MỘT SỐ VẤN ĐỀ VỀ TÍNH TOÁN ẢNH HƯỞNG CỦA GRADIEN NHIỆT ĐỐI VỚI KẾT CẤU CẦU BÊ TÔNG CỐT THÉP VÀ CẦU BÊ TÔNG CỐT THÉP DỰ ỨNG LỰC LIÊN TỤC

PGS. TS. NGUYỄN VIẾT TRUNG

KS. NGUYỄN ĐỨC THỊ THU ĐỊNH

Bộ môn Công trình GTTP – Khoa Công trình

Trường Đại học Giao thông Vận tải

***Tóm tắt**: Gradien nhiệt là một trong các yếu tố tác động lên kết cấu gây ra các ảnh hưởng như biến dạng hay gây ra đồng thời biến dạng cùng nội lực trong kết cấu. Sự tiếp nhận của mỗi loại kết cấu đối với tác động này cũng rất khác nhau và chủ yếu phụ thuộc vào hình dạng mặt cắt và các điều kiện biên của kết cấu. Bài báo này phân tích một số vấn đề để làm rõ sự ảnh hưởng của gradien nhiệt đối với kết cấu cầu BTCT và BTCT DƯL liên tục trong giai đoạn khai thác và từ đó có một số kết luận liên quan.*

***Summary**: Gradient temprature is an important factor affecting structures to cause such effects as deformation or simultaneous deformation and internal force in the structures. Response of each type of structures to these effects is defferenct and it depends on cross section and boundary conditions of strutures. This report analyses some issue to clarify the effects of temprature Gradient in reinforced concrete and prestressed concrete continuous beam structures in service and put forward some conclusions.*

1. TỔNG QUAN VỀ SỰ ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ NÓI CHUNG ĐỐI VỚI KẾT CẤU CẦU BTCT VÀ BTCT DƯL TRONG GIAI ĐOẠN KHAI THÁC

Kết cấu nói chung đều được cấu thành từ các loại vật liệu mà đặc tính của chúng là chịu ảnh hưởng của nhiệt độ. Đối với kết cấu cầu thường cấu tạo từ các loại vật liệu như thép, bê tông cốt thép hay vật liệu composit đặc biệt khác. Dưới tác động của sự thay đổi nhiệt độ, các vật liệu này có thể bị biến dạng (co hoặc dãn) tương ứng, gây nên các chuyển vị. Nếu các chuyển vị này bị kiềm chế (kết cấu siêu tĩnh) sẽ làm phát sinh nội lực trong kết cấu.

Tác động của nhiệt độ đối với kết cấu được quan tâm trong công trình xây dựng gồm có hai loại như sau:

- Nhiệt độ thay đổi đều: là nhiệt độ được xem như tác dụng đều trên toàn bộ các mặt cắt dọc theo kết cấu. Nhiệt độ này gây ra các biến dạng dọc trục kết cấu.

- Gradient nhiệt: là nhiệt độ thay đổi khác nhau theo chiều cao hoặc chiều ngang trên cùng 1 mặt cắt. Gradient nhiệt thường gây cả các biến dạng dọc trục và các biến dạng góc.

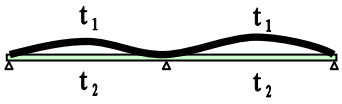
Trong phạm vi bài viết này, phần được trình bầy dưới đây chỉ đề cập tới ảnh hưởng của gradient nhiệt đối với kết cấu cầu.

2. SỰ HÌNH THÀNH GRADIENT NHIỆT TRONG KẾT CẤU DẦM CẦU

Trong quá trình khai thác, gradient nhiệt có thể hình thành trong dầm cầu theo nhiều cách mà trong đó điển hình là chênh lệch do mặt trên nóng hơn và chênh lệch do mặt trên lạnh hơn. Về bản chất của sự hình thành gradien nhiệt nói chung được mô tả như sau:

- Gradient nhiệt trong trường hợp mặt trên nóng hơn: Dưới tác dụng của ánh sáng mặt trời chiếu trực tiếp, mặt trên của kết cấu nhịp (lớp phủ mặt cầu) nhận được nhiệt lượng lớn hơn so với mặt đáy dầm, do vậy nhiệt độ tại mặt dầm sẽ nóng hơn so với nhiệt độ đáy dầm và điều này đã hình thành nên sự chênh lệch nhiệt độ (gradient nhiệt) giữa các thớ dầm theo chiều cao mặt cắt kết cấu. Trường hợp này thường được gọi chênh nhiệt độ dương.

