

ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘ HÚT DÍNH ĐẾN CƯỜNG ĐỘ KHÁNG CẮT VÀ HỆ SỐ THẨM CỦA ĐẤT KHÔNG BẢO HOÀ

TS. TRỊNH MINH THU

Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Trên thực tế có nhiều bài toán địa kỹ thuật liên quan tới môi trường đất không bão hoà như đất tàn tích, đất trương nở, đất nén sập và đất đầm nén.... Đường cong đặc trưng đất nước (SWCC) là thông số trung tâm của cơ học đất cho đất không bão hoà. Nó khống chế các đặc tính của đất không bão hoà như hệ số thẩm, cường độ kháng cắt và biến thiên thể tích của đất. Đây là đường cong biểu diễn quan hệ giữa độ ẩm và độ hút dính của đất. Đường cong đặc trưng đất nước có thể xác định trực tiếp từ các thí nghiệm trong phòng, ngoài trời hoặc xác định gián tiếp từ các mô hình toán học thông qua thông số cơ bản của đất. Một vài phương pháp xác định SWCC chính sẽ được mô tả trong bài báo này. Từ đường cong đặc trưng đất nước có thể dùng để dự đoán hàm thẩm và cường độ kháng cắt sẽ được trình bày trong nghiên cứu này. Đường cong đặc trưng đất - nước và hàm thẩm là các thông số cần thiết đối với phân tích bài toán nước mưa thấm vào trong mái dốc. Kết quả phân tích thẩm có thể chuyển trực tiếp để phân tích ổn định mái dốc trong quá trình mưa, đường bão hoà thay đổi.... Bài báo này đồng thời tính toán hàm thẩm và hàm cường độ kháng cắt từ đường cong đặc trưng đất - nước cho đất đắp đập hồ chứa nước Sông Sắt tỉnh Bình Thuận.

Từ khóa: Đường cong đặc trưng đất nước, độ ẩm, độ hút dính, hệ số thẩm, cường độ kháng cắt.

I. GIỚI THIỆU

Độ ẩm trong đất không bão hoà là một hàm của độ hút dính trong đất. Mọi quan hệ này có thể biểu diễn bằng đồ thị quan hệ giữa độ ẩm và độ hút dính và được gọi là đường cong đặc trưng đất - nước (SWCC). Tên gọi đường cong đặc trưng đất - nước đã được dùng khá phổ biến trong lĩnh vực địa kỹ thuật. Khá nhiều dạng phương trình đã được đề nghị để biểu diễn đường cong đặc trưng đất - nước. Hiện nay dùng phổ biến nhất là các phương trình Brooks-Corey (1964), van Genuchten (1980) và Fredlund và Xing (1994). Leong và Rahardjo (1997) đã đánh giá lại các phương trình đường cong đất - nước đã công bố và chỉ ra rằng tất cả các phương trình có thể biến đổi từ một dạng phương trình duy nhất. Bài báo này chủ yếu tập trung vào giới thiệu các thí nghiệm để xác định đường cong đặc trưng đất - nước. Đường cong đặc trưng đất - nước từ đất đắp đập miền Trung sẽ được trình bày trong bài báo này. Một số phương pháp gián tiếp xác định đường cong đặc trưng đất - nước cũng như một số phương pháp xác định hàm thẩm và cường độ kháng cắt từ đường cong đặc trưng đất - nước được trình bày trong

phần cuối của nghiên cứu này.

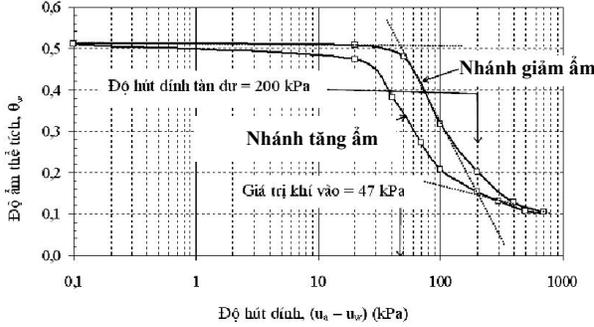
II. ĐƯỜNG CONG ĐẶC TRƯNG ĐẤT - NƯỚC (SWCC)

