

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN 9357:2012

BÊ TÔNG NẶNG - PHƯƠNG PHÁP THỬ KHÔNG PHÁ HỦY - ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG BÊ TÔNG BẰNG VẬN TỐC XUNG SIÊU ÂM

Normal concrete - Nondestructive methods - Assessment of concrete quality using ultrasonic pulse velocity

Lời nói đầu

TCVN 9357:2012 được chuyển đổi từ TCXD 225:1998 thành Tiêu chuẩn Quốc gia theo quy định tại Khoản 1 Điều 69 của Luật Tiêu chuẩn và Quy chuẩn kỹ thuật và điểm b khoản 2 Điều 7 Nghị định số 127/2007/NĐ-CP ngày 01/08/2007 của Chính phủ quy định chi tiết thi hành một số điều của Luật Tiêu chuẩn và Quy chuẩn kỹ thuật.

TCVN 9357:2012 do Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng - Bộ Xây dựng biên soạn, Bộ Xây dựng đề nghị, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng thẩm định, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

BÊ TÔNG NẶNG - PHƯƠNG PHÁP THỬ KHÔNG PHÁ HỦY - ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG BÊ TÔNG BẰNG VẬN TỐC XUNG SIÊU ÂM

Normal concrete - Nondestructive methods - Assessment of concrete quality using ultrasonic pulse velocity

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này hướng dẫn phương pháp xác định vận tốc xung siêu âm để đánh giá các tính chất của bê tông, bê tông cốt thép và bê tông cốt thép ứng suất trước.

Tiêu chuẩn này được áp dụng trong các trường hợp sau:

- Xác định độ đồng nhất của bê tông trong một cấu kiện hoặc giữa nhiều cấu kiện (Điều 8);
- Xác định sự hiện diện và dự đoán sự phát triển của vết nứt, xác định các lỗ rỗng và các khuyết tật khác (Điều 9);
- Xác định sự thay đổi đặc tính của bê tông theo thời gian (Điều 10);
- Kiểm tra chất lượng bê tông dựa trên mối quan hệ giữa vận tốc xung siêu âm và cường độ (Điều 11);
- Xác định mô đun đàn hồi tĩnh và hệ số Poisson động của bê tông (Điều 12).

Để đảm bảo độ tin cậy của phương pháp, cần thiết lập trước mối quan hệ giữa vận tốc xung siêu âm với đặc tính của loại bê tông cần đánh giá dựa trên các mẫu đúc sẵn hoặc trong quá trình thi công (Điều 11, Điều 12).

Tiêu chuẩn này áp dụng cho bê tông có cường độ không lớn hơn 60 MPa.

Tiêu chuẩn này có thể áp dụng cho bê tông có cường độ lớn hơn 60 MPa. Khi đó cần cân nhắc một số yếu tố có ảnh hưởng tới mối quan hệ giữa vận tốc xung và cường độ như loại và hàm lượng xi măng, các phụ gia, loại và cỡ cốt liệu, các điều kiện dưỡng hộ, tuổi của bê tông và thận trọng khi xử lý kết quả.

2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau là cần thiết cho việc áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản được nêu. Đối với tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất, bao gồm cả các sửa đổi, bổ sung (nếu có).

TCVN 3105:1993, *Hỗn hợp bê tông nặng và bê tông nặng - Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử*.

TCVN 3115:1993, *Bê tông nặng - Phương pháp xác định khối lượng thể tích*.

TCVN 3118:1993, *Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén*.

TCVN 9334:2012, *Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén bằng súng bật nảy*.

BS 1881, *Testing concrete. Part 209 Recommendations for the measurement of dynamic modulus of elasticity*.

3 Thuật ngữ và định nghĩa

3.1 Thời gian truyền (Transit time)

Thời gian cần thiết để cho một xung siêu âm truyền từ đầu dò phát tới đầu dò thu xuyên qua lớp bê tông nằm giữa hai đầu dò.

3.2 Góc dùng để đếm thời gian (Onset)

Mặt trước của xung do bộ đếm thời gian của thiết bị phát hiện ra.

4 Nguyên lý

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 là chiều dài đường truyền, được gọi là đáy đo, tính bằng kilômét (km) hoặc mét (m);

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

Xung dao động của siêu âm được sử dụng nhiều hơn so với âm vì hai lý do sau:

- a) Cho xung có đỉnh nhọn.
- b) Phát ra năng lượng cực đại theo phương truyền của xung.

Khi xung được truyền vào bê tông, nó bị phản xạ nhiều lần tại các mặt tiếp giáp giữa các loại vật liệu khác nhau nằm trong bê tông và tạo ra một hệ thống tổng hợp các sóng ứng suất, trong đó bao gồm cả sóng dọc và sóng ngang lan truyền trong bê tông.

5 Thiết bị, dụng cụ

5.1 Tổng quát

Các bộ phận chủ yếu của thiết bị bao gồm bộ phận tạo xung điện, một đôi đầu dò, bộ phận khuếch đại và bộ phận thiết bị điện đếm thời gian giữa thời điểm lúc xung bắt đầu phát ra từ đầu dò phát và thời điểm xung bắt đầu đến đầu dò thu - lúc mặt trước của xung đầu tiên chạm tới đầu thu. Có hai loại thiết bị điện đếm thời gian và hiển thị kết quả đếm, một loại dùng màn hình hiện sóng và hiển thị xung nhận được trên một thang đo thời gian thích hợp, loại kia dùng bộ đếm thời gian và hiển thị bằng số đọc trực tiếp.

5.2 Các đặc tính

Các thiết bị cần có những đặc tính sau:

- a) Có khả năng đo thời gian truyền qua các độ dài trong phạm vi từ 100 mm đến 3 000 mm (xem 5.7) với độ chính xác là $\pm 1\%$, được xác định theo trình tự miêu tả ở 5.6.
- b) Xung kích thích có độ dốc không lớn hơn $1/4$ chu kỳ dao động của đầu phát (xem 5.3.2). Điều này nhằm tạo được xung có mặt trước rõ nét.
- c) Khoảng ngắt giữa các xung phải đủ lớn để đảm bảo rằng với các mẫu bê tông kiểm tra có kích thước nhỏ thì mặt trước của tín hiệu xung nhận được không bị ảnh hưởng do sự dội lại của các xung đã được tạo ra trong chu kỳ phát trước đó.

d) Quá phạm vi giới hạn về nhiệt độ, độ ẩm của môi trường xung quanh và điện áp của nguồn điện mà người chế tạo máy yêu cầu, thiết bị vẫn giữ được các đặc tính của mình.

5.3 Đầu dò

5.3.1 Loại đầu dò

Các đầu dò có tần số như quy định ở 5.3.2 đều có thể dùng được. Loại đầu dò điện áp và từ giảo đều dùng được, song, với các dải tần số thấp thì loại đầu dò từ giảo thích hợp hơn.

5.3.2 Tần số của đầu dò

Thông thường tần số của đầu dò nằm trong phạm vi từ 20 KHz đến 150 KHz, khi quãng đường truyền rất dài có thể dùng loại đầu dò tần số thấp đến 10 KHz và ngược lại có thể dùng loại đầu dò có tần số đến 1 MHz cho vừa và hồ xi măng. Các đầu dò có tần số từ 50 KHz đến 60 KHz là thông dụng nhất.

5.4 Xác định thời điểm đến của mặt trước của xung

5.4.1 Tổng quát

Mục đích của việc xác định này là đo thời gian cần thiết cho mặt trước xung truyền xuyên qua bê tông. Các thiết bị đo phải có khả năng xác định được thời điểm đến phần xung đến sớm nhất. Về mặt kỹ thuật, có thể phân biệt được tín hiệu xung với nhiễu khi tỷ lệ tín hiệu xung trên nhiễu nhỏ hơn 1, song độ chính xác yêu cầu 1 % của thời gian truyền lại sẽ chỉ đạt được khi tỷ số này lớn hơn 1.

5.4.2 Máy hiển thị dao động bằng màn hiện sóng

Trong trường hợp đo thời gian bằng màn hình hiện sóng thì xung cần được khuếch đại cho đến khi thấy xuất hiện xung răng cưa trên trục thời gian. Giao điểm của mặt trước xung với trục thời gian được coi là thời điểm đến của mặt trước xung. Chọn giao điểm này làm mốc để đếm thời gian.

5.4.3 Thiết bị hiển thị số

Khi dùng thiết bị hiển thị số, xung nhận được phải được khuếch đại và định hình theo độ dốc tương ứng của xung kích thích để bộ đếm bắt đầu làm việc.

Bộ đếm phải đếm từ mặt trước xung và đếm trong khoảng thời gian phù hợp với độ chính xác đã nêu ở 5.2. Tuy nhiên, độ chính xác tuyệt đối của thiết bị luôn luôn bị hạn chế bởi tỷ lệ tín hiệu xung trên nhiễu. Khi dùng thiết bị hiển thị số có thể xảy ra trường hợp thiết bị hiển thị thời gian do sóng thứ hai chứ không phải do sóng đầu tiên của xung khởi động bộ đếm gây ra. Cần xem xét dạng tổng quát của kết quả đo để loại trừ sai số do nguyên nhân này.

5.5 Chỉnh 0 cho thiết bị đếm thời gian

Cần chỉnh 0 cho thiết bị đo vì số đo bị ảnh hưởng bởi độ dốc của xung truyền qua vật liệu đầu dò và truyền trong cáp của đầu dò. Cần điều chỉnh độ dốc xung một cách thích hợp cho thiết bị đo để không ảnh hưởng đến kết quả đo.

Việc điều chỉnh độ dốc xung được thực hiện bằng cách đặt hai đầu dò lên hai đầu đối diện của thanh chuẩn đã biết trước thời gian truyền trong nó. Trong mọi lần điều chỉnh, phải đặt đầu dò lên hai thanh chuẩn một cách như nhau. Dùng một lớp đệm truyền âm mỏng và ấn chặt đầu dò lên đầu mút của thanh chuẩn.

Mỗi khi thay đổi loại đầu dò, hoặc thay đổi độ dài cáp, cần chỉnh 0 chuẩn xác cho máy bằng cách hoán vị hai đầu dò. Tùy từng loại cáp và sự ổn định của nguồn điện mà chỉnh 0 thường xuyên hơn cho máy.

5.6 Kiểm tra độ chính xác của phép đo thời gian truyền

Độ chính xác của phép đo thời gian truyền xung phụ thuộc vào thiết bị điện dùng để đo thời gian và độ nhạy của nó trong việc phát hiện mặt đầu xung.

Cần kiểm tra các đặc tính của thiết bị bằng cách đo trên hai thanh chuẩn đã biết trước thời gian truyền xung trong chúng với độ chính xác $\pm 0,2 \mu s$. Cần định kỳ kiểm tra máy 5 năm một lần, hoặc cần kiểm tra khi máy bị hư hỏng, hay bị cơ sở chế tạo nó đưa về sửa chữa. Việc kiểm tra máy phải được nơi chế tạo

nó hoặc phòng kiểm chuẩn công nhận, căn cứ vào thanh chuẩn có thời gian truyền theo đúng quy định của tiêu chuẩn quốc gia.

Các phép đo trên thanh chuẩn được thực hiện như mô tả ở 5.4. Kết quả kiểm tra không được sai khác quá 0,5 % so với trị số đã biết của thanh chuẩn.

5.7 Độ chính xác của phép đo độ dài đường truyền

Phép đo phải có sai số nhỏ hơn $\pm 1\%$. Ở những chỗ không đo trực tiếp được chiều dài đường truyền thì dùng kích thước danh nghĩa và dung sai của nó theo thiết kế và phải ghi điều này vào báo cáo. Với những đường truyền có chiều dài nhỏ hơn 300 mm, không cho phép lấy kích thước theo thiết kế vì như vậy sai số sẽ lớn.

