

GIẢI PHÁP KẾT CẤU LIÊN HỢP THÉP BÊ TÔNG CHO NHÀ NHIỀU TẦNG Ở VIỆT NAM

TS. ĐINH VĂN THUẬT, PGS. TS. PHẠM VĂN HỘI
Trường Đại học Xây dựng

Tóm tắt: Kết cấu liên hợp thép bê tông đã và đang được sử dụng khá hiệu quả ở nhiều nước trên thế giới trong việc xây dựng các công trình nhà nhiều tầng và nhà khung nhịp lớn, do loại kết cấu này tận dụng được các ưu điểm riêng về đặc trưng cơ lý của cả hai loại vật liệu phổ biến thép và bê tông. Bài viết này sẽ trình bày tổng quan về các giải pháp cấu tạo, đặc điểm và các nguyên tắc cơ bản trong thiết kế các cấu kiện kết cấu liên hợp theo tiêu chuẩn Châu Âu. Đồng thời bài viết cũng trình bày một số chú ý cần thiết cho việc áp dụng giải pháp kết cấu liên hợp thép bê tông trong thực tế thiết kế nhà nhiều tầng ở Việt Nam.

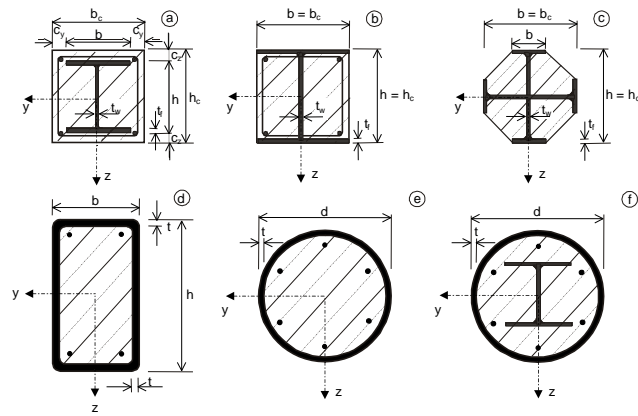
1. Mở đầu

Nhu cầu xây dựng nhà cao tầng và nhà siêu cao tầng đang bùng nổ mạnh mẽ ở Việt Nam, đặc biệt ở các khu đô thị lớn như Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh. Khi sử dụng các giải pháp kết cấu bê tông cốt thép thông thường, công trình nhà cao tầng đòi hỏi kích thước các cấu kiện kết cấu có thể rất lớn, nặng nề, tốn kém, giảm không gian sử dụng và giảm tính thẩm mỹ. Để khắc phục các nhược điểm kể trên, giải pháp kết cấu liên hợp thép bê tông đã và đang được sử dụng phổ biến ở nhiều nước trên thế giới cho các công trình nhà nhiều tầng. Mục đích của giải pháp này là tận dụng các ưu điểm riêng về đặc trưng cơ lý giữa vật liệu thép và bê tông để tạo ra kết cấu liên hợp có khả năng chịu lực và độ tin cậy cao, đồng thời tăng cường khả năng chống cháy. Bên cạnh đó, công trình sử dụng giải pháp kết cấu liên hợp sẽ đáp ứng được công năng sử dụng cao, hiệu quả về kinh tế và đảm bảo tính thẩm mỹ. Ở nước ta, từ năm 2006 tiêu chuẩn thiết kế kết cấu liên hợp thép bê tông đang được tiến hành nghiên cứu và biên soạn theo tiêu chuẩn Châu Âu [1, 2]. Bài viết này sẽ tổng quan các giải pháp cấu tạo, đặc điểm và các nguyên tắc thiết kế cơ bản cho cấu kiện kết cấu liên hợp nhằm giúp cho việc xây dựng tiêu chuẩn được hữu hiệu. Đồng thời, bài viết sẽ đề cập đến những chú ý cần thiết cho việc áp dụng giải pháp kết cấu liên hợp đối với nhà nhiều tầng trong điều kiện ở Việt Nam.

2. Đặc điểm của kết cấu liên hợp thép bê tông

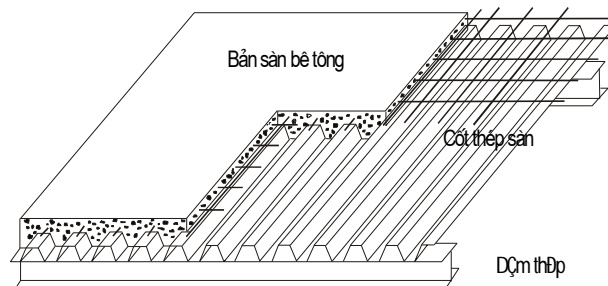
2.1. Các giải pháp cấu tạo cho kết cấu liên hợp

Kết cấu liên hợp thép bê tông là loại kết cấu sử dụng thép kết cấu (structural steel) kết hợp với bê tông hoặc bê tông cốt thép để chúng cùng tham gia chịu lực. Các giải pháp cấu tạo thường được sử dụng đối với loại cấu kiện kết cấu cột liên hợp là thép định hình, thép tổ hợp hàn dạng chữ H được bọc bê tông một phần hoặc toàn bộ, hoặc thép ống được nhồi đầy bê tông hoặc bê tông cốt thép (hình 1).



