

XÁC ĐỊNH ĐỘ DẪN THỦY LỰC CỦA CÁC LỚP ĐẤT RỜI TRONG ĐIỀU KIỆN ĐỊA CHẤT MỘT SỐ KHU VỰC Ở THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

NGUYỄN NGỌC PHÚC

Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Công nghiệp thành phố Hồ Chí Minh
nguyennngocphuc@iuh.edu.vn

Dois: <https://doi.org/10.46242/jstiuh.v61i07.4731>

Tóm tắt: Nghiên cứu về dòng chảy của nước trong môi trường đất có ý nghĩa quan trọng để ước tính lưu lượng nước thấm dưới đất trong các điều kiện thủy lực khác nhau: bài toán tính toán trữ lượng động khai thác nước dưới đất; bài toán lan truyền ô nhiễm; bài toán cố kết đất nền. Một trong những thông số vật lý chính trong các bài toán nói trên đó là độ dẫn thủy lực. Nội dung bài viết này, tác giả tiến hành so sánh giá trị độ dẫn thủy lực từ các kết quả Thí nghiệm thấm trong phòng với các Công thức bán thực nghiệm của một số tác giả. Kết quả nghiên cứu này góp phần bổ sung độ tin cậy cho việc sử dụng tốt hơn thông số vật lý độ dẫn thủy lực khi mô phỏng tính toán vận động của nước dưới đất.

Từ khóa. Độ dẫn thủy lực; Hệ số rỗng; Đất rời.

1. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

1.1. Công thức định nghĩa độ dẫn thủy lực.

Độ dẫn thủy lực (thường được gọi là hệ số thấm) được định nghĩa là vận tốc trung bình của dòng chảy trên một đơn vị diện tích tương ứng với độ dốc thủy lực (gradient thủy lực) bằng 1 đơn vị [1-5]. Thứ nguyên của độ dẫn thủy lực được biểu diễn trong hệ SI là cm/giây. Độ dẫn thủy lực của nước dưới đất phụ thuộc vào một số yếu tố: độ nhớt của chất lỏng; phân bố kích thước hạt; độ rỗng; độ nhám của hạt đất-khoáng vật và mức độ bão hòa của nước trong môi trường đất; nồng độ ion và độ dày của các lớp nước giữa các hạt đất sét.

$$k = \frac{\gamma_w}{\eta} \cdot \bar{K} \quad (1)$$

trong đó:

γ_w : dung trọng của nước (g/cm^3)

η : hệ số nhớt động học của nước (g.s/cm^2)

\bar{K} : hằng số thực nghiệm được đặt tên là độ thấm tuyệt đối (cm^2)

Kenney, Lau và Ofoegbu (1984) đã tiến hành các thí nghiệm trong phòng thí nghiệm trên đất rời với kích thước hạt trong các mẫu dao động từ 0,074 đến 25,4 mm [5]. Các hệ số đồng nhất, Cu, của các mẫu này dao động từ 1,04 đến 12. Tất cả các thí nghiệm thấm đều được thực hiện ở độ chặt tương đối từ $D_r \geq 0,8\%$. Các thí nghiệm này cho thấy dòng thấm là chảy tầng.

$$\bar{K}(\text{mm}^2) = (0.05 \div 1) \cdot D_5^2 \quad (2)$$

trong đó D_5 đường kính nhóm hạt (mm) tương ứng với đường kính mắt rây có 5% cỡ hạt đi qua.

Bảng 1: Giá trị độ tham khảo dẫn thủy lực trong đất bão hòa [5]

Loại đất	k (cm/s)	k (ft/phút)
Sỏi sạn sạch	100-1.0	200-2.0
Cát to	1.0-0.01	2.0-0.02
Cát mịn	0.01-0.001	0.02-0.002
Sét pha	0.001-0.00001	0.002-0.00002
Sét	<0.000001	<0.000002

Bảng 2: Mức độ thay đổi hệ số nhớt động học theo nhiệt độ.

