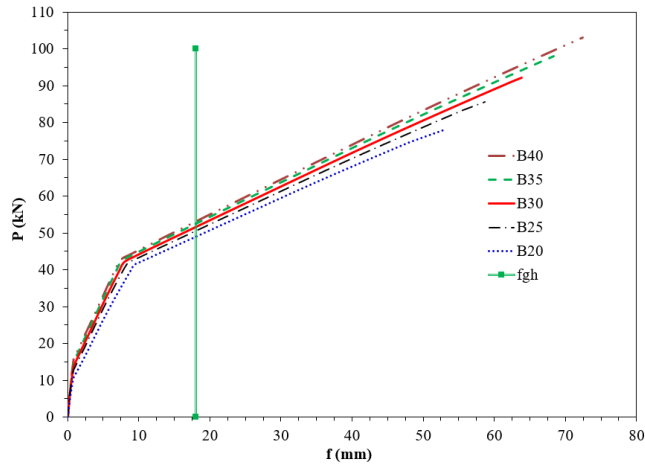
Hình 11. Khảo sát độ võng dầm khi diện tích cốt GFRP  $A_f$  thay đổi

Bảng 4. Bảng giá trị lực  $P$  tại  $f_{gh}$  khi diện tích cốt GFRP  $A_f$  thay đổi

Dầm	$A_f$ 2d12	$A_f$ 2d14	$A_f$ 2d16	$A_f$ 2d18	$A_f$ 2d20
$P$ (kN) tại $f_{gh}$	46,96	50,89	55,81	61,07	66,59
% so sánh	100%	108%	119%	130%	142%

Nhận xét: Tính ở cùng mức độ võng giới hạn  $f_{gh}$  thì dầm có diện tích cốt GFRP  $A_f$  càng lớn thì chịu tải  $P$  càng lớn. Việc thay đổi diện tích cốt GFRP ảnh hưởng không nhiều đến việc thay đổi độ võng, nhỏ hơn cả việc thay đổi diện tích cốt thép. Khi diện tích cốt GFRP tăng từ 2d12 ( $226 \text{ mm}^2$ ) thành 2d20 ( $628 \text{ mm}^2$ ) thì mức tải  $P$  chỉ tăng 142%. Điều này là do mô đun đàn hồi của cốt GFRP nhỏ hơn cốt thép nên ảnh hưởng của cốt GFRP đến độ cứng chung của tiết diện dầm không nhiều như ảnh hưởng của cốt thép.

4.4. Khảo sát độ võng dầm cốt SGFRP cho trường hợp 4



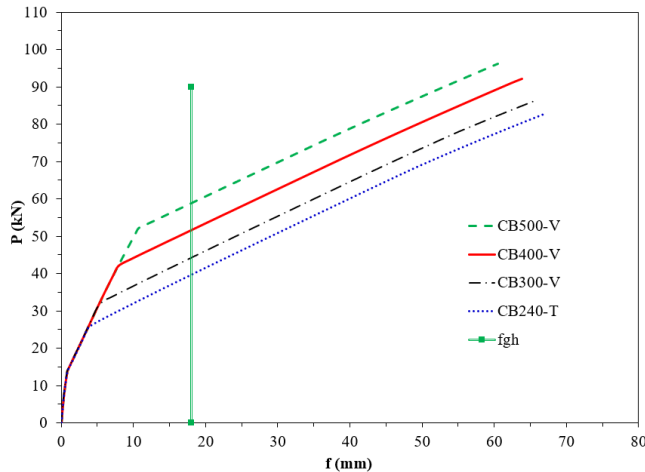
Hình 12. Khảo sát độ võng dầm khi cấp bền bê tông thay đổi

Bảng 5. Bảng giá trị lực  $P$  tại  $f_{gh}$  khi cấp bền bê tông thay đổi

Dầm	B20	B25	B30	B35	B40
$P$ (kN) tại $f_{gh}$	48,54	50,33	51,58	52,20	53,08
% so sánh	100%	104%	106%	108%	109%

Nhận xét: Tính ở cùng mức độ võng giới hạn  $f_{gh}$  thì dầm có cấp độ bền bê tông càng lớn thì chịu tải  $P$  càng lớn. Tuy nhiên, việc thay đổi cấp độ bền bê tông ảnh hưởng khá nhỏ đến độ võng. Các đường quan hệ  $P - f$  khá sát nhau, khi cấp độ bền tăng gấp đôi (từ B20 tăng lên B40) có mức tải  $P$  chỉ tăng 109%. Có kết quả này là do khi ở độ võng  $f_{gh}$  thì dầm đã nứt nhiều, phần bê tông còn lại để duy trì độ cứng cho dầm là không đáng kể.

