

NGHIÊN CỨU ỨNG SUẤT NHIỆT TRONG TẤM BÊ TÔNG XI MĂNG

NGUYỄN QUỐC VĂN

Bộ môn Cầu đường, sân bay - Viện KTCTĐB

TRỊNH TRUNG TIẾN

Khoa Cơ khí - HVKTQS

TÓM TẮT:

Tấm bê tông xi măng chịu tác động của nhiệt độ không khí và nhiệt độ do bức xạ mặt trời sinh ra ứng suất nhiệt. Hai nguồn nhiệt đó có thể quy đổi về nhiệt độ bề mặt tấm. Trong suốt chu kỳ biến đổi theo ngày đêm, tháng, năm, nhiệt độ bề mặt là hàm bất kỳ có thể ở dạng bảng theo giờ. Khi nhiệt độ biến đổi thì ứng suất trong tấm bê tông cũng biến đổi liên tục, tùy theo điều kiện biên, và kích thước của tấm. Khi ứng suất trong tấm do biến thiên nhiệt độ vượt quá ứng suất cho phép, đặc biệt là ứng suất kéo uốn, các tấm sẽ bị phá hoại như nứt, gãy.

Bài báo này mô tả sự biến đổi ứng suất theo chiều sâu tại 5 điểm cách đều của hệ 2 tấm bê tông xi măng bằng phương pháp phần tử hữu hạn có xét đến phân bố nhiệt theo chiều sâu. Kết quả nghiên cứu sẽ giúp người kỹ sư thực hành thiết kế, thi công có tầm nhìn sâu sắc hơn bản chất ứng suất nhiệt tác dụng lên tấm. Với mỗi khu vực có biên độ nhiệt khác nhau thì chiều dày hoặc đặc tính bê tông cần phải thiết kế cho phù hợp để đảm bảo an toàn cho tấm dưới tác dụng của biến đổi nhiệt độ.

Từ khóa: Ứng suất nhiệt, tấm bê tông xi măng, gradient nhiệt độ, hệ số giãn nở bê tông.

ABSTRACT:

Cement concrete pavement slabs are affected by air temperature and heat caused by solar radiation to generate thermal stress. Those two heat sources can be converted to the plate surface temperature. During the cycle of variation by day, night, month, and year, the surface temperature is any function that can be tabular in hours. When the temperature changes, the stress in the concrete slab also varies continuously, although according to the boundary conditions, and the size of the slab. When the stress in the plate due to temperature variation exceeds the allowable stress, especially the tensile and flexural stress, the plates will be damaged such as cracking or breaking.

This paper describes the stress variation in depth at 5 equidistant points of a system of 10 cement concrete slabs by finite element method taking into account heat distribution in depth. Research results will help engineers practice design and construction have a deeper insight into the nature of thermal stress acting on the plate. For each area with different temperature amplitudes, the thickness or concrete characteristics need to be designed accordingly to ensure the safety of the slab under the effect of temperature variation.

Keywords: Thermal stress, cement concrete slab, temperature gradient, coefficient of concrete expansion.

1. GIỚI THIỆU

Ứng suất trong tấm bê tông do biến thiên nhiệt độ gây ra là một nội dung phức tạp vì tấm thông thường có chiều dày 25-40cm, có kích thước dài hoặc rộng từ 4-6m, có điều kiện biên cũng như đặc tính bê tông và điều kiện nhiệt độ bề mặt, nhiệt độ nền móng rất đa dạng. Do bài toán xác định ứng suất trở nên phức tạp nên thông thường phải giới hạn một số điều kiện để tiện thực trong quá trình tính toán, thiết kế tấm. Phương pháp phổ biến nhất hiện nay là dựa vào kích thước dài và rộng của tấm (L và B), và độ cứng trụ (I hoặc L_0) để xác định các hệ số C_x , C_y rồi áp dụng công thức xác định ứng suất lớn nhất trong tấm bê tông. Tuy nhiên, đến nay phân bố ứng suất trong tấm theo chiều sâu thì không có công thức cũng như lời giải cho thỏa đáng. Thực tế quá trình tác động của nhiệt độ biến đổi liên tục, do vậy ứng suất trong tấm bê tông cũng biến đổi theo thời gian theo chu kỳ ngày đêm. Để hiểu sâu ứng suất kéo theo phương dọc tấm phân bố theo chiều sâu, bài báo sẽ sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn dựa trên phần mềm ABAQUS mô tả biểu đồ ứng suất theo thời gian tháng 7 năm 2018.

2. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH ỨNG SUẤT TẤM BÊ TÔNG XI MĂNG THEO CÔNG THỨC CỦA BRADBURY (1938)

Theo các tài liệu chuyên ngành [1] - [9], trong điều kiện Việt nam, để đảm bảo sự chịu lực chung của tải trọng và ứng suất nhiệt, ứng suất nhiệt cho phép trong tấm BTXM mặt đường thường được lấy theo điều kiện:

$$[\sigma_{\text{nhiệt}}] = 0,3 R_{\text{kt}} \quad (1)$$

Trong đó:

[σ_{nhiet}] là ứng suất nhiệt cho phép trong tấm bê tông, MPa;

R_{ku} là khả năng chịu kéo khi uốn của bê tông, MPa.

Với mỗi mác bê tông khác nhau R_{ku} có giá trị thay đổi từ 2 đến 5 Mpa

Phát triển công thức của Westergaard (1926) xác định ứng suất tại tâm tấm bê tông, năm 1938 Bradbury đề xuất công thức tính ứng suất nhiệt còn gọi là ứng suất uốn vòng (warping stress), cụ thể như sau:

- Ứng suất uốn vòng tại cạnh tấm theo phương x và y là:

σ_{cx} = (C_xαEΔT) / (2(1-μ²)) ; σ_{cy} = (C_yαEΔT) / (2(1-μ²)) (2)

- Ứng suất uốn vòng tại tâm tấm theo phương x và y là:

σ_{cx} = (C_xαEΔT) / (2(1-μ²)) (C_x-μC_y) ; σ_{cy} = (C_yαEΔT) / (2(1-μ²)) (C_y-μC_x) (3)

trong đó: C_x, C_y - hệ số phụ thuộc kích thước các cạnh (L) theo phương x và y và độ cứng trụ (I) của tấm, được lấy theo biểu đồ Hình 1, với:

l = h_b √ (E_b(1-μ_b²) / (6E₀(1-μ₀²)))

α - hệ số giãn nở nhiệt của bê tông, thông thường, α = 1x10⁻⁵;

E - Modun đàn hồi của bê tông; μ - hệ số Poisson's của bê tông;

ΔT - Gradient nhiệt của tấm bê tông;

E_b, E₀ - Modun đàn hồi của bê tông và nền đất; μ_b, μ₀ - hệ số Poisson của bê tông và nền đất;

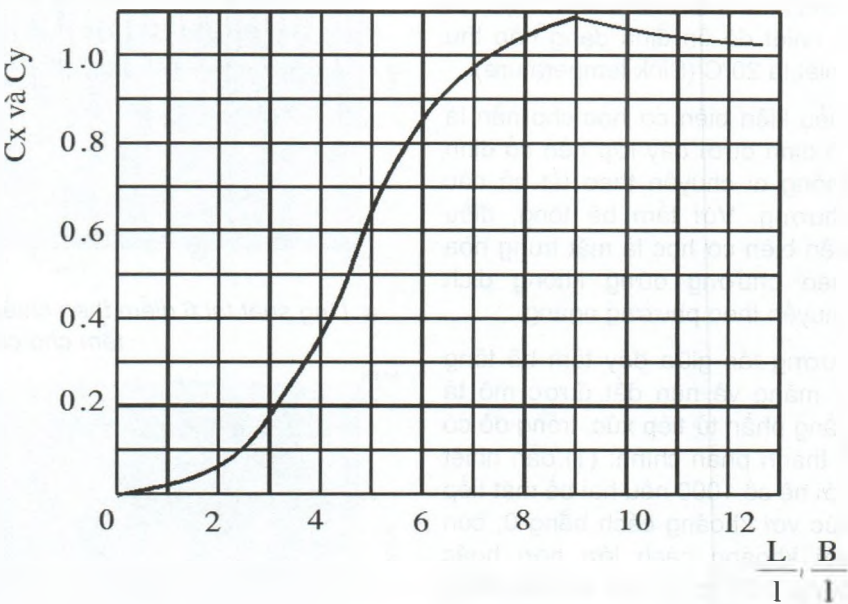
h_b - Chiều dày tấm bê tông

Như vậy, các công thức Bradbury (1938) đề xuất đã tính toán được ứng suất nhiệt lớn nhất mà các điểm nguy hiểm như cạnh tấm và tâm tấm trên bề mặt trên hoặc dưới của tấm. Đây là công thức đã được sử dụng rộng rãi trên thế giới cũng như Việt Nam khi tính toán thiết kế tấm bê tông xi măng mặt đường. Tuy nhiên, sự phân bố ứng suất theo chiều sâu cũng như theo

