



ANALYSES AND INVESTIGATIONS OF TORSIONAL RESISTANCE ON PRESTRESSED CONCRETE CONTINUOUS BOX GIRDER BRIDGES WITH HORIZONTALLY CURVED ALIGNMENT

Dang Viet Duc

University of Thuyloi, No 175 Tay Son Street, Dong Da, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 16/01/2021

Revised: 25/03/2021

Accepted: 29/03/2021

Published online: 15/04/2021

<https://doi.org/10.47869/tcsj.72.3.10>

* *Corresponding author*

Email: dangvietduc@gmail.com; Tel: 0936020377

Abstract. Curved pre-stressed concrete bridge structures have been applied commonly to grade separated intersections, overpass bridges, viaducts and bridges in mountainous areas which avoid landsliding and compromise the landscape in Natural Area Preserves. Torsion in curved bridge girders is a such considerable issue for bridge structural design process. Bridge girders designed with the type of box section achieve good torsional resistance and both positive and hogging flexural strength, which is suitable for the bridge structure of continuous spans. The background of torsional resistance based on the mean of closed box geometry and stirrups is analysed. Factors which influenced on girder's torsional moment distribution like bearing set up and tendon arrangement are also important contents of the paper. Research contents of this paper investigate curved pre-stressed concrete (PC) box girder bridges with span length of 40m and horizontally curved radius of 70m, the minimum curved radius according to the current design code requirements of delta third level highway. The flexural, torsional and shear resistances of the bridge girder will be checked according to internal force distributions obtained from FEM models. Conclusions of torsional resistance of girder which preliminarily designed from corresponding straight bridge, influences of bearing arrangement and tendon design on torsional moment distribution are also presented in this paper.

Keywords: prestressed concrete girder bridges, continuous spans, horizontally curved alignment, and box section girders, torsional resistance, and stirrup reinforcement.



MỘT SỐ PHÂN TÍCH VÀ KHẢO SÁT THIẾT KẾ KHÁNG XOẢN CẦU DẦM HỘP CONG NHỊP LIÊN TỤC BÊ TÔNG CỐT THÉP DỰ ỨNG LỰC

Đặng Việt Đức

Trường Đại học Thủy lợi, Số 175 Tây Sơn, Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 16/01/2021

Ngày nhận bài sửa: 25/03/2021

Ngày chấp nhận đăng: 29/03/2021

Ngày xuất bản Online: 15/04/2021

<https://doi.org/10.47869/tcsj.72.3.10>

* Tác giả liên hệ

Email: dangvietduc@gmail.com; Tel: 0936020377

Tóm tắt. Kết cấu cầu cong thường được áp dụng phổ biến tại các nút giao cắt khác mức, cầu vượt và cầu cạn làm ven sườn núi nhằm tránh sụt trượt hay qua các khu bảo tồn thiên nhiên. Xoắn trong cầu cong là vấn đề rất được quan tâm trong quá trình thiết kế kết cấu công trình. Nội dung nghiên cứu của bài báo sẽ xét đến kết cấu dầm hộp bê tông cốt thép dự ứng lực (BTCT DƯL) nhịp liên tục khẩu độ 40m, bán kính cong 70 m, là bán kính cong nhỏ nhất có thể được áp dụng theo phạm vi yêu cầu của loại đường cấp 3 đồng bằng. Các sức kháng làm việc như uốn, cắt và xoắn sẽ được kiểm tra với kết quả nội lực thu được từ mô hình phân tích tính toán nhịp kết cấu nhịp dầm cong theo thuật toán phương pháp phần tử hữu hạn (PP PTHH). Kết luận về sức kháng xoắn của mặt cắt dầm được chọn sơ bộ từ nhịp thẳng so sánh với nội lực gây ra bởi tải trọng tác dụng trên nhịp dầm cong, ảnh hưởng bởi giải pháp bố trí gối và hệ thống DƯL lên phân bố mô men xoắn trong dầm sẽ được trình bày trong bài báo.

Từ khóa: bê tông cốt thép dự ứng lực, nhịp liên tục, nhịp dầm cong bằng, mặt cắt hộp, sức kháng xoắn, cốt đai.

© 2021 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. GIỚI THIỆU

Kết cấu cầu cong được áp dụng rất phổ biến trong hệ thống giao thông đường bộ và đường sắt. Trong khu vực đô thị, cầu cong có mỹ quan đẹp với kết cấu thanh mảnh sẽ tạo những điểm nhấn về kiến trúc. Cầu cong tạo sự tối ưu về hướng tuyến, về sự chuyển đổi và phân làn dòng

xe trong các nút giao cắt khác mức. Cầu cong còn có thể là đường trên cao (cầu cạn) uốn lượn theo các sườn núi có độ dốc quá lớn để tránh bạt mái taluy làm đường. Các tuyến đường giao thông ngày càng được yêu cầu xây dựng với quy mô và cấp hạng thiết kế ở những mức cao hơn trước, như vậy giải pháp giao cắt cùng mức, bạt núi tạo taluy cho nền đường, xử lý đất yếu cho nền đường, trong nhiều trường hợp trở nên không khả thi hoặc không thể đáp ứng được tiến độ thi công hoặc yêu cầu khai thác [1]. Thậm chí với nhiều đoạn trong tuyến quốc lộ Bắc – Nam, trong mùa mưa lũ năm 2020 đã ngập gây ách tắc hoàn toàn trong nhiều giờ, thậm chí tính theo ngày, dù cao độ của tuyến đã được thiết kế với tần suất lũ 1% [2]. Trên thực tế đã có nhiều nút giao cắt khác mức, các tuyến đường đèo mới áp dụng kết cấu cầu cong như nút đầu cầu Chương Dương phía Hà Nội, nút giao Vành đai 3 với đường cao tốc Hà Nội – Hải Phòng, tuyến tránh mới vượt đèo Pha Đin, Cầu Cốc Pài - Hà Giang, đường Hồ Chí Minh đoạn vượt trên cao qua khu bảo tồn rừng Cúc Phương.

Thực tiễn thiết kế - xây dựng công cầu ở Việt Nam cho thấy phần lớn các kết cấu cầu cong có dạng nhịp dầm bản hoặc giả cong với các dầm BTCT DUL mặt cắt I hoặc T thi công lắp ghép hoặc bán lắp ghép. Trong khi đó dạng dầm bê tông mặt cắt hộp có khả năng kháng uốn tốt với cả phân bố mô men âm và dương, có sức kháng xoắn tốt hơn nhiều so với dạng mặt cắt hở [3] do vậy đặc biệt phù hợp với kết cấu nhịp liên tục và kết cấu nhịp cầu cong bằng có bán kính nhỏ. Các thông số thiết kế hình học về tuyến của công trình cầu cũng phải tuân thủ tiêu chuẩn thiết kế chung về dự án tuyến đường tổng thể. Bán kính cong bằng của nhịp cầu thường được thiết kế không nhỏ hơn 70m, là bán kính cong nhỏ nhất theo tiêu chuẩn Đường cấp III đồng bằng [4]. Với yêu cầu khẩu độ từ 40m và độ cong lớn (bán kính cong <100m), dạng dầm BTCT DUL mặt cắt hộp là phù hợp nhất cho kết cấu nhịp cầu cong.

