

Phân tích ứng xử của khung bê tông cốt thép một tầng dưới tác dụng của tải trọng tuần hoàn khi sử dụng một số mô hình thành phần khác nhau cho dầm và cột

■ ThS. VŨ ĐOÀN QUÂN; ThS. NGUYỄN CÔNG THỨC

Trường Đại học Giao thông vận tải - Phân hiệu tại TP. Hồ Chí Minh

TÓM TẮT: Trong bài báo này, ứng xử dưới tác dụng của tải trọng tuần hoàn của một khung bê tông cốt thép một tầng sử dụng một số mô hình thành phần khác nhau được tính toán và kiểm chứng với kết quả thí nghiệm sẵn có. Các mô hình thành phần được sử dụng lần lượt bao gồm: mô hình Clough bilinear, mô hình Takeda tri-linear và tetra-linear và mô hình Fiber. Kết quả cho thấy, mô hình tetra-linear và mô hình Fiber cho kết quả ứng xử của khung gần với ứng xử thực tế nhất.

TỪ KHÓA: Khung bê tông cốt thép, ứng xử, tải trọng tuần hoàn

ABSTRACT: In this paper, behaviors of a one-story reinforced concrete frame subjected to cyclic loadings with using different constitutive laws are established and verified by available experimental results. The constitutive laws include Clough bilinear model, Takeda trilinear and tetra-linear model, and fiber model. Results show that the Takeda tetra-linear and fiber model exhibit reliably experimental behaviors of the frame.

KEYWORDS: Reinforced concrete frames, behaviors, cyclic loading.

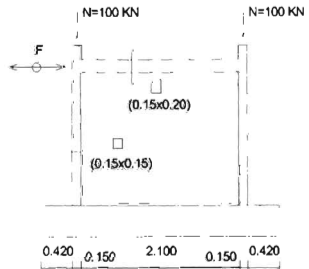
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trên thực tế, kết cấu khung bê tông cốt thép rất dễ bị phá hủy dưới tác dụng của động đất. Việc tính toán khung bê tông cốt thép bằng các phần mềm phần tử hữu hạn thường cho kết quả không chính xác nếu như các mô hình ứng xử thành phần của dầm, cột không được sử dụng. Để khắc phục hạn chế trên, bài báo này kiểm chứng việc sử dụng một vài mô hình ứng xử thành phần (constitutive laws) với kết quả thí nghiệm khi mô phỏng một khung bê tông cốt thép.

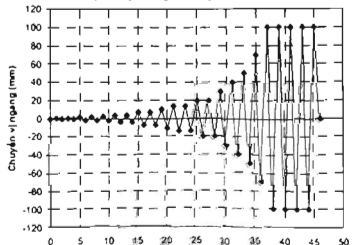
2. THÍ NGHIỆM

Trong phạm vi của nghiên cứu này, kết quả thí nghiệm của khung bê tông cốt thép một tầng dưới

tác dụng của tải trọng tuần hoàn tiến hành tại Phòng Thí nghiệm Xây dựng quốc gia LNEC (Bồ Đào Nha) được sử dụng [1].

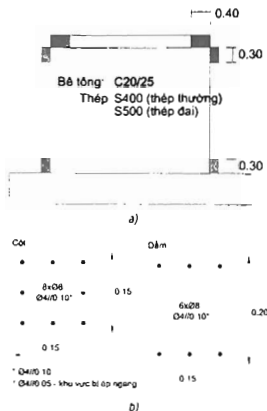


Hình 2.1: Mặt đứng khung bê tông cốt thép thí nghiệm



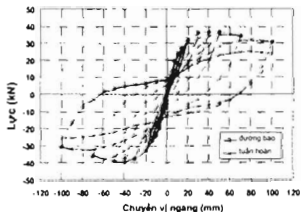
Hình 2.2: Quy luật gia tải (chuyển vị ngang)

Tải trọng nén theo phương đứng $P = 100 \text{ kN}$ được đặt vào hai đầu cột và giữ nguyên giá trị trong quá trình gia tải. Tải trọng theo phương ngang được tác dụng vào vị trí dầm phía trên như mô tả ở Hình 2.1 với quy luật gia tải thể hiện ở Hình 2.2.



