

# NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP ĐO SÓNG ỨNG SUẤT XÁC ĐỊNH VẬN TỐC TRUYỀN SÓNG TRONG BÊ TÔNG

TS. TRẦN VĂN KHUÊ

ThS. LƯƠNG XUÂN CHIỀU

Phòng thí nghiệm Công trình VILAS47

Trường Đại học Giao thông Vận tải

**Tóm tắt:** Phương pháp siêu âm xác định vận tốc truyền sóng trong bê tông đã được áp dụng rộng rãi để phát hiện khuyết tật, đánh giá chất lượng cấu kiện bê tông và đã được chuẩn hoá thành tiêu chuẩn TCXD 225 - 98. Tuy nhiên, trong một số trường hợp đặc biệt, việc áp dụng phương pháp này còn hạn chế như đối với mặt đường bê tông xi măng, vỏ hầm ... Bài báo phân tích các trường hợp này trên cơ sở bản chất vật lý của phương pháp và đề cập đến kết quả ban đầu thiết kế và lắp dựng hệ thống đo vận tốc truyền sóng bằng phương pháp sóng ứng suất, là giải pháp đề xuất để giải quyết hạn chế này.

**Summary:** Ultrasonic method for calculating wave transferring speed has been applied popularly to define cracks, voids in concrete and has been standarzed as TCXDVN 225 - 98. However, there still have constraints of ultrasonic method application in some particular cases of concrete pavement or turnel when there is only one free surface of concrete structure. The article analysises principle of ultrasonic method and presents the preliminary research of complex system to determine wave transferring speed using stress wave to solve these constraints.

## I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phương pháp siêu âm có nhiều ưu điểm như không phá huỷ kết cấu, có thể lặp lại các phép thử trên toàn bộ kết cấu, phát hiện được các khuyết tật nằm trong cấu kiện và đánh giá chất lượng trực tiếp trên công trình. Ngày nay máy siêu âm được thiết kế với những tính năng và tiện ích hiện đại dễ sử dụng. Tuy nhiên do đặc điểm của máy siêu âm sử dụng trong đo vận tốc truyền sóng có một đầu thu và một đầu phát sóng vì thế buộc phải có vị trí đặt hai đầu dò trên cấu kiện. Một số cấu kiện như tấm bê tông, vỏ hầm không thể đặt đầu dò bên dưới đáy tấm vì thế không áp dụng được. Nhóm nghiên cứu đã tìm hiểu nguyên tắc vật lý của hai phương pháp và đã thiết kế ghép nối hệ thiết bị đo dựa trên nguyên tắc truyền sóng ứng suất. Công việc tiến hành đo thử nghiệm và so sánh kết quả đã được thực hiện tại phòng thí nghiệm công trình - Trung tâm Khoa học Công nghệ Trường Đại học Giao thông Vận tải.

## II. PHƯƠNG PHÁP SIÊU ÂM

Nguyên lý chung đo vận tốc truyền sóng siêu âm bằng cách xác định thời gian truyền sóng từ đầu phát (chuyển đổi từ xung điện kích thích sang dao động cơ học có tần số cao hơn tần số

âm) đến đầu thu (chuyển đổi từ dao động cơ sang xung điện) trong bê tông.

Vận tốc truyền xung  $V(\text{m/s})$  được tính bằng:  $V = L/T$

Trong đó:  $L$  - chiều dài đường truyền (m);  $T$  - thời gian đo được khi xung truyền qua chiều dài  $L$  (s).

Xung siêu âm sử dụng khác với xung tần số âm bởi 2 lý do: Xung có sườn dốc và năng lượng lớn nhất theo phương truyền xung. Khi xung truyền từ đầu phát vào bê tông một phần bị phản xạ (đội lại) từ biên của các loại vật liệu khác nhau trong bê tông, phần khác nhiễm xạ thành các sóng ứng suất dọc (nén) và ngang (cắt) truyền trong bê tông.

