



CK.0000070626

TS. NGUYỄN VIỆT TRUNG (chủ biên)

TRƯƠNG TUẤN MINH - KS. NGUYỄN THỊ TUYẾT TRINH



# Tính toán kết cấu bê tông cốt thép

# THEO MÔ HÌNH GIÀN ẢO

NGUYỄN  
C LIỆU



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

(*Tái bản*)

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG  
HÀ NỘI - 2015

## 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

## Chương 1

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

### 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 phần 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 của 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 tốt 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*.

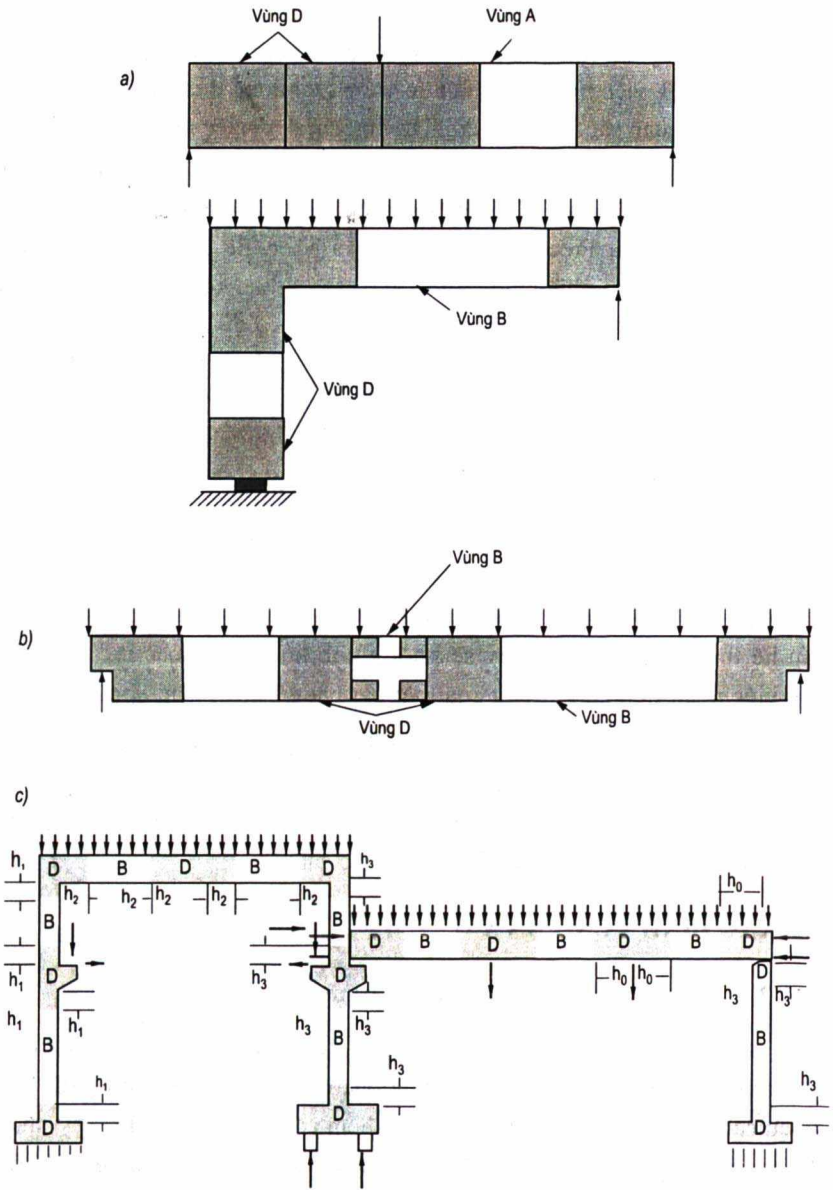
Thiết kế dầm bê tông theo trạng thái ứng suất tới hạn bằng *mô hình giàn ảo* là xét đến các điều kiện làm việc của hai vùng B và D trong kết cấu. Phương pháp mô hình giàn ảo sử dụng một số nguyên tắc của cơ học kết cấu hệ thanh, nguyên tắc này sẽ không ảnh hưởng gì hoặc tác động nào đến việc phân tích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

