

Nghiên cứu giải pháp kết cấu và công nghệ chế tạo dầm bê tông dự ứng lực tiết diện chữ T nhịp lớn 50 m

■ **TS. PHÙNG BÁ THẮNG; PGS. TS. ĐẶNG GIA NÀI**

Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

■ **TS. ĐẶNG VIỆT ĐỨC**

Trường Đại học Thủy Lợi

TÓM TẮT: Bài báo trình bày nghiên cứu đề xuất giải pháp kết cấu và công nghệ chế tạo dầm bê tông dự ứng lực (DUL) khẩu độ lớn nhịp 50 m tiết diện chữ T trên cơ sở cải tiến dầm định hình bê tông DUL truyền thống. Kết cấu sử dụng tiết diện chữ T, bổ sung cốt cứng là bản thép bố trí vùng nén, sử dụng cốt thép DUL ngoài. Công nghệ chế tạo dầm được chia thành các đợt cho phép phân bố cáp DUL hợp lý.

TỪ KHÓA: Dầm bê tông dự ứng lực, công nghệ chế tạo, dầm bê tông cốt cứng, dự ứng lực ngoài.

ABSTRACT: The paper presents a proposal of structural solution and manufacturing technology of long prestressed concrete beams with a span of 50 m in T-section on the basis of the improvement of the traditional prestressed concrete beam. The T-section structure was added to the steel plate arranged in the compression zone and employed external prestressing tendons. The beam fabrication technology is divided into segments to allow a reasonable distribution of prestressed cable.

KEYWORDS: Prestressed concrete beam, fabrication technology, steel plate concrete beam, external prestressing.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Kết quả nghiên cứu về "cải tiến kết cấu hạ thấp chiều cao dầm bê tông DUL định hình chữ I" được trình bày trong [1,2], trong đó nghiên cứu đã đi sâu phân tích đặc điểm kỹ thuật về cấu tạo mặt cắt hình học và công nghệ chế tạo. Đặc biệt, yếu tố tổ chức thi công loại dầm I theo 2 giai đoạn, trong đó việc thi công đổ sau bản mặt cầu là nguyên nhân trực tiếp làm giảm khả năng dự trữ lượng DUL trong dầm, làm cho dầm có chiều cao lớn hơn.

Nhằm hạn chế đặc điểm kỹ thuật bất lợi trên, tham khảo các công nghệ của Công ty Kurosawa [3], trong nghiên cứu đã đưa ra hai giải pháp: giải pháp cấu tạo bổ sung thêm các cốt bản thép tại khu vực chịu nén (trên trục trung hòa) của dầm bê tông DUL định hình chữ I và giải pháp mở rộng ngang 2 cánh bầu trên của dầm để biến mặt cắt dạng I thành T. Với việc cấu tạo dạng dầm chữ T sẽ loại

trừ được yếu tố hạn chế thi công dầm I theo hai giai đoạn (căng kéo dầm trên mặt đất và tiếp theo là đổ bê tông bản mặt cầu dày 20 cm). Với dầm dạng T, công nghệ chế tạo dầm chỉ diễn ra 1 lần trên mặt đất, qua đó sẽ loại trừ được yếu tố giảm lượng dự trữ DUL trong dầm. Với việc bổ sung cốt bản thép tại khu vực chịu nén, trục trung hòa sẽ được nâng cao làm tăng hiệu quả của cốt thép DUL.

Trên *Bảng 1.1* và *1.2* thể hiện các kết quả nghiên cứu về thay đổi hạ thấp chiều cao dầm khi cải tiến về tăng cường cốt bản thép và hình dạng dầm theo từng cấp độ bê tông sử dụng.

