

Nghiên cứu giải pháp kết cấu hạn chế nứt tường ô cầu thang

Đỗ Nguyễn Duy Minh¹, Huỳnh Công Bảo^{1*}, Nguyễn Thanh Viên¹, Võ Văn Nhân¹, Trần Duy Nam¹

¹ Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Quy Nhơn

TỪ KHOẢ

Cầu thang bản xiên
Chuyển vị ngang
Mô men xoắn
Vênh sàn
Nứt tường

TÓM TẮT

Trong công trình nhà khung bê tông cốt thép, cầu thang bản xiên dưới tác dụng của trọng lượng bản thân và hoạt tải không chỉ tạo ra tải trọng thẳng đứng mà còn phát sinh lực xô ngang truyền vào dầm chân thang và hệ khung xung quanh, làm gia tăng chuyển vị ngang và mô men xoắn tại khu vực cầu thang. Bên cạnh đó, sự gián đoạn của ô sàn làm thay đổi trạng thái làm việc và phân bố nội lực trong mặt bằng kết cấu, khiến dầm và sàn chịu xoắn lớn hơn so với các khu vực thông thường. Sự kết hợp giữa chuyển vị cưỡng bức và nội lực bất lợi này là nguyên nhân chính dẫn đến hiện tượng nứt dầm, vênh sàn và nứt tường trong thực tế khai thác công trình. Nghiên cứu sử dụng phần mềm ETABS để xây dựng mô hình không gian và phân tích ảnh hưởng của các phương án kết cấu cầu thang khác nhau đến chuyển vị và nội lực của hệ kết cấu, từ đó so sánh, đánh giá hiệu quả từng mô hình và đề xuất giải pháp kết cấu phù hợp nhằm tăng độ cứng khu vực cầu thang và hạn chế nguy cơ nứt.

KEYWORDS

Inclined slab stairs
Lateral displacement
Torsional moment
Slab warping
Wall cracking

ABSTRACT

In reinforced concrete frame buildings, inclined slab stairs, under the influence of self-weight and live loads, not only generate vertical loads but also induce lateral thrust forces transmitted to the landing beams and the surrounding frame system, increasing lateral displacement and torsional moments in the staircase area. Furthermore, the discontinuity of the floor slab alters the structural behavior and internal force distribution in the plan, subjecting beams and slabs to greater torsion compared to typical areas. This combination of forced displacement and adverse internal forces is the primary cause of beam cracking, slab warping, and wall cracking observed in actual building operation. This study utilizes ETABS software to construct spatial models and analyze the influence of different staircase structural schemes on the displacement and internal forces of the structural system. Consequently, the study compares and evaluates the effectiveness of each model to propose suitable structural solutions aimed at increasing the stiffness of the staircase area and mitigating the risk of cracking.

1. Giới thiệu

Trong các công trình nhà khung bê tông cốt thép, cầu thang là bộ phận có vai trò quan trọng trong tổ chức giao thông đứng của công trình [1,2]. Tuy nhiên, do đặc điểm hình học của bản thang xiên, dưới tác dụng của trọng lượng bản thân và hoạt tải, cầu thang thường tạo ra lực xô ngang tác dụng lên dầm chân thang, dầm chiếu nghỉ và hệ khung kết cấu. Lực xô ngang này làm phát sinh chuyển vị ngang và mô men xoắn cục bộ trong các cấu kiện lân cận [1,3].

Mặt khác, khu vực cầu thang thường làm gián đoạn hệ sàn, khiến các ô sàn không còn làm việc liên tục và đối xứng như các khu vực khác trong công trình. Sự không liên tục này làm thay đổi trạng thái làm việc của dầm, sàn và tường khu vực cầu thang, dễ dẫn đến hiện tượng xoắn dầm, vênh sàn và chênh lệch chuyển vị giữa các cấu kiện tiếp giáp [2,4]. Trong khi đó, tường xây gạch có khả năng chịu kéo kém, chịu ảnh hưởng lớn của co ngót và từ biến, nên rất nhạy cảm với các chuyển vị cưỡng bức do kết cấu khung gây ra [5,6].

