



CK.0000070626

TS. NGUYỄN VIỆT TRUNG (chủ biên)

NGUYỄN TUẤN MINH - KS. NGUYỄN THỊ TUYẾT TRINH



# Tính toán kết cấu bê tông cốt thép THEO MÔ HÌNH GIÀN ẢO

NGUYỄN  
C. LIEU

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG



**PGS. TS. NGUYỄN VIỆT TRUNG (chủ biên)**  
**ThS. DƯƠNG TUẤN MINH - KS. NGUYỄN THỊ TUYẾT TRINH**

# **TÍNH TOÁN KẾT CẤU BÊ TÔNG CỐT THÉP THEO MÔ HÌNH GIÀN ẢO**

**NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG**  
**HÀ NỘI - 2005**

<http://www.tailieuxd.com>

## LỜI NÓI ĐẦU

*Từ tháng 9 năm 2001 Bộ Giao thông vận tải đã ban hành Tiêu chuẩn thiết kế cầu mới mang ký hiệu 22TCN 272-01. Tiêu chuẩn này đã được áp dụng thử nghiệm và sẽ được áp dụng chính thức từ năm 2005 để thiết kế tất cả các cầu đường ô tô trên toàn quốc.*

*Tiêu chuẩn này cho phép sử dụng mô hình giàn ảo hay còn gọi là mô hình chống và giằng để tính toán kết cấu bê tông cốt thép. Để giúp bạn đọc làm quen với nội dung của phương pháp mới này, chúng tôi biên soạn cuốn **"Tính toán Kết cấu bê tông cốt thép theo mô hình giàn ảo"**; cuốn sách như một tài liệu tham khảo dành cho các kỹ sư cầu đường và các sinh viên của chuyên ngành đào tạo kỹ sư cầu đường.*

*Nội dung cuốn sách gồm 3 chương liên quan đến các khái niệm về lý thuyết mô hình giàn ảo, áp dụng phương pháp giàn ảo để phân tích thiết kế dầm và một số ví dụ tính toán.*

*Sách được biên soạn lần đầu tiên, chắc không tránh khỏi thiếu sót. Nhà xuất bản và các tác giả xin chân thành cảm ơn và tiếp thu ý kiến đóng góp, phê bình của bạn đọc.*

*Mọi ý kiến góp ý xin gửi về Nhà xuất bản Xây dựng hoặc trực tiếp cho các tác giả theo địa chỉ email [viettrungng@yahoo.com](mailto:viettrungng@yahoo.com). ĐT: 0913555194.*

Các tác giả

<http://www.tailieuxd.com>

## Chương 1

# KHÁI NIỆM VỀ LÝ THUYẾT MÔ HÌNH GIÀN ẢO (MÔ HÌNH CHỐNG VÀ GIẺANG)

### 1.1. GIỚI THIỆU

Cấu kiện bê tông cốt thép khi xét ở giới hạn cực hạn sẽ có sự thay đổi lớn trong trạng thái làm việc của các bộ phận cấu kiện. Trạng thái làm việc của các bộ phận cấu kiện được chia thành 2 dạng:

1. *Vùng chịu lực theo kiểu dầm*: được gọi là vùng B (là chữ cái viết tắt từ tiếng Anh "Beam" hoặc "Bernoulli");

2. *Vùng chịu lực có đặc tính không liên tục về hình học hoặc về tĩnh học*: được gọi là vùng D (là chữ cái viết tắt từ tiếng Anh "Discontinuity" hay "Disturbed").

#### 1.1.1. Vùng B

Vùng B được thấy trong các dầm và bản có chiều cao hay bề dày không đổi (hoặc ít thay đổi) trên toàn kết cấu và tải trọng là phân bố đều. Trạng thái ứng suất tại một mặt cắt bất kỳ dễ dàng tính toán từ các giá trị nội lực tại mặt cắt (mômen uốn, mômen xoắn, lực cắt, lực dọc trục) bằng các phương pháp thông thường.

Trong vùng B, định luật mặt cắt phẳng của Bernoulli vẫn được áp dụng, do đó các bước tính toán thông thường vẫn được xem là thích hợp để thiết kế và kiểm toán mặt cắt ngang cấu kiện. Với điều kiện là vùng này không bị nứt và thoả mãn định luật Húc, các ứng suất sẽ được tính toán theo lý thuyết uốn sử dụng các đặc trưng mặt cắt như là diện tích mặt cắt, mômen quán tính).

Khi ứng suất kéo vượt quá cường độ chịu kéo của bê tông, mô hình giàn hoặc một trong những phương pháp tính toán thiết kế kết cấu bê tông cốt thép được xây dựng cho vùng B sẽ được áp dụng thay cho lý thuyết uốn.

### 1.1.2. Vùng D

Vùng D là vùng không liên tục về mặt hình học hoặc tĩnh học. Trong vùng D xảy ra sự phân bố biến dạng phi tuyến. Các phương pháp tính toán thông thường không thể áp dụng cho các vùng D có phân bố biến dạng phi tuyến, đó là các miền có sự thay đổi đột ngột về hình học (gián đoạn hình học) hoặc có các lực tập trung (gián đoạn tĩnh học). Gian đoạn hình học gặp ở các dạng hốc (chỗ lõm, lồi) các góc khung, những đoạn cong và những khe hoặc những lỗ.

Gián đoạn tĩnh học phát sinh từ các lực tập trung, các phản lực gối và các lực tại mấu neo cốt thép dự ứng lực. Các kết cấu có phân bố biến dạng phi tuyến trên toàn bộ các mặt cắt của kết cấu như trường hợp các dầm cao, sẽ được xem là kết cấu chỉ có toàn vùng D.

Đối với các vùng D không nứt thì có thể tính toán theo phương pháp ứng suất đàn hồi, ví dụ như phương pháp phân tử hữu hạn.

Tuy nhiên với các vùng đã nứt có xét tới sự truyền lực kéo từ bê tông vào cốt thép. Việc tính toán theo phương pháp ứng suất đàn hồi trở nên không hiệu quả, quan trọng hơn là không đúng với các chi tiết kết cấu. Việc xử lý thông thường và bố trí cốt thép trong vùng D chỉ dựa vào kinh nghiệm hoặc dựa vào thực tế. Thông thường cơ sở của các điều kiện biên cơ bản khác với thực tế. Đây chính là một trong các lý do chính gây ra một số sai lầm khi tính toán các kết cấu bê tông cốt thép.

Vì các lý do trên, nêu việc thay thế bằng phương pháp mô hình giàn ảo sẽ giải thích những vấn đề này một cách cặn kẽ hơn, xác định được ứng suất của toàn bộ vùng D do tải trọng đặt tại đó hay từ nội lực phân bố ở khu vực tiếp giáp với vùng B.

Khác với vùng B, trạng thái ứng suất của vùng D không thể xác định được từ nội lực mặt cắt vì không biết được sự phân bố của biến dạng.

Các nội lực mặt cắt của vùng B và các phản lực gối của kết cấu là cơ sở để thiết kế các vùng B và D. Do đó bước đầu tiên là phân tích một sơ đồ hệ tĩnh học thích hợp như cách làm thông thường. Đương nhiên điều này chỉ áp dụng với các kết cấu có vùng B. Với các kết cấu chỉ có toàn vùng D như các dầm cao thì việc phân tích nội lực mặt cắt có thể bỏ qua nhưng phân tích phản lực gối tựa là cần thiết.

Cho đến thời điểm này, phần lớn các Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép ở Việt Nam (tham khảo từ Tiêu chuẩn của Nga) chỉ quan tâm nhiều đến các vùng B, việc tính toán thiết kế vùng D thường dựa theo quy tắc kinh nghiệm hoặc quan sát thực nghiệm. Nhưng gần đây, việc nghiên cứu vùng D đã được các tổ chức như Ủy ban Bê tông châu Âu (Committé Euro International du Béton - CEB); Hiệp hội Bê tông DUL Quốc tế (Fédération Internationale de la Précontrainte - FIP) và Viện Bê tông Hoa Kỳ (ACI) nghiên cứu và đưa ra những quy định, tiêu chuẩn thiết kế đối với vùng D khá chi tiết. Theo các tổ chức này, trạng thái làm việc của các dầm trong giai đoạn *giới hạn cực hạn* phải được tính theo mô hình toán cơ và mô hình tối nhất đối với dầm bê tông cốt thép có bố trí cốt thép sườn dầm, gọi là mô hình "chống và giằng" (*strut-and-tie model*) hay còn gọi là *mô hình giàn ảo*. Sau đây sẽ gọi là *mô hình giàn ảo*.

Thiết kế dầm bê tông theo trạng thái ứng suất tới hạn bằng *mô hình giàn ảo* là xét đến các điều kiện làm việc của hai vùng B và D trong kết cấu. Phương pháp mô hình giàn ảo sử dụng một số nguyên tắc của cơ học kết cấu hệ thanh, nguyên tắc này sẽ không ảnh hưởng gì hoặc tác động nào đến việc phân tích ảnh hưởng của mặt cắt bằng các hệ tĩnh học cổ truyền.

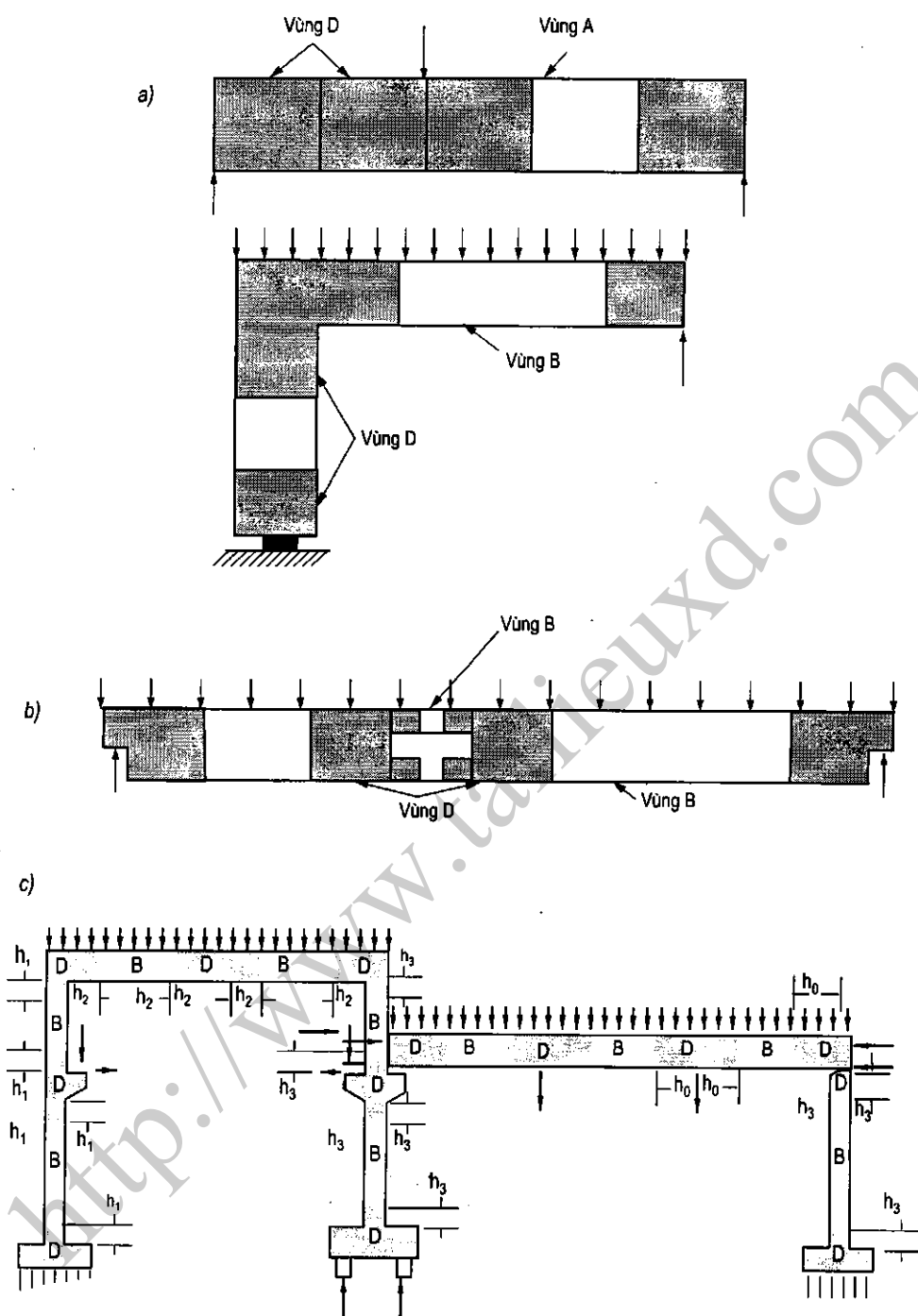
Cuốn sách này sẽ trình bày các nội dung cơ bản về tính toán thiết kế vùng D chủ yếu dựa trên Tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN 272-01 của Bộ Giao thông Vận tải Việt Nam và các Tiêu chuẩn Hoa Kỳ ACI và AASHTO LRFD cũng như một số bản báo cáo khoa học khác gần đây.

## 1.2. XÁC ĐỊNH VÙNG B VÀ D

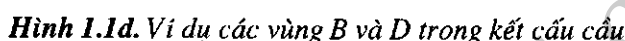
### 1.2.1. Các nguyên tắc chung để xác định vùng D

Nguyên lý Saint Venant đề xuất sự gián đoạn cục bộ sẽ làm cho tải trọng tập trung hoặc phản lực phân tán trong phạm vi dọc dầm và có độ dài bằng chiều cao của dầm tại vùng lân cận của điểm có lực tác động. Do vậy, thông thường người ta giả định vùng D kéo dài *khoảng một lần chiều cao cấu kiện về mỗi phía từ điểm đặt các tải trọng tập trung* của các phản lực gối hoặc các vùng có mặt cắt hay hướng thay đổi đột ngột. Các vùng nằm giữa các vùng D có thể được coi như là vùng B.





**Hình 1.1a, b, c. Ví dụ các vùng B và D**



Nói chung để thiết kế cho các vùng B có thể sử dụng một vài mô hình tiêu chuẩn. Nhưng để thiết kế các vùng D cần một mô hình hệ thanh riêng để phát triển phù hợp với điều kiện đặc trưng của vùng đang xét.

### 1.3.1. Các giả thiết cấu tạo và nguyên lý chung lập mô hình giàn ảo

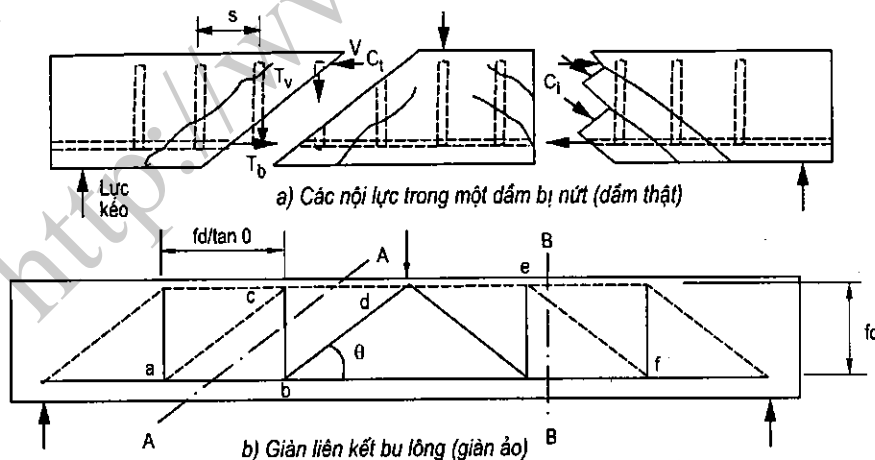
Trước khi hình thành vết nứt, một trường ứng suất đàn hồi tồn tại có thể xác định được bằng cách sử dụng phương pháp phân tích đàn hồi (ví dụ, bạn đọc có thể phân tích phần tử hữu hạn đàn hồi bằng chương trình SAP-2000). Sự hình thành vết nứt làm đảo lộn trường ứng suất này, gây ra sự phân bố, định hướng lại mà chủ yếu là các thành phần nội lực. Sau khi hình thành vết nứt, các thành phần nội lực có thể được mô hình hóa bằng cách sử dụng mô hình giàn ảo. Khi đó có thể tưởng tượng rằng kết cấu bê tông cốt thép được mô phỏng bằng một kết cấu giàn ảo bao gồm các thanh chống chịu nén, các

thanh giằng chịu kéo và các mối nối của các thanh đó sẽ được tưởng tượng là vùng nút của giàn ảo. Nếu phần đầu mút của thanh chống hẹp hơn so với ở đoạn giữa của thanh chống thì các thanh chống này có thể lần lượt nứt theo chiều dọc. Các thanh chống không có cốt thép có thể dẫn đến sự hư hỏng. Các thanh chống có cốt thép nằm ngang để chống nứt có thể chịu tải trọng lớn hơn và sẽ hư hỏng do bị nén vỡ. Đồng thời, sự hư hỏng cũng có thể do sự chảy dẻo của các thanh giằng chịu kéo có chiều hướng phá hoại dẻo và đây được xem là điều chúng ta đang mong muốn. Sau đây sẽ đưa ra vài hướng dẫn để phát triển mô hình giàn ảo sao cho nó phù hợp với những yêu cầu đặc trưng của bất kỳ trường hợp nào đưa ra, nó phản ánh một bức tranh chính xác của các dòng nội lực với mục đích là mô hình hoá giống như kết cấu thực. Phát triển mô hình giàn ảo cho một kết cấu cụ thể luôn đòi hỏi cả kiến thức chung và cả kinh nghiệm cá nhân của người kỹ sư.

### 1.3.1.1. Các giả thiết

Việc xác định khả năng chịu lực sẽ dựa vào những mô hình vật lý của nội lực (*mômen uốn, lực dọc trục và lực cắt*) và tác động của ngoại lực lên cấu kiện. Mô hình nội lực sẽ là một giàn ảo có các thanh mạ dọc và thân giàn ảo. Thân giàn ảo bao gồm các thanh chống ảo bằng bê tông và các thanh giằng ảo đại diện cho các cốt thép ngang thực bố trí trong thân dầm thực. Với các cấu kiện nhỏ hoặc khi không bố trí cốt thép ngang trong thân dầm thực thì các thanh giằng có thể được xem là đặc trưng cho vùng ứng suất kéo trong bê tông.

Xét dầm giằng đơn chịu tác dụng của lực tập trung, bị nứt:



Hình 1.2. Mô hình giàn ảo của dầm bê tông cốt thép nhịp giằng đơn

Trong dầm sẽ có hệ lực với các thành phần:

- (1) lực nén trong bản cánh dầm phía đỉnh,  $C_1$ ;
- (2) lực kéo phía đáy,  $T_b$ ;
- (3) lực kéo thẳng đứng trong cốt thép đai,  $T_v$ ;
- (4) lực nén nghiêng trong thanh chéo bê tông giữa các vết nứt xiên,  $C_i$ .

Hệ lực thực tế này được thay thế bằng một *mô hình giàn ảo*. Để thiết lập mô hình giàn ảo, cần có một số giả định và đơn giản hoá. Cụ thể như sau:

a) Tất cả các cốt thép đai bị cắt theo mặt cắt A-A được mô hình hoá thành một cấu kiện thẳng đứng b - c được gọi là *thanh giằng (ảo)*.

b) Tất cả các cấu kiện bê tông bị cắt theo mặt cắt B-B được mô hình hoá thành một cấu kiện e - f được gọi là *thanh chống (ảo)*. Cấu kiện xiên này chịu ứng suất nén để kháng lại lực cắt trên mặt cắt B - B.

c) Phân biên trên giàn ảo chịu nén dọc là một lực thực sự trong bê tông nhưng được biểu diễn dưới dạng một cấu kiện giàn ảo.

d) Các cấu kiện chịu nén trong giàn ảo được vẽ bằng các đường đứt nét để ám chỉ chúng thực sự là các lực trong bê tông, chứ không chia tách các cấu kiện giàn.

Các cấu kiện chịu kéo được quy ước vẽ bằng đường liền nét.

#### ***1.3.1.2. Các bước chung để thành lập một mô hình giàn ảo***

Đầu tiên phải xác định đầy đủ các điều kiện biên của những vùng được mô hình hoá. Ta có thể làm như sau:

1. Xác định kích thước hình học, tải trọng, điều kiện gối của toàn bộ kết cấu. Chú ý rằng có thể giả thiết một vài tham số chưa biết như các kích thước thiết kế, các kích thước này sẽ được kiểm tra thêm sau này và nếu cần thiết thì sẽ được hiệu chỉnh sau.

2. Chia 3 kích thước kết cấu bằng những mặt phẳng khác nhau để dễ dàng phân tích riêng bởi mặt trung bình của hệ thanh. Phần lớn các trường hợp kết cấu sẽ được chia theo các mặt trục giao (vuông góc) hoặc có thể song song với nhau. Ví dụ xét một dầm T: yêu cầu cánh dầm và sườn dầm được mô hình hoá riêng rẽ. Những điều kiện biên được xác định rõ từ đường giao nhau của các mặt, với dầm T là chỗ tiếp giáp cánh và sườn.

3. Xác định phản lực gối bằng các sơ đồ tĩnh học lý tưởng (như khung, dầm liên tục). Với những kết cấu siêu tĩnh, giả thiết sự làm việc là đàn hồi

tuyến tính. Chú ý rằng sự phân bố lại mômen do nứt, biến dạng dẻo và từ biến có thể được xét đến.

#### 4. Chia kết cấu thành những vùng B và D

5. Xác định nội ứng suất của những vùng B và xác định kích thước của những vùng B bằng mô hình giàn ảo hoặc sử dụng những phương pháp thông thường mà Quy trình thiết kế đã cho phép.

6. Xác định những lực tác dụng lên riêng vùng D để phục vụ cho việc xét đường truyền lực của chúng. Ngoài tải trọng ra còn phải xét những ứng suất biên trong những mặt cắt phân chia các vùng "D" và "B", chúng được lấy từ kết quả thiết kế vùng "B" theo các giả định và mô hình của vùng B.

#### 7. Kiểm tra những vùng D riêng rẽ theo sự cân bằng.

##### **1.3.1.3. Định hướng và tối ưu hoá mô hình giàn ảo**

Hiểu biết về sự phân bố ứng suất là tối quan trọng đối với người thiết kế, cho phép chúng ta giảm đi một số lượng lớn các mô hình mà vẫn đảm bảo được các điều kiện sử dụng đặt ra của kết cấu. Do vậy để tạo thuận lợi cho việc định hướng, các mô hình theo dòng lực biểu thị bởi ứng suất đàn hồi.

Để đưa ra cách bố trí cốt thép thích hợp và khả thi cần có một vài điều chỉnh mô hình theo dòng lực và phù hợp với các đặc tính đặc trưng riêng của kết cấu bê tông cốt thép. Điều này bao gồm các yêu cầu sau:

1. Cách bố trí cốt thép nên thoả mãn các yêu cầu thực tế để đơn giản hoá việc lập mô hình như sử dụng các thanh cốt thép thẳng với số lượng các chỗ uốn cong là tối thiểu, nên bố trí các cốt thép thẳng góc và song song với các cạnh của kết cấu khi có thể.

2. Các cốt thép gần bề mặt nên được đặt lựa theo các cạnh và các mặt của kết cấu để khống chế nứt một cách hợp lý.

3. Trong trạng thái bê tông đã nứt, các thanh cốt thép sẽ hướng theo dòng của các lực kéo, thực chất chúng là các thanh kéo của mô hình, vị trí của chúng luôn được biết trước.

4. Sự sắp xếp của cốt thép cần phải đủ tương ứng với mọi trường hợp tải trọng khác nhau. Điều này là một trong các lý do giải thích tại sao quỹ đạo ứng suất không phải là cơ sở duy nhất cho thiết kế cốt thép, mà quỹ đạo ứng suất sẽ biến đổi như một hàm của tải trọng.

5. Sự hình thành các vết nứt và biến dạng dẻo của vật liệu kết cấu sẽ làm phân phối lại nội lực như được xác định trên cơ sở của thuyết đàn hồi. Mô hình lựa chọn là mô hình cho thấy rõ kết cấu phục vụ để mang những lực tối thiểu và các biến dạng có thể. Vì các thanh kéo (cốt thép) có biến dạng lớn hơn các thanh chống (bê tông) nên mô hình các thanh kéo nhỏ nhất và ngắn nhất sẽ là tốt nhất. Trong trường hợp nghi vấn, kết quả của chiều dài thanh kéo  $l_i$  và lực kéo  $T_i$  có thể được sử dụng như một tiêu chuẩn để tối ưu hoá mô hình:

$$\sum T_i \cdot l_i = \text{minimum}$$

Với trường hợp ngoại lệ, các thanh chống chịu ứng suất lớn trên một chiều dài đáng kể, vì vậy nó sẽ có biến dạng trung bình cao tương tự như biến dạng của các thanh kéo, nó cũng sẽ được đưa vào trong tiêu chuẩn tối ưu:

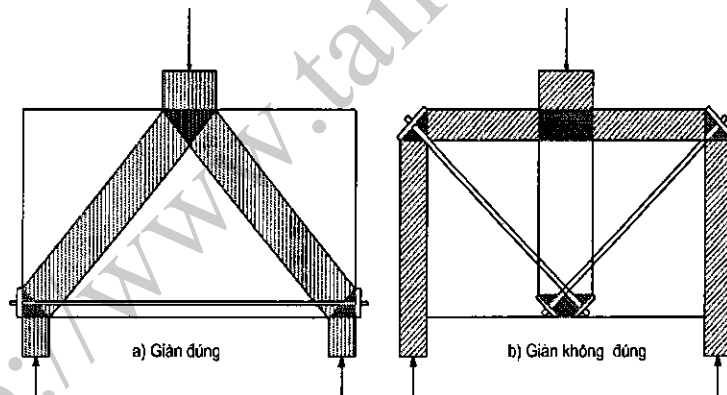
$$\sum F_i \cdot l_i \cdot \epsilon_m = \text{minimum}$$

trong đó:

$F_i$  - lực trong thanh chống hoặc thanh nén thứ  $i$

$l_i$  - chiều dài của thanh  $i$

$\epsilon_i$  - biến dạng trung bình của thanh  $i$

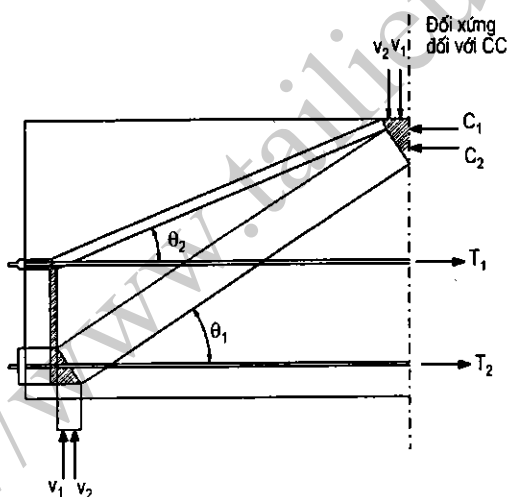


**Hình 1.3. Các giàn đúng và không đúng**

Cách tiếp cận này sẽ cùng một lúc cho phép xem xét các biến dạng nhỏ hơn của các thanh kéo riêng trong kết cấu bê tông đã nứt hoặc chưa nứt. Phương trình trên có một vài điểm tương tự như nguyên lý năng lượng biến dạng nhỏ nhất với sự làm việc đàn hồi tuyến tính, nhưng được sửa đổi với kết cấu bê tông cốt thép đã nứt. Nguyên tắc này cũng giúp loại trừ được các mô hình sai.

Các mô hình thu được hầu hết là mô hình động, tuy nhiên nó không có nghĩa rằng kết cấu không ổn định vì ngay khi có sự chuyển động nhỏ nhất của các khoang giàn tứ giác, lực nén chéo trong bê tông sẽ lập tức sinh ra để kết cấu ổn định.

Ví dụ một mô hình giàn không phù hợp như hình 1.4. Một nửa dầm được đỡ đơn giản có cốt thép chịu uốn và một cốt thép thân dầm nằm ngang ở cao độ giữa dầm. Mô hình giàn dẻo thích hợp với dầm này bao gồm hai giàn, một giàn sử dụng cốt thép thấp hơn như là thanh chịu kéo của nó, còn giàn thứ hai sử dụng cốt thép cao hơn. Đối với một vật liệu dẻo lý tưởng, độ lớn sẽ bằng tổng của các lực cắt truyền bởi hai giàn  $V_1$  và  $V_2$ . Tuy nhiên, các thí nghiệm cho thấy lớp thép cao hơn (nếu có) sẽ ít ảnh hưởng đến độ bền của dầm. Khi dầm này chịu tải thì thanh kéo phía dưới đáy bị biến dạng trước tiên và tiếp tục bị biến dạng rất nhiều trước khi thanh chịu kéo bên trên có thể biến dạng. Thông thường trước khi biến dạng này có thể phát triển đầy đủ thì giàn thấp hơn sẽ bị phá hỏng.

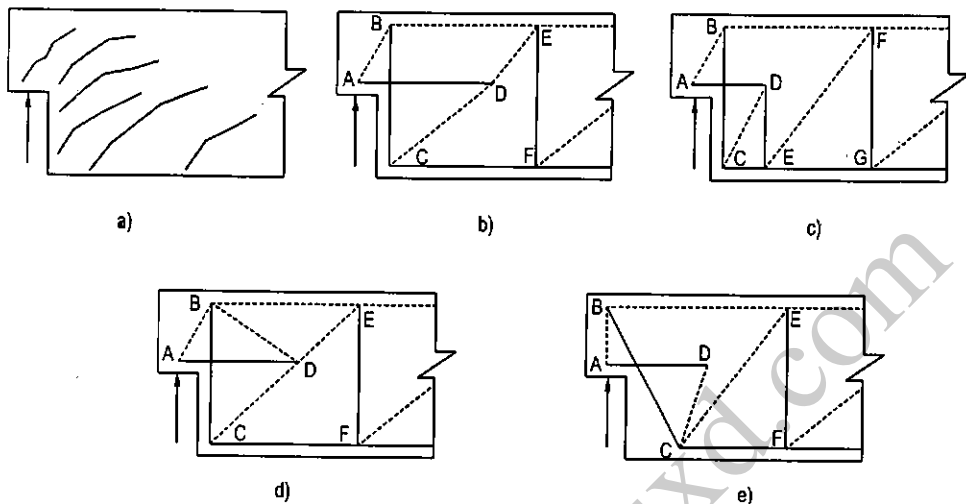


Hình 1.4: Mô hình giàn ảo không hợp lý

#### 1.3.1.4. Sự phù hợp của mô hình giàn ảo với thực trạng các vết nứt

Nếu như có sẵn các bức ảnh về các mẫu vết nứt thì có thể giúp ta chọn một mô hình giàn ảo tốt nhất. Hình 1.5a thể hiện mẫu vết nứt trong một đầu lắp mộng ở vùng tựa của một dầm đúc sẵn. Hình vẽ 1.5b, c, d, e thể hiện các mô hình có thể có đối với vùng này.

Trong hình 1.5d thanh chống B - D đi qua một vùng nứt trong mẫu thí nghiệm, điều này cho thấy rằng đây không phải là vị trí hợp lý với thanh chống (chịu nén).



**Hình 1.5:** Từ dạng bố trí thực tế của các vết nứt suy ra dạng hợp lý của mô hình giàn dáo

#### 1.3.1.5. Quy định của các tiêu chuẩn về các hệ số giảm độ bền (hệ số sức kháng)

Theo tiêu chuẩn 22TCN 272-01 của Việt Nam, cũng như theo các Tiêu chuẩn ACI và AASHTO LRFD của Hoa Kỳ, các hệ số giảm bền  $\phi$  được quy định theo điều kiện chịu lực như sau:

$\phi = 0,9$ : đối với các cột chịu uốn.

$\phi = 0,85$ : đối với các cột chịu cắt.

$\phi = 0,70$ : đối với các cột có giằng.

Đôi khi khó có thể lựa chọn được giá trị nào sử dụng tương xứng được trong vùng D của một mối nối dầm - cột. Vì các bài toán vùng D, nói chung các vai đỡ và các dầm cao thông thường nhất được xem là các bài toán cắt, nên thường chọn  $\phi = 0,85$  trong việc giải bài toán vùng D, các mô hình chống và giằng được tính với các tải trọng bằng  $P/\phi$  sẽ cho các lực nén giả định  $C_n$  trong các thanh chống và lực kéo giả định  $T_n$  trong các thanh giằng, lực kháng của các thanh chống và các thanh giằng được tính theo  $A_c$  ( $\gamma_1, \gamma_2, f'_c$ ) cho các thanh chống và theo  $A_s, f_y$  cho các thanh giằng.



Đa số các trường hợp, hình dạng của mô hình được xác định bởi các điều kiện cân bằng chỉ sau khi một vài thanh chống và thanh kéo đã được chọn. Điều này giải thích rằng đối với những hệ thống động, cách mô hình hoá và sự phân tích kết cấu có quan hệ với nhau.

Ngược lại, sự phát triển các mô hình giàn ảo tĩnh định có thể đi trước sự phân tích các lực mà chúng sẽ được mang ra để làm các điều kiện cân bằng. Một mô hình như vậy sẽ bao trùm các trường hợp tải khác nhau mặc dù hiển nhiên rằng nó không thể biểu hiện một sự hình dung hoàn hảo các dòng lực khác nhau.

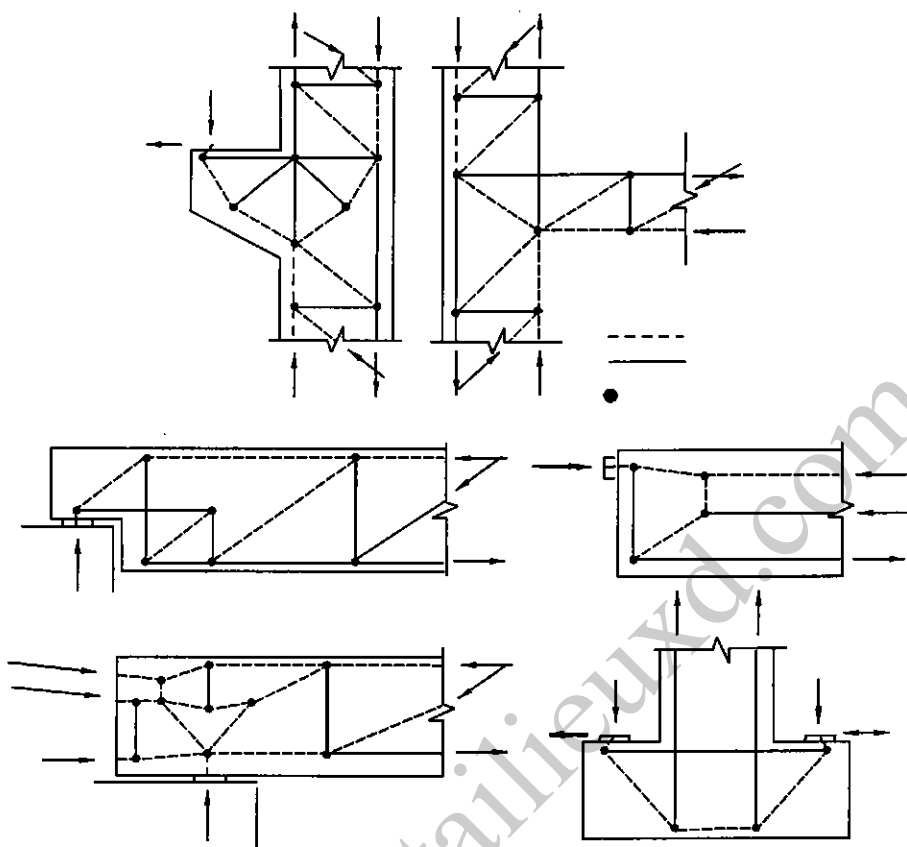
Việc sử dụng các mô hình giàn ảo siêu tĩnh đôi khi thích hợp với việc xem xét các dòng ứng suất thực. Mặt khác sự lựa chọn hình học của mô hình nên dựa trên nguyên lý đã biết như phương pháp của thuyết đàn hồi.

Để xác định các lực trong mô hình giàn ảo siêu tĩnh có ba cách cơ bản sau:

1. Phân tích mô hình giàn ảo bằng cách sử dụng quan hệ lực - biến dạng thực tế đối với các phần tử kéo và các phần tử nén của mô hình. Với mục đích đơn giản hóa, đối với mỗi phần tử của mô hình, giá trị trung bình của mặt cắt ngang của nó có thể được giả định trước. Đối với các thanh kéo bê tông cốt thép nên giả định sơ bộ sức chịu kéo của bê tông. Chú ý rằng cốt thép phải được chọn trước khi phân tích mô hình và phải tuyệt đối không thiết kế lại cốt thép để giữ nguyên điều kiện độ cứng. Phương pháp này chỉ khả thi khi có sự trợ giúp của một chương trình máy tính đặc biệt đã được phát triển cho mục đích này.

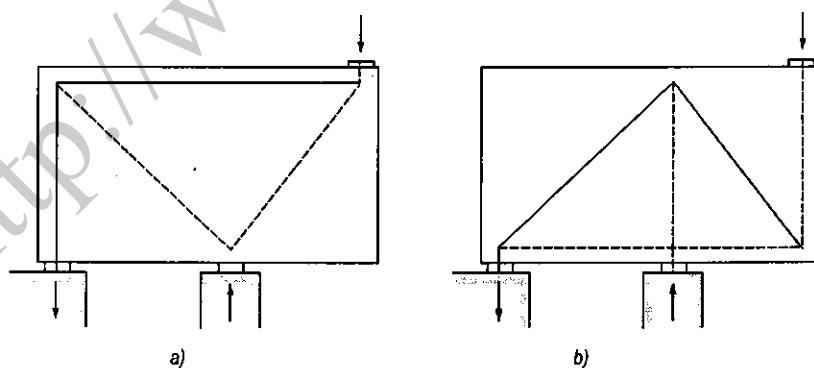
2. Để kiểm soát các tính toán nên phát triển mô hình giàn ảo siêu tĩnh từ tổ hợp của hai hoặc nhiều hơn các mô hình giàn ảo tĩnh định, do đó mỗi một mô hình phải thiết lập cân bằng với các thành phần lực tác dụng. Ở đây có sự tự do tương đối rộng để phân phối các lực cho các mô hình tĩnh định riêng hoặc các phần tử, tuy nhiên cần quan tâm thích đáng đến những điều kiện độ cứng và các giới hạn chiều rộng khe nứt.

