

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA KÍCH THƯỚC HÌNH HỌC ĐẾN KẾT QUẢ ĐO ĐỘ THẨM KHÍ CỦA VỮA XI MĂNG

TS. TỬ SỸ QUÂN

Trường đại học Giao thông Vận tải

Tóm tắt: Trong phòng thí nghiệm, để xác định độ thấm nội tại của môi trường lỗ rỗng, trước đây người ta thường dùng nước làm chất lỏng thẩm thấu qua mẫu vật liệu cần nghiên cứu. Phương pháp này được áp dụng rộng rãi cho những loại vật liệu có độ rỗng cao, tính thấm thấu lớn như đất, cát hoặc sỏi đá. Tuy nhiên, phương pháp này không thực sự hiệu quả với những vật liệu có khả năng chống thấm cao bởi thời gian làm thí nghiệm kéo dài, thiết bị thí nghiệm phức tạp, tốn kém. So với chất lỏng, chất khí có khả năng thẩm nhập và thẩm thấu cao hơn. Do vậy, để khắc phục tình trạng trên, đối với bê tông nói chung, người ta sử dụng khí trơ làm chất lưu thẩm thấu qua mẫu đo. Việc đánh giá sai số của kết quả thí nghiệm là cơ sở để nhận xét nhận tố nào đóng vai trò quyết định, từ đó tìm ra biện pháp nâng cao độ chính xác, cải tiến dụng cụ và quy trình thí nghiệm.

Từ khóa: Định luật Darcy, độ thấm nội tại, hệ số thẩm thủy lực, độ thẩm khí, hiệu ứng Klinkenberg.

Độ thấm nội tại là đại lượng được đặc trưng bởi tính chất cơ lý, cấu trúc phân bố lỗ rỗng của vật liệu mà không phụ thuộc vào chất lưu truyền qua môi trường xem xét. Kích thước lỗ rỗng càng lớn, độ nhám bề mặt lỗ rỗng càng nhỏ, tính kết nối càng cao thì khả năng thẩm nhập của chất lưu càng lớn.

Việc sử dụng chất lỏng hay chất khí trong thí nghiệm cần được cân nhắc kỹ lưỡng sao cho phù hợp, có tính đến sự tương tác giữa môi trường lỗ rỗng và chất lưu được lựa chọn.

1. Các đặc trưng của môi trường

1.1 Độ thấm nước

Nước có thể được xem như chất lỏng không nén được, định luật Hagen- Poiseuille cho phép chúng ta xác định độ thấm nội tại của môi trường rỗng:

$$v = -\frac{K_v}{\mu_E} \nabla P^* \quad (1)$$

với v - vận tốc dòng chảy (m/s), ∇P^* - gradient áp suất phát động của chất lỏng (Pa/m), K_v - tenseur độ thấm nội tại của môi trường rỗng (m^2), μ_E - độ nhớt động của chất lỏng (Pa.s).

Theo Bouasker [1], trong thực hành, người ta thường sử dụng định luật Darcy, một ứng dụng của

định luật Hagen- Poiseuille với những giả thiết như sau:

- Lực dòng gây ra do độ nhớt rất lớn so với lực quán tính;
- Dòng chảy được giả thiết là thuộc chế độ chảy tầng;
- Chất lỏng thẩm thấu không phản ứng hóa học với môi trường rỗng.

Khí chất lỏng không nên được và nhớt thuần túy, ta có quan hệ như sau:

$$\underline{K} = K_v \frac{\rho_E g}{\mu_E} \quad (2)$$

với ρ_E - khối lượng riêng của chất lỏng (kg/m^3), $\underline{K}$ - tenseur hệ số thẩm thủy lực (m/s).

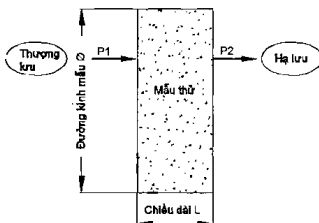
Trong bài toán 1D, ma trận $\underline{K}$ suy biến thành hệ số thẩm K .

