

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC DÂN LẬP HẢI PHÒNG**

NGUYỄN HỒNG BẮC

**TÍNH TOÁN DẦM BÊ TÔNG CỐT THÉP THEO TIÊU CHUẨN VIỆT
NAM TCVN 5574-2012, TIÊU CHUẨN CHÂU ÂU EUROCODE 1992-1-1
VÀ TIÊU CHUẨN HOA KỲ ACI 318**

Chuyên ngành: Kỹ thuật Xây dựng Công trình Dân dụng & Công nghiệp

Mã số: 60.58.02.08

**LUẬN VĂN THẠC SỸ KỸ THUẬT
NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC**

PGS.TS. LÊ THANH HUẤN

Hải Phòng, 2015

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan luận văn với đề ***“Tính toán Dầm bê tông cốt thép theo TCVN 5574-2012, tiêu chuẩn Châu Âu EN.1992-1-1 và tiêu chuẩn của Hoa Kỳ ACI 318”*** là của riêng tôi.

Các số liệu, kết quả nêu trong luận văn là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Tác giả luận văn

Nguyễn Hồng Bắc

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU:	(6)
1. Tính cấp thiết của đề tài:	(6)
2. Mục tiêu nghiên cứu của đề tài	(7)
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của đề tài.....	(7)
4. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu.....	(7)
5. Bố cục luận văn.....	(7)

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ KẾT CẤU DÀM BÊ TÔNG CỐT THÉP

1.1. KHÁI NIỆM VỀ BÊ TÔNG CỐT THÉP.....	(8)
1.1.1. Tính chất của bê tông cốt thép.....	(8)
1.1.2. Phân loại:	(8)
1.1.3. Ưu và khuyết điểm của bê tông cốt thép:	(10)
1.1.4. Phạm vi ứng dụng và xu hướng phát triển:	(11)
1.2. TÍNH CHẤT CƠ LÝ CỦA VẬT LIỆU.....	(11)
1.2.1. Tính năng cơ lý của bê tông:	(12)
1.2.2. Cấp độ bền và mác của bê tông:	(14)
1.2.3 Tính năng cơ lý của cốt thép:	(15)
1.2.4 Bê tông cốt thép:	(17)
1.3. DÀM BTCT VÀ CÁC DẠNG TIẾT DIỆN.	(18)
1.4. SỰ LÀM VIỆC CỦA DÀM	(18)
1.4.1. Các hình thức phá hoại của dầm	(19)
1.4.2. Trạng thái ứng suất biến dạng của cấu kiện chịu uốn.....	(20)

1.5. KHẢ NĂNG CHỊU CẮT CỦA DÀM VÀ CÁC MÔ HÌNH TÍNH TOÁN

1.5.1. Khả năng chịu cắt của dầm (23)

1.5.2. Mô hình tính toán khả năng chịu cắt của dầm bê tông (25)

1.6. CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN KHẢ NĂNG CHỊU CẮT CỦA DÀM.

1.6.1. Ảnh hưởng của nhịp chịu cắt (30)

1.5.2. Ảnh hưởng của tiết diện..... (32)

1.6.3. Ảnh hưởng của lực tác dụng dọc trục (32)

1.6.4. Ảnh hưởng của cốt thép dọc (33)

CHƯƠNG II

I. TÍNH TOÁN DÀM BÊ TÔNG CỐT THÉP THEO CÁC TIÊU CHUẨN

2.1. TÍNH TOÁN DÀM BÊ TÔNG CỐT THÉP THEO TCVN 5574-2012

2.1.1 Nguyên tắc chung (36)

2.1.2 Cấu kiện chịu uốn (38)

2.1.3 Tính toán cấu kiện bê tông cốt thép theo độ bền (38)

2.1.4 Cấu kiện chịu uốn tiết diện chữ nhật, chữ T, chữ I và vành khuyên (40)

3.1.5 Điều kiện hạn chế (44)

2.2. TIÊU CHUẨN CHÂU ÂU EUROCODE 1992-1-1

2.2.1. Quan hệ ứng suất – biến dạng để thiết kế tiết diện ngang. (45)

2.2.2. Cường độ chịu kéo khi uốn: (46)

2.3. TIÊU CHUẨN MỸ ACI 318

2.3.1 Cốt thép trong các vùng kéo và nén đạt đến giới hạn chảy (49)

2.3.2. Cốt thép trong vùng nén chưa đạt đến giới hạn chảy fy (50)

II. TÍNH TOÁN KHẢ NĂNG CHỊU CẮT CỦA DÀM BÊ TÔNG CỐT THÉP THEO MỘT SỐ TIÊU CHUẨN

2.1. KHẢ NĂNG CHỊU CẮT CỦA DÀM THEO TIÊU CHUẨN ACI 318.....(51)

2.1.1. Khả năng chịu cắt của bê tông (51)

2.1.2. Khả năng chịu cắt của cốt thép đai (52)

2.2. KHẢ NĂNG CHỊU CẮT CỦA DÀM THEO TIÊU CHUẨN EN:1992-1-1

2.2.1. Khả năng chịu cắt của bê tông	(57)
2.2.2. Điều kiện hạn chế	(58)
2.2.3. Khả năng chịu cắt của cốt thép đai	(59)
2.5. KHẢ NĂNG CHỊU CẮT CỦA DÀM THEO TIÊU CHUẨN TCVN 5574:2012	
2.5.1. Tính toán các dải nghiêng chịu nén giữa các vết nứt xiên	(61)
2.5.2. Tính toán tiết diện nghiêng chịu lực cắt	(62)
2.5.3. Tính toán theo giáo trình kết cấu bê tông cốt thép	(65)
2.6. NHẬN XÉT	(69)

CHƯƠNG 3

CÁC VÍ DỤ SỐ TÍNH TOÁN KHẢ NĂNG CHỊU UỐN CẮT CỦA DÀM BTCT TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT THEO MỘT SỐ TIÊU CHUẨN

3.1. TÍNH TOÁN DIỆN TÍCH CỐT THÉP DÀM BTCT TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT	
3.1.1. Theo tiêu chuẩn Việt Nam 5574:2012:	(74)
3.1.2. Theo tiêu chuẩn Châu Âu 1992-1-1:	(76)
3.1.3. Theo tiêu chuẩn Hoa Kỳ 318:	(77)
Nhận xét:	(79)
3.2. TÍNH TOÁN CHỊU CẮT DÀM BTCT TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT	(80)
3.2.1 Xác định khả năng chịu cắt của bê tông	(81)
a. Theo Việt Nam TCVN 5574 (Lấy $C_0 = 2h_0$)	(81)
b. Tính theo tiêu chuẩn của Mỹ ACI 318-2004	(82)
c. Tính theo tiêu chuẩn của Châu Âu EN 1992-1-1	(83)
Nhận xét:	(84)
3.2.2. Khả năng chịu cắt của cốt đai	
a. Tính theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5574:2012	(84)
b. Tính theo tiêu chuẩn của Mỹ ACI 318	(85)
c. Tính theo tiêu chuẩn của Châu Âu EN: 1992-1-1	(85)
Nhận xét:	(86)

3.2.3. Khả năng chịu cắt của dầm

a. Tính theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5574:2012	(86)
b. Tính theo tiêu chuẩn của Mỹ ACI 318-2004	(86)
c. Tính theo tiêu chuẩn của Châu Âu EN:1992-1-1.....	(87)
<i>Nhận xét:</i>	(87)
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	(88)
TÀI LIỆU THAM KHẢO	(90)

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Sự tăng trưởng nhanh của nền kinh tế nước ta đã thúc đẩy mạnh mẽ tốc độ phát triển của ngành xây dựng về số lượng và đa dạng loại hình kết cấu. Các kết cấu làm nhà cao tầng, nhà nhịp lớn, hệ thanh ngày càng xuất hiện nhiều ở Việt Nam và các nước trên thế giới. Kết cấu bê tông cốt thép (BTCT) ngày nay đang được sử dụng rộng rãi và rất có hiệu quả.

Đánh giá khả năng chịu uốn – cắt của cấu kiện là nhiệm vụ rất quan trọng trong công tác thiết kế. Trong đó đánh giá khả năng chịu uốn - cắt của cấu kiện chịu uốn đặt biệt là cấu kiện dầm được dành nhiều sự quan tâm trong công tác nghiên cứu.

Có nhiều tác giả nghiên cứu về các tiết diện cấu kiện dầm khác nhau như chữ nhật, I, T, tiết diện tròn, hộp rỗng. Đặc biệt dầm chữ nhật tiết diện không đôi được sử dụng nhiều như dầm cầu trục, dầm mái,... trong nhà cao tầng, và việc đánh giá khả năng chịu lực của dầm cần được quan tâm nghiên cứu.

Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép của Việt Nam hiện hành TCVN 5574:2012 về khả năng **chịu uốn- cắt** của dầm BTCT tuy đáp ứng được các yêu cầu về thiết kế nhưng còn nhiều yếu tố chưa được xem xét, phân tích một cách rõ ràng để có thể đánh giá đúng mức và hiệu quả.

Ngoài ra hiện nay, có rất nhiều công trình nước ngoài đầu tư vào nước ta, việc thiết kế tính toán sử dụng các tiêu chuẩn khác nhau được phép áp dụng tại Việt Nam.

Xuất phát từ thực tế đó trong luận văn này tác giả chọn đề tài ***“Tính toán Dầm bê tông cốt thép theo TCVN 5574-2012, tiêu chuẩn Châu Âu EN.1992-1-1 và tiêu chuẩn của Hoa Kỳ 318”*** nhằm giúp cho các nhà tư vấn thiết kế lưu ý khi sử dụng các tiêu chuẩn của Việt Nam và nước ngoài để tính toán và kiểm tra.

2. Mục tiêu nghiên cứu của đề tài

Mục tiêu đánh giá khả năng chịu uốn – cắt của dầm bê tông cốt thép tiết diện chữ nhật, sử dụng bê tông thường với một số tiêu chuẩn thiết kế Việt Nam và nước ngoài.

Là tài liệu tham khảo cho công tác thiết kế và công tác nghiên cứu khoa học.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của đề tài

3.1. Đối tượng nghiên cứu

Dầm bê tông cốt thép tiết diện chữ nhật sử dụng bê tông thường.

3.2. Phạm vi nghiên cứu

Trong phạm vi luận văn học viên chỉ nghiên cứu khả năng chịu lực của dầm bê tông cốt thép (BTCT) tiết diện chữ nhật, sử dụng bê tông thường, theo một số tiêu chuẩn Việt Nam và nước ngoài.

4. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu cách tính toán lý thuyết và so sánh kết quả tính toán ví dụ số theo các tiêu chuẩn.

Trong đề tài sử dụng phương pháp nghiên cứu lý thuyết tính toán và kết hợp khảo sát bằng ví dụ số.

5. Bố cục luận văn

Ngoài phần mở đầu, kết luận và kiến nghị, nội dung luận văn được trình bày gồm 3 chương:

Chương 1: Tổng quan về kết cấu dầm bê tông cốt thép

Chương 2: Một số tiêu chuẩn tính toán khả năng chịu uốn – cắt của dầm BTCT tiết diện chữ nhật

Chương 3: Khảo sát các ví dụ số tính toán khả năng chịu uốn – cắt của dầm BTCT tiết diện chữ nhật theo một số tiêu chuẩn.

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ KẾT CẤU DẦM BÊ TÔNG CỐT THÉP

1.1. KHÁI NIỆM VỀ BÊ TÔNG CỐT THÉP¹.

1.1.1. Tính chất của bê tông cốt thép.

Bê tông cốt thép là vật liệu xây dựng phức hợp do hai loại vật liệu là bê tông và thép có đặc trưng cơ học khác nhau cùng phối hợp chịu lực với nhau.

Bê tông là loại vật liệu phức hợp bao gồm xi măng (chất kết dính), cát, sỏi - đá (cốt liệu) kết lại với nhau dưới tác dụng của nước. Cường độ chịu kéo của bê tông nhỏ hơn cường độ chịu nén rất nhiều (8 -15 lần).

Cốt thép là loại vật liệu chịu kéo hoặc chịu nén đều rất tốt. Do đó nếu đặt lượng cốt thép thích hợp vào tiết diện của kết cấu thì khả năng chịu lực của kết cấu tăng lên rất nhiều. Dầm bê tông cốt thép có thể có khả năng chịu lực lớn hơn dầm bê tông có cùng kích thước đến gần 20 lần.

Bê tông và cốt thép cùng làm việc được với nhau là do:

- + Bê tông khi đóng rắn lại thì dính chặt với thép cho nên ứng lực có thể truyền từ vật liệu này sang vật liệu kia, lực dính có được đảm bảo đầy đủ thì khả năng chịu lực của thép mới được khai thác triệt để.

- + Giữa bê tông và cốt thép không xảy ra phản ứng hóa học, ngoài ra hệ số giãn nở của cốt thép và bê tông suýt soát bằng nhau:

$$\alpha_s = 0.000012 ; \quad \alpha_b = 0.000010 - 0.000015$$

1.1.2. Phân loại:

Theo phương pháp thi công có thể chia thành 3 loại sau:

Bê tông cốt thép toàn khối: ghép cốt pha và đổ bê tông tại công trình, điều này đảm bảo tính chất làm việc toàn khối (liên tục) của bê tông, làm cho công trình có cường độ và độ ổn định cao.

¹ Phần khái niệm trích: Giáo trình Kết cấu gạch đá và Gạch đá cốt thép của tác giả Trịnh Kim Đạm và các tác giả. NXB Khoa học và Kỹ thuật.

Bê tông cốt thép lắp ghép: chế tạo từng cấu kiện (móng, cột, dầm, sàn,..) tại nhà máy, sau đó đem lắp ghép vào công trình. Cách thi công này đảm bảo chất lượng bê tông trong từng cấu kiện, thi công nhanh hơn, ít bị ảnh hưởng của thời tiết, nhưng độ cứng toàn khối và độ ổn định của cả công trình thấp.

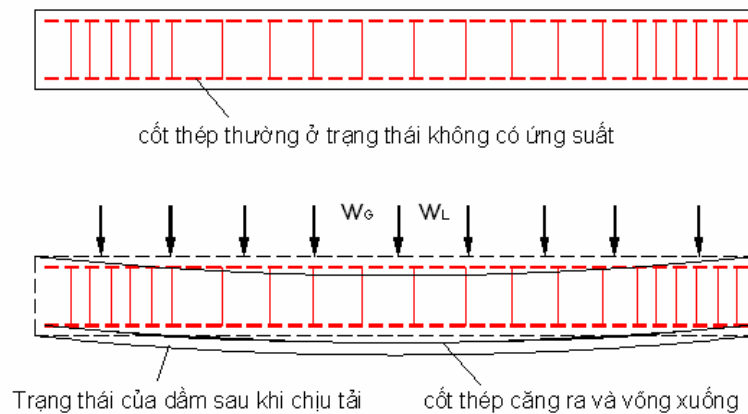
Bê tông cốt thép bán lắp ghép: có một số cấu kiện được chế tạo tại nhà máy, một số khác đổ tại công trình để đảm bảo độ cứng toàn khối và độ ổn định cho công trình. Thường thì sàn được lắp ghép sau, còn móng, cột, dầm được đổ toàn khối.

Nếu phân loại theo trạng thái ứng suất khi chế tạo ta có:

Bê tông cốt thép thường: khi chế tạo, cốt thép ở trạng thái không có ứng suất, ngoài nội ứng suất do co ngót và giãn nở nhiệt của bê tông. Cốt thép chỉ chịu ứng suất khi cấu kiện chịu lực ngoài (kể cả trọng lượng bản thân).

Hình 1.1

Dầm bê tông cốt thép thường – võng xuống khi chịu tải



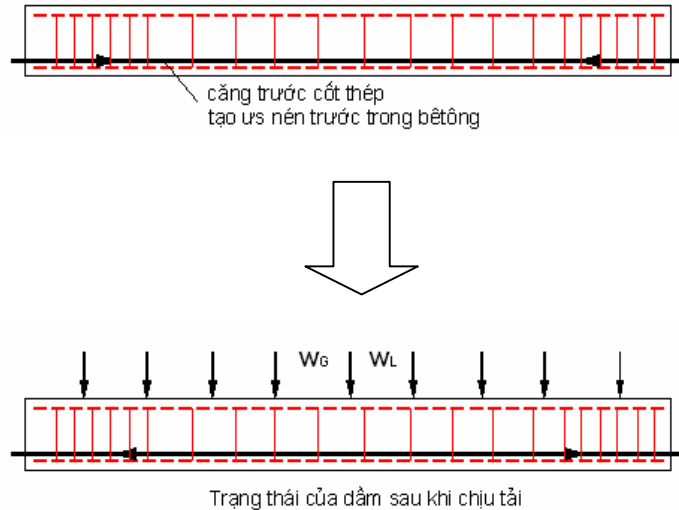
+ *Bê tông cốt thép ứng suất trước*: căng trước cốt thép đến ứng suất cho phép (σ_{sp}), khi buông cốt thép, nó sẽ co lại, tạo ứng suất nén trước trong tiết diện bê tông, nhằm mục đích khử ứng suất kéo trong tiết diện bê tông khi nó chịu lực ngoài - hạn chế vết nứt và độ võng (hình 1.2).

Hình 1.2

Dầm bê tông cốt thép

ứng suất trước – Thớ

dưới chịu nén trước



1.1.3. Ưu và khuyết điểm của bê tông cốt thép:

Bê tông cốt thép (BTCT), hiện nay vẫn là vật liệu chủ yếu được sử dụng rộng rãi trong công trình xây dựng vì có các ưu điểm sau:

Rẻ tiền so với thép khi chúng cùng chịu tải trọng như nhau.

Có khả năng chịu lực lớn so với gạch đá và gỗ, có thể chịu tải trọng tĩnh và động như gió bão và động đất.

Bền vững, dễ bảo dưỡng, sửa chữa ít tốn kém so với thép và gỗ.

Chịu lửa tốt hơn so với thép và gỗ.

Có thể đúc thành kết cấu có hình dạng bất kỳ theo các yêu cầu về cấu tạo, về sử dụng cũng như về kiến trúc.

Tuy nhiên bê tông cũng tồn tại một số nhược điểm sau:

Trọng lượng bản thân khá lớn, do đó gây khó khăn và chi phí tăng cho vận chuyển, lắp dựng... Nhưng nhược điểm này gần đây được khắc phục bằng cách dùng bê tông nhẹ, bê tông cốt thép ứng lực trước và kết cấu vỏ mỏng....

Dưới tác dụng của tải trọng, bê tông dễ phát sinh khe nứt làm mất thẩm mỹ và gây thấm cho công trình.

Thi công phức tạp, tốn nhiều cấp pha khi thi công toàn khối.

1.1.4. Phạm vi ứng dụng và xu hướng phát triển:

BTCT được sử dụng trong nhiều lĩnh vực, làm kết cấu chịu lực của nhà, cầu, đập,..

Các công trình cấp thoát nước, máng dẫn nước, tường chắn, nhà máy thủy điện,..

BTCT ngày càng tỏ ra chiếm ưu thế trong các lĩnh vực xây dựng, nhờ vào các tiến bộ khoa học kỹ thuật, đã khắc phục được một số nhược điểm chính của bê tông, bê tông ngày càng có khả năng chịu lực tốt hơn, thay thế được nhiều kết cấu trong các dạng công trình khác nhau.

1.2. TÍNH CHẤT CƠ LÝ CỦA VẬT LIỆU.

Tính năng cơ lý của bê tông bao gồm: *tính năng cơ học - nghiên cứu về cường độ và tính năng vật lý - nghiên cứu về biến dạng, co ngót, chống thấm và chống ăn mòn* của bê tông.

Tính năng cơ lý của bê tông phụ thuộc phần lớn vào chất lượng xi măng, các đặc trưng của cốt liệu (sỏi, đá dăm, cốt liệu rỗng,...) cấp phối của bê tông, tỷ lệ nước, xi măng và cách thi công. Vì phụ thuộc nhiều nhân tố nên các tính năng đó không được ổn định cao, tuy vậy tính năng cơ lý của bê tông vẫn có thể đảm bảo thỏa mãn các yêu cầu của thiết kế nếu chọn vật liệu, tính toán cấp phối và thi công theo đúng những qui định của qui trình chế tạo.

Căn cứ vào trọng lượng thể tích, bê tông được chia ra hai loại chủ yếu sau:

- Bê tông nặng: có trọng lượng thể tích từ 1800 đến 2500 kgf/m³ .
- Bê tông nhẹ có trọng lượng thể tích từ 800 đến 1800 kgf/m³.

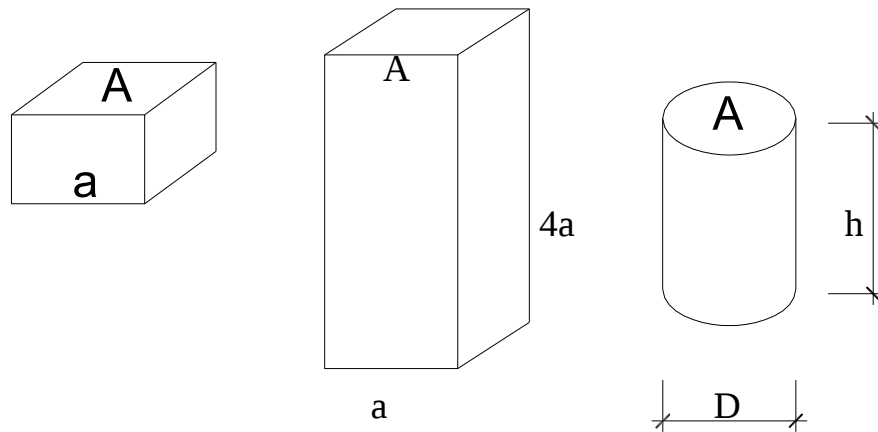
1.2.1. Tính năng cơ lý của bê tông:

Cường độ bê tông

Cường độ là đặc trưng cơ học chủ yếu của bê tông. Trong kết cấu bê tông cốt thép, bê tông chủ yếu chịu nén, cường độ chịu nén có thể xác định tương đối chính xác bằng thí nghiệm, vì vậy cường độ chịu nén được dùng làm chỉ tiêu cơ bản của bê tông.

Cường độ chịu nén:

Mẫu thử khối hình lập phương 15x15x15cm, khối hình trụ vuông 15x15x60cm hoặc lăng trụ tròn đường kính 16cm (diện tích 200cm²), chiều cao $h=2D$, có tuổi 28 ngày, có thành phần cấp phối và cách pha trộn theo yêu cầu nhất định, mẫu được dưỡng hộ trong điều kiện tiêu chuẩn, được nén tới phá hoại và được xác định như sau:

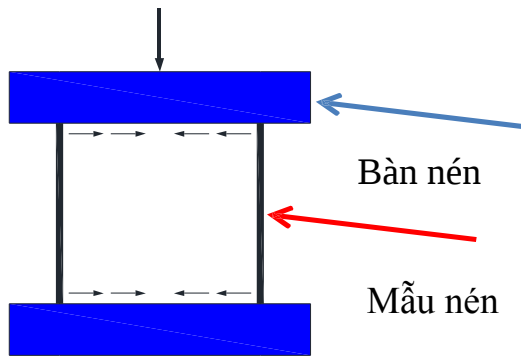


$$R = \frac{N_p}{F} \text{ (MPa)} \quad (2.1)$$

Trong đó: N_p : Lực nén phá hoại (N)

F : Diện tích mặt chịu nén của mẫu (mm²)

Thí nghiệm nén mẫu (mẫu được nén đến khi phá hoại)



Cường độ chịu nén

Bê tông thường: $R_b = 5-30 \text{ MPa}$

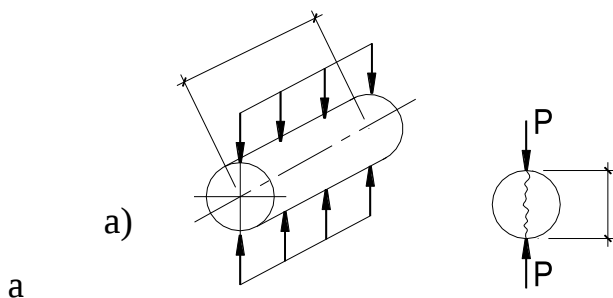
Bê tông cường độ cao: $R_b > 40 \text{ MPa}$

Bê tông đặc biệt: $R_b > 80 \text{ MPa}$

Máy nén mẫu bê tông để xác định cường độ

Cường độ chịu kéo:

Thông thường người ta làm mẫu chịu kéo tiết diện vuông, cạnh a , hoặc chịu uốn: tiết diện $b \times h$, chiều dài $L=6h$ (hình 1.3), hoặc có thể nén chẻ mẫu lăng trụ tròn (hình 1.3.a)

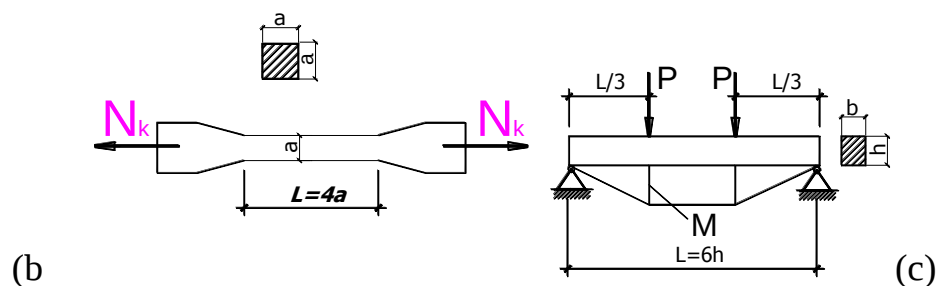


Hình 1.3

Các kiểu mẫu thử kéo bê tông

a) mẫu thử chẻ, b) mẫu thử kéo

c) mẫu thử uốn



Cường độ chịu kéo với mẫu (a)

$$R_t = \frac{2P}{LD} \quad (2.2)$$

Trong đó: P là tải trọng tác dụng làm chẻ mẫu

L là chiều dài mẫu

D là đường kính mẫu

Cường độ chịu kéo mẫu (b).

$$R_t = \frac{N_k}{F} \quad (2.3)$$

Cường độ chịu kéo mẫu (c);

$$R_t = \frac{3,5M}{bh^2} \quad (2.4)$$

Quan hệ giữa cường độ chịu kéo và cường độ chịu nén:

Thông thường người ta có thể tính cường độ chịu kéo thông qua cường độ chịu nén bằng công thức thực nghiệm mà không cần làm thí nghiệm chịu kéo. Đơn giản nhất là quan hệ đường thẳng, theo công thức:

$$R(t) = 0,6 + 0,06R \quad (2.5)$$

Hoặc quan hệ đường cong:

$$R_t = \frac{R+150}{60R+1300} R \quad (2.6)$$

1.2.2. Cấp độ bền và mác của bê tông:

a). Mác theo cường độ chịu nén(M):

Theo tiêu chuẩn cũ 5574 – 1991, mác bê tông ký hiệu là M là *cường độ trung bình* của mẫu thử khối vuông, cạnh a=15cm, tính bằng kG/cm². Bê tông có các mác sau: M50, 75, 100, 150, 200, ..., M600.

b). Cấp độ bền chịu nén (B):

Theo tiêu chuẩn mới 5574 - 2012 quy định phân biệt chất lượng bê tông

theo cấp độ bền chịu nén, ký hiệu là B là cường độ *đặc trưng* (R_{ch}) của mẫu thử khối vuông, cạnh $a=15\text{cm}$, tính bằng Mpa với yêu cầu bảo đảm xác suất không dưới 95%. Bê tông có các cấp độ bền B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B25; B30; B35;...; B60.

