

ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ HỆ OUTRIGGER TRONG KIỂM SOÁT CO NGẮN KHÔNG ĐỀU DƯỚI TẢI TRỌNG GIÓ KẾT CẤU BÊ TÔNG NHÀ CAO TẦNG

Nguyễn Đình Anh Vũ¹, Nguyễn Thị Mai Phương¹, Nguyễn Ngọc Nghĩa², Đỗ Trung Hiếu², Lê Hoài Thân², Nguyễn Châu Anh Kiệt², Đặng Văn Tâm³, Nguyễn Công Bắc³
¹Trường Đại học Lạc Hồng, Số 10 Huỳnh Văn Nghệ, Trần Biên, Đồng Nai, Việt Nam
*Tác giả liên hệ: nguyendinhanhvu@lhu.edu.com

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận: 18/04/2025
Ngày hoàn thiện: 23/05/2025
Ngày chấp nhận: 23/05/2025
Ngày đăng: 31/03/2026

TỪ KHÓA

Outrigger;
Co ngắn không đều;
Nhà cao tầng;
Kết cấu bê tông cốt thép;
Tải trọng gió.

TÓM TẮT

Trong kết cấu nhà cao tầng bê tông cốt thép, hiện tượng co ngắn không đều giữa cột và lõi cứng có thể làm phát sinh nội lực phụ đáng kể trong dầm, ảnh hưởng đến an toàn và hiệu quả làm việc của công trình. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu hiệu quả của hệ outrigger trong việc hạn chế co ngắn không đều giữa các cầu kiện đứng bằng phương pháp mô phỏng số. Mô hình khung phẳng 2D cao 30 tầng được thiết lập trên phần mềm ETABS, kết hợp tải trọng đứng và tải trọng gió theo tiêu chuẩn hiện hành. Hệ outrigger được bố trí tại các tầng khác nhau để đánh giá ảnh hưởng đến chuyển vị và moment tại các dầm liên kết. Kết quả cho thấy, bố trí hệ outrigger tại tầng 20–25 giúp giảm đến 23% moment âm trong dầm so với trường hợp không bố trí, đồng thời làm giảm rõ rệt chuyển vị lệch giữa cột và lõi cứng. Nghiên cứu góp phần làm rõ vai trò của hệ outrigger trong thiết kế kết cấu nhà cao tầng, đặc biệt trong điều kiện chịu tải trọng gió.

EVALUATION OF OUTRIGGER SYSTEM EFFECTIVENESS IN CONTROLLING DIFFERENTIAL SHORTENING UNDER WIND LOAD IN HIGH-RISE CONCRETE STRUCTURES

Nguyen Dinh Anh Vu¹, Nguyễn Thị Mai Phương¹, Nguyen Ngoc Nghia², Do Trung Hieu², Le Hoai Than², Nguyen Chau Anh Kiet², Dang Van Tam³, Nguyen Cong Bac³
¹Lac Hong University, No. 10 Huynh Van Nghe, Tran Bien, Dong Nai, Vietnam
*Corresponding Author: nguyendinhanhvu@lhu.edu.com

ARTICLE INFO

Received: Apr 18th, 2025
Revised: May 23rd, 2025
Accepted: May 23rd, 2025
Published: Mar 31st, 2026

KEYWORDS

Polypropylene Fiber;
Reinforced Concrete Beam;
Fiber-Reinforced Concrete;
Lap Splice Length.

ABSTRACT

In high-rise reinforced concrete structures, differential shortening between columns and core walls can generate significant secondary moments in beams, compromising structural safety and performance. This study investigates the effectiveness of outrigger systems in mitigating such differential shortening through numerical simulation. A 30-story 2D frame model was developed in ETABS, incorporating vertical and wind loads based on current design standards. Outrigger systems were assigned at various floor levels to evaluate their impact on displacement and moment in the connecting beams. The results indicate that placing the outrigger at floors 20–25 can reduce negative bending moments by up to 23% compared to the case without outriggers, while also significantly minimizing differential displacement between columns and the core. The findings highlight the critical role of outrigger systems in the structural design of high-rise buildings, especially under wind loading conditions.

Doi: <https://doi.org/10.61591/jslhu.25.785>

Available online at: <https://lhj.vn>

1. GIỚI THIỆU

Nhà cao tầng là một trong những giải pháp kiến trúc hiệu quả nhằm giải quyết bài toán không gian sống ngày càng hạn hẹp tại các đô thị lớn. Tại Việt Nam, số lượng công trình nhà cao tầng ngày càng gia tăng cả về quy mô lẫn độ cao, kéo theo yêu cầu ngày càng khắt khe trong công tác thiết kế, thi công và quản lý vận hành. Trong đó, việc phân tích nội lực kết cấu chịu ảnh hưởng của các tải trọng bên ngoài như tải trọng đứng, tải trọng gió và động đất đã được nhiều đơn vị tư vấn quan tâm áp dụng theo các tiêu chuẩn hiện hành [1].