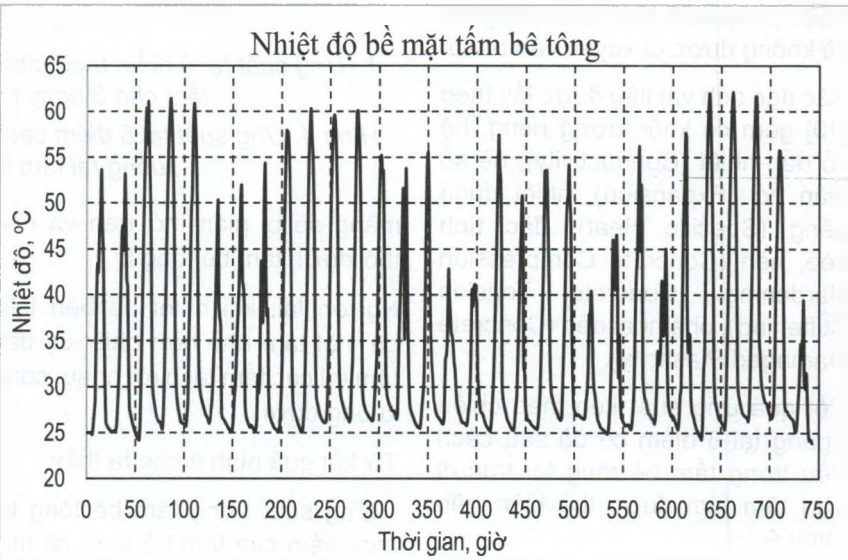
bề mặt tấm thì hoàn toàn không thể hiện trong công thức trong khi thực tế tấm có thể bị phá hoại do ứng suất nhiệt theo nhiều dạng khác nhau. Các dạng phá hoại đó xuất phát từ các điều kiện biên khi tấm làm việc, biến thiên nhiệt độ trên bề mặt, yếu tố hình học tấm và đặc tính vật liệu tấm. Như vậy cần phải có một phương pháp khác để làm sâu sắc hơn về trạng thái và điều kiện ứng suất trong tấm bê tông dưới tác dụng của biến thiên nhiệt độ.

3. PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN XÁC ĐỊNH ỨNG SUẤT TẤM BÊ TÔNG XI MĂNG DỰA VÀO PHẦN MỀM ABAQUS

Bài toán đặt ra để thực hiện có mô hình là 1 tấm bê tông xi măng có kích thước 5m x 5m x 0.4m đặt trên nền đất có kích thước 5m x 5m x 1m. Bài toán được thực hiện trên phần mềm thương mại ABAQUS 2020, sử dụng phương pháp Newton-Raphson để giải bài toán phi tuyến. Đây là bài toán kết hợp giữa nhiệt học và cơ học



Hình 1. Biểu đồ Bradbury (1938) xác định các hệ số kích thước tấm bê tông C_x, C_y



Hình 2. Nhiệt độ bề mặt tấm bê tông tháng 7 năm 2018 theo giờ

(Temperature - Displacement Coupling), trong đó tải trọng là dạng nhiệt độ bề mặt tấm bê tông biến thiên của tháng 7 năm 2018 được lấy từ thí nghiệm tại Xuân Phương, Hà Nội do nhóm nghiên cứu cung cấp. Cả tấm bê tông và nền đất được chia lưới tạo nên phần tử dạng hình hộp chữ nhật liên tục 8 nút giảm trừ tích phân (C3D8R) đảm bảo mật độ chia lưới đủ nhỏ để cho kết quả với nhiều lần thử. Điều kiện biên nhiệt học cần áp cho hai mặt: mặt trên tấm bê tông là nhiệt độ biến thiên theo giờ trong cả tháng 7/2018 dưới dạng Hình 2, mặt dưới lớp nền được coi là nhiệt độ ổn định dạng hấp thụ nhiệt là 20°C (Sink temperature).