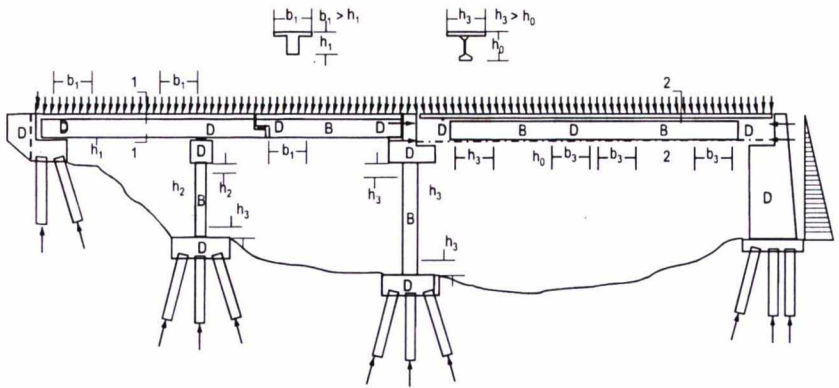
## **1.2. XÁC ĐỊNH VÙNG B VÀ D**

### **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**



**Hình 1.1d.** Ví dụ các vùng B và D trong kết cấu cầu

### 1.3. MÔ HÌNH TÍNH TOÁN

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.

Theo Tiêu chuẩn 22TCN 272-01, khi kiểm toán các trạng thái giới hạn cường độ và đặc biệt, có thể dùng mô hình giàn ảo để xác định nội lực ở gần gối và các điểm có đặt lực tập trung. Mô hình giàn ảo cần được xem xét khi thiết kế các đế móng dày và bệ cọc hoặc các trường hợp khác mà khoảng cách giữa các điểm đặt lực và các phản lực gối nhỏ hơn khoảng 2 lần bề dày của cấu kiện.

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

*Trạng thái làm việc của vùng D có thể được mô tả tóm tắt như sau:*

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

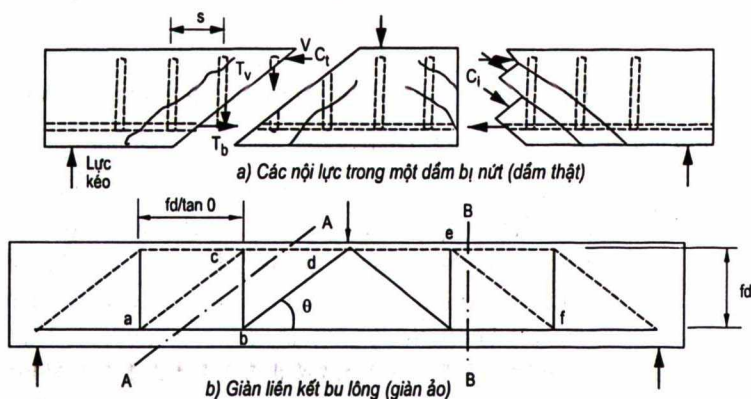


thanh giằng chịu kéo và các mối nối của các thanh đó sẽ được tưởng tượng là vùng nút của giàn ảo. Nếu phần đầu mút của thanh chống hẹp hơn so với ở đoạn giữa của thanh chống thì các thanh chống này có thể lần lượt nứt theo chiều dọc. Các thanh chống không có cốt thép có thể dẫn đến sự hư hỏng. Các thanh 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 giản đơn chịu tác dụng của lực tập trung, bị nứt:



**Hình 1.2.** Mô hình giàn ảo của dầm bê tông cốt thép nhịp giản 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) Phần 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