



MỘT SỐ VẤN ĐỀ KHI XÁC ĐỊNH TẢI TRỌNG ĐỘNG ĐẤT TÁC DỤNG LÊN KHUNG NGANG NHÀ CÔNG NGHIỆP MỘT TẦNG BẰNG THÉP CÓ CẦU TRỤC

Đinh Văn Thuật¹, Đào Quốc Việt², Nguyễn Việt Sơn³

Tóm tắt: Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu công trình nhà chịu động đất được xây dựng chủ yếu để áp dụng cho kết cấu nhà dân dụng nhiều tầng, trong khi đó vẫn chưa có các qui định rõ ràng để áp dụng cho kết cấu nhà công nghiệp một tầng có cầu trục chịu động đất. Bài báo này phân tích một số vấn đề gặp phải khi xác định tải trọng động đất tĩnh ngang tác dụng lên kết cấu khung ngang nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục, cụ thể liên quan đến đặc trưng về kích thước của hệ kết cấu, phân bố khối lượng, độ cứng ngang của khung, độ cứng của tấm mái và hệ số ứng xử của kết cấu. Ngoài ra bài báo cũng trình bày các kết quả tính toán tải trọng động đất và so sánh với tải trọng gió tác dụng lên kết cấu khung ngang nhà công nghiệp một tầng-hai-nhịp bằng thép có cầu trục được xây dựng ở thành phố Sơn La. Các kết quả phân tích sẽ giúp cho việc thiết kế kết cấu nhà công nghiệp một tầng chịu động đất được phù hợp hơn.

Từ khóa: Nhà công nghiệp một tầng; kết cấu thép; khung ngang; tải trọng động đất; tải trọng gió; tiêu chuẩn thiết kế.

Summary: Seismic design codes for building structures have been developed and applied mainly for typical commercial multi-story buildings whereas there has still been no apparent guidance applicable for industrial buildings with cranes under earthquakes. This paper is to analyze various issues to be faced when determining lateral static earthquake loads applied on horizontal frames of a one-story industrial steel building with cranes, particularly related to the characteristics of structural frame dimensions, mass distribution, lateral frame stiffness, rigid diaphragm of roof deck and structural behavior factor. In addition, the paper presents the results of determining lateral static earthquake loads compared to those caused by wind loads applied on horizontal frames of a one-story two-span industrial steel building with cranes constructed at Sơn La province. The analytical results will provide a more apparent guidance for design of one-story industrial steel buildings when subject to earthquakes.

Keywords: One-story industrial buildings; steel structures; horizontal frames; earthquake load; wind load; design codes.

Nhận ngày 16/12/2015, chỉnh sửa ngày 30/12/2015, chấp nhận đăng 07/01/2016



1. Giới thiệu

Kết cấu nhà công nghiệp một tầng bằng thép thường gồm các khung ngang với cột tiết diện chữ H, dầm mái dốc tiết diện chữ I hoặc giàn mái có hai thanh cánh song song, hệ giằng mái và giằng cột để liên kết các khung ngang và hệ xà gồ đỡ kết cấu mái tôn nhẹ. Khung nhà công nghiệp thường có chiều cao lớn, nhịp lớn và cầu trục làm việc ở chế độ nhẹ hoặc trung bình. Nhà công nghiệp như vậy có trọng lượng khá nhẹ và độ cứng ngang nhỏ nên ảnh hưởng của động đất tác động lên công trình ở các khu vực có cường độ động đất trung bình và yếu thường được xem là nhỏ hơn so với tác động của tải trọng gió nên tác dụng của động đất thường được bỏ qua trong quá trình tính toán thiết kế kết cấu.

Các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu công trình nhà chịu động đất [1-5] có qui định cách xác định tải trọng động đất tĩnh ngang tác dụng lên kết cấu công trình. Đây là phương pháp tính đơn giản và được sử dụng phổ biến trong thiết kế kháng chấn kết cấu [6]. Các tiêu chuẩn thiết kế này được xây dựng chủ yếu để phục

¹PGS.TS, Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp. Trường Đại học Xây dựng. E-mail: thuatvandin@ gmail.com.

²ThS, Ban QLDA Nhà Quốc hội. Bộ Xây dựng.

³ThS, Cục Giám định nhà nước về chất lượng công trình xây dựng. Bộ Xây dựng.

vụ cho các công trình nhà dân dụng. Khi áp dụng các tiêu chuẩn này vào kết cấu nhà công nghiệp cần lưu ý một số đặc điểm riêng của chúng: hệ kết cấu mái thường không cứng trong mặt phẳng của nó, khối lượng không tập trung ở cùng cao trình mái, cầu trục tác dụng ở vị trí vai cột có sức trục thay đổi và chế độ làm việc khác nhau, chiều cao cột và nhịp khung lớn,...