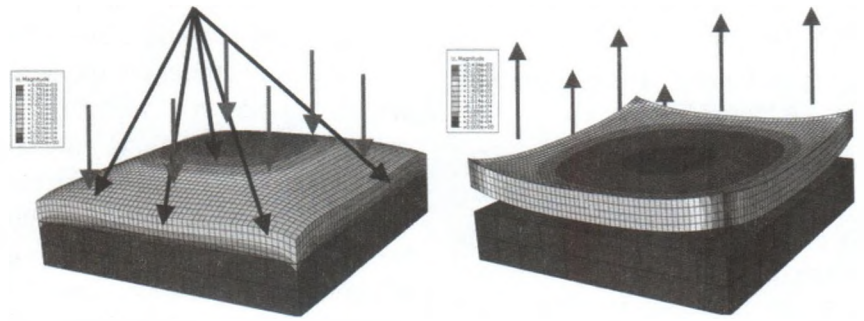
Điều kiện biên cơ học cho nền là cố định dưới đáy lớp nền cố định không di chuyển theo tất cả các phương. Với tấm bê tông, điều kiện biên cơ học là mặt trung hòa theo phương đứng không dịch chuyển theo phương ngang.

Tương tác giữa đáy tấm bê tông xi măng và nền đất được mô tả bằng phần tử tiếp xúc, trong đó có 3 thành phần chính: (1) dẫn nhiệt với hệ số 1000 nếu hai bề mặt tiếp xúc với khoảng cách bằng 0, còn với khoảng cách lớn hơn hoặc bằng 0.001m thì hệ số dẫn nhiệt bằng 0; (2) Ma sát theo phương tiếp tuyến giữa hai bề mặt tiếp xúc có hệ số bằng 0.2; (3) Tấm và nền được phép tách biệt sau tương tác và không được đi xuyên vào nhau.

Các đặc tính vật liệu được lấy theo [10] gồm có khối lượng riêng, hệ số dẫn nhiệt (Conductivity), hệ số giãn nở (Expansion), nhiệt dung riêng (Specific Heat), đặc tính kéo, nén (Concrete Compression Hardening, Concrete Tension Stiffening), phá hoại dẻo (Concrete Damaged Plasticity).

Kết quả ứng suất kéo theo chiều ngang tại 6 điểm có độ sâu cách đều trong tấm bê tông tại trục đi qua tâm tấm được thể hiện trên Hình 4.

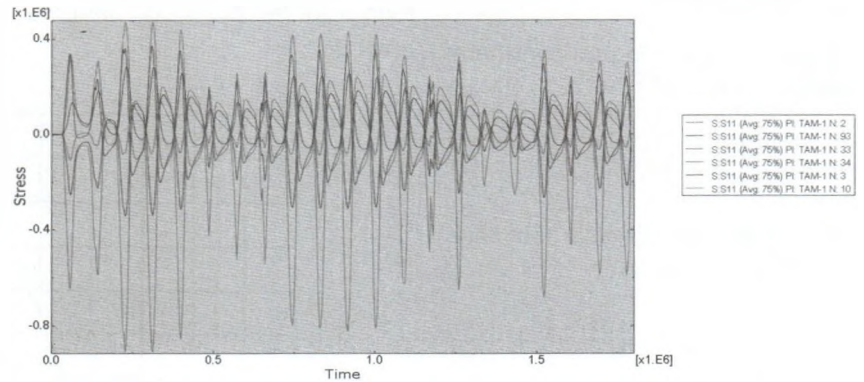
Khi nhiệt độ trên bề mặt lớn hơn bên dưới đáy tấm, tấm bê tông xi



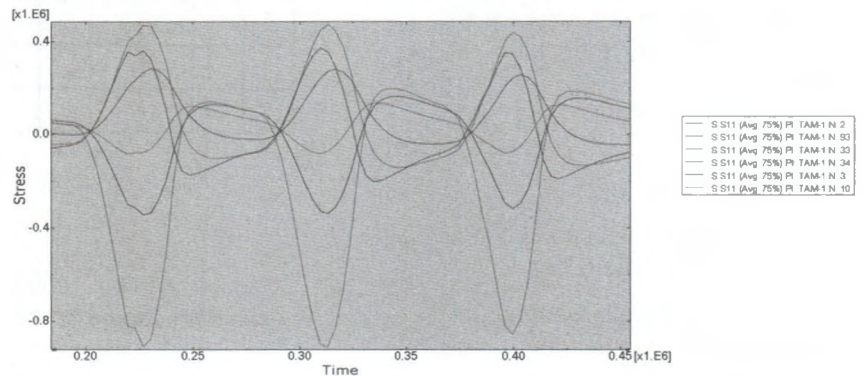
a. Ban ngày có bức xạ mặt trời và nhiệt độ không khí

