



A STUDY ON EMPIRICAL RELATIONSHIP BETWEEN MODULUS OF RUPTURE AND ELASTIC MODULUS OF CEMENT CONCRETE USED FOR PAVEMENT

Luong Xuan Chieu*, Nguyen Quang Phuc, Chu Tien Dung

Highway and Traffic Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 6/8/2020

Revised: 4/11/2020

Accepted: 5/11/2020

Published online: 15/2/2021

<https://doi.org/10.47869/tcsj.72.2.2>

* *Corresponding author*

Email: chieu1256@utc.edu.vn

Abstract. Cement concrete (CC) is frequently used for highway pavement as well as for airport runways. Recently, the Falling Weight Deflectometer (FWD) is usually used to access load bearing capacity of the CC pavement. However, the FWD can determine only static modulus of elasticity but not flexural strength of concrete. While the tensile bending strength of cement concrete is an important criteria for the evaluation of cement concrete surface's quality. Therefore, this paper aims to estimate a relation between the modulus of rupture and elastic modulus of CC. The result indicates that the flexural strength and the static modulus of elasticity have a linear relationship with adjusted R square is 66.0%.

Keywords: cement concrete pavement, static modulus of elasticity, flexural strength of concrete, Falling Weight Deflectometer.



NGHIÊN CỨU MỐI TƯƠNG QUAN THỰC NGHIỆM GIỮA CƯỜNG ĐỘ CHỊU KÉO KHI UỐN VÀ MÔ ĐUN ĐÀN HỒI CỦA BÊ TÔNG XI MĂNG LÀM MẶT ĐƯỜNG

Lương Xuân Chiêu*, Nguyễn Quang Phúc, Chu Tiên Dũng

Bộ môn Đường Bộ, Khoa Công Trình, Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 6/8/2020

Ngày nhận bài sửa: 4/11/2020

Ngày chấp nhận đăng: 5/11/2020

Ngày xuất bản Online: 15/2/2021

<https://doi.org/10.47869/tcsj.72.2.2>

* Tác giả liên hệ

Email: chieu1256@utc.edu.vn

Tóm tắt. Mặt đường bê tông xi măng (BTXM) là loại mặt đường cấp cao, được sử dụng khá phổ biến cho giao thông đường bộ cũng như đường băng sân bay. Hiện nay, thiết bị FWD (Falling Weight Deflectometer) thường được dùng để đánh giá sức chịu tải của mặt đường BTXM. Tuy nhiên, phương pháp FWD sau khi xử lý chỉ xác định được mô đun đàn hồi của BTXM mà không xác định được cường độ chịu kéo khi uốn của BTXM. Trong khi đó cường độ chịu kéo khi uốn của BTXM là chỉ tiêu quan trọng để đánh giá chất lượng của mặt bê tông xi măng. Vì vậy, bài báo có mục tiêu xây dựng mối tương quan giữa cường độ chịu kéo khi uốn và mô đun đàn hồi của BTXM nhằm phục vụ cho công tác đánh giá kết cấu áo đường BTXM. Kết quả cho thấy, giữa cường độ chịu kéo khi uốn và mô đun đàn hồi có mối quan hệ tuyến tính và mô hình đảm bảo sự tin cậy với R bình phương hiệu chỉnh là 66.0%.

Từ khóa: mặt đường bê tông xi măng, mô đun đàn hồi, cường độ chịu kéo khi uốn, FWD.

© 2021 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mặt đường bê tông xi măng (BTXM) là loại mặt đường cấp cao, được sử dụng khá phổ biến cho giao thông đường bộ cũng như đường băng sân bay. Mặt đường BTXM có mặt trên tất cả các cấp đường giao thông đường bộ bao gồm hệ thống đường địa phương đến đường tỉnh lộ và đường quốc lộ, từ đường có lưu lượng xe thấp đến đường đô thị, đường cao tốc, hay các đường ở khu vực có thời tiết khắc nghiệt như mưa nhiều, sương mù và độ ẩm lớn. Mặt

