

# NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ĐỘ CỨNG VÀ ĐỘ BỀN UỐN CỦA CỘT BÊ TÔNG CỐT THÉP LẮP GHÉP VỚI LIÊN KẾT ỐNG LỒNG BƠM VỮA

Võ Mạnh Tùng<sup>a,\*</sup>

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

*Nhận ngày 21/09/2023, Sửa xong 07/01/2024, Chấp nhận đăng 19/02/2024*

## Tóm tắt

Mục đích của bài báo này là xác định độ cứng và độ bền uốn áp dụng cho các cột lắp ghép với các mối nối ống lồng bơm vữa, trong đó các đoạn cột bê tông đúc sẵn được ghép nối và so sánh với cột bê tông cốt thép toàn khối. Nghiên cứu thực nghiệm được thực hiện với các thí nghiệm uốn hai mẫu cột CLK – cột toàn khối và CLG – lắp ghép. Các liên kết ống lồng bơm vữa đã được thiết kế đảm bảo chiều dài nối chồng theo tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép Việt Nam TCVN 5574:2018. Dựa trên những phân tích kết quả thí nghiệm, độ bền của mối nối và độ cứng tổng thể của đoạn cột 9 m có một mối nối đều lớn hơn đoạn cột toàn khối có cốt thép dọc tương đương. Vì vậy hoàn toàn có thể sử dụng và mô hình tính toán loại cột lắp ghép này như các cột toàn khối thông thường.

*Từ khoá:* bê tông đúc sẵn; liên kết ống lồng bơm vữa; độ cứng tương đương; cột bê tông cốt thép lắp ghép; nghiên cứu thực nghiệm.

## EXPERIMENTAL STUDY OF BENDING STIFFNESS AND STRENGTH OF PRE-CAST COLUMN WITH GROUTED SLEEVE CONNECTION

### Abstract

The purpose of this paper is to determine the bending stiffness applicable to pre-cast concrete columns with grouted sleeve connections in which precast concrete columns are coupled and compare with monolithic reinforced concrete columns. Experimental research was carried out with bending tests on two samples of CLK columns – the monolithic column and CLG – precast concrete columns. The grouted sleeve connections have been designed to ensure the overlapping length according to Vietnamese standard TCVN 5574:2018. Based on the analysis of experimental results, the connection strength and overall stiffness of the 9 m column with a connection are both larger than that of the monolithic column with equivalent longitudinal reinforcement. Therefore, it is completely possible to use and calculate this type of pre-cast column as normal monolithic columns.

*Keywords:* precast concrete; grouted sleeve connection; equivalent stiffness; precast concrete columns; experimental research.

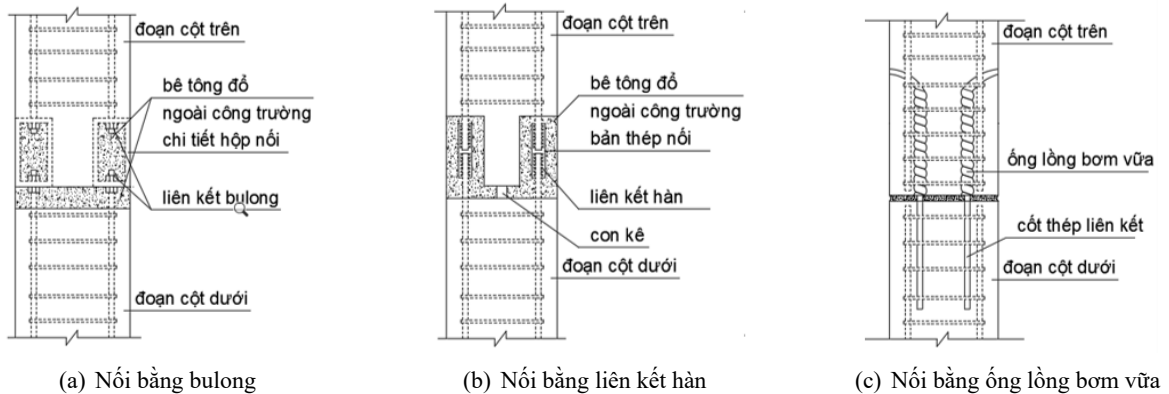
[https://doi.org/10.31814/stce.huice2024-18\(1V\)-11](https://doi.org/10.31814/stce.huice2024-18(1V)-11) © 2024 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

## 1. Giới thiệu

Việc sử dụng công nghệ bê tông cốt thép lắp ghép được sử dụng rộng rãi trên thế giới ở Việt Nam trong những năm gần đây công nghệ này cũng bắt đầu được sử dụng rất nhiều trong xây dựng nhà cao tầng, trong các công trình công nghiệp và giao thông. So với công nghệ bê tông cốt thép toàn khối công nghệ bê tông cốt thép lắp ghép thể hiện khá nhiều ưu điểm như tiết kiệm thời gian thi công, giảm nhân công tại công trường. Đặc biệt với những kết cấu cột có chiều cao lớn (lên đến 50 m) như những

\*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: [tungvm@huice.edu.vn](mailto:tungvm@huice.edu.vn) (Tùng, V. M.)

cột trong nhà công nghiệp hay những trụ cầu vượt, việc thi công bằng công nghệ bê tông cốt thép toàn khối sẽ tốn kém nhiều thời gian và hệ thống ván khuôn sẽ khá phức tạp, vì vậy với những dạng kết cấu cột này phù hợp hơn khi sử dụng công nghệ lắp ghép. Có nhiều phương pháp được sử dụng để nối các đoạn cột bê tông cốt thép đúc sẵn [1]. Loại mối nối khô là sử dụng các bản thép được hàn vào các cốt thép chịu lực ở đầu các đoạn cột và được nối bằng liên kết bu lông hoặc liên kết hàn (Hình 1(a), (b)) [2]. Loại mối ướt là liên kết các cốt thép chịu lực cùng với ống lồng bơm vữa (Hình 1(c)) [2].



