

Tính toán bu lông thông thường chịu kéo và cắt đồng thời

Combined tension and shear in bearing-type connection bolt

Phan Thanh Lượng

Tóm tắt

Liên kết bu lông là một loại liên kết được sử dụng phổ biến trong kết cấu thép. Trong quá trình làm việc, bu lông có thể phải chịu các trạng thái tác động khác nhau, trong đó có thể xảy ra trường hợp xuất hiện lực kéo và cắt đồng thời. Về nguyên tắc, để đảm bảo an toàn cho kết cấu, sự làm việc của liên kết cần phải được kiểm tra trong tất cả các tính huống nguy hiểm nhất. Tuy nhiên hiện nay trong tiêu chuẩn hiện hành của nước ta chưa xét đến ảnh hưởng của sự làm việc đồng thời này. Do đó trong một số tình huống có thể dẫn tới liên kết được thiết kế không đảm bảo khả năng chịu lực. Nội dung bài báo xem xét sự cần thiết cũng như so sánh với quy định của các tiêu chuẩn phổ biến khác trên thế giới, từ đó đưa ra khuyến nghị cụ thể cho việc tính toán này.

Từ khóa: bu lông, liên kết bu lông, kéo và cắt, kết cấu thép, tiêu chuẩn tính toán

Abstract

Bolt connections are widely used in steel structures. Functioning bolts suffer different types of actions, in many cases there is tension and shear at the same time. Theoretically, all dangerous working states of connections have to be verified to assure the safety of structures. However, this combination is not mentioned in Vietnam's current related design standards. So, in some particular situations, designed bolt connections may occasionally be out of strength. The paper refers to the necessity of taking into account this issue and compares it with regulations of some popular standards in the world, then gives out some recommendations.

Key words: bolt, bolt connection, tension and shear, steel structure, design standard

1. Đặt vấn đề

Liên kết bulông là một loại liên kết được sử dụng ngày càng phổ biến trong kết cấu thép để lắp dựng cũng như khuyếch đại các cấu kiện, đặc biệt trong các công trình công nghiệp. Trong các nhà công nghiệp, mỗi nối phần khung thường được sử dụng bằng liên kết bulông cường độ cao, khi đó sự làm việc của thân bu lông thuần túy là chịu kéo. Trong khi đó, liên kết chân cột thường sử dụng bulông thông thường, lực cắt truyền qua mặt tiếp xúc trực tiếp giữa thân bu lông và bản đế, nếu suất hiện lực kéo thì trong bulông sẽ chịu đồng thời ứng suất kéo và cắt. Hiện nay theo tiêu chuẩn quy phạm thiết kế kết cấu thép ở Việt Nam chưa kể đến tác động đồng thời của hai yếu tố này. Thực tế tính toán cũng cho thấy, trong nhiều trường hợp, lực cắt trong thân bu lông nhỏ không đáng kể, số lượng bulông chỉ được bố trí theo cấu tạo. Tuy nhiên, trong một số trường hợp, khi lực cắt đủ lớn, việc bỏ qua tác động đồng thời của lực cắt có thể gây nguy hiểm cho công trình. Nội dung bài báo đề cập đến vấn đề này.

2. Tính toán liên kết bu lông chịu kéo và cắt theo các tiêu chuẩn hiện hành

2.1. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5575:2012

Trong tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5575-2012 [1], phần liên kết bu lông được trình bày khá ngắn gọn, trong đó quy định bu lông chịu cắt và kéo đồng thời được kiểm tra chịu cắt và kéo riêng biệt. Khi đó, khả năng chịu lực tính toán của một bu lông được tính như sau:

$$\text{Chịu cắt: } [N]_{vb} = f_{vb}\gamma_b A_{nv} \quad (1)$$

$$\text{Chịu ép mặt: } [N]_{cb} = f_{cb}\gamma_b d\Sigma t \quad (2)$$

$$\text{Chịu kéo: } [N]_{tb} = f_{tb}A_{bn} \quad (3)$$

Trong đó:

f_{vb} , f_{cb} , f_{tb} lần lượt là cường độ tính toán chịu cắt, chịu ép mặt và chịu kéo của bu lông;

d là đường kính ngoài của bulông;

$A = \pi d^2/4$ là diện tích tính toán của thân bu lông;

A_{bn} là diện tích tiết diện thực của thân bu lông, lấy theo bảng B.4, phụ lục B;

Σt là tổng chiều dày nhỏ nhất của các bản thép cùng trượt về một phía;

n_v là số lượng các mặt cắt tính toán;

γ_b là hệ số điều kiện làm việc của liên kết bu lông, lấy theo bảng 38.

