

# KHẢO SÁT VỊ TRÍ CỦA HỆ OUTRIGGER ĐỂ ĐẠT HIỆU QUẢ CAO NHẤT TRONG VIỆC HẠN CHẾ HIỆU ỨNG BIẾN DẠNG CO NGẮN KHÔNG ĐỀU CỦA CỘT NHÀ CAO TẦNG BÊ TÔNG CỐT THÉP

## INVESTIGATING THE LOCATION OF AN OUTRIGGER SYSTEM TO REACH THE HIGHEST EFFECTIVENESS IN REDUCING UNEVEN SHORTENING DEFORMATION OF COLUMNS IN HIGH-RISE REINFORCED CONCRETE BUILDINGS

Lê Cao Tuấn<sup>1</sup>, Trần Quang Hưng<sup>1</sup>, Lê Cao Vinh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; lctuan@dut.udn.vn; tqhung@dut.udn.vn

<sup>2</sup>Trường Đại học Duy Tân; caovinhdtu@gmail.com

**Tóm tắt** - Co ngắn cột bê tông cốt thép làm tăng nội lực đáng kể trong các cấu kiện dầm nhà cao tầng. Để hạn chế hiện tượng này có thể sử dụng hệ outrigger. Tuy nhiên cần phải xác định vị trí hệ outrigger đạt hiệu quả cao nhất trong việc hạn chế co ngắn không đều của cột là một vấn đề quan tâm hiện nay. Bài báo này nghiên cứu vị trí đặt hệ outrigger theo chiều cao công trình để mang lại hiệu quả cao nhất trong việc hạn chế phát sinh nội lực do biến dạng không đều của cột và vách. Sự co ngắn chênh lệch giữa cột và vách do hiện tượng từ biến và đàn hồi tuân theo quy định của ACI 209R - 92 (1997). Quá trình này diễn biến theo thời gian bao gồm trong giai đoạn thi công và giai đoạn sử dụng. Một ví dụ số với nhà 30 tầng cho thấy ảnh hưởng của co ngắn không đều đến nội lực trong dầm, đồng thời chứng minh được rằng vị trí hệ outrigger có ảnh hưởng đáng kể trong việc hạn chế hiện tượng này.

**Từ khóa** - Nhà cao tầng; từ biến; co ngắn cột; hệ outrigger; giai đoạn thi công.

### 1. Đặt vấn đề

Co ngắn cấu kiện thẳng đứng (cột, vách) là hiện tượng cần được lưu ý trong nhà cao tầng bê tông cốt thép. Các cột khác nhau trong công trình có độ co ngắn khác nhau dẫn đến hiệu ứng nội lực tăng thêm trong các kết cấu dầm liên kết cột-vách, gây nghiêng sàn nhà quá mức cho phép, làm nứt các bộ phận phi kết cấu [1, 2, 4, 8, 9, 10]. Sự co ngắn này chủ yếu gây ra bởi biến dạng đàn hồi và hiện tượng từ biến. Các yếu tố này lại phụ thuộc vào từng giai đoạn thi công vì mỗi giai đoạn thi công cho một giá trị tải trọng đứng khác nhau. Ngoài ra từ biến còn phụ thuộc thời gian tác dụng. Việc đưa các yếu tố này vào tính toán kết cấu là một vấn đề tương đối khó khăn và mất nhiều thời gian.

Một số nghiên cứu chỉ ra rằng, ảnh hưởng của hiện tượng co ngắn không đều thể hiện càng rõ khi nhà càng nhiều tầng. Đối với nhà khoảng 20 tầng, co ngắn không đều của cột và vách có thể gây nội lực tăng thêm trong dầm ngang có giá trị lên đến  $\frac{3}{4}$  giá trị nội lực do tải trọng thẳng đứng gây nên [8, 9, 10].

Việc hạn chế co ngắn chênh lệch cũng là vấn đề cần được quan tâm, đặc biệt là đối với nhà siêu cao tầng. Trong các phương án kết cấu nhà cao tầng, dạng kết cấu có sử dụng hệ outrigger (tầng cứng) được sử dụng khi muốn huy động các cột xung quanh cùng tham gia chịu lực cùng lõi/vách bên trong. Phương án này khá hiệu quả trong việc tăng độ cứng ngang cho công trình [4]. Vì hệ outrigger làm việc như một dầm ngang rất cứng nối các cấu kiện thẳng đứng nên ngoài vai trò tăng cường độ cứng ngang nhà như