1. Giới thiệu

Đường cong đặc trưng đất - nước có thể được biểu thị dưới dạng quan hệ giữa độ ẩm trọng lượng, độ ẩm thể tích hoặc độ bão hoà và độ hút dính của đất. Đường cong đặc trưng đất - nước có dạng như đường cong có kết biểu thị quan hệ giữa hệ số rỗng và ứng suất hiệu quả. Hai nhánh của đường cong đặc trưng đất - nước (nhánh giảm ẩm và nhánh tăng ẩm) tương tự như đường nén và đường nở trong đường cong nén có kết (xem hình 1). Theo nhánh giảm ẩm, độ ẩm của đất giảm khi độ hút dính tăng và ngược lại trên nhánh tăng ẩm, độ ẩm của đất tăng khi độ hút dính giảm. Đường cong đặc trưng đất - nước có nhánh giảm ẩm và nhánh tăng ẩm không đồng nhất mà nó xuất hiện hiện tượng trễ. Như trình bày trong hình 1, một vài thông số chính mô tả đường cong đặc trưng đất nước như: độ ẩm bão hoà, độ ẩm tàn dư, giá trị khí vào....

Đường cong đặc trưng đất - nước có thể dùng để xác định các thông số chính của đất không

bão hoà. Fredlund và nnk. (1995), Vanapalli và nnk. (1996) đã thiết lập mối quan hệ giữa đường cong đặc trưng đất - nước và cường độ kháng cắt của đất. Các quan hệ thường được dùng nhiều nhất là dự đoán hàm thấm và hàm cường độ kháng cắt của đất từ đường cong đặc trưng đất - nước.



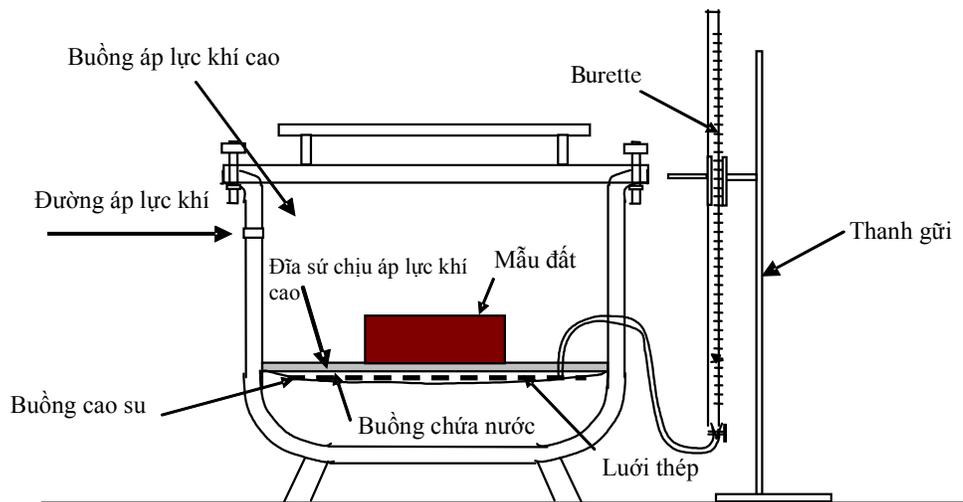
Hình 1. Đường cong đặc trưng đất - nước

2. Thí nghiệm xác định đường cong đặc trưng đất - nước

Phương pháp để xác định đường cong đặc trưng đất - nước cho các loại đất từ hạt thô, hạt trung đến hạt mịn có thể tìm thấy trong tiêu chuẩn thí nghiệm của Mỹ (ASTM 1998). Thí nghiệm này cho phép xác định đường cong đặc trưng đất - nước có độ hút dính tới 1520kPa. Trong thời gian gần đây, tiêu chuẩn thí nghiệm

ASTM (2003) đã mô tả 5 phương pháp (từ A đến E) để xác định đường cong đất - nước. Phương pháp A phù hợp để xác định độ hút dính từ 0 đến 80 kPa. Mẫu thí nghiệm được để trong buồng áp lực cao trên đĩa sứ áp lực khí cao lớn hơn 80 kPa. Độ hút dính được xác định bởi giảm áp lực nước lỗ rỗng trong khi đó giữ áp lực khí tại áp lực khí quyển.