Khó khăn trong thiết kế cầu cong là vấn đề kiểm soát xoắn phát sinh trong dầm. Mô men xoắn xuất hiện trong thanh cong không những do các yếu tố tải trọng đặt lệch tâm mà còn do cả với những tải trọng nằm đúng tâm, như tĩnh tải bản thân dầm, tĩnh tải do lớp phủ mặt cầu, gờ chắn bánh, lan can cột điện và các bộ phận tiện ích khác của mặt cầu. Các thành phần do hoạt tải đặt đúng tâm hay lệch tâm và thậm chí tác dụng của hệ thống cáp DUL cũng đều gây ra xoắn trong dầm [5]. Với khẩu độ nhịp và mức cong của dầm, các thông số hình học mặt cắt dầm, vật liệu, bố trí cốt thép thường và thép cường độ cao (cấp DUL) được đề xuất phù hợp để từ đó có được một sức kháng xoắn và kháng cắt xoắn kết hợp đảm bảo an toàn đối với các yêu cầu chống xoắn thiết kế. Mặt cắt đóng kín, bản trên và dưới có chiều dày tối thiểu 25cm, thành hộp thường được thiết kế với chiều dày 40cm trường hợp bố trí DUL trong tiết diện dầm, chiều cao tối thiểu 2m; tất cả các yếu tố hình học kể trên tạo cho dầm có độ cứng kháng uốn, với cả giá trị dương và âm, và độ cứng chống xoắn rất tốt. Nội dung bài viết cũng sẽ tập trung vào dạng kết cấu dầm BTCT DUL mặt cắt hộp, nhịp liên tục cong bằng với bán kính cong nhỏ.

2. TÍNH TOÁN THIẾT KẾ XOẮN TRONG DẦM

Kết cấu nhịp BTCT DUL hiện nay thường được thiết kế với cấp chịu nén $f'c$ nằm trong khoảng 40-60 (Mpa). Với bê tông có trọng lượng riêng thông thường, theo quy trình thiết kế hiện hành TCVN 11823:2017 [6] hiệu ứng xoắn được xét đến khi mô men xoắn trong dầm bắt đầu lớn hơn một giá trị T_{cr} được gọi là giá trị kháng nứt do xoắn được thể hiện như công thức (2):

$$T_u > 0.25 \phi T_{cr} \quad (1); \quad T_{cr} = 0.328 \sqrt{f'_c} \frac{A_{cp}^2}{P_c} \sqrt{1 + \frac{f_{pc}}{0.328 \sqrt{f'_c}}} \quad (2)$$

T_u : Mô men xoắn tính toán được xác định từ mô hình tính toán kết cấu nhịp dầm cong

T_{cr} : Mô men nứt do xoắn;

A_{cp} : Diện tích bao bọc bởi chu vi bên ngoài của bê tông;

P_c : Chiều dài chu vi bên ngoài mặt cắt bê tông;

Trong trường hợp kết cấu dầm cong không thỏa mãn điều kiện của phương trình (1) thì sẽ phải tiếp tục phải xét đến điều kiện thể hiện ở phương trình (3)

$$\Phi T_n \geq T_u \quad (3); \quad T_n = \frac{2A_0 A_t f_y \cot g \theta}{s} \quad (4)$$

Trong đó

T_n là sức kháng xoắn danh định của dầm được xác định dựa vào công thức 5.8.3.6.2 – 1 22TCN 272-05 [6];

T_u là mô men xoắn tính toán

A_0 : Diện tích được bao bởi dòng cắt, bao gồm cả diện tích lỗ rỗng trong đó (mm²);

A_t : Diện tích của nhánh cốt thép ngang kín chịu xoắn (mm²);

θ : Góc của vết nứt được xác định dựa vào các quy định trong mục 5.8.3.4 – 22TCN 272-05 thông qua giá trị $v/f'c$ với v là ứng suất cắt được xác định theo 5.8.3.6.2-3 trường hợp mặt cắt hộp và ε_x

s : cự ly cốt thép đai

$$v = \frac{V_u - \phi V_p}{\phi b_v d_v} + \frac{T_u P_h}{\phi A_{0h}^2} \quad 5.8.3.6.2-3 \quad (5)$$

$$\varepsilon_x = \frac{\frac{M_u}{d_v} + 0.5V_u \cot g \theta - A_{ps} f_{po}}{E_s A_s + E_p A_{ps}} \leq 0.002 \quad 5.8.3.4.2-2 \quad (6)$$

V_u : lực cắt tính toán

P_h : chu vi theo tim của cốt thép chịu xoắn ngang kín (mm)

A_{0h} : diện tích được bao bởi tim của cốt thép chịu xoắn ngang kín phía ngoài, bao gồm cả diện tích các lỗ nếu có (mm²)

b_v : bề rộng bản bụng hữu hiệu lấy bằng bề rộng bản bụng nhỏ nhất trong chiều cao d_v được xác định trong Điều 5.8.2.7 (mm)

d_v : chiều cao chịu cắt hữu hiệu được xác định trong Điều 5.8.2.7 (mm)

A_{ps} : diện tích thép dự ứng lực trong phía chịu kéo uốn của cấu kiện (mm²)

ϕ : hệ số sức kháng quy định trong Điều 5.5.4.2

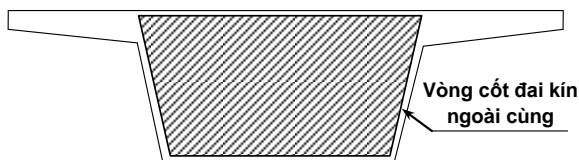
V_u trong (5) và (6) được điều chỉnh bằng giá trị kết hợp của cắt và xoắn

$$V_u = \sqrt{V_u^2 + \left(\frac{0.9 P_h T_u}{2 A_0} \right)^2} \quad (7)$$

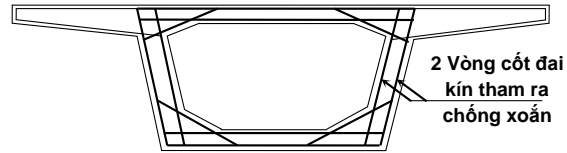
3. CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN SỨC KHÁNG XOẢN CỦA NHỊP DÀM CẦU CONG

3.1. Yếu tố mặt cắt

Sức kháng xoắn danh định T_n của mặt cắt trong công thức (4) phụ thuộc vào giá trị A_o , A_t và f_y . A_o là diện tích bao quanh bởi dòng lực cắt, có thể hình dung đơn giản hơn là vùng diện tích bao quanh bởi đường cốt đai kín ngoài cùng (hình 1). Có thể nhận thấy diện tích mặt cắt của dầm hộp (không tính phần cánh dầm) càng lớn thì sức kháng xoắn càng lớn



Hình 1. Vùng diện tích để xác định A_o .



Hình 2. Các thanh cốt đai hàn kín tham gia chịu cắt – xoắn.