Bảng 1.1. Chiều cao dầm I 33 m thay đổi theo cấp độ bê tông

Cấp bê tông f'c (MPa)	40	45	50	55	60
Chiều cao dầm I 33 m cải tiến (mm)	1760	1710	1660	1600	1550
Chiều cao dầm định hình I 33 m (mm)	1850	1850	1850	1850	1850
Mức hạ thấp (mm)	90	140	190	250	300

Bảng 1.2. Chiều cao dầm T 33 m thay đổi theo cấp độ bê tông

Cấp bê tông f'c (MPa)	40	45	50	55	60
Chiều cao dầm T 33m cải tiến (mm)	1650	1580	1530	1480	1440
Chiều cao dầm định hình I 33 m (mm)	1850	1850	1850	1850	1850
Mức hạ thấp (mm)	200	270	320	370	410

2. NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO DẦM BÊ TÔNG DUL MẶT CẮT CHỮ T KHẨU ĐỘ LỚN 50 M

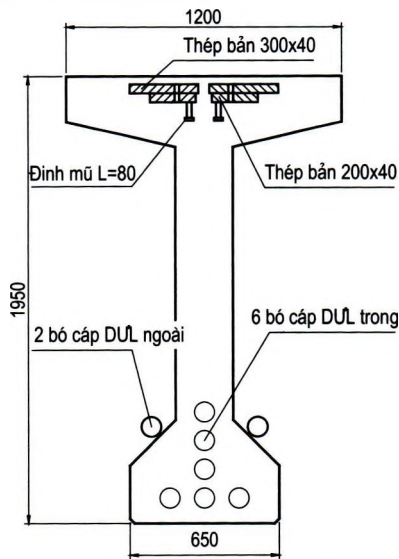
Qua phân tích ở mục 1 có thể thấy dạng dầm chữ T có các ưu điểm về chịu lực và trong quá trình chế tạo dầm, các bước vận hành công nghệ không quá phức tạp. Ngoài ra, kiểu dầm dạng T (khẩu độ 24 m và 33 m) của Liên Xô cũ đã được sử dụng nhiều ở nước ta trong những năm thập kỷ

1980 đến trước 1995. Vì vậy, các nhà thầu tư vấn và xây lắp trong nước sẽ thuận lợi trong quá trình nắm bắt và làm chủ công nghệ.

2.1. Nguyên lý cấu tạo kết cấu dầm T 50M

2.1.1. Kích thước hình học mặt cắt dầm

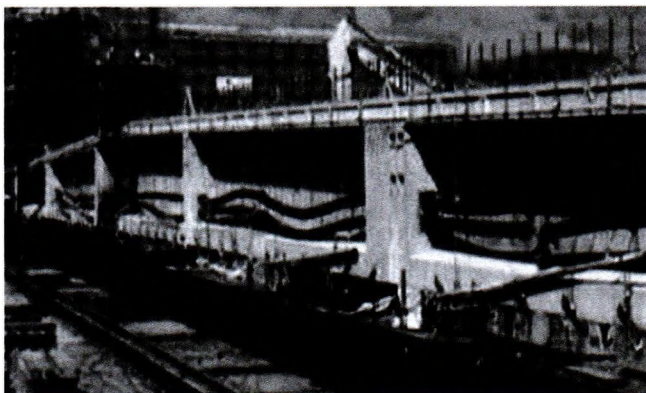
Kích thước hình học dầm T 50 m dựa trên các thông số hình học dầm định hình I 42 m hiện đã và đang được sử dụng, theo đó bầu trên, bầu dưới, chiều dày sườn dầm... vẫn sẽ được giữ nguyên. Việc giữ nguyên các thông số hình học mặt cắt tiết diện dầm định hình I 42 m thực sự có ý nghĩa về mặt thực tiễn vì khi chế tạo dầm T 50 m, hệ thống trang thiết bị công nghệ của dầm định hình I 42 m sẽ tiếp tục được sử dụng mà không phải bỏ đi gây lãng phí. Bầu trên được mở rộng ra hai phía với độ lớn 1,2 m so với 0,8 m của dầm I định hình truyền thống. Cấu tạo khác ở mặt cắt dầm truyền thống cũng được loại bỏ vì không tồn tại phần kết cấu BMC đổ trên (Hình 2.1).



