

XÂY DỰNG MÔ HÌNH THÍ NGHIỆM XÁC ĐỊNH CHÙNG ỨNG SUẤT CỦA BÊ TÔNG TRONG KẾT CẤU DẦM BÊ TÔNG CỐT THÉP

Nguyễn Mạnh Hùng^{a,*}, Ngô Thế Phong^a, Nguyễn Trung Hiếu^a

^a*Khoa Xây dựng dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng,
số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 16/08/2019, Sửa xong 07/09/2019, Chấp nhận đăng 08/09/2019

Tóm tắt

Từ biến và chùng ứng suất là hai đặc trưng cơ học của bê tông, xảy ra đồng thời khi bê tông chịu tác dụng của tải trọng dài hạn. Đây là các đặc trưng cơ học ảnh hưởng chính đến ứng xử dài hạn của kết cấu bê tông cốt thép (BTCT) nói chung và kết cấu dầm BTCT chịu uốn nói riêng. Nội dung bài báo trình bày xây dựng mô hình thí nghiệm nhằm xác định được chùng ứng suất của bê tông cho trường hợp kết cấu dầm BTCT chịu uốn. Mô hình thí nghiệm được xây dựng là cơ sở cho việc nghiên cứu đặc trưng cơ học của bê tông, vốn còn rất hạn chế do khó khăn trong công tác thực nghiệm.

Từ khoá: từ biến; chùng ứng suất; biến dạng co ngót; dầm BTCT.

PROTOTYPE AN EXPERIMENTAL MODEL TO DETERMINE THE CONCRETE STRESS RELAXATION IN REINFORCED CONCRETE BEAM

Abstract

Creep and stress relaxation are two mechanical characteristics of concrete, occurring simultaneously when concrete is subjected to long-term load. These are the mechanical characteristics that mainly affect the long-term behavior of reinforced concrete structures in general and bending reinforced concrete beam in particular. The paper presents the experimental model to determine the concrete stress relaxation in reinforced concrete beam. The experimental model is built as a basis for studying the mechanical characteristics of concrete, which is still very limited due to difficulties in experimental.

Keywords: creep; stressrelaxation; shrinkage deformation; reinforced concrete beam.

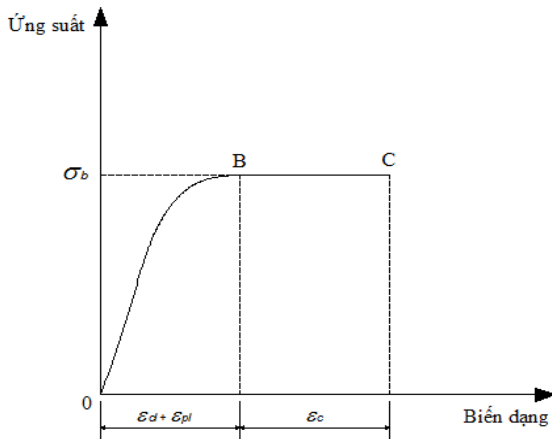
[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(4V\)-01](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(4V)-01) © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Mở đầu

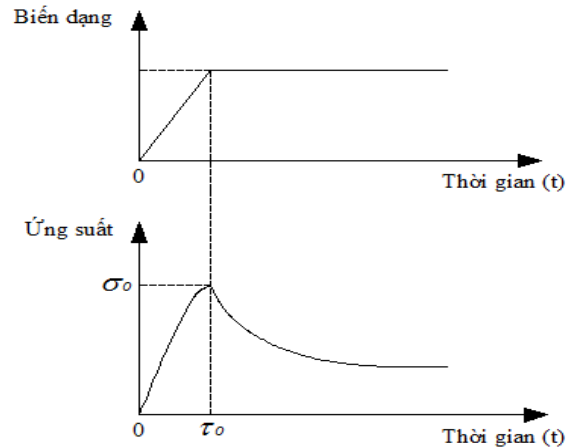
Sự làm việc của kết cấu công trình Bê tông cốt thép (BTCT) phụ thuộc rất nhiều yếu tố khác nhau như đặc trưng cơ lý của vật liệu chế tạo, tải trọng tác dụng, điều kiện tự nhiên môi trường nơi công trình làm việc... trong đó, đặc trưng cơ học của bê tông có ảnh hưởng lớn đến ứng xử của kết cấu này. Theo nhiều nghiên cứu của các tác giả trên thế giới, biến dạng từ biến của bê tông (Hình 1) là yếu tố ảnh hưởng chính đến ứng xử dài hạn của kết cấu BTCT như làm tăng độ võng của kết cấu theo thời gian. Sự làm việc dài hạn của kết cấu công trình BTCT còn liên quan trực tiếp đến tính chất cơ học “chùng ứng suất” (Stress Relaxation) của bê tông (Hình 2). Chùng ứng suất là sự suy giảm ứng suất trong kết cấu bê tông khi biến dạng được duy trì theo thời gian mà trường hợp đặc biệt là biến dạng không đổi. Có thể thấy, từ biến và chùng ứng suất xảy ra đồng thời khi kết cấu BTCT làm việc dài

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: hungracbt@gmail.com (Hùng, N. M.)

hạn. Từ biến và chùng ứng suất là hai mặt của một tính chất của bê tông. Tính chất đó dẫn đến sự phân phối lại nội lực trong kết cấu bê tông và bê tông cốt thép.