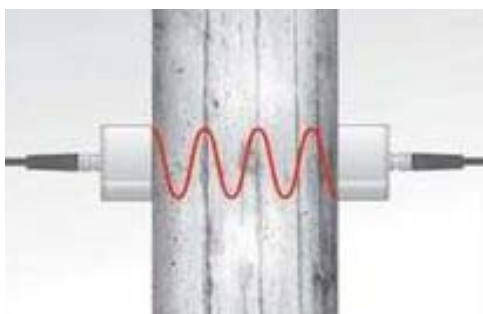
Vận tốc truyền này là hàm số phụ thuộc vào thành phần cấp phối bê tông, hàm lượng xi măng, tuổi... của bê tông. Từ giá trị vận tốc đo được có thể được áp dụng để:

- Xác định độ đồng nhất bê tông trong hoặc giữa các cấu kiện;
- Xác định sự có mặt hoặc độ mở rộng của vết nứt, độ rỗng và khuyết tật;
- Xác định sự biến đổi các tính chất (cường độ...) theo thời gian;
- Xác định mối tương quan giữa tốc độ truyền xung siêu âm và cường độ của bê tông;
- Tính toán mô đun đàn hồi của bê tông xi măng.

### III. CÁC BỐ TRÍ ĐẦU PHÁT THU (NHẬN XUNG SIÊU ÂM)

Tín hiệu xung siêu âm đến sớm nhất thông thường là biên trước của dao động dọc. Năng lượng xung lớn nhất được truyền và thu theo phương vuông góc với bề mặt của đầu phát. Tuy nhiên, khi đặt đầu thu ở vị trí khác, không phải trực tiếp để thu được xung siêu âm sớm nhất hay xung siêu âm có năng lượng lớn nhất, đầu thu vẫn có thể nhận được các xung theo các phương khác. Việc đặt các đầu thu, phát xung siêu âm để đo vận tốc xung do đó có thể bố trí theo các phương pháp như sau:

- Thu sóng siêu âm truyền trực tiếp: Bố trí đầu phát và thu sóng siêu âm đối diện nhau qua cấu kiện cần kiểm tra để thu sóng truyền theo phương vuông góc với bề mặt cả đầu phát (xem hình 1). Các bố trí này đảm bảo hiệu quả tối đa của việc truyền năng lượng sóng siêu âm và đảm bảo độ chính xác của vận tốc xung đo được.



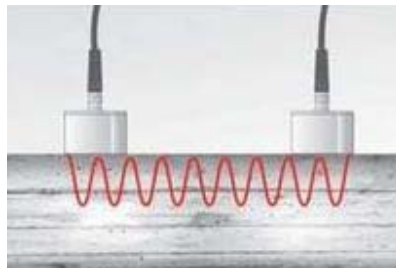
**Hình 1.** *Bố trí trực tiếp*

- Thu sóng siêu âm truyền bán trực tiếp: Đầu thu và phát sóng bố trí trên một mặt và cạnh cấu kiện bê tông (hình 2). Với phương pháp này, vùng phạm vi kiểm tra được không hoàn toàn theo chiều dày của cấu kiện và vận tốc sóng siêu âm đo được có độ nhạy trung gian giữa hai phương pháp bố trí trực tiếp và gián tiếp.



**Hình 2.** Bố trí bán trực tiếp

Thu sóng siêu âm truyền gián tiếp: được sử dụng khi cấu kiện được siêu âm chỉ có thể tiếp cận được 1 mặt. Vùng bê tông được đánh giá chỉ trong khoảng 2 cm ÷ 5 cm phía trên bề mặt của cấu kiện được đặt các đầu thu, phát (xem hình 3).



**Hình 3.** Bố trí gián tiếp

#### **IV. PHƯƠNG TRÌNH TRUYỀN SÓNG VÀ NGUYÊN LÝ CƠ BẢN CỦA PHÉP ĐO**

##### **a. Công thức về truyền sóng**

Sóng ứng suất có thể lan truyền dưới 2 dạng:

- Sóng khối: có thể là sóng dọc (sóng P) hoặc sóng ngang (sóng S);
- Sóng mặt: có thể là sóng Rayleigh hoặc sóng Love.

Thí nghiệm không phá hủy đối với công trình được nghiên cứu xây dựng trên cơ sở sóng khối (sóng dọc và sóng ngang), còn sóng mặt được ứng dụng để nghiên cứu trong lĩnh vực địa chấn.