đường BTXM có nhiều ưu điểm và đang có xu hướng sử dụng rộng rãi trên thế giới cũng như ở Việt Nam. Trong điều kiện Việt Nam, việc kiểm soát chất lượng thi công chưa tốt, chưa đánh giá đúng sức chịu tải của mặt đường sau khi thi công, trong khi lượng xe tải, xe nặng và các xe vượt tải ngày càng tăng kết hợp với các yếu tố môi trường ngày càng khắc nghiệt làm mặt đường BTXM nhanh chóng bị xuống cấp. Vì vậy, việc nghiên cứu ứng dụng các phương pháp đánh giá chất lượng của mặt đường BTXM là hết sức cần thiết. Khi đánh giá kết cấu mặt đường BTXM, thông số mô đun đàn hồi là thông số quan trọng trong tính toán sức chịu tải mặt đường BTXM. Trong khi đó, cường độ chịu kéo khi uốn là thông số quan trọng trong việc kiểm toán giới hạn, khả năng chịu kéo khi uốn của tấm BTXM. Để đánh giá sức chịu tải của mặt đường BTXM, trên thế giới [1, 2] cũng như Việt Nam [3, 4] thường dùng thiết bị FWD (Falling Weight Deflectometer). Tuy nhiên, phương pháp FWD sau khi xử lý chỉ xác định được mô đun đàn hồi của BTXM mà không xác định được cường độ chịu kéo khi uốn của BTXM. Vì vậy, mục tiêu của bài báo này là xây dựng mối tương quan giữa cường độ chịu kéo khi uốn và mô đun đàn hồi của BTXM nhằm phục vụ cho công tác đánh giá kết cấu áo đường BTXM.

2. TƯƠNG QUAN GIỮA CƯỜNG ĐỘ CHỊU KÉO KHI UỐN VÀ MÔ ĐUN ĐÀN HỒI CỦA BTXM

Theo công thức thực nghiệm của Foxworthy (1985) [5], cường độ chịu kéo khi uốn (R_{ku}) có thể tính theo mô đun đàn hồi (E_{bt}) như sau:

$$R_{ku} = 43,5 \cdot 10^{-6} \cdot E_{bt} + 488,5 \text{ (psi)} \quad (1)$$

Trong đó R_{ku} và E_{bt} đơn vị tính theo psi (pound-force per square inch). Nếu tính R_{ku} và E_{bt} theo đơn vị MPa, công thức tương đương như sau:

$$R_{ku} = 43,5 \cdot 10^{-6} \cdot E_{bt} + 3,368 \text{ (MPa)} \quad (2)$$

Công thức (1) cũng được sử dụng trong hướng dẫn của AASHTO 1993 để tính cường độ chịu kéo khi uốn của tấm BTXM khi thiết kế cải tạo mặt đường BTXM cũ [6]. Ở Việt Nam, chưa có nghiên cứu và công bố về công thức tương quan này. Do vậy, bài báo này tiến hành thử nghiệm nhằm xác định tương quan giữa cường độ chịu kéo khi uốn và mô đun đàn hồi của BTXM đối với vật liệu và cấp phối thường sử dụng tại Việt Nam để thi công mặt đường BTXM. Do điều kiện nghiên cứu hạn chế, bài báo chỉ thử nghiệm đối với loại bê tông hay sử dụng thi công mặt đường là BTXM có cường độ chịu nén/kéo trung bình 35/4,5 MPa (BTXM 35/4,5). Các mẫu bê tông cùng nguồn vật liệu đá, cát, xi măng, phụ gia.

3. CÁC BƯỚC TIẾN HÀNH THỬ NGHIỆM:

Để tiến hành thí nghiệm, cấp phối thông thường hay sử dụng thi công lớp BTXM mặt đường được lựa chọn như thể hiện trên bảng 1. Trong đó, xi măng sử dụng là xi măng PC40 Bút Sơn, đá dăm được sử dụng là loại đá lấy từ mỏ Thống Nhất. Mẫu hỗn hợp BTXM trong các ngày thi công khác nhau tại trạm trộn được lấy sau đó đúc mẫu 15x15x60cm theo quy định của TCVN 3105:1993 [7] để sử dụng thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi và tiếp theo thí nghiệm cường độ chịu kéo khi uốn (hình 1). Mẫu được bảo dưỡng theo đúng quy định của tiêu chuẩn hiện hành. Khi mẫu đủ 28 ngày tuổi thì tiến hành thí nghiệm. Tổng số mẫu thí nghiệm là 27 mẫu.

