

Một số vấn đề kỹ thuật về kiểm soát ổn định trong thực tế ứng dụng công nghệ đúc hẫng cầu dây văng bê tông dự ứng lực ở Việt Nam

Some technical issues about stability control in practice application of cast technology of pre-pressured concrete cable-stayed bridges in Vietnam

> PGS.TS HOÀNG HÀ

Trường Đại học Giao thông vận tải; Email:hoangha.utc2020@gmail.com

TÓM TẮT

Công nghệ thi công hẫng được chuyển giao vào Việt Nam khoảng 40 năm trước đây và ngày nay đã trở nên phổ biến và ứng dụng để thi công nhiều dạng kết cấu cầu khác nhau như cầu dầm liên tục, cầu khung, cầu khung-dầm, cầu dây văng (CDV)... Tuy nhiên, do đặc điểm khác nhau về kết cấu của mỗi công trình cầu và điều kiện thi công nên nguyên lý hẫng-cân bằng không phải lúc nào cũng được duy trì dẫn đến phát sinh trạng thái nội lực-biến dạng phức tạp ở một số bộ phận kết cấu trong quá trình thi công. Bài viết đã tổng hợp và phân tích một số vấn đề kỹ thuật nhằm kiểm soát ổn định trong thực tế áp dụng công nghệ thi công đúc hẫng cho các công trình cầu dây văng nhằm cung cấp số liệu và kinh nghiệm góp phần kiểm soát tốt hơn chất lượng thi công các công trình CDV nhịp lớn ở Việt Nam.

Từ khóa: Cầu dây văng; thi công không cân bằng; bê tông dự ứng lực; đúc hẫng; phân tích kết cấu; kiểm soát trạng thái nội lực biến dạng trong các giai đoạn thi công.

ABSTRACT

Cantilever construction technology was transferred to Vietnam about 40 years ago and today has become popular and applied to construct many different types of bridge structures such as continuous beam bridges, frame ends, frame-girder bridges, cable-stayed bridge... However, due to the different structural characteristics of each bridge project and construction conditions, the cantilever-equilibrium principle is not always maintained, leading to an internal state. complex force-deformation in some structural parts during construction. This article synthesizes and analyzes a number of technical issues for stability control in practice applying cantilever construction technology to cable-stayed bridge projects to provide data and experience that contribute to good control. better than the construction quality of large-span Cable-Stayeds projects in Vietnam.

Keywords: Cable stayed bridge; asymmetrical construction; prestressed concrete; cantilever casting; structural analysis; control the state of internal forces and deformation during the construction stages.

1. GIỚI THIỆU

Do có đặc điểm nổi bật là bố trí cấu tạo hợp lý, hình thức thẩm mỹ, phù hợp với công nghệ xây dựng hiện đại, có chỉ tiêu kinh tế-kỹ thuật tốt nên kết cấu CDV có xu thế ngày càng được ứng dụng rộng rãi trên các tuyến giao thông quan trọng trên thế giới và ở Việt Nam. Phương pháp đúc hẫng cân bằng đối xứng là một kỹ thuật hiện đại được sử dụng phổ biến trong thi công dầm chính của CDV bê tông dự ứng lực (BTDƯL) [1,3-4].

Nguyên lý cơ bản của công nghệ đúc hẫng cân bằng là tuân tự đúc hẫng liên tiếp theo phương dọc cầu các đốt dầm chủ bằng BTDƯL, với ván khuôn di động (xe đúc) đối xứng, cân bằng ở cả hai bên của trụ tháp cầu. Các dây cáp được căng đồng thời và đối xứng nhờ vậy mà tận dụng tối đa công dụng của các dây cáp văng cả ở giai đoạn thi công và khai thác.

