

Bê tông nặng - Đánh giá chất lượng bê tông - Phương pháp xác định vận tốc xung siêu âm

Concrete - Assessment of concrete quality - Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete

1. Phạm vi áp dụng

- 1.1. Tiêu chuẩn này quy định phương pháp xác định vận tốc xung siêu âm (không phá hủy) để đánh giá chất lượng bê tông, bê tông cốt thép và bê tông ứng suất trước.
- 1.2. Tiêu chuẩn trích dẫn
 - TCVN 3105 : 1993 ÷ 3120 : 1993 Hỗn hợp bê tông và bê tông nặng - Phương pháp thử.
 - TCXD 162 : 1987 Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ bằng súng bật nảy.
 - TCVN 6106 : 1996 Bê tông - Phương pháp thử không phá hủy bằng siêu âm - Thuật ngữ.
 - BS 1881. Phần 203-1986 Phương pháp thử bê tông - Hướng dẫn phương pháp đo vận tốc xung siêu âm.
 - BS 1881. Phần 201 Chỉ dẫn sử dụng phương pháp thử không phá hủy đối với bê tông đông cứng.
 - Phần 204 Chỉ dẫn sử dụng thiết bị đo chiều dày lớp bảo vệ bằng phương pháp từ.
 - BS 6089 Chỉ dẫn đánh giá cường độ bê tông trên công trình.
 - GOST 17624 : 1987 Bê tông - Xác định cường độ bằng phương pháp xung siêu âm.
 - H.W. Chung, KS Law - Dự đoán chất lượng bê tông tại hiện trường bằng phương pháp xung siêu âm

2. Thuật ngữ - Định nghĩa

- 2.1. Các thuật ngữ được sử dụng trong tiêu chuẩn TCXD 225 : 1998, theo TCVN 6106 : 1996.
- 2.2. Thời gian truyền : là thời gian cần thiết để cho 1 xung siêu âm truyền từ đầu dò phát tới đầu dò thu xuyên qua lớp bê tông nằm giữa 2 đầu dò.
- 2.3. Tín hiệu đầu : là mặt trước của xung được phát hiện trên bộ đếm thời gian của thiết bị thử.

3. Ứng dụng

Phương pháp đo vận tốc xung siêu âm của sóng dọc lan truyền trong bê tông được ứng dụng trong các lĩnh vực, mô tả chi tiết trong các mục từ 8 đến 12 như sau :

- a) Xác định độ đồng nhất của bê tông trong 1 cấu kiện hoặc giữa nhiều cấu kiện (mục 8).
- b) Xác định sự hiện diện và dự đoán sự phát triển của vết nứt, xác định các lỗ rỗng và các khuyết tật khác (mục 9).

- c) Đo sự thay đổi đặc tính của bê tông theo thời gian (mục 10).
- d) Kiểm tra chất lượng bê tông dựa trên mối quan hệ giữa vận tốc xung siêu âm và cường độ (mục 11).
- e) Xác định môđun đàn hồi tĩnh và hệ số Poisson động của bê tông (mục 12).

Các đặc tính của bê tông như độ đàn hồi, cường độ, độ chắc đặc, các khuyết tật (vết nứt bề mặt, các lỗ rỗng) hoặc sự phá hủy bề mặt (do hỏa hoạn hay do tiếp xúc với môi trường xâm thực...) có ảnh hưởng đến vận tốc xung siêu âm truyền trong bê tông và thông qua sự biến đổi của vận tốc xung siêu âm có thể phán đoán về các đặc tính đó.

Khi kiểm tra chất lượng bê tông trên kết cấu ở hiện trường, phương pháp đo vận tốc xung có ưu việt hơn so với phương pháp thí nghiệm cơ học trên các mẫu lập phương, mẫu trụ vì nó quan hệ trực tiếp với bê tông trên kết cấu.

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. Những mối quan hệ này thường được thiết lập trên các mẫu đúc sẵn hoặc được thiết lập trong quá trình thi công (xem mục 11, 12).

Một số yếu tố có ảnh hưởng tới mối quan hệ giữa vận tốc xung và cường độ bê tông là loại xi măng, hàm lượng xi măng, các phụ gia, dạng và cỡ cốt liệu, các điều kiện dưỡng hộ và tuổi của bê tông. Cần thận trọng khi xử lý kết quả trong quá trình xây dựng những mối quan hệ trên, đặc biệt là khi bê tông có cường độ cao hơn 60 MPa.

4. Nguyên tắc của phương pháp

Xung của dao động dọc được tạo ra nhờ một bộ phận biến đổi điện âm - sau đây gọi là đầu dò - được giữ tiếp xúc với mặt của phần bê tông 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, gọi là chuẩn đo, tính bằng kilômét hay mét.

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

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

- a) 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 thử

5.1. Quy định chung

Các bộ phận chủ yếu của thiết bị bao gồm : bộ phận tạo xung điện, 1 đôi đầu dò, bộ phận khuếch đại và bộ phận thiết bị điện đếm thời gian giữa hai thời điểm : thời điểm

lúc xung bắt đầu phát ra từ đầu dò phát và thời điểm xung bắt đầu đến đầu dò thu. Có 2 loại thiết bị điện đếm thời gian và hiển thị kết quả đếm, một loại dùng màn 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 trưng kĩ thuật

Thiết bị cần có những đặc tính sau :

- a) Có khả năng đo thời gian truyền qua độ dài trong phạm vi từ 100mm đến 3m (xem 5.7) với độ chính xác là $\pm 1\%$, được xác định theo trình tự miêu tả ở mục 5.6.
- b) Xung kích thích có độ dốc không lớn hơn $1/4$ chu kì dao động của đầu phát (xem mục 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 xung đã được tạo ra trong chu kì 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 điều 5.3.2 đều có thể dùng được. Loại đầu dò áp điện 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 20KHz đến 150KHz, khi quãng đường truyền rất dài có thể dùng loại đầu dò tần số thấp đến 10KHz và ngược lại có thể dùng loại đầu dò có tần số đến 1MHz cho vữa và hồ xi măng.

Các đầu dò có tần số từ 50 ÷ 60KHz là thông dụng nhất.