3. Sau cùng cũng có thể phân phối các lực cho các thanh chống và các thanh kéo của mô hình, chúng được coi là các lực dư thừa. Các lực đó được lấy theo sự phân tích đàn hồi tuyến tính hoặc được chọn tùy ý. Trong trường hợp thứ nhất các ứng suất dư thừa đã ấn định cho các thanh kéo được hợp nhất trong các mặt cắt điển hình thẳng góc với thanh. Các phản lực gối thừa được lấy theo phép phân tích đàn hồi tuyến tính.



**Hình 1.6 :** Một vài ví dụ đơn giản về mô hình giàn ảo

Cùng một kết cấu thực tế, có thể có vài mô hình giàn ảo được lập ra tùy theo ý tưởng của người tính toán. Hình 1.7 sau đây là một ví dụ. Tuy nhiên mô hình (a) là hợp lý hơn;

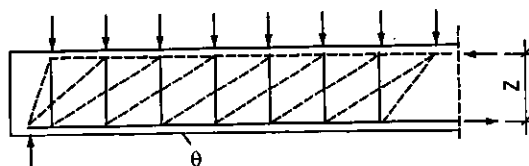


**Hình 1.7:** 2 mô hình giàn ảo khác nhau tương ứng với 1 kết cấu dầm cao thực tế chịu 1 lực tập trung ở đầu mút hẫng

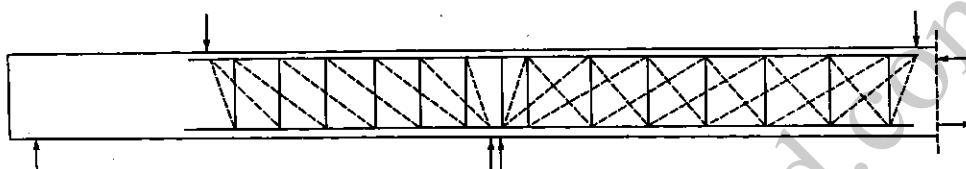
### 1.3.2. Một số mô hình giàn ảo cơ bản

#### 1.3.2.1. Mô hình giàn ảo với các hình thức đặt tải

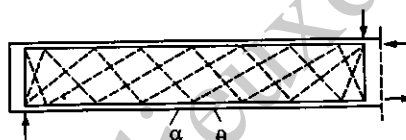
a) Khu vực gối đỡ với tải trọng phân bố



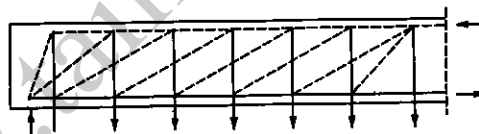
b) Các thanh xiên



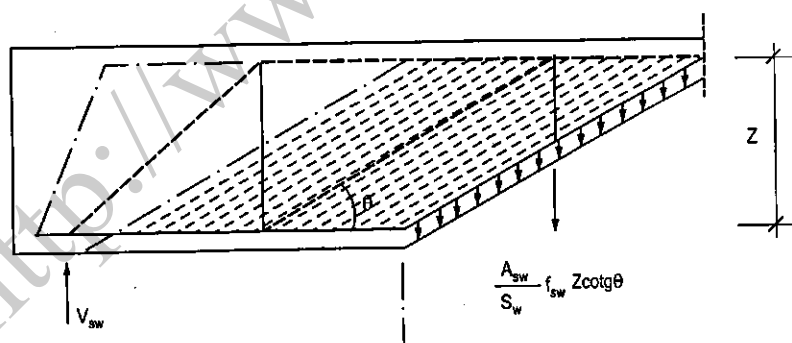
c) Lực tác dụng ở đáy dàn



d) Dầm liên tục với lực tập trung



#### 1.3.2.2. Vùng ứng suất nén - thanh chống xiên



$A_{sw}$  - diện tích cốt thép đai mặt cắt nghiêng (góc  $\theta$ ) cắt qua.

$S_w$  - khoảng cách giữa các cốt thép đai.

$R_a$  - giới hạn chảy của cốt thép chịu kéo.

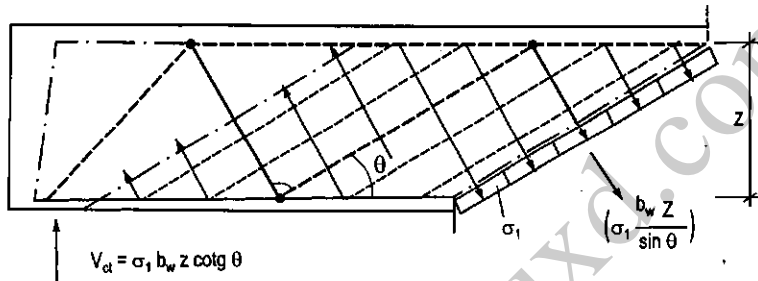
$\theta$  - góc nghiêng của thanh chống xiên với thanh mạ chịu kéo.

$F_1$  - lực kéo trong thanh giằng.

$$\Rightarrow F_1 = \frac{A_{sw}}{S_w} \cdot R_a \cdot z \cdot \cot \theta \quad (1-1)$$

$V_{sw}$  - phản lực gối cân bằng với lực kéo  $F_1$  trong thanh giằng.

### 1.3.2.3. Mô hình các thanh giằng bê tông với bộ phận nhỏ hoặc không có cốt thép đai



$\sigma_1$  - ứng suất kéo trong bê tông.

$z$  - cánh tay đòn nội ngẫu lực.

$\theta$  - góc nghiêng của thanh chống xiên với thanh mạ chịu kéo.

$b_w$  - chiều rộng sườn dầm.

$F_1$  - lực kéo trong thanh giằng, đặc trưng cho vùng bê tông chịu kéo khi dầm

không có cốt thép đai,  $\Rightarrow F_1 = \sigma_1 \cdot \frac{b_w \cdot z}{\sin \theta}$

$V_{CT}$  - phản lực tại gối, cân bằng với thành phần thẳng đứng của lực kéo  $F_1$ .

$$\Rightarrow V_{ct} = F_1 \cdot \cos \theta = \sigma_1 \cdot b_w \cdot z \cdot \cot \theta \quad (1-2)$$

## 1.4. KẾT CẤU CỦA MÔ HÌNH GIÀN ẢO

Kết cấu và hình dạng của mô hình giàn ảo được xác định bằng cánh tay đòn nội ngẫu lực  $z$  giữa hai thanh mạ và góc  $\theta$  của thanh chống xiên hoặc vùng ứng suất nén của thân giàn ảo. Việc xác định  $z$  và  $\theta$  theo nguyên tắc sau:

a) Cánh tay đòn nội ngẫu lực  $z$ : được xác định từ việc thiết kế chịu uốn của mặt cắt ngang tại các vị trí có mômen lớn nhất. Nó được xem là không đổi trong suốt vùng có mômen uốn giữ nguyên dấu.

$$z = j \cdot d$$

(1-3)

với:

- j - hệ số không thứ nguyên, (theo ACI, j lấy gần đúng  $= 0,875 \div 1$ );
- d - chiều cao mặt cắt ngang dầm.

b) Góc nghiêng  $\theta$  của thanh chống xiên: được xác định từ việc thiết kế chịu cắt của mặt cắt ngang và những thay đổi về độ lớn của lực dọc trục hoặc lực căng trước. Nó được xem là không đổi trong suốt vùng có lực cắt giữ nguyên dấu.

## 1.5. PHÂN BỐ CỐT THÉP ĐAI

Trong tính toán thiết kế, sự phân bố cốt thép đai lý tưởng sẽ tương ứng với trường hợp tất cả các cốt đai đạt đến giới hạn chảy dẻo vào lúc tải trọng đạt đến giá trị phá hỏng. Vì thế, giả định rằng tất cả các cốt đai đã chảy dẻo và mỗi cốt đai truyền một lực là  $A_d R_a$  ngang qua vết nứt. Ở đây,  $A_d$  là diện tích nhánh cốt thép đai. Khi điều này xảy ra, giàn ảo trở thành tĩnh định. Do đó, dầm bê tông cốt thép được tính toán cấu tạo sao cho cốt thép đai sẽ bị chảy dẻo trước khi bê tông bị nén vỡ. Như vậy dầm sẽ không bị phụ thuộc vào tác động dẻo trong bê tông. Tài liệu "Thiết kế thực hành kết cấu bê tông" (Practical Design of Structural Concrete - FIP Recommendations 1996) có quy định:

- a) Khoảng cách của các cốt đai  $S_w$  không nên  $> z/5$  và không nhỏ hơn 200mm.
- b) Khoảng cách lớn nhất của cốt thép đai  $S_{max}$  không được vượt quá giá trị sau:
  - Theo hướng dọc trục:  $S_{max} = 0,60.z$  hoặc 400mm
  - Theo hướng ngang:  $S_{max} = 0,60.z$  hoặc 400mm
- c) Góc nghiêng của bất kỳ cốt thép ngang trong thân dầm  $\alpha$  không nên  $< 45^\circ$ .

## 1.6. THÀNH PHẦN LỰC CẮT $V_{CZ}$ , $V_{AY}$ VÀ $V_D$

Mô hình giàn ảo bỏ qua các thành phần lực cắt  $V_{CZ}$ ,  $V_{AY}$  và  $V_D$  đối với bê tông. Trong đó:

$V_{CZ}$  - lực cắt trong vùng chịu nén;

$V_{ay}$  - thành phần thẳng đứng của lực cắt được truyền ngang qua vết nứt nhờ sự cài khoá vào nhau của các hạt cốt liệu trên hai mặt của vết nứt;

$V_d$  - tác động chốt chèn của thép dọc.

Do bỏ qua 3 thành phần này nên không áp đặt bất kỳ lực cắt nào "cho bê tông", cốt thép đai được giả thiết chịu toàn bộ thành phần thẳng đứng của nội lực.

## 1.7. VÙNG QUẠT CHỊU NÉN VÀ VÙNG CHỊU NÉN

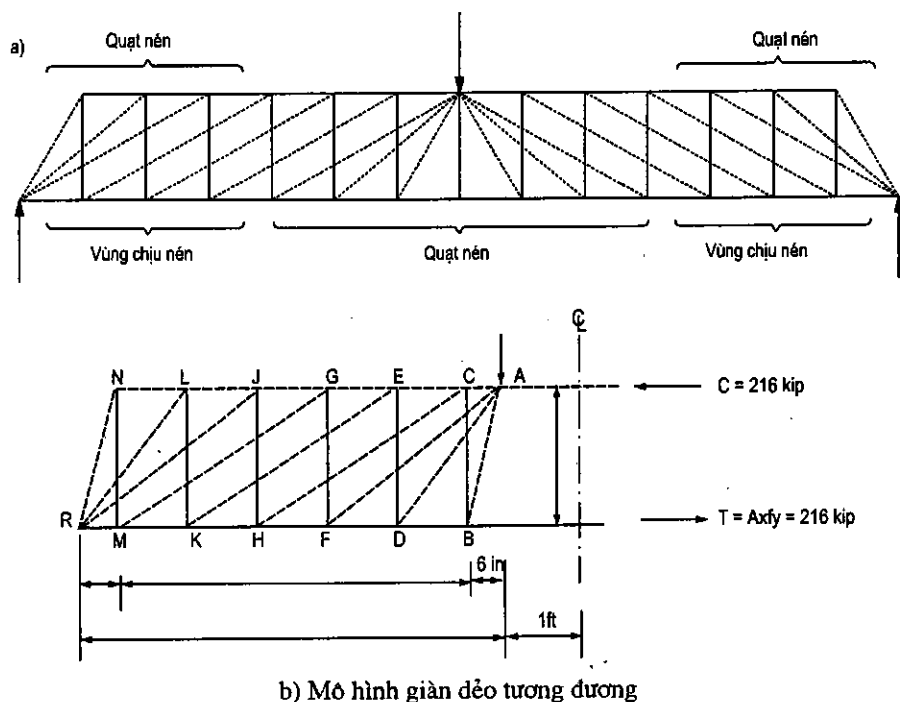
Xét ví dụ nêu trong hình 1.8, đầu bên trái của dầm có thể thay thế bằng một giàn ảo. Để vẽ được giàn này, cần đưa ra các giả định sau:

1. Các vết nứt xiên một góc  $\theta$  so với phương nằm ngang, ở đây góc  $\theta$  trong khoảng  $25^\circ$  đến  $65^\circ$ .

2. Toàn bộ lực cắt do cốt thép đai chịu.

3. Mép trên của dầm bị phá hỏng do cắt và uốn đồng thời. Do đó, giả định rằng tất cả các cốt thép đai đã chảy dẻo, từng cốt thép đai chịu một lực thẳng đứng  $A_d R_a$ .

4. Giả định  $z = j.d = d - \frac{a}{2}$  (coi  $j = 1$ ).



Hình 1.8. Vùng quạt chịu nén và vùng chịu nén

Các thanh xiên chịu nén bắt đầu từ điểm đặt tải trọng (thanh AB, AD và AF) hoặc phản lực gối (thanh RN, RL và RJ) được gọi là vùng hình quạt chịu nén. Số lượng các thanh xiên trong vùng hình quạt chịu nén được xác định để đảm bảo toàn bộ thành phần lực thẳng đứng trong thanh xiên cân bằng với lực tác dụng tại vị trí tác động.

Khoảng cách giữa các vùng hình quạt chịu nén là một vùng chịu nén bao gồm các thanh xiên chịu nén song song CH, EK và GM. Góc  $\theta$  của vùng chịu nén được xác định bởi số lượng cốt thép đai cần có để cân bằng các tải trọng thẳng đứng trong các quạt chịu nén.

Các vùng quạt chịu nén là vùng D (vùng không liên tục); vùng chịu nén là vùng B (vùng dầm).

Một quạt chịu nén là dãy các thanh chống tỏa ra từ một lực tập trung để phân bố lực đó tới một loạt các thanh chịu kéo đã cục bộ hoá, chẳng hạn như các cốt thép đai trong một dầm bê tông cốt thép.

Trong hình 1.8, các quạt được biểu diễn phía trong vùng có phản lực và bên dưới vùng có tải trọng tập trung.

Vùng chịu nén là một dãy các thanh chống chịu nén song song kết hợp với các thanh giằng chịu kéo thích hợp và các cánh đai giằng chịu nén (hình 1.8), hay nói cách khác nó là vùng ở giữa hai quạt nén kề nhau.

## 1.8. ĐƠN GIẢN HOÁ MÔ HÌNH GIÀN ẢO

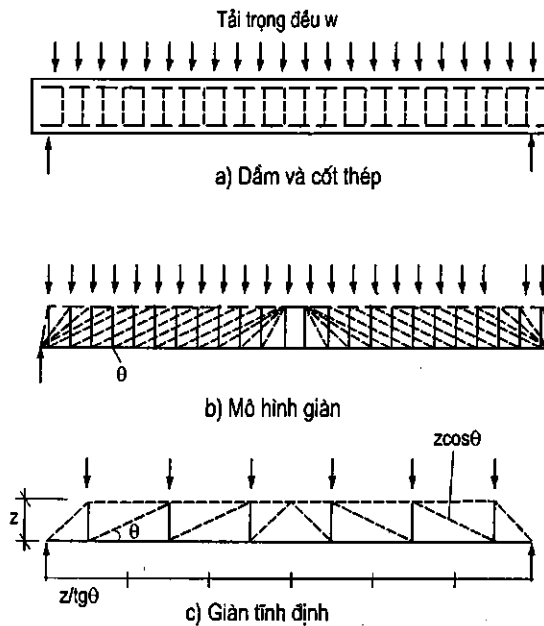
Xét dầm tĩnh định chịu tải trọng rải đều có bố trí cốt thép đai (hình 1.9). Mô hình giàn ảo hợp nhất tất cả các cốt thép đai và biểu diễn tải trọng dưới dạng một chuỗi các tải trọng tập trung tại các nút giàn. Giàn ảo này được xem là tĩnh định nếu giả định là các lực trong mỗi cốt thép đai đủ làm cho cốt đai đạt tới chảy dẻo.

Với mô hình giàn ảo tĩnh định, ta có:

a) Lực kéo trong mỗi cấu kiện thẳng đứng đại diện cho tất cả các lực trong cốt thép đai trong khoảng chiều dài bằng  $\frac{z}{\tan\theta}$ .

b) Mỗi thanh chịu nén xiên đại diện cho một khoảng chiều rộng thân dầm bằng  $z \cdot \cos\theta$ .

c) Tải trọng rải đều  $w$  được lý tưởng hoá để trở thành các tải trọng tập trung  $\frac{w \cdot z}{\tan\theta}$  tác dụng tại các nút giàn ảo, với  $z$  là cánh tay đòn nội ngẫu lực,  $\theta$  là góc nghiêng của thanh chống xiên với thanh mạ chịu kéo



**Hình 1.9. Mô hình giàn đơn giản hoá để tính toán thiết kế**

## 1.9. NỘI LỰC TRONG MÔ HÌNH GIÀN ẢO

Tiêu chuẩn 22TCN 272-01 quy định rằng: một kết cấu hay một vùng kết cấu có thể được mô hình hoá như một tổ hợp của các giằng thép chịu kéo và các thanh chống bê tông chịu nén nối với nhau tại các nút để tạo thành một kết cấu giàn ảo có khả năng chịu được tất cả các lực đặt vào và truyền tới các gối. Chiều rộng yêu cầu của các thanh chịu nén và chịu kéo sẽ được xem xét khi xác định yếu tố hình học của giàn ảo.

Theo nguyên tắc chung, sức kháng tính toán của các thanh chịu kéo và nén  $P_r$  sẽ được coi như các cấu kiện chịu lực dọc trục:

$$P_r = \varphi P_n \quad (\text{điều 5.6.3.2-1})$$

trong đó:

$P_n$  - cường độ danh định của thanh chống nén hoặc giằng kéo (N)

$\varphi$  - hệ số sức kháng cho trường hợp chịu kéo hoặc nén được quy định trong Điều 5.5.4.2 được lấy một cách tương ứng.

*Cường độ của thanh giằng chịu kéo*

Cốt thép kéo phải được neo vào vùng nút với chiều dài neo quy định bởi những móc neo hoặc các neo cơ học. Lực kéo phải được phát triển ở mặt trong của vùng nút.



Sức kháng danh định của thanh giằng chịu kéo phải lấy bằng:

$$P_n = f_y A_{st} + A_{ps} [f_{pe} + f_y] \quad (\text{điều 5.6.3.4.1-1})$$

ở đây:

$A_{st}$  - tổng diện tích của cốt thép dọc thường trong thanh giằng ( $\text{mm}^2$ ).

$A_{ps}$  - diện tích thép dự ứng lực ( $\text{mm}^2$ )

$f_y$  - cường độ chảy của cốt thép dọc thường (MPa)

$f_{pe}$  - ứng suất trong thép dự ứng lực do tạo dự ứng lực, đã xét mất mát (MPa)

*Neo thanh giằng*

Cốt thép của thanh giằng chịu kéo phải được neo vào vùng nút để truyền lực kéo của nó đến vùng nút của giàn, phù hợp với các yêu cầu phát triển của cốt thép như quy định trong Điều 5.11.

*Cường độ của thanh chống chịu nén*

Trong Tiêu chuẩn quy định sức kháng danh định của thanh chịu nén không cốt thép lấy như sau:

$$P_n = f_{cu} A_{cs} \quad (\text{điều 5.6.3.3.1-1})$$

trong đó:

$P_n$  - sức kháng danh định của thanh chịu nén, (N).

$f_{cu}$  - ứng suất chịu nén giới hạn như quy định trong Điều 5.6.3.3.3, (MPa).

$A_{cs}$  - diện tích mặt cắt ngang hữu hiệu của thanh chịu nén như quy định trong điều 5.6.3.3.2, ( $\text{mm}^2$ ).

Giá trị  $A_{cs}$  phải được xác định xét đến cả 2 yếu tố là diện tích bê tông và điều kiện ở đầu thanh chống (biểu thị trong hình 1.12). Khi đầu thanh chống được neo bằng cốt thép thì phạm vi bê tông hữu hiệu có thể mở rộng thêm một khoảng bằng 6 lần đường kính cốt thép tính từ thanh cốt thép neo, như biểu thị ở hình 1.12a.

Ứng suất nén giới hạn trong thanh chống. Ứng suất chịu nén giới hạn  $f_{cu}$  phải lấy như sau:

$$f_{cu} = \frac{f'_c}{0,8 + 170 \epsilon_1} \leq 0,85 f'_c \quad (\text{điều 5.6.3.3.3-1})$$

trong đó:  $\varepsilon_1 = (\varepsilon_s + 0.002) \cot g^2 \alpha_s$  (điều 5.6.3.3.3-2)

ở đây:

$\alpha_s$  - góc nhỏ nhất giữa thanh chịu nén và thanh chịu kéo liền kề, (độ);

$\varepsilon_s$  - biến dạng kéo trong bê tông theo hướng của giằng chịu kéo, (mm/mm);

$f'_c$  - cường độ chịu nén quy định, (MPa).

*Đối với thanh chống có cốt thép*

Nếu thanh nén có cốt thép bố trí song song với trục thanh và được cấu tạo để chịu nén tới giới hạn chảy thì sức kháng danh định của thanh nén được tính như sau:

$$P_n = f_{cu} A_{cs} + f_y A_{ss} \quad (\text{điều 5.6.3.3.4-1})$$

trong đó:  $A_{ss}$  - diện tích mặt cắt cốt thép trong thanh chống, (mm<sup>2</sup>).

*Định kích thước vùng nút*

Trừ khi có bố trí cốt thép đai và tác dụng của nó được chứng minh qua tính toán hay thực nghiệm, ứng suất nén trong bê tông ở vùng nút không được vượt quá trị số sau:

- Đối với vùng nút bao bởi thanh chịu nén và mặt gối:  $0,85 \varphi f'_c$
- Đối với vùng nút neo thanh chịu kéo một hướng:  $0,75 \varphi f'_c$
- Đối với vùng nút neo thanh chịu kéo nhiều hướng:  $0,65 \varphi f'_c$

trong đó:  $\varphi$  - hệ số sức kháng chịu lực ép mặt trên bê tông như quy định ở Điều 5.5.4.2.

Cốt thép của thanh chịu kéo phải được bố trí đều trên toàn bộ diện tích hữu hiệu của bê tông ít nhất bằng lực của thanh chịu kéo chia cho ứng suất giới hạn được quy định ở đây.

Ngoài việc thoả mãn các tiêu chuẩn cường độ chịu lực cho thanh chịu kéo và nén, vùng nút phải được thiết kế theo ứng suất và giới hạn của vùng neo như quy định ở các Điều 5.6.3.4.1 và 5.6.3.4.2.

Ứng suất ép mặt trên vùng nút phát sinh do lực tập trung hay phản lực phải thoả mãn các điều kiện quy định trong Điều 5.7.5.

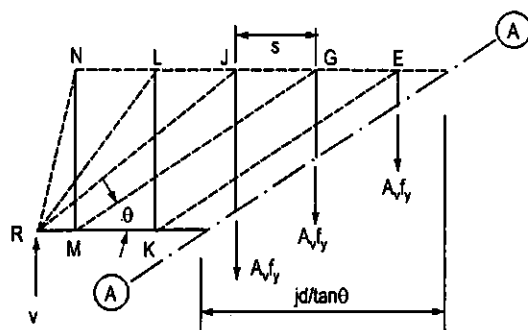
### **1.9.1. Lực kéo trong cấu kiện thẳng đứng**

Xét mặt cắt A-A song song với các thanh xiên trong phạm vi vùng chịu nén. Ta thấy, toàn bộ thành phần thẳng đứng của lực cắt bị kháng lại bởi các

lực kéo trong cốt thép đai đi ngang qua mặt cắt A-A. Phần nằm ngang của mặt cắt A-A bằng  $\frac{z}{\operatorname{tg}\theta}$  và khoảng cách giữa các cốt thép đai là  $s$ .

⇒ Lực kéo  $F_d$  trong cầu kiến thẳng đứng được tính theo công thức:

$$F_d = \frac{A_s}{s} \cdot R_a \cdot \frac{z}{\operatorname{tg} \theta} \quad (1-4)$$



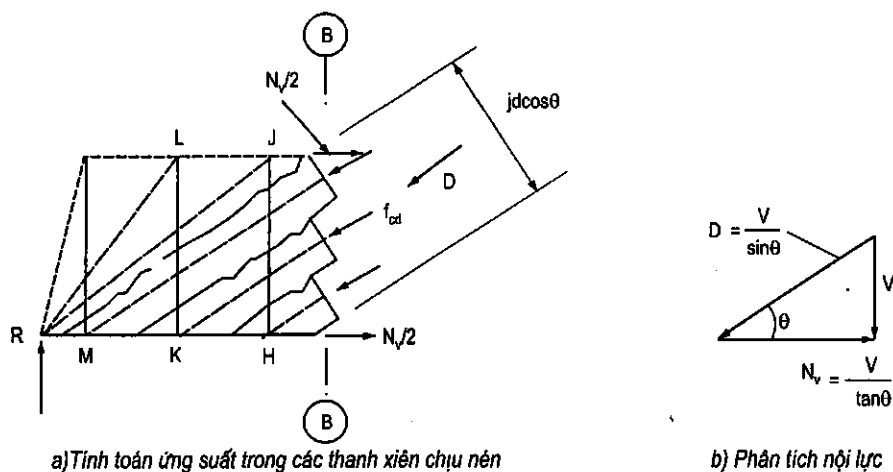
**Hình 1.10. Lực trong cốt thép đai**

### 1.9.2. Chiều rộng và Lực nén trong thanh chống xiên chịu nén

#### 1.9.2.1. Chiều rộng thanh chống xiên

#### 1.9.2.1.1. Chiều rộng thanh chống xiên trong vùng B

Xét biểu đồ vật thể tự do được cắt ra bởi mặt cắt thẳng đứng B-B trong hình 1.11.



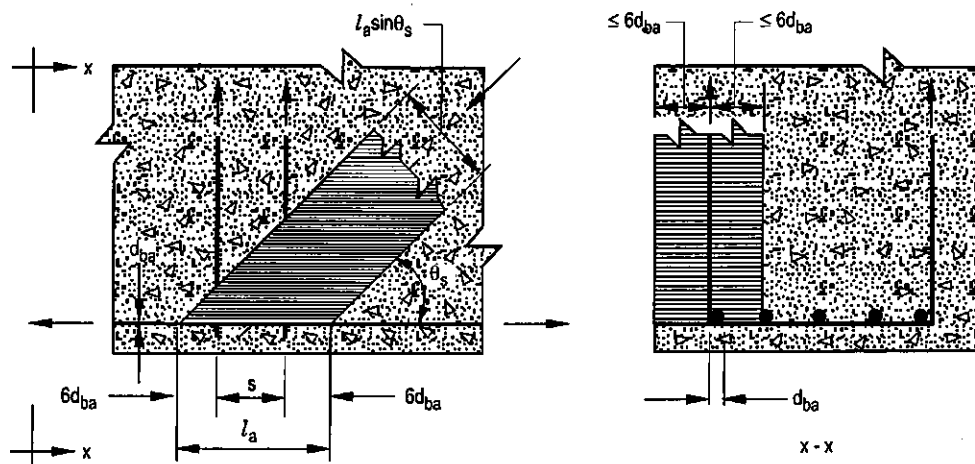
**Hình 1.11. Lực trong thanh xiên chịu nén**

Theo quan hệ tam giác lượng trong hình 1.11, ta xác định được chiều rộng  $B$  của các thanh chống xiên qua cánh tay đòn nội ngẫu lực  $z$  và góc nghiêng  $\theta$ :

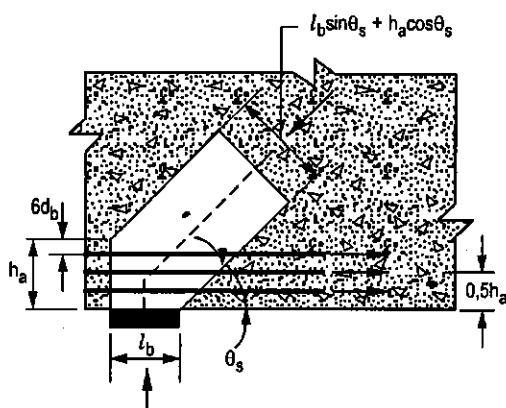
$$B = z \cdot \cos \theta \quad (1-5a)$$

#### 1.9.2.1.2. Chiều rộng thanh chống xiên trong vùng quạt chịu nén (vùng D)

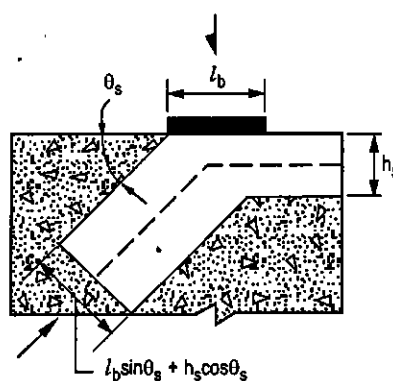
Theo chỉ dẫn của Tiêu chuẩn 22TCN 272-01, việc xác định chiều rộng thanh chống tại vùng D tính theo quan hệ hình học trong hình 1.12.



a) Thanh chống được neo bằng cốt thép



b) Thanh chống được neo bằng gối và cốt thép



c) Thanh chống được neo bằng gối và thanh chống

**Hình 1.12.** Xác định chiều rộng của thanh chống, ảnh hưởng của điều kiện neo đến diện tích mặt cắt ngang hữu hiệu của thanh chống

trong đó:

S - khoảng cách thực tế của hai cốt thép đai;

$\theta_s$  - góc nghiêng của thanh chống trong quạt chịu nén

$l_B$  - chiều rộng chịu ép của bê tông; được xác định theo giá trị  $a_1$  trong mục 3.2.3;

$h_s$  - chiều cao vùng chịu nén của bê tông

$h_a$  - phạm vi bố trí cốt thép tại khu vực gối dầm

$d_b$  - đường kính cốt thép chịu kéo

### **1.9.2.2. Lực nén dọc trong thanh chống xiên**

#### **1.9.2.2.1. Trong vùng B**

Ở đây, lực thẳng đứng  $V$  tác dụng lên mặt cắt phải được kháng lại bởi lực nén xiên  $D = \frac{V}{\sin \theta}$  trong các thanh xiên. Ứng suất nén xiên trung bình  $\sigma_{nx}$  trong các thanh chống được xác định:

$$\sigma_{nx} = \frac{D}{b.z.\cos \theta} = \frac{V}{b.z.\cos \theta \sin \theta} \quad (1-5)$$

Biến đổi, ta có:

$$\sigma_{nx} = \frac{V}{b.z} \left( \operatorname{tg} \theta + \frac{1}{\operatorname{tg} \theta} \right) \quad (1-5a)$$

trong đó:  $b$  - chiều dày thân dầm. Nếu thân dầm rất mỏng, ứng suất nén xiên này có thể làm cho thân dầm bị vỡ.

Lực cắt  $V$  trên mặt cắt B - B được thay bằng lực nén xiên  $D$  và lực kéo dọc trục  $N_v$ . Theo hình 1.11 ta có:

$$N_v = \frac{V}{\operatorname{tg} \theta} \quad (1-6)$$

Nếu giả định ứng suất cắt là không đổi trên chiều cao của dầm, các hợp lực  $D$  và  $N_v$  đều tác dụng tại điểm giữa chiều cao dầm. Khi đó, lực kéo  $\frac{N_v}{2}$  tác dụng vào biên đỉnh và đáy dầm; điều này làm giảm lực ở biên giàn ảo chịu nén và tăng lực ở biên giàn ảo chịu kéo.

#### 1.9.2.2.2. Trong vùng D

Ở đây, lực thẳng đứng  $V$  tác dụng lên mặt cắt phải được kháng lại bởi lực nén xiên  $D = \frac{V}{\sin \theta_s}$  trong các thanh xiên của quạt chịu nén. Ứng suất nén

xiên trung bình  $\sigma_{nx}$  trong các thanh chống được xác định tùy thuộc vào vị trí của quạt chịu nén.

a) Thanh chống ở vị trí bất kỳ

Chiều rộng thanh chống được xác định theo công thức:

$$B = l_a \cdot \sin \theta_s \quad (1-6a)$$

Ứng suất nén xiên  $\sigma_{nx}$  được xác định:

$$\sigma_{nx} = \frac{D}{b \cdot B} = \frac{V}{b \cdot l_a \cdot \sin^2 \theta_s} \quad (1-6b)$$

b) Thanh chống ở vị trí gối

Chiều rộng thanh chống được xác định theo công thức:

$$B = l_b \cdot \sin \theta_s + h_a \cdot \cos \theta_s \quad (1-6c)$$

Ứng suất nén xiên  $\sigma_{nx}$  được xác định:

$$\sigma_{nx} = \frac{D}{b \cdot B} = \frac{V}{b \cdot (l_b \cdot \sin \theta_s + h_a \cdot \cos \theta_s) \cdot \sin \theta_s} \quad (1-6d)$$

c) Thanh chống ở vị trí lực tập trung

Chiều rộng thanh chống được xác định theo công thức:

$$B = l_b \cdot \sin \theta_s + h_s \cdot \cos \theta_s \quad (1-6e)$$

Ứng suất nén xiên  $\sigma_{nx}$  được xác định

$$\sigma_{nx} = \frac{D}{b \cdot B} = \frac{V}{b \cdot (l_b \cdot \sin \theta_s + h_s \cdot \cos \theta_s) \cdot \sin \theta_s} \quad (1-6f)$$

#### 1.9.2.3. Sức kháng cắt giới hạn của thanh chống xiên $V_R$

##### 1.9.2.3.1. Cường độ chịu nén có hiệu của bê tông $R_{neff}$

Theo CEB-FIP (Comité Européen du Béton - Fédération International de la Précontrainte), giá trị  $R_{neff}$  bị phụ thuộc vào trạng thái ứng suất-biến dạng của bê tông và tính theo biểu thức:

$$\Rightarrow R_{neff} = v_2 \cdot R_{lt} \quad (1-7)$$

trong đó:

$$R_{lt} - \text{cường độ nén dọc trục của bê tông, } R_{lt} = \frac{\alpha \cdot R_{28}}{\gamma_c} \quad (1-8)$$

$\alpha$  - hệ số phụ thuộc vào cường độ mẫu thử và thời gian đặt tải; với trạng thái giới hạn phá huỷ (Ultimate limit state - ULS),  $\alpha = 0,85$ .

$\gamma_c$  - hệ số an toàn cục bộ; với trạng thái giới hạn,  $\gamma_c = 1,50$ .

$$\Rightarrow R_{lt} = 0,57 \cdot R_{28} \quad (1-8a)$$

$v_2$  - hệ số phụ thuộc vào tình trạng vết nứt. Giá trị lấy theo bảng sau:

**Bảng 1-1**

TT	Tình trạng nứt của thanh chống	$v_2$
1	Không nứt	1,00
2	Nứt bình thường trên bề mặt (do lực kéo ngang và do sự chống chọi của các thanh cốt thép)	0,80
3	Độ mở rộng tiêu chuẩn (vùng chịu nén ngang)	0,60
4	Độ mở rộng lớn (cấu kiện chịu kéo dọc trục hoặc cánh chịu kéo)	0,45

#### 1.9.2.3.2. Sức kháng cắt trong thanh chống ảo $V_R$

Ứng suất nén xiên  $\sigma_{nx}$  trong thanh chống ảo xác định theo:

$$\sigma_{nx} = \frac{V}{b \cdot z \cdot \cos \theta \sin \theta}$$

$\Rightarrow$  Sức kháng cắt  $V_R$  được tính bằng :

$$V_R = R_{neff} \cdot (b \cdot z \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta) \quad (1-9)$$

Trường hợp góc nghiêng  $\theta = 45^\circ$  và  $v_{2max} = 0,80$  thì:

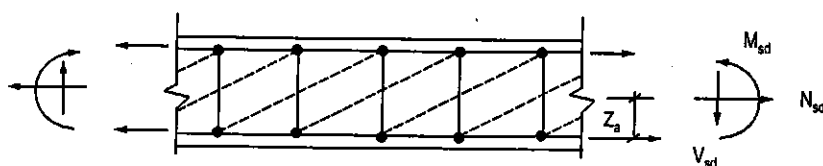
$$V_R = 0,5 \cdot R_{neff} \cdot b \cdot z = 0,4 \cdot b \cdot z \cdot R_{lt} \quad (1-9a)$$

Trong trạng thái giới hạn (ULS):

$$V_R = 0,4 \cdot 0,57 \cdot b \cdot z \cdot R_{28} = 0,228 \cdot b \cdot z \cdot R_{28} \quad (1-9b)$$

#### 1.9.3. Lực kéo, nén trong thanh biên giàn ảo

Xét mô hình giàn ảo sau:



**Hình 1.13. Sơ đồ xác định lực thanh má**

Lực trong các thanh biên giàn chịu kéo (T) và biên giàn chịu nén (C) được tính bằng:

+ Các thanh kéo:

$$T = \frac{|M_{sd}|}{Z} + \frac{N_{sd} \cdot (Z - z_s)}{Z} + 0,5 \cdot V_{sd} \cdot \cotg\theta \quad (1-10)$$

Tại vị trí có mômen max:

$$T = \frac{|M_{sd,max}|}{Z} + \frac{N_{sd} \cdot (Z - z_s)}{Z} \quad (1-11)$$

+ Các thanh nén:

$$C = \frac{|M_{sd}|}{Z} - \frac{N_{sd} \cdot z_s}{Z} - 0,5 \cdot V_{sd} \cdot \cotg\theta \quad (1-12)$$

Tại vị trí có mômen max:

$$C = \frac{|M_{sd,max}|}{Z} - \frac{N_{sd} \cdot z_s}{Z} \quad (1-13)$$

với:  $z_s$  - khoảng cách từ lực dọc trục  $N_{sd}$  đến trọng tâm cốt thép chịu kéo.

Do tác dụng của ứng suất nén xiên nên có thêm thành phần lực  $\frac{N_v}{2}$  tác dụng vào biên đỉnh và đáy dầm. Tại các vùng D (vùng quạt chịu nén), góc  $\theta$  thay đổi và vì thế  $N_v$  thay đổi, giá trị  $N_v = 0$  tại vị trí tác dụng của tải trọng.

## **1.10. GIÁ TRỊ CỦA $\theta$ TRONG PHẠM VI VÙNG CHỊU NÉN**

### **1.10.1. Xác định góc nghiêng của vết nứt $\beta$**

Khi dầm bê tông cốt thép có cốt thép đai chịu tải bị phá hỏng, thoát đầu các vết nứt xiên thường phát triển ở góc  $\beta = 35^\circ \div 45^\circ$ . Nếu tiếp tục tăng tải trọng, góc của ứng suất nén xiên có thể cắt ngang qua một số vết nứt, điều



này xảy ra khi có sự cài khoá giữa các hạt cốt liệu thô trong bê tông (được gọi là lực kháng cắt do ma sát  $V_{fd}$ ).