Để đảm bảo tính cân bằng đối xứng, yêu cầu cấu tạo của kết cấu, phân chia kích thước các đốt dầm cần được dự tính từ khâu thiết kế và cung ứng đủ thiết bị khi triển khai thi công xây dựng. Tuy nhiên, do trình độ công nghệ cũng như để tiết kiệm chi phí, trong giai đoạn thi công các CDV, trong đó có một công trình ở Việt Nam đã không thể sử dụng giải pháp cung ứng thiết bị đồng bộ để các bộ ván khuôn di động (xe đúc) có thể di chuyển đồng thời theo phương dọc cầu về 2 phía của trụ tháp. Giải pháp thực tế là di chuyển lần lượt xe đúc về một phía trước rồi mới di chuyển xe đúc của phía ngược lại. Như vậy sẽ có nhiều thời điểm trong suốt quá trình thi công sẽ không đảm bảo nguyên lý đúc hẫng cân bằng đối xứng mà rơi vào trạng thái cân bằng đối xứng không hoàn toàn hay có thể gọi là không đối xứng cân bằng. Thực tế thi công như vậy rõ ràng đã đặt ra vấn đề điều chỉnh công nghệ, kiểm soát an toàn và chất lượng công trình.

3. PHÂN TÍCH KẾT CẤU CDV Ở GIAI ĐOẠN THI CÔNG

3.1 Mô hình phân tích kết cấu

Mô hình không gian ba chiều (3D) của kết cấu tổng thể cầu ở giai đoạn thi công được thiết lập bằng phần mềm phần tử hữu hạn MIDAS Civil, như trong Hình 3. Trong số đó, cột cáp, dầm chính, trụ cầu và móng cọc được mô phỏng bằng phần tử thanh không gian. Bản mặt cầu được mô phỏng bằng cách sử dụng các phần tử tấm không gian. Phần tử cáp chỉ chịu lực căng được mô phỏng bằng cáp dây văng và cáp chống gió tạm thời. Sự tương tác giữa các phần tử được mô phỏng bằng các liên kết đàn hồi. Điều kiện biên sử dụng liên kết lò xo để mô hình hóa tương tác giữa cọc và đất. Cầu có 2.757 nút, 2.670 phần tử, 232 mối nối cứng, 36 mối nối đàn hồi và 1.380 gối đỡ đàn hồi. Theo sơ đồ các giai đoạn thi công, 238 giai đoạn xây dựng được chia ra để phân tích và tính toán mô phỏng tuyến tính.

3.2 Các tham số đầu vào cần điều chỉnh phù hợp thực tế

Để đảm bảo độ tin cậy của kết quả phân tích, một số tham số đầu vào cần điều chỉnh phù hợp thực tế gồm:

+ Mô đun đàn hồi của bê tông dầm và tháp: Tháp, dầm chủ và trụ của cầu dây văng Cao Lãnh được làm bằng bê tông C50 (nhãn bê tông đặc tính kỹ thuật), giá trị thiết kế của mô đun đàn hồi là 38007 MPa. Các thử nghiệm mẫu tiêu chuẩn được tiến hành trong phòng thí nghiệm hiện trường để xác định mô đun đàn hồi thực tế của bê tông tại chỗ. Mô hình tính toán đã xét đến đường cong lặp

Bảng 3: Giới hạn ứng suất phát sinh trong tháp và dầm chủ

Bộ phận kết cấu	Vị trí	Ứng suất lớn nhất trong giai đoạn thi công (Mpa)		Ứng suất lớn nhất ở thời điểm hoàn thiện cầu (Mpa)	
		Nén	Kéo	Nén	Kéo
Tháp cầu	Đỉnh tháp	19,77	2,23	17,22	0
	Chân tháp	16,34	3,80	15,29	0
Dầm chủ	Mép trên	12,23	1,65	11,38	0,49
	Mép dưới	19,91	3,90	19,20	1,25

Các giới hạn ứng suất của tháp và dầm chủ trong giai đoạn thi công và giai đoạn hoàn thiện cầu được liệt kê trong Bảng 3. Ứng suất nén và ứng suất kéo cho phép với bê tông C50 trong thiết kế bê tông lần lượt là 25 MPa và 4,1 Mpa theo chỉ dẫn kỹ thuật thi công. Kết quả phân tích cho thấy ứng suất phát sinh trong tháp và dầm chủ trong giới hạn an toàn.