5.4. Xác định thời điểm đến của mặt trước của xung

5.4.1. Quy định chung

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 của phân xung đến sớm nhất. Về mặt kĩ thuật, có thể phân biệt được tín hiệu xung với nhiễu khi tỉ số : tín hiệu xung/nhiều nhỏ hơn 1, song độ chính xác yêu cầu 1% của thời gian truyền lại sẽ chỉ đạt được khi tỉ số này lớn hơn .

5.4.2. Máy hiển thị dao động bằng màn hiện sóng

Trong trường hợp đo thời gian bằng màn hiện sóng thì xung cần được khuếch đại cho đến khi thấy xuất hiện xung răng cưa trên trục thời gian. Giao điểm của tiếp tuyến của đường cong tín hiệu với trục thời gian được coi là thời điểm đến của mặt trước xung. Chọn 1 trong những giao điểm này làm gốc 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 điểm 5.2. Tuy nhiên, độ chính xác tuyệt đối của thiết bị luôn luôn bị hạn chế bởi tỉ số : tín hiệu xung/nhiều.

Khi dùng thiết bị hiển thị số có thể xảy ra trường hợp thiết bị hiển thị thời gian đo 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 2 đầu dò lên 2 đầu đối diện của thanh chuẩn đã biết trước thời gian truyền trong nó. Trong mọi lần điều chỉnh, phải đặt đầu dò lên 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 2 đầu dò. Tùy theo 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 xung.

Cần kiểm tra các đặc tính của thiết bị bằng cách đo trên 2 thanh chuẩn đã biết trước thời gian truyền xung trong chúng với độ chính xác $\pm 0,2\mu s$. Chu kỳ kiểm định máy là 5 năm, 1 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 mục 5.4. Kết quả kiểm tra không được sai khác quá $\pm 0,5\%$ so với trị số đã biết của thanh chuẩn.

5.7. Độ chính xác của phép đo độ dài đường truyền

Sai số cho phép của phép đo độ dài là $\pm 1\%$. 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 300mm, 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 3 cách đặt đầu dò như sau :

- Hai đầu dò đặt trên 2 mặt đối diện (truyền trực tiếp)
- Hai đầu dò đặt trên 2 bề mặt vuông góc (truyền bán trực tiếp).
- Hai đầu dò đặt trên cùng 1 bề mặt (truyền gián tiếp hoặc truyền bề mặt).

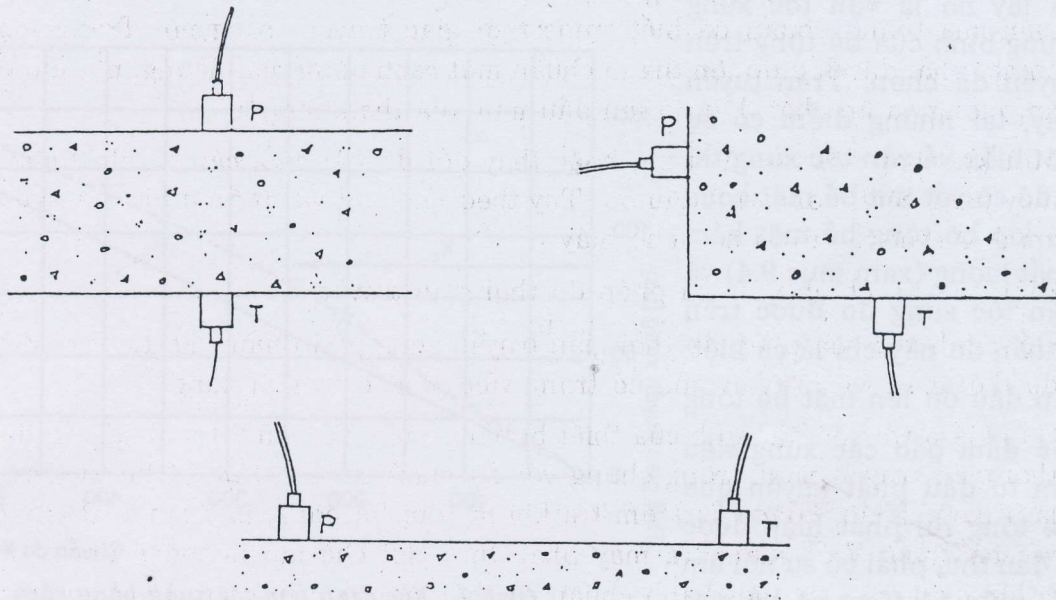
Ba cách bố trí đầu dò này được thể hiện trong các hình 1a, 1b, 1c.

6.2. Xác định vận tốc xung theo cách truyền trực tiếp

Nên dùng cách truyền trực tiếp vì nó có ưu điểm là năng lượng truyền qua giữa 2 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 truyền âm 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 cách truyền bán trực tiếp

Cách truyền bán trực tiếp có độ nhạy nằm giữa độ nhạy của 2 cách truyền kia, mặc dù trong cách đo này, độ chính xác của phép đo chiều dài đường truyền có kém hơn nhưng việc lấy khoảng cách giữa tâm 2 mặt đầu dò làm chiều dài đường truyền vẫn đạt độ chính xác cần thiết.



Hình 1 : Phương pháp truyền và nhận xung
 a) Truyền trực tiếp ; b) Truyền bán trực tiếp ; c) Truyền gián tiếp hay bề mặt
 P : Đầu dò phát ; T : Đầu dò thu

6.4. Xác định vận tốc xung theo cách truyền gián tiếp

Cách truyền gián tiếp được dùng khi bê tông 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 (xem mục 9).

Cách đo này có độ nhạy thấp nhất trong 3 cách đo, với cùng một chiều dài đường truyền cho trước, theo cách đo này, biên độ của tín hiệu tại đầu thu chỉ bằng 2 hay 3% biên độ của tín hiệu khi đo theo cách 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 chuẩn 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 chuẩn đo tương ứng. Xem ví dụ trên hình 2 đường b.

Do độ dốc ($tg\alpha$) của đường thẳng 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 xung thì ở đó có vết nứt bề mặt hoặc có lớp bê tông bề mặt kém chất lượng (xem mục 9.4) và vận tốc xung đo được trên chuẩn đo này chỉ là cá biệt.

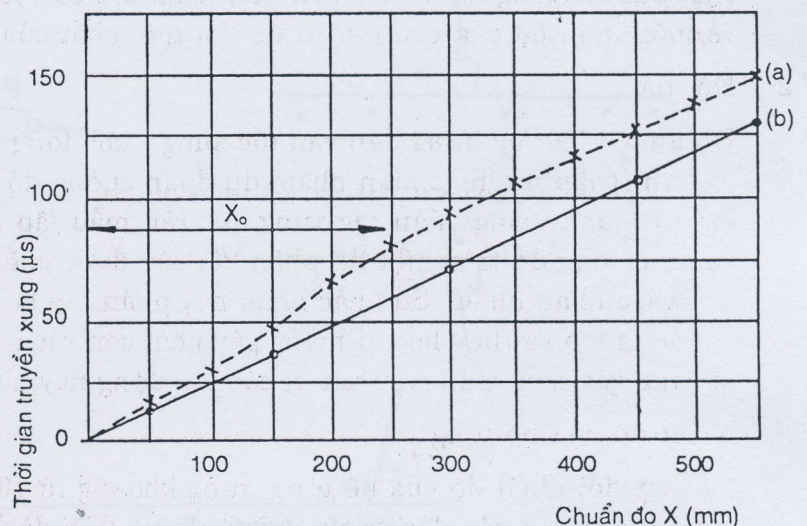
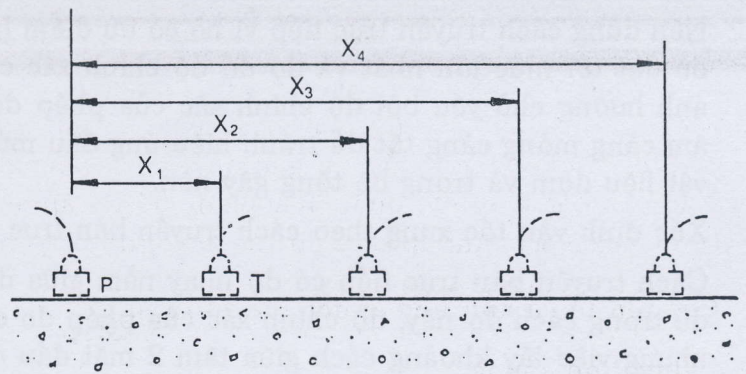
6.5. Áp đầu dò lên mặt bê tông

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 bề tông và bề mặt các đầu dò. Để tiếp âm tốt, bề mặt bê tông cần được tạo đủ phẳng bằng cách dùng chất truyền âm và đồng thời phải áp mạnh đầu dò lên mặt bê tông. Các chất truyền âm thường dùng là dầu mỡ đông, 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 150mm khi truyền trực tiếp và tối thiểu là 400mm 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



Hình 2 : Xác định vận tốc xung bằng cách truyền gián tiếp (bề mặt)

a) Kết quả đối với bê tông có lớp kém chất lượng dày 50mm (xem mục 9.4) ; b) Kết quả đối với bê tông đồng nhất

thể phát và nhận xung qua mũi nhọn có đường kính 6mm. Loại đầu dò có dạng hình bán cầu thì đầu thu sẽ thu tốt hơn, nhưng đầu phát sẽ không thể phát đủ năng lượng vào bề mặt bê tông để truyền qua, dù đường truyền rất ngắn. Nhiều hình dạng đầu dò đã được nghiên cứu để giải quyết cho những trường hợp đặc biệt. 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. Quy định chung

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

Nhiệt độ, °C	Hiệu chỉnh vận tốc xung, %	
	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 mục 7.5, đường truyền phải dài tối thiểu là 100mm đối với bê tông dùng cốt liệu thô là 20mm và dài tối thiểu là 150mm đối với bê tông dùng cốt liệu thô từ 20mm đến 40mm. 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 mục 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 siêu âm

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. Quy định chung

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, đường kính cốt thép, 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 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 (xem BS 1881 : phần 204) để phát hiện vị trí cốt thép.

7.6.2. Trường hợp trục thép song song với phương truyền xung siêu âm

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

Với trục thép song song với đường truyền xung, vận tốc xung trong bê tông (Km/s), được tính theo công thức :

$$V_b = \frac{2aV_t}{\sqrt{4a^2 + (TV_t - L)^2}} \quad (2)$$

Với điều kiện là $V_t > V_b$

Trong đó :

V_t là vận tốc xung trong thép, tính bằng kilômét trên giây.

a là khoảng cách từ mép thanh thép đến đường nối hai điểm gần nhất của hai đầu dò - xem hình 3, tính bằng milimét.

T là thời gian truyền, tính bằng micro giây.

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

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 tỉ 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 $\leq 12\text{mm}$. Trong thực tế không phát hiện được vùng ảnh hưởng của thép có đường kính $\leq 6\text{mm}$ và có thể bỏ qua ảnh hưởng này.

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 :

$$V_b = kV_m \quad (3)$$

Trong đó :

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

k là hệ số hiệu chỉnh tính theo công thức :

$$k = \gamma + 2 \frac{a}{L} \sqrt{1 - \gamma^2}$$

Với
$$\gamma = \frac{V_b}{V_t}$$

Trên hình 3 cho 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 γ tương ứng tra trên hình vẽ 3 với biểu đồ 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 γ 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

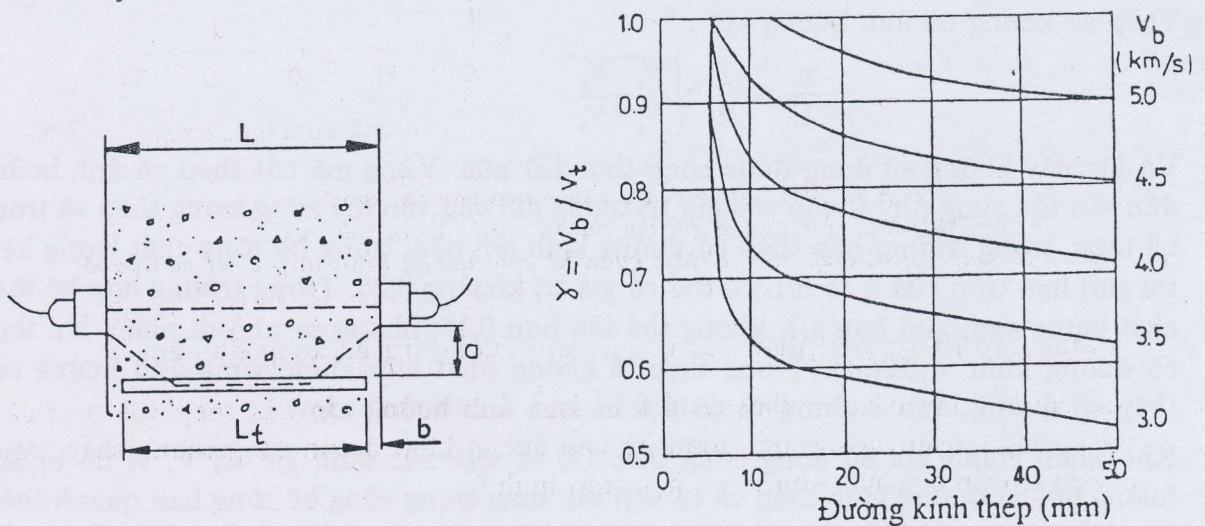
thép. Trường hợp các thanh thép nằm ngay trên đường truyền xung giữa hai đầu dò thì hệ số hiệu chỉnh tính như sau :

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

Trong đó :

L_t là chiều dài thanh thép, tính bằng milimét.

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 $\pm 3\%$.

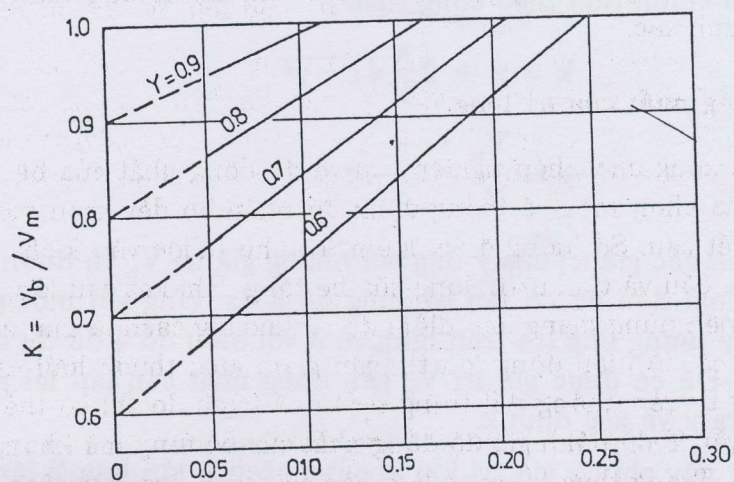


Hình 3 : Ảnh hưởng của cốt thép đến vận tốc xung :

khi thép nằm song song với đường truyền xung siêu âm

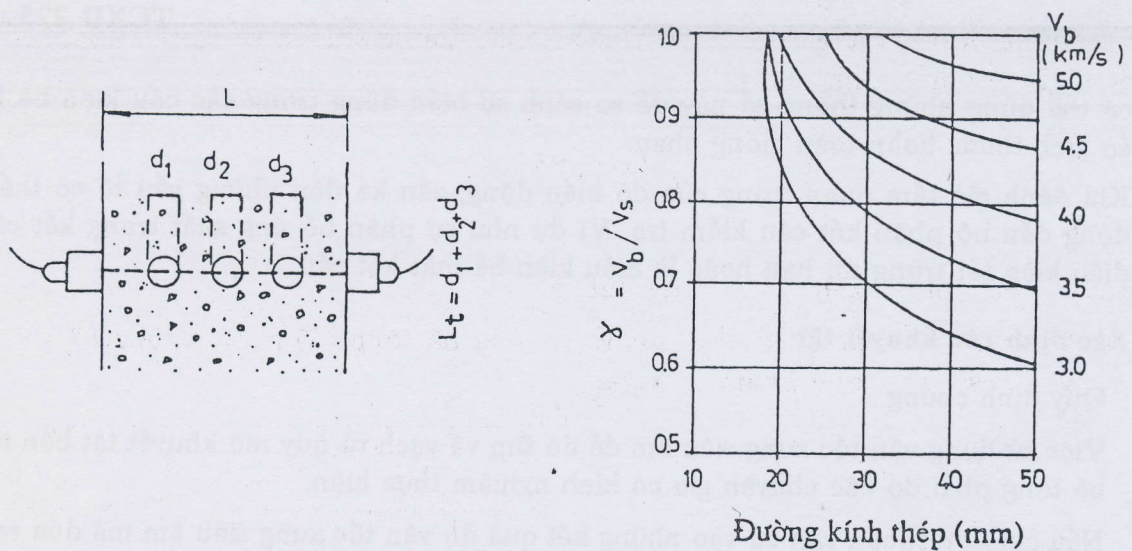
a) Mật cốt bê tông có cốt thép ;

b) Mối quan hệ giữa đường kính cốt thép và tỉ số vận tốc.



Hình 4 : Ảnh hưởng của cốt thép đến vận tốc xung :

hệ số hiệu chỉnh khi thép nằm song song với đường truyền xung siêu âm (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 siêu âm
 a) Mặt cắt bê tông có cốt thép dọc ; b) Mối quan hệ giữa đường kính thép và tỉ số vận tốc

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

Lúc này, có thể dùng lí thuyết để tính toán ảnh hưởng lớn 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 20mm. Trường hợp các thanh thép có đường kính từ 20 đến 50mm, 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 mục 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.

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, 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 1m, 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 không đổi trong suốt quá trình đo thì có thể sử dụng ngay giá trị thời gian truyền T 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 như 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. Quy định chung

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 2 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 100mm ở độ sâu khoảng hơn 100mm. Việc xác định vị trí khuyết tật được căn cứ trên các đường đồng mức của các xung siêu âm. Tại những chỗ 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 rạn 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 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 phát hiện 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 2 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 2 cách đặt đầu dò. Hình 6a thể hiện cách đặt đầu dò thích hợp với mục đích này. Lấy 2 giá trị x là 150mm và 300mm, đo thời gian truyền tương ứng với chúng. Với những trị số x như trên thì chiều sâu C (mm) của vết nứt chứa đầy không khí được tính bằng công thức :

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

Trong đó :

t_1 là thời gian truyền khi $x = 150$ mm, tính bằng micro giây.

t_2 là thời gian truyền khi $x = 300$ mm, tính bằng micro giây.

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 đồng nhất.