**Abstract** - Shortening reinforced concrete columns helps to considerably increase internal forces for girder structures in high-rise buildings. However, it is necessary to locate the outrigger system to reach the highest effectiveness in reducing the uneven shortening of columns, which is currently a matter of concern. This article examines the position to place the outrigger system in line with the height of a building in order to yield the highest effectiveness in reducing internal forces that may arise due to uneven deformation of columns and walls. The difference between columns and walls in shortening results from creep and elasticity in conformity with the regulations of the ACI 209R - 92 (1997) code. This process happens in the flow of time and consists of the construction stage and the operation stage. An example of a 30-storey building shows the effect of uneven shortening on the internal forces in girders, thereby proving that the position of the outrigger system exerts noticeable influence on the task of overcoming the above phenomenon.

**Key words** - High-rise building; creep; column shortening; outrigger system; construction stage.

đã đề cập trên, hệ outrigger còn có thể tận dụng làm hệ kết cấu giúp cân bằng co ngắn không đều giữa các cột mà nó liên kết. Theo như một số nghiên cứu cũng cho thấy rằng hệ outrigger cũng có vai trò đáng kể trong việc hạn chế biến dạng không đều của cột và vách [11].

Nghiên cứu này giúp định lượng được ảnh hưởng vị trí đặt hệ outrigger theo chiều cao công trình trong hạn chế co ngắn không đều giữa các cấu kiện thẳng đứng trong nhà cao tầng bê tông cốt thép.

### 2. Từ biến của bê tông và phương pháp áp dụng đặt co ngắn vào mô hình kết cấu theo giai đoạn thi công

#### 2.1. Biến dạng của bê tông do từ biến

Nghiên cứu này sử dụng mô hình tính biến dạng ACI 209R-92 của Viện Kết cấu Bê tông Cốt thép Hoa Kỳ, mô hình này được khá nhiều tác giả khác khuyến dùng vì tương đối đơn giản và mang tính thực tế cao [5, 6, 7].

Tổng biến dạng của bê tông nằm trong kết cấu tại thời điểm  $t$  xác định bởi:

$$\varepsilon(t, t_0) = J(t, t_0) \sigma(t_0) \quad (1)$$

Trong đó:

- Ứng suất  $\sigma(t_0)$  bằng lực dọc tác dụng tại thời điểm  $t_0$  chia cho diện tích cột.

- $J(t, t_0)$  gọi là hàm suất biến dạng, được hiểu là tổng biến dạng tại thời điểm  $t$  do ứng suất 1 đơn vị đặt vào tại thời điểm  $t_0$ , xác định như sau:

$$J(t, t_0) = \frac{1 + \Phi(t, t_0)}{E_{cm t_0}} \quad (2)$$

Trong công thức (2)  $E_{cm t_0}$  là môđun đàn hồi của bê tông tại thời điểm  $t_0$  (đơn vị MPa):

$$E_{cm t_0} = 0,043 \gamma_c^{1,5} \sqrt{f_{cm t_0}} \quad (3)$$

Trong đó,  $\gamma_c$  là khối lượng riêng của bê tông ( $\text{kg/m}^3$ ) và  $f_{cm t_0}$  là cường độ chịu nén trung bình của bê tông tại thời điểm chất tải  $t_0$  (MPa), xác định như sau:

$$f_{cm t_0} = \frac{t_0}{a + b t_0} f_{cm 28} \quad (4)$$

$f_{cm 28}$  là cường độ chịu nén 28 ngày tuổi; a và b là các hằng số mà tỉ số a/b biểu diễn số ngày tuổi mà bê tông đạt được 1/2 cường độ cuối cùng (xem bảng A.4 ACI 209R-92). Hệ số từ biến  $\Phi(t, t_0)$  xác định như sau:

$$\Phi(t, t_0) = \frac{(t - t_0)^\psi}{d + (t - t_0)^\psi} \Phi_u \quad (5)$$

d (đơn vị là ngày tuổi) và  $\psi$  là các hệ số [2]. Có thể lấy  $\psi=1$  và  $d=f$  với:

$$f = 26e^{(1,42 \times 10^{-2} (V/S))} \quad (6)$$

Tỉ số  $V/S=(\text{thể tích cấu kiện bê tông})/(\text{diện tích bề mặt cấu kiện})$ ,  $\Phi_u$  là hệ số từ biến cực hạn, có thể lấy gần đúng  $\Phi_u=2,35$ .