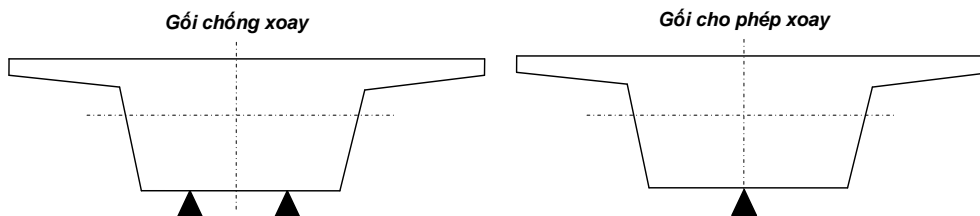
f_y : giá trị chảy dẻo đồng thời cũng định nghĩa cấp vật liệu của cốt thép đai, trong thiết kế cấp thép thường được áp dụng với giá trị 400 – 420 Mpa, được xem là một đại lượng tương đối cố định.

A_t : Diện tích của nhánh cốt thép ngang kín chịu xoắn (mm^2); tổng diện tích của nhánh cốt đai kín, hoặc hàn liên kết cốt đai thành vòng kín (được minh họa ở hình 2 là các thanh được thể hiện nét đậm hơn). Để tăng sức kháng xoắn của mặt cắt có thể tăng đường kính của các thanh cốt đai được hàn khép kín theo chu vi của mặt cắt, tăng số lượng cốt đai kín.

s : cự ly cốt thép đai. Cự ly này càng nhỏ thì có thể dẫn đến tăng sức kháng cắt – xoắn tuy nhiên cự ly này không nên nhỏ quá 15cm để đảm bảo thuận tiện công tác đầm dùi khi thi công bê tông dầm, tránh hiện tượng rỗ, dòn nước hoặc cốt liệu.

3.2. Điều kiện gối trên trụ

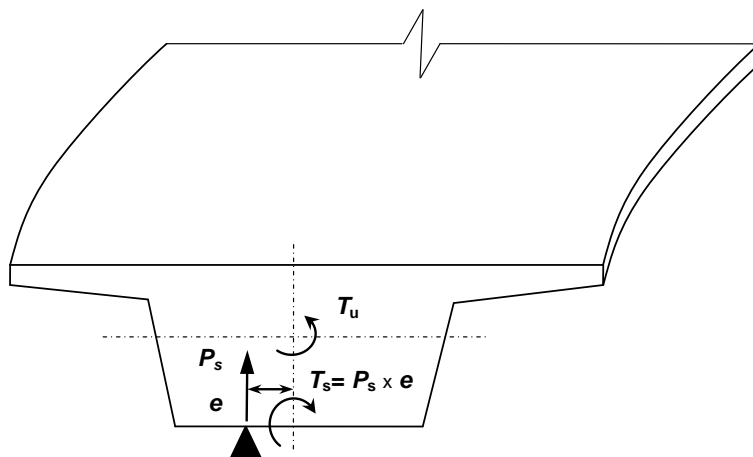
Có 2 dạng bố trí gối kê trên trụ (hình 3) là loại 2 gối và loại một gối. Dạng trụ 2 gối trên đỉnh, được áp dụng nhiều hơn, không cho phép biến dạng mặt cắt trên đỉnh trụ có biến dạng xoắn. Với hình thức bố trí gối như vậy phân bố mô men xoắn sẽ bị hạn chế trong phạm vi 1 nhịp, qua mặt cắt trên trụ dạng này sẽ có bước nhảy mô men xoắn, giống như phân bố lực cắt.



Hình 3: Bố trí gối không cho phép dầm xoay hoặc cho phép xoay quanh trục dọc dầm.

Dạng thứ 2 là trụ chỉ bố trí 1 gối trên đỉnh. Với hình thức này trụ dạng trụ cột với một gối kê trên đỉnh sẽ giảm đáng kể về quy mô nếu so sánh với trụ bố trí 2 gối kê, hình dáng kiến trúc của kết cấu cũng trở nên thanh mảnh hơn hẳn. Tuy nhiên trong trường hợp này, phân bố mô men xoắn có thể “chuyển” qua vị trí gối kê để phân bố sang các nhịp lân cận và tích lũy lớn hơn ở vị trí có dạng bố trí gối thứ nhất. Số lượng trụ liền kề bố trí gối dạng 2 càng nhiều thì mô men xoắn tích lũy về vị trí gối chống xoắn sẽ càng lớn.

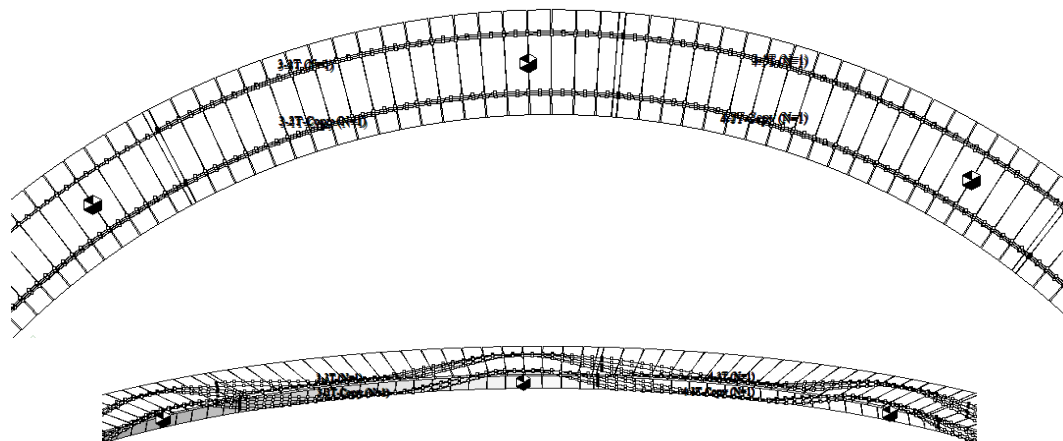
Trong kết cấu thanh cong bằng nhịp liên tục, phân bố mô men xoắn trên trụ có xu hướng làm mặt cắt dầm xoay ra phía bên ngoài (ly tâm) của đường cong tim dầm. Có thể tạo nên mô men xoắn có lợi ngược với hướng tác dụng của tải trọng bằng cách bố trí lệch gối (dạng cho phép mặt cắt xoay) về phía ngoài của đường cong trục tim dầm (hình 4). Giá trị mô men xoắn có lợi chính bằng tích số của phản lực gối và độ lệch tâm của gối so với trục đứng của dầm. Mô men xoắn phát sinh do bố trí lệch gối sẽ triệt tiêu một phần mô men xoắn gây ra bởi các tải trọng thiết kế và tạo nên một bước nhảy về phân bố mô men xoắn tại vị trí trên gối. Độ lệch tâm càng lớn thì mô men xoắn do phản lực gối gây ra càng lớn tuy nhiên mức độ lệch cũng chỉ hạn chế khi gối chỉ được bố trí trong phạm vi bề rộng đáy của dầm hộp.



Hình 4. Bố trí gối lệch để tạo mô men xoắn có lợi.