b. Ban đêm chỉ có nhiệt độ không khí

Hình 3. Biến dạng của tấm bê tông xi măng theo ngày và đêm



a. Ứng suất tại 6 điểm theo chiều sâu tấm bê tông tại đúng trục giữa tấm cho cả tháng 7/2018



b. Ứng suất tại 6 điểm theo chiều sâu tấm bê tông tại đúng trục giữa tấm cho 3 ngày nóng nhất tháng 7/2018

Hình 4. Ứng suất tại 6 điểm cách đều theo chiều sâu theo thứ tự trên xuống tại tâm tấm 10, 93, 2, 33, 34, 3

măng sẽ bị giãn thớ trên và nén thớ dưới, tấm bê tông bị

Ngược lại, khi nhiệt độ bên trên bề mặt tấm nhỏ hơn nhiệt độ đáy tấm thì các tấm tách rời nhau, cong xuống dưới

Từ kết quả hình 4 cho ta thấy:

- Ứng suất trong tấm bê tông tại mọi điểm của tấm bê tông có tính chất tuần hoàn theo chu kỳ của nhiệt độ bề mặt.

- Giá trị ứng suất kéo tại mặt trên tăng khi nhiệt độ bề mặt tăng và ngược lại. Trong khi đó ứng suất kéo tại mặt dưới giảm khi nhiệt độ bề mặt tăng.

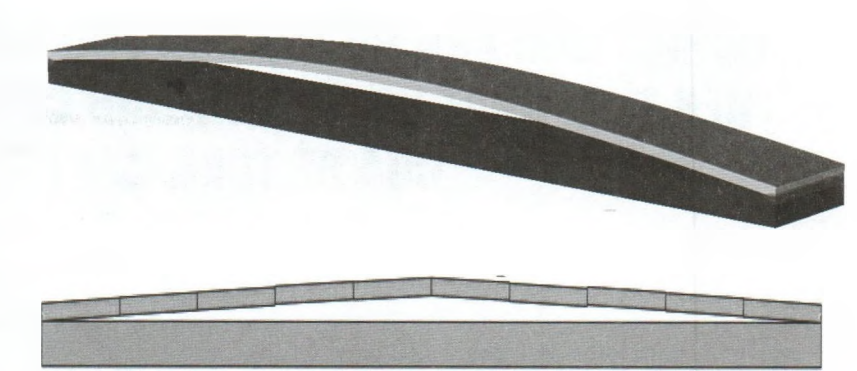
- Giá trị ứng suất lớn nhất xuất hiện ở lớp trên cùng hoặc dưới cùng của tấm tại một thời điểm.

- Biến thiên ứng suất trong tấm gây ra hiện tượng mỏi trong tấm bê tông góp phần phá hoại tấm sau

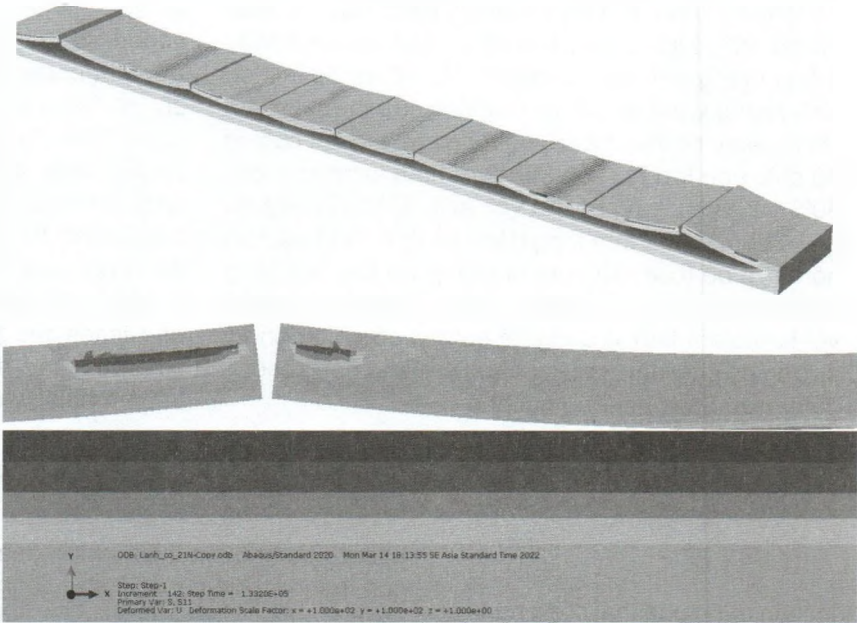
một thời gian kể cả khi không có tải trọng bánh xe tác dụng.