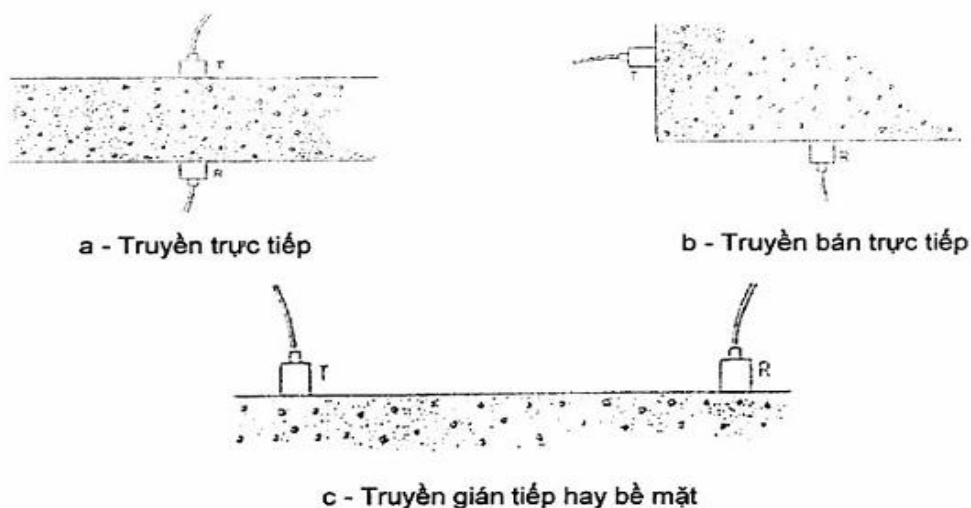
6 Xác định vận tốc xung

6.1 Cách bố trí đầu dò

Để thực hiện được việc đo vận tốc xung có ba cách đặt đầu dò như sau:

- a) Hai đầu dò đặt trên hai mặt đối diện (truyền trực tiếp);
- b) Hai đầu dò đặt trên hai bề mặt vuông góc (truyền bán trực tiếp);
- c) Hai đầu dò đặt trên cùng một bề mặt (truyền gián tiếp hoặc truyền bề mặt).

Ba cách bố trí đầu dò này được thể hiện trong các Hình 1a, Hình 1b và Hình 1c.



CHÚ THÍCH:

T: Đầu dò phát; R: Đầu dò thu.

Hình 1 - Phương pháp truyền và nhận xung

6.2 Xác định vận tốc xung theo phương pháp truyền trực tiếp

Nên dùng phương pháp truyền trực tiếp vì nó có ưu điểm là năng lượng truyền qua giữa hai đầu dò đạt tới mức lớn nhất và do đó độ chính xác của phép đo vận tốc xung sẽ chỉ bị ảnh hưởng chủ yếu bởi độ chính xác của phép đo độ dài. Cần phủ lớp đệm càng mỏng càng tốt để tránh hiệu ứng đầu mút do vận tốc xung khác nhau trong vật liệu đệm và trong bê tông gây nên.

6.3 Xác định vận tốc xung theo phương pháp truyền bán trực tiếp.

Phương pháp truyền bán trực tiếp có độ nhạy nằm giữa độ nhạy của hai cách truyền kia, mặc dù trong phương pháp đo này, độ chính xác của phép đo chiều dài đường truyền có kém hơn nhưng việc lấy khoảng cách giữa tâm hai mặt đầu dò làm chiều dài đường truyền vẫn đạt độ chính xác cần thiết.

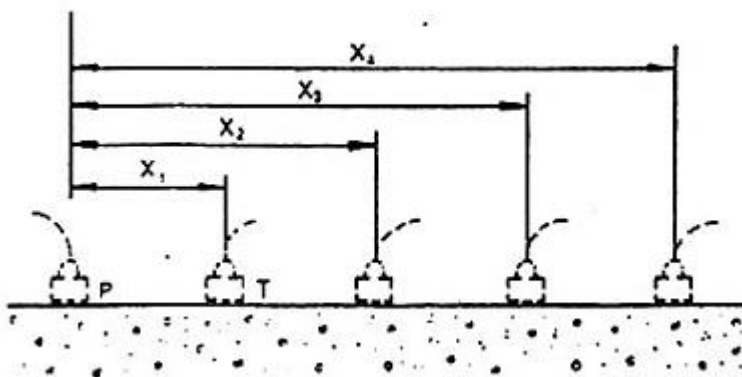
6.4 Xác định vận tốc xung theo phương pháp truyền gián tiếp

Phương pháp truyền gián tiếp được dùng khi bề mặt chỉ lộ một bề mặt, khi cần xác định chiều sâu vết nứt hoặc khi cần xem xét mối quan hệ giữa chất lượng bề mặt với chất lượng chung của bê tông (Điều 9).

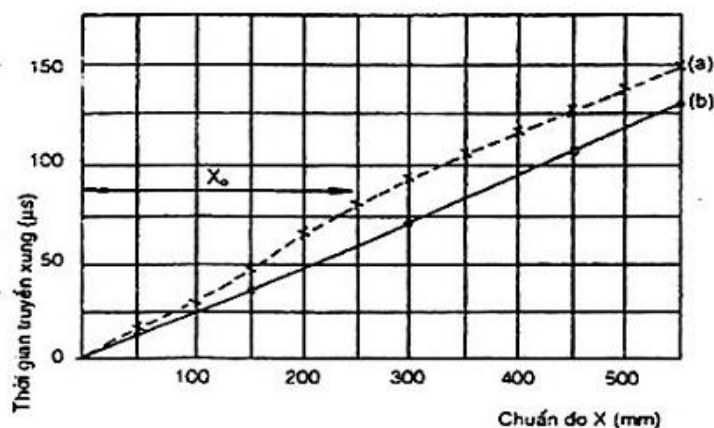
Phương pháp đo này có độ nhạy thấp nhất trong ba cách đo, với cùng một chiều dài đường truyền cho trước, theo phương pháp đo này, biên độ của tín hiệu tại đầu thu chỉ bằng 2 % hay 3 % biên độ của tín hiệu khi đo theo phương pháp truyền trực tiếp. Trên cùng một cấu kiện bê tông, khi đo gián tiếp thì vận tốc xung thường thấp hơn so với khi đo trực tiếp từ 5 % đến 20 % tùy thuộc chủ yếu vào chất lượng bê tông kiểm tra.

Khi đo gián tiếp, việc xác định chiều dài đường truyền có phần kém chính xác nên cần thực hiện một loạt các phép đo với các đáy đo khác nhau để hạn chế nhược điểm này: đầu phát phải được đặt cố định vào mặt bê tông tại điểm x và đầu thu được đặt ở các điểm x_n xa dần điểm x dọc theo một tuyến chọn trước trên bề mặt bê tông. Thời gian truyền xung tương ứng với các vị trí x_n được vẽ thành những điểm trên biểu đồ, qua đó thấy mối tương quan giữa chúng với đáy đo tương ứng. Xem ví dụ trên Hình 2 đường b.

Độ dốc (tg α) của đường thẳng nhất đi qua các điểm đã vẽ và lấy nó là vận tốc xung trung bình của bê tông trên tuyến đã chọn. Trên tuyến này, tại những điểm có sự đột biến về vận tốc thì ở đó có vết nứt bề mặt hoặc có lớp bê tông bề mặt kém chất lượng (xem 9.4) và vận tốc xung đo được trên đáy đo này chỉ là cá biệt.



a - Kết quả đối với bê tông có lớp kém chất lượng dày 50 mm (xem 9.4)



b - Kết quả đối với bê tông đồng nhất

Hình 2 - Xác định vận tốc xung bằng phương pháp truyền gián tiếp (bề mặt)

6.5 Áp đầu dò lên mặt bê tông

Để đảm bảo các xung siêu âm từ đầu phát xuyên qua bê tông rồi phát hiện được ở đầu thu, phải có sự nối âm tốt giữa bê tông và bề mặt các đầu dò. Để tiếp âm tốt, bề mặt bê tông cần được tạo đủ phẳng bằng cách dùng chất đệm truyền âm và đồng thời phải áp mạnh đầu dò lên mặt bê tông. Các chất đệm thường dùng là dầu mỡ động, mỡ vô cơ, xà phòng nhẹ, hồ cao lanh, hồ glycerin... Cần phải đọc số liệu nhiều lần cho đến khi thu được giá trị thời gian truyền nhỏ nhất

Cần đặt đầu dò lên bề mặt bê tông phía tiếp giáp với ván khuôn hoặc thành khuôn đúc. Khi phải đo trên bề mặt được tạo hình bằng cách khác (như trát tay) cần đo trên một tuyến dài hơn so với tuyến đo bình thường. Với bề mặt không được tạo hình bằng khuôn thì dùng chiều dài đường truyền tối thiểu là 150 mm khi truyền trực tiếp và tối thiểu là 400 mm khi truyền gián tiếp. Khi bề mặt bê tông quá xù xì và gồ ghề thì phải làm cho phẳng và mài nhẵn vùng sẽ áp đầu dò. Có thể dùng một số loại chất tạo phẳng như nhựa epoxy đóng rắn nhanh hoặc vữa trát, song phải đảm bảo sự bám dính tốt giữa chúng với bề mặt bê tông để xung được truyền hoàn toàn vào bê tông kiểm tra. Lớp tạo phẳng càng mỏng càng tốt. Nếu lớp này khá dày thì phải kể đến vận tốc xung trong nó khi tính toán vận tốc xung trong bê tông. Để tránh những ảnh hưởng rắc rối đến vấn đề tiếp âm tốt giữa đầu dò và bề mặt không đủ phẳng, cho phép dùng một lớp đệm mỏng và dùng loại đầu dò đặc biệt có thể phát và nhận xung qua mũi nhọn có đường kính 6 mm. Khi dùng loại đầu dò đặc biệt, bắt buộc phải chỉnh 0. Khi áp đầu dò không cẩn thận, số đọc sẽ biến động liên tục, khi áp đầu dò tốt thì số đọc sẽ nhanh chóng ổn định.

7 Các yếu tố có ảnh hưởng đến việc đo vận tốc xung

7.1 Tổng quát

Để đảm bảo phép đo vận tốc xung có thể lặp lại và chỉ phụ thuộc và phụ thuộc chủ yếu vào tính chất của bê tông kiểm tra, cần phải xem xét các yếu tố ảnh hưởng tới vận tốc và mối quan hệ của các yếu tố đó với đặc tính vật lý của bê tông.

7.2 Độ ẩm

Độ ẩm có hai tác động đến vận tốc xung: tác động hóa học và tác động vật lý. Trong việc thiết lập đường chuẩn nhằm dự đoán cường độ của bê tông, hai tác động này có vai trò quan trọng. Vận tốc xung đo trên mẫu lập phương được dưỡng hộ chuẩn và vận tốc xung đo trên một bộ phận kết cấu được chế tạo cũng bằng loại bê tông ấy có thể khác nhau nhiều. Sự khác nhau này phần lớn là do điều kiện dưỡng hộ khác nhau tác động lên sự thủy hóa xi măng gây nên, còn phần nhỏ là do lượng nước tự do trong lỗ rỗng gây nên. Cần xem xét kỹ các tác động này khi đánh giá cường độ của bê tông.

7.3 Nhiệt độ của bê tông

Sự thay đổi nhiệt độ của bê tông trong khoảng từ 10 °C đến 30 °C không gây ra những biến đổi lớn về các đặc trưng cường độ và tính đàn hồi. Việc hiệu chỉnh kết quả đo vận tốc xung chỉ cần thực hiện đối với khoảng nhiệt độ nằm ngoài phạm vi này, như cho ở Bảng 1.

