

NGHIÊN CỨU SỰ THAY ĐỔI VẬN TỐC SÓNG TRONG BÊ TÔNG SỬ DỤNG CÁT NHÂN TẠO BẰNG PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM XUNG SIÊU ÂM (UPV)

Phạm Thị Nhân^{1,*}, Vũ Đức Quyết²

¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất

²Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

*Email: phamthinhan@humg.edu.vn

TÓM TẮT

Phương pháp thí nghiệm xung siêu âm (Ultrasonic Pulse Velocity) thuộc nhóm phương pháp không phá hoại mẫu (Non-destructive test, NDT). Trong nước có một số các nghiên cứu dựa trên hướng dẫn của TCVN 9357:2012 về đánh giá chất lượng bê tông nặng bằng vận tốc xung siêu âm để xây dựng mối quan hệ giữa cường độ chịu nén bê tông với vận tốc xung siêu âm và đo đặc chiều sâu vết nứt mở trên bê tông bằng phương pháp siêu âm. Tuy nhiên các kết quả nghiên cứu về sử dụng xung siêu âm để nghiên cứu sự thay đổi vận tốc sóng xung siêu âm trong bê tông sử dụng cát nhân tạo và đề xuất công thức xác định sơ bộ cường độ chịu nén trên vật liệu này là chưa tìm thấy. Bài báo trên cơ sở sử dụng cốt liệu là cát nhân tạo và xi măng với sáu cấp phối khác nhau chế tạo các mẫu bê tông hạt mịn có kích thước 100 mm × 50 mm. Kết quả đo vận tốc sóng xung siêu âm cho thấy mối quan hệ giữa vận tốc xung và cường độ nén theo hàm $y = 101,98 \ln(x) - 795,61$ (độ lệch chuẩn $R^2 = 0,996$). Kết quả nghiên cứu có thể làm cơ sở dữ liệu để xác định sơ bộ cường độ nén mẫu bê tông, cấu kiện bê tông hạt mịn trên thực tế mà không phải làm các thí nghiệm phá hủy.

Từ khóa: Non-destructive test, Ultrasonic Pulse Velocity, vận tốc xung, cường độ nén, bê tông, cát nhân tạo.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ở Việt Nam cũng như trên thế giới Bê tông có vai trò rất quan trọng, là đại diện tiêu biểu nhất trong các nhóm vật liệu được sử dụng rộng rãi cho các công trình xây dựng. Việc đánh giá chất lượng bê tông hiện nay thường được thực hiện thông qua một số chỉ tiêu cơ lý chính như cường độ chịu nén, chịu cắt trượt, kéo, độ đồng nhất, các khuyết tật như độ rỗng, vết nứt...

Để đánh giá chất lượng bê tông hiện nay thường sử dụng hai phương pháp phổ biến là: Thí nghiệm phá hoại xác định cường độ bê tông và thí nghiệm không phá hủy. Thí nghiệm không phá hủy có thể kể đến như: phương pháp súng bật nảy, phương pháp đo vận tốc xung siêu âm, phương pháp sử dụng kết hợp máy đo siêu âm và súng bật nảy, phương pháp điện trở...vv. Việc nghiệm thu chất lượng bê tông chủ yếu được

tham chiếu trong tiêu chuẩn **Error! Reference source not found.**].

Phương pháp không phá hủy được sử dụng từ lâu và khá phổ biến trên thế giới. Có thể kể đến như: Phương pháp vận tốc xung siêu âm (Ultrasonic pulse velocity – UPV); phản âm (Impact – Echo), phản sóng (Pulse – echo); phát âm thanh (Acoustic emission); hấp thụ sóng siêu âm (Microwave adsorption)...**Error! Reference source not found.**], **Error! Reference source not found.**], **Error! Reference source not found.**], **Error! Reference source not found.**].

