



ĐÁNH GIÁ ĐỘ CỨNG NGANG NHÀ CAO TẦNG BÊ TÔNG CỐT THÉP BÁN LẮP GHÉP KHI XÉT ĐỘ CỨNG NÚT KHUNG LẮP GHÉP

Lê Việt Dũng¹

Tóm tắt: Bài báo nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng độ cứng nút khung lắp ghép đến độ cứng ngang của công trình bê tông cốt thép (BTCT) bán lắp ghép bằng phần mềm tính toán ETAB. Trong đó độ cứng nút khung được mô phỏng bằng phần mềm ANSYS và được đánh giá theo lý thuyết đường phân giới γ -Rm, [1]. Ba công trình nhà BTCT bán lắp ghép thực tế có quy mô 6 tầng, 12 tầng, 18 tầng được phân tích. Kết quả phân tích số cho phép xác định vùng giảm độ cứng an toàn, trong phạm vi đó, chuyển vị ngang của công trình vẫn thỏa mãn điều kiện hạn chế trong tiêu chuẩn thiết kế. Khi chiều cao nhà càng tăng, việc đánh giá đúng độ cứng nút khung lắp ghép, bán lắp ghép càng đóng vai trò quan trọng đối với hệ kết cấu khung giằng.

Từ khóa: Nút khung lắp ghép; độ cứng nút khung; chuyển vị ngang công trình BTCT bán lắp ghép; ETABS; ANSYS.

Summary: This paper analyses the effect of the rigidity of precast beam-column joint on the horizontal displacement of the semi-precast reinforced concrete high-rise building by using the ETAB software. In this research, the beam-colum joint's rigidity was modeled by ANSYS FEM software and analysed by the γ -Rm, theory [1]. Three buildings of six, twelve and eighteen floors were analysed. The analytical results allows to define the security reduced area for the joint rigidity, in that range, the horizontal displacement still satisfy the restrictive conditions in the design code. For the braced framing structure, the estimation of the precast joint rigidity is more important when the building's heigh increases.

Keywords: Precast beam-column join; joint rigidity; horizontal displacement of the semi-precast R-C bulding; ETABS; ANSYS.

Nhận ngày 10/02/2016, chỉnh sửa ngày 24/02/2016, chấp nhận đăng 15/3/2016



1. Đặt vấn đề

Trong những thập niên 70-80 của thế kỷ XX, công nghệ sản xuất các kết cấu bê tông tiền chế được áp dụng khá rộng rãi tại các tỉnh phía Bắc và đã có đóng góp đáng kể trong công cuộc tái thiết sau chiến tranh. Tuy nhiên, chủ yếu vẫn là những kết cấu bê tông tấm lớn trong xây dựng nhà ở nhiều tầng. Hệ kết cấu này có mức độ công nghiệp hóa cao, tạo điều kiện đưa nhanh công trình vào sử dụng tại các khu nhà ở tại Hà Nội và Hải Phòng. Tuy nhiên, nó cũng bộc lộ nhiều nhược điểm về yêu cầu sử dụng, quy hoạch kiến trúc trong điều kiện xây dựng của Việt Nam vào thời kỳ đó, các cấu kiện đúc sẵn chủ yếu dùng bê tông mác không cao và không có ứng lực trước.

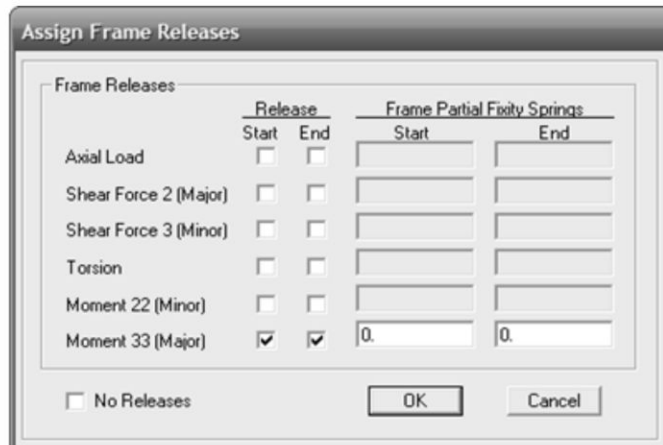
Ngày nay, nhờ áp dụng các công nghệ tiên tiến trong lĩnh vực vật liệu, sản xuất, vận chuyển và lắp ghép cấu kiện bê tông ứng lực trước, kết hợp với thi công đổ tại chỗ một phần hay toàn phần các cấu kiện, trong một thời gian ngắn Công ty Bê tông Xây dựng Vinaconex-Xuân Mai đã góp phần xây lắp thành công rất nhiều công trình nhà cao tầng điển hình như khu đô thị Trung Hòa-Nhân Chính có chiều cao các công trình từ 17 đến 34 tầng cùng nhiều công trình công nghiệp, khách sạn.