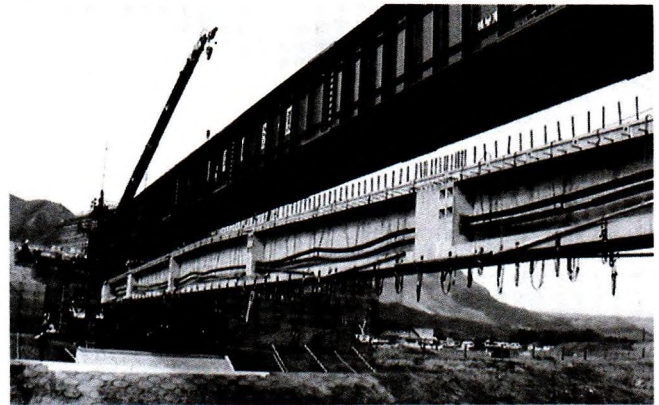
Hình 2.1: Sơ đồ cấu tạo dầm T 50 m

2.1.2. Kết hợp bố trí bó cáp DUL trong và kết cấu DUL ngoài

Việc tăng chiều dài nhịp làm tăng nội lực trong dầm, do đó cần thiết phải tăng số lượng bó cáp DUL. Số lượng bó cáp DUL tăng trong khi kích thước tiết diện dầm gần như không thay đổi sẽ là yếu tố bất khả thi trong việc bố trí cấu tạo bó cáp trong lòng tiết diện dầm. Do vậy, cần sử dụng giải pháp kết cấu DUL ngoài (Hình 2.2).



a)



b)

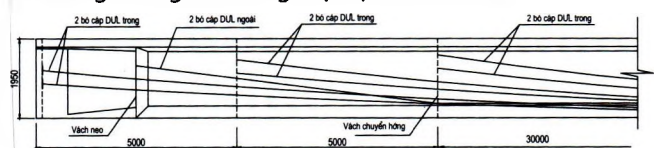
a) - Giai đoạn dầm trên bệ đúc; b) - Giai đoạn dầm được đưa lên móng trụ (chưa căng DUL ngoài)

Hình 2.2: Hình ảnh dầm có cấu tạo kết cấu DUL ngoài [3]

- Số lượng bó cáp DUL trong được bố trí trong lòng tiết diện dầm có tổng lực căng đáp ứng yêu cầu chịu mô-men uốn, chủ yếu do tải trọng bản thân dầm (tĩnh tải 1).

- Số lượng bó cáp DUL ngoài đáp ứng yêu cầu chịu phần mô-men uốn do hoạt tải và phần tĩnh tải 2 (bản mặt cầu và một số kết cấu tiện ích trên cầu trong giai đoạn khai thác). Số lượng bó cáp DUL ngoài thường được chọn từ 1 - 2 bó mỗi bên thân dầm. Bó cáp DUL ngoài được bố trí theo nguyên tắc đối xứng qua trục tim dọc dầm.

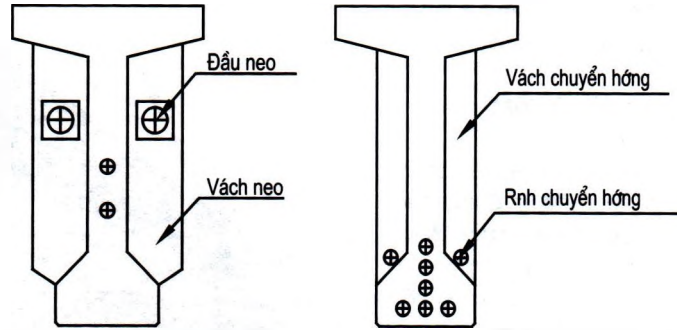
- Sau khi hoàn thành công tác căng kéo bó cáp DUL trong trên bệ đúc dầm (đặt trên mặt đất), dầm sẽ được đưa lên móng trụ cầu. Tại đây, công tác căng kéo các bó DUL ngoài sẽ được thực hiện. Với cách triển khai công tác căng kéo như vậy sẽ không làm giảm độ dự trữ DUL trong dầm, qua đó làm gia tăng khả năng chịu lực của dầm [1].



Hình 2.3: Bố trí cáp DUL trong dầm T 50 m

Trong giai đoạn chế tạo dầm hệ cáp DUL trong được căng kéo với quy mô 6 bó 10 tao T15 (đường kính danh định 15,2 mm). Quy mô cáp DUL dựa trên cơ sở tích lũy đủ mức ứng suất trước vào dầm chủ, đảm bảo khả năng chịu lực cho dầm trong tất cả các giai đoạn thi công. Trong 6 bó sẽ được bố trí và căng kéo ứng với 3 phân kỳ thi công bê tông dầm: 2 bó cho phân kỳ đổ cốt dầm 30 m, 2 bó cho phân kỳ đổ 2 phân đợt 5 m kế tiếp mỗi đầu và 2 bó cho 2 phân đợt 5 m kế tiếp sau cùng (Hình 2.3).