Theo CEB-FIP (Model Code 1990-Design Code), góc nghiêng  $\beta$  của vết nứt và lực kháng cắt do ma sát  $V_{fd}$  phụ thuộc vào lực dọc trục  $N_{sd}$ , biến dạng và độ mở rộng vết nứt trong thân dầm. Khi tính toán thường áp dụng các công thức gần đúng sau:

a) Các bộ phận không có lực dọc trục:

$$\cotg \beta = 1,20 \quad (\beta \approx 40^\circ) \quad (1-14)$$

$$V_{fd} = 0,07 (b_w \cdot z \cdot R_{neff}) \quad (1-15)$$

b) Các bộ phận dự ứng lực dọc trục riêng rẽ:

$$\cotg \beta = 1,20 - \frac{0,2 \cdot \sigma_{xd}}{R_k} \quad (1-16)$$

$$V_{fd} = 0,01 \left( 1 - \frac{\cos \beta}{4} \right) \cdot (b_w \cdot z \cdot R_{neff}) \geq 0 \quad (1-17)$$

c) Các bộ phận bị kéo dọc trục:

$$\cotg \beta_t = 1,20 - \frac{0,9 \cdot \sigma_{xd}}{R_k} \quad (1-18)$$

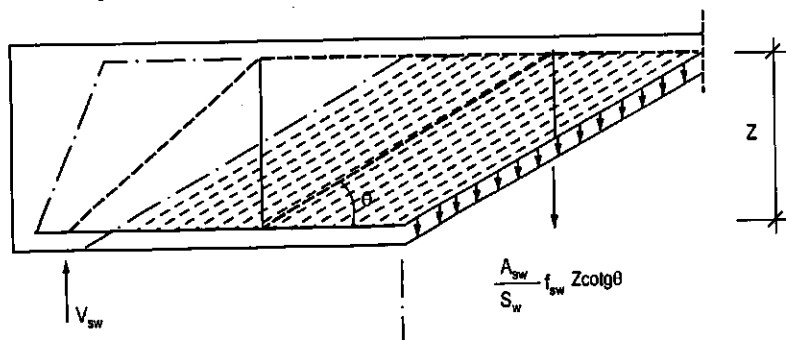
$$V_{fd} = 0,01 \cdot \left( 1 - \frac{0,36}{\cotg \beta} \right) \cdot (b_w \cdot z \cdot R_{neff}) \geq 0 \quad (1-19)$$

ở đây:  $\sigma_{nd} = \frac{N_{sd}}{A_c}$  - ứng suất nén dọc trục; mang dấu (-).

$A_c = x \cdot b$  - diện tích vùng chịu nén của bê tông.

### 1.10.2. Xác định góc $\theta$ của các thanh chống xiên ảo

Xét mô hình giàn ảo ở hình 1.14 sau:



**Hình 1.14.** Góc nghiêng của thanh chống

a) Góc nghiêng  $\theta$  của các thanh chống xiên ở mô hình giàn ảo, được xác định từ việc thiết kế chịu cắt của mặt cắt ngang:

Theo giả thiết ban đầu, ứng suất trong cốt thép đai đạt đến giới hạn chảy  $R_a$ ; lực cắt thiết kế  $V_{sd}$  phải cân bằng với khả năng chịu cắt của cốt đai trong phạm vi mặt cắt nghiêng cắt qua:

$$V_{sd} = V_{sdw} = \frac{A_{sw}}{S_w} \cdot R_a \cdot z \cdot \cot\theta \quad (1-20)$$

$V_{sdw}$  - khả năng chịu cắt của cốt đai trong phạm vi mặt cắt nghiêng cắt qua.

$R_a$  - cường độ cốt thép đai.

Từ điều kiện cân bằng trên ta xác định  $\theta$ :

$$\cot\theta = \frac{V_{sd}}{\frac{A_{sw}}{S_w} \cdot R_a \cdot z} \quad (1-21)$$

b) Xác định  $\theta$  qua góc nghiêng của vết nứt  $\beta$

Theo FIP Recommendations 1996, góc  $\theta$  có thể được xác định qua góc nghiêng của vết nứt  $\beta$  và có xét đến khả năng chịu cắt của cốt thép đai  $V_{sdw}$  và thành phần thẳng đứng của lực ma sát  $V_{fd}$  tại vết nứt.

$$\cot\theta = \frac{\cot\beta}{\frac{V_{sdw} - V_{fd}}{V_{sdw}}} = \frac{\cot\beta}{1 - \frac{V_{fd}}{V_{sdw}}} \quad (1-22)$$

Theo tiêu chuẩn Thuy Sĩ thì giới hạn cho phép của góc  $\theta$  là:  $0,5 < \cot\theta < 2,0$  ( $\theta = 26^\circ$  đến  $64^\circ$ ); giới hạn này được lựa chọn để hạn chế độ mở rộng vết nứt. Trong tiêu chuẩn mẫu của Ủy ban bê tông Châu Âu (European Concrete Committee's Model Code) quy định giới hạn góc  $\theta$  hẹp hơn:  $3/5 \leq \cot\theta \leq 5/3$  ( $\theta = 31^\circ$  đến  $59^\circ$ ). Dựa trên sự phân tích tương hợp, Collins và Mitchell đã đưa ra các giới hạn, xác định theo các công thức đơn giản sau:

$$\theta_{\min} = 10 + 110 \left( \frac{V_u}{\phi \cdot R_{28} \cdot b \cdot z} \right) (\text{độ})^\circ \quad (1-23)$$

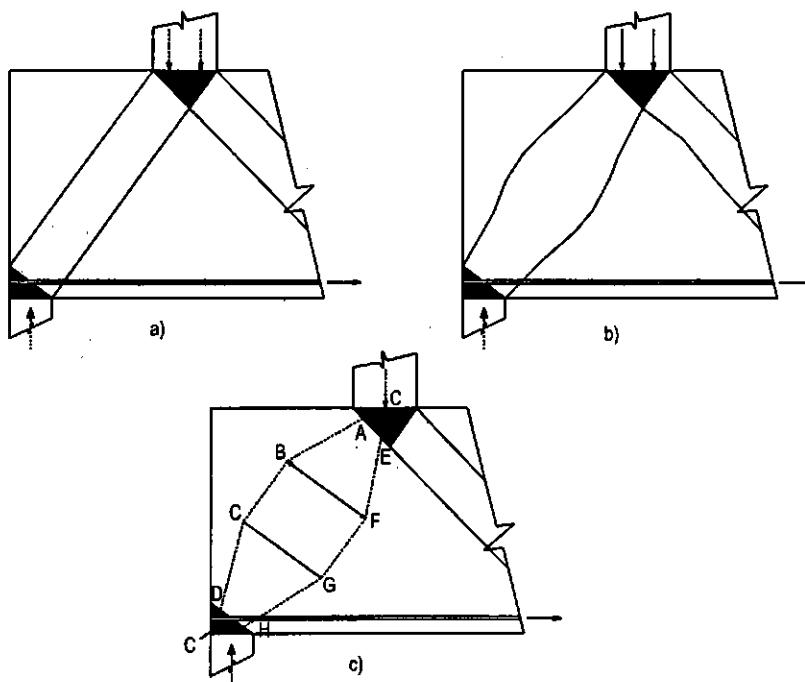
$$\theta_{\max} = 90^\circ - \theta_{\min} \quad (1-24)$$

Trong tính toán, giá trị  $\theta$  nên trong khoảng  $25^\circ \leq \theta \leq 65^\circ$ . Lựa chọn giá trị  $\theta$  nhỏ sẽ làm giảm số lượng cốt thép đai cần phải có, nhưng làm tăng ứng suất nén trong thân dầm  $\sigma_{nx}$  và tăng  $N_v$ . Nói chung, góc  $\theta$  nên nằm trong giới hạn đã cho, ngoại trừ trong các vùng quạt chịu nén.

## 1.11. CÁC BỘ PHẬN CẤU THÀNH CỦA MÔ HÌNH GIÀN ẢO

### 1.11.1. Thanh chịu nén ảo

Các thanh chịu nén ảo tương ứng với các trường ứng suất nén của bê tông có trục thanh trùng với phương nén. Các thanh này thường được lý tưởng hoá thành dạng lăng trụ (hình 1.15a) hoặc thon đều với tiết diện ngang thay đổi dọc theo chiều dài của thanh (dạng hình chai, hình 1.15b). Đôi khi cũng được lý tưởng hoá bằng cách sử dụng mô hình giàn cục bộ (hình 1.15c). Việc trải rộng các lực nén sẽ làm tăng lực kéo ngang và là nguyên nhân làm cho thanh chịu kéo bị nứt theo chiều dọc. Nếu thanh chịu nén không có cốt thép ngang, nó có thể bị hư hỏng ngay sau khi hình thành vết nứt; còn nếu bố trí đủ số cốt thép ngang thì thanh chịu nén ảo sẽ bị hỏng do bị nén vỡ. Trong mô hình giàn ảo, các thanh chịu nén ảo được thể hiện bằng đường đứt nét dọc theo trục thanh.



Hình 1.15. Các thanh chống chịu nén ảo

### 1.11.2. Các thanh chịu kéo ảo

Bộ phận cấu thành chính thứ hai của một mô hình giàn ảo là thanh chịu kéo. Thanh chịu kéo ảo này tương đương với một hoặc vài lớp cốt thép đặt cùng hướng được thiết kế với  $A_s f_y \geq T_n$  trong đó  $T_n = T_u \Phi$  là lực do thanh kéo kháng lại.

Các thanh chịu kéo ảo có thể bị phá hỏng do không có neo giằng ở đầu (vùng nút giàn ảo). Việc neo giằng của các thanh chịu kéo trong vùng nút là một chi tiết quan trọng trong việc tính toán vùng D khi sử dụng mô hình giàn ảo. Các thanh chịu kéo thể hiện bằng các đường liền nét trong mô hình.

### 1.11.3. Các vùng nút của giàn ảo

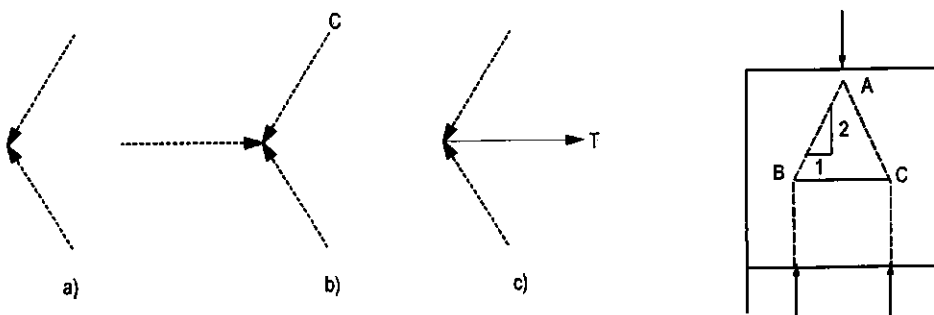
Các liên kết trong mô hình thanh chịu kéo và thanh chịu nén còn được hiểu như là các vùng nút. Các lực gặp nhau tại một nút phải được cân bằng, có nghĩa là phải thoả mãn 3 phương trình cân bằng sau:

$$\sum F_x = 0 \quad (a)$$

$$\sum F_y = 0 \quad (b)$$

$$\sum M = 0 \quad (c)$$

Trong đó, điều kiện (c) ngoài ý nghĩa cân bằng lực còn có ý nghĩa khác là: Các đường tác dụng lực phải đồng quy hoặc có thể phân tích được thành các lực mà chúng có phương tác dụng qua một điểm chung.



Hình 1.16. Các lực tại vùng nút

Hai lực nén thể hiện trong hình 1.16a gặp nhau dưới một góc và sẽ không ở trạng thái cân bằng nếu không có thêm một lực thứ ba như trình bày trong hình 1.16b hoặc 1.16c.

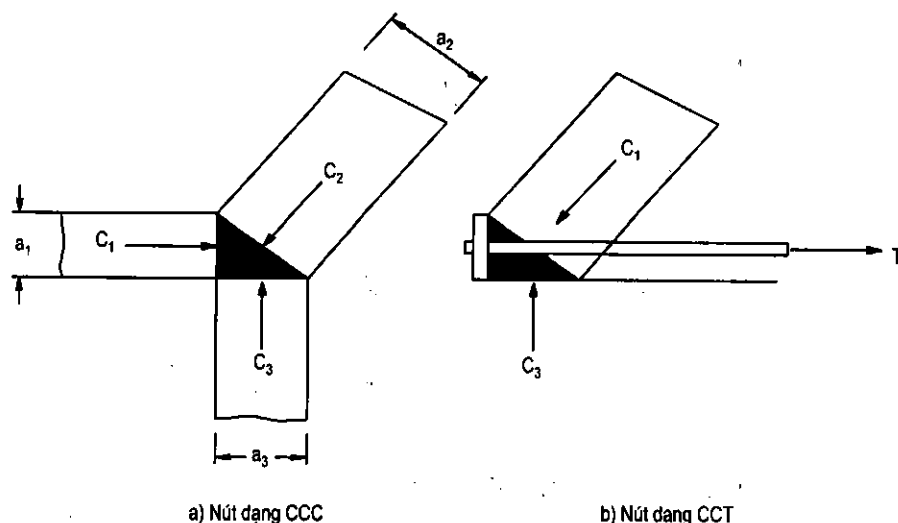
Các vùng nút được phân loại thành:

Nút CCC: ba lực nén gặp nhau như trong hình 1.16b;

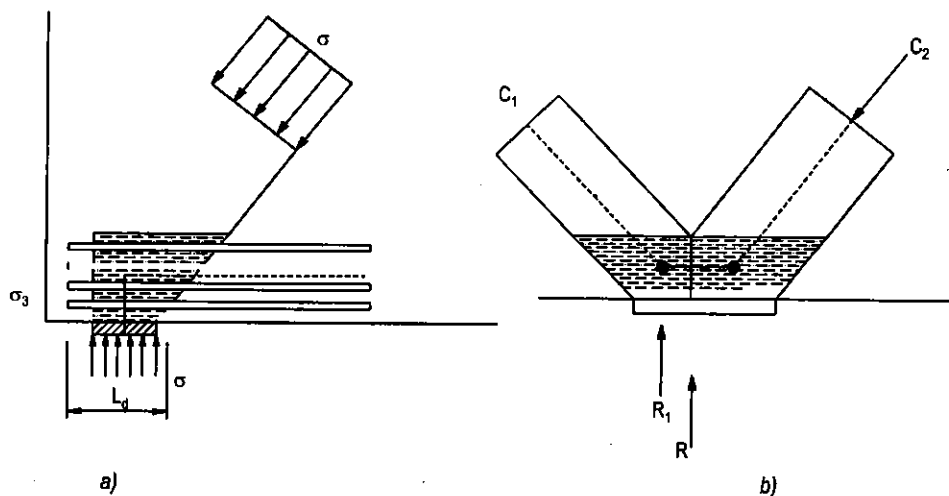
Nút CCT: một trong số các lực là lực kéo như trong hình 1.16c;

Cũng có thể có các mối nối CTT và TTT.

Hai cách thông thường của việc trình bày vùng nút được minh họa trong các hình 1.17, 1.18.



**Hình 1.17. Các vùng nút thủy tĩnh**



**Hình 1.18. Các vùng nút trong phần giao nhau của các cấu kiện**

Các thanh chống chịu nén được giả định chịu ứng suất nén không dọc trục. Do vậy, chỉ tại mặt cắt vuông góc với trục của thanh mới bị tác động

bởi ứng suất nén; còn các mặt cắt ở bất kỳ góc độ nào đều có các ứng suất nén và cắt kết hợp. *Cách trình bày các vùng nút là đặt các mặt bên của nút vuông góc với trục của các thanh gặp nhau tại nút đó như thể hiện trong hình 1.17, phản lực gối như nhau trên mỗi mặt bên của nút. Khi điều này được thực hiện đối với nút CCC, tỷ lệ chiều dài của các mặt bên của nút là  $a_1:a_2:a_3$  bằng tỷ lệ của các lực trong ba cấu kiện gặp nhau ở nút  $C_1: C_2: C_3$  như thể hiện trong hình 1.17a.*

Nếu một trong số các lực là lực kéo thì chiều rộng của mặt bên đó của nút được tính theo một tấm gối được giả thiết ở trên đầu của thanh chịu kéo và *chấp nhận phản lực gối trên nút bằng ứng suất nén của thanh chịu nén tại nút đó như trong hình 1.17b. Các nút trình bày theo hình mẫu này đôi khi còn được gọi là các phần tử thủy tĩnh vì các ứng suất không đồng phẳng trong nút nhưng lại như nhau theo mọi hướng. Trong trường hợp như vậy, vòng tròn Mohr của ứng suất không đồng phẳng sẽ thu gọn lại thành một điểm.*

Việc sử dụng các phần tử thủy tĩnh có thể làm phức tạp khi tính toán, ngoại trừ các nút CCC. Hiện nay việc tính toán các vùng nút đã được đơn giản hoá bằng cách xét vùng nút bao gồm cả bê tông nằm trong phần mở rộng của cấu kiện tại nút như trong hình 1.18. Điều này cho phép chấp nhận các ứng suất khác nhau trong các thanh chịu nén và trên các tấm gối. Hình 1.18a thể hiện một nút CCT, các thanh phải được neo chặt vào bên trong hoặc phía bên trái của nút. Chiều dài  $l_d$  là giá trị phải kéo dài của các thanh cốt thép lớp dưới. Mặt thẳng đứng của nút chịu tác dụng bởi ứng suất  $\sigma_3$  được xác định bằng lực kéo T chia cho diện tích của mặt thẳng đứng. Các ứng suất  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  và  $\sigma_3$  đều có thể khác nhau miễn là:

1. Hợp lực của ba lực trùng nhau;
2. Các ứng suất nằm trong các giới hạn đưa ra trong Bảng 1-2
3. Ứng suất không thay đổi trên bất kỳ một mặt nào.

Một ví dụ khác thể hiện trong hình 1.18b. Nó có thể được chia thành hai nút nhỏ và cần cấu tạo để các ứng suất trong các cấu kiện đi vào nút. Ứng suất ở trên tấm gối và ứng suất trên đường thẳng đứng chia cho hai nút nhỏ nằm trong giới hạn đưa ra trong Bảng 1-2.

Các vùng nút được giả định bị phá hỏng do nén vỡ nên việc neo giằng của các thanh chịu kéo cũng phải cân nhắc tính toán. Nếu một thanh chịu kéo

được neo giằng trong một vùng nút thì giữa biến dạng kéo trong các thanh và biến dạng nén trong bê tông của nút sẽ có tính không tương hợp. Điều này có xu hướng làm yếu nút. Tiêu chuẩn Canada phát biểu rằng, trừ khi có sự hạn chế đặc biệt được yêu cầu; các ứng suất được tính toán trong các vùng nút sẽ không vượt quá giới hạn sau:

-  $0,85.R_{28}$  trong các vùng nút bị giới hạn bởi các thanh chịu nén và diện tích mặt tựa (các nút CCC).

-  $0,75.R_{28}$  trong các vùng nút có neo giữ thanh chịu kéo chỉ theo một hướng (các nút CCT).

-  $0,65.R_{28}$  trong các vùng nút có neo giữ nhiều thanh chịu kéo theo nhiều hướng (các nút CTT hoặc TTT).

Các giá trị đưa ra trong Bảng 1-2 đã biến đổi để chứa số hạng  $v_2$  phản ánh độ bền của bê tông. Các thí nghiệm về nút CCT và CTT cho thấy giá trị  $0,80.R_{28}$  có thể xuất hiện trong những nút nếu được tiến hành tính toán, thiết kế chi tiết.

Tiêu chuẩn Canada đưa ra hai quy định cho việc tính toán thiết kế các vùng nút:

*Quy định thứ nhất:* các ứng suất nén ép trên các mặt bên của nút không thể vượt quá các giá trị đã nêu ra ở trên.

*Quy định thứ hai:* cốt thép của thanh chịu kéo phải được phân bố đều trên một diện tích hiệu dụng của bê tông ít nhất bằng lực trong thanh giằng chia cho giới hạn ứng suất của bê tông đối với nút.

## 1.12. SỰ PHÁ HỎNG THANH CHỐNG ẢO

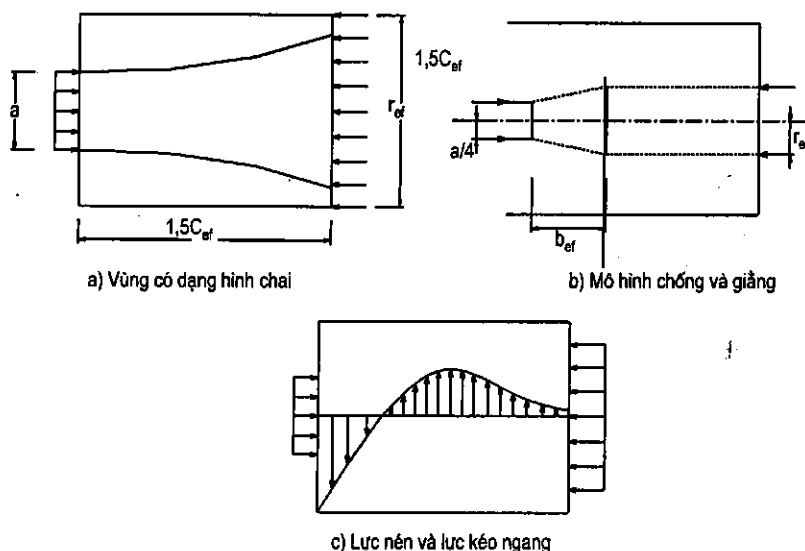
Hình 1-19a thể hiện một đầu của một thanh chống ảo có dạng hình chai. Chiều rộng của vùng chịu lực là  $a$ , chiều dày của thanh chống là  $t$ . Ở giữa chiều dài thanh chống có chiều rộng  $b_{ef}$  (chiều rộng có hiệu). Theo kết quả quan sát thực nghiệm thì thường dùng  $a \leq b_{ef} \leq \frac{l}{3}$ , trong đó  $l$  là chiều dài của thanh chịu nén tính từ mặt bên này đến mặt bên kia của các nút. Với các thanh chống ngắn thì  $b_{ef}$  không được nhỏ hơn  $a$ . Chúng ta chấp nhận chiều rộng có hiệu  $b_{ef}$  tại mỗi đầu của thanh chống dạng hình chai như sau:

$$b_{ef} = a + \frac{1}{6} \text{ nhưng không lớn hơn chiều rộng có sẵn} \quad (1-25)$$

Hình 1-19b thể hiện vùng có dạng hình chai được mô hình hoá thành mô hình giàn ảo. Phần vát theo chiều dọc của thanh chống nghiêng bằng  $\frac{b_{ef}}{2}$ . Lực kéo ngang T tại một đầu của thanh chống là:

$$T = \frac{C}{2} \left( \frac{b_{ef}/4 - a/4}{b_{ef}/2} \right)$$

hoặc: 
$$T = \frac{C}{4} \left( 1 - \frac{a}{b_{ef}} \right) \quad (1-26)$$



**Hình 1.19.** Sự hình thành vết nứt của các thanh chống chịu nén

Lực T gây ra ứng suất ngang trong bê tông và có thể làm hình thành vết nứt dọc trong thanh chống. Ứng suất này được phân bố như dạng đường cong trong hình 1.19c. Phân tích của Adebar và Zhou đưa ra giả định là phân bố ứng suất kéo tại hai đầu của một thanh chịu nén hoàn toàn khác biệt khi  $\frac{l}{a} > 3,5$  và giống nhau khi  $1,5 < \frac{l}{a} < 2$ .

Đối với một thanh chống có  $\frac{l}{b_{ef}} = 2$ ; giả định phân bố ứng suất kéo ngang theo đường parabol trên chiều dài bằng  $1,6b_{ef}$ ; thanh chống có chiều dài  $2b_{ef}$  và cân bằng với lực kéo là  $2T$  thì tải trọng tối đa C tại vết nứt bằng:



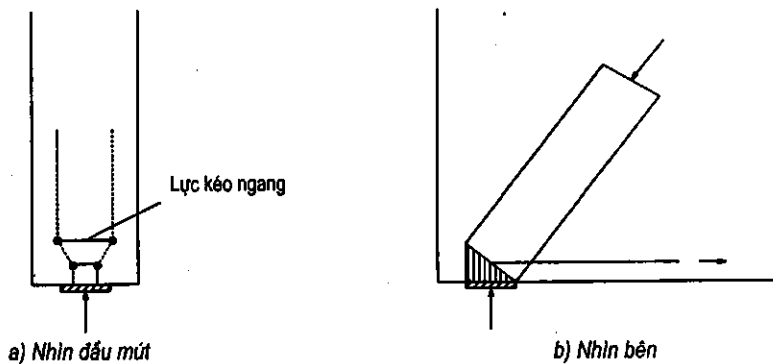
$$C = \frac{\alpha \cdot R_{28}}{\gamma_c} \cdot a \cdot t = 0,57 \cdot a \cdot t \cdot R_{28} \quad (1-27)$$

trong đó:

a - chiều rộng chịu nén ép tại vị trí ngoại lực tác dụng.

t - chiều dày cấu kiện.

Từ phân tích này, ta có thể nhận thấy sự hình thành vết nứt theo chiều dọc trong thanh chống sẽ trở nên nghiêm trọng nếu áp lực gối tựa trên đầu của thanh chống vượt quá  $0,55R_{28}$ . Do đó, để đảm bảo cho cấu kiện làm việc đủ độ tin cậy, người ta sử dụng độ bền hiệu quả  $R_{ce}$  để xác định giới hạn phá hỏng thanh chống do nén.



**Hình 1.20**

Tải trọng tối đa trên một thanh chống không có cốt thép trong một cấu kiện giống như tường (dầm cao), khi bị chi phối do hình thành vết nứt bê tông trong thanh chống, đưa ra qua phương trình (1-27). Phương trình này giả định rằng lực nén chỉ tỏa ra theo một hướng. Nếu vùng chịu nén không kéo dài trên toàn bộ chiều rộng của cấu kiện thì sẽ có các ứng suất kéo ngang suốt chiều rộng của thanh chống mà nó cần có cốt thép suốt chiều dày (như thể hiện trên hình 1.20).

### 1.13. SỰ PHÁ HỦY DO NÉN CỦA THANH CHỊU NÉN ẢO

Độ bền nén vỡ của bê tông trong một thanh chịu nén ảo được gọi là độ bền hiệu quả  $R_{ce}$ , được tính bằng công thức sau:

$$R_{ce} = v_1 \cdot v_3 \cdot R_{28} \quad (1-28)$$

trong đó:

$R_{28}$  - cường độ chịu nén 28 ngày của bê tông;

$v_1$  và  $v_3$  - hệ số hiệu quả trong khoảng 0÷1,0.

Trong thực tế, các yếu tố chính tác động đến độ bền nén hiệu quả  $R_{ce}$  là:

Độ bền của bê tông. Bê tông trở nên dễ vỡ hơn khi tăng độ bền, điều này được giải thích bởi hệ số  $v_3$ :

$$v_3 = 0,55 + \frac{15\sqrt{0,06895}}{\sqrt{R_{28}}} \quad (1-29)$$

$v_3$  - gần như tương đương với  $\alpha_1$  trong khối ứng suất hình chữ nhật.

Hướng của vết nứt song song với thanh chống hoặc nghiêng góc với thanh chống.

Các biến dạng kéo trong bê tông đi ngang qua thanh chống do lực trong cốt thép đi ngang qua vết nứt. Collins và Mitchell đã cho thấy rằng các biến dạng như vậy làm giảm độ bền nén của các tấm bê tông chịu biến dạng đều.

Các giá trị đề nghị của  $R_{ce}$  đưa ra trong Bảng 1-2

**Bảng 1-2. Các giá trị đề nghị của độ bền hiệu quả  $R_{ce}$ .**

$$R_{ce} = v_1 \cdot v_3 \cdot R_{28} \text{ trong đó } v_3 = \left( 0,55 + \frac{15\sqrt{0,06895}}{\sqrt{R_{28}}} \right)$$

Kết cấu	Giá trị $v_1$
<b>Các nút giàn</b>	
Các mối liên kết giới hạn bởi các thanh chống và các tấm đỡ	1,0
Các mối nối neo bằng một thanh giằng chịu kéo	0,85
Các mối nối neo bằng nhiều thanh giằng chịu kéo	0,75
<b>Các thanh chống</b>	
Các thanh chống hoặc các vùng chịu nén có ứng suất dọc trục không bị nứt	1,0
Các thanh chống bị nứt theo chiều dọc do trường ứng suất có dạng hình chai, chứa cốt thép ngang dựa vào (1-26)	0,80
Các thanh chống bị nứt theo chiều dọc do các vùng ứng suất có dạng hình chai mà không có cốt thép ngang	0,65
Các thanh chống trong vùng bị nứt có lực kéo ngang từ cốt thép ngang	0,60
<b>Các thân dầm mảnh bị nứt nghiêm trọng</b>	
$\theta = 30^\circ$	0,30
$\theta = 45^\circ$	0,55

Sự hình thành vết nứt dọc thanh chống sẽ làm giảm khả năng chịu nén của thanh. Để ngăn ngừa, theo mô hình giàn ảo đã được lý tưởng hoá của một thanh chống (hình 1.19b), cần bố trí cốt thép ngang và thẳng đứng để chống lại các lực kéo ngang T trong các thanh chịu kéo ngang tại mỗi đầu của mô hình này khi lực nén C trong thanh chống đạt giá trị lớn nhất. Trong đó, lực kéo T được tính theo công thức 1-26.

Do đó thanh chống cần bố trí cốt thép ngang có diện tích  $A_s$ , đặt gần vuông góc với trục thanh. Khối lượng cốt thép xác định theo quan hệ sau:

$$A_s R_a \geq \Sigma \left[ \frac{C}{4} \left( 1 - \frac{a}{b_{ef}} \right) \right] \quad (1-30)$$

trong đó:

$\Sigma$  - ngầm hiểu là tổng các giá trị ở hai đầu của thanh chịu nén.

C - lực nén trong thanh chống;

$b_{ef}$  - chiều rộng có hiệu, thường tính bằng  $(a + \frac{1}{6})$ ;

a - độ rộng của vùng chịu lực (chiều rộng của nút).

$$\Rightarrow a = \frac{F}{t \cdot v_1 \cdot R_{lt}}; \quad (1-31)$$

với: F - lực tập trung tác dụng vào cấu kiện;

$v_1$  - lấy theo bảng 1-2;

$R_{lt}$  - cường độ chịu nén 1 phương của bê tông,  $R_{lt} = \frac{\alpha \cdot R_{28}}{\gamma_c}$

$\alpha$  - hệ số phụ thuộc vào trạng thái làm việc của cấu kiện; với trạng thái giới hạn, lấy  $\alpha = 0,85$ .

$\gamma_c$  - hệ số an toàn cục bộ, với trạng thái giới hạn lấy bằng 1,5.

t - bề dày cấu kiện.

$R_a$  - giới hạn chảy của cốt thép.

Nếu cốt thép đặt nghiêng một góc  $\theta$  so với trục thanh chống thì  $A_s R_a$  sẽ được chia cho  $\sin \theta$ . Cốt thép này được xem như là cốt thép kiểm chế nứt dọc của thanh chống.

## **1.14. KIỂM TOÁN ĐIỀU KIỆN BÊN CỦA THANH CHỐNG ẢO**

Khi áp dụng mô hình giàn ảo đối với thanh chống ảo thì độ bền của thanh chống được kiểm toán như sau:

Nếu không có cốt thép ngang trong thanh chống ảo thì độ bền sẽ được lấy bằng lực nén gây ra nứt. Nó sẽ  $\geq 0,55 a.t.R_{28}$ , trong đó  $a$  là độ rộng của nứt và  $t$  là độ dày của cấu kiện.

Nếu thanh chống ảo có bố trí cốt thép thoả mãn Phương trình 1-30 thì độ bền của nó sẽ tính dựa trên diện tích tiết diện ngang nhỏ nhất của thanh chống và độ bền bê tông hiệu quả  $R_{ce}$  đã đưa ra trong Bảng 1-2.

## **1.15. QUY ĐỊNH VỀ CỐT THÉP KHÔNG CHẾ NÚT**

Theo Tiêu chuẩn 22TCN 272-01, các kết cấu hoặc các vùng cục bộ của nó, trừ phần bản và đế móng, được thiết kế theo các quy định của Điều 5.6.3, phải có lưới các cốt thép trực giao ở gần bề mặt của nó. Khoảng cách giữa các thanh không được vượt quá 300 mm.

Tỷ lệ diện tích cốt thép so với diện tích mặt cắt nguyên của bê tông không được nhỏ hơn 0,003 theo mỗi chiều.

Cốt thép không chế nứt bố trí ở vùng của thanh chịu kéo có thể được coi như một phần cốt thép của thanh chịu kéo.

## Chương 2

# ÁP DỤNG PHƯƠNG PHÁP "GIÀN ẢO" ĐỂ PHÂN TÍCH ỨNG SUẤT CỤC BỘ VÀ THIẾT KẾ VÙNG KHÔNG LIÊN TỤC (VÙNG D)

### 2.1. CÁC YÊU CẦU VÀ CÁC BƯỚC TÍNH TOÁN

Việc xác định sức kháng của vùng không liên tục (vùng D) được dựa trên các mô hình vật lý tùy thuộc vào các yêu cầu đưa ra khi xét cấu kiện làm việc ở trạng thái giới hạn cực hạn (Ultimate Limit State - ULS). Mô hình cho vùng D phải phù hợp với vùng B kế cận.

Mô hình giàn ảo được phân tích theo nội lực do tải trọng  $P_u/\phi$  gây nên, trong đó  $\phi = 0,85$  là hệ số giảm bền lấy theo cốt.

Mô hình giàn ảo là hệ lực cân bằng với tập hợp các tải trọng cho trước. Do vậy, dưới tác dụng của tải trọng thiết kế, không có các cấu kiện nào chịu tải vượt quá khả năng của nó; các ứng suất trong thanh chống và giằng không vượt quá độ bền cấu kiện. Đồng thời, khả năng biến dạng ở bất kỳ điểm nào không bị vượt quá giới hạn cho phép khi hệ lực đạt tới giá trị thiết kế.

Quá trình tính toán theo mô hình giàn ảo bao gồm 5 bước. Các bước này được minh họa trên hình vẽ sau đối với bài toán ví dụ về tính toán đầu dầm kiểu bậc thang (đầu dầm có cắt khúc).

*Bước 1:* Xác định biên của vùng D và các lực tác dụng trên biên (các lực thiết kế giới hạn) căn cứ vào các lực trên mặt cắt và ngoại tải.

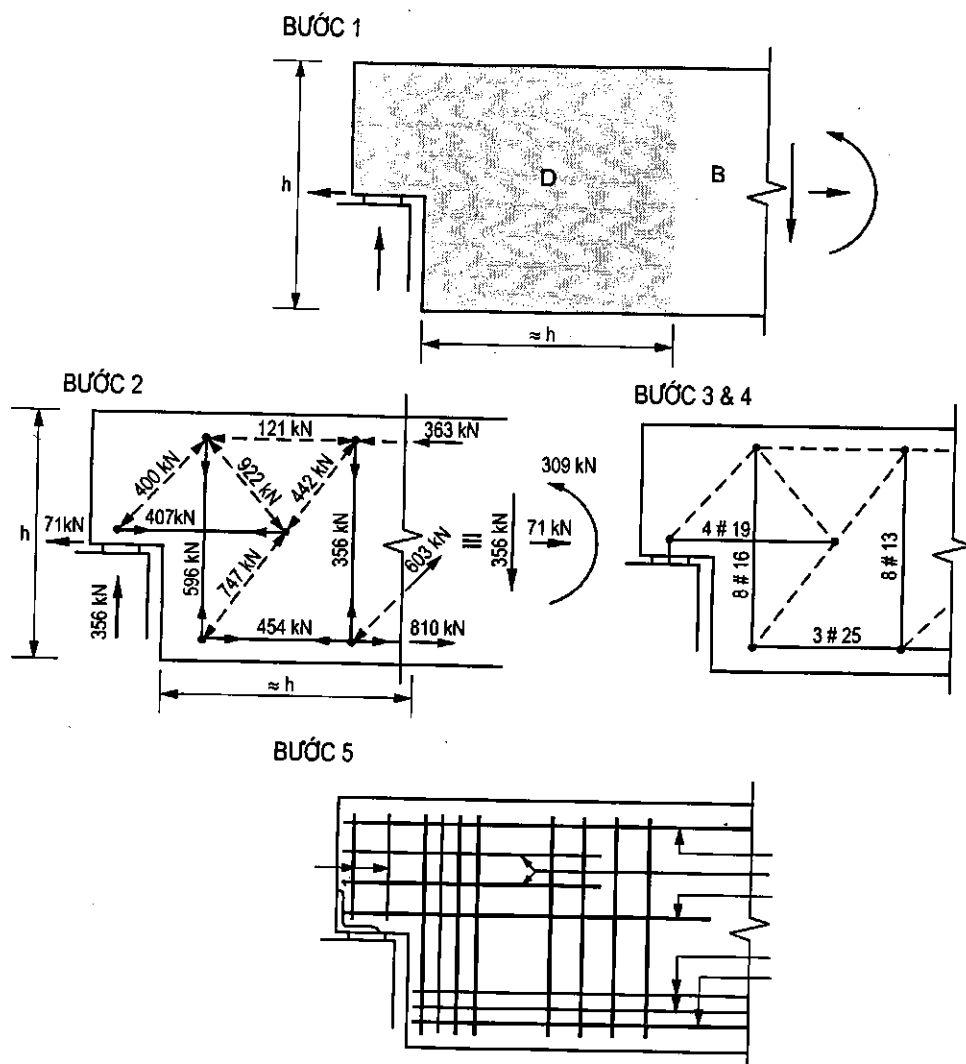
*Bước 2:* Vẽ phác sơ đồ giàn ảo tùy theo ý mình sao cho hợp lý và dựa trên các nguyên tắc chung. Xác định các lực biên tương đương, giải bài toán tĩnh học giàn để tìm ra các lực trong các bộ phận của giàn ảo.

*Bước 3:* Lựa chọn cốt thép thường hoặc cốt thép dự ứng lực sao cho đủ cung cấp khả năng chịu kéo cần thiết cho thanh giằng trong sơ đồ giàn ảo và bảo đảm các cốt thép này được neo an toàn vào vùng nút của giàn ảo.

**Bước 4:** Xác định kích thước của các thanh chống và các nút sao cho khả năng chịu lực của mọi thanh chống và mọi nút đủ để chịu các lực trong thanh của sơ đồ giàn ảo.

**Bước 5:** Bố trí cốt thép phân bố sao cho đảm bảo trạng thái dẻo của vùng D.

Vì phải đảm bảo cân bằng cho giàn ảo với các lực biên phải được thỏa mãn (bước 2) và các ứng suất ở bất cứ chỗ nào đều phải thấp hơn mức cho phép (bước 3 và 4), nên chúng ta có thể thấy rằng Phương pháp mô hình giàn ảo là phương pháp ở mức thấp của phân tích giới hạn.