Phương pháp B và C phù hợp với khoảng biến đổi của độ hút dính từ 0 đến 1500 kPa. Thiết bị thí nghiệm dùng trong phương pháp B và C là gồm một thiết bị bao gồm 1 buồng chịu áp lực khí cao, một đĩa sứ chịu áp lực khí cao và đường áp lực khí. Thiết bị thí nghiệm đặc trưng được trình bày trong hình 2. Mẫu đất thí nghiệm được đặt trong buồng chịu áp lực khí cao và sau đó áp lực khí trong buồng tăng dần lên trên áp lực khí quyển trong khi đó buồng áp lực nằm dưới đĩa sứ chịu áp lực khí cao được giữ bằng với điều kiện áp lực khí quyển. Quá trình này thông thường được gọi là kỹ thuật chuyển trực. Trong phương pháp B, nước thoát ra ngoài được đo bằng sử dụng dụng cụ đo tương tự phương pháp A. Phương pháp C đo lượng nước thoát ra không trực tiếp thông qua sự thay đổi về khối lượng của mẫu đất trong quá trình áp dụng độ hút dính.



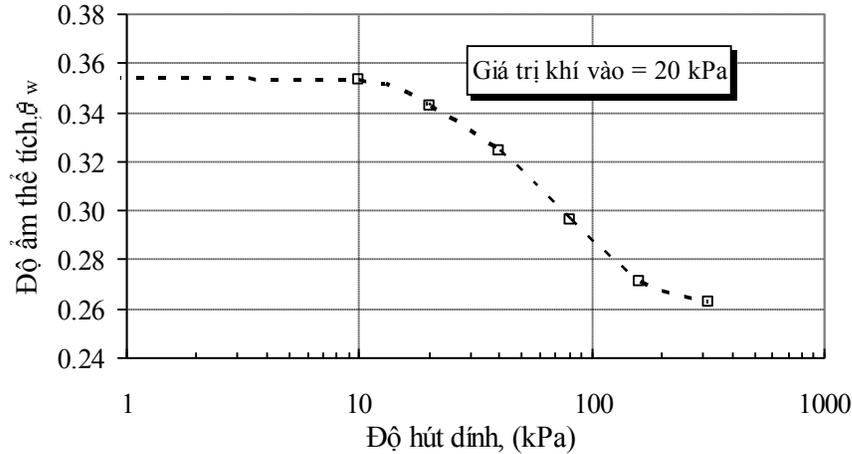
Hình 2. Bình chiết suất xác định SWCC

Đất đắp đập hồ chứa nước Sông Sắt thuộc xã Phước Thắng, huyện Bắc Ái, tỉnh Ninh Thuận đã được chọn để thí nghiệm xác định đường cong đặc trưng đất - nước. Phương pháp thí nghiệm được lựa chọn theo phương pháp C và B và được tiến hành tại phòng thí nghiệm Địa kỹ thuật - trường Đại học Thủy lợi.

Dùng phương pháp đầm nén tĩnh để tạo các mẫu thí nghiệm. Khối lượng đất và nước được

tính toán để chế bị ra các mẫu có dung trọng khô bằng 95% dung trọng khô lớn nhất ($\rho_k = 1,77 \text{ T/m}^3$) và tương ứng độ ẩm khi đầm nén ($w = 12,7\%$). Mẫu chế bị có chiều dày 20mm. Mỗi mẫu được đầm nén với 2 lớp, chiều dày mỗi lớp là 10mm.

Kết quả thí nghiệm được trình bày trong hình 3. Từ kết quả thí nghiệm cho thấy giá trị khí vào tới hạn là 20 kPa.



Hình 3 Kết quả thí nghiệm SWCC của đất đắp hồ chứa nước Sông Sắt

3. Các phương trình đường đặc trưng đất - nước

Để thuận lợi nếu ta biểu diễn đường cong đất - nước dưới dạng phương trình toán học. Đã có khá nhiều phương trình được đề nghị để mô tả đường cong đặc trưng đất- nước. Leong và Rahardjo (1997a) đã chỉ ra rằng hầu hết các phương trình biểu diễn đường cong đặc trưng đất - nước đã kiến nghị đều có thể biến đổi từ dạng chung sau:

$$a_1 \Theta^{b_1} + a_2 \exp(a_3 \Theta^{b_1}) = a_4 \psi^{b_2} + a_5 \exp(a_6 \psi^{b_2}) + a_7 \quad (1)$$

$$\Theta = \frac{\theta_w}{\theta_s}$$

Trong đó: $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, b_1$ và b_2 là các hằng số, ψ là áp lực hút dính và Θ độ ẩm thể tích chuẩn hoá, θ_s là độ ẩm thể tích bão hoà, θ_w là độ ẩm thể tích tại một giá trị độ hút dính xác định. Leong và Rahardjo (1997a) đã đánh giá một số phương trình đường cong đặc trưng đất - nước thông thường và tìm ra rằng 2 phương trình của van Genuchten (1980) và Fredlund và Xing (1994) cho kết quả khá sát với

số liệu thí nghiệm.