- Gradient nhiệt trong trường hợp mặt trên lạnh hơn: Trong những trường hợp trời đang oi bức có mưa, có gió thổi mạnh phía trên mặt cầu, hơi lạnh về ban đêm, hoặc trên mặt cầu có đóng băng tuyết,… nhiệt độ tại mặt dầm sẽ lạnh hơn so với nhiệt độ đáy dầm và điều này cũng đã hình thành nên sự chênh lệch nhiệt độ (gradient nhiệt) giữa các thớ dầm theo chiều cao mặt cắt kết cấu. Trường hợp này thường được gọi chênh nhiệt độ âm.



CT 2

Hình 1. *Chênh lệch nhiệt dương trên kết cấu*

Hình 2. *Chênh lệch nhiệt âm trên kết cấu*

Ngoài ra còn có các trường hợp chênh lệch nhiệt độ theo phương ngang nhưng các ảnh hưởng này thường không được xem xét trong tính toán kết cấu cầu.

Sự chênh lệch nhiệt độ giữa hai thớ đỉnh và đáy dầm theo chiều cao như đã nêu là rất rõ ràng, tuy nhiên diễn biến về sự chênh lệch nhiệt độ giữa các thớ khác bên trong dầm dọc theo chiều cao đó như thế nào hiện vẫn còn nhiều vấn đề chưa được thống nhất về quan điểm. Mỗi quan điểm xem xét về gradient nhiệt theo chiều cao kết cấu được thể hiện rõ trong mỗi quy trình tính toán khác nhau mà một số trong đó sẽ được trình bầy trong mục tiếp dưới đây.

3. PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA GRADIEN NHIỆT ĐỐI VỚI KẾT CẤU DẦM CẦU LIÊN TỤC

Các kết cấu nhịp dầm cầu khác nhau thì ứng xử của chúng với chênh lệch nhiệt độ là khác nhau. Sự ứng xử đó thể hiện qua nguyên lý hình thành biến dạng và nội lực trong kết cấu và được thể hiện qua các công thức tính toán cũng như thực tế khai thác.

3.1. Nguyên lý hình thành biến dạng và nội lực trong kết cấu

- Nguyên lý hình thành biến dạng: Nguyên tắc chung khi có sự thay đổi nhiệt độ là có sự biến dạng. Gradient nhiệt là sự chênh lệch nhiệt độ giữa các thớ khác nhau trên cùng một mặt cắt của cấu kiện nên sinh ra biến dạng giữa các thớ cũng khác nhau. Sự biến dạng khác nhau

đó là nguyên nhân dẫn tới mặt cắt không còn phẳng nữa mà bị cong vênh đi nếu không được kiềm chế.

- Nguyên lý hình thành nội lực: Khi biến dạng xuất hiện, nếu kết cấu tự do biến dạng thì sẽ không phát sinh nội lực. Đối với kết cấu siêu tĩnh, sự biến dạng này bị kiềm chế bởi các điều kiện biên và chính điều này đã hình thành nội lực trong kết cấu. Các mặt cắt có xu hướng bị vênh vì biến dạng sẽ làm cho các thớ bị chèn ép lên nhau, hình thành trạng thái ứng suất rất phức tạp trong kết cấu.

3.2. Sự đáp ứng của kết cấu đối với tác động của gradient nhiệt

Sự đáp ứng của kết cấu đối với ảnh hưởng của gradien nhiệt có thể chia làm 3 ảnh hưởng như sau:

• ***Sự dãn dài dọc trục*** - gây ra do thành phần không thay đổi được xác định từ sự phân bố chênh lệch nhiệt độ và nó được xem xét giống như tác động nhiệt độ thay đổi đều thông thường khác lên kết cấu. Có thể tính như sau:

$$T_{UG} = \frac{1}{A_G}\iint T_G dwdz$$

Ứng biến đều dọc trục tương ứng là:

$$\varepsilon_u = \alpha[T_{UG} + T_u]$$

trong đó:

CT 2

T_{UG} - nhiệt độ lấy trung bình qua mặt cắt ngang (° C);

T_u - nhiệt độ đồng đều được quy định (° C);

T_G - gradient nhiệt độ (Δ^0C);

w - bề rộng của phần tử trong mặt cắt ngang (mm);

A_C - diện tích mặt cắt ngang, m^2;

α - hệ số giãn nở nhiệt (mm/mm/°C).