TCVN 9357:2012 hướng dẫn thiết lập mối quan hệ giữa cường độ chịu nén bê tông và UPV theo mô hình hồi quy một biến, từ đó có thể sơ bộ đánh giá chất lượng bê tông thông qua đo vận tốc xung siêu âm **Error! Reference source not found.**]. Ngoài ra có thể kể đến một số nghiên cứu sử dụng phương pháp UPV kết hợp với súng bật

này để đánh giá chất lượng của bê tông (độ đồng nhất). Kết quả kiểm tra cường độ bê tông tương chấn bằng súng bật nảy Schmidt cho thấy hệ số biến động cường độ bê tông trung bình của các vùng thí nghiệm từ 7.4% đến 16.9% < 20%. Hệ số biến động vận tốc truyền sóng siêu âm trong bê tông trụ trung bình từ 2.29% đến 2.86 < 3%. Dải hệ số biến động này đạt yêu cầu theo tiêu chuẩn TCVN 9357:2012 cho phép hệ số biến động lớn nhất từ 2 đến 3%

] Lương Xuân Chiểu trên mẫu thí nghiệm bê tông khối vuông 15 x 15 x 15 cm, đã xây dựng được biểu đồ tương quan giữa cường độ chịu nén bê tông theo hai thông số là trị số súng bật nảy và UPV

] Các tác giả

],

] đã nghiên cứu xây dựng phương trình hồi quy cường độ chịu nén theo hai trị số là súng bật nảy và UPV cho bê tông geopolimer. Xung siêu âm cũng được sử dụng để nghiên cứu xác định môđun đàn hồi tấm bê tông

], nghiên cứu đánh giá khuyết tật cọc khoan nhồi

], và khảo sát vết nứt trong bê tông tuổi sớm

] Việc sử dụng cát nhân tạo (hay còn gọi là cát nghiền) đang trở thành một xu hướng tất yếu khi mà nhiều công trình xây dựng có quy mô lớn, nhỏ đã sử dụng cát nhân tạo thay thế cát tự nhiên trước áp lực của giá thành cũng như vùng nguyên liệu khai thác cát tự nhiên ngày càng bị thu hẹp. Trên cơ sở lý thuyết xung siêu âm, sử dụng máy acoustic detector of RS-ST01C tiến hành thực nghiệm trong phòng đo vận tốc xung siêu âm. Kế thừa phương pháp nghiên cứu [8], [9] từ dữ liệu kết quả thí nghiệm đưa ra được mối quan hệ giữa vận tốc xung và cường độ nén của mẫu bê tông sử dụng cát nhân tạo.

2. PHƯƠNG PHÁP VÀ QUY TRÌNH THÍ NGHIỆM

2.1. Nguyên lý của phương pháp UPV

Nguyên lý của phương pháp xung siêu âm dựa trên sự phụ thuộc của vận tốc truyền sóng dọc với các đặc tính đàn hồi và mật độ của bê tông. Bằng cách xác định vận tốc truyền sóng dọc trong bê tông, phương pháp có thể sơ bộ đánh

giá chất lượng bê tông cũng như một số khuyết tật bên trong nó. Xung của dao động dọc được tạo ra nhờ một bộ phận biến đổi điện âm (sau đây gọi tắt là đầu dò) được giữ tiếp xúc với một mặt của phần bê tông chịu kiểm tra. Sau khi đi qua chiều dài L đã biết của bê tông, xung dao động được chuyển thành tín hiệu điện nhờ đầu dò thứ hai. Thời gian truyền T của xung đo được nhờ các mạch điện đếm thời gian. Vận tốc xung V (km/s hoặc m/s) được tính bằng công thức:

$$V = \frac{L}{T} \quad (1)$$

Trong đó:

L: Chiều dài đường truyền, được gọi là đáy đo, tính bằng kilomet (km) hoặc mét (m);

T: Thời gian cần thiết để xung dao động truyền qua hết chiều dài L, tính bằng giây (s).

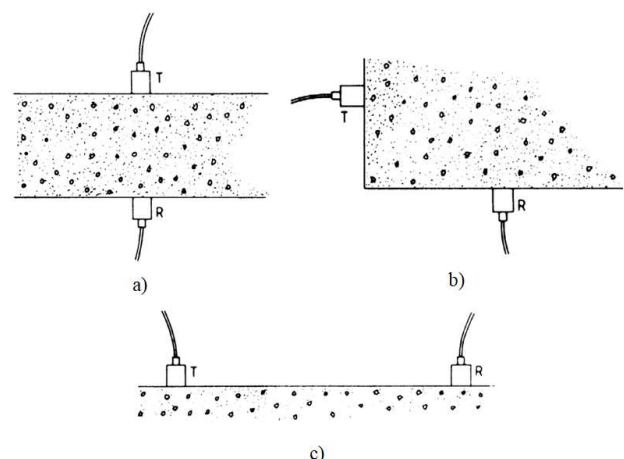
2.2 Thiết bị và cách bố trí đầu đo

Hệ thiết bị của phương pháp vận tốc xung siêu âm bao gồm thiết bị hiển thị và 02 đầu dò thu-phát với tần số xung từ 25kHz đến 100kHz. Để thực hiện đo vận tốc xung có ba cách bố trí đầu dò như hình 1:

+) Hai đầu dò đặt trên hai mặt đối diện (truyền trực tiếp);

+) Hai đầu dò đặt trên hai bề mặt vuông góc (truyền bán trực tiếp);

+) Hai đầu dò đặt trên cùng một bề mặt (truyền gián tiếp hoặc truyền bề mặt)



T: Máy phát; R: Máy thu

Hình 1. Phương pháp truyền và nhận xung siêu âm
Reference source not found.]

a) trực tiếp, b) bán trực tiếp, c) Gián tiếp

2.3 Chuẩn bị mẫu và quy trình thực hiện thí nghiệm

2.3.1. Vật liệu thí nghiệm

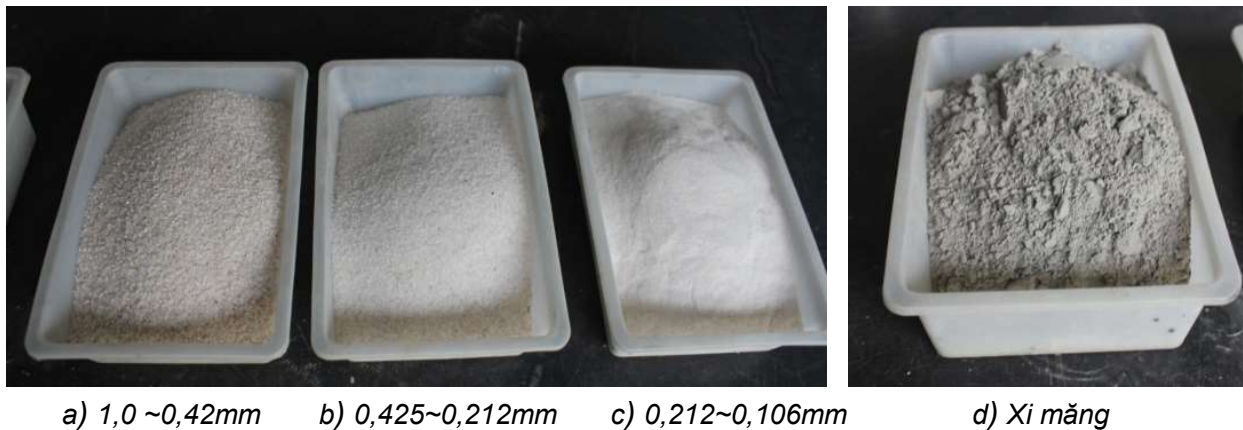
Xi măng Poóc lăng PC40 Bút Sơn (X) thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của tiêu chuẩn TCVN 2682:2009. Tính chất cơ lý của xi măng Pooc lăng PC 40 Bút Sơn được giới thiệu trong bảng 1.

Bảng 1. Tính chất cơ lý của xi măng Pooc lăng PC40 Bút Sơn

Khối lượng riêng, g/cm ³	Lượng sót trên sàng N0,09	Tỷ diện bề mặt, cm ² /g	Thời gian đông kết, phút		Giới hạn độ bền nén, MPa			Độ dẻo tiêu chuẩn, %
			Bắt đầu	Kết thúc	3 ngày	7 ngày	28 ngày	
3,08	5,5	3640	120	360	27,4	35,5	45,8	29,5

Cốt liệu nhỏ trong hỗn hợp bê tông nhỏ sử dụng cát Thạch Anh (cát nhân tạo sản xuất và bán sẵn trên thị trường) với ba cỡ hạt được sàng trên mắt sàng 1,0 ~0,42mm, 0,425~0,212mm và 0,212~0,106mm, mỗi loại chiếm một phần ba như Hình 2 thể hiện. Hỗn hợp cát thạch anh hạt

thô, trung bình và hạt mịn này có thể hạn chế độ xốp của vật liệu mô hình và làm cho các tính chất cơ học ổn định hơn, so với phân cấp cát thông thường, nó khắc phục được các vấn đề về thành phần bùn và tính chất không ổn định của cát sông.



