



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>

Xác định nội lực động uốn xoắn trong đầm lặt sự cố

Dương Đức Hùng*

Khoa Mỏ, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:
 Nhận bài: 15/7/2017
 Chấp nhận: 20/8/2017
 Đăng online: 30/8/2017

Từ khóa:
 Sự cố gãy đầm
 Nội lực động uốn xoắn
 Đầm bê tông cốt thép

TÓM TẮT

Sự cố lặt đầm gây phá hủy thường gặp đối với đầm có mặt cắt chữ nhật hẹp với kích thước và trọng lượng lớn. Nội dung bài báo trình bày cách tính tải trọng và nội lực động khi đầm chịu uốn bất lợi đồng thời chịu xoắn do sự cố lặt. Trên cơ sở kết quả thu được, khuyến nghị các đơn vị thiết kế, thi công công trình lựa chọn giải pháp hợp lý.

©2017 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Hiện nay, trong các công trình hạ tầng giao thông, đầm bê tông cốt thép đúc sẵn có kích thước lớn được sử dụng khá phổ biến do có nhiều ưu điểm. Thực tế, trong nhiều công trình, quá trình vận chuyển, lắp đặt đã xảy ra một số sự cố gây phá hủy đầm (gãy đầm). Các sự cố xảy ra gây thiệt hại đáng kể về kinh tế, xã hội. Có thể đưa ra một số sự cố điển hình sau: Sự cố gãy đầm dài 42 mét do thi công cầu chợ Đệm trên cao tốc TP Hồ Chí Minh - Trung Lương (Hình 1) (Thanhvien.vn 11/3/2009; Sự cố gãy 3 đầm bê tông cốt thép dài 33 mét, cao 1,6 mét tại công trình đường trên cao vành đai 3 đoạn qua Pháp Vân, TP Hà Nội (Hình 2) Vnexpress.net ngày 18/04/2010. Sự cố gãy gãy đầm cầu vượt đường cao tốc Huế - Đà Nẵng (Hình 3) (Vnexpress.net ngày 30/8/2016).

Theo tính toán thiết kế, ở chế độ làm việc bình thường, các đầm chịu uốn trong mặt phẳng có độ cứng uốn lớn nhất. Khi xảy ra sự cố, đầm vừa chịu

uốn, vừa chịu xoắn. Trường hợp nguy hiểm nhất là khi đầm chịu uốn trong mặt phẳng có độ cứng bé. Hầu hết các trường hợp sự cố gây phá hủy là đầm chịu uốn trong mặt phẳng có độ cứng bé kết hợp chịu xoắn. Khi đó, điểm có trị số ứng suất pháp lớn nhất do mô men uốn gây nên tăng cao trùng với điểm có ứng suất tiếp lớn nhất (điểm giữa cạnh dài) do mô men xoắn gây nên.

Nội dung bài báo sẽ nghiên cứu xác định phân bố ứng suất động trong đầm chịu uốn và xoắn khi gặp sự cố lặt. Kết quả nghiên cứu góp phần giúp các nhà thiết kế lựa chọn hình dạng và kích thước hợp lý mặt cắt ngang đầm chịu uốn, đặc biệt đối với đầm có kích thước lớn, nhằm đảm bảo an toàn tuyệt đối trong mọi điều kiện.

2. Xác định nội lực động uốn - xoắn khi đầm lặt sự cố.

Xét đầm có chiều dài L , mặt cắt ngang chữ nhật kích thước ($b \times h$, $h > b$), trọng lượng trên một đơn vị dài q . Ở chế độ làm việc bình thường, đầm chịu uốn trong mặt phẳng có độ cứng lớn nhất, uốn quanh trục x (Hình 4). Trị số ứng suất cực đại

*Tác giả liên hệ

E-mail: duongduchung@humg.edu.vn



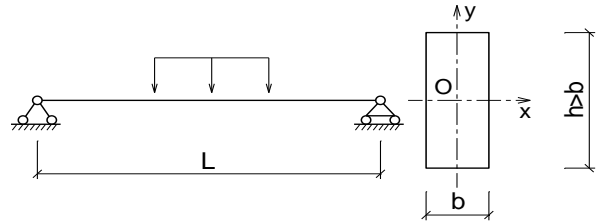
Hình 1. Sự cố cầu Chợ Đệm.



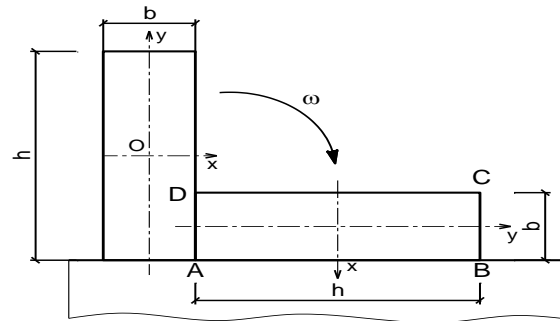
Hình 2. Sự cố gãy dầm đường vành đai 3.



Hình 3. Sự cố gãy dầm do thi công cầu vượt đoạn La Sơn-Túy Loan trên cao tốc Huế- Đà Nẵng



Hình 4. Sơ đồ tính dầm làm việc theo thiết kế.



Hình 5. Vị trí mặt cắt ngang dầm trước và sau khi lật sự cố.

sẽ là (Lê Quang Minh, Nguyễn Văn Vương, 1993):

$$\sigma_{max} = \frac{M_{xmax}}{W_x}$$

Trong đó: M_{xmax} - mô men uốn lớn nhất theo tải trọng thiết kế; $W_x = \frac{bh^2}{6}$ - Mô men chống uốn của mặt cắt đối với trục x được thiết kế để dầm không bị phá hủy.

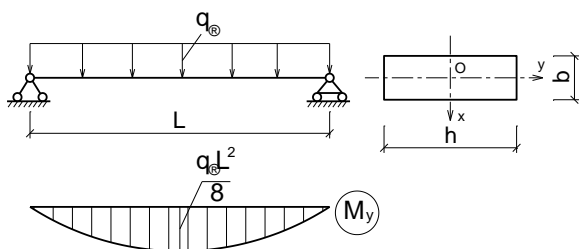
Vì nguyên nhân ngẫu nhiên nào đó, dầm bị lật do sự cố (lật tự do). Dầm quay quanh trục qua điểm A với tốc độ đều $\omega_0 = 0$ khi đường chéo AC có phương thẳng đứng và đạt tốc độ ω tại thời điểm dầm kết thúc chuyển động (Hình 5).

Động năng đạt được $T = \frac{1}{2} I_p \omega^2$; I_p - Mô men quán tính khối lượng đối với trục quay qua A.

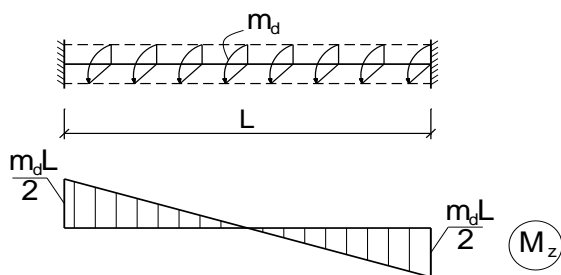
Quá trình lật được khảo sát như vật rắn chuyển động quay. Nếu bỏ qua sự mất mát năng lượng do một số hiệu ứng vật lý khác, theo định luật bảo toàn năng lượng, sự biến thiên động năng bằng độ giảm thế năng.

$$T = \frac{1}{2} I_p \omega^2 = \frac{1}{2} Q(d - b), \quad Q = qL \quad (1)$$

Trong đó: I_p - mô men quán tính khối lượng đối với trục qua tâm quay A; ω - vận tốc góc ngay trước thời điểm va chạm do lật; d - chiều dài đường chéo của mặt cắt chữ nhật.



Hình 6. Sơ đồ tính và biểu đồ mô men uốn động sau thời điểm lật dầm.



Hình 7. Sơ đồ tính và biểu đồ mô men xoắn động sau thời điểm lật dầm.

Trước thời điểm va chạm, vận tốc quay lật của dầm là ω . Kết thúc quá trình va chạm lật đột ngột, lực quán tính gây biến dạng đàn hồi uốn- xoắn trong dầm. Trên một đơn vị dài bất kỳ của dầm, lực quán tính không đổi gây nên cường độ tải trọng uốn q_d và xoắn m_d phân bố đều. Ở thời điểm này, dầm chịu uốn phẳng trong mặt phẳng có độ cứng uốn bé - uốn quanh trục y (Hình 6) và chịu xoắn thuần túy (Hình 7). Đây là bài toán động va chạm, sử dụng phương pháp năng lượng để xác định nội lực động (Nguyễn Văn Phương, 2005)

Không xét biến dạng cục bộ tại vùng tiếp xúc giữa dầm và bệ đỡ khi va chạm, tiến hành khảo sát 2 trường hợp sau:

2.1. Trường hợp bỏ qua ảnh hưởng của biến dạng xoắn

Trường hợp này, dầm chịu uốn với cường độ tải trọng động phân bố đều q_d . Để xác định nội lực động cần xác định cường độ tải trọng động q_d (Hình 6).

Khi không xét đến ảnh hưởng của biến dạng xoắn, nếu bỏ qua sự mất mát năng lượng do các hiệu ứng vật lý khác, động năng chuyển động T chuyển thành thế năng biến dạng đàn hồi U của dầm chịu uốn với cường độ tải trọng phân bố đều q_d (Vũ Đình Lai và nnk, 2006):

$$T = U = \frac{1}{2} \int_L \frac{M_d^2}{EI_y} dz + \frac{1}{2} \int_L \eta \frac{Q_d^2}{GA} dz \quad (2)$$

Trong đó: M_d, Q_d - mô men uốn và lực cắt động do q_d gây ra;

$\eta=1,2$ - hệ số tính đến sự phân bố không đều của ứng suất tiếp do lực cắt gây ra đối với mặt cắt hình chữ nhật;

$$I_y = \frac{hb^3}{12} - \text{mô men quán tính của mặt cắt đối}$$

với trục y ;

E, G - mô đun đàn hồi khi kéo, nén và mô đun trượt của vật liệu dầm;

A - diện tích mặt cắt ngang dầm.

Đối với hệ dầm, thường bỏ qua biến dạng trượt do lực cắt, từ (2) và (1) có được:

$$\frac{1}{2} \int_L \frac{M_d^2}{EI_y} dz = \frac{1}{2} Q(d-b),$$

$$M_d = \frac{q_d L}{2} z - \frac{q_d z^2}{2} \quad (3)$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{2EI_y} \int_L (q_d Lz - q_d z^2)^2 dz = \frac{1}{2} Q(d-b),$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{4EI_y} \left[q_d^2 L^2 \int_0^{L/2} z^2 dz - 2q_d^2 L \int_0^{L/2} z^3 dz + q_d^2 \int_0^{L/2} z^4 dz \right] =$$

$$= \frac{1}{2} Q(d-b)$$

$$\Leftrightarrow \frac{q_d^2 L^5}{120EI_y} = qL(d-b)$$

$$q_d = \frac{1}{L^2} \sqrt{120EI_y q(d-b)} \Leftrightarrow \quad (4)$$

$$q_d = \frac{b}{L^2} \sqrt{10qEhb(d-b)}; I_y = hb^3 / 12$$

Từ (4) cho thấy: trị số q_d phụ thuộc độ chênh cao của trọng tâm mặt cắt ở hai vị trí trước và sau khi dầm bị lật. Điều này chứng tỏ khi độ giảm thế năng của hệ càng lớn thì độ biến thiên động năng tăng và lực quán tính phát sinh do va chạm sẽ lớn.