Bảng 1 - Ảnh hưởng của nhiệt độ tới sự truyền xung

Nhiệt độ, °C	Hiệu chỉnh vận tốc xung đo được, %	
	Bê tông khô	Bê tông bão hòa nước
60	+ 5	+ 4
40	+ 2	+ 1,7
20	0	0
0	- 0,5	- 1
-4	- 1,5	- 7,5

7.4 Chiều dài đường truyền

Đường truyền phải đủ dài để vận tốc xung đo được không bị ảnh hưởng nhiều bởi tính không đồng nhất tự nhiên của bê tông. Ngoài những điều quy định trong 7.5, đường truyền phải dài tối thiểu là 100 mm đối với bê tông dùng cốt liệu thô là 20 mm và dài tối thiểu là 150 mm đối với bê tông dùng cốt liệu thô từ 20 mm đến 40 mm. Khi thay đổi chiều dài đường truyền vận tốc xung không bị ảnh hưởng nhiều, mặc dù nó

có xu hướng giảm đôi chút khi chiều dài đường truyền tăng. Vận tốc xung giảm đi là do khó xác định chính xác mặt trước của xung và nó phụ thuộc vào phương pháp cụ thể dùng để xác định mặt trước xung. Sự giảm vận tốc xung này thường nhỏ và nằm trong phạm vi độ chính xác cho phép khi đo thời gian truyền như đã nêu trong 5.2.

7.5 Hình dạng và kích thước mẫu

Khi kích thước nhỏ nhất của mẫu kiểm tra nhỏ hơn một giá trị cực tiểu nhất định thì vận tốc xung sẽ bị giảm nhưng nếu tỉ số giữa chiều dài bước sóng của xung và cạnh nhỏ nhất của mẫu nhỏ hơn 1 thì mức độ giảm sẽ ít đi. Bảng 2 cho mối quan hệ giữa vận tốc xung trong bê tông, tần số của đầu dò và kích thước tối thiểu cho phép của cạnh mẫu.

Nếu kích thước tối thiểu này nhỏ hơn chiều dài bước sóng hoặc nếu dùng cách đo gián tiếp thì dạng lan truyền sóng sẽ thay đổi và vận tốc xung thu được sẽ khác đi. Khi so sánh các cấu kiện bê tông có kích thước khác nhau nhiều thì điều này có ý nghĩa đặc biệt quan trọng.

Bảng 2 - Ảnh hưởng của kích thước mẫu tới sự truyền xung

Tần số của đầu dò, KHz	Kích thước tối thiểu cho phép của cạnh mẫu, mm		
	Khi vận tốc xung trong bê tông, km/s		
	$V_b = 3,5$	$V_b = 4,0$	$V_b = 4,5$
24	146	167	188
54	65	74	83
82	43	49	55
150	23	27	30

7.6 Ảnh hưởng của cốt thép

7.6.1 Tổng quát

Vận tốc xung siêu âm ở vùng bê tông lân cận cốt thép sẽ cao hơn vận tốc xung ở vùng bê tông đơn thuần. Mức độ ảnh hưởng của thép đến vận tốc xung phụ thuộc vào khoảng cách từ vị trí đo đến cốt thép, vào đường kính cốt thép, vào số lượng thép và phương đặt của chúng so với đường truyền, nó cũng bị chi phối bởi cả tần số xung và cả điều kiện bề mặt cốt thép. Việc điều chỉnh các giá trị đo do kể đến cốt thép sẽ làm giảm độ chính xác khi tính vận tốc xung trong bê tông, do đó nên đo ở những vị trí không có thép nằm trên hoặc nằm gần đường truyền giữa hai đầu dò. Nên sử dụng thiết bị đo lớp bảo vệ bằng phương pháp từ để phát hiện vị trí cốt thép.

7.6.2 Trường hợp trục thép song song với phương truyền xung

Nếu không chọn được vị trí đo sao cho cốt thép không nằm song song với đường truyền xung thì trong quá trình tính toán phải kể đến sự có mặt của cốt thép bằng cách hiệu chỉnh giá trị vận tốc xung.

Khi đó, vận tốc xung trong bê tông được tính theo công thức:

$$V_b = \frac{2 \times a \times V_t}{\sqrt{4 \times a^2 + (T \times V_t - L)^2}} \quad (2)$$

Với điều kiện: $V_t > V_b$

trong đó:

V_b là vận tốc xung siêu âm trong bê tông, tính bằng kilômét trên giây (km/s);

V_t là vận tốc xung trong thép, tính bằng kilômét trên giây (km/s);

a là khoảng cách từ mép thanh thép đến đường nối hai điểm gần nhất của hai đầu dò, tính bằng milimét, (mm), xem Hình 3;

T là thời gian truyền, tính bằng microgiây (μ s);

L là chiều dài của đường truyền trực tiếp giữa hai đầu dò, tính bằng milimét (mm).

Thép sẽ không có ảnh hưởng khi:

$$\frac{a}{L} > \frac{1}{2} \sqrt{\frac{V_t - V_b}{V_t + V_b}}$$

Và lúc này không sử dụng được công thức (2) nữa. Vùng mà cốt thép có ảnh hưởng đến vận tốc xung phụ thuộc vào giá trị tương đối của vận tốc xung trong thép và trong bê tông, trong trường hợp thép có đường kính lớn nằm trong bê tông chất lượng kém thì giới hạn trên của tỷ số a/L có thể có giá trị khoảng 0,25. Trong trường hợp bê tông chất lượng cao, giới hạn a/L không thể lớn hơn 0,15 nhưng sẽ nhỏ đi nhiều khi thép có đường kính nhỏ hơn hoặc bằng 12 mm. Trong thực tế không phát hiện được vùng ảnh hưởng của thép có đường kính 6 mm và có thể bỏ qua.

Khó khăn chính khi sử dụng công thức (2) là việc xác định giá trị V_t vì nó bị ảnh hưởng bởi cả đường kính thép và cả vận tốc xung trong vùng bê tông bao quanh thép. Có thể đo vận tốc V_t bằng cách truyền xung dọc theo trục thanh thép nằm trong bê tông và bỏ qua lớp bê tông bảo vệ ở hai đầu thanh thép.

Công thức (2) có thể biến đổi thành dạng sau:

$$V_b = k \times V_m \quad (3)$$

Trong đó:

V_m là vận tốc xung đo được (L/T), tính bằng kilômét trên giây (km/s);

k là hệ số hiệu chỉnh tính theo công thức:

$$k = \gamma + 2 \times \frac{a}{L} \times \sqrt{1 - \gamma^2} \quad \text{với } \gamma = \frac{V_b}{V_t}$$

Hình 3 trình bày các giá trị của γ ứng với những giá trị V_b và đường kính thép thường gặp khi dùng loại đầu dò có tần số xung 54 KHz. Ứng với một giá trị V_b giả thiết, kết hợp trị số tương ứng tra trên Hình 3 với biểu đồ trên Hình 4 để dự đoán giá trị k trong công thức (3). Để có được giá trị V_b gần đúng nhất cần lặp lại nhiều lần quá trình giả thiết V_b , tra và xác định k.

Các công thức này chỉ có giá trị khi khoảng cách a lớn hơn 2 lần lớp bảo vệ ở đầu mút thanh thép. Khi khoảng cách a nhỏ hơn thì xung sẽ truyền qua toàn bộ thanh thép. Trường hợp các thanh thép nằm ngay trên đường truyền xung giữa hai đầu dò thì hệ số điều chỉnh tính như sau:

$$k = 1 - \frac{L_t}{L} \times (1 - \gamma) \quad (4)$$

trong đó:

L_t là chiều dài thanh thép, tính bằng milimet (mm).

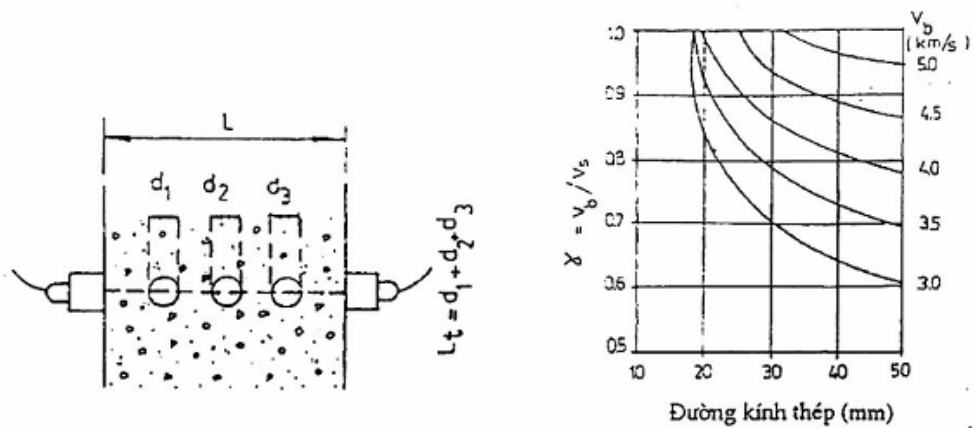
Khi bê tông và cốt thép bám dính tốt và ở vùng bê tông kiểm tra không có vết rạn nứt thì V_b có sai số trong phạm vi $\pm 3\%$.

7.6.3 Trường hợp trục thanh thép vuông góc với phương truyền xung

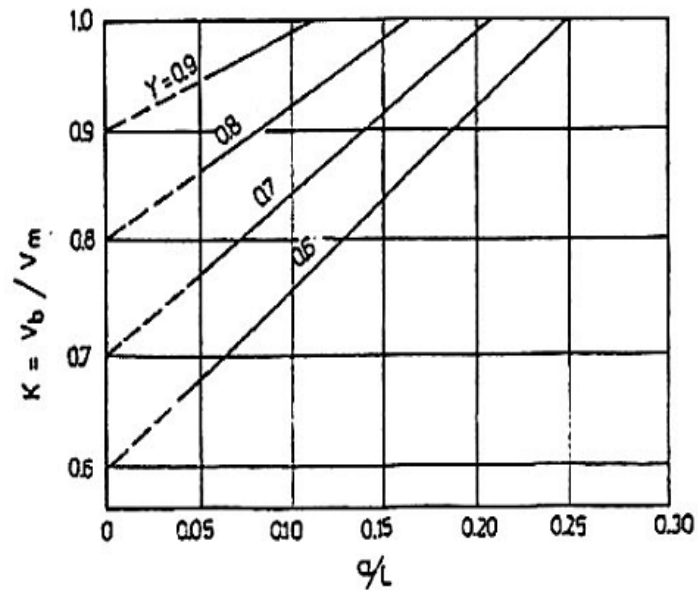
Lúc này, có thể dùng lý thuyết để tính toán ảnh hưởng lớn nhất của thép với giả thiết rằng xung truyền ngang qua toàn bộ các đường kính d của từng thanh thép trên đường truyền của nó, xem minh họa trên Hình 5.