Nhiệt độ t (°C)	$\eta_t^{\circ\text{C}}/\eta_{20^{\circ\text{C}}}$	Nhiệt độ t (°C)	$\eta_t^{\circ\text{C}}/\eta_{20^{\circ\text{C}}}$
15	1.135	23	0.931

16	1.106	24	0.610
17	1.077	25	0.889
18	1.051	26	0.869
19	1.025	27	0.850
20	1.000	28	0.832
21	0.976	29	0.814
22	0.953	30	0.797

Biểu thức (1) chỉ ra rằng độ dẫn thủy lực là một hàm của dung trọng và độ nhớt của nước. Vì vậy, giá trị đo được từ điều kiện thí nghiệm phải được dẫn về điều kiện vận động của nước trong môi trường bằng biểu thức (3).

$$k_{t^{\circ}} = \frac{\gamma_{wt^{\circ}}}{\gamma_{w20^{\circ}}} \cdot \frac{\eta_{20^{\circ}}}{\eta_{t^{\circ}}} \cdot k_{20^{\circ}} \quad (3)$$

Trong điều kiện nhiệt độ thí nghiệm ở mức 15°C-30°C, giá trị dung trọng của nước ít thay đổi, tức là $\gamma_{wt^{\circ}} \approx \gamma_{w20^{\circ}}$. Vì vậy, biểu thức (3) được viết gọn như sau:

$$k_{t^{\circ}} = \frac{\eta_{20^{\circ}}}{\eta_{t^{\circ}}} \cdot k_{20^{\circ}} \quad (4)$$

1.2. Công thức bán thực nghiệm độ dẫn thủy lực trong đất rời.

1.2.1. Công thức của Allen Hazen.

Từ nhiều thí nghiệm trên cát sạch, trạng thái rời và đồng nhất với hệ số đồng nhất $C_u < 2$, năm 1930 Allen Hazen đề nghị công thức thực nghiệm như sau:

$$k \text{ (cm/s)} = C_1 \cdot D_{10}^2 \quad (5)$$

trong đó:

C_1 : là hằng số thay đổi từ 1 đến 1.5

D_{10} : đường kính hữu hiệu 10% (mm)

1.2.2. Công thức của Casagrande.

$$k = 1.4 e^2 k_{0.85} \quad (6)$$

trong đó:

$k_{0.85}$: độ dẫn thủy lực ở hệ số rỗng $e = 0.85$

e : hệ số rỗng của đất

k : độ dẫn thủy lực của đất ở hệ số rỗng e .

1.2.3. Công thức của Kozeny-Carman.

$$k = \frac{1}{C_s S_s^2 T^2} \cdot \frac{\gamma_w}{\eta} \cdot \frac{e^3}{1+e} \quad (7)$$

trong đó:

C_s : hệ số hình dạng (phụ thuộc vào dạng của dòng chảy)

S_s : diện tích bề mặt của 1 đơn vị thể tích đất (diện tích riêng)

T : độ rối của dòng chảy

γ_w : dung trọng của nước

η : hệ số nhớt

e : hệ số rỗng của đất

Trong thực hành tính toán, Carrier (2003) đã hiệu chỉnh công thức (6) ở điều kiện 20°C với tỷ số γ_w/η có giá trị ở mức 9.93×10^4 (1/cm.s); thông số $C_s \cdot T^2$ có giá trị xấp xỉ 5.

$$k = 1.99 \times 10^4 \cdot \left(\frac{1}{S_s}\right)^2 \cdot \frac{e^3}{1+e} \quad (8)$$

với
$$S_s = \frac{SF}{D_{\text{eff}}} \left(\frac{1}{\text{cm}}\right) \quad (9)$$

$$D_{\text{eff}} = \frac{100\%}{\sum_{D(\text{av})i} f_i} \quad (10)$$

XÁC ĐỊNH ĐỘ DẪN THỦY LỰC...

trong đó:

SF: hệ số hình dạng (thường có giá trị từ 6 đến 8)

f_i : là phần trăm nhóm hạt giữa 2 cỡ sần hạt lớn (L) và sần hạt nhỏ (S)

$D_{(av)i}$ (cm) = $[D_{Li}$ (cm)]^{0.5} x $[D_{Si}$ (cm)]^{0.5} bình quân đường kính cỡ hạt trung bình

D_{Li} (cm) đường kính cỡ sần lớn

D_{Si} (cm) đường kính cỡ sần nhỏ

Kết hợp các biểu thức (7), (8), (9) ta được:

$$k = 1.99 \times 10^4 \cdot \left[\frac{100\%}{\sum \frac{f_i}{D_{Li}^{0.5} \times D_{Si}^{0.5}}} \right]^2 \cdot \left(\frac{1}{SF} \right)^2 \cdot \frac{e^3}{1+e} \quad (11)$$

Năm 2003, Carrier đã có điều chỉnh lại công thức (10) như sau:

$$k = 1.99 \times 10^4 \cdot \left[\frac{100\%}{\sum \frac{f_i}{D_{Li}^{0.404} \times D_{Si}^{0.595}}} \right]^2 \cdot \left(\frac{1}{SF} \right)^2 \cdot \frac{e^3}{1+e} \quad (12)$$

2.2.4. Công thức của Chapuis (2004).

Các công thức trên cho thấy độ dẫn thủy lực là một hàm quan hệ chặt chẽ với hệ số rỗng của đất. Gần đây, năm 2004, Chapuis đề xuất công thức bán thực nghiệm như sau:

$$k \text{ (cm/s)} = 2.4622 \left[D_{10}^2 \cdot \frac{e^3}{(1+e)} \right]^{0.7825} \quad (13)$$

trong đó:

D_{10} : đường kính hữu hiệu (mm)

2.2.5. Công thức của Amer và Awad (1974).

Dựa trên các kết quả thí nghiệm trong phòng, Amer và Awad (1974) đề nghị công thức tính độ dẫn thủy lực cho đất rời như sau:

$$k \text{ (cm/s)} = 3.5 \times 10^{-4} \cdot \left(\frac{e^3}{1+e} \right) \cdot C_u^{0.6} \cdot D_{10}^{2.32} \cdot \left(\frac{\rho_w}{\eta} \right) \quad (14)$$

trong đó:

C_u : hệ số đồng nhất

D_{10} : đường kính hữu hiệu (mm)

ρ_w : dung trọng nước (g/cm³)

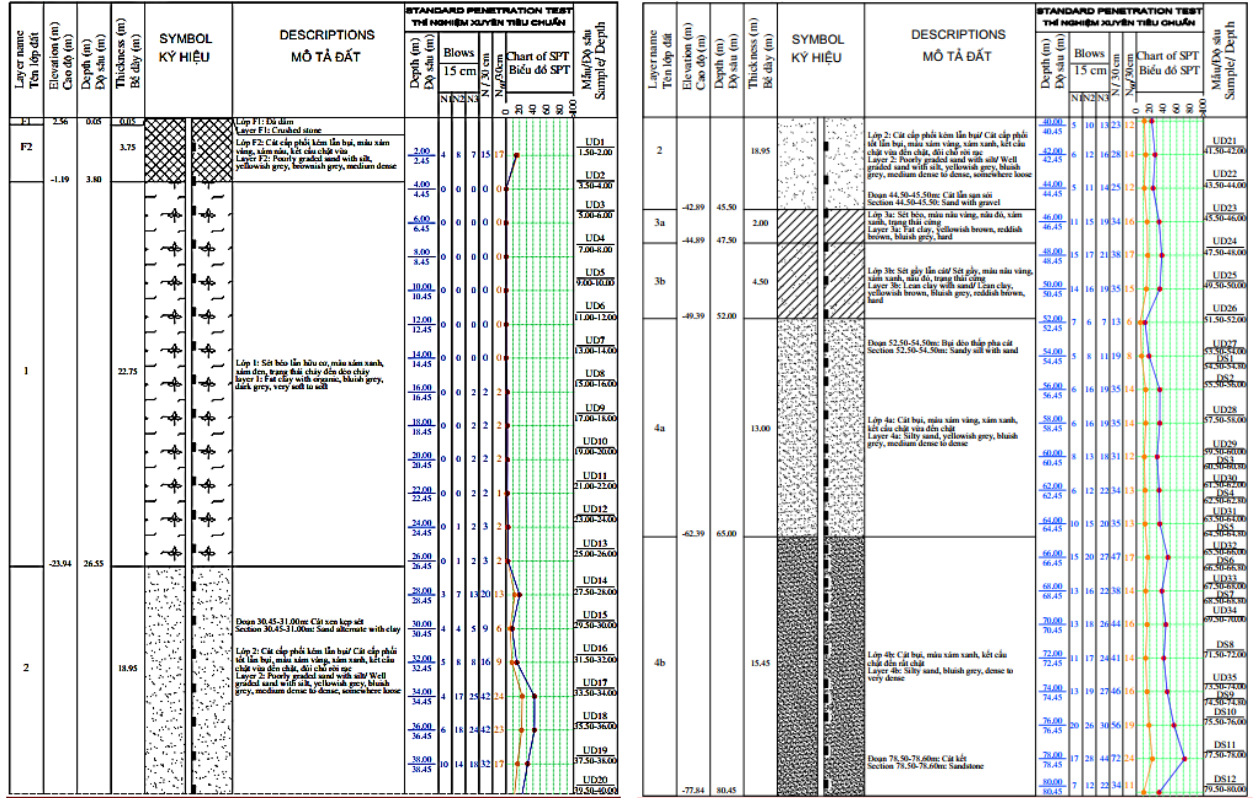
η : hệ số nhớt (g.s/cm²)