Hình 1. Các loại mối nối cột lắp ghép

Có một số nghiên cứu trên thế giới [2–10] và trong nước [11] về tính chất chịu lực và vật liệu sử dụng cho kết cấu bê tông cốt thép lắp ghép sử dụng mối nối ống lồng bơm vữa, tuy nhiên loại mối nối này phụ thuộc nhiều yếu tố và vật liệu sử dụng nên các nghiên cứu này thường chỉ sử dụng cho từng trường hợp cụ thể.

Loại mối nối sử dụng ống lồng bơm vữa để nối các đoạn cột khá phù hợp với điều kiện thi công ở Việt Nam và cũng đã được sử dụng ở một số công trình trong thời gian gần đây (Hình 2).



Hình 2. Công trình sử dụng cột lắp ghép nối bằng liên kết ống lồng bơm vữa

Để thiết kế loại cột bê tông cốt thép lắp ghép sử dụng liên kết ống lồng bơm vữa, các kỹ sư vẫn thường sử dụng các tiêu chuẩn thiết kế cấu kiện bê tông cốt thép thông thường như tiêu chuẩn Hoa Kỳ ACI 318-19, tiêu chuẩn châu Âu EC2, tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5574:2018 [12], . . . , tuy nhiên rõ ràng tại vùng liên kết giữa các đoạn cột sẽ có ứng xử khác biệt so với cột bê tông cốt thép đúc toàn khối. Có hai đặc trưng ảnh hưởng nhiều nhất trong quá trình phân tích nội lực và tính toán cường độ

trong hệ kết cấu sử dụng loại cột này là độ cứng uốn và độ bền của cột. Độ cứng uốn tại của cột lắp ghép tại vị trí mối nối sẽ bị ảnh hưởng bởi lượng cốt thép nối, loại ống lồng, loại vữa, chiều dài nối. Còn độ bền tại vị trí liên kết phải được đảm bảo để khả năng chịu lực của cột tại vùng nối lớn hơn những vùng không có mối nối.

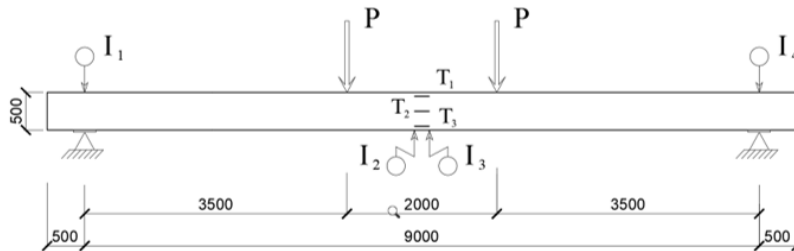
Bài báo này sẽ trình bày một thí nghiệm so sánh độ cứng và độ bền của 2 cấu kiện cột bê tông cốt thép lắp ghép có mối nối sử dụng ống lồng bơm vữa và không có mối nối (liền khối), phần mối nối này được thiết kế tuân thủ theo TCVN 5574:2018. Thí nghiệm này được tiến hành tại nhà máy bê tông AMACCAO Hà Nam.

## 2. Sơ đồ thí nghiệm và bố trí dụng cụ đo

Nghiên cứu thực nghiệm được thực hiện nhằm mục đích xác minh xem liệu một cột đúc sẵn với liên kết ống lồng bơm vữa có độ cứng tương đương của một cột toàn khối hay không. Nghiên cứu bao gồm hai thí nghiệm uốn, với hai mẫu thử bao gồm một cột liền khối (CLK) và một cột được nối bằng ống lồng bơm vữa (CLG). Liên kết được tính toán để đảm bảo độ bền uốn của CLG luôn lớn hơn hoặc bằng CLK và chiều dài nối chông cốt thép đảm bảo theo TCVN 5574:2018.

### 2.1. Sơ đồ thí nghiệm

Trong quá trình làm việc, nội lực xuất hiện trong cột chủ yếu là mômen và lực dọc. Tùy thuộc vào tương quan độ lớn của hai nội lực này thì tiết diện cột được chia làm hai vùng là vùng kéo và vùng nén hoặc có thể toàn tiết diện chịu nén. Như vậy cốt thép liên kết tại tiết diện nối có thể chịu kéo hoặc chịu nén phụ thuộc trạng nội lực tại tiết diện nối. Do tính chất chịu lực và trạng thái của vùng bê tông được neo vào thì cốt thép dọc trong vùng nén của tiết diện nối thường không nguy hiểm bằng cốt thép neo trong vùng kéo. Vì vậy để cốt thép trong vùng kéo ở trạng thái bất lợi nhất, chúng tôi lựa chọn sơ đồ thí nghiệm sao cho mối nối hoàn toàn chịu uốn.