4.5. Khảo sát độ võng dầm cốt SGFRP cho trường hợp 5



Hình 13. Khảo sát độ võng dầm khi cấp thép thay đổi

Bảng 6. Bảng giá trị lực  $P$  tại  $f_{gh}$  khi cấp thép thay đổi

Dầm	CB240-T	CB300-V	CB400-V	CB500-V
$P$ (kN) tại $f_{gh}$	39,07	43,61	51,58	58,77
% so sánh	100%	112%	132%	150%

Nhận xét: Ở cùng mức độ võng giới hạn  $f_{gh}$  thì dầm sử dụng cấp thép càng lớn thì chịu tải  $P$  càng lớn. Mức độ ảnh hưởng của việc thay đổi nhóm thép lớn hơn so với việc thay đổi cấp độ bền bê tông. Khi cấp thép từ CB240-T tăng lên CB500-V có mức tải  $P$  tăng 150%. Sau khi cốt thép chảy dẻo, khác với dầm bê tông cốt thép, dầm bê tông cốt SGFRP vẫn tiếp tục làm việc, tiếp tục chịu thêm được tải trọng, thể hiện bằng các đường nhánh cuối đi lên song song nhau.

## 5. Kết luận

Bài báo đã trình bày một phương pháp tính toán độ võng ngắn hạn của dầm bê tông cốt SGFRP bằng cách khảo sát sự biến đổi của biến dạng bê tông vùng nén từ khi chưa có biến dạng đến khi đạt biến dạng cực hạn dựa trên giả thiết biến dạng phẳng và các mô hình vật liệu của tiêu chuẩn TCVN 5574:2018. Qua khảo sát có thể thấy độ võng của dầm bê tông cốt SGFRP tăng tỷ lệ thuận với việc tăng chiều cao, tăng diện tích cốt thép  $A_s$ , tăng diện tích cốt GFRP  $A_f$ , tăng cấp độ bền bê tông và cấp cốt thép. Trong đây thì việc tăng chiều cao dầm giúp không chế độ võng hiệu quả nhất. Với cùng diện tích cốt dọc, dầm bê tông cốt SGFRP cho độ võng thấp hơn dầm bê tông cốt GFRP thuần túy và cao hơn dầm bê tông cốt thép.

Có thể thấy rằng đây mới chỉ là phương pháp nghiên cứu lý thuyết ban đầu nên còn cần tiến hành thêm các nghiên cứu thực nghiệm để đối chiếu với phương pháp đề xuất.

## Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (HUCE) trong đề tài mã số 48-2021/KHXD.

## Tài liệu tham khảo

- [1] Công ty Đầu tư và phát triển công nghệ đại học Xây Dựng NUCETECH (2015). *Chỉ dẫn thiết kế và thi công kết cấu bê tông có cốt là thanh polymer cốt sợi*.
- [2] ACI 440.1R-06. *Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars*. American Concrete Institute, Detroit.
- [3] Tuần, P. M. (2015). Nghiên cứu tính toán dầm bê tông cốt sợi thủy tinh GFRP trên tiết diện thẳng góc. *Tạp chí Người Xây Dựng*, 289&290:18–20.
- [4] Tan, K. H. (1997). Behaviour of hybrid FRP-steel reinforced concrete beams. *Proc., 3rd Int. Symp. on Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS-3)*, Japan Concrete Institute, Sapporo, 3:487–494.
- [5] Aiello, M. A., Ombres, L. (2002). [Structural performances of concrete beams with hybrid \(fiber-reinforced polymer-steel\) reinforcements](#). *Journal of Composites for Construction*, 6(2):133–140.
- [6] Lau, D., Pam, H. J. (2010). [Experimental study of hybrid FRP reinforced concrete beams](#). *Engineering Structures*, 32(12):3857–3865.
- [7] Leung, H. Y. (2004). [Flexural capacity of concrete beams reinforced with steel and fibre-reinforced polymer \(FRP\) bars](#). *Journal of Civil Engineering and Management*, 10(3):209–215.

- [8] Jia, B., Liu, S., Liu, X., Wang, R. (2014). [Flexural capacity calculation of hybrid bar reinforced concrete beams](#). *Materials Research Innovations*, 18(sup2):S2–836.
- [9] Ge, W., Zhang, J., Cao, D., Tu, Y. (2015). [Flexural behaviors of hybrid concrete beams reinforced with BFRP bars and steel bars](#). *Construction and Building Materials*, 87:28–37.
- [10] Pang, L., Qu, W., Zhu, P., Xu, J. (2016). [Design propositions for hybrid FRP-steel reinforced concrete beams](#). *Journal of Composites for Construction*, 20(4):04015086.
- [11] Kheyroddin, A., Maleki, F. (2017). [Prediction of effective moment of inertia for hybrid FRP-steel reinforced concrete beams using the genetic algorithm](#). *Numerical Methods in Civil Engineering*, 2(1): 15–23.
- [12] Tuấn, P. M. (2019). [Khả năng chịu mô men uốn của dầm bê tông cốt hỗn hợp thép và GFRP theo TCVN 5574:2018](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXDHN*, 13(4V):73–81.
- [13] TCVN 5574:2018. *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [14] Minh, P. Q., Phong, N. T., Thắng, N. T., Tùng, V. M. (2021). *Kết cấu bê tông cốt thép phần cấu kiện cơ bản TCVN 5574:2018*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [15] SP 295.1325800.2017 (2017). *Concrete structures reinforced with fibre-reinforced polymer bars*. Design rules. Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation.