

Tính toán thiết kế dầm bê tông cốt thép chịu lực cắt - uốn kết hợp

PGS. TS. NGUYỄN NGỌC LONG

TS. NGÔ VĂN MINH

ThS. NCS. NGUYỄN XUÂN LAM

KS. TRẦN NGỌC HÒA

KS. VŨ BÁ THÀNH

Trường Đại học Giao thông vận tải

Tóm tắt: Hiện tại, việc tính toán thiết kế kết cấu nhịp dầm bằng bê-tông cốt thép và bê tông cốt thép ứng suất trước thường được tiến hành một cách đơn giản thông qua việc so sánh mô-men (hoặc lực cắt) tính toán lớn nhất xuất hiện trên dầm với mô-men (hoặc lực cắt) giới hạn của mặt cắt chịu uốn bất lợi nhất. Việc kiểm toán như vậy về cơ bản chỉ đúng cho mặt cắt chịu uốn hoặc chịu cắt thuần túy, những dạng chịu lực rất ít xuất hiện trong thực tế. Vì thế trong bài báo này, chúng tôi đưa ra cách tính toán thiết kế dầm bê tông cốt thép chịu lực cắt và uốn kết hợp để phù hợp với các cấu kiện bê tông cốt thép thường gặp.

Abstract: Currently, the computation and design of reinforced concrete and prestressed concrete structures usually carried out simply by comparing moment (or shear) as largest payment appearing on the beam with moment (or shear) limits of the most unfavorable flexural. An audit so basically only true for bending or pure shear section, bearings very few forms appear in practice. So in this article, we show how to design of reinforced concrete beams under the combination of flexural and shear loading to fit commonly reinforced concrete structure.

Đặt vấn đề

Trong thực tế, một cấu kiện dầm chủ thông thường phải đồng thời chịu lực uốn và lực cắt. Khi đó, sự làm việc của mặt cắt phức tạp hơn. Cụ thể, do phải mất đi một phần khả năng để chịu cắt nên mô-men giới hạn của mặt cắt giảm xuống và ngược lại. Như vậy, tại một số mặt cắt chịu đồng thời lực uốn và lực cắt, nếu chỉ kiểm toán theo trình tự thông thường là chưa hợp lý. Sự thật, một số phá hủy của dầm đã xuất hiện không phải từ mặt cắt chịu uốn lớn hay mặt cắt chịu cắt lớn mà tại vị trí mặt cắt chịu cả mô-men và lực cắt cùng lớn.

Để giải quyết vấn đề này, chúng tôi đề xuất phương án xét sự làm việc của mặt cắt dầm BTCT và BTCT ứng suất trước theo lý thuyết trường nén cải tiến [1]. Cụ thể, nghiên cứu được tiến hành theo trình tự như sau:

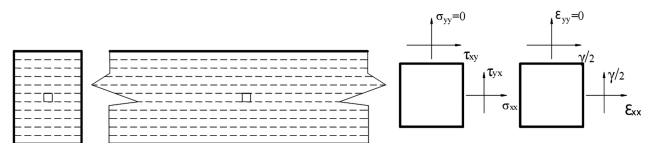
Tại phần 1, chúng tôi giới thiệu cơ sở lý thuyết của phương pháp trường nén cải tiến và phương pháp, cùng các công thức và sơ đồ giải liên quan. Trình tự tính toán được thể hiện cho một ví dụ cụ thể mang tính lý thuyết trong phần 2. Phần 3 đưa ra các kết luận chung và kiến nghị áp dụng phương pháp này vào thực tế thiết kế.

1. Cơ sở lý thuyết của phương pháp trường nén cải tiến

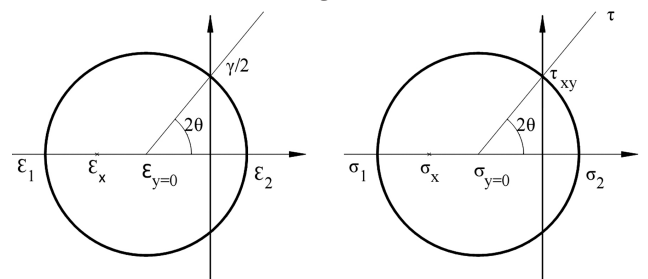
1.1. Giả thiết tính toán

- Chiều cao dầm chủ không đổi
- Mặt cắt sau biến dạng vẫn phẳng
- Các lớp chia trên mặt cắt đủ nhỏ để coi ứng suất và biến dạng tại mỗi lớp là đều
- Phương của ứng suất chính trùng với phương của biến dạng chính

1.2. Các công thức chung

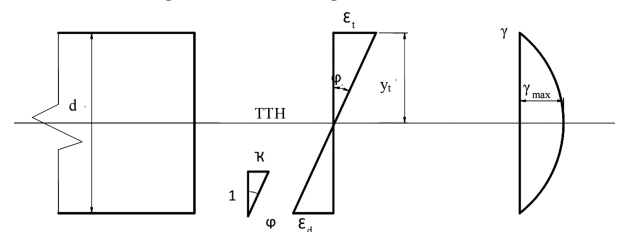


Hình 1: Phân bố ứng suất và biến dạng tại lớp đang xét



Hình 2: Vòng tròn Mohr ứng suất và biến dạng tại lớp đang xét

Giả sử trạng thái biến dạng của dầm cho như Hình 3.



Hình 3: Trạng thái biến dạng của dầm

Từ Hình 3, ta thấy khi biết biến dạng cong κ và biểu đồ phân bố biến dạng tiếp tuyến của dầm chủ thông qua $\gamma_{\max}$, vị trí trục trung hòa, ta có thể xác định được trạng thái biến dạng ở lớp i . Khi biết trạng thái biến dạng ở lớp i , ta có thể xác định được biến dạng chính và phương của biến dạng chính theo vòng trong Mohr (Hình 2).

Từ biến dạng chính của bê tông và cốt thép, ta có thể xác định được ứng suất chính (kéo nén) của bê

tông và cốt thép tại vị trí đang xét theo công thức quan hệ sau:

$$\sigma_1 = \tau \cdot (\tan \theta_c + 1 / \tan \theta_c) \quad (1)$$

$$\sigma_2 = \sigma_{2\max} \left[2 \cdot \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_c} - \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_c} \right] \quad (2)$$

Ở đây :

$$\frac{\sigma_{2\max}}{f'_c} = \frac{1}{0.8 - 0.34 \varepsilon'_c} \leq 1.0 \quad (3)$$

$$\tan^2 \theta = \frac{\varepsilon_x - \varepsilon_2}{0 - \varepsilon_2} = \frac{\varepsilon_1 - 0}{\varepsilon_1 - \varepsilon_x} \quad (4)$$

$$\theta = \theta_c \quad (5)$$

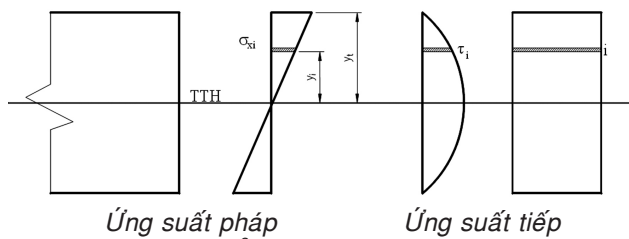
(giả thiết rằng góc của ứng suất chính và biến dạng chính là trùng nhau)

Hoặc có thể tính theo công thức gần đúng sau:

$$\sigma_2 = \frac{f'_c}{0.8 + 170 \varepsilon_1} \left[2 \cdot \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_c} - \left(\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_c} \right)^2 \right] \quad (6)$$

$$\sigma_1 = 0.33 \cdot \sqrt{f'_c} / (1 + \sqrt{500 \varepsilon_1}) \quad (7)$$

Với giả thiết phương của ứng suất chính trùng với phương của biến dạng chính; ta có thể xác định được ứng suất pháp (σ_x) và ứng suất tiếp (τ_{xy}) theo vòng tròn Mohr (Hình 2) tại vị trí đang xét khi đó ta có biểu đồ ứng suất pháp và ứng suất tiếp trên dầm như Hình 4.



Ứng suất pháp

Ứng suất tiếp

Hình 4: Biểu đồ ứng suất trên dầm

Vậy có thể tính được mô-men (M) và lực cắt (V) tương ứng tại mặt cắt đang xét như sau:

$$M = \int_A \sigma_{xi} y_i dA = \sum_{i=1}^{n_A} \sigma_{xi} y_i a_i \quad (8)$$

$$V = \int_A \tau_{xy} dA = \sum_{i=1}^{n_A} \tau_{xy} a_i \quad (9)$$

Trong đó:

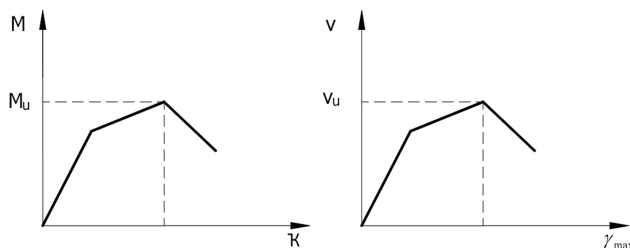
σ_{xi} - Ứng suất pháp tại lớp i

y_i - Khoảng cách từ TTH đến lớp i

a_i - Diện tích lớp thứ i

n_A - Số lớp chia trên một mặt cắt ngang dầm

Vậy theo công thức trên, ta có thể xác định được mô-men và ứng suất tương ứng với biến dạng cong κ và biến dạng tiếp tuyến lớn nhất $\gamma_{\max}$ của mặt cắt, bằng cách tăng dần κ và $\gamma_{\max}$ ta có thể vẽ được đường quan hệ giữa M- κ và V- $\gamma_{\max}$ như sau (Hình 5).

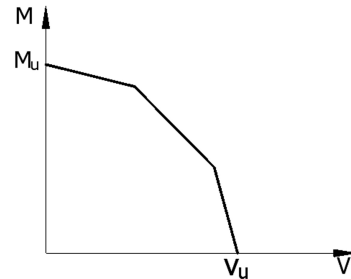


Hình 5: Biểu đồ quan hệ giữa M- κ và V- $\gamma_{\max}$

Nếu cố định lực cắt tác dụng lên mặt cắt thì sẽ xác định được mô-men giới hạn tương ứng với lực cắt,

ngược lại, nếu cố định mô-men tác dụng lên mặt cắt sẽ xác định được lực cắt giới hạn tương ứng.

Như vậy, về mặt lý thuyết ta vẽ được biểu đồ mô-men giới hạn phụ thuộc vào lực cắt tác dụng lên mặt cắt dầm chủ và ngược lại vẽ được biểu đồ lực cắt giới hạn phụ thuộc vào mô-men tác dụng lên dầm chủ.

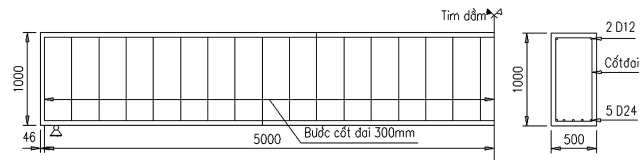


Hình 6: Quan hệ giữa M_u và V_u

Nhìn thấy từ Hình 6 thấy rằng, mô-men giới hạn của mặt cắt sẽ giảm khi lực cắt tác dụng và ngược lại. Hình 6 thể hiện biểu đồ bao vật liệu của mặt cắt chịu mô-men và lực cắt đồng thời. Lý thuyết này được minh họa chi tiết qua ví dụ ở phần 2.

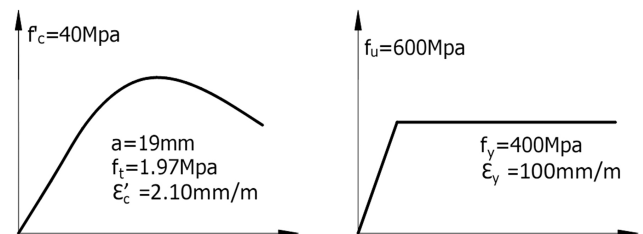
2. Ví dụ tính toán

Xét một dầm bê-tông cốt thép thường chiều dài tính toán 10m có mặt cắt dạng chữ nhật chịu tải trọng: (1) Tải trọng bản thân dầm (DC), (2) Tải trọng phần 2 gồm lớp phủ mặt cầu và thiết bị phụ vụ khai thác trên cầu (DW), (3) Hoạt tải thiết kế HL93 theo tiêu chuẩn 22TCN-272-05 với hệ số phân bố ngang là 0.6. Kích thước và bố trí cốt thép chịu uốn và chịu cắt trong dầm chủ thể hiện ở Hình 7.



Hình 7: Kích thước và bố trí cốt thép dầm chủ BTCT hình chữ nhật

Vật liệu dùng cho dầm gồm bê tông cấp 40, có cường độ chịu nén khi uốn với mẫu hình trụ bằng 40 MPa; thép dùng cho cốt đai và cốt dọc đều có cường độ chảy $f_y = 400$ MPa. Biểu đồ ứng suất biến dạng cho bê tông và cốt thép dầm thể hiện ở Hình 8.



Hình 8: Đặc trưng vật liệu của bê-tông và cốt thép làm dầm

Dưới tác dụng của tải trọng, biểu đồ phân bố mô-men và ứng suất tính toán cho một nửa dầm bên phải trong trạng thái giới hạn 1 thể hiện ở Hình 9.

Từ biểu đồ ở Hình 9, chúng ta xây dựng được đường quan hệ giữa mô-men tính toán và lực cắt tính toán cho nửa bên phải của dầm chủ. Đồng thời, áp dụng lý thuyết và phương pháp tính trình bày ở Mục 1, chúng ta cũng xác định được biểu đồ tương tác giữa (Xem tiếp trang 64)

PHÂN PHỐI LẠI ÁP LỰC ĐẤT...

(Tiếp theo trang 21)

$$\varphi_{td} = \arcsin \frac{\sin 33,5^\circ}{2 - \sin 33,5^\circ} = 22,41^\circ. \text{ Tiến hành tính toán}$$

theo các công thức đã dẫn ta thu được kết quả biểu diễn trên Hình 1.

Thí dụ tính toán 2. Xây dựng biểu đồ áp lực đất lên tường cứng có neo (Hình 3a) với những dữ liệu cho trước tương tự như ở thí dụ 1 nhưng với hệ số $k_c = 20$, có nghĩa là $U_B = 20.0,0015.10 = 0,3m$. Tiến hành tính toán theo các công thức đã dẫn ta thu được kết quả biểu diễn trên Hình 3.

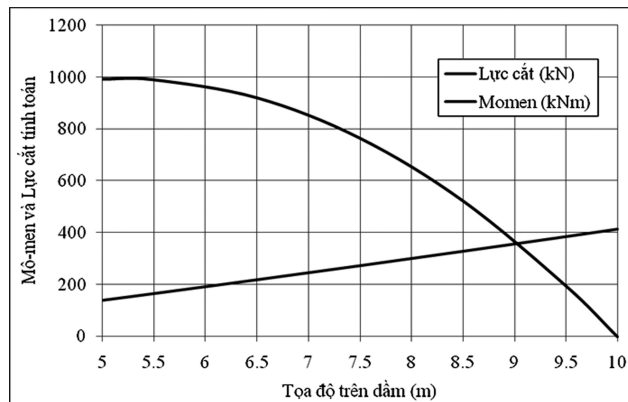
III. Kết luận

Phân phối lại áp lực đất khi công trình bến cảng có biến dạng - điều này luôn luôn xảy ra trong quá trình xây dựng và khai thác cảng biển là một bài toán khó. Để nhận được biểu đồ áp lực đất gần sát với thực

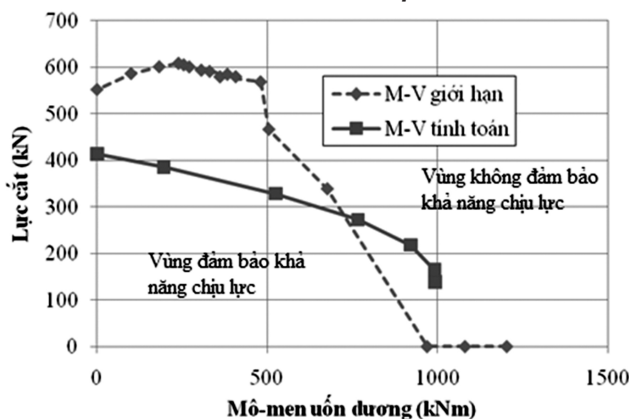
TÍNH TOÁN THIẾT KẾ...

(Tiếp theo trang 27)

mô-men uốn giới hạn và lực cắt giới hạn (biểu đồ M-V) của mặt cắt ngang dầm chủ. Hai biểu đồ này được vẽ trên cùng một tọa độ cho chúng ta biểu đồ so sánh giữa tổ hợp M-V tính toán và M-V giới hạn cho dầm chủ như ở Hình 10.