Có thể kiểm tra xem vết nứt có vuông góc với bề mặt bê tông hay không bằng cách đặt 2 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 ở vùng 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 3 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 $Y = 150\text{mm}$. 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 C (mm) của vết nứt nhìn thấy sẽ được tính theo công thức :

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

Trong đó :

T_2 là thời gian truyền ứng với khoảng cách $2Y$, tính bằng micro giây.

T_3 là thời gian truyền ứng với khoảng cách $3Y$, tính bằng micro giây.

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 bề tông không có 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 mục 10 để đo và kết quả được vẽ trên biểu đồ như ở hình 2. Với chuẩn đo ngắn, xung sẽ truyền qua lớp bề mặt và độ dốc α của đường thực nghiệm cho ta vận tốc xung trong lớp bề mặt này. Với chuẩn đo có độ lớn nhất định, xung đầu tiên sau khi đi qua mặt phân cách giữa 2 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 (mm) lớp bề mặt bị kém chất lượng theo khoảng cách x_0 mà tại đó thấy độ dốc thay đổi (xem hình 2) và theo vận tốc xung đo được trong 2 lớp bê tông khác nhau bằng công thức sau :

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

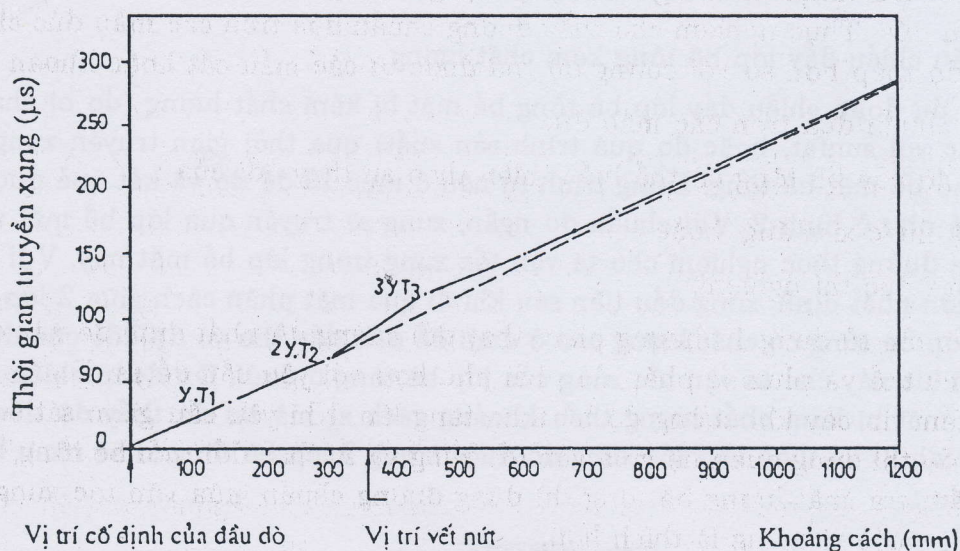
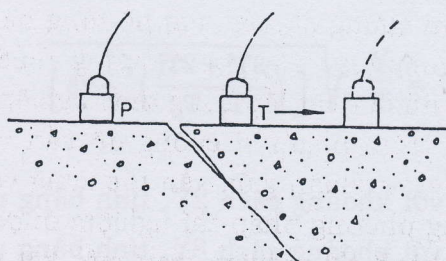
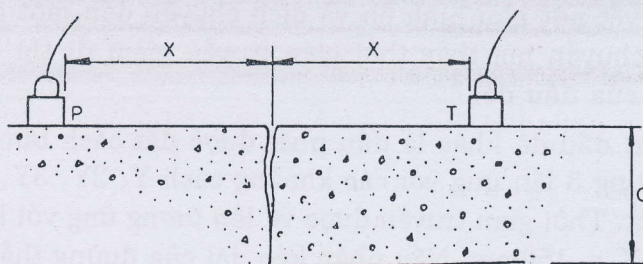
Ở đây :

V_h là vận tốc xung trong lớp bê tông bị hư hỏng, tính bằng kilômét trên giây

V_b là vận tốc xung trong lớp bê tông tốt ở dưới, tính bằng kilômét trên giây

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

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.



Hình 6 : Cách bố trí đầu dò để xác định chiều sâu 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)

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 giờ đầu tiên. Lúc này, vận tốc xung thay đổi nhanh là do sự

thay đổi hóa lí trong cấu trúc vữa xi măng và nếu muốn theo dõi chặt chẽ quá trình thay đổi này thì cứ cách 1 hoặc 2 giờ tiến hành đo một lần là lí tưởng. Sau 36 giờ 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. Quy định chung

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, tỉ 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 một cấu kiện hoàn chỉnh. Độ tin cậy của đường chuẩn phụ thuộc vào lượng mẫu đại diện cho kết cấu kiểm tra. Để thuận tiện, người ta xây dựng đường chuẩn này bằng cách thí nghiệm các mẫu đúc. Thực nghiệm cho thấy đường chuẩn dựa trên các mẫu đúc 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 đúc

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

- a) Tỉ lệ nước xi măng, hoặc
- b) Tuổi ở lúc thí nghiệm.

Yêu cầu chỉ sử dụng 1 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 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 tỉ 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 2 mặt giáp thành khuôn. Trong trường hợp là 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 do 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 cường độ cho 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 mục 11.2. Với loại bê tông bất kì 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 phân đường chuẩn bị thiếu khi xây dựng từ các lõi khoan.

11.4. Đường chuẩn dùng 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 mục 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 20TCN 162-87 và BS 1881 : phần 201. 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 hoặc dùng kĩ thuật suy giảm tia γ , 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 môđun 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 :

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

Trong đó :

E_d là môđun đàn hồi động, tính bằng Mêga Niuton trên mét vuông

ν là hệ số Poisson động

ρ là khối lượng thể tích, tính bằng kilôgam trên mét khối

V là vận tốc xung, tính bằng kilôgam trên mét.

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

$$\frac{E_d}{\rho} = 4n^2L^210^{-6} \quad (9)$$

Trong đó :

n là tần số cộng hưởng, xác định theo BS 1881 : Part 5, tính bằng Héc.

L là chiều dài mẫu thử, tính bằng mét.

Kết hợp công thức (8) và (9) ta có :

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

Trị số ν có thể xác định từ bảng 3.

Bảng 3 : Các giá trị của hệ số Poisson động

$\frac{nL \cdot 10^{-3}}{V}$	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

Trị số môđun đàn hồi (động và tĩnh), hệ số Poisson và khối lượng thể tích thay đổi trên từng điểm của kết cấu.

