

Ứng xử của cột liên hợp thép-bê tông chịu nén đúng tâm có xét đến từ biến và hàm lượng thép

Behavior of the steel-concrete composite column considering the creep and steel ratio

Trần Thu Hiền^{a,b*}, Nguyễn Thế Dương^{a,b}
Tran Thu Hien^{a,b*}, Nguyen The Duong^{a,b}

^aViện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ Cao, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

^aInstitute of Research and Development, Duy Tan University, Da Nang, 550000, Vietnam

^bKhoa Xây dựng, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

^bFaculty of Civil Engineering, Duy Tan University, Da Nang, 550000, Vietnam

(Ngày nhận bài: 05/02/2021, ngày phân biên xong: 06/02/2021, ngày chấp nhận đăng: 25/02/2021)

Tóm tắt

Bài báo nghiên cứu ứng xử của cấu kiện liên hợp thép - bê tông chịu nén đúng tâm bằng mô phỏng phần tử hữu hạn với phần mềm Cast3M. Hiện tượng từ biến của bê tông được đưa vào trong mô phỏng tính toán. Ảnh hưởng của hàm lượng thép cũng được xem xét.

Từ khóa: Cột liên hợp; từ biến; hàm lượng thép; phần tử hữu hạn.

Abstract

This research investigates the behavior of steel-concrete composite column subjected to axial loading. Finite element method (FEM) simulation based on the Cast3M software package was used. The creep of concrete was included in the simulation. The effect of the steel ratio is also studied.

Keywords: Steel-concrete composite column; creep; steel ratio; FEM.

1. Giới thiệu chung

Từ biến là hiện tượng gia tăng biến dạng dưới tác dụng của một ứng suất không đổi. Bê tông là một loại vật liệu từ biến. Từ biến của bê tông chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố. Có thể chia ra làm hai loại: những yếu tố nội tại liên quan đến bản thân tính chất vật liệu bê tông và những yếu tố liên quan đến điều kiện môi trường bên ngoài. Từ biến của bê tông được

phân ra làm hai thành phần: từ biến do khô và từ biến cơ bản [1].

Từ biến ảnh hưởng đến biến dạng, độ võng và sự phân bố ứng suất của kết cấu và sự ảnh hưởng này thay đổi tùy theo loại kết cấu [1]. Khi tính toán, thiết kế các công trình cao tầng có tuổi thọ lên đến hàng trăm năm thì việc đánh giá, tính toán đến yếu tố biến đổi dài hạn theo thời gian có ý nghĩa quan trọng. Việc tính toán

*Corresponding Author: Tran Thu Hien; Institute of Research and Development, Duy Tan University, Da Nang, 550000, Vietnam; Faculty of Civil Engineering, Duy Tan University, Da Nang, 550000, Vietnam
Email: tranthuhien4@dtu.edu.vn

đến yếu tố dài hạn nhằm mô tả, dự báo một cách chính xác nhất ứng xử của công trình cũng như các kịch bản có thể xảy ra để từ đó giúp người sử dụng sau này (bao gồm cả đơn vị quản lý, đơn vị vận hành bảo trì) có các ứng xử và kế hoạch thích hợp.

Trong công trình nhà cao tầng, các cột và vách ở các tầng phía dưới chịu nén rất lớn dưới tác dụng của tải trọng thường xuyên, dài hạn, do vậy chịu ảnh hưởng lớn của từ biến. Điều này có thể làm cho công trình bị biến dạng không đều theo thời gian và do đó có thể ảnh hưởng đến các bộ phận phi kết cấu như tường, cửa, đường ống... Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của loại biến dạng này trong kết cấu nhà cao tầng vì vậy có ý nghĩa quan trọng.

Trong các yếu tố ảnh hưởng đến từ biến của cấu kiện, ngoài các yếu tố điều kiện khí hậu, đặc tính vật liệu bê tông thì hàm lượng thép cũng có ảnh hưởng đáng kể [1]. Những ảnh hưởng này thường mang tính tích cực, có nghĩa là làm giảm được từ biến của cấu kiện. Tuy nhiên, việc đánh giá đúng đắn vai trò của cốt thép đối với loại biến dạng này có ý nghĩa thực tiễn và khoa học, giúp các kỹ sư hiểu biết một cách đúng đắn hơn về ứng xử dài hạn của cấu kiện sử dụng bê tông và thép.