Hình 9: Biểu đồ Mô-men và lực cắt tính toán và giới hạn cho nửa dầm bên phải



Hình 10: Đường cong M-V giới hạn của mặt cắt và Đường cong M-V tính toán

Quan sát Hình 10, chúng ta nhận thấy rằng nếu kiểm toán dầm chủ theo các quy định thông thường ($M_{tt} \leq M_{gh}$ và $V_{tt} \leq V_{gh}$) thì dầm chủ thiết kế thỏa mãn

tế khi xảy ra sự phân phối lại áp lực do chuyển vị công trình, tác giả đã đề xuất phương pháp giải quyết trên cơ sở lý thuyết về môi trường đất kết hợp việc điều chỉnh bằng các hệ số được rút ra từ nghiên cứu thí nghiệm. Đây là phương pháp lý thuyết kết hợp thực nghiệm nhằm giải một trong những bài toán khó của cơ học đất □

Tài liệu tham khảo

[1]. Яковлев П.И., Устойчивость транспортных гидротехнических сооружений, -М.: Транспорт, 1986 - 191с.

[2]. Клейн Г. К., Строительная механика сыпучих тел, -М.: - Стройиздат, 1977-256с.

[3]. Nguyễn Ngọc Huệ, Áp lực đất lên công trình cảng trong động đất, NXB. GTVT, 2014-449 trang.

Ngày nhận bài: 29/5/2014

Ngày chấp nhận đăng: 10/6/2014

Người phản biện: PGS. TS. Phạm Văn Giáp
TS. Bùi Việt Đông

điều kiện chịu lực. Thật vậy, lực cắt tính toán lớn nhất xuất hiện trong dầm bằng 414.38 kN là nhỏ hơn lực cắt giới hạn bằng xấp xỉ 609 kN; đồng thời mô-men tính toán lớn nhất xuất hiện trong dầm bằng 993.25 kNm là nhỏ hơn mô-men giới hạn bằng 1203.2 kNm. Tuy nhiên, khi xét sự làm việc của dầm chủ chịu tác dụng đồng thời của mô-men uốn và lực cắt, một phần của dầm chủ có tổ hợp lực cắt - uốn tính toán vượt khỏi giới hạn chịu lực của dầm chủ, phần này tương ứng với phạm vi từ 2.5 - 7.5m giữa dầm.

3. Kết luận chung và kiến nghị

Từ việc phân tích một kết cấu chịu lực thực tế, chúng ta nhận thấy việc thiết kế dầm chủ BTCT và BTCT ứng suất trước theo các công thức kiểm toán thông thường xét riêng rẽ khả năng chịu uốn và khả năng chịu cắt của dầm có thể dẫn đến việc thiết kế không đảm bảo khả năng chịu lực vì thực tế khi mặt cắt phải chịu đồng thời lực uốn và lực cắt, mặt cắt không thể huy động được tối đa khả năng chịu uốn hay chịu cắt như mô hình chịu uốn hoặc cắt thuần túy. Do vậy, việc kiểm toán dầm chủ theo điều kiện chịu cắt và uốn đồng thời là cần thiết □

Tài liệu tham khảo

[1]. Simplified Modified Compression Field Theory for Calculating Shear Strength of Reinforced Concrete Elements by Evan C. Bentz, Frank J. Vecchio and Michael P. Collins.

[2]. Vecchio, F. J and Collins, M. P., The Response of Reinforced Concrete to In-Plane Shear and Normal Stresses, Publication No.82-03.

[3]. Lê Đình Tâm, Cầu Bê tông cốt thép (tập 1), NXB. Xây Dựng, 2009.

[4]. A. Ibrahimbegovic, Nonlinear Solid Mechanics: Theoretical Formulations and Finite Element Solution Methods, Springer, 2009.

[5]. M.Ortiz and E.P.Popov, Accuracy and stability of integration algorithms for elastoplastic constitutive relations, International Journal for Numerical Methods in Engineering, vol.21, no. 9, pp. 1561-1576, 1985.

Ngày nhận bài: 10/5/2014

Ngày chấp nhận đăng: 6/6/2014

Người phản biện: TS. Hoàng Việt Hải
TS. Hồ Xuân Nam