Hình 2.3: Chi tiết cốt thép đầm và cột (đơn vị m)

Như thể hiện ở Hình 2.3, vật liệu sử dụng bao gồm: Bê tông C20/25, cốt thép dọc S400, cốt thép đai S500. Để đảm bảo vùng bê tông bị ép ngang tại một số tiết diện khu vực đầu cột và chân cột làm việc tốt, thép đai Ø4/100 mm được sử dụng thay vì Ø4/100 mm.



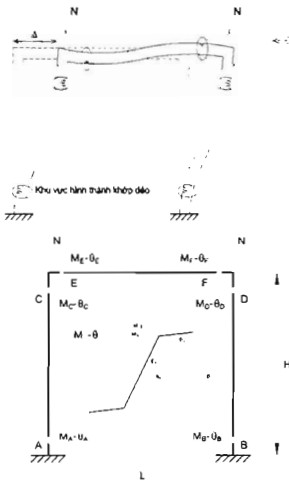
Hình 2.4: Kết quả ứng xử thí nghiệm

Như thể hiện ở Hình 2.4, đường bao quan hệ lực và chuyển vị thay đổi một cách mềm mại sau khi đạt giá trị cực đại trước khi bê tông hoàn toàn bị nứt tại các tiết diện khu vực đầu và chân cột. Sau điểm cực đại, đường bao đi xuống thể hiện sự mở rộng của các khớp dẻo và sự phá hủy một phần tại một số tiết diện hai thân cột.

3. MÔ PHỎNG TÍNH TOÁN

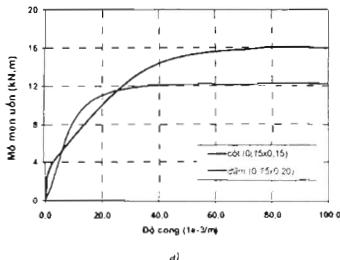
Đối với các kết cấu khung khi chịu tác dụng của tải trọng tuần hoàn hay tải trọng lặp nói chung thường thể hiện các ứng xử như hình thành và phát triển các khớp dẻo tại những vị trí nguy hiểm thể hiện ở Hình 3.1. Điều này được thể hiện rõ qua kết quả ứng xử từ thí nghiệm.

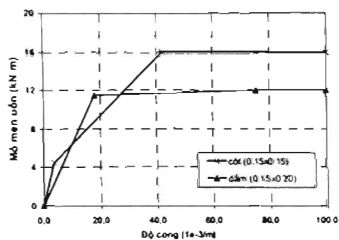
Trong bài báo này, Midas Civil 2019 [2] với mô-đun phân tích kết cấu phi tuyến lịch sử - thời gian được sử dụng cho việc tính toán kết cấu khung bê tông cốt thép để cập ở trên. Hai mô hình được áp dụng là mô hình khớp dẻo (Plastic hinge model - PHM) và mô hình Fiber (Fiber model - FM).



Hình 3.1: Khu vực tới hạn và các khớp dẻo trên khung bê tông cốt thép một tầng

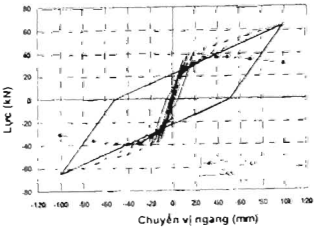
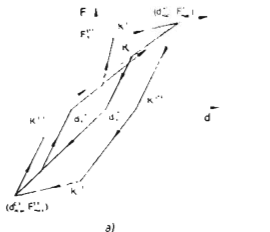
Hai mô hình này khác nhau bởi sử dụng các quy luật ứng xử (Constitutive laws) khác nhau cho các cấu kiện thành phần bao gồm đầm và cột. Ở đây, ba mô hình khớp dẻo được sử dụng bao gồm mô hình bilinear của Clough; mô hình tri-linear và mô hình tetra-linear của Takeda