Bài báo này nghiên cứu ứng xử của cấu kiện cột liên hợp thép-bê tông chịu nén đúng tâm có

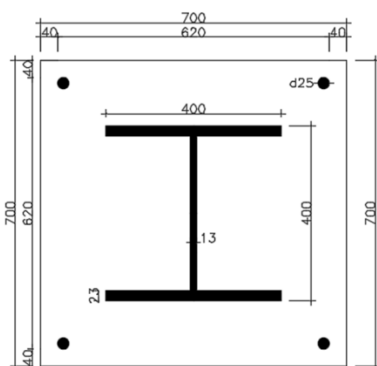
xét đến hiện tượng từ biến của bê tông. Phần mềm Cast3M được dùng để viết chương trình thuật toán mô phỏng trạng thái ứng suất, biến dạng của cấu kiện theo thời gian.

2. Các mô hình tính toán từ biến của bê tông

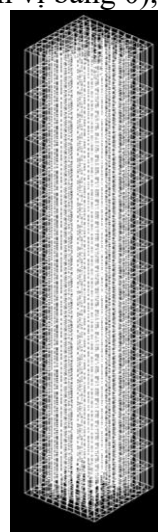
Bài báo sử dụng code phần tử hữu hạn Cast3M dựa trên nền tảng ngôn ngữ lập trình Gibiane để mô phỏng ứng xử của cấu kiện liên hợp chịu nén đúng tâm theo thời gian [2]. Đây là một phần mềm tính toán phần tử hữu hạn (PTHH) mã nguồn mở miễn phí (phục vụ mục đích nghiên cứu và giáo dục) được phát triển bởi Ủy ban Năng lượng nguyên tử và năng lượng tái tạo Pháp (CEA). Nhờ vào sức mạnh tính toán và tính cơ động trong việc xây dựng mô hình tính lần xử lý kết quả, Cast3M trở thành một công cụ đáng tin cậy trong lĩnh vực nghiên cứu và giảng dạy ở Pháp [2].

Một cột liên hợp thép-bê tông có mặt cắt ngang như Hình 1a được mô phỏng bằng phần mềm Cast3M. Cột liên hợp thép - bê tông cốt thép được mô tả như một khối bê tông bọc một khối thép chữ I. Bốn cây thép thanh được đặt tại bốn góc cột và có thể thay đổi đường kính. Bê tông và thép hình được mô tả là phần tử khối, thép thanh là phần tử thanh.

Hình 1b thể hiện các phần tử cột được mô phỏng, với điều kiện biên như sau: chân cột ngàm (chuyển vị bằng 0), đầu cột tự do.



a. Mặt cắt ngang (kích thước mm)



b. Mô phỏng PTHH cột bằng Cast3M

Hình 1. Cấu kiện cột liên hợp thép-bê tông

Hàm lượng thép trong cột được thay đổi bằng cách thay đổi kích thước thép hình chữ I như sau: 250×250 , 300×300 , 350×350 và 400×400 . Hàm lượng thép tương ứng khi đó là 2.22%, 2.79%, 3.88%, 4.78%.

Để làm rõ quá trình từ biến ảnh hưởng đến cấu kiện liên hợp thép - bê tông chịu nén, từ biến của bê tông được xem xét, tính toán theo từng bước thời gian. Phần mềm Cast3M với thuật toán PASAPAS được sử dụng để tính toán. Thuật toán PASAPAS cho phép tính toán theo bước thời gian khi người dùng đưa vào thông số thay đổi. Phần thay đổi biến dạng do từ biến bê tông theo thời gian được cập nhật thông qua tải trọng tác dụng ở mỗi thời điểm.

Giả thiết tác dụng một áp lực thẳng đứng phân bố đều trên toàn bộ diện tích mặt cắt ngang đầu cột và có giá trị bằng 10 MPa.

$$\text{Ứng suất ban đầu } \sigma_0(t_i) = \varepsilon_{total}(t_i)E_c(t_i) \quad (1)$$

$$\text{Ứng suất sau khi phát sinh biến dạng bê tông } \sigma(t_i) = \sigma_0(t_i) + \Delta\sigma(t_i) \quad (2)$$

Cập nhật tải trọng trong chương trình được lập trình thông qua các bước sau đây:

Từ bước thời gian t_1 đến thời gian t_2 , tính toán các hàm từ biến như sau [3]:

$$\Delta f_{cr} = \frac{t_2^{0.6}}{t_2^{0.6} + 10} - \frac{t_1^{0.6}}{t_1^{0.6} + 10} \quad (3)$$