Tương quan giữa cấp độ bền B và mác M của cùng một loại bê tông được thể hiện qua công thức sau:

$$B = \alpha\beta M \quad (2.7)$$

Với : α - là hệ số đổi đơn vị từ kG/cm^2 sang MPa, có thể lấy $=0,1$.

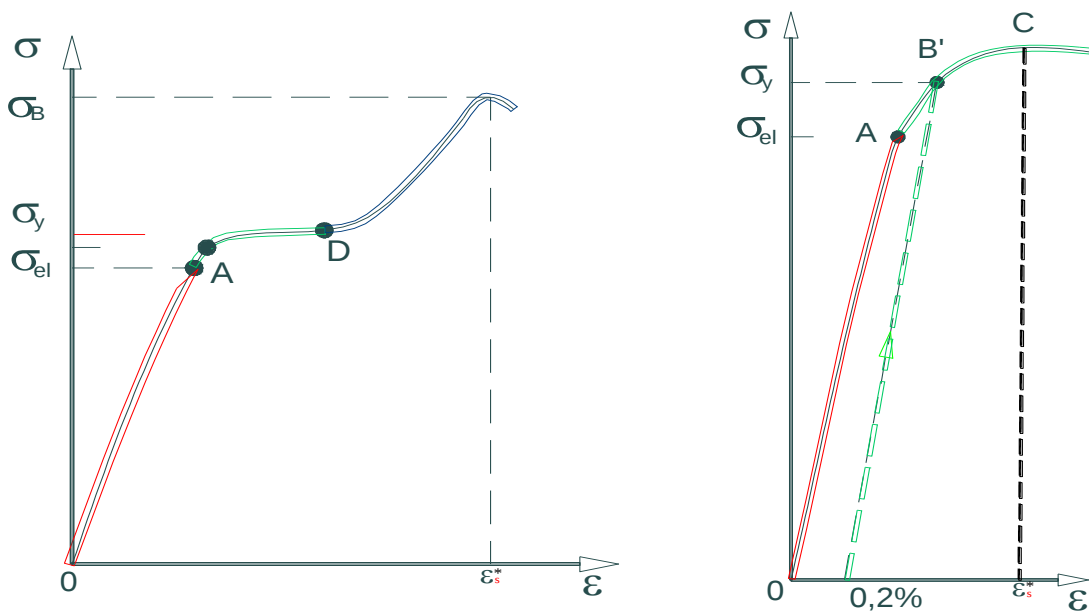
β - là hệ số chuyển đổi từ cường độ trung bình sang cường độ đặc trưng.

1.2.3 Tính năng cơ lý của cốt thép:

Cốt thép là thành phần rất quan trọng của bê tông cốt thép, nó chủ yếu để chịu lực kéo trong cấu kiện, nhưng cũng có lúc được dùng để tăng khả năng chịu nén. Cốt thép phải đạt được các yêu cầu cơ bản về tính dẻo, về sự cùng chung làm việc với bê tông trong tất cả các giai đoạn chịu lực của kết cấu, và bảo đảm thi công thuận lợi.

Giới hạn ứng suất của cốt thép:

Căn cứ vào tính năng cơ học của cốt thép, có thể phân ra hai loại: *cốt thép dẻo* và *cốt thép dòn*. Cốt thép dẻo có thêm chảy rõ ràng trên đồ thị ứng suất biến dạng, còn cốt thép dòn không có giới hạn chảy rõ ràng, nên đối với loại cốt thép dòn người ta lấy ứng suất tương ứng với biến dạng dư tỉ đối là 0,2% làm giới hạn chảy qui ước.



σ_{el} Giới hạn đàn hồi lấy bằng ứng suất ở cuối giai đoạn đàn hồi

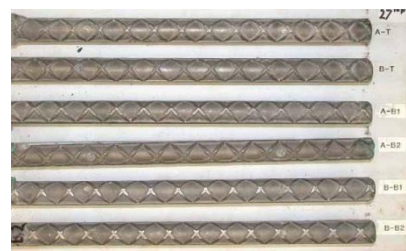
σ_y : Giới hạn chảy lấy bằng giá trị ứng suất ở đầu giai đoạn chảy

σ_B : Giới hạn bền lấy bằng ứng suất lớn nhất mà mẫu chịu được trước khi bị kéo đứt .

Phân loại thép xây dựng:

Thép xây dựng được phân loại như sau (theo tiêu chuẩn TCVN 1651 – 1985 và tiêu chuẩn Nga):

- + Nhóm CI, AI: là thép tròn trơn, có $\phi \square = 4 - 10\text{m.m}$, là thép cuộn, không hạn chế chiều dài.
- + Nhóm AII, AIII, CII, CIII: là thép có gờ (thép gân), có $\phi = 12 - 40\text{m.m}$, là thép thanh có chiều dài chuẩn là 11.7m.
- + Nhóm AIV, CIV: là thép cường độ cao, dùng ít trong xây dựng.



a)

b)

c)

Hình 1.5

Các loại thép xây dựng:

- a). Thép cuộn.
- b). Thép thanh vẫn có đánh số hiệu.
- c). Một loại thép vẫn khác.
- d). Bó các thanh thép khi xuất xưởng



1.2.4 Bê tông cốt thép:

Bê tông và cốt thép có thể cùng chịu lực là nhờ lực dính giữa bê tông và cốt thép. Lực dính chủ yếu là lực ma sát tạo nên, lực ma sát sinh ra do sự gồ ghề trên bề mặt cốt thép. Do đó nếu dùng cốt thép có gờ (gân) thì lực ma sát tăng gấp 2-3 lần so với dùng cốt trơn.

Sự co ngót của bê tông gây ra ứng lực nén vào bề mặt của cốt thép cũng làm tăng thêm lực dính.

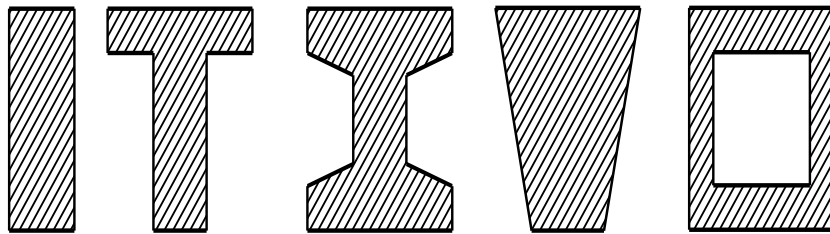
Lực dính giữa bê tông và cốt thép đã tạo cho cốt thép có khả năng cản trở sự co ngót của bê tông. Kết quả là cốt thép bị nén còn bê tông chịu kéo. Khi có nhiều cốt thép, ứng suất kéo trong bê tông tăng lên có thể đạt đến cường độ chịu kéo và làm xuất hiện khe nứt.

Cốt thép cũng cản trở biến dạng từ biến của bê tông, do đó khi có tải trọng tác dụng lâu dài thì giữa bê tông và cốt thép sẽ có sự phân phối lại nội lực. Vì vậy trong tính toán kết cấu bê tông cốt thép chịu tác dụng của tải trọng dài hạn thì phải xét ảnh hưởng của từ biến.

1.3. DẦM BTCT VÀ CÁC DẠNG TIẾT DIỆN.

Dầm bê tông cốt thép (BTCT) là cấu kiện bê tông cốt thép chịu uốn, có chiều cao và chiều rộng khá nhỏ so với chiều dài của nó.

Tiết diện ngang của dầm có thể là chữ nhật, chữ T, chữ I, hình thang, hình hộp...,



Hình 1.6. Các dạng tiết diện của dầm

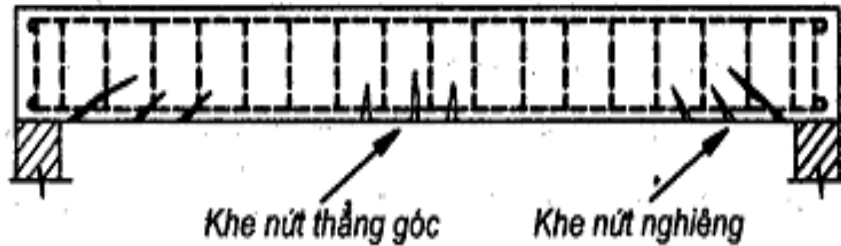
1.4. SỰ LÀM VIỆC CỦA DẦM

Khi dầm chịu tải trọng sẽ phát sinh ra momen M và lực cắt Q . Khi tính toán thiết kế cấu kiện BTCT thường trước hết người ta xét các tính toán về uốn, từ đó chọn ra kích thước cơ bản của mặt cắt và bố trí cốt thép để tạo ra momen kháng cần thiết. Một số yêu cầu giới hạn được nêu ra căn cứ trên số lượng cốt thép chịu uốn có thể sử dụng để đảm bảo rằng khi tải trọng tăng đến mức phá hỏng kết cấu thì hiện tượng hư hỏng sẽ từ từ phát triển và xuất hiện các dấu hiệu cảnh báo cho người sử dụng. Sau đó kích thước mặt cắt dầm BTCT sẽ được kiểm tra tính toán theo điều kiện về lực cắt. Sự phá hỏng do lực cắt thường gây ra gãy đột ngột vì vậy các tính toán thiết kế chịu cắt phải đảm bảo rằng độ bền chịu cắt bằng hoặc vượt quá độ bền chịu uốn ở mọi điểm trong dầm.

Đem thí nghiệm một dầm đơn giản với tải trọng tăng dần, khi tải trọng nhỏ, dầm còn nguyên vẹn chưa có khe nứt. Khi tải trọng đủ lớn sẽ thấy xuất hiện những khe nứt thẳng góc với trục dầm tại khu vực có mô men lớn và những khe nứt nghiêng ở khu vực gần gối tựa là chỗ có lực cắt lớn (hình 1.7) Khi tải trọng

khá lớn thì dầm có thể bị phá hoại tại tiết diện có khe nứt thẳng góc hoặc tại tiết diện có khe nứt nghiêng.

Việc tính toán dầm theo cường độ chính là đảm bảo cho dầm không bị phá hoại trên tiết diện thẳng góc - *tính toán cường độ trên tiết diện thẳng góc*, và không bị phá hoại trên tiết diện nghiêng - *tính toán cường độ trên tiết diện nghiêng*.

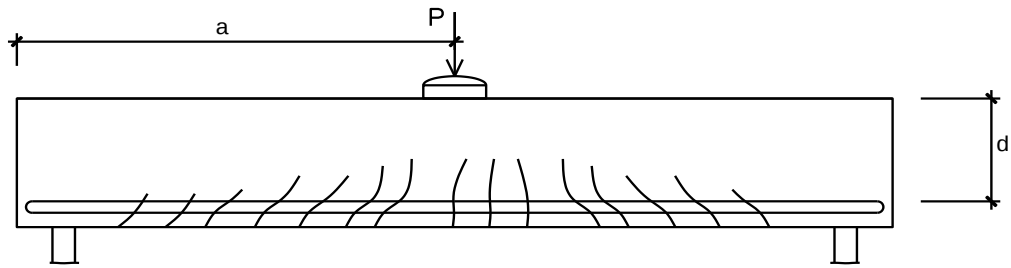


Hình 1.7. Các dạng khe nứt trong dầm đơn giản I

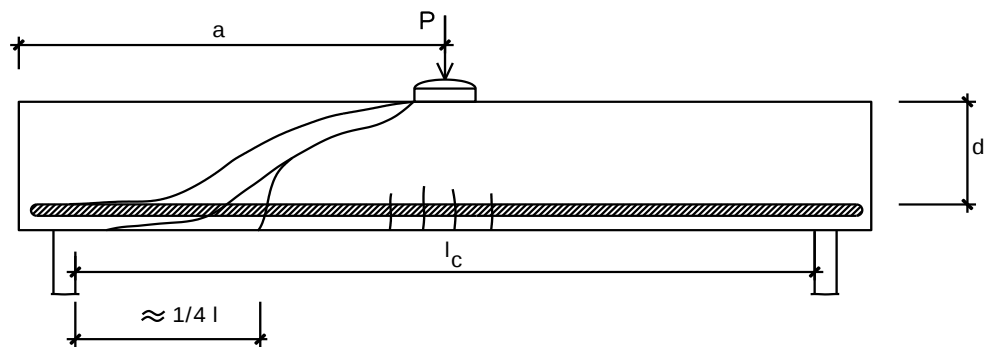
1.4.1. Các hình thức phá hoại của dầm

Các thực nghiệm và nghiên cứu chỉ ra rằng có 2 hình thức phá hoại của bê tông vùng nén trên vết nứt nghiêng. Hình thức phá hoại thứ nhất xảy ra trong quá trình phát triển của vết nứt nghiêng, ứng suất của bê tông trên vết nứt nghiêng đạt đến cường độ chịu nén của bê tông. Hình thức phá hoại thứ hai được đặc trưng với ứng suất chính đạt đến ứng suất giới hạn của bê tông

Dạng phá hoại thứ nhất xảy ra ở những vùng của cầu kiện có lực cắt lớn, còn giá trị mô men nhỏ. Dạng phá hoại thứ hai xảy ra khi giá trị mô men và lực cắt đều lớn đáng kể (phá hoại cắt - uốn). Phá hoại này bắt đầu từ các vết nứt do uốn và phát triển theo phương nghiêng. Khi vết nứt phát triển lên vùng nén, ứng suất kéo chính do uốn và cắt vượt quá khả năng chịu kéo của bê tông và ứng suất nén chính của bê tông giữa các vết nứt có giá trị đáng kể. Vết nứt dạng này thường xuất phát từ thớ chịu kéo của kết cấu. Ở dạng phá hoại cắt uốn, các vết nứt bắt đầu phát triển từ một vài vết nứt nhỏ thẳng góc do uốn ở khoảng $1/4$ nhịp của dầm, sau đó, phát triển thành vết nứt nghiêng và mở rộng, phát triển lên vùng nén của dầm (hình 1.8)



a. Dạng phá hoại uốn



b. Dạng phá hoại uốn - cắt

Hình 1.8 Phá hoại ở dầm

Mặc dù lực cắt lớn nhất nằm ở vị trí gối tựa nhưng vị trí của ứng suất chính lớn nhất ở trạng thái giới hạn trong vùng kéo thì không ở đó.

1.4.2. Trạng thái ứng suất biến dạng của cầu kiện chịu uốn.

Để phân tích rõ sự khác nhau giữa các phương pháp tính toán trên, lấy ví dụ xét 1 cầu kiện bê tông cốt thép chịu uốn, từ lúc mới bắt đầu chịu tải trọng tác dụng cho đến lúc bị phá hoại, khi thí nghiệm cầu kiện chịu uốn có thể quan sát được 3 giai đoạn tiêu biểu của trạng thái ứng suất - biến dạng trên tiết diện thẳng góc với trục của cầu kiện.

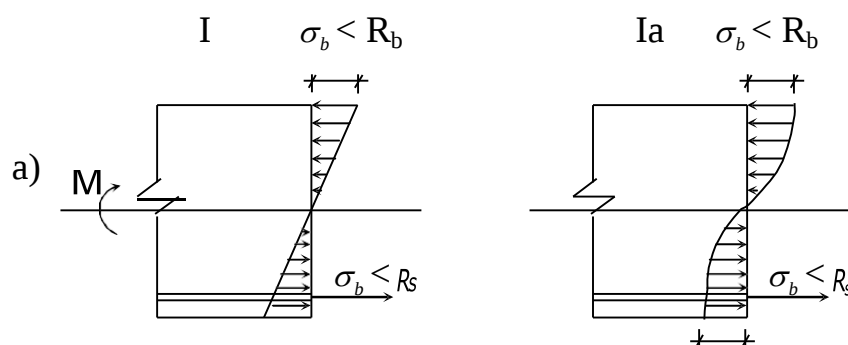
Giai đoạn I: Lúc mới đặt tải trọng, môment còn nhỏ, tiết diện làm việc ở giai đoạn đàn hồi, ứng suất và biến dạng tuân theo định luật Hook. Khi môment

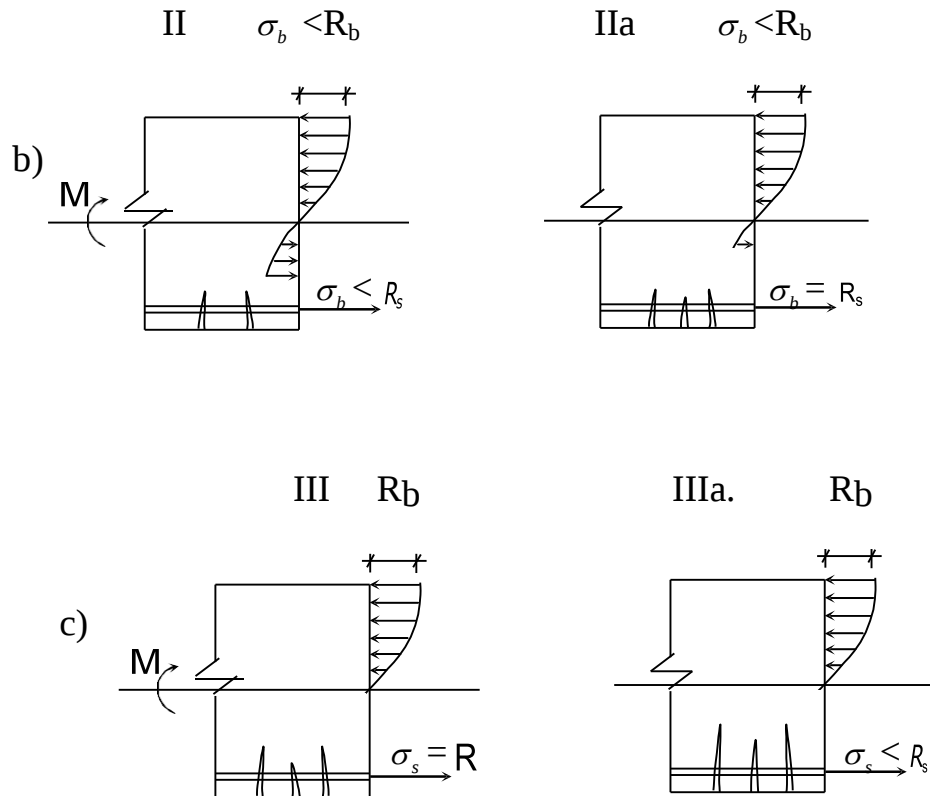
tăng lên, thì ở miền bê tông chịu kéo xuất hiện biến dạng dẻo, sơ đồ ứng suất pháp tại miền chịu kéo này bị cong đi nhiều, miền bê tông chịu nén chủ yếu vẫn làm việc ở giai đoạn đàn hồi. Khi ứng suất tại miền bê tông chịu kéo đạt tới hạn cường độ chịu kéo R_t thì tại miền này sắp xuất hiện khe nứt, lúc đó trạng thái ứng suất biến dạng ở vào giai đoạn I.a (Hình 1.9a).

Giai đoạn II: Khi mômen tăng lên thì miền bê tông chịu kéo bị nứt ra và mômen càng tăng thì khe nứt càng mở rộng. Ở phía trên khe nứt vẫn còn một phần bê tông chịu kéo, nhưng tại khe nứt thì bê tông không chịu kéo được nữa và truyền nội lực kéo sang cho cốt thép chịu. Ở miền bê tông chịu nén xuất hiện biến dạng dẻo, do đó sơ đồ ứng suất nén có dạng đường cong lúc đó ứng suất trong cốt thép là σ_s , trạng thái ứng suất - biến dạng ở vào giai đoạn II.

Nếu lượng cốt thép chịu kéo không nhiều lắm thì khi mômen tăng lên nữa, ứng suất trong các cốt thép chịu kéo này đạt tới giới hạn chảy R_s và trạng thái ứng suất - biến dạng của tiết diện ở vào giai đoạn II.a (Hình 1.9b).

Giai đoạn III: Giai đoạn III của trạng thái ứng suất biến dạng còn gọi là *giai đoạn phá hoại*. Khi mômen tiếp tục tăng lên thì sơ đồ ứng suất của miền bê tông chịu nén cong đi nhiều vì biến dạng phát triển nhưng diện tích miền bê tông chịu nén bị thu hẹp lại vì khe nứt kéo dài lên phía trên, ứng suất trong cốt thép vẫn giữ trị số R_s vì đây là giới hạn chảy, lúc đó biến dạng của cốt thép tăng chứ ứng suất trong cốt thép không tăng, lúc bấy giờ ứng suất trong miền bê tông chịu nén vẫn tiếp tục tăng và khi ứng suất này đạt tới giới hạn cường độ chịu nén R_b thì tiết diện bị phá hoại, đây là trường hợp phá hoại thứ nhất (Hình 1.9c).





Hình 1.9. Các giai đoạn của trạng thái ứng suất biến dạng trên tiết diện chịu uốn

Nếu lượng cốt thép chịu kéo quá nhiều, trạng thái ứng suất - biến dạng của tiết diện không trải qua giai đoạn II.a mà trực tiếp từ giai đoạn II chuyển sang giai đoạn III. Khi đó tiết diện bị phá hoại là do ứng suất trong miền bê tông chịu nén đạt tới cường độ chịu nén R_b . Nhưng ứng suất trong cốt thép chịu kéo lúc tiết diện bị phá hoại chưa đạt tới giới hạn chảy ($\sigma_s < R_s$) đây là trường hợp phá hoại thứ 2 hay còn gọi là trường hợp phá hoại dòn.

Trong thiết kế cầu kiện chịu uốn, cần tránh để xảy ra trường hợp này vì:

- + Cầu kiện bị phá hoại dòn tức là phá hoại đột ngột rất nguy hiểm vì phá hoại nhanh không biết trước được.
- + Không tiết kiệm được cốt thép vì không tận dụng hết khả năng chịu lực

của nó.

Thí nghiệm cho thấy trong quá trình biến đổi trạng thái ứng suất biến dạng từ giai đoạn này sang giai đoạn khác, trục trung hòa sẽ dịch vị trí.

Dọc theo chiều dài của trục dầm, tùy theo trị số của mômen uốn và vị trí của khe nứt mà các tiết diện thẳng góc với trục dầm có thể ở vào các giai đoạn ứng suất biến dạng khác nhau, từ giai đoạn I đến giai đoạn III.

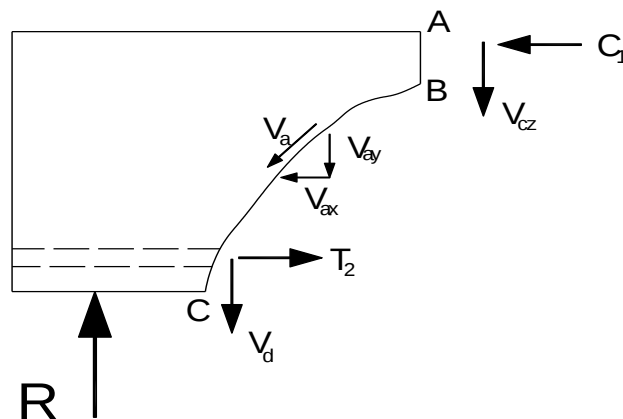
Quan hệ ứng suất và biến dạng khi uốn của cấu kiện bê tông cốt thép trong các giai đoạn trạng thái ứng suất hoàn toàn khác nhau. Ứng suất và biến dạng trong vùng chịu nén của tiết diện dầm có quan hệ với nhau như trong trường hợp nén trung tâm, còn trong trường hợp chịu kéo như kéo trung tâm

1.5. KHẢ NĂNG CHỊU CẮT CỦA DẦM VÀ CÁC MÔ HÌNH TÍNH TOÁN²

1.5.1. Khả năng chịu cắt của dầm

a. Khả năng chịu cắt của dầm không có cốt đai

Khả năng chịu cắt trên một vết nứt nghiêng trong dầm không có cốt thép đai được minh họa trong (hình 1.10.).