Phương trình sóng cổ điển có thể được biểu diễn dưới dạng sau:

$$\rho \cdot \frac{\partial^2}{\partial t^2} = (\lambda + \mu) \cdot \frac{\partial \Delta}{\partial x} + \mu \nabla^2 u$$

Trong đó: biến dạng  $\Delta$  và toán tử Laplac  $\nabla$  được định nghĩa:

$$\Delta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \quad \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

Biến đổi phương trình trên (đạo hàm riêng lần lượt  $\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z}$  cho cả u, v, w rồi cộng vế với vế) có thể dẫn đến dạng:

$$\rho \cdot \frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2} = (\lambda + 2\mu) \nabla^2 \Delta$$

Phương trình trên thể hiện sóng dọc dịch chuyển với vận tốc:

$$C_1 = \left( \frac{\lambda + 2\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Từ phương trình sóng cơ bản cũng dẫn đến dạng sau:

$$\rho \cdot \frac{\partial^2 \overline{\omega}_x}{\partial t^2} = \mu \nabla^2 \overline{\omega}_x \quad \rho \frac{\partial^2 \overline{\omega}_y}{\partial t^2} = \mu \nabla^2 \overline{\omega}_y \quad \rho \frac{\partial^2 \overline{\omega}_z}{\partial t^2} = \mu \nabla^2 \overline{\omega}_z$$

Trong đó:

$$\overline{\omega} = \frac{\partial \varpi}{\partial t} - \frac{\partial v}{\partial z} \quad \overline{\omega} = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial \varpi}{\partial x} \quad \overline{\omega}_z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$$

Các phương trình trên thể hiện sự quay lan truyền với vận tốc bằng:

$$C_2 = \left( \frac{\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Phương trình sóng cổ điển có thể xem như tổ hợp độc lập của thành phần biến dạng và quay.

#### **b. Dạng phần tử hữu hạn của phương trình sóng**

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_z \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) + \left( \overline{Q} - \mu \frac{\partial \Phi}{\partial y} - \rho \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} \right) = 0$$

Đối với vật thể đẳng hướng, bỏ qua lực thể tích với  $\mu = 0$  hoặc

$$\rho \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} = k \left( \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \right)$$

$$\rho \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} = k \nabla^2 \Phi$$

Trong đó phương trình sóng  $\phi$  truyền với vận tốc  $\sqrt{k}$

Phương trình tổng quát gần điều hòa có thể biểu diễn phương trình vi phân dưới dạng ma trận sau: (Công thức biến đổi của Zienkiewicz 1972).

$$[H]\{\Phi\} + [C]\frac{\partial}{\partial t}\{\Phi\} + [G]\frac{\partial^2}{\partial t^2}\{\Phi\} + \{F\} = 0$$

Nó cũng có thể biểu diễn tương tự bài toán động như sau:

$$[K]\{\delta\} + [\delta] + [M]\frac{\partial^2}{\partial t^2}\{\delta\} + \{F\} = 0$$

Ở đây  $[K]$  và  $[F]$  là ma trận độ cứng và ma trận lực.

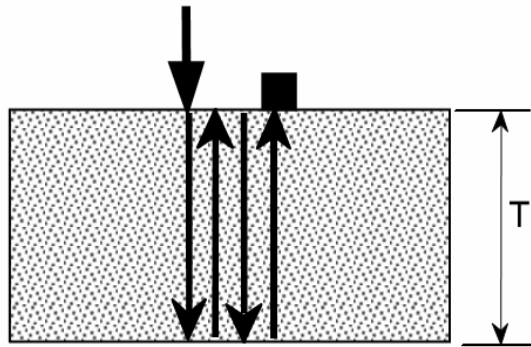
$[C]$  và  $[M]$  là ma trận cản và ma trận khối lượng.

Bỏ qua thành phần cản, ta có:

$$[K]\{\delta\} + [M]\frac{\partial^2}{\partial t^2}\{\delta\} + \{F\} = 0$$

Bài toán phương trình sóng cơ bản có thể tính toán như bài toán phân tích động tiêu chuẩn.