- Lực nén của hệ DUL ngoài truyền vào dầm thông qua hệ vách neo và vách chuyển hướng, được sơ họa như trong Hình 2.4. Tại vách neo, đầu neo của cặp bó cáp DUL - ngoài nên được đặt gần trục trung hòa vì vị trí này có mô-men do tải trọng thiết kế khá nhỏ nên không đòi hỏi phải có thành phần mô-men lệch tâm gây ra với hệ ứng suất trước cân bằng lại. Tuy nhiên, tại vị trí chuyển hướng rãnh luồn cáp nên được bố trí ở mức thấp nhất có thể nhằm tạo nên thành phần mô-men do hệ ứng lực ngoài đặt lệch tâm gây ra ở mức lớn nhất trong khu vực giữa dầm.

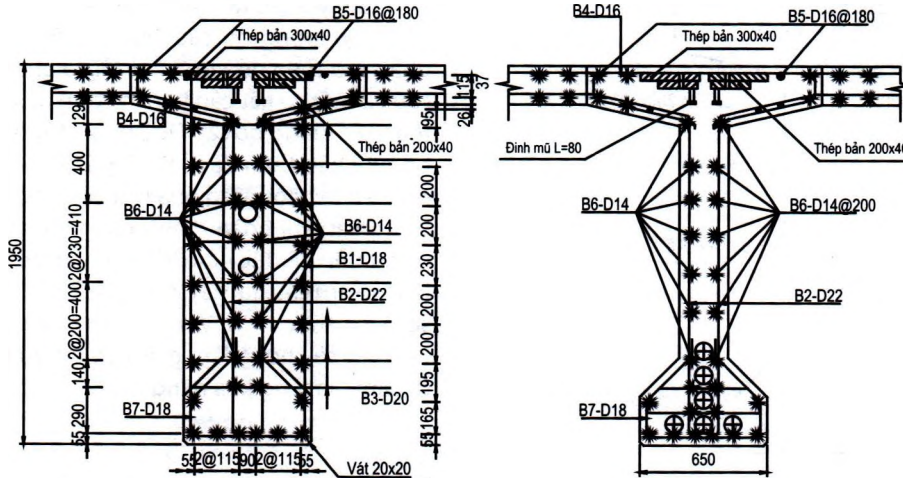


Hình 2.4: Mặt cắt vị trí vách neo và vách chuyển hướng của hệ thống DUL-ngoài

2.1.3. Cấu tạo bổ sung cốt bản thép

Cốt bản thép được bố trí ở phần diện tích bầu trên. Việc bố trí cấu tạo cốt bản thép dựa trên ý tưởng tăng diện tích chịu nén khu vực phía trên trục trung hòa.

Bản thép tăng cường được thiết kế cấu tạo với sự tương thích và phù hợp với thiết kế cấu tạo của cốt thép thường (Hình 2.5). Một trong những yêu cầu quan trọng trong thiết kế cấu tạo bản thép là phải có được sự làm việc liên hợp với bê tông. Để thỏa mãn yêu cầu này, bản thép sẽ được cấu tạo để hàn vào hệ cốt đai, đồng thời trên bản thép cũng được cấu tạo thêm các đỉnh neo có mũ để tăng hiệu ứng liên hợp.