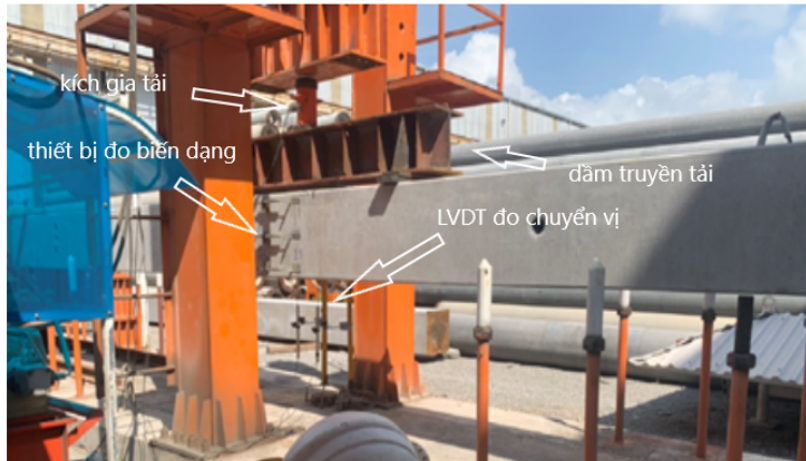
Hình 3. Sơ đồ thí nghiệm

Sơ đồ thí nghiệm được thể hiện trên Hình 3, mẫu hoàn toàn chịu uốn và không có lực dọc. Trạng thái chịu uốn gây bất lợi nhất cho liên kết cốt thép trong vùng kéo và độ cứng uốn của cột cũng nhỏ nhất vì vùng kéo nhiều nhất [2, 4]. Khoảng cách từ điểm đặt các lực tập trung đến vị trí nối cột trong mẫu CLG là 1 m để những biến động gần vùng đặt lực không ảnh hưởng tới sự làm việc của liên kết. Cấu tạo các gối kê hai đầu, thiết bị gia tải và quy trình gia tải tuân thủ theo TCVN 9347:2012 [13].

### 2.2. Bố trí dụng cụ đo

Các thiết bị đo sau đây được sử dụng để thu thập các số liệu thí nghiệm (xem Hình 3 và 4): Các thiết bị LVDT (Linear Variable Differential Transformers) được bố trí để theo dõi chuyển vị: I1, I4 tại vị trí gối và I2, I3 tại vị trí giữa nhịp dầm. Giá trị độ võng lớn nhất tại giữa dầm được tính toán từ các số liệu đo chuyển vị như sau:

$$f = \frac{I_2 + I_3}{2} - \frac{I_1 + I_4}{2} \quad (1)$$



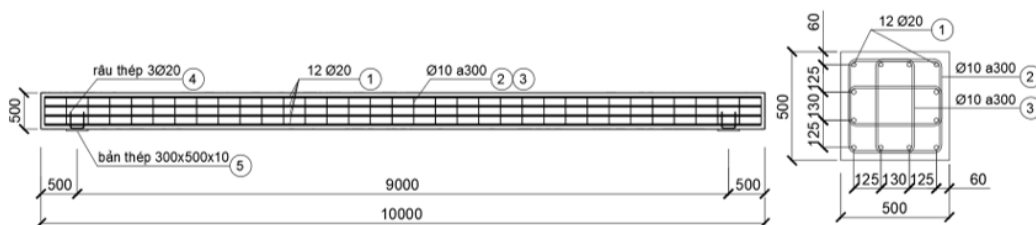
Hình 4. Lắp đặt thí nghiệm thực tế

Để kiểm tra sự làm việc bình thường của dầm và so sánh biến dạng các thớ làm việc của dầm tại vị trí nổi (CLG) và vị trí không nổi (CLK) với các cấp tải khác nhau, các thiết bị đo biến dạng tuyệt đối chuẩn đo 200 mm được bố trí thêm để theo dõi biến dạng tuyệt đối tại các thớ làm việc của dầm: T1 ở thớ trên (cách mặt trên dầm 50 mm), T2 ở thớ chính giữa, T3 ở thớ dưới (cách mặt dưới dầm 50 mm). Thiết bị ghi số liệu TDS-530 để tự động thu thập các số liệu từ các thiết bị đo (một lần đo trong 1 giây). Độ mở rộng khe nứt được đo bằng kính soi nứt quang học chuyên dụng, có độ chính xác 0,01 mm. Gia tải bằng kích thủy lực như trên Hình 4.

### 3. Tính toán cấu tạo mẫu thí nghiệm theo TCVN 5574:2018

#### 3.1. Mẫu CLK

Mẫu CLK với các thông số như trên Hình 5, với bê tông cấp độ bền chịu nén B40 tương đương bê tông mác M500, cốt thép dọc chịu lực CB400V, cốt thép đai CB240T, hàm lượng cốt thép 1,44%, đoạn cột được đúc liền khối và không có mối nối.



Hình 5. Cấu tạo cột CLK

#### 3.2. Mẫu CLG

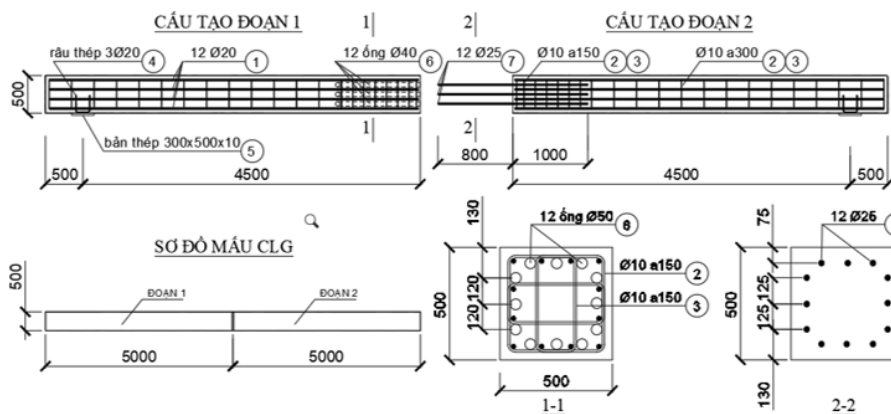
##### a. Cấu tạo cơ bản

Mẫu cột CLG với các thông số như trên Hình 6, với bê tông cấp độ bền chịu nén B40 tương đương bê tông mác M500, cốt thép dọc chịu lực CB400V, cốt thép đai CB240T. Những vị trí thông thường có cấu tạo bê tông cốt thép tương tự như CLK, cột được chia là 2 đoạn, mỗi đoạn có chiều dài 5 m và được nối bằng ống lồng đường kính 50 mm bơm vữa. Thông số kỹ thuật của ống ghen sử dụng trong liên kết của mẫu thí nghiệm được quy định trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật ống ghen mạ kẽm