3.1. Trình tự thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi

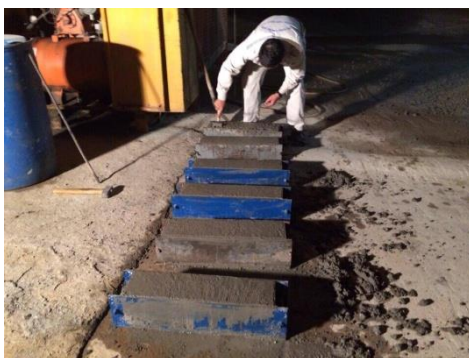
Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi tuân thủ theo TCVN 5726:1993 [8]. Phương pháp

thí nghiệm theo tiêu chuẩn này cơ bản giống với tiêu chuẩn ASTM C469:02 [9]. Tuy nhiên tiêu chuẩn TCVN sử dụng mẫu hình lăng trụ, tiêu chuẩn ASTM sử dụng mẫu trụ tròn. Thiết bị thí nghiệm chính sử dụng là máy nén có sai số $\pm 1\%$ và đồng hồ thiên phân kế với độ phân giải 10-3 mm. Trạng thái thử nghiệm mẫu là mẫu để khô trong nhiệt độ phòng, vớt mẫu ra khỏi bể bảo dưỡng trước 1 tuần. Trình tự thí nghiệm như sau [8]:

(1) Trên 4 mặt đứng của từng viên mẫu kẻ 4 đường trung bình song song với trục dọc của viên để đặt khoảng cách đo biến dạng. Khoảng cách đo được đặt cách đều hai đáy viên mẫu. Khoảng cách đo được chọn với kích thước tối thiểu: Lớn hơn 2,5 lần đường kính cỡ hạt lớn nhất của cốt liệu nhưng không nhỏ hơn 100mm và 50mm khi dùng các thiết bị đo biến dạng tương ứng là khung lắp đồng hồ và biến dạng kế đòn bẩy và tối đa: Không lớn hơn 2/3 chiều cao viên mẫu. Trong nghiên cứu này, khoảng đo được lựa chọn 200mm. Dựa vào các đường kẻ đã gạch, gá dụng cụ đo biến dạng lên 4 mặt của viên mẫu.

Bảng 1. Cấp phối bê tông sử dụng thử nghiệm (đơn vị tính $1m^3$).

STT	Vật liệu	Đơn vị	Khối lượng
1	Xi măng PC40- Bút Sơn	kg	390
2	Cát vàng	kg	771
3	Đá dăm 5x20 mỏ Thống Nhất	kg	695
4	Đá dăm 5x40 mỏ Thống Nhất	kg	463
5	Nước	lít	168
6	Phụ gia Placc-02A	lít	1,17



Hình 1. Mẫu thí nghiệm.

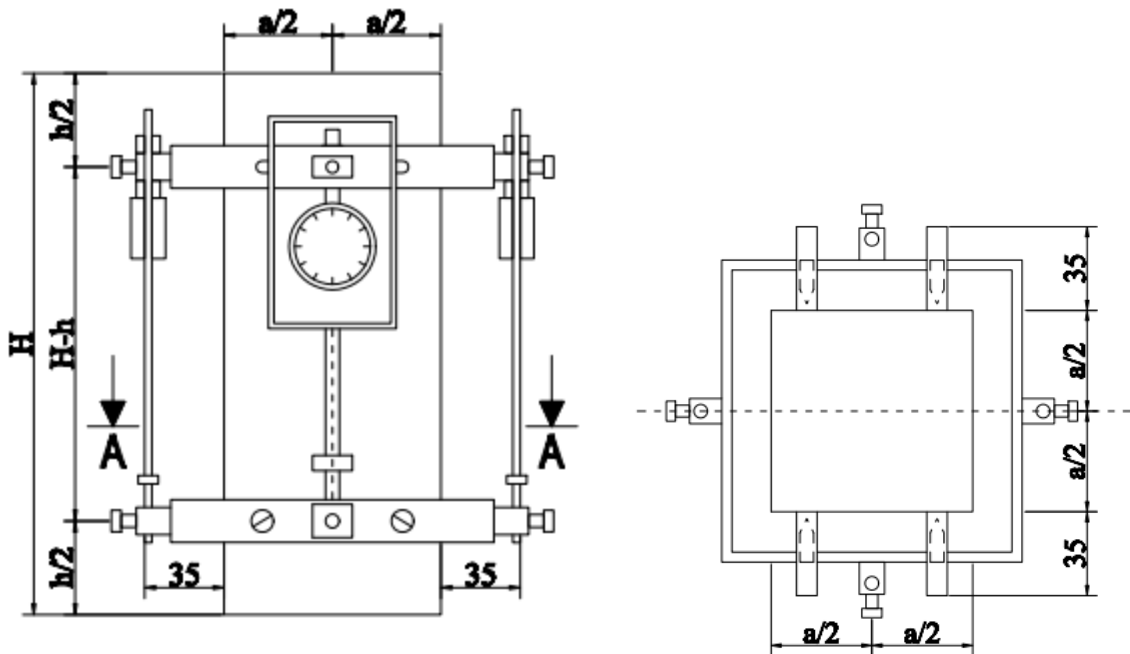
(2) Đặt từng viên vào mẫu chính tâm thớt dưới của máy nén. Đặt tải tạo ứng suất ban đầu bằng khoảng 0,05 MPa lên mẫu. Ghi lại giá trị đồng hồ ở cả mặt đứng của viên mẫu.