3.3.2 Chuyển vị trong các bộ phận chính của hệ kết cấu

Trong suốt giai đoạn thi công, chuyển vị ngang dọc cầu lớn nhất của đỉnh tháp cầu thay đổi trong khoảng -199mm về phía nhịp biên và 592mm về phía nhịp giữa. Độ võng thẳng đứng lớn nhất dao động -777mm (hướng xuống) và 752mm (hướng lên). Biến dạng dài hạn theo thời gian cũng được ước tính theo phương thẳng đứng với tháp là 58mm và với dầm chủ là 55mm và - 613mm (do thay đổi lực căng trong dây văng và các hiệu ứng thứ cấp).

3.3.3 Lực căng trong cáp dây văng và cáp neo tạm thời

Bảng 4. Lực và ứng suất lớn nhất của cáp trong giai đoạn thi công và giai đoạn hoàn thiện

Loại cáp	Giai đoạn thi công		Giai đoạn hoàn thiện cầu	
	Lực căng (kN)	Ứng suất (Mpa)	Lực căng (kN)	Ứng suất (Mpa)
Các cáp dây văng	6548	883,10	6495	733.8
Cáp tạm thi công	1597	887,10	-	-

Lực căng và ứng suất lớn nhất của cáp dây văng và cáp tạm thời trong các giai đoạn thi công và hoàn thiện cầu được ghi trong

mô đun đàn hồi dựa trên số liệu thí nghiệm theo tuổi bê tông. Mô đun đàn hồi của bê tông đo sau 28 ngày là 40.380 MPa.

+ Biến dạng co ngót của bê tông: Được đo đạc trực tiếp tại hiện trường.

+ Độ cứng của kết cấu xe đúc và ván khuôn: tham số này phụ thuộc vào quy trình chất tải để khử biến dạng đàn hồi do quá trình lắp ráp nên độ cứng của xe đúc và ván khuôn được hiệu chỉnh bằng việc nhân với hệ số 0,77.



Hình 3. Mô hình phần tử hữu hạn dùng để phân tích kết cấu trong giai đoạn thi công **3.3 Kết quả phân tích kết cấu CDV Cao Lãnh trong giai đoạn thi công**

3.3.1 Kiểm soát ứng suất trong các bộ phận chính của hệ kết cấu

Bảng 4. Ứng suất kéo cho phép của thiết kế trong cáp dây văng là 0,55×1860=1023 MPa theo chỉ dẫn kỹ thuật thi công, đạt yêu cầu an toàn.

4. CÁC SỐ LIỆU CẦN CHỈNH TRONG QUÁ TRÌNH THI CÔNG ĐỂ ĐẢM BẢO YÊU CẦU THIẾT KẾ

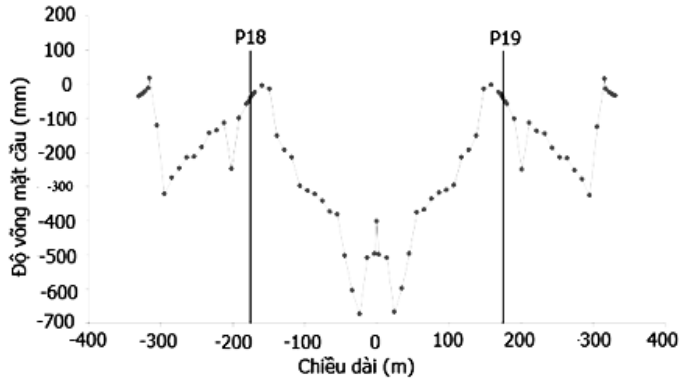
4.1 Kiểm soát hình dạng, kích thước tháp cầu