Thực tế khai thác công trình cho thấy tại khu vực cầu thang thường xuất hiện các vết nứt ở tường xây và lớp hoàn thiện, tập trung chủ yếu tại các vị trí tiếp giáp giữa tường với dầm và sàn chiếu nghỉ [3,7]. Các hiện tượng này không chỉ ảnh hưởng đến thẩm mỹ mà còn gây lo ngại về chất lượng và độ bền lâu của công trình. Từ thực trạng đó, việc nghiên cứu ảnh hưởng của cầu thang đến biến dạng kết cấu và tìm kiếm giải pháp kết cấu phù hợp nhằm hạn chế nứt tường và vênh sàn là cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Lực xô ngang do cầu thang bản xiên

Trong kết cấu nhà khung bê tông cốt thép, cầu thang bản xiên chịu tác dụng của trọng lượng bản thân và hoạt tải [1,8]. Do hình dạng xiên của bản thang, tải trọng tác dụng lên bản thang không chỉ tạo ra thành phần lực theo phương đứng mà còn phát sinh thành phần lực theo phương ngang [3]. Thành phần lực ngang này thường được gọi là lực xô ngang của cầu thang.

*Liên hệ tác giả: bao4551160002@st.qnu.edu.vn

Nhận ngày 25/02/2026, sửa xong ngày 12/03/2026, chấp nhận đăng ngày 13/03/2026

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2026.1280>

Lực xô ngang được truyền từ bản thang vào dầm chân thang, dầm chiếu nghỉ và hệ khung xung quanh [1]. Khi không có các cấu tạo hợp lý để phân tán hoặc khống chế lực này, dầm và cột khu vực cầu thang sẽ chịu thêm chuyển vị ngang và mô men xoắn, làm thay đổi trạng thái làm việc của kết cấu so với giả thiết tính toán thông thường.

2.2. Ảnh hưởng của sự không liên tục của ô sàn khu vực cầu thang

Ô sàn khu vực cầu thang thường bị gián đoạn do bố trí bản thang và chiếu nghỉ, khiến hệ sàn không còn làm việc liên tục và đối xứng như các khu vực khác trong công trình [2,4]. Sự không liên tục này làm mất cân bằng phân bố tải trọng trong mặt bằng kết cấu, dẫn đến việc các dầm biên và dầm xung quanh ô cầu thang phải chịu thêm mô men xoắn.

Khi độ cứng của sàn chiếu tới nhỏ, khả năng phân phối lại tải trọng bị hạn chế, làm gia tăng độ vênh của sàn và chênh lệch chuyển vị giữa các ô sàn lân cận [2]. Hiện tượng này đặc biệt bất lợi tại các vị trí tiếp giáp giữa bản thang, sàn chiếu tới và dầm, nơi tập trung nhiều dạng nội lực và biến dạng khác nhau.

2.3. Đặc điểm làm việc của dầm và tường xây khu vực cầu thang

Dầm chiếu nghỉ và dầm chân thang tại khu vực cầu thang thường chịu đồng thời uốn, cắt và xoắn do tác dụng của tải trọng bản thang và lực xô ngang [1]. Khi mô men xoắn tăng lớn, biến dạng xoắn của dầm sẽ làm phát sinh chênh lệch chuyển vị đứng tại hai mép dầm, gây ảnh hưởng trực tiếp đến các cấu kiện tiếp giáp.

Tường xây gạch trong công trình nhà khung bê tông cốt thép chỉ có vai trò bao che, không được thiết kế để tham gia chịu lực cùng hệ khung. Vật liệu gạch và vữa có khả năng chịu kéo kém, chịu cắt và chịu xoắn hạn chế, đồng thời chịu ảnh hưởng đáng kể của co ngót và từ biến theo thời gian [5,6]. Do đó, khi tường xây bị ép làm việc cùng với dầm và sàn có chuyển vị khác nhau, các ứng suất kéo phát sinh trong tường sẽ nhanh chóng vượt quá khả năng chịu lực của vật liệu, dẫn đến nứt.

2.4. Cơ chế hình thành nứt và độ vênh sàn tại khu vực cầu thang

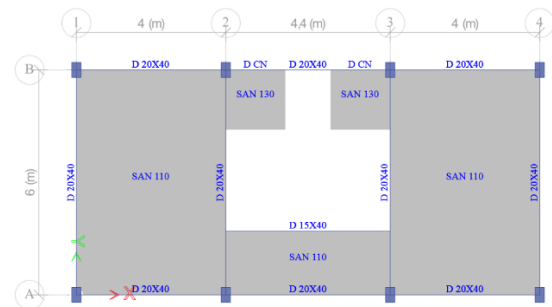
Sự kết hợp giữa lực xô ngang của cầu thang, mô men xoắn trong dầm và độ cứng không đồng đều của hệ sàn tạo ra chuyển vị cưỡng bức tại khu vực cầu thang. Chênh lệch chuyển vị đứng giữa dầm, sàn chiếu và tường là nguyên nhân trực tiếp gây ra các vết nứt tại vị trí tiếp giáp dầm – tường và sàn – tường [3].