Ứng suất lớn nhất là:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{x\max}}{W_y}; M_{x\max} = \frac{q_d L^2}{8} =$$

$$= \frac{b}{2} \sqrt{10qEhb(d-b)}; W_y = \frac{hb^2}{6} \quad (5)$$

Nếu trị số ứng suất tính theo (5) vi phạm điều kiện bền, dầm sẽ bị phá hủy. Thực tế, nhiều trường hợp sự cố gãy dầm do lật đã xảy ra.

2.2. Trường hợp xét đồng thời biến dạng uốn - xoắn

Khi tính đồng thời biến dạng uốn - xoắn, nếu bỏ qua ảnh hưởng của lực cắt, phương trình cân bằng năng lượng của dầm có dạng:

$$U = \frac{1}{2} \int_L \frac{M_{yd}^2}{EI_y} dz + \frac{1}{2} \int_L \frac{M_{zd}^2}{GI_{xo}} dz = T = \frac{1}{2} I_\rho \omega^2 = \frac{1}{2} Q(d-b) \quad (6)$$

Trong đó: M_{yd} , M_{zd} là mô men uốn động và mô men xoắn động tại mặt cắt z do cường độ tải trọng gây uốn động q_d và cường độ tải trọng gây xoắn động m_d do lật dầm gây nên.

Do gia tốc chuyển động quay của các điểm trên mặt cắt khác nhau nên điểm đặt của hợp lực quán tính cách trọng tâm O một độ lệch e. Thực hiện phép dời lực song song về trọng tâm O, quan hệ giữa q_d và m_d có thể lấy: $m_d = q_d \times e$; e - khoảng cách từ điểm đặt của q_d đến trọng tâm của mặt cắt. Độ lệch tâm e sẽ được xác định ở phần sau (trên Hình 8, e là độ dài của OI).

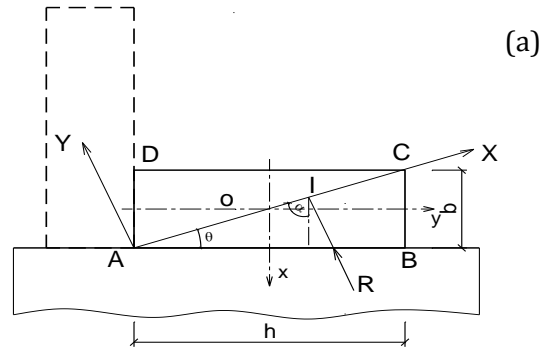
Mô men xoắn với cường độ $m_d = q_d \times e$ không làm cho dầm tiếp tục lật nên có thể coi dầm chịu xoắn bị ngàm hai đầu, biểu đồ mô men xoắn M_{zd} có quy luật bậc nhất (Hình 7). Khai triển (6), được:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{4EI_y} \int_{L/2} (q_d Lz - q_d z^2)^2 dz + \\ & + \frac{1}{GI_{xo}} \int_{L/2} (-\frac{m_d L}{2} + m_d z)^2 dz = \frac{1}{2} Q(d-b) \\ \Leftrightarrow & \frac{1}{4EI_y} \int_{L/2} (q_d Lz - q_d z^2)^2 dz + \\ & + \frac{1}{GI_{xo}} \int_{L/2} (-\frac{q_d e L}{2} + q_d e z)^2 dz = \frac{1}{2} Q(d-b) \\ \Leftrightarrow & \frac{q_d^2 L^3}{240EI_y} + \frac{q_d^2 e^2 L^2}{24GI_{xo}} = \frac{1}{2} Q(d-b) = \frac{1}{2} qL(d-b) \end{aligned} \quad (7)$$