• ***Biến dạng uốn*** - Theo giả thiết tính toán, các mặt cắt phẳng trước và sau khi chịu lực vẫn phẳng nên kết cấu sẽ bị cong đi tương ứng với ảnh hưởng của thành phần nhiệt độ thay đổi tuyến tính theo chiều cao được xác định từ biểu đồ gradient nhiệt. Trị số góc quay trên một đơn vị chiều dài của đường cong này có thể được xác định như sau:

$$\phi = \frac{\alpha}{I_C}\iint T_G z dwdz = \frac{1}{R}$$

trong đó:

I_c - mô men quán tính của mặt cắt - quy ra dầm thép (mm^4);

R - bán kính cong (mm);

z - khoảng cách thẳng đứng tính từ trọng tâm của mặt cắt (mm).

Ứng biến dọc trục và độ cong có thể được sử dụng trong việc lập các công thức cả về độ cứng lẫn độ mềm. Trước đây, trong các công thức truyền thống để tính toán chuyển vị, người ta sử dụng ε_u thay thế cho P/AE (ứng biến đường) và góc quay ϕ thay thế cho M/EI (ứng biến góc). Sau này, các hiệu ứng lực tại đầu bị kiểm chế của một phần tử khung dạng lăng trụ có thể được xác định trực tiếp như sau:

$$N = EA_c \varepsilon_u$$

$$M = EI_c \phi$$

trong đó:

A_C - diện tích mặt cắt - quy đổi ra dầm thép (mm^2);

E - mô đun đàn hồi (MPa).

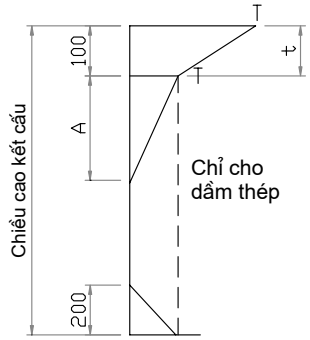
• ***Nội ứng suất*** - Quy ước dấu dương là nén thì trị số nội ứng suất được tăng thêm do sự dãn dài dọc trục cũng như sự quay của mặt cắt bị ngăn cản có thể được tính như sau:

$$\sigma_E = E\,[\alpha T_G - \alpha T_{UG} - \phi z]$$

3.3. Các mô hình tính toán ứng suất nhiệt theo các tiêu chuẩn thiết kế khác nhau

- Theo tiêu chuẩn 22TCN272-01

CT 2



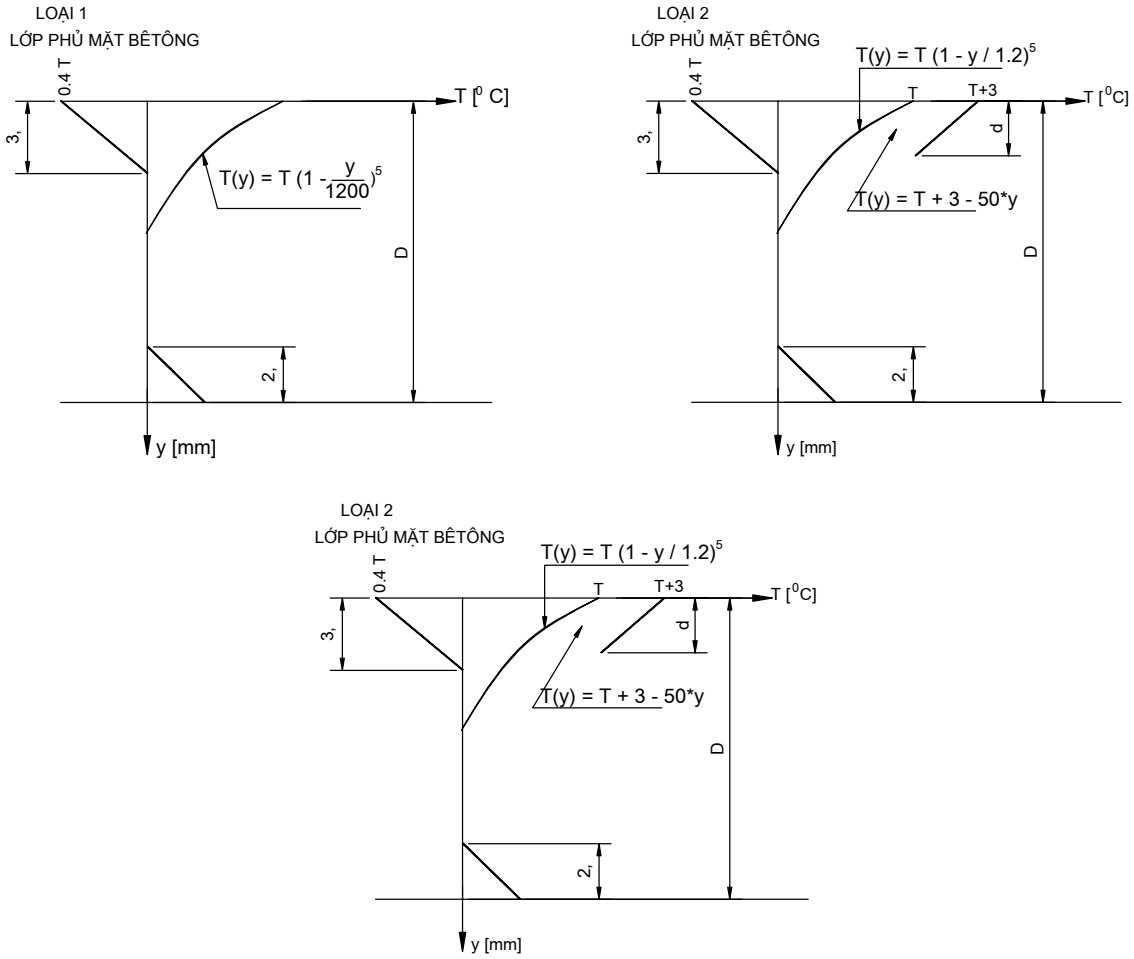
Sơ đồ Gradien nhiệt độ theo phương đứng
trong kết cấu bê tông và cốt thép

Hình 3. *Phân bố nhiệt độ trên suốt mặt cắt ngang căn cứ theo tiêu chuẩn 22TCN 272-01*

Tiêu chuẩn này xem xét sự phân bố nhiệt độ không theo quy luật đường thẳng. Theo chiều cao mặt cắt ngang được chia ra làm nhiều đoạn. Trên mỗi đoạn đó là có sự chênh lệch nhiệt độ tuyến tính tại điểm đầu và cuối. Đoạn ở khoảng giữa nhiệt độ không thay đổi.

- Theo tiêu chuẩn AUSTROADS 1992

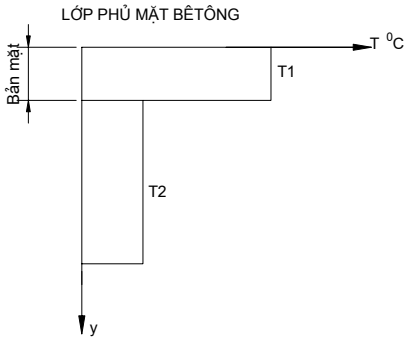
Tiêu chuẩn này xem xét sự phân bố nhiệt độ không theo quy luật đường thẳng. Theo chiều cao mặt cắt ngang được chia ra làm nhiều đoạn. Trên mỗi đoạn đó là có sự chênh lệch nhiệt độ tuyến tính tại điểm đầu và cuối hoặc biến đổi theo dạng hàm. Đoạn ở khoảng giữa hoặc đáy nhiệt độ không thay đổi.



CT 2

Hình 4. *Phân bố nhiệt độ trên suốt mặt cắt ngang căn cứ theo tiêu chuẩn thiết kế cầu của Australian.*
Loại 1 - ứng với dạng mặt cắt dầm bản BTCT và BTCT DƯL
Loại 2 - ứng với dạng dầm hộp BTCT và BTCT DƯL
Loại 3 - ứng với dạng dầm liên lợp BTCT và BTCT DƯL

- Theo tiêu chuẩn của Hàn Quốc



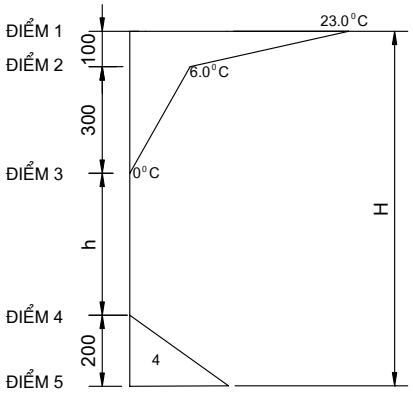
Hình 5. *Phân bố nhiệt độ trên suốt mặt cắt ngang theo tiêu chuẩn thiết kế cầu của Hàn Quốc*

Tiêu chuẩn này xem xét sự phân bố nhiệt độ một cách tương đối đơn giản. Nhiệt độ khác nhau giữa các đoạn trên chiều cao kết cấu nhưng trong cùng một đoạn được xem là bằng nhau.