### c. Nguyên lý cơ bản của phép đo



**Hình 4.** Mô hình mô tả đường đi của sóng ứng suất

Nguyên lý của việc phân tích tần số được minh họa trên hình 4. Sóng dọc (P) được sinh ra từ va chạm và phản xạ nhiều lần giữa bề mặt thử và mặt phản cách. Mỗi lần sóng P đến bề mặt mẫu thử, đó là nguyên nhân gây ra chuyển vị. Vì vậy dạng sóng này có chu kỳ phụ thuộc vào vòng lặp khoảng cách của sóng P. Đường đi của sóng P có khoảng cách là  $2T$ , với  $T$  là khoảng cách giữa bề mặt thử và mặt phản xạ. Như chỉ dẫn trên hình 4, từ khoảng thời gian tính giữa chiều dài đi được của sóng P qua nhiều lần phản xạ ta tính được tốc độ sóng.

$$V = f * 2T$$

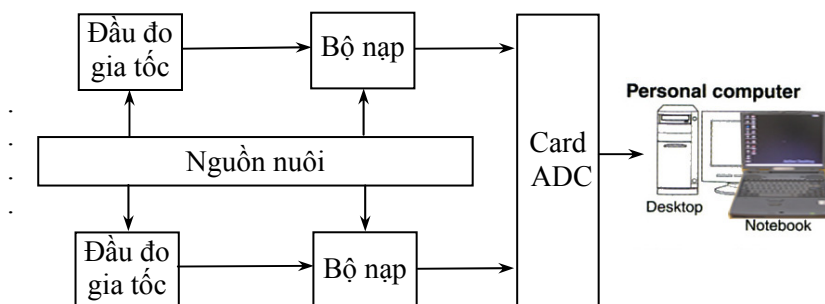
$V$  - tốc độ sóng P qua bề dày tấm;

$T$  - chiều sâu của mặt phản xạ;

$f$  - tần số của sóng P.

Tần số của sóng P có thể được xác định bằng cách sử dụng kỹ thuật FFT (Fast Fourier Transform). Có thể thấy với phương pháp này, đầu đo có thể đặt trên bề mặt tự do (mặt thoáng) của cấu kiện và có thể kiểm tra được cấu kiện bê tông xi măng.

## V. THIẾT KẾ VÀ XÂY DỰNG HỆ THIẾT BỊ ĐO



**Hình 5.** Sơ đồ nguyên lý của thiết bị đo

Sơ đồ và nguyên lý đó của thiết bị được xây dựng được thể hiện trong hình 5, bao gồm:

- Đầu đo gia tốc sử dụng 2 đầu đo của hãng Wilconxon Research;
- Bộ nguồn và chuyển tín hiệu dao động (Vibration conditionner) của hãng Wilconxon Research;
- Bộ chuyển đổi tín hiệu ADC Ni PCI - Mio - 16E - 1 của hãng Nationnal Instruments;
- Phần mềm thu thập số liệu trên nền LabView SignalEpress 8.9;
- Phần mềm xử lý số liệu viết trên nền Matlab 8.0;
- Khả năng thu thập số liệu 2 kênh, mỗi kênh đo 500.000 mẫu/giây (500kHz).

## VI. MỘT SỐ KẾT QUẢ ĐO TRÊN MẪU THỬ TRONG PHÒNG THÍ NGHIỆM

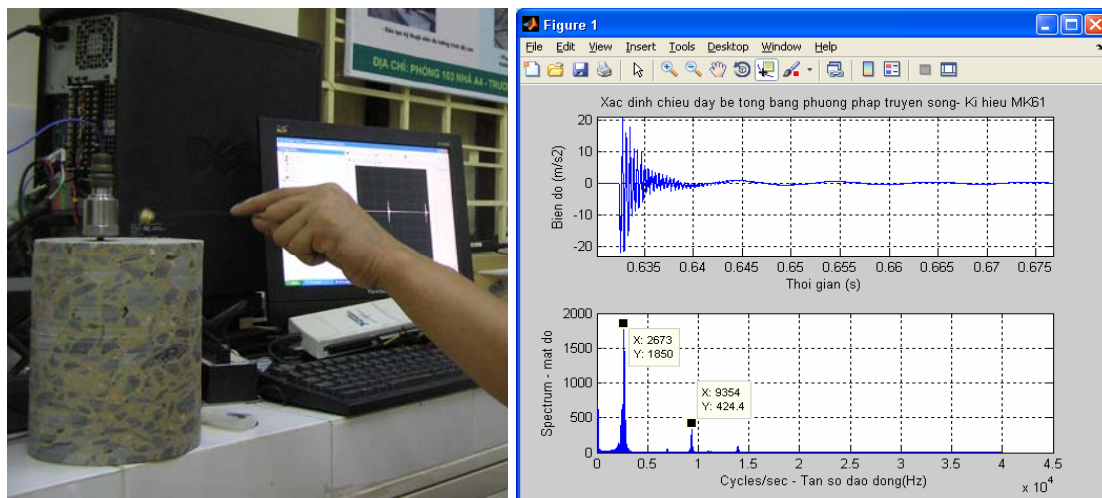
Việc đo đạc được thực hiện trên một số mẫu được khoan tại hiện trường, được gia công cắt phẳng 2 mặt. Các mẫu được đo bằng hai phương pháp, một phương pháp sử dụng sóng siêu âm với thiết máy siêu âm TICO - sản xuất tại Thụy Sĩ theo quy trình chuẩn và một phương pháp sử dụng sóng ứng suất sử dụng hệ thiết bị đo nhóm tác giả nghiên cứu và lắp đặt theo mô hình được trình bày trong hình 5 ở trên.