Ở điều kiện nhiệt độ 20°C, $\rho_w = 1$ g/cm³, $\eta \approx 0.1 \times 10^{-4}$ g.s/cm². Vì vậy, biểu thức (12) viết lại như sau:

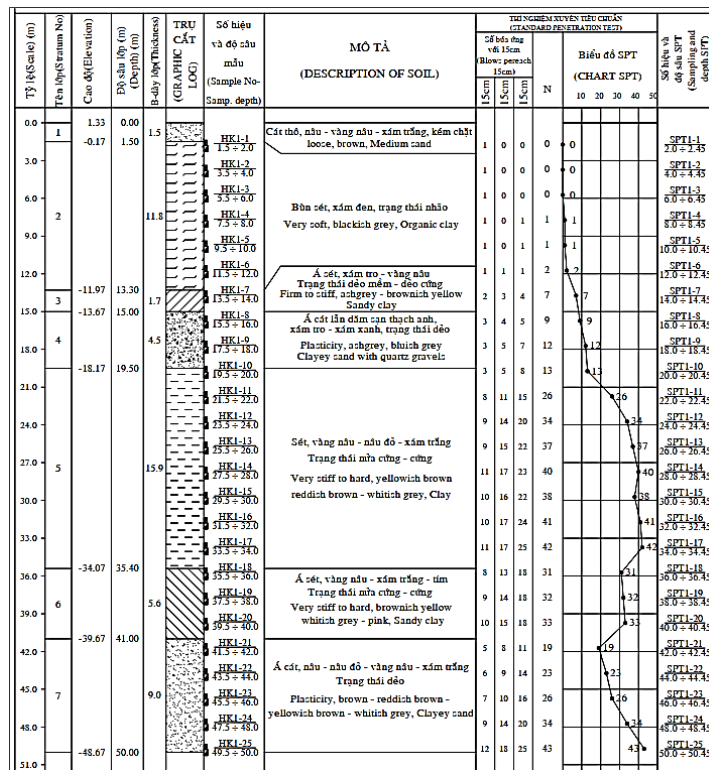
$$k \left(\frac{\text{cm}}{\text{s}} \right) = 35 \cdot \left(\frac{e^3}{1+e} \right) \cdot C_u^{0.6} \cdot D_{10}^{2.32} \quad (15)$$

2. ĐẶC TRƯNG ĐỘ DẪN THỦY LỰC CỦA CÁC LỚP ĐẤT RỜI TRONG ĐIỀU KIỆN ĐỊA CHẤT MỘT SỐ KHU VỰC Ở TP. HỒ CHÍ MINH

2.1. Cấu tạo địa chất khu vực nghiên cứu.



Hình 1: Hình trụ lỗ khoan địa chất Khu phức hợp Tháp quan sát-Khu đô thị mới Thủ Thiêm [7].



Hình 2: Hình trụ lỗ khoan địa chất Lô đất A7-Khu chế xuất Tân Thuận [8].

2.2. Đặc trưng cơ lý và Độ dẫn thủy lực của các lớp đất rời khu vực nghiên cứu.

2.2.1. Khu phức hợp Tháp quan sát – Khu đô thị mới Thủ Thiêm.

XÁC ĐỊNH ĐỘ DẪN THỦY LỰC...

Bảng 1: Giá trị trung bình đặc trưng cơ lý lớp đất rời 4a - Cát bụi, màu xám vàng, xám xanh, kết cấu chặt vừa đến chặt. Số lượng mẫu thí nghiệm 74 mẫu [7]