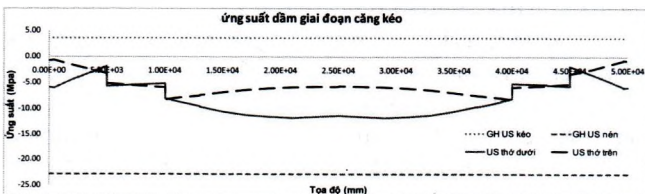


Hình 2.5: Phương án thiết kế cấu tạo cốt thép thường và cốt bản thép

2.2. Tính toán dầm bê tông DUL khẩu độ lớn T 50 m

2.2.1. Phân tích sự làm việc của dầm T 50 m

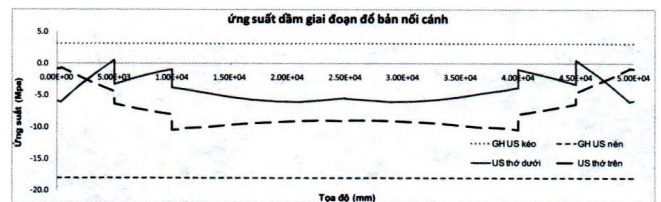
Phân tích số được thực hiện với phần mềm Midas/Civil 2019 [4]. Kết quả tính toán phân bố ứng suất thớ trên và dưới của dầm trong giai đoạn căng kéo cấp DUL cho dầm khi ở trên bệ - giai đoạn I (Hình 2.6). Có thể nhận thấy, với giải pháp neo các bó cấp DUL theo các phân đốt dầm, phân bố ứng suất nén trong dầm đã hợp lý hơn, tránh được tình trạng có phân bố ứng suất nén quá lớn ở khu vực đầu dầm.



Hình 2.6: Phân bố ứng suất thớ trên và dưới dầm cái tiến T 50m giai đoạn I

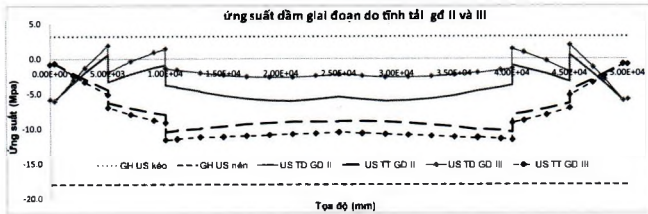
Ở trong giai đoạn 2, dầm chịu thêm tải trọng phần bê tông tươi bản mặt cầu, phân bố ứng suất thay đổi từ mức

khoảng -12 Mpa xuống còn xấp xỉ -6 Mpa, mức thay đổi khoảng 6 Mpa (Hình 2.7). Mức thay đổi này vẫn nhỏ hơn đáng kể so với sự thay đổi đối với trường hợp dầm đổ bản trên. Nguyên nhân của sự khác biệt này là tính tải của bê tông dầm T 50 m nhỏ hơn so với trường hợp dầm I 50 m, đồng thời dầm T 50 m có giá trị mô-men quán tính của mặt cắt dầm lớn hơn so với I 50 m.



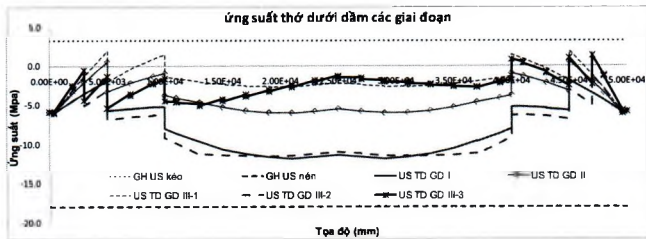
Hình 2.7: Phân bố ứng suất thớ trên và dưới dầm DUL giai đoạn làm việc II

Khi hoàn hiện các bộ phận tiện ích của kết cấu nhịp phục vụ khai thác, ứng suất thớ dưới của dầm chịu lực tiếp tục giảm ứng suất nén tích lũy xuống còn mức lớn nhất khu vực giữa dầm xấp xỉ -3 Mpa, mức giảm gây ra bởi phần tính tải 2 này xấp xỉ 3 Mpa (Hình 2.8).



Hình 2.8: Thay đổi ứng suất trong dầm khi thi công phần tiện ích mặt cầu

Kết quả khảo sát về phân bố ứng suất thứ dưới của dầm qua các giai đoạn thi công như căng kéo DUL trên bệ, thi công bản mặt cầu, thi công các tiện tích của kết cấu nhịp, căng kéo bổ sung hệ DUL-N và giai đoạn chịu đầy đủ các tải trọng thiết kế trong giai đoạn khai thác được thể hiện qua các biểu đồ trong Hình 2.9. Sau khi căng kéo bổ sung 2 bó DUL-N cho mỗi dầm, ứng suất thứ dưới của dầm T50 m thay đổi từ xấp xỉ -3 Mpa đến -12 Mpa, mức ứng lực nén bổ sung thêm là xấp xỉ 9 Mpa vào vị trí thứ dưới giữa dầm.