$$\text{van Genuchten: } \Theta = \left[\frac{1}{1 + (\alpha \psi)^n} \right]^m \quad (2)$$

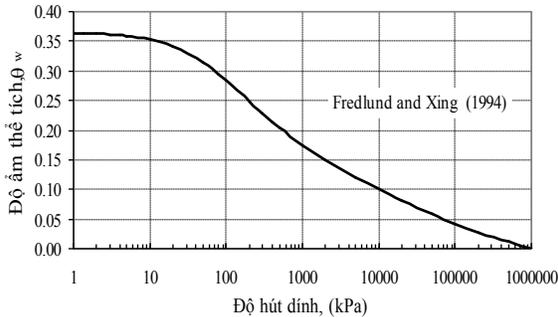
Fredlund và Xing:

$$\Theta = C(\psi) \left\{ \frac{1}{\ln \left[e + \left(\frac{\psi}{a} \right)^n \right] } \right\}^m \quad (3)$$

Trong đó: α, a, n, m là các hằng số; e số tự nhiên; và $C(\psi)$ hệ số hiệu chỉnh. Nhìn chung phương trình của Fredlund và Xing cho kết quả gần với kết quả thí nghiệm hơn phương trình của van Genuchten. Leong và Rahardjo (1997a) đồng thời đề nghị rằng hệ số hiệu chỉnh, $C(\psi)$, trong phương trình (3) chọn không đổi.

Từ kết quả thí nghiệm đường cong đất - nước trong phòng (hình 3), dùng phương trình của Fredlund và Xing (1994) (Phương trình 3) để dự đoán và mô tả đường cong đặc trưng đất - nước cho toàn dải biến thiên của độ hút dính của đất

thí nghiệm. Kết quả dự đoán đường cong đặc trưng đất - nước dựa trên phương trình của Fredlund và Xing (1994) (với các thông số $a = 56 \text{ kPa}$, $m = 0,579$, $n = 1,088$ và $C(\square) = 1$) được thể hiện trên hình 4.



Hình 4 Đường cong đặc trưng đất - nước của đất đắp đập hồ chứa nước Sông Sắt

III. ĐƯỜNG CONG ĐẶC TRƯNG ĐẤT - NƯỚC VÀ HÀM THẨM

Định luật của Darcy cho dòng thấm qua môi trường đất bão hoà cũng đồng thời được áp dụng cho đất không bão hoà (Fredlund và Rahardjo 1993). Hệ số thấm của đất không bão hoà không chỉ là hàm của hệ số rỗng, mà đồng thời phụ thuộc vào độ ẩm của nó. Vì hệ số rỗng e , độ ẩm w và độ bão hoà là hàm tương quan, hệ số thấm cho đất không bão hoà k_w có thể biểu thị là một hàm của các thông số như sau:

$$k_w = f(e, w);$$

$$k_w = f(S, e);$$

$$k_w = f(S, w)$$

Thí nghiệm xác định hệ số thấm của đất không bão hoà là một quá trình rất khó khăn và tốn thời gian.

Thời gian của thí nghiệm xác định hệ số thấm tăng khi độ ẩm trong đất giảm. Hệ số thấm của đất không bão hoà có thể xác định trực tiếp bằng phương pháp đo ổn định và không ổn định (Fredlund và Rahardjo 1993). Trong phương pháp đo ổn định, lực hút dính sẽ được đưa vào trong mẫu đất bởi việc dùng kỹ thuật chuyển trục (Hilf, 1956). Tại trạng thái cân bằng, gradient thủy lực sẽ được thiết lập dọc theo mẫu. Đo lưu lượng thấm thoát ra và hệ số thấm được tính toán theo định luật Darcy. Trong phương pháp đo không ổn định, trong một mẫu đất hình trụ được tạo nên dòng thấm liên tục tại

một đầu. Gradient thủy lực và dòng thấm tại các điểm khác nhau dọc theo mẫu đất được tính toán từ kết quả đo độ ẩm hay áp lực nước lỗ rỗng tại các điểm đó. Trong trường hợp này định luật Darcy vẫn được dùng để tính toán k_w .