Về mặt kết cấu, đối với nhà cao tầng thì hệ kết cấu chịu tải trọng ngang đóng vai trò quan trọng. Đối với các công trình cao tầng BTCT bán lắp ghép thi công rộng rãi ở Việt Nam, thì mặt bằng kết cấu điển hình

¹ TS, Khoa Xây dựng Dân dụng & Công nghiệp. Trường Đại học Xây dựng. E-mail: dunglv@nuce.edu.vn.

thường có lõi cứng nằm giữa thi công toàn khối, còn hệ cột dầm sàn có thể được thi công lắp ghép hoặc bán lắp ghép. Trong bài toán thiết kế cổ điển, thì phần lõi cứng toàn khối thường được thiết kế chịu toàn bộ tải trọng ngang (sơ đồ giằng). Thời gian gần đây, cùng với sự phát triển của công nghệ và vật liệu, các nút khung có cấu tạo lắp ghép thuần túy thường được chuyển dần sang dạng bán lắp ghép phức tạp, với mục đích tăng độ cứng nút khung, chuyển hệ kết cấu chịu lực từ sơ đồ giằng sang sơ đồ khung giằng. Tuy nhiên, việc cấu tạo này ảnh hưởng nhiều đến độ cứng thật của các nút khung [1], do đó ảnh hưởng đến khả năng chịu tải trọng ngang của công trình. Với mục đích góp phần làm sáng tỏ yếu tố này, bài báo tập trung vào nghiên cứu ba công trình BTCT lắp ghép có số tầng lần lượt là 6 tầng, 12 tầng, 18 tầng. Trong đó độ cứng các nút khung được phân tích bằng phần mềm ANSYS [6], ảnh hưởng độ cứng nút khung đến chuyển vị ngang công trình được phân tích bằng phần mềm ETABS [7].

2. Mô phỏng ảnh hưởng độ cứng nút khung đến chuyển vị ngang công trình bán lắp ghép



Hình 1. Khai báo hệ số phân phối độ cứng nút khung trong ETABS

Ảnh hưởng độ cứng nút khung đến chuyển vị ngang công trình được phân tích bằng phần mềm ETABS 9.7.4, thông qua việc khai báo hệ số liên kết cứng f_s của nút khung “Frame Partial Fixity Springs”.

Trong khai báo, ETABS mặc định nút khung dưới dạng liên kết cứng. Với liên kết khớp, hệ số liên kết f_s này được giải phóng với giá trị là 0 (Hình 1). Tuy nhiên, với những nút có liên kết được đánh giá là nửa cứng như của nút khung lắp ghép, bán lắp ghép, thì tài liệu hướng dẫn cho ETABS không có chỉ định rõ về cách xác định các hệ số liên kết f_s này.

Trong bài báo này, công thức xác định f_s được tham khảo theo công đề xuất bởi Rana Waseen (www.RanaWaseen.com):

$$f_s = \frac{n}{1-n} \times \frac{4EI}{L} \quad (1)$$

trong đó, n là hệ số giảm độ cứng, thể hiện sự phân phối lại mô men từ gối về nhịp dầm. Sự phân phối mô men trong dầm khi độ cứng nút khung thay đổi được Monfortn và Wu [2] thiết lập thông qua hệ số liên kết γ , với:

$$\gamma = \frac{\theta_c}{\theta_2} = \frac{\theta_c}{\theta_1 + \theta_c} = \frac{\frac{L}{3EI}}{\frac{1}{S} + \frac{L}{3EI}} = \frac{1}{1 + \frac{3EI}{SL}} \quad (2)$$

với S là độ cứng xoay của nút khung [1].

