

Nghiên cứu mô-đun đàn hồi của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế từ bê tông phế thải trong xây dựng mặt đường cứng

Study on the elastic modulus of concrete using recycled aggregates from waste concrete in rigid pavement construction

> **THS PHẠM QUANG THÔNG**

Trường Đại học Giao thông vận tải

Email: phamthongdsb@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đánh giá khả năng sử dụng phế thải bê tông xi măng (BTXM) trong xây dựng kết cấu áo đường ô tô và sân bay. Một trong những chỉ tiêu cơ lý quan trọng của bê tông được nghiên cứu là mô-đun đàn hồi. Nghiên cứu thực nghiệm trong phòng đã được tiến hành trên vật liệu bê tông tái chế (RAC), với mục đích đo lường hiệu suất và tính chất cơ học của vật liệu này được sản xuất từ phế thải BTXM. Nghiên cứu tập trung vào việc thu thập dữ liệu về tính chất của phế thải BTXM, nghiên cứu thử nghiệm vật liệu phế thải và vật liệu truyền thống, phân tích dữ liệu để đánh giá tính khả thi và hiệu suất sử dụng phế thải BTXM trong kết cấu áo đường ô tô và sân bay. Kết quả thử nghiệm mô-đun đàn hồi của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế đã được phân tích để xác định ảnh hưởng của tỷ lệ cốt liệu tái chế thô thay thế đá tự nhiên, loại cát sử dụng (cát tự nhiên hoặc cát xay từ RCA) và tuổi mẫu đến chỉ tiêu này. Nghiên cứu chỉ ra rằng mô-đun đàn hồi là một đặc trưng quan trọng của vật liệu trong các kết cấu chịu lực.

Từ khóa: Phế thải xây dựng, phế thải bê tông, cốt liệu bê tông tái chế, bê tông cốt liệu tái chế, mặt đường bê tông xi măng, mặt đường cứng.

ABSTRACT

This study evaluates the potential use of waste cement concrete in the construction of road and airport pavement structures. One of the key mechanical properties of concrete investigated is the modulus of elasticity. Laboratory experiments were conducted on recycled aggregate concrete (RAC) to measure the performance and mechanical characteristics of this material made from waste cement concrete. The research focuses on collecting data on the properties of cement concrete waste, testing both recycled and conventional materials and analyzing the data to assess the feasibility and performance of using waste cement concrete in road and airport pavement structures. The experimental results of the modulus of elasticity of concrete using recycled aggregates were analyzed to determine the influence of the replacement ratio of coarse recycled aggregate for natural stone, the type of sand used (natural sand or sand crushed from RCA) and the specimen age on this property. The study indicates that the modulus of elasticity is a critical characteristic of materials used in load-bearing structures.

Keywords: Construction waste, concrete waste, recycled concrete aggregate, recycled aggregate concrete, cement concrete pavement, rigid pavement.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bê tông phế thải phát sinh từ trong quá trình phá dỡ mặt đường BTXM nói riêng và công trình xây dựng nói chung là một nguồn vật liệu có giá trị và có thể tái sử dụng. Trên thế giới, cốt liệu bê tông tái chế (Recycled Concrete Aggregate, RCA) đã được nghiên cứu sử dụng trong nhiều lĩnh vực, đặc biệt là sử dụng trong xây dựng mặt đường [3-4]. Để đánh giá sơ bộ khả năng tái sử dụng các loại phế thải BTXM RCA làm cốt liệu trong xây dựng mặt đường ô tô và sân bay trong điều kiện Việt Nam, nhóm nghiên cứu tiến hành thí nghiệm chỉ tiêu mô-đun đàn hồi của BTXM sử dụng cốt liệu tái

chế (Recycled Aggregate Concrete, RAC). Thành phần bê tông RAC bao gồm cốt liệu thô và cốt liệu mịn tái chế RCA và đá dăm nghiền có nguồn gốc tự nhiên (Natural Aggregate, NA) được phối trộn theo các tỷ lệ khác nhau, kết hợp với các loại nguyên vật liệu thành phần truyền thống (cát vàng, xi măng, nước) [4].