Ở Việt Nam, tác động của động đất ở một số khu vực được dự báo mạnh đến cấp 7 và 8 theo thang MSK-64 [1], tuy nhiên ảnh hưởng của tải trọng động đất đối với kết cấu nhà công nghiệp vẫn chưa được nghiên cứu một cách đầy đủ. Mức độ hư hại của kết cấu nhà công nghiệp khi chịu động đất có thể phụ thuộc vào tương quan giữa mức độ tác động của tải trọng động đất và gió ở từng khu vực xây dựng công trình và đặc điểm của kết cấu khung như chiều cao nhà, số nhịp, chiều dài nhịp, số tầng, sức trục và số lượng cầu trục hoạt động. Hiện nay các kỹ sư thiết kế sẽ gặp phải một số khó khăn khi vận dụng tiêu chuẩn thiết kế công trình chịu động đất vào việc thiết kế nhà công nghiệp có cầu trục chịu tác động của loại tải trọng này.

Bài báo này nhằm phân tích một số vấn đề gặp phải khi xác định tải trọng động đất tĩnh ngang tác dụng lên kết cấu khung ngang nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục. Ngoài ra bài báo cũng trình bày một ví dụ minh họa các kết quả xác định tải trọng động đất tĩnh ngang tác dụng lên kết cấu khung ngang nhà công nghiệp một-tầng hai-nhịp bằng thép có cầu trục được xây dựng ở thành phố Sơn La, nơi mà mức độ động đất mạnh trong khi tải trọng gió lại nhỏ.



2. Một số vấn đề khi xác định tải trọng động đất tác dụng lên khung ngang nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục

2.1 Đặc trưng về hệ kết cấu khung ngang nhà công nghiệp

Đối với công trình nhà công nghiệp, việc sử dụng loại hệ kết cấu và xác định các kích thước hình học của chúng cần phải phù hợp với yêu cầu tạo ra không gian sử dụng lớn nhằm đảm bảo việc vận hành dây chuyền sản xuất được hiệu quả. Do vậy, việc bố trí các hệ giằng khung ngang trên mặt bằng và trong mặt phẳng khung là không thể. Hệ kết cấu khung ngang nhà công nghiệp thường sử dụng liên kết nút cứng (kết cấu khung cứng) nhằm tăng khả năng chịu các loại tải trọng ngang như động đất, gió và cầu trục tác dụng lên công trình. Loại kết cấu khung cứng nhà công nghiệp có các đặc điểm khác so với nhà dân dụng như dưới đây.

a) Kết cấu khung cứng của nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục với sức trục trung bình và nhẹ thường gồm có cột và dầm với tiết diện không đổi hoặc thay đổi theo chiều dài và có độ mảnh khá lớn, do vậy:

- Ứng xử của loại kết cấu khung này khi chịu động đất thiết kế sẽ khác đáng kể so với kết cấu khung cứng của nhà dân dụng nhiều tầng, mặc dù tổng chiều cao của cả hai nhà là như nhau nhưng số tầng và khối lượng tập trung là khác nhau. Các cấu kiện kết cấu khung nhà công nghiệp có độ mảnh lớn nên chúng có thể bị mất ổn định tổng thể trước khi các khớp dẻo được hình thành và biến dạng phi tuyến được phát triển trên toàn tiết diện ngang của cấu kiện. Hơn nữa, với kích thước tiết diện thay đổi (cột vát, dầm vát) thì vị trí hình thành khớp dẻo cũng không được xác định rõ ràng như đối với kết cấu khung nhà cao tầng có tiết diện cột và dầm không thay đổi, với vị trí hình thành khớp dẻo được xác định và được cấu tạo ở hai đầu dầm như sử dụng giải pháp khoét giảm bản cánh dầm.

- Tiêu chuẩn IBC 2003 [4] qui định việc sử dụng các kết cấu khung với các cấu kiện có độ mảnh lớn cần yêu cầu tiến hành thí nghiệm kiểm chứng. Tuy nhiên, với hình dáng kết cấu khung nhà công nghiệp, kích thước các cấu kiện kết cấu và giá trị tải trọng tác dụng thay đổi đáng kể nên việc sử dụng một số kết quả thí nghiệm cho khung nhà công nghiệp là không phù hợp với thực tế. Do vậy, các qui định thiết kế cho kết cấu khung nhà dân dụng điển hình vẫn được áp dụng cho kết cấu khung nhà công nghiệp với các giới hạn về chiều cao nhà và giá trị của tải trọng tác dụng.

b) Nhà công nghiệp thường có hệ thống cầu trục để nâng hạ vật nặng nên kích thước hình học của nhà thường được xác định từ các đặc trưng kích thước của cầu trục, cụ thể:

- Khi trọng lượng của cầu trục được đỡ bởi các cột cầu trục độc lập với hệ kết cấu khung đỡ mái, việc thiết kế kết cấu khung đỡ mái và cột đỡ cầu trục chịu động đất được thực hiện độc lập, không có sự tương tác lẫn nhau. Việc thiết kế khung đỡ mái được tiến hành bình thường như đối với cột có tiết diện không thay đổi và khối lượng tham gia dao động được đặt tập trung ở cao trình mái, không bao gồm tác động của cầu trục.