(3) Tăng tải lên mẫu với tốc độ $0,6 \pm 0,4$ MPa/s cho tới khi đạt ứng suất thử bằng 1/3 cường độ mẫu lăng trụ (khoảng 10-15 MPa tùy theo tổ mẫu). Giữ tải ở ứng suất này 60 giây và đọc giá trị đồng hồ ở cả 4 mặt trong khoảng 30 giây nữa.

(4) Tính biến dạng tương đối ở từng mặt bằng hiệu số 2 lần đọc đồng hồ gắn trên mặt đó chia cho khoảng cách, rồi tính giá trị biến dạng trung bình của 4 mặt. Lưu ý rằng:

a) Nếu biến dạng ở các mặt đều không lệch quá 20% so với biến dạng trung bình thì hạ tải về mức ứng suất ban đầu (s_0) với tốc độ tương đương như khi nâng tải và sau đó tiến hành thêm 2 chu kỳ nâng và hạ tải tương tự như bước (3) ở lần nâng tải cuối cùng, sau khi nâng tải với ứng suất thử (s_1) lưu tải 60 giây thì đọc 4 giá trị đồng hồ ở 4 mặt trong thời gian khoảng 30 giây và coi đây là giá trị chính thức dùng trong tính toán.

b) Nếu biến dạng ở một mặt bất kỳ lệch quá 20% so với biến dạng trung bình thì hạ tải về mức 0, đặt lại viên mẫu lệch về phía đồng hồ chỉ biến dạng nhỏ rồi lặp lại quá trình thử như bước (3). Cho tới khi đạt được mức chênh lệch biến dạng giữa các mặt nằm dưới mức cho phép. Sau đó tiến hành lấy số đo như mục a).



Hình 2. Sơ đồ gá lắp thiết bị đo biến dạng trên mẫu BTXM theo [8].

(5) Kết thúc đo modun đàn hồi, nâng tải phá hoại mẫu. Ghi vào biên bản thí nghiệm nếu cường độ lắng trụ thử trên các viên mẫu này lệch quá 20% so với cường độ lắng trụ.

3.2. Trình tự thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo khi uốn của mẫu BTXM

Thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo khi uốn được tuân thủ theo TCVN 3119:1993 [10]. Phương pháp thí nghiệm này về cơ bản không có sự khác biệt so với AASHTO T97-18 [11]. Trong nghiên cứu này, thiết bị thí nghiệm chính là máy uốn sai số $\pm 1\%$. Về trạng thái thử nghiệm: mẫu để khô trong nhiệt độ phòng, mẫu được thí nghiệm ngay sau khi thí nghiệm mô đun đàn hồi để xác định tương quan. Trình tự thí nghiệm như sau [10]:

(1) Đo đặc kích thước mẫu: Đo các kích thước tiết diện chịu uốn của mẫu chính xác tới 1mm. Kích thước mỗi chiều của tiết diện được tính bằng trung bình số học của hai đường trung bình trên hai mặt đối diện tạo ra chiều đó. Gá mẫu sao cho hướng tác dụng của lực song song với mặt hở của dầm bê tông khi đổ.

(2) Chọn thang lực uốn thích hợp để khi thử, tải trọng phá hoại nằm trong khoảng 20 - 80% tải trọng cực đại của máy.

(3) Đối với mẫu thử uốn, đặt mẫu lên máy uốn theo sơ đồ hình 1 sao cho hướng tác dụng

của lực song song với mặt hở của viên dầm bê tông khi đổ. Sai lệch vị trí đặt lực các khoảng cách giữa hai gối tựa và hai gối truyền tải không được vượt quá 0,5mm. Trục dọc của dầm thép ngang, dầm thép phụ phải cùng nằm trên một mặt phẳng.

