

# PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA TỈ SỐ CHIỀU DÀI NHỊP VÀ BÁN KÍNH CONG TRONG CẦU CONG (L/R) THE INFLUENCE OF SPAN-LENGTH TO RADIUS RATIO OF CURVED BRIDGES

Lê Bá Khánh và Phan Lê Vũ\*

Khoa Kỹ Thuật Xây Dựng, Đại học Bách khoa, Tp. Hồ Chí Minh, Việt nam  
TEDI South, TP. Hồ Chí Minh, Việt nam

## BẢN TÓM TẮT

Cầu cong ngày càng được ứng dụng rộng rãi vì dạng kết cấu này thích hợp áp dụng trong xây dựng các cầu cạn và cầu vượt tại nút giao thông với mục đích triệt tiêu hoàn toàn các giao cắt tại nút giao nhằm nâng cao năng lực thông hành tại nút. Một mặt cầu cong đảm bảo được các yêu cầu kiến trúc, mặt khác khắc phục được sự phức tạp về địa hình, giảm được diện tích mặt bằng xây dựng. Do có đặc tính hình học phức tạp, dưới tác dụng của tải trọng, nội lực phát sinh trong cầu cong có tiết diện thành mỏng rất phức tạp, gồm momen uốn, lực cắt, xoắn thuần túy, xoắn uốn và bimomen. Tiết diện càng bị biến dạng thì bimomen và xoắn uốn càng phát triển. Để khảo sát ảnh hưởng của bán kính cong đến nội lực phát sinh trong cầu cong có mặt cắt ngang dạng thanh thành mỏng, trong nghiên cứu này phân tích ảnh hưởng của tỉ số L/R đến nội lực khi xét ảnh hưởng của xoắn uốn và ảnh hưởng của L/R đến chuyển vị.

## ABSTRACT

Investigation of influence of span-length to radius ratio of curved bridges.

### 1. Đặt vấn đề :

Ở nước ta việc nghiên cứu các dạng cầu cong còn khá mới mẻ, chưa có một chỉ dẫn cụ thể hay quy trình quy phạm về thiết kế và xây dựng các dạng cầu cong. Với xu hướng hiện đại hóa đất nước như hiện nay mà mục tiêu trước mắt là phát triển cơ sở hạ tầng, những con đường những cây cầu sẽ được mọc lên, nhiều nút giao thông sẽ được nâng cấp và cải tạo. Những cây cầu cong tại các nút giao khác mức trong đô thị hay trên các xa lộ là cần thiết để đảm bảo khả năng thông hành, khắc phục địa hình phức tạp và giảm chi phí giải tỏa di dời. Do vậy việc nghiên cứu về sự làm việc, ứng xử của các cầu cong nhằm hỗ trợ công tác thiết kế ở nước ta là cần thiết, góp phần thiết kế chi tiết và xây dựng sau này.

Việc tính toán nội lực dầm cầu cong rất phức tạp, sự phức tạp tăng lên từ sơ đồ làm việc theo nguyên lý thanh cong phẳng đến thanh cong không gian. Một số nhà nghiên cứu đã đi vào nghiên cứu ảnh hưởng của xoắn uốn trong

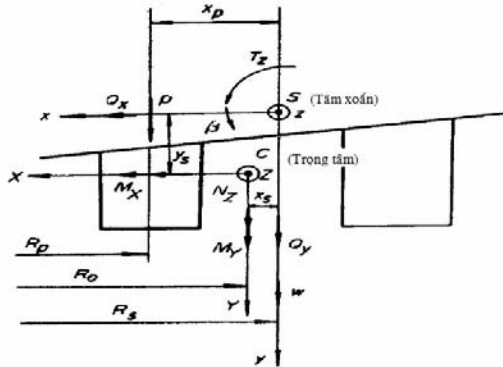
cầu dầm hộp cong. Như Nakai và Heins nghiên cứu một số loại cầu cong và đề xuất một số tiêu chuẩn xác định đặc trưng tiết diện, chiều dài cầu và góc ở tâm khi chịu ảnh hưởng lớn của xoắn uốn[4]. Truks và Fam khảo sát ảnh hưởng của dầm ngang đến làm việc của cầu dầm hộp cong, các ông đã đưa ra một số các thông số nghiên cứu dùng mô hình phần tử hữu hạn và khảo sát một số các trường hợp tải đơn giản, tỉ số ứng suất tính toán theo mô hình phần tử hữu hạn và theo lý thuyết mô hình dầm, kết quả chỉ ra dầm ngang ảnh hưởng đến sự phân phối tải trọng và tỉ số ứng suất[4]. Qua một số nghiên cứu trước đây cho thấy bán kính càng nhỏ thì tỉ số ứng suất càng lớn, và tỉ số ứng suất khá lớn khi bán kính  $R < 30.48m$ [4].