Tuy nhiên, một hiện tượng quan trọng nhưng thường bị xem nhẹ trong thiết kế kết cấu nhà cao tầng là co ngắn dọc trục không đều giữa các cấu kiện chịu lực thẳng đứng, bao gồm cột và vách bê tông cốt thép. Hiện tượng này được gọi là co ngắn cột (column shortening) – chỉ sự biến dạng dọc trục của cấu kiện do ảnh hưởng tổng hợp của tải trọng dài hạn, co ngót và từ biến của bê tông [2]. Sự khác biệt về vật liệu, hình học, tải trọng tác dụng và chu trình thi công giữa các cấu kiện đứng có thể làm phát sinh độ vênh sàn/dầm, khiến sàn bị lệch khỏi vị trí thiết kế, dẫn đến nứt vỡ các bộ phận phi kết cấu và sinh ra nội lực phụ không mong muốn trong hệ dầm sàn [3].

Nghiên cứu thực nghiệm và phân tích số gần đây cho thấy các giải pháp kết cấu có thể được áp dụng để giảm thiểu hiện tượng trên, trong đó hệ outrigger – hệ dầm liên kết cứng giữa lõi cứng và cột biên – được xem là một trong những biện pháp hiệu quả để kiểm soát chuyển vị ngang và đồng thời hạn chế co ngắn không đều giữa các cấu kiện đứng [4]. Tuy nhiên, việc xác định vị trí bố trí outrigger sao cho đạt hiệu quả tối ưu vẫn còn là vấn đề mở, chưa có sự thống nhất rõ ràng trong thực tiễn thiết kế.

Với những lý do trên, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của hệ outrigger đến hiện tượng co ngắn không đều giữa cột và lõi cứng trong nhà cao tầng bê tông cốt thép. Thông qua mô hình phân tích bằng phần mềm ETABS, các phương án bố trí outrigger tại nhiều tầng khác nhau sẽ được khảo sát để đề xuất giải pháp thiết kế hiệu quả về mặt kỹ thuật và khả thi về mặt thi công.

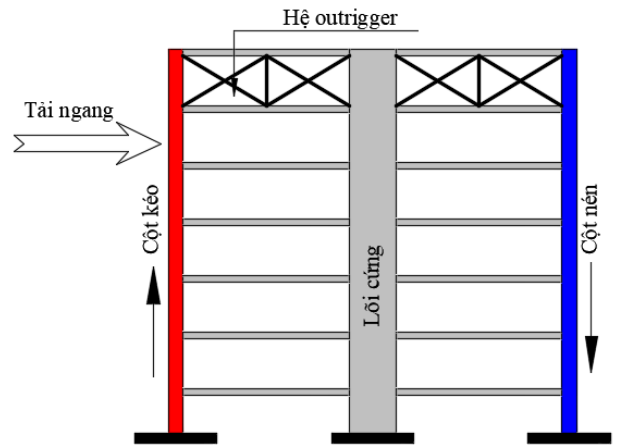
2. HỆ OUTRIGGER ẢO VÀ VAI TRÒ HẠN CHẾ CO NGẮN KHÔNG ĐỀU GIỮA CỘT VÀ LỐI CỨNG

Hệ outrigger trong công trình nhà cao tầng vốn được biết đến là giải pháp kết cấu giúp tăng độ cứng ngang, phân phối lại nội lực và giảm chuyển vị tổng thể, xem Hình 1. Tuy nhiên, bên cạnh vai trò kháng lực ngang, hệ outrigger còn đóng vai trò quan trọng trong việc hạn chế hiện tượng co ngắn không đều giữa các cấu kiện đứng, đặc biệt là giữa cột biên và lõi cứng.