Bên cạnh đó, khi hệ sàn làm việc không đồng đều, độ vênh của sàn khu vực cầu thang sẽ tăng lên, làm gia tăng biến dạng tương đối giữa các cấu kiện. Nếu không có giải pháp cấu tạo hợp lý để khống chế chuyển vị và tăng độ cứng, các hiện tượng nứt tường và hư hỏng lớp hoàn thiện sẽ tiếp tục phát triển trong quá trình sử dụng công trình.

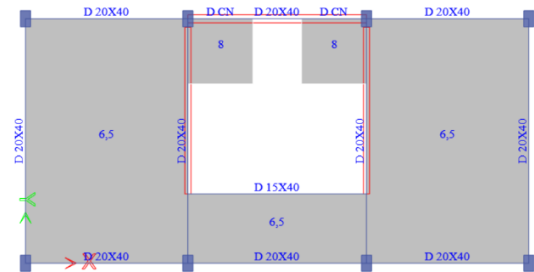
3. Mô hình tính toán etabs

Để làm rõ cơ chế phát sinh chuyển vị cưỡng bức và mô men xoắn tại khu vực cầu thang, nghiên cứu xây dựng mô hình tính toán không gian của công trình nhà khung bê tông cốt thép bằng phần mềm ETABS. Mô hình được thiết lập nhằm đánh giá ảnh hưởng của bản thang xiên và sự không liên tục của ô sàn đến phân bố nội lực và chuyển vị của hệ kết cấu, làm cơ sở phân tích nguyên nhân nứt tường xây khu vực cầu thang.

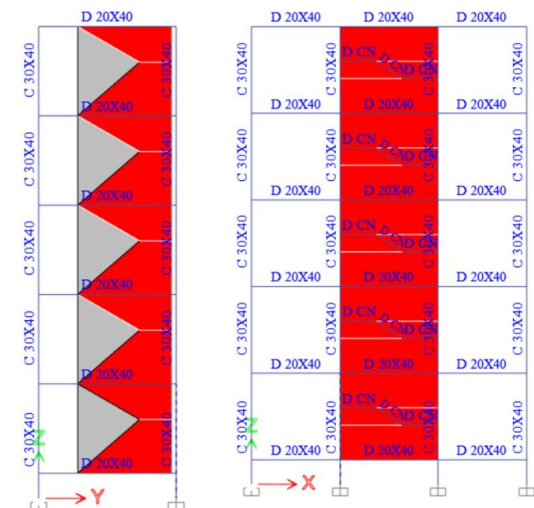
Mô hình tính toán được xây dựng trên phần mềm ETABS cho một công trình nhà khung bê tông cốt thép điển hình cao 5 tầng được thể hiện ở Hình 1, 2 và 3. Hệ kết cấu chịu lực gồm khung dầm – cột toàn khối.



Hình 1. Kích thước mặt bằng công trình.



Hình 2. Mô hình mặt bằng và tải trọng tầng điển hình.



Hình 3. Mô hình mặt đứng kết cấu.

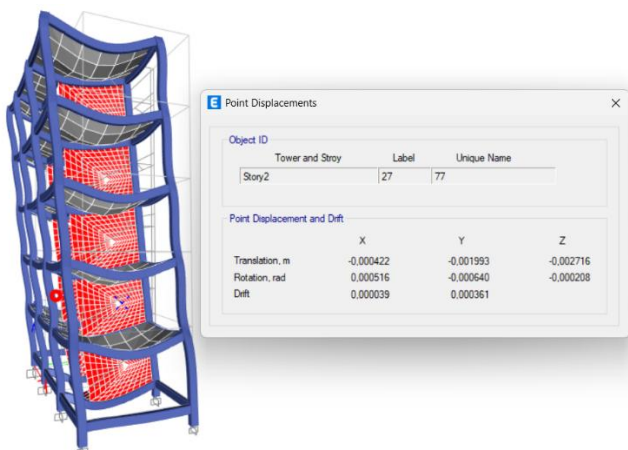
- Trong đó: - Sàn bê tông cốt thép dày 110 mm
 - Bản thang xiên dày 130 mm
 - Dầm có kích thước tiết diện 200×400 mm (Được thể hiện ở hình 1)
 - Cột có kích thước tiết diện 300×400 mm
 - Tường ô khu cầu thang dày 150 mm
 - Tải trọng (gồm tĩnh tải + hoạt tải) tác dụng lên bản sàn là $6,5 \text{ kN/m}^2$, bản thang xiên là 8 kN/m^2 (hình 2)
 - Chiều cao tầng điển hình 3,8 m (hình 3)
 - Kết quả mô hình phân tích:

Do các phần mềm phân tích kết cấu (như ETABS) chủ yếu cung cấp thông số về chuyển vị và nội lực mà không trực tiếp mô phỏng quá trình nứt của vật liệu giòn, nghiên cứu đã thiết lập các tiêu chí đánh giá gián tiếp nhưng có độ tin cậy cao để dự báo nguy cơ nứt, bao gồm:

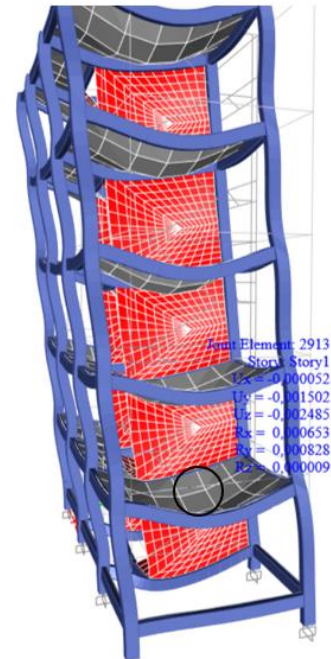
- Sự chênh lệch chuyển vị (Biến dạng tương đối): Đây là nguyên nhân trực tiếp gây ra nứt. Khi kết quả mô phỏng cho thấy có sự chênh lệch chuyển vị đáng kể giữa dầm, sàn chiếu nghỉ và bản thang, điều này chứng tỏ kết cấu đang tồn tại biến dạng tương đối lớn. Biến dạng này tạo ra một "chuyển vị cưỡng bức" ép màng tường xây phải dịch chuyển theo móc của hệ khung được thể hiện trong hình 4, 5 và 6.

- Sự gia tăng của mô men xoắn (hình 7): Sự xuất hiện của mô men xoắn lớn trong dầm chân thang và dầm chiếu nghỉ làm phát sinh sự chênh lệch chuyển vị đứng ngay tại hai mép dầm. Quá trình vận xoắn này truyền trực tiếp ứng suất cục bộ lên bề mặt tiếp giáp của tường bao che.

- Sự bất lợi về đặc trưng cơ lý của vật liệu khối xây: Các thông số nội lực và chuyển vị cưỡng bức kể trên được đối chiếu với bản chất của tường gạch. Tường xây bản chất là kết cấu bao che, có khả năng chịu nén tốt nhưng chịu kéo, chịu cắt và xoắn rất kém. Khi bị hệ khung ép phải chuyển vị đồng thời chịu ảnh hưởng của co ngót, từ biến, ứng suất kéo phát sinh sẽ nhanh chóng vượt quá giới hạn chịu tải của gạch và vữa. Lúc này, tại các vị trí dầm xoắn và chênh lệch chuyển vị lớn nhất, tường tất yếu sẽ bị phá hoại và nứt.



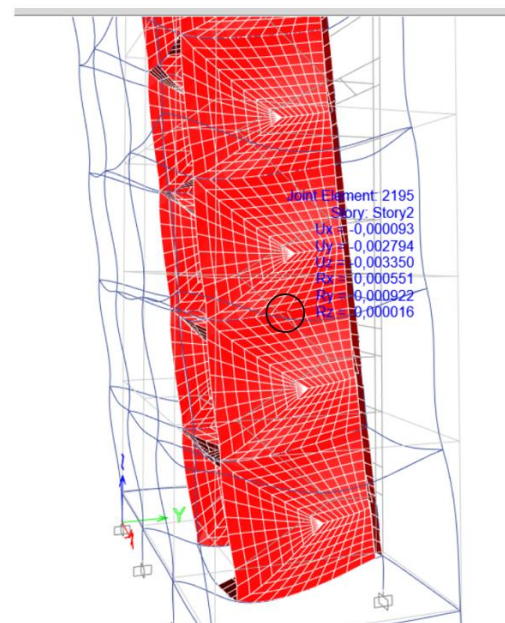
Hình 4. Chuyển vị tại vị trí điểm gãy giữa bản thang xiên và bản chiếu nghỉ.