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 kì 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 $\pm 10\%$.

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

Vận tốc xung, km/s	Môđun đàn hồi, MN/m ²	
	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

Nội dung báo cáo gồm những thông tin sau :

a) Phương pháp đo vận tốc xung đã được thực hiện theo TCXD 225 : 1998.

- b) Ngày giờ và địa điểm làm thí nghiệm.
- c) Mô tả kết cấu hay mẫu kiểm tra.
- d) 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 đã dùng.
- e) Điều kiện dưỡng hộ và tuổi của bê tông ở lúc thí nghiệm.
- f) Đặc điểm kĩ thuật của môi trường bao quanh bê tông.
- g) Sơ đồ chỉ rõ 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.
- h) Điều kiện bề mặt tại điểm thí nghiệm (như độ nhẵn, trát thủ công, độ ráp, có vết nứt hay mảnh vụn do hư hỏng vì hỏa hoạn).
- i) Dự đoán độ ẩm bên trong của bê tông tại thời điểm thí nghiệm và những điều đã biết ví dụ : điều kiện dưỡng hộ, bề mặt để ướt, hay sấy khô (ngay khi tháo khuôn) hay để mẫu trong không khí khô (khi tháo khuôn trong điều kiện khô).
- j) Loại và cấu tạo của thiết bị thử, độ chính xác, tần số của xung và bất kì một đặc tính đặc biệt nào.
- k) Chiều dài đường truyền, phương pháp đo và độ chính xác dự đoán của phép đo.
- l) Trị số vận tốc xung đo được (kể cả những hiệu chỉnh cần thiết về nhiệt độ, ảnh hưởng của thép...).
- m) Kết quả dự đoán về cường độ, khuyết tật, độ đồng nhất... tùy theo yêu cầu kiểm tra.

Phụ lục 1
(Tham khảo)

Xác định bằng thực nghiệm hệ số chuyển đổi vận tốc xung đo theo phương pháp gián tiếp sang vận tốc xung đo theo phương pháp trực tiếp.

- A.1. Việc xác định hệ số chuyển đổi (K) từ vận tốc xung siêu âm đo theo phương pháp bề mặt (gián tiếp) thành vận tốc xung đo theo phương pháp xuyên âm (trực tiếp) được thực hiện vào lúc chuẩn bị thí nghiệm kết cấu và thực hiện ít nhất mỗi năm một lần.
- A.2. Chế tạo ít nhất 6 mẫu lăng trụ có kích thước $100 \times 100 \times 200\text{mm}$ 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 bề mặt (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 120mm. Bề mặt bê tông trên mẫu và trên 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 đỡ bê tông.

Đo thời gian truyền xung theo phương pháp bề mặt ít nhất 3 lần cho 1 vùng đo.

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

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

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 , v_{mi} là vận tốc xung trung bình của mẫu thứ i , đo bằng phương pháp trực tiếp và 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 :

$$S_K = W d_n \quad (\text{A.3})$$

Trong đó $W = K_{\max} - K_{\min}$

K_{\max} , K_{\min} là giá trị lớn nhất và 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 thử 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 mục B.3 - Phụ lục B.

- A.6. Cho phép tiến hành đo vận tốc xung siêu âm theo điều 3 của phụ lục này đối với các vùng kết cấu mà điều kiện kĩ 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 :

$$V = K \frac{l}{t_m} 10^3 \quad (\text{A.4})$$

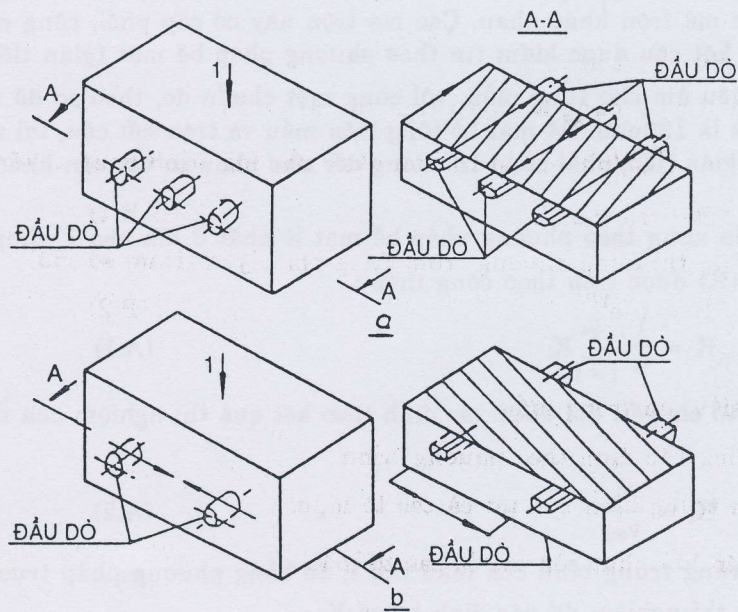
Trong đó :

t_m là thời gian truyền xung khi đo theo phương pháp gián tiếp, tính bằng micro giây.

l là chuẩn đo, tính bằng milimét.

V , tính bằng mét trên giây.

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



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

a) Sơ đồ thí nghiệm mẫu lăng trụ theo phương pháp xuyên âm ;

b) Sơ đồ thí nghiệm mẫu lăng trụ theo phương pháp bề mặt.

1. Phương đúc mẫu.

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 15^3 (cm) hoặc 10^3 (cm), dưỡng hộ mẫu cho đến tuổi thí nghiệm, đo vận tốc xung siêu âm V_i , ép 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 $R_{mi}^{max} - R_{mi}^{min} \leq 2\bar{R}_m (60 - \bar{R}_m)/100$ thì dùng phương trình dạng tuyến tính :

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

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

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

Với :

V : vận tốc xung siêu âm trong mẫu

R : cường độ bê tông xác định theo phương trình

\bar{R}_m : cường độ nén trung bình của tất cả các tổ mẫu.

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

R_{mi}^{min} : 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 :

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

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

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

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

Trong đó :

$$\bar{R}_m = \frac{\sum_{i=1}^n R_{mi}}{n} \quad (B.7)$$

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

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

với R_{mi} và V_i là cường độ và vận tốc của tổ mẫu thứ i .