Trong quá trình xây dựng và khai thác vận hành, tháp sẽ phát sinh biến dạng theo phương đứng và chiều ngang do các yếu tố như trọng lượng bản thân, thay đổi lực cáp, độ co ngót và từ biến. Để đảm bảo trụ tháp duy trì hình dạng, kích thước đáp ứng yêu cầu thiết kế sau khi cầu hoàn thành, trong quá trình thi công cần phải tính đến việc bù đắp trước cho các biến dạng này. Để xét tới ảnh hưởng của từ biến và co ngót trong thời hạn 10000 ngày, độ nghiêng của tháp cần được xác định giá trị cần bù ($\Delta L_{đỉnh} \pm 70$)mm và được thực hiện trong quá trình căn chỉnh ván khuôn leo thủy lực để thi công 33 đốt của tháp cầu bằng việc đưa vào các giá trị bù (ΔL_i) khi thi công mỗi đốt. Với cùng nguyên lý như vậy sẽ điều chỉnh bù đắp biến dạng theo phương đứng của tháp ($\Delta H_{đỉnh} \pm 10$)mm với các mức bù (ΔH_i) tương ứng. Thực tế thi công đã thực hiện bù độ lệch nghiêng là 142mm và dự trữ độ cao tháp là 65mm, chênh lệch giữa tính toán và thực tế được kiểm soát trong sai số cho phép theo chỉ dẫn kỹ thuật thi công.

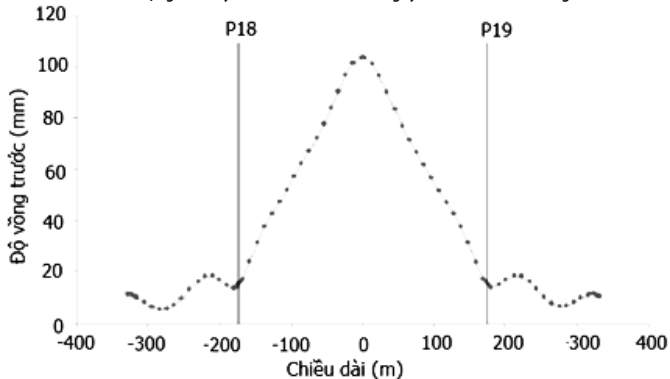
4.2 Kiểm soát độ võng, độ võng dầm chủ

Tạo võng trước của dầm chính được xác lập không xét đến ảnh hưởng của tải trọng ô tô và chỉ xét đến ảnh hưởng co ngót, từ biến sau 10.000 ngày hoàn thành cầu. Chuyển vị tích lũy của dầm chính

từ khi bắt đầu thi công đến 10.000 ngày sau khi hoàn thành cầu được thể hiện trên Hình 4. Chuyển vị tích lũy theo phương thẳng đứng lớn nhất và nhỏ nhất là 17mm (đốt dầm K_{13B} của nhịp biên và -675mm (đốt dầm K_{14G} của nhịp giữa). Độ võng trước của dầm chủ được thể hiện trên Hình 5. Giá trị độ võng trước tối đa và tối thiểu lần lượt là 104mm (đốt dầm K_{16G} ở nhịp giữa) và 6mm (đốt dầm K_{10B} ở nhịp biên).



Hình 4. Biến dạng tích lũy của dầm chủ sau 10000 ngày hoàn thành thi công



Hình 5. Độ võng trước của dầm chủ ở thời điểm hoàn thành cầu

4.3 Kiểm soát tọa độ trục dầm bằng cáp tạm giữ ổn định gió

Cáp tạm chống gió cần được lắp đặt theo trình tự hợp lý để đảm bảo an toàn kháng gió đồng thời đóng vai trò giảm thiểu sự mất cân bằng đối xứng do chất tải lệch ở mỗi đầu cánh hẫng. Mặt khác cáp tạm chống gió còn đóng vai trò hiệu quả để kiểm soát tọa độ tim dọc của dầm chủ trong quá trình thi công. Trình tự lắp đặt cáp tạm như sau: sau khi thi công đốt K₅ tiến hành lắp các cáp tạm số 1 và 2; sau khi thi công xong đốt K₁₀ đến K₁₂ tiến hành lắp các cáp tạm 3,4 và 5. Quá trình tháo cáp tạm theo trình tự ngược lại: sau khi hợp long nhịp biên và trước thi công đốt K_{14G} ở nhịp giữa sẽ tháo bỏ các cáp tạm 2, 3,4 và 5; Cáp tạm 1 chỉ được tháo bỏ sau khi hợp long nhịp chính và tháo dỡ xe đúc. Biến dạng của dầm chủ sau khi tháo bỏ các cáp tạm trong phạm vi nhịp biên, cao độ nhịp biên tăng 109mm và độ võng cánh hẫng ở nhịp giữa tăng 110mm, được ước tính để tính toán điều chỉnh cao độ trắc dọc dầm chủ.