Hình 1. Các dạng tiết diện cột liên hợp thép bê tông

Đối với cấu kiện kết cấu sàn liên hợp thì giải pháp sử dụng thường là bản sàn bê tông cốt thép được đặt lên trên dầm thép hình chữ I. Ngoài ra các tấm tôn thép sóng còn được đặt ở mặt dưới của bản sàn bê tông, nằm giữa bản sàn bê tông và dầm thép hình để đóng vai trò vừa là cốt thép chịu kéo trong quá trình sử dụng đồng thời là ván khuôn đỡ bê tông tươi trong quá trình thi công (hình 2).



Hình 2. Kết cấu sàn liên hợp sử dụng tấm tôn sóng

Đề thép và bê tông cùng tham gia chịu lực đồng thời, các chốt neo có hình dạng hợp lý được hàn tại bề mặt thép kết cấu tiếp xúc với bê tông nhằm tăng khả năng liên kết toàn khối giữa thép hình và bê tông.

2.2. Tính ưu việt của kết cấu liên hợp

a. Khả năng chịu lực và độ tin cậy cao

Kết cấu liên hợp thép bê tông đã tận dụng được các ưu điểm riêng về đặc trưng cơ lý của cả hai loại vật liệu thép và bê tông. Vật liệu thép có cường độ chịu kéo và nén cao, khả năng cho phép biến dạng dẻo lớn, độ tin cậy, độ an toàn chịu lực cao nhưng khả năng chịu lửa kém và giá thành lại cao. Trong khi đó vật liệu bê tông mặc dù chỉ có cường độ chịu nén tương đối nhưng lại có tính chịu lửa tốt, giá thành rẻ và được sử dụng phổ biến. Như vậy, so với trường hợp chỉ sử dụng kết cấu bê tông cốt thép thuần túy thì việc sử dụng giải pháp kết cấu liên hợp thép bê tông sẽ đảm bảo tăng khả năng chịu lực và nâng cao độ tin cậy của kết cấu, do bao gồm khả năng chịu lực của cả 2 thành phần kết cấu thép hình và bê tông cốt thép cùng kết hợp tham gia chịu lực. Hơn nữa, nếu so sánh với trường hợp chỉ sử dụng giải pháp kết cấu thép thuần túy thì việc sử dụng kết cấu liên hợp thép bê tông ngoài việc làm tăng khả năng chịu lực còn tăng độ cứng ngang, tăng khả năng ổn định và nâng cao tính chịu lửa.

Giải pháp kết cấu liên hợp thép bê tông cũng đã được ứng dụng khá hiệu quả trong trường hợp kết cấu công trình nằm trong vùng có động đất, do chúng có mức độ ổn định và độ tin cậy cao khi

chịu tải trọng động. Điều này đã được kiểm nghiệm qua thực tế tại nhiều trận động đất lớn, như trận động đất Kobe ở Nhật Bản năm 1995 hay trận động đất Northridge ở Mỹ năm 1994.

b. Công năng sử dụng hiệu quả

Đối với các công trình nhà nhiều tầng, khi chiều cao nhà càng cao và nhịp khung càng lớn thì nội lực dọc trục trong cột và mômen trong dầm càng lớn; lực dọc trong cột có thể lên đến 3000 tấn đối với công trình nhà cao hơn 30 tầng. Như vậy, nếu chỉ sử dụng giải pháp kết cấu bê tông cốt thép thông thường thì kích thước tiết diện yêu cầu của cột là rất lớn, vì thực tế cấp độ bền của bê tông sử dụng phổ biến cho xây dựng nhà nhiều tầng ở Việt Nam hiện nay vào khoảng B25 đến B40, tương ứng với cường độ chịu nén tính toán khoảng 155 đến 215 daN/cm². Chẳng hạn khi sử dụng giải pháp kết cấu bê tông cốt thép (không liên hợp) thì kích thước tiết diện cột yêu cầu cho nhà cao 40 tầng xây dựng ở Hà Nội là khoảng 1,5m x 1,5m; tuy nhiên kích thước này sẽ giảm xuống còn khoảng 1m x 1m khi sử dụng giải pháp kết cấu liên hợp thép bê tông. Như vậy, việc ứng dụng giải pháp kết cấu liên hợp sẽ tạo cho công trình gọn nhẹ và tăng không gian sử dụng.