Hình 1. Biểu dạng từ biến của bê tông



Hình 2. Chùng ứng suất trong kết cấu bê tông

Nghiên cứu về biến dạng dài hạn của bê tông nói chung và biến dạng từ biến là một nội dung nghiên cứu nhận được nhiều sự quan tâm. Thông thường, biến dạng từ biến của bê tông được biểu diễn qua hệ số từ biến và đã được chỉ dẫn trong nhiều tiêu chuẩn tính toán hiện hành như tiêu chuẩn ACI 318-14 [1], Eurocode 2:2004 [2], TCVN 5574:2018 [3]... Ngược lại những nghiên cứu về chùng ứng suất trong kết cấu bê tông còn khá hạn chế. Có nhiều nguyên nhân khác nhau như ảnh hưởng của chùng ứng suất là nhỏ, chùng ứng suất được kể đến thông qua hệ số già của nhà khoa học Trost [4, 5] và Bazant [6]. Nhưng chủ yếu là do khó khăn về thực nghiệm để xác định đặc trưng cơ học này.

Trên kết cấu công trình thực tế có thể kể đến một trường hợp điển hình mà ảnh hưởng của chùng ứng suất là cần xem xét, đó là khi tính toán dầm móng BTCT có tính đến chênh lệch lún giữa các đài móng. Sự chênh lệch lún này gây ra một biến dạng dài hạn lên dầm móng và gây ra ảnh hưởng đáng kể đến sự thay đổi ứng suất trong dầm do hiện tượng chùng ứng suất [7].

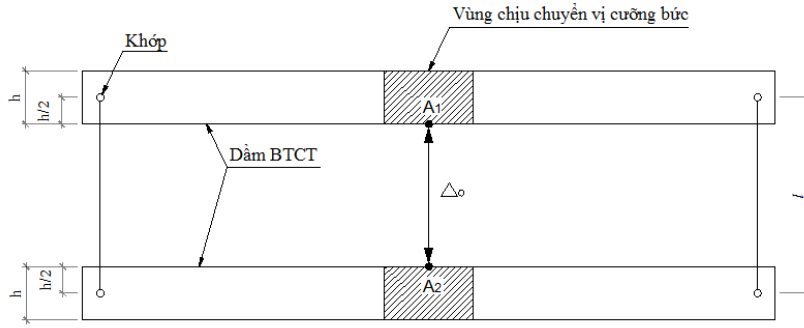
Nội dung của bài báo trình bày nghiên cứu xây dựng mô hình và quy trình thí nghiệm xác định đặc trưng chùng ứng suất của bê tông trên kết cấu dầm BTCT làm việc chịu uốn. Cơ sở của nghiên cứu là tạo ra một biến dạng cưỡng bức được duy trì không đổi trên kết cấu thí nghiệm và khảo sát sự thay đổi ứng suất trong bê tông. Nghiên cứu được thực hiện tại Phòng thí nghiệm và kiểm định công trình, trường Đại học Xây dựng.

2. Xây dựng mô hình thí nghiệm đo chùng ứng suất của bê tông trên kết cấu dầm BTCT làm việc chịu uốn

2.1. Cơ sở thiết lập mô hình thí nghiệm

Xét mô hình thí nghiệm gồm hai dầm BTCT có cùng kích thước hình học, cấu tạo cốt thép và vật liệu chế tạo như trên Hình 3. Ở hai đầu tự do của hai dầm được liên kết bằng hai thanh thép tròn trơn có cùng tiết diện S_0 . Vai trò của hai thanh thép này sẽ được đề cập ở mục sau.

Khoảng cách ban đầu giữa hai dầm là Δ_0 như ký hiệu trên Hình 3 (khoảng cách ban đầu giữa hai thanh cốt thép là $l = \Delta_0 + h$, với h là chiều cao của tiết diện dầm BTCT). Tạo ra một chuyển vị cưỡng bức tại vùng tiết diện giữa hai dầm sao cho khoảng cách tại vị trí hai điểm A_1 và A_2 là Δ_1 ($\Delta_1 > \Delta_0$), khi đó trong hai thanh thép tiết diện S_0 sẽ xuất hiện lực kéo F_1 .

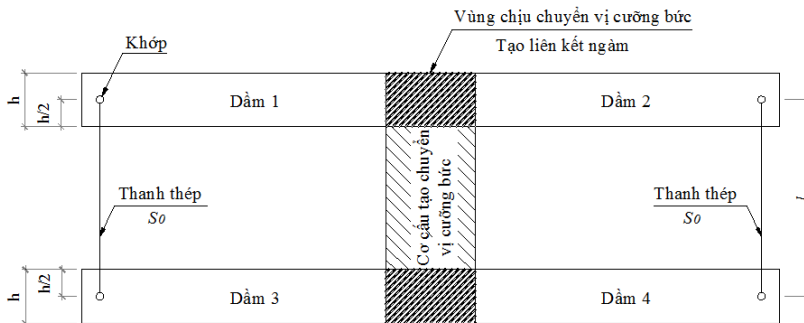


Hình 3. Cơ sở thiết lập mô hình thí nghiệm đo chùng ứng suất trong dầm BTCT

Nếu giữ nguyên chuyển vị Δ_1 không thay đổi theo thời gian thì lúc này sơ đồ làm việc của hai dầm thí nghiệm có thể được quy đổi thành sơ đồ dầm một đầu liên kết ngàm và một đầu liên kết khớp. Trong đó, đầu liên kết ngàm tại vùng tiết diện giữa dầm (vùng gạch chéo trên Hình 3), đầu liên kết khớp tại vị trí thanh thép liên kết. Bằng cách này, từ sơ đồ thí nghiệm gồm hai dầm BTCT như ở Hình 3 có thể tạo thành sơ đồ thí nghiệm gồm 4 dầm có liên kết ngàm - khớp như minh họa trong Hình 4. Đối với mỗi dầm, phản lực tại gối tựa có liên kết khớp sẽ được xác định bằng với lực căng F_1 trong thanh thép liên kết do chuyển vị ($\Delta_1 - \Delta_0$) tạo ra. Việc duy trì giá trị chuyển vị này không thay đổi theo thời gian sẽ tạo ra tác dụng dài hạn lên các kết cấu dầm BTCT, gây ra hiện tượng từ biến và chùng ứng suất của bê tông. Tính chất này, cùng với bản thân sự chùng ứng suất trong thanh thép liên kết, sẽ khiến cho lực F_1 suy giảm theo thời gian. Nếu xác định được sự suy giảm giá trị F_1 theo thời gian có thể xác định được sự thay đổi ứng suất (kéo, nén) trong tiết diện bê tông ở vùng gối tựa ngàm dựa trên các công thức tính toán kết cấu BTCT. Đây là cơ sở để xác định đặc trưng chùng ứng suất của vật liệu này.