- Trong trường hợp cột đỡ cầu trực được gộp chung với hệ kết cấu khung đỡ mái, tiết diện cột (độ cứng và độ bền) thay đổi đáng kể giữa các phần cột dưới và cột trên ở vị trí vai cột đỡ cầu trực. Trong trường hợp này ứng xử của kết cấu khi chịu động đất bị ảnh hưởng đáng kể bởi các đặc trưng của cột và điều này cần được xem xét trong thiết kế kết cấu khung nhà công nghiệp.

- Ngoài ra, sự có mặt của kết cấu thân cầu trực và ảnh hưởng của nó đến ứng xử của kết cấu nhà công nghiệp khi chịu động đất cũng cần được xem xét. Cụ thể kết cấu thân cầu trực có thể đóng vai trò như một thanh chịu kéo nén dọc trục để liên kết giữa hai cột khung ngang nhà thông qua khả năng ma sát giữa bánh xe cầu trực và dầm đỡ cầu trực, phụ thuộc vào số lượng bánh xe và kiểu bánh xe. Sự có mặt của thanh chống này có thể ảnh hưởng đến ứng xử của kết cấu khung nhà khi chịu tải trọng động đất tác dụng theo phương ngang nhà và các kỹ sư thiết kế cần phải xem xét nếu ảnh hưởng là đáng kể thì cần phải kể đến trong tính toán thiết kế kết cấu khung nhà công nghiệp.

2.2 Xác định hệ số ứng xử (hệ số giảm độ bền) của kết cấu

Trong thiết kế kháng chấn kết cấu công trình, hệ số ứng xử (behavior factor) của kết cấu được qui định trong EC8 [2] hoặc hệ số giảm độ bền (strength reduction factor) trong IBC 2003 được sử dụng nhằm xét đến yêu cầu về mức độ ứng xử phi tuyến về vật liệu của hệ kết cấu hoặc yêu cầu về mức độ xuất hiện hư hại trong các cấu kiện kết cấu khi chịu động đất mạnh. Hệ số ứng xử được định nghĩa bằng tỷ số giữa yêu cầu về độ bền của kết cấu khi ứng xử đàn hồi so với yêu cầu về độ bền của kết cấu khi ứng xử phi tuyến tương ứng với giới hạn về biến dạng.

Giá trị của hệ số ứng xử được sử dụng trong thiết kế sẽ quyết định trực tiếp đến yêu cầu về mức độ an toàn của toàn hệ kết cấu và giá thành xây dựng kết cấu công trình. Hệ số ứng xử q của kết cấu được xác định từ hai hệ số: $q = q_u q_o$, trong đó q_u là hệ số dẻo (ductility factor) và q_o là hệ số vượt độ bền (overstrength factor).

2.2.1 Hệ số vượt độ bền

Hệ số vượt độ bền nhằm kể đến độ lớn khác nhau giữa độ bền thiết kế yêu cầu (được xác định từ tải trọng thiết kế) so với độ bền thực tế của kết cấu khi động đất xảy ra gây sụp đổ công trình. Giá trị của hệ số vượt độ bền xét đến các yếu tố sau:

- Độ chính xác khi thiết kế kết cấu: Các cấu kiện kết cấu được thiết kế với yêu cầu có khả năng chịu lực bằng hoặc lớn hơn khả năng chịu tải trọng thiết kế.

- Đảm bảo về chuyển vị ngang của kết cấu: Các cấu kiện kết cấu có thể được thiết kế theo yêu cầu đảm bảo về chuyển vị ngang, do vậy có kích thước tiết diện lớn hơn so với kích thước được thiết kế theo yêu cầu đảm bảo về độ bền khi chịu động đất.

- Cường độ thép thực tế của các cấu kiện kết cấu thường lớn hơn cường độ thép được sử dụng trong thiết kế: Lý do là giá trị cường độ chảy thực tế của thép thường lớn hơn giá trị được qui định trong tiêu chuẩn thiết kế theo mác thép và do thép bị biến.

- Một số hệ số an toàn đã được sử dụng trong quá trình tính toán thiết kế kết cấu: Các hệ số an toàn bao gồm về vật liệu, tải trọng tác dụng, điều kiện làm việc của kết cấu, mô hình hóa kết cấu,...

- Tổ hợp tải trọng động đất không nguy hiểm khi thiết kế kết cấu: Hệ kết cấu hoặc một số cấu kiện kết cấu được thiết kế bởi các trường hợp tải trọng khác nguy hiểm hơn tải trọng động đất, ví dụ như trường hợp tải trọng cầu trực, gió, tĩnh tải và hoạt tải.

- Kết cấu tiếp tục chịu được tải trọng lớn hơn sau khi khớp dẻo đầu tiên đã được hình thành: Sau khi khớp dẻo đầu tiên được hình thành ở vị trí có khả năng chịu lực thấp nhất, độ cứng của kết cấu bị giảm, nội lực trong các cấu kiện kết cấu sẽ được phân phối lại và kết cấu vẫn có thể tiếp tục chịu thêm được tải trọng động đất lớn hơn.