Trong thực tế, khi dùng các đầu dò 54 KHz, có thể bỏ qua ảnh hưởng của các thanh thép có đường kính nhỏ hơn 20 mm. Trường hợp các thanh thép có đường kính từ 20 mm đến 50 mm, bám dính tốt với bê tông, ảnh hưởng của chúng được kể đến bằng cách coi chúng là thanh thép có chiều dài bằng chiều dài tổng thể L_t (xem Hình 5). Lúc này dùng hệ số k ở 7.6.2 (công thức(4)) trong đó trị số γ lấy từ Hình 5 đã kể đến việc giảm vận tốc trong thép. Trường hợp các thanh thép ngang liên kết không tốt với bê tông thì

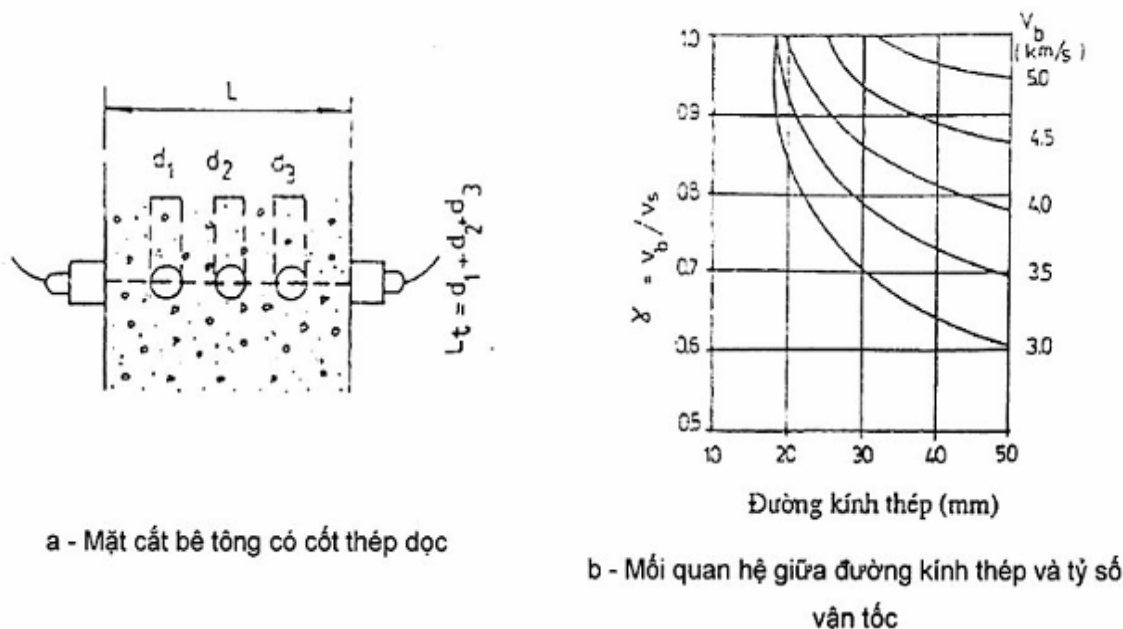
ảnh hưởng của nó sẽ giảm và khi thép không nằm trực tiếp trên đường truyền xung giữa hai đầu dò thì ảnh hưởng của nó sẽ khó xác định một cách chính xác.



Hình 3 - Ảnh hưởng của cốt thép đến vận tốc xung khi thép nằm song song với đường truyền xung



Hình 4 - Ảnh hưởng của cốt thép đến vận tốc xung. Hệ số hiệu chỉnh khi thép nằm song song với đường truyền xung (với $a > 2b$) (xem Hình 3a)



Hình 5 - Ảnh hưởng của cốt thép đến vận tốc xung khi thép nằm vuông góc với đường truyền xung

8 Xác định độ đồng nhất của bê tông

Việc đo vận tốc xung cho phép nghiên cứu về độ đồng nhất của bê tông. Để đạt mục đích này phải lựa chọn một hệ thống điểm đo phân bố đều trên một bề mặt bê tông nhất định của kết cấu.

Số lượng điểm kiểm tra phụ thuộc vào kích thước của kết cấu, vào độ chính xác yêu cầu và tính biến động của bê tông. Khi kết cấu lớn, làm bằng bê tông khá đồng nhất, nên dùng mạng lưới điểm đo có khoảng cách là 1 m, nhưng khi cấu kiện nhỏ và bê tông có độ biến động lớn thì cần giảm kích thước lưới điểm đo. Khi dùng chiều dài đường truyền T không đổi trong suốt quá trình đo thì có thể sử dụng ngay giá trị thời gian truyền để đánh giá độ đồng nhất của bê tông mà không cần phải chuyển đổi qua vận tốc. Trong thực tế, cách làm này chỉ thích hợp với cách truyền trực tiếp.

Độ đồng nhất của bê tông được biểu diễn dưới dạng một đại lượng thống kê độ lệch chuẩn hay hệ số biến động của vận tốc xung đo được trên lưới đo. Tuy nhiên, chỉ có thể dùng những thông số này để so sánh sự biến động trong các cấu kiện bê tông có kích thước hoàn toàn giống nhau.

Khi đánh giá tầm quan trọng của độ biến động, cần kể đến những yếu tố có thể tác động đến bộ phận kết cấu kiểm tra. Ví dụ như sự phân bố ứng suất trong kết cấu ở điều kiện tải trọng tới hạn hoặc là điều kiện bề mặt kết cấu.

9 Xác định các khuyết tật

9.1 Tổng quát

Việc sử dụng vận tốc xung siêu âm để dò tìm và vạch rõ quy mô khuyết tật bên trong bê tông phải do các chuyên gia có kinh nghiệm thực hiện.

Nếu chỉ đơn thuần căn cứ vào những kết quả đo vận tốc xung siêu âm mà đưa ra các kết luận chung là rất nguy hiểm. Các khuyết tật nằm giữa hai đầu dò, có kích thước lớn hơn bề rộng của đầu dò và lớn hơn bước sóng của xung siêu âm sẽ làm cho thời gian truyền xung trong bê tông bị kéo dài do xung bị nhiễu xạ ở những vùng khuyết tật. Hiệu ứng này được sử dụng để xác định vị trí các vết rạn nứt, các lỗ rỗng hoặc khuyết tật khác có kích thước lớn hơn khoảng 100 mm ở đó sâu khoảng hơn 100 mm. Việc xác định vị trí khuyết tật được căn cứ trên các đường đồng mức của các xung siêu âm. Tại những chỗ bị nứt nhưng vẫn gắn kết với nhau do có lực nén (như ở cọc chịu lực) thì xung vẫn truyền qua được. Nếu

vết nứt bị lấp đầy bằng chất lỏng có tính truyền năng lượng xung như nước biển thì không phát hiện vết nứt bằng thiết bị hiện số được mà phải đo sự suy giảm năng lượng để dò tìm vết nứt.

9.2 Dò tìm các lỗ rỗng hoặc các hốc khí lớn

Trên phần bê tông chịu kiểm tra, đặt một lưới đo có kích thước ô lưới phù hợp với kích thước của lỗ rỗng. Bằng cách đo thời gian truyền xung giữa các đầu dò trên mạng lưới điểm đo, sẽ nghiên cứu được quy mô các hốc khí lớn khi nó nằm trên đường truyền xung. Kích thước của các hốc này được dự đoán trên cơ sở thừa nhận rằng xung được truyền theo đường ngắn nhất giữa hai đầu dò và đi xung quanh các hốc khí đó. Việc dự đoán này chỉ có giá trị khi bê tông ở xung quanh hốc khí là đồng nhất, chắc đặc và có thể đo được vận tốc xung ở loại bê tông đó.

9.3 Dự đoán chiều sâu vết nứt bề mặt

Để đo chiều sâu vết nứt bề mặt (nhìn thấy được) có hai cách đặt đầu dò. Hình 6a thể hiện cách đặt đầu dò thích hợp với mục đích này. Lấy hai giá trị x là 150 mm và 300 mm, đo thời gian truyền tương ứng với chúng. Với những trị số x như trên thì chiều sâu của vết nứt chứa đầy không khí được tính bằng công thức:

$$C = 150 \times \sqrt{\frac{4 \times t_1^2 - t_2^2}{t_2^2 - t_1^2}} \quad (5)$$

trong đó:

C là chiều sâu vết nứt, tính bằng milimét (mm);

t_1 là thời gian truyền khi $x = 150$ mm, tính bằng microgiây (μs);

t_2 là thời gian truyền khi $x = 300$ mm, tính bằng microgiây (μs).

Công thức (5) có được từ giả thiết rằng vết nứt nằm vuông góc với bề mặt bê tông và bê tông ở vùng lân cận vết nứt là có chất lượng đồng nhất.

Có thể kiểm tra xem vết nứt có vuông góc với bề mặt bê tông hay không bằng cách đặt hai đầu dò gần vết nứt như Hình 6b và dịch chuyển dần một đầu dò ra xa vết nứt. Khi đầu dò dịch chuyển mà thấy thời gian truyền giảm đi thì chứng tỏ vết nứt kết thúc vào khoảng vị trí của đầu dò.

Có một cách bố trí đầu dò khác là đầu phát được đặt cách tâm vết nứt $2,5Y$ và đọc thời gian truyền xung ba lần ứng với các khoảng cách Y , $2Y$, $3Y$, kể từ đầu phát theo phương của vết nứt. Thời gian truyền được vẽ lên tương ứng với khoảng cách như trên Hình 6c, trong đó $Y = 150$ mm. Nếu phần kéo dài của đường thẳng đi qua 2 điểm (Y, t_1) và ($2Y, t_2$) đi qua gốc 0 thì không có vết nứt ngầm, còn chiều sâu của vết nứt nhìn thấy sẽ được tính theo công thức:

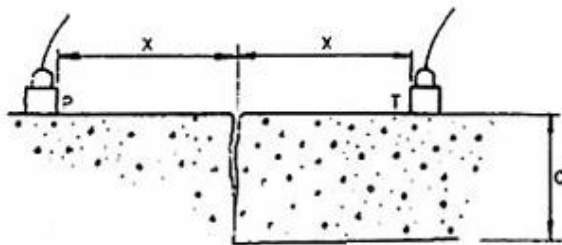
$$C = \frac{Y}{2} \sqrt{\left[\left(\frac{3T_2^2 + 2T_3^2}{T_2 \cdot T_3} \right) - 25 \right]} \quad (6)$$

Trong đó:

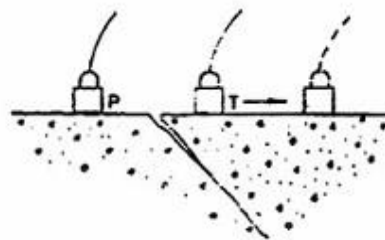
T_2 là thời gian truyền ứng với khoảng cách $2Y$, tính bằng microgiây (μs);

T_3 là thời gian truyền ứng với khoảng cách $3Y$, tính bằng microgiây (μs).

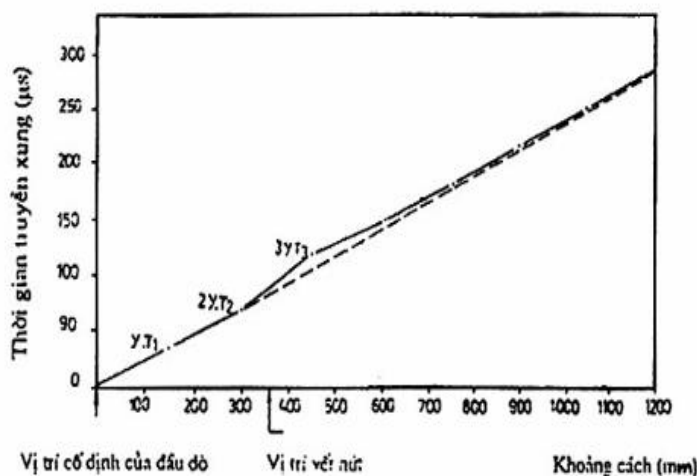
Hình 6c cho thấy khi đầu thu rời xa dần vết nứt thì thời gian truyền có xu hướng dần đạt tới trị số thời gian truyền ứng với bê tông không có vết nứt.



a - Vết nứt vuông góc với bề mặt



b - Vết nứt xiên với bề mặt



c - Ảnh hưởng của vết nứt đến kết quả đo theo cách truyền gián tiếp (bề mặt)

Hình 6 - Cách bố trí đầu dò để xác định chiều sâu của vết nứt

9.4 Dự đoán chiều dày lớp bê tông kém chất lượng

Có thể dự đoán chiều dày lớp bê tông bề mặt bị kém chất lượng (do bị cháy hay do tiếp xúc với sunfat, hoặc do quá trình sản xuất) qua thời gian truyền xung siêu âm dọc theo bề mặt bê tông. Dùng trình tự nêu ở Điều 10 để đo và kết quả được vẽ trên biểu đồ như ở Hình 2. Với đáy đo ngắn, xung sẽ truyền qua lớp bề mặt và độ dốc tại của đường thực nghiệm cho ta vận tốc xung trong lớp bề mặt này. Với đáy đo có độ lớn nhất định, xung đầu tiên sau khi đi qua mặt phân cách giữa hai lớp sẽ truyền trong lớp bê tông có chất lượng cao ở dưới để đến đầu thu và độ dốc của đường thực nghiệm lúc này cho ta vận tốc xung của lớp bê tông ở dưới. Dự đoán chiều dày lớp bê tông kém chất lượng theo khoảng cách x_0 mà tại đó thấy độ dốc thay đổi (Hình 2) và theo vận tốc xung đo được trong hai lớp bê tông khác nhau bằng công thức sau:

$$t = \frac{x_0}{2} \times \sqrt{\frac{V_b - V_h}{V_b + V_h}} \quad (7)$$

trong đó:

t là chiều dày lớp bê tông kém chất lượng, tính bằng milimét (mm);

V_h là vận tốc xung trong lớp bê tông bị hư hỏng, tính bằng kilômét trên giây (km/s);

V_b là vận tốc xung của lớp bê tông tốt ở dưới tính bằng kilômét trên giây (km/s);

x_0 là khoảng cách từ đầu phát tới điểm có độ dốc thay đổi, tính bằng milimét (mm).