2.2. Mô hình thí nghiệm

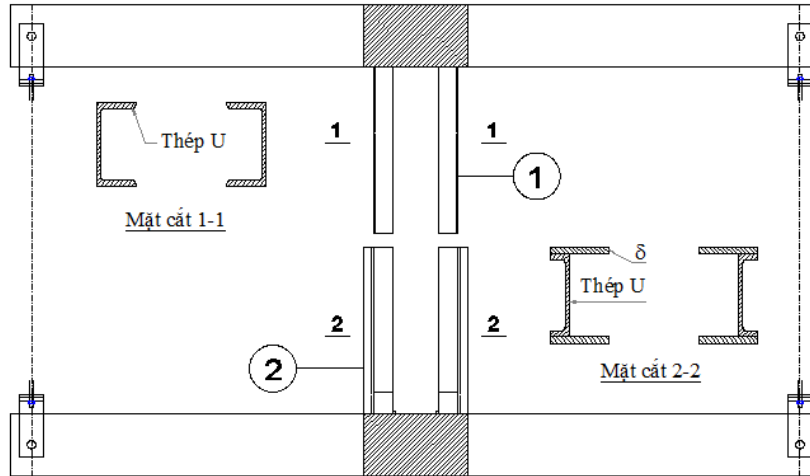
Mô hình thí nghiệm xây dựng được thể hiện trên Hình 4, trên mô hình thí nghiệm sẽ có 4 cấu kiện dầm BTCT cùng chủng loại được thí nghiệm tại một thời điểm.



Hình 4. Mô hình thí nghiệm chùng ứng suất dầm BTCT

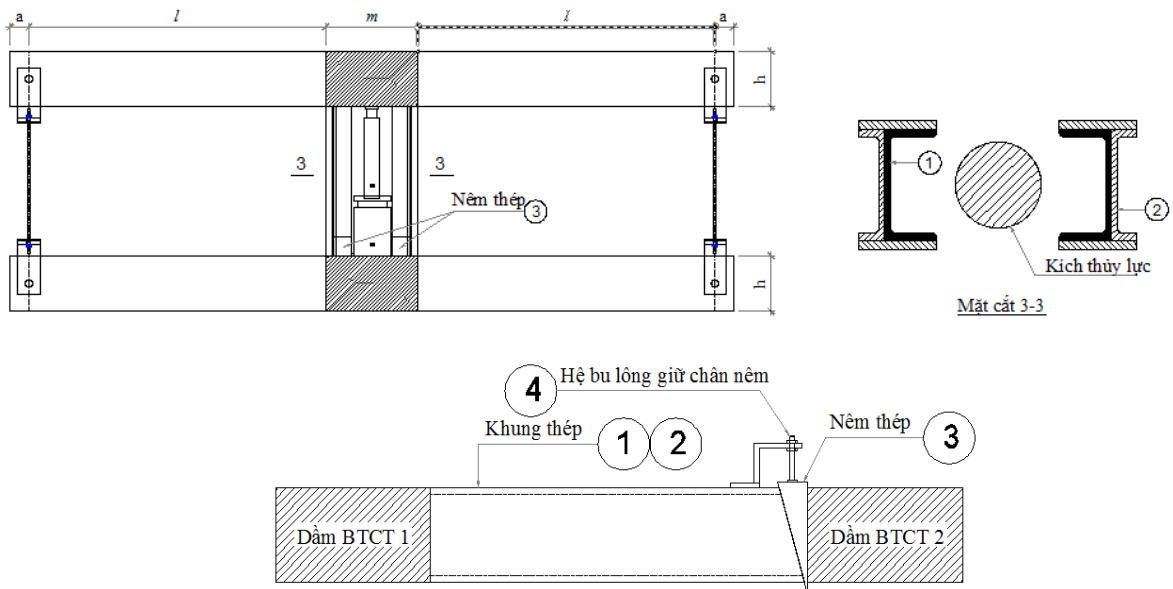
Để tạo được chuyển vị cưỡng bức tại vị trí giữa của hai dầm, trong nghiên cứu này đã thiết kế chế tạo một hệ khung thép có thể trượt dọc theo phương tạo chuyển vị cưỡng bức và hệ phải đủ cứng để chịu tải trọng gây ra chuyển vị này. Hệ khung này được gia công cùng quá trình chế tạo các dầm BTCT. Đây cũng là vị trí đặt kích thủy lực gia tải tạo chuyển vị cưỡng bức của dầm. Chi tiết hệ khung

thép được thể hiện trên Hình 5, cấu tạo hệ khung là các thép hình U và thép tấm δ được liên kết hàn với nhau tạo thành hộp cứng mà chi tiết số 1 (gia công liền với dầm số 1) và chi tiết số 2 (gia công liền với dầm số 2) có thể trượt trên nhau dễ dàng.