3.4. Phân tích sự ảnh hưởng của gradien nhiệt đối với kết cấu dầm cầu BTCT có chiều cao khác nhau theo tiêu chuẩn 22 TCN 272 - 01

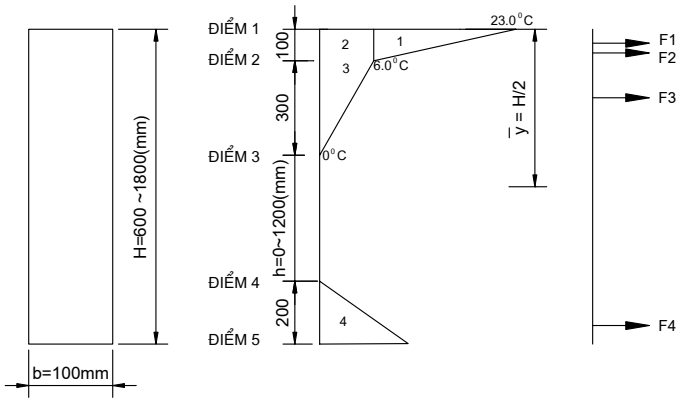
Theo tiêu chuẩn 22 TCN 272 - 01, biểu đồ gradien nhiệt dương trên mặt cắt ngang dầm cầu BTCT có dạng như sau:

Dưới tác dụng của gradien nhiệt hình thành nhiệt độ trong kết cấu. Tại mỗi mặt cắt hình thành nên lực dọc, mômen và sinh ra ứng suất khác nhau tại mỗi điểm trên mặt cắt dầm cầu. Các trị số lực dọc, mômen và ứng suất này thay đổi phụ thuộc vào chiều cao mặt cắt (biểu đồ gradien nhiệt là không thay đổi cả về trị số nhiệt độ tại mỗi điểm và vị trí tương đối của các điểm đó so với các mặt biên của kết cấu).



CT 2

Việc khảo sát sự thay đổi này có thể thực hiện khi nghiên cứu một cầu dầm bản mặt cắt ngang dạng hình chữ nhật có chiều cao thay đổi từ 600 mm đến 1800 mm, bề rộng mặt cắt không đổi b = 100 mm. Mô đun đàn hồi bê tông bằng 30 KN/mm^2, hệ số dãn nở nhiệt 12.10^{-6} 1/°C. Tính toán các ứng suất trong mặt cắt do chênh lệch nhiệt độ dương trong trường hợp mặt cắt không bị nứt.



Hình 6. *Mặt cắt ngang và dạng phân bố nhiệt theo chiều cao kết cấu*

Đánh số các điểm từ 1 tới 5 tương ứng với các điểm trong biểu đồ nhiệt độ theo chiều cao dầm. Các giá trị lực trong các đoạn chiều cao được phân cách bởi các điểm này tính toán theo công thức:

$$Fi = A_i.E_c.\beta_L.T_i \qquad (1)$$

trong đó:

A_i - diện tích mặt cắt ngang dầm trong phạm vi mỗi đoạn;

E_c - mô đun đàn hồi bê tông (KN/mm^2);

β_L - hệ số dãn nở nhiệt ($1/^oC$);

T_i - chênh lệch nhiệt độ trong đoạn.

Các giá trị ứng suất tại mỗi điểm trên mặt cắt ngang được tính toán theo công thức sau:

$$\sigma=(-E_C\beta_L T+\sum F_i/A+\sum(y-\bar{y})M/I \qquad (2)$$

trong đó:

T - nhiệt độ tại điểm tính ứng suất;

F_i - các lực tác dụng tại các đoạn trên mặt cắt tương ứng với điểm thay đổi nhiệt độ;