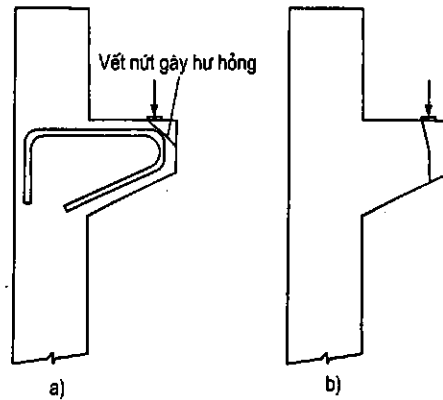
**Hình 2.1:** Minh họa các bước chính của phân tích mô hình giàn ảo

Côngxôn ngắn hoặc vai đỡ là cấu kiện chìa ra ngoài từ cột hoặc tường để đỡ tải trọng, vai đỡ thường được xây nguyên khối với cột hoặc tường. Thuật ngữ "vai đỡ" thường chỉ dùng đối với các côngxôn ngắn có tỉ số chiều dài nhịp với chiều cao ( $a/d$ ) nhỏ hơn hoặc bằng 1.

Tài liệu này được lưu trữ tại <http://tailieuxd.com/>

Trong vai đỡ, kết cấu của chính nó bao gồm thanh chống nghiêng G - H và thanh giằng chịu kéo ngang G - F. Lực cắt gây ra trong các cột ở bên trên và bên dưới vai đỡ bị kháng lại bởi lực kéo trong các thanh giằng của cột và lực nén trong các thanh chống giữa các thanh giằng.

Trong các thử nghiệm, các vai đỡ thể hiện một vài dạng phá hỏng điển hình, phổ biến nhất là sự chảy dẻo thanh chịu kéo; sự phá hỏng các mấu neo đầu của thanh giằng chịu kéo dưới điểm đặt tải trọng hoặc trong cột; sự phá hỏng thanh chống chịu nén do nén vỡ hoặc do cắt, sự phá hỏng cục bộ bên dưới tấm gối. Nếu cốt thép của thanh giằng bị uốn móc xuống (hình 2.3a) thì phần bê tông bên ngoài



**Hình 2.3.** Sự hư hỏng của các vai đỡ

móc uốn có thể bị "bửa" ra ngoài, gây ra sự phá hỏng thanh giằng, nên nên nén chặt bê tông bằng cách hàn nó vào một thanh cốt thép ngang hoặc một tấm phẳng, cũng có thể uốn cong các thanh giằng thành vòng nằm ngang ở mặt ngoài cùng của vai đỡ, nhưng có thể khó làm và cần lớp bọc thêm. Nếu vai đỡ ở đầu phía ngoài quá nông thì có nguy cơ hình thành vết nứt và có thể kéo dài xuyên qua vai đỡ (như thể hiện trong hình 2.3b). Do đó, tiêu chuẩn ACI quy định chiều cao vai đỡ  $0,5d$  tại mép ngoài của tấm đỡ.

### 2.2.1. Gối đỡ trực tiếp của dầm

Ở vị trí gối đỡ trực tiếp, phản lực gối bằng các ứng suất nén tại mặt đáy của cấu kiện. Phản lực gối  $A = V_A$  được truyền vào cấu kiện bằng một thanh chống xiên đại diện cho trường ứng suất nén hình quạt (hình 2.4). Hình dáng của hình quạt được xác định bằng góc phẳng  $\theta$ , là góc hợp bởi vùng chịu nén của vùng B giao cắt với trục của thanh mạ chịu kéo.

Ở điểm đầu của gối, lực  $F_{sA}$  trong thanh mạ chịu kéo phải được neo vào nút trên suốt bản gối:

$$F_{sA} = V_A \cdot \cot \theta_A + N \left(1 - \frac{z_s}{z}\right); \text{ với } N (+) \text{ kéo} \quad (2-1)$$



trong đó:

$V_A$  - phản lực thẳng đứng tại gối

**N - lực nén dọc trục**

$z_s$  - khoảng cách từ trọng tâm cốt thép chịu kéo đến đường tác dụng N

z - cánh tay đòn nội ngẫu lực tại mặt cắt sát gối

$\theta_A$  - để tổ hợp vùng nén hình quạt, tính theo công thức sau:

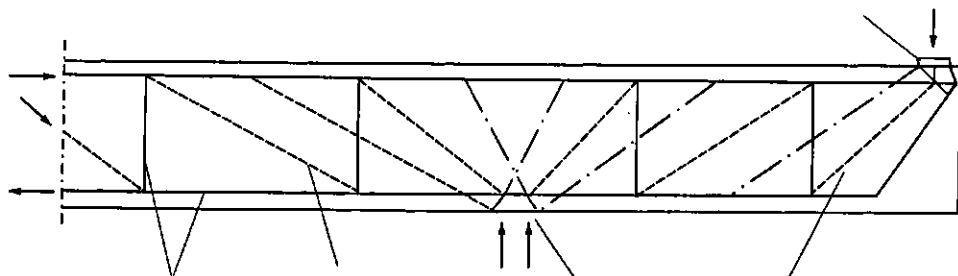
$$\cotg\theta_A = 0,5 \cdot \frac{a_1}{z} + \left( \frac{d_1}{z} + 0,5 \right) \cdot \cotg\theta \quad (2-2)$$

$n_{swd}$  - số cốt thép đai

$a_1$  - chiều dài (dọc trục) tác dụng của lực tập trung, xác định theo khả năng chịu nén ép của bê tông.

$d_1$  - khoảng cách từ mép ngoài bê tông đến trọng tâm cốt thép chịu kéo.

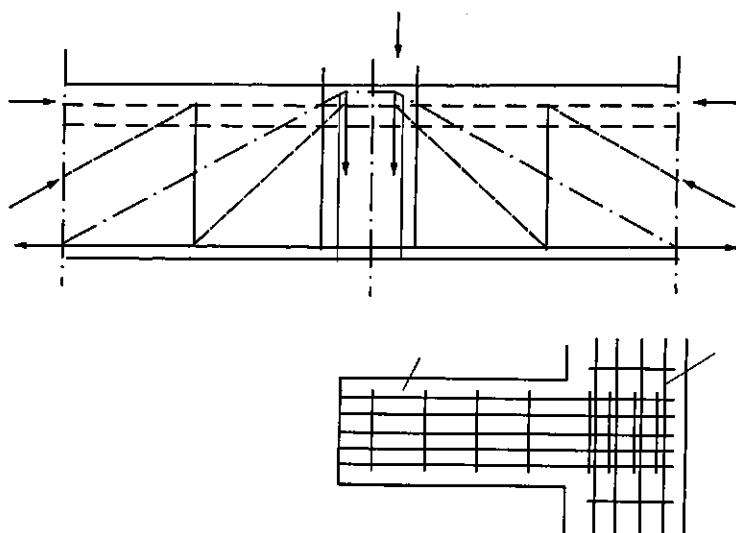
Ở những gối trung gian, mô hình thiết kế phần thân dầm là tổ hợp hai gối đầu dầm, đưa ra các lực cắt thích hợp (xem hình 2.5).



**Hình 2.5.** Mô hình giàn ảo tại vị trí gối đỡ trực tiếp trung gian

### 2.2.2. Các gối đỡ gián tiếp

1. Ở các gối đỡ gián tiếp của các cấu kiện giao cắt, gối được cấu tạo dựa trên các ứng suất kéo trên suốt chiều cao của cấu kiện. Lực đỡ tổng cộng phải được truyền tới đỉnh của cấu kiện bằng các cốt thép treo (cốt thép đai thẳng đứng) trong phạm vi chiều rộng của thân dầm.



**Hình 2.6.** Mô hình giàn ảo tại vị trí gối đỡ gián tiếp

2. Sự truyền tải trọng vào trong thân dầm của các cấu kiện giao cắt và việc thiết kế thân dầm có thể được xem như là một gối trực tiếp.

3. Việc neo các cốt thép chủ nên được xem xét cẩn thận. Sự xuất hiện nén ngang sẽ gây bất lợi với chiều dài neo. Điểm bắt đầu của neo được xác định ở vòng kẹp đầu tiên của cốt thép treo tại mặt trong của dầm đỡ xác định độ lệch của vùng nén.

### 2.2.3. Tải trọng tập trung gần gối và vai đỡ

Tải trọng gần gối (hình 2.7) hoặc tải trọng trên một vai đỡ (hình 2.8) có thể được truyền trực tiếp tới gối bằng một thanh chống xiên (thành phần  $F_2$ ). Cốt thép đai (thanh giằng) có thể được thiết kế cho thành phần  $F_1$  của tải trọng:

$$\frac{F_1}{F} = \frac{\left(\frac{2a}{z} - 1\right)}{3} \quad \text{với: } \frac{z}{2} \leq a \leq 2z \quad (2-4)$$

trong đó:  $F$  - tải trọng tác dụng.

$F_1$  - một phần của tải trọng  $F$  được truyền bằng thanh giằng.

$a$  - khoảng cách từ vị trí đặt tải đến gối.

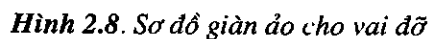
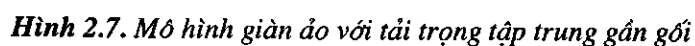
Cốt thép đai sẽ được bố trí trên toàn bộ chiều dài  $a_F$  như thể hiện ở hình 2.7.

Trong tính toán, thường giả định giá trị  $a_F = 0,85.a - \frac{z}{4}$  để tính toán.

Trừ khi có yêu cầu phải tính toán chi tiết, cường độ của thanh chống xiên có thể lấy bằng  $\sigma_{cw} \leq v_2 \cdot R_{lt} = 0,60 R_{lt}$ , nếu chiều rộng của thốt gối thỏa mãn điều kiện:

$$a_F \geq \frac{x}{\sin \theta_2} \left( \frac{v_1}{0,60 \cdot \cos \theta_2} - \cos \theta_2 \right) \quad (2-5)$$

Với góc  $\theta_2$  được xác định từ  $\cotg \theta_2 = \frac{a}{z}$



51

tiết thì thường giả định có một phản lực nằm ngang  $T_3$  tác dụng tại gối và  $T_3 = 0,20F$ .

Các bước tính toán:

**Bước 1:** Xác định chiều dài bê tông chịu nén  $a_1$

$$a_1 = \frac{F}{b \cdot v_1 \cdot R_{lt}} \text{ với } v_1 = \left(1 - \frac{R_n}{2500}\right) \Rightarrow a = a_c + \frac{a_1}{2}$$

trong đó:

$R_n$  - cường độ nén trục của bê tông tuổi 28 ngày

$R_{lt}$  - cường độ nén 1 trục của bê tông

**Bước 2:** Xác định chiều cao của nút  $a_2$

$$a_2 = d - \sqrt{d^2 - 2 \cdot a \cdot a_1} \Rightarrow z = d - \frac{a_2}{2}$$

**Bước 3:** Xác định góc nghiêng  $\theta$  của quạt chịu nén

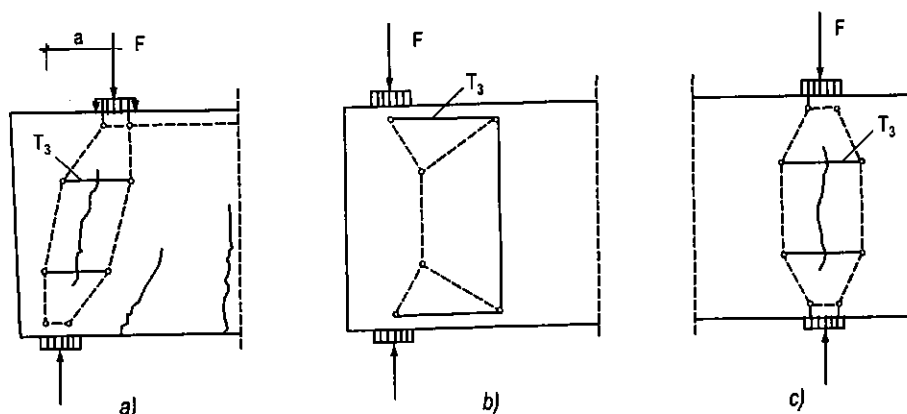
$$\cotg \theta = \frac{a_2}{a_1} = \frac{a}{z}$$

**Bước 4:** Tính lực kéo trong thanh giằng  $T_1$

$$T_1 = F \cotg \theta \Rightarrow A_{S1} = \frac{T_1}{f_{svd}}$$

**Bước 5:** Kiểm tra nút (N): a) neo thanh giằng  $T_1$ ; b) áp lực gối

**Bước 6:** Kiểm tra thanh chống  $C_w$ ; không yêu cầu nếu cốt thép nằm ngang được bố trí như trong hình 2.9.



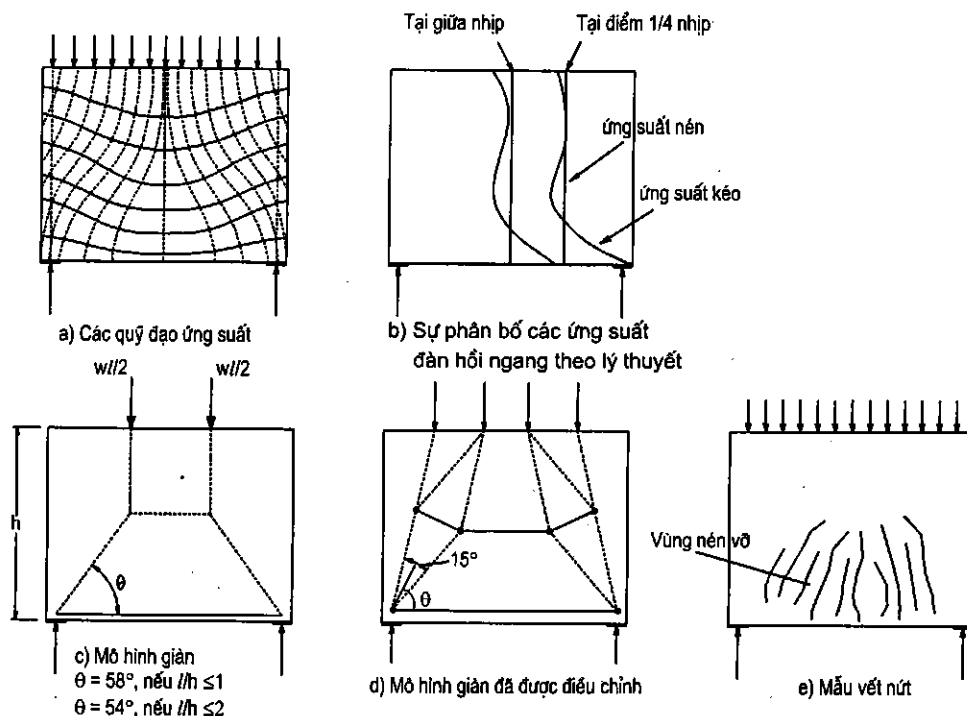
**Hình 2.9.** Các mô hình giàn ảo có cốt thép ngang đối với tải trọng gần hoặc trên gối

## 2.3. DẦM CAO

### 2.3.1. Khái niệm

Tác động dầm cao được xét đến khi thiết kế chịu uốn  $l_n/d_c$  nhỏ hơn hoặc bằng 5/2 (đối với các nhịp liên tục) hoặc 5/4 đối với các nhịp đơn, các nhịp ngắn hơn phải được thiết kế có "tính đến sự biến dạng không tuyến tính", ngoài ra tác động của dầm cao phải được xét đến khi thiết kế chịu cắt nếu  $l_n/d$  nhỏ hơn 5 hoặc dầm chịu tải ở đỉnh nút hoặc bề mặt chịu nén. Từ đó, có thể đi đến một định nghĩa tổng quát, dầm cao là dầm mà trong đó lực nén của tải trọng tập trung đáng kể tại các gối đỡ. Điều này xuất hiện nếu tải trọng tập trung tác động lớn hơn khoảng 2d tới gối đỡ hoặc đối với các dầm tải trọng phân bố đều có tỉ số nhịp với chiều cao,  $l_n/d$  nhỏ hơn khoảng 4 đến 5.

### 2.3.2. Các phân tích và trạng thái làm việc của dầm cao



Hình 2.10. Quỹ đạo ứng suất

Những phân tích đàn hồi đối với các dầm cao ở trạng thái chưa nứt chỉ có ý nghĩa trước khi hình thành vết nứt. Trong một dầm cao, sự hình thành vết

nút sẽ xuất hiện ở một phần ba đến một nửa tải trọng tới hạn. Sau khi các vết nứt phát triển, sự phân bố lại các ứng suất chính là cần thiết vì có thể không có lực kéo ngang qua vết nứt, kết quả phân tích đàn hồi là mối quan tâm chủ yếu vì chúng thể hiện sự phân bố các ứng suất gây ra vết nứt và đưa ra chỉ dẫn về hướng cho vết nứt và dòng lực sau khi nứt. Trong hình 2.11a, các đường đứt nét là các quỹ đạo ứng suất nén song song với hướng của ứng suất nén chính và các đường liền nét là các quỹ đạo ứng suất kéo song song với các ứng suất kéo chính. Các vết nứt được dự đoán xuất hiện vuông góc với các đường liền nét (song song với các đường nét đứt).

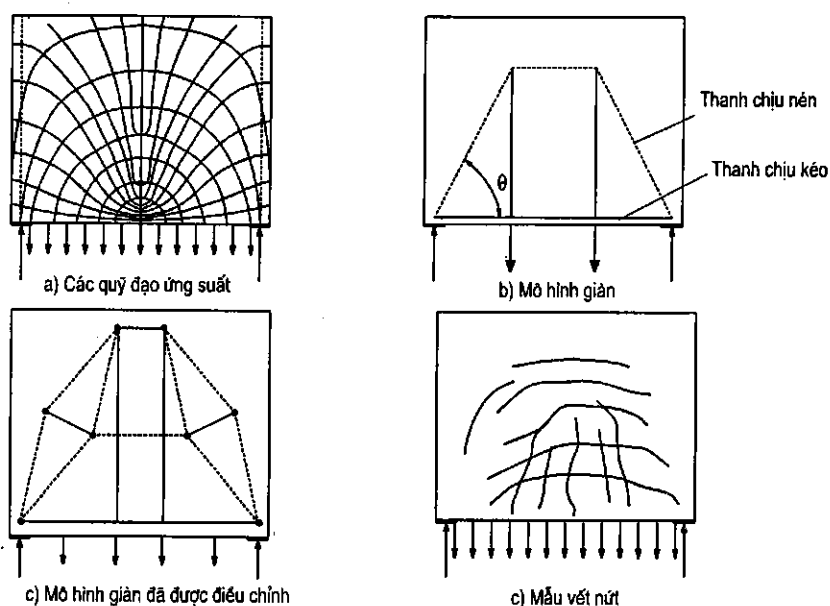
Trong trường hợp dầm giản đơn đỡ tải trọng tập trung giữa nhịp, các ứng suất nén chính tác dụng gần như song song với các đường nối tải trọng và các trục đỡ, các ứng suất kéo chính lớn nhất tác dụng song song với đáy dầm, các ứng suất nén và ứng suất kéo ngang trên mặt phẳng thẳng đứng ở điểm giữa nhịp (hình 2.12).

Dầm giản đơn đàn hồi chưa nứt đỡ một tải trọng đều có các quỹ đạo ứng suất như thể hiện trong hình 2.10a. Sự phân bố các ứng suất ngang trên các mặt phẳng thẳng đứng tại giữa nhịp và tại  $1/4$  nhịp (hình 2.10b). Các quỹ đạo ứng suất có thể được biểu diễn bằng một giàn giản đơn (hình 2.10c) hoặc một giàn phức tạp hơn (hình 2.10d). Trong trường hợp đầu tiên, tải trọng được chia thành hai phần, mỗi phần được thể hiện bằng vector hợp lực của nó. Trong trường hợp thứ hai tải trọng được chia thành bốn phần. Góc  $\phi$  thay đổi từ  $68^\circ$  đối với  $l/d = 1,0$  hoặc nhỏ hơn đến khoảng  $55^\circ$  đối với  $l/d = 2,0$ .

Hình 2.11a thể hiện quỹ đạo ứng suất đối với một dầm cao đỡ tải trọng đều tác dụng lên một mép tại mặt dưới dầm. Các quỹ đạo chịu nén tạo nên một vòm với các tải trọng treo từ vòm đó (hình 2.11b và 2.11c), mẫu vết nứt như hình 2.11d thể hiện tải trọng được truyền từ trên nhờ cốt thép cho đến khi nó tác dụng lên vòm chịu nén, sau đó vòm truyền tải trọng xuống trụ đỡ.

Biểu đồ tương tự được đưa ra trong hình 2.12 và các mô hình giàn cho thấy lực trong thanh giằng dọc sẽ không đổi dọc theo chiều dài của dầm cao. Điều này có nghĩa là lực này phải được nén chặt tại các mối nối trên khắp các phản lực.

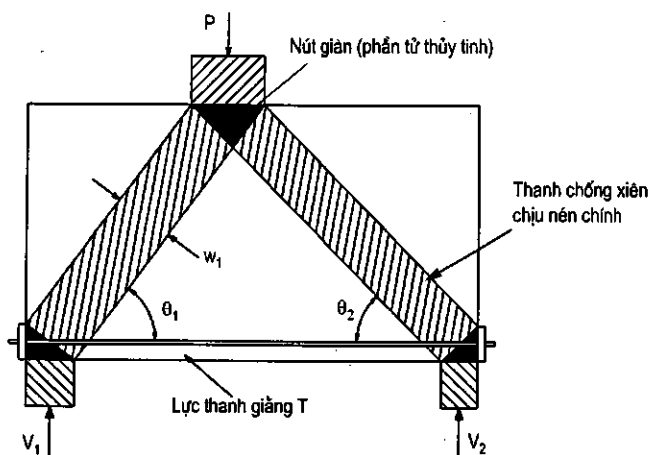
Sự hư hỏng có liên quan đến phần trên là nguyên nhân chính gây ra sự cố trong dầm cao.



**Hình 2.11.** Dầm cao chịu tải trọng mép đáy

### 2.3.3. Các mô hình giàn ảo đối với dầm cao

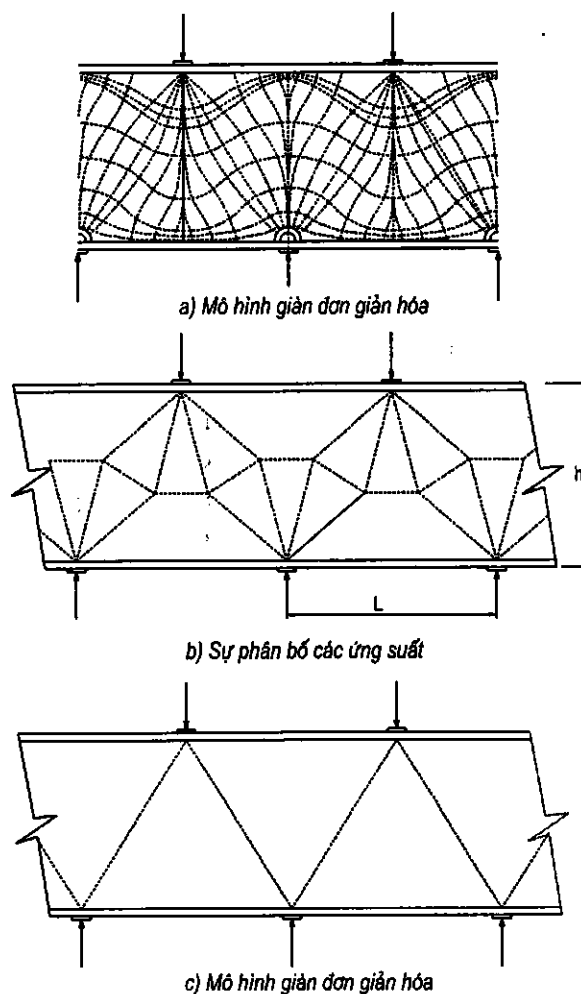
Hình 2.12 thể hiện mô hình giàn ảo đối với 1 dầm cao. Các tải trọng phản lực, các thanh chống và giằng được bố trí sao cho các trọng tâm của mỗi cấu kiện giàn và các đường tác dụng của tải trọng tác dụng từ bên ngoài trùng nhau tại mỗi nối. Điều này cần thiết cho sự cân bằng mỗi nối, trong một dầm bê tông cốt thép, sự neo dầm sẽ được tiến hành hoàn chỉnh bằng các móc theo chiều thẳng đứng hoặc chiều nằm ngang, hoặc trong các trường hợp cực hạn bằng tám neo như đã thể hiện.



**Hình 2.12.** Mô hình giàn ảo của một dầm cao

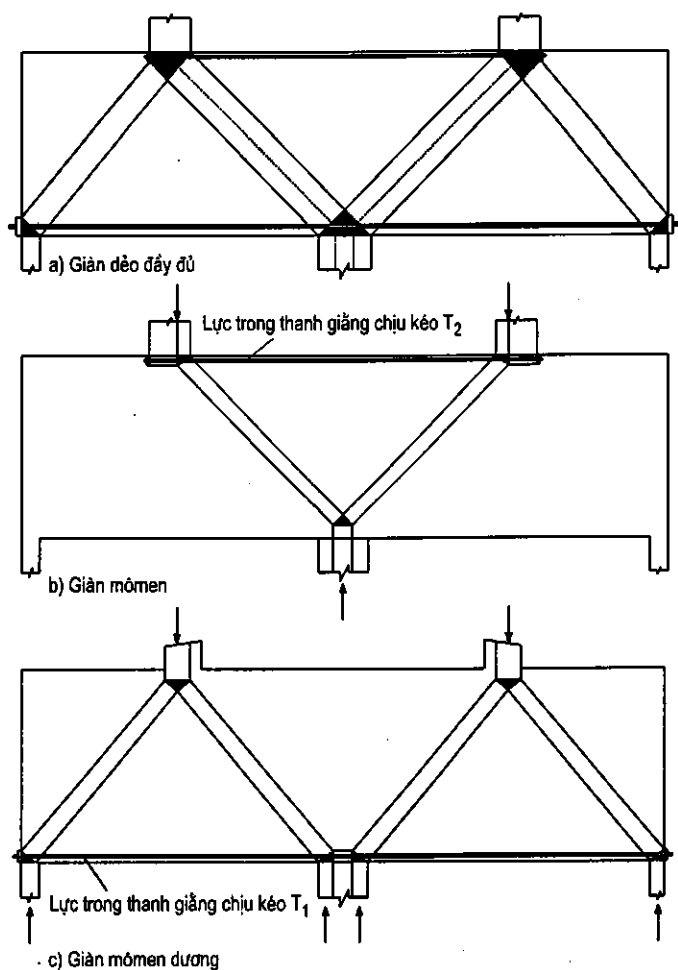


Ví dụ trong một dầm giản đơn với các cốt thép đai thẳng đứng, chịu tải trọng tác dụng giữa nhịp. Đây là sự kết hợp của một vài giàn, một giàn sử dụng một thanh chống trực tiếp kéo dài từ tải trọng đến trụ đỡ. Giàn này chịu lực cắt  $V_c$ . Một giàn khác sử dụng các cốt thép đai như các cấu kiện chịu kéo thẳng đứng và có các quạt chịu nén dưới tải trọng và trên các phản lực, lực thẳng đứng trong mỗi cốt thép đai tính được bằng cách giả định là cốt thép đai đã chảy dẻo. Thành phần lực thẳng đứng trong mỗi thanh chống chịu nén nhỏ phải bằng giới hạn chảy của cốt thép đai của nó để mỗi nối ở trong trạng thái cân bằng, không sử dụng cốt thép đai phía xa nhất, vì không thể kéo một thanh xiên chịu nén từ điểm đặt tải trọng đến đáy của cốt thép này không lấn vào thanh chống chịu nén trực tiếp.



**Hình 2.13**

Ví dụ hình vẽ 2.14a thể hiện mô hình giàn ảo cho một dầm liên tục hai nhịp. Hơn nữa, các thanh chống được thể hiện bằng phần đánh bóng nhạt và các phần tử thủy tĩnh được thể hiện bằng phần đánh bóng đậm, tại trụ đỡ bên trong có hai giàn chịu tải trọng.



**Hình 2.14.** Mô hình giàn ảo đối với một dầm liên tục hai nhịp

Giàn bên trên (hình 2.14b) sử dụng cốt thép đỉnh có lực kéo  $T_2$  và giàn bên dưới (hình 2.14c) sử dụng cốt thép đáy có lực kéo  $T_1$ . Độ lớn của mỗi giàn có thể dựa trên hình dạng của các tam giác và giá trị  $A_c.f_y$  của cánh chịu kéo. Độ lớn của dầm tìm được bằng cách cộng chúng lại với nhau, lực  $T_1$  và  $T_2$  neo tại các điểm chịu tải và trụ đỡ ngoài các tấm gối. Thực ra, các thanh cốt thép sẽ được neo bằng cách kéo dài hoặc móc vượt ra ngoài các vị

trí của các tấm neo gối. Lưu ý rằng các lực kéo  $T_1$  và  $T_2$  được giả định là không đổi giữa các tấm neo gối.

### 2.3.4. Tính toán thiết kế, sử dụng các mô hình giàn ảo

Sự tính toán thiết kế dầm cao sử dụng mô hình giàn ảo bao gồm việc bố trí một giàn truyền các tải trọng cần thiết. Một khi đã tìm ra được một giàn thỏa mãn, các mối nối và các cấu kiện của giàn phải được thiết kế chi tiết để truyền các lực cần thiết, các kích thước tổng thể của giàn phải đạt đến mức sao cho toàn bộ giàn vừa khít bên trong dầm và có lớp ngoài tương xứng.

Các dầm cao liên tục là các cấu kiện rất cứng và theo đúng nghĩa thì rất nhạy với độ lún không đều giữa các trụ đỡ của chúng do sự chuyển dịch móng và do chiều cao không đều nhau giữa các cột đỡ dầm. Giai đoạn đầu tiên trong tính toán thiết kế một dầm như vậy là ước tính vùng phản lực và sử dụng nó để tính các đường bao lực cắt và mômen, mặc dù có thể xảy ra sự phân bố lại mômen và lực cắt nào đó nhưng tổng lượng sẽ bị giới hạn.

Vấn đề quan trọng là lựa chọn mô hình giàn đỡ tải trọng. Hướng của các thanh chống chịu nén trong mỗi nhịp chịu cắt phải cùng hướng chung của các ứng suất chính trong nhịp chịu cắt đó, các quỹ đạo ứng suất đã được đơn giản hóa sẽ thực sự hữu ích trong việc thiết lập mô hình giàn, các nghiên cứu đã đưa ra đề nghị rằng các thanh chống nên được định hướng trong phạm vi  $\pm 15^\circ$  của góc  $\phi$  thể hiện trong các hình này.

Khi có thể sử dụng được một vài giàn khác nhau; trong số đó, giàn nào có lượng cốt thép ít nhất giàn đó được xem là mô hình hóa chính xác nhất trạng thái làm việc của một dầm bê tông. Giàn này sẽ đạt đến các quỹ đạo ứng suất đàn hồi, do độ cứng của hai loại vật liệu bê tông và cốt thép khác nhau.

Nếu dầm đủ mảnh để các vùng quạt chịu nén tại tải trọng và trụ đỡ không chống lên nhau, thì sẽ không tồn tại thanh chống chịu nén chính thay vào đó sẽ là một vùng chịu nén, trong trường hợp này góc của vùng chịu nén xác định được bằng cách sử dụng phương trình sau:

$$\theta = 10 + 110 \left( \frac{v_u}{\phi \cdot f'_c \cdot b_w \cdot j \cdot d} \right)$$

Với  $25^\circ \leq \phi \leq 65^\circ$ .

Khi thiết lập hình dạng của giàn, ước tính về lực đầu tiên trong cấu kiện có thể được xác định. Trong nhiều trường hợp, các giàn gần như rất khó xác định, tuy nhiên các giàn như vậy có thể giải quyết được dễ dàng bằng cách giả định rằng các cốt đai chảy dẻo và cốt thép dọc chảy dẻo ở các điểm mômen cực đại. Sau đó có thể tính được lực trong mỗi cấu kiện và từ đó tính toán được kích thước cần thiết đối với mỗi cấu kiện chịu nén để chịu các lực nén yêu cầu. Các thanh chống chịu nén sẽ chịu ứng suất  $f_{cc}$ . Thông thường  $f_{cc} = 0,5 f'_c$  trong các dầm cao.

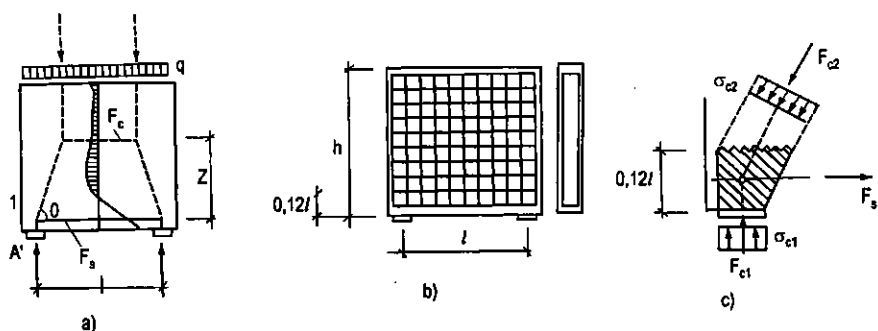
Trong giai đoạn này điều thiết yếu là giàn được vẽ theo tỉ lệ nhất định để thiết lập kích thước của các phần tử thủy tĩnh tại giao điểm của các cấu kiện giàn. Khi điều này được thực hiện, độ nghiêng của một số thanh chống sẽ được thực hiện, độ nghiêng của một số thanh chống sẽ được thay đổi và tính toán lại lực trong thanh chống, sau đó mới đòi hỏi giàn phải vẽ lại theo tỉ lệ. Quá trình này được lặp lại cho tới khi đạt được sự hội tụ, thường là một hoặc hai chu kỳ, khi quá trình này diễn ra, cốt thép được lựa chọn để đủ cung cấp trị số  $A_s \cdot f_y$  bằng hoặc lớn hơn các lực kéo trong mỗi cốt thép dài và trong các thanh giằng.

Các thanh xiên chịu nén tỏa ra từ điểm đặt tải cắt các cốt thép đai tại cao độ trọng tâm của cốt thép đáy, do cần có sự thay đổi lực trong cốt thép đáy để cân bằng với thành phần lực ngang trong thanh xiên chịu nén. Lực trong cốt thép đáy bị giảm xuống tại mỗi thanh cốt thép đai nhờ thành phần ngang của thanh xiên chịu nén cắt nhau tại điểm đó, trong đó đường bậc thang thể hiện lực kéo hợp thành trong cốt thép đáy, lực kéo được tính toán từ lý thuyết dầm  $M/jd$  thể hiện bằng đường nét đứt.

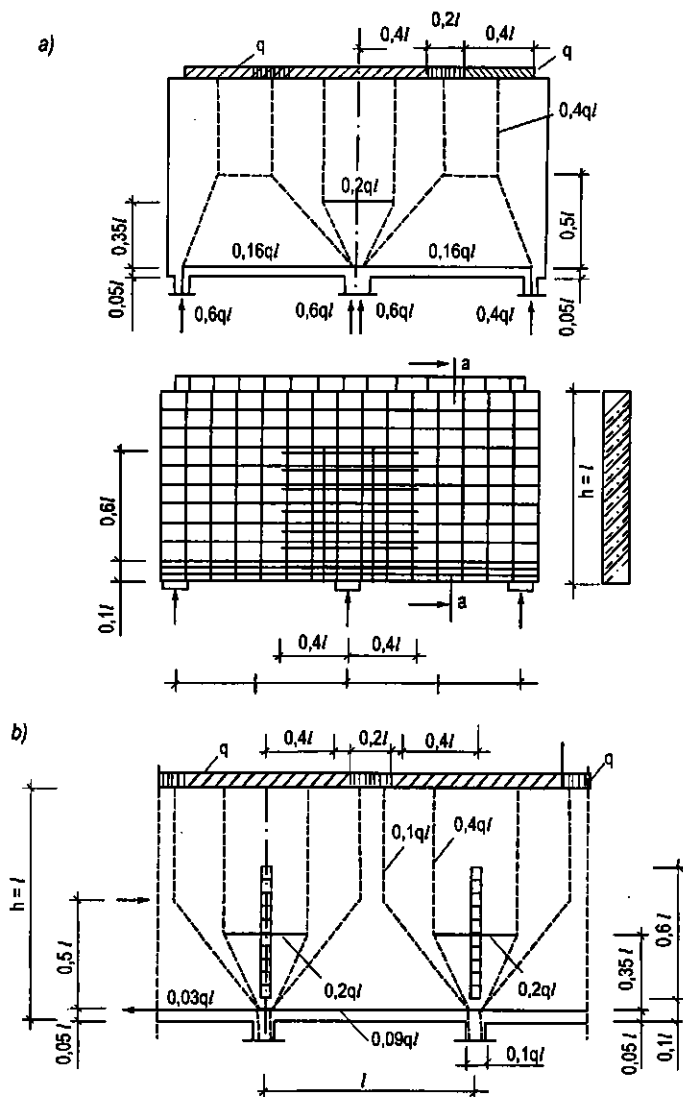
Có thể thiết kế dầm cao bằng mô hình giàn ảo. Nên chú ý đến vị trí nút trên các gối đỡ. Lượng cốt thép tối thiểu 0,1% so với mặt cắt bê tông theo từng hướng nên được bố trí trên từng mặt.

Mô hình giàn ảo và việc bố trí cốt thép của một dầm cao trên hai gối được thể hiện trên hình 2.15. Cánh tay đòn  $z$  nên được lấy ở mức  $z = 0,6.l$  sao cho lực trong thanh biên chịu kéo vào khoảng  $F_s = 0,2q.l = 0,4A$  ( $A$ : phản lực tại gối tựa).

Vùng gối của các dầm liên tục có thể được thiết kế bằng mô hình thể hiện trên hình 2.16. Theo hướng dẫn của FIP, thường thì cốt thép trên toàn bộ vùng gối nên được tính toán với lực  $F_s = 0,2q.l$  và nên được bố trí trên toàn bộ chiều cao 0,6 $l$ ; lực trong thanh mạ chịu kéo nên lấy  $F_s = 0,16q.l$  ở tại đầu nhịp (hình 2.16a) và  $F_s = 0,09.q.l$  ở các nhịp trung gian. (hình 2.16b).