Kích thước ống điển hình (mm)	D50/57
Chiều dày tôn mạ kẽm (mm)	0,30
Dung sai kích thước ống (mm)	$\pm 0,5 \div 1,0$
Dung sai chiều dày tôn mạ kẽm (mm)	$\pm 0,05$
Độ bền kéo tối thiểu	270 N/mm <sup>2</sup>

Tại vị trí mỗi nối, cốt thép dọc chịu lực của cột được thay thế bằng cốt thép liên kết, cốt thép liên kết được để chờ ở đoạn cột dưới. Đoạn cột trên được để chờ các ống ghen mạ kẽm (Hình 7) để tăng khả năng liên kết với bê tông. Khi lắp ghép các đoạn cột với nhau, thép chờ liên kết được xỏ vào ống lồng, sau khi căn chỉnh các đoạn cột chính xác vị trí, vữa sẽ được bơm vào các ống lồng thông qua các lỗ bên cạnh của cột (Hình 7). Vữa bơm phải được đảm bảo chèn đầy vào ống và có cường độ lớn hơn cường độ của bê tông cột. Có nhiều quan điểm lựa chọn loại vữa cho loại liên kết này, nhưng mục tiêu cuối cùng là độ bền của liên kết, đảm bảo truyền lực giữa cốt thép của mỗi nối qua vữa tới ống lồng và đảm bảo truyền lực giữa ống lồng và bê tông cột. Mác vữa càng cao thì chất lượng bám dính truyền lực giữa cốt thép liên kết và vữa càng tốt, như vậy chiều dài ống nối giảm xuống.



Hình 6. Cấu tạo cột CLG

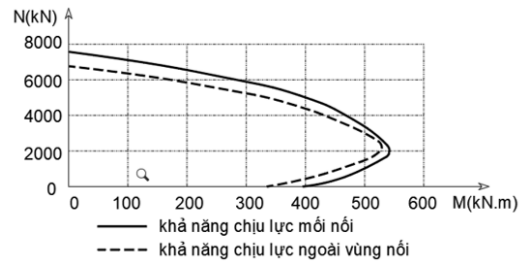


Hình 7. Ống lồng bằng thép



b. Tính toán và lựa chọn cốt thép trong vùng mỗi nối

Do tính chất cấu tạo cốt thép dọc liên kết được xỏ vào ống vữa nên vị trí của những thanh cốt thép dọc này trên tiết diện ngang không thể nằm sát cốt đai (xem Hình 6) và cột chịu mô men sẽ bất lợi hơn so với những vị trí không nối, vì vậy thông thường thép liên kết được bố trí lớn hơn cốt thép dọc chịu lực của cột. Biểu đồ khả năng chịu lực theo TCVN 5574:2018 tại vị trí mỗi nối (chỉ có thép liên kết) và các vị trí ngoài vùng nối (chỉ có thép dọc chịu lực của cột) được thể hiện trên Hình 8. Lượng cốt thép dọc liên kết được lựa chọn sao cho khả năng chịu lực của cột tại vị trí liên kết luôn lớn hơn những vị trí khác tức là biểu đồ tương tác mô men và lực dọc tại vị trí mỗi nối luôn nằm ngoài biểu đồ tương tác của cột tại tiết diện ngoài vùng nối.



Hình 8. Biểu đồ khả năng chịu lực của cột

Cốt thép đai trong vùng mỗi nối cũng được tính toán và lựa chọn theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018 như sau:

- Đường kính cốt thép đai của các cấu kiện chịu nén lệch tâm lấy không nhỏ hơn 1/4 đường kính cốt thép dọc lớn nhất và không nhỏ hơn 6 mm.
- Trong các cấu kiện chịu nén lệch tâm dạng thanh cần đặt cốt thép dọc chịu nén theo tính toán, để ngăn ngừa cốt thép dọc này bị phình cần phải đặt cốt thép đai với bước không lớn hơn  $15d$  và không lớn hơn 500 mm ( $d$  là đường kính cốt thép dọc chịu nén).
- Nếu diện tích tiết diện cốt thép dọc chịu nén, đã được đặt ở một trong số các mặt bên của cấu kiện, lớn hơn 1,5% thì cần đặt cốt thép đai với bước không lớn hơn  $10d$  và không lớn hơn 300 mm.

c. Chiều dài neo cốt thép liên kết trong đoạn 2

Cốt thép liên kết được đặt sẵn trong đoạn 2 của mẫu CLG (Hình 6), chiều dài đoạn neo trong cột được tính toán bằng chiều dài nối chồng của cốt thép dọc của cột theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018 vì tại vị trí mỗi nối lượng cốt thép liên kết thường lớn hơn cốt thép dọc của cột và làm việc không đạt đến giới hạn. Chiều dài neo được tính toán theo công thức sau:

$$L_{an} = \alpha L_{0,an} \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}} \quad (2)$$

trong đó  $A_{s,cal}, A_{s,ef}$  diện tích tiết diện ngang của cốt thép dọc của cột theo tính toán và theo thực tế, để an toàn có thể lấy  $\frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}} = 1$ ;  $\alpha$  là hệ số kể đến ảnh hưởng của trạng thái ứng suất của bê tông và cốt thép, lấy bằng 2 với cốt thép nối chồng chịu kéo với tỷ lệ nối 100% tại một mặt cắt.