Bài báo trình bày quá trình và các kết quả nghiên cứu trong phòng thí nghiệm mô-đun đàn hồi của bê tông RAC định hướng ứng dụng trong xây dựng mặt đường ô tô, sân bay trong điều kiện tại Việt Nam.

2. THÍ NGHIỆM

Mục đích chính của nghiên cứu này là sử dụng cốt liệu bê tông tái chế làm cốt liệu cho sản xuất bê tông trong các cấu trúc mới. Điều cần thiết là phải biết liệu việc thay thế đá tự nhiên (NA) với cốt liệu bê tông tái chế (RCA) trong bê tông kết cấu có chấp nhận được không. Nghiên cứu thực nghiệm trong phòng về vật liệu bê tông tái chế đã được tiến hành.

2.1. Vật liệu

a) Cốt liệu thô

Thành phần cốt liệu của RAC thí nghiệm được thiết kế sử dụng trong thí nghiệm bao gồm hai loại là: (1) Cốt liệu gia công từ bê tông phế thải (RCA) và (2) Cốt liệu đá nghiền tự nhiên (NA), được thí nghiệm với thay thế 0%, 30%, 50%, 70% và 100% NA bằng RCA.

Cốt liệu bê tông phế thải (RCA) sử dụng trong nghiên cứu được phân loại, gia công từ phế thải xây dựng thu gom từ các bãi phế thải tại Hà Nội. Cốt liệu đá dăm nghiền tự nhiên (NA) được lấy từ mỏ đá Hà Nam. Đá dăm sử dụng có nguồn gốc là mác ma, cường độ đá gốc từ 110 - 120 MPa. Các đặc trưng vật lý của RCA và NA sử dụng trong thí nghiệm đều đảm bảo các yêu cầu đối với cốt liệu thô sử dụng trong hỗn hợp BTXM mặt đường của Việt Nam [3, 4, 6, 12].

Công tác gia công chuẩn bị cấp phối hạt RCA và NA được tiến hành thủ công. Cấp phối cốt liệu thô danh định được lựa chọn sử dụng trong thí nghiệm có đường kính 4,75 - 25 mm, đảm bảo nằm trong giới hạn cấp phối quy định đối với cấp phối cốt liệu thô cho BTXM làm mặt đường như được quy định trong quy trình thi công của Bộ GTVT [4] và Bộ Xây dựng [6].

b) Các thành phần vật liệu khác

Các thành phần vật liệu khác sử dụng trong hỗn hợp bê tông RAC thí nghiệm có các đặc trưng cơ lý như nhau, đảm bảo sự thống nhất trong quá trình đánh giá kết quả thí nghiệm.

1) Cát: Cát đóng vai trò cốt liệu nhỏ trong thành phần bê tông thử nghiệm. Loại cát sử dụng trong thí nghiệm là cát vàng tự nhiên khai thác từ sông Lô (Phủ Thọ) và cát xay có nguồn gốc từ RCA. Các thông số của loại cát sử dụng trong thí nghiệm được xác định theo tiêu chuẩn hiện hành [4], đồng thời đảm bảo yêu cầu quy định đối với cát sử dụng trong thiết kế BTXM [7, 8, 9, 12]. Thành phần hạt của cát vàng có mô-đun độ lớn $M=2,55$ và cát xay từ RCA có mô-đun độ lớn $M=2,91$.

2) Xi măng: Loại xi măng dùng thí nghiệm là loại PCB40 VICEM đáp ứng theo tiêu chuẩn Việt Nam [10].

3) Nước: Nước sử dụng trộn bê tông là nước máy sinh hoạt Hà Nội, có các chỉ tiêu kỹ thuật đảm bảo các quy định kỹ thuật đối với nước sử dụng trong BTXM [11].