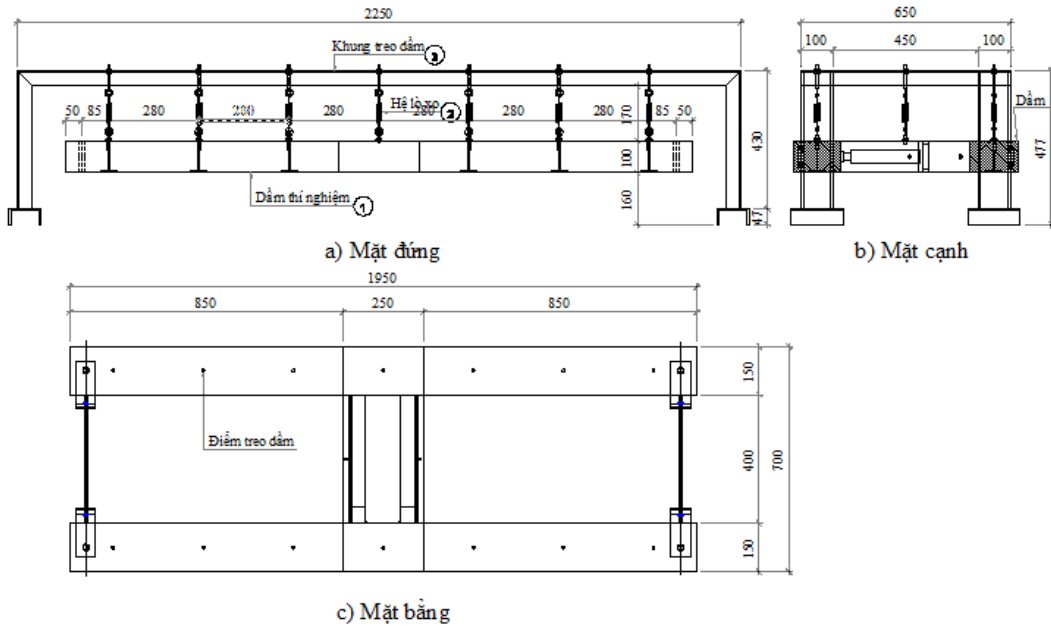
Hình 5. Cấu tạo hệ khung trượt tạo chuyển vị cưỡng bức

Sau khi đặt kích thủy lực vào giữa khung thép gia tải tạo chuyển vị cưỡng bức trên dầm, hai nệm thép sẽ được lắp đặt vào hai đầu của khung chi tiết số 1 trên dầm 1 để khóa cứng chuyển vị của hệ khung trượt, giải phóng kích thủy lực và khi đó chi tiết số 1 cùng nệm thép sẽ chịu toàn bộ tải trọng tác dụng vào hệ dầm, chi tiết số 2 có tác dụng chống xoay cho toàn bộ khung thép, mô tả trên Hình 6. Hai thanh thép S_0 khi đó chịu tác dụng của 1/2 tải trọng tác dụng vào hệ khung trượt, do đó cần được chọn tiết diện phù hợp sao cho thanh làm việc trong giai đoạn đàn hồi.



Hình 6. Sơ đồ hệ nệm thép khóa cứng chuyển vị của dầm

Tiến hành treo hệ dầm nằm ngang (chiều cao tiết diện dầm nằm song song với mặt đất), nhằm mục đích khử thành phần trọng lượng bản thân của dầm trong tính toán khi tạo tải trọng tác dụng vào hệ dầm. Để treo hệ dầm theo phương nằm ngang, sử dụng hệ khung thép và các lò xo đàn hồi liên kết dầm với hệ khung treo. Các lò xo sử dụng cùng chủng loại, được bố trí đều 280 mm theo chiều dài dầm, đảm bảo phân bố đều lực treo lên dầm như Hình 7.



Hình 7. Sơ đồ hệ quang treo khử trọng lượng bản thân dầm

Bố trí dụng cụ, thiết bị đo:

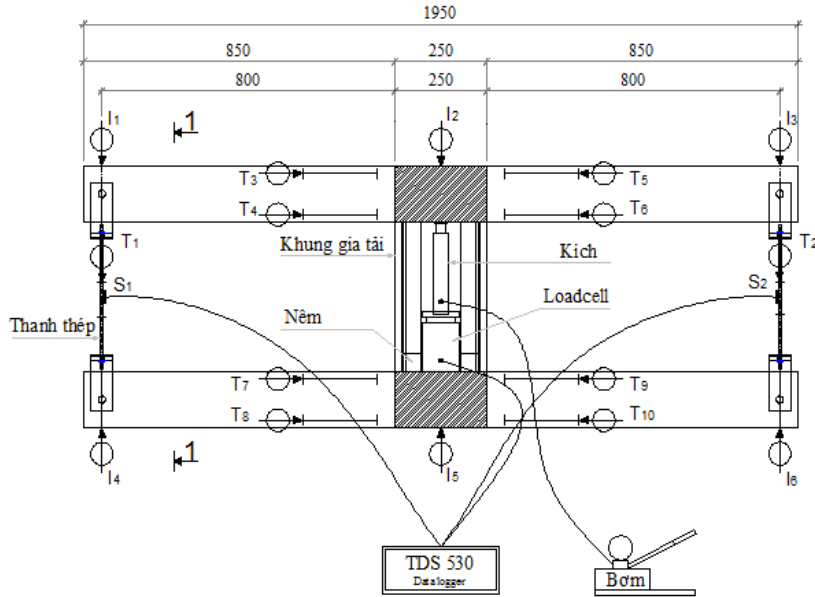
Trong thí nghiệm này, các dụng cụ và thiết bị đo sau được sử dụng [8]:

- Đo lực: Sử dụng kích thủy lực kết hợp với trạm bơm dầu tác dụng lên hai dầm thí nghiệm để tạo ra chuyển vị ban đầu. Giá trị của lực tác dụng được kiểm soát thông qua dụng cụ đo lực điện tử Load Cell. Giá trị của lực tác dụng lên các mẫu dầm được xác định đủ để gây ra vết nứt trên các dầm và bề rộng vết nứt không vượt quá 0,2 mm.