2.2.2 Hệ số dẻo

Hệ số dẻo nhằm kể đến khả năng phân tán năng lượng của kết cấu khi các cấu kiện kết cấu chảy dẻo. Giá trị của hệ số dẻo xét đến các yếu tố sau:

- Chu kỳ dao động của công trình tăng cùng với mức độ ứng xử phi tuyến của kết cấu: Sau khi khớp dẻo hình thành, biến dạng của kết cấu tăng và công trình trở nên mềm hơn; do vậy làm tăng chu kỳ dao

động của kết cấu công trình dẫn đến làm giảm lực động đất tác dụng vào công trình và giảm ứng xử cộng hưởng giữa kết cấu công trình và tác động động đất.

- Mức độ giải phóng năng lượng do chảy dẻo: Trong trường hợp này, hệ số cản trở được sử dụng khi kết cấu ứng xử phi tuyến. Mức độ ứng xử phi tuyến còn phụ thuộc vào cấp động đất [10, 11]. Trong trường hợp kết cấu ứng xử đàn hồi, hệ số cản nhớt được sử dụng.

2.2.3 Hệ số ứng xử

Giá trị của hệ số ứng xử được đánh giá dựa theo tổ hợp đồng thời của hai hệ số vượt độ bền và hệ số dẻo, mà chủ yếu có được từ các kết quả phân tích khảo sát và quan sát sự làm việc thực tế của các hệ kết cấu công trình nhà dân dụng qua các trận động đất đã xảy ra. Giá trị hệ số ứng xử cũng có thể được đánh giá từ tích của hai hệ số riêng biệt trên. Tuy nhiên việc xác định giá trị riêng rẽ của từng hệ số vượt độ bền và hệ số dẻo sẽ làm phức tạp quá trình thiết kế trong thực tế.

Tiêu chuẩn IBC [4] qui định việc thiết kế kháng chấn cho tất cả các công trình nhà dân dụng và công nghiệp bằng thép thuộc khu vực chịu động đất mạnh loại D, E hoặc F. Đối với các công trình nhà bằng thép thuộc khu vực chịu động đất vừa loại A, B hoặc C, giá trị của hệ số ứng xử được kiến nghị sử dụng bằng 3 hoặc cao hơn. Quy định ANSI/AISC 341-02 [9] kiến nghị sử dụng giá trị của hệ số ứng xử bằng 3 cho các công trình điển hình vì tải trọng động đất thiết kế khi sử dụng hệ số ứng xử bằng 3 thường vẫn nhỏ hơn tải trọng gió tác dụng lên kết cấu công trình ở các vùng động đất trung bình và yếu.

Theo TCVN [1,2] hệ số ứng xử bằng 3 tương ứng với loại kết cấu khung bê tông cốt thép một tầng một nhịp có cấp dẻo trung bình, trong đó tải trọng động đất khi các khớp dẻo được hình thành gây sụp đổ công trình bằng tải trọng động đất khi bắt đầu hình thành một khớp dẻo trong một cấu kiện kết cấu bất kỳ, được biểu hiện bằng tỷ số $\alpha_u / \alpha_s = 1$. Đối với kết cấu khung thép có độ dẻo trung bình, hệ số ứng xử được qui định có giá trị bằng 4, không phụ thuộc vào số tầng và số nhịp khung [1,2]. Khi xét đến trường hợp kết cấu khung thép nhà công nghiệp một tầng có cầu trục thuộc loại kết cấu không đều đặn theo chiều cao như đã phân tích ở bài báo này, hệ số ứng xử được giảm 20%. Do vậy, việc sử dụng hệ số ứng xử bằng 3 cho loại kết cấu khung thép này là phù hợp.

2.3 Đặc trưng về khối lượng và độ cứng ngang

Khối lượng tham gia dao động khi tính theo đơn vị thể tích của nhà công nghiệp nhẹ một tầng bằng thép là nhỏ hơn nhiều so với công trình nhà dân dụng nhiều tầng. Độ cứng ngang của nhà công nghiệp cũng khá nhỏ so với công trình nhà dân dụng vì việc sử dụng tấm tôn bao che ít có tác dụng tham gia cùng chịu lực với kết cấu khung so với việc sử dụng tấm tường bao che bằng gạch hoặc vách bê tông cốt thép trong kết cấu khung nhà dân dụng. Các đặc trưng này ảnh hưởng đáng kể đến ứng xử của kết cấu nhà công nghiệp bằng thép so với kết cấu nhà dân dụng nhiều tầng khi chịu động đất thiết kế, cụ thể như sau:

- Giá trị lực cắt đáy của công trình nhà công nghiệp bằng thép thường nhỏ hơn so với công trình nhà dân dụng: Điều này là do khối lượng tham gia dao động là nhỏ và chu kỳ dao động riêng của công trình là lớn. Như vậy giá trị phổ gia tốc thiết kế thường ở khoảng cận dưới trên đường cong phổ phản ứng thiết kế.