Hiện nay, các quy trình liên quan đến phân tích và thiết kế cầu cong như “AASHTO’s LRFD Bridges Design Specification” và “Guide Specifications for Horizontally Curved Highway Bridges” quy định phải xem xét ảnh hưởng của xoắn uốn trong thiết kế, nhưng lại

không có một quy định hay chỉ dẫn nào cả. Kết quả là các kỹ sư thiết kế cầu cong thường phải đối mặt với những vấn đề cần thiết lại thiếu hoặc không có hướng dẫn cụ thể. Trong tiết diện thành mỏng nội lực phát sinh rất phức tạp, đặc biệt đối với cầu cong do ảnh hưởng của bán kính cong mà các thành phần nội lực này tăng đáng kể. Do vậy để thấy được khuynh hướng thay đổi của nội lực cũng như chuyển vị trong các cầu cong có tiết diện thành mỏng nhằm lựa chọn bán kính cong cầu phù hợp để giảm được ảnh hưởng của xoắn uốn và chuyển vị, trong nghiên cứu này tiến hành khảo sát ảnh hưởng của tỉ số L/R đến tỉ số ứng suất xoắn uốn và chuyển vị.

## 2. Lý thuyết tính toán thanh thành mỏng[3]

Phân tích một dầm cong thuộc loại thanh thành mỏng có tiết diện bất kỳ. Tiết diện không đối xứng, trọng tâm C không trùng với tâm xoắn S



Từ điều kiện cân bằng lực xác định được các công thức liên hệ giữa lực cắt  $Q_x$ , momen uốn  $M_x$ , và momen xoắn  $T_z$  tác dụng trên một phân đoạn dầm  $ds = R_s d\phi$  tại tâm xoắn S :

$$\frac{dQ_x}{ds} = -\frac{R_p}{R_s} p$$

$$\frac{d^2 M_x}{ds^2} + \frac{M_x}{R_s^2} = -\left(\frac{R_p}{R_s}\right)^2 p$$

$$\frac{dT_z}{ds} = \frac{M_x}{R_s} - \frac{R_p}{R_s} x_p p$$

Phương trình vi phân góc xoắn  $\theta$  của dầm cong chịu momen xoắn :

$$EI_\omega \frac{d^4 \theta}{ds^4} - GK \frac{d^2 \theta}{ds^2} = -\frac{dT_z}{ds}$$

Công thức tính bimomen  $M_\omega$  :

$$M_\omega = EI_\omega \frac{d^2 \theta}{ds^2}$$

Momen xoắn tự do :

$$T_s = GK \frac{d\theta}{ds}$$

Momen xoắn uốn :

$$T_\omega = -EI_\omega \frac{d^3 \theta}{ds^3}$$

Khi kết cấu thanh thành mỏng chịu uốn và xoắn kiểm chế thì ứng suất pháp gồm hai thành phần do uốn và do bimomen, ứng suất tiếp tổng hợp bao gồm ứng suất tiếp do lực cắt, do xoắn tự do và do xoắn uốn.