**2.2. Phương pháp tính biến dạng và áp đặt co giãn vào mô hình theo giai đoạn thi công**

Biến dạng của cột được tính theo phương pháp cộng biến dạng của từng phần tải trọng thẳng đứng ứng với từng giai đoạn thi công [9, 10]. Gọi  $N_1, N_2, N_3$  là các lực dọc tác dụng vào cột đang xét bắt đầu từ các thời điểm  $t_1 < t_2 < t_3$ . Biến dạng của cột tại thời điểm  $t_3$ :

$$\varepsilon(t_3) = \varepsilon(N_1) + \varepsilon(N_2) + \varepsilon(N_3) \quad (7)$$

Với các biến dạng thành phần do các lực tại các thời điểm khác nhau gây ra được tính theo công thức (1):

$$\varepsilon(N_1) = J(t_3, t_1) \times \sigma(t_1)$$

$$\varepsilon(N_2) = J(t_3, t_2) \times \sigma(t_2)$$

$$\varepsilon(N_3) = J(t_3, t_3) \times \sigma(t_3)$$

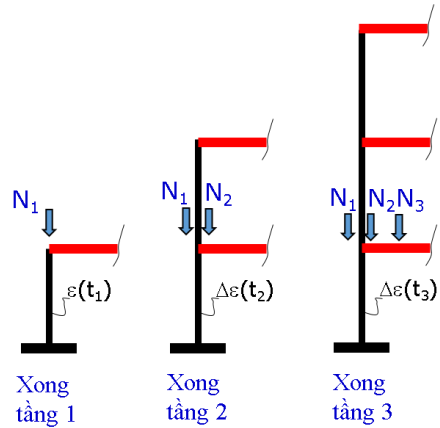
Gọi L là chiều dài cột, tổng co giãn của cột tại thời điểm xét:

$$\Delta L(t_3) = \varepsilon(t_3) \times L \quad (8)$$

Giả sử ta quan tâm đến việc áp đặt biến dạng này vào cột trong mô hình tính toán kết cấu. Gọi chênh lệch biến dạng giữa 2 giai đoạn liên tiếp là:

$$\Delta \varepsilon(t_i) = \varepsilon(t_i) - \varepsilon(t_{i-1}) \quad (9)$$

Việc áp đặt các biến dạng này vào cột theo giai đoạn được biểu diễn như Hình 1. Nội lực của hệ tại thời điểm nào đó bằng tổng nội lực tất cả các mô hình trước đó và mô hình tại thời điểm xét [9,10].



Hình 1. Áp đặt biến dạng theo giai đoạn thi công [9]

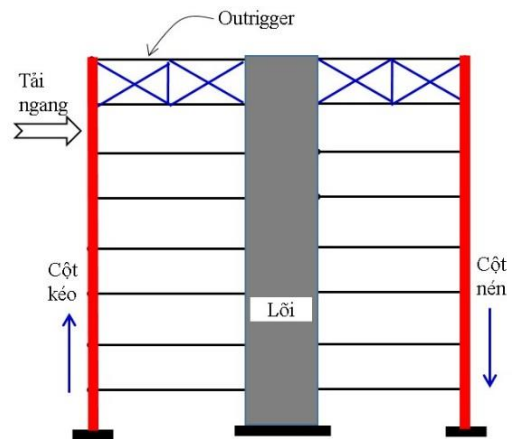
Nếu cột đứng độc lập thì ta có thể áp đặt biến dạng này như chuyển vị cưỡng bức đầu cột. Tuy nhiên với một công trình cụ thể, ta không thể áp đặt một chuyển vị cưỡng bức vào nút đỉnh cột vì rõ ràng các cột và vách trong công trình liên kết với nhau thông qua dầm tạo thành hệ siêu tĩnh, biến dạng của cột này sẽ bị cột khác ngăn cản. Để khắc phục vấn đề này có thể dùng phương pháp biến dạng nhiệt tương đương [8, 9, 10]. Phương pháp này tạo biến dạng tương đương bằng cách gia lượng nhiệt âm vào cấu kiện cột đang xét sao cho sự co giãn do nhiệt sẽ bằng sự co giãn theo tính toán.