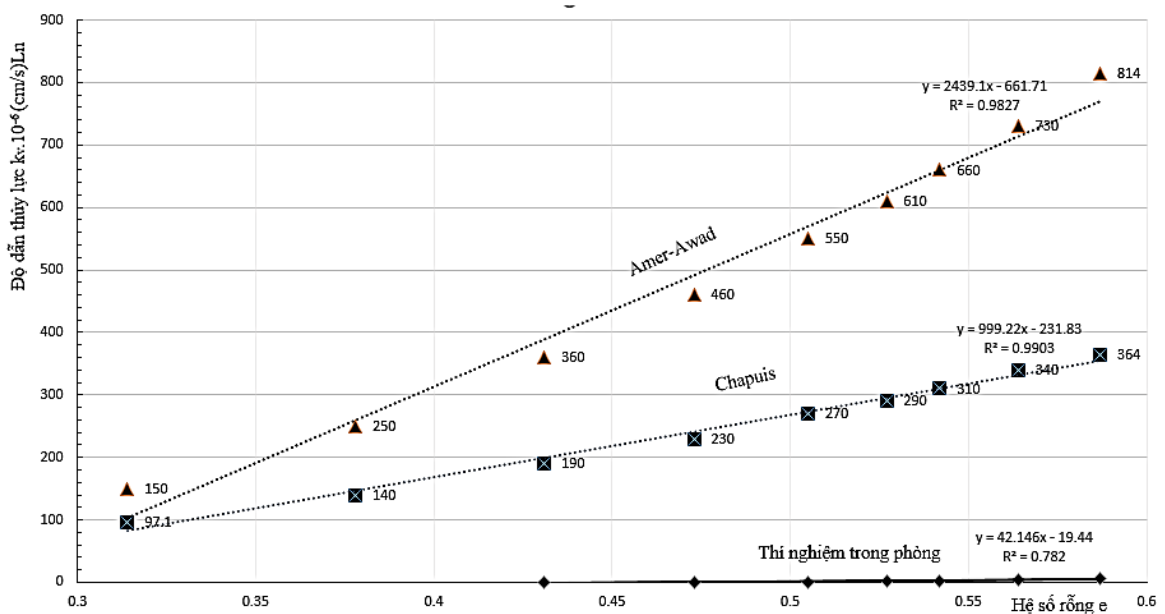
Cao độ xuất hiện (mặt/đáy)	Bề dày trung bình (m)	D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀	C _u	C _c	Hệ số rỗng tự nhiên e _o	Dung trọng ướt γ _w (kN/m ³)	Tỷ trọng G _s	Độ ẩm W (%)
-48.19 m đến -62.40 m	14.21	0.010	0.103	0.218	31.8	7.0	0.587	19.885	2.667	20.6

Bảng 2: Giá trị trung bình đặc trưng biến dạng và độ dẫn thủy lực lớp đất rời 4a – Cát bụi, màu xám vàng, xám xanh kết cấu chặt vừa đến chặt xác định theo TCVN 4200:2012. Số lượng mẫu thí nghiệm 02 mẫu UD24 (Lỗ khoan P-BH10); UD26 (Lỗ khoan P-BH7) [7]

p (kPa)	Hệ số rỗng theo cấp áp lực nén p (kPa)							
	25	50	100	200	400	800	1600	3200
e	0.564	0.542	0.527	0.505	0.473	0.431	0.378	0.314
p (kPa)	Độ dẫn thủy lực k _v .10 ⁻⁶ (cm/s) theo cấp áp lực nén p (kPa)							
	-	50	100	200	400	800	1600	3200
k _v .10 ⁻⁹ (m/s)	-	7.07	4.37	2.84	1.51	0.64	0.29	0.15

Bảng 3: Bảng tính độ dẫn thủy lực k_v.10⁻⁶(cm/s) lớp đất rời 4a – Cát bụi, màu xám vàng, xám xanh kết cấu chặt vừa đến chặt theo công thức của Chapuis; Amer-Awad.

p (kPa)	0	25	50	100	200	400	800	1600	3200
e	0.587	0.564	0.542	0.527	0.505	0.473	0.431	0.378	0.314
Chapuis	364	340	310	290	270	230	190	140	97,1
Amer-Awad	814	730	660	610	550	460	360	250	150



Hình 3: Độ dẫn thủy lực theo hệ số rỗng Lớp đất số 4a – Cát bụi, màu xám vàng, xám xanh kết cấu chặt vừa đến chặt.

Bảng 4: Thông số phương trình hồi qui tuyến tính Lớp đất số 4a – Cát bụi, màu xám vàng, xám xanh kết cấu chặt vừa đến chặt.

Công thức bán thực nghiệm	Hệ số góc	Tỷ lệ hệ số góc của phương trình hồi qui bán thực nghiệm so với phương trình hồi qui Thí nghiệm	Tỷ lệ hằng số tự do của phương trình hồi qui bán thực nghiệm so với phương trình hồi qui Thí nghiệm
Amer-Awad	2439.1	57.873	642.27
Chapuis	999.22	23.542	212.39

2.2.2. Lô đất A7-Khu chế xuất Tân Thuận.

Bảng 5: Giá trị trung bình đặc trưng cơ lý lớp đất rời số 4-Á cát, xám tro. Số lượng mẫu thí nghiệm 8 mẫu [8].