- Giá trị tải trọng động đất được sử dụng trong thiết kế có thể lớn hơn giá trị tải trọng động đất thực tế tác dụng vào công trình: Lý do là vì đối với nhà công nghiệp bằng thép, tải trọng động đất nhỏ dẫn đến kích thước tiết diện của các cấu kiện kết cấu thường được quyết định bởi tổ hợp có tải trọng gió. Điều này dẫn đến thành phần hệ số vượt độ bền khi xác định tải trọng động đất (mục 2.2) của nhà công nghiệp có giá trị lớn hơn so với công trình nhà dân dụng với trọng lượng nặng hơn và lực cắt đáy lớn hơn. Do vậy, hệ số ứng xử đối với nhà công nghiệp bằng thép có giá trị thực tế lớn hơn giá trị được sử dụng trong thiết kế theo tiêu chuẩn.

Ngoài ra, chu kỳ dao động riêng của công trình nhà công nghiệp bằng thép thường có giá trị lớn hơn (kết cấu nhà công nghiệp mềm hơn) so với công trình nhà dân dụng. Tiêu chuẩn thiết kế IBC có qui định công thức gần đúng để xác định giá trị chu kỳ dao động riêng cơ bản của công trình. Công thức này được xây dựng dựa trên các kết quả nghiên cứu khảo sát cho các công trình nhà dân dụng điển hình với giả thiết khối lượng và độ cứng của nó phân bố đều đặn theo chiều cao của công trình. Do vậy, đối với công trình nhà công nghiệp bằng thép thì việc áp dụng công thức này để xác định giá trị chu kỳ dao động riêng sẽ cho kết quả sai khác khá lớn, có giá trị chu kỳ nhỏ hơn đáng kể so với giá trị thực tế của công trình. Ngoài ra, việc áp dụng các qui định giới hạn về chuyển vị ngang do động đất trong IBC 2003 là không phù hợp đối với công

trình nhà công nghiệp một tầng bằng thép vì các tấm tôn bao che có cấu tạo phù hợp để xô dịch tương đối với nhau và không phụ thuộc vào chuyển vị tính toán.

Đối với trường hợp nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục với sức trục lớn, trọng lượng lớn từ cầu trục sẽ tập trung tại cao trình vai cột nằm ở cao trình trung gian so với cao trình mái. Trọng lượng này có thể lớn hơn trọng lượng của bản thân kết cấu nhà thép và các tấm tôn mái và tôn bao che. Như vậy trọng lượng tập trung ở mái và ở vai cột do cầu trục và chiều cao tương đối giữa chúng sẽ ảnh hưởng đáng kể đến phân bố của tải trọng động đất theo chiều cao nhà. Như vậy, kết cấu công trình nhà công nghiệp có cầu trục thuộc loại kết cấu có khối lượng phân bố không đều đặn. Trong khi đó các công thức qui định trong tiêu chuẩn thiết kế được xây dựng từ trường hợp công trình nhà dân dụng có phân bố về độ cứng và khối lượng một cách đều đặn. Do vậy khi áp dụng các công thức này cho nhà công nghiệp một tầng sẽ cho kết quả tính không chính xác. Trong trường hợp này cần sử dụng phân tích động kết cấu để dự đoán phân bố của lực động đất theo chiều cao nhà công nghiệp.

2.4 Đặc trưng về kích thước của các cấu kiện kết cấu khung

Kết cấu nhà công nghiệp thường yêu cầu có chiều cao cột lớn và nhịp khung lớn để đảm bảo yêu cầu về không gian cho vận hành dây chuyền sản xuất. Các đặc trưng về kích thước hình học này ảnh hưởng đáng kể đến ứng xử của kết cấu nhà công nghiệp bằng thép so với kết cấu nhà dân dụng khi chịu động đất thiết kế. Ví dụ nhà công nghiệp một tầng cao 20 m có các đặc trưng về khối lượng và độ cứng là khác nhau đáng kể so với nhà dân dụng nhiều tầng (cao 6 tầng) có cùng chiều cao nhà.

Tiêu chuẩn thiết kế không đề cập đến các yêu cầu giới hạn về kích thước cho các kết cấu khung nhà công nghiệp. Chiều cao của cột khung nhà công nghiệp một tầng thường vượt quá yêu cầu giới hạn qui định trong thiết kế về chiều cao của cột khung nhà dân dụng nhiều tầng nhằm đảm bảo điều kiện về hiệu quả kinh tế. Giới hạn về chiều cao của cột khung nhà công nghiệp như thế nào để đảm bảo về hiệu quả kinh tế vẫn đang là một câu hỏi phức tạp và chưa được chỉ ra rõ ràng. Các kích thước của khung được xác định tùy thuộc vào kỹ sư thiết kế kèm theo các chi tiết liên kết để chịu được các tải trọng động đất tác dụng theo phương ngang.

2.5 Đặc trưng về độ cứng của tấm mái và tấm tường bao

Nhà công nghiệp một tầng thường được lợp tôn ở mái và tôn bao xung quanh với các lớp cách nhiệt để bảo vệ công trình khỏi các tác động từ bên ngoài. Các tấm tôn bao che này có cường độ và độ cứng trong mặt phẳng của chúng phụ thuộc vào loại tấm tôn, số lượng các lớp tôn, khoảng cách các thanh xà gồ hoặc sườn tường, loại và số lượng đinh liên kết và loại vật liệu cách nhiệt.