Điều 8.2.5 trong tiêu chuẩn quy định bu lông chịu cắt và kéo đồng thời được kiểm tra chịu cắt và kéo riêng biệt.

2.2. Tiêu chuẩn Hoa Kỳ ANSI-AISC 360-10

Tại Hoa Kỳ vẫn luôn ứng dụng song song cả hai phương pháp tính toán kết cấu theo ứng suất cho phép (ASD – Allowable Strength Method) và theo hệ số tải trọng và sức kháng (LRFD – Load and Resistance Factor Design). Khác với các phiên bản trước, ANSI-AISC 360-10 [2] tích hợp cả hai phương pháp này trong cùng một bộ tiêu chuẩn, mỗi công thức đều được hướng dẫn để áp dụng theo các phương pháp đó.

Theo tiêu chuẩn này, khả năng chịu kéo hoặc chịu cắt, ϕR_n (LRFD), hay giới hạn chịu kéo hoặc chịu cắt, R_n/Ω (ASD), được xác định theo trạng thái giới hạn của phá hoại về kéo hoặc cắt như sau:

$$R_n = F_u A_b \quad (4)$$

$$\phi = 0,75 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2 \text{ (ASD)}$$

Trong đó:

TS. Phan Thanh Lượng

Bộ môn Kết cấu Thép - Gỗ, Khoa Xây Dựng

Email: luongpt@hau.edu.vn,

ĐT: 0904197411

Ngày nhận bài: 27/5/2021

Ngày sửa bài: 31/5/2021

Ngày duyệt đăng: 21/7/2023

A_b : diện tích danh nghĩa của thân bu lông phần có ren hoặc không ren

F_{nt} : cường độ chịu kéo danh nghĩa, F_{nt} , hoặc cường độ chịu cắt danh nghĩa, F_{nv} , lấy theo bảng J3.2 của tiêu chuẩn này

Với bu lông chịu tác động đồng thời của kéo và cắt, lực kéo giới hạn có thể được xác định như sau:

$$R_n = F'_{nt} A_b \quad (5)$$

Trong đó:

F'_{nt} : cường độ chịu kéo danh nghĩa điều chỉnh xét đến ảnh hưởng của lực cắt

$$F'_{nt} = 1,3F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi F_{nv}} f_{rv} \leq F_{nt} \quad (\text{LRFD}) \quad (5a)$$

$$F'_{nt} = 1,3F_{nt} - \frac{U F_{nt}}{F_{nv}} f_{rv} \leq F_{nt} \quad (\text{ASD}) \quad (5b)$$

với:

F_{nt} : cường độ chịu kéo danh nghĩa của bu lông lấy theo bảng J3.2

F_{nv} : cường độ chịu cắt danh nghĩa của bu lông lấy theo bảng J3.2

f_{rv} : ứng suất cắt tác dụng lên thân bu lông, xác định theo LRFD hoặc ASD

và ứng suất cắt f_{rv} phải nhỏ hơn hoặc bằng ứng suất cắt giới hạn.

Tương tự, các công thức này có thể viết lại để xác định cường độ chịu cắt danh nghĩa điều chỉnh F'_{nv} xét đến ảnh hưởng của ứng suất kéo f_t .

Đồng thời, trong tiêu chuẩn này cũng ghi chú rõ: khi ứng suất f , cả kéo hoặc cắt, nhỏ hơn 30% ứng suất giới hạn tương ứng, có thể bỏ qua sự tác động đồng thời của hai loại ứng suất này.

2.3. Tiêu chuẩn châu Âu

Tiêu chuẩn châu Âu [3] quy định cách xác định khả năng chịu lực của bu lông như sau:

- Khả năng chịu cắt của một mặt cắt bu lông:

$$F_{v,rd} = \frac{a_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} \quad (6)$$

Trong đó:

Nếu mặt cắt đi qua phần có ren của bu lông (khi đó thay A bằng A_s):