3.3. Cáp DUL

Nghiên cứu của tác giả Đặng Gia Nải – Lê Đắc Chính [5] đã chỉ ra rằng các dạng tải trọng phổ biến như lực thẳng đứng đặt đúng tim, mô men xoắn, mô men uốn tác động lên nhịp dầm cong cũng đều gây ra xoắn. Với dầm thẳng hệ DUL có tác động dọc trục, nén lệch tâm và phân bố theo hướng thẳng đứng (nếu đường đi bó cáp có dạng cong). Với dầm cong, các bó cáp được thiết kế cong theo tim dầm trên mặt bằng, do vậy còn có thêm thành phần lực phân bố hướng tâm (hình 5). Tất cả các tác động lực vừa đề cập từ hệ thống ứng suất trước đều gây ra xoắn trong dầm. Như vậy trong quá trình phân tích thiết kế cần xem xét mức độ xoắn gây ra bởi hệ thống ứng suất trước.

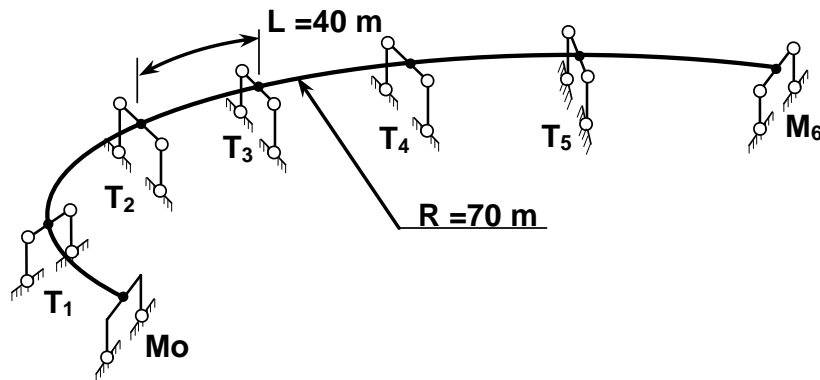


Hình 5. Cáp DUL bố trí trong dầm cong.

4. KẾT QUẢ VÀ PHÂN TÍCH

4.1. Ví dụ khảo sát 1

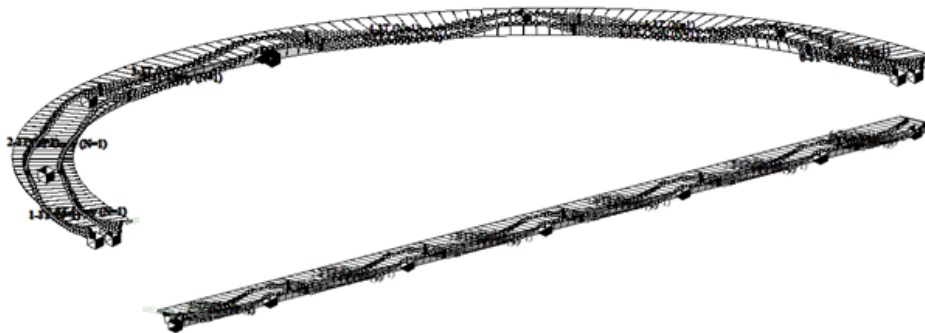
Ví dụ khảo sát kết cấu cầu cong BTCT DUL mặt cắt hộp đơn 6 nhịp liên tục. Mô tả chung của kết cấu được thể hiện như trên hình 6. Kết cấu được thiết kế đề xuất cho một nhánh của nút Vành đai 3 - Quốc lộ 5B với quy mô 2 làn xe HL93, khẩu độ nhịp 40m, bán kính cong 70m, mức bán kính cong nhỏ nhất dựa theo tiêu chuẩn thiết kế đường cấp 3 đồng bằng. Các thông số vật liệu thiết kế là yếu tố quan trọng để xây dựng mô hình kết cấu tin cậy và là cơ sở để đánh mức độ an toàn của kết cấu công trình. Các thông số vật liệu áp dụng trong ví dụ 1 được trình bày ở bảng 1.



Hình 6. Sơ đồ kết cấu ví dụ khảo sát 1.

Bảng 1. Các thông số vật liệu thiết kế.

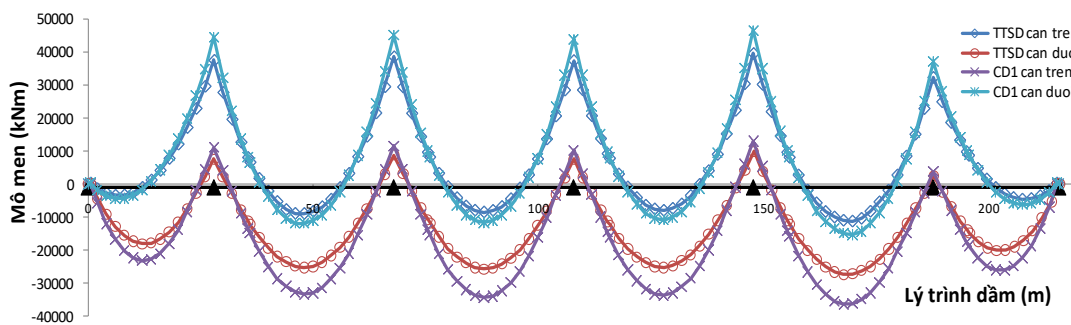
TT	Vật liệu kết cấu	Ký hiệu	Cường độ
1	Bê tông dầm	B	$f'_c = 40$ Mpa $E_c = 32000$ Mpa
2	Thép cường độ cao	Grade270	$F_s = 1860$ Mpa $F_y = 1670$ Mpa $E_s = 200000$ Mpa



Hình 7. Thiết kế dầm cong xuất phát từ dầm thẳng.

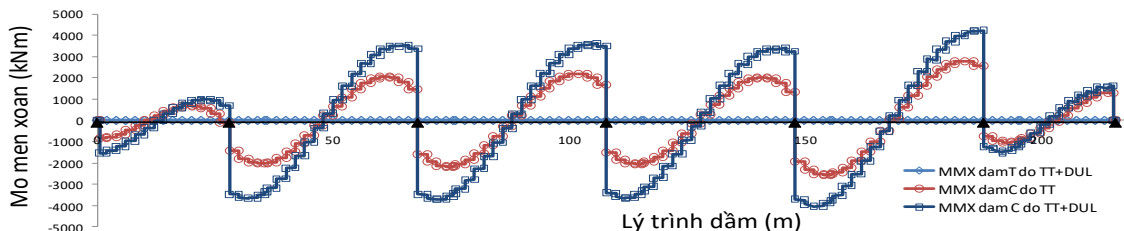
Mô hình phương pháp phần tử hữu hạn (PP PTHH) [7] được áp dụng để mô tả kết cấu nhịp dầm. Nhịp dầm cong tròn trên mặt bằng được rời rạc bằng các đoạn phân tử khung dầm thẳng (beam element) định nghĩa bởi phần mềm Midas/Civil [8,9]. Các nút phân tử mô tả dầm cầu