Ứng suất pháp do momen uốn  $M_x$  và bimomen  $M_\omega$  :

$$\sigma = \frac{M_x}{I_x} y + \frac{M_\omega}{I_\omega} \omega$$

Ứng suất tiếp do lực cắt  $Q_y$ , momen xoắn tự do  $T_s$  và momen xoắn uốn  $T_\omega$  :

$$\tau = \frac{Q_y}{tI_x} S_x + \frac{T_s}{2tA_c} + \frac{T_\omega}{tI_\omega} S_\omega$$

Lập tỉ số ứng suất :

Tỉ số ứng suất pháp (%) :

$$R\sigma(\%) = \frac{\sigma_\omega}{\sigma_b} (\%) = 100 \frac{\sigma_{dd} - \sigma_{gd}}{\sigma_{gd}}$$

Tỉ số ứng suất tiếp (%) :

$$R\tau(\%) = \frac{\tau_\omega}{\tau_{QS}} (\%) = 100 \frac{\tau_{dd} - \tau_{gd}}{\tau_{gd}}$$

Trong đó :

E : modun đàn hồi của vật liệu.

K : momen quán tính xoắn tự do.

G : modun cắt của vật liệu.

$I_x$  : momen quán tính.

$I_\omega$  : momen quán tính quạt chính.

y : khoảng cách tính từ trọng tâm tiết diện đến vị trí cần xét.

$\omega$  : tọa độ quạt chính vị trí cần xét

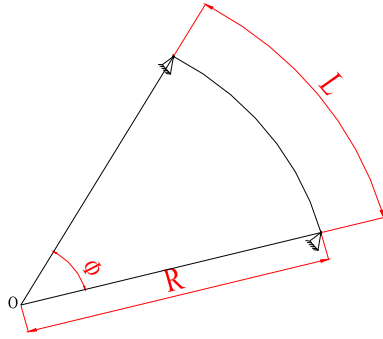
$S_x, S_\omega$  : momen tĩnh tiết diện và momen tĩnh quạt

t : bề dày sườn chịu cắt.

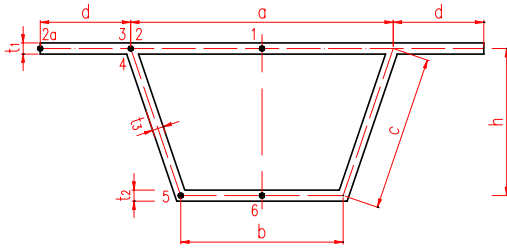
$A_c$  : Diện tích nằm trong chu vi hẹp.

## 3. Ảnh hưởng của L/R đến tỉ số ứng suất xoắn uốn :

Khảo sát cầu cong dầm hộp, nhịp giản đơn với các thông số :



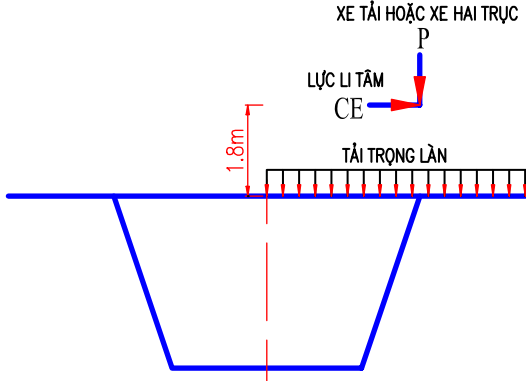
**a. Kích thước hình học :**



Xét:  $h = 200\text{cm}$ ,  $b=410\text{cm}$ ,  $a=410\text{cm}$ ,  $d=80\text{cm}$ ,  $t_1 = 1.98\text{cm}$ ,  $t_3=1\text{cm}$ ,  $t_2=1.2\text{cm}$ ,  $L=60\text{m}$ .

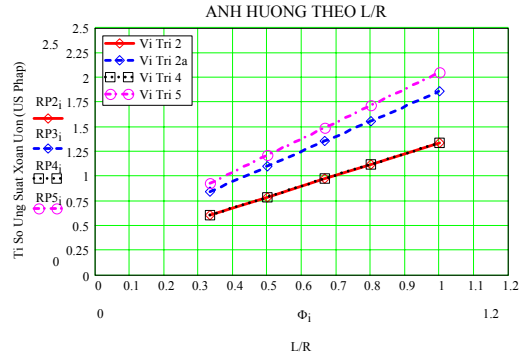
**b. Tải trọng tác dụng :**

Theo tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN-272-01. Xét trường hợp chỉ chịu hoạt tải HL93 (xe Tandem và tải trọng làn) tác dụng lên cầu. Đặt tải tác dụng trên cầu sao cho gây nên momen xoắn lớn nhất, mô hình đặt tải :