- Đo chuyển vị trên các dầm: Chuyển vị của các dầm dưới tác dụng của tải trọng thí nghiệm gây ra được đo bằng các Indicator cơ học. Đối với mỗi dầm, sử dụng 3 Indicator bố trí tại tiết diện giữa dầm và tại hai vị trí thanh thép liên kết ở hai đầu dầm (ký hiệu I_1 đến I_6). Các Indicator có hệ số khuếch đại $k = 100$ (tương ứng giá trị 1 vạch đo bằng 0,01 mm), các Indicator này còn được sử dụng để theo dõi chuyển vị theo thời gian của các dầm thí nghiệm do các biến dạng dài hạn của bê tông, chùng ứng suất của thanh thép liên kết và của bê tông gây ra.

- Đo biến dạng trên thanh thép liên kết: Sử dụng hai Indicator cơ học kết hợp thanh chống (ký hiệu T_1 và T_2), với các đặc trưng như: hệ số khuếch đại $k = 1000$, chiều dài chuẩn đo $L_0 = 240$ mm, giá trị biến dạng đo được tương ứng với số đọc của một vạch đo là $4,167 \times 10^{-6}$. Bên cạnh đó bố trí hai Strain gauge điện trở tại tiết diện giữa của hai thanh thép để đo biến dạng của thanh thép trong quá trình gia tải ban đầu.

- Đo biến dạng bê tông vùng tiết diện ngang: Biến dạng của bê tông vùng chịu kéo và chịu nén được xác định bằng các Indicator cơ học kết hợp với thanh chống như trên Hình 8 (ký hiệu T_3 đến T_{10}), với các đặc trưng như: hệ số khuếch đại của dụng cụ đo $k = 100$, chiều dài chuẩn đo $L_0 = 300$ mm, giá trị biến dạng đo được tương ứng với số đọc của một vạch đo là $0,333 \times 10^{-6}$. Việc đo đạc được tiến hành tại 4 vùng tiết diện. Dựa trên các số liệu đo được cho phép xác định sự thay đổi biến dạng của bê tông tại các vùng khảo sát, là cơ sở để xác định đặc trưng chùng ứng suất của bê tông.



Hình 8. Sơ đồ bố trí thiết bị đo

Các số đọc trên dụng cụ đo chuyển vị, đo biến dạng trên bê tông và trên thanh thép liên kết được ghi nhận theo thời gian và cùng một thời điểm trong suốt quá trình tiến hành thí nghiệm. Với việc sử dụng các dụng cụ đo cơ học như đã trình bày cho phép loại bỏ được ảnh hưởng của điều kiện môi trường (nhiệt độ, độ ẩm) đến kết quả đo.

2.3. Quy trình thí nghiệm

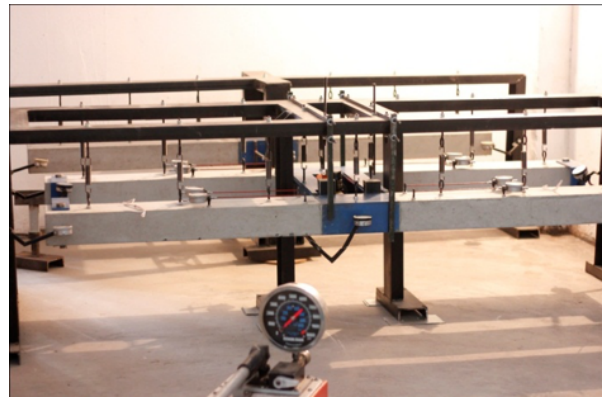
Gia công hệ dầm và hệ khung trượt thép tạo chuyển vị cưỡng bức theo đúng bản vẽ thiết kế, hệ khung được đúc cùng với quá trình đúc các mẫu dầm. Khi bê tông đủ 28 ngày tuổi và đã đạt cường độ thiết kế, tiến hành lắp dựng hệ dầm nằm ngang và ghép hai khung trượt tạo chuyển vị cưỡng bức vào nhau. Để tạo cho hệ dầm nằm ngang sử dụng hệ chân kích có thể thay đổi được cao độ và thước nivo để cân bằng. Các lò xo treo dầm được móc trước vào khung treo và điều chỉnh các móc theo cùng một cao độ, hệ khung treo được đưa vào vị trí đặt dầm và tiến hành móc các lò xo vào dầm sau khi đã được căn chỉnh thẳng bằng, Hình 9. Tiến hành giải phóng các chân đỡ dầm ban đầu ra khỏi hệ dầm và tiến hành căn chỉnh lại một lần nữa cao độ dầm bằng cách chỉnh các ốc vặn tại các đầu móc lò xo, sử dụng thước thẳng bằng nivo trong suốt quá trình lắp dựng.

Lắp đặt các thiết bị dụng cụ đo vào đúng vị trí và tiến hành hiệu chuẩn lại các dụng cụ này trước khi tiến hành gia tải.

Tiến hành gia tải thử, khảo sát sự làm việc của các thiết bị đo. Giá trị tải trọng thử được lấy bằng $30\% P_{\text{nứt}}$ tính toán của cầu kiện dầm để đảm bảo dầm không bị nứt khi gia tải thử.



(a) Ghép khung trượt hệ dầm

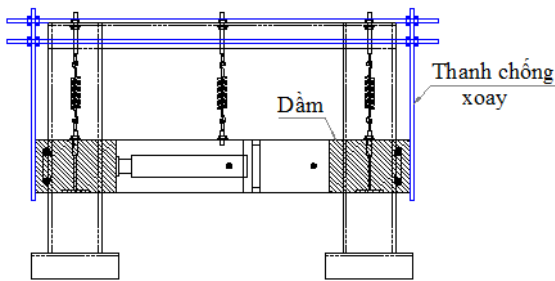


(b) Treo hệ dầm lên khung treo

Hình 9. Lắp dựng hệ dầm thí nghiệm

Tiến hành gia tải đến tải trọng thí nghiệm (tính toán không gây phá hủy dầm và khống chế bề rộng vết nứt xuất hiện không vượt quá 0,2 mm bằng kính soi vết nứt quang học chuyên dụng), khóa cứng các nêm thép bằng các thanh chặn và giải phóng hệ kích thủy lực.