² Trích: Tính toán kết cấu bê tông cốt thép theo mô hình giàn ảo của Nguyễn Viết Trung, Dương Tuấn Minh, Nguyễn Thị Tuyết Trinh (2005), Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội

Hình 1.10. Khả năng chịu cắt trong dầm BTCT không có cốt đai

Lực cắt được truyền ngang qua đường A- B- C bao gồm:

V_{cz} : khả năng chịu cắt của bê tông trong vùng chịu nén;

V_{ay} : thành phần thẳng đứng của lực ma sát do sự cài chặt của các cốt liệu trên hai mặt của vết nứt, V_a ;

V_d : tác động chốt chèn của cốt thép dọc.

Khả năng chịu cắt của dầm là:

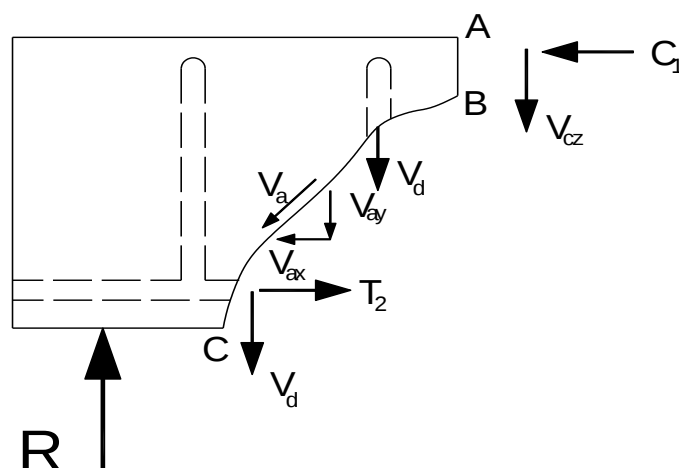
$$V_c = V_{cz} + V_{ay} + V_d \quad (1.1)$$

Khi vết nứt mở rộng ra, V_a sẽ giảm và sẽ làm tăng phần lực cắt được kháng bởi V_{cz} và V_d . Lực cắt chốt thêm, V_d , gây ra vết nứt chéo trong bê tông dọc theo cốt thép. Khi vết nứt này xuất hiện thì V_d giảm tới bằng không.

b. Khả năng chịu cắt của dầm có cốt đai

Trước khi xuất hiện vết nứt xiên, biến dạng trong cốt thép đai bằng biến dạng tương ứng của bê tông. Vì bê tông bị nứt ở biến dạng rất nhỏ, do đó, các cốt thép đai không ngăn được các vết nứt xiên hình thành, chúng chỉ đóng vai trò sau khi các vết nứt đã xuất hiện.

Khả năng chịu cắt trong một dầm có các cốt thép đai trên vết nứt xiên được thể hiện trong (hình 1.11.).



Hình 1.11. Khả năng chịu cắt trong dầm BTCT có cốt đai

Khả năng chịu cắt của cốt thép đai ký hiệu là V_s .

Trước khi nứt do uốn, tất cả lực cắt được truyền bởi bê tông chưa nứt. Giữa sự nứt do uốn và nứt xiên, ngoại lực cắt được kháng lại bởi V_{cz} , V_{ay} và V_d . Cuối cùng, các cốt thép đai ngang qua vết nứt bị kéo dẫn đứt và V_s vẫn không đổi đối với các lực cắt tác dụng lớn hơn. Khi các cốt thép đai chảy dẻo, vết nứt xiên sẽ nứt rộng thêm ra nhanh hơn. Khi vết nứt mở rộng ra, V_{ay} giảm xuống hơn nữa, bắt buộc lực V_d và V_{cz} tăng theo một tốc độ có gia tốc cho tới khi hoặc là sự phá hỏng do nứt chẻ xảy ra, hoặc là vùng chịu nén bị nén vỡ bê tông do lực cắt và lực nén kết hợp.

Mỗi một trong số các thành phần của quá trình này, ngoại trừ V_s đều có một đường đặc trưng độ võng - tải trọng. Do đó, khó mà định lượng được các phần đóng góp của các thành phần V_{cz} , V_d và V_{ay} . Trong tính toán thiết kế, những thành phần này được gộp lại với nhau thành V_c và được gọi là khả năng chịu cắt của bê tông:

$$V_c = V_{cz} + V_{ay} + V_d \quad (1.2)$$

Khả năng chịu cắt của dầm là:

$$V_n = V_c + V_s \quad (1.3)$$

Trong đó: V_s - khả năng chịu cắt của cốt đai có thể dễ dàng xác định. Là thành phần tham gia chịu cắt trong dầm nên cốt đai có ảnh hưởng rõ rệt đến khả năng chịu cắt của dầm. Việc tính toán thiết kế cốt đai cũng thể hiện rõ trong các tiêu chuẩn của các nước.

Để xác định khả năng chịu cắt của bê tông V_c , các phương pháp tiêu chuẩn sử dụng mô hình tính toán và điều chỉnh chúng bằng thực nghiệm.

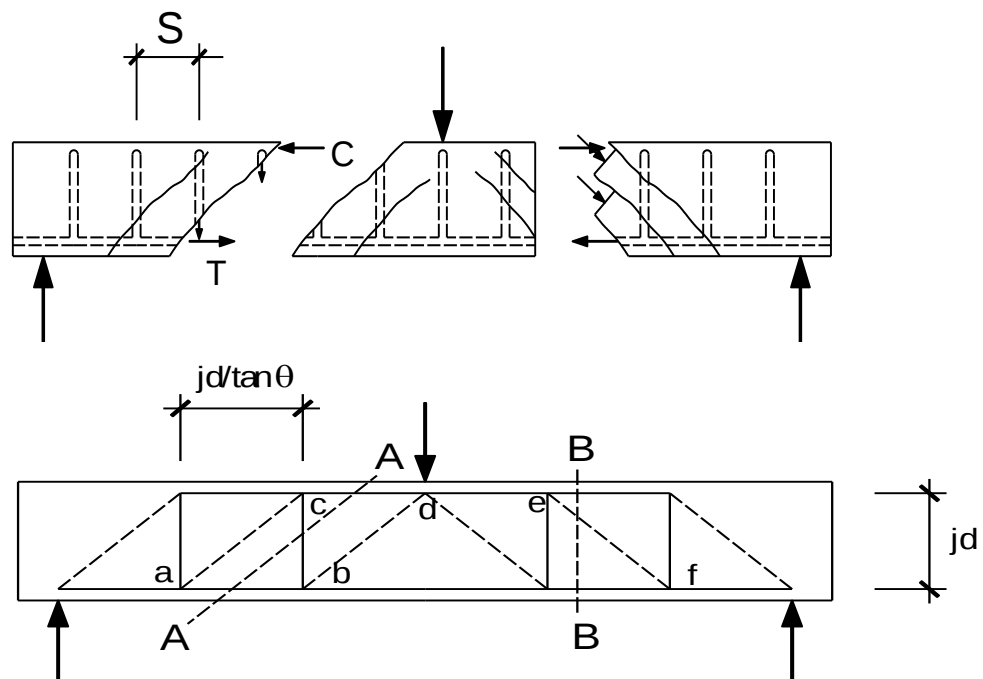
1.5.2. Mô hình tính toán khả năng chịu cắt của dầm bê tông

a. Mô hình giàn với thanh xiên nghiêng góc 45° .

Vào năm 1899 và 1902, các tác giả Ritter (Thụy Sĩ) và Morsch (Đức), độc lập với nhau đã nêu lên là sau khi một dầm BTCT bị nứt do ứng suất kéo xiên, có thể được mô hình hoá như một giàn song song, với các thanh xiên chịu nén nghiêng góc 45° so với trục dọc của dầm. Các tác giả đã đề xuất

phương pháp giàn tương đương cho thiết kế chịu cắt của dầm bê tông cốt thép.

Từ mô tả dầm có vết nứt xiên trong (hình 1.12) cho thấy một hệ lực gồm lực nén C , lực kéo T , lực kéo thẳng đứng trong cốt thép đai và các lực nén nghiêng trong thanh chéo bê tông giữa các vết nứt xiên; hệ lực này được thay thế bằng một "giàn tương đương".



Hình 1.12. Phép tương tự giàn.

Có một vài giả định và sự đơn giản hoá để đưa ra khái niệm "giàn tương đương". Trong (hình 1.12.), các cốt thép đai cắt qua mặt cắt A - A hợp thành cấu kiện thẳng đứng $b - c$, các phần bê tông nén nghiêng qua mặt cắt B - B tạo thành cấu kiện xiên $e - f$.

Các tác giả đã bỏ qua các ứng suất kéo trong bê tông giữa các vết nứt xiên và giả thiết lực cắt sẽ chịu bởi các ứng suất nén xiên trong bê tông, nghiêng góc 45° đối với trục dọc. Khi đề cập về việc lựa chọn góc nghiêng của các

ứng suất nén xiên, Mörsch đã nhận định là hoàn toàn không thể xác định một cách toán học góc nghiêng của các vết nứt xiên vì còn tùy thuộc cách thiết kế cốt đai. Với các ứng dụng thực tế phải đưa ra một giả thiết bất lợi cho góc nghiêng và vì vậy, tiến tới cách tính toán thông thường cho cốt đai với giả thiết góc nghiêng 45° . Thực nghiệm cho thấy các vết nứt xiên thoải hơn góc 45° . Nếu cốt đai được thiết kế với góc nghiêng thoải hơn này, sẽ dùng đến ít hơn lượng cốt đai. Như vậy, việc lựa chọn góc nghiêng 45° là thiên về an toàn.

b. Mô hình dàn có góc nghiêng thay đổi

Mô hình giàn cổ điển thông thường giả thiết thanh nén của giàn song song theo hướng của vết nứt và không có ứng suất truyền qua vết nứt. Cách này đã được chứng minh cho kết quả an toàn hơn khi so sánh với thực nghiệm.

Trong thực tế do có rất nhiều vết nứt nghiêng nên xuất hiện nhiều góc nghiêng tuy nhiên mô hình này có kể đến sự tham dự của bê tông và phương pháp này quan tâm tới các tiết diện nghiêng thay đổi nên gọi là mô hình có dàn có góc nghiêng thay đổi.

Theo phương pháp được gọi là "mô hình dàn với góc nghiêng thay đổi" (CEB-FIP 1978; EC2 1991; Ramirez và Breen 1991), cường độ chịu cắt của dầm BTCT thường là: $V_n = V_c + V_s$

Trong đó:

V_c - là khả năng chịu cắt của bê tông;

V_s - là khả năng chịu cắt của cốt thép ngang.

c. Lý thuyết miền nén và miền nén cải tiến.

Sau khi một dầm BTCT bị nứt, phần bê tông nằm giữa các vết nứt vẫn tham gia chịu cắt và tạo thành các dải nén nghiêng. Phương pháp đánh giá khả năng chịu cắt của dải bê tông chịu nén nghiêng giữa các vết nứt gọi là lý thuyết miền nén (CFT). Vấn đề cơ bản trong CFT là xác định góc nghiêng θ . Kupfer và Baumann đã giới thiệu các cách xác định θ bằng cách giả thiết là bê tông nứt và cốt thép là đàn hồi tuyến tính. Phương pháp để xác định θ sử dụng được trong mọi trường hợp đặt tải và dựa theo phương pháp của Wagner

- (Đức) được phát triển bởi Collins và Mitchell vào năm 1974 cho các phần tử chịu xoắn và được áp dụng để thiết kế chống cắt bởi Collins năm 1978

Trong lý thuyết miền nén, hai giả thiết quan trọng được thiết lập là bê tông không chịu kéo sau khi bị nứt và góc nghiêng của ứng suất nén xiên trùng với góc nghiêng của biến dạng chính. Thực tế cho thấy, hướng của ứng suất chính không giống với hướng của biến dạng sau khi bê tông bị nứt.

Như vậy, có thể thấy rằng: Lý thuyết miền nén đã bỏ qua sự đóng góp của ứng suất kéo trong các vùng bê tông bị nứt và do đó có những ước lượng quá lớn sự biến dạng và đánh giá thấp về cường độ.

Lý thuyết miền nén cải tiến (MCFT) được đưa ra bởi Vecchio và Collins năm 1986, là sự phát triển của lý thuyết miền nén CFT có kể tới ảnh hưởng của ứng suất kéo trong vùng bê tông bị nứt. Người ta nhận thấy là ứng suất cục bộ trong cả bê tông và cốt thép sẽ khác biệt từ điểm này đến điểm khác trong vùng bê tông bị nứt, với ứng suất cốt thép cao nhưng ứng suất kéo của bê tông thấp tại các điểm nứt.

Các điều kiện cân bằng, trong đó liên hệ giữa ứng suất của bê tông và ứng suất của cốt thép với lực tác dụng được thể hiện theo các trị số của ứng suất trung bình, tức là trị số trung bình của ứng suất lấy trên chiều dài lớn hơn khoảng cách của vết nứt.

Phá hoại của phần tử BTCT sẽ chịu ảnh hưởng không phải từ ứng suất trung bình mà bởi ứng suất cục bộ tác dụng tại vết nứt. Khi kiểm tra các điều kiện trên tại một vết nứt, dạng nứt phức tạp thực tế sẽ được đơn giản hoá bao gồm một loạt các vết nứt song song cùng nghiêng góc θ so với thép dọc và cách nhau một khoảng s_θ .

Có thể nhận thấy là ứng suất cắt, (v_{ci}), ở trên mặt vết nứt sẽ làm giảm ứng suất trong cốt thép ngang, nhưng làm tăng ứng suất trong cốt thép dọc. Giá trị cực đại của v_{ci} được lấy theo mối liên hệ giữa chiều rộng của vết nứt, (w), và kích cỡ cực đại của cốt liệu, (a), theo phương trình.

Việc giới hạn ứng suất kéo chính trung bình trong bê tông nhằm kể tới khả năng phá hoại theo cơ chế cài chặt của cốt liệu, điều này sẽ đảm nhiệm vai trò truyền ứng suất cắt bề mặt, (V_{ci}), dọc theo bề mặt của vết nứt.

Khi những ứng suất kéo này được kể tới, theo lý thuyết MCFT, kể cả các phần tử không có cốt đai cũng được dự báo một sức kháng cắt đáng kể sau khi nứt. Sức kháng cắt dự báo không chỉ là một hàm của lượng cốt thép đai gia cường mà còn là của lượng cốt thép dọc. Tăng lượng cốt thép dọc sẽ tăng sức kháng cắt.

Theo MCFT, để xác định khả năng chịu cắt của dầm BTCT có thể dùng phương pháp an toàn là dùng biến dạng dọc lớn nhất (ε_x), xảy ra trong thân dầm. Trong tính toán thiết kế, ε_x có thể được xác định gần đúng là biến dạng trong thanh chịu kéo của giàn tương đương.

Qua các kết quả thí nghiệm và so sánh với lý thuyết, MCFT đưa ra những điểm tiến bộ hơn so với CFT và một dự báo tin cậy về khả năng kháng cắt của cầu kiện.

d. Mô hình chống giằng.

Trước khi hình thành vết nứt, một trường ứng suất đàn hồi tồn tại có thể xác định được bằng cách sử dụng phép giải tích đàn hồi. Sự hình thành vết nứt làm đảo lộn trường ứng suất này, gây ra sự định hướng lại chủ yếu các nội lực. Sau khi hình thành vết nứt, nội lực có thể được mô hình hoá bằng cách sử dụng mô hình chống và giằng bao gồm các thanh chống chịu nén bằng bê tông, thanh giằng chịu kéo bằng thép và các mối nối được xem như các vùng nứt. Nếu thanh chống ở các đầu mút của chúng hẹp hơn so với đoạn ở giữa thì các thanh chống có thể lần lượt nứt theo chiều dọc. Đối với các thanh chống không có cốt thép thì điều này có thể dẫn đến sự phá hỏng. Các thanh chống có cốt thép nằm ngang để chống lại sự hình thành vết nứt có thể chịu tải trọng nhiều hơn. Sự hư hỏng có thể xảy ra do sự chảy dẻo của các thanh chịu kéo hoặc sự phá hỏng của các vùng nứt. Cơ cấu kháng cắt được thể hiện như một

thanh nén vòm với cốt thép có tác dụng như một thanh giằng chịu kéo giữa các gối tựa.

Qua các nghiên cứu thực nghiệm, với các giá trị $a/d < 2,5$, sức kháng cắt chủ yếu là do thanh chống - giằng và nó giảm rất nhanh khi a/d tăng lên. Sự phá hoại trong vùng này là do chủ yếu bởi sự nghiền của các thanh nén. Có thể thấy rõ là đối với các giá trị $a/d < 2,5$, thì một mô hình thanh chống - giằng dự báo chính xác hơn sức kháng cắt và khi $a/d > 2,5$, thì việc dùng mô hình tiết diện có kể đến phần tham dự của bê tông V_c là phù hợp hơn.

Trong thời gian gần đây, hàng loạt các thí nghiệm về khả năng chống cắt của dầm BTCT được tiến hành và cho thấy mô hình miền nén cải tiến cho những kết quả gần với kết quả thực nghiệm hơn trong vùng B. Vì vậy, mô hình này thường được xem như một mô hình tin cậy để đánh giá khả năng chống cắt của dầm BTCT.

Các nghiên cứu cho thấy có thể hoàn toàn sử dụng các mô hình để tính toán, tuy nhiên trong luận văn học viên chỉ nêu và giới thiệu các mô hình.

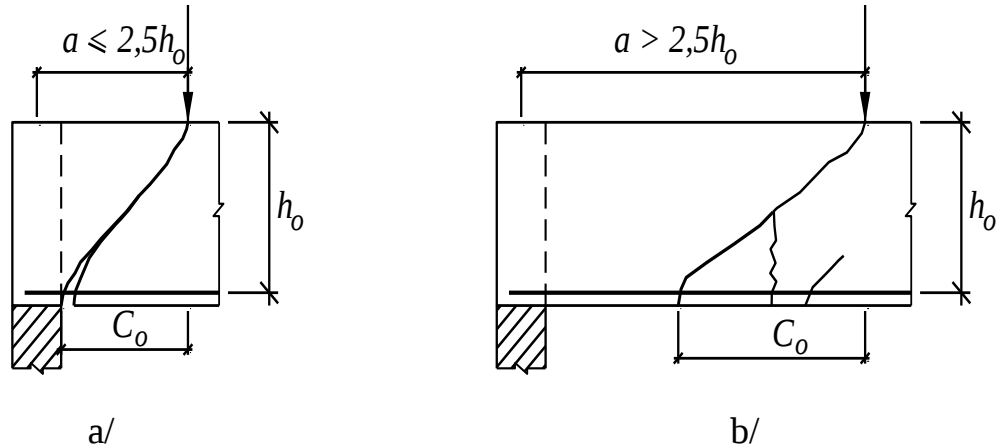
1.6. CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN KHẢ NĂNG CHỊU CẮT CỦA DẦM.³

1.6.1. Ảnh hưởng của nhịp chịu cắt

Với giả thiết là lực cắt hay ứng suất cắt đóng vai trò quan trọng trong việc gây ra sự phá hoại nên đã nhiều năm qua người ta quan niệm phá hoại cắt cũng tương tự như phá hoại do uốn. Điều đó có nghĩa là sự phá hoại do cắt đạt đến cường độ chịu cắt của bê tông. Ferguson đã nêu ra sai lầm đó khi chỉ ra rằng ứng suất cắt phá hoại không phải là hằng số vật liệu mà phụ thuộc rất nhiều vào tỷ số a/h_0 giữa nhịp chịu cắt (khoảng cách a) và chiều cao làm việc của dầm h_0 cũng như dạng tải trọng.

³ Tham khảo: Khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép ứng lực trước, Luận án tiến sĩ kỹ thuật của Nguyễn Ngọc Phương (2008), Trường Đại học Kiến trúc, Hà Nội

Khi $a < h_0$, tạo ra dải nén từ lực tập trung về gối tựa và khả năng chịu cắt là do bê tông chịu. Sự phá hoại gần như cắt thuần túy với $R_{bc} \approx 2,5R_{bt}$, lúc này chỉ cần kiểm tra điều kiện $Q_{max} \leq 2,5R_{bt}bh_0$ và không cần tính cốt thép vì cốt thép không huy động vào chịu lực.



Hình 1.13. Hình thức phá hoại cắt của dầm

Khi $h_0 \leq a \leq 2,5h_0$, khả năng chịu cắt của dầm chủ yếu theo cơ chế của tác động vòm, do vậy hình thức phá hoại là sự nén vỡ vùng nén (do nén - cắt) trên vết nứt nghiêng (hình 1.13a). Tuy nhiên sự phá hoại này chỉ xảy ra khi cốt thép dọc được neo chặt vào gối tựa.

Khi $2,5h_0 < a < 6h_0$ hoặc khi dầm chịu tải trọng phân bố đều, sự phá hoại do tác dụng đồng thời của M và Q. Tại tiết diện đã xuất hiện vết nứt thẳng góc do M, phát triển thành vết nứt nghiêng dẫn đến sự phá hoại trong vùng nén (hình 1.13b). Ứng suất kéo chính ở đầu gối tựa lớn làm xuất hiện vết nứt nghiêng ở đầu gối tựa nên dầm có thể bị phá hoại theo kiểu quay hai phần dầm quanh vùng nén. Lực dính giữa bê tông và cốt thép ở đầu gối tựa giảm đi rất nhanh làm cho cốt thép dễ có thể bị tuột.

Khi $a \geq 6h_0$, sự phá hoại là phá hoại uốn.

Như vậy, chủ yếu sự phá hoại trên tiết diện nghiêng là do ảnh hưởng của cả mômen và lực cắt. Lực cắt có xu hướng kéo tách 2 phần dầm vuông góc với trục dầm. Mômen có xu hướng quay 2 phần dầm quanh vùng nén.

1.5.2. Ảnh hưởng của tiết diện.

Việc lựa chọn sơ bộ kích thước tiết diện là công việc đầu tiên của công tác tính toán thiết kế kết cấu BTCT. Yếu tố tiết diện có ảnh hưởng trực tiếp tới khả năng chịu cắt của bê tông tức là khả năng chịu cắt của dầm. Dễ dàng nhận thấy trong các công thức tính toán khả năng chịu cắt của dầm BTCT của các tiêu chuẩn trên thế giới được nêu ra trong (chương 2) đều thể hiện rõ sự ảnh hưởng này.

Tuy nhiên việc tính toán thiết kế cần phải lựa chọn tiết diện sao cho đáp ứng được các tiêu chí về kiến trúc cũng như khả năng chịu lực của tiết diện, đồng thời thoả mãn tính hiệu quả về thi công, sử dụng và kinh tế, vì vậy cần kết hợp với các yếu tố khác.

1.6.3. Ảnh hưởng của lực tác dụng dọc trục

Khảo sát một dầm BTCT chịu uốn (hình 1.14). Xét 1 phân tố vật liệu trong giai đoạn đàn hồi ở vùng gần gối tựa. Để đơn giản, xét bài toán ứng suất phẳng (xem như chỉ tồn tại các thành phần nội lực và ứng suất trong mặt phẳng hình vẽ) và bỏ qua thành phần ứng suất f_z theo phương vuông góc với trục dầm.

Hình 1.14. Trạng thái ứng suất trong dầm có lực dọc tác dụng dọc trục

Ứng suất kéo chính được xác định:

$$f_t = \sqrt{\left(\frac{f_h}{2}\right)^2 + v^2} - \frac{f_h}{2} \quad (1.4)$$

Trong đó:

v - ứng suất tiếp trong bê tông do lực cắt V gây ra;

f_h - ứng suất pháp theo phương dọc dầm (qui ước lấy dấu (+) khi nén).

Khi ứng suất kéo chính vượt quá cường độ chịu kéo của bê tông f_{cr} thì trên dầm sẽ xuất hiện vết nứt và bắt đầu bị phá hoại theo tiết diện nghiêng. Ứng suất tiếp trong bê tông tại thời điểm này đạt đến giá trị giới hạn v_c .

Ta có:

$$f_t = \sqrt{\left(\frac{f_h}{2}\right)^2 + v_c^2} - \frac{f_h}{2} \quad (1.5)$$

Khi không có ứng suất pháp dọc trục ($f_h = 0$): $f_{cr} = v_c^o$

Khi có ứng suất pháp dọc trục ($f_h \neq 0$): $v_c = f_{cr} \sqrt{1 + \frac{f_h}{f_{cr}}}$

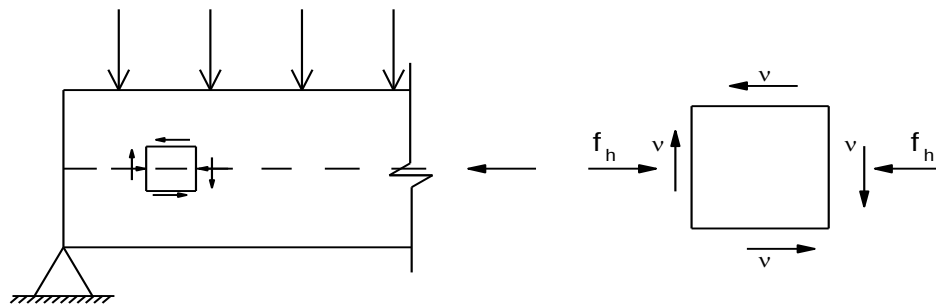
Nếu ứng suất f_h là nén ($f_h > 0$): $v_c > f_{cr} = v_c^o$

Rõ ràng, ứng suất nén dọc trục đã làm tăng ứng suất cắt giới hạn trong cầu kiện, khả năng chịu cắt của dầm được cải thiện. Ngược lại, khả năng chịu cắt của dầm sẽ bị giảm yếu khi có sự tác dụng của ứng suất kéo dọc trục.