biểu diễn bậc tự do cho mô hình phân tích xấp xỉ nằm trên đường tim của dầm khảo sát. Phân tích đặc điểm hình học của kết cấu nhịp dầm hộp trong ví dụ khảo sát có thể nhận thấy, chiều rộng mặt cắt dầm hộp đơn xấp xỉ 10 m, khoảng $\frac{1}{4}$ chiều dài nhịp cho phép áp dụng chuỗi các phần tử thanh để mô tả nhịp dầm hộp và cho kết quả tin cậy phục vụ công tác phân tích thiết kế [10]. Báo cáo [11] cũng có khuyến nghị nếu kết cấu nhịp có giá trị L/R, tương ứng với nhịp chính lớn nhất và bán kính cong bằng, nhỏ hơn 0.8 có thể mô tả dầm thành chuỗi các phần tử khung dầm đơn lẻ kế tiếp nhau với nút phần tử dầm nằm trên đường cong tim của kết cấu nhịp cầu. Trong ví dụ khảo sát, điều kiện biên tại các vị trí gối được định nghĩa để mặt cắt không có biến dạng xoắn (quanh trục dầm), ứng với hình thức dầm được đặt trên đỉnh trụ có bố trí 2 gối như mô tả trong hình 3. Mô hình cũng xét đến trình tự thi công đổ bê tông tại chỗ tuần tự tiến với phân đoạn thi công được bố trí phù hợp để các mối nối thi công nằm ở các vị trí có nội lực nhỏ nhất [3]. Mặt cắt dầm và số lượng cáp DUL được xác định dựa trên đường bao mô men uốn xác định từ hệ kết cấu nhịp với giả thiết nhịp dầm là thẳng với chiều dài nhịp tương ứng với chiều dài cung của tim dầm cong. Sự làm việc của cáp DUL trong mô hình sẽ được mô tả tương đương thành hệ lực gồm lực dọc trục, lực phân bố đều theo phương đứng và ngang và mô men uốn phân bố đều [8,9].



Hình 8. Biểu đồ bao momen uốn dầm thẳng tổ hợp tải trọng TTGH CD1 và TTGH SD.

Số lượng bó cáp tại các vị trí làm việc nhạy cảm như giữa dầm và trên trụ sẽ được xác định từ biểu đồ bao mô men uốn của dầm thẳng có cùng bố trí kích thước nhịp và mặt cắt (hình 8). Cơ sở tính toán dựa trên điều kiện sức kháng uốn của dầm so sánh với giá trị mô men uốn lớn nhất từ tổ hợp tải trọng ứng với trạng thái giới hạn cường độ 1, 2 hoặc 3 và dựa trên điều kiện kiểm soát sự xuất hiện vết nứt tính với các giá trị bao mô men lớn nhất từ tổ hợp tải trọng ứng với trạng thái giới hạn sử dụng, trường hợp yêu cầu lượng cáp lớn hơn sẽ được lựa chọn. Từ kết quả đường bao nội lực đã trình bày, số lượng bó cáp cần thiết đảm bảo đảm an toàn và giá trị mô men lớn nhất được xác định là 10 bó loại 13 tao 15,2 mm mỗi bó (13T15).

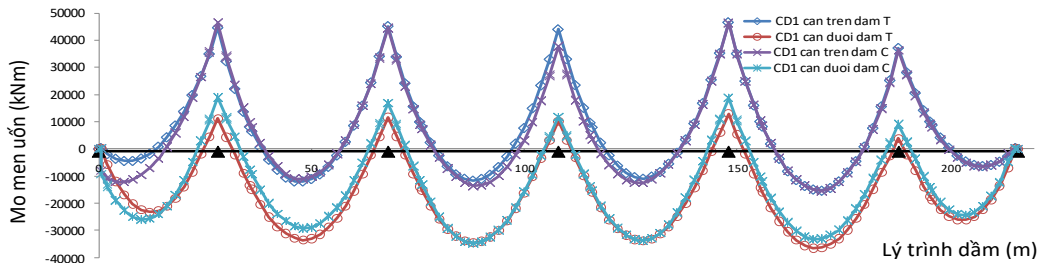


Hình 9. Phân bố mô men xoắn do tĩnh tải trong dầm thẳng và cong.

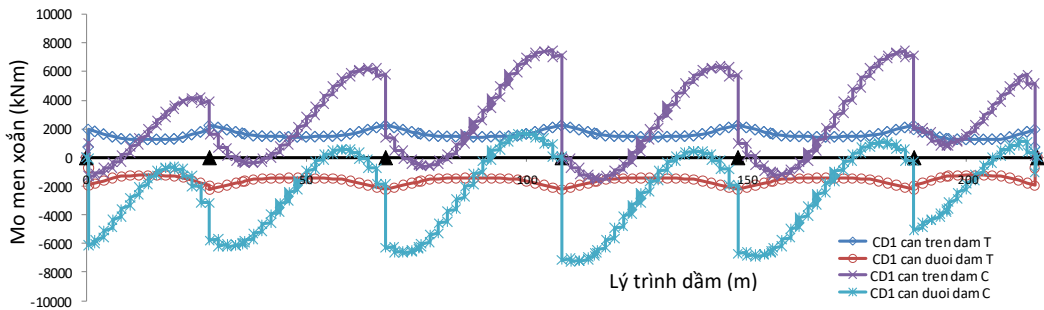
Kết quả cho thấy tĩnh tải và hệ thống DUL không gây ra mô men xoắn trong dầm thẳng nhưng gây ra phân bố xoắn đáng kể trong dầm cong (hình 9). Trong các tác dụng tĩnh gây ra mô men xoắn lên dầm cong, thành phần do cáp DUL chiếm tỉ lệ tương đối lớn, ở vị trí trên các

trụ, là vị trí có giá trị phân bố mô men xoắn bất lợi, ở mức xấp xỉ 50%. Mô men xoắn trong dầm cong do hệ thống cáp DUL chủ yếu từ các thành phần lực rải đều do các đoạn bố trí cong của bó cáp trên mặt phẳng đứng và bố cáp cong theo dầm cầu trên mặt phẳng nằm ngang gây ra thành phần lực phân bố hướng tâm.

Kết quả đường bao mô men uốn do tổ hợp tải trọng TTGH CD1 đối với trường hợp dầm cong và dầm thẳng tương ứng được thể hiện trong hình 10. Kết quả cho thấy giá trị bao mô men ở dầm thẳng vẫn lớn hơn một chút, xét cả cận trên và cận dưới, so với dầm cong có cùng bố trí và kích thước nhịp. Có thể giải thích hiện tượng này do yếu tố dầm cong, khoảng cách thực giữa 2 vị trí gối (chiều dài dây cung) ngắn hơn so với trường hợp dầm thẳng đã làm giảm bớt khẩu độ nhịp làm việc có hiệu. Như vậy trong khâu thiết kế sơ bộ sử dụng giá trị đường bao mô men của dầm thẳng để tính toán lượng thép cường độ cao là hoàn toàn đáng tin cậy.



Hình 10. Đường bao MM uốn tổ hợp TTGH CD1 trường hợp dầm cong và thẳng tương ứng.



Hình 11. Đường bao MM xoắn tổ hợp TTGH CD1 trường hợp dầm cong và thẳng tương ứng.