Biến dạng do từ biến gia tăng trong thời gian từ t_1 đến t_2 :

$$\Delta \varepsilon_{cr}(t_1, t_2) = \Delta f_{cr} \phi_u \varepsilon_{ci0} \quad (4)$$

Tính toán ứng suất phụ thêm sinh ra do biến dạng này bằng cách nhân với mô đun đàn hồi của bê tông:

$$\Delta \sigma_{cr}(t_1, t_2) = E_c \Delta \varepsilon_{cr}(t_1, t_2) \quad (5)$$

Lọc ra thành phần ứng suất nén theo phương z theo cú pháp:

$$\text{SIGZ} = \text{EXCO SIGZ}'\text{EPZZ}'\text{'SMZZ}' \quad (6)$$

Chuyển ứng suất về lực tác dụng tại nút phần tử bằng cách sử dụng hàm tích phân **BSIG** trên mô hình bê tông. Ví dụ:

$$\text{FORC_ADD} = \text{BSIG MOD_BT SIGZ} \quad (7)$$

Ở mỗi bước tính toán, cập nhật thành phần lực này vào ma trận tải trọng cũ:

$$\text{chvar0} = \text{CHAR MECA FORC_ADD evconst} \quad (8)$$

Trong đó *evconst* là hàm mô tả sự biến đổi của đại lượng lực phụ thêm này theo thời gian, là một hàm hằng số trong khoảng từ t_1 đến t_2 .

3. Kết quả

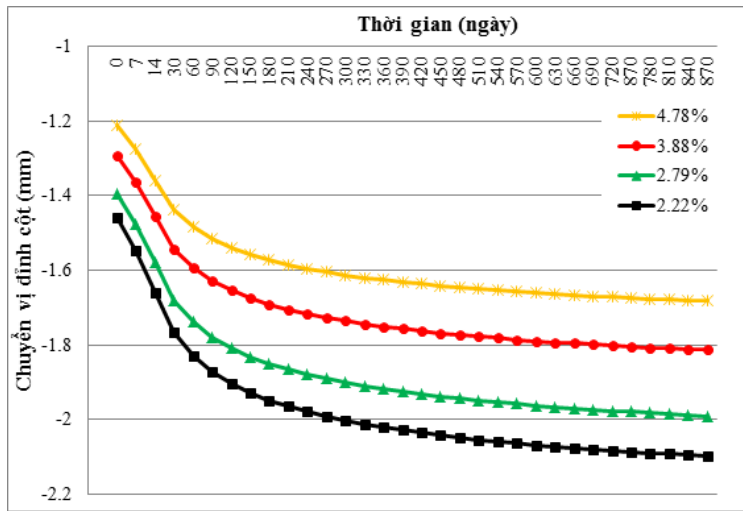
Các kết quả mô phỏng đều cho thấy ứng suất trong bê tông, thép tăng dần so với tại thời điểm ban đầu. Ứng suất trung bình theo phương thẳng đứng trong bê tông tại vị trí giữa cột tăng từ 1.40×10^7 lên 1.94×10^7 Pa (tương ứng 38.6%) sau 870 ngày. Tương tự, ứng suất trung bình theo phương thẳng đứng trong thép hình tại vị trí giữa cột tăng từ 3.65×10^7 lên 5.07×10^7 Pa (tương ứng 38.9%) sau 870 ngày. Lực dọc trong thép tăng từ 3.14 lên 4.39 N (tương ứng 39.8%).

Như vậy, ứng suất trung bình tại vị trí giữa cột theo phương thẳng đứng trong bê tông và thép hình, lực dọc trong thép thanh đều tăng khoảng gần 40% sau 870 ngày nếu xét đến từ biến của bê tông. Hình 2 thể hiện chuyển vị theo thời gian tại vị trí đỉnh cột với các hàm lượng thép khác nhau. Theo thời gian, chuyển vị tại đỉnh cột tăng dần dù tải trọng ban đầu không đổi. Điều này là do hệ quả từ biến của bê tông gây ra. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với kết quả thu được bởi tác giả Nguyễn [4].