Phương pháp gián tiếp xác định hệ số thấm của đất không bão hoà thì đường cong đặc trưng đất-nước và hệ số thấm ở trạng thái bão hoà k_s của mẫu đất được xác định trước. Hệ số thấm của đất không bão hoà tại một giá trị độ hút dính xác định có thể tính toán từ độ ẩm của đất tại chính độ hút dính đó, dựa trên thực tế rằng nước chỉ có thể chảy qua lỗ rỗng mà nó chứa nước. Khi độ hút dính tăng lên, độ ẩm của đất hay độ bão hoà giảm và do đó hệ số thấm của đất không bão hoà đồng thời giảm.

Quan hệ giữa đường cong đặc trưng đất - nước và hệ số thấm

Trong các mô hình xác định gián tiếp hàm thấm thì mô hình thống kê là cho kết quả khá chính xác nhất. Hàm thấm sau đây của Nielsen và nnk. (1960) được xây dựng dựa trên mô hình thống kê và thường được sử dụng:

$$k_w(\theta_w) = k_s \frac{\sum_{i=1}^l \frac{2(l-i)-1}{\psi_i^2}}{\sum_{i=1}^m \frac{2(m-i)-1}{\psi_i^2}} \quad (4)$$

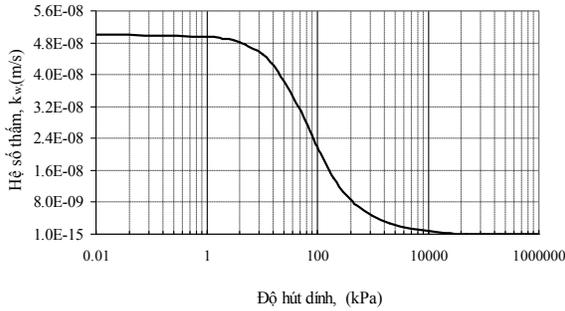
Leong và Rahardjo (1997) đã kiến nghị phương trình dự đoán hàm thấm dựa trên hệ số thấm bão hoà và đường cong đặc trưng đất - nước như sau:

$$k_w = k_s \Theta^p \quad (5)$$

Trong đó: p là hằng số. Fredlund và nnk. (2001b) đã tiến hành xác định giá trị của hằng số p cho rất nhiều cặp số liệu và đã tìm ra p biến đổi từ 2,4 đến 5,6 cho các loại đất khác nhau. Giá trị trung bình của p cho tất cả các loại đất là 3,29.

Hàm thấm của đất đắp đập hồ chứa nước Sông Sắt được dự đoán từ phương trình kiến nghị bởi Leong và Rahardjo, 1997 (nghĩa là phương trình 5) dựa trên số liệu của đường cong đặc trưng đất - nước (hình 4) với các thông số: $k_s = 5.10^{-8} \text{ (m/s)}$, $\theta_s = 0,364$, $p = 3,29$. Kết quả dự đoán hàm thấm cho đất đắp hồ chứa nước Sông Sắt được trình bày trên hình 5. Như vậy hàm thấm có dạng tương tự đường cong đặc

trung đất - nước. Hệ số thấm biến đổi rất nhỏ khi áp lực hút dính nhỏ hơn áp lực khí vào tới hạn (nghĩa là lớn hơn 20kPa). Tuy nhiên khi độ hút dính vượt qua áp lực khí vào tới hạn thì hệ số thấm giảm rất nhanh