Khí đó định luật Darcy có dạng:
$$\frac{Q}{S} = K \cdot \frac{\Delta H}{\Delta L} \quad (3)$$

với Q - lưu lượng chất lỏng đi qua mẫu (m^3/s), S - diện tích thiết diện của mẫu (m^2), ΔH - độ chênh về thế năng (m), ΔL - khoảng cách giữa 2 mặt cắt được xem xét.

1.2 Độ thẩm khí

Trong thực tế, khí trơ là chất lưu nén được và dòng chảy của nó không phải là nhớt thuần túy. Do đó, không thể áp dụng định luật Darcy cho trường hợp này. Ở thang bậc micro, trong chế độ dừng, dòng chảy của khí trơ là sự kết hợp của 2 cơ chế: dịch chuyển nhớt và dịch chuyển trượt.



Hình 1. Mô hình hóa thí nghiệm phun khí trơ qua mẫu

Sự tương tác giữa các phân tử chất khí với nhau là nguồn gốc tạo nên độ nhớt. Trái lại, sự trượt lại được tạo ra do sự tương tác giữa phân tử khí và thành lỗ rỗng. Sự trượt càng trở nên quan trọng khi độ thấm của môi trường là nhỏ và áp suất phun khí là thấp.

Với áp suất phun thấp, khí trơ có thể được xem như khí lý tưởng. Khi đó ta có quan hệ:

$$K_a = \frac{Q_2}{S} \frac{2\mu L P_2}{(P_1^2 - P_2^2)} \quad (4)$$

với K_a - độ thấm tường (m^2), Q_2 - lưu lượng khí thấm qua mẫu (m^3/s), L - độ dài của mẫu (m), S - thiết diện của mẫu (m^2), P_1 - áp suất đầu vào của mẫu (Pa), P_2 - áp suất đầu ra của mẫu (Pa), μ - độ nhớt động (Pa.s).

Trong thực tế, độ thấm nội tại chỉ phụ thuộc vào sự ngỗng ngèo và độ bão hòa của môi trường. Klinkenberg và Carman đã đề xuất ra cách tính độ thấm nội tại từ độ thấm khí. Tuy nhiên hiệu ứng Klinkenberg thường được ưu tiên sử dụng vì sự thuận tiện trong công tác thí nghiệm.

1.3 Hiệu ứng Klinkenberg

Theo Klinkenberg, độ thấm nội tại K_v là hàm của độ thấm tường K_a và nghịch đảo của áp suất trung

$$\text{bình: } K_a = K_v \left(1 + \frac{\beta_K}{P_m} \right) \quad (5)$$

trong đó: β_K - hệ số Klinkenberg (Pa).

Hệ số β_K phụ thuộc vào độ rỗng của môi trường và tính chất của khí thấm qua. Khi áp suất trung bình P_m tăng, tỉ số $\frac{\beta_K}{P_m}$ giảm về 0, K_a tiến đến giá trị K_v .

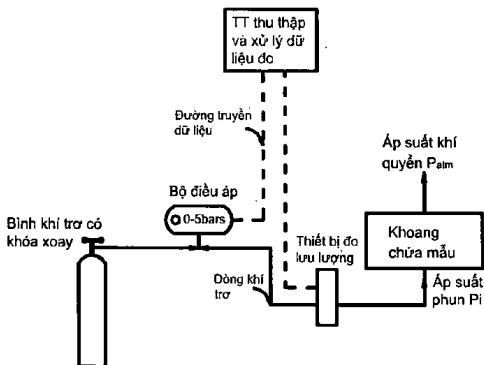
Độ thấm nội tại K_v phụ thuộc vào độ ẩm của vật liệu khi làm thí nghiệm. Giá trị K_v tăng khi hàm lượng nước giảm.

Với giá trị áp suất trung bình định sẵn, β thể hiện đặc tính của vật liệu đối với một trạng thái độ ẩm đã cho. Lấy xấp xỉ tuyến tính các giá trị của K_a theo nghịch đảo của áp suất trung bình P_m , ta có thể ước lượng được độ thấm nội tại K_v . Trong thực tế, những điểm thuộc chế độ chảy tầng quyết định độ chính xác của việc lấy xấp xỉ K_v .