a) 1,0 ~0,42mm

b) 0,425~0,212mm

c) 0,212~0,106mm

d) Xi măng

Hình 2. Cốt liệu Bê tông hạt mịn

Nước sạch (N) được sử dụng để làm nước trộn hỗn hợp bê tông và bảo dưỡng mẫu thí nghiệm, thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 4506:2012 (TCVN 4506:2012, 2012). Thành phần cấp phối của các mẫu vữa xi măng và cát trong thí nghiệm được xác định điều chỉnh bằng thực nghiệm. Trong đó tỷ lệ Xi: Cát được khảo sát với lần lượt 6 cấp phối là 1:1, 1:1,5, 1:2, 1:2,5, 1:3 và 1:3,5.

2.3.2. Quy trình chế tạo mẫu

Quy trình chế tạo mẫu gồm các bước như sau:

Bước 1: Cân từng thành phần của cốt liệu theo tỷ lệ định sẵn, sau khi cân, cho từng thành phần vào máy trộn và khuấy đều trong vòng 1 phút;

Bước 2: Đổ hỗn hợp đã trộn vào khuôn đo độ xòe;

Bước 3: Đổ hỗn hợp đã trộn vào khuôn hình trụ kích thước tiêu chuẩn 100 x 50 mm, sau đó đặt khuôn lên bàn rung để các bọt khí không còn xuất hiện trên bề mặt mẫu;

Bước 4: Để mẫu trong vòng 24 giờ để mẫu có độ cứng nhất định, sau đó tiến hành tháo khuôn, ngâm bảo dưỡng trong nước ở nhiệt độ thường trong vòng 7 ngày;

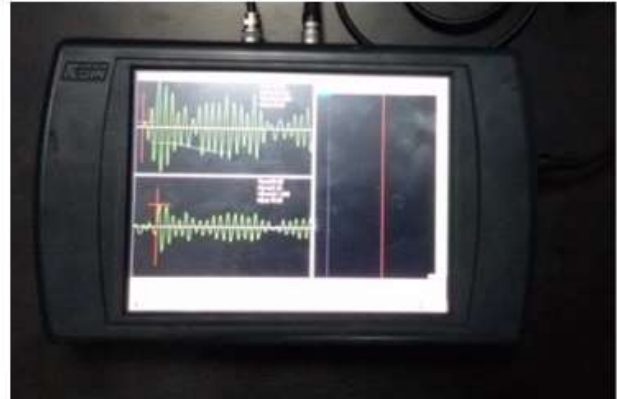
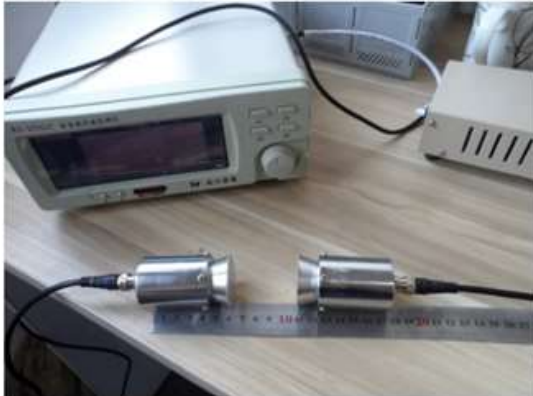
Bước 5: Sau khi mẫu được sấy khô, sử dụng thước cặp điện tử và cân điện tử để đo kích thước và chất lượng của mẫu tương ứng, đồng trụ, mỗi cấp phối có ba mẫu. Mỗi mẫu tiến hành đo 3 lần, đảm bảo sai số giữa các lần đo

thời thu được trọng lượng của mẫu thông qua tính toán.

2.3.3. Chương trình thí nghiệm

a) Thí nghiệm đo xung siêu âm:

Sử dụng máy đo xung siêu âm RS-ST01C acoustic detector tiến hành đo các mẫu hình lăng < 5%. Chú ý lượng keo bôi vào hai đầu mẫu vừa phải để đảm bảo thu được tín hiệu xung tốt nhất.