Gọi  $\alpha_K$  là hệ số giãn nở nhiệt giả định,  $\Delta K$  là lượng nhiệt biến thiên cần thiết để gia vào cột để gây ra biến dạng co giãn tương đương  $\Delta \varepsilon$ , được xác định như sau:

$$\Delta K = \alpha_K \cdot \frac{\Delta L}{L} = \alpha_K \cdot \Delta \varepsilon \quad (10)$$

**3. Sự làm việc và vai trò của hệ outrigger trong hạn chế co giãn cột**

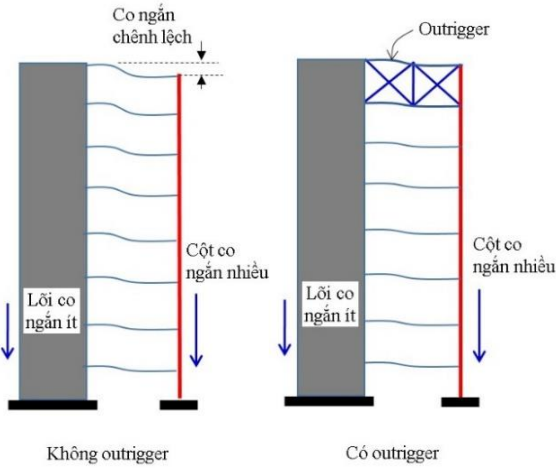
Nếu chỉ xét về độ cứng của kết cấu nhà nhiều tầng, hệ outrigger được bố trí để tăng độ cứng ngang của công trình. Xét kết cấu như Hình 2, các cột xung quanh được huy động tham gia chịu lực cùng lõi bên trong khi có lực ngang tác dụng, hệ outrigger đóng vai trò là đòn nối cột vào lõi.



Hình 2. Sự làm việc của hệ outrigger trong kết cấu chịu tải ngang

Nếu coi độ cứng chống uốn của hệ outrigger là rất lớn so với cột thì vị trí tối ưu của hệ outrigger trong trường hợp này như sau [4]:

- Khi có 1 hệ outrigger:  $1/2$  chiều cao H của nhà.
- Khi có n hệ outrigger: đặt lần lượt tại  $1/(n+1), 2/(n+1), \dots, n/(n+1)$  chiều cao H của nhà.



**Hình 3.** Vai trò của outrigger trong hạn chế co ngấn chênh lệch [11]

Ngoài vai trò tăng độ cứng nhà như trên, do liên kết các cấu kiện đứng với nhau nên hệ outrigger sẽ giúp cân bằng một phần co ngấn không đều giữa các cấu kiện đó. Thật vậy, Hình 3 cho thấy khi cột bị co ngấn nhiều hơn lõi thì thông qua outrigger có độ cứng rất lớn, lõi sẽ giúp kéo cột lên một phần.

Hiện tượng co ngấn không đều của các cấu kiện thẳng đứng phụ thuộc vào các giai đoạn thi công. Các nghiên cứu trước [11] cũng cho thấy rằng các dầm ngang ở các tầng khác nhau sẽ có ảnh hưởng khác nhau đối với hiện tượng này. Do vậy ta cần phải xác định hệ outrigger đặt ở vị trí hợp lý nhất, để sự chênh lệch biến dạng của các cấu kiện thẳng đứng trong công trình là nhỏ nhất. Khi đó nội lực phát sinh do nguyên nhân này gây ra sẽ bé nhất.

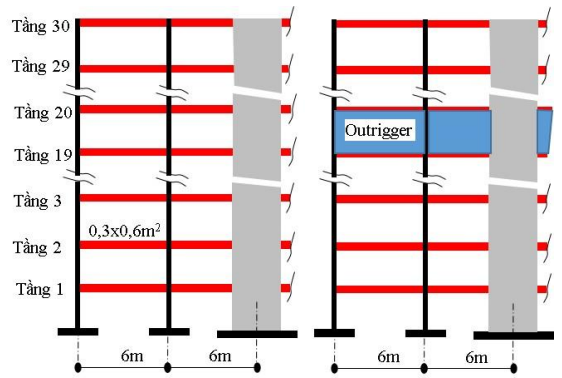
**4. Hiệu quả của hệ outrigger trong hạn chế co ngấn**

**4.1. Đối tượng mô phỏng**

Đối tượng tính toán là khung bê tông cốt thép 30 tầng, chiều cao công trình 3,6m. Khung 4 cột và 1 vách được bố trí đối xứng, tiết diện cột được thay đổi 2 lần tại tầng 10 và tầng 20 (Hình 4). Tuy nhiên để đánh giá được sự ảnh hưởng của vị trí hệ outrigger trong việc hạn chế sự co ngấn không đều của cột trong công trình cần đặt tại các vị trí khác nhau (tại tầng 5, tầng 10, tầng 15, tầng 20, tầng 25, tầng 30) tương ứng theo chiều cao công trình ( $1/6H, 1/3H, 1/2H, 2/3H, 5/6H$ ) để khảo sát.