Mặc dù ở một số nước trên thế giới như Nhật Bản, Úc, ... đã sản xuất được bê tông mác siêu cao với cường độ chịu nén có thể vượt trên 1000 daN/cm². Tuy nhiên để sản xuất bê tông đạt được cường độ cao như vậy và đảm bảo được mức độ tin cậy thì quy trình sản xuất và kiểm tra chất lượng yêu cầu phải được thực hiện rất nghiêm ngặt về thời gian và công nghệ kỹ thuật.

c. Hiệu quả kinh tế

So với trường hợp chỉ sử dụng kết cấu thép thuần túy thì việc sử dụng giải pháp kết cấu liên hợp thép bê tông sẽ có hiệu quả kinh tế cao, giảm được trọng lượng thép khoảng 10-15%. Nếu so với trường hợp sử dụng giải pháp kết cấu bê tông cốt thép thì giải pháp sử dụng kết cấu liên hợp giảm được trọng lượng của công trình khoảng 10-20%, dẫn đến giảm nhẹ được kết cấu móng. Do vậy mặc dù lượng thép sử dụng trong kết cấu liên hợp là nhiều hơn một chút nhưng tổng chi phí xây dựng công trình có thể vẫn giảm; đồng thời tăng nhanh được thời gian thi công để sớm đưa công trình vào sử dụng và quay vòng vốn.

3. Nguyên tắc thiết kế kết cấu liên hợp

3.1. Quy trình thiết kế

Quy trình thiết kế kết cấu liên hợp thép bê tông nhìn chung cũng giống như các loại kết cấu khác, được thực hiện theo các bước chính sau:

- Lựa chọn sơ bộ hình dạng và kích thước của các tiết diện cấu kiện kết cấu chính (bản sàn, dầm, cột, giằng đứng) và cấu tạo nút khung liên kết (khớp, nửa cứng, cứng). Cấu kiện cột cần đảm bảo không được quá mảnh. Bước này được thực hiện chủ yếu dựa vào kinh nghiệm của người thiết kế và kết quả tính toán sơ bộ;

- Tiến hành phân tích hệ kết cấu nhằm xác định nội lực và biến dạng của các cấu kiện kết cấu dầm, cột và nút khung ứng với từng trường hợp tổ hợp tải trọng gây nguy hiểm cho kết cấu công trình. Khi phân tích hệ kết cấu thì bản sàn có thể được tính toán riêng rẽ, nhưng một phần bề rộng của tiết diện bản sàn cần được kể đến để cùng tham gia làm việc với dầm sàn;

- Xác định khả năng chịu lực của các cấu kiện kết cấu đã chọn và kiểm tra theo các trạng thái giới hạn về chịu lực và biến dạng.

3.2. Sàn liên hợp

Sàn liên hợp thường gồm các tấm tôn đặt ở mặt dưới, bên trên nó là lưới cốt thép và bê tông đổ tại chỗ. Tấm tôn được cấu tạo theo nhiều hình dạng khác nhau có các sườn nổi nhằm tăng độ cứng uốn và giảm trọng lượng của bản sàn, tăng khả năng truyền lực giữa bê tông và tấm tôn, ngăn cản chuyển vị ngang của dầm thép trong quá trình lắp dựng. Các chốt liên kết được hàn sẵn với tấm tôn

để tăng khả năng chịu cắt giữa tấm tôn và bản bê tông. Tổng chiều dày của bản sàn liên hợp ≥ 80 mm và có thể đến 180 mm, tùy theo yêu cầu chịu tải trọng và khả năng chịu lửa cho bản sàn. Chiều dày của phần bê tông nằm trên sóng tôn yêu cầu lớn hơn 40 mm để nhằm bảo vệ cốt thép và đảm bảo khả năng chịu lực. Nhịp bản sàn từ 2,5 m đến 4 m hoặc có thể đến 7 m khi có sử dụng các cột trụ chống đỡ trong quá trình thi công.

Sàn liên hợp cần được thiết kế đảm bảo đủ khả năng chịu lực trong suốt giai đoạn thi công và giai đoạn sử dụng khi bê tông đông cứng. Tấm tôn đóng vai trò là ván khuôn trong quá trình thi công cần được tính toán chịu các loại tải trọng do trọng lượng bản thân của bê tông ướt, lưới cốt thép, các thiết bị đổ bê tông và người thao tác,... Sàn liên hợp cần được kiểm tra tại các vị trí nguy hiểm có thể xảy ra phá hoại do mômen uốn lớn nhất, do bị trượt dọc và trượt ngang tại mặt tiếp xúc giữa tấm tôn và bê tông.