Có thể thấy rằng lực nén dọc trục có khuynh hướng làm tăng tải trọng gây nứt xiên. Lực nén này làm các vết nứt do uốn không phát triển sâu vào trong dầm, do đó, dầm sẽ chịu được lực cắt lớn hơn tại thời điểm ứng suất kéo chính bằng cường độ chịu kéo của bê tông.

Tuy nhiên, đối với dầm BTCTULT, khi đã hình thành vết nứt do uốn thì các vết nứt phát triển tương tự như dầm BTCT thường. Sự tăng tải trọng gây nứt xiên đối với dầm BTCTULT sẽ lớn hơn do sự chậm hình thành vết nứt do uốn.

Tiêu chuẩn thiết kế kháng cắt của một số nước đã đề cập tới ảnh hưởng này trong các biểu thức tính toán khả năng chịu cắt của dầm.



1.6.4. Ảnh hưởng của cốt thép dọc⁴

⁴ Trích: Ảnh hưởng của hàm lượng cốt dọc tới khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép của Nguyễn Ngọc Phương (2002), Tạp chí Xây dựng, (Số tháng 2-2002), Hà Nội.

Thành phần nội lực trên tiết diện nghiêng của dầm gồm lực cắt và mômen. Cốt thép dọc được thiết kế để chịu mômen là chủ yếu. Tuy nhiên, cốt dọc còn có tác dụng chốt chèn, chống lại sự tách của 2 phần dầm do lực cắt như đã nêu ở mục 1.5.1.

Như vậy, cốt dọc cũng sẽ tham gia chịu lực cắt và có ảnh hưởng tới khả năng chịu cắt của dầm BTCT và điều này cần được đề cập đến trong các tính toán. Trong chương 2, các biểu thức tính toán khả năng chịu cắt của dầm BTCT của nhiều tiêu chuẩn đã đưa vào yếu tố ảnh hưởng này thông qua thành phần ρ_w, ρ_1 .

Hàm lượng cốt dọc chịu kéo trong dầm hoặc thành phần A_s - diện tích cốt thép dọc chịu kéo hoặc thành phần mômen M . Tiêu chuẩn thiết kế của Việt Nam bỏ qua ảnh hưởng này và tiết diện nghiêng chịu mômen được thiết kế bằng một số biện pháp cấu tạo như neo, uốn, cắt cốt thép. Các nghiên cứu trên thế giới đã chỉ ra rằng tăng lượng cốt thép dọc sẽ tăng khả năng chịu cắt của dầm và cách thiết kế cốt thép dọc trong dầm cũng ảnh hưởng tới khả năng chịu cắt này.

Như vậy, có thể thấy ảnh hưởng của cốt thép dọc là yếu tố cần được đề cập để hoàn thiện hơn cho tính toán chịu cắt của dầm BTCT.

Các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng chịu cắt của dầm đã được các mô hình nghiên cứu. Việc tính toán và phân tích các mô hình về khả năng chịu cắt của dầm đã được nhiều tác giả đề cập.

Nhận xét:

Ta nhận thấy đặc trưng cơ lý của bê tông trong cả ba tiêu chuẩn đều giống nhau có ba đại lượng đặc trưng đó là:

- + Độ bền chịu nén.
- + Độ bền chịu kéo một trục (được xác định bằng mẫu uốn).
- + Độ bền chịu kéo theo hai trục giống nhau (được xác định bằng cách nén thử mẫu lăng trụ).

Tiêu chuẩn Việt Nam xác định cấp độ bền chịu nén bằng cường độ của mẫu khối vuông cạnh (15x15)cm, còn tiêu chuẩn ACI và EN chỉ số trên được xác định bằng cường độ của mẫu lăng trụ ($d=15\text{cm}$, $h=30\text{cm}$).

Tiêu chuẩn ACI 318 lấy giới hạn chảy làm cường độ tính toán của cốt thép.

Tiêu chuẩn Việt Nam và EN cường độ được đưa vào tính toán bằng bằng cường độ tại giới hạn chảy chia cho hệ số điều kiện làm việc.

Các tiêu chuẩn cũng dựa trên việc phân tích các mô hình để tính toán khả năng chịu cắt của dầm tuy nhiên tùy theo tiêu chuẩn của từng nước mà các yếu tố ảnh hưởng đó được đề cập đến hay không đề cập đến, việc khảo sát các tiêu chuẩn được trình bày trong chương 2.

CHƯƠNG II

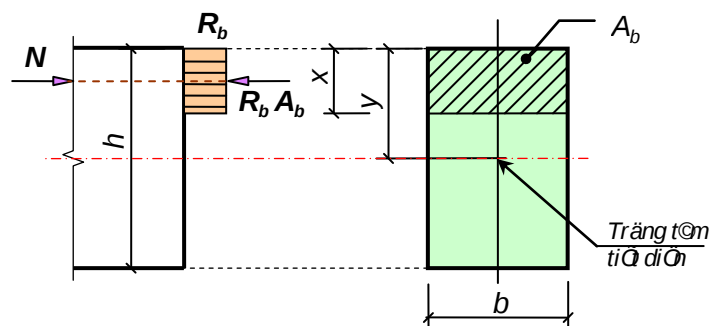
I. TÍNH TOÁN DẦM BÊ TÔNG CỐT THÉP THEO CÁC TIÊU CHUẨN

2.1. TÍNH TOÁN DẦM BÊ TÔNG CỐT THÉP THEO TCVN 5574-2012.

2.1.1 Nguyên tắc chung

Tính toán cầu kiện bê tông theo độ bền cần được tiến hành trên tiết diện thẳng góc với trục dọc cầu kiện. Tùy vào điều kiện làm việc của cầu kiện, mà trong tính toán có kể đến hoặc không kể đến sự làm việc của vùng chịu kéo.

Đối với các cầu kiện chịu nén lệch tâm nêu trong 4.1.7a mà trạng thái giới hạn được đặc trưng bằng sự phá hoại của bê tông chịu nén, thì khi tính toán không kể đến sự làm việc của bê tông chịu kéo. Độ bền chịu nén của bê tông được quy ước là ứng suất nén của bê tông, có giá trị bằng R_b và phân bố đều trên vùng chịu nén của tiết diện – vùng chịu nén quy ước (Hình 2.1) và sau đây được gọi tắt là vùng chịu nén của bê tông.



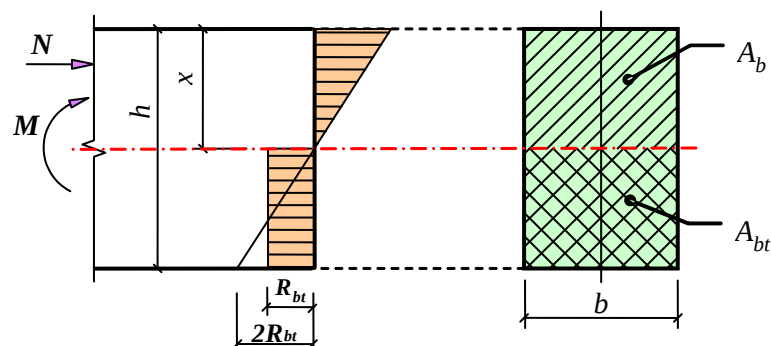
Hình 2.1 – Sơ đồ nội lực và biểu đồ ứng suất trên tiết diện thẳng góc với trục dọc cầu kiện bê tông chịu nén lệch tâm khi tính theo độ bền không kể đến sự làm việc của bê tông vùng chịu kéo

Đối với các cấu kiện nêu trong 4.1.7b, cũng như với các cấu kiện không cho phép nứt theo điều kiện sử dụng kết cấu (cấu kiện chịu áp lực nước, mái dĩa, tường chắn, v.v...) khi tính toán có kể đến sự làm việc của bê tông vùng chịu kéo. Khi đó trạng thái giới hạn được đặc trưng bằng sự phá hoại của bê tông vùng chịu kéo (xuất hiện vết nứt). Lực tới hạn được xác định dựa trên các giả thuyết sau:

- Tiết diện vẫn được coi là phẳng sau khi biến dạng;
- Độ giãn dài tương đối lớn nhất của thớ bê tông chịu kéo ngoài cùng lấy bằng $2R_{bt}/E_b$;
- Ứng suất trong bê tông vùng chịu nén được xác định với biến dạng đàn hồi của bê tông (trong một số trường hợp có kể cả biến dạng không đàn hồi);
- Ứng suất bê tông vùng chịu kéo được phân bố đều và bằng R_{bt} ;

Khi có khả năng hình thành vết nứt xiên (ví dụ: cấu kiện có tiết diện chữ i, T chịu lực cắt), cần tính toán cấu kiện bê tông theo các điều kiện (144) và (145), trong đó cường độ tính toán của bê tông khi tính toán theo các trạng thái giới hạn thứ hai $R_{b,ser}$ và $R_{bt,ser}$ được thay bằng các giá trị cường độ tính toán tương ứng khi tính toán theo các trạng thái giới hạn thứ nhất R_b và R_{bt} ;

Ngoài ra, cấu kiện cần được tính toán chịu tác dụng cục bộ của tải trọng theo 6.2.5.1.



Hình 2.2 – Sơ đồ nội lực và biểu đồ ứng suất trên tiết diện thẳng góc với trục dọc cấu kiện bê tông chịu uốn (nén lệch tâm) được tính theo độ bền,

có kể đến sự làm việc của bê tông vùng chịu kéo

2.1.2 Cấu kiện chịu uốn

3.1.2.1 Cấu kiện bê tông chịu uốn (Hình 2.2) cần được tính toán theo các điều kiện:

$$M \leq \alpha R_{bt} W_{pl} \quad (2.1)$$

trong đó:

α là hệ số, lấy theo 6.1.2.4;

W_{pl} xác định theo công thức (16) TCVN 5547-2012, đối với cấu kiện có tiết diện chữ nhật W_{pl} lấy bằng:

$$W_{pl} = \frac{bh^2}{3,5} \quad (2.2)$$

2.1.3 Tính toán cấu kiện bê tông cốt thép theo độ bền

2.1.3.1 Nguyên tắc chung

Cấu kiện bê tông cốt thép phải được tính toán trên tiết diện thẳng góc với trục dọc cấu kiện và tiết diện nghiêng với trục dọc cấu kiện theo hướng nguy hiểm nhất. Khi có mô men xoắn cần kiểm tra độ bền tiết diện không gian được giới hạn bởi các vết nứt dạng xoắn ở vùng chịu kéo theo hướng nguy hiểm nhất có thể xảy ra. Ngoài ra, cần tính toán cấu kiện chịu các tác dụng cục bộ của tải trọng (nén cục bộ, nén thùng, giật đứt).

Khi có cốt thép căng không bám dính, tính toán kết cấu theo độ bền tiến hành theo chỉ dẫn riêng.

2.1.3.2 Tính toán theo tiết diện thẳng góc với trục dọc cấu kiện

Nội lực tới hạn trên tiết diện thẳng góc cần xác định từ các giả thiết sau:

- Bỏ qua khả năng chịu kéo của bê tông;
- Khả năng chịu nén của bê tông là ứng suất, lấy bằng R_b , được phân bố đều trên vùng chịu nén;

- Biên dạng (ứng suất) trong cốt thép được xác định phụ thuộc vào chiều cao vùng chịu nén của bê tông và có xét đến biên dạng (ứng suất) do ứng lực trước (xem 6.2.2.19);
- Ứng suất kéo trong cốt thép được lấy không lớn hơn cường độ chịu kéo tính toán R_s ;
- Ứng suất nén trong cốt thép được lấy không lớn hơn cường độ chịu nén tính toán R_{sc} .

Khi ngoại lực tác dụng trong mặt phẳng đi qua trục đối xứng của tiết diện và cốt thép đặt tập trung theo cạnh vuông góc với mặt phẳng đó, việc tính toán tiết diện thẳng góc với trục dọc cầu kiện cần được tiến hành phụ thuộc vào sự tương quan giữa giá trị chiều cao tương đối của vùng chịu nén của bê tông $\xi = x/h_0$, được xác định từ các điều kiện cân bằng tương ứng và giá trị chiều cao tương đối vùng chịu nén của bê tông ξ_R (xem 6.2.2.3), tại thời điểm khi trạng thái giới hạn của cầu kiện xảy ra đồng thời với việc ứng suất trong cốt thép chịu kéo đạt tới cường độ tính toán R_s , có kể đến các hệ số điều kiện làm việc tương ứng, ngoại trừ hệ số γ_{s6} (xem 6.2.2.4).

Giá trị ξ_R được xác định theo công thức:

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{\sigma_{sR}}{\sigma_{sc,u}} \left(1 - \frac{\omega}{11}\right)} \quad (2.3)$$

trong đó:

ω là đặc trưng vùng chịu nén của bê tông, xác định theo công thức:

$$\omega = \alpha - 0,008R_b \quad (2.4)$$

ở đây:

α là hệ số được lấy như sau:

đối với bê tông nặng: 0,85

đối với bê tông hạt nhỏ (xem 5.1.1.3) nhóm A:..... 0,85

nhóm B, C:0,75

đối với bê tông nhẹ, bê tông tổ ong và bê tông rỗng:0,80

Đối với các loại bê tông được chung áp (bê tông nặng, bê tông nhẹ, bê tông rỗng), hệ số α lấy giảm 0,05;

R_b tính bằng megapascal (MPa);

σ_{sR} là ứng suất trong cốt thép (MPa), đối với cốt thép:

+ có giới hạn chảy thực tế: CI, A-I, CII, A-II, CIII, A-III, A-IIIB, Bp-I:

$$\sigma_{sR} = R_s - \sigma_{sp};$$

+ có giới hạn chảy quy ước: CIV, A-IV, A-V, A-VI và AT-VII:

$$\sigma_{sR} = R_s + 400 - \sigma_{sp} - \Delta\sigma_{sp};$$

+ cường độ cao dạng sợi và cáp: B-II, Bp-II, K-7, K-19:

$$\sigma_{sR} = R_s + 400 - \sigma_{sp}, \quad (\text{khi đó } \Delta\sigma_{sp} = 0);$$

ở đây:

R_s là cường độ chịu kéo tính toán có kể đến các hệ số điều kiện làm việc tương ứng γ_{si} , ngoại trừ γ_{s6} (xem 6.2.2.4);

σ_{sp} là được lấy với $\gamma_{sp} < 1$;

$\Delta\sigma_{sp}$ xem ở 6.2.2.19;

$\sigma_{sc,u}$ là ứng suất giới hạn của cốt thép ở vùng chịu nén, được lấy như sau:

a) Đối với cấu kiện làm từ bê tông nặng, bê tông hạt nhỏ, bê tông nhẹ tùy thuộc vào các yếu tố nêu trong Bảng 15:

+ với loại tải trọng tác dụng như tại 2a:500 MPa

+ với loại tải trọng tác dụng như tại 2b:400 MPa

b) Đối với kết cấu làm từ bê tông rỗng và bê tông tổ ong, trong mọi trường hợp tải trọng đều lấy bằng 400 MPa. Khi tính toán kết cấu trong giai đoạn nén trước giá trị $\sigma_{sgu} = 330$ MPa.

Giá trị ξ_R được xác định theo công thức (2.3) đối với các cấu kiện làm từ bê tông tổ ong cần phải lấy không lớn hơn 0,6.

Khi tính toán theo độ bền cấu kiện bê tông cốt thép sử dụng cốt thép cường độ cao (có giới hạn chảy quy ước) nhóm CIV, A-IV, A-V, A-VI, AT-VII, B-II, K-7 và K-19, khi tuân thủ điều kiện $\xi < \xi_R$, cường độ chịu kéo của cốt thép R_s cần được nhân với hệ số γ_{s6} (xem mục 6 Bảng 23) được xác định theo công thức:

$$\gamma_{s6} = \eta - (\eta - 1) \left(2 \frac{\xi}{\xi_R} - 1 \right) \leq \eta \quad (2.5)$$

trong đó:

η là hệ số, lấy đối với loại cốt thép nhóm:

- + CIV, A-IV: 1,20
- + A-V, B-II, Bp-II, K-7, K-19: 1,15
- + A-VI, AT -VII: 1,10

Đối với trường hợp chịu kéo đúng tâm, cũng như kéo lệch tâm do lực dọc đặt ở giữa các hợp lực trong cốt thép, giá trị γ_{s6} được lấy bằng η .

Khi mỗi nối hàn nằm ở vùng cấu kiện có mô men uốn vượt quá $0,9M_{max}$ (M_{max} là mô men tính toán lớn nhất), giá trị hệ số γ_{s6} đối với cốt thép nhóm CIV, A-IV, A-V lấy không lớn hơn 1,1; đối với cốt thép nhóm A-VI và AT-VII lấy không lớn hơn 1,05.

Hệ số γ_{s6} không kể đến đối với các cấu kiện:

- được tính toán chịu tải trọng lặp;

- được bố trí cốt thép bằng các sợi thép cường độ cao đặt sát nhau (không có khe hở);
- được sử dụng trong môi trường ăn mòn.

Đối với cốt thép căng được đặt ở vùng chịu nén, khi chịu tác dụng của ngoại lực hoặc ở giai đoạn nén trước, cường độ chịu nén tính toán R_{sc} (xem 6.2.2.6, 6.2.2.7, 6.2.2.11, 6.2.2.18) cần được thay bằng ứng suất $\sigma_{sc} = \sigma_{sc,u} - \sigma'_{sp}$ (MPa) nhưng không lớn hơn R_{sc} , trong đó σ'_{sp} được xác định với hệ số $\gamma_{sp} > 1$, $\sigma_{sc,u}$ lấy theo 6.2.2.3.

2.1.4 Cầu kiện chịu uốn tiết diện chữ nhật, chữ T, chữ I và vành khuyên

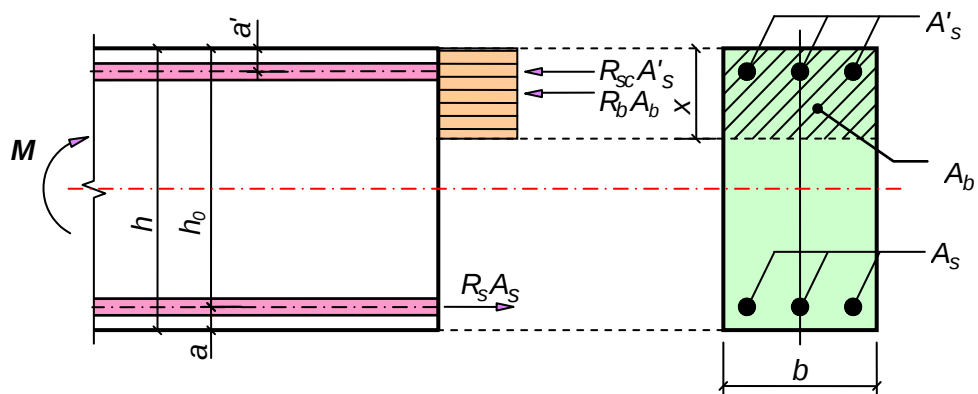
Đối với các tiết diện chữ nhật của cầu kiện chịu uốn nêu trong 6.2.2.2

(Hình 2.3), khi $\xi = \frac{x}{h_0} \leq \xi_R$ cần được tính toán theo điều kiện:

$$M \leq R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a') \quad (2.6)$$

trong đó, chiều cao vùng chịu nén x được xác định từ điều kiện:

$$R_s A_s - R_{sc} A'_s = R_b b x \quad (2.7)$$



Hình 2.3 – Sơ đồ nội lực và biểu đồ ứng suất trên tiết diện thẳng góc với trục dọc cầu kiện bê tông cốt thép chịu uốn khi tính toán theo độ bền

Việc tính toán tiết diện có cánh nằm trong vùng chịu nén khi $\xi = x/h_0 \leq \xi_R$ cần được tiến hành tùy thuộc vào vị trí của biên vùng chịu nén:

a) Nếu biên vùng chịu nén đi qua cánh (Hình 2.4a), nghĩa là thỏa mãn điều kiện:

$$R_s A_s \leq R_b b'_f h'_f + R_{sc} A'_s \quad (2.8)$$

thì việc tính toán được thực hiện như đối với tiết diện chữ nhật có bề rộng b'_f theo 6.2.2.6.

b) Nếu biên vùng chịu nén đi qua bụng dầm (Hình 2.4b) nghĩa là không tuân theo điều kiện (2.8), thì việc tính toán thực hiện theo điều kiện:

$$M \leq R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_b (b'_f - b) h'_f (h_0 - 0,5h'_f) + R_{sc} A'_s (h_0 - a') \quad (2.9)$$

trong đó, chiều cao bê tông vùng chịu nén x được xác định từ điều kiện:

$$R_s A_s - R_{sc} A'_s = R_b b x + R_b (b'_f - b) h'_f \quad (2.10)$$

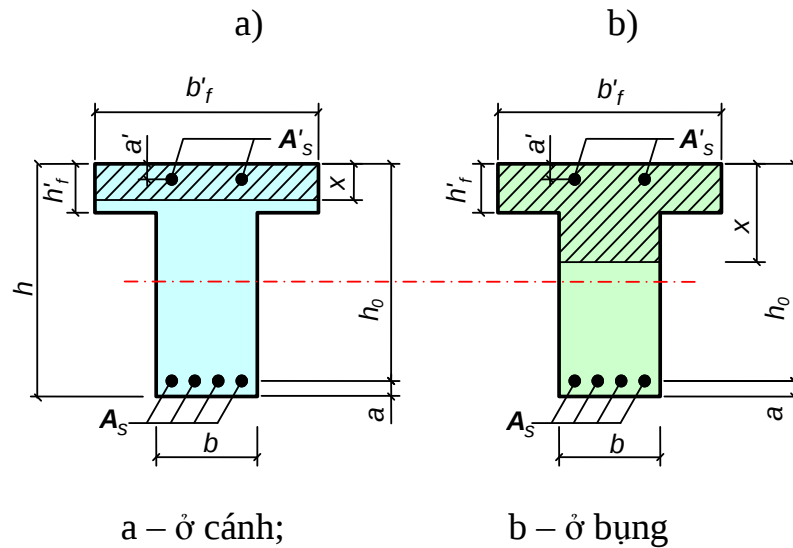
Giá trị b'_f dùng để tính toán được lấy từ điều kiện: bề rộng mỗi bên cánh, tính từ mép bụng dầm không được lớn hơn 1/6 nhịp cầu kiện và lấy b'_f không lớn hơn:

- khi có sườn ngang hoặc khi $h'_f \geq 0,1 h$:1/2 khoảng cách thông thủy giữa các sườn dọc;
- khi không có sườn ngang hoặc khi khoảng cách giữa chúng lớn hơn khoảng cách giữa các sườn dọc, $h'_f < 0,1 h$: $6 h'_f$;
- khi cánh có dạng công xôn:

+ trường hợp $h'_f \geq 0,1 h$: $6 h'_f$

+ trường hợp $0,05 h \leq h'_f < 0,1 h$: ... $3 h'_f$

1. trường hợp $h'_f < 0,05 h$:cánh không kể đến trong tính toán.



**Hình 2.4 – Vị trí biên vùng chịu nén trên tiết diện của cầu kiện
bê tông cốt thép chịu uốn**

3.1.5 Điều kiện hạn chế

Khi tính toán theo độ bền cầu kiện chịu uốn nên tuân theo điều kiện $x \leq \xi_R h_0$. Trường hợp nếu diện tích cốt thép chịu kéo đặt theo yêu cầu cầu tạo hoặc từ tính toán theo các trạng thái giới hạn thứ hai được lấy lớn hơn so với cốt thép yêu cầu để tuân theo điều kiện $x \leq \xi_R h_0$, thì cần tiến hành tính toán theo các công thức dùng cho trường hợp tổng quát (xem 6.2.2.19).

Nếu kết quả tính toán từ công thức (2.7) hoặc (2.10) cho thấy $x > \xi_R h_0$, cho phép tính toán theo các điều kiện (2.6) và (2.9), khi đó chiều cao vùng chịu nén tương ứng được xác định từ các công thức:

$$\sigma_s A_s - R_{sc} A'_s = R_b b x \quad (2.11)$$

$$\sigma_s A_s - R_{sc} A'_s = R_b b x + R_b (b'_f - b) h'_f \quad (2.12)$$

$$\text{trong đó: } \sigma_s = \frac{0,2 + \xi_R}{0,2 + \xi + 0,35 \frac{\sigma_{sp}}{R_s} \left(1 - \frac{\xi}{\xi_R}\right)} R_s \quad (2.13)$$

ở đây

$\xi = x/h_0$ (x được tính với giá trị R_s có kể đến các hệ số điều kiện làm việc tương ứng của cốt thép);

σ_{sp} – được xác định với hệ số $\gamma_{sp} > 1,0$.