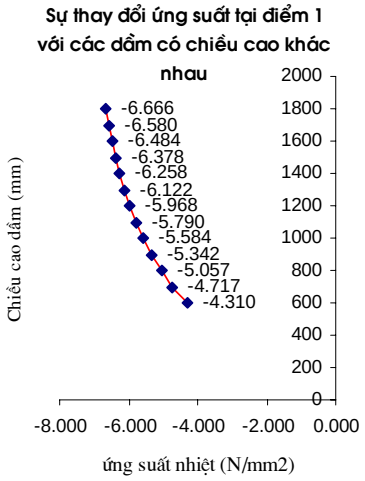
y - khoảng cách từ trục trọng tâm tới thớ tính ứng suất;

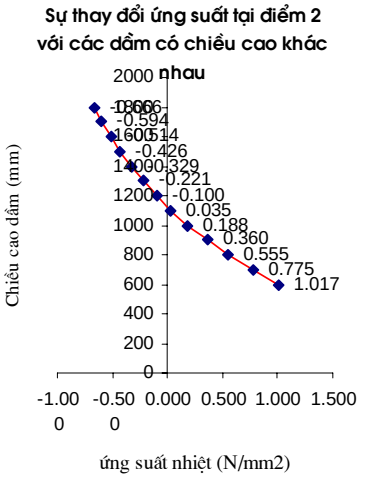
$\bar{y}$ - khoảng cách từ đỉnh của mặt cắt tới trục trọng tâm;

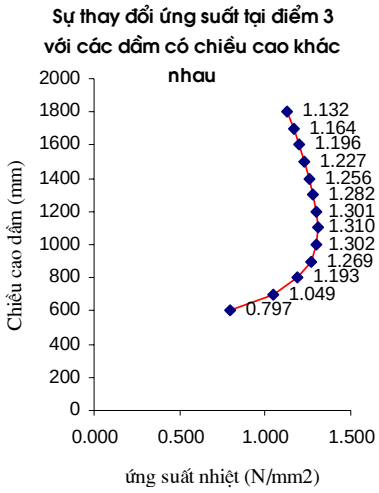
M - mômen mặt cắt do tác dụng của gradien nhiệt gây ra.

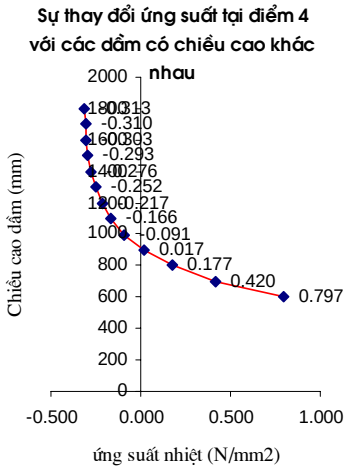
CT 2

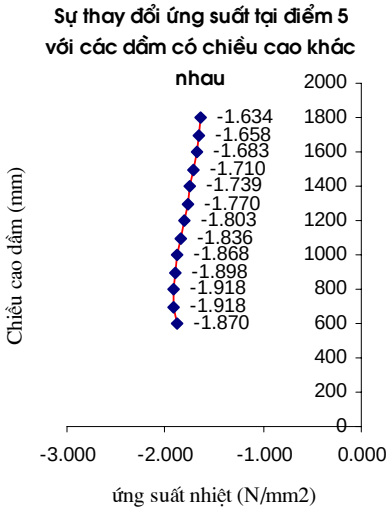
Kết quả tính toán diễn biến ứng suất tại các điểm tương ứng 1, 2, 3, 4, 5 và trị số mômen mặt cắt ứng với các dầm có chiều cao khác nhau được thể hiện trong các biểu đồ dưới đây:

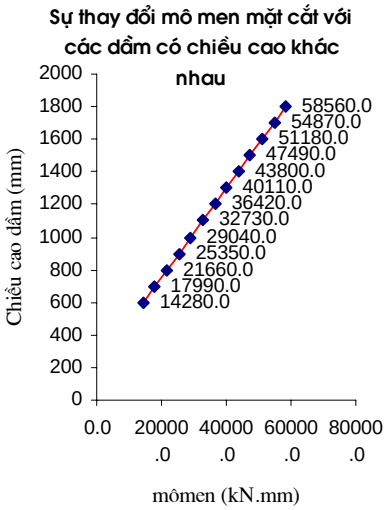












CT 2

Có thể phân tích ứng suất nhiệt đối với kết cấu dầm cầu chịu ảnh hưởng của gradien nhiệt dương theo tiêu chuẩn 22 TCN 272 - 01 như sau:

- Ảnh hưởng của gradien nhiệt đối với các dầm có chiều cao khác nhau là khác nhau;

- Diễn biến ứng suất tại các điểm trên mặt cắt:

+ Tại điểm 1: ứng suất do gradien nhiệt gây ra tại điểm 1 của kết cấu dầm cầu là ứng suất nén, và khi chiều cao dầm càng lớn thì dầm chịu nén càng nhiều.