+ với bu lông cấp bền 4.6, 5.6 và 8.8: $\alpha_v=0,6$

+ với bu lông cấp bền 4.8, 5.8, 6.8 và 10.9: $\alpha_v=0,5$

Nếu mặt cắt đi qua phần không có ren của bu lông $\alpha_v=0,6$

A : diện tích tiết diện nguyên của thân bu lông

A_s : diện tích tiết diện thực của thân bu lông phần có ren

f_{ub} : giới hạn bền của vật liệu chế tạo thân bu lông

$\gamma_{M2} = 1,25$: hệ số an toàn sử dụng khi tính khả năng chịu lực của bu lông, lấy theo bảng 2.1 trong tiêu chuẩn

- Khả năng chịu kéo của bu lông:

$$F_{t,rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (7)$$

Trong đó:

$k_2 = 0,63$ với bu lông đầu chìm, các trường hợp khác $k_2 = 0,9$

f_{ub} , A_s , γ_{M2} giống như trên

- Bu lông chịu kéo và cắt đồng thời được kiểm tra theo công thức:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (8)$$

với $F_{v,Ed}$ và $F_{t,Ed}$ là lực cắt và lực kéo tính toán tác dụng lên thân bu lông.

Tiêu chuẩn không có ghi chú nào thêm về giới hạn áp dụng khi kiểm tra sự làm việc đồng thời của kéo và cắt với bu lông, tức việc kiểm tra được tiến hành với mọi bu lông đồng thời chịu kéo và cắt.

3. Phân tích sự làm việc của bu lông chịu kéo và cắt đồng thời

Xét một bu lông chịu sự tác dụng đồng thời của lực kéo T_b và lực cắt V_b .

Lực kéo T_b gây ra trong thân một ứng suất kéo:

$$\sigma = \frac{T_b}{A_b} \quad (9)$$

với A_b là diện tích tiết diện thân bu lông (phần có ren hoặc không ren, tùy thuộc vị trí mặt cắt kiểm tra)

Điều kiện đảm bảo để bu lông không bị phá hoại về kéo:

$$\sigma \leq f_{tb} \quad (10)$$

Công thức (9) và (10) hoàn toàn tương thích với công thức (3) bên trên theo TCVN 5575:2012.

Tương tự, lực cắt V_b gây ra trong thân bu lông một ứng suất tiếp τ . Ứng suất tiếp τ này cũng phải thỏa mãn điều kiện:

$$\tau \leq f_{vb} \quad (11)$$

Trong trường hợp thông thường, khi kiểm tra cấu kiện chịu cắt trực tiếp, ứng suất tiếp được tính là ứng suất trung bình:

$$\tau = \frac{V_b}{A_b} \quad (12)$$

Công thức này cũng phù hợp với công thức (1) khi tính khả năng chịu cắt của bu lông theo TCVN 5575:2012.

Tuy nhiên, ở đây, khi xét đến sự tác động đồng thời của kéo và cắt, ta sẽ xét đến ứng suất tiếp lớn nhất trên tiết diện:

$$\tau^{\max} = \frac{\pi D^4}{64} \quad (13)$$

Trong đó:

I_x là mômen quán tính của tiết diện, $I_x = \frac{\pi D^4}{64}$

S_x là mômen tĩnh của nửa tiết diện đối với trục trung hòa, $S_x = \frac{\pi D^2}{8} \cdot \frac{2D}{3\pi} = \frac{D^3}{12}$

D là bề rộng tiết diện tại trục trung hòa, chính là đường kính của bu lông

Trong tiết diện tròn có:

$$\tau^{\max} = \frac{V_b \frac{D^3}{12}}{\frac{\pi D^4}{64} D} = \frac{4V_b}{3\pi D^2} = \frac{4V_b}{3A_b} \quad (13a)$$

Dưới tác động đồng thời của ứng suất pháp σ và ứng suất tiếp τ , điều kiện bền của cấu kiện sẽ được kiểm tra theo ứng suất tương đương. Áp dụng thuyết bền thế năng biến đổi hình dáng lớn nhất:

$$\sigma_{td} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 1,15f_{tb} \quad (14)$$

Từ công thức (10) và (14) cho thấy, nếu $\sigma_{td} < 1,15\sigma$ thì việc kiểm tra không có ý nghĩa hay nói cách khác ảnh hưởng của lực cắt là không đáng kể. Do đó, chỉ cần kiểm tra sự tác động đồng thời của ứng suất pháp và ứng suất tiếp khi $\sigma_{td} \geq 1,15\sigma$. Thay vào (14) ta có:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \geq 1,15\sigma$$

$$\Rightarrow \tau \geq 0,33\sigma$$

$$\text{Từ (9) và (13a): } \frac{4V_b}{3A_b} \geq 0,33 \frac{T_b}{A_b}$$

Hay:

$$V_b \geq 0,25T_b \quad (15)$$

Như vậy, với lực cắt lớn hơn 25% lực kéo thì điều kiện ứng suất tương đương sẽ nguy hiểm hơn điều kiện chịu kéo đơn của thân bu lông, khi đó cần xét sự làm việc đồng thời của tác động kéo và cắt.