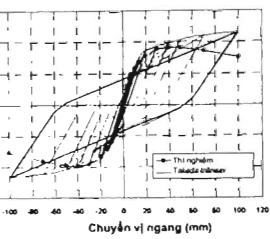
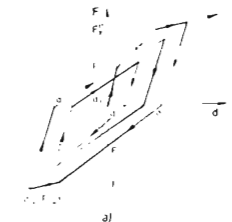


Hình 3.2: Số hóa và lý tưởng hóa đường cong quan hệ mô-men uốn - độ cong

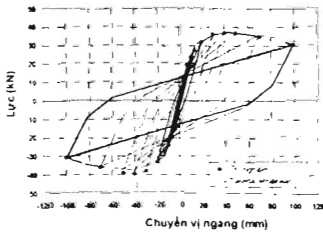
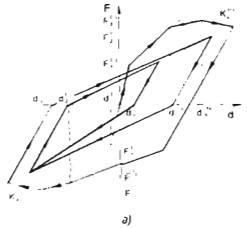
Một mô hình chuẩn phải cho ra các kết quả đi kèm với các ứng xử như sau: sự suy giảm độ cứng khi biến dạng gia tăng, sự suy giảm độ cứng khi giảm tải, sự suy giảm khả năng chịu lực tổng thể, hiệu ứng P-Δ, ảnh hưởng của lực cắt, sự suy giảm dính kết và sự trượt của thép trong bê tông. Trong quá trình tính toán, thuật toán BIAX [3] được sử dụng để mô phỏng đường cong quan hệ M-θ. Kết quả mô hình hóa khung bê tông cốt thép ở trên ứng với các mô hình khác nhau được thể hiện một cách tóm tắt qua các biểu đồ từ Hình 3.3 tới Hình 3.6.



Hình 3.3: Mô hình Clough: Mô hình lý tưởng hóa khớp dẻo và đường cong lực - chuyển vị ngang

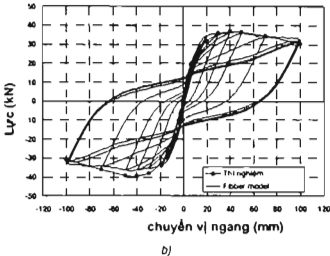
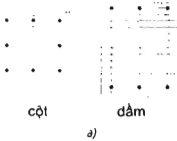


Hình 3.4: Mô hình tri-linear của Takeda



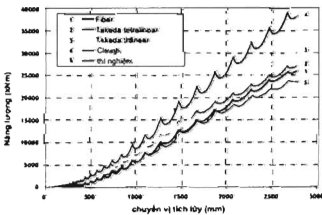
Hình 3.5: Mô hình tetra-linear của Takeda

Trong mô hình Fiber sử dụng ở bài báo này, đường cong Magenotto-Pinto [4] được sử dụng cho thép và đường cong Kent - Park [5] được sử dụng cho bê tông.



Hinh 3.6: Mô hình Fiber: Rời rạc hóa và đường cong lực - chuyển vị

Kết quả cho thấy, mô hình Clough bilinear và mô hình Takeda tri-linear không thể hiện đầy đủ các ứng xử thực tế của khung, rõ ràng nhất là không thể hiện được sự suy giảm của đường bao lực - chuyển vị. Trong khi đó, các mô hình Takeda tetra-linear và mô hình Fiber thể hiện khá chính xác sự suy giảm khả năng chịu lực của khung.



Hinh 3.7: So sánh năng lượng tích lũy của các mô hình và thí nghiệm

Dựa theo kết quả của biểu đồ trên Hinh 3.7, năng lượng tích lũy tính toán theo mô hình Clough cho kết quả khác nhiều nhất so với thí nghiệm, do đó không đáng tin cậy để mô tả ứng xử của khung. Các mô hình còn lại tương đối gần với kết quả thực nghiệm, trong đó mô hình Takeda tetra-linear và mô hình Fiber gần với kết quả thực nghiệm nhất.