Phương pháp này được áp dụng cho những bề mặt bê tông rộng lớn, trên đó lớp bê tông kém chất lượng có chiều dày tương đối đồng đều và có V_h nhỏ hơn hẳn V_b . Những vùng hư hỏng hoặc rỗ tổ ong cục bộ thì khó xác định hơn, nhưng nếu dùng cả hai phương pháp truyền trực tiếp và truyền bề mặt thì vẫn có thể tìm được chiều dày gần đúng của lớp đó.

10 Xác định sự thay đổi tính chất của bê tông

Có thể xác định sự thay đổi tính chất của bê tông bằng cách đo vận tốc xung nhiều lần tại những thời điểm khác nhau với cùng một loại đầu dò và trên cùng một vị trí.

Sự thay đổi vận tốc xung thường biểu thị sự thay đổi cường độ và có thuận lợi là có thể đo được trong suốt thời gian nghiên cứu trên cùng một mẫu thí nghiệm.

Việc đo vận tốc xung đặc biệt thích hợp để theo dõi quá trình đóng rắn của bê tông, nhất là trong thời gian 36 h đầu tiên. Lúc này, vận tốc xung thay đổi nhanh là do sự thay đổi hóa lý trong cấu trúc vữa xi măng và nếu muốn theo dõi chặt chẽ quá trình thay đổi này nên đo cách 1 h hay 2 h một lần. Sau 36 h đầu tiên này, khoảng cách giữa hai lần đo có thể kéo dài đến 1 ngày hoặc hơn nữa.

11 Quan hệ giữa vận tốc xung và cường độ

11.1 Tổng quát

Chất lượng bê tông thường biểu hiện bằng cường độ và do vậy việc đo vận tốc xung siêu âm được dùng để dự đoán cường độ.

Quan hệ giữa vận tốc xung siêu âm và cường độ bị chi phối bởi một số yếu tố bao gồm tuổi, điều kiện dưỡng hộ, điều kiện độ ẩm, tỷ lệ cấp phối, loại cốt liệu và loại xi măng. Nếu yêu cầu dự đoán cường độ của loại bê tông nào thì cần xây dựng quan hệ giữa cường độ và vận tốc xung (sau đây gọi là đường chuẩn V-R) cho riêng loại bê tông đó. Đường chuẩn này được thiết lập bằng thực nghiệm trên cơ sở thí nghiệm một lượng mẫu đủ lớn để bao trùm phạm vi cường độ cần có và đủ độ tin cậy về mặt thống kê. Việc thiết lập đường chuẩn giữa vận tốc xung với cường độ được tiến hành hoặc bằng một trong những phương pháp thí nghiệm được mô tả trong TCVN 3118:1993 hoặc bằng cách tiến hành thí nghiệm trên một kết cấu hay cấu kiện hoàn chỉnh. Độ tin cậy của đường chuẩn phụ thuộc vào lượng mẫu đại diện cho các kết cấu kiểm tra. Để thuận tiện, người ta xây dựng đường chuẩn này bằng cách thí nghiệm các mẫu dúc. Thực nghiệm cho thấy đường chuẩn dựa trên các mẫu dúc cho dự đoán cường độ thấp hơn so với cường độ thu được từ các mẫu cắt hoặc khoan ở kết cấu.

11.2 Đường chuẩn dựa trên các mẫu dúc

Cường độ của bê tông có thể biến thiên theo sự thay đổi của:

- a) Tỷ lệ nước xi măng;
- b) Tuổi ở lúc thí nghiệm.

Yêu cầu chỉ sử dụng một phương pháp thay đổi cường độ nhất định để xây dựng đường chuẩn cụ thể và phương pháp đó phải phù hợp với yêu cầu đề ra. Đường chuẩn V-R sẽ kém tin cậy khi cường độ bê tông tăng dần lên. Khi yêu cầu giám sát sự phát triển cường độ thì dùng quan hệ giữa vận tốc xung và sự thay đổi tuổi bê tông, còn khi yêu cầu kiểm tra chất lượng bê tông thì dùng đường chuẩn giữa vận tốc xung và sự thay đổi tỷ lệ nước xi măng là thích hợp.

Việc tạo mẫu được tiến hành theo TCVN 3105:1993. Mỗi mẻ trộn nên tạo ít nhất 3 mẫu. Vận tốc xung nên đo trên mẫu thí nghiệm ở hai mặt giáp thành khuôn. Với mẫu dầm, để đạt độ chính xác cao hơn, phải đo vận tốc xung ở suốt dọc chiều dài của dầm. Với mỗi mẫu thí nghiệm nên đo ít nhất 3 lần với vị trí đầu dò đặt ở đỉnh, ở giữa và ở đáy mẫu (xem Bảng 2 về kích thước mẫu). Thời gian truyền xung đo được trên từng mẫu chỉ được biến thiên trong khoảng $\pm 5\%$ giá trị trung bình của 3 lần đo, nếu không thì loại bỏ, coi như mẫu dị thường. Sau đó nên thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của mẫu theo phương pháp được mô tả trong TCVN 3118:1993.

Trị số trung bình của vận tốc xung và trị số trung bình của cường độ thu được trên từng tổ mẫu gồm 3 mẫu giống nhau sẽ là những số liệu để xây dựng đường chuẩn. Đường chuẩn này chỉ có giá trị với những mẫu được chế tạo, bảo dưỡng, thí nghiệm bằng cùng một phương pháp. Nếu dùng cách dưỡng hộ khí thay cho cách dưỡng hộ nước thì phải có đường chuẩn khác thay thế.

11.3 Đường chuẩn dựa trên các lõi khoan

Khi xây dựng đường chuẩn bằng cách thí nghiệm các lõi khoan thì không thể thay đổi cường độ bê tông một cách chủ động được. Cho nên phải đo vận tốc xung riêng cho từng vùng có chất lượng khác nhau và dùng giới hạn cường độ của lõi khoan ở vùng tương ứng để xây dựng đường chuẩn. Khi xây dựng đường chuẩn lưu ý là phải dùng vận tốc xung đo được trên kết cấu tại vùng lõi khoan, không được dùng vận tốc xung đo được trên lõi khoan sau khi đã cắt bằng đầu và ngâm nước vì vận tốc xung này thường cao hơn vận tốc xung đo ở kết cấu. Khoan và thí nghiệm lõi khoan theo TCVN 3118:1993 và đường chuẩn được xây dựng như mô tả ở 11.2. Với loại bê tông bất kỳ không được dưỡng hộ chuẩn thì đường chuẩn V-R có dạng giống nhau. Bởi vậy có thể dùng đường chuẩn khác để ngoại suy ra phần đường chuẩn bị thiếu khi xây dựng từ các lõi khoan.

11.4 Đường chuẩn đối với cường độ các cấu kiện đúc sẵn

Khi đòi hỏi các bộ phận đúc sẵn phải đạt cường độ yêu cầu nào đó thì xây dựng đường chuẩn giữa vận tốc xung với riêng loại cường độ đó. Khi thiết lập đường chuẩn này cần tiến hành đo vận tốc xung ở những vùng dự đoán là bê tông sẽ bị hư hỏng khi chịu tải thí nghiệm. Sử dụng trình tự đã mô tả ở 11.2 để xây dựng biểu đồ quan hệ đó.

11.5 Kết hợp vận tốc xung với các phép đo khác

Việc dự đoán cường độ có thể đạt được độ chính xác cao hơn khi kết hợp kết quả đo vận tốc xung với kết quả đo trị số bật nảy của súng như mô tả trong TCVN 9334:2012. Độ chính xác sẽ đạt cao hơn nữa nếu kết hợp vận tốc xung siêu âm với kết quả đo khối lượng thể tích. Ở kết cấu, nên đo khối lượng thể tích ngay trên tuyến đã đo vận tốc xung. Để đo khối lượng thể tích dùng phương pháp được mô tả trong TCVN 3115:1993, với điều kiện loại trừ ảnh hưởng của cốt thép. Sau đó có thể xây dựng đường chuẩn riêng cho từng phạm vi khối lượng thể tích yêu cầu.

12 Xác định mô đun đàn hồi và hệ số Poisson động

Mối quan hệ giữa hằng số đàn hồi và vận tốc xung truyền trong môi trường đàn hồi đẳng hướng, kích thước vô hạn được cho bởi công thức sau:

$$E_d = \rho \times V^2 \times \frac{(1+v^2) \times (1-2 \times v)}{(1-v)} \quad (8)$$

Trong đó:

E_d là mô đun đàn hồi động, tính bằng megapascal (MPa);

v là hệ số Poisson động;

ρ là khối lượng thể tích, tính bằng kilôgam trên mét khối (kg/m^3);

V là vận tốc xung, tính bằng kilômét trên giây (km/s).

Ở trong phòng thí nghiệm, tỷ số E_d/ρ được tính từ công thức:

$$\frac{E_d}{\rho} = 4 \times n^2 \times L^2 \times 10^{-6} \quad (9)$$

Trong đó:

n là tần số cộng hưởng, tính bằng héc (Hz), xác định theo BS 1881 Part 209;

L là chiều dài mẫu thử, tính bằng mét (m).

Kết hợp công thức (8) và (9) ta có:

$$\frac{(1+v^2) \times (1-2 \times v)}{(1-v)} = \frac{4 \times n^2 \times L^2 \times 10^{-6}}{V^2} \quad (10)$$

Trị số v có thể xác định từ Bảng 3.

Thường không thể tiến hành thí nghiệm cộng hưởng trên các bộ phận của kết cấu để xác định các đặc tính của chúng. Có thể sử dụng kinh nghiệm để dự đoán giá trị của môđun đàn hồi tĩnh và động từ vận tốc xung đo được ở một điểm bất kỳ trên kết cấu. Với các loại bê tông thông thường chế tạo từ cốt liệu tự nhiên có thể lấy môđun đàn hồi tĩnh và động như ở Bảng 4. Khi dự đoán môđun đàn hồi theo bảng này thì đạt được sai số nhỏ hơn 10%.