Hàm lượng thép càng tăng thì chuyển vị đỉnh cột càng giảm (Hình 2). Điều này hoàn toàn hợp lý, vì thép có mô đun đàn hồi lớn gấp khoảng 7 lần bê tông, do đó sự có mặt của thép làm tăng độ cứng tổng thể của khối bê tông và

thép. Nếu tăng kích thước thép hình từ I250×250 lên I400×400 (tức gấp đôi hàm lượng

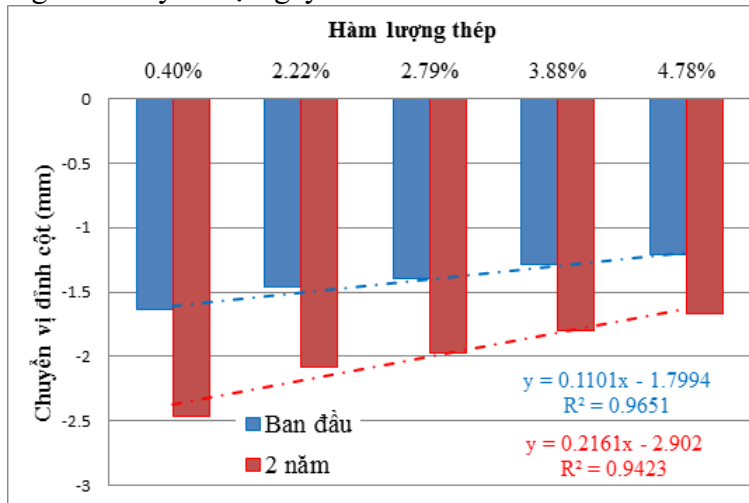
thép, từ 2.22 lên 4.78%) thì chuyển vị giảm 20% (từ 2.09 xuống 1.68 mm).



Hình 2. Chuyển vị tại đỉnh cột theo thời gian và hàm lượng thép

Quan sát Hình 2 và Hình 3 thấy rằng, chuyển vị tại đỉnh cột và hàm lượng thép có mối quan hệ gần như tuyến tính với nhau. Hàm lượng thép ảnh hưởng tới chuyển vị ngay từ

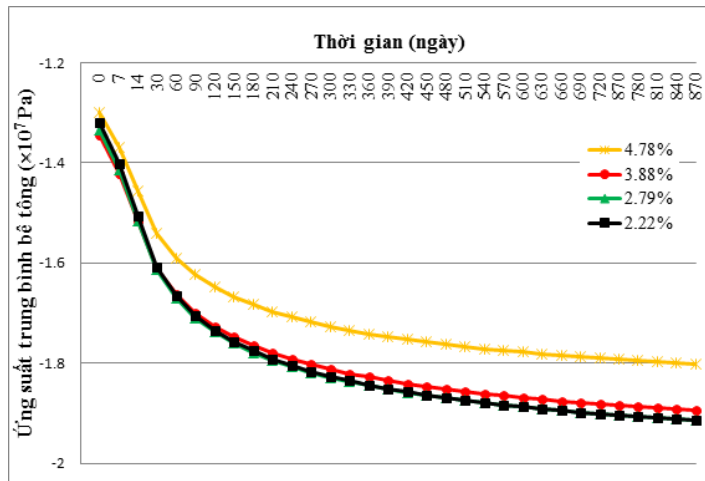
thời điểm ban đầu khi vừa chất tải. Ngoài ra, khi tăng hàm lượng thép thì chuyển vị đỉnh cột tăng thêm do biến dạng của từ biến của bê tông giảm xuống.



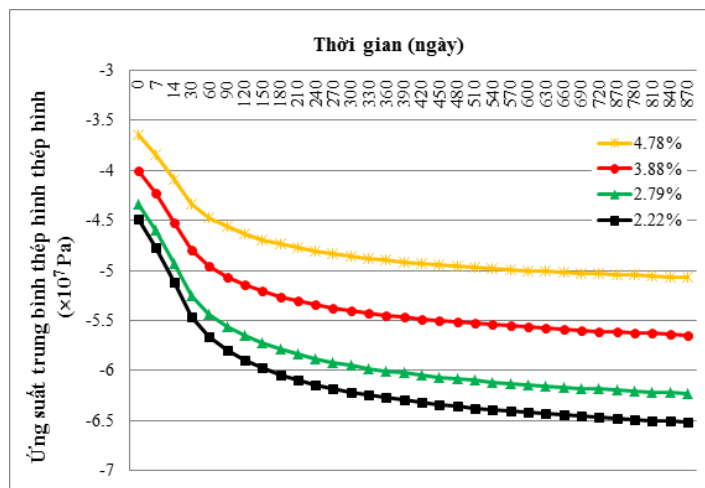
Hình 3. Chuyển vị tại đỉnh cột và hàm lượng thép ở thời điểm ban đầu và 2 năm sau khi chất tải

Các biểu đồ từ Hình 4 đến Hình 6 lần lượt thể hiện sự thay đổi của ứng suất trung bình trong bê tông, ứng suất trung bình trong thép hình tại vị trí giữa cột, lực dọc trong thép thanh theo thời gian ứng với các hàm lượng thép khác nhau trong cột.