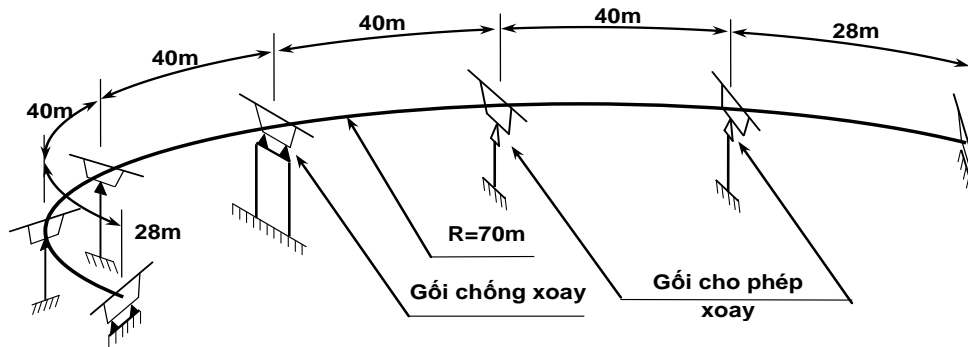
Các kết quả về xoắn là đường bao mô men xoắn do tổ hợp tải trọng TTGH CD1 tác dụng lên dầm cong và dầm thẳng tương ứng thể hiện trong hình 11. Xoắn phát sinh trong dầm thẳng chỉ do hoạt tải xếp lệch tâm. Biểu đồ cho thấy giá trị bao mô men xoắn có giá trị lớn nhất ở khu vực trên và xung quanh trụ cầu, giá trị bao xoắn của cầu cong lớn hơn xấp xỉ 4 lần so với cầu thẳng. Như vậy, có thể khẳng định sức kháng xoắn và phân bố ứng cắt do xoắn - cắt kết hợp là vấn đề đáng quan tâm nhất trong công tác tính toán thiết kế cầu dầm cong, đặc biệt là những trường hợp bán kính cong nhỏ như trường hợp khảo sát này.

Từ kết quả nội lực của mô hình phân tích kết cấu, điều kiện về sự cần thiết có phải kiểm toán xoắn hay không sẽ được thực hiện như công thức (1) và (2) trong phần giới thiệu, $T_u \geq 0.25 \phi T_{cr}$. Kết quả khảo sát cho thấy cần thiết phải tiến hành kiểm toán xoắn với dạng kết dầm hộp BTCT DUL có thông số hình học như đã trình bày. Theo nội dung công thức 5.8.3.5 và 5.8.3.6 của TCVN 11823:2017 góc θ trường hợp dầm khảo sát được tính ra với giá trị xấp xỉ 37.5° và lắp vào công thức (92) trong mục 5.8.3.6.2 [6], để xác định sức kháng danh định T_n , Giá trị sức kháng xoắn này sẽ được so sánh tính kiểm toán với giá trị bất lợi nhất trong kết quả đường bao mô men xoắn thu được. Từ kết quả khảo sát có thể kết luận với điều kiện mặt cắt dầm và lượng

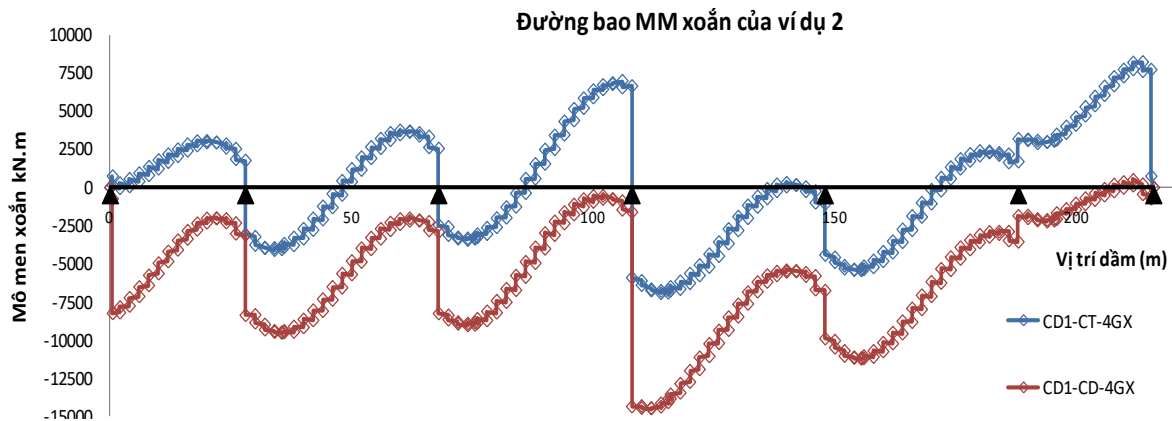
cáp DUL được thiết kế dựa trên cơ sở dầm thẳng, kết cấu nhịp chưa phải áp dụng biện pháp chống xoắn bằng bố trí lệch DUL hoặc lệch gối, với sức kháng xoắn tạo nên từ mặt cắt hộp và cốt đai khép kín có đường kính 25mm bước 250 mm có giá trị xấp xỉ 19350 kN.m so với giá trị mô men xoắn thiết kế bất lợi nhất với giá trị tuyệt đối ở mức 6300 kN.m, sẽ đảm bảo cho dầm làm việc an toàn với nội dung kiểm về sức kháng xoắn.

4.2. Ví dụ khảo sát 2

Trong khảo sát này điều kiện thiết kế thông số hình học dầm, vật liệu và bố trí cáp DUL về cơ bản giống như trong ví dụ khảo sát 1, tuy nhiên có sự khác biệt về điều kiện gối. Cầu có 6 nhịp và 7 vị trí đặt gối trong đó 2 vị trí trên mô và vị trí trụ giữa bố trí gối chống xoắn (đỉnh trụ bố trí 2 gối), các vị trí trụ còn lại bố trí gối cho phép mặt cắt dầm biến dạng xoắn (đỉnh trụ bố trí 1 gối) (hình 12). Như vậy kết cấu nhịp được chia làm 2 “liên” cho phép mặt cắt dầm trên vị trí trụ trung gian thuộc mỗi liên có thể biến dạng xoắn.



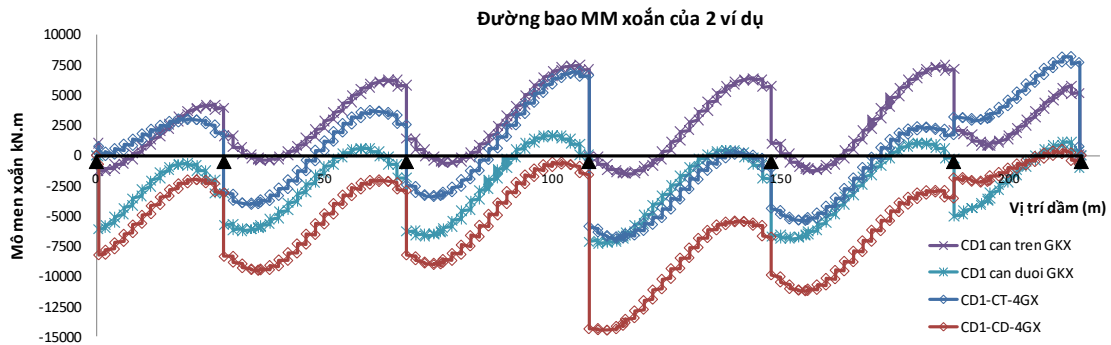
Hình 12. Sơ đồ nhịp cho kết cấu ví dụ khảo sát 2.



Hình 13. Giá trị đường bao mô men xoắn kết cấu dầm cong ví dụ 2.