Trong đó: μ - hệ số biến dạng ngang của vật liệu dầm; $I_{xo} = \beta hb^3$ - mô men quán tính xoắn của mặt cắt chữ nhật đối với trọng tâm O; β - hệ số phụ thuộc tỷ số h/b, tra bảng lập sẵn. (Vũ Đình Lai, Nguyễn Xuân Lưu, Bùi Đình Nghi, 2006)

Trong (7) chưa thể xác định được q_d vì chưa biết trị số e. Có nhiều phương pháp xác định độ lệch tâm e. Ở đây, để xác định e, sẽ áp dụng các định lý về sự biến thiên động lượng và mô men động lượng để xác định xung lực phát sinh do va chạm khi lật dầm (Đỗ Sanh, 2010) (Hình 8).

Phương trình biến thiên động lượng và mô men động lượng khi va chạm do lật dầm là:



Hình 8. Sơ đồ tính xung lực và chạm.

$$M \vec{v}_t - M \vec{v} = \vec{R}$$

$$I_\rho \vec{\omega}_t - I_\rho \vec{\omega} = \vec{m}_A(\vec{R}) \quad (b)$$

Trong đó: M - khối lượng dầm; v , v_t - vận tốc khối tâm (O) trước và sau va chạm;

ω , ω_t - vận tốc góc trước và sau va chạm;

\vec{R} - vec tơ chính của xung lực và chạm.

Do dầm có khối lượng lớn có thể bỏ qua độ nảy và bệ đỡ (trụ đỡ) không dịch chuyển, sau va chạm $v_t = \omega_t = 0$. Phương trình cân bằng hình chiếu của (a) theo phương X, Y và phương trình (b) có dạng:

$$\begin{aligned} 0 &= R \cos \alpha \rightarrow \alpha = \pi/2; \quad (c) - \text{vec tơ xung lực} \\ &\text{va chạm vuông góc với AO} \\ M\omega d/2 &= R \sin \alpha \rightarrow R = M\omega d/2 \sin \alpha = \\ &= M\omega d/2, \quad d/2 = \bar{AO} \end{aligned} \quad (d)$$

$$I_\rho \omega = R(\bar{AO} + \bar{OI}) = R(d/2 + e) \rightarrow d/2 + e = I_\rho \omega / R \rightarrow e = I_\rho \omega / R - d/2 \quad (e)$$

Từ (1) rút ra:

$$\omega = \sqrt{Q(d-b)/I_\rho} = \frac{1}{d} \sqrt{3g(d-b)}; \text{ trong đó mô}$$

men quán tính khối lượng đối với trục quay qua A là: $I_\rho = Md^2/3 = Qd^2/3g = qLd^2/3g$, g là gia tốc trọng trường. Lần lượt thay ω và I_ρ vào (d), (e) được:

$$R = M\omega d/2 = \frac{qL}{2} \sqrt{3(d-b)/g} \quad (8)$$

$$e = I_\rho \omega / R - d/2 = d/6 \quad (9)$$

Thay (9) vào (7), cường độ tải trọng gây uốn và xoắn động do va chạm lật dầm là:

$$q_d = \frac{b}{L^2} \sqrt{10qEhb(d-b)} \times \sqrt{\frac{108\beta L^2}{108\beta L^2 + 5(1+\mu)d^2}}$$

$$\Leftrightarrow q_d = \frac{b}{L^2} \sqrt{10qEhb(d-b)} \times k \quad (10)$$

$$m_d = q_d e = \frac{bd}{6L^2} \sqrt{10qEhb(d-b)} \times k \quad (11)$$

$$k = \sqrt{\frac{108\beta L^2}{108\beta L^2 + 5(1 + \mu)d^2}} \Leftrightarrow$$

$$k = \{1/[1 + 5(1 + \mu)d^2 / 108\beta L^2]\}^{0,5} \quad (12)$$

So sánh (4) và (10), trong hai trường hợp không và có xét đến mô men xoắn, trị số q_d sai khác nhau hệ số $k < 1$ (do biểu thức trong dấu căn bậc hai nhỏ hơn đơn vị). Điều này hoàn toàn hợp lý vì tổng thể năng biến dạng đàn hồi là không đổi, khi bỏ qua biến dạng xoắn, thế năng biến dạng do uốn sẽ tăng lên.