Theo đó, sự phân phối lại mômen trong dầm tại mép gối (M_g) và giữa nhịp (M_n) được xác định theo hàm của γ như trong công thức 3:

$$M_g = \left(\frac{3\gamma}{2+\gamma} \right) \frac{ql^2}{12} ; M_n = \left(\frac{3-1,5\gamma}{2+\gamma} \right) \frac{ql^2}{12} \quad (3)$$

Dựa trên phân tích các công thức (1), (2), (3), công thức xác định hệ số giảm độ cứng n trong kết cấu bán lắp ghép được đề xuất có dạng như sau:

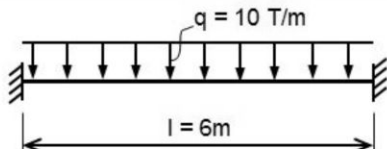
$$n = \frac{\gamma_{lg}}{\gamma_{tk}} \quad (4)$$

trong đó γ_{lg} là hệ số liên kết của nút khung BTCT lắp ghép; γ_{tk} là hệ số liên kết của nút khung BTCT toàn khối.

Khả năng vận dụng việc xác định f_s qua thông số n theo hai công thức (1) và (4) được kiểm chứng qua ví dụ tính mô men phân phối trong dầm 1 nhịp từ sơ đồ 2 đầu ngàm trong Hình 2 ($n = 1$) chuyển dần sang sơ đồ dầm đơn giản hai đầu khớp ($n = 0$).

Bảng 1. So sánh kết quả phân phối mô men mép gối dầm theo khi n thay đổi

n	f_s	$M_{g(ETAB)}$	nM_r	Chênh lệch
1	$+\infty$	30	30	0%
0.8	288	24.101	24	0.4%
0.6	108	18.152	18	0.8%
0.5	72	15.159	15	1.06%
0.2	18	6.102	6	1.7%
0	0	0	0	0%



Hình 2. Khảo sát hệ số giảm độ cứng “ n ” qua ví dụ dầm 1 nhịp 2 đầu ngàm

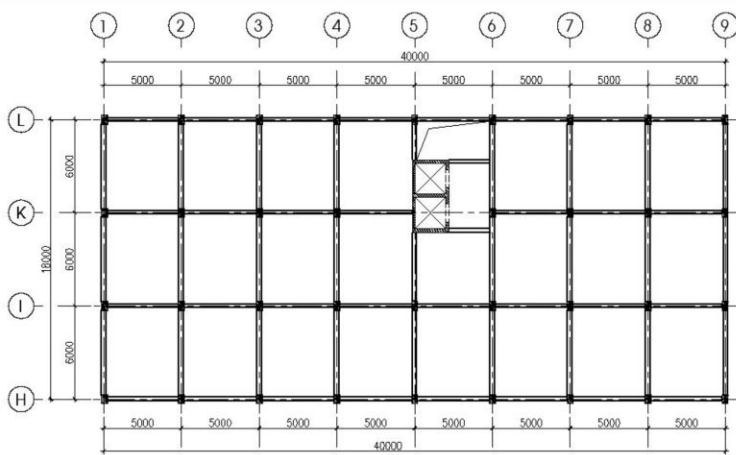
So sánh trong Bảng 1 nhận thấy, kết quả tính khi khai báo giảm độ cứng nút khung trong ETABS ($M_{g(ETAB)}$) và giá trị phân phối trực tiếp nM_r (với $M_r = ql^2/12$) cho độ sai lệch nhỏ ($<2\%$). Do đó việc xác định f_s theo công thức (1) và (4) được sử dụng cho nghiên cứu ví dụ tính tiếp theo.