Hình 5. Chuyển vị tại vị trí mặt trên dầm tầng 1 đối diện với vị trí điểm gãy.

Ta có độ chênh lệch của chuyển vị tại 2 vị trí này:

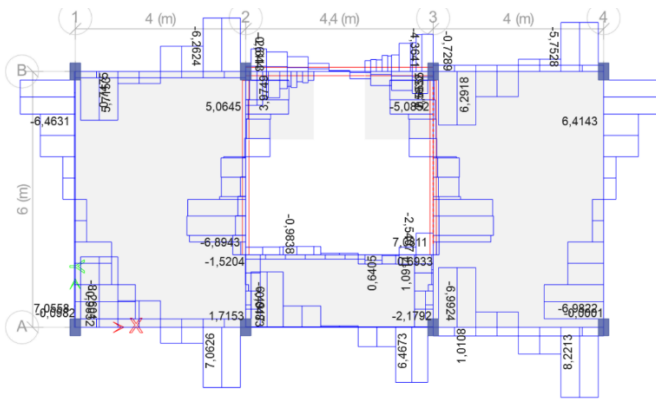
$$\rightarrow \Delta U_z^1 = -0,002716 - (-0,002485) = -0,000231(\text{m})$$



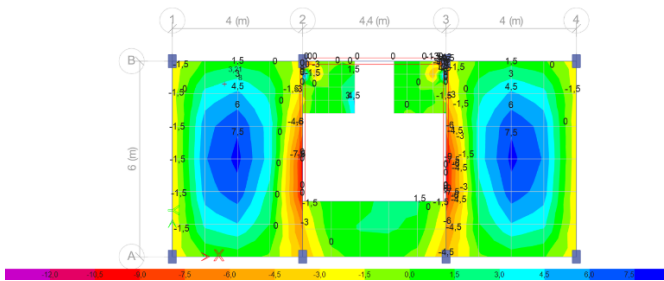
Hình 6. Chuyển vị tại vị trí dầm tầng 2 đối diện với vị trí điểm gãy.

Ta có độ chênh lệch của chuyển vị tại vị trí mặt dưới dầm tầng 2 và tại vị trí điểm gãy bản thang:

$$\rightarrow \Delta U_z^2 = -0,003350 - (-0,002716) = -0,000634(\text{m})$$



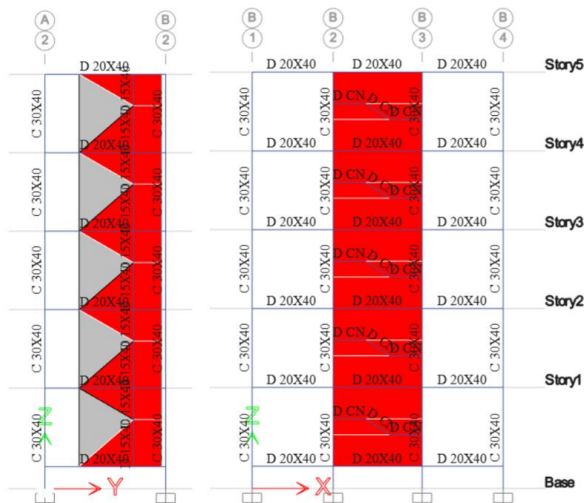
Hình 7. Mô men xoắn dầm tầng 1.



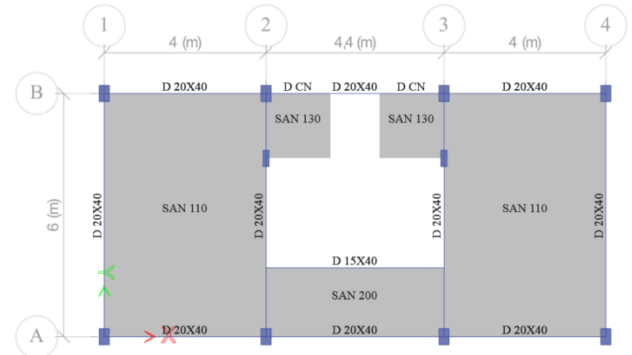
Hình 8. Mô men M_{11} của sàn tầng 1.