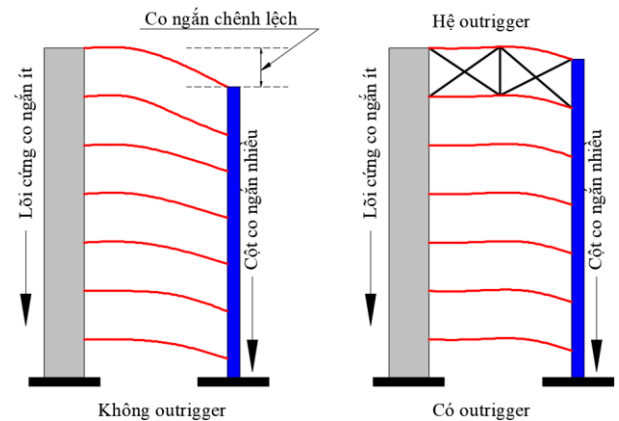
Về mặt cơ học, hệ outrigger hoạt động như một “đòn nối” có độ cứng lớn, giúp liên kết cột biên với lõi cứng, tạo thành một hệ làm việc đồng thời. Khi xảy ra hiện tượng co ngắn chênh lệch – ví dụ cột co ngắn nhiều hơn lõi – thì chính độ cứng lớn của outrigger sẽ truyền tải một phần chuyển vị từ cột về lõi và ngược lại, giúp cân bằng biến dạng dọc trục giữa các cấu kiện. Nhờ đó, sự khác biệt biến dạng được giảm bớt và nội lực phụ phát sinh trong các dầm nối sẽ được hạn chế đáng kể, xem Hình 2.

Các nghiên cứu cũng đã chỉ ra rằng hiệu quả giảm co ngắn không đều phụ thuộc đáng kể vào vị trí bố trí hệ

outrigger. Khi chỉ có một hệ outrigger, vị trí tối ưu thường nằm tại giữa chiều cao công trình ($H/2$). Với nhiều hệ outrigger, nên bố trí theo tỷ lệ đều $H/(n+1)$, $2H/(n+1)$, ..., $nH/(n+1)$, trong đó n là số hệ outrigger. Ngoài ra, độ cứng của outrigger càng lớn thì khả năng cân bằng biến dạng càng hiệu quả. Từ đó có thể thấy, hệ outrigger không chỉ là cấu kiện phụ trợ mà thực sự là thành phần ảnh hưởng trực tiếp đến phân bố nội lực do co ngắn không đều, đặc biệt trong giai đoạn thi công hoặc khi công trình chịu tác động của tổ hợp tải trọng dài hạn. Việc bố trí hợp lý hệ outrigger sẽ giúp giảm nguy cơ nứt dầm, vênh sàn, và mất ổn định cục bộ, từ đó nâng cao tuổi thọ công trình và hiệu quả thi công.