2. Mô tả dụng cụ thí nghiệm

Mô hình thí nghiệm dựa trên cơ sở thiết bị đo độ thấm khí của vữa xi măng, đã được phát triển và ứng dụng tại phòng thí nghiệm về Xây dựng và Cơ học (Laboratoire en Génie Civil et Génie Mécanique) thuộc trường Trung ương thành phố Nantes (Ecole Centrale de Nantes), Cộng hòa Pháp.

Thiết bị sử dụng trong phòng thí nghiệm bao gồm một khoang hình trụ loại Cembureau [Kollek 1988], chứa mẫu đo độ thấm khí. Sơ đồ hoạt động của hệ thống có thể được miêu tả như sau:



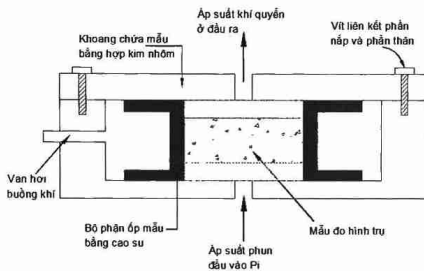
Hình 2. Sơ đồ thí nghiệm đo độ thấm khí với áp suất phun ổn định

Theo Cassanas [2], thiết bị đo bao gồm những dụng cụ như sau:

- Bình khí trơ (azote, helium, hydrogen,...);
- Bộ điều áp với áp suất phun cực đại 5bars;
- Khoang chứa mẫu loại Cembureau, cho phép thử với đường kính mẫu thay đổi 5 cm hoặc 10 cm;
- Thiết bị điện tử đo lưu lượng khí, cho phép kiểm soát lưu lượng tối đa 1000 ml/min, với áp suất phun cực đại 10 bars ở nhiệt độ 20°C;

- Bộ phận thu thập dữ liệu đo (lưu lượng, áp suất);
- Một máy tính cố định dùng để ghi và xử lý dữ liệu;
- Một áp kế để đo áp suất khí quyển tại thời điểm tiến hành thí nghiệm;
- Một nhiệt kế đo nhiệt độ phòng.

Các chi tiết của khoang chứa mẫu loại Cembureau được biểu thị dưới sơ đồ sau:



Hình 3. Sơ đồ hoạt động khoang chứa mẫu thí nghiệm

Mẫu thí nghiệm hình trụ, mặt bên được ôm sát bởi một lớp pôlime chống thấm, có đường kính trong bằng đường kính của mẫu thử. Nó có tác dụng ngăn cản khí trơ lọt qua thành bên khi làm thí nghiệm. Lớp pôlime này được lồng vào trong một buồng khí có dạng hình xam xe đạp. Khi áp suất trong buồng khí

đạt 0,7MPa, áp suất tác dụng lên mặt bên của mẫu sẽ đủ lớn để coi thành bên của mẫu là kín khí. Mặt trên và mặt dưới của mẫu tiếp xúc với hai đĩa kim loại có rãnh chia. Những rãnh chia này có tác dụng đảm bảo sự phân bố đều đặn của áp suất trên thiết diện mẫu trong quá trình phun.



Hình 4. Khoang chứa mẫu đo độ thấm khí: đường kính 5 cm (trái)/đường kính 10 cm (phải)

3. Kết quả thí nghiệm

Chuỗi thí nghiệm được thực hiện trong khuôn khổ dự án nghiên cứu sử dụng xi măng hạt mịn

chống thấm cho đường hầm métro Paris, đoạn chảy qua sông Seine, với cốt liệu chủ đạo là cát Fontainebleau. Nhằm tái tạo lại điều kiện địa chất

sát với thực địa, trong phòng thí nghiệm GeM (Laboratoire en Génie Civil et Génie Mécanique) thuộc trường Trung ương thành phố Nantes (Ecole Centrale de Nantes) cát Fontainebleau sau khi được sàng ở mắt lưới dao động từ 300 μm đến 3 mm, được đầm nén từng bước một với nhiều

cách thức khác nhau trong các cột hình trụ cứng và trong suốt bằng flexiglass với độ dày là 0,5 cm, đường kính trong 10 cm, chiều cao mỗi cột là 100 cm. Các cột cát được đánh số thứ tự từ IC1, IC2,...IC7 (viết tắt của Injection Column) kết quả cụ thể như sau:

Bảng 1. Tính chất của các cột cát trước khi phun, số liệu được đưa ra bởi [3]

Cột	KLR (kN/m^3)	Độ rỗng n	Chỉ số mật độ $I_d(\%)$	Tỉ lệ X_m / N_c
IC2	18,27	0,303	94	0,42
IC3	18,47	0,295	99	0,42
IC4	17,92	0,316	85	0,42
IC6	17,81	0,320	83	0,38
IC7	17,79	0,321	82	0,56

Các cột cát này sau đó được phun xi măng hạt mịn từ dưới lên trên với lưu lượng không đổi $Q = 0,33\text{l/min}$, với tỉ lệ X_m / N_c tương ứng trong Bảng 1. Các cột xi măng cát sau đó được giữ ẩm ở 20°C trong phòng kín cho đến khi đạt cường độ tối đa. Chúng được cắt nhỏ ra thành nhiều khúc, sấy khô ở 80°C, làm mát trở lại và ổn định nhiệt ở 20°C, nhằm phục vụ cho việc đo độ thấm nội tại bằng phương pháp phun khí trơ qua mẫu. Công tác chuẩn bị mẫu có thể được tóm lược thành các bước như sau:

- Cột xi măng cát được cắt ngang với độ cao mẫu 5,1 cm, trong đó 0,1 cm dành cho sự mất mát vật liệu trong quá trình cắt và xử lý mặt trên và dưới của mẫu;

- Dùng thước du xích (độ chính xác 0,1 mm) đo kích thước mẫu 3 lần (chiều cao, đường kính). Các vị trí đo tạo với nhau 1 góc 120°;

- Dùng giấy ráp làm nhẵn bề mặt mẫu, sao cho mặt trên và mặt dưới của mẫu song song với nhau và vuông góc với trục đối xứng của mẫu;

- Bọc thành bên của mẫu bằng một lớp bạc mỏng (mẫu lớn) hoặc một lớp cao su co nhiệt (mẫu nhỏ). Lớp này có tác dụng tăng độ nhẵn của bề mặt tiếp xúc giữa mẫu và khoang chứa mẫu, tránh hiện tượng khí lọt qua thành bên;

- Đánh số mẫu đo từ thấp lên cao: IC#-%. Chỉ số đầu tiên # xác định tên cột cát, chỉ số thứ hai % xác định vị trí mẫu thử trên cột;

- Sấy khô mẫu thử nhằm loại bỏ nước tự do có trong mẫu.

Ổn định độ ẩm mẫu, đưa nhiệt độ mẫu đo về nhiệt độ khí quyển.

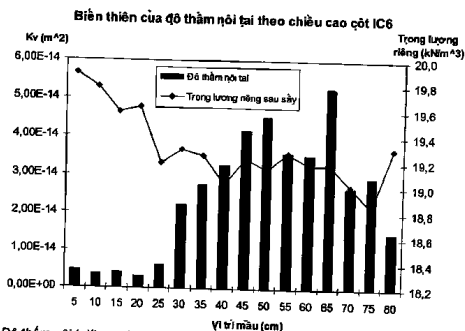
Mẫu nhỏ đường kính 5 cm được tạo thành bằng cách khoan mẫu lớn đường kính 10 cm. Sau khi xử lý mặt bên mẫu thử bằng máy tiện trụ xoay, ta dùng giấy ráp làm nhẵn bề mặt. Kế đến, mẫu được bao bọc bởi lớp cao su co nhiệt, trước khi đem vào sấy ở 80°C, nhằm loại bỏ nước tạo ra trong quá trình tiện và để lớp cao su ôm sát vào thành mẫu như hình sau:



Hình 5. Mẫu thử $H = 5\text{cm}$, $D_1 = 10\text{cm}$, $D_2 = 5\text{cm}$

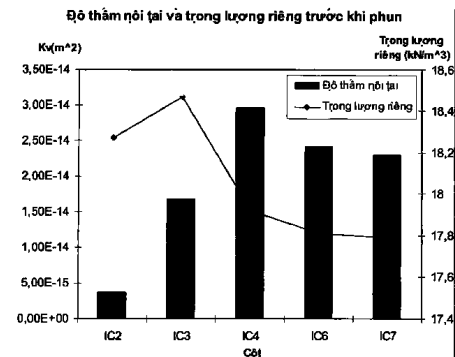
Các khí trơ (azote, argon, hélium,...), không phản ứng hóa học với môi trường rỗng thường được sử dụng để làm thí nghiệm. Trong trường hợp của cột IC6, ta nhận thấy càng xa nguồn phun, độ thấm của mẫu càng tăng, sau đó giảm nhẹ ở những mẫu cuối. Điều này