Các kết quả đo được thể hiện trong bảng 1. Với phương pháp đo bằng sóng siêu âm, sử dụng thiết bị chuẩn với phương pháp đo đã được chuẩn hóa, vận tốc truyền sóng đo được nằm trong khoảng  $4350 \div 4550$  m/s, và phương pháp đo bằng sóng ứng suất với hệ thiết bị lắp dựng cho giá trị vận tốc truyền sóng từ  $4116 \div 4338$  m/s, thấp hơn phương pháp chuẩn đối chứng từ  $3\% \div 8\%$ . Số liệu đo chi tiết được thể hiện trong bảng 1.

Hình ảnh thí nghiệm và màn hình giao diện biểu diễn số liệu thu được từ hệ thống thiết bị lắp đặt được cho trong hình 6.

**Bảng 1.** Số liệu đo vận tốc truyền sóng bằng sóng siêu âm và sóng ứng suất

Mẫu	Chiều cao mẫu (cm)	Tần số đo được (Hz)	Vận tốc xác định bằng phương pháp sóng ứng suất (m/s)	Vận tốc xác định bằng phương pháp siêu âm (m/s)	Sai số giữa hai phương pháp (%)
MK61	0.22	9354	4116	4350	-5
K21K	0.225	9491	4271	4410	-3
MK3	0.2	10653	4261	4500	-5
MK4	0.18	12050	4338	4550	-5
MK5	0.25	8333	4167	4520	-8



**Hình 6.** Thí nghiệm đo vận tốc truyền sóng ứng suất và kết quả đo

Với một số kết quả đo thử nghiệm ban đầu, có thể thấy hoàn toàn có thể sử dụng phương pháp sóng ứng suất để xác định vận tốc truyền sóng trong bê tông và từ đó có thể thực hiện các phép thử đánh giá bê tông xi măng. Tuy nhiên, cần phải mở rộng thí nghiệm để kiểm chứng kết quả trên nhiều mẫu thử.

## VII. KẾT LUẬN

Hệ thống thiết bị đo vận tốc truyền sóng sử dụng sóng ứng suất, bao gồm việc ghép nối các thiết bị đo có sẵn và viết phần mềm thu và xử lý kết quả đo đặc, đã được thiết kế, lắp đặt và thử nghiệm thành công trên một số mẫu thử. Việc chế tạo thành công hệ thống thiết bị này cho khả năng chủ động hơn trong đánh giá chất lượng bê tông xi măng với năng lực về con người và thiết bị trong nước. Với mong muốn khẳng định kết quả và mở rộng ứng dụng từ các kết quả ban đầu, nhóm nghiên cứu sẽ tiếp tục có những kiểm chứng trên các mẫu trong phòng và trên các công trình thực tế và đề xuất giải pháp sử dụng sóng ứng suất để đánh giá chất lượng cấu kiện bê tông xi măng trong trường hợp kết cấu thực tế chỉ có một mặt thoáng.

### Tài liệu tham khảo

- [1]. ASTM1383 - 98 a - Standard Test Method for Measuring the P - Wave Speed and the Thickness of Concrete Plates Using the Impact-Echo Method.
- [2]. The Impact - Echo Method: an overview by N.J Cario.
- [3]. Impact - Echo User's Manual.
- [4]. The Impact Echo Method: A review by Fernando J. Germar University of the Philippines.
- [5]. TCXD 225 - 98 - Phương pháp xác định vận tốc xung siêu âm.
- [6]. *Lương Xuân Chiếu* - Nghiên cứu thực nghiệm một số thông số đặc trưng của mặt đường cứng bằng phương pháp động - Luận án thạc sỹ KHKHT 2009 ♦