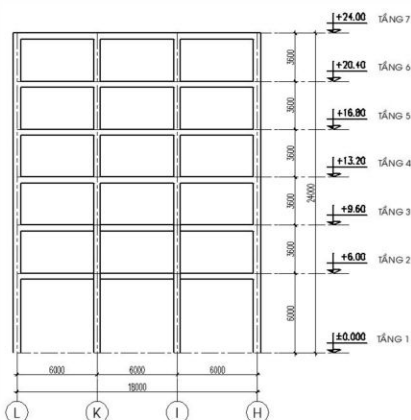
3. Bài toán áp dụng

Nhằm đánh giá ảnh hưởng độ cứng nút khung lắp ghép đến độ cứng ngang công trình BTCT bán lắp ghép, ba công trình cao 6 tầng, 12 tầng và 18 tầng được phân tích. Ba công trình này có mặt bằng điển hình gồm kết cấu lõi giữa thi công toàn khối, còn hệ khung xung quanh thi công bằng phương pháp lắp ghép.

Công trình 1: Công trình khách sạn Vinpearl Phú Quốc cao 6 tầng, địa điểm huyện Phú Quốc tỉnh Kiên Giang.



Hình 3. Mặt bằng kết cấu tầng điển hình công trình Vinpearl Phú Quốc

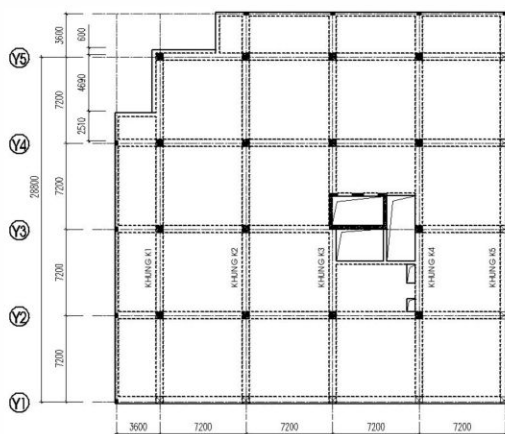


Hình 4. Cấu tạo khung trục 1

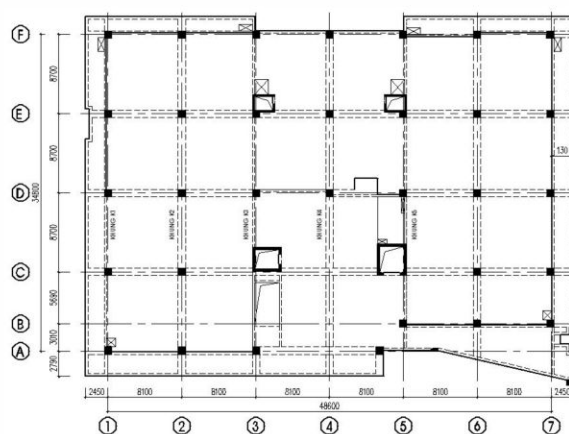
Bảng 2. Thông số vật liệu sử dụng

Tiết diện dầm	$b \times h$ (cm)	30 x 50
Tiết diện cột	$b \times h$ (cm)	30 x 40
Cốt thép (CIII)	f_y (MPa)	365
	E_s (MPa)	200.000
	ν	0,3
Bê tông (B25)	f'_c (MPa)	20
	E_c (MPa)	30.000
	ν	0,2

Công trình 2: Công trình Viettel Tiền Giang Building, địa điểm thành phố Mỹ Tho tỉnh Tiền Giang, chủ đầu tư Tổng công ty viễn thông quân đội Viettel, gồm 1 tầng hầm 12 tầng nổi.



Hình 5. Mặt bằng kết cấu tầng điển hình công trình Viettel Tiền Giang



Hình 6. Mặt bằng kết cấu tầng điển hình công trình Viettel Hòa Lạc

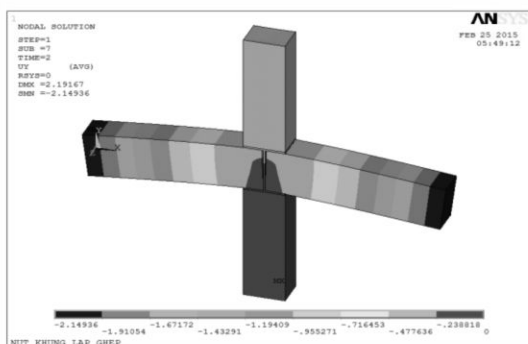
Công trình 3: Tòa nhà đặt máy Viettel, địa điểm khu công nghệ cao Hòa Lạc, huyện Thạch Thất, Hà Nội, chủ đầu tư Tổng công ty viễn thông quân đội Viettel, gồm 1 tầng hầm 18 tầng nổi.