Bê tông cấp độ bền chịu nén B25, tải trọng thẳng đứng truyền vào cột chấp nhận giống nhau trên tất cả các tầng, giá trị như sau:

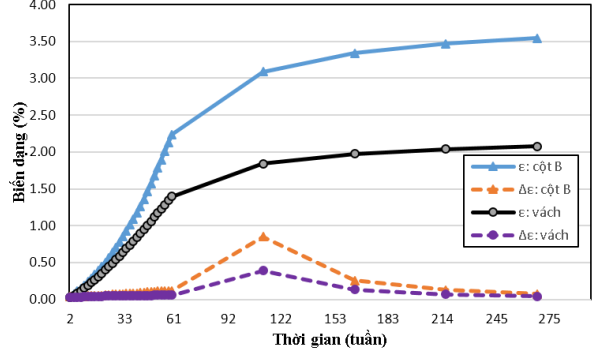
- Cột A (cột biên):  $N_A=198kN$
- Cột B (cột giữa):  $N_B=330kN$
- Vách:  $N_V=580,8kN$



Tầng	Cột A	Cột B	Vách
1-10:	0,5x1,0m <sup>2</sup>	0,5x1,0m <sup>2</sup>	0,3x4m <sup>2</sup>
11-20:	0,45x0,9m <sup>2</sup>	0,45x0,9m <sup>2</sup>	0,3x4m <sup>2</sup>
21-30:	0,4x0,8m <sup>2</sup>	0,4x0,8m <sup>2</sup>	0,3x4m <sup>2</sup>

**Hình 4.** Khung nhà 30 tầng có (phải) và không có (trái) hệ outrigger

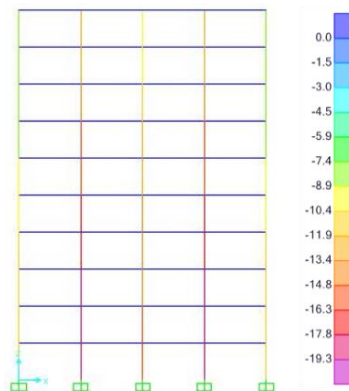
Với mục đích nghiên cứu hiệu quả của hệ outrigger đến hạn chế co ngấn nên nghiên cứu này không mô phỏng chính xác kết cấu outrigger thực tế mà chấp nhận mô hình thành kết cấu tấm có chiều cao bằng chiều cao tầng, bề dày tấm bằng bề dày vách đứng.



**Hình 5.** Biến dạng của cột và vách tầng 1 theo thời gian

Thời gian thi công một tầng là  $T=14$  ngày (2 tuần). Các số liệu tính toán tính đến thời điểm 4 năm kể từ khi kết thúc thi công.

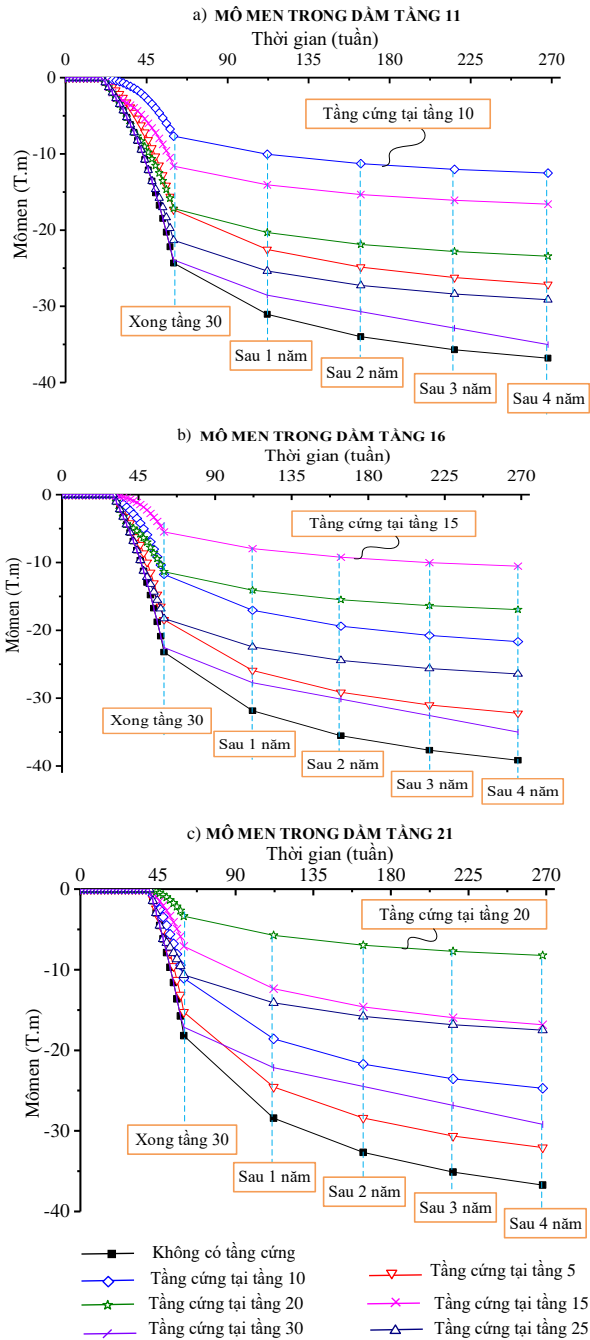
Biểu đồ HÌNH 5 biểu diễn tổng biến dạng và chênh lệch biến dạng theo từng giai đoạn của cột B và vách tầng 1. Từ biến dạng chênh lệch  $\Delta\varepsilon$  sẽ tính được lượng nhiệt tương ứng cần áp đặt vào các cấu kiện tại từng giai đoạn. Mô hình gia nhiệt tương đương ở giai đoạn thi công tầng 10 được biểu diễn như HÌNH 6.