Hình 2.9: Phân bố ứng suất thứ dưới dầm T 50 m bản đổ ngang qua các giai đoạn

Khi tính toán với đầy đủ tải trọng thiết kế cho khai thác, ở khu vực thứ dưới giữa dầm không có phân bố ứng suất kéo. Phân bố ứng suất trong dầm khi chịu đầy đủ mức tải thiết kế là tương đối đồng đều, không có vị trí nào có sự phân bố ứng suất lớn đột biến, chứng tỏ sự phù hợp về giải pháp bố trí cáp DUL trong theo các phân đốt dầm được thi công tuần tự và bố trí hệ DUL-N ở thời điểm sau hoàn thiện kết cấu nhịp dầm.

Kết quả khảo sát cũng cho thấy tải trọng HL93 sẽ gây ra phân bố ứng suất kéo lớn nhất ở thứ dưới dầm chịu lực là xấp xỉ 10 Mpa, lớn hơn một chút mức nén tạo nên bởi hệ thống DUL-N cấu tạo cho mỗi dầm. Để tăng độ an toàn cho dầm có thể tăng thêm số lượng tao cáp của mỗi bó cáp DUL-N.

2.2.2. Kết quả tính toán dầm T 50 m

Bảng 2.1 là kết quả tính toán chiều cao dầm ứng với các cấp bê tông: $f'c = 40, 45, 50, 55$ và 60 (Mpa).

Bảng 2.1. Chiều cao dầm T50 m tương ứng với các cấp bê tông

Cấp bê tông (Mpa)	40	45	50	55	60
Chiều cao dầm T 50m (mm)	1950	1870	1790	1710	1630
Chiều cao dầm định hình I 42m (mm)	2100	2100	2100	2100	2100
Mức hạ thấp (mm)	150	230	310	390	470
Độ võng	39,96	42,04	44,68	48,28	52,67
L/800 (mm)	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5
Kiểm tra độ võng	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt

Qua Bảng 2.1 có thể thấy, với cấp bê tông 40 Mpa, chiều cao dầm T 50 m còn thấp hơn so với dầm định hình I 42 m, chênh nhau 15 cm. Như vậy, đã có sự cải thiện đáng kể về cả chiều dài lẫn chiều cao của dầm. Chiều cao của dầm còn

có thể được tiếp tục hạ xuống khi áp dụng cấp bê tông cao hơn, cụ thể cứ mỗi cấp tăng 5 Mpa của cấp bê tông thiết kế thì chiều cao dầm T 50 m sẽ hạ thấp thêm 8 cm.

3. ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO DẦM
3.1. Giải pháp phân chia đốt dầm

Do dầm có chiều dài khẩu độ lớn 50 m nên công tác căng kéo bằng kích đối với các bó cong lực căng sẽ mất mát đáng kể do ma sát. Vì vậy, kiến nghị công nghệ chế tạo dầm theo nguyên tắc chia thành nhiều đốt ngắn và căng liền kết các đốt trực tiếp trên bệ. Việc kết cấu dầm chia thành nhiều đốt sẽ tạo điều kiện điều chỉnh chiều dài bó cáp, số lượng bó cáp phù hợp sơ đồ mô-men thay đổi giảm dần từ vị trí giữa dầm đến đầu dầm. Trên cơ sở trình độ khoa học công nghệ và năng lực trang thiết bị hiện nay ở trong nước có thể chia các dầm bê tông DUL khẩu độ lớn thành 5 đốt hoặc 3 đốt. Giải pháp chia 5 đốt của dầm T 50 m là 5+5+30+5+5 (m); giải pháp chia 3 đốt là 5+40+5 (m). Các đốt sẽ được căng liền kết sau khi bê tông đạt yêu cầu thiết kế. Các mối nối liền kết không cần thiết phải sử dụng khóa chống cắt.

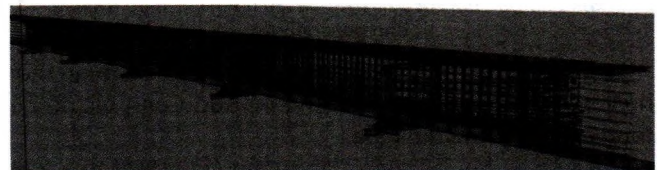
3.2. Trình tự các bước công nghệ

Trình tự các bước thi công được thực hiện theo các bước dưới đây, minh họa với các hình vẽ được thực hiện với công cụ hỗ trợ là phần mềm Tekla [5].