2.2. Thiết kế thành phần bê tông

Tỷ lệ thành phần của các loại vật liệu trong hỗn hợp của bê tông được thiết kế theo định mức vật liệu của bê tông mác M300, là mác bê tông được thiết kế trong xây dựng mặt đường BTXM.

2.3. Chế bị mẫu và thí nghiệm

Các thành phần vật liệu của bê tông được cân đong theo tỷ lệ thiết kế và trộn đều bằng máy trộn tự do dung tích 150 lít. Các mẫu bê tông được chế bị trong điều kiện phòng và bảo dưỡng theo quy định hiện hành.

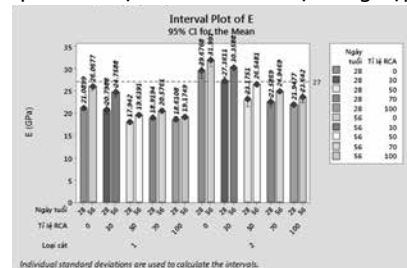
Các mẫu thí nghiệm sau khi đúc xong được bảo dưỡng theo quy định. Quá trình thí nghiệm theo các chỉ số được tiến hành theo đúng trình tự, ở các ngày tuổi khác nhau theo các quy định của hệ thống tiêu chuẩn Việt Nam [12, 13].

Thí nghiệm xác định mô-đun đàn hồi: Mô-đun đàn hồi của bê tông (E0) được xác định theo TCVN 5726:2022. Phương pháp thí nghiệm sử dụng mẫu trụ kích thước D150xH300. Đối với mỗi tổ hợp (tỷ lệ RCA/NA, loại cát, tuổi), 3 mẫu trụ được chế bị và thí nghiệm. Tổng số mẫu thí nghiệm mô-đun đàn hồi được thực hiện với 5 tỷ lệ

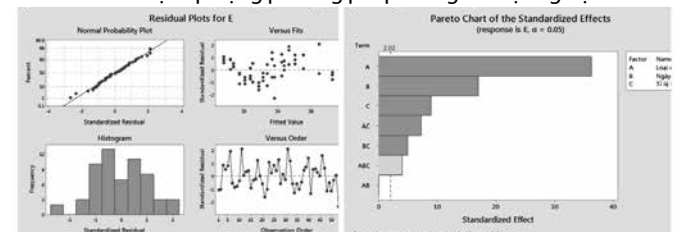
RCA (0%, 30%, 50%, 70%, 100%), 2 loại cát (cát tự nhiên cát loại 2, cát xay RCA cát loại 1) và 2 tuổi mẫu (28, 56 ngày), với 3 mẫu cho mỗi tổ hợp. Tổng số mẫu là $5 \times 2 \times 2 \times 3 = 60$ mẫu.

3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VÀ PHÂN TÍCH

Kết quả thí nghiệm mô-đun đàn hồi theo các tổ mẫu được thiết kế theo thành phần cốt liệu và tuổi mẫu được tổng hợp trong Hình 1.

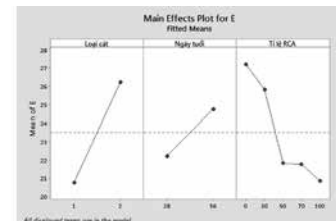


Hình 1. Mô-đun đàn hồi E trung bình theo ngày tuổi, loại cát và tỷ lệ phần trăm RCA. Phân tích điều kiện áp dụng phương pháp thống kê mẫu mô-đun đàn hồi được thể hiện trong Biểu đồ phần dư (Hình 2). Biểu đồ này cho thấy phần dư tuân theo quy luật phân bố chuẩn, các giá trị ngẫu nhiên, không theo quy luật và phân bố đều hai bên qua đường "0", như vậy thỏa mãn các điều kiện áp dụng phương pháp thống kê thực nghiệm.