(4) Giữa các gối truyền lực và mặt trên của mẫu cho phép đặt các tấm đệm bằng gỗ dán 3 lớp dày 4 ± 1 mm, rộng 15 ± 2 mm, dài bằng chiều rộng mẫu thử để lực tác dụng được truyền đều lên mẫu thử.

(5) Uốn mẫu bằng cách tăng tải liên tục trên mẫu với tốc độ không đổi và bằng $0,06 \pm 0,04$ MPa/s cho tới khi gãy mẫu ghi lại lực lớn nhất.

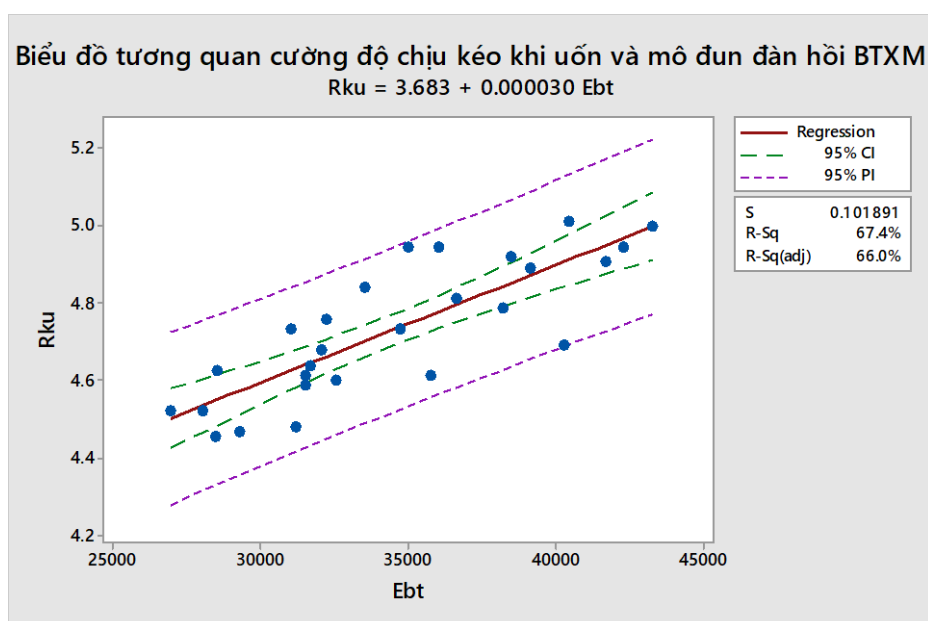


Hình 3. Chuẩn bị mẫu và tiến hành thí nghiệm mô đùn đàn hồi và kéo uốn.

4. XÂY DỰNG MÔ HÌNH HỒI QUY

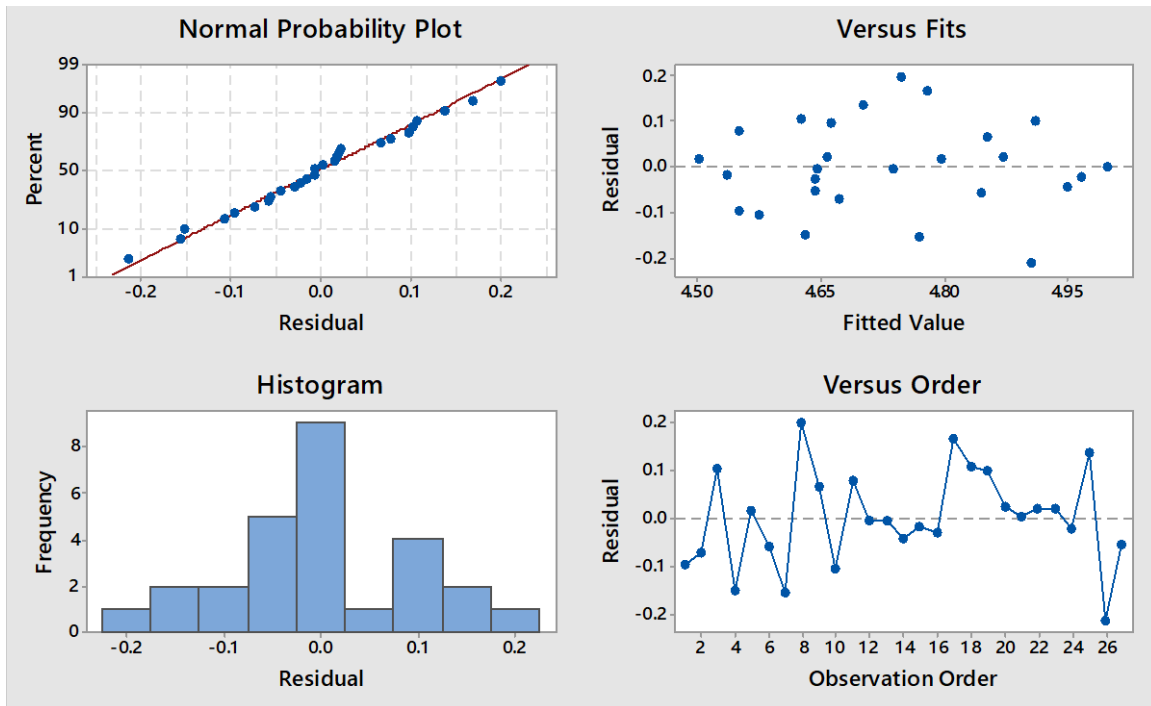
Để xây dựng mô hình hồi quy, bài báo này sử dụng phần mềm MINITAB 19 [12]. Theo số liệu thí nghiệm, kết quả cho thấy quan hệ giữa R_{ku} và E_{bt} có quan hệ tuyến tính theo công thức sau:

$$R_{ku} = 30 \cdot 10^{-6} \cdot E_{bt} + 3,683 \text{ (MPa)} \quad (3)$$

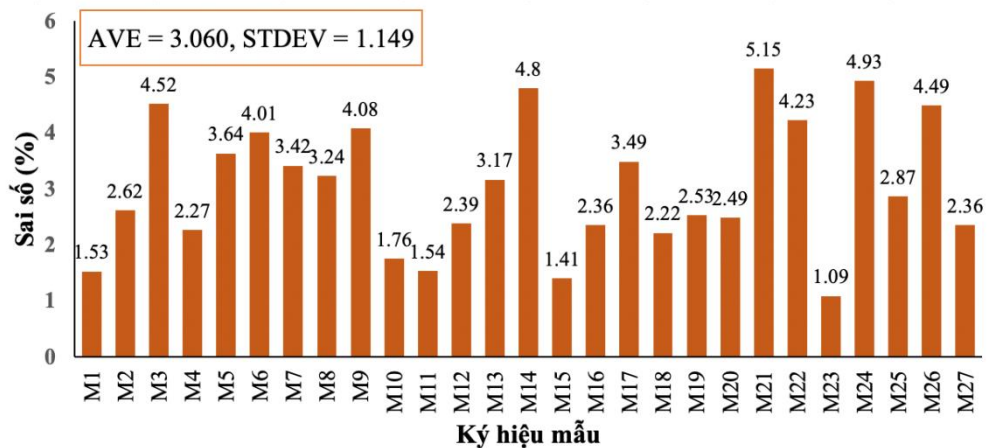


Hình 4. Biểu đồ tương quan cường độ chịu kéo khi uốn và mô đùn đàn hồi BTXM.

Kết quả trên hình 4 cũng cho thấy, mô hình có hệ số R^2 và R^2 hiệu chỉnh lần lượt là 67.4% và 66.0%. Đây là kết quả có thể chấp nhận và tin tưởng được. Ngoài ra, để kiểm tra xem phần dư có tuân theo phân phối chuẩn hay không, bài báo vẽ biểu đồ P-P plot so sánh giữa phân phối tích lũy của phần dư quan sát trên trục hoành và phân phối tích lũy trên trục tung như trình bày ở hình 5. Kết quả cho thấy các điểm đều nằm gần đường chéo nên phân phối phần dư được coi như gần chuẩn. Ngoài ra, biểu đồ phân bố phần dư có dạng hình chuông đều 2 bên, trị trung bình gần bằng 0 và sai số chuẩn gần bằng 1. Như vậy giả định phần dư có phân phối chuẩn không bị vi phạm.



Hình 5. Biểu đồ phần dư để xác định tính chất hợp lý.



Hình 6. So sánh sai số giữa công thức đề xuất và công thức của Foxworthy.