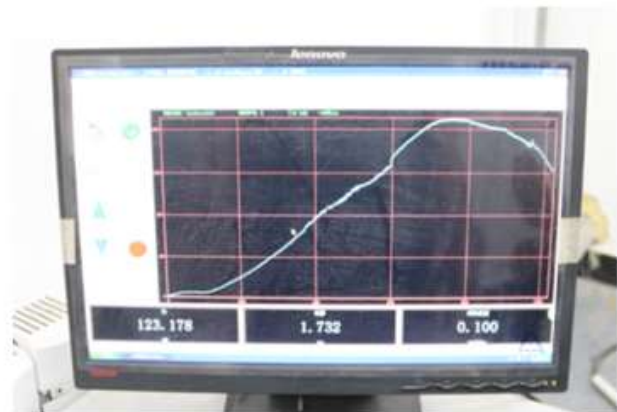


Hình 3. Thí nghiệm đo xung siêu âm

b) Thí nghiệm xác định đặc tính cơ học của mẫu bê tông:

Để xác định đặc tính cơ học của mẫu 100 x 50mm sử dụng hệ thống máy nén gia tải Servo

universal testing machines of DNS-100. Khả năng gia tải tối đa đạt 100KN, độ chính xác của gia tải và biến dạng đều là $\pm 0,5\%$.



Hình 4. Hệ thống máy nén Servo universal testing machines of DNS-100

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả vận tốc truyền xung siêu âm

Kết quả vận tốc xung sau khi xử lý được trình bày dưới bảng 2.

Bảng 2. Vận tốc xung siêu âm

Số hiệu mẫu	Vận tốc xung (m/s)	Vận tốc xung trung bình (m/s)	Số hiệu mẫu	Vận tốc xung (m/s)	Vận tốc xung trung bình (m/s)
N1:1.0 M1	3492	3491	N 1:2.5 M1	3027	3048
N 1:1.0 M2	3492		N 1:2.5 M2	2999	
N 1:1.0 M3	3489		N 1:2.5 M3	3118	
N 1:1.5 M1	3368	3374	N 1:3.0 M1	2955	2951
N 1:1.5 M2	3380		N 1:3.0 M2	2950	
N 1:1.5 M3	3374		N 1:3.0 M3	2948	
N 1:2.0M1	3205	3203	N 1:3.5 M1	2835	2820
N 1:2.0M2	3210		N 1:3.5 M2	2819	
N 1:2.0M3	3194		N 1:3.5 M3	2806	

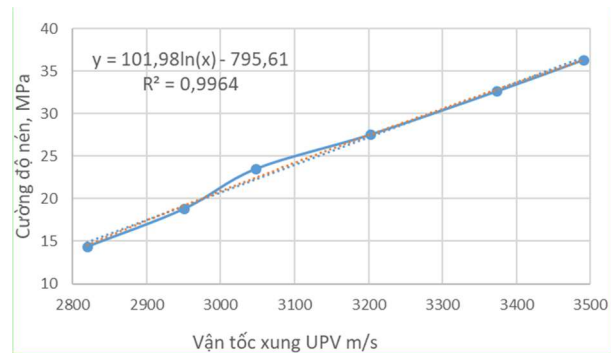
Nhận xét: Khi tỷ lệ Xi : Cát giảm đi vận tốc xung siêu âm có xu hướng giảm. Từ kết quả trên cho thấy khi chất dính kết Xi mĂNG giảm, cốt liệu thô (tăng), thì vận tốc xung giảm từ 3491 m/s xuống còn 2820 m/s. Khi tỷ lệ Xi: Cát thay đổi liên quan đến tính chất cơ lý của bê tông (cường độ kháng nén, Mô đun đàn hồi), để làm rõ hơn phần tiếp theo trình bày kết quả thí nghiệm nén đơn trực mẫu và đề xuất quan hệ giữa cường độ nén mẫu và vận tốc xung siêu âm.



Hình 5. Hình ảnh mẫu khi nén

3.2 Quan hệ giữa cường độ kháng nén của bê tông và vận tốc xung siêu âm

Để thực hiện thí nghiệm nén đơn trực, tốc độ gia tải 0,5 mm/min, hạn chế ảnh hưởng của lực ma sát trên hai bề mặt tiếp xúc bàn nén xoa một lượng nhỏ keo. Tiến hành gia tải nén tới khi mẫu bị phá hoại. Hình ảnh mẫu khi tiến hành nén và sau khi bị phá hoại thể hiện trên hình 5, quan hệ giữa cường độ nén và các tham số cơ học khác của mẫu được mô tả chi tiết như trên bảng 3.