được lý giải bởi sự lắng đọng cục bộ của xi măng ở đầu ra của cột cát trong quá trình phun. Kết quả thí nghiệm cũng chỉ ra rằng khối lượng riêng ở trạng thái đông cứng tỉ lệ nghịch với độ thấm nội tại: mẫu thử càng đặc, khả năng chống thấm của mẫu càng cao.



Hình 6. Độ thấm nội tại/trọng lượng riêng sau sấy theo vị trí mẫu thử; đồ thị được trích dẫn từ [3]

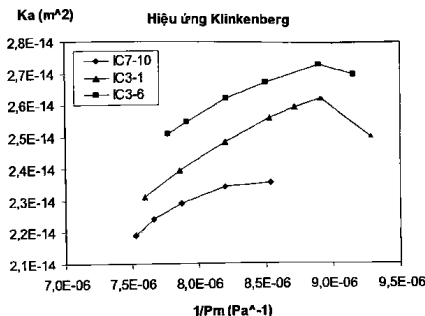
Về mặt định tính, trọng lượng riêng cột cát trước khi phun càng lớn, độ thấm khí của mẫu càng nhỏ. Tuy nhiên mối quan hệ này không thực sự rõ nét do khả năng hấp thụ xi măng của từng cột là không giống nhau. Điều này được thể hiện trên hình 7.



Hình 7. Độ thấm nội tại/trọng lượng riêng cột cát; đồ thị được trích dẫn từ [3]

4. Các thông số ảnh hưởng đến kết quả đo

Khi áp suất phun giảm, đến một thời điểm nào đó, ta thu được giá trị biểu kiến của độ thấm khí. Mối quan hệ giữa độ thấm tường và nghịch đảo của áp suất trung bình không còn là tuyến tính nữa:



Hình 8. Độ thấm tường/ngành đảo áp suất phun trung bình, đồ thị được trích dẫn từ [3]

Sự lựa chọn những điểm thuộc chế độ chảy tầng đôi khi khó phân định, kéo theo sai số của độ thấm nội tại, nhất là trong trường hợp độ thấm của vật liệu là lớn. Thêm vào đó, những khuyết tật hình học của mẫu, sự thiếu chính xác của dụng cụ thí nghiệm, góp phần gia tăng nhầm lẫn gặp phải.

Vì những lý do trên, ta quyết định đánh giá mức độ khả tin của phép đo được thực hiện. Độ thấm tường được tính toán dựa trên công thức (4).

Theo Cassanas [2], độ chính xác của thiết bị đo được xác định như sau:

- Sai số của thiết bị đo lưu lượng khí: $\Delta Q = 1 \text{ mln/min}$;

- Sai số của độ nhớt động học: $\Delta \mu = 0$;

Sai số đo độ dài bằng thước du xích: $\Delta L = 2.10^{-5} \text{ m}$, $\Delta D = 2.10^{-5} \text{ m}$ (D : Đường kính mẫu đo);

Sai số của thiết bị đo áp suất: $\Delta P_i = 10^3 \text{ Pa}$,

$\Delta P_{atm} = 0$.

Từ công thức (4), ta có quan hệ sau:

$$\left| \frac{\Delta K_a}{K_a} \right| = \left| \frac{\Delta Q_i}{Q_i} \right| + \left| \frac{\Delta L}{L} \right| + 3 \cdot \left| \frac{\Delta P_i}{P_i} \right| + 2 \cdot \left| \frac{\Delta D}{D} \right|$$

Bảng 2. Sai số tương đối của 25 mẫu thử cỡ lớn trích ra từ các cột xi măng cát, số liệu được đưa ra bởi [3]

