

TÍNH TOÁN DẦM THÉP TIẾT DIỆN CHỮ I CHỊU UỐN CÓ XÉT ĐẾN ĐỘ LỆCH TÂM CỦA TẢI TRỌNG

Nguyễn Tiến Chương⁽¹⁾, Lê Văn Duy⁽²⁾

⁽¹⁾PGS.TS, Giảng viên, ĐH Thủy lợi

Email: chuongnt@wru.edu.vn

⁽²⁾ThS., Công ty cổ phần đầu tư và tư vấn Incomex

Email: duyicc@gmail.com

Tóm tắt: Trong thực tế có nhiều trường hợp dầm thép chữ I chịu tác dụng của tải trọng lệch tâm làm cho dầm vừa chịu uốn lại vừa chịu xoắn. Để xem xét mức độ ảnh hưởng của độ lệch tâm của tải trọng đến sự làm việc của dầm, lý thuyết thanh thành mỏng được áp dụng để giải bài toán. Kết quả nghiên cứu cho thấy độ lệch tâm ảnh hưởng làm tăng thêm đáng kể cả ứng suất pháp, ứng suất tiếp cũng như ứng suất chính so với khi dầm chịu tải trọng đúng tâm. Vấn đề này cần được xem xét khi thiết kế dầm thép trong các công trình có nguy cơ có độ lệch tâm của tải trọng.

Từ khóa: cấu kiện thép, tiết diện chữ I, chịu uốn, ảnh hưởng xoắn, so sánh, tải trọng lệch tâm

1. MỞ ĐẦU

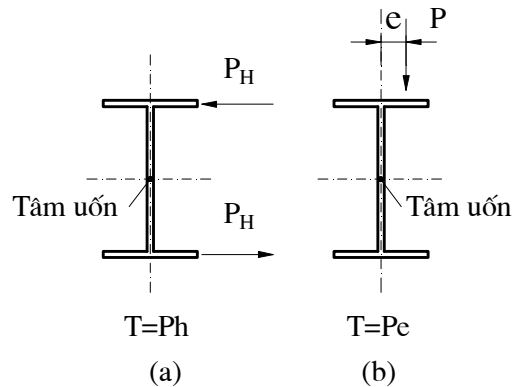
Khi tính toán dầm thép chịu uốn ta thường giả thiết tải trọng không có độ lệch tâm. Tuy nhiên, trong thực tế có trường hợp dầm chịu tải trọng lệch tâm. Sự lệch tâm có thể gây ra bởi các nguyên nhân khác nhau.

Vấn đề được đặt ra là mức độ ảnh hưởng của độ lệch tâm như thế nào đến sự làm việc của dầm?

Trong bài báo này sẽ xem xét ảnh hưởng của độ lệch tâm đến sự làm việc của dầm thép chữ I.

2. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG CỦA DẦM THÉP CHỮ I CHỊU TẢI LỆCH TÂM

Xem xét dầm chữ I chịu tác dụng của tải trọng với độ lệch tâm e như trên hình 1. Tải trọng tác dụng trong mặt phẳng không đi qua tâm uốn sẽ làm cho cấu kiện bị xoắn trừ khi có các tác động bên ngoài ngăn cản. Ứng suất gây ra do xoắn bao gồm cả ứng suất tiếp và ứng suất pháp. Những ứng suất này phải được tính đến cùng với các ứng suất pháp và ứng suất tiếp được gây ra do tải trọng tác dụng đúng tâm.



Hình 1 Tải trọng lệch tâm gây uốn – xoắn

Ở đây cần xem xét bài toán xoắn của dầm. Bài toán xoắn được chia làm hai dạng: xoắn thuần túy hay còn gọi là xoắn Saint Venant và xoắn-uốn.

2.1. Xoắn Saint Venant

Đối với trường hợp xoắn Saint Venant, mômen xoắn M_s chia cho độ cứng chống xoắn GJ bằng đường cong xoắn (thay đổi góc xoắn theo đơn vị chiều dài)

$$\frac{M_s}{GJ} = \frac{d\phi}{dz} \Rightarrow M_s = GJ \frac{d\phi}{dz} \quad (1)$$