4. Ví dụ tính toán

4.1. Ví dụ 1

(Lấy số liệu tính toán từ phần tính toán chân cột trong ví dụ của sách Thiết kế khung thép nhà công nghiệp một tầng, một nhịp [4])

Chọn và kiểm tra khả năng chịu lực của liên kết bu lông giữa chân cột với móng, đã xác định được lực kéo lớn nhất tác dụng lên 1 bu lông là $T_b = 101,6$ kN, lực cắt tương ứng tác dụng lên bu lông đó là $V_b = 13,7$ kN, sử dụng bu lông neo mác 09Mn2Si, có $f_{tb} = 190$ N/mm².

Diện tích cần thiết của tiết diện thân bu lông:

$$A_{bn}^{yc} = \frac{T_b}{f_{tb}} = \frac{101,6 \cdot 10^3}{190} = 534,7 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Tra bảng, chọn bu lông $\phi 30$ có $A_{bn} = 5,6$ cm² = 560 mm².

- Kiểm tra lại theo điều kiện chịu kéo:

$$[N]_{tb} = f_{tb} \cdot A_{bn} = 190 \cdot 560 = 106400 \text{ N} = 106,4 \text{ kN} > T_b$$

Điều kiện chịu kéo thỏa mãn.

- Kiểm tra theo điều kiện chịu ứng suất tương đương:

Ứng suất pháp do lực kéo tác dụng lên thân bu lông:

$$\sigma = \frac{T_b}{A} = \frac{101,6 \cdot 10^3}{560} = 180,4 \text{ N/mm}^2$$

Ứng suất tiếp do lực cắt tác dụng lên thân bu lông:

$$\tau = \frac{V_b}{A} = \frac{13,7 \cdot 10^3}{560} = 32,6 \text{ N/mm}^2$$

Ứng suất tương đương trong thân bu lông:

$$\sigma_{td} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{180,4^2 + 3 \cdot 32,6^2}$$

$$= 189 \text{ N/mm}^2 < 1,15 \cdot f_{tb} = 218,5 \text{ N/mm}^2$$

Điều kiện chịu ứng suất tương đương thỏa mãn.

Trường hợp này có $V_b < 0,25T_b = 25,4$ kN, ảnh hưởng của lực cắt đến sự làm việc chịu kéo là không đáng kể.

4.2. Ví dụ 2:

Tính toán tương tự với một trường hợp khác, lực kéo lớn nhất tác dụng lên 1 bu lông là $T_b = 65$ kN, lực cắt tương ứng tác dụng lên bu lông đó là $V_b = 18$ kN.

Diện tích cần thiết của tiết diện thân bu lông:

$$A_{bn}^{yc} = \frac{T_b}{f_{tb}} = \frac{65 \cdot 10^3}{190} = 342,1 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Tra bảng, chọn bu lông $\phi 24$ có $A_{bn} = 3,52$ cm² = 352 mm².

- Kiểm tra lại theo điều kiện chịu kéo:

$$[N]_{tb} = f_{tb} \cdot A_{bn} = 190 \cdot 352 = 66880 \text{ N} = 66,88 \text{ kN} > T_b$$

Điều kiện chịu kéo thỏa mãn.

- Kiểm tra theo điều kiện chịu ứng suất tương đương:

Ứng suất pháp do lực kéo tác dụng lên thân bu lông:

$$\sigma = \frac{T_b}{A} = \frac{65 \cdot 10^3}{352} = 184,6 \text{ N/mm}^2$$

Ứng suất tiếp do lực cắt tác dụng lên thân bu lông:

$$\tau = \frac{V_b}{A} = \frac{18 \cdot 10^3}{352} = 68,2 \text{ N/mm}^2$$

Ứng suất tương đương trong thân bu lông:

$$\sigma_{td} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{184,6^2 + 3 \cdot 68,2^2}$$

$$= 219,2 \text{ N/mm}^2 > 1,15 \cdot f_{tb} = 218,5 \text{ N/mm}^2$$

Như vậy, mặc dù khi kiểm tra riêng điều kiện chịu kéo thì bu lông đủ khả năng chịu lực. Nhưng khi xét đến tác động đồng thời của lực cắt thì điều kiện chịu ứng suất tương đương không thỏa mãn, bu lông có thể bị phá hoại dưới tác động này.