Mẫu đo	$\Delta Q_i/Q_i$ trung bình	$\Delta P_i/P_i$ trung bình	$\Delta L/L$	$\Delta D/D$	$\Delta K_a/K_a$ trung bình	$K_v(\text{m}^2)$
IC2-1	0,0064	0,0032	0,0004	0,0002	0,0167	6,18E-16
IC2-2	0,0021	0,0037	0,0004	0,0002	0,0139	2,73E-15
IC2-3	0,0018	0,0054	0,0004	0,0002	0,0187	7,86E-15
IC2-4	0,0014	0,0057	0,0004	0,0002	0,0192	1,08E-14
IC2-10	0,0034	0,0032	0,0004	0,0002	0,0137	1,16E-15
IC2-15	0,0021	0,0064	0,0004	0,0002	0,0219	1,22E-14
IC3-1	0,0019	0,0072	0,0004	0,0002	0,0244	5,14E-15
IC3-5	0,0016	0,0068	0,0004	0,0002	0,0227	9,55E-15
IC3-7	0,0015	0,0064	0,0004	0,0002	0,0214	1,03E-14
IC3-10	0,0017	0,0065	0,0004	0,0002	0,0220	1,24E-14
IC3-15	0,0011	0,0079	0,0004	0,0002	0,0257	3,22E-14
IC4-1	0,0034	0,0060	0,0004	0,0002	0,0222	3,80E-15
IC4-5	0,0015	0,0064	0,0004	0,0002	0,0215	1,24E-14
IC4-9	0,0011	0,0077	0,0004	0,0002	0,0249	3,07E-14
IC4-16	0,0011	0,0081	0,0004	0,0002	0,0261	5,56E-14
IC6-1	0,0018	0,0052	0,0004	0,0002	0,0183	4,85E-15
IC6-5	0,0022	0,0055	0,0004	0,0002	0,0194	6,08E-15
IC6-10	0,0010	0,0079	0,0004	0,0002	0,0256	4,52E-14

Mẫu đo	$\Delta Q_i/Q_i$ trung bình	$\Delta P_i/P_i$ trung bình	$\Delta L/L$	$\Delta D/D$	$\Delta K_a/K_a$ trung bình	$K_v(m^2)$
IC6-13	0,0010	0,0083	0,0004	0,0002	0,0269	5,28E-14
IC6-15	0,0011	0,0077	0,0004	0,0002	0,0249	2,93E-14
IC7-1	0,0014	0,0063	0,0004	0,0002	0,0210	9,30E-15
IC7-4	0,0011	0,0057	0,0004	0,0002	0,0190	1,08E-14
IC7-8	0,0010	0,0084	0,0004	0,0002	0,0270	5,52E-14
IC7-13	0,0012	0,0074	0,0004	0,0002	0,0242	1,62E-14
IC7-16	0,0018	0,0055	0,0004	0,0002	0,0193	5,69E-15
Max	0,0064	0,0084	0,0004	0,0002	0,0270	5,56E-14
Min	0,0010	0,0032	0,0004	0,0002	0,0137	6,18E-16
Trung bình	0,0018	0,0063	0,0004	0,0002	0,0216	1,77E-14

5. Đánh giá ảnh hưởng của hiệu ứng kích thước đến sai số đo

Xét trên phương diện kinh tế, việc sử dụng lượng lớn khí tro là yếu tố chủ đạo quyết định giá thành thí nghiệm. Việc phân tích thấu đáo kết quả thu được cho phép ta có cái nhìn chuẩn xác về sự khác biệt giữa 2 khoảng chứa mẫu, cũng như tầm quan trọng của công tác chế tạo và xử lý bề mặt mẫu đo.

Các mẫu to sau khi làm thí nghiệm sẽ được cắt gọt bằng máy tiện trụ xoay, giữ lại phần lõi của mẫu lớn ta được các mẫu nhỏ có cùng chiều cao nhưng đường kính bé hơn. Để dễ dàng so sánh, trong chuỗi thí nghiệm này, ta ấn định cùng áp suất phun đầu vào đối với mẫu to và mẫu nhỏ. Từ công thức (4) ta có quan hệ sau:

$$A = \frac{[Q]_g [L]_g [K_a]_g [S]_g}{[Q]_l [L]_l [K_a]_l [S]_l} = 1 \quad (6)$$

trong đó: ký hiệu $[]_l, []_g$ tương ứng với các đại lượng của mẫu bé và mẫu lớn.