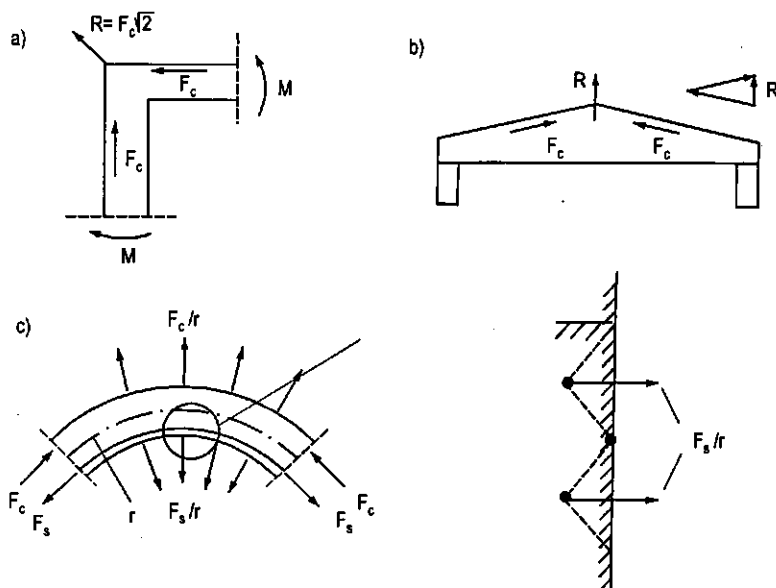
**Hình 2.15. Mô hình giàn ảo và sơ đồ bố trí cốt thép đối với dầm giản đơn**



**Hình 2.16. Mô hình giàn ảo và sơ đồ bố trí cốt thép đối của dầm liên tục**

## 2.4. ĐỘ LỆCH CỦA LỰC

Những thay đổi về hướng lực tác dụng có thể làm nảy sinh ứng suất kéo ngang hoặc những bố lực (hình 2.17). Những bố lực này sẽ được kháng lại bằng việc bố trí các cốt thép neo thích hợp.



Hình 2.17. Các ví dụ về lực căng ngang do độ lệch của lực

## 2.5. CÁC GÓC KHUNG VÀ LIÊN KẾT DẦM CỘT

### 2.5.1. Các góc khung với mômen âm (đóng)

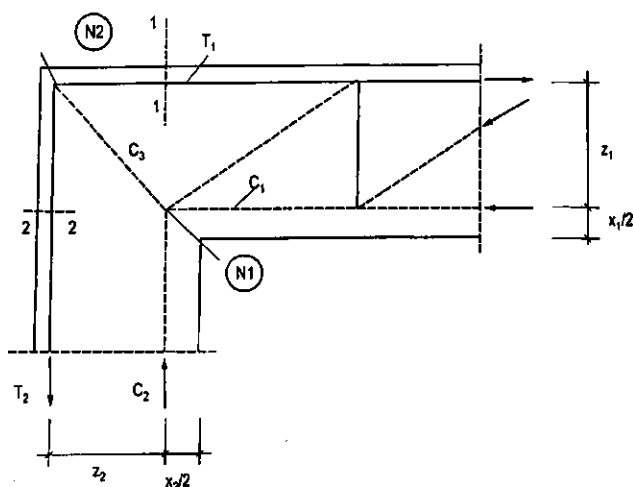
Mô hình giàn ảo cơ bản cho các góc khung chịu mômen âm thể hiện ở hình 2.18. Mặt cắt nguy hiểm 1-1 và 2-2 để xác định lực cực đại trong thanh mạ nằm trong phạm vi liên kết dầm-cột ở khoảng cách  $\frac{x_1}{2}$  và  $\frac{x_2}{2}$  từ mặt trong dầm và cột. Không nên bố trí thanh mạ chịu nén vì nó không thể neo được vào nút  $N_1$ ; tuy nhiên cường độ chịu nén hai hoặc ba trục có thể được sử dụng cho nút  $N_1$ .

Cường độ của thanh chống  $C_3$  trong hình 2.18 được xác định đơn thuần bằng các kích thước của nút  $N_2$  ở vị trí uốn trên các thanh chính. Cường độ này không nên vượt quá khả năng của thanh chống dạng hình chai, trừ khi liên kết được tăng cường theo cả hai hướng.

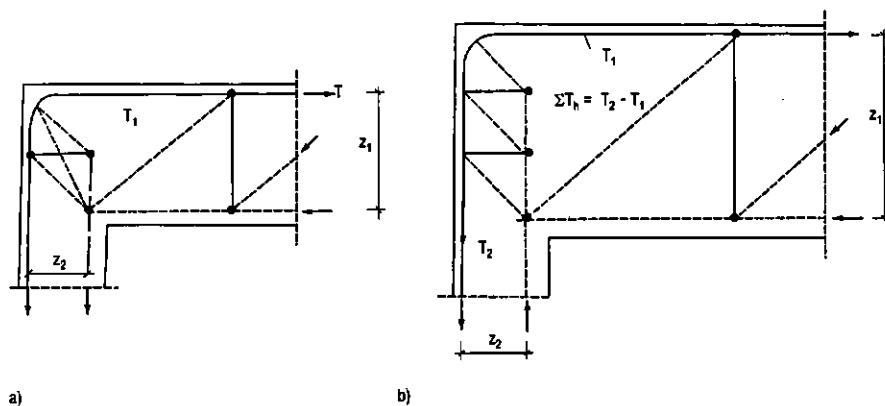
Mô hình giàn ảo cơ bản chỉ phù hợp với các phần tử có cánh tay đòn nội lực  $z_1 = z_2$  (hình 2-18). Đối với các trường hợp  $z_1 > z_2$  thì phải bố trí cốt thép nằm ngang tại mối liên kết (hình 2-19). Các cốt thép nằm ngang này có thể được xác định từ mô hình đưa ra ở mục 2.2.3 và hình 2-19a hoặc từ điều kiện lực sau (theo mô hình trong hình 2.19b):

$$\Sigma T_h = T_2 - T_1 \quad (2-6)$$

Tại vị trí ghép nối, cốt thép thanh mạ cần bố trí thêm cốt thép đai tăng cường. Sự bao phủ mặt bên của các thanh chủ nên được tăng cường chặt chẽ bằng các vòng kẹp và các thanh cốt thép dọc, bố trí vuông góc với mặt phẳng uốn.



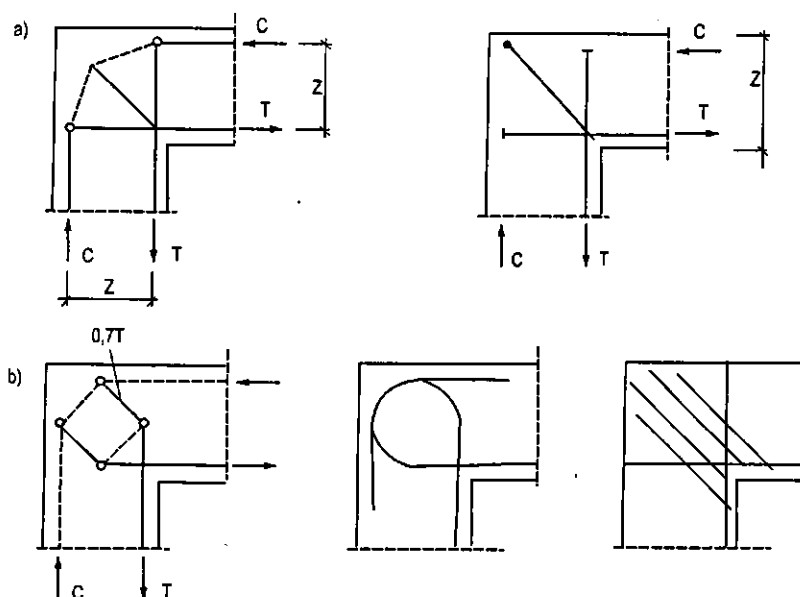
**Hình 2.18.** Mô hình giàn ảo cơ bản cho góc khung chịu mômen âm



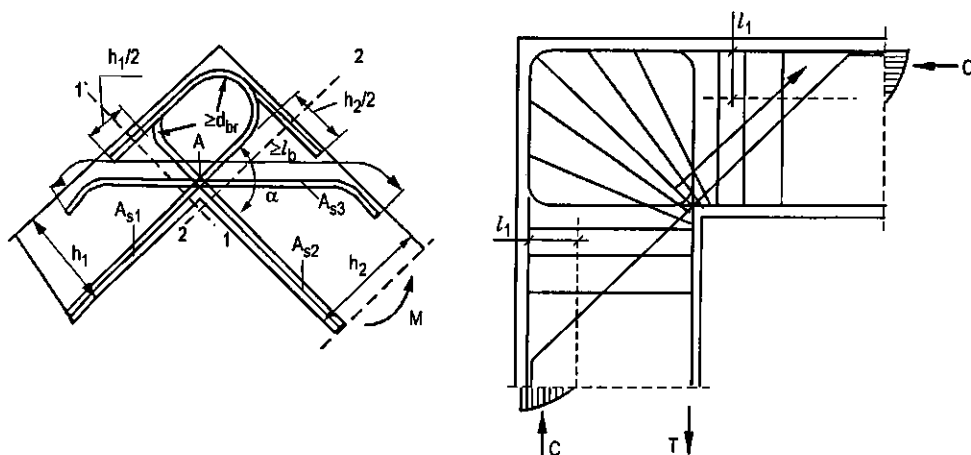
**Hình 2.19.** Mô hình giàn ảo cơ bản cho góc khung chịu mômen âm và các cấu kiện có chiều cao khác nhau

### 2.5.2. Các góc khung với mômen dương (mở)

Tại các góc khung với mômen dương, bê tông có thể bị vỡ vụn nên phải được xử lý thích đáng bằng một lượng cốt thép thích hợp. Kiến nghị xem xét mô hình giàn ảo cơ bản (hình 2.20a) và mô hình chi tiết (hình 2.20b) cùng với sơ đồ bố trí cốt thép thích hợp.



Hình 2.20. Mô hình cho góc khung chịu mômen dương



Hình 2.21. Tăng cường cốt thép chịu mômen dương cho góc khung chịu mômen giá trị lớn

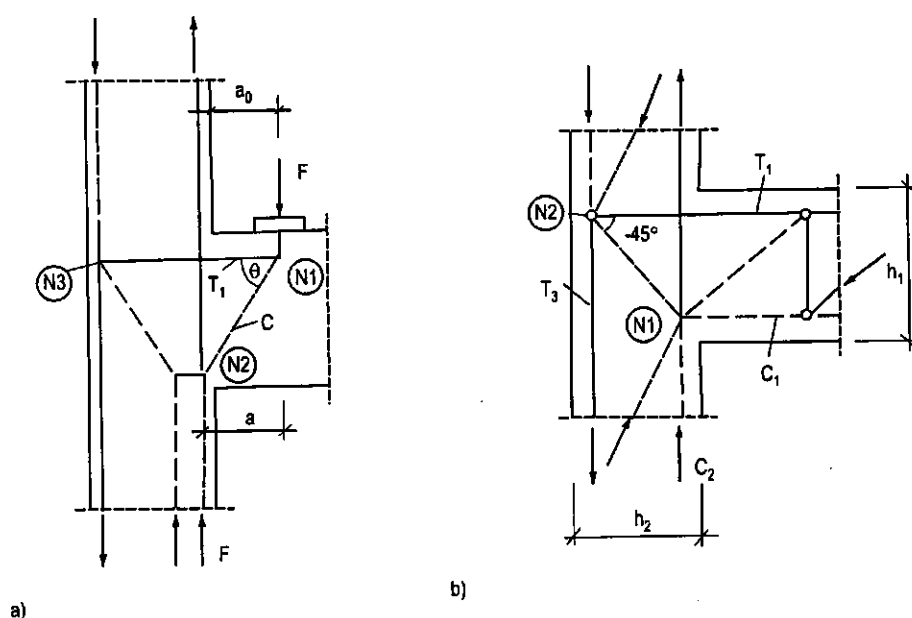


Cấu tạo móc neo ở các nút của những thanh giằng chủ của các thanh mạ chịu kéo cần được xem xét kỹ. Khả năng chịu lực của các nút này sẽ bị giảm đáng kể do việc bố trí móc neo làm tăng lượng cốt thép tại nút.

Thanh xiên trong góc làm tăng khả năng và tính làm việc của các góc mở với tỷ lệ cốt thép lớn, hình 2.21 đưa ra hai giải pháp có thể áp dụng.

### 2.5.3. Liên kết dầm - cột cho một cột ngoài

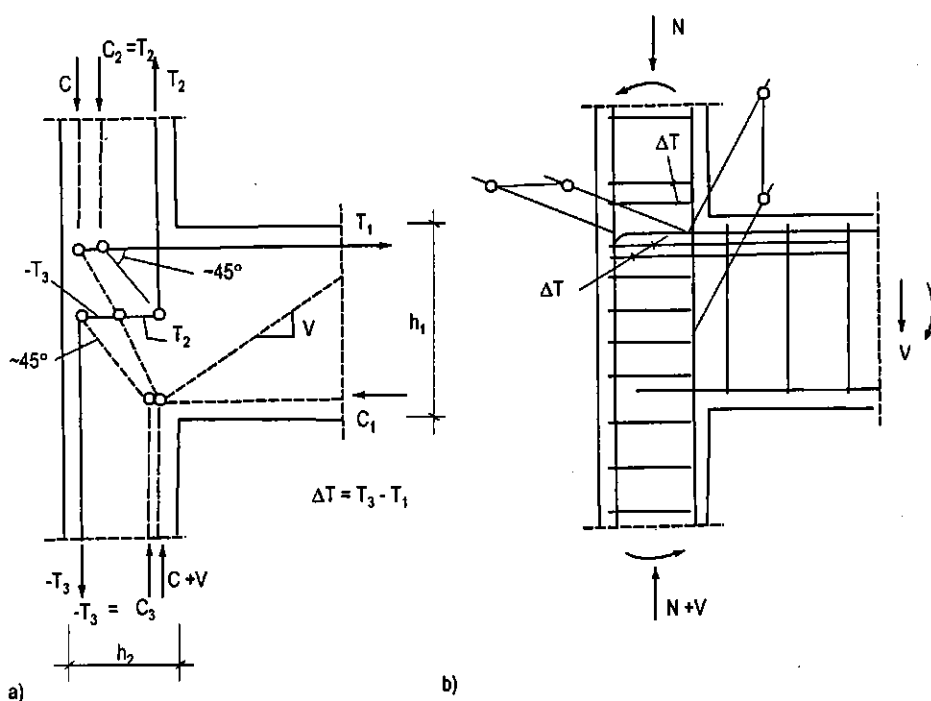
Mô hình đơn giản đối với liên kết dầm - cột của các cấu kiện với chiều cao ảo được trình bày ở hình 2.22. Điều kiện lực để định ra kích thước mỗi liên kết được xác định qua những mặt cắt qua nút  $N_1$  như đã giải thích ở mục 2.2.3 (1).



**Hình 2.22.** Mô hình giàn ảo cơ bản cho mối nối dầm - cột

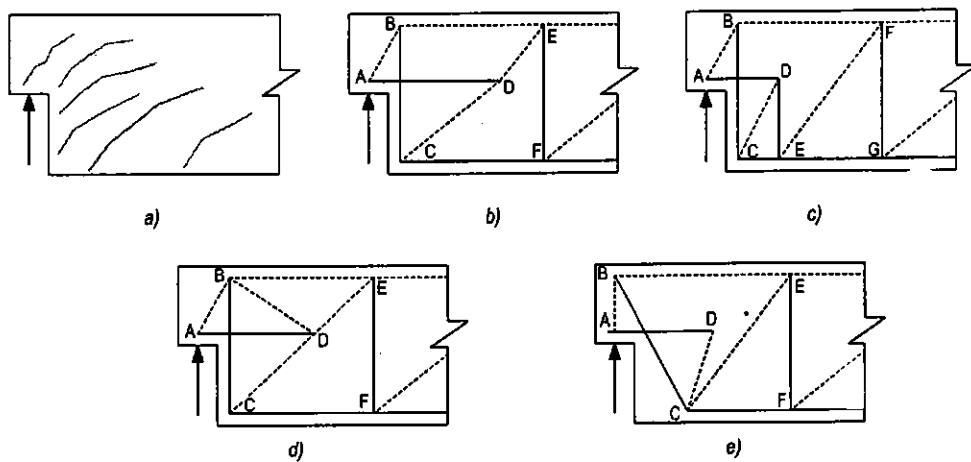
Khả năng của liên kết phụ thuộc nhiều vào các yêu cầu về đường kính uốn cong và neo ở nút  $N_2$ . Trong trường hợp chiều dài neo không đủ ở nút  $N_2$ , yêu cầu phải tăng thêm thanh giằng để chịu lực  $\Delta T = T_3 - T_1 = 0,3T_1$  ở bên trên và bên dưới cốt thép chịu lực  $T_1$  như thể hiện ở hình 2.23b

Để liên kết các phân tử có chiều cao khác nhau  $h_1 > h_2$  (hình 2.23) yêu cầu tăng thêm cốt thép nằm ngang trong liên kết (xem hình 2.19), liên kết này được thiết kế để chịu lực  $T_3$ .



**Hình 2.23.** Mô hình giàn ảo của mối nối dầm - cột có chiều cao khác nhau

#### 2.5.4. Các đầu dầm kiểu bậc thang



**Hình 2.24.** Mô hình giàn ảo đối với một đầu dầm kiểu bậc thang

Các đầu dầm đúc sẵn đôi khi có dạng bậc thang với một đoạn đầu dầm có chiều cao bị giảm (hình 2.24). Ví dụ như các dầm cầu kiểu Super-T vượt qua

các nhịp dài cỡ 35-40m của nhiều cầu ở nước ta. Có nhiều phương pháp tính khác nhau, tuy nhiên phương pháp tính toán thiết kế phù hợp nhất là theo mô hình giàn ảo.

Bốn mô hình giàn ảo phổ biến đối với các vùng đầu dầm kiểu cắt khác được so sánh với mẫu vết nứt quan sát trong các thử nghiệm thể hiện trên hình 2.24. Sự hình thành vết nứt bắt đầu tại vết lõm của vết khác (điểm A trong hình 2.24a). Các mô hình giàn ảo, theo hình 2.24b, c, d đòi hỏi phải có thanh giằng B - C thẳng đứng ở đầu của vị trí cắt bậc của dầm và một thanh chống nghiêng A - B ở phía trên phản lực. Trong các thử nghiệm các mẫu có thanh giằng B - C bao gồm các cốt thép đai thẳng đứng ép kín với các đoạn uốn  $135^\circ$  quanh thanh dọc ở đỉnh của dầm làm việc tốt hơn so với các mẫu cốt thép đai đầu hở. Thành phần nằm ngang của lực nén trong thanh A - B được cân bằng bởi thanh giằng A - D.

Ba mô hình giàn ảo khác nhau về cách thức neo thanh giằng nằm ngang tại D: Mô hình 2.24c có ưu điểm là lực trong thanh giằng C - E thấp hơn, vì vậy dễ neo hơn các lực tương ứng trong thanh giằng C - F hình 2.24b. Đối với mô hình 2.24d, thanh giằng A - D được neo bởi thanh chống B - D, nó bị cắt ngang do các vết nứt như thể hiện trên hình 2.24a, điều này nói lên rằng mô hình 2.24d chưa phù hợp.

Trong hình 2.24e, mô hình giàn ảo có một thanh treo B - C và thanh nén thẳng đứng bên trên vùng phản lực. Phải neo cẩn thận thanh giằng B - C tại đầu trên cùng của nó. Thông thường đặt một thanh giằng ngang tại A để chống lại những lực kéo nào đó do sự co ngót, ngàm chặt dầm đúc sẵn. Trong các thí nghiệm, các đầu dầm kiểu bậc đã được thiết kế sử dụng mô hình 2.24c. Một mô hình hỗn hợp được thiết kế với giả thiết rằng một nửa phản lực bị kháng lại bởi một mô hình trong số hai kiểu mô hình giàn ảo này.

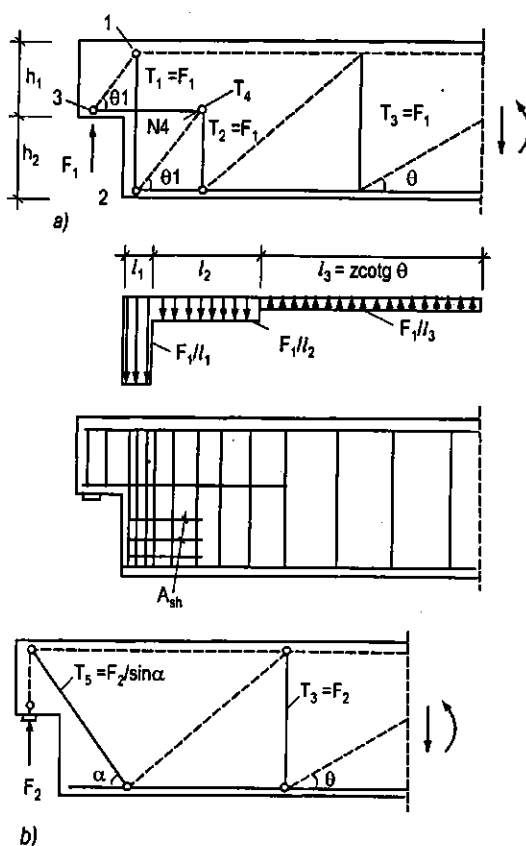
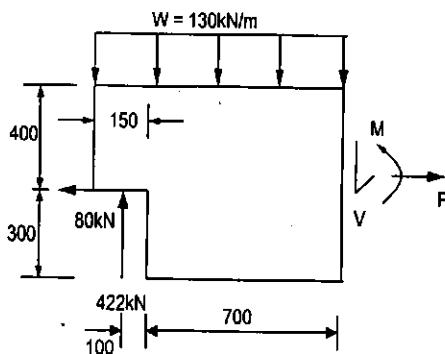
Trong việc bố trí đầu tựa của đầu dầm kiểu bậc thang thì chiều cao phần kéo dài của dầm ít nhất bằng một nửa chiều cao toàn bộ của dầm. Phần kéo dài của dầm phải đủ bề dày để thanh chống nghiêng A - B tại gối đỡ có độ nghiêng không nhỏ hơn  $45^\circ$ . Mặt khác, các lực trong thanh chống và giằng gặp phần kéo dài của dầm tại gối đỡ trở nên quá lớn, để giải quyết một cách đơn giản, phải neo các thanh cốt thép một cách cẩn thận ở vùng xung quanh đầu dầm.

Sau đây chúng ta xem xét kỹ hơn các lực cụ thể và sự bố trí cốt thép sao cho hợp lý.

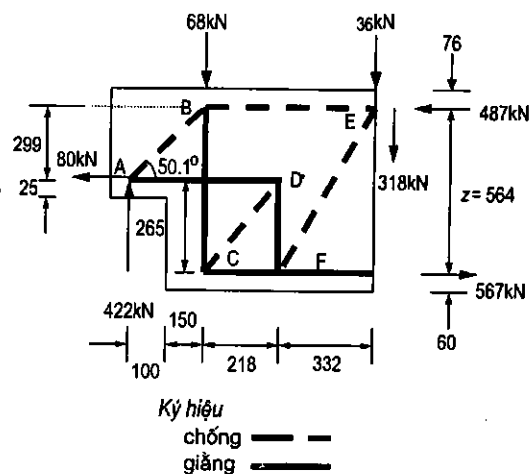
Các đầu dầm kiểu bậc thang nên được thiết kế trên cơ sở tổ hợp hai mô hình giàn ảo ở hình 2.25a, b. Cần có sự cân nhắc tập trung đến các lực ngang có thể có do ma sát tại gối đỡ.

Mô hình ở hình 2.25a yêu cầu cầu có cốt thép đai để chịu lực  $(T_1 + T_2) = 2F_1$  được phân bố như đã trình bày. Cần có cốt thép dọc trục để chịu lực giằng  $T_4$  và phải được kéo dài ra ngoài nút  $N_4$  tối thiểu bằng một nửa chiều dài neo của nó. Các móc vòng nằm ngang tăng cường hoặc các thanh kẹp (cốt thép đai  $A_{sh}$ ) nên được bố trí ở nửa đáy của bậc, nếu  $h_2 > h_1$  hoặc nếu  $h_2 > 300\text{mm}$ .

Dưới đây là một ví dụ ngắn gọn về tính toán đầu dầm kiểu bậc thang theo sơ đồ giàn ảo



**Hình 2.25.** Mô hình giàn ảo cho đầu dầm kiểu bậc thang



**Hình 2.26.** Kết quả ví dụ tính toán đầu dầm cắt khác theo mô hình giàn ảo nét vẽ đậm đứt thể hiện thanh chống, nét vẽ đậm liền thể hiện thanh giằng

## 2.6. TẢI TRỌNG TẬP TRUNG THEO HƯỚNG DỌC TRỤC CỦA CẦU KIỆN VÀ NHỮNG VÙNG NEO CỦA CÁP DỰ ỨNG LỰC

### 2.6.1. Vùng D ở vị trí nút gối của các cấu kiện chữ nhật

Mô hình giàn ảo cơ bản trong hình 2.27a áp dụng cho vùng D có tải trọng tập trung tác dụng lên bề mặt neo DUL trong một cấu kiện có mặt cắt ngang hình chữ nhật. Giá trị của lực căng  $T_1$  được xác định bằng sự phân bố ứng suất theo sơ đồ đàn hồi - dẻo. Lực  $T_1$  có thể được xác định bằng:

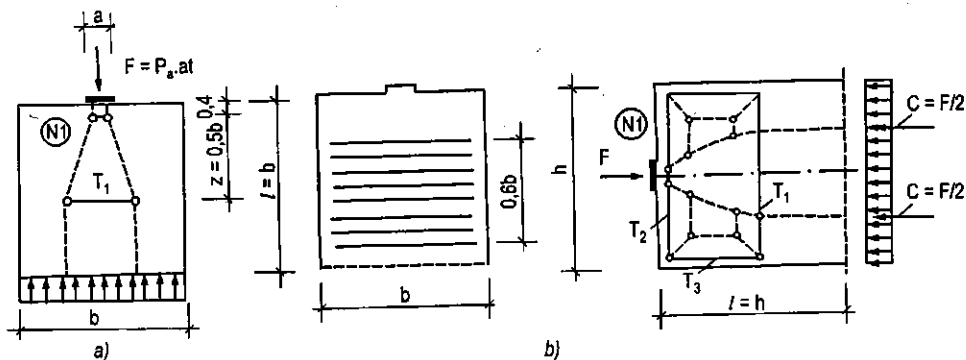
$$T_1 = 0,25 \left(1 - \frac{a}{b}\right) F \quad (2-7)$$

Mô hình phân tích trong hình 2.27b để xác định các lực kéo, "Các lực phân chia" trong bê tông phải thích hợp với các thanh chống xiên có các góc không có ứng suất nén. Lực  $T_2$  và  $T_3$  có thể tính bằng  $0,02F$  và được chịu bởi lượng cốt thép tối thiểu.

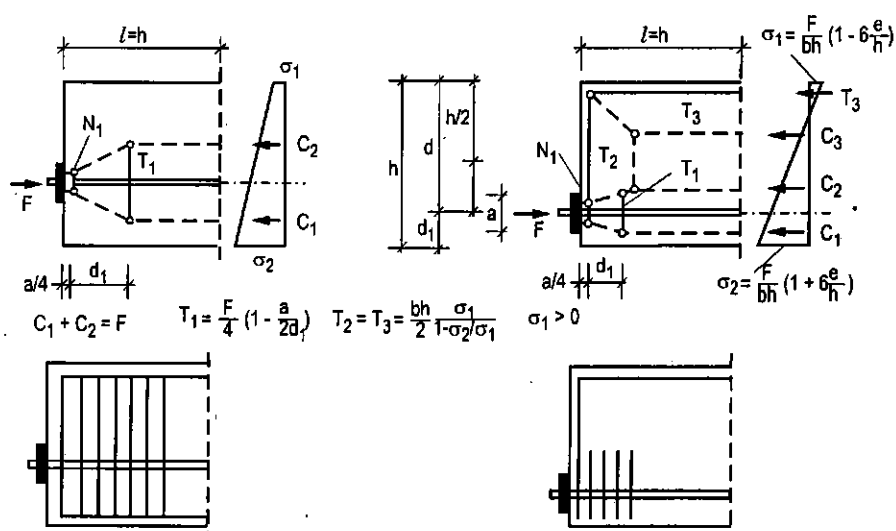
Các mô hình giàn ảo đối với tải trọng tác dụng lệch tâm có được từ sự cân bằng tải trọng áp dụng với phân bố ứng suất đàn dẻo-tuyến tính trong vùng B kế cận ở đầu đối diện của vùng (mô hình hoá với mô hình tải trọng đường).

Trong giàn ảo, vùng neo cáp DUL ở đầu dầm nhận lực truyền qua neo từ các thanh thép DUL như thể hiện trong hình 2.29.

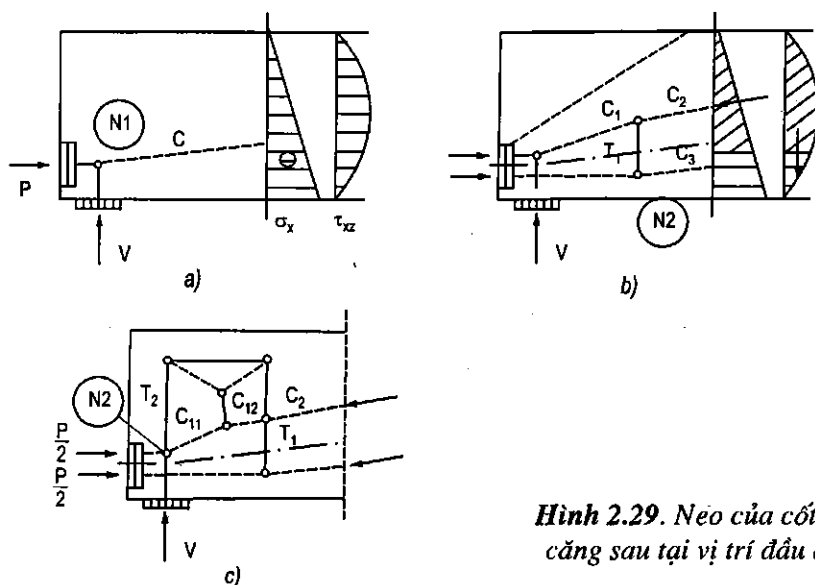
Việc kiểm tra ở nút  $N_1$  phù hợp với mục 2.2.3



**Hình 2.27.** Mô hình giàn ảo cơ bản đối với tải trọng tập trung tác dụng theo hướng trục của cấu kiện



**Hình 2.28.** Phân tích điểm đặt tải theo hướng trục dầm



**Hình 2.29.** Neo của cốt thép căng sau tại vị trí đầu dầm

Trường hợp DUL căng trước (hình 2.30), phạm vi vùng D được tính là  $l_{bpt} + h$ ; với  $l_{bpt}$  là chiều dài truyền lực. Mô hình giàn ảo tuân thủ theo các quy luật đã nêu trước đây (xem hình 2.28). Xác định  $l_{bpt}$  theo công thức sau:

$$l_{bpt} = \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \phi \cdot \sigma_{pi}}{4 \cdot R_{bpd}(\tau)} \quad (2-8)$$

trong đó:

$\phi$  - đường kính danh định của sợi cáp

$\sigma_{pi}$  - ứng suất trước khi giảm tải trước mất mát phụ thuộc vào thời gian

$\alpha_1 = 1,00$  khi giảm tải từ từ  
 $= 1,25$  khi giảm đột ngột

$\alpha_2 = 0,50$  khi tính ở thời điểm giảm lực căng  
 $= 1,00$  khi tính ở trạng thái giới hạn

$\alpha_3 = 0,50$  cho loại 7 sợi dây đàn  
 $= 0,70$  cho loại bó xoắn.

Lực ngang  $T_1$  có thể tính cho bê tông nếu thoả mãn điều kiện sau:

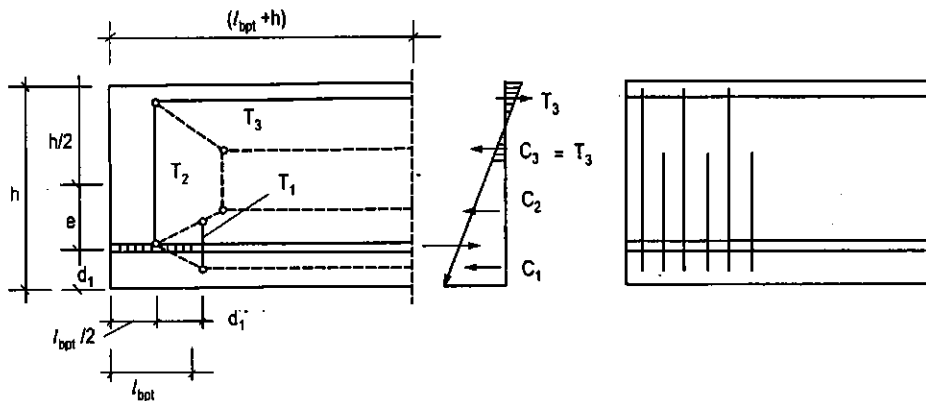
$$\frac{c}{\phi} > 2,5 \text{ và } c_{\text{eff}} > 2,25 \quad (2-9)$$

với:  $c$  - lớp phủ bê tông

$$c_{\text{eff}} - \text{lớp phủ có hiệu} = \frac{2.c - 1,5.(n-1).s_n}{2.n}$$

$n$  - số sợi cáp

$s_n$  - khoảng cách tịnh giữa các sợi cáp



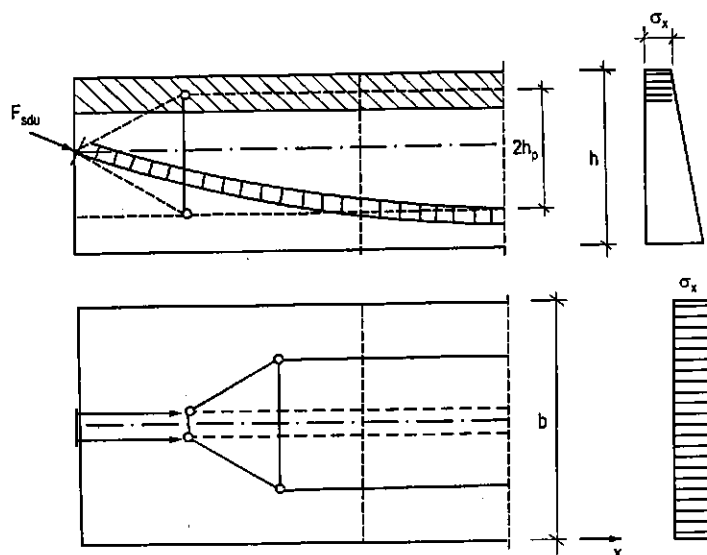
**Hình 2.30.** Mô hình giàn ảo tại đầu neo của cấu kiện căng trước

### 2.6.2. Gối của dầm T

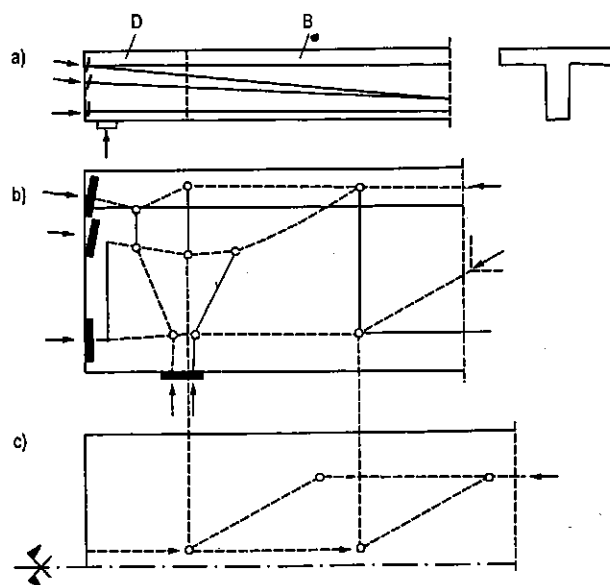
Sự phân bố của lực tập trung lên cánh T của cấu kiện theo sơ đồ ở hình 2.31; yêu cầu bố trí cốt thép đai trên cánh như với sườn dầm.

Sự phân bố của ứng suất nén trước trong dầm T hoặc dầm hộp (hình 2.32) tuân thủ theo các nguyên tắc ảo như đã nêu tại các phần trên. Lực giằng

ngang  $T_1$  trong sườn dầm của vùng D bao gồm các lực do tác dụng kết hợp của DƯL và lực cắt ở gối.



**Hình 2.31.** Sự truyền áp lực nén trước vào một dầm mặt cắt chữ T



**Hình 2.32.** Mô hình giàn ảo ở đầu dầm T với neo DƯL

### 2.6.3. Vùng neo bên trong và mối liên kết với các neo ứng suất trước

Nếu như tải trọng  $F$  tác dụng ở một neo bên trong (hốc ứng suất) của một cấu kiện bê tông, qua quan sát thực nghiệm khoảng 25% giá trị  $F$  sẽ được



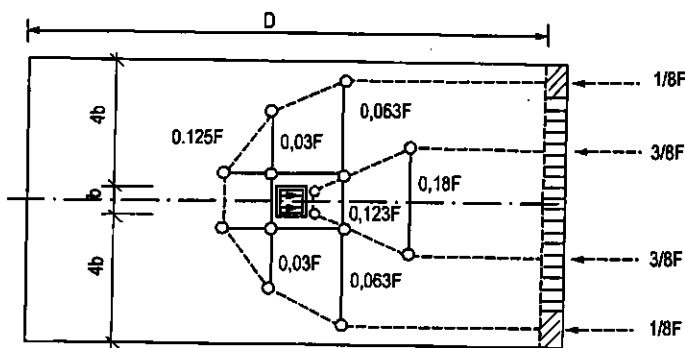
giảm lại phía sau do các cốt thép ở các phía của neo như đã được thể hiện ở sơ đồ giàn ảo (hình 2.33). Lực kéo này có thể sẽ bị giảm đi một lượng là:

$$\Delta F = 5A_1\sigma_c \quad (2-10)$$

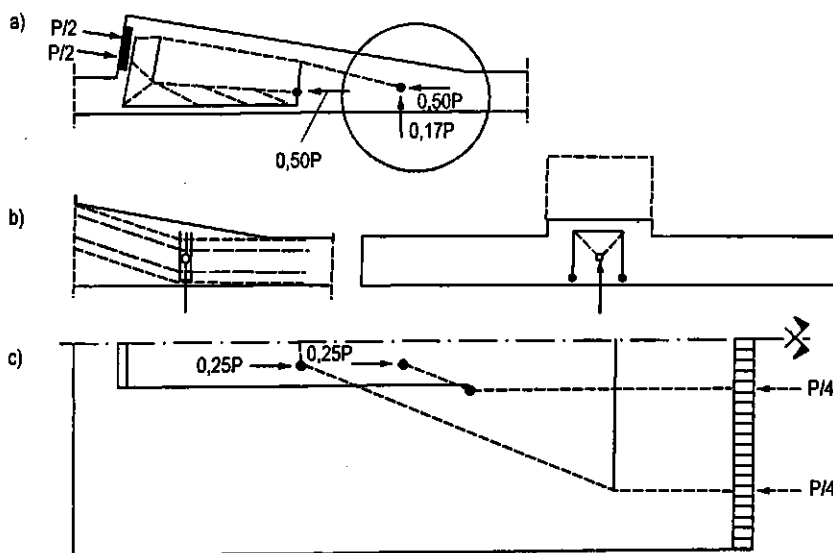
với:  $\sigma_c$  - ứng suất nén ở phía sau neo.