4.3. Ví dụ 3

Tính toán với cặp nội lực tương tự ví dụ 2, tính theo tiêu chuẩn Hoa Kỳ, phương pháp LRFD, vật liệu bu lông thép A307.

Tra bảng J3.2 tiêu chuẩn ANSI/AISC 360-10[2] có cường độ chịu kéo và cắt tương ứng của bu lông thép A307 là $F_{nt} = 310$ MPa = 310 N/mm²; $F_{nv} = 188$ MPa = 188 N/mm².

- Chọn đường kính bu lông theo điều kiện chịu kéo:

$$\text{Từ (4) ta có: } T_b \leq \phi R_{nt} = \phi F_{nt} A_b$$

$$\Rightarrow A_b \geq \frac{T_b}{\phi F_{nt}} = \frac{65 \cdot 10^3}{0,75 \cdot 310} = 280 \text{ mm}^2$$

Chọn bu lông $\phi 22$ có $A_b = 303$ mm².

- Kiểm tra khả năng chịu lực của 1 bu lông theo điều kiện đơn:

+ Về kéo:

$$\phi R_{nt} = \phi F_{nt} A_b = 0,75 \cdot 310 \cdot 303 = 70448 \text{ N}$$

$$= 70,448 \text{ kN} > T_b = 65 \text{ kN}$$

+ Về cắt:

$$\phi R_{nv} = \phi F_{nv} A_b = 0,75 \cdot 188 \cdot 303 = 42723 \text{ N}$$

$$= 42,723 \text{ kN} > V_b = 18 \text{ kN}$$

Như vậy, nếu kiểm tra riêng biệt về điều kiện chịu kéo và cắt đều đảm bảo.

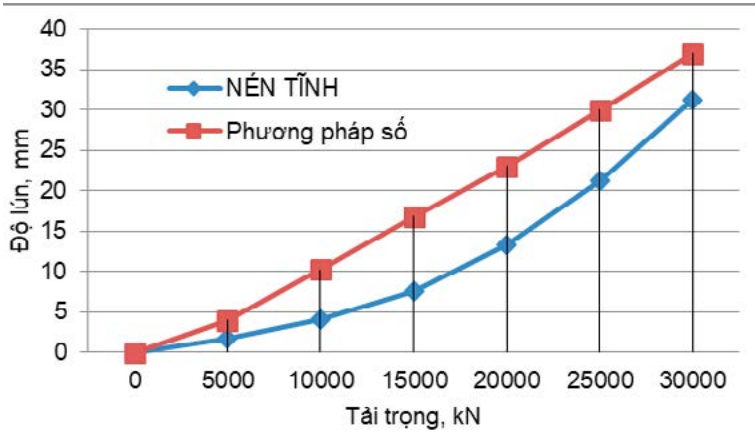
- Kiểm tra theo điều kiện chịu tác động đồng thời của lực kéo và cắt:

$$\text{Theo (5a) } F'_{nt} = 1,3F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi F_{nv}} f_{rv} \leq F_{nt}$$

Trong đó, f_{rv} là ứng suất gây ra do lực cắt:

$$f_{rv} = \frac{V_b}{A_b} = \frac{18 \cdot 10^3}{303} = 59,4 \text{ N/mm}^2$$

(xem tiếp trang 50)



Hình 2. So sánh độ lún khi gia tải từng cấp

cọc có sức chịu tải lớn có khả năng chịu tải theo đất nền gần tương đương với sức chịu tải theo vật liệu làm cọc.

Từ kết quả so sánh trên có thể nói rằng tính toán bằng phương pháp số khá phù hợp với giá trị thu được từ nén tĩnh cọc tại hiện trường. Việc áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn và mô hình nền đàn dẻo vào việc xác định sức chịu tải của cọc là hoàn toàn có thể.

4. Kết luận

Từ những phân tích nêu trên có thể đưa ra một số kết luận sau:

Việc sử dụng phương pháp xác định sức chịu tải, theo TCVN 10304, được áp dụng trong điều kiện địa chất công trình đơn giản không kể đến các yếu tố ảnh hưởng đến ma

sát thành bên và phản lực mũi như biến dạng dọc trục cọc hay sự gia tăng của áp lực ngang của đất lên thân cọc ... Nhìn chung, cách tính này có mức độ tin cậy của kết quả thấp, đặc biệt đối với đất loại sét pha yếu đòi hỏi cần có cách tính đúng đắn hơn.