Cao độ xuất hiện (mặt/đáy)	Bề dày trung bình (m)	D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀	C _u	C _c	Hệ số rỗng tự nhiên e _o	Dung trọng ướt γ_w (kN/m ³)	Tỷ trọng G _s	Độ ẩm W (%)
-13.67m đến -18.17m	4.5	0.006	0.163	0.541	92.43	8.98	0.538	20.465	26.6	18

Bảng 6: Giá trị trung bình đặc trưng biến dạng và độ dẫn thủy lực lớp đất rời số 4 – Á cát, xám tro xác định theo TCVN 4200:2012. Số lượng mẫu thí nghiệm 06 mẫu [8].

Hệ số rỗng theo cấp áp lực nén p (kPa)							
p (kPa)	0	50	100	200	400	800	1600
e	0.538	0.507	0.492	0.474	0.456	0.434	0.408
Độ dẫn thủy lực $k_v \cdot 10^{-6}$ (cm/s) theo cấp áp lực nén p (kPa)							
p (kPa)	-	50	100	200	400	800	1600
$k_v \cdot 10^{-6}$ (m/s)	-	16.333	7.07	4.017	1.733	1.23	0.75

Bảng 7: Bảng tính độ dẫn thủy lực $k_v \cdot 10^{-6}$ (cm/s) lớp đất rời 4 – Á cát, xám tro theo công thức của Chapuis; Amer-Awad.

p (kPa)	0	50	100	200	400	800	1600
e	0.538	0.507	0.492	0.474	0.456	0.434	0.408
Chapuis	137	121	114	105	96.8	87.2	76.5
Amer-Awad	375	321	296	268	241	211	179

Bảng 8: Giá trị trung bình đặc trưng cơ lý lớp đất rời số 7 - Á cát, nâu-nâu đỏ. Số lượng mẫu thí nghiệm 44 mẫu [8].

Cao độ xuất hiện (mặt/đáy)	Bề dày trung bình (m)	D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀	C _u	C _c	Hệ số rỗng tự nhiên e _o	Dung trọng ướt γ_w (kN/m ³)	Tỷ trọng G _s	Độ ẩm W (%)
-39.67m đến > -50.0 m	> 12	0.012	0.114	0.329	50.59	6.38	0.623	19.96	26.67	21.34

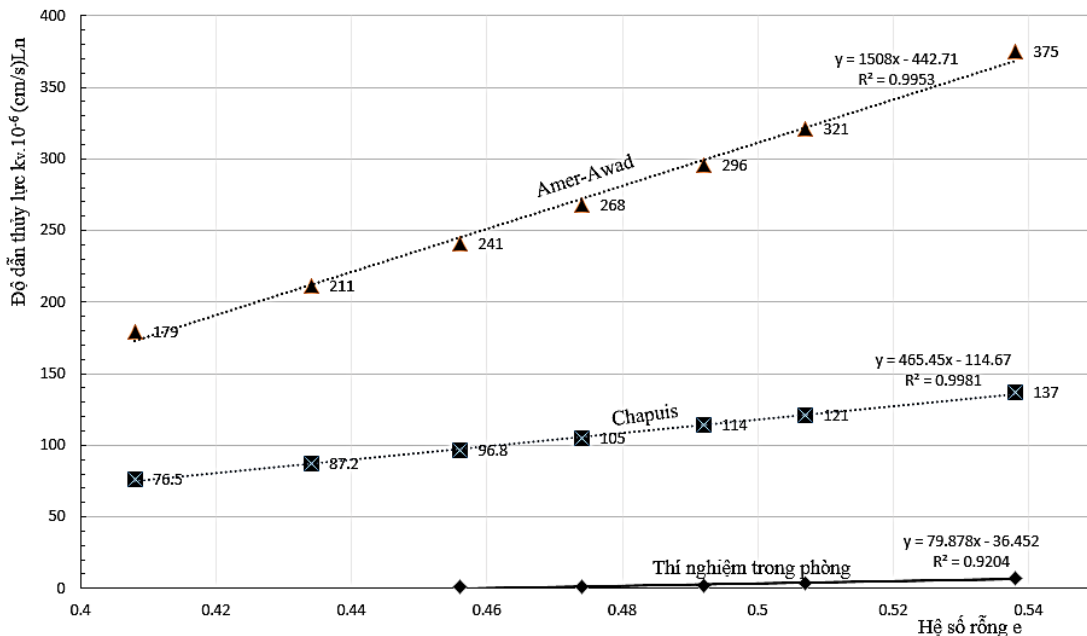
XÁC ĐỊNH ĐỘ DẪN THỦY LỰC...