$A_1$  - diện tích neo.

Khi đó, cốt thép đai có thể được thiết kế cho các lực được đưa ra ở hình 2.31. Chiều dài neo cần được cân nhắc kỹ và phải thoả mãn về độ dài neo.



**Hình 2.33.** Mô hình giàn ảo cho một neo trong của cáp DUL

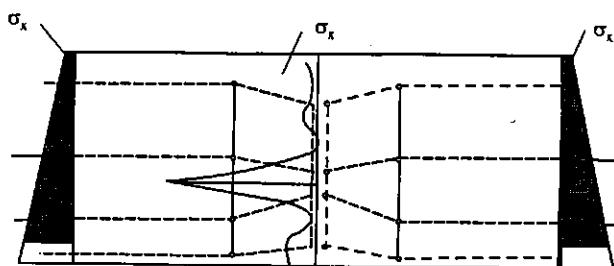


**Hình 2.34.** Mô hình giàn ảo và sự tăng cường cho một lỗ rỗng

Trong trường hợp có lỗ rỗng bên trong, lực căng ứng suất trước sẽ gây ra lực ngang do sự phân tán của ứng suất, chẳng hạn như do uốn cục bộ, như thể hiện ở mô hình giàn ảo ở hình 2.34a và b.

Để ứng suất truyền được xa hơn vào trong bản, kiến nghị mô hình đơn giản thể hiện ở hình 2.34c; cốt thép dọc bổ sung nên được bố trí theo kiểu quay đầu và bằng một phần của lực căng trước cho một neo bên trong như hình 2.33.

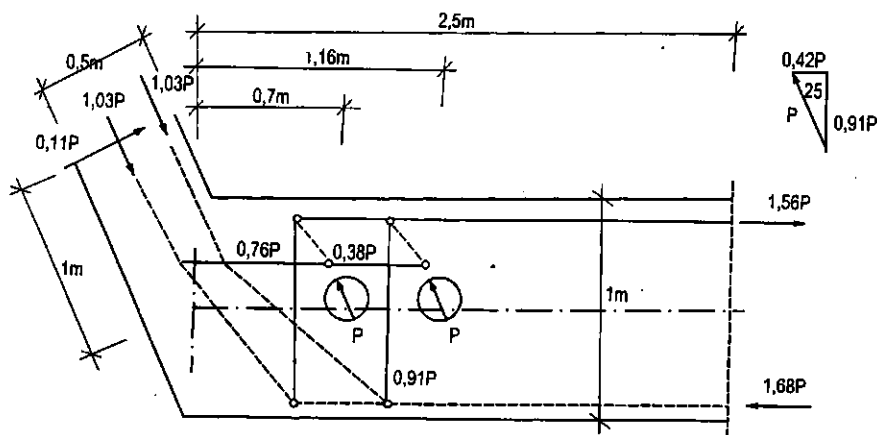
Mỗi nối xây dựng, sử dụng một neo đôi tương ứng cho một vùng D. Cấu tạo mỗi nối kiểu này sẽ gây ra lực tập trung vào neo, có thể làm xuất hiện ứng suất kéo trong mặt cắt và gần các gờ cạnh (hình 2.35). Như vậy, một khối lượng cốt thép dọc tối thiểu nên được bố trí cắt ngang qua liên kết. Vấn đề này được giảm đi đáng kể nếu chỉ một vài bó cáp được kết đôi và nếu các neo đôi được bố trí trên toàn bộ chiều cao của sườn.



**Hình 2.35.** Phân bố ứng suất và mô hình giàn ảo cho một vùng D tại vị trí mỗi nối sử dụng một neo đôi

#### 2.6.4. Độ lệch của các sợi cáp dự ứng lực ngoài

Độ lệch của các sợi cáp dự ứng lực bố trí bên ngoài bê tông gây ra các lực tập trung lớn. Các lực này phải được truyền vào sườn dầm, hình 2.36 thể hiện mô hình giàn ảo ở một điểm lệch và giúp ta thấy rõ rằng cần phải quan tâm đặc biệt tới các thanh giằng ngang.



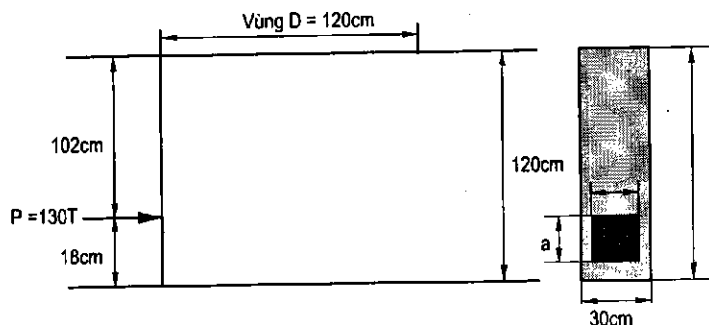
**Hình 2.36.** Sơ đồ giàn ảo tại điểm lệch đối với một trường hợp DUL ngoài

### Chương 3

## CÁC VÍ DỤ TÍNH ÁP DỤNG MÔ HÌNH GIÀN ẢO

### 3.1. MÔ HÌNH GIÀN ẢO CỦA MỘT ĐẦU DẦM CHỊU TẢI TRỌNG TẬP TRUNG

Một dầm chữ nhật, kích thước mặt cắt ngang 120cm × 30cm. Chịu tác dụng của một lực tập trung  $P = 110$  tấn đặt tại đầu dầm theo hướng song song trục dọc của dầm. Yêu cầu vẽ mô hình giàn ảo và kiểm tra ứng suất. Bê tông dầm M300,  $R_a = 2400 \text{ kG/cm}^2$ .



Hình 3.1. Sơ đồ chịu lực tập trung dọc trục của một đầu dầm bê tông

#### Bước 1: Tách vùng D

Vùng D được giả định kéo dài theo chiều trục dọc của dầm bằng một lần chiều cao dầm.

#### Bước 2: Tính ứng suất trong ranh giới của phần tử

Tính theo công thức:

$$\sigma_{1,2} = \frac{P}{b \cdot h} \left( 1 \pm \frac{6 \cdot e}{h} \right)$$

trong đó:

$\sigma_{1,2}$ - ứng suất của thép trên và thép dưới dầm;

e - độ lệch tâm so với trục dọc; e = 42cm.

P - ngoại lực tác dụng đã xét đến hệ số giảm bền;  $P = \frac{110T}{0,85} = 130T$ .

Thay các giá trị vào biểu thức, ta có:

$$\sigma_1 = -39,72 \text{ kG/cm}^2 \text{ và } \sigma_2 = 111,94 \text{ kG/cm}^2$$

### **Bước 3: Tính chiều rộng chịu áp lực a**

$$\text{Áp dụng công thức } a = \frac{P}{b \cdot v_1 \cdot R_{lt}};$$

trong đó:

$$v_1 = 1 - \frac{R_n}{2500} \text{ và } R_{lt} = \frac{\alpha \cdot R_n}{\gamma_c} \text{ (theo FIP Recommendation 1996 "Practical Design").}$$

$\alpha$  - hệ số phụ thuộc vào cường độ và thời gian chất tải; với trạng thái giới hạn,  $\alpha = 0,85$ .

$\gamma_c$  - hệ số an toàn cục bộ, trạng thái giới hạn  $\gamma_c = 1,50$ .

$R_n$  - cường độ bê tông 28 ngày ( $\text{kG/cm}^2$ ).

b - chiều rộng cấu kiện (cm).

P - lực tác dụng tập trung (kG).

Thay vào biểu thức, tính được  $a \approx 28\text{cm}$ .

### **Bước 4: Phân tích nội lực tại mặt ranh giới**

Ngoại lực P được phân thành 2 lực 65T đặt tại các điểm bằng a/4; lực đặt tại J cách mép dưới cấu kiện 11cm và lực đặt tại K cách điểm J 14cm ( $a/2 = 14\text{cm}$ ).

⇒ Căn cứ vào biểu đồ ứng suất tại mặt ranh giới vùng D, hợp lực kéo  $F_H$  trong phạm vi G-I của vùng D:

$$F_H = \frac{39,72 \text{ kG/cm}^2 \cdot 31,43 \text{ cm}}{2} \times 30 \text{ cm} = 19020 \text{ kG} = 19,02T;$$

Để cân bằng với lực kéo này, tại mặt ranh giới phải có một lực nén  $F_F = 19,02T$  tại phần G-E. Đồng thời, để cân bằng với hai lực 65T tác dụng tại K và J, phải có 2 lực nén = 65T tác dụng tại D và B (đặt tại trọng tâm của các hình thang có cạnh EC và CA).

### **Bước 5: Vẽ mô hình giàn ảo để truyền các lực trong vùng D**

Thanh chống: đường đứt nét

Thanh giằng: đường liền nét

Để cân bằng với  $F_H$  trong cấu kiện H-P có một lực kéo bằng 19,02T (điểm P cách mép ngoài cấu kiện một khoảng là  $a/4 = 7\text{cm}$ ). Hai lực  $F_H$  và  $F_F$  gần kề có độ lớn bằng nhau lại ngược chiều  $\Rightarrow$  tạo ra một vòng xoáy lực gồm các thanh chịu kéo và thanh chống chịu nén. Do vậy, tại F có thanh chống F-O cân bằng với lực  $F_F = 19,02\text{T}$  và thanh O-P nghiêng  $45^\circ$  để tạo thành vòng xoáy lực của  $F_H$  và  $F_F$ . Lực nén trong thanh O-P =  $19,02 \cdot \sqrt{2} = 26,89\text{T}$ .

Tại mối nối P, với  $\Sigma y = 0$  (y là trục thẳng đứng), ta xác định được lực kéo trong cấu kiện P-K = 19,02T; tại nút ảo O, ta cũng xác định được một lực nén thẳng đứng = 19,02T để cân bằng.

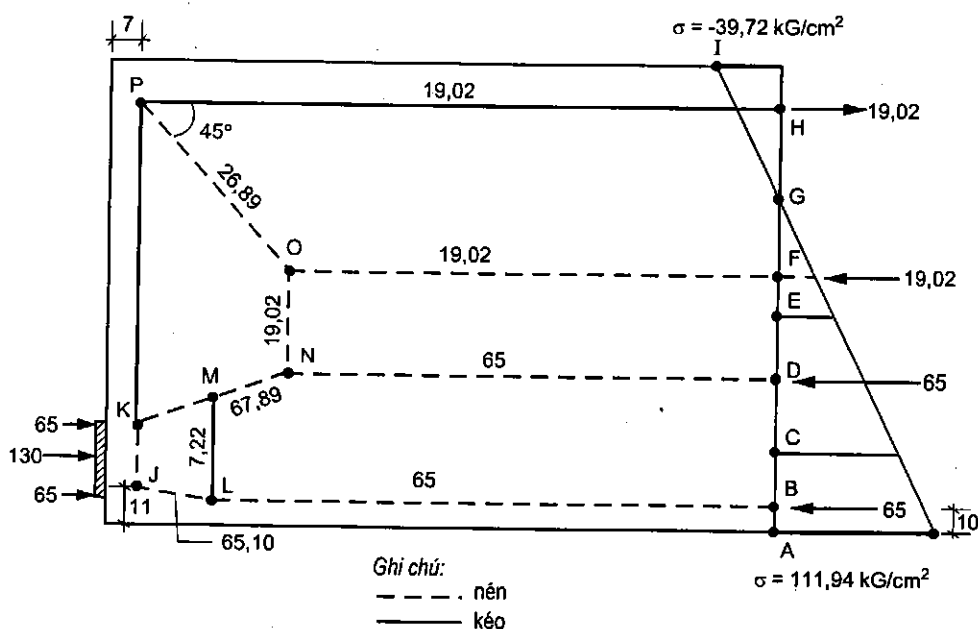
Lực tác dụng tại J cách mép cấu kiện 11cm. Lực nén tác dụng tại B cách mép cấu kiện 10cm. Sự chuyển tiếp của hai lực này được thực hiện bằng cấu kiện J-L. Theo ACI thì cấu kiện J-L đối với trường hợp tổng quát xác định theo độ dốc 2:1. Nhưng trong trường hợp cụ thể thì FIP Recommendation 1996 "Practical Design" khuyên lấy bằng  $d_1$  ( $d_1$ : khoảng cách từ điểm đặt lực đến mép dưới cấu kiện); do vậy theo quy tắc tam giác lực, lực nén trong thanh J-L = 65,10T. Lực nén trong thanh L-B là 65T để cân bằng với  $F_B = 65\text{T}$ . Cũng bằng quy tắc tam giác lực, ta xác định được lực nén trong cấu kiện M-N = 67,89T.

Tại điểm đối hướng L, xuất hiện lực kéo  $T_1$  trong thanh giằng L-M. Áp dụng quy tắc tam giác lực để xác định  $T_1$ . Nhưng theo FIP Recommendation 1996 "Practical Design", lực  $T_1$  được xác định theo công thức:

$$T_1 = \frac{P}{4} \left( 1 - \frac{a}{2 \cdot d_1} \right)$$

thay các giá trị:  $P=130\text{T}$ ;  $a=28\text{cm}$ ;  $d_1=18\text{cm}$  vào biểu thức, ta có  $T_1=7,22\text{T}$ .

Kết quả thể hiện tại hình vẽ sau:



Hình 3.2. Sơ đồ giàn ảo trong dầm khi chịu lực tập trung P

### Bước 6: Kiểm tra ứng suất trong các cấu kiện

#### 1. Các thanh chống chịu nén:

a) Độ bền chịu nén hiệu quả  $R_{ce}$  của bê tông được tính bằng:

$$R_{ce} = v_1 \cdot v_3 \cdot R_{28}$$

trong đó:

$v_1$  - theo bảng 2-2 (chương 2) ta có:  $v_1 = 0,8$

$$v_3 = 0,55 + \frac{15 \cdot \sqrt{0,06895}}{\sqrt{R_n}}; \text{ với bê tông M300, ta có } v_3 = 0,777$$

$$\text{Vậy, } R_{ce} = 0,8 \cdot 0,777 \cdot R_{28} = 0,62 \cdot 300 = 186 \text{ kG/cm}^2$$

b) Chiều cao các thanh chịu nén (h) xác định theo công thức:

$$h = \frac{C}{b \cdot R_{ce}}$$

trong đó:

C - lực nén trong thanh chống

b - chiều rộng thanh chống;  $b = 30\text{cm}$ .

$R_{ce}$  - độ bền chịu nén hiệu quả.

Giá trị h của các thanh chống trong bảng sau:

TT	Tên thanh	Lực nén C (T)	h (cm)	Ghi chú
1	F-O	19,02	3,41	
2	O-P	26,89	4,82	
3	O-N	19,02	3,41	
4	D-N	65,00	11,65	
5	K-M	67,89	12,20	
6	B-L	65,00	11,65	

Qua đây ta thấy không có thanh chống nào bị chống lên nhau, điều này thể hiện ứng suất nén trong bê tông là thoả đáng. Việc bố trí cốt thép trong phạm vi này chỉ thoả mãn yêu cầu cấu tạo.

## 2. Các thanh giằng

Diện tích cốt thép yêu cầu trong các thanh giằng:

$$A_s = \frac{T}{R_a}$$

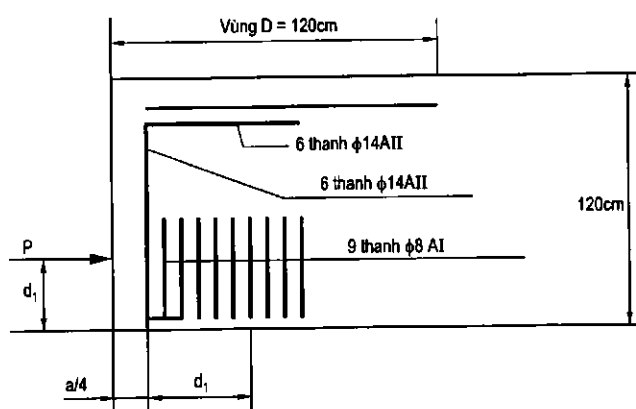
trong đó: T - lực kéo trong thanh

$R_a$  - giới hạn chảy của thép.  $R_a = 2400 \text{ kG/cm}^2$  (AII) và  $= 1900 \text{ kG/cm}^2$  (AI)

Giá trị  $A_s$  của các thanh giằng ghi trong bảng sau:

TT	Tên thanh	Lực kéo T (tấn)	$A_s \text{ (cm}^2\text{)}$	Cốt thép
1	H-P	19,02	7,925	6 thanh Ø14 AII
2	P-K	19,02	7,925	6 thanh Ø14 AII
3	L-M	7,22	3,80	9 thanh Ø8 AI

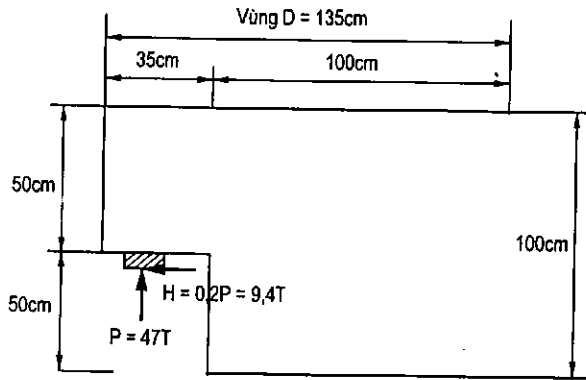
## 3. Bố trí cốt thép



Hình 3.3. Bố trí cốt thép phân đầu dầm chịu lực tập trung P

### 3.2. MÔ HÌNH GIÀN ẢO CỦA MỘT ĐẦU DẦM CÓ KHẮC TẠI GỐI

Dầm bê tông cốt thép M300 mặt cắt chữ nhật  $b = 40\text{cm}$ ;  $h = 100\text{cm}$ , khẩu độ nhịp  $L=12\text{m}$ . Chịu hoạt tải rải đều  $3,65\text{T/m}$  và tĩnh tải  $3\text{T/m}$ . Cốt thép nhóm AI và AII. Tính cốt thép trong vùng gối.



Hình 3.4. Đầu dầm có mặt cắt khắc thay đổi

#### Bước 1: Xác định vùng D

Vùng D gồm phần gối (35cm) cộng thêm 100cm bằng chiều cao dầm. Phản lực thẳng đứng  $P = 40\text{T}$ . Mặc dù không có tải trọng ngang tác dụng nhưng để xét đến ảnh hưởng của ma sát gối, chúng ta vẫn giả định có một phản lực ngang  $H = 0,2.P$  (*FIP Recommendation 1996*). Đồng thời, vùng này hầu như bị lực cắt chi phối nên ta lấy hệ số giảm bên  $\phi = 0,85$ ; Giá trị các phản lực có xét đến  $\phi$  được thể hiện trên hình 3.4:

$$P = \frac{40\text{T}}{0,85} \approx 47\text{T} \text{ và } H = 0,2P = 9,4\text{T}.$$

Để đơn giản, bỏ qua tĩnh tải và hoạt tải trong vùng D.

#### Bước 2: Xác định các lực trên ranh giới vùng D

Mômen uốn tại mặt cắt ranh giới của vùng D:

$$M = P.L = 47\text{T}.1,35\text{m} = 63,45\text{Tm}.$$

Giá trị này được biểu diễn bằng hai lực nén và kéo trong thanh mạ trên và dưới đặt cách nhau một khoảng là  $z$  (cánh tay đòn nội ngẫu lực).



Chiều dày bê tông phòng hộ lấy theo cấu tạo  $a = 4\text{cm} \Rightarrow$  cánh tay đòn nội ngẫu lực  $z$  xác định theo công thức:  $z = j \cdot d$  với  $j = 0,875$  (theo kinh nghiệm của ACI khi tính gần đúng) và  $d = h_0 \Rightarrow z = 0,875 \cdot (100\text{cm} - 4\text{cm}) = 84\text{cm}$

Từ giá trị của  $z$ , xác định lực nén  $C$  và kéo  $T$  trong thanh mạ ở mặt ranh giới vùng D:

$$T, C = \pm \frac{M}{z} = \frac{63,45\text{Tm}}{0,84\text{m}} \approx \pm 75,54\text{T} \text{ với kéo (+) và nén (-)}.$$

Đồng thời, lực kéo dọc trục  $H$  được tách thành 2 lực  $H_{1,2} = \frac{9,4\text{T}}{2} = 4,7\text{T}$

tác dụng song song với trục dọc của dầm.

### Bước 3: Xác định chiều rộng gối

a) Độ bền có hiệu của bê tông  $R_{ce}$ :

$$R_{ce} = v_1 \cdot v_3 \cdot R_{28}$$

Tra bảng ta có  $v_1 = 0,85$  và  $v_2 = 0,55 + \frac{15 \cdot \sqrt{0,06895}}{\sqrt{R_{28}}}$  với  $R_{28} = 300\text{kg/cm}^2$

ta có  $v_3 = 0,777$ . Vậy,  $R_{ce} = 0,85 \cdot 0,777 \cdot 300 = 198\text{kg/cm}^2$ .

b) Chiều rộng gối:

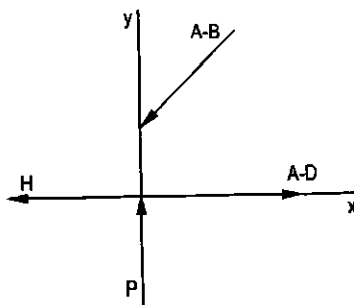
Diện tích tấm gối  $= \frac{P}{R_{ce}} = \frac{47000}{198} \approx 240\text{cm}^2$ ; bề rộng dầm là  $40\text{cm}$ , chiều

rộng tấm gối theo trục dọc là  $6\text{cm}$ .

### Bước 4: Mô hình giàn ảo

Ở đầu vị trí thay đổi tiết diện (cát khác) phải bố trí một thanh giằng thẳng đứng B-C chịu kéo; lực trong thanh này bằng thành phần thẳng đứng của phản lực  $= 47\text{T}$ .

Tại vị trí phản lực A phải có một thanh chống xiên A-B chịu nén và một thanh giằng nằm ngang A-D để



Hình 3.5. Sơ đồ giàn ảo phân gối đỡ

chịu lực ngang H cùng thành phần nằm ngang của lực trong thanh A-B. Góc nghiêng của thanh A-B thay đổi từ  $25^\circ$  -  $65^\circ$ , để đơn giản trong cấu tạo nên chọn kích thước cho đoạn cắt khác để đảm bảo góc nghiêng này là  $45^\circ$ . Tách nút A:

Xét cân bằng tại nút A, ta có:

$$\Sigma y = 0 \Rightarrow C_{A-B} = P \cdot \sqrt{2} \Rightarrow C_{A-B} = 66,46T$$

$$\Sigma x = 0 \Rightarrow T_{A-D} = \frac{C_{A-B}}{\sqrt{2}} + H \Rightarrow T_{A-D} = 56,40T$$

Tại nút B, để cân bằng với thành phần nằm ngang của thanh xiên A-B, khi  $\Sigma x = 0$  tại nút B, ta có  $C_{B-F} = 47T$ .

Điểm cuối của thanh giằng A-D (điểm D) được xác định bằng nguyên tắc tỷ lệ *lực/đơn vị độ dài* và nằm cách điểm O một đoạn  $CO = 60\text{cm}$ . Để neo giữ thanh giằng nằm ngang A-D, sẽ sử dụng thanh giằng đứng D-E và thanh chống xiên D-C.

Lực kéo trong thanh D-A =  $56,4T$  và lực kéo trong thanh D-E là  $T_{D-E} = 47T$ ; do đó, lực nén trong thanh C-D là  $C_{C-D} = \sqrt{56,4^2 + 47^2} \Rightarrow C_{C-D} = 73,42T$ .

Tại điểm C, thành phần lực nằm ngang của lực nén trong thanh chống C-D là  $56,4T$ . Do vậy cần có một lực kéo trong thanh C-E là  $T_{C-E} = 56,4T$  để cân bằng.

Xét nút E, ta gọi thành phần thẳng đứng của lực nén trong thanh E-F là  $C_{E-F}^1$  và thành phần thẳng đứng là  $C_{E-F}^2$ ; xét cân bằng nút:

$$\Sigma x = 0 \Rightarrow T_{E-D} = C_{E-F}^1 \Rightarrow C_{E-F}^1 = 47T.$$

$$\Sigma y = 0 \Rightarrow C_{E-G} - C_{C-E} = C_{E-F}^2 \Rightarrow C_{E-F}^2 = 80,24T - 56,4T = 23,84T$$

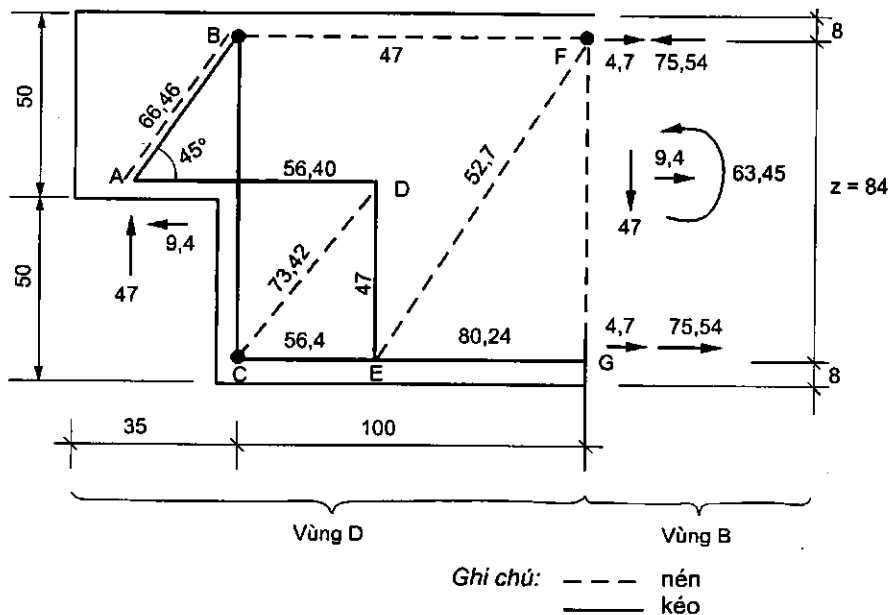
Do vậy, lực nén nghiêng trong thanh E-F là:

$$C_{E-F} = \sqrt{47^2 + 23,8^2} \Rightarrow C_{E-F} = 52,7T$$

Kết quả tính ghi trong bảng sau:

TT	Tên thanh	Lực nén C (T)	Lực kéo T (T)
1	A-B	66,46	-
2	A-D	-	56,40
3	B-C	-	47,00
4	B-F	47,00	-
5	C-D	73,42	-
6	C-E	-	56,40
7	E-G	-	80,24
8	E-F	52,70	-
9	E-D	-	47,00

Sơ đồ giàn ảo của vùng D cụ thể như sau:



### Bước 5: Chiều rộng các thanh chống

a) Độ bền có hiệu của bê tông  $R_{ce}$ :

$$R_{ce} = v_1 \cdot v_3 \cdot R_{28}$$

Tra bảng ta có  $v_1 = 0,80$  và  $v_3 = 0,55 + \frac{15 \cdot \sqrt{0,06895}}{\sqrt{R_{28}}}$  với  $R_{28} = 300 \text{ kG/cm}^2$   
ta có  $v_3 = 0,777$ . Vậy,  $R_{ce} = 0,80 \times 0,777 \times 300 = 186,5 \text{ kG/cm}^2$ .

b) Chiều rộng của các thanh chống (h):

Xác định theo công thức:

$$h = \frac{C}{b.R_{ce}}$$

trong đó: C - lực nén danh định trong thanh chống

b - chiều dày thanh chống; b = 40cm.

R<sub>ce</sub> - độ bền chịu nén hiệu quả.

Giá trị h của các thanh chống ghi trong bảng sau:

TT	Tên thanh	Lực nén C (tấn)	h (cm)
1	A-B	66,46	8,91
2	B-F	47,00	6,30
3	C-D	73,42	9,00
4	E-F	52,70	7,10

Thanh chống B-F: khoảng cách từ đường trục thanh đến mép ngoài của bê tông được giả định là 8cm, theo kết quả tính  $h/2 \approx 4\text{cm}$ . Các thanh chống khác đều có đủ không gian để bố trí và không bị chồng lên nhau. Như vậy ứng suất trong bê tông là hoàn toàn thoả đáng, việc bố trí cốt thép trong các thanh chống chỉ tiến hành để thoả mãn yêu cầu cấu tạo.

**Bước 6: Tính cốt thép cần có ở các thanh giằng**

a) Xác định diện tích và số lượng thanh cốt thép:

Ta có: 
$$A_s = \frac{T}{R_a}$$

trong đó: A<sub>s</sub> - diện tích cốt thép cần có trong thanh giằng

T - lực kéo danh định trong thanh giằng

R<sub>a</sub> - giới hạn chảy của cốt thép

TT	Tên thanh	Lực kéo T (tấn)	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	Cốt thép
1	A-D	56,40	23,50	8 thanh Ø22 All
2	B-C	47,00	19,60	6 thanh Ø22 All
3	C-E	56,40	23,50	6 thanh Ø24 All
4	E-G	80,24	34,44	8 thanh Ø24 All
5	E-D	47,00	19,60	6 thanh Ø22 All

b) Bố trí cốt thép trong các thanh giằng:

Thanh A-D: dùng 8 thanh Ø22 AII; chiều dài thanh là 114cm và các thanh này phải được neo chặt về phía giữa nhịp từ nút D. Kéo dài thanh bằng chiều cao dầm = 100cm qua nút D.

Thanh B-C: dùng 6 thanh Ø22 AII làm cốt đai thẳng đứng khép kín trong phạm vi 25cm đầu dầm.

Thanh C-E và E-G: dùng 8 thanh Ø24 AII kéo từ G vào thẳng điểm C và cần bố trí cốt thép chữ U để neo các đầu thanh tại nút C.

Thanh E-D: bố trí 6 thanh Ø22 AII làm cốt đai hở và được neo vào thanh chống B-F. Các cốt đai được bố trí đối xứng qua trục đứng của thanh giằng E-D.

### **Bước 7: Bố trí cốt thép cho thanh chống**

Việc bố trí cốt thép trong thanh giằng, ở một chừng mực nào đó cũng là gián tiếp bố trí cho thanh chống nếu cốt thép đó cắt gần vuông góc với trục thanh chống.

Một số thanh chống cũng cần được tính toán để xác định lượng thép tối thiểu theo công thức:

$$A_s \cdot R_a \geq \Sigma \left[ \frac{C}{4} \left( 1 - \frac{a}{b_{ef}} \right) \right]$$

Với trường hợp này, ta xét hai thanh A-B và C-D.

a) Thanh A-B:

Chiều dài thanh A-B =  $38\text{cm} \cdot \sqrt{2} \Rightarrow A-B = 53,73\text{cm}$ . Chiều rộng thanh chống là  $a = 8,91\text{cm}$ ; chiều rộng có hiệu  $b_{ef} = a + \frac{1}{6} \Rightarrow b_{ef} = 17,86\text{cm}$ . Lực dọc trong thanh A-B là 66,46T:

$$A_s \cdot R_a \geq 2 \cdot \frac{66460}{4} \cdot \left( 1 - \frac{8,91}{17,86} \right) \Rightarrow A_s \cdot R_a \geq 16,652\text{T}$$

Vậy:  $A_s = \frac{16652}{2400} = 6,94\text{cm}^2 \Rightarrow$  Bố trí 3 thanh Ø20 AII. Ba thanh này

được bố trí vào khoảng giữa của thanh A-B; đảm bảo gần vuông góc với thanh chống.

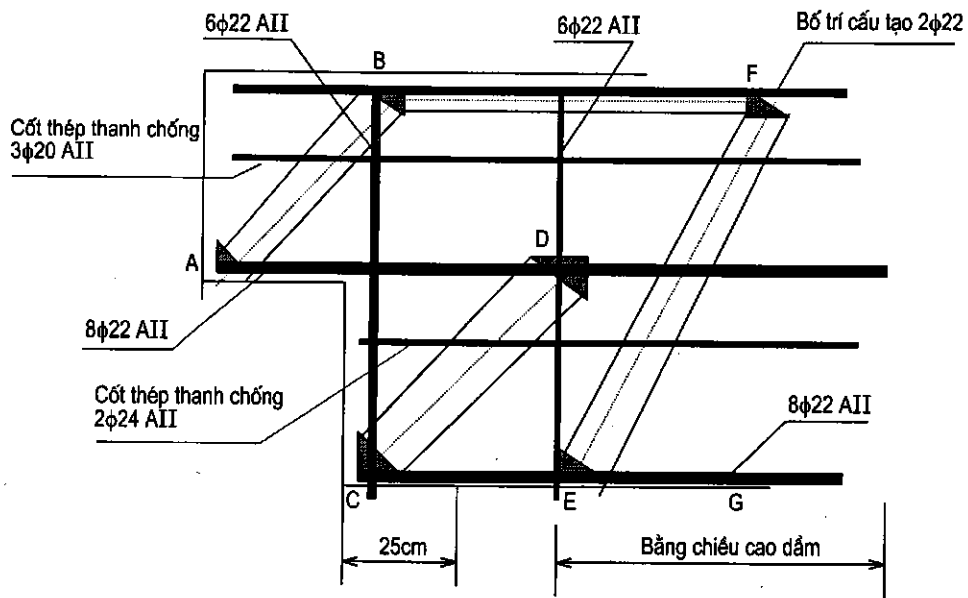
b) Thanh chống C-D:

Chiều dài thanh C-D =  $\sqrt{46^2 + 60^2} \Rightarrow C-D = 75,60\text{cm}$ . Chiều rộng thanh chống là  $a = 9\text{cm}$ ; chiều rộng có hiệu  $b_{ef} = a + \frac{1}{6} \Rightarrow b_{ef} = 21,26\text{cm}$ . Lực dọc trong thanh C-D là 73,42T:

$$A_s \cdot R_a \geq 2 \cdot \frac{73420}{4} \cdot \left(1 - \frac{9}{21,26}\right) \Rightarrow A_s \cdot R_a \geq 21,179\text{T}$$

Vậy:  $A_s = \frac{21179}{2400} = 8,82\text{cm}^2 \Rightarrow$  Bố trí 2 thanh  $\varnothing 24$  AII, hai thanh này được bố trí ở phía trên của cốt thép thanh giằng C-E.

Sơ đồ bố trí cốt thép được thể hiện như hình 3.6:



Hình 3.6. Bố trí cốt thép chịu lực phân đầu dầm

### 3.3. ÁP DỤNG MÔ HÌNH GIÀN ẢO ĐỂ GIẢI THÍCH SỰ XUẤT HIỆN VẾT NỨT CỦA DẦM XÀ MŨ (Cầu Trần Thị Lý Tp. Đà Nẵng)

#### 3.3.1. Các đặc trưng và số liệu cơ bản

##### 3.3.1.1. Kích thước hình học

- Khẩu độ dầm xà mũ tính toán: 12,8m

- Chiều cao dầm:
  - + Giữa dầm: 2,1m
  - + Tại gối: 1,5m
- Chiều cao cánh dầm: 0,5m
- Bề rộng sườn dầm: 0,5m
- Bề rộng cánh dầm:
  - + Giữa dầm: 2,1m
  - + Tại gối: 1,6m
- Bề rộng bầu dầm:
  - + Giữa dầm: 0,94m
  - + Tại gối: 1,6m

### 3.3.1.2. Vật liệu

#### 3.3.1.2.1. Bê tông

- Mác bê tông ( $R_{28}$ ): 300 kG/cm<sup>2</sup>
- Cường độ nén khi uốn ( $R_{ub}$ ): 140 kG/cm<sup>2</sup>
- Cường độ nén dọc trục ( $R_{lt}$ ): 115 kG/cm<sup>2</sup>
- Cường độ nén dọc trục max ( $R_{np}$ ): 125 kG/cm<sup>2</sup>
- Cường độ nén max khi uốn ( $R_{ut}$ ): 155 kG/cm<sup>2</sup>
- Cường độ kéo dọc trục ( $R_{ok}$ ): 9,5 kG/cm<sup>2</sup>
- Ứng suất kéo chủ quy ước ( $R_{tp0}$ ): 32 kG/cm<sup>2</sup>
- Mô đun đàn hồi ( $E_B$ ):  $3,15 \cdot 10^5$  kG/cm<sup>2</sup>

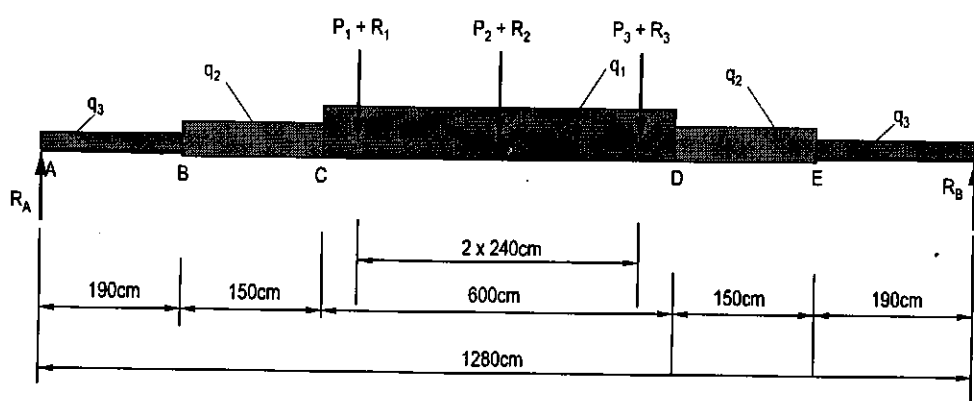
#### 3.3.1.2.2 Cốt thép:

- A-II ( $R_a$ ): 2400 kG/cm<sup>2</sup>
- A-I ( $R_a$ ): 1900 kG/cm<sup>2</sup>
- Mô đun đàn hồi ( $E_a$ ):  $2,1 \cdot 10^6$  kG/cm<sup>2</sup>

### 3.3.1.3 Tải trọng và nội lực

Tĩnh tải:

- $P(1,2,3)_{tc} = 113,46$  Tấn;  $P(1,2,3)_{tt} = 124,96$  Tấn.
- $q_1 = 6,118$  T/m;  $q_2 = 5,514$  T/m;  $q_3 = 4,91$  T/m



**Hình 3.7.** Sơ đồ chịu lực của dầm xà mũ cầu Trần Thị Lý - Đà Nẵng

**Hoạt tải (xếp 2 xe Sơ mi Romooc):**

-  $R1_{tc} = 37,45\text{Tấn}$ ;  $R1_{tt} = 52,43\text{Tấn}$ .