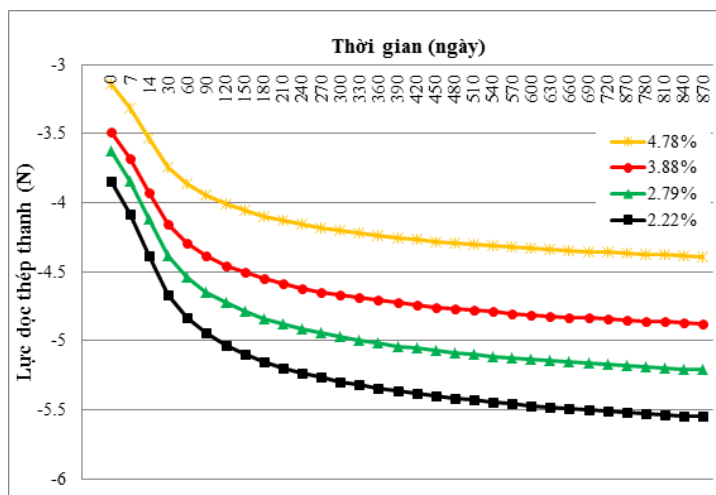
Ứng suất trong bê tông, thép hình và lực dọc trong thép thanh đều giảm dần khi hàm lượng thép tăng lên. Điều này là hợp lí vì như đã nói trên, thép có độ cứng lớn hơn bê tông.



Hình 4. Ứng suất trong bê tông và hàm lượng thép theo thời gian



Hình 5. Ứng suất trong thép hình và hàm lượng thép theo thời gian



Hình 6. Lực dọc trong thép thanh và hàm lượng thép theo thời gian

4. Kết luận

Bài báo đã lập trình mô phỏng được ứng xử của cột liên hợp thép-bê tông có xét đến biến dạng từ biến của bê tông bằng code phần tử hữu

hạn Cast3M. Từ biến của bê tông được đánh giá theo tiêu chuẩn ACI 209R-1992. Các kết quả tính toán cho phép đưa ra một số kết luận sau:

Từ biến của bê tông ảnh hưởng tới ứng xử dài hạn của cấu kiện cột liên hợp thép bê tông chịu nén đúng tâm. Theo thời gian, chuyển vị đỉnh cột, ứng suất trong bê tông, thép hình, lực dọc trong thép thanh tăng lên. Sau 870 ngày, tăng khoảng 40% dù tải trọng tác dụng không đổi.

Kích thước thép hình (hàm lượng thép) càng tăng thì ứng suất trong bê tông, thép hình, lực dọc trong thép thanh càng giảm. Điều này là do thép có mô đun đàn hồi lớn hơn bê tông. Ngoài ra, hàm lượng thép tăng sẽ làm giảm hệ quả của từ biến gây ra đối với chuyển vị đỉnh cột.

Tuy nhiên, bài báo chỉ giới hạn mô phỏng cấu kiện liên hợp chịu nén đúng tâm. Các trường hợp chịu tải trọng khác, phức tạp hơn như chịu nén lệch tâm phẳng hay xiên chưa

được xét đến. Ngoài ra, bài báo cũng mới chỉ đánh giá ảnh hưởng của từ biến bê tông mà chưa xét đến biến dạng khác của bê tông như là co ngót. Vì vậy, hướng phát triển tiếp theo được kiến nghị là đánh giá thêm yếu tố co ngót của bê tông và xét với cấu kiện chịu làm việc ở trạng thái tổng quát hơn.

Tài liệu tham khảo

- [1] A. M. Neville, *Properties of Concrete*, fourth edition, Willey 1996.
- [2] CAST3M, <http://www-cast3m.cea.fr/>.
- [3] ACI 209R-92, *Guide for Modeling and Calculating Shrinkage and Creep in Hardened Concrete*, Reported by ACI Committee 209.
- [4] K.K Nguyễn, *Ảnh hưởng của thép đến ứng xử dài hạn của cấu kiện chịu nén bê tông cốt thép*. Luận văn thạc sỹ đại học Duy Tân, 2019.