4. KẾT LUẬN

- Bài báo đã tổng kết được thực tế phương pháp tính toán ứng suất lớn nhất trong tấm bê tông theo phương pháp của Westergaard (1926) và phương pháp của Bradbury (1938). Tuy hai phương pháp trên được áp dụng rộng rãi trên thế giới nhưng sự phân bố ứng suất theo chiều sâu hoặc chiều ngang tấm bê tông là không được trình bày.
- Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn dựa trên phần mềm ABAQUS, hoàn toàn có thể tính toán được trạng thái ứng suất, đặc biệt là ứng suất kéo uốn của mọi vị trí trong tấm bê tông. Qua đó sự phân bố ứng suất theo chiều sâu được thể hiện rõ ràng qua đồ thị lịch sử ứng suất theo thời gian tác động của nhiệt độ. Qua kết quả đó người kỹ sư có thể hiểu được bản chất sự biến thiên của ứng suất tại mọi vị trí trong tấm bê tông theo sự biến thiên của nhiệt độ bề mặt tấm.
- Bài báo thể hiện rõ đặc điểm làm việc của tấm với điều kiện biên cho hệ 10 tấm trên nền, qua đây có thể có cơ sở tính toán cụ thể ly khe co, khe giãn đảm bảo tấm không bị phá hoại với mỗi vùng khí hậu cũng như các tấm khác nhau.■



Hình 5. Tấm bê tông bị nhấc lên khi nhiệt độ bề mặt trên lớn hơn nhiệt độ đáy tấm



Hình 6. Trạng thái tấm bê tông khi nhiệt độ đáy tấm cao hơn nhiệt độ bề mặt tấm

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Phạm Đình Ba (1995), Cơ sở lý thuyết tấm mỏng đàn hồi, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội.

[2]. Nguyễn Quốc Bảo, Trần Nhất Dũng (2001), Lý thuyết phần tử hữu hạn, tập I, Nhà xuất bản Quân đội nhân dân, Hà Nội.

[3]. Nguyễn Quốc Bảo, Trần Nhất Dũng (2001), Lý thuyết phần tử hữu hạn, tập II, Nhà xuất bản Quân đội nhân dân, Hà Nội.

[4]. Nguyễn Xuân Bảo, Nguyễn Năng Anh (1985), Phương pháp sai phân hữu hạn và ứng dụng giải các bài toán kết cấu, Nhà xuất bản Nông nghiệp, Hà Nội.

[5]. N. I. Bêdukhop (1978), Cơ sở lý thuyết đàn hồi-lý thuyết dẻo-lý thuyết từ biến, tập I, Người dịch Phan Ngọc Châu, Nxb ĐH và THCN, Hà Nội.

[6]. N. I. Bêdukhop (1980), Cơ sở Lý thuyết đàn hồi - Lý thuyết dẻo - Lý thuyết từ biến, tập II, Người dịch Phan Ngọc Châu, Nhà xuất bản Đại học và THCN, Hà Nội.

[7]. Bộ Xây dựng (1997), Tuyển tập tiêu chuẩn xây dựng của Việt Nam, Nxb Xây dựng, Hà Nội.

[8]. Lã Văn Chăm (2004), Nghiên cứu hoàn thiện phương pháp thiết kế mặt và móng đường cứng đường ô tô và sân bay ở Việt Nam, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Giao thông Vận tải, Hà Nội.

[9]. Nguyễn Quang Chiêu (2010), Mặt đường bê tông xi măng, Nhà xuất bản Giao thông Vận tải, Hà Nội.

[10]. Hajiloo, Hamzeh, and Mark F. Green. «GFRP reinforced concrete slabs in fire: Finite element modelling.» Engineering Structures 183 (2019): 1109-1120.