-  $R2_{tc} = 40,35\text{Tấn}$ ;  $R2_{tt} = 56,48\text{Tấn}$ .

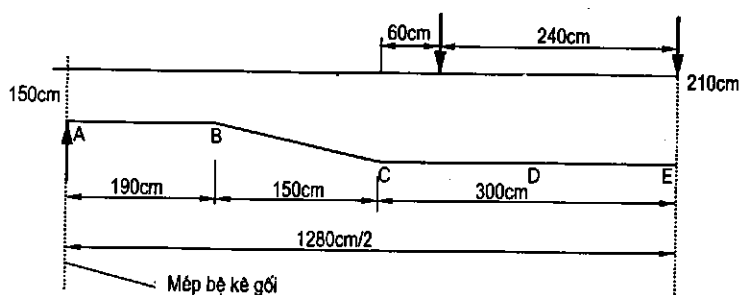
-  $R3_{tc} = 20,91\text{Tấn}$ ;  $R3_{tt} = 29,27\text{Tấn}$ .

**Phản lực gối:**

-  $R(A)_{tc} = 258,6\text{Tấn}$ ;  $R(A)_{tt} = 299,45\text{Tấn}$

-  $R(B)_{tc} = 252,4\text{Tấn}$ ;  $R(B)_{tt} = 292,30\text{Tấn}$ .

### 3.3.1.4. Mặt cắt dọc dầm xà mũ



**Hình 3.8.** Mặt cắt dọc dầm xà mũ

**Các kích thước tính toán:**

TT	Danh mục	A	B	C	D	E
1	Khoảng cách từ đáy dầm đến trọng tâm cốt thép chịu kéo (cm)	12,2	12,2	16,2	16,2	16,2
2	Khoảng cách từ đáy dầm đến trọng tâm cốt thép chịu nén (cm)	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
3	Chiều cao có hiệu $h_0$ (cm)	137,8	137,8	193,8	193,8	193,8



### 3.3.2. Các bước tính toán

#### 3.3.2.1. Sơ đồ tính

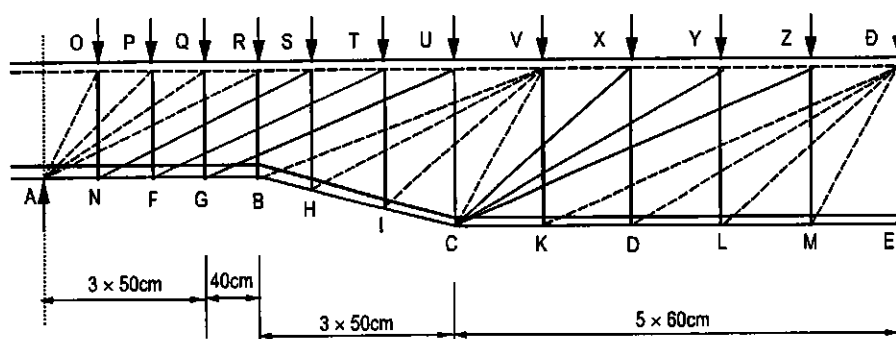
##### 3.3.2.1.1. Tách vùng D

Vùng D được giả định kéo dài theo trục dầm về hai phía bằng chiều cao của dầm tại các vị trí đặt lực tập trung và các vị trí mặt cắt thay đổi. Do vậy, với cách cấu tạo và sơ đồ ngoại lực tác dụng như trên, toàn bộ dầm xà mũ là những vùng D; Các vùng D này bị chồng lấp lên nhau.

##### 3.3.2.1.2. Bố trí cốt thép đai thẳng đứng

Theo ACI, phân bố cốt thép đai lý tưởng tương ứng với trường hợp tất cả cốt thép đạt đến giới hạn chảy khi tải trọng đạt đến giá trị phá hỏng. Việc cốt thép đai đạt đến giới hạn chảy sẽ làm cho giàn trở thành tĩnh định.

Khoảng cách tối đa của cốt thép đai nên thỏa mãn  $S_{\max} \leq h_0/2$  và không lớn hơn 60cm. Do vậy, đối với dầm xà mũ đang xét, ta gom các cốt thép đai theo số lượng nhất định thành các thanh kéo như hình vẽ.



Hình 3.9. Mô hình giàn ảo của một nửa phía đầu dầm bên trái

Đồng thời, ta chuyển các lực phân bố  $q_1$ ,  $q_2$  và  $q_3$  thành các lực tập trung tác dụng tại các vị trí của thanh giằng thẳng đứng.

Kết cấu của mô hình giàn trên được vẽ trên cơ sở các giả định sau:

1. Các vết nứt xiên một góc  $\theta$  so với phương nằm ngang. Giá trị  $\theta$  thường thay đổi trong khoảng  $25^\circ \leq \theta \leq 65^\circ$ .
2. Toàn bộ lực cắt do cốt thép đai chịu.
3. Toàn bộ cốt thép đai đã chảy dẻo, ứng suất trong cốt đai đạt đến giới hạn chảy.

### 3.3.2.1.3. Xác định cánh tay đòn nội ngẫu lực $z$

Theo ACI, cánh tay đòn nội ngẫu lực  $z$  được xác định như sau:

$$z = j \cdot h_0$$

trong đó:  $j$  - hệ số không thứ nguyên, biến thiên từ 0 đến 1,0. Trong tính gần đúng, thường giả định  $j = 0,875$ . Ở đây, ta lấy  $j = 0,875$ .

TT	Cánh tay đòn	Giá trị $z_i$ (cm)
1	$z_A$	120,56
2	$z_B$	120,56
3	$z_H$	136,00
4	$z_I$	153,00
5	$z_C$	169,58
6	$z_D$	169,58
7	$z_E$	169,58

### 3.3.2.1.4. Các quạt chịu nén

Theo sơ đồ giàn ảo trên, ta xác định được 3 quạt chịu nén tùy thuộc vào vị trí tác dụng của tải trọng tập trung vào dầm xà mũ. Đó là các hình quạt chịu nén:

Do phản lực gối  $R_A$ : AOR

Do lực tập trung  $P_1$ : VBC

Do lực tập trung  $P_2/2$ : ĐKE

### 3.3.2.2 Tính các quạt chịu nén

#### 3.3.2.2.1. Quạt chịu nén $P_1$ (VBC)

**Bước 1:** Xác định lực nội lực trong thanh mạ và thanh giằng:

a) Lực kéo T và lực nén N trong các thanh mạ:

Xét mặt cắt thẳng đứng tại vị trí C, mômen uốn là 985 (Tm). Giá trị  $z_c = 169,58\text{cm}$ ; lực nén và lực kéo N và T tại mặt cắt C là 581 tấn (T).

b) Lực trong thanh giằng:

Trong vùng quạt chịu nén VBC ta bố trí 4 cốt thép đai. Lực tác dụng thẳng đứng là  $P_1 = 177,39$  tấn phải được truyền qua các thanh chịu nén xiên (được thể hiện bằng các đường đứt nét) tới các nút B, H, I và C và tới các cốt

thép đai (được thể hiện bằng các đường thẳng đứng liền nét) để cân bằng lực này. Do vậy, lực trong mỗi cốt thép đai để cân bằng là 44,35 tấn.

Kết hợp với lực rải đều tập trung tác dụng tại các vị trí cốt thép đai, lực kéo trong các thanh giằng thẳng đứng trong quạt chịu nén VBC là:

$$F_C = 47,3 \text{ T}$$

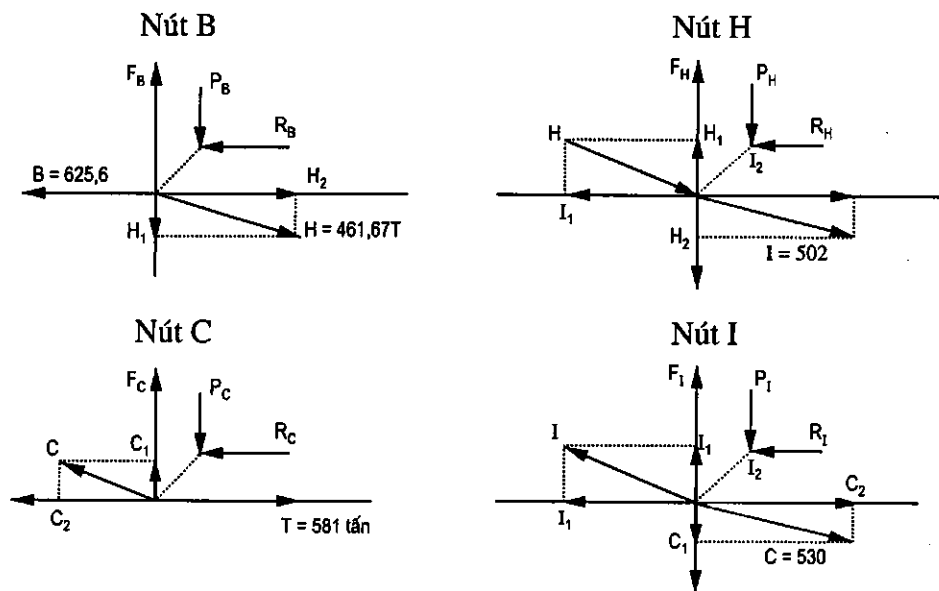
$$F_I = 47,1 \text{ T}$$

$$F_H = 47,1 \text{ T}$$

$$F_B = 47,0 \text{ T}$$

Bước 2: Xét cân bằng các nút:

a) Tách các nút B, C, H và I:



b) Cân bằng các nút:

Xét nút C:

Lực thẳng đứng trong cốt thép đai là  $F_C = 47,3$  tấn. Theo điều kiện cân bằng nút, ta có:

$$C_1 + F_C = P_C \Rightarrow C \cdot \sin \gamma_C + 47,3 \text{ T} = P_C$$

$$C_2 + R_C = 581 \Rightarrow C \cdot \cos \gamma_C + R_C = 581 \text{ T}$$

và từ độ nghiêng của thanh C-V, ta tính được  $R_C$  theo quan hệ:  $R_C = P_C \cdot \text{tg}\alpha_C$   
 trong đó:  $\alpha_C$  - góc hợp bởi thanh chống C-V với cột đai thẳng đứng tại C.

$\gamma_C$  - góc nghiêng của thanh mạ so với trục dầm.

Giải các phương trình cân bằng trên, ta có:

$$C = 530,12T$$

$$C_1 = 196,83T$$

$$C_2 = 495,13T$$

$$P_C = 244,13T$$

$$R_C = 85,86T$$

Với các tính toán ảo như trên, ta xác định được giá trị lực thành phần tại nút I, H và B. Tập hợp giá trị vào bảng sau:

TT	Nút	$P_i$	$R_i = P_i \cdot \text{tg}\alpha_i$	T (C, I, H, B)	$T_i \cdot \sin\gamma_i$	$T_i \cdot \cos\gamma_i$
1	C	244,13	85,86	530,12	196,83	495,13
2	I	36,66	26,35	502	186,39	468,86
3	H	32,03	37,68	461,67	171,42	431,20
4	B	-124,42	-221,43	625,63	0	625,63

**Bước 3: Lực nén trong thanh chống**

Từ giá trị  $P_i$  ta xác định được lực nén xiên trong các thanh chống theo quy

tắc tam giác lực:  $D_i = \frac{P_i}{\sin\theta_i}$

trong đó:

$D_i$  - lực nén xiên trong thanh chống nghiêng với trục dầm góc  $\theta_i$ .

$\theta_i$  - góc nghiêng của thanh chống thứ  $i$  với trục dầm.

Giá trị lực  $D_i$  ghi tại bảng sau:

TT	Thanh	$P_i$	$\sin\theta_i$	Lực nén $D_i$ (T)
1	V - C	244,13	0,9434	258,78
2	V - I	36,66	0,8119	45,15
3	V - H	32,03	0,6476	49,46
4	V - B	-124,42	0,4899	-253,97

**Bước 4:** Xác định ứng suất nén xiên trong các thanh chống

a) Chiều rộng của thanh chịu nén:

Chiều rộng thanh chống được xác định theo công thức:

$$B_i = l_{bi} \cdot \sin \theta_{si} + h_s \cdot \cos \theta_{si}$$

trong đó:  $- l_{bi} = a_i = \frac{F}{b \cdot v_i \cdot R_{lt}}$  với  $v_i = \left(1 - \frac{R_{28}}{2500}\right)$

với :  $+ F = 177,39T$ ;

$+ b$  = chiều rộng sườn dầm;

$+ R_{lt}$ : cường độ nén dọc trục của bê tông,  $R_{lt} = \frac{\alpha \cdot R_{28}}{\gamma_c}$

$\alpha$  - hệ số phụ thuộc vào cường độ mẫu thử và thời gian đặt tải; Với trạng thái giới hạn cực hạn (Ultimate limit state - ULS),  $\alpha = 0,85$ .

$\gamma_c$  - hệ số an toàn cục bộ; Với trạng thái giới hạn,  $\gamma_c = 1,50 \Rightarrow R_{lt} = 0,57 \cdot R_{28}$

$h_s$  - chiều cao vùng bê tông chịu nén. Theo tài liệu tính, chiều cao vùng chịu nén  $h_s = 28,05\text{cm}$ .

Vậy:  $l_{bi} = \frac{177,39 \cdot 10^3}{50 \cdot 0,57 \cdot 300 \cdot 0,88} = 23,57\text{cm}$

TT	Thanh	$l_{bi}$ (cm)	$h_s$ (cm)	$\sin \theta_i$	$\cos \theta_i$	$B_i$ (cm)
1	V - C	23,57	28,05	0,9434	0,3318	31,54293
2	V - I	23,57	28,05	0,8119	0,5837	35,50927
3	V - H	23,57	28,05	0,6476	0,7619	36,63523
4	V - B	23,57	28,05	0,4899	0,8717	35,99813

Chiều rộng sườn dầm  $B_w$  của các thanh chống là 50cm.

b) Ứng suất nén trong các thanh chống:

Ứng suất nén xiên  $\sigma_{nx}$  được xác định:

$$\sigma_{nx} = \frac{D_i}{b \cdot \phi \cdot B_s}$$

trong đó:  $\phi$  - hệ số giảm bền, với cốt lấy bằng 0,85.

Ta có, ứng suất nén xiên trong thanh chống của quạt chịu nén  $P_1$ :

TT	Thanh	$\sigma_i$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	V - C	193,0367
2	V - I	29,91762
3	V - H	31,76628
4	V - B	-166,0021

### Kết luận:

Với cách bố trí thanh mạ chịu kéo theo sơ đồ như trên, dầm xà mũ sẽ bị nén vỡ khi tải trọng đạt tới giá trị tải trọng thiết kế tại khu vực bụng dầm trong phạm vi chiều rộng của thanh chống C-V.

Nguyên nhân cơ bản là do tại điểm C, lực kéo trong thanh mạ (cốt thép chịu kéo) bị đổi hướng đột ngột nên đã tạo ra một lực nén N vào bê tông thân dầm. Lực nén N được xác định như sau:

$$N = \sqrt{P_C^2 + R_C^2} = \sqrt{244,13^2 + 85,86^2} = 258,79T$$

#### 3.3.2.2.2. Quạt chịu nén $P_2/2$ (ĐKE)

Với cách tính tương tự như trên, ta xác định được các giá trị cơ sở sau:

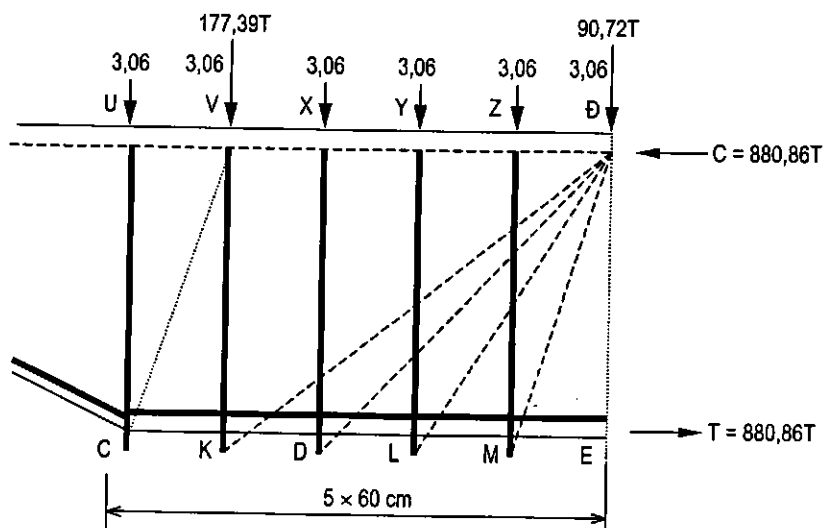
- Mômen tính toán tại mặt cắt Đ-E:  $M_u = 1502,76Tm$ ;
- Cánh tay đòn nội ngẫu lực  $z = 170,6cm$
- Lực kéo và nén trong thanh mạ:  $T = 880,86T$ ;  $C = -880,86T$ .
- Lực kéo trong thanh giằng:

Các thanh giằng đều phải truyền một lực kéo:

$$F = \frac{90,72T}{4} + 3,09T = 27,41T.$$

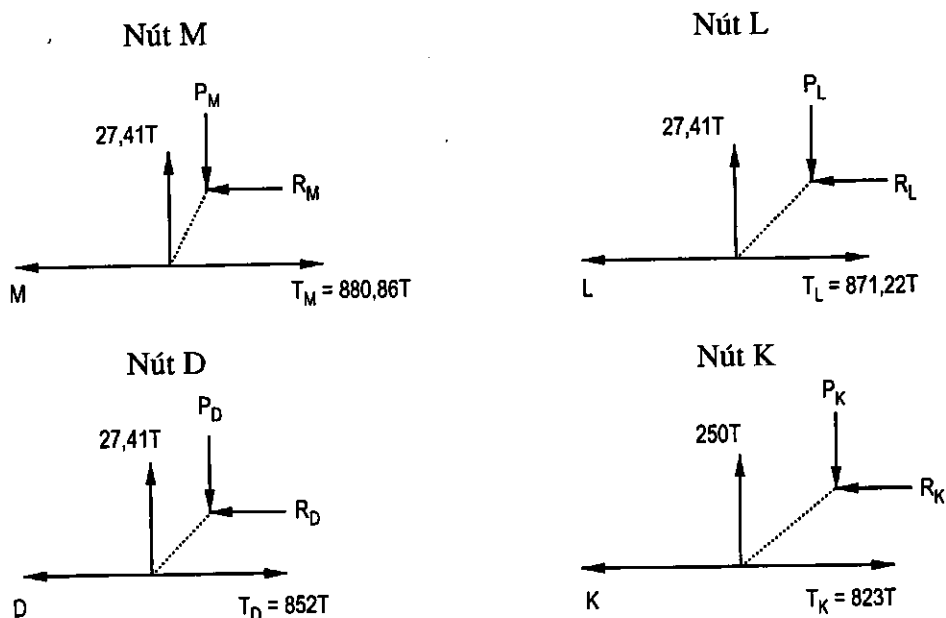
Nút K: thanh giằng K-V còn chịu tác động trực tiếp của lực  $P_1 = 177,39T$ , do vậy:

$$F_K = F + 177,39T = 205T$$



Hình 3.10. Sơ đồ giàn ảo của quạt chịu nén ĐKM

**Bước 1: Tách nút, xác định lực trong thanh**



Xét điều kiện cân bằng của các nút M, L, D và K:  $\Sigma x = 0$  và  $\Sigma y = 0$ .

- Với  $\Sigma y = 0$  ta có:

$$\Rightarrow P_i = F_i \text{ (lực thẳng đứng trong thanh giằng).}$$

$$\Rightarrow R_i = P_i \cdot \tan \alpha_i$$

$\alpha_i$  - góc nghiêng của thanh chống trong quạt chịu nén với phương thẳng đứng

- Với  $\Sigma x = 0$  ta có:  $\Rightarrow T_{i-1} = T_i - R_i$

Giá trị của các thành phần thẳng đứng và nằm ngang trong các thanh chống, ghi cụ thể ở bảng sau:

TT	Tên thanh	Lực thẳng đứng P	Lực nằm ngang R	Lực kéo thanh mạ
1	Đ-M	27,41T	9,637T	(871,22T)
2	Đ-L	27,41T	19,28T	(852T)
3	Đ-D	27,41T	29,00T	(823T)
4	Đ-K	205T	288,4T	(534,61)

**Bước 2: Lực nén trong thanh chống  $D_i$**

Xác định theo quan hệ:  $D_i = \frac{P_i}{\sin \theta_i}$

trong đó:

$\theta_i$  - góc nghiêng của thanh chống thứ  $i$  với thanh mạ chịu kéo.

$P_i$  - thành phần thẳng đứng của lực trong thanh nén thứ  $i$

Các giá trị  $D_i$  được ghi tại bảng sau:

TT	Tên thanh	Lực thẳng đứng P	$\sin\theta_i$	Lực nén $D_i$
1	Đ-M	27,41T	0,9436	29,05T
2	Đ-L	27,41T	0,8182	33,50T
3	Đ-D	27,41T	0,6879	39,85T
4	Đ-K	205T	0,5795	353,75T

**Bước 3: Chiều rộng thanh nén**

a) Chiều rộng của thanh chịu nén:

Chiều rộng thanh chống được xác định theo công thức:

$$B = l_b \cdot \sin \theta_s + h_s \cdot \cos \theta_s$$

trong đó:  $- l_{bi} = a_i = \frac{F}{b \cdot v_1 \cdot R_{lt}}$  với  $v_1 = \left(1 - \frac{R_{28}}{2500}\right)$

$$l_{bi} = \frac{90,72 \cdot 10^3}{50 \cdot 0,57 \cdot 300 \cdot 0,88} = 12,05 \text{ cm}$$

TT	Thanh	$l_i$ (cm)	$h_{si}$ (cm)	$\sin\theta_i$	$\cos\theta_i$	$B_i$ (cm)
1	Đ-M	12,05	28,05	0,9436	0,3320	20,68298
2	Đ-L	12,05	28,05	0,8182	0,5760	26,01611
3	Đ-D	12,05	28,05	0,6879	0,7260	28,6535
4	Đ-K	12,05	28,05	0,5795	0,8150	29,84373

Chiều rộng sườn dầm  $B_w$  của các thanh chống là 50cm.

b) Ứng suất nén trong các thanh chống:

Ứng suất nén xiên  $\sigma_{nx}$  được xác định theo công thức sau:

$$\sigma_{nx} = \frac{D}{b \cdot \phi \cdot B_i}$$

trong đó:  $\phi$  - hệ số giảm bền, với cát lấy bằng 0,85.

Ta có, ứng suất nén xiên trong thanh chống của quạt chịu nén  $P_i$  ghi ở bảng sau:



TT	Thanh	$\sigma_i$ (kG/cm <sup>2</sup> )
1	Đ-M	33,04792
2	Đ-L	30,29797
3	Đ-D	38,84138
4	Đ-K	296,1245

### Kết luận:

Với chiều dày sườn dầm  $B = 50$  cm, sườn dầm xà mũ sẽ bị nén vỡ khi tải trọng mới chỉ đạt tới khoảng 1/2 giá trị tải trọng thiết kế trong phạm vi chiều rộng của thanh chống Đ-K. Do vậy, dầm sẽ bị nứt ngay sau khi mới chịu tĩnh tải (tĩnh tải chiếm gần bằng 70% giá trị lực tác dụng lên dầm xà mũ).

Lực nén  $N$  trong thanh Đ-K, được xác định như sau:

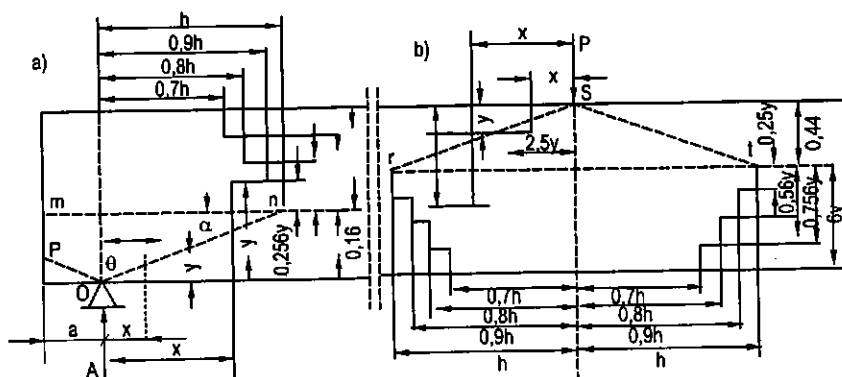
$$N = \sqrt{P_K^2 + R_K^2} = \sqrt{205^2 + 288,4^2} = 353,83T$$

### 3.3.3. Kiểm toán ứng suất cục bộ theo đồ hình của tiêu chuẩn cũ 22TCN 18-79 để so sánh

#### 3.3.3.1. Khái quát phương pháp tính

##### 3.3.3.1.1. Đồ hình của 22TCN 18-79

Việc tính ứng suất nén trong bê tông  $\Delta\sigma_y$  tác dụng theo phương vuông góc với trục dọc cấu kiện và sinh ra do tác dụng của phản lực gối, tải trọng tập trung hoặc của tải trọng tĩnh tải rải đều và hoạt tải cục bộ đặt phía trên mặt cắt dọc đang xét. Theo Polivanov, ứng suất nén  $\Delta\sigma_y$  có thể căn cứ vào các đồ thức trong hình 3.11, trong đó tính chất phân bố ứng suất cục bộ do tải trọng tập trung gây ra được tính toán gần đúng.



Hình 3.11. Đồ thức để xác định  $\Delta\sigma_y$  do tải trọng cục bộ thẳng đứng gây ra

### 3.3.3.1.2. Diện tích tiết diện nằm ngang $F$

#### 3.3.3.1.2.1. Diện tích $F$ tại phần 1:

Tại phần 1 (phần 0,4h), diện tích nằm ngang  $F$  chịu nén vuông góc với phương tác dụng của lực tập trung được xác định trong phạm vi tứ giác opmn hoặc tam giác srt và biến đổi theo độ dốc  $\tan \alpha = \frac{1}{2,5}$ .

a) Phạm vi gối dầm:

Nếu sườn dầm có bề dày  $b$  không đổi thì:

$$\left. \begin{aligned} F &= b \cdot 5 \cdot y \quad (\text{nếu } a \geq 2,5y) \\ F &= b \cdot (2,5y + a) \quad (\text{nếu } a < 2,5y) \end{aligned} \right\} \quad (3-1)$$

Với:  $y$  tính từ mặt đáy dầm.

b) Phạm vi chịu tải trọng tập trung  $P$ :

$$F = b \cdot 5 \cdot y \quad (3-2)$$

Với:  $y$  tính từ mặt trên của dầm.

#### 3.3.3.1.2.2. Diện tích $F$ tại phần 2:

a) Phạm vi gối dầm:

$$F = b \cdot (h + a) \quad (3-3)$$

( $F$  - diện tích phần trên của dầm)

b) Phạm vi chịu tải trọng tập trung  $P$ :

$$F = b \cdot 2 \cdot h \quad (3-4)$$

( $F$  - diện tích phần dưới của dầm)

### 3.3.3.1.3. Ứng suất nén $\sigma_y$ và $\Delta\sigma_y$

5.3.1.3.1. Ứng suất nén  $\sigma_y$  và  $\sigma'_y$  theo trục của phản lực gối hoặc lực tác dụng tập trung

a) Phân bố ứng suất  $\sigma_y$  của phần 1:

Ứng suất nén  $\sigma_y$  này sẽ giảm dần với quy luật đường thẳng sau đây:

$$\sigma_y = \frac{A}{F} \left( 1 - \frac{y}{h} \right) \quad (3-6)$$

với:

$A$  - phản lực gối hoặc lực tập trung;

F - diện tích mặt cắt nằm ngang tính theo (3-1) hoặc (3-2);

y - toạ độ thẳng đứng tính từ mặt đáy dầm (phản lực gối); từ mặt đỉnh dầm (lực tập trung).

b) Phân bố ứng suất  $\sigma'_y$  của phần 2:

Ứng suất nén  $\sigma'_y$  này sẽ giảm dần với quy luật đường thẳng sau đây:

$$\sigma'_y = \frac{A}{F} \left( 1 - \frac{y}{h} \right) \quad (3-6)$$

với:

A - phản lực gối hoặc lực tập trung;

F - diện tích mặt cắt nằm ngang tính theo (3-3) hoặc (3-4);

y - toạ độ thẳng đứng tính từ mặt đáy dầm (phản lực gối); từ mặt đỉnh dầm (lực tập trung).

3.3.3.1.3.2. Ứng suất nén ở các điểm cách gối hoặc vị trí tác dụng của lực tập trung một đoạn là x ( $\Delta\sigma_y$ )

a) Phân bố ứng suất  $\Delta\sigma_y$  của phần 1:

Ứng suất  $\Delta\sigma_y$  tại các điểm nằm cách gối hoặc vị trí đặt lực tập trung một đoạn là x (trong phần 0,4h) tính với quy luật phân bố theo hình tam giác sau:

$$\Delta\sigma_y = \sigma_y \cdot \frac{2,5y - x}{2,5y} \quad (3-7)$$

với:

x - khoảng cách từ điểm đang xét đến trục thẳng đứng đi qua điểm tác dụng của phản lực gối hoặc lực tập trung.

y - toạ độ thẳng đứng tính từ mặt đáy dầm (phản lực gối); từ mặt đỉnh dầm (lực tập trung) tới điểm đang xét.

b) Phân bố ứng suất  $\Delta\sigma_y$  của phần 2:

Ứng suất  $\Delta\sigma_y$  tại các điểm nằm cách gối hoặc vị trí đặt lực tập trung một đoạn là x (trong phần 0,6h) tính theo đồ thức bậc thang như sau:

(1). Đối với các điểm nằm cách gối không quá 0,7h ( $x \leq 0,7h$ ):

$$\Delta\sigma_y = \sigma'_y \quad (3-8)$$

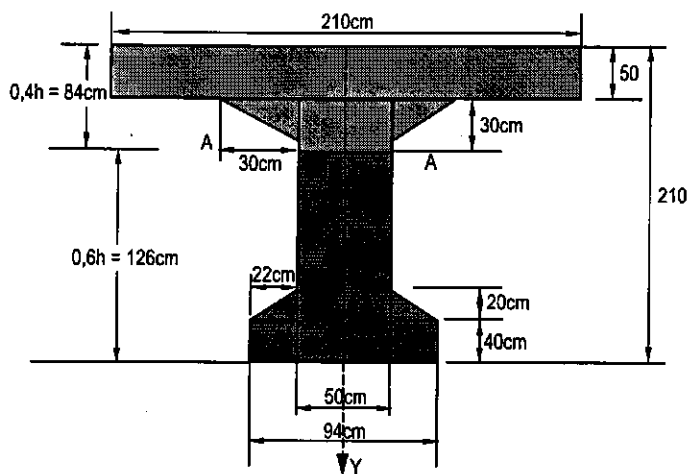
(2). Đối với các điểm nằm xa hơn ( $x > 0,7h$ ): Trị số  $\Delta\sigma_y$  sẽ giảm dần theo đồ thức bậc thang (xem hình 3.11). Cụ thể như sau:

$$\left. \begin{array}{l} \text{khi } x = (0,7 \div 0,8)h, \Delta\sigma_y = 0,75. \sigma'_y \\ \text{khi } x = (0,8 \div 0,9)h, \Delta\sigma_y = 0,50. \sigma'_y \\ \text{khi } x = (0,9 \div 1,0)h, \Delta\sigma_y = 0,25. \sigma'_y \end{array} \right\} \quad (3-9)$$

### 3.3.3.2. Kiểm toán ứng suất cục bộ dầm xà mũ cầu Trần Thị Lý - Đà Nẵng

Áp dụng lý thuyết đồ hình Polivanov để kiểm toán ứng suất cục bộ đối với dầm xà mũ cầu Trần Thị Lý. Theo sơ đồ đặt tải tại hình 3.7, ta tập trung xác định ứng suất cục bộ do tải trọng tập trung  $P_1$ ,  $P_2$  và  $P_3$  gây ra.

#### 3.3.3.2.1. Mặt cắt ngang

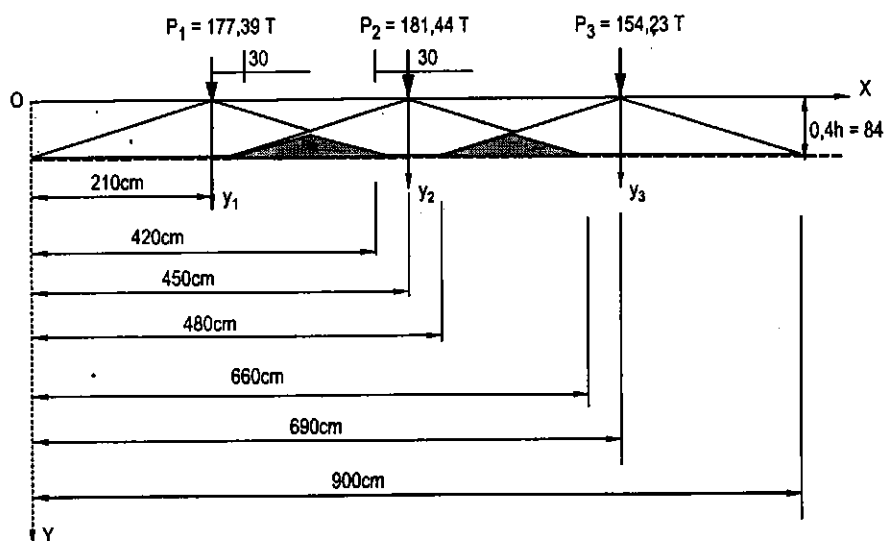


Hình 3.12. Mặt cắt ngang dầm xà mũ cầu Trần Thị Lý tại L/2

Theo kích thước mặt cắt ngang như hình 3-12, giá trị ứng suất cục bộ phân bố theo đồ hình bậc thang của phần dưới (phần 2 - 0,6h) sẽ đạt giá trị lớn nhất tại mặt cắt A-A, là mặt cắt tiếp giáp giữa hai phần 1 và 2. Do vậy, ta chỉ xét ứng suất cục bộ đối với phần 1 ( $0,4h = 84\text{cm}$ ).

#### 3.3.3.2.2. Phân bố ứng suất

Đối với phần trên ( $0,4h$ ), diện tích mặt cắt ngang  $F$  sẽ tính trong phạm vi của 3 hình tam giác (hình 3.13). Ta coi trục  $y$  hướng xuống dưới, trục  $x$  song song với trục dọc của dầm; gốc tọa độ  $O$  trùng vào điểm giới hạn của tam giác ứng suất của lực tập trung  $P_1$ .



**Hình 3.13.** Phân bố ứng suất nén  $\sigma_{P1}, \sigma_{P2}, \sigma_{P3}$  và  $\Delta\sigma_{P1,P2,P3}$  của phần I

Ta có,  $\sigma_{P1}; \sigma_{P2}; \sigma_{P3}$  lần lượt là ứng suất nén do các lực tập trung  $P_1; P_2; P_3$  gây ra tại phần  $0,4h$ . Do các lực tập trung tác dụng gần nhau nên ứng suất nén trong bê tông của các lực này gây ra bị giao thoa trong khu vực giữa hai lực tác dụng. Cụ thể như sau:

Khi  $x = 0,00 \text{ cm} \div 210 \text{ cm}, \quad \sigma = \sigma_{P1}$

Khi  $x = 210 \text{ cm} \div 420 \text{ cm}, \quad \sigma = \sigma_{P1} + \sigma_{P2}$

Khi  $x = 420 \text{ cm} \div 480 \text{ cm}, \quad \sigma = \sigma_{P2}$

Khi  $x = 480 \text{ cm} \div 660 \text{ cm}, \quad \sigma = \sigma_{P2} + \sigma_{P3}$

Khi  $x = 660 \text{ cm} \div 900 \text{ cm}, \quad \sigma = \sigma_{P3}$

### 3.3.3.2.3. Tính ứng suất nén $\sigma_{P1}, \sigma_{P2}, \sigma_{P3}$ của phần I ( $0,4h = 84 \text{ cm}$ )

$$\sigma_{P1,P2,P3} = \frac{A}{F} \left( 1 - \frac{y}{h} \right)$$

A - lần lượt là lực tập trung  $P_1, P_2, P_3$ ; tương ứng với  $\sigma_{P1}, \sigma_{P2}, \sigma_{P3}$ .