3.3. Dầm liên hợp

a. Giải pháp dầm liên hợp đơn giản và liên tục

Giải pháp cấu tạo dầm liên hợp đơn giản do chỉ có mômen dương nên có các ưu điểm sau so với dầm liên hợp liên tục:

- Vùng chịu ứng suất nén dọc trục của bản bụng dầm là rất ít; đồng thời bản cánh nén được liên kết với bản sàn bê tông cốt thép hoặc bản thép; do vậy khả năng chịu lực của dầm không phụ thuộc bởi điều kiện mất ổn định của dầm thép;

- Bản bụng chịu ứng suất nhỏ hơn nên có thể tạo các lỗ ở bản bụng;

- Mômen uốn và lực cắt trong dầm được xác định đơn giản và không ảnh hưởng do bê tông nứt, từ biến và lão hoá;

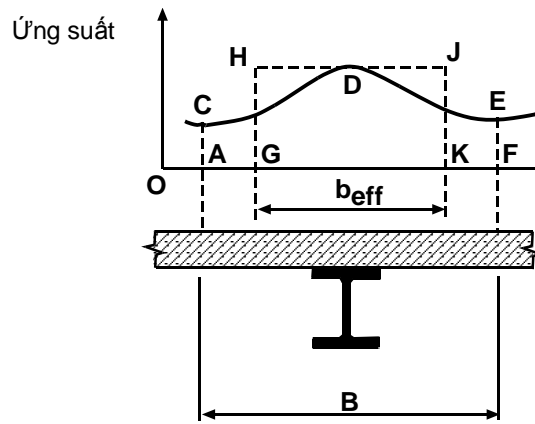
- Bản sàn bê tông hầu như không chịu kéo; mômen trong cột nhỏ hơn nếu có các hệ giằng và vách cứng chịu tải trọng ngang;

- Không có ảnh hưởng giữa các nhịp dầm; phân tích nội lực trong hệ kết cấu nhanh hơn.

Tuy nhiên, dầm liên hợp đơn giản có các nhược điểm sau: độ võng ở giữa nhịp dầm và bề rộng khe nứt ở gối lớn; chiều cao tiết diện dầm yêu cầu lớn hơn.

b. Tiết diện tính toán dầm liên hợp

Tiết diện dầm liên hợp có dạng chữ T gồm tiết diện của dầm thép hình và của bản sàn bê tông cốt thép. Thực tế khi chịu tải trọng, mặt cắt ngang của dầm liên hợp không còn duy trì được phẳng, vì ứng suất nén do mômen uốn phân bố không đều theo bề rộng của phần bản sàn bê tông (hình 3). Do vậy bề rộng tính toán của phần bản sàn bê tông, b_{eff} có thể được xác định theo giả thuyết cân bằng diện tích đa giác ACDEF bằng GHJK và coi như ứng suất lớn nhất phân bố trên toàn bề rộng tính toán b_{eff} . Tỷ số b_{eff}/B có giá trị nhỏ hơn 1, phụ thuộc vào nhịp dầm, điều kiện liên kết ở 2 đầu dầm, loại tải trọng tác dụng,... Bề rộng tính toán b_{eff} ở tiết diện giữa nhịp dầm là lớn hơn so với ở gần gối dầm. Tuy nhiên, để đơn giản trong phân tích tính toán kết cấu, bề rộng b_{eff} cho toàn bộ tiết diện của dầm được lấy giống nhau theo tiết diện ở giữa nhịp đối với dầm có các gối tựa ở hai đầu hoặc theo tiết diện gần gối tựa đối với dầm conxôn.



Hình 3. Bề rộng tính toán dầm liên hợp

Trường hợp có sử dụng tấm tôn sóng định hình (đặt vuông góc với nhịp dầm) thì chỉ kể đến phần bê tông nằm trên sườn của tấm tôn là chịu lực nén, bỏ qua tấm tôn định hình và phần bê tông nằm trong sườn.

c. Phân loại tiết diện dầm liên hợp

Bản bụng và bản cánh nén của dầm thép có thể bị mất ổn định cục bộ, phụ thuộc vào độ mảnh của chúng h_w/t_w và b_{0f}/t_f . Trong thực hành thiết kế, tùy theo cấu tạo tiết diện dầm thép (được bọc bê tông một phần, hoàn toàn, hoặc không bọc bê tông) và tỷ số h_w/t_w và b_{0f}/t_f , tiết diện dầm liên hợp được phân thành 4 loại; tiết diện loại cao nhất là loại 1 có khả năng chống ổn định tốt nhất:

- Tiết diện loại 1: cho phép chảy dẻo hoàn toàn và hình thành khớp dẻo khi tiến hành phân tích dẻo;
- Tiết diện loại 2: cho phép chảy dẻo nhưng với góc xoay chảy dẻo bị hạn chế do bê tông bị vỡ hoặc bản thép bị mất ổn định;
- Tiết diện loại 3: cho phép xuất hiện ứng suất lớn nhất đạt tới giới hạn chảy nhưng tiết diện không được phép chảy dẻo;
- Tiết diện loại 4: cho phép hiện tượng mất ổn định cục bộ xảy ra trước khi ứng suất lớn nhất đạt tới giới hạn chảy.