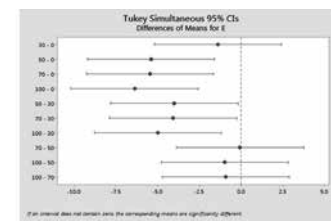


Hình 2. Biểu đồ phân tích điều kiện áp dụng phương pháp thống kê mẫu mô-đun đàn hồi. Hình 3. Biểu đồ Pareto các yếu tố ảnh hưởng mô-đun đàn hồi.

Biểu đồ Pareto các yếu tố ảnh hưởng mô-đun đàn hồi (Hình 3) chỉ ra rằng, 3 biến: Tỷ lệ RCA (tỷ lệ), tuổi mẫu (ngày tuổi) và loại cát đều có ảnh hưởng đến mô-đun đàn hồi và có ý nghĩa thống kê. Điều này được hỗ trợ bởi phân tích phương sai (Analysis of Variance) với giá trị P-Value rất nhỏ (0,000) cho các yếu tố tuyến tính (linear) và riêng từng yếu tố loại cát, ngày tuổi, tỷ lệ.



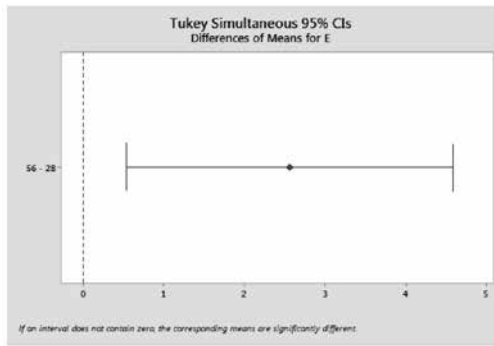
Hình 4. Ảnh hưởng các yếu tố đến mô-đun đàn hồi E



Hình 5. Phân tích phương sai và hậu định mô-đun đàn hồi E theo tỷ lệ phần trăm RCA

- Ảnh hưởng của tỷ lệ RCA: Biểu đồ ảnh hưởng các yếu tố đến mô-đun đàn hồi E (Hình 4) và biểu đồ mô-đun đàn hồi E trung bình theo ngày tuổi, loại cát và tỷ lệ phần trăm RCA (Hình 1) cho thấy mô-đun đàn hồi của bê tông giảm khi tỷ lệ RCA thay thế NA trong cốt liệu thô tăng lên. Phân tích phương sai và phân tích hậu định (phương pháp Tukey's HSD) so sánh sự khác biệt giá trị mô-đun đàn hồi giữa các mẫu RAC và NAC theo tỷ lệ %RCA (Hình 5) xác nhận sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nhóm tỷ lệ RCA khác nhau. Xu hướng giảm mô-đun đàn hồi khi tăng tỷ lệ RCA được quan sát ở

cả hai tuổi mẫu (28 và 56 ngày) và cả hai loại cát.



Hình 6. Phân tích phương sai và hậu định mô-đun đàn hồi E theo thời gian

- Ảnh hưởng của tuổi mẫu: Biểu đồ ảnh hưởng các yếu tố đến mô-đun đàn hồi E (Hình 4) và biểu đồ mô-đun đàn hồi E trung bình theo ngày tuổi, loại cát và tỷ lệ phần trăm RCA (Hình 1) cho thấy mô-đun đàn hồi của mẫu RAC tăng theo thời gian. Phân tích phương sai và phân tích hậu định so sánh sự khác biệt giá trị mô-đun đàn hồi giữa các mẫu RAC và NAC theo ngày tuổi (Hình 6) có ý nghĩa thống kê. Sự tăng mô-đun đàn hồi theo thời gian này tỉ lệ nghịch với tỉ lệ RCA trong cốt liệu thô.

- Ảnh hưởng của loại cát: Kết quả cũng cho thấy mô-đun đàn hồi của mẫu dùng loại cát 2 (cát tự nhiên) cao hơn loại cát 1 (cát xay từ RCA) ở mọi nhóm tuổi mẫu và tỷ lệ RCA. Phân tích phương sai và phân tích hậu định so sánh sự khác biệt giá trị mô-đun đàn hồi giữa các mẫu RAC và NAC theo loại cát (Hình 5) có ý nghĩa thống kê. Mô-đun đàn hồi của các mẫu ở 28 ngày tuổi và cùng tỷ lệ RCA khi sử dụng cát loại 1 (cát xay từ RCA) thấp hơn so với khi sử dụng cát loại 2 (cát tự nhiên).