Để chống xoay theo phương ngang của hệ dầm ở vị trí giữa khung tạo liên kết ngàm, bố trí các thanh chặn sao cho vừa tiếp xúc bề mặt khung, đảm bảo hệ khung và dầm vẫn trượt dọc theo trọng lượng bản thân, Hình 10.



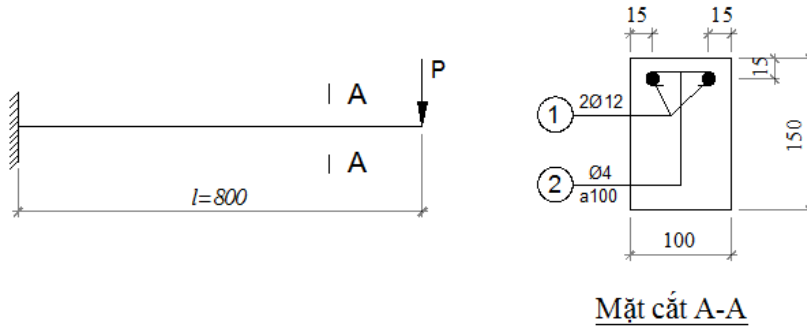
Hình 10. Chi tiết thanh chặn chống xoay ngang hệ dầm

Thu thập số liệu định kỳ theo thời gian, tính toán và xử lý số liệu, viết báo cáo kết quả thu được.

3. Kiểm chứng thực nghiệm mô hình thí nghiệm đề xuất

3.1. Mẫu thí nghiệm

Nghiên cứu thực nghiệm trên các mẫu dầm công xôn BTCT cốt đơn, với các thông số tính toán như sau: Nhịp tính toán $l = 800$ mm, kích thước tiết diện $b \times h = 100 \times 150$ mm, cốt thép đơn bố trí tại vùng kéo $2\phi 12$ với kết quả thí nghiệm ($A_s = 226,08 \text{ mm}^2$; $R_s = 370,0 \text{ MPa}$; $E_s = 216000 \text{ MPa}$), chiều dày lớp bê tông bảo vệ $a = 15$ mm, bê tông chế tạo dầm có cấp độ bền B25 với kết quả thí nghiệm ($R_n = 28,5 \text{ MPa}$; $R_{b,ser} = 1,69 \text{ MPa}$; $E_n = 33850 \text{ MPa}$) [9–11].



Hình 11. Mặt cắt tiết diện dầm thí nghiệm

Các mẫu dầm và hệ khung treo được gia công chế tạo tại phòng thí nghiệm [12].



(a) Đúc các mẫu dầm



(b) Gia công hệ khung treo dầm

Hình 12. Hình ảnh gia công chế tạo mẫu dầm và hệ khung treo

Từ các thông số chế tạo dầm, theo TCVN 5574:2018 có thể tính toán được mô men kháng nứt của dầm là $M_{crc} = 1704841$ Nmm (tương đương tải trọng gây nứt dầm $P_{nứt} = 2131$ N), mô men lớn nhất là $M_{max} = 10065107$ Nmm (tương đương tải trọng phá hủy dầm $P_{max} = 12580$ N), [13].

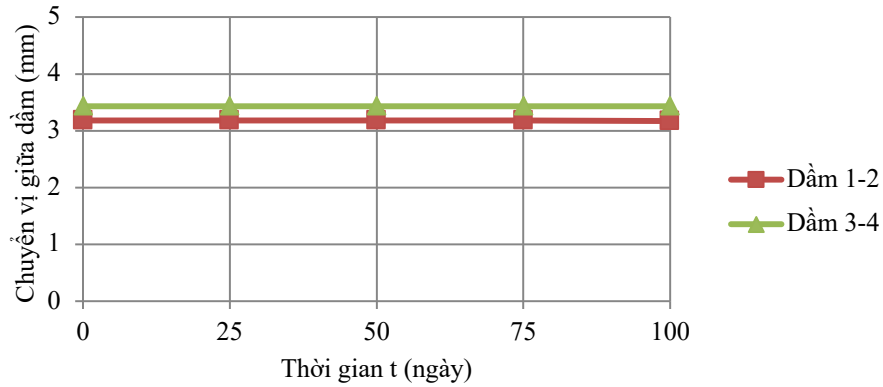
Dựa trên các giá trị tính toán nêu trên và nguyên tắc tác dụng tải trọng trình bày ở mục 2.3, giá trị tải trọng do kích thủy lực tạo ra được lựa chọn sao cho lực kéo trong hai thanh thép liên kết $F_1 = 5000$ N (tương ứng với $40\%P_{max}$). Như vậy, tải trọng tác dụng lên dầm ở đầu kích thủy lực sẽ có giá trị bằng $2F_1 = 10000$ N.

Đối với tiết diện ngang S_0 của 2 thanh thép liên kết các dầm, trên cơ sở lực căng F_1 như trên, lựa chọn thanh thép tròn trơn có đường kính $\phi 6$ (nhóm thép CB240-T). Khi đó ứng suất kéo trong thanh thép do lực F_1 gây ra vẫn đảm bảo cho thanh thép làm việc trong giai đoạn đàn hồi.

Các công tác gia công mẫu dầm BTCT và các hệ khung thép, lắp đặt và bố trí các thiết bị đo, gia tải tạo chuyển vị cưỡng bức trên dầm được thực hiện đúng theo Mục 2.