4. KẾT LUẬN

Bài báo mô tả việc sử dụng các mô hình thành phần khác nhau cho dầm và cột để mô phỏng ứng xử của khung bê tông cốt thép một tầng dưới tác dụng của tải trọng tuần hoàn hay tải trọng lặp nối chung. Kết quả cho thấy, mô hình Clough bilinear và mô hình Takeda tri-linear cho kết quả tương đối khác so với thực nghiệm. Trong khi đó, mô hình Takeda tetra-linear và mô hình Fiber dự đoán khá chính xác đường cong quan hệ lực chuyển vị ngang và năng lượng tích lũy khi biến dạng tăng dần của khung.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Pires, F. (1990), *Influência das paredes de alvenaria no comportamento de estruturas reticuladas de betão armado sujeitas a ações horizontais*, PhD Thesis, LNEC, Lisbon, Portugal (in Portuguese).
- [2]. Midas Inc. (2004), *Analysis manual: Inelastic time history analysis*, Korea.
- [3]. Wallace, J.W. (1992), *BIAX - A Computer Program for the Analysis of Reinforced Concrete and Reinforced Masonry Sections*, Report No. CU/CEE-92/4, Dept Civil Engng, Clarkson Univ., Potsdam, NY.
- [4]. Deng, H., Chang, Y., Lau, D., Ostovari, S. and Tsai, K. (2003), *A Simplified Approach for Nonlinear Response Analysis of Composite Structural Members*, International Workshop on Steel and Concrete Composite Constructions, NCRE, Taiwan, 207-216.
- [5]. Kent, D.C., Park, T. (1975), *Flexural Members with Confined Concrete*, *ASCE Journal of Structural Division* 97:7, 1969-1190.

Ngày nhận bài: 25/4/2020

Ngày chấp nhận đăng: 19/5/2020

Người phản biện: TS. Vũ Văn Toàn

TS. Trần Xuân Hòa

Nghiên cứu ảnh hưởng của phụ gia nano carbon đến cường độ bê tông nhựa

■ **THS. NGUYỄN MINH QUANG; PGS. TS. LÊ VĂN BÁCH**
 Trường Đại học Giao thông vận tải - Phân hiệu tại TP. Hồ Chí Minh
 ■ **KS. NGUYỄN MINH TRUNG**
 Công ty Cổ phần Quản lý Sửa chữa Xây dựng cầu đường Tây Ninh

TÓM TẮT: Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu sử dụng nano carbon để làm phụ gia cho nhựa đường, ảnh hưởng của phụ gia nano carbon đến cường độ của bê tông nhựa. Tính toán và so sánh kết cấu ao đường mềm khi có và không có sử dụng phụ gia nano carbon cho mặt đường bê tông nhựa

TỪ KHÓA: Nano carbon, bê tông nhựa, phụ gia, cường độ

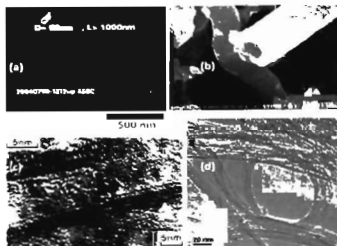
ABSTRACT: This paper presented the research results of carbon nanotubes as a binder modifier, and the carbon nanotubes modified asphalt mixture influenced on strength of asphalt concrete (AC). Also, the paper showed the calculation and comparison in designing pavement structures between the AC mixture with carbon nanotubes and the conventional AC mixture

KEYWORDS: Nano carbon, asphalt concrete, additive, strength

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nano carbon có dạng hạt, dạng sợi hoặc dạng ống, trong đó dạng ống được sử dụng để nghiên cứu làm phụ gia cho bê tông nhựa là phổ biến [5,6,7].

Các phương pháp chủ yếu được nhiều phòng nghiên cứu sử dụng để chế tạo các ống nano carbon, đó là: phương pháp hồ quang điện, phương pháp bắn phá bằng laser và phương pháp lắng đọng pha hơi hóa học (phương pháp CVD nhiệt). Phương pháp phản ứng pha rắn trong lò nung nhiệt độ cao. Mỗi phương pháp đều có đặc điểm riêng, nguyên lý, thiết bị và cách thức để tiến hành chế tạo nano carbon cũng có sự khác nhau.