Trên cơ sở mô hình Trường hợp 1 tính toán đã trình bày ở trên, nhằm đánh giá hiệu quả của giải pháp kết cấu đề xuất trong việc khống chế chuyển vị và giảm nội lực bất lợi tại khu vực cầu thang, nghiên cứu tiếp tục xây dựng và phân tích mô hình Trường hợp 2 với các điều chỉnh về cấu tạo so với Trường hợp 1.

Giải pháp kết cấu mô hình: Thêm gân đứng bê tông cốt thép tại vị trí bản thang xiên và bản chiếu nghỉ được thể hiện ở (hình 9), tăng bề dày sàn chiếu tới từ 1,5 - 2 lần $h_{\text{bản}}$ (từ 110 mm lên 200 mm) được thể hiện ở (hình 10).



Hình 9. Mặt đứng mô hình kết cấu sau khi bổ sung giải pháp kết cấu.

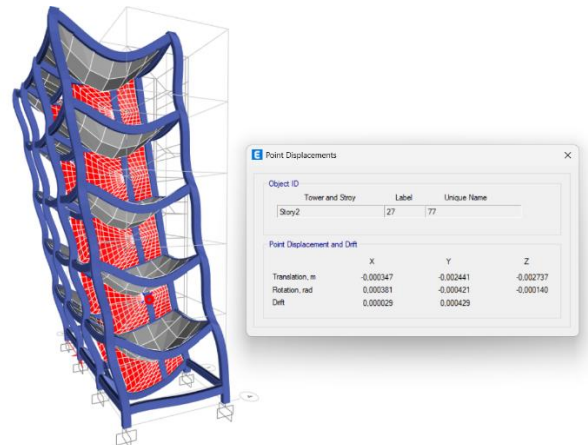


Hình 10. Mặt bằng mô hình với phương án tăng chiều dày sàn chiếu tới và bổ sung gân đứng bằng BTCT.

- Kết quả mô hình phân tích:

Các giả thiết tính toán, điều kiện liên kết và tải trọng trong Trường hợp 2 được giữ nguyên như Trường hợp 1 nhằm đảm bảo tính so sánh, chỉ thay đổi các cấu tạo liên quan trực tiếp đến giải pháp nghiên cứu.

+ Giá trị chuyển vị xuất từ ETABS sang, tại các vị trí tương ứng với trường hợp 1 (hình 11, 12 và 13):



Hình 11. Chuyển vị tại vị trí điểm gậy giữa bản thang xiên và bản chiếu nghỉ.

$$U_x = -0,000347 \text{ (m)}$$

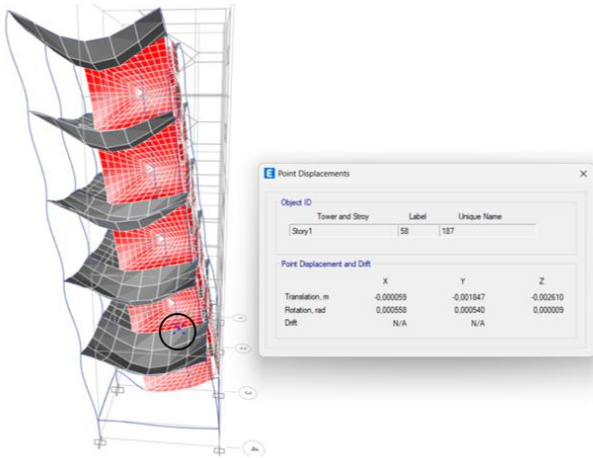
$$U_y = -0,002441 \text{ (m)}$$

$$U_z = -0,002737 \text{ (m)}$$

$$R_x = 0,000381 \text{ (m)}$$

$$R_y = 0,000421 \text{ (m)}$$

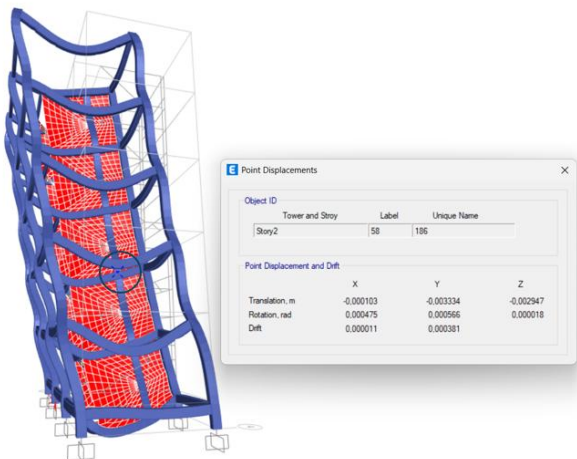
$$R_z = 0,000140 \text{ (m)}$$



Hình 12. Giá trị độ võng tại vị trí điểm giao giữa gân đỡ BTCT với dầm trục 3.