Hình 1. Sự làm việc của hệ outrigger khi kết cấu chịu tải ngang



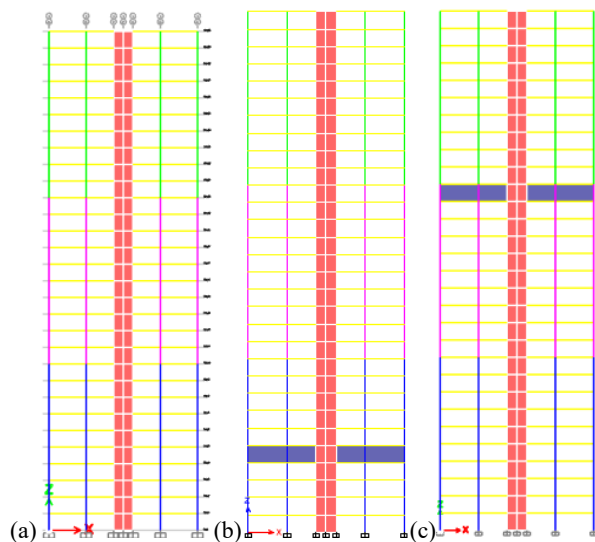
Hình 2. Cấu hình hệ thống thí nghiệm

3. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH

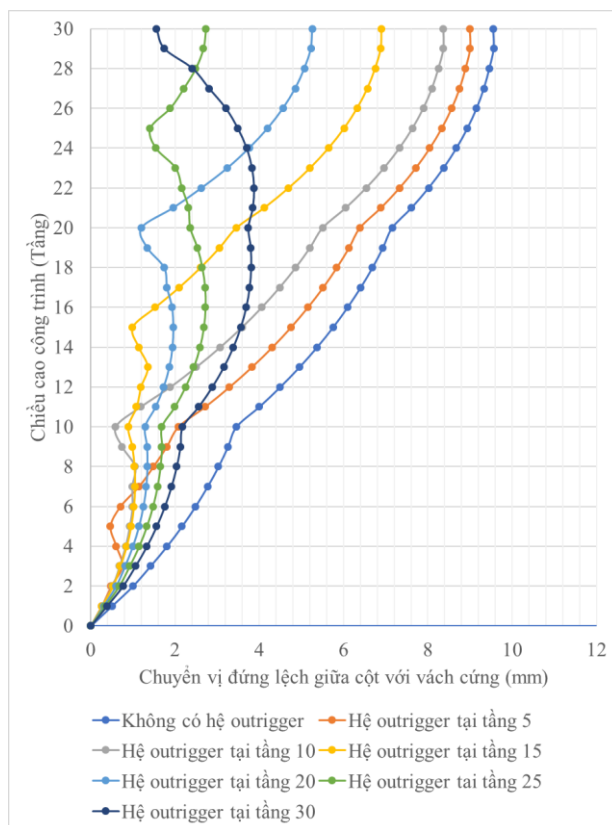
Mô hình khung phẳng 2D đại diện cho một trục điển hình của công trình được thiết lập nhằm khảo sát ảnh hưởng của hệ outrigger đến nội lực trong dầm nối giữa cột và lõi cứng. Các thông số vật liệu sử dụng bao gồm: bê tông B20, cốt thép CB240, hệ số co ngót và từ biến được lấy mặc định theo thư viện tiêu chuẩn của phần mềm. Hệ khung được mặc định là đổ toàn khối trong khi chân cột vách liên kết ngầm với nền như Hình 3. Sáu trường hợp được phân tích, bao gồm một trường hợp không bố trí outrigger (mẫu so sánh), xem hình 3a và năm trường hợp bố trí outrigger tại các tầng: 5, 10, 15, 20 và 25, hình 3b và 3c chỉ thể hiện hệ Outrigger tại tầng 5 và 25, các tầng khác bố trí tương tự. Các mô hình đều được gán tải trọng tĩnh và hoạt tải tiêu chuẩn, đồng thời kết hợp với tải trọng gió theo TCVN 2737: 2023. Kích thước hình học các cấu kiện dầm, cột và vách được cho như bảng 1.

Bảng 1. Thông số hình học của khung bê tông cốt thép

Vị trí	Dầm	Vách	Cột
1-10	40×60 cm ²	35×200 cm ²	80×80 cm ²
11-20	40×60 cm ²	35×200 cm ²	70×70 cm ²
21-30	40×60 cm ²	35×200 cm ²	60×60 cm ²



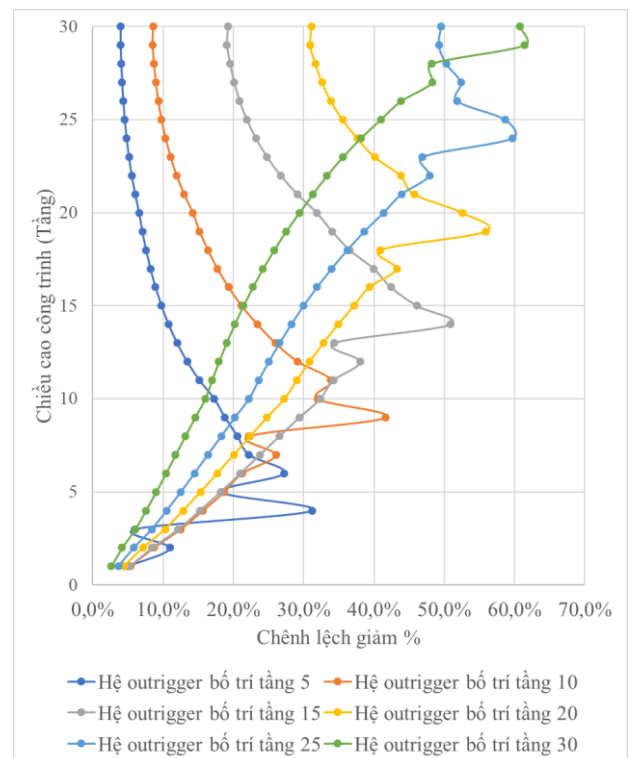
Hình 3. Sơ đồ khung BTCT trong phân tích: a) khung đối xứng, b) khung có outrigger tại tầng 5 và c) khung có Outrigger tại tầng 25.