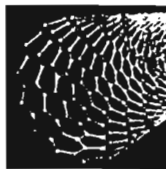
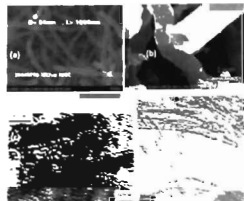
Hình 1.1: Ảnh CNTs chụp bằng SEM công bố bởi nhóm SHTP Labs (thang kích thước màu đỏ được vẽ lại từ hình gốc để làm rõ kích thước)

· Ống nano carbon là vật liệu nano carbon dạng ống với đường kính ở kích thước nanomet (Hình 1.1). Nano carbon có chiều dài từ vài nanomet đến micromet. Ống nano carbon được phát hiện vào năm 1991 bởi Iijima. Ống nano carbon gồm hai loại chính:

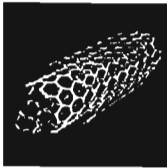
+ Ống nano carbon đơn tường (SWCNT) có cấu trúc như một tấm graphene cuộn tròn lại thành hình trụ liên (Hình 1.2).

+ Ống nano carbon đa tường (MWCNT) có cấu trúc như nhiều tấm graphene lồng vào nhau và cuộn lại hoặc một tấm graphene cuộn lại thành nhiều lớp (Hình 1.3).

· Nano carbon có độ cứng lớn, chống mài mòn tốt, nhẹ nên thường được sử dụng để gia cường trong các vật liệu composite như nano carbon với polymer, nano carbon với cao su hoặc nano carbon với kim loại để tăng cường độ bền, độ chống mài mòn... Đây là đặc điểm quan trọng giúp cho vật liệu nano carbon được sử dụng làm chất phụ gia cho bê tông nhựa [2].



Hình 1.2: Ống nano carbon đơn tường



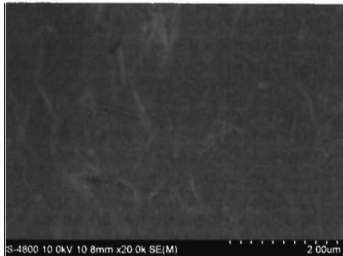
Hình 1.3: Ống nano carbon đa tường

2. KẾT QUẢ SỬ DỤNG NANO CARBON LÀM PHỤ GIA CHO NHỰA ĐƯỜNG 60/70 VÀ BÊ TÔNG NHỰA MẶT ĐƯỜNG

2.1. Kiểm tra, đánh giá kết quả vật liệu đầu vào

· Nhựa đường: Loại nhựa đường đặc nóng 60/70 Shell Singapore.

· Nano carbon được phân tán sẵn trong nhựa đường dùng để pha chế thành các tỷ lệ vữa cấu: 0,05, 0,1 và 0,15% nano theo khối lượng nhựa [2].



Hình 2.1: Ảnh nano carbon phân tán đều trong nhựa đường chụp bằng SEM

2.2. Kết quả thí nghiệm nhựa đường

Vật liệu và các thí nghiệm được thực hiện tại Phòng Thí nghiệm trọng điểm Đường bộ III.

Sau khi có kết quả kiểm tra vật liệu đầu vào, tiến hành các thí nghiệm về nhựa đường với các tỷ lệ nano carbon khác nhau: 0, 0,05, 0,1 và 0,15%.

Các thí nghiệm thực hiện cho nhựa đường:

- Độ kim lún;
- Chỉ số độ kim lún;
- Nhiệt độ hóa mềm;
- Độ nhớt động lực học ở 60°C;
- Độ kéo dài ở 25°C;
- Hàm lượng Paraphin;
- Điểm chớp cháy;
- Độ hòa tan trong Trichloethylene;
- Khối lượng riêng ở 25°C;
- Tồn thất khối lượng;
- Tỷ lệ độ kim lún còn lại so với độ kim lún ban đầu ở 25°C;

- Độ dính bám với đá.

Kết quả thí nghiệm như Bảng 2.1.