- Bước 1: Thi công bệ đúc, trong đó cần tính toán móng bệ đáp ứng yêu cầu chịu lực do tính tải bản thân của các đốt dầm tác dụng. Quy mô chiều dài bệ phải lớn hơn chiều dài nhịp ($L_{bè} > L_{nhịp}$).

- Bước 2: Chuẩn bị thi công đổ bê tông đốt giữa trên bệ đúc.

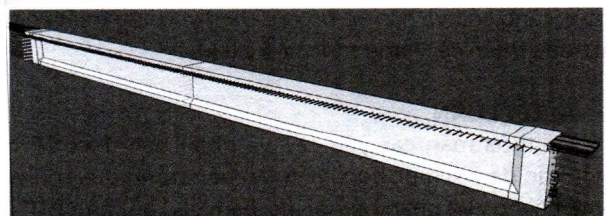
Ngoài công tác ván khuôn, cốt thép thường, ống ghen cần chuẩn bị bản thép dùng làm cốt cứng để đưa vào trong phạm vi diện tích bầu dầm nằm phía trên trục trung hòa. Bản thép được cố định vào cốt thép đã lắp dựng trước đó trên suốt chiều dài đốt. Khi cắt bản thép ở các vị trí mối nối tiếp cần xác định phần cắt thừa ra hai phía ngoài bề mặt đầu dầm để có thể tiếp tục hàn nối bản thép cho các đốt tiếp theo (Hình 3.1).



Hình 3.1: Giai đoạn chuẩn bị trước khi đổ bê tông

- Bước 3: Đổ bê tông đốt giữa (Hình 3.2).

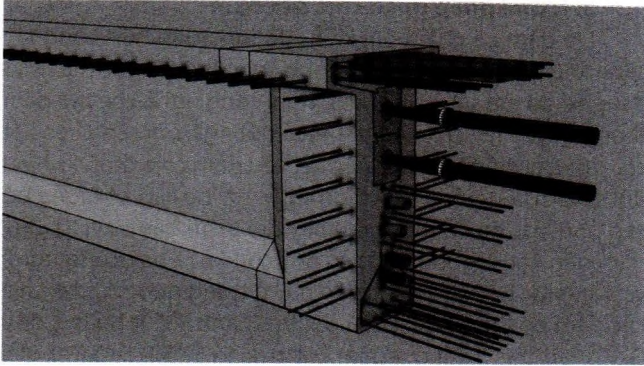
Công tác đổ bê tông đốt giữa được thực hiện sau khi hoàn thành các công đoạn thi công theo quy định của chỉ dẫn thiết kế.



Hình 3.2: Đốt giữa sau khi đổ bê tông

- **Bước 4:** Căng kéo bó cáp DUL đốt giữa (Hình 3.3).

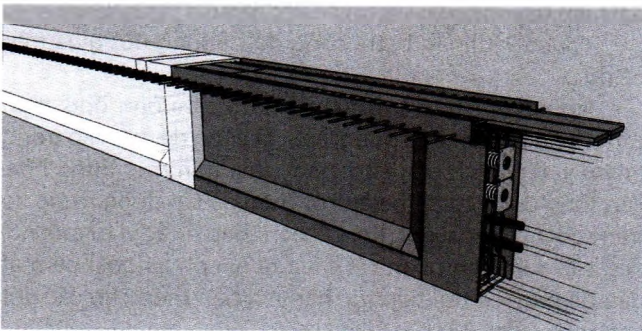
Khi bê tông đạt cường độ (>80% của R28 ngày) tiếp tục căng kéo cáp đốt dầm theo yêu cầu thiết kế (có thể đặt kích căng cả 2 đầu như cách thức căng dầm truyền thống). Bơm vữa lấp lòng bó cáp đốt giữa.



Hình 3.3: Căng kéo cáp DUL đốt giữa

- **Bước 5:** Công tác hàn tấm bản thép và chuẩn bị thi công các đốt liên kế (Hình 3.4).