Hình 4. Chuyển vị lệch giữa cột giữa và vách cứng

Đối với tải trọng đứng, độ lớn được giả định $q=40\text{kN/m}$ và bố trí đều trên tất cả các dầm ngang. Kết quả được mô hình và phân tích bằng phần mềm Etab. Sự chênh lệch lớn về độ cứng giữa lõi cứng và cột giữa dẫn đến chuyển vị lệch dọc trục giữa hai cấu kiện này lớn hơn đáng kể so với

giữa cột giữa và cột biên. Hình 4 minh họa chuyển vị lệch giữa cột giữa và lõi cứng trong các phương án phân tích, cho thấy rằng khi không bố trí hệ outrigger, độ lệch đạt giá trị gần 10 mm – một con số đáng kể có khả năng gây phát sinh nội lực phụ lớn trong dầm nổi. Khi hệ outrigger được đưa vào mô hình, độ lệch này giảm rõ rệt; đặc biệt, ở phương án bố trí outrigger tại tầng 25, độ lệch cực đại chỉ còn khoảng 2,4 mm. Kết quả này chứng minh hiệu quả rõ rệt của hệ outrigger trong việc điều hòa biến dạng dọc trục giữa các cấu kiện đứng, qua đó góp phần hạn chế moment âm không mong muốn trong dầm – một yếu tố quan trọng cần kiểm soát trong thiết kế kết cấu nhà cao tầng. Tương tự, Hình 5 trình bày tỷ lệ giảm moment âm tại dầm nổi theo chiều cao công trình khi bố trí hệ outrigger tại các tầng khác nhau. Kết quả cho thấy hệ outrigger giúp giảm đáng kể moment âm, trong đó phương án bố trí tại tầng 25 đạt hiệu quả cao nhất với mức giảm gần 60%. Ngược lại, các phương án tại tầng thấp như tầng 5 hoặc 10 chỉ đạt mức giảm từ 10–25%. Sự phân bố hiệu quả không đồng đều theo chiều cao phản ánh tính cục bộ của hệ outrigger, với mức độ ảnh hưởng mạnh nhất tại các tầng lân cận vị trí bố trí. Biểu đồ khẳng định rằng việc lựa chọn vị trí outrigger phù hợp, cụ thể là tại tầng 25, sẽ tối ưu hóa khả năng hạn chế moment âm không mong muốn trong kết cấu nhà cao tầng. Bảng 2 thể hiện giá trị trung bình độ giảm moment của các trường hợp bố trí hệ Outrigger so với trường hợp không bố trí. Kết quả cho thấy việc bố trí hệ Outrigger tại tầng 25 là hiệu quả nhất khi công trình chịu tải trọng bản thân.

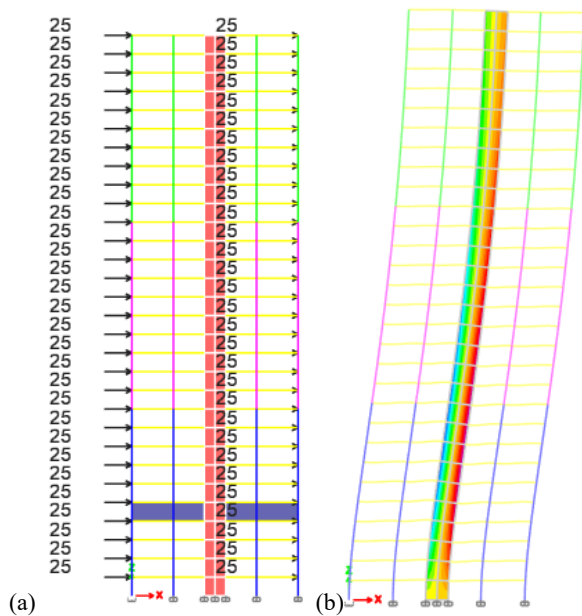


Hình 5. Chuyển vị lệch giữa cột giữa và vách cứng

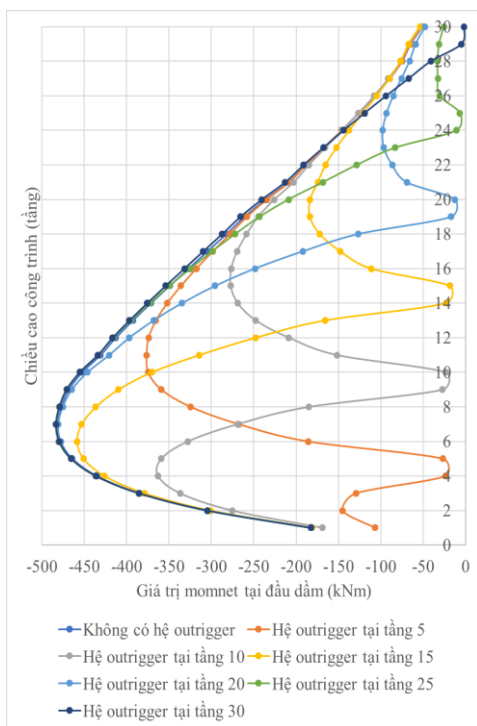
Bảng 2. Giá trị trung bình độ giảm moment của tất cả các trường hợp bố trí hệ outrigger với không bố trí