**Hình 6.** Gia nhiệt tương đương trong giai đoạn thi công tầng 10

4.2. Kết quả

Hình 7 biểu diễn diễn biến mômen đầu một số dầm nối cột B và vách theo thời gian của các phương án không có hệ outrigger và đặt 1 hệ outrigger ở các vị trí khác nhau trên công trình.

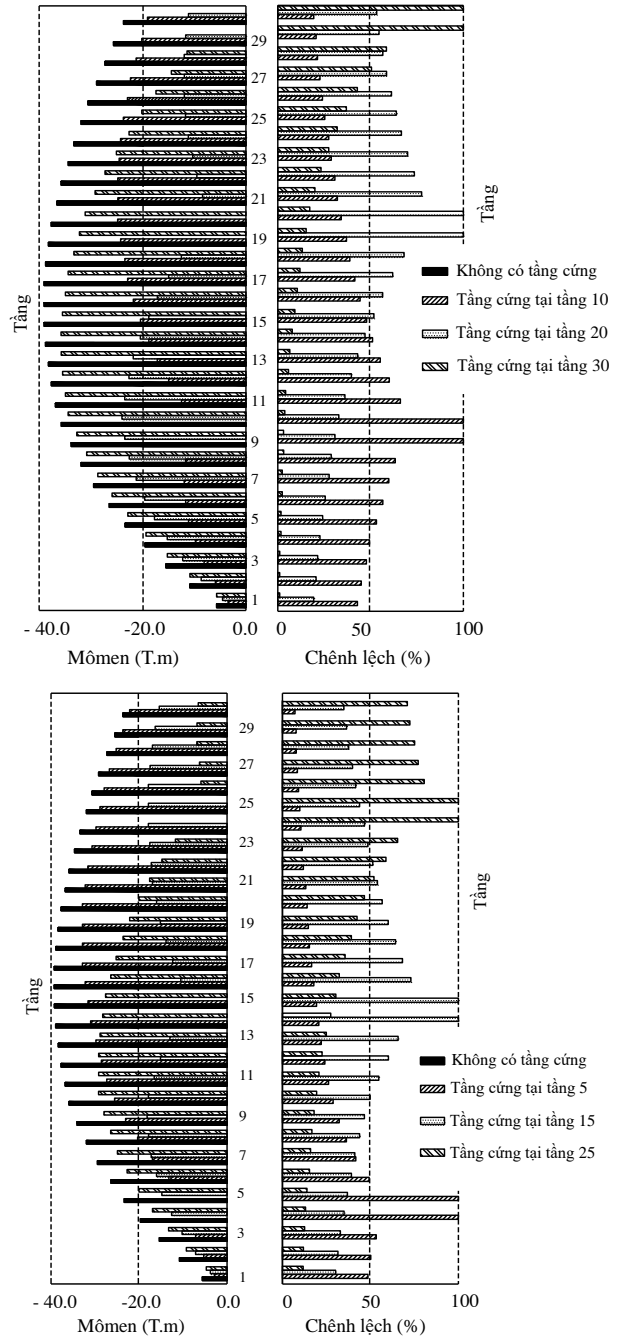


Hình 7. So sánh mômen đầu một số dầm giữa cột B và vách theo các giai đoạn thi công tương ứng với vị trí đặt hệ outrigger