Bảng 9: Giá trị trung bình đặc trưng biến dạng và độ dẫn thủy lực các lớp đất rời 7 – Á cát, nâu-nâu đỏ xác định theo TCVN 4200:2012. Số lượng mẫu thí nghiệm 09 mẫu [8]

Hệ số rỗng theo cấp áp lực nén p (kPa)							
p (kPa)	0	50	100	200	400	800	1600
e	0.623	0.570	0.555	0.538	0.519	0.496	0.469
Độ dẫn thủy lực $k_v \cdot 10^{-6} (\text{cm/s})$ theo cấp áp lực nén p (kPa)							
p (kPa)	-	50	100	200	400	800	1600
$k_v \cdot 10^{-6} (\text{m/s})$	-	15.570	6.960	4.370	2.040	1.270	0.860

Bảng 10: Bảng tính độ dẫn thủy lực $k_v \cdot 10^{-6} (\text{cm/s})$ lớp đất rời 7 – Á cát, nâu-nâu đỏ theo công thức của Chapuis; Amer-Awad.

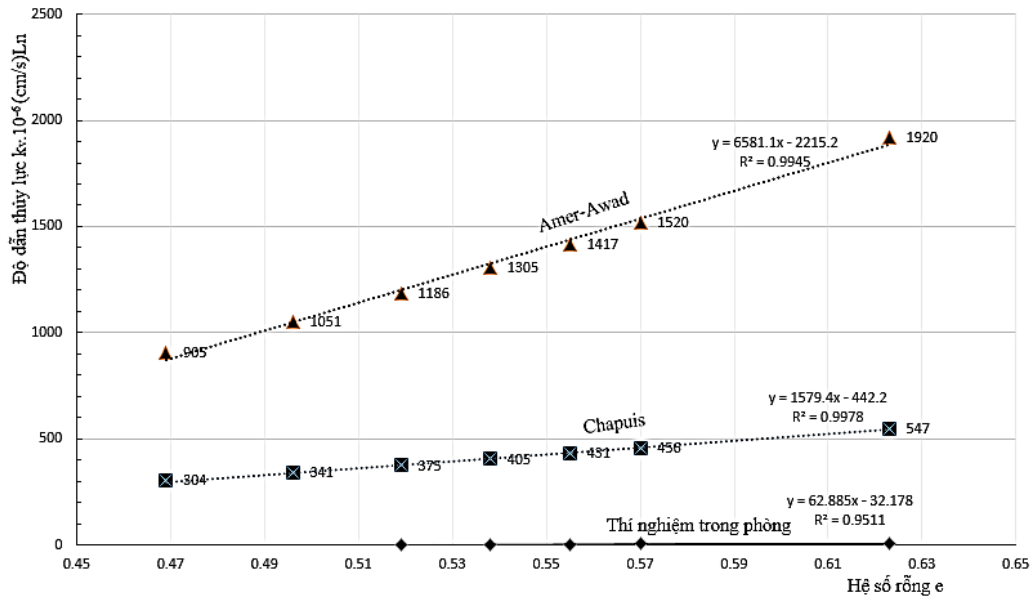
p (kPa)	0	50	100	200	400	800	1600
e	0.623	0.570	0.555	0.538	0.519	0.496	0.469
Chapuis	547	456	431	405	375	341	304
Amer-Awad	1920	1520	1417	1305	1186	1051	905



Hình 4: Độ dẫn thủy lực theo hệ số rỗng Lớp đất rời số 4 – Á cát, xám tro.

Bảng 11: Thông số phương trình hồi qui tuyến tính Lớp đất rời số 4 – Á cát, xám tro

Công thức bán thực nghiệm	Hệ số góc	Tỷ lệ hệ số góc của phương trình hồi qui bán thực nghiệm so với phương trình hồi qui Thí nghiệm	Tỷ lệ hằng số tự do của phương trình hồi qui bán thực nghiệm so với phương trình hồi qui Thí nghiệm
Amer-Awad	1508	18.878	406.26
Chapuis	465.45	5.83	78.22



Hình 5: Độ dẫn thủy lực theo hệ số rỗng Lớp đất rời số 7 – Á cát, nâu-nâu đỏ

Bảng 12: Thông số Phương trình hồi qui tuyến tính Lớp đất rời số 7 – Á cát, nâu-nâu đỏ