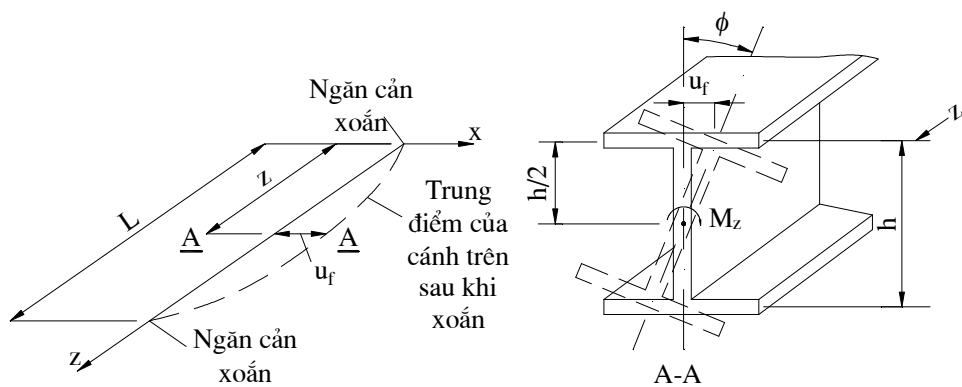
trong đó :

M_s - mômen xoắn;

G - môđun trượt, được tính theo công thức $G = E / 2(1 + \nu)$, trong đó E là môđun đàn hồi và ν là hệ số Poát-xông .

J = Mômen quán tính xoắn của mặt cắt ngang.

2.2. Dầm chịu xoắn-uốn.



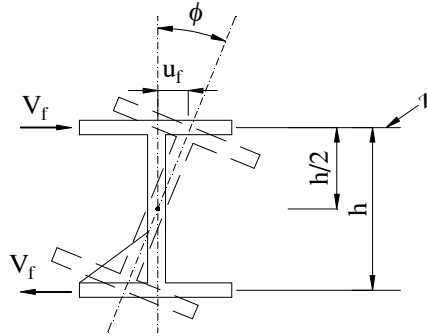
Hình 2 Xoắn của tiết diện chữ I

Khi dầm chịu xoắn như Hình 2, sẽ có một cánh bị uốn theo một hướng còn cánh kia bị uốn theo

hướng ngược lại. Do vậy, tiết diện sẽ bị vênh (trở nên không còn phẳng) nếu không bị ngăn cản, kết cấu bị vênh, còn khi bị ngăn cản (bị kiềm chế) sẽ sinh ra ứng suất như đối với phần tử chịu uốn.

2.3. Phương trình vi phân của dầm tiết diện dạng chữ I chịu xoắn

Đặt V_f là lực cắt ngang phát triển trên cánh của tiết diện do mômen uốn ngang sinh ra.



Hình 3 Lực cắt ngang trong cánh dầm sinh ra do xoắn

Với giả thiết giá trị chuyển vị bé, ta có:

$$u_f = \phi \frac{h}{2} \quad (2)$$

Vi phân bậc ba của phương trình (2) ta được:

$$\frac{d^3 u_f}{dz^3} = \left(\frac{h}{2} \right) \frac{d^3 \phi}{dz^3} \quad (3)$$

Đối với cánh dầm ta có quan hệ như sau:

$$\frac{d^2 u_f}{dz^2} = \frac{-M}{EI_f} \quad (4)$$

trong đó : M_f là mômen uốn tác dụng lên cánh, I_f là mômen quán tính của cánh đối với trục y của dầm.

Mặt khác $V = dM / dz$, nên:

$$\frac{d^3 u_f}{dz^3} = \frac{-V_f}{EI_f} \quad (5)$$

Kết hợp phương trình (3) và (5) thu được:

$$M_w = V_f h = -EI_f \frac{h^2}{2} \frac{d^3 \phi}{dz^3} \quad (6)$$

$$M_w = -EC_w \frac{d^3 \phi}{dz^3} \quad (7)$$

trong đó: $C_w = I_f h^2 / 2$ gọi là mômen quán tính quạt của mặt cắt dầm.

Tổng mômen M_s và M_w từ các phương trình (1) và phương trình (7) ta có:

$$M_z = M_s + M_w = GJ \frac{d\phi}{dz} - EC_w \frac{d^3 \phi}{dz^3} \quad (8)$$

Đây là phương trình vi phân của dầm chịu xoắn.

Mômen xoắn M_z phụ thuộc vào tải trọng và là hàm của z .