Đối với cấu kiện làm từ bê tông cấp B30 và thấp hơn có cốt thép không căng nhóm CI, A-I, CII, A-II, CIII, A-III và Bp-I, khi $x > \xi_R h_0$ cho phép tính theo điều kiện (28) và (31), trong đó thay vào giá trị $x = \xi_R h_0$.

2.2. TIÊU CHUẨN CHÂU ÂU EN. 1992-1-1

Trong khi tính toán cốt thép đơn, nếu $K > K_{\text{bal}} = 0,167$ thì có thể đặt cốt thép A'_s vào vùng bê tông chịu nén.

2.2.1. Quan hệ ứng suất – biến dạng để thiết kế tiết diện ngang.

Để thiết kế tiết diện ngang, có thể sử dụng quan hệ ứng suất – biến dạng sau đây, xem hình 2.5:

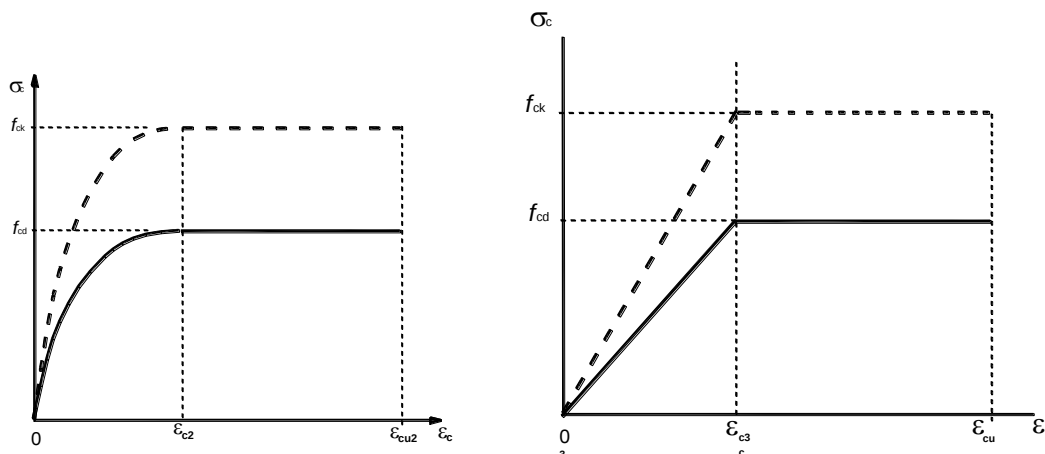
$$\sigma_c = f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] \quad \text{đối với } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2} \quad (2.14)$$

$$\sigma_c = f_{cd} \quad \text{đối với } \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2}$$

Trong đó: n – số mũ, theo bảng 3.1

ε_{c2} – Biến dạng khi đạt cường độ lớn nhất, theo bảng 3.1

ε_{cu2} – Biến dạng giới hạn, theo bảng 3.1



Hình 2.5: Biểu đồ parabol – chữ nhật **Hình 2.6:** Quan hệ ứng suất – biến

Đối với bê tông chịu nén.

dạng theo hai đường.

Những quan hệ ứng suất – biến dạng đơn giản hóa khác có thể được sử dụng nếu tương đương hoặc an toàn hơn so với quan hệ nêu trên, như quan hệ hai đường trên hình 2.6 (ứng suất nén và biến dạng co ngấn biểu diễn bằng giá trị dương) với các giá trị ε_{c3} và ε_{cu3} theo bảng 3.1

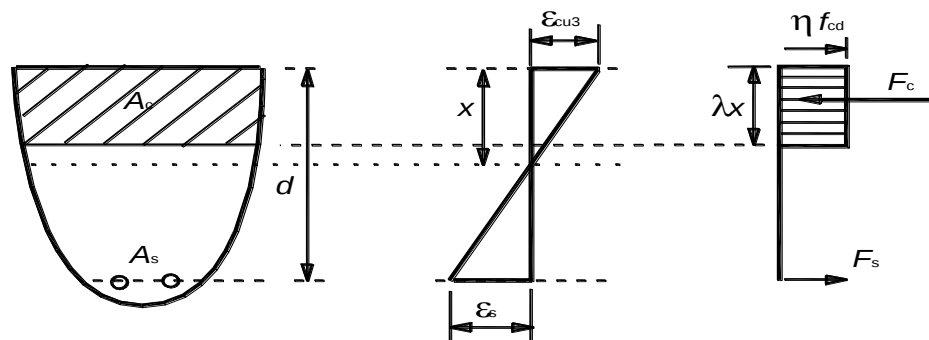
Có thể giả thiết phân bố ứng suất hình chữ nhật (hình 2.7). Hệ số λ xác định chiều cao tính toán của vùng bê tông chịu nén và hệ số η xác định cường độ tính toán như sau:

$$\lambda = 0,8 \quad \text{đối với } f_{ck} \leq 50\text{Mpa}$$

$$\lambda = 0,8 - (f_{ck} - 50)/400 \quad \text{đối với } 50 < f_{ck} \leq 90\text{Mpa}$$

$$\eta = 1,0 \quad \text{đối với } f_{ck} \leq 50\text{Mpa}$$

$$\eta = 1,0 - (f_{ck} - 50)/200 \quad \text{đối với } 50 < f_{ck} \leq 90\text{Mpa}$$



Hình 2.7: Phân bố ứng suất hình chữ nhật

2.2.2. Cường độ chịu kéo khi uốn:

Giá trị trung bình cường độ chịu nén khi uốn của cấu kiện bê tông cốt thép phụ thuộc vào cường độ chịu kéo dọc trung bình và phụ thuộc vào chiều cao của tiết diện ngang. Có thể sử dụng mối quan hệ sau đây;

$$F_{ctm,f1} = \max \left\{ \left(1,6 - \frac{h}{1000} \right) f_{ctm}; f_{ctm} \right\} \quad (2.15)$$

Trong đó: h – Chiều cao tổng cộng của cấu kiện, mm

F_{ctm} – Cường độ chịu kéo trung bình, theo bảng 3.1

Diện tích cốt thép nhỏ nhất và lớn nhất

Diện tích cốt thép dọc chịu kéo phải lấy không nhỏ hơn $A_{s,min}$.

$$A_{s,min}\sigma_s = k_c k_{ct,eff} A_{ct} \quad (2.16)$$

Trong đó: $A_{s,min}$ Là diện tích tối thiểu của cốt thép trong phạm vi vùng kéo

A_{ct} Là diện tích bê tông trong phạm vi vùng kéo.

σ_s Là giá trị tuyệt đối của ứng suất lớn nhất cho phép trong cốt thép.

$F_{ct,eff}$ Là giá trị trung bình cường độ chịu kéo của bê tông tại thời điểm có thể xảy ra vết nứt.

k là hệ số cho phép đối với ảnh hưởng của các ứng suất không đều tự cân bằng.

k_c Là hệ số tính đến sự phân bố ứng suất trong phạm vi tiết diện ngay trước khi nứt và sự thay đổi cánh tay đòn.

Đối với kéo thuần túy, $k_c = 1,0$

Đối với uốn hoặc kết hợp với lực dọc trục

Đối với tiết diện chữ nhật và sườn của tiết diện hộp và chữ T

$$K_c = 0,4 \left[1 - \frac{\sigma_c}{k_1 (h/h^*) f_{ct,eff}} \right] \leq 1 \quad (2.17)$$

Trong đó: σ_c Là ứng suất trung bình của bê tông tác dụng lên phần tiết diện đang xét

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{bh}$$

N_{Ed} là lực dọc trục tại trạng thái giới hạn sử dụng nếu tác dụng lên phần tiết diện ngang đang xét (lực nén có dấu dương).

h^* $h^*=h$ đối với $h < 1,0m$

$h^* = 1,0m$ đối với $h \geq 1,0m$

k_1 là hệ số xét đến các ảnh hưởng của các lực dọc trục đến sự phân

bổ ứng suất.

$k_1 = 1,5$ nếu N_{Ed} là lực nén.

$K_1 = \frac{2h^*}{3h}$ nếu N_{Ed} là lực kéo

Cốt thép trong vùng chịu kéo

$$A'_s = \frac{M - K_1 f_{ck} b d^2}{f_{sc} (d - a')} \quad (2.18)$$

Cốt thép trong vùng chịu nén.

$$A_s = \frac{K_{bal} f_{ck} b d^2}{f_{yd} z_{bal}} + \frac{f_{sc}}{f_{yd}} A'_s \quad (2.19)$$

Trong đó: A'_s Diện tích tiết diện cốt thép chịu kéo

A_s Diện tích tiết diện cốt thép

M Mô men uốn

K_1 Hệ số lấy $= 0,167$

F_{ck} Cường độ chịu nén của bê tông

b Chiều rộng dầm

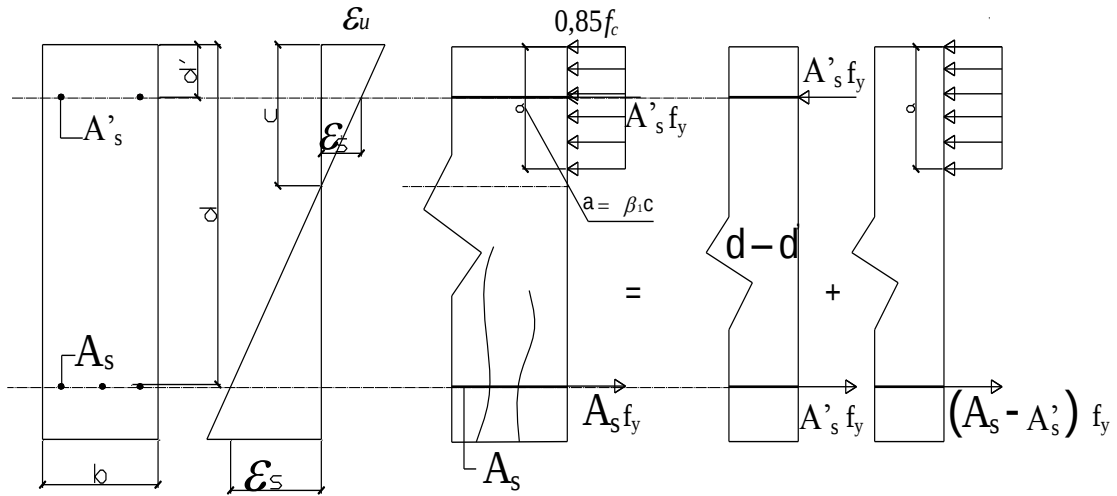
d chiều cao tính toán của tiết diện

f_{yd} , f_{sc} Cường độ chảy dẻo tính toán của cốt thép

z cánh tay đòn nội lực

2.3. TÍNH TOÁN DÀM BÊ TÔNG CỐT THÉP TIÊU CHUẨN MỸ ACI 318 - 2003

2.3.1. Cốt thép trong các vùng kéo và nén đạt đến giới hạn chảy



Hình 2.8 Dầm tiết diện chữ nhật đặt cốt thép kép

Giả thiết ban đầu là cốt thép A_s trong vùng kéo và A'_s trong vùng nén đều đạt đến giới hạn chảy f_y tại thời điểm phá hoại. Từ hình 2.8 có thể phân bèn theo mô men gồm hai phần.

Phần thứ nhất là cặp ngẫu lực của A_s và A'_s ;

$$M_{n1} = A'_s f_y (d - d')$$
(2.20)

Phần thứ hai là phần cốt thép $A_s - A'_s$ tác dụng cùng với bê tông vùng nén.

$$M_{n2} = (A_s - A'_s) f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$
(2.21)

Chiều cao vùng chịu nén hình được xác định trên cơ sở cân bằng lực kéo trong $(A_s - A'_s)$ và lực nén trong bê tông;

$$0,85 f'_c a b + A'_s f_y = A_s f_y$$
(2.22)

$$a = \frac{A_s f_y - A'_s f_y}{0,85 f'_c b}$$
(2.23)

Với $\rho = A_s / bd$ và $\rho' = A'_s / bd$, biểu thức (2.23) có thể viết

$$a = \frac{(\rho - \rho') f_y d}{0,85 f'_c}$$
(2.24)

Tổng độ bền danh nghĩa theo mô men của tiết diện sẽ là;

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} = A'_s f_y (d-d') + (A_s - A'_s) f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.25)$$

Tổng độ bền thiết kế theo mô men sẽ bằng độ bền danh nghĩa nhân với hệ số giảm độ bền $\Phi = 0,9$.

Tương tự như trong cấu kiện bố trí cốt thép đơn, lấy biến dạng của cốt thép $\varepsilon_s = \varepsilon_y$, thiết lập khoảng cách trục trung hòa và thực hiện cân bằng tổng các lực trong cốt thép và bê tông vùng nén ở thời điểm xảy ra phá hoại, ta xác định hàm lượng cốt thép cân bằng đối với cấu kiện bố trí cốt thép;

$$\bar{\rho} = \rho_b + \rho' \quad (2.26)$$

Nhằm đảm bảo tránh hiện tượng phá hoại giòn trong cấu kiện bố trí cốt kép, giống như dầm bố trí cốt đơn, hàm lượng cốt thép tối đa như sau (mục 10.3.3, ACI318);

$$\bar{\rho}_{\max} = 0,75\rho_b + \rho' \quad (2.27)$$

2.3.2. Cốt thép trong vùng nén chưa đạt đến giới hạn chảy f_y

$$\frac{c}{d'} = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_u - \varepsilon_y} \text{ hoặc } c = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_u - \varepsilon_y} d' \quad (2.28)$$

Trong đó: $\varepsilon_u = \varepsilon_y$

Lấy tổng các lực trên hình chiếu nằm ngang, ta có được điều kiện để cốt thép trong vùng nén đạt đến giới hạn chảy:

$$\bar{\rho}_{cy} = 0,85\beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \frac{d'}{d} \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_u - \varepsilon_y} + \rho' \quad (2.29)$$

Lấy $\varepsilon_u = 0,003$ và $\varepsilon_y = f_y / E_s$ với $E_s = 29.000.000 \text{ psi } (2.10^6 \text{ kg/cm}^2)$, ta có:

$$\bar{\rho}_{cy} = 0,85\beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \frac{d'}{d} \frac{87000}{87000 - f_y} + \rho' \quad (2.30)$$

Hoặc
$$\bar{\rho}_{cy} = 0,85\beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \frac{d'}{d} \frac{6000}{6000 - f_y} + \rho' \quad (2.31)$$

Trong đó: f'_c và f_y tính bằng psi đối với (2.30) và tính bằng kg/cm² đối với (2.31). Các đơn vị của d và d' tính bằng in (2.30) và cm (2.31)

Nếu hàm lượng cốt thép chịu kéo nhỏ hơn giới hạn nêu ở trên, khoảng cách trục trung hòa khá lớn và khi đó ứng suất trong cốt thép chịu nén sẽ thấp hơn giới hạn chảy ở giai đoạn phá hoại. Trong trường hợp này hàm lượng cốt thép cân bằng sẽ là:

$$\bar{\rho}_b = \rho_b + \rho' \frac{f'_s}{f_y} \quad (2.32)$$

Trong đó: $f'_s = E_s \varepsilon'_s = E_s \left[\varepsilon_u - \frac{d'}{d} (\varepsilon_u + \varepsilon_y) \right] \leq f_y.$ (2.33)

Do đó, hàm lượng cốt thép tối đa theo quy định (mục 10.3.3, AC318) sẽ là:

$$\bar{\rho}_{\max} = 0,75 \rho_b + \rho' \frac{f'_s}{f_y}$$

(2.35)

II. TÍNH TOÁN KHẢ NĂNG CHỊU CẮT CỦA DÀM BÊ TÔNG CỐT THÉP THEO MỘT SỐ TIÊU CHUẨN.

2.1. KHẢ NĂNG CHỊU CẮT CỦA DÀM THEO TIÊU CHUẨN ACI 318-2003

Khả năng chịu cắt của dầm theo ACI phải thỏa mãn điều kiện:

$$V_u \leq \Phi V_n \quad (2.1)$$

Trong đó:

V_u - tổng lực cắt tính toán tại tiết diện đang xét do tải trọng tính toán gây ra

V_n - Khả năng chịu cắt của dầm

$$\text{Và: } V_n = V_c + V_s \quad (2.2)$$

V_c - khả năng chịu cắt của bê tông

V_s - khả năng chịu cắt của cốt đai trên cơ sở sử dụng mô hình giàn với góc nghiêng 45°

Φ - hệ số giảm độ bền lấy bằng 0,85 đối với lực cắt

2.1.1. Khả năng chịu cắt của bê tông

a. Khi không có lực dọc tác dụng lên cấu kiện dầm

Khả năng chịu cắt của bê tông được xác định theo biểu thức:

$$V_c = (1,9\sqrt{f'_c} + 2500\rho_w \frac{V_u d}{M_u})b_w d \leq 3,5b_w d \sqrt{f'_c} \quad (2.3)$$

Hoặc nếu tính theo đơn vị (cm, kg, kg.cm, kg/cm²)

$$V_c = (0,5\sqrt{f'_c} + 175\rho_w \frac{V_u d}{M_u})b_w d \leq 0,93b_w d \sqrt{f'_c} \quad (2.4)$$

Trong các biểu thức (2.3), (2.4) phải giới hạn tỷ số:

$$\frac{V_u d}{M_u} \leq 1 \quad (2.5)$$

Việc tính toán theo công thức trên là khá phức tạp do ρ_w, V_u, M_u thay đổi theo chiều dài dầm. Do đó ACI cho phép sử dụng công thức sau để xác định V_c :

$$V_c = 2b_w d \sqrt{f'_c} \quad (2.6)$$

Hoặc nếu tính theo đơn vị (cm, kg, kg.cm, kg/cm²):

$$V_c = 0,53\sqrt{f'_c} b_w d \quad (2.7)$$

Trong đó:

V_c : khả năng chịu cắt của bê tông (lb), hoặc (kg);

V_u, M_u : lực cắt và momen quán tính tại tiết diện đang xét do tải trọng tính toán gây ra (lb và lb.in), hoặc (kg, kg.cm);

ρ_w : hàm lượng cốt thép dọc chịu kéo trong dầm (tính đối với phần tử chữ nhật $b_w d$ của tiết diện chữ T, I);

d : chiều cao tính toán của tiết diện dầm (in), hoặc (cm);

b_w : chiều rộng của tiết diện sườn (in), hoặc (cm);

f'_c : độ bền của bê tông (psi), hoặc (kg/cm²);

Công thức (2.6), (2.7) rất thích hợp đối với các vị trí tiết diện có lực cắt lớn, các vị trí gần gối tựa đơn trong dầm đơn giản hoặc các điểm uốn trong dầm liên tục. Tuy nhiên các công thức nêu trên được sử dụng nhiều trong thực tế vì đơn giản.

Khi tính toán khả năng chịu cắt của bê tông với cấp độ bền $f'_c > 420\text{kg/cm}^2$ (6000psi), giá trị V_c thực tế thấp hơn so với tính toán theo công thức (2.3), (2.4), (2.6), (2.7) Vì vậy quy phạm ACI đã giới hạn giá trị:

$$\sqrt{f'_c} \leq 100\text{psi hoặc } (\sqrt{f'_c} \leq 26,5 \text{ kg/cm}^2) \text{ khi áp dụng các công thức trên.}$$

Tuy nhiên nếu tăng số lượng cốt thép tối thiểu cốt thép chịu cắt trong dầm thì có thể sử dụng giá trị $\sqrt{f'_c} \geq 100\text{psi hoặc } (\sqrt{f'_c} \geq 26,5 \text{ kg/cm}^2)$

b. Khi có lực dọc tác dụng lên cầu kiện dầm

Trong trường hợp có lực nén dọc trực tác dụng, khả năng chịu cắt của bê tông được xác định như sau:

$$V_c = \left(1,9\sqrt{f'_c} + 2500 \frac{\rho_w V_u d}{M_u} \right) b_w d \quad (2.8)$$

Hoặc nếu tính theo đơn vị (cm, kg, kg.cm, kg/cm²):

$$V_c = \left(0,5\sqrt{f'_c} + 175 \frac{\rho_w V_u d}{M_u} \right) b_w d \quad (2.9)$$

Trong các biểu thức (2.8) hoặc (2.9) mô men M_u được thay thế bằng:

$$M_m = M_u - N_u \frac{4h - d}{8} \quad (2.10)$$

Khi đó giới hạn tỷ số $V_u d / M_u$ trong các công thức trên không cần nhỏ hơn hoặc bằng 1

Khi đó giới hạn khả năng chịu cắt của dầm $3,5b_w d \sqrt{f'_c}$ theo công thức (2.3) được thay bằng:

$$V_c = 3,5\sqrt{f'_c} b_w d \sqrt{1 + \frac{N_u}{500A_g}} \quad (2.11)$$

Hoặc nếu tính theo đơn vị (cm, kg, kg.cm, kg/cm²):

$$V_c = 0,93\sqrt{f'_c} b_w d \sqrt{1 + \frac{N_u}{35A_g}} \quad (2.12)$$

Trong trường hợp có lực kéo dọc trục N_u tác dụng, khả năng chịu cắt của bê tông được xác định như sau:

$$V_c = 2 \left(1 + \frac{N_u}{500A_g} \right) \sqrt{f'_c} b_w d \quad (2.13)$$

Hoặc nếu tính theo đơn vị (cm, kg, kg.cm, kg/cm²):

$$V_c = 0,53 \left(1 + \frac{N_u}{35A_g} \right) \sqrt{f'_c} b_w d \quad (2.14)$$

Trong đó:

V_c : khả năng chịu cắt của bê tông (lb), hoặc (kg);

V_u, M_u : lực cắt và momen quán tính tại tiết diện đang xét do tải trọng tính toán gây ra (lb và lb.in), hoặc (kg, kg.cm);

ρ_w : hàm lượng cốt thép dọc chịu kéo trong dầm (tính đối với phần tử chữ nhật $b_w.d$ của tiết diện chữ T,I);

d : chiều cao tính toán của tiết diện dầm (in), hoặc (cm);

b_w : chiều rộng của tiết diện sườn (in), hoặc (cm);

f'_c : độ bền của bê tông (psi), hoặc (kg/cm²);

N_u : lực nén (kéo) tính toán (lb), hệ (kg), N_u lấy dấu âm (-) khi kéo;

A_g : diện tích tiết diện dầm $b_w.d$ (in²), hoặc (cm²) tại mặt cắt có nội lực M_u và N_u tác dụng;

Khả năng chịu cắt của dầm theo tiêu chuẩn ACI 318 sử dụng mô hình giàn với góc nghiêng 45⁰ để xác định và được điều chỉnh bằng các kết quả thực nghiệm. Trong các công thức tính toán đã xét đến các yếu tố ảnh hưởng như mô men uốn, hàm lượng cốt dọc và lực nén dọc trục.

2.1.2. Khả năng chịu cắt của cốt thép đai

a. Khả năng chịu cắt của cốt thép đai

Nếu khả năng chịu cắt của bê tông V_c nhỏ hơn lực cắt tính toán tác dụng lên tiết diện $V_u/\Phi = V_n$ thì cần bố trí cốt thép đai trong dầm để chịu phần lực cắt chênh lệch đó.

$$V_s = V_n - V_c \quad (2.15)$$

Nếu các thép đai bố trí nghiêng góc với trục dầm một góc α , lực cắt do thép đai chịu được xác định theo biểu thức:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} (\sin \alpha + \cos \alpha) \quad (2.16)$$

Nếu các thép đai bố trí vuông góc với trục dầm một góc α , lực cắt do thép đai chịu được xác định theo biểu thức:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (2.17)$$

Giới hạn khả năng chịu cắt của bê tông được xác định theo biểu thức:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \leq 8\sqrt{f'_c} b_w d \quad (2.18)$$

Hoặc (nếu tính theo đơn vị (cm, kg, kg.cm, kg/cm²):

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \leq 2,1\sqrt{f'_c} b_w d \quad (2.19)$$

Trong đó:

s - là khoảng cách theo chiều dọc giữa các cốt thép đai, in, hoặc (cm);

b_w - chiều rộng của tiết diện sườn (in), hoặc (cm);

f'_y - giới hạn chảy của cốt thép (psi), hoặc (kg/cm²);

d - chiều cao tính toán của tiết diện dầm (in), hoặc (cm);

A_v - diện tích tiết diện cốt đai trong phạm vi s (in²), hoặc (cm²)

b. Thiết kế cốt thép chịu cắt

Trong trường hợp không có yêu cầu cốt thép chịu cắt theo tính toán, quy phạm [mục 11.5.5, ACI 318] đã qui định số lượng tối thiểu cốt thép chịu cắt phải bố trí cho dầm như sau:

$$A_v = 50 \frac{b_w s}{f_y} \quad (2.20)$$

Hoặc (nếu tính theo đơn vị (cm, cm², kg/cm²):

$$A_v = 3,5 \frac{b_w s}{f_y} \quad (2.21)$$

Số lượng cốt thép chịu cắt được qui định cho các đoạn dầm có lực cắt tính toán lớn hơn $\frac{1}{2}$ khả năng chịu cắt của bê tông $V_u > \frac{1}{2} \Phi V_c$. Qui định này không bắt buộc đối với bản sàn, móng, dầm mái, dầm có chiều cao

không lớn hơn 25cm (10in) hoặc không lớn hơn 2,5 lần chiều dày của bản cánh hoặc $\frac{1}{2}$ bề rộng sườn (chọn giá trị lớn nhất).