Bảng 3 - Trị số ν

$\frac{n \times L \times 10^{-3}}{V}$	ν
0,257	0,45
0,342	0,40
0,395	0,35
0,431	0,30
0,456	0,25
0,474	0,20
0,487	0,15
0,494	0,10
0,499	0,05

Bảng 4 - Mối quan hệ theo kinh nghiệm giữa môđun đàn hồi tĩnh và động với vận tốc xung

Vận tốc xung (km/s)	Môđun đàn hồi (MPa)	
	Động	Tĩnh
3,6	24000	13000
3,8	26000	15000
4,0	29000	18000
4,2	32000	22000
4,4	36000	27000
4,6	42000	34000
4,8	49000	43000
5,0	58000	52000

13 Báo cáo thử nghiệm

Báo cáo cần khẳng định rằng vận tốc xung siêu âm đã được xác định theo chỉ dẫn của tiêu chuẩn này và nên bao gồm các thông tin sau:

- a) Ngày giờ và địa điểm làm thí nghiệm;
- b) Mô tả kết cấu hay mẫu chịu kiểm tra;
- c) Thành phần của bê tông, bao gồm;
 1. Loại xi măng;
 2. Hàm lượng xi măng;

3. Tỷ lệ nước/xi măng;
4. Loại cốt liệu và kích thước;
5. Loại phụ gia (nếu có);
- d) Điều kiện dưỡng hộ và tuổi của bê tông tại thời điểm thí nghiệm;
- e) Đặc điểm kỹ thuật của môi trường bao quanh bê tông;
- f) Sơ đồ vị trí đặt đầu dò và đường truyền của xung. Trên sơ đồ này nên thể hiện chi tiết về cốt thép hoặc ống dẫn ở lân cận vùng thí nghiệm;
- g) Điều kiện bề mặt tại điểm thí nghiệm (độ nhẵn, trát thủ công, độ ráp, có vết nứt hay mảnh vụn do hư hỏng vì hỏa hoạn);
- h) Dự đoán độ ẩm bên trong của bê tông tại thời điểm thí nghiệm và điều kiện dưỡng hộ lâu dài (ở đây hiểu là bề mặt ướt, làm khô bề mặt (ngay khi tháo khuôn) hay để khô trong không khí (khi tháo khuôn trong điều kiện khô));
- i) Loại và cấu tạo của thiết bị đo, độ chính xác, tần số của xung và bất kỳ một đặc tính đặc biệt nào;
- j) Chiều dài đường truyền, phương pháp đo và độ chính xác dự đoán của phép đo;
- k) Trị số vận tốc xung đo được (kể cả những hiệu chỉnh cần thiết về nhiệt độ, ảnh hưởng của thép...);
- l) Kết quả dự đoán về cường độ, khuyết tật, độ đồng nhất...tùy theo yêu cầu kiểm tra.

Phụ lục A

(Tham khảo)

Phương pháp xác định hệ số chuyển đổi vận tốc xung xác định theo phương pháp gián tiếp sang vận tốc xung xác định bằng phương pháp trực tiếp

A1 Việc xác định hệ số chuyển đổi (K) từ vận tốc xung siêu âm đo theo phương pháp gián tiếp thành vận tốc xung đo theo phương pháp trực tiếp được thực hiện khi chuẩn bị thí nghiệm kết cấu và thực hiện ít nhất mỗi năm một lần.

A2 Chế tạo ít nhất 6 mẫu lăng trụ có kích thước 100 mm x 100 mm x 200 mm theo yêu cầu của TCVN 3105:1993 từ các mẻ trộn khác nhau. Các mẻ trộn này có cấp phối, công nghệ chế tạo và chế độ bảo dưỡng như kết cấu được kiểm tra theo phương pháp gián tiếp.

A.3 Đo vận tốc xung siêu âm cho từng mẫu, với cùng một chuẩn đo, theo sơ đồ như cho ở Hình A1. Chuẩn đo nhỏ nhất là 120 mm. Bề mặt bê tông trên mẫu và kết cấu, tại nơi đo vận tốc xung theo phương pháp gián tiếp, phải có vị trí tương đối như nhau so với ván khuôn và so với phương đổ bê tông.

Đo thời gian truyền xung theo phương pháp bề mặt ít nhất 3 lần cho một vùng đo.

A.4 Hệ số chuyển đổi (K) được tính theo công thức:

$$K = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n K_i \quad (\text{A.1})$$

trong đó

K_i là hệ số chuyển đổi được xác định theo kết quả thí nghiệm của mẫu thứ i , tính theo công thức:

$$K_i = \frac{V_i}{V_{mi}} \quad (\text{A.2})$$

V_i là vận tốc xung trung bình của mẫu thứ i , đo bằng phương pháp trực tiếp;

V_{mi} là vận tốc xung trung bình của mẫu thứ i , đo bằng phương pháp gián tiếp;

n là số lượng mẫu thí nghiệm để xác định hệ số K .

A.5 Độ lệch bình phương trung bình (S_k) của hệ số chuyển đổi K được tính theo công thức:

$$S_k = W \times d_n \quad (A.3)$$

trong đó:

$$W = K_{\max} - K_{\min};$$

$K_{\max}$ là giá trị lớn nhất của K_i ($1 \leq i \leq n$);

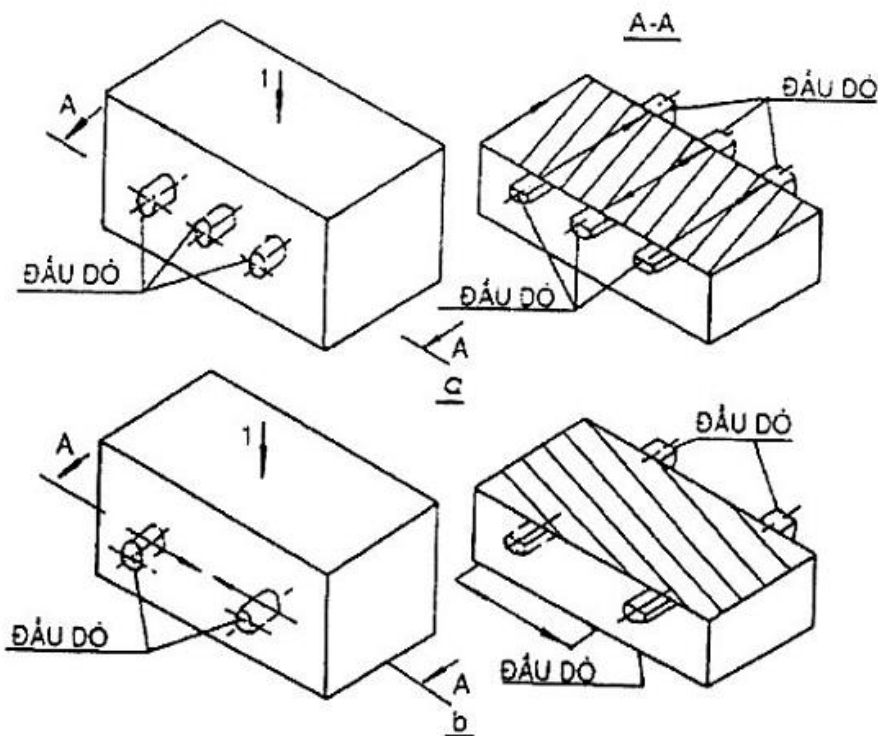
$K_{\min}$ là giá trị nhỏ nhất của K_i ($1 \leq i \leq n$);

d_n là hệ số, lấy theo Bảng A1 tùy theo số lượng mẫu n.

Bảng A1 - Giá trị của hệ số d_n tùy theo lượng mẫu thí nghiệm

n	6	7	8	9	10
d_n	2,51	3,0	3,47	3,92	4,35

Trị số S_k được sử dụng để tính sai số của đường chuẩn, được nói đến ở B.3 - Phụ lục B.



CHÚ THÍCH:

a - Sơ đồ thí nghiệm mẫu lắng trụ theo phương pháp truyền trực tiếp;

b - Sơ đồ thí nghiệm mẫu lắng trụ theo phương pháp gián tiếp (bề mặt);

1 - Phương đúc mẫu.

Hình A.1 Sơ đồ thí nghiệm mẫu để xác định hệ số chuyển đổi K

A.6 Cho phép tiến hành đo vận tốc xung siêu âm theo A.3 đối với các vùng kết cấu mà điều kiện kỹ thuật cho phép đo theo cả phương pháp trực tiếp và gián tiếp.

Số lượng vùng đo trên kết cấu ít nhất là 6 vùng.

A.7 Vận tốc xung dùng để xây dựng đường chuẩn R-V có kể đến hệ số K được tính theo công thức:

$$V = K \times \frac{L}{T_m} \times 10^3 \quad (A.4)$$

Trong đó:

T_m là thời gian truyền xung khi đo theo phương pháp gián tiếp, tính bằng micro giây (μs);

L là chuẩn đo, tính bằng milimét (mm);

V tính bằng mét trên giây (m/s).

Chuẩn đo giống nhau khi xác định hệ số K và khi đo trên kết cấu và không được lớn hơn 400 mm.

Phụ lục B

(Tham khảo)

Phương pháp xây dựng đường chuẩn V-R

Để xây dựng đường chuẩn V-R cần đúc từ 30 đến 60 mẫu lập phương cạnh 15 cm hoặc cạnh 10 cm, dưỡng hộ mẫu cho đến tuổi thí nghiệm, đo vận tốc xung siêu âm V_i . Thí nghiệm nén mẫu để xác định cường độ R_{mi} của từng tổ mẫu (loại bỏ các kết quả thí nghiệm dị thường), tiến hành xây dựng đường chuẩn theo trình tự sau:

B.1 Xác định quan hệ giữa V và R :

Quan hệ giữa V và R có 2 dạng là tuyến tính và phi tuyến

- Khi $R_{mi}^{max} - R_{mi}^{min} \leq (60 - 0,1 \times \bar{R}_m) \%$ thì dùng phương trình dạng tuyến tính:

$$R = a_0 + a_1 \times V \quad (B.1)$$

- Trường hợp còn lại thì dùng phương trình dạng phi tuyến tuyến (hàm số mũ):

$$R = b_0 \times e^{b_1 V} \quad (B.2)$$

trong đó:

V là vận tốc xung siêu âm trong mẫu;

R là cường độ bê tông xác định theo phương trình;

$\bar{R}_m$ là cường độ nén trung bình của tất cả các tổ mẫu;

R_{mi}^{max} là cường độ nén lớn nhất của tất cả các tổ mẫu;

R_{mi}^{min} là cường độ nén nhỏ nhất của tất cả các tổ mẫu;

Các hệ số a_0 , a_1 , b_0 , b_1 được tính như sau:

$$a_0 = \bar{R}_m - a_1 \times \bar{V} \quad (B.3)$$

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R}_m - R_{mi}) \times (\bar{V} - V_i)}{\sum_{i=1}^n (\bar{V} - V_i)^2} \quad (B.4)$$

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{V} - V_i) \times (\ln \bar{R}_m - \ln R_{mi})}{\sum_{i=1}^n (\bar{V} - V_i)^2} \quad (B.5)$$

$$b_0 = e^{\ln \bar{R}_m - b_1 \bar{V}} \quad (B.6)$$

$$\overline{R_m} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{mi}}{n} \quad (B.7)$$

$$\overline{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} \quad (B.8)$$

$$\overline{\ln R_m} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln R_{mi}}{n} \quad (B.9)$$

Trong đó:

R_{mi} là cường độ của mẫu thứ i ;

V_i là vận tốc của tổ mẫu thứ i ;

n là số tổ mẫu thí nghiệm để xây dựng đường chuẩn.

B.2 Việc hiệu chỉnh đường chuẩn được thực hiện bằng cách loại bỏ mẫu không thỏa mãn điều kiện:

$$\frac{|R_i - R_{mi}|}{S} \leq 2 \quad (B.10)$$

Trong đó:

S là độ lệch bình phương trung bình, xác định theo công thức:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_{mi} - R_i)^2}{n-2}} \quad (B.11)$$

trong đó:

R_i là cường độ của tổ mẫu thứ i xác định theo đường chuẩn đã xây dựng;

$R_i = a_0 + a_1 \times V_i$ đối với phương trình (B.1) hoặc $R_i = b_0 \times e$ đối với phương trình (B.2).