F - diện tích mặt cắt nằm ngang tính theo công thức (3.1) hoặc (3.2);

y - toạ độ thẳng đứng tính từ mặt đỉnh dầm.

a) Tính  $\sigma_{P1}$ :

TT	y (cm)	b (cm)	$x_1$ (cm)	$x_2$ (cm)	$x_1+x_2$	Diện tích F (cm <sup>2</sup> )	Lực tập trung $P_1$	$\sigma_{P1}$ (kG/cm <sup>2</sup> )
1	5	210.00	12.50	12.50	25.00	5,250.00	177,390.00	32.66
2	10	210.00	25.00	25.00	50.00	10,500.00	177,390.00	15.77
3	12	210.00	30.00	30.00	60.00	12,600.00	177,390.00	12.95
4	15	210.00	37.50	37.50	75.00	15,750.00	177,390.00	10.14
5	20	210.00	50.00	50.00	100.00	21,000.00	177,390.00	7.32
6	25	210.00	62.50	62.50	125.00	26,250.00	177,390.00	5.63
7	30	210.00	75.00	75.00	150.00	31,500.00	177,390.00	4.51
8	35	210.00	87.50	87.50	175.00	36,750.00	177,390.00	3.70
9	40	210.00	100.00	100.00	200.00	42,000.00	177,390.00	3.10
10	45	210.00	112.50	112.50	225.00	47,250.00	177,390.00	2.63
11	50	210.00	125.00	125.00	250.00	52,500.00	177,390.00	2.25
12	55	100.00	137.50	137.50	275.00	27,500.00	177,390.00	4.09
13	60	90.00	150.00	150.00	300.00	27,000.00	177,390.00	3.94
14	65	80.00	162.50	162.50	325.00	26,000.00	177,390.00	3.87
15	70	70.00	175.00	175.00	350.00	24,500.00	177,390.00	3.86
16	75	60.00	187.50	187.50	375.00	22,500.00	177,390.00	3.94
17	80	50.00	200.00	200.00	400.00	20,000.00	177,390.00	4.14
18	84	50.00	210.00	210.00	420.00	21,000.00	177,390.00	3.72

b) Tính  $\sigma_{P2}$ :

TT	y (cm)	b (cm)	$x_1$ (cm)	$x_2$ (cm)	$x_1+x_2$	Diện tích F (cm <sup>2</sup> )	Lực tập trung $P_2$	$\sigma_{P2}$ (kG/cm <sup>2</sup> )
1	5	210.00	12.50	12.50	25.00	5,250.00	181,440.00	33.41
2	10	210.00	25.00	25.00	50.00	10,500.00	181,440.00	16.13
3	12	210.00	30.00	30.00	60.00	12,600.00	181,440.00	13.25
4	15	210.00	37.50	37.50	75.00	15,750.00	181,440.00	10.37
5	20	210.00	50.00	50.00	100.00	21,000.00	181,440.00	7.49
6	25	210.00	62.50	62.50	125.00	26,250.00	181,440.00	5.76
7	30	210.00	75.00	75.00	150.00	31,500.00	181,440.00	4.61
8	35	210.00	87.50	87.50	175.00	36,750.00	181,440.00	3.79
9	40	210.00	100.00	100.00	200.00	42,000.00	181,440.00	3.17
10	45	210.00	112.50	112.50	225.00	47,250.00	181,440.00	2.69
11	50	210.00	125.00	125.00	250.00	52,500.00	181,440.00	2.30
12	55	100.00	137.50	137.50	275.00	27,500.00	181,440.00	4.18
13	60	90.00	150.00	150.00	300.00	27,000.00	181,440.00	4.03
14	65	80.00	162.50	162.50	325.00	26,000.00	181,440.00	3.95
15	70	70.00	175.00	175.00	350.00	24,500.00	181,440.00	3.95
16	75	60.00	187.50	187.50	375.00	22,500.00	181,440.00	4.03
17	80	50.00	200.00	200.00	400.00	20,000.00	181,440.00	4.23
18	84	50.00	210.00	210.00	420.00	21,000.00	181,440.00	3.80

c) Tính  $\sigma_{P_3}$ :

TT	y (cm)	b (cm)	$x_1$ (cm)	$x_2$ (cm)	$x_1+x_2$	Diện tích F (cm <sup>2</sup> )	Lực tập trung $P_3$	$\sigma_{P_3}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	5	210.00	12.50	12.50	25.00	5,250.00	154,230.00	28.40
2	10	210.00	25.00	25.00	50.00	10,500.00	154,230.00	13.71
3	12	210.00	30.00	30.00	60.00	12,600.00	154,230.00	11.26
4	15	210.00	37.50	37.50	75.00	15,750.00	154,230.00	8.81
5	20	210.00	50.00	50.00	100.00	21,000.00	154,230.00	6.37
6	25	210.00	62.50	62.50	125.00	26,250.00	154,230.00	4.90
7	30	210.00	75.00	75.00	150.00	31,500.00	154,230.00	3.92
8	35	210.00	87.50	87.50	175.00	36,750.00	154,230.00	3.22
9	40	210.00	100.00	100.00	200.00	42,000.00	154,230.00	2.69
10	45	210.00	112.50	112.50	225.00	47,250.00	154,230.00	2.28
11	50	210.00	125.00	125.00	250.00	52,500.00	154,230.00	1.96
12	55	100.00	137.50	137.50	275.00	27,500.00	154,230.00	3.55
13	60	90.00	150.00	150.00	300.00	27,000.00	154,230.00	3.43
14	65	80.00	162.50	162.50	325.00	26,000.00	154,230.00	3.36
15	70	70.00	175.00	175.00	350.00	24,500.00	154,230.00	3.36
16	75	60.00	187.50	187.50	375.00	22,500.00	154,230.00	3.43
17	80	50.00	200.00	200.00	400.00	20,000.00	154,230.00	3.60
18	84	50.00	210.00	210.00	420.00	21,000.00	154,230.00	3.23

Ghi chú:

$x_1$  - giá trị theo mặt phẳng ngang, nằm bên phải trục  $y_i$  (trục của lực  $P_i$ )

$x_2$  - giá trị theo mặt phẳng ngang, nằm bên trái trục  $y_i$  (trục của lực  $P_i$ )

### 3.3.3.2.4. Phân bố ứng suất $\Delta\sigma_{P_1, P_2, P_3}$ của phần I

Ứng suất  $\Delta\sigma_{P_1, P_2, P_3}$  tại các điểm nằm cách vị trí đặt lực tập trung  $P_1, P_2, P_3$  một đoạn là  $x$  tính với quy luật phân bố theo hình tam giác sau:

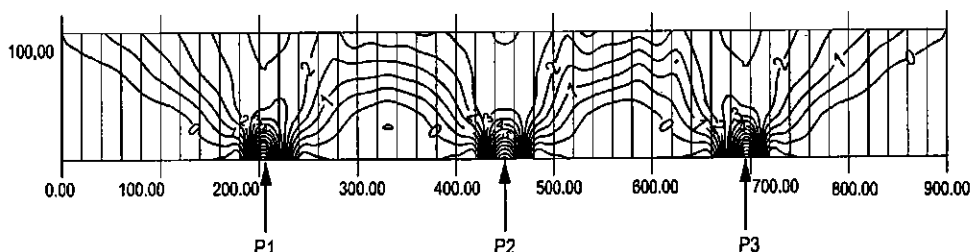
$$\Delta\sigma_y = \sigma_y \cdot \frac{2,5y - x}{2,5y}$$

với:

$x$  - khoảng cách từ điểm đang xét đến trục thẳng đứng đi qua điểm tác dụng của lực tập trung.

$y$  - toạ độ thẳng đứng tính từ mặt đỉnh dầm tới điểm đang xét.

Thay giá trị  $\sigma_{P1,P2,P3}$  trong các bảng trên vào công thức  $\Delta\sigma_y$  ta xác định được giá trị của ứng suất nén trong phạm vi được giới hạn bởi đồ hình Polivanov của phần 1 (phần chịu trực tiếp tác dụng của lực tập trung). Các giá trị  $\Delta\sigma_{P1,P2,P3}$  này kết hợp với giá trị  $\sigma_{P1,P2,P3}$  được biểu diễn qua đường độ thị đẳng ứng suất được vẽ tại hình 3.14.



Hình 3.14. Biểu đồ phân bố ứng suất nén do lực tập trung tác dụng

### 3.3.4. Nhận xét

#### 3.3.4.1. So sánh hai phương pháp

Cả hai phương pháp (mô hình giàn ảo và đồ hình Tiêu chuẩn 22TCN 18-79) đều xác định phạm vi của vùng không liên tục là khoảng bằng chiều cao dầm kéo dài về hai phía. Nhưng phương pháp đồ hình Polivanov chỉ mới xét đến ứng suất nén trong bê tông có hướng thẳng góc với trục dọc của dầm và tác dụng độc lập trong phạm vi của vùng không liên tục. Các ảnh hưởng của những nội lực khác (mômen uốn, lực cắt và lực nén dọc trục) không được cùng xem xét khi tính  $\sigma_y$  và  $\Delta\sigma_y$ . Do vậy,  $\sigma_y$  và  $\Delta\sigma_y$  chỉ phụ thuộc vào giá trị của ngoại lực. Mặc dù, trong tính toán có xét đến đại lượng  $F$  (diện tích mặt cắt nằm ngang), nhưng đại lượng này lại tăng dần theo quy luật tuyến tính với  $\tan\alpha = \frac{1}{2,5}$ , do đó sự thay đổi hình dáng kết cấu không có ảnh hưởng lớn

đến trị số độ lớn của  $\sigma_y$  và  $\Delta\sigma_y$ .

Với mô hình giàn ảo, do dầm bê tông cốt thép đã được mô hình hoá thành một "Giàn ảo", nên có sự quan hệ chặt chẽ giữa vùng liên tục và không liên tục. Các nội lực cùng được xem xét trong quá trình xác định cánh tay đòn nội ngẫu lực  $z$  và góc nghiêng  $\theta$  của thanh chống xiên. Đặc biệt, việc thay đổi tiết diện mặt cắt ngang và bố trí cốt thép có ảnh hưởng rất lớn đến cấu tạo của các bộ phận trong mô hình giàn ảo. Do đó, việc áp dụng mô hình giàn ảo để xem xét sự làm việc của vùng không liên tục sẽ đưa ra kết quả có độ tin cậy cao.



### 3.3.4.2. Kết quả tính

#### 3.3.4.2.1. Phương pháp áp dụng mô hình giàn ảo

Ta xác định được những vùng bê tông chịu nén lớn trong sườn dầm, nguyên nhân gây ra chúng lại không phải là do tác dụng của lực tập trung. Việc xuất hiện ứng suất nén lớn trong sườn dầm lại do hai nguyên nhân cơ bản sau:

- Việc đổi hướng đột ngột phương chịu lực của cốt thép chủ chịu kéo tại vị trí thay đổi chiều cao của mặt cắt ngang dầm xà mũ đã gây ra lực nén vào bê tông;
- Chiều rộng sườn dầm ( $b_w$ ) quá nhỏ được xem xét như một thanh chịu nén trong mô hình giàn ảo.

#### 3.3.4.2.2. Phương pháp đồ hình của Tiêu chuẩn 22TCN 18-79

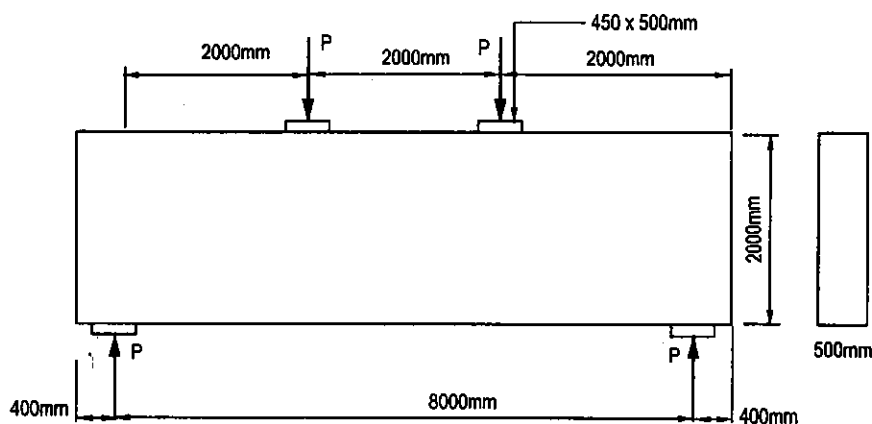
Xác định được ứng suất nén thẳng đứng tại vị trí chịu tác dụng của lực tập trung. Theo phương pháp này, chúng ta chỉ có dữ liệu để bố trí cốt thép phân bố chịu nén cục bộ ngay tại vị trí chịu tác dụng của lực tập trung. Ứng suất nén thẳng đứng  $\sigma_y$  và  $\Delta\sigma_y$  đã giảm rất nhanh trong phạm vi sườn dầm.

## 3.4. VÍ DỤ TÍNH DẦM CÓ 2 LỰC TẬP TRUNG

Xét dầm cao 2m như hình sau. Yêu cầu dùng mô hình giàn ảo để xác định số lượng cốt thép cần thiết.

Các số liệu ban đầu như sau:

$$f_c = 25\text{MPa}, f_y = 420\text{MPa}, P_{DL} = 800\text{kN}, P_{LL} = 400\text{kN}.$$



Hình 3.15: Sơ đồ dầm cao chịu 2 lực tập trung

**Bước 1:** Xác định tải trọng tổng cộng có nhân hệ số  $P_u$ :

$$P_{tt} = 1.2P_{DL} + 1.6P_{LL} = 1.2(800) + 1.6(400) = 1600\text{kN}.$$

**Bước 2:** Kiểm toán khả năng chịu tải ở vị trí đặt tải và vị trí gối tựa

Cường độ chịu tải ở vị trí đặt tải trọng là:

$$\phi 0.85f_c B_n A_c = 0.75(0.85)(25)(1.0)(450)(500)/1000 = 3586 \text{ kN} > 1600 \text{ kN.}$$

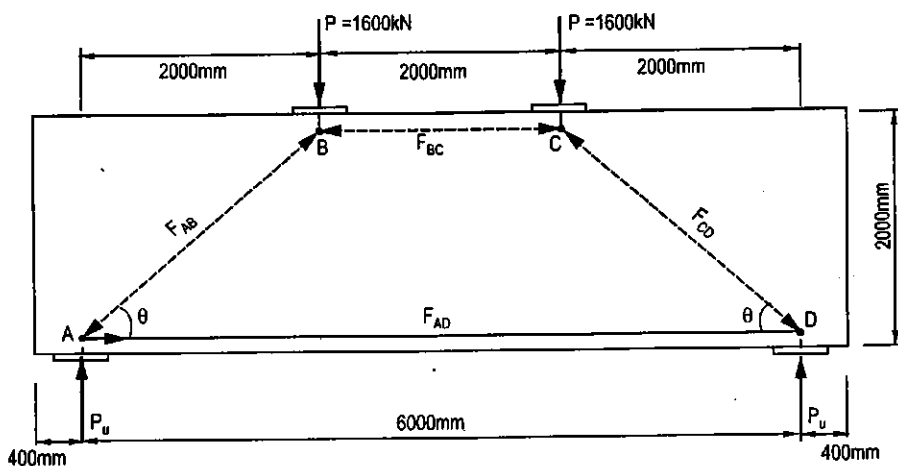
Vậy thoả mãn yêu cầu.

Cường độ chịu tải ở vị trí gối tựa là:

$$\phi 0.85f_c B_n A_c = 0.75(0.85)(25)(0.80)(450)(500)/1000 = 2868 \text{ kN} > 1600 \text{ kN.}$$

Vậy thoả mãn yêu cầu.

**Bước 3:** Lựa chọn mô hình giàn ảo để áp dụng trong thiết kế.



**Hình 3.16:** Chọn mô hình giàn ảo cho dầm

**Bước 4:** Xác định vùng D và dự kiến về các lực và kích thước của các cấu kiện giàn ảo

Toàn bộ dầm cao đều là vùng D, nhưng chỉ cần xét 1/3 chiều dài bên trái của dầm là đủ. Vị trí nằm ngang của các nút A và B rất dễ dàng xác định, nhưng vị trí thẳng đứng của các nút đó cần phải ước lượng trước rồi sẽ xác định lại sau. Điều mà chúng ta biết rõ là cường độ thiết kế của thanh chống BC cần phải lớn hơn hoặc bằng tải trọng đã nhân hệ số trong thanh BC. Có nghĩa là:

$$\text{Thanh chống BC: } \phi F_{nc} = \phi f_{cu} A_c = \phi (0.85\beta_s f_c) \beta w_c \geq F_{BC}$$

trong đó:  $\beta_s = 1.0$  (thanh chống hình lăng trụ)

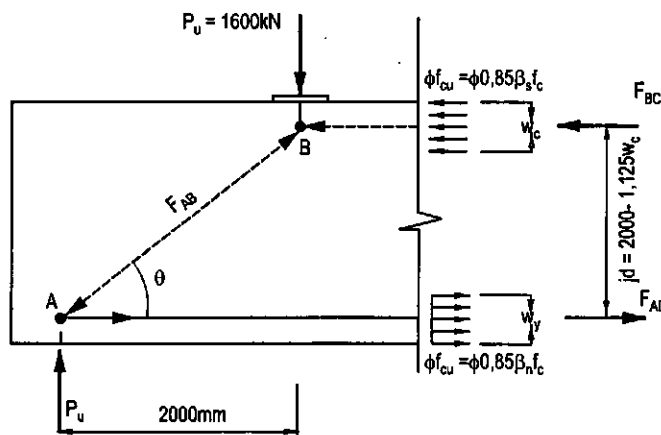
Tương tự, cường độ thiết kế của thanh giằng AD cần phải lớn hơn hoặc bằng tải trọng đã nhân hệ số trong thanh giằng AD. Hơn nữa, thanh giằng này còn phải được neo giữ chắc chắn trên một diện tích đủ bằng  $w_s b$  sao cho tải trọng đã nhân hệ số là nhỏ hơn  $\phi F_{nc}$ .

Thanh giằng AD:  $\phi F_{nt} = \phi A_y f_y \geq F_{BC}$  và

Thanh giằng AD:  $\phi F_{nn} = \phi f_{cu} A_c = \phi(0,85\beta_n f_c)\beta w_t \geq F_{AD}$

trong đó:  $\beta_n = 0.8$  (đối với thanh giằng được neo giữ tại nút A).

Bằng cách đặt cường độ thiết kế bằng khả năng chịu tải yêu cầu, sẽ được jd đạt cực đại và  $w_t = 1.25 w_c$ . Cánh tay đòn chịu uốn sẽ là  $jd = 2000 - w_c/2 - w_t/2 = 2000 - 1.125w_c$ .



Hình 3.17: Sơ đồ đặt lực trong đoạn đầu dầm cao

Tính tổng mômen đối với điểm A:

$$\Sigma M_A = 1600 (2000)(1000) = F_{BC} (2000 - 1,125w_c)$$

Thay biểu thức  $\phi(0,85\beta_n f_c)\beta w_t$  cho thành phần  $F_{BC}$ , trong công thức trên, sẽ được:  $w_c = 231$  mm, và do vậy có  $w_t = 288$  mm.

Nếu lấy các trị số này làm căn cứ để chọn kích thước của các thanh chống và thanh giằng, ứng suất trong thanh chống  $F_{BC}$  sẽ đạt mức giới hạn và lực trong thanh giằng  $F_{AD}$  sẽ được neo vào diện tích vừa đủ. Vì vậy người ta thường tăng các trị số này một chút để có thêm mức độ an toàn. Chẳng hạn chúng ta sẽ chọn  $w_c = 240$  mm, và  $w_t = 300$  mm.

Suy ra:  $jd = 2000 - 240/2 - 300/2 = 1730 \text{ mm}$

và  $F_{BC} = F_{AD} = 1600(2000)/1730 = 1850 \text{ kN}$

Kiểm toán khả năng chịu nén của thanh chống BC ta có:

$$\phi F_{nc} = \phi(0,85\beta_n f'_c)\beta w_t = 0,75(0,85)(1,0)(25)(500)(240)/1000 = 1912 \text{ kN} \\ \rightarrow \text{OK}$$

**Bước 5:** Lựa chọn cốt thép thanh giằng AD:

$$\phi F_{nt} = \phi A_s f_y \geq F_{AD} = 1850 \text{ kN}$$

Suy ra:

$$A_s \geq 1850 (100)/0,75/420 = 5873 \text{ mm}^2$$

- Bố trí lớp thứ nhất gồm các thanh cốt thép loại 6 # 36(11) bars = 6036 mm<sup>2</sup> với cự ly @ 150 mm kể từ đáy dầm.

- Bố trí lớp thứ 2 gồm các thanh cốt thép loại 5 #29(9) bars = 6450 mm<sup>2</sup> với cự ly @ 80 mm kể từ đáy dầm.

- Bố trí lớp thứ 3 gồm các thanh cốt thép loại 6 #22(7) bars = 6966 mm<sup>2</sup> với cự ly @ 60, 150 và 240 mm kể từ đáy dầm.

Kiểm toán khả năng chịu kéo của thanh giằng AD:

$$\phi F_{nt} = \phi A_s f_y = 0,75(6450)(420)/1000 = 2032 \text{ kN} > 1850 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

**Bước 6:** Tính toán lực trong thanh chống chéo chịu nén  $F_{AB}$  và kiểm toán khả năng chịu nén của nó.

$$\tan \theta = \frac{1730}{2000} \text{ và } \theta = 40,9^\circ$$

Do vậy, lực trong thanh chống chéo AB là:

$$F_{AB} = \frac{1600}{\sin 40,9^\circ} = 2444 \text{ kN}$$

Bề rộng ở đầu trên của thanh chống là:

$$w_{ct} = l_s \sin \theta + h_2 \cos \theta = 450 \sin 40,9^\circ + 240 \cos 40,9^\circ = 476 \text{ mm.}$$

Bề rộng ở đầu dưới của thanh chống là:

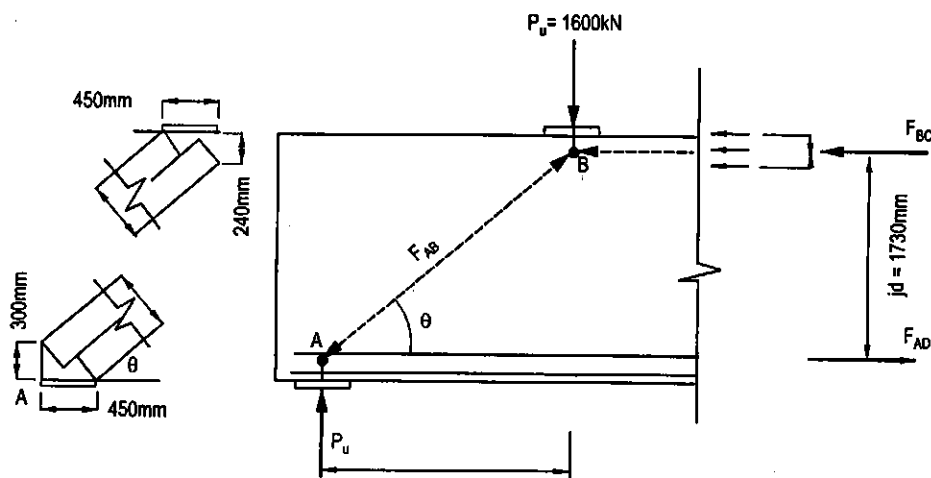
$$w_{cb} = l_b \sin \theta + h_2 \cos \theta = 450 \sin 40,9^\circ + 300 \cos 40,9^\circ = 521 \text{ mm.}$$

Giả sử đã bố trí đủ cốt thép chống nứt, sẽ có:

$$\beta_s = 0,75$$

Kiểm toán khả năng chịu nén của thanh chống AB:

$$\begin{aligned}\phi F_{nc} &= \phi (0,85\beta_s f_c) b w_{ct} = 0,75(0,85)(0,75)(25)(500)(476)/1000 \\ &= 2885 \text{ kN} > 2444 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}\end{aligned}$$



Hình 3.18. Kiểm toán thanh chống chéo AB

**Bước 7:** Tính lượng cốt thép tối thiểu cần phải có đối với các thanh chống chịu nén dạng hình chai.

- Cốt thép nằm ngang trong sườn dầm:

Dùng một thanh loại #13(4) đặt ở mỗi phía bề mặt sườn, cự ly cách đều  $s_h = 300 \text{ mm}$  trên suốt chiều dài

$$A_h / (b s_h) = 2(129) / 500 / 300 = 0,0017 > 0,0015 \rightarrow \text{OK}$$

- Cốt thép thẳng đứng trong sườn dầm:

Dùng 1 thanh loại #16(5) đặt ở mỗi phía bề mặt sườn, cự ly cách đều  $s_h = 300 \text{ mm}$  trên suốt chiều dài:

$$A_v / (b s_v) = 2(199) / 500 / 300 = 0,00265 > 0,0025 \rightarrow \text{OK}$$

Kiểm toán cốt thép để chịu lực phá vỡ bụng trong thanh chống hình chai:

$$\Sigma p_{vi} \sin \gamma_i = 0,0017 \sin 40,9^\circ + 0,00265 \sin 49,1^\circ = 0,00312 > 0,003 \rightarrow \text{OK}$$

# MỘT SỐ LƯU Ý KHI VẬN DỤNG PHƯƠNG PHÁP GIÀN ẢO

## 1. NHẬN XÉT CHUNG

Khi áp dụng mô hình giàn ảo (Strut - and - tie Models) để phân tích ứng suất cục bộ như đã được trình bày, chúng ta có thể sơ bộ rút ra một số kết luận và nhận xét như sau:

### 1. Nguyên tắc tính toán

Các vấn đề được xem xét khi cấu kiện làm việc trong trạng thái giới hạn. Mặt cắt đang xét là mặt cắt được đặt sát ngay cạnh vết nứt do vậy sự phân bố biến dạng là bậc nhất trên toàn bộ chiều cao của mặt cắt và mặt cắt vẫn phẳng.

Để đảm không bị phụ thuộc vào tác động dẻo trong bê tông và mô hình "Giàn ảo" là tĩnh định, dầm phải được tính toán tỷ lệ sao cho cốt thép đai sẽ bị chảy dẻo trước khi bê tông bị nén vỡ.

Không áp đặt bất cứ lực cắt nào cho bê tông. Lực cắt thẳng đứng hoàn toàn do cốt thép đai chịu.

### 2. Về phương pháp tính

Do giả thiết là tất cả cốt thép đai đã chảy dẻo nên giàn luôn tĩnh định. Vì vậy phương pháp tính toán đơn giản, chủ yếu dựa trên các quan hệ hình học và cân bằng nút để xác định các dòng lực tác dụng trong kết cấu.

### 3. Về kết quả tính toán

Thành phần lực nén  $C$  và lực kéo  $T$  trong thanh mạ được tính thông qua giá trị tính toán của các thành phần nội lực (mômen, lực cắt và lực dọc trục) tại mặt cắt đang xét. Các thành phần nội lực này được xác định theo sơ đồ ứng suất - biến dạng.

Thành phần lực kéo trong thanh giằng chính là những ngoại lực tác dụng thẳng đứng, bao gồm lực tập trung, lực phân bố và tĩnh tải đã được lý tưởng hoá tác dụng tại những điểm bố trí cốt thép đai.

Thành phần lực nén trong thanh chống được xác định qua sự cân bằng nút, thông qua các giá trị của  $C$ ,  $T$  và lực kéo trong thanh giằng.

Đồng thời, các mô hình tính toán điển hình đều được thiết lập dựa trên quan sát thực tế làm việc và tình trạng xuất hiện vết nứt của cấu kiện bê tông cốt thép nên kết quả tính toán đảm bảo độ tin cậy cao. Qua các thí nghiệm do Viện bê tông Hoa Kỳ (ACI) thực hiện, khi so sánh các lực tính toán được và lực đo được ở các các thớ đỉnh và đáy của dầm, với mô hình giàn ảo đã dự đoán hoàn toàn chính xác.

## 2. KIẾN NGHỊ KHI VẬN DỤNG PHƯƠNG PHÁP GIÀN ẢO

Đây là một phương pháp đơn giản nhưng đem lại kết quả tương đối thích hợp với trạng thái làm việc thực tế của cấu kiện bê tông cốt thép.

Đây không phải là một lý thuyết mới, lý thuyết này đã được các nước tiến tiến đưa vào quy trình thiết kế kết cấu bê tông cốt thép. Nhưng ở Việt Nam, lý thuyết này còn hạn chế khi áp dụng trong thực tiễn.

*Cơ sở cơ bản của lý thuyết này là dầm có vết nứt xiên cho thấy có sự xuất hiện các lực nén và kéo ở bản cánh dầm phía đỉnh và đáy của dầm; lực cắt thẳng đứng trong cốt thép đai và các lực nén nghiêng trong phần thanh chéo bê tông nằm giữa phạm vi hai vết nứt. Hệ lực cụ thể này được thay thế bằng một "mô hình Giàn ảo" hay còn được gọi là mô hình chống - giằng.*

*Các giả định và sự đơn giản hóa để đưa ra khái niệm "Giàn ảo" cụ thể là:*

- Các cốt thép đai bị cắt bởi một mặt cắt nào đó được gộp lại thành cấu kiện thẳng đứng chịu kéo. Gọi là thanh giằng.

- Phần bê tông chéo ở thân dầm làm thành cấu kiện xiên. Cấu kiện xiên này chịu ứng suất nén để kháng lại lực cắt trên mặt cắt này. Gọi là thanh chống.

- Phần bê tông chịu nén đỉnh dầm gọi là thanh biên trên, phần cốt thép chịu kéo ở đáy dầm là thanh biên dưới.

*Hai đại lượng cơ bản nhất để xác định được một giàn ảo là:*

- Cánh tay đòn nội ngẫu lực  $z$ .

- Góc nghiêng của thanh chống  $\theta$ .

*Như vậy các nội lực trong các cấu kiện của giàn ảo cần xác định sẽ bao gồm:*

Lực kéo trong cấu kiện thẳng đứng giàn ảo;

Lực nén trong thanh chống xiên giàn ảo;

Lực kéo, nén trong thanh biên giàn ảo.

*Sử dụng mô hình giàn ảo (mô hình chống - giằng) để phân tích kết cấu BTCT có một số đặc điểm như sau:*

### *1. Về mô hình tính toán*

Trong mô hình biểu diễn dầm như là một giàn ảo với cốt thép đai riêng rẽ hoặc thanh chịu kéo riêng rẽ thay thế cho các nhóm cốt thép đai và thanh chịu nén riêng rẽ mà mỗi thanh biểu diễn cho một đoạn chiều dài thân dầm. Việc biểu diễn một mô hình phụ thuộc cơ bản vào hai yếu tố: (1) Cánh tay đòn nội ngẫu lực  $z$ ; (2) Góc nghiêng của thanh chịu nén  $\theta$ .

Mô hình tính toán đơn giản, có tính thực hành cao; không cần có sự trợ giúp của các phần mềm tính toán phức tạp như những phương pháp khác. Do đó dễ sử dụng và rất linh hoạt khi áp dụng trong thực tế.

## 2. Về phương pháp tính

Do được giả thiết là tất cả cốt thép đai đã chảy dẻo nên giàn luôn tĩnh định. Vì vậy phương pháp tính toán đơn giản, chủ yếu dựa trên các quan hệ hình học và cân bằng nút để xác định các dòng lực tác dụng trong kết cấu.

## 3. Về kết quả tính

Các thành phần lực nén C và lực kéo T trong các thanh mạ trên và thanh mạ dưới được tính thông qua giá trị tính toán của các nội lực (mô men, lực cắt và lực dọc trục) tại mặt cắt đang xét. Các nội lực này được xác định theo sơ đồ ứng suất - biến dạng.

Lực kéo trong thanh giằng chính là đại diện của những thành phần ngoại lực tác dụng thẳng đứng; bao gồm lực tập trung, lực phân bố và tĩnh tải đã được lý tưởng hoá tác dụng tại những điểm bố trí cốt thép đai.

Lực nén trong thanh chống được xác định qua phân tích sự cân bằng nút, thông qua các giá trị của C, T và lực kéo trong thanh giằng.

Đồng thời, các mô hình tính toán điển hình đều được thiết lập dựa trên sự quan sát thực tế làm việc và tình trạng xuất hiện vết nứt của cấu kiện bê tông cốt thép nên kết quả tính toán đảm bảo độ tin cậy cao. Qua các thí nghiệm do Viện bê tông Hoa Kỳ (ACI) thực hiện thì khi so sánh các lực tính toán và đo được ở các các thớ đỉnh và đáy của dầm là hoàn toàn phù hợp chính xác với kết quả đã dự đoán bằng mô hình giàn ảo.

Đây là một phương pháp đơn giản nhưng đem lại kết quả tương đối thích hợp với trạng làm việc thực tế của cấu kiện bê tông cốt thép tại những vị trí cục bộ. Do vậy xin có một số kiến nghị sau:

### 1. Trong công tác thiết kế

Đối với các công trình cầu, Bộ Giao Thông vận tải đã ban hành Tiêu chuẩn 22TCN 272-01 cho phép sử dụng mô hình giàn ảo để tính toán kết cấu BTCT

Đối với các công trình xây dựng dân dụng và công nghiệp, thủy lợi, do chưa được chính thức quy định trong Quy trình thiết kế, nên khuyến cáo sử dụng Mô hình giàn ảo như là một điều kiện đủ khi thiết kế tính toán các vùng không liên tục của kết cấu bê tông cốt thép. Đặc biệt là những các trường hợp sau:

Khi thiết kế các vùng chịu lực tập trung, vùng gấn gối đỡ, các vị trí góc khung, vị trí vai đỡ.

Khi xác định điều kiện làm việc của các vị trí chịu tải trọng tập trung theo hướng trục dọc và những vùng neo của cáp DUL.

Khi thiết kế các dầm cao; các dầm cao thường là những nhịp chịu cắt ngắn, ở các dầm này thường xuất hiện vết nứt xiên nối liền từ điểm đặt tải trọng đến trụ đỡ.



Các vết nứt này phá hỏng dòng lực cắt ngang từ cốt thép dọc đến vùng chịu nén và trạng thái làm việc thay đổi từ tác động kiểu dầm sang kiểu vòm.

## 2. Trong công tác chẩn đoán kết cấu

Các Mô hình giàn ảo cơ bản hầu như đã được mô phỏng trên cơ sở tình trạng xuất hiện vết nứt thực tế của cấu kiện nên rất thuận lợi khi sử dụng để chuẩn đoán kết cấu. Đồng thời là công cụ thích hợp để *giải thích sự phá hỏng do cắt của các dầm mảnh* và trong một số trường hợp có thể giải thích được sự xuất hiện các vết nứt do cắt ở thân dầm.

## 3. Trong thi công xây dựng

Khái niệm Mô hình giàn ảo và các mô hình cơ bản của nó đơn giản và có tính thực hành cao; do vậy nên được trang bị cho người Kỹ sư chỉ đạo hiện trường để giúp họ có được một dụng cụ tương đối đặc dụng nhưng đơn giản (không cần phải có sự trợ giúp của các phần mềm tính toán) để có thể nhanh chóng kiểm tra tính hợp lý của các sơ đồ bố trí cốt thép trong hồ sơ Thiết kế Kỹ thuật.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Tiêu chuẩn thiết kế cầu Việt Nam 22 TCN18-79*. Bộ GTVT ban hành năm 1979.
2. *Tiêu chuẩn thiết kế cầu Việt Nam 22 TCN 272-79*. Bộ GTVT ban hành năm 2001.
3. *CEB-FIP Model Code. Design Code. Part I, II & III*. Thomas Telford. 1990
4. *FIP Recommendations 1996. Practical Design of Structure Concrete*. FIP Congress Amsterdam - May. 1998.
5. N.I. POLIVANOV. *Thiết kế cầu bê tông cốt thép và cầu thép trên đường Ô tô*. Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật. 1976.
6. PGS.TS. Nguyễn Viết Trung, TS. Hoàng Hà, KS. Nguyễn Ngọc Long. *Cầu bê tông cốt thép*. Nhà xuất bản Giao thông vận tải. Hà Nội. 2000.
7. TS. Bùi Quang Trường, KS. Nguyễn Thanh Bình, KS. Bùi Trung Dũng. *Tính kết cấu bê tông cốt thép (nguyên lý của Ủy ban bê tông Châu Âu - CEB)*. Nhà xuất bản Xây dựng. Hà Nội. 2000.
8. *AASHTO LRFD Bridge Design Specification. SI Units. Second Edition*. 1998.
9. PGS. TS. Nguyễn Viết Trung. *Thiết kế cầu bê tông cốt thép hiện đại theo tiêu chuẩn ACI*. Nhà xuất bản Giao thông vận tải. Hà Nội. 2000.
10. *General zone Design, Detailing for Post-Tensioning*. Published by VSL International Ltd. Bern, Switzerland.
11. *VSL NEWS; issue one, two*. 1993 - 1999.
12. PGS.TS. Nguyễn Viết Trung. *Hướng dẫn sử dụng SAP-2000*. Trường Đại học Giao thông vận tải. 2000.
13. *Hồ sơ thiết kế kỹ thuật cầu Trần Thị Lý* - TP. Đà Nẵng. Công ty TVXDCTGT 533.
14. *Hồ sơ kiểm toán xà mũ trụ cầu Trần Thị Lý*. Công ty TVKT cầu lớn hầm (TEDI).

# MỤC LỤC

<b>Lời nói đầu</b>	<b>3</b>
<b>Chương 1. Khái niệm về lý thuyết mô hình giàn ảo (mô hình chống và giằng)</b>	
1.1. Giới thiệu	5
1.2. Xác định vùng B và D	7
1.3. Mô hình tính toán	9
1.4. Kết cấu của mô hình giàn ảo	19
1.5. Phân bố cốt thép đai	20
1.6. Thành phần lực cắt $V_{cz}$ , $V_{ay}$ và $V_d$	20
1.7. Vùng quạt chịu nén và vùng chịu nén	21
1.8. Đơn giản hoá mô hình giàn ảo	22
1.9. Nội lực trong mô hình giàn ảo	23
1.10. Giá trị của $\theta$ trong phạm vi vùng chịu nén	31
1.11. Các bộ phận cấu thành của mô hình giàn ảo	34
1.12. Sự phá hỏng thanh chống ảo	38
1.13. Sự phá hủy do nén của thanh chịu nén ảo	40
1.14. Kiểm toán điều kiện bền của thanh chống ảo	43
1.15. Quy định về cốt thép khống chế nứt	43
<b>Chương 2. Áp dụng phương pháp "Giàn ảo" để phân tích ứng suất cục bộ và thiết kế vùng không liên tục (vùng D)</b>	
2.1. Các yêu cầu và các bước tính toán	44
2.2. Các vùng không liên tục tính: đầu dầm, vai đỡ	46
2.3. Dầm cao	53
2.4. Độ lệch của lực	61
2.5. Các góc khung và liên kết dầm cột	61
2.6. Tải trọng tập trung theo hướng dọc trục của cấu kiện và những vùng neo của cáp dự ứng lực	68
<b>Chương 3. Các ví dụ tính áp dụng mô hình giàn ảo</b>	
3.1. Mô hình giàn ảo của một đầu dầm chịu tải trọng tập trung	74
3.2. Mô hình giàn ảo của một đầu dầm có khắc tại gối	79
3.3. Áp dụng mô hình giàn ảo để giải thích sự xuất hiện vết nứt của dầm xà mũ (Cầu Trần Thị Lý Tp. Đà Nẵng)	85
3.4. Ví dụ tính dầm có 2 lực tập trung	104
<b>Một số lưu ý khi vận dụng phương pháp giàn ảo</b>	<b>109</b>
<b>Tài liệu tham khảo</b>	<b>113</b>

# **TÍNH TOÁN KẾT CẤU BÊ TÔNG CỐT THÉP THEO MÔ HÌNH GIÀN ẢO**

*Chịu trách nhiệm xuất bản:*

**BÙI HỮU HẠNH**

*Biên tập:*

**NGUYỄN MINH KHÔI**

*Chế bản điện tử:*

**VŨ HỒNG THANH**

*Sửa bản in:*

**NGUYỄN MINH KHÔI**

*Trình bày bìa:*

**NGUYỄN HỮU TÙNG**

---

In 500 cuốn khổ  $17 \times 24$ cm, tại Xưởng in Nhà xuất bản Xây dựng. Giấy chấp nhận đăng ký kế hoạch xuất bản số 197/XB-QLXB-138 ngày 21/02/2005. In xong nộp lưu chiểu tháng 5/2005.