3.2. Phân tích và đánh giá sự làm việc của mô hình thí nghiệm

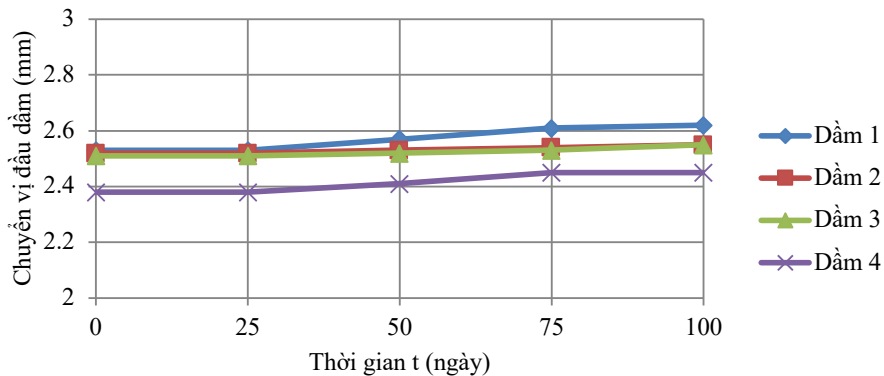
Các kết quả thu được sau khi tiến hành gia tải trên mô hình thí nghiệm trong khoảng thời gian 100 ngày đầu được biểu diễn qua các biểu đồ quan hệ sau:



Hình 13. Biểu đồ quan hệ chuyển vị giữa dầm - thời gian (tại các vị trí đo I_2 và I_5)

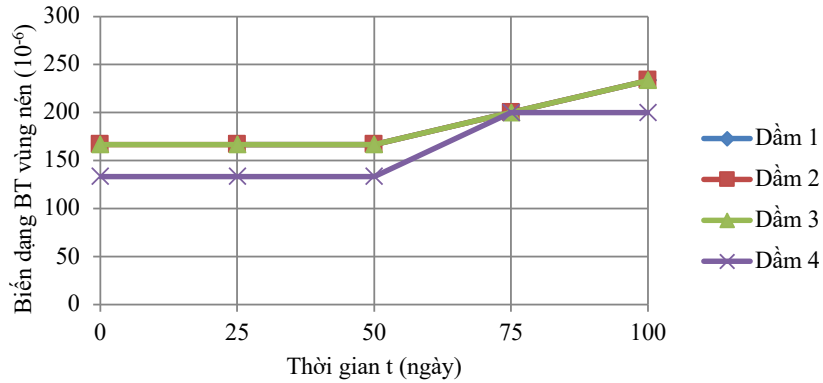
Trên biểu đồ Hình 13 trình bày mối quan hệ của chuyển vị theo thời gian tại vị trí gối tựa ngàm của các dầm thí nghiệm (sau khi đã cố định chuyển vị cưỡng bức). Kết quả thu được dựa trên số liệu đo từ các Indicator I_2 và I_5 . Kết quả cho thấy hầu như giá trị chuyển vị cưỡng bức tạo ra được duy trì không đổi trong suốt thời gian theo dõi.

Hình 14 biểu diễn sự thay đổi theo thời gian của các chuyển vị tại đầu các dầm. Kết quả cho thấy các chuyển vị tại các đầu dầm có xu hướng tăng lên theo thời gian. Sự thay đổi của các giá trị chuyển vị này liên quan đến các biến dạng từ biến của bê tông trên các dầm và biến dạng từ biến của thanh thép liên kết. Với sự gia tăng của các giá trị chuyển vị đầu các dầm có thể thấy với mô hình thí nghiệm này, ảnh hưởng của biến dạng từ biến của bê tông là đáng kể hơn so với của thanh thép liên kết.

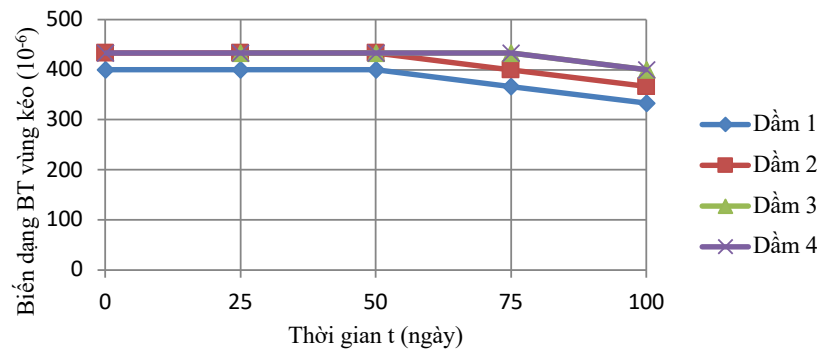


Hình 14. Biểu đồ quan hệ chuyển vị đầu dầm - thời gian (tại các vị trí đo I_1, I_3, I_4, I_6)

Hình 15 trình bày sự thay đổi theo thời gian của ứng suất nén của bê tông tại các vị trí khảo sát (xác định từ số liệu đo trên các dụng cụ đo dạng T_4, T_6, T_7, T_9). Kết quả thu được cho thấy, có sự thay đổi đáng kể ứng suất nén kể từ sau 50 ngày khảo sát. Sự gia tăng của ứng suất nén cũng phù hợp với sự gia tăng chuyển vị ở vị trí đầu dầm (trình bày ở Hình 14). Ngược với sự gia tăng của ứng suất vùng nén là sự suy giảm của ứng suất vùng kéo (Hình 16), thông qua số đo trên các dụng cụ đo T_3, T_5, T_8, T_{10} . Sự suy giảm cũng xảy ra chủ yếu sau khoảng thời gian 50 ngày. Kết quả này cho thấy sự chùng ứng suất xảy ra trên bê tông dưới tác dụng dài hạn của tải trọng. Trong đó ảnh hưởng của biến dạng từ biến của bê tông, của biến dạng từ biến của thanh thép liên kết là nguyên nhân của sự suy giảm ứng suất kéo nêu trên.