Hình 5. Hàm thấm của đất đắp đập hồ chứa nước Sông Sắt

IV. ĐƯỜNG CONG ĐẶC TRƯNG ĐẤT - NƯỚC VÀ CƯỜNG ĐỘ CHỐNG CẮT

Khi độ hút dính của đất tăng thường làm cho cường độ kháng cắt của đất tăng lên, nhưng cùng lúc đó thì độ ẩm của đất giảm. Sự tăng lên về cường độ kháng cắt do độ hút dính tạo nên được đặc trưng bởi góc ϕ^b . Áp lực nước lỗ rỗng âm ảnh hưởng tới cường độ kháng cắt của đất thông qua các thể tích của lỗ rỗng chứa nước. Trong giai đoạn đầu khi đất ở trạng thái bão hoà áp lực nước lỗ rỗng âm hoàn toàn ảnh hưởng thông qua thể tích lỗ rỗng chứa đầy nước làm cường độ kháng cắt tăng bởi giá trị ϕ^b bằng với ϕ' . Khi độ hút dính vượt qua giá trị khí vào, đất sẽ trở nên không bão hoà và thể tích lỗ rỗng chứa đầy nước giảm. Do đó, ảnh hưởng của độ bão hoà đến cường độ kháng cắt đồng thời giảm.

Góc ϕ^b có thể xác định trực tiếp từ thiết bị thí nghiệm cắt 3 trục cải tiến cho đất không bão hoà. Tuy nhiên hàm biểu thị góc ϕ^b có thể xác định gián tiếp từ đường cong đặc trưng đất nước. Vai trò của độ hút dính và độ ẩm ảnh hưởng tới cường độ kháng cắt của đất được biểu diễn bởi phương trình của Vanapalli và nnk. 1996 như sau:

$$\tau = c' + (\sigma_n - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) [\Theta^k (\tan \phi')] \quad (6)$$

Trong đó:

τ = cường độ kháng cắt,

σ_n = ứng suất pháp thực,

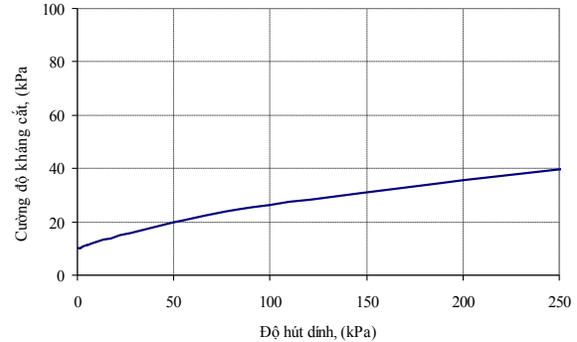
u_a = áp lực khí lỗ rỗng,

u_w = áp lực nước lỗ rỗng, và

Θ = độ ẩm thể tích chuẩn hoá, ($\Theta = \theta_w / \theta_s$)

κ = tham số hiệu chỉnh.

Trong phương trình 6, tan ϕ^b được xác định bằng tan ϕ' nhân với Θ , trong đó Θ biểu diễn độ ẩm chuẩn hóa của đất tại một giá trị xác định của độ hút dính mà nó có thể tính từ đường cong đặc trưng đất - nước. Nói cách khác, sự biến đổi của góc ϕ^b ứng với độ hút dính có thể suy ra từ đường cong đặc trưng đất - nước.



Hình 6. Sự về cường độ kháng cắt do độ hút dính tăng của đất đắp đập hồ chứa nước Sông Sắt

V. CONCLUSIONS

Đường cong đặc trưng đất - nước (SWCC) là thông số quan trọng trong cơ học đất cho đất không bão hoà. Đây là đường cong không chế các đặc tính của đất không bão hoà như hệ số thấm, cường độ kháng cắt và biến thiên thể tích của đất. Đường cong đặc trưng đất - nước có thể xác định trực tiếp từ các thí nghiệm trong phòng, ngoài trời cũng như xác định gián tiếp từ các phương trình đã kiến nghị bởi nhiều tác giả. Việc thí nghiệm xác định hàm thấm, cường độ kháng cắt ứng với độ hút dính khác nhau thường rất khó khăn, đắt tiền và thời gian kéo dài. Tuy nhiên hàm thấm và cường độ kháng cắt của đất ứng với mỗi độ hút dính xác định có thể tính toán từ đường cong đặc trưng đất - nước. Hàm thấm và phương trình đường cường độ kháng cắt cho phép phân tích chính xác các bài toán thấm không ổn định, thấm do mưa, ổn định mái dốc theo thời gian khi có sự thay đổi về độ ẩm, áp lực nước lỗ rỗng, đường bão hoà trong môi trường đất.