Kết quả giá trị đường bao mô men xoắn trong kết cấu dầm cong trường hợp khảo sát 2 được biểu diễn ở hình 13. Có thể thấy phân bố mô men xoắn đều có giá trị tuyệt đối lớn ở các vị trí trên mô và trụ vì đây là nơi có giá trị phân bố lực cắt và mô men uốn đều cùng lớn. Mô men xoắn ở trên các vị trí mô, trụ có xu hướng tăng dần về độ lớn đến vị trí trụ giữa tiếp giáp giữa 2 liên, chính là vị trí bố trí gối chống xoắn. Giá trị bao mô men xoắn ở vị trí trụ giữa này có giá trị tuyệt đối lớn hơn đáng kể so với giá trị ở các vị trí gối và trụ khác, xấp xỉ 14500kN.m nhưng vẫn nhỏ hơn mức kháng xoắn của mặt cắt của mặt cắt dầm là 19348 kN.m. Tại các vị trí gối cho phép dầm biến dạng xoắn, vẫn có điểm nhảy trong phân bố đường bao xoắn vì ở các vị trí này có bước nhảy về lực cắt và mô men xoắn gây ra bởi phản lực gối theo phương ngang cân bằng với thành phần lực phân bố hướng tâm của hệ thống ứng suất trước.

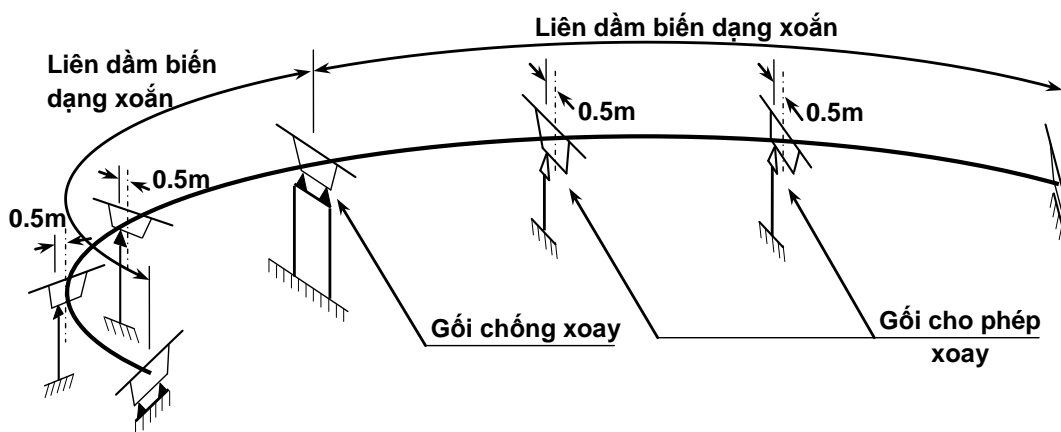
Đường bao mô men xoắn của nhịp dầm cong của 2 trường hợp khảo sát 1 và 2 được so sánh với nhau ở biểu đồ hình 14. Kết quả cho thấy giá trị bao mô men xoắn trường hợp dầm cong 2 liên bố trí gối (ví dụ khảo sát 1) cho phép biến dạng xoắn cho giá trị tuyệt đối bao mô men xoắn lớn gần gấp 2 lần giá trị trường hợp dầm cong bố trí tất cả gối chống xoắn (ví dụ khảo sát 2) (14500 so với xấp xỉ 7500 (kN.m)). Sự so sánh về kết quả cho thấy bố trí gối cho phép biến dạng xoắn không có lợi về mặt mô men xoắn phát sinh trong dầm. Tuy nhiên với trường hợp chiều dài nhịp chưa quá lớn, $\leq 40\text{m}$, mặt cắt dầm hộp được thiết kế thông thường và bố trí cốt thép đai hợp lý, như đề xuất ở trường hợp khảo sát 1, vẫn có thể đảm bảo sức kháng xoắn cho kết cấu.



Hình 14. Giá trị bao mô men xoắn của kết cấu nhịp dầm cong ví dụ 1 và ví dụ 2.

4.3. Ví dụ khảo sát 3

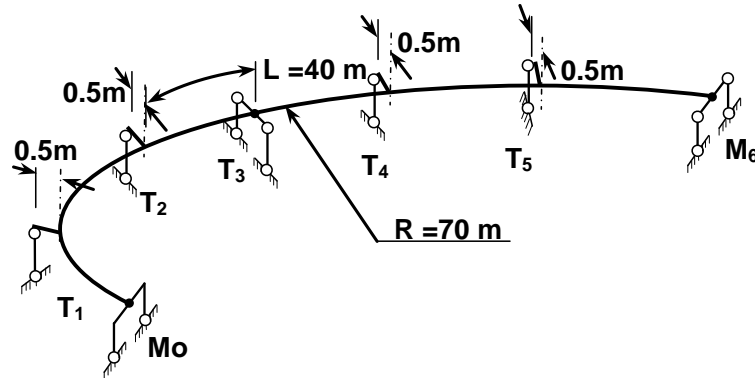
Kết cấu khảo sát cơ bản dựa trên thiết kế nhịp cong khảo sát 2 về khẩu độ nhịp bố trí nhịp, mặt cắt dầm hộp, số lượng và bố trí đường cấp DUL. Điểm đặc biệt của kết cấu nhịp cong ví dụ 3 là gối trên các trụ một gối bố trí lệch ra bên ngoài với khoảng cách 0.5m với mục đích tạo ra mô men xoắn tập trung do phản lực gối đặt lệch tâm, cân bằng lại một phần giá trị phân bố mô men xoắn lớn trên dầm cầu, như mô tả ở hình 15.



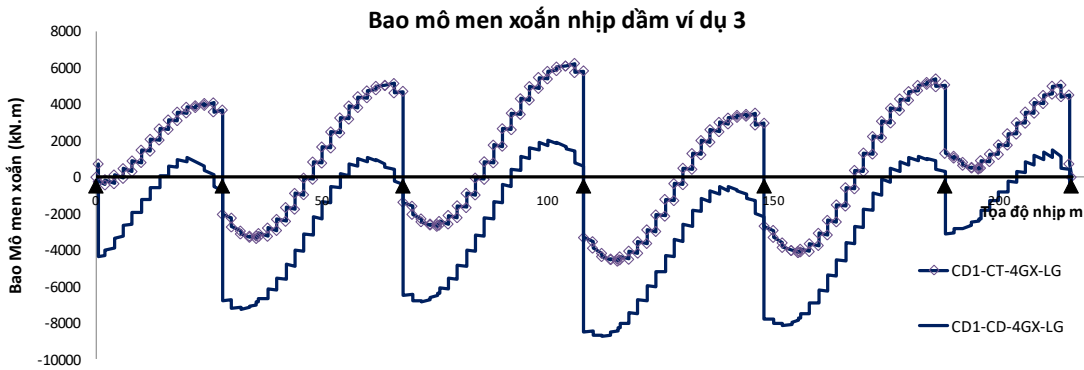
Hình 15. Bố trí liên cho phép dầm biến dạng xoắn ở vị trí trên trụ trung gian với các gối đơn bố trí lệch để giảm xoắn trên nhịp.