+ Tại điểm 2: ứng suất do gradien nhiệt gây ra tại điểm 2 của kết cấu dầm cầu biến đổi từ trạng thái chịu kéo sang chịu nén tương ứng với việc tăng chiều cao dầm.

+ Tại điểm 3: ứng suất do gradien nhiệt gây ra tại điểm 3 của kết cấu dầm cầu khi chiều cao thay đổi biến đổi rất phức tạp, ứng suất dầm cầu là ứng suất kéo. Trên biểu đồ cho ta thấy lúc đầu khi chiều cao dầm tăng thì ứng suất kéo tăng. Nếu tiếp tục tăng chiều cao dầm cầu lên thì lúc đó ứng suất lại có xu thế giảm đi.

+ Tại điểm 4: ứng suất do gradien nhiệt gây ra tại điểm 4 của kết cấu dầm cầu biến đổi từ trạng thái chịu kéo sang chịu nén tương ứng với việc tăng chiều cao dầm. Việc giảm ứng suất kéo diễn ra rất nhanh, nhưng khi chuyển sang ứng suất nén lại tăng rất chậm.

+ Tại điểm 5: ứng suất do gradien nhiệt gây ra tại điểm 5 của kết cấu dầm cầu khi chiều cao thay đổi biến đổi rất phức tạp, ứng suất dầm cầu hoàn toàn là ứng suất nén. Trên biểu đồ cho ta thấy lúc đầu khi chiều cao dầm tăng thì ứng suất nén tăng. Nếu tiếp tục tăng chiều cao dầm cầu lên thì lúc đó ứng suất lại có xu thế giảm đi.

- Diễn biến mômen tại các điểm trên mặt cắt: Trị số mômen gần như tăng tuyến tính khi chiều cao mặt cắt tăng.

4. KẾT LUẬN

- Gradien nhiệt là một yếu tố tác động lên kết cấu và cần được xem xét trong khi phân tích các kết cấu cầu BTCT và cầu BTCT DƯL.

- Thông qua thực tiễn cũng như kết quả tính toán cho thấy ảnh hưởng của gradien nhiệt theo phương đứng là không đáng kể và không gây bất lợi lớn đối với kết cấu có chiều cao mặt cắt nhỏ hơn 0.6m, không thay đổi trên toàn bộ chiều dài cầu như ở kết cấu cầu treo. Các quy trình, các quy định chỉ xem xét ảnh hưởng của gradien nhiệt theo chiều cao đối với các kết cấu dầm có chiều cao lớn hơn 0.6m. Ngược lại đối với các kết cấu cầu có chiều cao mặt cắt lớn hơn, chiều cao mặt cắt thay đổi theo phương dọc cầu như ở các cầu đúc phân đoạn có mặt cắt thay đổi thì ảnh hưởng của gradien nhiệt là gây bất lợi đáng kể. CT 2

- Các quy trình khác nhau đưa ra các mô hình khác nhau về phân bố nhiệt độ trên mặt cắt ngang theo chiều cao kết cấu, điều đó có nghĩa là vấn đề phân bố nhiệt trong kết cấu cầu là vấn đề mở, còn cần tiếp tục nghiên cứu.

- Các kết quả đưa ra trong bài báo này dựa trên cơ sở tính toán toán học. Để có được các kết quả chính xác hơn về sự làm việc của kết cấu dầm cầu dưới tác dụng của gradien nhiệt thì cần phải tiến hành các nghiên cứu thực nghiệm.

Tài liệu tham khảo

[1] Tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN 272 - 01, Bộ GTVT, 2001.

[2] Aashto guide specifications thermal effects in concrete bridge supers-tructures, 1998.

[3] AASHTO. Standard Specifications for Highway Bridges. 16th Edition, 1998.

[4] AUSTROADS. Standard Bridge Design Code, 1992.

[5] *A. H. Bryant*. Creep and Shrinkage of a Bridge - Building Concrete. ACI Journal, March 1979.

[6] *M. Y. H Bangash*. Prototype bridge structure analysis and design, 1999◆