Tầng 5	Tầng 10	Tầng 15	Tầng 20	Tầng 25	Tầng 30
10.8%	17.4%	26.8%	30.7%	32.0%	25.4%

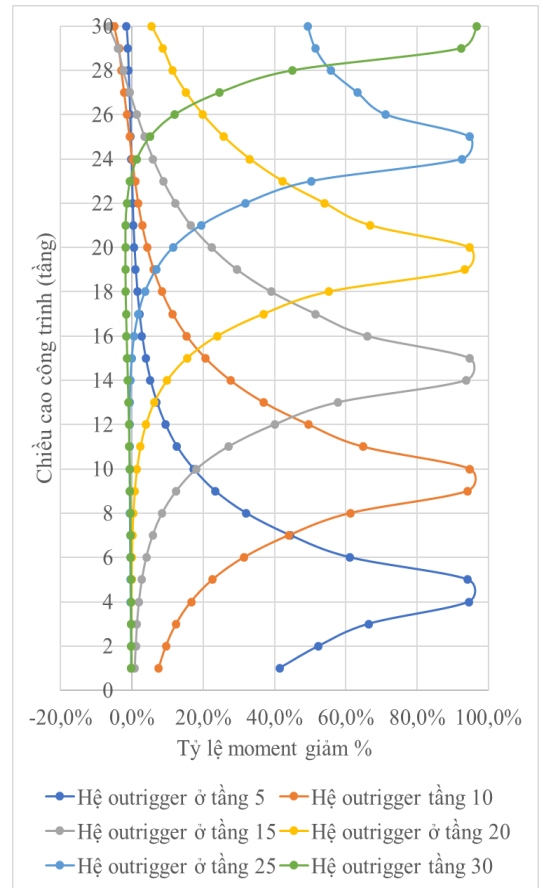
Trong phân tích tiếp theo này, tải trọng ngang được xét đến là tải trọng gió có giá trị không đổi theo phương đứng, được gán tại các nút giao giữa dầm và cột với độ lớn 25 kN (Hình 6a). Dưới tác dụng của tải trọng gió, chuyển vị theo phương đứng là không đáng kể so với chuyển vị ngang (Hình 6b). Cột biên ghi nhận chuyển vị đứng lớn nhất là $\pm 4,736$ mm, trong đó giá trị âm và dương tương ứng với cột biên phải và trái, chủ yếu phát sinh do hiện tượng xoay tại nút liên kết dầm – cột. Đối với lõi cứng, chuyển vị đứng lớn nhất đo được khoảng 4,9 mm. Như vậy, chênh lệch chuyển vị đứng giữa cột và vách là nhỏ, không đủ lớn để tạo moment đáng kể trong dầm. Moment phát sinh chủ yếu là do chuyển vị cưỡng bức tại các nút xoay giữa dầm và cột, cũng như giữa dầm và lõi cứng.



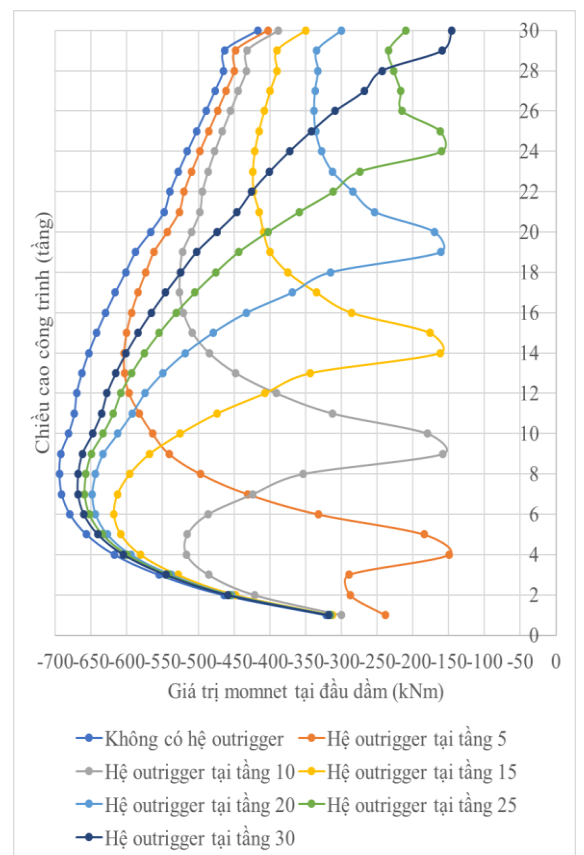
Hình 6. (a) Gán tải trọng ngang và (b) chuyển vị của khung