Ví dụ, khi bản sàn bê tông cốt thép liên kết chắc chắn với bản cánh nén của dầm thép thì bản cánh nén được coi là loại 1. Tuy nhiên trong quá trình thi công thì dầm thép được coi thuộc loại thấp hơn. Khi trục trung hoà dẻo nằm ở bản sàn bê tông hoặc ở bản cánh trên của dầm thép thì bản bụng của dầm thép được coi là loại 1 hoặc loại 2 tương ứng với liên kết chịu cắt là hoàn toàn hoặc không hoàn toàn. Loại tiết diện dầm liên hợp được xác định theo loại thấp hơn của loại bản bụng và bản cánh nén.

d. Phương pháp phân tích xác định nội lực thiết kế

Mômen và lực cắt thiết kế trong dầm liên hợp có thể được xác định theo 1 trong 2 phương pháp phân tích hệ kết cấu: phương pháp phân tích đàn hồi tuyến tính và phương pháp phân tích chảy dẻo.

Phương pháp phân tích đàn hồi tuyến tính được áp dụng cho cả 4 loại tiết diện dầm liên hợp. Trong phương pháp phân tích này yêu cầu cần xác định độ cứng uốn EI tương đối giữa các phần tử kết cấu. Các giá trị khác nhau của EI được sử dụng cho từng trường hợp tải trọng tác dụng, cụ thể: (a) Trong giai đoạn thi công khi kết cấu chưa liên hợp thì chỉ sử dụng độ cứng $E_a I_a$ của riêng thép kết cấu; (b) Trong giai đoạn kết cấu đưa vào sử dụng chịu tải trọng tác dụng dài hạn thì sử dụng độ cứng qui đổi $E_a I$ trong đó mômen quán tính I được xác định từ tiết diện qui đổi sử dụng hệ số mô đun đàn hồi $n = E_a / E_c^*$ với E_c^* là mô đun đàn hồi tính toán của bê tông; và (c) Khi kết cấu chịu tải

trọng thay đổi thì sử dụng hệ số $n_0 = E_a / E_{cm}$ với E_{cm} là môđun cát tuyến của bê tông khi chịu tải trọng ngắn hạn. Các giá trị độ cứng trong trường hợp (b) và (c) thay đổi theo dấu của mômen uốn.

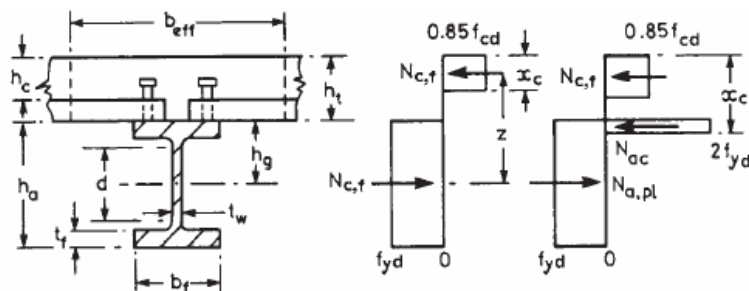
Thực tế theo chiều dài của dầm, bê tông có thể bị nứt hoặc không nứt. Thường bê tông ở các tiết diện gần gối tựa dầm nứt nhiều hơn so với ở các tiết diện giữa dầm. Để đơn giản có thể áp dụng phương pháp phân tích coi bê tông không nứt cho toàn bộ các tiết diện của dầm, rồi sau đó sử dụng hệ số giảm mômen ở các tiết diện gần gối dầm và tương ứng tăng mômen ở tiết diện giữa nhịp dầm để đảm bảo nguyên tắc cân bằng tĩnh.

Phương pháp phân tích dẻo chỉ áp dụng trong trường hợp dầm liên hợp có tiết diện loại 1 tại các vị trí hình thành khớp dẻo và loại 1 hoặc loại 2 ở các tiết diện khác nằm ngoài phạm vi hình thành khớp dẻo. Khả năng xoay dẻo tại khớp dẻo bị hạn chế do bê tông vỡ hoặc thép mất ổn định và phụ thuộc vào kích thước tiết diện, hình dạng biểu đồ quan hệ giữa ứng suất và biến dạng của vật liệu. Cơ chế hình thành khớp dẻo trong hệ kết cấu là một quá trình liên tục. Khi mômen uốn tại một tiết diện lớn hơn mômen uốn dẻo thì tại đó sẽ hình thành khớp dẻo. Khớp dẻo đầu tiên xuất hiện phải đảm bảo duy trì đủ khả năng chịu lực và khả năng biến dạng dẻo cho phép đến khi khớp dẻo cuối cùng hình thành trong hệ kết cấu khảo sát.