Bảng 2.1. Kết quả thí nghiệm nhựa đường với các tỷ lệ nano carbon khác nhau

STT	Hàng mục thí nghiệm	Đơn vị đo	Kết quả thí nghiệm (Ứng với các tỷ lệ nano carbon khác nhau, %)			
			0	0,05	0,1	0,15
1	Độ kim lún - 100g ở 25°C, 5 giây	0,1mm	60,0	51,0	30,0	51,0
			61,0	52,5	49,0	50,0
2	Chỉ số độ kim lún PI		-0,92	-0,89	-0,88	-0,90
3	Nhiệt độ hóa mềm (dùng cu vòng bi)	°C	47,7	49,6	30,5	50,5
4	Độ nhớt động lực học ở 60°C	Pa.s	25,6	26,7	27,2	26,9
5	Độ kéo dài ở 25°C - Scm/phút	cm	>190	>190	>190	>190
6	Hàm lượng Paraphin	%	3,52		3,55	
7	Điểm chớp cháy (cốc mở Cleveland)	°C	140	353	353	353
8	Độ hòa tan trong Trichloethylene	%	99,55	99,58	99,56	99,48
9	Khối lượng riêng ở 25°C	g/cm ³	1,034	1,034	1,034	1,035
10	Các chỉ tiêu thí nghiệm trên mẫu nhựa sau khi thí nghiệm TTOT (Theo Âm oven test) Chỉ bị mẫu theo ASTM D1754					
10.1	Tồn thất khối lượng	%	0,04	0,05	0,06	0,03
10.2	Tỷ lệ độ kim lún còn lại so với độ kim lún ban đầu ở 25°C	original	72,32	75,94	80,83	78,49
10.3	Độ kéo dài ở 25°C - Scm/phút	cm	>50	76,8	81,2	80
11	Độ dính bám với đá	gấp	3	3	3	4

Kết quả mẫu vật liệu đạt yêu cầu theo Thông tư số 27/2014/TT-BGTVT.

2.3. Kết quả thí nghiệm mô-đun đàn hồi tĩnh

Thiết kế hỗn hợp bê tông nhựa có sử dụng nano carbon là lựa chọn được cấp phối cốt liệu hợp lý, hàm lượng nhựa và nano carbon tối ưu về mặt kinh tế mà vẫn thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật. Hỗn hợp bê tông nhựa có sử dụng nano carbon lựa chọn nhằm thỏa mãn những tính năng sau [2]:

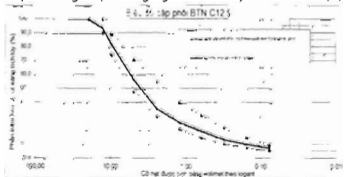
- Dù cường độ nhằm thỏa mãn các yêu cầu giao thông mà không bị biến dạng;

- Dù độ rỗng dư của hỗn hợp sau khi lu lèn và cho phép mặt đường được đầm nén thêm nhờ tải trọng của các phương tiện giao thông chạy trên đường, nhờ sự giãn nở của nhựa đường do nhiệt độ gia tăng, nhưng mặt đường không bị chảy nhựa hay mất mặt độ bên;

- Dù đó công tác để việc rải hỗn hợp có hiệu quả mà không làm phân tầng vật liệu cũng như không làm giảm độ bền và khả năng làm việc của kết cấu;

Thiết kế bê tông nhựa có sử dụng nano carbon là quá trình thí nghiệm để lựa chọn ra hàm lượng nhựa và nano carbon tối ưu nhằm thỏa mãn hai yếu tố: tính chất liên quan đến đặc tính thể tích và tính chất cơ học theo quy định của phương pháp thiết kế.

Đường cong cấp phối được sử dụng để thiết kế hỗn hợp bê tông nhựa trong nghiên cứu này như Hình 2.2 [2].



Hình 2.2 - Đường cong cấp phối hỗn hợp sau khi phối trộn

Lần lượt chọn các hàm lượng nhựa là 3,5%, 4,0%, 4,5%, 5,0%, 5,5% để tiến hành đúc mẫu thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý, chỉ tiêu Marshall nhằm xác định hàm lượng nhựa tối ưu của BTNC12.5 sử dụng nhựa 60/70. Từ kết quả thí nghiệm lựa chọn được hàm lượng nhựa tối ưu của hỗn hợp là 5,26% [2].