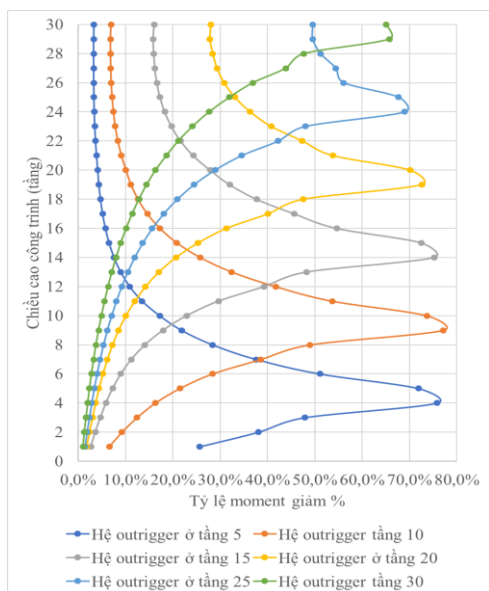
Hình 7. Giá trị moment tại đầu dầm liên kết vách cứng do tải trọng gió gây ra



Hình 8. Tỷ lệ moment giảm tại đầu dầm vị trí vách cứng của các trường hợp bố trí hệ outrigger so với không bố trí hệ outrigger do gió gây ra



Hình 9. Giá trị moment tại đầu dầm liên kết vách cứng do tải hợp (Gió + Tĩnh tải) gây ra



Hình 10. Tỷ lệ moment giảm của tại đầu dầm vị trí vách cứng của các trường hợp bố trí hệ outrigger so với không bố trí hệ outrigger do tổ hợp (Gió+Tĩnh tải) gây ra

Hình 7 thể hiện giá trị moment âm tại đầu dầm ở vị trí tiếp giáp với lõi cứng do tác động của tải trọng gió trong tất cả các phương án bố trí outrigger. Kết quả cho thấy, mô hình không bố trí hệ outrigger cho giá trị moment lớn nhất tại cùng một vị trí tầng so với các phương án còn lại. Tất cả các trường hợp đều có xu hướng moment cực đại xuất hiện tại tầng 6 và tầng 7 – khu vực gần chân công trình, nơi biến dạng xoay của các nút liên kết dầm-vách là lớn nhất. Khi bố trí outrigger, chuyển vị ngang toàn khung giảm, kéo theo góc xoay tại các nút dầm-vách giảm, dẫn đến moment tại đầu dầm giảm rõ rệt. Đặc biệt, tại tầng có bố trí outrigger, moment chủ yếu được phân bổ cho dầm outrigger, nên moment tại dầm sàn giảm đáng kể. Trong số các phương án khảo sát, bố trí outrigger tại tầng 10 cho kết quả moment thấp nhất, cho thấy đây là vị trí bố trí hiệu quả nhất khi xét riêng tải trọng ngang. Hình 8 minh họa tỷ lệ phần trăm moment tại các phương án bố trí outrigger so với phương án không bố trí. Phân tích cho thấy bố trí outrigger tại tầng 10 giúp tổng moment của toàn bộ các dầm giảm đáng kể, đạt mức giảm lên đến 629%. Trong khi đó, phương án bố trí outrigger tại tầng 30 chỉ giúp giảm tổng moment khoảng 255%, thể hiện hiệu quả hạn chế hơn. Như vậy, tầng 10 (xấp xỉ H/3) là vị trí bố trí outrigger hiệu quả nhất trong điều kiện công trình chỉ chịu tải trọng ngang.

Tuy nhiên, để đánh giá đầy đủ hơn ảnh hưởng của biến dạng co ngấn không đều, cần xét đến tổ hợp tải trọng gồm cả tĩnh tải và tải trọng gió. Hình 9 thể hiện moment tại đầu dầm trong các phương án khi xét tổ hợp tải trọng. Trong đó, phương án không bố trí outrigger tiếp tục cho kết quả moment lớn nhất ở khu vực từ tầng 6 đến tầng 10, trừ các trường hợp bố trí outrigger tại tầng 5 và tầng 10. Sự chênh lệch moment giữa các phương án có và không outrigger được trình bày trong Hình 10, cho thấy các tầng từ 10 đến 20 là khu vực có mức giảm moment rõ rệt nhất khi có outrigger. Bảng 3 tổng hợp giá trị trung bình moment giảm được trong các phương án, với phương án bố trí outrigger tại tầng 20 cho kết quả tốt nhất, đạt mức giảm 25.3%. Trong khi đó, bố trí tại tầng 30 chỉ giúp giảm khoảng 17.1%.