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

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

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

Ở đây S : Độ lệch bình phương trung bình, xác định theo công thức

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

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

$$R_i = \begin{cases} a_0 + a_1 V_i & \text{Đối với phương trình (B.1)} \\ b_0 e^{kV} & \text{Đối với phương trình (B.2)} \end{cases}$$

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 :

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

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

$$q = \begin{cases} R_m - a_0 & \text{khi dùng (B.1)} \\ \overline{R_m} \ln \frac{\overline{R_m}}{b_0} & \text{khi dùng (B.2)} \end{cases} \quad (\text{B.13})$$

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

- B.4. Vẫn cho phép dùng phương trình (B.1) để xây dựng đường chuẩn khi

$$R_{mi}^{\max} - R_{mi}^{\min} > 2\overline{R_m} (60 - \overline{R_m})/100$$

nếu $\frac{S_c}{R_m} \times 100\% \leq 12\%$

- B.5. Kiểm tra đường chuẩn

Đường chuẩn được kiểm tra định kì ít nhất 1 lần trong thời gian 2 tháng. Cách kiểm tra như sau :

- B.5.1. Chế tạo ít nhất 6 tổ mẫu. Xác định vận tốc V_i và cường độ R_{mi} của từng tổ mẫu theo điều 11.2 của TCXD 225 : 1998. 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 2 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 : $S_n < 1,5 S_c$ 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 dao khác cũng phải kiểm tra đường chuẩn theo điều 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 xuyên âm. Bê tông mác 250.

Để xây dựng đường chuẩn "V - R", đã tạo 20 tổ mẫu $10 \times 10 \times 10$ (cm) trong 5 ngày. Mẫu được dưỡng hộ nhiệt và thí nghiệm ở tuổi 4 giờ đến 8 giờ sau khi dưỡng hộ. Sau khi loại bỏ các số liệu dị thường, kết quả thí nghiệm các mẫu cho ở bảng B.1 phụ lục B.

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 $R_m^{\min} = 20,6\text{Mpa}$; $R_m^{\max} = 36,9\text{Mpa}$ (Tổ mẫu số 1 và tổ mẫu số 17). Vì :

$R_m^{\max} - R_m^{\min} = 16,3\text{Mpa} < 2 \times 27,79 \times (60 - 27,79)/100 = 17,9\text{Mpa}$, nên dùng đường chuẩn dạng tuyến tính :

$$R_i = a_0 + a_1 V$$

Các hệ số a_0, a_1 được tính toán theo các công thức (3), (4) của phụ lục :

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

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

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 của phụ lục B. 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 (xem bảng B.1) thấy rằng tổ mẫu thứ hai không thỏa mãn điều kiện (B.10), phải loại bỏ tổ mẫu này.

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

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

$$\bar{V} = \frac{4029 + 4080 + \dots + 4436}{19} = 4232,4 \text{ m/s} ;$$

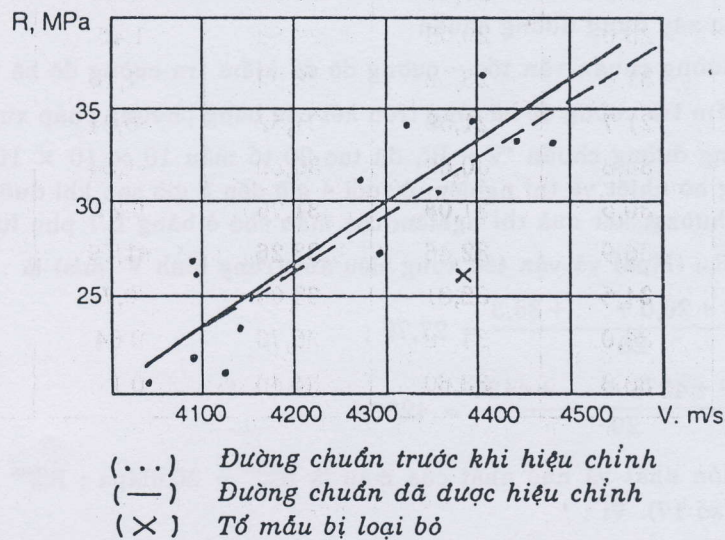
$$a_1 = \frac{(27,88 - 20,6)(4232,4 - 4029) + (27,88 - 22,0)(4232,4 - 4080) + \dots + \dots}{(4232,4 - 4029)^2 + (4232,4 - 4080)^2 + \dots + (4232,4 - 4436)^2} = 0,0325$$

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

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

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

Biểu đồ đường chuẩn trước và sau khi hiệu chỉnh được vẽ trên hình B.1.



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 mục B.7.1.

Tiến hành kiểm tra bằng phương pháp xuyên âm, không dùng hệ số chuyển đổi K. Lúc này, sai số cường độ tính toán theo công thức (B.12) phụ lục B :

$$S_c = \sqrt{S^2 + q \cdot 0} = S = 2,48$$

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

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			$\frac{R_i - R_{mi}}{S}$		Chú thích
		Theo kết quả nén mẫu (R _{mi})	Theo đường chuẩn (R _i)		Trước xử lí	Sau xử lí	
			Trước xử lí	Sau xử lí			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	4029	20,6	21,35	21,26	0,27	0,27	
2	4371	26,0	31,65	-	2,02	-	tổ mẫu bị loại bỏ
3	4080	22,0	22,89	22,92	0,32	0,37	

TCXD 225 : 1998

1	2	3	4	5	6	7	8
4	4097	26,3	23,40	23,47	-1,04	-1,14	
5	4116	21,1	23,97	23,09	1,03	1,21	
6	4137	23,4	24,60	24,77	0,43	0,55	
7	4136	26,0	24,57	24,74	-0,51	-0,51	
8	4187	26,4	26,11	26,40	-0,10	0	
9	4195	29,2	26,35	26,66	-1,02	-1,03	
10	4248	25,5	27,94	28,38	0,87	1,16	
11	4232	28,5	27,46	27,86	-0,37	-0,26	
12	4285	25,0	29,06	29,58	1,45	1,85	
13	4267	31,6	28,52	29,00	-1,10	-1,05	
14	4037	21,7	21,59	21,52	-0,04	-0,07	
15	4316	34,3	30,00	30,59	-1,54	-1,50	
16	4352	30,5	31,08	31,76	0,21	0,51	
17	4398	36,9	32,46	33,26	-1,59	-1,47	
18	4393	34,5	32,31	33,09	-0,78	-0,57	
19	4475	33,0	34,78	35,76	0,64	1,11	
20	4436	33,3	33,60	34,49	0,11	0,48	

Phụ 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 như nêu ở mục 8 TCXD 225 : 1998. 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 phụ lục C thể hiện các dạng biểu đồ đặc trưng cho độ đồng nhất của bê tông. Dựa theo dạng biểu đồ để nhận xét sơ bộ.