VI. REFERENCES

- ASTM (1998). Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.08.
- ASTM D6838-02 (2003). "Standard Test Methods for Determination of the Soil Water Characteristic Curve for Desorption Using a Hanging Column, Pressure Extractor, Chilled Mirror Hygrometer, and/or Centrifuge" Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.08.
- Brooks, R.H, and Corey, A.T., (1964). "Hydraulic Properties of Porous Media", Colorado State Univ. Hydrol. Paper, No. 3, 27 pp. 1-15.
- Croney, D., and Coleman, J.D., (1948). "Soil Thermodynamics Applied to the Movement of Moisture in Road Foundation", in Proc. 7th Int. Cong. Appl. Mech., vol. 3, pp. 163-167.
- Fredlund, D.G., H. Rahardjo, E.C. Leong, and C.W.W. Ng. (2001a). " Suggestions and Recommendations for the Interpretation of Soil-water Characteristic Curves" Proceedings of the 14th Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, December 10-14, Vol.1, pp. 503 – 508.
- Fredlund, D.G., Fredlund, M. D. and Zakerzadeh, N., (2001b). "Predicting the Permeability Functions for Unsaturated Soils". Proc. Inter. Symp. On Swelling, Permeability and Structure of Clays. IS-Shizuoka 2001. Shizuoka, Japan, January, pp.215-222. Rotterdam, Balkema.
- Fredlund, D.G. and Rahardjo, H., (1993). Soil Mechanics for Unsaturated Soils, John Wiley.
- Fredlund, D.G. and Xing, A., (1994). "Equations for the Soil-water Characteristic Curve", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 31, No. 4, pp. 521-532.
- Hilf, J.W. (1956). "An investigation of pore-water pressure in compacted cohesive soils" PhD thesis, Tech. Memo. No. 654, U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Reclamation, Design and Constr. Div., Denver, Colorado.
- Leong, E.C. and Rahardjo, H., (1997a). "Review of Soil-water Characteristic Curve Equations", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 123, No. 12, pp. 1106-1117.
- Leong, E.C. and Rahardjo, H., (1997b). "Permeability functions for unsaturated soils", ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering (United States), Vol. 123, No. 12, pp 1118 - 1126.
- Leong, E.C. and Rahardjo, H., (2002). "Soil-water Characteristic Curves of Compacted residual soils", In Juca', J.F.T, de Campos, T.M.P. & Marinho, F.A.M. (eds), Unsaturated Soils, Proc. 3rd Intern. Conf. on Unsaturated Soils, Recife, Brazil, 10-13 March 2002, 1: 271-276. Lisse: Balkema.
- Mualem Y. (1976). "A new model for predicting hydraulic conductivity of unsaturated porous media" Water Resources Research, Vol. 12, pp. 513-522.
- Nielsen, D.R., Kirkham, D., and Perrier, E.R. (1960). "Soil capillary conductivity: Comparison of measured and calculated values" Soil Science Society of America, Vol. 24, pp. 157-160.
- Vanapalli, S.K., Fredlund, D.G., Pufahl, D.E. and Clifton, A.W., (1996). "Model for the Prediction of Shear Strength with respect to Soil Suction", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 33, pp. 379-392.

Abstract:

EFFECT OF MATRIC SUCTION ON SHEAR STRENGTH AND COEFFICIENT OF PERMEABILITY ON UNSATURATED SOIL

Many geotechnical problems are associated with unsaturated soils such as residual soils, expansive or collapsible soils, and compacted soils. Soil-water characteristic curve (SWCC) is central to unsaturated soil mechanics. The curve depicts water content versus soil suction relationship that governs the engineering behavior of unsaturated soils such as permeability, shear strength and volume change of the soils. SWCC can be determined using laboratory tests and several standardized laboratory test procedures are described in this paper. Having established the SWCC, the permeability, shear strength and volume change of soil can be estimated and used directly in performing geotechnical analyses. SWCC and permeability function are required in seepage analyses of water infiltration into unsaturated soils. The results of seepage analyses can be incorporated into slope stability analyses for assessment of factor of safety of a slope during rainfall. This paper also illustrates the use of SWCC in predicting of permeability function and shear strength of compacted soil for the Song Sat earth fill dam, Ninh Thuan province.

Keywords: Soil water characteristic curve, water content, matric suction, coefficient of permeability; shear strength.