4. BÀN LUẬN VÀ KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã thực hiện thí nghiệm xác định mô-đun đàn hồi của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế từ bê tông phế thải (RAC) với các tỷ lệ RCA thay thế cốt liệu thô tự nhiên (NA) khác nhau (0%, 30%, 50%, 70%, 100%) và sử dụng hai loại cốt liệu mịn khác nhau (cát tự nhiên và cát xay từ RCA) ở các tuổi 28 và 56 ngày. Các thí nghiệm được tiến hành tuân thủ các tiêu chuẩn hiện hành của Việt Nam và quốc tế.

Các kết quả phân tích thống kê chỉ ra rằng tỷ lệ RCA trong cốt liệu thô, loại cát sử dụng và tuổi mẫu đều có ảnh hưởng đáng kể (có ý nghĩa thống kê) đến mô-đun đàn hồi của bê tông.

Quan sát các biểu đồ và kết quả phân tích, có thể thấy rõ xu hướng giảm của mô-đun đàn hồi khi tỷ lệ RCA tăng lên. Điều này có thể liên quan đến chất lượng thấp hơn của RCA so với NA, đặc biệt là sự hiện diện của lớp vữa cũ bám dính làm tăng độ rỗng và giảm độ cứng tổng thể của cốt liệu tái chế. Mặc dù RCA có thể đáp ứng các yêu cầu về thành phần hạt và một số chỉ tiêu cơ lý cơ bản theo tiêu chuẩn, nhưng đặc tính đàn hồi của nó có thể khác biệt so với đá tự nhiên.

Mô-đun đàn hồi của bê tông tăng theo thời gian trưởng thành (từ 28 đến 56 ngày tuổi) đối với tất cả các tổ hợp mẫu RAC và NAC. Đây là quy luật phát triển cường độ và độ cứng thông thường của bê tông do quá trình thủy hóa xi măng tiếp diễn. Tuy nhiên, tốc độ tăng này có vẻ bị ảnh hưởng bởi tỷ lệ RCA, với sự tăng mô-đun đàn hồi theo thời gian tỉ lệ nghịch với tỷ lệ RCA. Điều này có thể hàm ý rằng quá trình phát triển độ cứng ở bê tông RAC có thể diễn ra hơi khác so với NAC, hoặc sự hiện diện của RCA làm hạn chế một phần khả năng phát triển độ cứng theo tuổi.

Sự khác biệt về mô-đun đàn hồi giữa bê tông sử dụng cát tự nhiên và bê tông sử dụng cát xay từ RCA cũng được xác nhận là có ý

nghĩa thống kê. Bê tông dùng cát tự nhiên cho mô-đun đàn hồi cao hơn. Điều này có thể được giải thích bởi sự khác biệt về tính chất vật lý và cơ học giữa hai loại cát. Cát xay từ RCA, tương tự như cốt liệu thô RCA, có thể chứa lớp vữa cũ hoặc có cấu trúc hạt khác biệt so với cát tự nhiên, ảnh hưởng đến độ đặc chắc của vữa xi măng-cát và do đó ảnh hưởng đến mô-đun đàn hồi của toàn bộ khối bê tông.

Mô-đun đàn hồi là một chỉ tiêu quan trọng trong thiết kế kết cấu áo đường cứng, vì nó ảnh hưởng đến sự phân bố ứng suất và biến dạng dưới tải trọng. Mặc dù mô-đun đàn hồi của RAC có xu hướng giảm khi tăng tỷ lệ RCA và khi sử dụng cát xay từ RCA so với cát tự nhiên, nghiên cứu này đã chứng minh khả năng sử dụng cốt liệu RCA trong BTXM cho kết cấu áo đường ô tô. Các chỉ tiêu làm việc cơ bản khác (cường độ nén, kéo uốn) của RAC cũng đáp ứng tốt yêu cầu kỹ thuật [1, 2].