Viết lại phương trình (8) bằng cách chia cả hai vế cho EC_w

$$\frac{d^3\phi}{dz^3} - \frac{GJ}{EC_w} \frac{d\phi}{dz} = \frac{-M_z}{EC_w} \quad (9)$$

Đặt $\lambda^2 = GJ / EC_w$ được:

$$\frac{d^3\phi}{dz^3} - \lambda^2 \frac{d\phi}{dz} = 0 \quad (10)$$

Đặt $\phi_h = Ae^{mz}$ thu được phương trình vi phân thuần nhất:

$$Ae^{mz}(m^3 - \lambda^2 m) = 0 \quad (11)$$

Suy ra: $m(m^2 - \lambda^2) = 0 \Leftrightarrow m = 0, m = \pm\lambda$

$$\text{Vì vậy } \phi_h = A_1 e^{\lambda z} + A_2 e^{-\lambda z} + A_3 \quad (12)$$

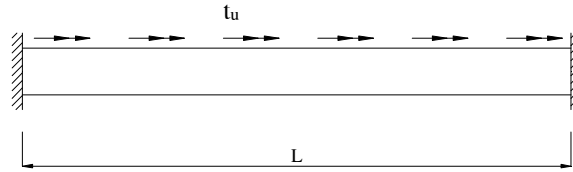
Viết (12) dưới dạng hàm hyperbolic ta có:

$$\phi_h = A \sinh \lambda z + B \cosh \lambda z + C$$

Đặt $M_z = f(z)$ và $\phi_p = f_1(z)$ thay thế vào phương trình (9) ta được:

$$\frac{d^3 f_1(z)}{dz^3} - \lambda^2 \frac{df_1(z)}{dz} = -\frac{1}{EC_w} f(z) \quad (13)$$

3. DÀM THÉP CHỮ I CHỊU MÔ MEN XOẮN PHÂN BỐ ĐỀU



Hình 4 Dầm chịu mô men xoắn phân bố đều

Xét dầm chữ I chịu tải trọng phân bố đều có độ lệch tâm e như trên hình 4, ta có:

$$c_1 = \frac{tl}{2GJ} \quad (14)$$

$$c_2 = \frac{1 + \cosh \frac{l}{a}}{\sinh \frac{L}{a}} \quad (15)$$

Góc xoắn:

$$\theta = c_1 a \left[c_2 \left(\cosh \frac{z}{a} - 1 \right) + \frac{z}{a} \left(1 - \frac{z}{l} \right) - \sinh \frac{z}{a} \right] \quad (16)$$

Đạo hàm bậc nhất của góc xoắn:

$$\theta' = c_1 \left[c_2 \sinh \frac{z}{a} + 1 - \frac{2z}{l} - \cosh \frac{z}{a} \right] \quad (17)$$

Đạo hàm bậc hai của góc xoắn:

$$\theta'' = \frac{c_1}{a} \left(c_2 \cosh \frac{z}{a} - \frac{2a}{l} \sinh \frac{z}{a} \right) \quad (18)$$

Đạo hàm bậc ba của góc xoắn:

$$\theta''' = \frac{c_1}{a^2} \left(c_2 \sinh \frac{z}{a} - \cosh \frac{z}{a} \right) \quad (19)$$

Trong đó : L là chiều dài của dầm.

- Tính toán ứng suất pháp:

$$f_n = \pm \sigma_{bx} \pm \sigma_{by} + \sigma_w \leq 0,6F_y \quad (20)$$

Trong đó: $\sigma_{bx} = \frac{M_x}{W_x}$; $\sigma_{by} = \frac{M_y}{W_y}$ là ứng suất pháp do mômen uốn M_x , M_y .

$\sigma_w = -E\omega\theta''$ là ứng suất pháp do mômen xoắn-uốn.

F_y - cường độ chảy của thép

- Tính toán ứng suất tiếp:

$$f_v = \tau_{bx} \pm \tau_{by} \pm \tau_t \pm \tau_w \leq 0,4F_y \quad (21)$$

Trong đó: $\tau_{bx} = \frac{VS_x}{I_x t}$; $\tau_{by} = \frac{VS_y}{I_y t}$ là ứng suất tiếp do lực cắt V_x , V_y .

S_x , S_y là mômen tĩnh của tiết diện.

$\tau_t = \frac{T_t}{W_t}$ là ứng suất tiếp do mômen xoắn St Venant T_t .

$W_t = \frac{J}{t}$ có tên gọi là mômen chống xoắn tương tự như mômen kháng uốn trong bài toán uốn

t là độ dày của phần tử.

J là mômen quán tính xoắn của mặt cắt ngang là đặc trưng hình học của mặt cắt ngang liên quan giữa mômen xoắn St Venant và góc xoắn θ .

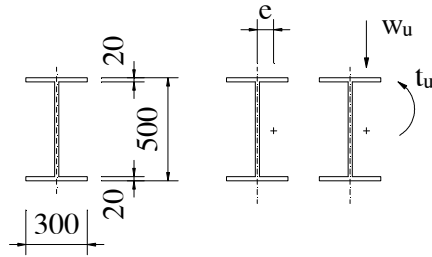
$\tau_w = -E \frac{S_\omega^c \theta'''}{t}$ là ứng suất pháp do mômen xoắn-uốn.