Chiều dài neo cơ sở

$$L_{0,an} = \frac{R_s A_s}{R_{bond} U_s} \quad (3)$$

trong đó  $A_s$  và  $U_s$  là diện tích tiết diện ngang và chu vi tiết diện của thanh cốt thép được neo;  $R_s$  là cường độ chịu kéo tính toán của cốt thép;  $R_{bond}$  là cường độ bám dính tính toán của cốt thép với bê tông:

$$R_{bond} = \eta_1 \eta_2 R_{bt} \quad (4)$$

trong đó  $R_{bt}$  là cường độ chịu kéo tính toán của bê tông hoặc vữa liên kết; Hệ số kể đến ảnh hưởng của bề mặt cốt thép  $\eta_1 = 0,25$  đối với cốt cán nóng có gờ; Hệ số kể đến ảnh hưởng của đường kính cốt thép  $\eta_2 = 1$  khi đường kính cốt thép không lớn hơn 32 mm.

Như vậy, chiều dài nổi chông của thép liên kết:

$$L_{an} = \frac{0,8R_s A_s}{R_{bt} U_s} = 0,2 \frac{R_s}{R_{bt}} \phi \quad (5)$$

với  $\phi$  là đường kính thanh thép liên kết là 20 mm; bê tông mác B40 ( $R_{bt} = 1,4$  MPa) và cốt thép CB400V ( $R_s = 350$  MPa) thì chiều dài nổi chông là  $50\phi = 1000$  mm. Chi tiết cấu tạo cột và liên kết được thể hiện trên Hình 6.

d. Chiều dài neo cốt thép liên kết trong ống lồng bơm vữa đoạn 1

Vữa bơm vào ống lồng được lựa chọn là loại SikaGrout®-214-11, đây là loại vữa tương tự như loại vữa đã được nghiên cứu để sử dụng cho loại liên kết này [5]. SikaGrout®-214-11 là vữa rót gốc xi măng bù co ngót, trộn sẵn, với khả năng kéo dài thời gian thi công để thích ứng với nhiệt độ môi trường xung quanh [14]. Tính chất cơ lý yêu cầu được quy định trong Bảng 2.

Bảng 2. Thông số kỹ thuật của vữa SikaGrout®-214-11

Cường độ chịu nén	1 ngày	27 MPa
	3 ngày	44 MPa
	7 ngày	60 MPa
	28 ngày	72 MPa
Cường độ chịu kéo khi uốn	28 ngày	6,5 MPa

Chiều dài đoạn neo của thép liên kết trong ống lồng bơm vữa trong đoạn 1 phải đảm bảo những điều kiện sau đây:

- Liên kết giữa cốt thép dọc của cột với vùng bê tông liên kết;
- Bám dính giữa cốt thép liên kết và vữa không bị phá hoại;
- Bám dính giữa ống lồng và vùng bê tông liên kết.

Để đảm bảo liên kết giữa cốt thép dọc của cột với vùng bê tông liên kết thì chiều dài vùng bê tông liên kết trong đoạn 1 cũng tối thiểu bằng chiều dài vùng bê tông liên kết trong đoạn 2. Với chiều dài vùng liên kết như vậy thì hai điều kiện sau luôn đảm bảo khả năng chịu lực.

Cường độ bám dính giữa cốt thép liên kết và vữa phụ thuộc nhiều yếu tố: chủng loại vữa, loại và đường kính ống lồng, loại cốt thép liên kết, ... và tại thời điểm này cũng không có quy định hoặc quy trình tính toán cụ thể. Với thông số kỹ thuật của vữa trong Bảng 1, cường độ chịu kéo khi uốn  $R_{tu} = 6,5$  MPa thì cường độ chịu kéo dọc trục quy đổi [15]:

$$R_{bt} = 0,58R_{tu} = 3,77\text{MPa} \quad (6)$$

Cường độ chịu kéo của vữa Sika có giá trị lớn hơn nhiều so với cường độ chịu kéo của bê tông, kèm theo hiệu ứng bó của vữa trong ống lồng bằng kim loại nên bám dính giữa thép liên kết và vữa luôn đảm bảo.

Với đường kính ống lồng lớn hơn nhiều so với thép liên kết (thường được chọn ít nhất bằng đường kính thép liên kết + 20 mm) và cấu tạo bề mặt ống kim loại (Hình 7) thì bám dính giữa ống lồng và vùng bê tông liên kết cũng luôn đảm bảo.