Việc sử dụng vật liệu phế thải BTXM phù hợp làm cốt liệu lớn và cốt liệu nhỏ trong mặt đường BTXM được coi là phù hợp dựa trên các tiêu chuẩn TCCS 39 và TCCS 40, giống như việc sử dụng các loại đá thông thường khác. Tuy nhiên, chất lượng vật liệu phế thải BTXM phụ thuộc rất nhiều vào nguồn vật liệu đầu vào, do đó việc nghiên cứu, đánh giá, thực nghiệm trong phòng một cách đầy đủ và bài bản trước khi sử dụng rộng rãi là hết sức cần thiết.

Các kết quả nghiên cứu thí nghiệm mô-đun đàn hồi, cùng với các chỉ tiêu khác, cho thấy cốt liệu RCA hoàn toàn có thể sử dụng làm cốt liệu trong BTXM sử dụng làm kết cấu áo đường ô tô với hàm lượng thay thế đá, cát tự nhiên lên đến 30%. Kết quả này cũng phù hợp với một số nghiên cứu ở nước ngoài. Bê tông tái chế RAC sử dụng cốt liệu tái chế từ bê tông RCA có các chỉ tiêu làm việc (bao gồm cả mô-đun đàn hồi, mặc dù có xu hướng giảm) cơ bản đáp ứng tốt các yêu cầu về mặt kỹ thuật đối với mặt đường BTXM. Tiềm năng tái sử dụng cốt liệu bê tông phế thải là rất lớn nếu được thu gom, xử lý và gia công phù hợp, đặc biệt trong bối cảnh và điều kiện áp dụng tại Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Trọng Hiệp, Phạm Quang Thông, Bùi Xuân Cây (2021), Bê tông phế thải và khả năng sử dụng trong xây dựng mặt đường ô tô ở Việt Nam, Tạp chí GTVT, số tháng 9.
- [2]. Nguyễn Trọng Hiệp, Phạm Quang Thông, Đoàn Việt Trung, Phan Thị Khánh Hằng, Nguyễn Tiến Thành, Bùi Đức Thắng (2021), Nghiên cứu một số tính chất cơ lý của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế từ bê tông phế thải trong xây dựng mặt đường cứng, Tạp chí GTVT, số tháng 10.
- [3]. Tổng cục Đường bộ Việt Nam (2022), TCCS 39: 2022/TCĐBVN, Thiết kế mặt đường bê tông xi măng thông thường có khe nối trong xây dựng công trình giao thông.
- [4]. Tổng cục Đường bộ Việt Nam (2022), TCCS 40: 2022/TCĐBVN, Thi công và nghiệm thu mặt đường bê tông xi măng trong xây dựng công trình giao thông.
- [5]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2022), TCVN 3118:2022, Bê tông - Phương pháp xác định cường độ chịu nén.
- [6]. Bộ Xây dựng (2018), TCVN 11969:2018, Cốt liệu lớn tái chế cho bê tông.
- [7]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2006), TCVN 7570:2006, Cốt liệu cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật.
- [8]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2012), TCVN 9382:2012, Chỉ dẫn kỹ thuật chọn thành phần bê tông sử dụng cát nghiền.
- [9]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2012), TCVN 9205:2012, Cát nghiền cho bê tông và vữa.
- [10]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2020), TCVN 6260:2020 Xi măng pooc-lăng hỗn hợp (PCB).
- [11]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2012), TCVN 4506:2012, Nước cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật.
- [12]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2006), TCVN 7572:2006, Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử.
- [13]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2022), TCVN 5726:2022, Bê tông - Phương pháp xác định cường độ lắng trụ, mô-đun đàn hồi và hệ số poisson.