-Đánh giá độ cứng nút khung:

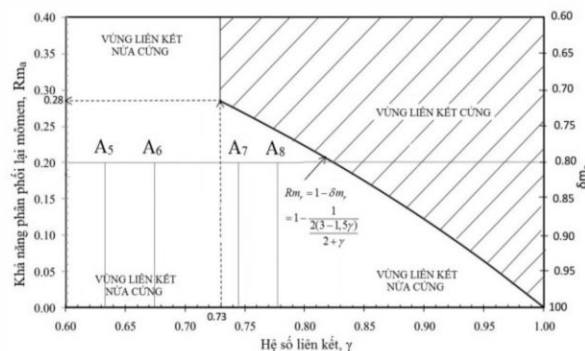
Trong nghiên cứu, hai nút khung (nút biên và nút giữa) được phân tích đánh giá độ cứng bằng phần mềm ANSYS [6], thông qua lý thuyết đường ranh giới γ - R_m , đề cập trong Eurocode [1], với giả định là nút biên cũng như là nút giữa của ba công trình khảo sát có độ cứng như nhau.

Về cấu tạo, hai nút lắp ghép biên và giữa thuộc loại mối nối mềm (nửa cứng), lắp ghép toàn phần, trong đó các cấu kiện dầm, cột được đúc sẵn theo kích thước nhíp và được liên kết lắp ghép tại vị trí giữa nút khung. Trong bài toán mô phỏng bằng ANSYS, cấu kiện dầm cột bê tông được mô phỏng bằng phần tử khối Solid65, cho phép mô phỏng đặc tính phi tuyến của bê tông. Cốt thép dầm cột được mô phỏng bằng phần tử Link180 với mô hình rời rạc, trong đó lực bám dính giữa bê tông và cốt thép được giả định bám dính hoàn toàn tại vị trí các nút phần tử. Mặt tiếp xúc giữa phần vữa chèn đồ tại chỗ với mặt cấu kiện dầm, cột đúc sẵn được mô phỏng bằng phần tử tương tác CONTA174 dạng tứ giác 4 nút, với tiêu chí phá hoại giả định dạng trượt với hệ số giảm còn 80% so với bê tông toàn khối.

Nút lắp ghép giữa được tham khảo trong nghiên cứu của Lê [1], cho kết quả như sau:



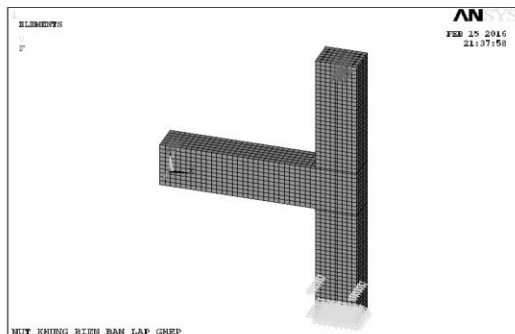
Hình 7. Mô phỏng nút khung giữa lắp ghép bằng phần mềm ANSYS



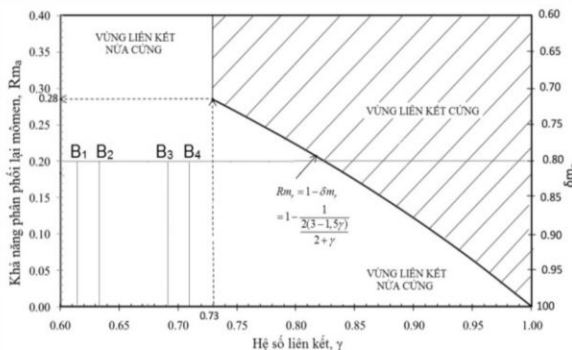
Hình 8. Độ cứng nút khung dao động từ điểm A5 đến điểm A8

Kết quả phân tích độ cứng nút khung theo hai phương pháp của Elliott và của Bhatt [1] cho kết quả nút khung ở trạng thái nửa cứng, có hệ số liên kết γ_{lg} từ 0.633 đến 0.778 (từ điểm A5 đến A8 trong Hình 8).