Hình 6. Quan hệ giữa vận tốc xung và cường độ nén

Bảng 3. Kết quả nén mẫu

Mẫu	Đường kính d/mm	Chiều cao h/mm	Cường độ kháng nén σ_c /MPa		Mẫu	Đường kính d/mm	Chiều cao h/mm	Cường độ kháng nén σ_c /MPa	
			Mẫu	Bình quân				Mẫu	Bình quân
N1:1.0 M1	50,1	100,1	38,0	36,3	N 1:2.5 M1	50,2	97,2	24,1	23,5
N 1:1.0 M2	49,7	100,5	36,8		N 1:2.5 M2	49,9	98,2	22,8	
N 1:1.0 M3	50,2	99,4	36,1		N 1:2.5 M3	50,0	99,8	23,6	

Mẫu	Đường kính d/mm	Chiều cao h/mm	Cường độ kháng nén σ_c /MPa		Mẫu	Đường kính d/mm	Chiều cao h/mm	Cường độ kháng nén σ_c /MPa	
			Mẫu	Bình quân				Mẫu	Bình quân
N 1:1.5 M1	50,0	97,8	31,3	32,6	N 1:3.0 M1	50,3	78,3	18,7	18,8
N 1:1.5 M2	50,2	99,6	32,7		N 1:3.0 M2	50,0	98,8	18,3	
N 1:1.5 M3	49,8	98,8	33,8		N 1:3.0 M3	50,1	98,8	19,4	
N 1:2.0M1	50,0	100,0	25,7	27,5	N 1:3.5 M1	50,0	100,1	14,6	14,3
N 1:2.0M2	50,2	98,4	30,8		N 1:3.5 M2	50,3	98,5	15,3	
N 1:2.0M3	50,1	100,0	26,0		N 1:3.5 M3	50,5	99,3	13,1	

* **Nhận xét:** Từ kết quả nén mẫu cho thấy, khi tỷ lệ X: C giảm đi thì cường độ nén mẫu giảm tuyến tính. Đồng thời khi cường độ nén giảm, cho thấy tốc độ xung siêu âm cũng giảm theo. Từ bảng số liệu tác giả đề xuất công thức tính sơ bộ cường độ kháng nén của mẫu theo vận tốc UPV: $y = 101,98 \ln(x) - 795,61$ (độ lệch chuẩn $R^2 = 0,996$).

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Những kết quả thu được từ nghiên cứu này cho phép rút ra một số kết luận ban đầu như sau:

- Trên cơ sở cốt liệu là Xi măng Poóc lăng PC40 Bút Sơn, cát nhân tạo thạch anh đã chế tạo được mẫu thí nghiệm bê tông hạt mịn có cường độ bền chịu nén là từ 36,3 MPa đến 14,3 MPa.

- Khi cường độ kháng nén của mẫu tăng thì vận tốc UPV đo được cũng có xu hướng tăng.

Trên cơ sở dữ liệu thực nghiệm đề xuất công thức tính sơ bộ cường độ kháng nén của bê tông hạt mịn theo vận tốc UPV là $y = 101,98 \ln(x) - 795,61$ (độ lệch chuẩn $R^2 = 0,996$).

- Các thí nghiệm thực hiện trong nghiên cứu này mới giới hạn ở các mẫu thí nghiệm trong phòng thí nghiệm. Cần tiếp tục mở rộng nghiên cứu này cho kết cấu công trình bê tông cốt thép trên hiện trường.

5. LỜI CẢM ƠN

Bài báo được hỗ trợ dữ liệu và kinh phí từ đề tài cấp Bộ Giáo dục, mã số B2023- MDA-06 với tên "Nghiên cứu dự báo đặc điểm vết nứt của cấu kiện bê tông cường độ cao sử dụng cho nhà cao tầng bằng phương pháp thí nghiệm không phá hủy kết hợp kỹ thuật trí tuệ nhân tạo".