Để so sánh sự khác biệt giữa công thức thực nghiệm (3) với công thức thực nghiệm của Foxworthy (công thức 2), bài báo đã tính toán cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông theo mô đun đàn hồi. Khoảng giá trị xem xét so sánh mô đun đàn hồi có giá trị trong khoảng từ 28056

đến 43275 MPa ứng với 27 mẫu thí nghiệm (ký hiệu từ M1 đến M27). Kết quả thể hiện trên hình 6. Từ đó có thể thấy, sai số nhỏ nhất là 1,09% và sai số lớn nhất là 5,15%. Sai số trung bình của 27 mẫu là 3,060% và độ lệch chuẩn là 1,141%. Có thể kết luận rằng, công thức đề xuất từ kết quả thực nghiệm trong bài báo này sai lệch kết quả so với công thức thực nghiệm của Foxworthy không nhiều (dưới 5,5%). Do vậy, có thể kết luận rằng kết quả nghiên cứu bước đầu có giá trị tham khảo để tính toán cường độ chịu kéo khi uốn khi biết mô đun đàn hồi của bê tông xi măng thông qua thí nghiệm FWD.

5. KẾT LUẬN - KIẾN NGHỊ

Bài báo đã thực nghiệm xây dựng tương quan giữa cường độ chịu kéo khi uốn và mô đun đàn hồi của BTXM 35/4.5 MPa với mô hình đảm bảo độ tin cậy ứng với R^2 hiệu chỉnh 66.0%. Bài báo cũng đã so sánh công thức đề xuất với công thức thực nghiệm của Foxworthy. Kết quả so sánh cho thấy mô hình bài báo đề xuất là chấp nhận được với sai số dưới 5.5%. Vì vậy, công thức đề xuất giúp cho việc tính toán, kiểm toán R_{ku} khi đo đạc được E_{bt} .

Mặc dù các kết quả trong bài báo là tin cậy được. Tuy nhiên, nhược điểm của kết quả này là công thức chỉ được thực nghiệm với một loại BTXM 35/4.5 MPa ứng với một nguồn xi măng và đá nhất định, hệ số độ tin cậy vẫn còn thấp. Để có thể ứng dụng rộng rãi hơn kết quả nghiên cứu vào trong điều kiện Việt Nam, định hướng nghiên cứu trong tương lai của bài báo là mở rộng ra thí nghiệm với nhiều loại bê tông, nhiều nguồn xi măng, đá, cát khác nhau để xây dựng được mối quan hệ giữa cường độ chịu kéo khi uốn và mô đun đàn hồi của BTXM một cách tổng quát hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. K. Gopalakrishnan et al., Wireless MEMS for transportation infrastructure health monitoring, Wireless MEMS Networks and Applications, 2017, pp. 53-76. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100449-4.00003-8>
- [2]. D. Iskandar et al., Overlay maintenance on road heavy vehicle lane by non-destructive test method, AIP Conference Proceedings, 2114 (2019) 030016. <https://doi.org/10.1063/1.5112420>
- [3]. Lương Xuân Chiếu, Nguyễn Quang Phúc, Phạm Văn Mạnh, Sử dụng kết quả thí nghiệm FWD phân tích kết cấu mặt đường bê tông xi măng, Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, 46 (2014) 59-66.
- [4]. Phạm Cao Thăng và các cộng sự, Nghiên cứu thực nghiệm đánh giá sức chịu tải của mặt đường BTXM bằng thiết bị đo động FWD, Tạp chí Giao thông vận tải, 8 (2016).
- [5]. Foxworthy PT. Concepts for the Development of a Nondestructive Testing and Evaluation System for Rigid Airfield Pavements. AIR FORCE INST OF TECH WRIGHT-PATTERSON AFB OH; 1985. <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a165055.pdf>
- [6]. AASHTO-1993, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C (2001).
- [7]. TCVN 3105:1993, Hỗn hợp bê tông và bê tông nặng - Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử.
- [8]. TCVN 5276:1993, Bê tông nặng - phương pháp xác định cường độ lăng trụ và mô đun đàn hồi khi nén tĩnh.
- [9]. ASTM C469:02, Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.
- [10]. TCVN 3119:1993, Bê tông nặng - phương pháp xác định cường độ kéo khi uốn.
- [11]. AASHTO T 97-18, Standard Method of Test for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading) (ASTM Designation: C78/C78M-16).
- [12]. Minitab, LLC, Minitab Statistical Software Features - Minitab, Software for Statistics, 2020.