S_ω^c là mômen tĩnh quạt của tiết diện.

E là môđun đàn hồi của vật liệu.

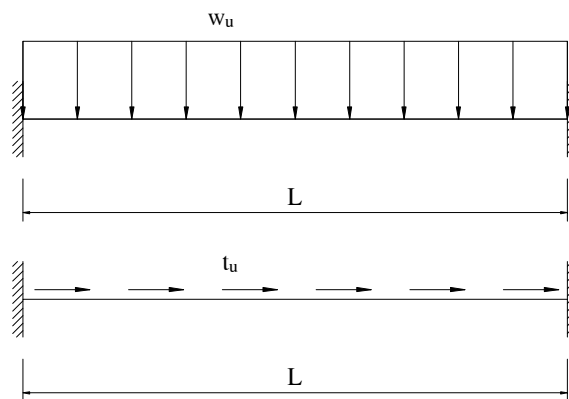
4. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

Cho dầm thép tiết diện chữ I vật liệu CT42. Dầm dài L=12 m. Mặt cắt ngang dầm như trên hình 5.



Hình 5: Mặt cắt ngang dầm

Dầm chịu tải trọng phân bố đều thẳng đứng $w_u = 10 \text{ kN/m}$ với độ lệch tâm e (hình 6).



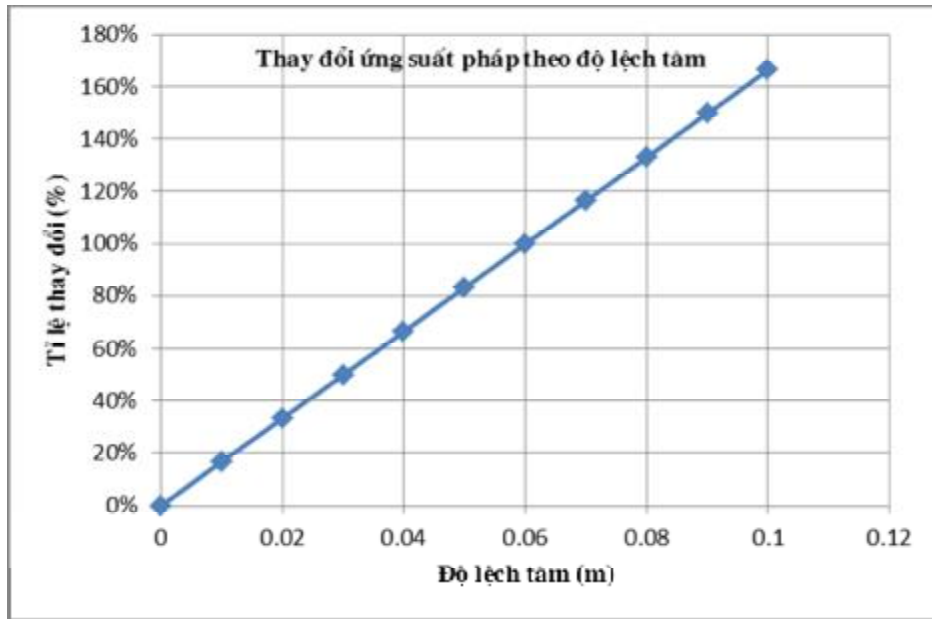
Hình 6 : Sơ đồ kết cấu và tải trọng

Kết quả tính toán ứng suất pháp, ứng suất tiếp khi e thay đổi từ 0,01m đến 0,1m được đưa tương ứng trong bảng 1 và bảng 2. Các biểu đồ về thay đổi ứng suất pháp và ứng suất tiếp khi e thay đổi được thể hiện trên hình 7 và hình 8.

Kết quả tính toán cho thấy khi có độ lệch tâm của tải trọng, ứng suất trong dầm tăng lên đáng kể.