Sau đó đường chuẩn được xây dựng lại theo kết quả các tổ mẫu còn lại.

Việc hiệu chỉnh đường chuẩn được thực hiện cho đến khi kết quả từng tổ mẫu thỏa mãn điều kiện (B.10).

B.3 Sai số của cường độ bê tông được xác định bằng đường chuẩn vừa xây dựng, được tính theo công thức:

$$S_c = \sqrt{S^2 + q^2 \times S_k^2} \quad (B.12)$$

Trong đó:

S_k^2 là độ lệch bình phương trung bình của hệ số chuyển đổi K từ vận tốc đo theo phương pháp bề mặt sang vận tốc đo theo phương pháp xuyên âm. Nếu không có hệ số chuyển đổi thì $S_k = 0$;

q là hệ số được tính bằng $R_m - a_0$ khi sử dụng phương trình (B.1) và bằng $\overline{R_m} \times \ln \frac{\overline{R_m}}{b_0}$ khi dùng phương trình (B.2).

Nếu $S_c/R_m \times 100\% > 12\%$ thì không được phép dùng đường chuẩn này.

B.4 Vẫn cho phép dùng phương trình (B.1) để xây dựng khi $R_{mi}^{max} - R_{mi}^{min} > (60 - 0,1 \times \overline{R_m})$ nếu $S_c/R_m \times 100\% \leq 12\%$

B.5 Kiểm tra đường chuẩn cần được tiến hành định kỳ ít nhất hai tháng một lần bằng cách sau:

B.5.1 Chế tạo ít nhất sáu tổ mẫu. Xác định vận tốc V_i và cường độ R_{mi} của từng tổ mẫu theo 11.2 của tiêu chuẩn này. Ứng với V_i của từng tổ mẫu, xác định R_i tương ứng bằng đường chuẩn đang sử dụng.

Tính vận tốc trung bình $\bar{V}$ của tất cả các tổ mẫu để kiểm tra đường chuẩn.

Chia các tổ mẫu thành hai nhóm:

- Nhóm thứ nhất gồm các tổ mẫu có vận tốc xung nhỏ hơn hoặc bằng $\bar{V}$;
- Nhóm thứ hai gồm các tổ mẫu còn lại.

B.5.2 Đường chuẩn sẽ được tiếp tục sử dụng nếu đồng thời thỏa mãn các điều kiện sau:

- Chênh lệch $R_{mi} - R_i$ của 5 trên 6 tổ mẫu phải khác dấu.
- Phải thỏa mãn bất đẳng thức: $S_n < 1,5 \times S_c$

trong đó:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_{mi} - R_i)^2}{n-1}} \quad (B.14)$$

n là số tổ mẫu được thí nghiệm để kiểm tra đường chuẩn.

- Chênh lệch $R_{mi} - R_i$ của nhóm mẫu 1 và nhóm mẫu 2 không được cùng dấu.

B.6 Khi dùng loại thiết bị và tần số đầu dò khác cũng phải kiểm tra đường chuẩn theo B.5 nói trên.

B.7 Ví dụ về việc xây dựng đường chuẩn.

B.7.1 Thiết lập đường chuẩn vận tốc-cường độ để kiểm tra cường độ bê tông lúc tháo khuôn. Yêu cầu kiểm tra cường độ bê tông trên kết cấu bằng phương pháp siêu âm bê tông mác 25.

Để xây dựng đường chuẩn "R-V", đã tạo 20 tổ mẫu lập phương cạnh 10 cm trong 5 ngày. Mẫu được dưỡng hộ nhiệt và thí nghiệm ở tuổi 4 h đến 8 h sau khi dưỡng hộ. Sau khi loại bỏ các số liệu dị thường, kết quả thí nghiệm các mẫu cho ở Bảng B.1.

Cường độ $\bar{R}_m$ (MPa) và vận tốc xung siêu âm trung bình $\bar{V}$ (m/s) là:

$$\bar{R}_m = \frac{20,6 + 26,0 + \dots + 33,3}{20} = 27,79$$

$$\bar{V} = \frac{4029 + 4371 + \dots + 4436}{20} = 4239,4$$

Cường độ lớn nhất và nhỏ nhất của mẫu là $R_{m\min} = 20,6$ MPa; $R_{m\max} = 36,9$ MPa (tổ mẫu số 1 và tổ mẫu số 17).

Vì $R_{m\max} - R_{m\min} = 16,3$ MPa $< 2 \times 27,79 \times (60 - 27,79)/100 = 17,9$ MPa nên dùng đường chuẩn dạng tuyến tính $R_i = a_0 + a_1 \times V$.

Các hệ số a_0 , a_1 được tính toán theo công thức (B.3),(B.4):

$$a_1 = \frac{(27,79 - 20,6) \times (4239,4 - 4029) + (27,79 - 26,0) \times (4239,4 - 4371) + \dots + \dots}{(4239,4 - 4029)^2 + (4239,4 - 4371)^2 + \dots + (4239,4 - 4436)^2} = 0,0301$$

$$a_0 = 27,79 - 0,0301 \times 4239,4 = -99,92$$

Bởi vậy đường chuẩn được mô tả bằng phương trình:

$$R_i = 0,0301 \times V - 99,92$$

Các giá trị cường độ R_i tính theo phương trình đường chuẩn được ghi trong Bảng B.1. Độ lệch bình phương trung bình xác định theo công thức (B.11) bằng:

$$S = \sqrt{\frac{(20,6 - 21,35)^2 + (26,0 - 31,65)^2 + \dots + (33,3 - 33,6)^2}{18}} = 2,8 \text{ MPa}$$

Khi so sánh giá trị R_{mi} của các tổ mẫu với R_i xác định bằng đường chuẩn (Bảng B.1) thấy rằng tổ mẫu thứ hai không thỏa mãn điều kiện (B.10), do đó loại bỏ tổ mẫu này.

Tính các giá trị mới của $\overline{R_m}$, $\overline{V}$ và các hệ số a_0 , a_1 theo kết quả của 19 tổ mẫu còn lại:

$$\overline{R_m} = \frac{20,6 + 22,0 + \dots + 33,3}{19} = 27,88 \text{ MPa};$$

$$\overline{R_m} = \frac{4029 + 4080 + \dots + 4436}{19} = 4232,4 \text{ m/s}$$

$$a_1 = \frac{(27,88 - 20,6) \times (4232,4 - 4029) + (27,88 - 22,0) \times (4232,4 - 4080) + \dots + \dots}{(4232,4 - 4029)^2 + (4232,4 - 4080)^2 + \dots + (4232,4 - 4436)^2} = 0,0325$$

$$a_0 = 27,88 - 0,0325 \times 4232,4 = -109,68$$

$$S = \sqrt{\frac{(20,6 - 21,26)^2 + (22,0 - 22,92)^2 + \dots + (33,3 - 34,49)^2}{17}} = 2,48 \text{ MPa}$$

Đường chuẩn vừa được hiệu chỉnh này có tỉ số $\frac{|R_i - R_{mi}|}{S} < 2$ với tất cả các tổ mẫu. Bởi vậy không cần phải hiệu chỉnh đường chuẩn nữa và sử dụng phương trình sau để làm đường chuẩn:

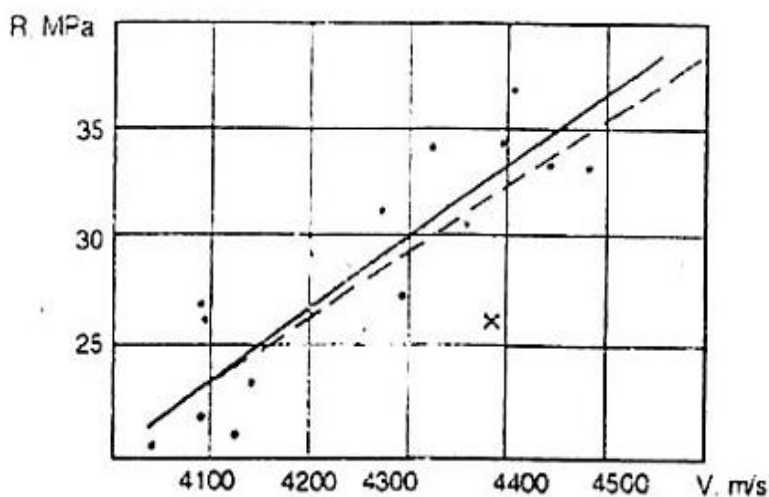
$$R_i = 0,0325 \times V - 109,68$$

Bảng B.1 - Số liệu xây dựng đường chuẩn V - R

Thứ tự tổ mẫu	Vận tốc xung V_i , m/s	Cường độ, MPa			$\frac{R_i - R_{mi}}{S}$		
		Theo kết quả nén mẫu, (R_{mi})	Theo đường chuẩn (R_i)		Chưa xử lý	Sau xử lý	Chú thích
			Chưa xử lý	Sau xử lý			
1	4 029	20,6	21,35	21,26	0,27	0,27	Loại bỏ
2	4 371	26,0	31,65	-	2,02	-	
3	4 080	22,0	22,89	22,92	0,32	0,37	
4	4 097	26,3	23,40	23,47	-1,04	-1,14	
5	4 116	21,1	23,97	23,09	1,03	1,21	
6	4 137	23,4	24,60	24,77	0,43	0,55	
7	4 136	26,0	24,57	24,74	-0,51	-0,51	
8	4 187	26,4	26,11	26,40	-0,10	0	
9	4 195	29,2	26,35	26,66	-1,02	-1,03	
10	4 248	25,5	27,94	28,38	0,87	1,16	
11	4 232	28,5	27,46	27,86	-0,37	-0,26	
12	4 285	25,0	29,06	29,58	1,45	1,85	

13	4 267	31,6	28,52	29,00	-1,10	-1,05	
14	4 037	21,7	21,59	21,52	-0,04	-0,07	
15	4 316	34,3	30,00	30,59	-1,54	-1,50	
16	4 352	30,5	31,08	31,76	0,21	0,51	
17	4 398	36,9	32,46	33,26	-1,59	-1,47	
18	4 393	34,5	32,31	33,09	-0,78	-0,57	
19	4 475	33,0	34,78	31,76	0,64	1,11	
20	4 436	33,3	33,60	34,49	0,11	0,48	

Đường chuẩn trước và sau khi hiệu chỉnh được trình bày trên Hình B.1



CHÚ DẪN:

(...) Đường chuẩn trước khi hiệu chỉnh

(—) Đường chuẩn đã được hiệu chỉnh

(x) Tổ mẫu bị loại bỏ

Hình B.1 - Biểu đồ đường chuẩn trước và sau khi hiệu chỉnh

B.7.2 Đánh giá sai số khi xác định cường độ theo kết quả đo siêu âm.

Cường độ bê tông trên kết cấu được kiểm tra theo đường chuẩn vừa xây dựng ở trên. Tiến hành kiểm tra bằng phương pháp siêu âm, không dùng hệ số chuyển đổi. Lúc này, sai số cường độ tính toán theo công thức (B.12):

$$S_c = \sqrt{S^2 + q_0}$$

Vì $\frac{S_c}{R_m} \times 100\% = \frac{2,48}{27,88} \times 100\% = 8,90 < 12\%$ nên được phép dùng đường chuẩn này để xác định cường độ bê tông.