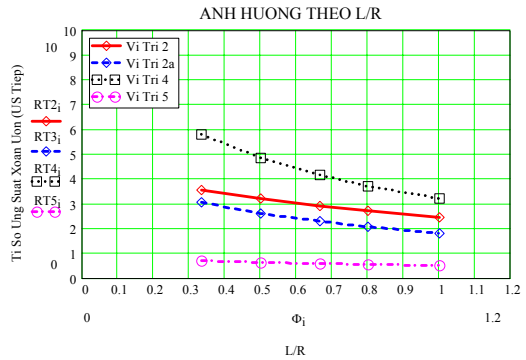


**c. Kết quả tính toán :**

Đồ thị mô tả kết quả tính toán các tỉ số ứng suất khi thay đổi  $L/R = 1/3, 1/2, 2/3, 4/5, 1$  tại các vị trí 1, 2, 2a, 4 và 5 trên mặt cắt ngang hộp:  
Tỉ số ứng suất pháp  $\sigma_\omega/\sigma_b$  (%):

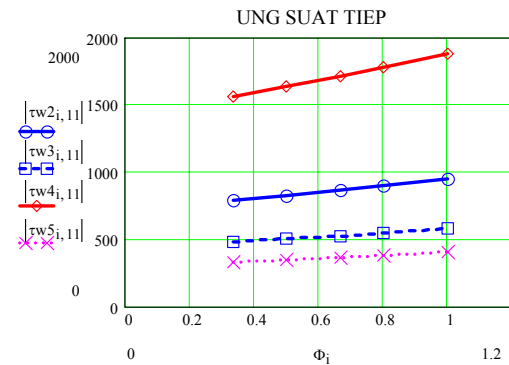


**Tỉ số ứng suất tiếp  $\tau_\omega/\tau_{QS}$  (%):**



**Nhận xét kết quả :**

Tỉ số ứng suất  $\sigma_\omega/\sigma_b$  tăng tuyến tính theo sự gia tăng của  $L/R$ . Tại mép đáy hộp  $\sigma_\omega/\sigma_b$  đạt giá trị lớn nhất, khi  $L/R = 1$  thì  $\sigma_\omega/\sigma_b = 2.05\%$ . Khi  $L/R$  tăng thì tỉ số  $\tau_\omega/\tau_{QS}$  giảm, nhưng tỉ lệ giảm này không đáng kể. Điều này không có nghĩa là ảnh hưởng của xoắn uốn đến ứng suất tiếp giảm mà là do  $\tau_{QS}$  tăng đáng kể so với tỉ lệ tăng của  $\tau_\omega$ . Nếu chỉ xét đến ứng suất tiếp  $\tau_\omega$  do momen xoắn uốn thì :



Kết quả trên đồ thị cho thấy  $\tau_\omega$  tăng tuyến tính theo  $L/R$ . Tại vị trí mép trên sườn hộp có giá trị  $\tau_\omega/\tau_{QS}$  lớn nhất.

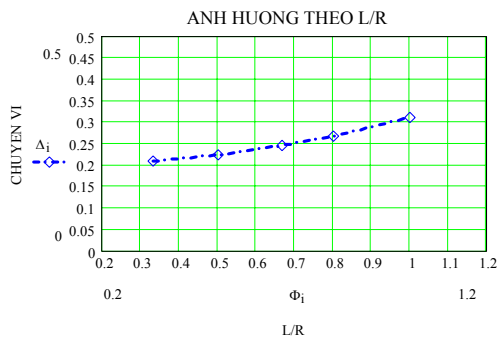
Như vậy ảnh hưởng của xoắn uốn đến ứng suất tiếp và ứng suất pháp đều tăng tuyến tính khi  $L/R$  tăng, ảnh hưởng của xoắn uốn đến ứng

suất tiếp lớn hơn ứng suất pháp. Theo kết quả tính toán được thì  $(\sigma_w/\sigma_b)_{max} = 2.05\%$  và  $(\tau_w/\tau_{QS})_{max} = 5.81\%$ .