Trong biểu thức (6), $\frac{[L]_g [S]_g}{[L]_l [S]_l}$ là tỉ số lệ thuộc

vào đặc điểm hình học của mẫu, thành phần $\frac{[Q]_g}{[Q]_l}$ do

điều kiện đo quyết định, trong khi tỉ lệ $\frac{[K_a]_g}{[K_a]_l}$ lại là

hàm lệ thuộc vào hai thông số trên.

Kết quả tính toán được trình bày ở trong bảng sau:

Bảng 3. Ảnh hưởng của hiệu ứng kích thước trên các mẫu đo IC2-10, IC3-7, IC4-7 (kích thước bé và lớn)

IC2-10 small	Đường kính (m)	0,0462				
	Chiều cao(m)	0,0448				
	Pm(Pa)	[Q]s(m ³ /s)	[Ka]s(m ²)	[Ka]s/[Ka]g	[Kv]s/[Kv]g	
	301732	7,12E-06	2,80E-15	2,00		
	252223	4,68E-06	2,92E-15	2,02		
	202752	2,65E-06	3,07E-15	2,02		
Trung bình	154245	1,10E-06	3,21E-15	1,96		
				2,00		2,13
	[Q]g/[Q]s	[L]g/[L]s	[S]s/[S]g	[L]g/[L]s*[S]s/[S]g		A
	2,06	1,13	0,21	0,24		1,00
	2,02	1,13	0,21	0,24		0,99
	2,02	1,13	0,21	0,24		0,98
IC3-7 small	Đường kính(m)	0,046				
	Chiều cao(m)	0,047				
	Pm(Pa)	[Q]s(m ³ /s)	[Ka]s(m ²)	[Ka]s/[Ka]g	[Kv]s/[Kv]g	
	144045	3,86E-06	1,6E-14	0,95		
	138375	3,28E-06	1,64E-14	0,96		

IC2-10 small	Đường kính (m)	0,0462			
	132718	2,71E-06	1,67E-14	0,96	
	127167	2,16E-06	1,69E-14	0,96	
	122655	1,72E-06	1,7E-14	0,95	
	117352	1,22E-06	1,68E-14	0,93	
Trung bình				0,95	1,05
	[Q]g/[Q]s	[L]g/[L]s	[S]s/[S]g	[L]g/[L]s*[S]s/[S]g	A
	4,21	1,07	0,21	0,22	0,90
	4,49	1,07	0,21	0,22	0,97
	4,56	1,07	0,21	0,22	0,98
	4,70	1,07	0,21	0,22	1,01
	4,78	1,07	0,21	0,22	1,01
	4,82	1,07	0,21	0,22	1,00
Trung bình	4,59	1,07	0,21	0,22	0,98
IC4-7 small	Đường kính(m)	0,0468			
	Chiều cao(m)	0,0404			
	Pm(Pa)	[Q]s(m ³ /s)	[Ka]s(m ²)	[Ka]s/[Ka]g	[Kv]s/[Kv]g
	128380	1,06E-05	6,49E-14	2,34	
	126737	9,96E-06	6,58E-14	2,36	
	125782	9,56E-06	6,62E-14	2,37	
	124728	9,14E-06	6,67E-14	2,38	
	123675	8,71E-06	6,71E-14	2,40	
	122437	8,22E-06	6,78E-14	2,43	
Trung bình				2,38	2,01
	[Q]g/[Q]s	[L]g/[L]s	[S]s/[S]g	[L]g/[L]s*[S]s/[S]g	A
	1,56	1,25	0,22	0,27	0,99
	1,57	1,25	0,22	0,27	1,00
	1,54	1,25	0,22	0,27	0,99
	1,54	1,25	0,22	0,27	0,99
	1,54	1,25	0,22	0,27	1,00
	1,50	1,25	0,22	0,27	0,98
Trung bình	1,54	1,25	0,22	0,27	0,99

6. Kết luận chung

Theo xấp xỉ Klinkenberg, độ thấm nội tại do tính chất của vật liệu quy định. Nó không phụ thuộc vào dạng hình học của mẫu cũng như cách thức tiến hành thí nghiệm.