Trong tính toán thiết kế, các tấm tôn này cần được định nghĩa là các tấm cứng hoặc tấm mềm. Khi biến dạng của hệ tấm tôn mái trong mặt phẳng của nó là không đáng kể thì hệ tấm mái được coi là tấm cứng trong mặt phẳng của nó. Khi hệ tấm mái có biến dạng đáng kể thì được coi là tấm mềm. Tiêu chuẩn IBC qui định hệ tấm mái được coi là tấm mềm khi điểm chuyển vị ngang lớn nhất lớn hơn hai lần chuyển vị ngang trung bình của các cấu kiện cột khung trong hệ kết cấu khi chịu tải trọng ngang. Khi tấm mái được coi là cứng có nhiệm vụ phân bố đều lực cắt và mô men xoắn cho các cấu kiện kết cấu. Khi các tấm mái được coi là mềm thì lực cắt tầng sẽ được phân bố cho các cấu kiện cột chịu tải trọng ngang, với giả thiết tấm mái như một cấu kiện nằm ngang nhiều nhịp và biến dạng trong mặt phẳng của nó.

Các công trình nhà công nghiệp thường sử dụng một lớp tôn với các tấm tôn được ghép chồng lên nhau. Liên kết giữa các tấm tôn với xà gồ cho phép các tấm tôn được xô dịch đáng kể trong mặt phẳng mái. Do vậy dịch chuyển ngang của các tấm tôn so với hệ kết cấu khung chịu lực ngang là khác nhau nên có thể coi tấm tôn mái không tham gia chịu tải trọng ngang cùng với hệ kết cấu khung chịu lực. Trong trường hợp này các thanh giằng được sử dụng để liên kết giữa các khung cùng chịu lực động đất theo phương ngang.



3. Xác định tải trọng động đất tác dụng lên khung ngang nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục

3.1 Xác định lực cắt đáy tương đương và phân bố tải trọng động đất theo chiều cao công trình

Để xác định lực cắt đáy tương đương và từ đó phân bố tải trọng động đất theo chiều cao công trình, một trong những vấn đề phức tạp là cần xác định được khối lượng tham gia dao động của công trình khi chịu động đất bằng bao nhiêu. Phần khối lượng ở cao trình mái nhà được xác định từ trọng lượng của dầm mái, giằng mái, tấm lợp, cửa trời, các thiết bị gắn cố định và 50% hoạt tải sửa chữa mái nhà ($0,15 \text{ kN/m}^2$).

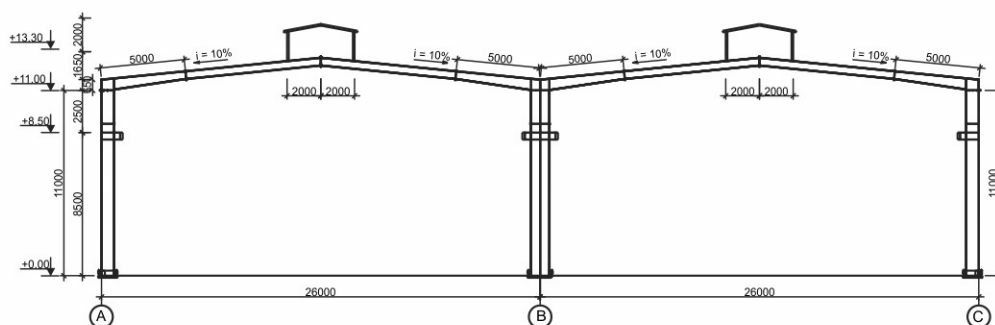
Đối với phần khối lượng từ trọng lượng cầu trục và vật nâng, các tiêu chuẩn thiết kế vẫn chưa có qui định rõ ràng nên các kỹ sư thiết kế cần đánh giá được bao nhiêu phần trăm khối lượng từ vật nâng tham gia vào dao động của công trình khi xác định lực cắt đáy công trình. Việc sử dụng dây cầu mềm hoặc cứng để nâng vật nặng cũng cần được xem xét khi xác định khối lượng từ vật nâng tham gia vào dao động công trình. Đặc biệt đối với kết cấu khung nhà công nghiệp có hai nhịp hoặc nhiều hơn, số lượng cầu trục làm việc đồng thời trong một nhịp khung hoặc nhiều nhịp khung cũng cần được xem xét khi xác định phần trăm khối lượng từ các cầu trục tham gia vào dao động của công trình khi chịu động đất.