Kết quả cho thấy, vị trí đặt hệ outrigger có ảnh hưởng nhiều trong việc hạn chế ảnh hưởng của co giãn không đều lên các cấu kiện dầm. Chú ý rằng, hệ outrigger chỉ phát huy vai trò kể từ thời điểm bố trí nó vào hệ. Nếu xét dầm tầng 11 (Hình 7a) tầng cứng đặt ở tầng 10 thì mômen trong dầm này sẽ giảm nhiều nhất tức là vị trí tầng cứng trong trường hợp này là hiệu quả nhất; tuy nhiên nếu xét dầm ở tầng 16 (Hình 7b) thì tầng cứng đặt ở tầng 15

lại hiệu quả nhất; và xét dầm ở tầng 21 (Hình 7c) thì tầng cứng đặt ở tầng 20 lại hiệu quả nhất. Vậy vị trí của tầng cứng sẽ ảnh hưởng khác nhau đến các dầm ở các tầng khác nhau, các dầm càng gần tầng cứng thì mô men trong dầm đó sẽ giảm được nhiều nhất.

Hình 8 biểu diễn giá trị và chênh lệch mômen tại đầu các dầm nối cột B và vách ứng với các tầng tại thời điểm xét cuối cùng cho trường hợp không có hệ outrigger so với có hệ outrigger đặt tại các vị trí khác nhau. Chú ý tại vị trí tầng đặt hệ outrigger thì dầm chỉ mang tính tượng trưng vì đã thay thế dầm bằng hệ vách.

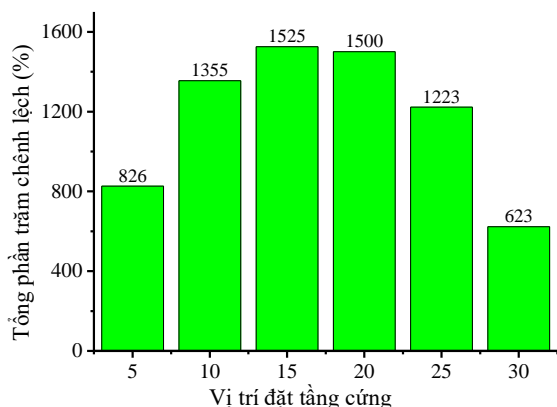


Hình 8. Hiệu quả của vị trí đặt hệ outrigger trong việc giảm hiệu ứng đối với dầm

Theo như kết quả Hình 8 cho thấy, nếu hệ không đặt tầng cứng thì nguyên nhân biến dạng không đều của cột sẽ

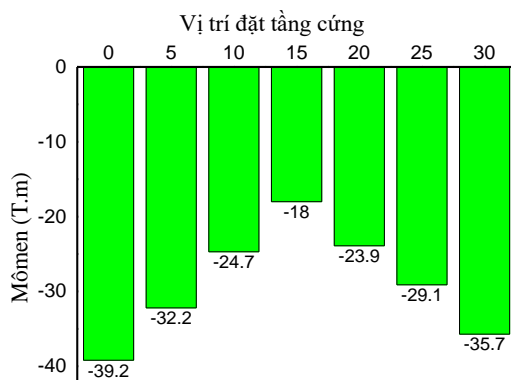
ảnh hưởng lớn nhất tại dầm tầng 16 với  $M = -39$  (T.m). Nếu có hệ bố trí tầng cứng thì sẽ giảm đáng kể mômen trong dầm do nguyên nhân này gây ra. Tuy nhiên nếu bố trí hệ outrigger ở tầng 5 và tầng 30 thì mômen trong dầm sẽ không giảm nhiều bằng việc bố hệ outrigger từ tầng 10 đến tầng 20 (tức là từ 1/3 đến 2/3 chiều cao công trình).

Hình 9 thể hiện tổng phần trăm chênh lệch mômen dầm của tất cả các tầng tại đầu nối cột B và vách giữa các vị trí của tầng cứng so với hệ không có tầng cứng. Theo như Hình 9 tổng phần trăm chênh lệch mômen trong dầm khi tầng cứng đặt tầng 30 thấp nhất và tầng cứng đặt ở tầng 15 cao nhất, do đó tầng cứng đặt ở tầng 15 đạt hiệu quả cao nhất.