Trái lại, độ thấm tương lại phụ thuộc vào áp suất phun của nguồn và đặc trưng thấm thấu của khí trợ lựa chọn.

Về mặt nguyên tắc, cả hai khoảng chứa mẫu phải đưa ra cùng giá trị đo về độ thấm nội tại. Tuy nhiên, trong số 6 mẫu thí nghiệm xem xét, chỉ có duy nhất mẫu IC3-7 đưa ra cùng giá trị trùng khớp.

Sai số trong phép đo độ thấm nội tại nhìn chung có thể phân ra làm hai loại: sai số khách quan và sai

số chủ quan. Sai số khách quan đến từ khâu chế tạo và sản xuất thiết bị thí nghiệm (điện từ hoặc cơ học). Sai số này thường được cung cấp bởi nhà cung ứng sản phẩm. Nhìn vào bảng 2 ta thấy sai số gây ra do phép đo lưu lượng và áp suất phun là tương đối lớn về mặt trọng số so với sai số gây ra do kích thước hình học. Để khắc phục tình trạng trên, nhà cung cấp dịch vụ thí nghiệm nên có những cải tiến về mặt công nghệ sản xuất.

Như vậy với việc đánh giá 25 mẫu thử cỡ lớn, trích ra từ 5 cột xi măng cát khác nhau (bảng 2), ta có thể kết luận rằng sai số trung bình của phép đo độ thấm là 2%, nằm trong ngưỡng cho phép đặt ra cho chuỗi thí nghiệm (<10%). Nếu sai số quá lớn, ta cần xem lại công tác chế tạo khoảng chứa mẫu.

Sai số chủ quan đến từ việc chế tạo mẫu và các thao tác tiến hành thí nghiệm. Từ Bảng 3 ta nhận thấy giá trị độ thấm nội tại đo được trên mẫu kích thước bé thường cao hơn trên mẫu kích thước lớn. Điều này được lý giải bởi hai lý do chính như sau:

Thứ nhất, mẫu bé được tạo thành bằng cách khoan, tiện mẫu lớn. Dưới tác động cơ học của các thiết bị trên (rung, lắc, cắt,...), bên trong mẫu bé đã xuất hiện thêm các vết nứt thứ cấp, làm thay đổi cấu trúc lỗ rỗng, làm tăng thêm khả năng thấm thấu của khí trơ;

Thứ hai, mặc dù đã có bộ chia khí ở đầu vào của mẫu song dòng khí trơ xuyên qua mẫu thường không đi hết 100% thiết diện của mẫu thử. Hiệu ứng này càng rõ rệt hơn với áp suất phun cao và thiết diện mẫu lớn. Để khắc phục tình trạng trên, việc chỉ sử dụng máy tiện trụ xoay tuy mất nhiều thời gian nhưng sẽ gây ít tác động hơn lên cấu trúc lỗ rỗng của mẫu thử. Bên cạnh đó, cần lựa chọn áp suất phun ở đầu vào sao cho phù hợp.

Ta nhận thấy rằng hiệu ứng của độ cao mẫu lên kết quả đo có trọng số lớn hơn sai số do khuyết tật tạo bởi quá trình xử lý nhẵn thành bên của mẫu gây

ra. Nếu chênh lệch về độ cao của các mẫu thử là quá lớn, giá trị đo thu được từ hai khoang chứa mẫu sẽ mất dần tính chính xác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. BOUASKER.M, Etude de propagation de coulis dans des sols injectés, Mesure de perméabilité, Mémoire de DEA Génie Civil (Eau, environnement et génie côtier), Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GéM), Ecole centrale de Nantes, 2007-2008.
2. CASSANAS M.N (2005), Etude expérimentale d'injection de coulis de ciment dans un milieu granulaire. Perméabilité au gaz, Rapport de stage, Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GéM), Ecole centrale de Nantes, Juin.
3. TU S.Q (2009 - 2010), Caractérisation des milieux injectés au ciment fin, Per méabilité au gaz, Mémoire de Master Recherche en Sciences Mécaniques Appliqués (Option Génie Civil), Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GéM), Ecole centrale de Nantes.

Ngày nhận bài: 9/3/2015.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 18/5/2015.