Ngoài ra, phương pháp phân tích dẻo chỉ được áp dụng nếu tại vị trí hình thành khớp dẻo các yêu cầu sau được đảm bảo: chuyển vị ngang của bản cánh nén trong phạm vi hình thành khớp dẻo cần được ngăn cản; tiết diện dầm thép cần đảm bảo tính đối xứng qua mặt phẳng bản bụng dầm; khả năng xoay cho phép của khớp dẻo cần đảm bảo và hiện tượng mất ổn định tổng thể của dầm đảm bảo không xảy ra.

e. Xác định khả năng chịu uốn

Đối với tiết diện loại 1 và 2 thì khả năng chịu uốn của dầm liên hợp được xác định theo phương pháp phân tích dẻo với biểu đồ phân bố ứng suất trên tiết diện dầm phụ thuộc vào vị trí của trục trung hoà. Trục trung hoà có thể đi qua bản bụng, bản cánh của dầm thép hoặc đi qua phần bản sàn bê tông. Trong mọi trường hợp thì toàn bộ tiết diện của dầm thép đều được coi là chảy dẻo và đạt tới cường độ chịu kéo và nén của vật liệu thép, kể cả các thớ nằm ngay sát trục trung hoà (hình 4). Ứng suất trong vùng bê tông chịu nén được coi là phân bố đều và đạt đến cường độ tính toán chịu nén của bê tông. Bỏ qua khả năng tham gia chịu lực của vùng bê tông chịu kéo và của tấm tôn khi chịu nén. Liên kết giữa bản sàn và dầm thép được coi là liên kết hoàn toàn. Sử dụng giả thuyết mặt cắt phẳng đối với tiết diện dầm liên hợp. Trong trường hợp liên kết là không hoàn toàn, có nghĩa là số lượng các chốt liên kết sử dụng không đủ và bị chảy dẻo dẫn đến có sự trượt tương đối tại mặt tiếp xúc giữa bản sàn và dầm thép, do vậy cần phải sử dụng thêm các hệ số điều chỉnh để làm giảm khả năng chịu lực của dầm liên hợp. Các biểu thức xác định khả năng chịu mômen uốn của dầm liên hợp tương ứng với các vị trí khác nhau của trục trung hoà được xây dựng từ các điều kiện cân bằng tĩnh cho từng tiết diện.



Hình 4. Biểu đồ phân bố ứng suất pháp trên tiết diện dầm liên hợp

Đối với tiết diện loại 3 và loại 4 thì sử dụng phương pháp phân tích đàn hồi có kể đến ảnh hưởng từ biến của bê tông. Trong thực hành thiết kế để tận dụng hết khả năng làm việc của vật liệu thép thì

tiết diện dầm liên hợp loại 1 và loại 2 thường hay sử dụng, đặc biệt cho các vùng của dầm chịu mômen âm và hình thành khớp dẻo.

f. Xác định khả năng chịu cắt

Thực tế bản sàn bê tông của dầm liên hợp có thể chịu một phần lực cắt. Tuy nhiên rất khó để xác định chính xác phần tham gia chịu lực cắt của bản sàn bê tông vì phụ thuộc vào mức độ làm việc liên tục qua gối tựa, mức độ bê tông bị nứt và chi tiết liên kết bản sàn bê tông với dầm thép. Do vậy để đơn giản coi lực cắt chỉ do dầm thép chịu, bỏ qua tác dụng liên hợp.

3.4. Cột liên hợp

a. Độ cứng uốn tương đương

Độ cứng uốn tương đương của tiết diện cột liên hợp được xác định từ tổng độ cứng thành phần của thép kết cấu, cốt thép và bê tông cùng tham gia chịu lực:

$$(EI)_{eff} = E_a I_a + E_s I_s + K_c E_{c,eff} I_c$$

$$E_{c,eff} = E_{cm} / (1 + \varphi_t N_{G,Ed} / N_{Ed})$$

Trong đó E là môđun đàn hồi của vật liệu; I là mômen quán tính của tiết diện thành phần; E_{cm} là môđun đàn hồi ngắn hạn trung bình của bê tông; N_{Ed} là lực dọc trục thiết kế; $N_{G,Ed}$ là phần dài hạn của N_{Ed} ; K_c và φ_t là các hệ số xét đến từ biến của bê tông.

b. Độ mảnh tương đương

Độ mảnh tương đương của cột liên hợp được xác định theo công thức:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{N_{pl,Rk} / N_{cr}}$$

$$N_{pl,Rk} = A_a f_y + A_s f_{sk} + 0,85 A_c f_{ck}$$

$$N_{cr} = \pi^2 (EI)_{eff} / L^2$$

Trong đó f_y và f_{sk} là cường độ chảy tiêu chuẩn của thép kết cấu và cốt thép; f_{ck} là cường độ nén tiêu chuẩn ở 28 ngày của bê tông; N_{cr} là lực nén đàn hồi tới hạn; L là chiều dài giữa 2 điểm ngăn cản chuyển vị ngang của cột.

c. Phương pháp phân tích xác định nội lực thiết kế

Nội lực thiết kế trong cột thường được xác định theo phương pháp phân tích đàn hồi tuyến tính có xét đến các ảnh hưởng tương tác P- Δ (second-order effect) và do sai lệch kích thước hình học (imperfection effect), làm tăng mômen uốn và biến dạng trong cột. Độ sai lệch kích thước hình học được biểu diễn bởi độ lệch tâm e_0 .