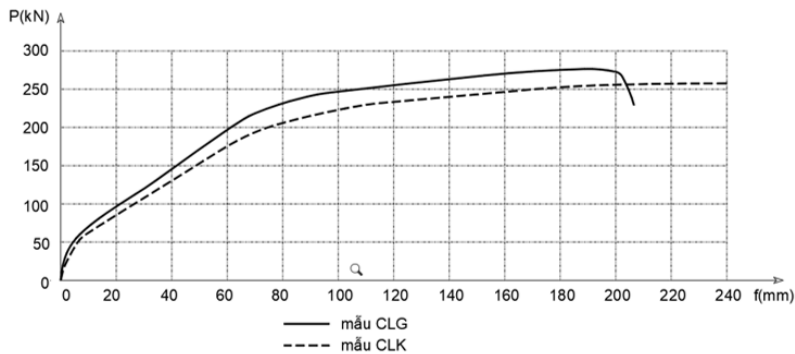
#### 4. Quy trình thí nghiệm & Phân tích kết quả thí nghiệm

##### 4.1. Quy trình thí nghiệm

- Lắp đặt hệ gia tải (khung thép gia tải, các khung phản lực, thiết bị thủy lực) và thiết bị đo chuyên vị vào đúng vị trí;

- Tiến hành gia tải thử ở cấp tải 1 để loại bỏ các khe hở tại các vị trí liên kết, đồng thời kiểm tra sự hoạt động – hiệu chỉnh của hệ gia tải và các đồng hồ đo;
- Hạ tải về cấp 0, ghi số liệu ban đầu;
- Thực hiện các cấp gia tải lên cấu kiện thí nghiệm;
- Tại mỗi cấp tải trọng xuất hiện vết nứt, tiến hành vẽ và ghi nhận giá trị bề rộng vết nứt tương ứng;
- Sau khi vẽ và đo đạc vết nứt xong, tiến hành tăng tải. Quy trình lặp tương tự cho đến khi các cấu kiện bị phá hủy;
- Ghi nhận kết quả.

#### 4.2. Ứng xử của mẫu thí nghiệm



Hình 9. Biểu đồ quan hệ giữa tải trọng thí nghiệm và độ võng giữa nhịp

##### a. Quan hệ giữa tải trọng và độ võng

Trên Hình 9 trình bày các biểu đồ quan hệ giữa tải trọng và độ võng ( $P - f$ ) của 2 mẫu cột thí nghiệm. Các giá trị tải trọng đặc trưng của các mẫu thí nghiệm được trình bày ở Bảng 3.

Bảng 3. Các mốc tải trọng đặc trưng

Mẫu thí nghiệm	Tải trọng gây vết nứt $P_n$	Tải trọng ứng với chuyển vị 45 mm	Tải trọng cực hạn $P_{ul}$
CLK	24 kN	140 kN	258 kN
CLG	30 kN	160 kN	271 kN

Với mẫu cột CLK, mẫu làm việc đàn hồi đến cấp tải  $P_n = 24$  kN thì xuất hiện vết nứt đầu tiên tương ứng với mô men lớn nhất  $M_n = 42$  kNm, trong giai đoạn này quan hệ giữa tải trọng thí nghiệm  $P_n$  và chuyển vị lớn nhất tại giữa nhịp gần như tuyến tính. Tiếp tục tăng tải tới mẫu phá hoại ở cấp tải  $P_{ul} = 258$  kN tương ứng với mô men lớn nhất  $M_{ul} = 451,5$  kNm và chuyển vị giữa nhịp đã vượt quá 200 mm, trong giai đoạn này vết nứt bắt đầu xuất hiện và lan dần, độ cứng của mẫu thí nghiệm giảm dần. Tải trọng đến cấp này thì không thể tăng được nữa mặc dù độ võng tiếp tục tăng lên.

Với mẫu cột CLG, mẫu làm việc đàn hồi đến cấp tải  $P_n = 30$  kN thì xuất hiện vết nứt đầu tiên tương ứng với mô men lớn nhất  $M_n = 52,5$  kNm, tương tự như mẫu CLK, trong giai đoạn này quan hệ giữa tải trọng thí nghiệm  $P_n$  và chuyển vị lớn nhất tại giữa nhịp gần như tuyến tính. Tiếp tục tăng tải tới mẫu phá hoại ở cấp tải  $P_{ul} = 271$  kN tương ứng với mô men lớn nhất  $M_{ul} = 474,25$  kNm.

Biểu đồ quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị cho thấy độ cứng khi chịu uốn của các mẫu thí nghiệm. Với cùng một cấp tải, chuyển vị của CLK luôn lớn hơn CLG và độ chênh lệch này càng gia tăng ở những cấp tải cao. Như vậy, độ cứng của cột CLG luôn lớn hơn độ cứng của cột CLK khoảng 15-20%.



Trong vùng lân cận của mối nối giữa 2 đoạn cột trong mẫu CLG, vừa có cốt thép dọc của cột vừa có cốt thép liên kết nối chồng nên vùng này có độ cứng lớn hơn những vùng chỉ có cốt thép dọc chịu lực của cột. Như vậy mỗi mối nối loại này đảm bảo được về độ bền và độ cứng của cột lắp ghép luôn lớn hơn so với cột liền khối.

b. Phân tích số liệu đo biến dạng tuyệt đối tại vị trí liên kết

Số liệu đo biến dạng tại các cấp tải được liệt kê trên Bảng 4. Biến dạng tại thớ kéo (T3) và thớ nén (T1) tăng dần theo từng cấp tải và không có diễn biến bất thường. Số liệu đo biến dạng ở thớ giữa (T2) cho thấy rằng với cấp tải càng cao thì thớ giữa chịu kéo càng nhiều, tức là trục trung hòa dịch chuyển dần lên phía trên. So sánh số liệu biến dạng thớ nén (T1) của 2 mẫu cho thấy xấp xỉ (7% ở cấp tải  $P = 200$  kN) theo từng cấp tải chứng tỏ các đặc trưng biến dạng của vật liệu vữa sử dụng trong liên kết là khá tương đồng.