Sau đó có thể đánh giá độ đồng nhất của bê tông qua hệ số biến động của vận tốc xung siêu âm. Với tiêu chuẩn chất lượng xây dựng thông thường khi có biến động là 2 - 3% thì có thể coi bê tông trên kết cấu là đồng nhất. Nếu hệ số biến động lớn hơn thì phải xem xét lại.

C.2. Dò tìm lỗ rỗng

Để dò tìm các lỗ rỗng có thể định cỡ được (xem mục 9 TCXD 225 : 1998) người ta đo vận tốc xung siêu âm trên một mạng lưới điểm đo phù đều trên bề mặt bê tông ở 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.

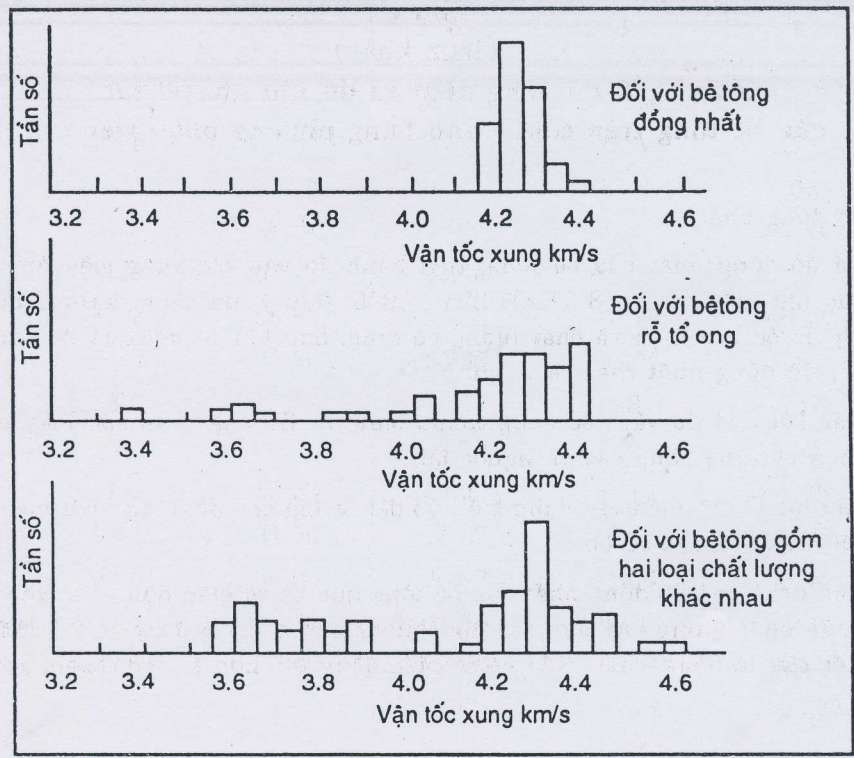
Để phác họa được cụ thể hơn vị trí lỗ rỗng cần phải dùng phép tính gần đúng. Người ta dùng phương pháp thống kê để vạch đường biên của lỗ rỗng với lập luận như sau :

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 $V - 1,96\sigma$ 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.

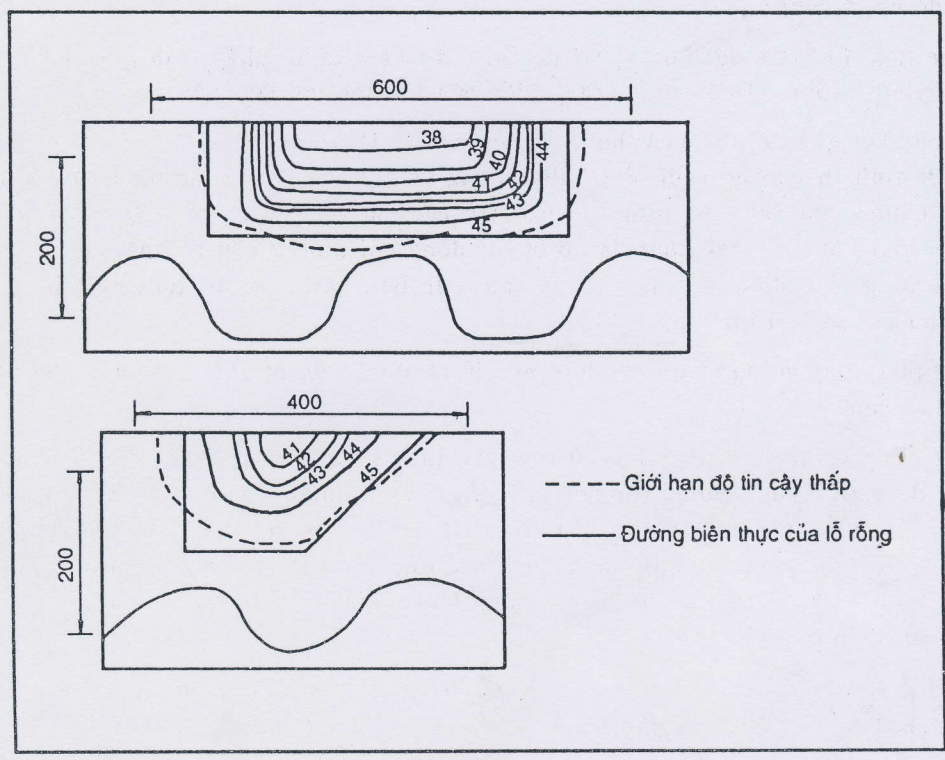
Phương pháp này sẽ đáng tin cậy hơn nếu lỗ rỗng có biên rõ ràng và nằm ở vùng bê tông có độ đồng nhất cao.

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 50mm. Kết quả đo được thể hiện trên hình C.2 phụ lục C. Hình 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 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.



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



Hình C.2 : Đường bao vận tốc xung đo được trên mẫu.