Tiêu chuẩn Châu Âu [1] bao gồm hai phương pháp thiết kế cho cột liên hợp: phương pháp thiết kế "chính xác" và phương pháp thiết kế đơn giản.

Phương pháp "chính xác" được thực hiện qua việc sử dụng các chương trình phân tích kết cấu có xét trực tiếp đến các ảnh hưởng nêu trên. Phương pháp phân tích này cho kết quả tính toán có độ tin cậy khá cao và được áp dụng tốt cho tất cả các trường hợp cột liên hợp có tiết diện không đổi hoặc thay đổi và có tiết diện đối xứng hoặc không đối xứng. Tuy nhiên phương pháp này yêu cầu khối lượng dữ liệu tính toán lớn và chỉ áp dụng trong các trường hợp rất đặc biệt.

Đối với phương pháp đơn giản thì các ảnh hưởng tương tác P- Δ và do sai lệch kích thước hình học chỉ được kể đến một cách gián tiếp thông qua việc sử dụng các hệ số điều chỉnh. Đây là phương pháp hay được sử dụng trong thực hành thiết kế, mặc dù phạm vi áp dụng của phương pháp này chỉ hạn chế cho một số trường hợp như khi cột liên hợp có tiết diện không đổi và đối xứng, tiết diện thép kết cấu định hình hoặc tổ hợp hàn, cột có độ mảnh không quá lớn (độ mảnh tương đương $\bar{\lambda} < 2$) và không có yêu cầu gì đặc biệt trong thiết kế.

Mômen thiết kế của cột liên hợp trong phương pháp đơn giản được xác định theo công thức sau (hình 5):

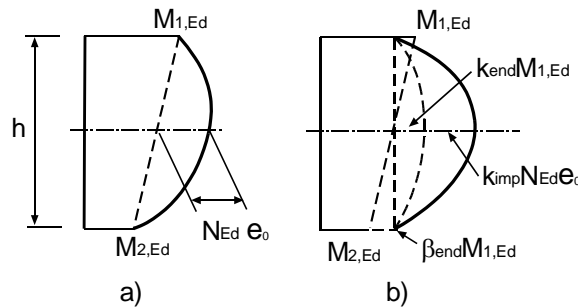
$$M_{Ed} = k_{end} M_{1,Ed} + k_{imp} N_{Ed} e_0$$

$$k_{end} = \beta_{end} / (1 - N_{Ed} / N_{cr,eff})$$

$$\beta_{end} = 0,66 + 0,44(M_{2,Ed} / M_{1,Ed}) \geq 0,44$$

$$k_{imp} = 1 / (1 - N_{Ed} / N_{cr,eff})$$

Trong đó N_{Ed} và $M_{1,Ed}$ là lực dọc trục và mômen uốn lớn hơn ở 2 đầu cột; k_{end} và k_{imp} là các hệ số xét đến ảnh hưởng tương tác P- Δ ($k_{end} < 1$) và do sai lệch kích thước hình học ($k_{imp} > 1$).



Hình 5. a) không kể ảnh hưởng P- Δ ; b) có kể ảnh hưởng P- Δ

Ảnh hưởng tương tác P- Δ có thể bỏ qua ($k_{end} = 0$) khi $N_{cr,eff} \geq 10N_{Ed}$ (hình 5a).

d. Xác định khả năng chịu lực

Khả năng chịu lực của cột liên hợp được xác định dựa trên những giả thiết sau:

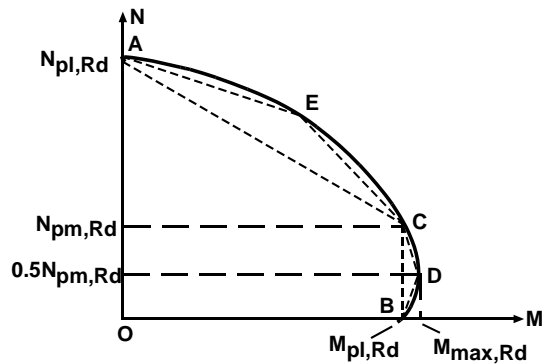
- Tương tác qua lại giữa thép kết cấu và bê tông được coi là hoàn toàn và chúng cùng làm việc như một hệ thống nhất cho đến khi cột liên hợp bị phá hoại. Có nghĩa là coi ma sát và các chi tiết chốt neo đặt tại mặt tiếp xúc giữa thép kết cấu và bê tông đủ để ngăn cản lực trượt tương đối giữa chúng;

- Mặt cắt ngang của cột liên hợp khi bị biến dạng được coi là phẳng; điều này cũng tương tự như tính toán đối với các cấu kiện thép kết cấu và bê tông cốt thép;

- Các điều kiện về ổn định cục bộ của các bản thép đối với thép kết cấu được coi là thỏa mãn khi tuân thủ các yêu cầu về cấu tạo.