Sau khi xác định được hàm lượng nhựa tối ưu, tiến hành trộn thêm nano carbon vào nhựa đường với hàm lượng tăng dần: 0,05%, 0,1%, 0,15%, 0,2%, 0,25% so với khối lượng nhựa, sau đó tiến hành tạo mẫu hỗn hợp BTNC12.5 như Hình 2.3 [2].



Hình 2.3: Chỗ bí mẫu với các tỷ lệ: 0%, 0,05, 0,1%, 0,15%, 0,2% và 0,25% nano carbon thêm vào trong nhựa đường

Kết quả thí nghiệm mô-đun đàn hồi được thống kê như Bảng 2.2.

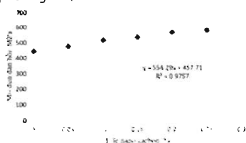
Bảng 2.2. Kết quả thí nghiệm mô-đun đàn hồi BTNC12.5 có sử dụng nano carbon

Nhị hiệu mẫu	Kích thước mẫu, mm	Thể tích mẫu, cm ³	Khối lượng mẫu, g	Khối lượng chất tích kết, g/cm ³	Trung bình	
M.1	102,9	101,6	833,8	1904,2	2,284	
M.2	102,7	101,6	832,2	1906,3	2,293	
STT Đơn vị						
Giá trị mô-đun đàn hồi (ứng với các tỷ lệ nano carbon khác nhau, %)						
1	MPa	45,7	49,7	52,6	54,2	57,4
Phi		60,535	64,756	76,224	78,96	85,108

Từ kết quả thí nghiệm trong Bảng 2.2, đưa ra các nhận xét như sau:

- Kết quả thí nghiệm trên cho thấy giá trị mô-đun đàn hồi của bê tông nhựa tăng theo hàm lượng nano carbon trộn vào nhựa đường. Cụ thể, khi thêm lần lượt 0,05, 0,1, 0,15, 0,2 và 0,25% nano carbon thì mô-đun đàn hồi của bê tông nhựa tăng lần lượt 6,4, 15,4, 17,1, 22,5 và 23,5% so với mẫu bê tông nhựa không có phụ gia nano carbon. Mô-đun đàn hồi của bê tông nhựa tăng nhiều nhất khi gia có phụ gia nano carbon ở tỉ lệ 0,1%.

- Có thể thiết lập mối liên hệ giữa giá trị mô-đun đàn hồi của bê tông nhựa và hàm lượng nano carbon hồi qui theo qui luật hàm tuyến tính như biểu thức (1) với hệ số R bình phương là 0,976.



Hình 2.4: Biểu đồ tương quan giữa mô-đun đàn hồi bê tông nhựa và hàm lượng nano carbon

Phương trình tương quan:

$$E_m = 554,29x + 457,71 \quad (1)$$

Trong đó: E_m - Giá trị mô-đun đàn hồi của bê tông nhựa, MPa;

A - Hàm lượng nano carbon trong nhựa đường, %.

2.4. Tính toán đánh giá hiệu quả kỹ thuật

Đặt vấn đề: Xác định chiều dày của lớp bê tông nhựa chặt hạt mịn có sử dụng nano carbon (0,1%) để có mô-đun đàn hồi chung tương đương với mô-đun đàn hồi chung của kết cấu áo đường có lớp mặt bê tông nhựa chặt hạt mịn không sử dụng nano carbon, từ đó xác định lại chiều dày của lớp bê tông nhựa chặt hạt mịn có sử dụng 0,1% phụ gia nano carbon.

Đề xuất kết cấu áo đường (Kết cấu 1) cấp cao A1 có lớp bê tông nhựa chặt hạt mịn không sử dụng 0,1% nano carbon và kết cấu áo đường (Kết cấu 2) cấp cao A1 có lớp bê tông nhựa chặt hạt mịn có sử dụng 0,1% nano carbon như Bảng 2.3.