Công thức bán thực nghiệm	Hệ số góc	Tỷ lệ hệ số góc của phương trình hồi qui bán thực nghiệm so với phương trình hồi qui Thí nghiệm	Tỷ lệ hằng số tự do của phương trình hồi qui bán thực nghiệm so với phương trình hồi qui Thí nghiệm
Amer-Awad	6581.1	104.65	2183.02
Chapuis	1579.4	25.12	410

3. KẾT LUẬN

- Độ dẫn thủy lực tính theo công thức bán thực nghiệm của Hansen, Casagrande chỉ có thể áp dụng cho đất rời cỡ hạt lớn (dăm; cuội; sỏi; sạn, cát hạt to; cát hạt trung);
- Công thức Chapuis; Amer-Awad là hàm số mũ. Tuy nhiên, trong phạm vi biến đổi nhỏ của hệ số rỗng, qui luật biến đổi Độ dẫn thủy lực theo Hệ số rỗng có thể sử dụng phương trình hồi qui tuyến tính. Kết quả tính toán cho thấy hệ số góc đường thẳng của phương trình hồi qui có sự sai khác lớn so với kết quả thí nghiệm. Trong đó, tỷ lệ về hệ số góc của công thức Chapuis so với kết quả thí nghiệm từ 5.83 đến 25.12 và ít biến động hơn so với công thức của Amer-Awad.
- Công thức tính độ dẫn thủy lực của Chapuis; Amer-Awad không chỉ rõ điều kiện áp dụng. Qua các tính toán so sánh với số liệu thí nghiệm cho thấy, giá trị tính toán bằng công thức sai khác nhiều so với giá trị thí nghiệm. Vì vậy, cần tiếp tục thu thập bổ sung số liệu và đề xuất công thức bán thực nghiệm độ dẫn thủy lực phù hợp với đặc điểm địa chất khu vực nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] C. N. Ân, *Cơ học đất*. Tp Hồ Chí Minh: Đại học Quốc Gia TpHCM, 2004.
 [2] V. Đ. Lưu, P. A. T, N. N. Phúc và L. N. P. Vân, *Địa chất công trình*. Hà Nội: Xây Dựng, 2017.
 [3] N. V. Thơ và N. N. Phúc, *Cơ học đất (tập 1)*. Hà Nội: Xây Dựng, 2013.
 [4] T. T. Thanh và N. N. Phúc, *Cơ học đất (tập 2)*. Hà Nội: Xây Dựng, 2014.
 [5] B. M. Das, *Principles of Geotechnical engineering*, 9th edition. USA: Global Engineering Christopher M. Shortt, 2016.
 [6] B. M. Das, *Principles of Foundation engineering*, 6th edition. USA: PWS-Kent Publishing Co. Boston, Massachusetts, 1998.
 [7] *Hồ sơ địa chất Khu phức hợp tháp quan sát trong khu đô thị mới Thủ Thiêm*. TpHCM: Công ty TNHH Thế giới kỹ thuật, 2020.

XÁC ĐỊNH ĐỘ DẪN THỦY LỰC...

[8] *Hồ sơ địa chất Khu đất A7-Khu chế xuất Tân Thuận*. TpHCM: Công ty cổ phần Khoa học công nghệ Bách Khoa, 2021.

**TO EVALUATE THE HYDRAULIC CONDUCTIVITY COEFFICIENT
OF NON-COHESIVE SOIL IN GEOLOGICAL CONDITIONS OF SOME AREA
IN HOCHIMINH CITY**

NGUYEN NGOC PHUC

*Faculty of Civil Engineering, Industrial University of Ho Chi Minh City
nguyennngocphuc@iuh.edu.vn*

Abstract. Researching underground hydraulic flow is very important for evaluating the water flowing volume quantity in many different hydraulic conditions, e.g. calculating water volume transference; pollution transference; consolidation problems. One of the main physical characteristics of soil that is used in those problems is hydraulic conductivity. In this paper, the author wants to make a comparison value of hydraulic conductivity is also call the permeability coefficient which got from indoor experiences and semi-experience equations by some of the foreign Authors. After that, the author means to suggest which equations can be used for the prediction the hydraulic conductivity in the simulation of underground flow.

Keywords. Hydraulic conductivity (permeability coefficient); Void ratio; Non-cohesive soils.

Ngày gửi bài: 18/08/2022

Ngày chấp nhận đăng: 10/01/2023