Do điều kiện địa chất đa dạng, các tiêu chuẩn hiện hành không thể đưa ra một phương pháp thống nhất để xác định sức chịu tải của cọc với độ chính xác đủ cao gần đúng với số liệu thực tế thu được trong quá trình thí nghiệm hiện trường, nên có thể dùng phương pháp số như là một phương pháp thay thế hiệu quả.

Các sơ đồ và mô hình tính toán hiện có, bao gồm cả các phương pháp số dựa trên chúng, có sự khác biệt đáng kể trong kết quả. Để mô tả đúng đắn sự làm việc của cọc và nền xung quanh nó cần thu thập đủ các thông số phục vụ cho mô hình tính toán./.

Tài liệu tham khảo

1. TCVN 10304-2014. Móng cọc - Tiêu chuẩn thiết kế.
2. CP. 24.13330.2011. Móng cọc (tiêu chuẩn Nga).
3. Martin J., Budden D., Norman S. Pile tests to justify higher adhesion factors in London Clay. Proc. of the Institution of Civil Engineers - Geotechnical Engineering, 2016, vol. 169, Iss. 2, pp. 121-128.
4. EN 1997-1: Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules. 2004.
5. Сборник статей международной научно-технической конференции. Численные методы расчетов в практической геотехнике. Санкт-Петербург. 2012.

Tính toán bu lông thông thường chịu kéo và cắt đồng thời

(tiếp theo trang 47)

$$\Rightarrow F'_{nt} = 1,3 \cdot 310 \cdot \frac{310}{0,75 \cdot 188} \cdot 59,4 = 272,4 \text{ N/mm}^2$$

Khi đó, khả năng chịu kéo của 1 bu lông là:

$$\begin{aligned} \phi R_{nt} &= \phi F'_{nt} A_b = 0,75 \cdot 272,4 \cdot 303 = 61902 \text{ N} \\ &= 61,902 \text{ kN} < T_b = 65 \text{ kN} \end{aligned}$$

Bu lông không đủ khả năng chịu lực, cần phải chọn lại bu lông đường kính lớn hơn.

Ví dụ này cho thấy sự khác nhau khi có hoặc không xét đến sự tác động đồng thời của lực kéo và cắt lên bu lông khi tính theo tiêu chuẩn Hoa Kỳ.

5. Kết luận và kiến nghị

Hiện nay tiêu chuẩn Việt Nam chưa quy định về việc đánh giá tác động đồng thời của kéo và cắt đến bu lông nói chung và bu lông neo chân cột nói riêng. Trong khi đó, tiêu chuẩn châu Âu luôn xét đến tác động đồng thời của hai yếu tố này, còn tiêu chuẩn Hoa Kỳ cho phép bỏ qua nếu ứng suất kéo hoặc cắt nhỏ hơn 30% giới hạn chịu lực tương ứng. Ví dụ minh họa được đưa ra để đánh giá sự cần thiết của việc tính toán này.

Kết quả phân tích và ví dụ tính toán trên cho thấy, khi lực cắt mà thân bu lông phải chịu nhỏ hơn 25% lực kéo thì không gây ảnh hưởng đáng kể đến sự làm việc của bu lông, khi đó có thể bỏ qua tác động đồng thời của kéo và cắt mà chỉ cần kiểm tra các điều kiện đơn. Ngược lại, khi lực cắt lớn hơn 25% lực kéo thì sự làm việc đồng thời này sẽ nguy hiểm hơn và có thể gây phá hoại thân bu lông. Khi đó, để an toàn cho cấu kiện và công trình, cần xét đến trạng thái này trong tính toán. Việc áp dụng công thức, tiêu chuẩn nào còn phụ thuộc vào lựa chọn của người thiết kế khi tính toán tổng thể kết cấu công trình./.

Tài liệu tham khảo

1. TCVN 5575:2012 Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế.
2. AISC Specification for Structural Steel Building, ANSI/AISC 360-10, 2010.
3. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints, EN 1993-1-8.
4. Phạm Minh Hà, Đoàn Tuyết Ngọc, Thiết kế khung thép nhà công nghiệp một tầng, một nhịp, NXB Xây dựng, 2008.