Biến dạng thớ kéo (T3) của mẫu CLG lại lớn hơn rất nhiều của mẫu CLK (23% ở cấp tải  $P = 200$  kN) chứng tỏ liên kết của vữa và phần bê tông cột đúc sẵn không thể làm việc tốt bằng bê tông cốt thép liền khối và sẽ bị tách ra sớm. Mặc dù vậy độ cứng trung bình của cả vùng liên kết của CLG vẫn lớn hơn độ cứng của CLK như đã phân tích ở trên.

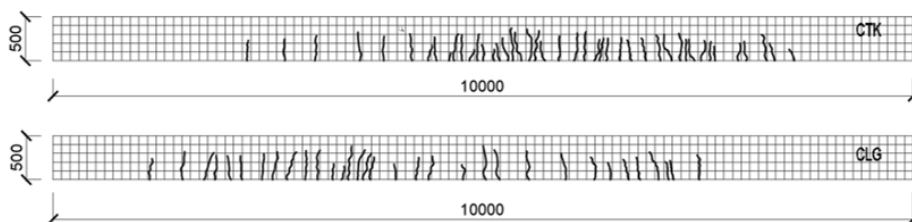
Bảng 4. Số liệu đo biến dạng tuyệt đối

Cấp tải P (kN)	Mẫu CLK			Mẫu CLG		
	T1 ( $\mu\text{m}$ )	T2 ( $\mu\text{m}$ )	T3 ( $\mu\text{m}$ )	T1 ( $\mu\text{m}$ )	T2 ( $\mu\text{m}$ )	T3 ( $\mu\text{m}$ )
0	0	0	0	0	0	0
10	-5	-2	7	-4	7	21
50	-36	11	74	-35	42	131
100	-80	85	321	-83	173	430
150	-138	155	529	-131	310	810
200	-187	250	932	-173	441	1211

4.3. Hình thành khe nứt và trạng thái phá hoại

a. Hình thành khe nứt

Hình 10 thể hiện hình ảnh các vết nứt xuất hiện trên các mẫu cột thí nghiệm trong quá trình chất tải. Ở mẫu cột liền khối CLK, vết nứt thẳng góc đầu tiên xuất hiện tại tiết diện giữa nhịp, sau đó các vết nứt thẳng góc tiếp tục xuất hiện và lan ra tại vùng mô men lớn giữa nhịp. Như vậy vết nứt xuất hiện chủ yếu là các vết nứt thẳng góc do mô men tập trung vào vùng có mô men lớn, hình ảnh này phản ánh đúng sự làm việc chịu uốn của mẫu thí nghiệm.



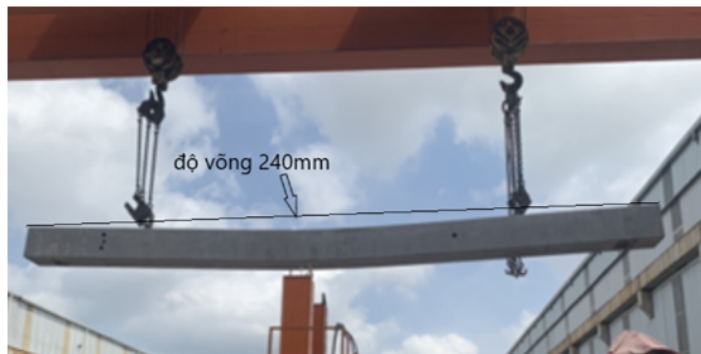
Hình 10. Sơ đồ vết nứt của hai mẫu trước khi phá hoại

Ở mẫu cột lắp ghép CLG, sơ đồ các vết nứt có sự khác biệt do cấu tạo cốt thép. Vết nứt đầu tiên cũng xuất hiện tại tiết diện nối giữa nhịp và sau đó lan ra khi tăng tải. Chỉ có ít vết nứt xuất hiện tại

vùng có mô men lớn ở giữa nhịp, mà tập trung với mật độ cao ở vùng mô men nhỏ hơn. Vì tại vùng mô men lớn tại giữa nhịp cũng là vùng nối chồng cốt thép, đây là vùng mật độ thép dọc lớn do xuất hiện cả thép dọc của cột và thép dọc liên kết.

b. Cơ chế phá hoại của các mẫu thí nghiệm

Trên Hình 11 và Hình 12 thể hiện hình ảnh của mẫu thử ngay trước khi phá hoại, hai hình ảnh này là hoàn toàn khác biệt. Ở mẫu CLK, không có sự phá hoại rõ ràng trong thí nghiệm này, mẫu thử gần như không còn độ cứng ở cấp tải cuối cùng (tải trọng không tăng được khi độ võng tiếp tục tăng). Cốt thép trong vùng chịu kéo đã chảy dẻo, trong khi vùng nén vẫn không bị phá hoại vì lượng cốt thép trong vùng nén là đáng kể. Tại thời điểm ngừng gia tải thì độ võng của mẫu thử lên đến trên 240 mm.



Hình 11. Trạng thái phá hoại của mẫu CLK



Hình 12. Trạng thái phá hoại của mẫu CLG

Ở mẫu cột CLG thì trạng thái phá hoại khá rõ ràng, độ võng gia tăng đột biến và tải giảm đột ngột. Ngoài vết nứt thẳng góc tại vị trí nối, trước khi phá hoại, mẫu xuất hiện một số vết nứt nghiêng có độ mở lớn (Hình 12) do mô men trên tiết diện nghiêng tại vị trí lớn nhất mà cốt thép dọc chịu lực nhỏ nhất trong vùng liên kết và cốt thép liên kết chảy dẻo tại vị trí nối. Tuy nhiên khả năng chịu mô men tại tiết diện nối trong mẫu CLG vẫn lớn hơn khả năng chịu mô men trong mẫu CLK. Trong vùng liên kết gần tiết diện nối, có thép liên kết và cốt thép dọc của cột nối chồng nên các vết nứt thẳng góc không phát triển tiếp trong vùng này.