Tương tự như cách phân tích với nút giữa được trình bày trong [1], nút khung biên cho kết quả phân tích như trong Hình 9 và Hình 10.



Hình 9. Mô phỏng nút khung biên lắp ghép bằng phần mềm ANSYS



Hình 10. Độ cứng nút biên dao động từ điểm B₁ đến điểm B₄

So với nút giữa, nút khung biên lắp ghép cũng ở trạng thái nửa cứng và mềm hơn, trạng thái mềm hơn này được đặc trưng bởi sự giảm nhẹ hệ số liên kết γ_{lg} xuống chạy từ 0.615 đến 0.690 (từ điểm B₁ đến B₄ trong Hình 11).

Theo công thức (4), hệ số giảm độ cứng n cho hai nút khung biên và nút khung giữa được xác định như trong Bảng 3 ở dưới. Kết quả mô phỏng cho thấy hệ số n của hai nút khung thay đổi từ 0,75 đến 0,86. Điều đó có nghĩa là mômen đầu dầm ở nút khung được phân phối về giữa nhịp từ 14% đến 25 %. Giá trị mô phỏng số này được sử dụng để đánh giá sự thay đổi độ cứng ngang của ba công trình khảo sát.

Bảng 3. Xác định hệ số giảm độ cứng n cho hai nút khung biên và nút khung giữa lắp ghép

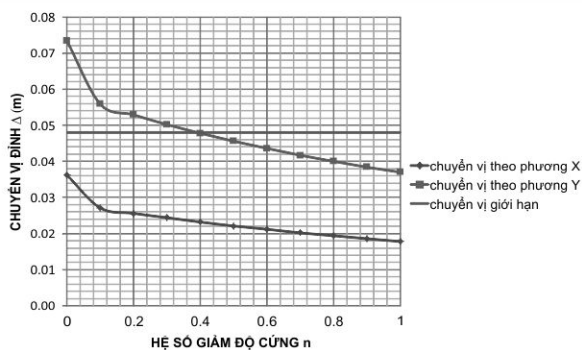
Vị trí nút khung	Hệ số liên kết nút khung BTCT toàn khối γ_{tk}	Hệ số liên kết nút khung BTCT toàn khối γ_{lg}	Hệ số giảm độ cứng $n = \gamma_{lg} / \gamma_{tk}$
Nút giữa	0.836 - 0.909	0.633 - 0.778	0.75 - 0.85
Nút biên	0.753 - 0.801	0.615 - 0.69	0.81 - 0.86

- Phân tích ảnh hưởng độ cứng nút khung đến chuyển vị ngang công trình:

Chuyển vị ngang của công trình được khảo sát bằng phần mềm ETABS [7], theo mô hình 3D. Trong đó các phần tử dầm, cột được mô phỏng bằng phần tử thanh, sàn được khai báo dạng tấm cứng Diaphragm, coi là tuyệt đối cứng trong mặt phẳng khi chịu tải ngang. Tải trọng ngang nghiên cứu tác động lên công trình được lấy từ tổ hợp cơ bản 1 gồm gió và tĩnh tải, được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 2737-1995 [5]. Hệ số liên kết cứng f_s được khai báo như trong Hình 1, có giá trị được xác định theo công thức (1) khi cho hệ số giảm độ cứng n chạy từ 0 đến 1.

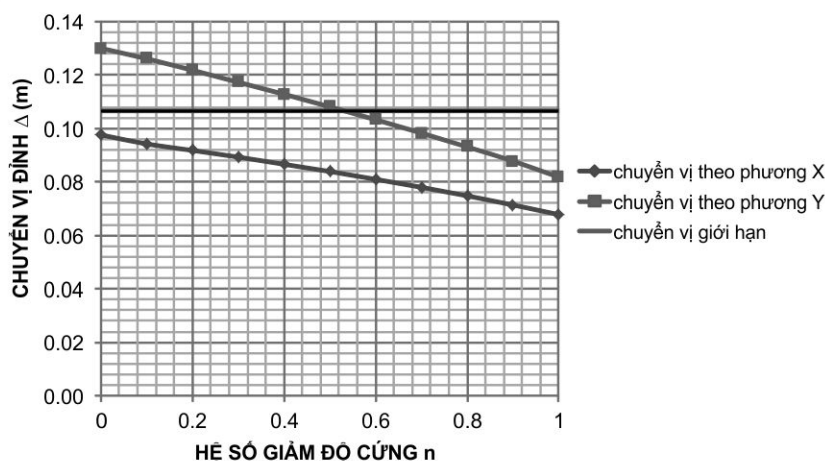
Kết quả khảo sát cho ba công trình được thể hiện trong các Hình 11, Hình 12 và Hình 13. Sự biến thiên của chuyển vị đỉnh khi hệ số n thay đổi được so sánh với chuyển vị giới hạn cho phép được xác định theo tiêu chuẩn thiết kế TCVN 5574-2012 [3,4].