Phụ lục C

(Tham khảo)

Đánh giá độ đồng nhất và dò tìm khuyết tật của bê tông trên công trình bằng phương pháp siêu âm

C.1 Đánh giá độ đồng nhất

Để đánh giá độ đồng nhất của bê tông, tiến hành đo vận tốc xung siêu âm trên bê tông theo mạng lưới đo. Lưu ý lựa chọn mạng lưới điểm đo cho phù hợp với kích thước cấu kiện và chất lượng bê tông. Sau khi có kết quả đo vận tốc xung, có thể xem xét mức độ đồng nhất theo cách sau:

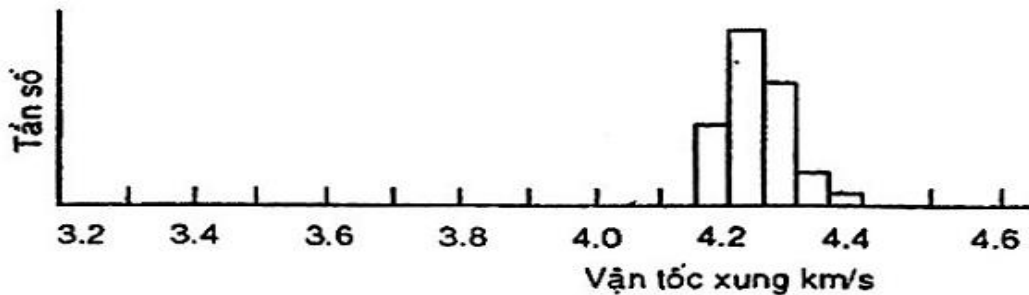
Biểu diễn các kết quả đo vận tốc xung thành biểu đồ. Sự phân tán của biểu đồ càng hẹp thì độ đồng nhất của bê tông càng cao và ngược lại.

Hình C.1 cho thấy biểu đồ đặc trưng cho độ đồng nhất của các loại bê tông khác nhau. Dựa theo dạng biểu đồ để nhận xét sơ bộ.

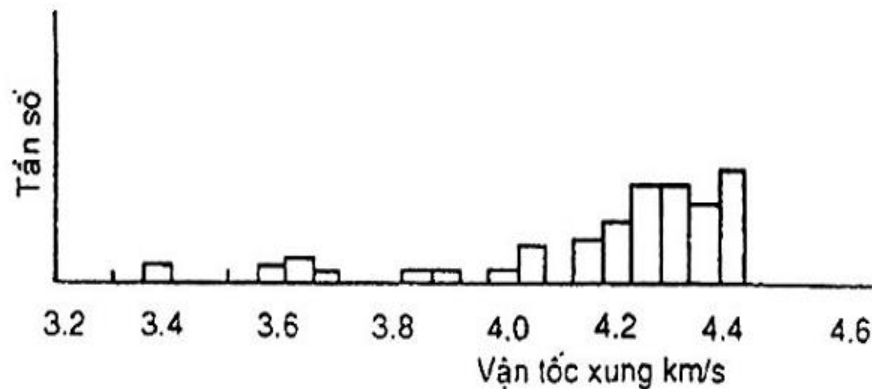
Sau đó có thể tính độ đồng nhất của bê tông bằng hệ số biến động của kết quả đo vận tốc xung.

Với tiêu chuẩn chất lượng xây dựng thông thường thì giá trị hệ số khi có biến động là từ 2 % đến 3 % thì có thể cho là kết cấu được chế tạo đồng nhất.

Hiện chưa có quy định cụ thể về giới hạn giá trị độ biến động khi yêu cầu kiểm tra cường độ bê tông trên kết cấu công trình bằng phương pháp siêu âm.

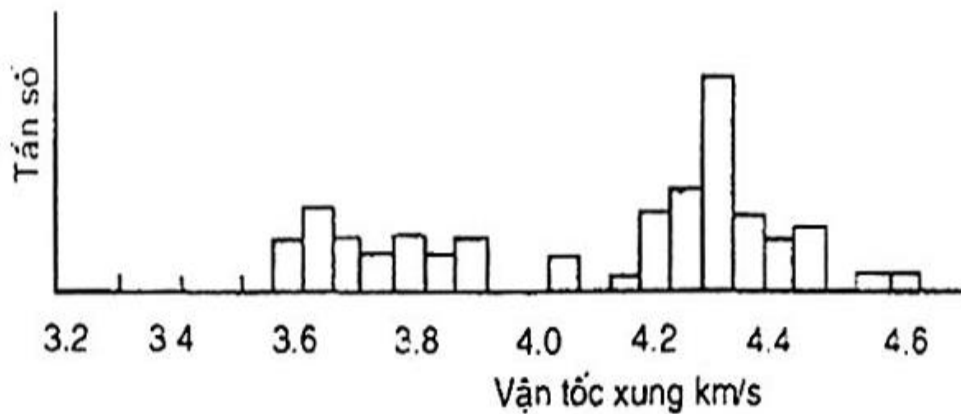


a, Đối với bê tông đồng nhất



b, Đối với bê tông rỗ tổ ong

Hình C.1 - Biểu đồ đặc trưng cho độ đồng nhất của bê tông



c, Đối với bê tông gồm hai loại chất lượng khác nhau

Hình C.1 - Biểu đồ đặc trưng cho độ đồng nhất của bê tông (kết thúc)

C.2 Dò tìm lỗ rỗng

Để dò tìm các lỗ rỗng có thể định cỡ được tiến hành đo vận tốc xung siêu âm trên một mạng lưới điểm đo phủ đều trên bề mặt bê tông vùng nghi ngờ có khuyết tật. Phải lưu ý lựa chọn kích thước lưới đo cho thích hợp. Sau đó vẽ đường đồng mức vận tốc xung của các điểm trên mạng lưới đã đo. Ở chỗ mà vận tốc xung thay đổi nhanh trong phạm vi diện tích bề mặt bê tông nhỏ thể hiện bằng mức độ dày sít của các đường đồng mức vận tốc thì tại đó có lỗ rỗng.

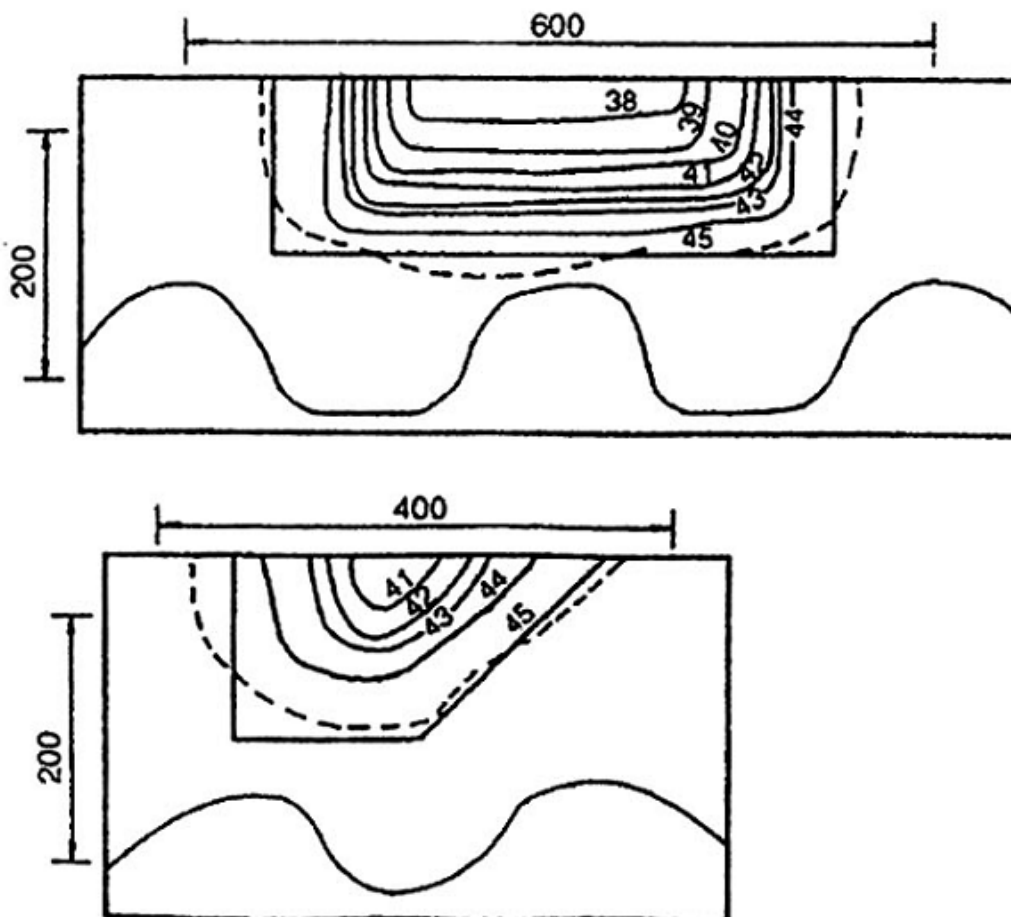
Để phác họa được cụ thể hơn vị trí lỗ rỗng cần phải dùng phép tính gần đúng. Dùng phương pháp thống kê để vạch đường biên của lỗ rỗng với lập luận như sau:

Giả sử các kết quả đo phân bố thông thường và có độ tin cậy là 95% thì giới hạn độ tin cậy thấp hơn được tính theo công thức $V - 1,96 \times \sigma$ trong đó V là giá trị trung bình của vận tốc xung, σ là độ lệch chuẩn của vận tốc xung (đã loại trừ các giá trị quá thấp). Các kết quả đo V nào thấp hơn giới hạn này thì chắc chắn là nó bị tác động bởi những yếu tố khác (ở đây muốn nói tới lỗ rỗng). Đường biểu diễn giới hạn độ tin cậy thấp hơn này (trên bề mặt bê tông được đo V) được coi là chu vi của lỗ rỗng. Phương pháp này sẽ đáng tin cậy hơn nếu lỗ rỗng có biên rõ ràng và nằm ở vùng bê tông có độ đồng nhất cao.

Phương pháp dò tìm và phác họa lỗ rỗng đã được kiểm chứng bằng cách đo V cho một số mẫu bê tông được tạo trước các lỗ rỗng có kích thước khác nhau. Lưới đo có kích thước là 50 m. Kết quả đo được thể hiện trên Hình C.2.

Hình vẽ này cho thấy vận tốc xung giảm nhanh về phía tâm lỗ rỗng vì các đường đồng mức vận tốc chụm lại với nhau, vận tốc xung ở bên trong lỗ rỗng thấp hơn giá trị vận tốc xung trung bình nhiều. Và đường giới hạn độ tin cậy thấp bám rất sát với biên độ của lỗ rỗng.

Khi tiến hành đo V , vẽ các đường đồng mức V trên 2 mặt vuông góc với nhau ta sẽ có được hình ảnh không gian 3 chiều của lỗ rỗng.



CHÚ DẪN:

(...) Giới hạn độ tin cậy thấp

(___) Đường biên thực của lỗ rỗng

Hình C.2 - Đường bao vận tốc xung siêu âm đo được trên mẫu

MỤC LỤC

- 1 Phạm vi áp dụng
- 2 Tài liệu viện dẫn
- 3 Thuật ngữ và định nghĩa
- 4 Nguyên lý
- 5 Thiết bị, dụng cụ
- 6 Xác định vận tốc xung
- 7 Các yếu tố ảnh hưởng đến việc đo vận tốc xung
- 8 Xác định độ đồng nhất của bê tông
- 9 Xác định các khuyết tật
- 10 Xác định sự thay đổi tính chất của bê tông

11 Quan hệ giữa vận tốc xung và cường độ

12 Xác định mô đun đàn hồi và hệ số Poisson động

13 Báo cáo thử nghiệm

Phụ lục A (tham khảo) Phương pháp xác định hệ số chuyển đổi vận tốc xung xác định theo phương pháp gián tiếp sang vận tốc xung xác định bằng phương pháp trực tiếp

Phụ lục B (Tham khảo) Phương pháp xây dựng đường chuẩn V-R

Phụ lục C (Tham khảo) Đánh giá độ đồng nhất và dò tìm khuyết tật của bê tông trên công trình bằng phương pháp siêu âm