Cốt thép dọc liên kết sau khi chảy dẻo bị tụt khỏi ống lồng và vùng bê tông xung quanh ống lồng liên kết bị nứt vỡ. Độ võng của mẫu thử tại thời điểm này cũng lên đến 200mm và tải trọng tới hạn tác dụng đã lớn hơn so với mẫu CLK.

## 5. Kết luận

Cột bê tông cốt thép lắp ghép sử dụng liên kết ống lồng bơm vừa là loại kết cấu mới ngày càng được sử dụng nhiều ở Việt Nam, công nghệ này phù hợp thi công những cột trong các công trình công nghiệp và giao thông có chiều dài lớn.

Cốt thép liên kết, chiều dài đoạn nối thép được tính toán và cấu tạo theo TCVN 5574:2018 đảm bảo để cột lắp ghép từ nhiều đoạn làm việc như cột liền khối. Liên kết sử dụng ống lồng bằng tôn mạ kẽm và vữa SikaGrout 214-11 đáp ứng được sự truyền lực giữa hai đoạn cột.

Việc cùng xuất hiện thép dọc của các đoạn cột bê tông cốt thép đúc sẵn và thép liên kết tại vùng nối làm độ cứng của cột tại vùng liên kết lớn hơn độ cứng của cột liền khối. Mặc dù có thể có góc xoay xuất hiện tại tiết diện nối giữa hai đoạn cột (do tính chất tiếp xúc giữa phần bê tông cột đổ trước và vữa bơm sau) nhưng độ cứng trung bình của cả đoạn cột lắp ghép 9 m vẫn lớn hơn cột liền khối ở mọi cấp tải. Như vậy cột lắp ghép với kiểu liên kết này có thể được coi như cột liền tục liền khối trong tính toán thiết kế.

Trong thí nghiệm với mẫu cột lắp ghép, mật độ cao của cốt đai và cốt dọc làm vết nứt xuất hiện ít hơn trong vùng liên kết, các vết nứt lại tập trung và mở rộng tại vùng cột sát với vùng liên kết. Phá hoại của mẫu cột lắp ghép vẫn xảy ra tại tiết diện nối nên trong thực tế vẫn không nên bố trí tiết diện nối tại những vùng có mô men lớn nhất trong cột.

## Tài liệu tham khảo

- [1] of Hong Kong, T. B. D., Code of Practice for Precast Concrete Construction (2016).
- [2] Ferreira, M. d. A., Bachega, L. A., Catoia, B. (2021). [Monolithic equivalent stiffness of precast columns with grouted splice sleeve connections](#). *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 14(1).
- [3] Ameli, M. J., Parks, J. E., Brown, D. N., Pantelides, C. P. (2014). Grouted splice sleeve connection alternatives for precast reinforced concrete bridge piers in moderate-to-high seismic regions. *Proceedings of 10th US National Conference on Earthquake Engineering: Frontiers of Earthquake Engineering*, 1–11.
- [4] Tullini, N., Minghini, F. (2016). [Grouted sleeve connections used in precast reinforced concrete construction – Experimental investigation of a column-to-column joint](#). *Engineering Structures*, 127:784–803.
- [5] Rosyidah, A., Sucita, I. K., Sukarno, P., Sari, S. R. P., Sari, C. (2019). [Bond strength of bar using grouting for precast concrete connection](#). *Applied Research on Civil Engineering and Environment (ARCEE)*, 1 (01):1–9.
- [6] Mostert, L. H. (2014). *Design and construction preferences for connections in the precast concrete industry of South Africa*. PhD Thesis, Stellenbosch: Stellenbosch University.
- [7] Alias, A., Sapawi, F., Kusbiantoro, A., Zubir, M. A., Abd Rahman, A. B. (2014). [Performance of Grouted Splice Sleeve Connector under Tensile Load](#). *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 7: 1094–1102.
- [8] Ahmed, K. S., Shahjalal, M., Siddique, T. A., Keng, A. K. (2021). [Bond strength of post-installed high strength deformed rebar in concrete](#). *Case Studies in Construction Materials*, 15:e00581.
- [9] Lu, Z., Wang, Z., Li, J., Huang, B. (2017). [Studies on Seismic Performance of Precast Concrete Columns with Grouted Splice Sleeve](#). *Applied Sciences*, 7(6):571.
- [10] Darwin, D., Salamizavaregh, S. (1993). [Bond strength of grouted reinforcing bars](#). *ACI Structural Journal*, 93(4):486–495.
- [11] Dũng, L. V. (2016). Đánh giá độ cứng ngang nhà cao tầng bằng bê tông cốt thép bán lắp ghép khi xét đến độ cứng nút khung lắp ghép. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (TCKHCN XD) - ĐHXDHN*, 10(2): 62–68.
- [12] TCVN 5574:2018. *Tiêu chuẩn thiết kế bê tông cốt thép*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [13] TCVN 9347:2012. *Cấu kiện bê tông và bê tông cốt thép đúc sẵn - Phương pháp thí nghiệm gia tải để đánh giá độ bền, độ cứng và khả năng chống nứt*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [14] SikaGrout®-214-11. [Product data sheet](#).
- [15] Minh, P. Q., Phong, N. T., Thắng, N. T., Tùng, V. M. (2021). *Kết cấu bê tông cốt thép - Phần cấu kiện cơ bản*. Nhà xuất bản Khoa Học và Kỹ Thuật, Hà Nội.