Với sơ đồ cầu và bố trí gối như đã trình bày, sơ đồ phân tích kết cấu được áp dụng như ở hình 16. Vị trí đặt các gối kê đơn sẽ đặt cách nút tim dầm một đoạn 0,5m. Giữa vị trí gối và tim dầm sẽ được định nghĩa một dạng liên kết rất cứng nhưng không trọng lượng. Với giải pháp bố trí lệch gối như đã trình bày, phân bố đường bao mô men xoắn đã đồng đều hơn ở các vị trí gối

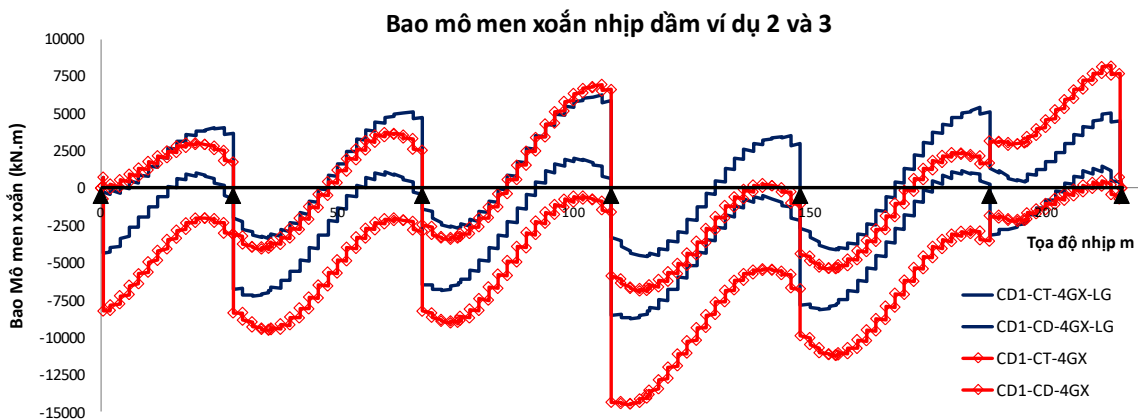
trên mô và các trụ trung gian, không giống như ở ví dụ 2 phân bố giá trị bao xoắn quá lớn ở khu vực gối chống xoắn phân chia 2 liên xoắn (hình 17). Giá trị lớn nhất ở cận trên và cận dưới cũng không quá chênh lệch nhau (-8763 và 6249 kN). Sự phân bố giá trị bao xoắn trong kết cấu dầm cong bố trí gối lệch có thể xem gần tương tự như trường hợp bố trí gối chống dầm xoay trên tất cả các đỉnh trụ.



Hình 16. Sơ đồ kết cấu cho nhịp dầm cong ví dụ 3.



Hình 17. Giá trị đường bao xoắn TTGH CD1 cho kết cấu nhịp dầm cong ví dụ 3.



Hình 18. Giá trị bao mô men xoắn TTGH CD1 của kết cấu nhịp dầm cong ví dụ 2 và ví dụ 3.

Giá trị đường bao xoắn của dầm cong ví dụ 2 và ví dụ 3 được so sánh với nhau (hình 18). Ở khu vực phân bố giá trị bao xoắn lớn việc bố trí gối lệch đã làm giảm đi đáng kể giá trị bất lợi, cụ thể như vị trí gối chống xoay giữa 2 liên dầm, giá trị tuyệt đối bao mô men xoắn của

kết cấu ví dụ 3, chỉ bằng 0,6 lần so với giá trị bất lợi nhất của kết cấu nhịp cong ví dụ 2 với 2 liên dầm xoắn.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Các thông số thiết kế quan trọng của kết cấu nhịp liên tục cong bằng dầm hộp BTCT DUL với bán kính cong $R = 70$, khẩu độ nhịp ≤ 40 m như chiều cao dầm, số lượng và bố trí đường đi của bó cáp có thể được xác định dựa trên kết cấu dầm thẳng có khẩu độ nhịp tương ứng. Tuy nhiên cốt thép đai cần bố trí khấp khểnh theo chu vi mặt cắt với đường kính và bước tối thiểu lần lượt là 25mm và 25 cm để đảm bảo khả năng kháng xoắn với tổ hợp tải trọng thiết kế theo trạng thái giới hạn cường độ.

Trong kết cấu nhịp dầm cong bằng với các thông số hình học như đã đề cập ở trên, phân bố mô men xoắn lớn nhất gây ra bởi tác dụng của hệ thống ứng suất trước chiếm xấp xỉ 50% tổng giá trị gây ra bởi tổng các tác nhân tải trọng tĩnh.

Bố trí gối chống biến dạng xoắn có lợi nhất về phân bố giá trị bao xoắn cho dầm cong tuy nhiên có thể tăng khối lượng vật liệu - thi công công kết cấu trụ.

Trong giải pháp bố trí liên dầm cho phép chuyển vị xoắn, các gối trung gian trong liên dầm được bố trí đơn chiếc cho phép mặt cắt trên gối có thể biến dạng xoắn, làm phân bố xoắn truyền tích lũy về 2 đầu của liên, đặc biệt ở vị trí gối chống xoắn giữa 2 liên.

Bố trí gối đơn chiếc cho phép dầm xoắn lệch ra ngoài phía đường cong tim dầm có thể phân bố đều lại giá trị bao xoắn, về dạng giống như bố trí gối chống chuyển vị xoắn ở vị trí có phân bố xoắn bất lợi nhất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Doãn Minh Tâm, Tình hình sụt trượt đất ở Việt Nam và sự hợp tác KHCN với Hội trượt đất Quốc tế. Tuyển tập các báo cáo, Hội nghị KHCN Viện KH&CNGTVT, 2012.
- [2]. Báo Nhân Dân điện tử, Thứ Hai, 19/10/2020, (<https://nhandan.com.vn/tin-tuc-xa-hoi/thong-bao-khan-ve-ngap-sau-tren-quoc-lo-1a-va-duong-ho-chi-minh-621040/>)
- [3]. Nguyễn Việt Trung, Hoàng Hà, Nguyễn Ngọc Long, Cầu Bê tông Cốt thép - tập 1, Nhà xuất bản GTVT, 2013.
- [4]. TCVN 4054: 2005, Đường ô tô – yêu cầu thiết kế, 2005.
- [5]. Đặng Gia Nài, Lê Đắc Chính, Luận án tiến sĩ về tính toán thanh dầm cong BTCT DUL, Trường ĐHGT Friedrich List – Dresden (CHDC Đức), 1976.
- [6]. TCVN 11823: 2017, Thiết kế cầu đường bộ, 2017.
- [7]. D.Kuhl, G. Meschke, Finite Element Methods in Linear Structural Mechanics, Ruhr-Bochum-University, 2005.
- [8]. Midas IT, Midas/Civil User Manual, 2011.
- [9]. Midas IT, Analysis Reference - Analysis for Civil Structures – Midas/Civil User Guide, MIDASoft, Inc, 2011.
- [10]. E. C. Hambly, Bridge Deck Behaviour - 2nd Edition, CRC Press, 1990.
- [11]. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, Development of Design Specifications and Commentary for Horizontally Curved Concrete Box-Girder Bridges, Washington, DC: The National Academies Press, 2008. <https://doi.org/10.17226/14186>