Hình 11 thể hiện chuyển vị đỉnh theo 2 phương của công trình 6 tầng Vinpearl Phú Quốc khi cho độ cứng nút khung chuyển dần từ trạng thái khớp sang nút cứng. Đối chiếu với chuyển vị đỉnh cho phép 0.048 m, nhận thấy độ cứng nút khung có thể được mềm hóa tối đa 60 % (tương ứng với $n = 0,4$). Như vậy nhận thấy với nút khung trạng thái nửa cứng có $n = 0,75 \div 0,86$, chuyển vị ngang của công trình vẫn đảm bảo nằm trong giới hạn cho phép.

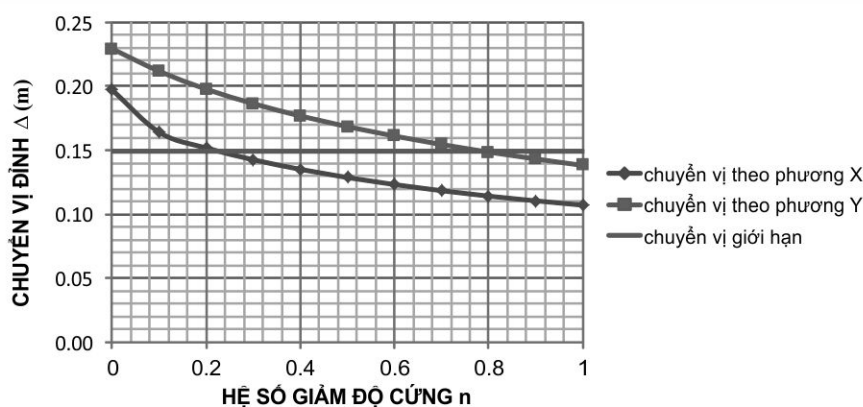


Hình 11. Biểu đồ chuyển vị đỉnh của công trình 6 tầng Vinpearl Phú Quốc khi thay đổi độ cứng nút khung chuyển từ khớp ($n=0$) sang nút cứng ($n=1$)

Hình 12 cho kết quả khảo sát sự biến thiên chuyển vị đỉnh theo 2 phương của công trình 12 tầng Viettel Tiền Giang. Nhận xét thấy trong trường hợp này, vùng an toàn cho phép giảm độ cứng nút khung giảm xuống còn 48% (tương ứng với $n = 0,52$). Như vậy với trạng thái nút khung nửa cứng $n = 0,75 \div 0,86$, chuyển vị ngang của công trình vẫn thỏa mãn điều kiện hạn chế.



Hình 12. Biểu đồ chuyển vị đỉnh của công trình 12 tầng Viettel Tiền Giang khi thay đổi độ cứng nút khung chuyển từ khớp ($n=0$) sang nút cứng ($n=1$)



Hình 13: Biểu đồ chuyển vị đỉnh của công trình 18 tầng Viettel Hòa Lạc khi thay đổi độ cứng nút khung chuyển từ khớp ($n=0$) sang nút cứng ($n=1$)

Hình 13 cho kết quả khảo sát chuyển vị đỉnh của theo 2 phương công trình 18 tầng Viettel Hòa Lạc. Nhận thấy do công trình có diện tích phần lõi toàn khối chiếm tỷ trọng nhỏ trong mặt bằng công trình (Hình 7), do đó độ cứng ngang công trình được phân phối nhiều vào các khung. So sánh với chuyển vị giới hạn 0,15 m xác định theo TCVN 5574-2012, nhận thấy vùng an toàn cho phép giảm độ cứng nút khung giảm xuống còn 20% (tương ứng $n = 0,8$). Như vậy, trong trường hợp này, với nút khung khảo sát dạng nửa cứng có $n = 0,75 \div 0,86$, chuyển vị ngang của công trình nằm trong vùng không an toàn, vượt quá giới hạn cho phép.