Vùng bố trí cốt thép chịu cắt, phải bố trí cốt thép chịu cắt theo tính toán cho các vị trí của dầm có yêu cầu cốt thép chịu cắt. Trong trường hợp ngược lại trong dầm phải bố trí cốt thép chịu cắt với số lượng tối thiểu như đã nêu, ngoại trừ trường hợp lực cắt tính toán trong dầm $V_u < \frac{1}{2} \Phi V_c$.

Khi thiết kế ta phải chọn loại thép chịu cắt (cốt đai, cốt xiên) theo cốt thép dọc có trong dầm. Khi đó xác định bước cốt thép đai hoặc cốt thép xiên trong dầm:

Khoảng cách của cốt thép đai:

$$s = \frac{\Phi A_v f_y d}{V_u - \Phi V_c} \quad (2.22)$$

Khoảng cách của cốt thép xiên:

$$s = \frac{\Phi A_v f_y d (\sin \alpha + \cos \alpha)}{V_u - \Phi V_c} \quad (2.23)$$

Lưu ý A_v là tổng diện tích cốt thép đai bố trí trong khoảng s , hay tổng diện tích các nhánh đai trong cốt thép đai.

Khi dùng đến cốt thép xiên góc nghiêng của thanh thép uốn lên phải không nhỏ hơn 30° so với trục dọc của cầu kiện thường được lấy bằng 45°

Cấu tạo khi bố trí cốt thép đai:

$$s_{min} > 4in (10cm)$$

Theo quy định mục [mục 11.5.4, ACI 318]:

Khi $V_s \leq 4\sqrt{f'_c} b_w d$ hoặc $V_s \leq 1,06\sqrt{f'_c} b_w d$ khi tính toán theo đơn vị cm, kg, kg/cm² khoảng cách tối đa giữa các cốt thép đai không lớn hơn các giá trị:

$$s_{max} = \frac{A_v f_y}{50 b_w} \quad (2.24)$$

Hoặc (nếu tính theo đơn vị (cm, cm², kg/cm²):

$$s_{\max} = \frac{A_v f_y}{3,5b_w} \quad (2.25)$$

$$s_{\max} = \frac{d}{2} \quad (2.26) \quad s_{\max} = 60\text{cm}(24\text{in})$$

$$(2.27)$$

Đối với thép xiên 45° thì công thức (2.26) thay bằng:

$$s_{\max} = \frac{3d}{4} \quad (2.28)$$

Khi $V_s > 4\sqrt{f'_c}b_w d$ hoặc $V_s > 1,06\sqrt{f'_c}b_w d$ khi tính toán theo đơn vị cm, kg, kg/cm² khoảng cách tối đa $s_{\max}$ trong công thức (2.26), (2.27) phải lấy đi giảm $\frac{1}{2}$ giá trị

Nhận xét: TC ACI 318 trong quá trình tính toán khả năng chịu cắt:

- Không xét đến chiều dài tiết diện nghiêng c .
- Xét đến các yếu tố đặc trưng cường độ bê tông.
- Xét đến ảnh hưởng của lực dọc đến khả năng chịu cắt của bê tông.
- Không xét đến dạng tải trọng là tải phân bố đều hay tải tập trung.
- Xét đến ảnh hưởng của hàm lượng cốt dọc.
- Xét đến ảnh hưởng của momen.
- Không kể đến ảnh hưởng của bê tông vùng kéo.

2.2. KHẢ NĂNG CHỊU CẮT CỦA DÀM THEO TIÊU CHUẨN EN:1992-1-1

2.2.1. Khả năng chịu cắt của bê tông

Khi bê tông đủ khả năng chịu cắt thì không cần tính toán cốt đai mà chỉ cần đặt theo cấu tạo. Điều kiện này là:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} \quad (2.29)$$

Trong đó:

V_{Ed} : lực cắt tính toán;

$V_{Rd,c}$: khả năng chịu cắt của bê tông;

Giá trị $V_{Rd,c}$ được xác định theo công thức thực nghiệm:

$$V_{Rd,c} = \left[0,12k(100\rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1\sigma_{cp} \right] b_w d \geq V_{Rd,c\min} \quad (2.30)$$

Với:

$$V_{Rd,c\min} = (0,035k^{3/2}f_{ck}^{1/2} + k_1\sigma_{cp})b_wd \quad (2.31)$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \quad (2.32)$$

d : chiều cao làm việc của tiết diện (tính bằng mm);

ρ_1 : hàm lượng cốt thép chịu kéo;

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w d} \leq 0,02 \quad (2.33)$$

A_{sl} : diện tích cốt thép chịu kéo với phần kéo dài qua tiết diện đang xét không nhỏ hơn chiều dài ($l_{bd} + d$);

l_{bd} : chiều dài neo;

b_w : bề rộng nhỏ nhất của tiết diện trong vùng chịu kéo (mm).

σ_{cp} : ứng suất trong bê tông (MPa);

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0,2 f_{cd} \quad (2.34)$$

k_1 : hệ số xét đến ảnh hưởng của lực dọc trục;

N_{Ed} : lực dọc trục N trên tiết diện ngang do tải trọng hoặc ứng suất trước ($N_{Ed} > 0$ đối với lực nén);

A_c : diện tích tiết diện bê tông (mm²);

2.2.2. Điều kiện hạn chế

Điều kiện hạn chế khi tính toán cường độ trên tiết diện nghiêng là phải đảm bảo các dải nghiêng bê tông không bị nén vỡ do các ứng suất chính. Thông thường khi ứng suất nén chính không vượt quá cường độ chịu nén f_{cd} (nén một trục) thì bê tông không bị phá hoại. Tuy nhiên các dải nén chịu nén và kéo theo hai phương vuông góc, điều đó làm giảm khả năng chịu nén của bê tông và được xét đến thông qua hệ số v_1 .

$$v_1 = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \quad (2.35)$$

Với f_{ck} có đơn vị (MPa).

Khi ứng suất tính toán trong cốt thép chịu cắt nhỏ hơn 80% giá trị giới hạn chảy đặc trưng f_{yk} , $v_1 = 0,6$ cho bê tông có $f_{ck} \leq 60$ (MPa)

Tiêu chuẩn EN2 sử dụng mô hình đàn ảo để tính toán lực cắt nên ứng suất nén trung bình trong mỗi thanh xiên là:

$$\sigma_{cd} = \frac{V_{Ed}}{\sin \theta \cdot \cos \theta \cdot b_w \cdot z} \quad (2.36)$$

Từ phương trình (2.54)) khi $\sigma_{cp} = \nu_1 f_{cd}$ ta có:

$$V_{Rd,max} = \frac{\nu_1 f_{cd} b_w z}{\cot \theta + \tan \theta} \quad (2.37)$$

Thay $z=0,9d$ và giá trị ν_1 vào (2.37)

$$V_{Rd,max} = \frac{0,36 b_w d (1 - f_{ck} / 250) f_{ck}}{\cot \theta + \tan \theta} \quad (2.38)$$

Điều kiện để bê tông không bị nén vỡ do ứng suất chính:

$$V_{Ed} < V_{Rd,max} \quad (2.39)$$

Khi $\theta = 22^\circ$

$$V_{Rd,max(22)} = 0,124 b_w d (1 - \frac{f_{ck}}{250}) f_{ck} \quad (2.40)$$

Khi $\theta = 45^\circ$

$$V_{Rd,max(45)} = 0,18 b_w d (1 - \frac{f_{ck}}{250}) f_{ck} \quad (2.41)$$

2.2.3. Khả năng chịu cắt của cốt thép đai

a. Khả năng chịu cắt của cốt thép đai

Khả năng chịu cắt của cốt thép đai được xác định theo biểu thức:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} z f_{ywd} \cot \theta}{s} \quad (2.41a)$$

Trong đó:

$V_{Rd,s}$: khả năng chịu cắt của cốt đai;

A_{sw} : diện tích tiết diện cốt đai trong phạm vi s ;

f_{ywd} : giới hạn chảy của cốt thép;

z : cánh tay đòn của mô men uốn $\geq 0,9d$;

θ : góc nghiêng của ứng suất nén chính so với trục dọc của cầu kiện;

s : khoảng cách giữa các cốt đai theo chiều dọc cầu kiện;

b. Thiết kế cốt thép chịu cắt

Cốt đai đặt trong dầm được xác định bởi 2 đại lượng: đường kính, số nhánh n và khoảng cách đai s . Người ta căn cứ vào độ lớn của dầm để giả thiết đường kính, số nhánh rồi tính khoảng cách s theo lực cắt. Số nhánh cốt đai được chọn cần thỏa mãn yêu cầu giữa hai nhánh cốt đai, khoảng cách đó không lớn hơn $s_{b,max} = 0,75d < 600\text{mm}$. Khoảng cách nhỏ nhất giữa các cốt đai được xác định từ yêu cầu đổ bê tông và không nhỏ hơn 80mm.

Quy trình tính toán cốt đai tiến hành dựa trên việc lựa chọn θ như sau:

Kiểm tra điều kiện (2.40) với $\theta = 22^\circ$. Nếu điều kiện trên không thỏa mãn, từ (2.30) thay $V_{Ed} = V_{Rd,max}$ và tính θ

$$\theta = 0,5 \sin^{-1} \left(\frac{V_{Ed}}{0,18 b_w d \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) f_{ck}} \right) \leq 45^\circ \quad (2.42)$$

Nếu $\theta > 45^\circ$, cần điều chỉnh lại kích thước dầm hoặc tăng cấp độ bền bê tông.

Khoảng cách cốt đai:

$$s = \frac{0,9 d f_{ywd} A_{sw} \cot g \theta}{V_{Ed}} \leq s_{l,max} = 0,75d \leq 600\text{mm} \quad (2.43)$$

Diện tích cốt đai không được nhỏ hơn $A_{sw,min}$

$$\frac{A_{sw,min}}{s} = \frac{0,08 b_w \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \quad (2.44)$$

Nhận xét: TC EN: 1992-1-1 trong quá trình tính toán khả năng chịu cắt :

- Không xét đến chiều dài tiết diện nghiêng c .
- Xét đến các yếu tố đặc trưng cường độ bê tông.
- Xét đến ảnh hưởng của lực dọc đến khả năng chịu cắt của bê tông.
- Không xét đến dạng tải trọng là tải phân bố đều hay tải tập trung.
- Xét đến ảnh hưởng của hàm lượng cốt dọc.
- Xét đến ảnh hưởng của momen.
- Không kể đến ảnh hưởng của bê tông vùng kéo

2.5. KHẢ NĂNG CHỊU CẮT CỦA DÀM THEO TIÊU CHUẨN TCVN 5574:2012

Tính toán cầu kiện bê tông cốt thép trên tiết diện nghiêng cần được thực hiện để đảm bảo độ bền chịu các tác động của:

Chịu tác động của lực cắt trên dãi nghiêng giữa các vết nứt xiên.

Chịu tác động của lực cắt trên vết nứt xiên.

2.5.1. Tính toán các dãi nghiêng chịu nén giữa các vết nứt xiên

Cầu kiện bê tông cốt thép chịu tác dụng của lực cắt cần được tính toán để đảm bảo bên trên dãi nghiêng giữa các vết nứt xiên theo điều kiện:

$$Q \leq 0,3\varphi_{w1}\varphi_{b1}R_bbh_0 \quad (2.56)$$

Trong đó:

Q : lực cắt lấy ở cách gối tựa một khoảng không nhỏ hơn h_0 ;

φ_{w1} : hệ số xét đến ảnh hưởng của cốt đai thẳng góc với trục dọc cầu kiện được xác định theo công thức:

$$\varphi_{w1} = 1 + 5\alpha\mu_w \leq 1,3 \quad (2.57)$$

$$\text{Với: } \alpha = \frac{E_s}{E_b} \quad (2.58)$$

$$\mu = \frac{A_{sw}}{bs} \quad (2.59)$$

E_s : mô đun đàn hồi của cốt thép đai;

E_b : mô đun đàn hồi của bê tông;

A_{sw} : diện tích tiết diện ngang của các nhánh cốt thép đai đặt trong một mặt phẳng vuông góc với trục cầu kiện và cắt qua tiết diện nghiêng;

s : khoảng cách giữa các cốt đai theo chiều dọc cầu kiện;

φ_{b1} : hệ số xét đến khả năng phân phối lại nội lực của các loại bê tông khác nhau:

$$\varphi_{b1} = 1 - \beta R_b \quad (2.60)$$

β : hệ số tùy thuộc loại bê tông cho ở (bảng 2.1.);

R_b : cường độ chịu nén tính toán dọc trục của bê tông tính bằng MPa;

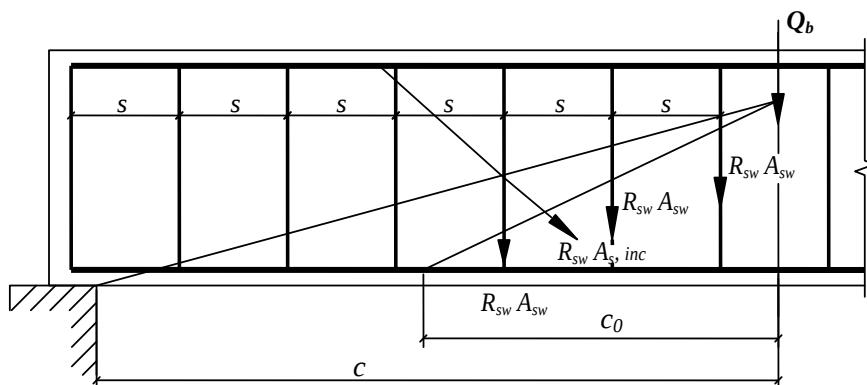
b : chiều rộng của tiết diện chữ nhật; chiều rộng sườn của tiết diện chữ I;

h_0 : chiều cao tính toán của tiết diện thẳng góc;

Khi điều kiện (2.56) không được thoả mãn thì cần phải tăng kích thước tiết diện hoặc tăng cấp độ bền của bê tông.

2.5.2. Tính toán tiết diện nghiêng chịu lực cắt

a. Đối với kết cấu bê tông cốt thép có cốt thép đai chịu lực cắt



Hình 2.1: Sơ đồ tính toán cường độ trên tiết diện nghiêng

Đối với kết cấu bê tông cốt thép có cốt thép ngang (hình 2.1.) chịu lực cắt, để đảm bảo độ bền theo vết nứt xiên cần tính toán với tiết diện nghiêng nguy hiểm nhất theo điều kiện:

$$Q \leq Q_b + Q_{sw} + Q_{s,inc} \quad (2.61)$$

Trong đó:

Q : lực cắt được xác định từ ngoại lực đặt ở một phía của tiết diện nghiêng đang xét;

Q_{sw} và $Q_{s,inc}$: lực cắt được xác định bằng tổng hình chiếu hình chiếu của nội lực tới hạn tương ứng trong cốt thép đai và cốt thép xiên cắt qua vết nứt xiên nguy hiểm lên trục vuông góc với trục cầu kiện;

$Q_{s,inc} = 0$ khi chỉ bố trí cốt thép đai để chịu lực cắt;

Q_b : lực cắt do riêng bê tông chịu, xác định theo công thức thực:

$$Q_b = \frac{\varphi_{b2}(1 + \varphi_f + \varphi_n)R_{bt}bh_0^2}{c} \quad (2.62)$$

Trong đó:

c : là chiều dài hình chiếu của tiết diện nguy hiểm nhất lên trục cầu kiện;

φ_{b2} : hệ số xét đến ảnh hưởng của loại bê tông cho ở (bảng 2.1.);

φ_f : hệ số xét đến ảnh hưởng của cánh chịu nén trong tiết diện chữ I được xác định theo công thức:

$$\varphi_f = 0,75 \frac{(b'_f - b)h'_f}{bh_0} \leq 0,5 \quad (2.63)$$

Trong đó:

b'_f : lấy không lớn hơn $(b + 3h'_f)$ và cốt thép ngang cần được neo vào cánh;

φ_n : hệ số xét đến ảnh hưởng của lực dọc, được xác định như sau:

Khi chịu lực nén dọc, xác định theo công thức:

$$\varphi_n = 0,1 \frac{N}{R_{bt}bh_0} \leq 0,5 \quad (2.64)$$

Đối với cầu kiện ứng lực trước công thức (2.64) thay N bằng lực nén trước P , ảnh hưởng có lợi của lực nén dọc trục sẽ không được xét đến nếu lực nén dọc trục gây ra mô men uốn cùng dấu với mô men do tác dụng của tải trọng ngang gây ra.

Khi chịu lực kéo dọc trục, xác định theo công thức:

$$\varphi_n = -0,2 \frac{N}{R_{bt}bh_0} \quad (2.65)$$

Nhưng giá trị lấy $|\varphi_n| \leq 0,8$.

Giá trị của $(1 + \varphi_f + \varphi_n) \leq 1,5$ trong mọi trường hợp.

Giá trị Q_b được tính trong công thức (2.62) lấy không nhỏ hơn

$$Q_b \geq Q_{b\min} = \varphi_{b3}(1 + \varphi_f + \varphi_n)R_{bt}bh_0 \quad (2.65a)$$

φ_{b3} : hệ số được lấy cho ở (bảng 2.1.)

Đối với cầu kiện chỉ đặt cốt thép đai thẳng góc với trục dọc cầu kiện có bước đai không đổi trong khoảng tiết diện nghiêng đang xét, giá trị c_0 ứng với cực tiểu của biểu thức $(Q_b + Q_{sw})$ xác định theo công thức:

$$c_0 = \sqrt{\frac{\varphi_{b2}(1 + \varphi_f + \varphi_n)R_{bt}bh_0^2}{q_{sw}}} \quad (2.66)$$

Trong đó:

c_0 : hình chiếu của vết nứt xiên nguy hiểm lên trục dọc cầu kiện, giá trị $c_0 \leq 2h_0$ và c , đồng thời $c_0 \geq$ nếu $c > h_0$;

Trong công thức xác định Q_b thay giá trị c bằng c_0

q_{sw} : là nội lực cốt thép đai trên một đơn vị chiều dài cầu kiện, và được xác định theo công thức:

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} A_{sw}}{s} \quad (2.67)$$

R_{sw} : là cường độ chịu kéo tính toán của cốt thép đai;

Đối với cầu kiện như vậy lực cắt Q_{sw} được xác định theo công thức:

$$Q_{sw} = q_{sw} c_0 \quad (2.68)$$

Khi đó cốt thép đai xác định theo tính toán phải thỏa mãn điều kiện:

$$q_{sw} \geq \frac{\varphi_{b3}(1 + \varphi_f + \varphi_n)R_{bt}b}{2} \quad (2.69)$$

Ngoài ra cốt thép đai thỏa mãn các yêu cầu trong 8.7.5 đến 8.7.7 [14]

b. Đối với kết cấu bê tông cốt thép không có cốt thép đai chịu lực cắt

Để đảm bảo độ bền trên vết nứt xiên cần tính toán đối với vết nứt xiên nguy hiểm nhất theo điều kiện:

$$Q \leq \frac{\varphi_{b4}(1 + \varphi_n)R_{bt}bh_0^2}{c} \quad (2.70)$$

Trong đó:

$$\varphi_{b3}(1 + \varphi_n)R_{bt}bh_0^2 \leq \frac{\varphi_{b4}(1 + \varphi_n)R_{bt}bh_0^2}{c} \leq 2,5R_bbh_0 \quad (2.71)$$

φ_{b4} : hệ số được lấy cho ở (bảng 2.1.).

Bảng 2.1. Các hệ số φ_{b2} , φ_{b3} , φ_{b4} và β

Loại bê tông		φ_{b2}	φ_{b3}	φ_{b4}	β
Bê tông nặng và bê tông tổ ong		2,00	0,60	1,50	0,01
Bê tông hạt nhỏ		1,70	0,50	1,20	0,01
Bê tông nhẹ có mác theo khối lượng trung bình	>D1900	1,90	0,50	1,20	
	>D1800	1,7 ÷ 1,5	0,4	1,00	

Chú thích: Khi dùng cốt thép dọc là nhóm C-IV; A-IV; A-IIIB hoặc cốt thép nhóm A-V; AVI; AT-VII (dùng kết hợp) các hệ số φ_{b2} , φ_{b3} , φ_{b4} và β cần phải nhân với hệ số 0,8.

2.5.3. Tính toán theo giáo trình kết cấu bê tông cốt thép

Tiêu chuẩn TCVN 5574-2012 đưa ra các điều kiện để tính toán khả năng chịu cắt. Để vận dụng tiêu chuẩn vào tính toán thiết kế, giáo trình Kết cấu bê tông cốt thép của bộ môn BTCT - Trường Đại học xây dựng Hà Nội đã đưa ra các chỉ dẫn và các công thức tính toán, trong đó có những công thức đã được diễn giải, biến đổi để phù hợp và thuận lợi cho công tác tính toán.

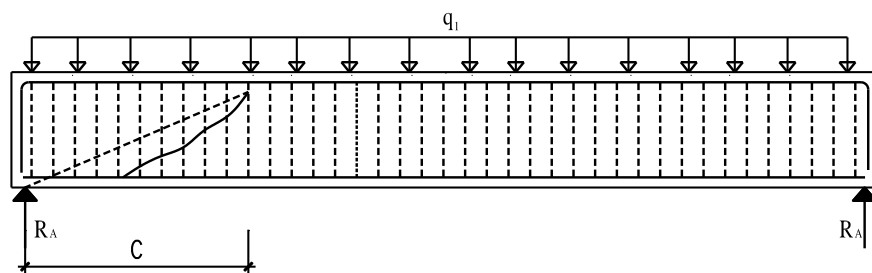
Dựa vào nội dung cần đảm bảo độ bền theo tiết diện nghiêng giữa các cốt thép đai, người ta đưa ra điều kiện hạn chế đối với khoảng cách s của cốt thép đai khi kể đến trong tính toán:

$$s \leq s_{\max} = \frac{\varphi_{b4}(1 + \varphi_n)R_{bt}bh_0}{Q_A} \quad (2.72)$$

Để tính toán chia ra hai trường hợp: dầm chịu tải trọng phân bố đều và dầm chịu tải trọng tập trung.

a. Dầm chịu tải trọng phân bố đều

Khi dầm chịu tải trọng phân bố đều q_l đặt ở mép trên (hình 2.2.) thì lực cắt Q tác dụng một phía của tiết diện nghiêng: $Q = R_A - q_l c$



Hình 2.2: Sơ đồ tính dầm chịu tải trọng phân bố đều

Trong đó:

R_A : phản lực gối tựa (hình 2.2.).

Ta có:

$$Q_A = R_A \text{ vậy } Q = Q_A - q_l c$$

Q_A : lực cắt lớn nhất tại tiết diện thẳng góc đi qua điểm đầu của tiết diện nghiêng;

Đem giá trị của Q vào điều kiện (2.56) với $Q_{s.inc} = 0$; $Q_{sw} = q_{sw}c$ và lấy Q_b theo biểu thức (2.61) ta được:

$$Q = Q_A - q_1 c \leq \frac{M_b}{c} + q_{sw} c \Leftrightarrow Q_A \leq \frac{M_b}{c} + (q_{sw} + q_1) c \quad (2.73)$$

Trong tính toán người ta đề nghị lấy q_1 như sau:

$$q_1 = g + \frac{v}{2} \quad (2.74)$$

g : tải trọng thường xuyên phân bố đều;

v : phần tải trọng tạm thời phân bố đều;

Bài toán kiểm tra khả năng chịu lực:

Khi đã có cấu tạo của cốt thép đai thoả mãn các điều kiện về cấu tạo và khả năng chịu lực, yêu cầu kiểm tra khả năng chịu lực.

Tính q_{sw} theo công thức (2.67), kiểm tra điều kiện (2.69).

Tính c phụ thuộc tương quan giữa q_1 và q_{sw} .

Khi $q_1 \leq 0.56 q_{sw}$ thì tính c theo công thức:

$$c = \sqrt{\frac{M_b}{q_1}} \quad (2.75)$$

Khi $q_1 > 0.56 q_{sw}$ thì tính c theo công thức:

$$c = \sqrt{\frac{M_b}{q_1 + q_{sw}}} \quad (2.76)$$

Dùng giá trị c để tính Q_b theo công thức (2.62) và $Q = Q_A - q_1 c$

Tính giá trị c_0 theo công thức (2.66) và $Q_{sw} = q_{sw} c_0$

Điều kiện kiểm tra là: $Q \leq Q_b + Q_{sw}$ (điều kiện 2.61)

b. Dầm chịu tải trọng tập trung

Khi dầm chịu tải trọng tập trung cần tính toán hoặc kiểm tra với tất cả các tiết diện nghiêng xuất phát từ gối tựa đến các điểm đặt lực tập trung nhưng không vượt quá tiết diện có momen lớn nhất.

Đặt ν là khoảng cách theo phương trục dầm từ gối tựa đến đường tác dụng của tải trọng tập trung, xét các tiết diện nghiêng sau:

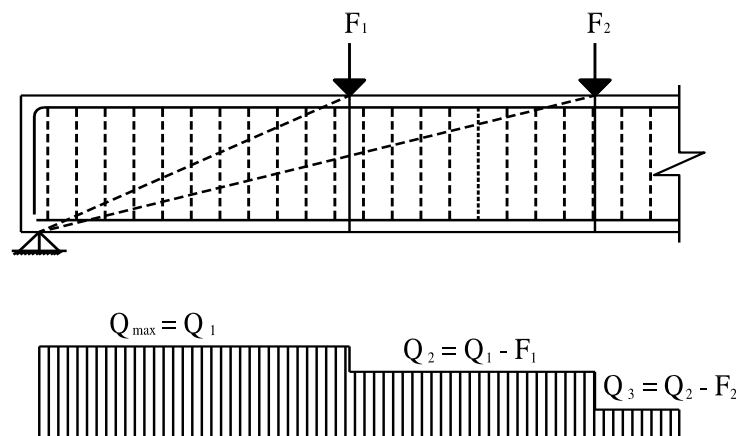
Tiết diện 1 với hình chiếu $c_1 \leq \nu_1$ có lực cắt $Q_1 = Q_{\max}$.