4.4 Kiểm soát chất lượng thi công khối hợp long nhịp giữa

Chiều dài đốt hợp long nhịp giữa của cầu dây văng Cao Lãnh là 6m, dài hơn so với đốt hợp long thường được thiết kế cho nhiều CDV khác chỉ dài 2m. Đồng thời, do điều kiện thi công có đặc thù riêng nên quá trình thi công xảy ra trạng thái không cân bằng đối xứng ở nhiều giai đoạn và cao độ dầm chủ có những thay đổi đáng kể trong suốt quá trình thi công. Để đảm bảo sự căn chỉnh êm thuận trắc dọc của dầm chủ sau khi hợp long nhịp giữa và phân bổ nội lực hợp lý, cần phải kiểm soát chính xác việc căn chỉnh trước khi thi công hợp long nhịp

giữa. Điều này đã được giải quyết bằng việc kiểm soát chặt chẽ cao độ các đốt dầm, đặc biệt là đối với các đốt K_{14G} đến K_{16G} ở nhịp giữa. Các yếu tố kỹ thuật được áp dụng là: kiểm tra cao độ các đốt dầm ở thời điểm từ 2 - 6 giờ sáng để loại bỏ ảnh hưởng do nhiệt và chênh lệch nhiệt độ; điều chỉnh cao độ ván khuôn và lực căng cáp để hướng tới giá trị chênh lệch giữa 2 cánh hẫng ở nhịp giữa nhỏ hơn 30mm. Kết quả độ chênh lệch thực tế giữa đầu 2 cánh hẫng là 23mm, đạt yêu cầu kỹ thuật.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

- Do tính chất phức tạp về cấu tạo kết cấu, thường vượt nhịp lớn, bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố tác động trong suốt quá trình thi công nên vấn đề kiểm soát ổn định, an toàn và chất lượng khi thi công các CDV bằng BTĐƯL là vấn đề cần được không ngừng quan tâm và hoàn thiện.

- Thực tế thi công nhiều CDV ở Việt Nam nói chung và cầu Cao Lãnh nói riêng chỉ ra rằng trạng thái cân bằng đối xứng không hoàn toàn (không cân bằng đối xứng) hoàn toàn có thể xảy ra do nhiều nguyên nhân. Tuy nhiên các công cụ phân tích kết cấu và kinh nghiệm thi công của các Nhà thầu xây dựng cho thấy đủ khả năng xử lý linh hoạt các vấn đề phát sinh trong quá trình thi công các CDV bằng BTĐƯL theo công nghệ đúc hẫng bao gồm cả các tình huống không đảm bảo cân bằng đối xứng để đảm bảo an toàn, ổn định và chất lượng thiết kế.

- Các kinh nghiệm thực tế về lập sơ đồ chi tiết các bước thi công, phân tích điều kiện trang thiết bị thi công, điều chỉnh các bước công nghệ và phân tích kết cấu CDV theo đúng các mô hình trong giai đoạn thi công là rất quan trọng, cần được tổng kết và phổ biến rộng rãi để các Tư vấn, Nhà thầu tham khảo khi lập kế hoạch thi công các công trình CDV đảm bảo chất lượng ở Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO CHÍNH

- [1]. Zhou M. B. 2004 *Cable-stayed Bridge Handbook*. China Communications Press, Beijing
- [2]. Chen M. X. 2006 Development and Prospective of Cable-stayed Bridge. *Journal of China & Foreign Highway*, 04:76-86
- [3]. Fan L. C. 1993 *Bridge Engineering*. China Communications Press, Beijing
- [4]. Lin Y. P. 2004 *Cable-stayed Bridge*. China Communications Press, Beijing
- [5]. Liu S. L., Wang S. S. 2006 *Design of Cable Stayed Bridges*. China Communications Press, Beijing.
- [6]. Bộ GTVT: Hồ sơ thiết kế và hoàn công các cầu Mỹ Thuận 1, Mỹ Thuận 2, Cao Lãnh.