#### 4. Ảnh hưởng của L/R đến chuyển vị :

Cũng xét ví dụ trên, tính giá trị chuyển vị tại giữa nhịp khi L/R thay đổi. Bảng giá trị và đồ thị mô tả kết quả tính toán :

L/R	1/3	1/2	2/3	4/5	1
$\Delta(m)$	0.208	0.223	0.245	0.267	0.312



**Nhận xét kết quả :** Khi L/R tăng thì chuyển vị tại giữa nhịp tăng.

#### 5. Nhận xét – Kết luận :

Từ kết quả phân tích ảnh hưởng của L/R đến tỉ số ứng suất và chuyển vị, rút ra được một số kết quả :

Trên mặt cắt ngang cầu cong dầm hộp, tại vị trí giao giữa bản đáy hộp và sườn hộp có ứng suất pháp xoắn uốn lớn nhất, ứng suất tiếp xoắn uốn lớn nhất tại vị trí giao giữa sườn hộp và bản biên trên.

Trong các kết cấu cầu cong có mặt cắt ngang dạng thanh thành mỏng, ảnh hưởng của xoắn uốn đến ứng suất tiếp lớn hơn nhiều so với ứng suất pháp.

Ứng suất pháp và ứng suất tiếp do xoắn uốn tăng tuyến tính theo sự gia tăng của tỉ số L/R. Theo kết quả tính toán một số ví dụ cụ thể cho thấy khi tỉ số  $L/R \leq 1$  thì  $\sigma_w/\sigma_b < 5\%$  và  $\tau_w/\tau_{QS} < 10\%$ .

Khi L/R tăng thì chuyển vị tăng, ảnh hưởng của tỉ số L/R đến chuyển vị rất lớn.

Như vậy, tùy theo giới hạn cho phép của tỉ số ứng suất và chuyển vị mà lựa chọn bán kính cong cầu hợp lý. Sau đây sẽ tính toán vài ví dụ cụ thể giá trị tỉ số L/R của một số cầu

cong nhịp giản đơn chịu hoạt tải HL93 (xe Tandem và tải trọng làn) :

Cầu	h (cm)	b (cm)	a (cm)	d (cm)
1	200	410	410	80
2	250	480	480	110
3	199	594	594	199

Cầu	$t_1$ (cm)	$t_3$ (cm)	$t_2$ (cm)	L (m)
1	1.98	1.0	1.29	60
2	1.82	1.0	1.39	90
3	1.89	1.3	2.97	120

Tỉ số L/R theo giới hạn cho phép của tỉ số ứng suất pháp  $\sigma_w/\sigma_b$  (%) :

Cầu	Tỉ số ứng suất pháp $\sigma_w/\sigma_b$ (%) cho phép				
	1	2	5	10	15
1	0.34	0.69	1.72	3.44	5.16
2	0.57	1.15	2.87	5.74	8.61
3	0.69	1.38	3.45	6.90	10.35

Tỉ số L/R theo giới hạn cho phép của tỷ lệ phần trăm độ gia tăng chuyển vị  $\epsilon$  của dầm cong so với dầm thẳng có cùng chiều dài nhịp và đặc trưng tiết diện :

Cầu	Tỷ lệ phần trăm độ gia tăng chuyển vị $\epsilon$ (%) cho phép				
	5	10	15	20	25
1	0.36	0.5	0.60	0.69	0.77
2	0.37	0.5	0.60	0.69	0.77
3	0.36	0.5	0.60	0.69	0.77

#### 6. Tài liệu tham khảo :

1. Tiêu Chuẩn Thiết Kế Cầu 22 TCN-272-01, Bộ GTVT.
2. Guide Specifications for Horizontally Curved Highway Bridges.
3. Hiroshi Nakai & Chai Hong Yoo, Analysis and Design of Horizontally Curved Steel Bridges, McGraw-Hill Book Company.
4. Sherif El -Tawil and Ayman M. Okeil, Behavior and Design of Curved Composite Box Girder Bridges.