Tiết diện 2 có điểm cuối nằm giữa F_1 và F_2 với hình chiếu c_2 mà $\nu_1 \leq c_2 \leq \nu_2$ có lực cắt $Q_2 = Q_1 - F_1$.

Đoạn tiết theo có lực cắt $Q_3 = Q_2 - F_2$. Nếu lực cắt Q_3 vẫn còn lớn hơn $Q_{b.o}$ theo công thức 2.2 thì còn xuất hiện thêm tiết diện 3 với hình chiếu c_3 mà $\nu_2 \leq c_3 \leq \nu_3 \dots$

Tiếp tục xét các tiết diện như vậy cho đến đoạn thứ k mà $Q_k \leq Q_{b.o}$ hoặc c_k đạt tới khoảng cách từ gối tựa đến tiết diện có momen lớn nhất (nhưng

$$c_k \leq \frac{\varphi_{b2}}{\varphi_{b3}} \cdot h_0)$$



Hình 2.3.: Sơ đồ tính toán dầm chịu tải trọng tập trung

Bài toán kiểm tra khả năng chịu lực:

Trong mỗi đoạn dầm, vì lực cắt không đổi nên tiết diện nguy hiểm nhất là tiết diện xuất phát từ gối tựa đến điểm đặt lực tập trung (hình chiếu c dài nhất, Q_b bé nhất trong đoạn đang xét). Vì vậy cần kiểm tra tất các tiết diện nghiêng xuất phát từ gối tựa đến các điểm đặt lực tập trung nhưng không vượt quá tiết diện có momen lớn nhất.

Ứng với mỗi tiết diện c_i và Q_i ($i = 1, 2, 3, \dots$) tính $Q_{bi} = \frac{M_b}{c_i}$

(2.77)

Kiểm tra $Q_{bi} > Q_{bmin}$ theo công thức (2.65a)

Tính q_{sw} theo (2.67) và kiểm tra điều kiện (2.69)

Tính c_{0i} theo (2.66) và $Q_{sw} = q_{sw} \cdot c_{0i}$ ($c_{0i} \leq 2h_0$)

Điều kiện kiểm tra: $Q_i \leq Q_{bi} + Q_{sw}$

Bài toán tính cốt thép:

Ứng với mỗi đoạn, tính Q_{bi} theo công thức (2.77)

Tính hệ số χ_i (theo 2.78):

$$\chi_i = \frac{Q_i - Q_{bi}}{Q_{bi}} \quad (2.78)$$

Lấy $c_0 = c_i$ nhưng không lớn hơn $2h_0$, tính:

$$\chi_{0i} = \frac{Q_{bmin}}{Q_{bi}} \cdot \frac{c_0}{2h_0} \quad (2.79)$$

Tính toán giá trị theo các trường hợp sau:

$$\text{Trường hợp 1: Nếu } \chi_i < \chi_{0i} \text{ thì } q_{swi} = \frac{Q_i}{c_0} \cdot \frac{\chi_{0i}}{\chi_{0i} + 1} \quad (2.80)$$

$$\text{Trường hợp 2: Nếu } \chi_{0i} \leq \chi_i \leq \frac{c_i}{c_0} \text{ thì } q_{swi} = \frac{Q_i - Q_{bi}}{c_0} \quad (2.81)$$

$$\text{Trường hợp 3: Nếu } \frac{c_i}{c_0} \leq \chi_i \leq \frac{c_i}{h_0} \text{ thì } q_{swi} = \frac{(Q_i - Q_{bi})^2}{M_b} \quad (2.82)$$

$$\text{Trường hợp 4: Nếu } \chi_i > \frac{c_i}{h_0} \text{ thì } q_{swi} = \frac{Q_i - Q_{bi}}{h_0} \quad (2.83)$$

Ở đây lấy $h_0 \leq c_i$ và chọn q_{swi} lớn nhất.

Nhận xét: TCVN 4457-2012 trong quá trình tính toán khả năng chịu cắt:

- Xét đến ảnh hưởng của lực dọc đến khả năng chịu cắt của bê tông thông qua hệ số φ_n .
- Xét đến ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép đai φ_{wl} , ảnh hưởng tương quan giữa mô đun đàn hồi của bê tông và cốt thép (E_s/E_b).

- Xét đến khả năng phân phối lại nội lực của các loại bê tông khác nhau φ_{b1} đến khả năng chịu nén của bê tông ở các dải nghiêng nằm giữa các vết nứt xiên.
- Xét đến dạng tải trọng là tải phân bố đều hay tải tập trung.
- Xét đến tiết diện nghiêng c.
- Không xét đến ảnh hưởng của hàm lượng cốt dọc.
- Không kể đến ảnh hưởng của momen.
- Không kể đến ảnh hưởng của bê tông vùng kéo.

2.6. NHẬN XÉT:

Khi diện tích cốt thép chịu nén lớn thì ứng suất tập trung tại vùng nén lớn do đó khi cường độ bê tông không đảm bảo thì dẫn đến phá hoại của vùng nén.

Các tiêu chuẩn đều có cùng quan điểm là khả năng chịu cắt của dầm BTCT bằng khả năng chịu cắt của cốt thép đai và khả năng chịu cắt của bê tông dầm. Nhưng cách xác định khả năng chịu cắt của bê tông, cốt thép đai với cách tính toán giữa các tiêu chuẩn có sự khác nhau, khác nhau về các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng chịu cắt được kể đến,

Để có thể xem xét một cách tổng quát hơn các tiêu chuẩn TCVN 5574:2012, ACI 318, EN: 1992-1-1 về khả năng chịu cắt của dầm BTCT, ta tiến hành lập bảng tổng hợp thống kê các yếu tố ảnh hưởng được kể đến trong mỗi tiêu chuẩn.

Bảng 2.2: Thống kê các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng chịu cắt của dầm BTCT được đề cập đến trong các tiêu chuẩn hiện hành.

STT	Các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng chịu cắt của dầm BTCT	TCVN 5574:2012	TC HOA KỲ ACI 318	TC CHÂU ÂU EN:1992-1-1
1	Cánh chữ I	+		

2	Mô men uốn		+	+
2	Hàm lượng cốt dọc		+	+
3	Bề rộng tiết diện	+	+	+
4	Chiều cao tiết diện	+	+	+
5	Lực kéo dọc trục	+	+	+
6	Lực nén dọc trục	+	+	+
7	Bê tông vùng kéo			

Cách xác định khả năng chịu cắt của bê tông và cốt đai theo các tiêu chuẩn TCVN 5574:2012 là khá phức tạp, phụ thuộc vào nhiều hệ số và biến số, phân ra nhiều trường hợp tải trọng khác nhau.

Khả năng chịu cắt của bê tông biến thiên tương đối lớn khi nhịp chịu cắt thay đổi

Theo công thức 2.65a, 2.70, 2.71 và điều kiện kiểm tra

$$Q_{b\min} = \varphi_{b3}(1 + \varphi_f + \varphi_n)R_{bt}bh_0 \leq Q_b = \frac{\varphi_{b2}(1 + \varphi_f + \varphi_n)R_{bt}bh_0^2}{c} = \frac{M_b}{c}$$

$$Q_b = \frac{\varphi_{b2}(1 + \varphi_f + \varphi_n)R_{bt}bh_0^2}{c} = \frac{M_b}{c} \leq 2,5R_{bt}bh_0 = Q_{b\max}$$

$$\Leftrightarrow \frac{\varphi_{b2}(1 + \varphi_n + \varphi_f)}{2,5}h_0 \leq c_{\min} \leq c \leq c_{\max} = \frac{\varphi_{b2}}{\varphi_{b3}}h_0$$

Tiết diện nghiêng c_0 trong quá trình tính toán cốt đai được giới hạn: $h_0 \leq c_0 \leq 2h_0$, trong khi các tiêu chuẩn nước ngoài thì chỉ xét $c_0 = h_0$. Điều đó cho kết quả khả năng chịu cắt của cốt đai theo TCVN 5574-2012 lớn hơn rất nhiều (có thể gấp đôi) so với tiêu chuẩn nước ngoài.

Ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép dọc, cốt thép dọc cũng tham gia chịu lực cắt và cũng ảnh hưởng tới khả năng chịu cắt của dầm BTCT, đôi với tiêu chuẩn ACI 318 EN: 1992-1-1 thông qua thành phần ρ_w , ρ_l , tiêu chuẩn TCVN 5574-2012 không xét đến yếu tố này.

Yếu tố tiết diện có ảnh hưởng trực tiếp tới khả năng chịu cắt của bê tông tức là khả năng chịu cắt của dầm. Trong các công thức tính toán khả năng chịu cắt của dầm BTCT của các tiêu chuẩn TCVN 5574:2012, ACI 318, EN: 1992-1-1 đã nêu ra điều thể hiện rõ sự ảnh hưởng này.

Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5574:2012 qui định:

Theo công thức 2.56 để bê tông giữa các dải nghiêng không bị vỡ do ứng suất nén chính: $Q \leq Q_{bt} = 0,3\varphi_{w1}\varphi_{b1}R_b b h_0$

Với b , h_0 là bề rộng và chiều cao làm việc hữu hiệu của tiết diện.

Nếu không thoả mãn điều kiện trên thì với một loại vật liệu bê tông không đổi, giải pháp là tăng kích thước tiết diện để đảm bảo điều kiện.

Điều kiện cho cấu kiện không có cốt thép đai chịu lực cắt là: $Q \leq Q_{b0}$

Với Q_{b0} là khả năng chịu cắt của bê tông khi không có cốt thép đai, xác định theo công thức thực nghiệm 2.70, 2.71: $Q_{b0} = \frac{\varphi_{b4}(1+\varphi_n)R_{bt}bh_0^2}{c}$

Đồng thời giá trị Q_{b0} còn được hạn chế trong một giới hạn sau:

$$Q_{b3} = \varphi_{b3}(1+\varphi_n)R_{bt}bh_0 \leq Q_{b0} \leq 2,5R_{bt}bh_0$$

Như vậy, khi $Q > Q_{b0}$ thì bắt buộc phải tính cốt thép chịu lực cắt.

Tuy nhiên việc tính toán thiết kế cần phải lựa chọn tiết diện sao cho đáp ứng được các tiêu chí về kiến trúc cũng như khả năng chịu lực của tiết diện, đồng thời thoả mãn tính hiệu quả về thi công, sử dụng và kinh tế, vì vậy cần kết hợp với các yếu tố khác.

Tiêu chuẩn ACI 318 qui định theo công thức thực nghiệm 2.4:

$$V_c \leq 0,93b_w d \sqrt{f'_c}$$

Tiêu chuẩn EN: 1992-1-1 qui định theo công thức thực nghiệm 2.30:

$$V_{Rd,c} \geq V_{Rd,cmin}$$

Có thể thấy rằng TCVN 5574-2012 tính toán khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép cũng được xác định theo mặt cắt nghiêng thay đổi như một số tiêu chuẩn tiên tiến khác. Tuy nhiên ACI 318, EN: 1992-1-1 đưa nhiều yếu tố ảnh hưởng đến khả năng chịu cắt vào tính toán như ảnh hưởng của hàm lượng

cột dọc, mômen uốn, bê tông vùng kéo... Còn tiêu chuẩn TCVN 5574-2012 chưa xét các yếu tố này.

Việc tính toán chỉ căn cứ vào hình bao biểu đồ nội lực, không phân biệt bài toán tải trọng tập trung hay phân bố, không phân chia ra nhiều trường hợp để tính toán tùy độ lớn của tải trọng như TCVN 5574-2012.

Trong các tiêu chuẩn cho thấy rằng việc tính toán khả năng chịu cắt của cột đai các yếu tố ảnh hưởng ít được xét đến. Các yếu tố ảnh hưởng chủ yếu là ảnh hưởng vào khả năng chịu cắt của bê tông. Việc tính toán khả năng chịu cắt của dầm chủ yếu đề cập các yếu tố ảnh hưởng vào bê tông. Như vậy cần nghiên cứu nhiều hơn vào khả năng chịu cắt của bê tông.

Tiêu chuẩn ACI 318 và TCVN 5574-2012 chủ yếu dựa trên sự làm việc thực nghiệm để hình thành công thức tính toán cột đai. Cả hai tiêu chuẩn này đều kể đến sự đóng góp của bê tông vào khả năng chịu cắt tổng thể của dầm. Trong khi đó EN dựa trên cả thực nghiệm lẫn mô hình giàn dùm để xác định nội lực trong các thành phần của dầm. EN không kể đến sự đóng góp của bê tông tới khả năng chịu cắt tổng thể của dầm khi có cột đai.

Khi thiết kế cột đai theo TCVN 5574-2012 không kể đến sự tương tác giữa các mô men và lực cắt và sự có mặt của cốt thép dọc; ACI 318 và EN thì có kể đến nó khi tính toán khả năng chịu lực cắt của bê tông.

Với các công thức thành lập được, việc tính toán cột đai của 3 tiêu chuẩn đều khá giống nhau, hoặc dựa trên việc giả thiết cột đai, số nhánh đai của nó rồi đi tính toán khoảng cách cần thiết để nó chịu đủ lực cắt ngoại lực trên tiết diện nghiêng.

Tiêu chuẩn EN bỏ qua sự đóng góp của bê tông cho khả năng chịu cắt của dầm nhưng góc nghiêng của vết nứt thay đổi tùy thuộc vào tải trọng. Ngược lại ACI 318 và TCVN 5574-2012 có kể đến sự đóng góp của bê tông khi chịu cắt nhưng góc nghiêng của vết nứt cố định.

Việc áp dụng ACI 318 là dễ dàng nhất vì các điều khoản thiết kế rất rõ ràng và đơn giản. EN là tiêu chuẩn thể hiện rõ nhất sự làm việc của dầm khi chịu uốn và cắt.

Các tiêu chuẩn này, mỗi tiêu chuẩn là có sự tính toán khác nhau, có đề cập đến các yếu tố ảnh hưởng khác nhau. Từ đó dễ thấy rõ sự ảnh hưởng của các yếu tố, sự phức tạp trong cách tính toán, dự báo về khả năng chịu cắt của dầm BTCT theo TCVN 5574-2012 và các tiêu chuẩn ACI 318, EN: 1992-1-1 ta khảo sát các ví dụ số trong chương 3.

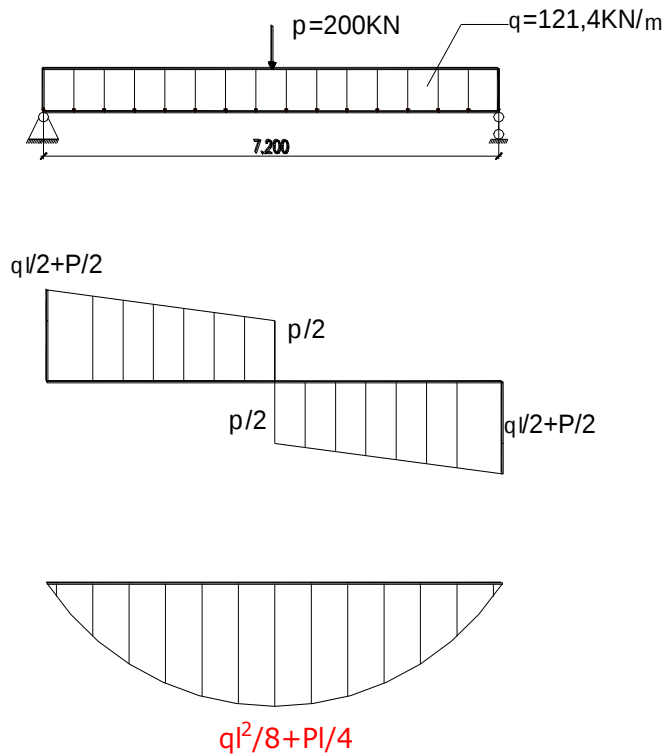
CHƯƠNG 3

CÁC VÍ DỤ SỐ TÍNH TOÁN KHẢ NĂNG CHỊU UỐN CẮT CỦA DÀM BTCT TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT THEO MỘT SỐ TIÊU CHUẨN

3.1. TÍNH TOÁN DIỆN TÍCH CỐT THÉP DÀM BTCT TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT

Ví dụ 1:

Xét dầm đơn giản chịu lực phân bố đều với các số liệu như sau: Nhịp $L=7,2\text{m}$; $b=25\text{cm}$; $h=70\text{cm}$. Tĩnh tải tiêu chuẩn $g^c = 46\text{KN/m}$, hoạt tải tiêu chuẩn $P_c=59\text{KN/m}$. Tải trọng tập trung $P = 20\text{T}$, cốt đai sử dụng $\phi 8$, đi 2 nhánh, cấp bền của bê tông là B30, nhóm thép dọc A-III, như hình vẽ:



Hình 3.1. Sơ đồ dầm bê tông cốt thép tiết diện chữ nhật

Xác định diện tích cốt thép của dầm.

3.1.1. Theo tiêu chuẩn Việt Nam 5574:2012:

Tra bảng biết $R_b=17\text{MPa}$; $R_{sc}=R_s=365\text{MPa}$.

Tĩnh tải tính toán: $g^{tt} = n \cdot g^c = 1,146 = 50,6 \text{ KN/m}$

Hoạt tải tính toán: $p^{tt} = n \cdot p^c = 1,259 = 70,8 \text{ KN/m}$

Tổng tải trọng tính toán: $q^{tt} = g^{tt} + p^{tt} = 121,4 \text{ KN/m}$.

$$M = \frac{q^{tt} l^2}{8} + \frac{p l}{4} = \frac{121,4 \cdot 7,2^2}{8} + \frac{200 \cdot 7,2}{4} = 1146,6$$

Giả thiết $a = 3 \text{ cm}$, tính được $h_0 = 70 - 3 = 67 \text{ cm}$.

$$\alpha_m = \frac{M}{R_b b h_0^2} = \frac{1146,6 \cdot 10^6}{17 \cdot 250 \cdot 670^2} = 0,6 > \alpha_R = 0,395$$

Tra bảng E.2 ta có $\alpha_R = 0,395$

Do đó ta phải đặt cốt thép kép.

Giả thiết $a' = 5 \text{ cm}$. Tính A'_s :

$$A'_s = \frac{M - \alpha_R R_b b h_0^2}{R_{sc} (h_0 - a')} = \frac{1146,4 \cdot 10^6 - 0,395 \cdot 17 \cdot 250 \cdot 670 \cdot 670}{365 \cdot (670 - 50)} = 1736 \text{ mm}^2$$

Vậy $A'_s = 17,36 \text{ cm}^2$.

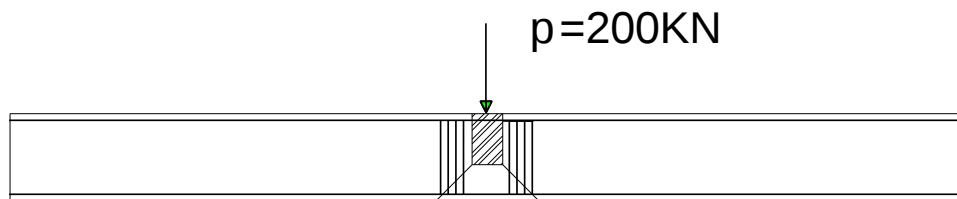
Tra bảng ta E.2 ta có $\xi_R = 0,541$

$$A_s = \frac{\xi_R R_b b h_0}{R_s} + \frac{R_{sc}}{R_s} A'_s = \frac{0,541 \cdot 17 \cdot 250 \cdot 670}{365} + \frac{365}{365} \cdot 1736 = 5746 \text{ mm}^2 = 57,46 \text{ cm}^2.$$

* Tại vị trí có lực tập trung tác dụng vào dầm (nếu có) do dầm phụ khác truyền vào:

Cần đặt cốt thép chống dật đứt (góc phá hoại 45° từ đáy dầm phụ) có 2 kiểu cốt thép chống dật đứt.

+ **Dùng cốt dạng đai (còn gọi là cốt treo) :**



Đoạn bố trí cốt treo

Cốt treo đặt dưới dạng cốt đai diện tích cần thiết là;

$$A_{wtr} = \frac{P}{R_{sw}} = \frac{200 \cdot 1000}{175} = 114,3 \text{ mm}^2 = 11,4 \text{ cm}^2$$

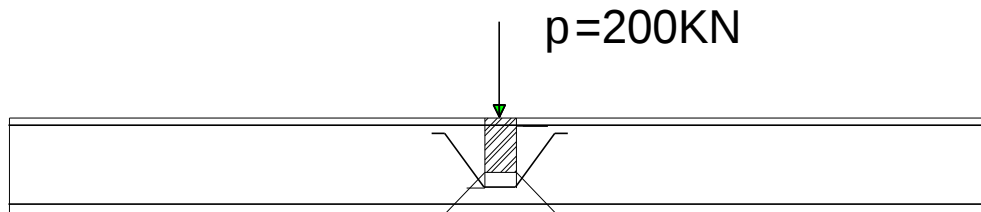
Dùng đai $\Phi 8$, hai nhánh thì số lượng cần thiết là;

$$N = \frac{A_{wtr}}{2A_d} = \frac{11,4}{2 \cdot 0,503} = 11$$

Chọn 12 đai, đặt mỗi bên mép dầm phụ 6 đai, trong đoạn;

$h_1 = h_{dc} - h_{dp} = 70 - 40 = 30 \text{ cm}$, khoảng cách giữa các đai là 5cm.

+ Sử dụng cốt treo vai bò với góc xiên 45°



Tiết diện cốt thép là:

$$A_{wv} = \frac{P}{2R_s \sin 45^\circ} = \frac{200 \cdot 1000}{2 \cdot 365 \cdot 0,7} = 391,4 \text{ mm}^2 = 3,91 \text{ cm}^2 ; \text{ Chọn } 2 \Phi 16$$

3.1.2. Theo tiêu chuẩn Châu Âu 1992-1-1:

Tra bảng biết $f_{ck}=25 \text{ MPa}$; $f_{yd}=R_s=347,8 \text{ MPa}$.

Tĩnh tải tính toán: $g^{tt} = n \cdot g^c = 1,2 \cdot 46 = 55,2 \text{ kN/m}$

Hoạt tải tính toán: $p^{tt} = n \cdot p^c = 1,35 \cdot 59 = 79,65 \text{ kN/m}$

Tổng tải trọng tính toán: $q^{tt} = g^{tt} + p^{tt} = 134,85 \text{ kN/m}$

$$M = \frac{q^{tt} l^2}{8} + \frac{Pl}{4} = \frac{134,85 \cdot 7,2^2}{8} + \frac{200 \cdot 7,2}{4} = 1233,8 \text{ kN.m}$$

Giả thiết $a=3 \text{ cm}$ suy ra $d=67 \text{ cm}$.

$$K = \frac{M}{f_{ck} b h_0^2} = \frac{1323,25.10^6}{25.250.670^2} = 0,471 > K_{bal} = 0,167$$

Do đó ta phải đặt cốt thép kép. Giả thiết $a' = 5\text{cm}$

Để tận dụng hết khả năng chịu lực của bê tông ta có thể chọn:

$$X = 0,45d = 0,45 \cdot 67 = 30,15\text{cm};$$

$$Z = Z_{bal} = 0,82d = 0,82 \cdot 67 = 54,94\text{cm};$$

$$a'/x = 5/30,15 = 0,166 < 0,38 \text{ nên } f_{sc} = f_{yd} = 347,8\text{MPa}.$$

$$A'_s = \frac{M - 0,167 f_b b d^2}{f_{sc} (d - a')} = \frac{1233,8.10^6 - 0,167 \cdot 25.250.670.670}{347,8.(670 - 50)} = 4177\text{mm}^2$$

$$= 41,77 \text{ cm}^2.$$

$$A_s = \frac{K_{bal} f_{ck} b d^2}{f_{yd} z_{bal}} + \frac{f_{sc}}{f_{yd}} A'_s = \frac{0,167 \cdot 25 \cdot 250 \cdot 670.670}{347,8 \cdot 549,4} + \frac{347,8}{347,8} \cdot 4177 =$$

$$= 6629\text{mm}^2 = 66,29\text{cm}^2.$$

3.1.3. Theo tiêu chuẩn Hoa Kỳ 318:

Chọn $f'_c = 210\text{kg/cm}^2$ (3000psi); $f_y = 4200\text{kg/cm}^2$ (60000psi).

Tĩnh tải tính toán: $g^{tt} = w_D^{tt} = n \cdot w_D^c = 1,2 \cdot 46 = 55,2\text{KN/m}$

Hoạt tải tính toán: $p^{tt} = w_L^{tt} = n \cdot w_L^c = 1,6 \cdot 59 = 94,4\text{KN/m}$

Tổng tải trọng tính toán: $w^{tt} = w_D^{tt} + w_L^{tt} = 149,6\text{KN/m}$.

Giả thiết $d' = 6\text{cm}$, (K/C từ trọng tâm thép chịu nén đến mặt trên của dầm).