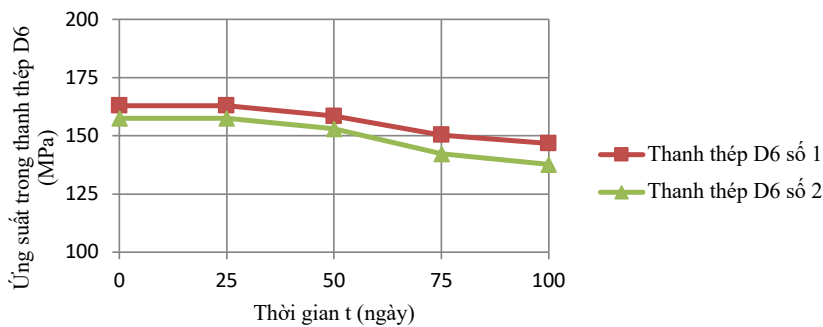


Hình 15. Biểu đồ quan hệ biến dạng bê tông vùng nén - thời gian (tại các vị trí đo T_4, T_6, T_7, T_9)



Hình 16. Biểu đồ quan hệ biến dạng bê tông vùng kéo - thời gian (tại các vị trí đo T_3, T_5, T_8, T_{10})

Hình 17 trình bày sự suy giảm ứng suất kéo trong các thanh thép liên kết $\phi 6$ theo thời gian. Sự suy giảm này là do biến dạng từ biến của thanh thép và bê tông gây ra.



Hình 17. Biểu đồ quan hệ ứng suất trong thanh thép D6 - thời gian (tại các vị trí đo T_1 và T_2)

Các kết quả thí nghiệm được trình bày trên các Hình 13 đến Hình 17 là các kết quả khảo sát mối quan hệ giữa các thông số khảo sát theo thời gian (trong khoảng 100 ngày từ khi tiến hành thí nghiệm). Về mặt định tính, các kết quả thu được phản ánh được ảnh hưởng của các đặc trưng dài hạn của bê tông đến ứng xử dài hạn của dầm BTCT.

4. Kết luận và kiến nghị

Bài báo đã trình bày xây dựng một mô hình thí nghiệm nhằm xác định đặc trưng chùng ứng suất của bê tông trên kết cấu dầm BTCT khi chịu tác động dài hạn. Dựa trên cơ sở các số liệu đo đạc thu được có thể nhận thấy, mô hình thí nghiệm và các dụng cụ thiết bị đo bố trí đã đáp ứng được các mục tiêu đề ra như: (1) tạo ra cơ cấu không chế chuyển vị cưỡng bức của kết cấu dầm BTCT không đổi theo thời gian, (2) xác định được các đặc trưng ứng xử dài hạn của kết cấu bê tông dầm BTCT như chuyển vị dài hạn, (3) xác định được đặc trưng chùng ứng suất trên bê tông thông qua sự suy giảm biến dạng vùng kéo và nén của bê tông.

Dựa trên cơ sở mô hình thí nghiệm xác định chùng ứng suất đã được thiết lập, những nghiên cứu về ứng xử dài hạn của dầm BTCT do các đặc trưng dài hạn của bê tông như biến dạng từ biến, chùng ứng suất đã được tiến hành. Những kết quả thu được của nghiên cứu này sẽ được trình bày trong nội dung bài báo tiếp theo.

5. Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Phòng thí nghiệm và kiểm định công trình – Trường Đại học Xây dựng đã hỗ trợ phần thực nghiệm gia công và thí nghiệm mẫu. Cảm ơn Bộ môn Công trình Bê tông cốt thép đã tạo điều kiện cho tác giả hoàn thiện bài báo này. Cảm ơn TS. Nguyễn Ngọc Tân, Bộ môn Thí nghiệm và kiểm định công trình đã gửi tài liệu tham khảo cho bài báo [14].

Tài liệu tham khảo

- [1] ACI Commiue 318 (2014). *Building code requirements for structural concrete*. American Concrete Institute.
- [2] EN1992-1-1:2004. *Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings*. European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium.
- [3] TCVN 5574:2018. *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép – Tiêu chuẩn thiết kế*. Bộ Xây dựng.
- [4] Trost, H., Cordes, H., Abele, G. (1978). *Kriech – und Relaxation – versuche an sehr altem Beton*, volume 295. Deutscher Ausschub fur Stahlbeton.
- [5] Trost, H. (1991). *Creep, relaxation and shrinkage of structural concrete*.
- [6] Bazant, Z. P. (1972). *Prediction of concrete creep effects using age – Adjusted effective modulus method*.
- [7] Phong, N. T. (2011). *Bài giảng lý thuyết đàn hồi nhớt và từ biến của bê tông*.
- [8] Thảo, V. V. (2008). *Bài giảng cao học - Phương pháp Nghiên cứu thực nghiệm kết cấu xây dựng*.
- [9] TCVN 3118:1993. *Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén*. Bộ Xây dựng.
- [10] TCVN 5726:1993. *Bê tông nặng – Phương pháp xác định cường độ lăng trụ và mô đun đàn hồi khi nén tĩnh*. Bộ Xây dựng.
- [11] ASTM C512-87 (1987). *Standard test method for creep of concrete in compression*.
- [12] TCVN 3105:1993. *Hỗn hợp bê tông và bê tông nặng - Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử*. Bộ Xây dựng.
- [13] Minh, P. Q., cs. (2013). *Kết cấu Bê tông cốt thép. Phần cấu kiện cơ bản*. Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật.
- [14] Quang, N. V., Tân, N. N. (2019). *Nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm một số phương pháp dự báo mô men hình thành khe nứt của dầm bê tông cốt thép*. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐHXD*, 13(2V):21–31.