Phần trọng lượng do cầu trục tác dụng ở vị trí vai cột được coi như gồm trọng lượng của dầm đỡ cầu trục, ray, sàn thao tác, thân cầu trục và xe con. Đối với trường hợp cầu trục có sức trục nhẹ hoặc sức trục trung bình với chế độ làm việc nhẹ và sử dụng dây cầu mềm, trọng lượng của vật nâng có thể được coi như không ảnh hưởng đến dao động theo phương ngang của công trình khi chịu động đất; như vậy trong trường hợp này có thể bỏ qua phần khối lượng tham gia dao động từ trọng lượng vật nâng. Đối với trường hợp cầu trục có sức trục nặng và trung bình, cần phải nghiên cứu xem xét đến phần trăm khối lượng từ vật nâng tham gia vào dao động của công trình. Phần trọng lượng của cột khung, giằng cột, sườn tường và tấm tôn bao che được coi như tác dụng ở vị trí vai cột.

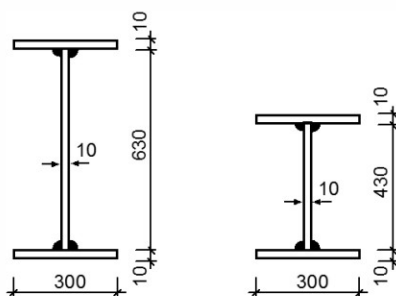
Giá trị của tải trọng động đất phân bố theo chiều cao kết cấu khung ở các vị trí cao trình mái và vai cột được xác định theo phương pháp phổ phản ứng. Hình dạng của các dạng dao động riêng của khung được xác định bằng phần mềm tính toán kết cấu như Sap hoặc Etabs. Chú ý rằng phương pháp lực tĩnh ngang tương đương với giả thiết lực động đất phân bố theo hình tam giác ngược cộng với lực tập trung tác dụng ở đỉnh là không phù hợp cho trường hợp kết cấu khung nhà công nghiệp có cầu trục.

3.2 Ví dụ tính tải trọng động đất

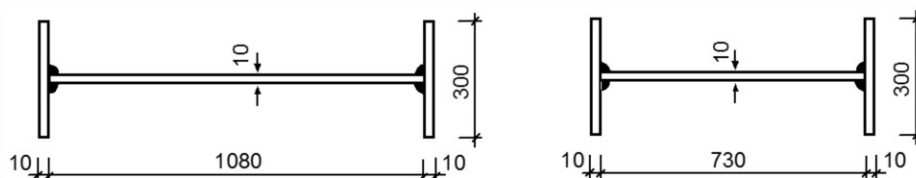
Xét một công trình nhà công nghiệp một tầng-hai nhịp bằng thép sử dụng kết cấu khung ngang với nhịp khung là 26 m tính từ mép ngoài của cột biên đến tim cột giữa, chiều cao đỉnh vai cột là 8,5 m, độ dốc của mái là 10 độ và bước khung là 6,5 m. Số cầu trục làm việc trong mỗi nhịp là 2 với chế độ làm việc trung bình và sức trục là 200 kN. Công trình được xây dựng ở thành phố Sơn La có đỉnh gia tốc nền thiết kế $a = 0,1893g \times 1,35 \times 1 = 0,255555g$ (với gia tốc trọng trường $g = 9,81415 \text{ m/s}^2$) cho nền đất loại D và hệ số tầm quan trọng bằng đơn vị [1,2]. Các kích thước thiết kế của khung được chỉ ra ở Hình 1. Các kích thước của tiết diện dầm mái và cột khung được thiết kế chịu các loại tải trọng tĩnh tải, hoạt tải, cầu trục và gió theo tiêu chuẩn thiết kế [7,8] được chỉ ra ở Hình 2 và 3.



Hình 1. Kích thước khung nhà công nghiệp một tầng-hai nhịp bằng thép có cầu trục

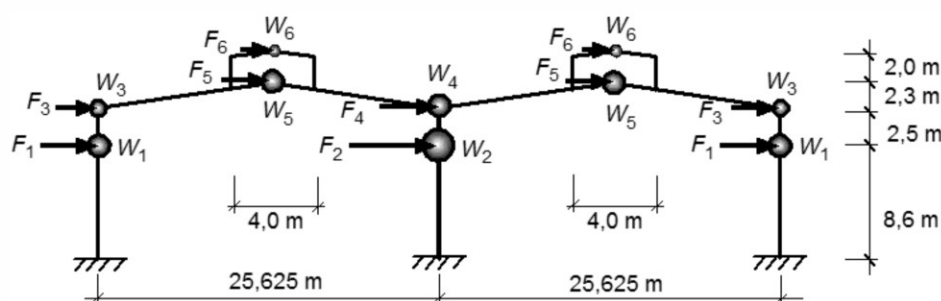


Hình 2. Tiết diện dầm mái ở nóc khung và đoạn giữa



Hình 3. Kích thước tiết diện của cột giữa và cột biên

Trọng lượng để xác định khối lượng tham gia dao động và từ đó xác định được dao động riêng của kết cấu công trình như sau: i) Phần tác dụng ở trên mái và cửa trời gồm: trọng lượng của tấm mái, dầm mái, cửa trời, giằng mái và 50% hoạt tải sửa chữa mái; và ii) Phần tác dụng ở cao trình vai cột gồm: trọng lượng của dầm cầu trục, ray, dầm hầm, thân cầu trục, xe con, cột khung, tấm tường bao che, giằng cột và giả thiết 50% sức trục (cho trường hợp sức trục trung bình và chế độ làm việc trung bình). Hình 4 chỉ ra kết quả trọng lượng để xác định khối lượng tham gia dao động của công trình được xem tập trung ở các vị trí vai cột, đỉnh cột, đỉnh mái và đỉnh cửa trời.