Từ các kết quả trên, có thể thấy rằng khi xét đến ảnh hưởng kết hợp giữa tải trọng gió và tĩnh tải – yếu tố gây ra biến dạng co ngấn không đều – thì vị trí bố trí outrigger tối ưu nhất là trong khoảng tầng 20 ± 1 tầng. Ngoài ra, tại khu vực tầng 20–25, độ cứng dọc trục giữa cột biên và lõi cứng có sự chênh lệch đáng kể, tạo điều kiện lý tưởng để hệ outrigger cân bằng biến dạng co ngấn không đều giữa các cấu kiện đứng. Khi outrigger được bố trí tại vị trí này, nó hoạt động như một phần tử truyền ứng suất, giúp phân phối lại nội lực dọc trục từ cột về lõi cứng và ngược lại, từ đó giảm đáng kể chênh lệch biến dạng dọc trục và hạn chế phát sinh moment phụ trong dầm nổi. Các nghiên cứu trước đây [1] cũng chỉ ra rằng vị trí outrigger tối ưu thường nằm trong khoảng H/3–H/2 chiều cao công trình, nơi chênh lệch nội lực dọc trục đạt mức lớn nhất.

Bảng 3. Giá trị trung bình chênh lệch giảm moment của tất cả các trường hợp bố trí hệ outrigger với không bố trí cho trường hợp tổ hợp gió + tĩnh tải

Tầng 5	Tầng 10	Tầng 15	Tầng 20	Tầng 25	Tầng 30
17.4%	21.6%	24.8%	25.3%	24.1%	17.1%

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả phân tích hiệu quả của hệ outrigger trong việc hạn chế co ngấn không đều giữa cột và lõi cứng thông qua mô hình khung phẳng 2D nhà cao tầng 30 tầng. Kết quả cho thấy rằng việc bố trí hệ outrigger tại các tầng phù hợp – đặc biệt trong khoảng tầng 20 đến tầng 25 – giúp giảm đáng kể moment âm tại các dầm liên kết, đồng thời làm giảm chuyển vị lệch giữa các cấu kiện đứng. Mức giảm moment ghi nhận được lên đến 23% so với trường hợp không bố trí outrigger, cho thấy hiệu quả rõ rệt của giải pháp này trong việc kiểm soát nội lực phụ do biến dạng không đồng bộ gây ra. Những phát hiện này cung cấp cơ sở kỹ thuật hữu ích cho việc thiết kế hệ outrigger trong nhà cao tầng bê tông cốt thép chịu tác động của tải trọng gió. Trong phạm vi bài báo này, chỉ mới khảo sát mô hình khung 2D; các nghiên cứu tiếp theo sẽ mở rộng phân tích trên mô hình không gian 3D nhằm đánh giá toàn diện hơn hiệu ứng làm việc của hệ outrigger trong thực tế công trình...

5. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Smith, B. S. và Coull, A. (1991). Tall Building Structures: Analysis and Design. John Wiley & Sons.
- [2] Young, K. K. và Taranath, B. S. (2016). Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction. CRC Press.
- [3] Kim, J. và Lee, D. (2010). Seismic performance of outrigger structures in tall buildings. *Engineering Structures*, 32(2), 377–385.
- [4] Zhou, M., Wang, Y. và Lu, Y. (2021). Effect of outrigger and belt truss on the performance of high-rise buildings under lateral loads. *Structures*, 33, 2952–2964.
- [5] Lee, C. H. và Kim, J. (2013). Investigation on the differential column shortening in high-rise buildings with outrigger systems. *Journal of Constructional Steel Research*, 86, 104–112.
- [6] Bộ Xây dựng (2022), TCVN 1997:2022 – Tải trọng và tác động – Tiêu chuẩn thiết kế, Hà Nội: Nhà xuất bản Xây dựng.

6. ĐƠN VỊ CÔNG TÁC

¹Khoa Kỹ Thuật Công Trình – Trường đại học Lạc Hồng

²Đội Thanh tra địa bàn Quận 12 thuộc Thanh tra sở xây dựng TP HCM

³Ủy ban nhân dân Quận 12 thuộc thành phố Hồ Chí Minh

⁴Công ty CP đầu tư và xây dựng Vina E&C