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. TCVN 4453: 1995, Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép toàn khối – Quy phạm thi công và nghiệm thu.
2. Nguyễn Trung Hiếu, Hồ Anh Cường, Nguyễn Ngọc Tân.,(2017). Khảo sát hệ số biến động vận tốc xung siêu âm áp dụng trong đánh giá độ đồng nhất của bê tông. Tạp chí Khoa học – công nghệ; p45-49.
3. Çam, E., Orhan, S., and Lüy, M. (2005), "An analysis of cracked beam , "An analysis of cracked beam structure using impact echo method", Ndt & E International, vol. 38, pp. 368-373.
4. Panzera T.H., Rubio J.C., Bowen C. R., Vasconcelos W.L., Strecker K. (2008), Correlation between structure and pulse velocity of cementitious composites, Advances in Cement Research, vol.20, No.3, July, PP.1-1-108.
5. JCMS-III B5706 (2003), Monitoring Method for Active Cracks in Concrete by Acoustic Emission, Federation of Construction Materials Industries, Japan.

6. Tiêu chuẩn Việt Nam (2012), TCVN : 9357 Bê tông nặng - Phương pháp thử không phá hủy - Đánh giá chất lượng bê tông bằng vận tốc xung siêu âm, Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội.
7. Lê Văn Mạnh, (2020), Nghiên cứu xác định cường độ chịu nén hiện trường của bê tông tường chắn theo tiêu chuẩn EN 13791:2020, Tạp chí khoa học kiến trúc - xây dựng, PP 71-74.
8. Lương Xuân Chiêu (2012), "Nghiên cứu xây dựng đường chuẩn tương quan giữa cường độ chịu nén với vận tốc truyền sóng siêu âm kết hợp trị số bật nảy ứng dụng đánh giá cường độ chịu nén bê tông mác 45-55 MPa", Tạp chí khoa học Giao thông vận tải, số 38, trang 40-45.
9. Nguyễn Hồng Đức (2017), "Nghiên cứu sự phát triển cường độ chịu nén bê tông Geopolymer bằng thí nghiệm không phá hủy mẫu", Tạp chí Xây dựng, số 3, trang 111-115.
10. L. M. Tu, "Xác định mô đun đàn hồi tấm bê tông xi măng mặt đường bằng phương pháp siêu âm (Ultrasonic testing methods in determining elastic modulus of concrete pavement plates)," 2016.
11. T. T. Q. Huy and K. Đ. Q. Mỹ, "Xác định và đánh giá khuyết tật cọc khoan nhồi bằng phương pháp xung siêu âm truyền qua hai ống (Identification and evaluation of bored pile defects by ultrasonic pulses transmitted through two tubes)," 2015.
12. H. P. Nam, "Nghiên cứu sử dụng kỹ thuật sóng âm để khảo sát vết nứt trong bê tông khối lớn ở tuổi sớm (Investigation of cracking in massive concrete at early ages by acoustic emission technique)," 2015.
13. BS 1881-203:1986, British standard. Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete UDC 666.972.017:691.32:620.1 Licensed Copy: Technical Information Services Dept ., CNL Technical Information Services, 02 July 2004, Uncon.

Thông tin của tác giả:**TS. Phạm Thị Nhân**

Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Điện thoại: +(84).967.189.187 - Email: phamthinhhan@humg.edu.vn

TS. Vũ Đức Quyết

Trưởng BM Xây dựng Mỏ, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

Điện thoại: +(84).787.399.888 - Email: quyetvu1980@gmail.com

THE ULTRASONIC PULSE VELOCITY (UPV) EXPERIMENTAL METHOD APPLIED TO INVESTIGATE THE CHANGES IN PULSE VELOCITY IN CONCRETE USING ARTIFICIAL SAND

Information about authors:

Pham Thi Nhan, Ph.D., Ha Noi University of Mining and Geology, Email: phamthinhhan@humg.edu.vn

Vu Duc Quyet, Ph.D., Quang Ninh University of Industry, email: quyetvu1980@gmail.com

ABSTRACT:

The ultrasonic pulse velocity (UPV) experimental method belongs to the group of non-destructive testing (NDT) techniques. In our country, there are several studies based on the guidelines of TCVN 9357:2012 for evaluating the quality of heavy concrete using ultrasonic pulse velocity to establish a relationship between compressive strength, ultrasonic pulse velocity, and measuring the depth of open cracks in concrete using ultrasound. However, research results on using ultrasonic pulses to

investigate changes in ultrasonic wave velocity in concrete using artificial sand and proposing a preliminary formula for determining compressive strength on this material have not been found yet. The paper is based on the use of artificial sand and cement with six different mix proportions to produce fine aggregate concrete samples with dimensions of 100 mm x 50 mm. The measured ultrasonic wave velocities show a relationship between pulse velocity and compressive strength described by the equation $y = 101.98 \ln(x) - 795.61$ (with a standard deviation $R^2 = 0.996$). The research results can serve as a database for preliminarily determining the compressive strength of concrete samples and fine aggregate concrete components in practical applications without the need for destructive testing.

Keywords: *Non-destructive test, Ultrasonic Pulse Velocity, Pulse velocity, Compressive strength, Concrete, Artificial sand.*

REFERENCES

1. TCVN 4453: 1995, Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép toàn khối – Quy phạm thi công và nghiệm thu.
2. Nguyễn Trung Hiếu, Hồ Anh Cường, Nguyễn Ngọc Tân.,(2017). Khảo sát hệ số biến động vận tốc xung siêu âm áp dụng trong đánh giá độ đồng nhất của bê tông. Tạp chí Khoa học – công nghệ; p45-49.
3. Çam, E., Orhan, S., and Lüy, M. (2005), "An analysis of cracked beam , "An analysis of cracked beam structure using impact echo method", Ndt & E International, vol. 38, pp. 368-373.
4. Panzera T.H., Rubio J.C., Bowen C. R., Vasconcelos W.L., Strecker K. (2008), Correlation between structure and pulse velocity of cementitious composites, Advances in Cement Research, vol.20, No.3, July, PP.1-1-108.
5. JCMS-III B5706 (2003), Monitoring Method for Active Cracks in Concrete by Acoustic Emission, Federation of Construction Materials Industries, Japan.
6. Tiêu chuẩn Việt Nam (2012), TCVN : 9357 Bê tông nặng - Phương pháp thử không phá hủy - Đánh giá chất lượng bê tông bằng vận tốc xung siêu âm, Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội.
7. Lê Văn Mạnh, (2020), Nghiên cứu xác định cường độ chịu nén hiện trường của bê tông tường chắn theo tiêu chuẩn EN 13791:2020, Tạp chí khoa học kiến trúc - xây dựng, PP 71-74.
8. Lương Xuân Chiểu (2012), "Nghiên cứu xây dựng đường chuẩn tương quan giữa cường độ chịu nén với vận tốc truyền sóng siêu âm kết hợp trị số bật nảy ứng dụng đánh giá cường độ chịu nén bê tông mác 45-55 MPa", Tạp chí khoa học Giao thông vận tải, số 38, trang 40-45.
9. Nguyễn Hồng Đức (2017), "Nghiên cứu sự phát triển cường độ chịu nén bê tông Geopolymer bằng thí nghiệm không phá hủy mẫu", Tạp chí Xây dựng, số 3, trang 111-115.
10. L. M. Tu, "Xác định mô đun đàn hồi tấm bê tông xi măng mặt đường bằng phương pháp siêu âm (Ultrasonic testing methods in determining elastic modulus of concrete pavement plates)," 2016.
11. T. T. Q. Huy and K. Đ. Q. Mỹ, "Xác định và đánh giá khuyết tật cọc khoan nhồi bằng phương pháp xung siêu âm truyền qua hai ống (Identification and evaluation of bored pile defects by ultrasonic pulses transmitted through two tubes)," 2015.
12. H. P. Nam, "Nghiên cứu sử dụng kỹ thuật sóng âm để khảo sát vết nứt trong bê tông khối lớn ở tuổi sớm (Investigation of cracking in massive concrete at early ages by acoustic emission technique)," 2015.
13. BS 1881-203:1986, British standard. Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete UDC 666.972.017:691.32:620.1 Licensed Copy: Technical Information Services Dept ., CNL Technical Information Services, 02 July 2004, Uncon.

Ngày nhận bài: 19/6/2023;

Ngày gửi phản biện: 20/6/2023;

Ngày nhận phản biện: 26/6/2023;

Ngày chấp nhận đăng: 30/6/2023.