Bảng 2.3. Kết cấu áo đường sử dụng phân tích

Kết cấu 1	
BTNC12.5 không có nano; h = 8 cm; E = 452 MPa	
Cấp phối đá dăm loại I; h = 15 cm; E = 300 MPa	
Cấp phối đá dăm loại II; h = 30 cm; E = 250 MPa	
Đất nền chọn lọc; E ₀ = 42 MPa	
Kết cấu 2	
BTNC12.5 sử dụng 0,1% nano; h = 7 cm; E = 526 MPa	
Cấp phối đá dăm loại I; h = 15 cm; E = 300 MPa	
Cấp phối đá dăm loại II; h = 30 cm; E = 250 MPa	
Đất nền chọn lọc; E ₀ = 42 MPa	

Sau khi tính toán hai kết cấu áo đường ở trên theo 22TCN211-06 [4], kết quả cho thấy mô-đun đàn hồi chung của hai kết cấu áo đường trên tương đương nhau:

$$E_{(h_1)} = E_{(h_2)} = 169 \text{ Mpa.}$$

Nhận xét: Từ kết quả thí nghiệm cho thấy, nếu sử dụng 0,1% nano carbon cho lớp bê tông nhựa chặt thì sẽ giảm được chiều dày của lớp này xuống 8 cm - 7 cm = 1 cm so với khi không sử dụng nano carbon (tiết kiệm được tương đương 14,3% chiều dày lớp bê tông nhựa chặt C12.5).

3. KẾT LUẬN

Bước đầu nghiên cứu cho thấy, việc trộn thêm nano carbon vào nhựa đường chế tạo bê tông nhựa với một hàm lượng hợp lý (khoảng 0,1% theo khối lượng nhựa đường) sẽ làm tăng mô-đun đàn hồi của bê tông nhựa lên 15,4%, đồng nghĩa với việc giảm được chiều dày của lớp bê tông nhựa trong kết cấu áo đường mặt.

Lời cảm ơn: Chúng tôi chân thành cảm ơn sự hỗ trợ của Trường Đại học GTVT với mã số đề tài T2019-PHII-014TD.

Tài liệu tham khảo

[1]. TCVN8819:2011 (2011), Mặt đường bê tông nhựa nóng - Yêu cầu thi công và nghiệm thu, Hà Nội.

- [2]. Lê Văn Bách, Võ Hồng Lâm, Lê Văn Phúc (2019), *Bước đầu sử dụng nano carbon làm phụ gia để cải thiện cường độ cho bê tông nhựa*, Tạp chí GTVT, số tháng 10.
- [3]. TCVN8860-2011 (2011), *Bê tông nhựa - Phương pháp thử*, Hà Nội.
- [4]. 22TCN211-06 (2006), *Quy trình thiết kế áo đường mềm*, Hà Nội.
- [5]. de Melo, Joao Victor Staub; Trichés, Glicério; de Rosso, Luca, *Experimental evaluation of the influence of reinforcement with Multi-Walled Carbon Nanotubes (MWCNTs) on the properties and fatigue life of hot mix asphalt*, Construction and Building Materials Volume 162 issue 2018 [doi 10.1016%2Fj.conbuildmat.2017.12.033]
- [6]. Hassan Latifi, Parham Hayati, *Evaluating the effects of the wet and simple processes for including carbon Nanotube modifier in hot mix asphalt*, Construction and Building Materials Volume 164 issue 2018 [doi 10.1016%2Fj.conbuildmat.2017.12.237].
- [7]. A. Akbari Motlagh, A. Kiasat, E. Mirzaei and F. Omid Birgani, *Bitumen Modification Using Carbon Nanotubes*, World Applied Sciences Journal 18 (4): 594-599, 2012.ISSN 1818-4952. [DOI: 10.5829/idosi.wasj.2012.18.04.1443].

Ngày nhận bài: 07/4/2020

Ngày chấp nhận đăng: 11/5/2020

Người phản biện: TS. Lê Văn Phúc

TS. Nguyễn Văn Du