Ta có độ chênh lệch của chuyển vị đứng tại vị trí mặt trên dầm tầng 1 và điểm gậy của bản thang:

$$\rightarrow \Delta U_z^1 = -0,002737 - (-0,002610) = -0,000127(m)$$



Hình 13. Chuyển vị tại vị trí dầm tầng 2 đối diện với vị trí điểm gậy.

So sánh 2 trường hợp:

Bảng 1. So sánh 2 trường hợp mô hình tính toán.

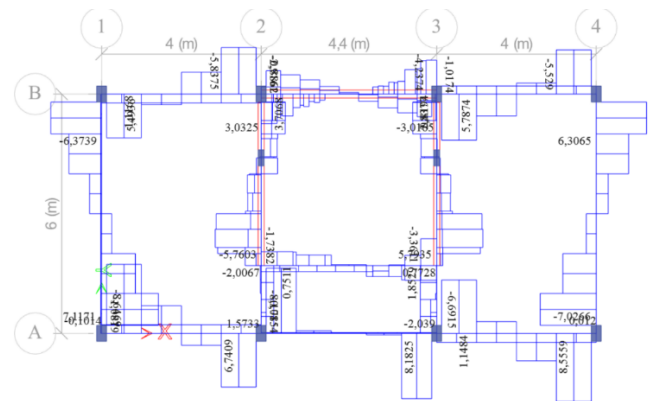
Đặc điểm so sánh	TH1	TH2
Chênh lệch chuyển vị	$\Delta U_z^1 = -0,000231(m)$	$\Delta U_z^1 = -0,000127(m)$
	$\Delta U_z^2 = -0,000634(m)$	$\Delta U_z^2 = -0,000210(m)$
Mô men xoắn trong dầm	$M_T = -6,8943 (kN.m)$	$M_T = -5,7603 (kN.m)$
Mô men sàn M_{11} của sàn	Tập trung lớn, màu đậm	Giảm và phân bố đều hơn

Ta có độ chênh lệch của chuyển vị đứng tại 2 vị trí mặt dưới dầm tầng 2 và điểm gậy bản thang:

$$\rightarrow \Delta U_z^2 = -0,002947 - (-0,002737) = -0,000210(m)$$

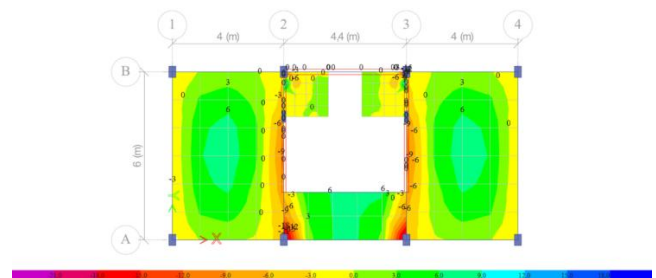
Độ chênh lệch chuyển vị đã giảm rõ rệt so với trường hợp trước, cho thấy giải pháp bổ sung gân đỡ BTCT đã cải thiện rõ rệt sự tương thích biến dạng giữa dầm và bản thang. Giải pháp này cho thấy hiệu quả rõ rệt trong việc khống chế chênh lệch chuyển vị và có thể xem là phương án hợp lý để hạn chế hiện tượng nứt tường.

+ Giá trị mô men xoắn trong dầm xuất từ ETABS sang (hình 14), đặc trưng cho mức độ xoắn của dầm do ảnh hưởng của bản thang xiên và sự mất đối xứng độ cứng tại khu vực ô cầu thang.



Hình 14. Mô men xoắn dầm tầng 1.

+ Mô men M_{11} của sàn (hình 15):



Hình 15. Mô men M_{11} của sàn tầng 1.