Công tác hàn tấm bản thép để nối dài cho các đốt liên kế được tiến hành đồng thời với công tác dựng cốt thép trong lòng ván khuôn của các đốt liên kế. Việc làm đồng thời sẽ tạo thuận lợi trong việc định vị ổn định tấm thép bản vào mạng cốt thép thường đã được lắp dựng theo đúng quy định của thiết kế; tiếp tục nối các ống ghen cho các đốt liên kế.



Hình 3.4: Hàn nối cốt bản thép và lắp dựng cốt thép thường, ống ghen, nối cáp

- **Bước 6:** Thi công đổ bê tông các đốt liên kế đồng thời hoặc tuần tự từng đốt trên cùng bề dúc. Công tác đổ bê tông tương tự như đốt giữa.

- **Bước 7:** Khi bê tông đạt cường độ (>80% của R28 ngày) tiếp tục căng kéo các phân đốt liên kế theo yêu cầu thiết kế. Sau khi hoàn thành công tác căng kéo, tiếp tục bơm vữa lấp lòng bó cáp.

- **Bước 8:** Đưa dầm lên mố trụ cầu (có thể sử dụng các thiết bị cẩu, lao lắp truyền thống). Tiếp tục luồn bó cáp DUL ngoài, căng kéo và bảo vệ bó cáp theo yêu cầu thiết kế sau khi hoàn thiện các hạng mục tiện ích khác.

4. KẾT LUẬN

Để thỏa mãn các yêu cầu về phân tích thiết kế, giữ chiều cao dầm ở mức hợp lý, thuận tiện trong quá trình thi công, hài hòa về phân bố nội lực, dầm cầu bê tông DUL 50 m mặt cắt dạng T bố trí thêm thép tấm ở vùng nền và cáp

DUL ngoài. Trong quá trình chế tạo, dầm có thể được chia làm 3 hoặc 5 đốt cho phép phân bố cáp DUL hợp lý, tiết kiệm vật liệu.

Với cấp bê tông thiết kế 40 Mpa chiều cao dầm T 50 m chỉ 195 cm, còn thấp hơn so với dầm định hình I 42 m (210 cm). Như vậy, đã có sự cải thiện đáng kể về chiều cao của dầm.

Trong thực tiễn thiết kế - xây dựng cầu Việt Nam với sông từ cấp 4, khả năng áp dụng dạng kết cấu nhịp dầm bê tông DUL mặt cắt I hoặc T là rất hạn chế do chiều dài tối đa là 33 m, hiện nay là 42 m. Khi áp dụng dạng kết cấu dầm hộp nhịp liên tục với giải pháp đổ bê tông tại chỗ, giá thành công trình và thời gian thi công bị tăng lên đáng kể. Việc áp dụng kết cấu nhịp dầm T 50 m cải tiến sẽ khắc phục được những tồn tại như đã nêu, tận dụng những thế mạnh và khắc phục những nhược điểm của dạng kết cấu nhịp dầm thiết kế định hình 33 m và 42 m.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Đặng Việt Đức, Phùng Bá Thắng, Đặng Gia Nãi (2020), *Một số kết quả về cải tiến kết cấu và tính toán trong nghiên cứu hạ tầng chiều cao dầm bê tông cốt thép DUL định hình chữ I*, Tạp chí Cầu đường Việt Nam, số 3.
- [2]. Phùng Bá Thắng, Đặng Việt Đức, Đặng Gia Nãi (2020), *Một số kết quả nghiên cứu dầm bê tông cốt thép DUL giản đơn khẩu độ lớn 45 và 50 m*, Tạp chí Cầu đường Việt Nam, số 6.
- [3]. Bộ GTVT, Hội KHKT Cầu đường Việt Nam, Kurosawa Construction., Ltd (2017), *Tài liệu Hội thảo khoa học ngày 21 tháng 4 năm 2017*.
- [4]. Midas IT (2019), *Midas/Civil User Manual*.
- [5]. Trimble Solutions Corporation (2019), *Tekla Structures 2019*.

Ngày nhận bài: 10/01/2021

Ngày chấp nhận đăng: 25/01/2021

**Người phản biện: PGS. TS. Trần Thế Truyền
TS. Lại Văn Anh**