Bảng 1: Thay đổi ứng suất pháp theo độ lệch tâm

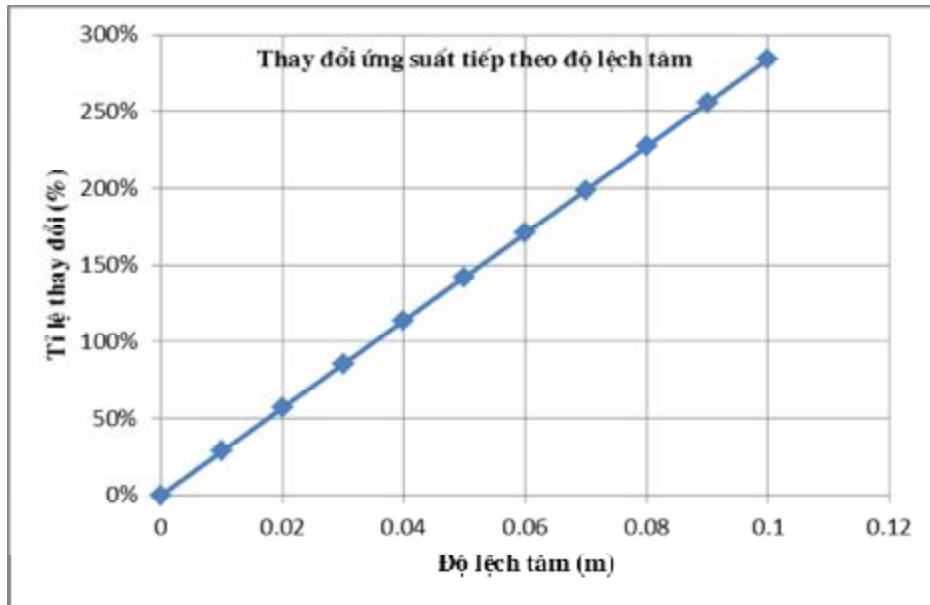
STT	$e(\text{m})$	σ_b (MPa)	σ_{tong} (MPa)	$\Delta(\%)$
1	0.01	35,14	40,98	16.6
2	0.02	35,14	46,82	33.2
3	0.03	35,14	52,67	49.9
4	0.04	35,14	58,51	66.5
5	0.05	35,14	64,35	83.1
6	0.06	35,14	70,19	99.7
7	0.07	35,14	76,04	116.4
8	0.08	35,14	81,88	133.0
9	0.09	35,14	87,72	149.6
10	0.1	35,14	93,57	166.3



Hình 7: Biểu đồ thay đổi ứng suất pháp theo độ lệch tâm

Bảng 2. Thay đổi ứng suất tiếp theo độ lệch tâm

STT	e(m)	τ_b (MPa)	τ_{tong} (MPa)	Δ (%)
1	0.01	0.415	0.533	28.4
2	0.02	0.415	0.651	56.9
3	0.03	0.415	0.769	85.3
4	0.04	0.415	0.887	113.7
5	0.05	0.415	1.005	142.2
6	0.06	0.415	1.123	170.6
7	0.07	0.415	1.240	198.8
8	0.08	0.415	1.358	227.2
9	0.09	0.415	1.476	255.7
10	0.1	0.415	1.594	284.1



Hình 8: Biểu đồ thay đổi ứng suất tiếp theo độ lệch tâm

5. KẾT LUẬN

Trong thực tế có nhiều trường hợp dầm thép chữ I chịu tác dụng của tải trọng lệch tâm làm cho dầm vừa chịu uốn lại vừa chịu xoắn. Trong bài báo đã áp dụng lý thuyết thanh thành mỏng để xem xét trường hợp dầm thép tiết diện chữ I chịu tải trọng lệch tâm. Kết quả nghiên cứu cho thấy độ lệch tâm ảnh hưởng làm tăng đáng kể ứng suất pháp, ứng suất tiếp cũng như ứng suất chính trong dầm so với khi tính dầm chịu tải trọng đúng tâm (chỉ chịu uốn). Vấn đề này cần được xem xét khi thiết kế dầm thép trong các công trình có nguy cơ có độ lệch tâm của tải trọng.

6. TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Vũ Đình Lai, Nguyễn Xuân Lữ, Bùi Đình Nghi (2011), *Sức bền vật liệu tập 2*, Nhà xuất bản Giao thông vận tải, Hà Nội.
2. Đoàn Đình Kiên (2009), *Thiết kế kết cấu thép (Theo Quy Phạm Hoa Kỳ AISC/ASD)*, Nhà xuất bản Xây Dựng, Hà Nội.
3. American Institute of Steel Construction (2005), *AISC 360-05 : Specification for Structural Steel Buildings*.
4. American Institute of Steel Construction (2003), *Steel Design Guide Series 9 : Torsional Analysis of Structural Steel Member*.
5. Charles G.Salmon, John E.Johnson (2008), *Steel Structures Design and Behaviour Fourth Edition*, ISBN : 0-673-99786-3.
6. American Institute of Steel Construction (2005), *Steel Construction Manual 13th Edition*, ISBN : 1-56424-055-X.