Theo sơ đồ tính trên Hình 6, 7 với q_d, m_d tính theo (10) và (11), điểm nguy hiểm ở trạng thái ứng suất phẳng tại điểm giữa cạnh dài (h) nằm trên mặt cắt nguy hiểm nhất. Mặt cắt nguy hiểm được xác định từ điều kiện bền theo tiêu chí áp dụng.

3. Kết luận và kiến nghị.

- Khi dầm bị lật (tự do), dầm vừa chịu uốn vừa chịu xoắn với cường độ tải trọng động q_d, m_d . Dầm chịu uốn trong mặt phẳng có độ cứng uốn bé nhất nên rất nguy hiểm.

- Tất cả các trường hợp sự cố gây gãy dầm xảy ra đối với dầm có mặt cắt ngang chữ I cánh hẹp coi như hình chữ nhật hẹp ($h \gg b$). Dầm chịu uốn ngang có mặt cắt dạng chữ nhật hẹp dễ mất ổn định (Lều Thọ Trình, Đỗ Văn Bình, 2002) do đó dễ xảy ra sự cố lật dầm trong quá trình thi công. Cường độ tải trọng động phụ thuộc độ chênh cao của trọng tâm mặt cắt trước và sau lật dầm.

- Đối với những dầm chịu uốn có kích thước và trọng lượng lớn (dầm bê tông cốt thép), để hạn chế tối đa sự cố lật có thể xảy ra trong quá trình thi công cũng như giảm cường độ tải trọng động q_d , kiến nghị các giải pháp sau:

+ Nếu không thay đổi hình dạng và kích thước mặt cắt dầm, nên tạo bậc đoạn đầu dầm tựa lên gối tựa. Giải pháp này sẽ loại trừ tối đa nguyên nhân gây sự cố lật dầm và đã được áp dụng trong thực tế. Trong trường hợp này cần phải tính toán và bố trí lại cốt thép phù hợp với quỹ đạo ứng suất chính.

+ Thiết kế dầm chịu uốn với dạng mặt cắt hộp rỗng, chữ I cánh rộng, chữ T hoặc chữ U. Với dầm có các dạng mặt cắt này sẽ hạn chế tối đa nguyên nhân gây lật sự cố và giảm cường độ tải trọng động q_d, m_d nếu sự cố xảy ra do giảm độ chênh cao của trọng tâm mặt cắt từ hai vị trí trước và sau lật dầm.

Tài liệu tham khảo

- Nguyễn Văn Phương, 2005. Động lực học công trình. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật. Hà Nội.
- Lê Quang Minh, Nguyễn Văn Vương, 1993. Sức bền vật liệu, Tập 1. Nhà xuất bản Giáo dục.
- Vũ Đình Lai, Nguyễn Xuân Lựu, Bùi Đình Nghi, 2006. Sức bền vật liệu, Tập 1. Nhà xuất bản Giao thông Vận tải. Hà Nội.
- Đỗ Sanh, 2010. Cơ học, Tập 2. Nhà xuất bản Giáo dục.
- Lều Thọ Trình, Đỗ Văn Bình, 2002. Ổn định công trình. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật. Hà Nội.

ABSTRACT

Determine the bend-twisting internal forces in inverted beams incidents

Hung Duc Duong

Faculty of Mining, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

Beam flipping accidents that cause damage usually happen among the beams with a narrow rectangular cross section, large size, and heavy weight. This article shows how to calculate the load and internal forces when beams bear bending disadvantage and are twisted by flipping incident. On the basis of the results obtained, designers and constructors may select suitable solutions.