+ $d = 70 - 10 = 60\text{cm}$. (K/C từ trọng tâm thép chịu kéo đến mặt dưới của dầm)

$$M_u = \frac{w^{tt} l^2}{8} + \frac{Pl}{4} = \frac{149,6 \cdot 7,2^2}{8} + \frac{200 \cdot 7,5}{4} = 1329,86\text{KN.m}$$

Giả thiết hàm lượng cốt thép đạt tối đa $\rho = \rho_{max} = 0,75 \rho_b$.

$$\rho_{\max} = 0,75 \left[0,85 \cdot \frac{f'_c}{f_y} \beta_1 \left(\frac{6000}{6000 + f_y} \right) \right] = 0,75 \left[0,85 \cdot \frac{210}{4200} \cdot 0,85 \left(\frac{6000}{6000 + 4200} \right) \right] = 0,0108.$$

Với $\rho_{\max} = 0,0108$, diện tích cốt thép chịu kéo là;

$$A_{s\max} = \rho_{\max} b d = 0,0108 \cdot 25 \cdot 60 = 16,2 \text{ cm}^2.$$

Kiểm tra khả năng chịu lực của dầm bố trí cốt thép đơn.

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{16,2 \cdot 4200}{0,85 \cdot 210 \cdot 25} = 15,24 \text{ cm}.$$

Mô men danh nghĩa lớn nhất.

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 16,2 \cdot 4200 \left(60 - \frac{15,24}{2} \right) = 3563935 \text{ kg.cm}.$$

$$M_l = M_u - M_n = 13298600 - 3563935 = 9734665 \text{ kg.cm}$$

Diện tích cốt thép chịu kéo bổ sung khi $f'_s = f_y$. (vì $M_n < M$)

$$A_{sl} = \frac{M_l}{d - d'} = \frac{9734665}{60 - 6} = 180.271$$

$$A'_s = \frac{A_{sl}}{f_y f_y - 0,85 f'_c} = \frac{180271}{4200 - 0,85 \cdot 210} = 44,82 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \frac{0,85 f'_c a b + A_l}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 210 \cdot 15,24 \cdot 25 + 180271}{4200} = 59,11 \text{ cm}^2.$$

*** Xác định diện tích vai bò với góc 45° ;**

Tiết diện thép 1 bên là:

$$A_v = \frac{V_u - \Phi V_c}{\Phi f_y \sin \alpha}$$

$$V_u = \frac{q l}{2} + \frac{P}{2} = \frac{130,6 \cdot 7,2}{2} + \frac{200}{2} = 570,6 \text{ KN} = 57.100 \text{ kg}$$

$$V_c = 0,53 \sqrt{f'_c} b_w d = 0,53 \sqrt{210} \cdot 25 \cdot 67 = 12.864,72 \text{ kg}$$

$$A_v = \frac{57.100 - 12.865}{4200 \cdot \sin 45^\circ} = 15,046 \text{ cm}^2 \text{ chọn } 1 \Phi 14$$

Kết quả tính toán cốt thép chịu kéo và chịu nén.

Tiêu chuẩn	A_s (cm ²)	A'_s (cm ²)	$A_s + A'_s$ (cm ²)
(1) TCVN 5574.2012	57,46	17,36	74,82
(2) TC EN 1992-1-1	66,29	41,77	108,06
(3) TC Hoa Kỳ 318	59,11	44,82	103,93
Tỷ lệ % (1) & (2), (3)	15%, 2,87%		

Nhận xét:

- *Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5574-2012*

- Không chế chiều cao của vùng bê tông chịu nén để tận dụng hết khả năng chịu nén của bê tông và để cho ứng suất cốt thép chịu nén đạt tới giá trị số R_{sc} : $x \leq \xi_r \cdot h_{0h}$ hoặc $\xi \leq \xi_r$ hoặc $\alpha_m \leq \alpha_r = 0,5$ và $x \geq 2a'$

- Diện tích cốt thép chịu kéo lớn hơn rất nhiều so với diện tích cốt thép chịu nén. Do đó khi tổng diện tích cốt thép lớn, việc bố trí cốt thép vùng chịu kéo gặp khó khăn để thỏa mãn các điều kiện về cấu tạo và thi công.

- *Tiêu chuẩn Châu Âu EN 1992-1-1:*

- Không chế chiều cao của vùng bê tông chịu nén để tận dụng hết khả năng chịu nén của bê tông và để cho ứng suất cốt thép chịu nén đạt tới giá trị số f_{yd} : $x \leq 0,45d$ và $a'/x \leq 0,38$

- Diện tích cốt thép chịu kéo và diện tích cốt thép chịu nén chênh lệch nhau không vượt quá 2 lần. Do đó khi tổng diện tích cốt thép lớn, việc bố trí cốt thép dễ dàng, thỏa mãn các điều kiện về cấu tạo và thi công.

- *Tiêu chuẩn Hoa Kỳ 318:*

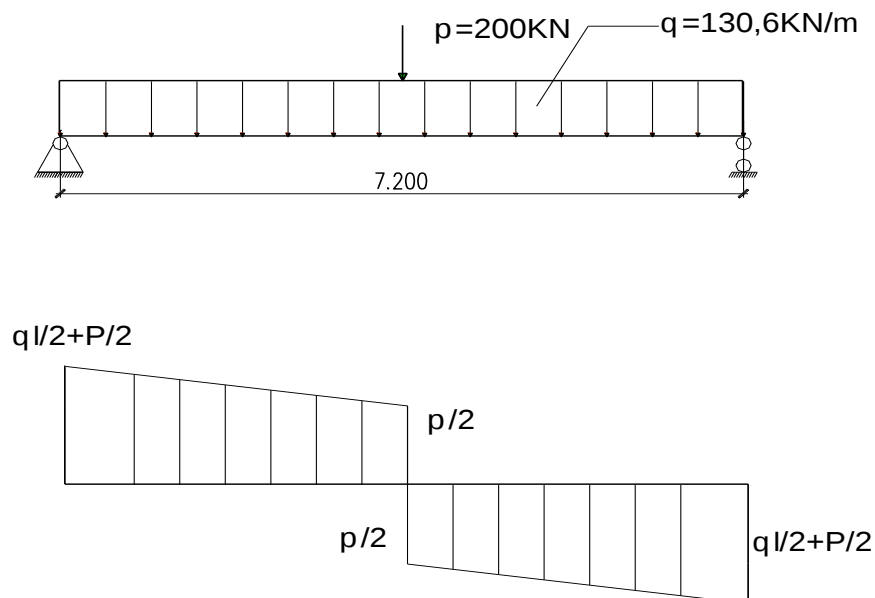
- Xem xét điều kiện để cốt thép vùng nén chảy dẻo theo hàm lượng thép và tỷ số d/a và tỷ số d'/a giới hạn để tính toán.

- Diện tích cốt thép chịu kéo và diện tích cốt thép chịu nén chênh lệch nhau không vượt quá 2 lần. Do đó khi tổng diện tích cốt thép lớn, việc bố trí cốt thép dễ dàng, thỏa mãn các điều kiện về cấu tạo và thi công.

* Về diện tích cốt thép chịu kéo và nén theo TCVN 5574-2012 có giá trị nhỏ nhất trong ba tiêu chuẩn TCVN 5574-2012, EN1992-1-1 và AIC318.

3.2. TÍNH TOÁN CHỊU CẮT DẦM BTCT TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT

Tính khả năng chịu cắt của dầm (theo VD1) tải trọng phân bố đều, Tải trọng tập trung $P = 20T$, cấp bền của bê tông là B30, nhóm thép dọc A-III, cốt đai sử dụng đai F8, đai 2 nhánh như hình vẽ.



Hình 3.2. Sơ đồ dầm bê tông cốt thép tiết diện chữ nhật

Khảo sát khả năng chịu cắt của dầm với các số liệu:

Cấp độ bền của bê tông B30: ($R_b = 17\text{MPa} = 1,7\text{KN/cm}^2$, $R_{bt} = 1,2\text{MPa} = 0,12\text{KN/cm}^2$)

$$\varphi_{b1} = 1 - \beta \cdot R_b = 1 - 0,01 \cdot 17 = 0,983$$

$$\phi_{b2} = 2 \text{ (bê tông nặng)}$$

$$\phi_{b3} = 0,6$$

Cốt thép dọc chịu lực dùng nhóm C-III: ($R_s = R_{sc} = 365\text{MPa}$)

Cốt thép đai chịu cắt dùng nhóm C-I: ($R_{sw} = 175\text{MPa} = 17.5\text{KN/cm}^2$,
 $R_{sc} = 225\text{MPa} = 22.5\text{KN/cm}^2$),

Chọn thép đai 2 nhánh $\phi 8$ có $A_{sw} = A_v = 1,04\text{cm}^2$, $S=15\text{cm}$.

$$Q_{xet} = \frac{ql}{2} + \frac{P}{2} = \frac{121,4 \cdot 7,2}{2} + \frac{200}{2} = 537,04 \text{ KN.}$$

Kiểm tra điều kiện hạn chế: $Q_{xet} \leq 0,3 \phi_{w1} \phi_{b1} R_b b h_0$

$$\phi_{w1} = 1 + 5 \frac{E_s A_{sw}}{E_b b S} = 1 + 5 \frac{2,1 \cdot 1,04}{2,9 \cdot 25 \cdot 15} = 1,01$$

Tra bảng 28 TCVN 5574 thép CI có: $E_s = 2,1\text{KN}$, $E_b = 2,9\text{KN}$

$$\phi_{b1} = 1 - \phi_{w1} R_b = 1 - 1,01 \cdot 1,7 = 0,83$$

$$h_0 = 670$$

$$Q_{xet} = 537,04 \leq 0,3 \cdot 1,01 \cdot 0,83 \cdot 1,7 \cdot 25 \cdot 67 = 716,11\text{KN (thỏa mãn)}$$

3.2.1 Xác định khả năng chịu cắt của bê tông

a. Theo Việt Nam TCVN 5574 (Lấy $C_0 = 2h_0$)

Khả năng chịu cắt bê tông được xác định:

$$Q_b = \frac{M_b}{c} = \frac{\phi_{b2}(1 + \phi_n + \phi_f) R_{bt} b h_0^2}{c} \geq Q_{b\min} = \phi_{b3}(1 + \phi_n + \phi_f) R_{bt} b h_0$$

Tính khả năng chịu cắt của dầm chữ nhật: $\phi_n = 0$, $\phi_f = 0$.

$$Q_b = \frac{\phi_{b2} R_{bt} b h_0^2}{c} \geq Q_{b\min} = \phi_{b3}(1 + \phi_n + \phi_f) R_{bt} b h_0$$

Trong đó:

Ta có: $\phi_{b2} = 2$; $\phi_{b3} = 0,6$ (đối với bê tông nặng); $R_{bt} = 1,2\text{MPa}$;

$b = 250\text{mm}$; $h_0 = 670\text{mm}$;

$$Q_{b\min} = \phi_{b3} \cdot R_{bt} b h_0 = 0,6 \cdot 1,2 \cdot 250 \cdot 670 = 120.600\text{N}$$

$$Q_{bmin} = 120,6 \text{KN}$$

$$Q_b = \frac{\varphi_{b2} R_{bt} b h_0^2}{c} = \frac{2 * 1,2 * 250 * 670^2}{1340} = 201.000 \text{ N}$$

$$Q_b = 201 \text{KN} \geq Q_{bmin} = 120,6 \text{KN}$$

$$\text{Vậy: } Q_b = 201 \text{KN}$$

b. Tính theo tiêu chuẩn của Mỹ ACI 318-2004

Khả năng chịu cắt của bê tông được xác định:

$$V_c = (0,5\sqrt{f'_c} + 175\rho_w \frac{V_u d}{M_u}) b_w d \leq 0,93\sqrt{f'_c} b_w d$$

Ta có:

$$f'_c = 210 \text{kg/cm}^2; f'_y = 4200 \text{kg/cm}^2; b_w = 25 \text{cm}; d = 63 \text{cm}; A_s = 59,11 \text{cm}^2$$

(theo tính toán VD1)

$$V_u = 570,6 \text{KN}, \text{ làm tròn } = 571 \text{KN} = 57100 \text{kg}, M_u = 1233 \text{kN.m} = 123300000 \text{kg.cm (theo tính toán VD1)}$$

ρ_w : Hàm lượng cốt thép chịu kéo trong dầm:

$$\rho_w = \frac{A_s}{b_w \cdot d} = \frac{59,11}{25 \cdot 67} = 0,0353$$

$$\text{Ta có: } \rho_{\min} \leq \rho_w \leq \rho_{\max}$$

$$\rho_{\min} = \frac{14}{f_y} = \frac{14}{4200} = 0,00333;$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b$$

$$\rho_b = 0,85\beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \frac{6000}{6000 + f_y} = 0,85 * 0,85 \frac{210}{4200} * \frac{6000}{6000 + 4200} = 0,2125$$

$$\beta_1 = 0,85;$$

$$\rho_{\max} = 0,75\rho_b = 0,75 * 0,2125 = 0,159$$

$$\rho_{\min} = 0,00333 \leq \rho_w = 0,0353 \leq \rho_{\max} = 0,159$$

$$V_c = (0,5\sqrt{210} + 175 * 0,159 * \frac{57.100 * 67}{12330000}) * 25 * 67 = 14.055 \text{ kg}$$

Hoặc ta có thể dùng công thức đơn giản.

$$V_c = 0,53\sqrt{f_c} b_w d < 0,93\sqrt{f_c} b_w d$$

$$V_c = 0,53\sqrt{f_c} b_w d = 0,53\sqrt{210} * 25 * 67 = 12.864,72 \text{ kg}$$

$$0,93\sqrt{f_c} b_w d = 0,93.\sqrt{210}.25.67 = 22.573,94 \text{ kg}$$

$$V_c = 12.864,72 < 0,93\sqrt{f_c} b_w d = 21.238,88$$

$$\text{Lấy } V_c = 14.055 \text{ kg} = 140,55 \text{ KN}$$

c. Tính theo tiêu chuẩn của Châu Âu EN 1992-1-1

Khả năng chịu cắt của bê tông với giá trị nhỏ nhất được xác định:

$$V_{Rd,c} = (V_{\min} + K_1 \sigma_{cp}) b_w d$$

$$\text{Trong đó: } V_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

Ta có:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{670}} = 1,55 \leq 2$$

$$k_I = 0, \text{ (hệ số xét đến ảnh hưởng của lực dọc trục, } N_{Ed} = 0)$$

$$\sigma_{cp} = 0: \text{ ứng suất trong bê tông (MPa); } \sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0,2 f_{cd}$$

$$V_{Rd,c} = (0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d$$

$$V_{Rd,c} = (0,035 * 1,55$$

$$^{3/2} * 2,5^{1/2} + 0,15 * 0) * 25 * 67 = 168,19 \text{ KN}$$

$$V_{Rd,c} = 168,19 \text{ kN}$$

Tiêu chuẩn	TCVN 5574:2012(Qb) (1)	ACI 318 (V _c) (2)	EN:1992-1-1 (V _{Rd,c}) (3)
Giá trị (kN)	201	140,55	168,91
Tỷ lệ & (1) & (2),(3)		-30%	-16%

Nhận xét:

Kết quả tính toán khả năng chịu cắt của bê tông dầm theo tiêu chuẩn TCVN cho giá trị lớn hơn từ 16% đến 30% so với các tiêu chuẩn ACI và EN

Khi tính theo TCVN khả năng chịu cắt của bê tông dầm có xét sự ảnh hưởng của phân cách tiết diện trong vùng nén thông qua hệ số φ_f ,

Tiêu chuẩn ACI, EN trong công thức tính toán có xét đến ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép dọc ρ_w, ρ_1 .

Tiêu chuẩn ACI trong công thức tính toán có xét đến ảnh hưởng mô men và lực cắt tại tiết diện đang xét.

3.2.2. Khả năng chịu cắt của cốt đai

a. Tính theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5574:2012

Khả năng chịu cắt cốt thép đai được xác định

$$Q_{sw} = A_{sw} R_{sw} \frac{2h_0}{s}$$

Trong đó:

$$A_{sw} = 104 \text{ cm}^2; s = 15 \text{ cm}; R_{sw} = 175 \text{ MPa}; h_0 = 67 \text{ cm};$$

$$Q_{sw} = A_{sw} R_{sw} \frac{2h_0}{s} = 104 * 175 * \frac{2 * 670}{150} = 162586 \text{ N} = 162,58 \text{ kN}$$

Vậy: $Q_{sw} = 162,58\text{kN}$

b. Tính theo tiêu chuẩn của Mỹ ACI 318

Khả năng chịu cắt của cốt thép đai được xác định:

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \leq 2,1 \sqrt{f'_c} b_w d$$

Ta có: $A_v = 1,04\text{cm}^2$; $f_{yt} = R_s * \gamma_s = 2250 * 1,05 = 2362,5\text{kg/cm}^2$;

$s = 15\text{cm}$,

$$2,1 \sqrt{f'_c} b_w d = 2,1 \sqrt{210} * 25 * 67 = 50.793\text{kg} = 507,93\text{KN}$$

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} = \frac{1,04 * 2363 * 67}{15} = 10.977\text{kg} = 109,77\text{KN}$$

$$V_s = 109,77\text{kN} < 507,93\text{kN}$$

Vậy: $V_s = 109,77\text{kN}$

c. Tính theo tiêu chuẩn của Châu Âu EN: 1992-1-1

Khả năng chịu cắt của cốt đai được xác định:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} z f_{ywd} \cot \theta}{s}$$

Ta có:

$$A_{sw} = 104\text{mm}^2; f_{ywd} = \frac{2362,5}{1,15} = 2054,4\text{Kg/cm}^2, s = 150\text{mm}; \theta = 45^\circ$$

$$z = d = 670\text{mm}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} z f_{ywd} \cot \theta}{s} = \frac{104 * 670 * 205,44 * \cot 45}{150} = 95.434\text{N}$$

Vậy: $V_{Rd,s} = 95,43\text{KN}$

Tiêu chuẩn	TCVN 5574:2012(Q_{sw})	ACI 318 (V_s) (2)	EN: 1992-1-1 ($V_{Rd,s}$)
------------	-------------------------------	--------------------------	--------------------------------

	(1)		(3)
Giá trị (kN)	162,58	109,77	95,43
Tỷ lệ & (1) & (2),(3)		32,5%	41,3%

Nhận xét:

Kết quả tính toán khả năng chịu cắt của cốt thép đai dầm theo tiêu chuẩn TCVN cho giá trị lớn hơn từ 33% đến 41% với các tiêu chuẩn EN, ACI.

Tiêu chuẩn EN, ACI giá trị là như nhau.

Trong quá trình tính toán cốt thép đai theo tiêu chuẩn TCVN, tiết diện nghiêng $c_0 = 2h_0$ điều này cho kết quả khả năng chịu cắt của cốt thép đai là khá lớn.

3.2.3. Khả năng chịu cắt của dầm

a. Tính theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5574:2012

Khả năng chịu cắt của dầm được xác định:

$$Q = Q_b + Q_{sw}$$

$$Q = Q_b + Q_{sw} = 201 + 162,58 = 363,58 \text{KN}$$

$$\text{Vậy: } Q = 363,58 \text{KN}$$

b. Tính theo tiêu chuẩn của Mỹ ACI 318-2004

Khả năng chịu cắt của dầm được xác định:

$$\text{Ta có: } V_n = V_c + V_s$$

$$V_n = V_c + V_s = 134,14 + 109,17 = 243,31 \text{KN}$$

$$\text{Vậy } V_n = 243,31 \text{KN}$$

c. Tính theo tiêu chuẩn của Châu Âu EN:1992-1-1

Khả năng chịu cắt của dầm được xác định:

$$V_{Ed} = V_{Rd,c} + V_{Rd,s}$$

$$V_{Ed} = V_{Rd,c} + V_{Rd,s} = 168,19 + 95,43 = 263,52 \text{KN}$$

$$\text{Vậy: } V_{Ed} = 263,52 \text{KN}$$

Tiêu chuẩn	TCVN 5574:2012 (Q) (1)	ACI 318 (V _n) (2)	EN: 1992-1-1 (V _{Ed}) (3)
Giá trị (kN)	363,58	243,31	263,52
Tỷ lệ & (1) & (2),(3)		33,1%	27,5%

Nhận xét:

Khả năng chịu cắt của dầm theo tiêu chuẩn TCVN cho giá trị là lớn hơn từ 28% đến 33% so với các tiêu chuẩn EN, ACI.

Khả năng chịu cắt của dầm theo tiêu chuẩn EN, ACI cho giá trị gần bằng nhau.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

Từ các kết quả nghiên cứu và khảo sát trong luận văn với khuôn khổ đề tài không tiến hành thực nghiệm trên các mô hình để có thể kiểm chứng kết quả khảo sát theo tính toán, tuy nhiên luận văn đã đạt được các kết quả sau:

Cả ba tiêu chuẩn TCVN 5574-2012, EN và ACI đều tính trạng thái giới hạn: Bền ổn định của kết cấu; Sự làm việc bình thường, khống chế vết nứt và độ võng của cầu kiện.

Tiêu chuẩn TCVN và ACI chủ yếu dựa trên sự làm việc thực nghiệm để hình thành công thức tính toán cốt thép đai. Cả hai tiêu chuẩn này đều kể đến sự đóng góp của bê tông vào khả năng chịu cắt tổng thể của dầm. Trong khi đó EN dựa trên cả thực nghiệm lẫn mô hình giàn ảo dùng để xác định nội lực trong các thành phần của dầm. EN không kể đến sự đóng góp của bê tông tới khả năng chịu cắt tổng thể của dầm khi có cốt thép đai.

Khi thiết kế cốt thép đai TCVN không kể đến sự tương tác giữa mô men uốn và lực cắt và sự có mặt của cốt thép dọc; ACI và EN thì kể đến nó khi tính toán khả năng chịu cắt của bê tông.

Dầm bê tông có thể bị phá hoại trên tiết diện nghiêng do sự kết hợp giữa uốn và cắt. Vết nứt xiên có góc nghiêng thay đổi, tùy thuộc vào loại tải trọng tác dụng và vào liên kết của dầm. Ứng xử của dầm phụ thuộc vào khả năng chịu nén trên tiết diện nghiêng và vào khả năng chịu cắt của dầm trên tiết diện nghiêng đó, bao gồm bốn thành phần chính (1) khả năng chịu cắt của vùng bê tông chưa bị nứt (v_{cz}); (2) khả năng chịu cắt do liên kết các thành phần cấp phối giữa hai mặt của vết nứt (V_{iy}); (3) khả năng chịu cắt của thép dọc (V_d); (4) khả năng chịu cắt của cốt thép đai ($V_{Rd,s}$).

Tiêu chuẩn EN bỏ qua sự đóng góp của bê tông cho khả năng chịu cắt của dầm nhưng góc nghiêng của vết nứt thay đổi tùy thuộc vào tải trọng. Ngược lại tiêu chuẩn TCVN và ACI có kể đến sự đóng góp của bê tông khi chịu cắt ngang góc nghiêng của vết nứt cố định.

2. Kiến nghị

Thông qua việc tính toán trên cần có các nghiên cứu tổng quát, cụ thể hơn nữa cũng như có thực nghiệm để kiểm chứng kết quả nghiên cứu, khảo

sát một cách đầy đủ, toàn diện các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép.

Cần lưu ý và xem xét, cân nhắc về hệ số an toàn của TCVN trong việc xác định khả năng chịu cắt của dầm bê tông tiết diện chữ nhật.

Cần nghiên cứu và khảo sát khả năng chịu uốn hoặc cắt của dầm với các tiết diện khác, các dạng tải trọng tác dụng.

Nghiên cứu khả năng chịu uốn hoặc cắt của dầm BTCTULT với tiết diện dầm chữ nhật và dầm chữ I theo các tiêu chuẩn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Đình Cống (2007), Tính toán thực hành cầu kiện bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn TCXDVN 356:2005, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- [2] Nguyễn Trung Hoà (2003), Kết cấu bê tông cốt thép theo quy phạm Hoa Kỳ ACI 318, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.

- [3] Nguyễn Trung Hoà (2006), Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn Châu Âu EUROCODE EN 1992-1-1, Dịch và chú giải, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- [4] Lê Ngọc Hồng (2006), Sức bền vật liệu, Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật, Hà Nội.
- [5] Phan Quang Minh, Ngô Thế Phong, Nguyễn Đình Cống (2006), Kết cấu bê tông cốt thép, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [6] Nguyễn Viết Trung, Dương Tuấn Minh, Nguyễn Thị Tuyết Trinh (2005), Tính toán kết cấu bê tông cốt thép theo mô hình giàn ảo, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- [7] Trần Mạnh Tuấn (2003), Tính toán kết cấu bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn ACI 318-2002, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- [8] Tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam (2012), TCVN 5574:2012, Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- [9] Lều Thọ Trình, Cơ học kết cấu, Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật, Hà Nội.
- [10] Nguyễn Ngọc Phương (2002), Ảnh hưởng của hàm lượng cốt dọc tới khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép, Tạp chí Xây dựng, (Số tháng 2-2002), Hà Nội.
- [11] Nguyễn Đình Cống. Sàn sườn BTCT toàn khối NXB Khoa học và Kỹ thuật.
- [12] Nguyễn Ngọc Phương (2008), Khả năng chịu cắt của dầm bê tông cốt thép ứng lực trước, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Kiến trúc, Hà Nội.
- [13] Giáo trình Kết cấu gạch đá và Gạch đá cốt thép của tác giả Trịnh Kim Dạm và các tác giả. NXB Khoa học và Kỹ thuật.

Tiếng Anh

- [14] ACI 318-08: American Concrete Institute (ACI), Building code requirements for structural concrete.
- [15] Eurocode 2, Design of concrete structures.