Kết quả so sánh cho thấy, trong TH1, chênh lệch chuyển vị lớn đáng kể giữa bản thang và dầm chân thang là nguyên nhân chính gây ra chuyển vị cưỡng bức tác dụng lên tường xây. Đồng thời, mô men sàn M_{11} tập trung lớn tại khu vực sàn chiếu tới phản ánh sự thiếu hụt độ cứng cục bộ của hệ sàn.

Trong TH2, các chỉ tiêu so sánh đều cho thấy xu hướng cải thiện rõ rệt: Chênh lệch chuyển vị giảm khoảng 40–45 % đối với ΔU_1 , và 63–67 % đối với ΔU_2 so với các trường hợp trước, mô men xoắn trong dầm nhỏ hơn và mô men sàn M_{11} phân bố đều hơn. Điều này chứng tỏ giải pháp kết cấu đề xuất có hiệu quả trong việc tăng độ cứng khu vực cầu thang và hạn chế nguy cơ nứt tường.

4. Kết luận

Về mặt kết cấu tại vị trí ô bản thang có 1 số nhược điểm như sau:

1. Cầu thang bản xiên tạo ra lực xô ngang tương đối lớn: Gây 1 lực xô ngang cho cột và đồng thời gây xoắn cho dầm chiếu nghỉ và dầm chân thang.

2. Ô sàn tại khu cầu thang không được liên tục làm cho các ô sàn lân cận khu cầu thang mất đối trọng cân bằng gây ra biến dạng xoắn lớn.

3. Các vách tường khu cầu thang chịu tải trọng trực tiếp của cầu thang kết hợp với lực xô ngang và kết hợp với dầm đỡ tường bị xoắn nên thường bị nứt. Qua khảo sát thực tế cho thấy vết nứt tường xảy ra ở hai vị trí phổ biến là phần tường trên chiếu nghỉ và phần tường dưới chiếu nghỉ. Vết nứt phần tường dưới dầm (trên chiếu nghỉ) là vết nứt lõm, ở trên dầm sàn (dưới chiếu nghỉ) thường xảy ra vết nứt lồi.

4. Vách tường ô cầu thang chịu nhiều loại tải trọng khác nhau, về bản chất chịu lực của kết cấu gạch xây là chịu nén tốt, chịu kéo kém, chịu cắt kém, chịu xoắn kém,... bị co ngót và từ biến lớn theo thời gian. Các nhược điểm này gây ra nứt tường ô cầu thang.

Qua kết quả nghiên cứu có đề xuất như sau:

Để hạn chế vết nứt tường và hạn chế biến dạng do xoắn gây ra đồng thời giảm co ngót và từ biến của tường khu cầu thang, phải bổ sung gân đứng bằng bê tông cốt thép cho tường.

Đồng thời để hạn chế độ vênh xoắn cho ô sàn lân cận cầu thang nên làm bản chiếu tới (hành lang) dày hơn những ô sàn khác khoảng 1,5 – 2 lần $h_{\text{bản}}$.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Võ Bá Tầm. *Kết cấu bê tông cốt thép tập 3: Các cấu kiện đặc biệt*. Nhà xuất bản ĐH Quốc Gia TP. HCM.
- [2]. Phan Quang Minh. *Kết cấu bê tông cốt thép: Phần cấu kiện cơ bản*. Nhà xuất bản Khoa Học và Kỹ Thuật.
- [3]. Vũ Mạnh Hùng. *Sổ tay thực hành kết cấu công trình*. Nhà xuất bản Xây Dựng.
- [4]. Nguyễn Đình Cống. *Tính toán thực hành cấu kiện bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn TCXDVN 356–2005*. Nhà xuất bản Xây Dựng.
- [5]. TCVN 5573:2011: *Kết cấu gạch đá và gạch đá cốt thép*. Tiêu chuẩn thiết kế, 2011.
- [6]. Nguyễn Hiền. *Sổ tay tính toán kết cấu gạch đá và gạch đá cốt thép*. Viện Thiết kế điển hình Hà Nội, 1999.

- [7]. Lâm Thanh Quang Khải, và cộng sự. “Lựa chọn sơ đồ tính hợp lý kết cấu cầu thang 2 về dạng bản bê tông cốt thép.” *Tạp chí Đại học Cửu Long*, số 03 (9/2016).
- [8]. TCVN 5574:2018: *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép*. Tiêu chuẩn thiết kế, 2018.