Để đơn giản trong thiết kế, khả năng chịu nén uốn một phương của cột liên hợp được xác định dựa theo đường cong khả năng chịu lực, được xây dựng trên cơ sở tổng hợp khả năng chịu lực của 3 phần liên hợp: thép kết cấu, bê tông và cốt thép. Đối với từng phần và tùy theo từng trường hợp thì hệ số an toàn sử dụng là khác nhau. Hình 6 mô tả cách thiết lập đường cong xác định khả năng chịu lực của cột liên hợp chịu lực nén và mômen uốn theo một phương.

Điểm A và B được xác định tương ứng với 2 trường hợp riêng biệt khi tiết diện cột chỉ chịu lực nén dọc trục hoặc chịu mômen uốn thuần túy: điểm A có khả năng chịu nén là $N_{pm,Rd}$ và điểm B có khả năng chịu uốn là $M_{pm,Rd}$. Điểm C được xác định có cùng khả năng chịu mômen uốn với điểm B, nhưng có khả năng chịu nén chỉ bằng khả năng chịu nén của riêng phần bê tông bao bọc là $N_{pm,Rd}$. Điểm D có khả năng chịu mômen uốn là lớn nhất được xác định từ tổng hợp của 3 phần riêng rẽ (thép kết cấu, bê tông và cốt thép) và khả năng chịu nén bằng $0,5N_{pm,Rd}$. Điểm E nằm trung gian giữa điểm A và C nên có thể coi nằm trên đường thẳng AC trong trường hợp tiết diện cột có dạng chữ H được bọc bê tông và chịu uốn quanh trục chính.



Hình 6. Đường cong xác định khả năng chịu lực của cột liên hợp chịu nén uốn một phương

3.5. Nút khung liên hợp

Nút khung liên hợp là nút liên kết giữa các cấu kiện kết cấu dầm và cột của khung liên hợp. Tùy theo giải pháp cấu tạo, nút khung liên hợp phân loại theo độ cứng có các loại nút liên kết cứng, nửa cứng hoặc khớp; và theo cường độ có các loại nút chịu toàn bộ mômen, chịu một phần mômen hoặc không chịu mômen (liên kết khớp). Như vậy, trong trường hợp nút liên kết cứng và chịu toàn bộ mômen thì tại đầu các cấu kiện dầm cột liên kết vào nút đều có góc xoay bằng nhau.

Nút khung liên hợp thực tế làm việc khá phức tạp và ngay cả khi cấu tạo nút khung là cứng và chịu toàn bộ mômen thì đều bị biến dạng. Việc nút khung bị biến dạng sẽ ảnh hưởng đáng kể đến phân bố nội lực và biến dạng của toàn hệ kết cấu. Để đơn giản trong thực hành tính toán kết cấu, biến dạng của nút khung thường được bỏ qua. Do vậy nút khung cần được thiết kế đảm bảo yêu cầu về độ cứng, khả năng chịu lực và góc xoay cho phép (biến dạng xoay đàn hồi và dẻo cho phép). Khả năng chịu lực của nút khung thường được thiết kế lớn hơn (ít nhất khoảng 50%) khả năng chịu lực của những cấu kiện kết cấu dầm và cột được liên kết vào nút.

4. Kết luận

Đặc điểm cấu tạo của giải pháp cấu kiện kết cấu liên hợp theo tiêu chuẩn Châu Âu đã được tổng quan cùng với các nguyên tắc cơ bản trong tính toán và thiết kế. Thông qua phân tích các ưu điểm, bài viết đã chỉ ra tiềm năng ứng dụng cao của giải pháp này trong việc xây dựng công trình nhà cao tầng nhằm đáp ứng những yêu cầu cấp thiết trong công cuộc phát triển đô thị hoá ở nước ta. Tuy nhiên, các nghiên cứu cụ thể cần phải tiến hành nhằm xây dựng nên tiêu chuẩn thiết kế hữu hiệu để áp dụng một cách hiệu quả cho các công trình thực tế cả về mặt an toàn, công năng, kinh tế và tính thẩm mỹ. Bên cạnh đó, các hướng dẫn chi tiết kèm theo cần được xây dựng sao cho phù hợp với điều kiện của Việt Nam, như là: vật liệu xây dựng, chi tiết cấu tạo kết cấu, tải trọng tác dụng, công nghệ thi công. Đặc biệt, đây là giải pháp công nghệ mới và có tiềm năng ứng dụng rộng rãi ở nước ta nên rất cần được đào tạo tại các trường đại học chuyên ngành hoặc tại các khóa tập huấn nghề nghiệp nhằm góp phần xây dựng nên nguồn kỹ sư chất lượng cao đáp ứng được các đòi hỏi thực tế của sự phát triển.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. PHẠM VĂN HỘI, "Kết cấu liên hợp thép bê tông dùng trong nhà cao tầng". NXB KHKT, Hà Nội, 2006.
2. Eurocode 4. Design of composite steel and concrete structures: Part 1-1: General rules and rules for buildings, UK, 2005.