Kết quả phân tích cho ba công trình có chiều cao tầng tăng dần, có dạng mặt bằng kết cấu gần tương đồng, được tổng hợp trong Bảng 4. Nhận thấy khi chiều cao công trình tăng, vùng an toàn cho phép mềm hóa độ cứng nút khung giảm. Do đó, việc đánh giá đúng độ cứng nút khung lắp ghép, bán lắp ghép càng trở nên quan trọng trong thiết kế nhà BTCT bán lắp ghép khi chiều cao tầng tăng. Việc đánh giá này đóng vai trò hỗ trợ kỹ sư thiết kế trong việc xác định kích thước vách lõi toàn khối tham gia vào chịu tải trọng ngang cho công trình.

Bảng 4. Đánh giá sự an toàn của độ cứng ngang khung theo chiều cao tầng

Số tầng	Chiều cao công trình (h)	Vùng an toàn độ cứng ngang khung (n)
6	24 m	0.4 - 1
12	45.4 m	0.55 - 1
18	74.6 m	0.8 - 1



4. Kết luận

Bài báo đề cập hai vấn đề quan trọng trong thiết kế công trình BTCT bán lắp ghép có sơ đồ làm việc theo sơ đồ khung giằng: (i) độ cứng nút khung lắp ghép được phân tích theo lý thuyết Eurocode, được mô phỏng bằng phần mềm ANSYS; (ii) sự giảm độ cứng nút khung ảnh hưởng đến chuyển vị ngang công trình được mô phỏng bằng phần mềm ETABS. Với dạng mặt bằng công trình bán lắp ghép điển hình nghiên cứu, có cấu tạo lắp ghép tại vị trí nút giao cột - dầm, nghiên cứu cho thấy với những công trình thấp tầng, độ cứng nút khung lắp ghép có thể giảm được 60% (cho công trình 6 tầng) đến 45% (cho công trình 12 tầng) so với nút khung toàn khối, khi đó chuyển vị ngang công trình vẫn đảm bảo. Tuy nhiên, khi chiều cao công trình tăng lên, cần chú ý đánh giá đúng độ cứng nút khung khi thiết kế hệ chịu lực theo sơ đồ khung giằng. Cụ thể với công trình 18 tầng nghiên cứu, độ cứng nút khung lắp ghép chỉ được phép giảm tối đa 20% so với nút toàn khối. Vùng giảm độ cứng an toàn này có thể tăng nếu tăng kích thước vách lõi của công trình.

Tài liệu tham khảo

1. Lê Việt Dũng (2015), "Xác định độ cứng nút khung BTCT lắp ghép theo lý thuyết đường ranh giới $\gamma - R_m$ ", *Tạp chí Xây dựng*, Bộ Xây dựng, ISSN 0866-0762, Số tháng 12, 130-134.
2. Monforton, G.R. and Wu, T.S. (1963). "Matrix Analysis of Semi-Rigidly Connected Frames", *Journal of the Structural Engineering*, ASCE, vol 89, no. 6, pp. 13-42.
3. Ngô Thế Phong, Lý Trần Cường, Trịnh Kim Đạm, Nguyễn Lê Ninh (2008), *Kết cấu BTCT: Phần kết cấu nhà cửa*, NXB Khoa học và Kỹ Thuật, Hà Nội.
4. TCVN 5574-2012, Tiêu chuẩn Quốc Gia, *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép*, Tiêu chuẩn thiết kế.
5. TCVN 2737-1995, Tiêu chuẩn Quốc Gia, *Tải trọng và tác động*, Tiêu chuẩn thiết kế.
6. ANSYS Tutorial Release 15.0, *Structural and Thermal Analysis Using The Ansys Release 15.0 Environment*.
7. Manual for Analysis & Design Using ETABS, *Computers & Engineering Software & Consulting*.