**Hình 9.** Tổng phần trăm chênh lệch mô men trong dầm giữa vị trí của outrigger so với hệ không có tầng cứng

Hình 10 cho thấy, mômen lớn nhất trong dầm nối cột B và vách cho các phương án bố trí tầng cứng ở các vị trí khác. Khi hệ không có tầng cứng thì mômen lớn nhất tại đầu dầm nối cột B và vách là  $M = -39,2$  (T.m), theo như kết quả ở Hình 10 thì nếu tầng cứng đặt ở tầng 15 thì mômen lớn nhất trong dầm chỉ còn lại  $M = -18$  (T.m) đạt hiệu quả cao nhất so với các vị trí đặt tầng cứng tại các vị trí khác.



**Hình 10.** Mômen lớn nhất trong dầm cho các vị trí khác nhau của tầng cứng

## 5. Kết luận

Nghiên cứu này đã chỉ ra rằng, việc đặt hệ outrigger tại  $\frac{1}{2}$  chiều cao công trình trong nhà cao tầng sẽ mang lại hiệu quả cao nhất trong việc hạn chế co ngán không đều của cột bê tông cốt thép trong nhà cao tầng, mômen trong dầm ngang sẽ phân bố lại đều đặn so với các vị trí của tầng cứng.

Ngay khi có outrigger trong mô hình thì các lực dọc của cột tầng trên sẽ không còn truyền trực tiếp cột tầng dưới nữa, một phần lực này sẽ do outrigger chịu (chuyển thành lực cắt trong outrigger và truyền qua vách), do đó mô hình mô phỏng biến dạng còn hạn chế là chưa mô tả được sự truyền này mà coi toàn bộ lực dọc truyền trực tiếp xuống bên dưới.

Nghiên cứu mới đề cập đến hệ chỉ bố trí 1 outrigger. Tuy nhiên, công trình cao tầng và siêu cao tầng thường bố trí nhiều hệ outrigger nên cần có khảo sát để tìm vị trí tối ưu nhất trong trường hợp này, đồng thời phối hợp một cách tương đối với vị trí tối ưu khi xét độ cứng ngang.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Cao Duy Khôi, Ngô Hoàng Quân. *Hiện tượng co ngán cột trong thiết kế nhà cao tầng và siêu cao tầng bê tông cốt thép*. Viện Khoa học công nghệ Xây dựng Hà Nội, 2012.
- [2] ACI 209R - 92(1997). Prediction of Creep, Shrinkage, and temperature Effects in Concrete Structures. Reported by ACI Committee 209.
- [3] ACI 318-08. Building code requirements for structural concrete and commentary, 2008.
- [4] Bryan Stafford Smith, Alex Coull. *Tall building Structures - Analysis and Design*. John Wiley & Sons, Inc. 1991
- [5] F. Mola, L. M. Pellegrini, *Effects of column shortening in Tall Buildings*. 35th Conference on Our world in concrete & structures:25 - 27 August 2010, Singapore.
- [6] FINTEL M., GHOSH S.K., IYENGAR H. Column shortening in tall structures. Prediction and compensation. PCA, 1987.
- [7] M. Hassanién Serró and A. Essam El-Din, Assessment of internal Forces Induced due to Differential Shortening of Vertical Elements in Typical Medium - to High - Rise Buildings. Journal of American Science, 2012.
- [8] Nguyễn Chính Nghĩa. *Nghiên cứu ảnh hưởng của co ngán không đều trong cột và vách bê tông cốt thép đến nội lực nhà cao tầng*. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật, Đại học Đà Nẵng, 2015.
- [9] Trần Quang Hưng, Lê Cao Tuấn. *Phương pháp đánh giá ảnh hưởng co ngán không đều của cột và vách đến nhà cao tầng*. Hội nghị Công nghệ xây dựng tiên tiến hướng đến phát triển bền vững- ATCESD 2015, trang 27-35, Đà Nẵng 8/2015.
- [10] Trần Quang Hưng. *Một phương pháp phân tích nhà cao tầng bê tông cốt thép chịu co ngán không đều của cấu kiện thẳng đứng do biến dạng đàn hồi và từ biến*. Tạp chí Xây dựng, số 12-2015, trang 144-147.
- [11] Lê Cao Tuấn, Trần Quang Hưng. *Hiệu quả của hệ Outrigger trong việc hạn chế co ngán không đều của cột nhà cao tầng bê tông cốt thép*. Hội nghị Công nghệ xây dựng tiên tiến hướng đến phát triển bền vững- ATCESD 2016, trang 29-33, Đà Nẵng 8/2016.