STT	Vị trí	H_i (m)	W_i (kN)	s_i	F_i (kN)
6	Đỉnh cửa trời	15.4	3.96	0.128341	1.39
5	Đỉnh xà mái	13.4	14.79	0.144809	5.84
4	Đỉnh cột	Giữa	11.1	0.146079	6.58
3		Biên	11.1	0.143174	3.23
2	Vai cột	Giữa	8.6	0.103327	63.47
1		Biên	8.6	0.099181	30.46

Hình 4. Trọng lượng W_i để xác định khối lượng tham gia dao động và tải trọng động đất F_i tác dụng lên công trình

Tổng trọng lượng của toàn công trình là 520,98 kN. Kết quả tính toán chu kỳ dao động riêng cơ bản của công trình sử dụng phần mềm SAP là $T_1 = 0,76$ giây. Với hệ số ứng xử của kết cấu được lấy $q = 3$ như đã đề cập ở mục 2.2, giá trị phổ thiết kế tương ứng với dạng dao động bậc một là $S_d = 2,5a/q = 0,213g$ và giá trị của lực cắt đáy công trình tương ứng là $V = S_d M = 110,97$ kN. Kết quả tính toán tải trọng động đất phân bố theo chiều cao công trình ở các vị trí tập trung khối lượng của khung được chỉ ra ở Hình 4, trong đó H_i cao trình, W_i là trọng lượng tham gia dao động, s_i là dịch chuyển tương ứng với dạng dao động bậc một và F_i là lực động đất tác dụng ở vị trí tập trung khối lượng i . Kết quả đã chỉ ra rằng dịch chuyển của cột giữa lớn hơn cột biên và tải trọng động đất chủ yếu tác dụng ở vị trí vai cột giữa và cột biên.

Kết quả tính toán lực cắt ở chân công trình do tải trọng gió gây ra là 44,81 kN, trong đó áp lực gió tiêu chuẩn ở thành phố Sơn La thuộc vùng gió IA là $W_0 = 0,55$ kN/m² và thuộc loại địa hình bị che chắn nhiều [7]. Như vậy lực cắt ở chân công trình do tác dụng của tải trọng động đất là lớn hơn đáng kể so với lực cắt ở chân công trình do tải trọng gió gây ra.



4. Kết luận

Bài báo đã phân tích một số vấn đề khó khăn gặp phải khi xác định tải trọng động đất tĩnh ngang tác dụng lên kết cấu nhà công nghiệp một tầng bằng thép có cầu trục và từ đó đưa ra các hướng dẫn cụ thể khi áp dụng tiêu chuẩn thiết kế kết cấu công trình chịu động đất. Bài báo cũng đã trình bày một ví dụ tính toán minh họa về việc xác định tải trọng động đất cho kết cấu khung ngang nhà công nghiệp một tầng-hai nhịp bằng thép có cầu trục được xây dựng ở thành phố Sơn La, nơi mà có mức độ động đất mạnh trong khi tải trọng gió lại nhỏ. Kết quả lực cắt tại chân công trình do tải trọng động đất gây ra là lớn hơn đáng kể do tải trọng gió gây ra. Các kết quả phân tích này sẽ giúp cho việc thiết kế kết cấu nhà công nghiệp một tầng chịu động đất được phù hợp hơn.

Tài liệu tham khảo

1. TCVN 9386:2012, *Thiết kế công trình chịu động đất*, Hà Nội.
2. CEN (2003), *Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance, Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings*, Brussels, Belgium.
3. ICBO (1997), *Uniform Building Code, Vol. 2: Structural Engineering Design Provisions*, International Conference of Building Officials, Whittier, California.
4. ICC (2000), *International Building Code*, International Code Council, Falls Church: Virginia.
5. AIJ (1999), *Design guidelines for earthquake resistant reinforced concrete structures*, Architectural Inst. of Japan, Tokyo.
6. Nguyễn Lê Ninh (2007), *Động đất và thiết kế công trình chịu động đất*, Nxb Xây dựng, Hà Nội.
7. TCVN 2737:1995, *Tải trọng và tác động*, Hà Nội.
8. TCVN 5575:2012, *Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế*, Hà Nội.
9. ANSI/AISC 341-02 and -05, *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction
10. Đinh Văn Thuật (2011), "Tạo bảng gia tốc nền từ phổ phản ứng đàn hồi sử dụng chuỗi Fourier", *Tạp chí KHCN Xây dựng*, Trường ĐHXD, số 10, 3-14.
11. Dinh Van Thuat (2014), "Strength reduction factor demands for building structures under different earthquake levels", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, John Wiley & Sons, 23(1), 42-53.