

TÍNH TOÁN ỔN ĐỊNH MÁI DỐC CÓ XÉT ĐẾN YẾU TỐ KHÔNG BẢO HÒA CỦA ĐẤT TRONG ĐIỀU KIỆN VIỆT NAM

Phạm Quang Hưng¹

Tóm tắt: Một trình tự tính toán ổn định mái dốc có xét đến yếu tố không bão hòa của nền đất phù hợp với điều kiện của Việt Nam được trình bày trong bài báo này. Sự phù hợp nói trên bao gồm: 1) việc lựa chọn phương pháp xác định các chỉ tiêu cơ học của đất không bão hòa phục vụ cho công tác tính toán ổn định mái dốc; và 2) lựa chọn bộ phần mềm tính toán ổn định mái dốc phù hợp. Trình tự tính toán trên được áp dụng để tính toán thử nghiệm cho khu vực đồi núi thuộc huyện Lương Sơn, tỉnh Hòa Bình có xét đến ảnh hưởng của khí hậu thủy văn. Kết quả tính toán cho thấy hệ số an toàn của mái dốc giảm khi số lượng ngày mưa liên tục tăng hay độ dốc của mái dốc tăng lên. Bên cạnh đó, mặt trượt của mái dốc có dạng trượt nông, phù hợp với quan sát thực tế.

Summary: A suitable calculation procedure for the slope stability which takes into account the existence of unsaturated soils in Vietnam condition is presented in this paper. The suitability include: 1) the selection of methods for estimating unsaturated soil mechanical properties for the slope stability analyses; and 2) selection of the suitable software program for slope stability. The proposed calculation procedure was applied for calculation of the slope stability at the Luongson district, Hoabinh province which takes into account the effect of weather. The calculation results show that the factor of safety decrease when the number of continous raining days increase or the slope angle increase. In addition, slip surface appears to be shallow as observed in the field.

Nhận ngày 05/01/2012, chỉnh sửa ngày 26/02/2012, chấp nhận đăng ngày 28/02/2012

1. Đặt vấn đề

Sạt trượt đất là một dạng tai biến thiên nhiên xảy ra tương đối phổ biến ở các vùng đồi núi nước ta. Đó là quá trình di chuyển các khối đất lớn theo một bề mặt. Kết quả thống kê ngoài thực địa cho thấy số lượng các điểm trượt lở đất tỷ lệ thuận với độ cao và độ dốc địa hình. Các tai biến sạt trượt đất thường xảy ra vào những dịp có đợt mưa lớn kéo dài với cường độ mạnh. Theo báo cáo tổng hợp của Ban Quản lý Dự án đường Hồ Chí Minh thuộc Bộ Giao thông Vận tải thì có khoảng 1539 điểm mất ổn định cần gia cố (chủ yếu là có nguy cơ sạt trượt) với chiều dài tương đương 130 km [2]. Bên cạnh đó, sạt trượt tại các đường giao thông liên huyện, liên tỉnh của các vùng đồi núi cũng liên tục xảy ra.

Đào Văn Toại [1] đã xây dựng các giải pháp cấu tạo và biện pháp kỹ thuật nhằm đảm bảo ổn định các mái dốc và nền đất cho đường miền núi. Tuy nhiên, nghiên cứu này cũng như nhiều nghiên cứu khác ở Việt Nam chưa chú trọng nhiều đến việc sử dụng lý thuyết của cơ học đất không bão hòa làm cơ sở cho việc nghiên cứu sự ổn định của mái đất. Vì vậy, một nghiên cứu sử dụng lý thuyết của cơ học đất không bão hòa để tính ổn định mái dốc là hết sức cần thiết.

¹TS, Khoa Xây dựng Cầu đường, Trường Đại học Xây dựng. E-mail: phamquanghung@gmail.com



a) Minh Long, Hạ Lang, Cao Bằng

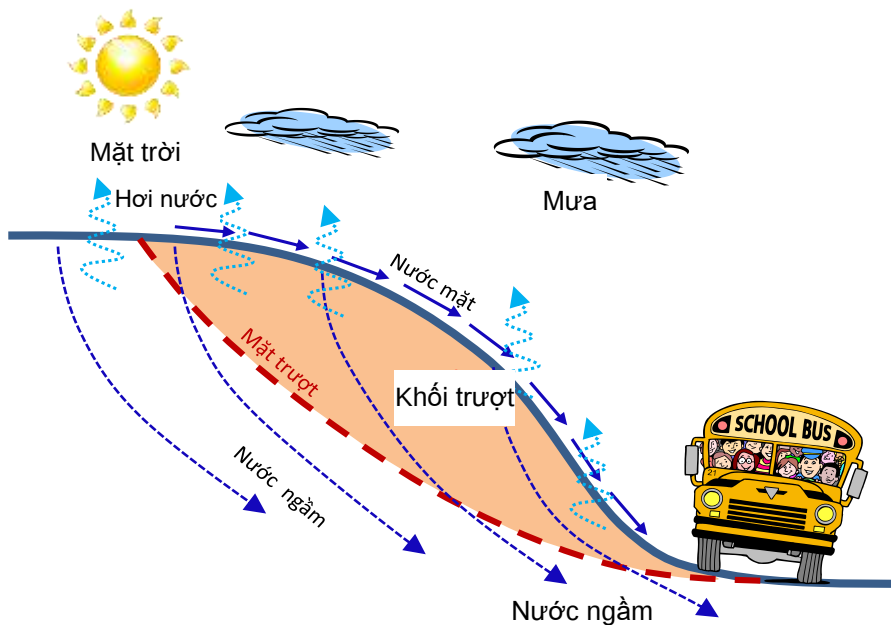


b) Đường Hồ Chí Minh, Lương Sơn, Hòa Bình

Hình 1. Một vài hình ảnh về sạt trượt tại Việt Nam

2. Lý thuyết tính toán

2.1 Ảnh hưởng của khí hậu thủy văn



Hình 2. Ảnh hưởng của yếu tố thời tiết đến sức kháng cắt của đất

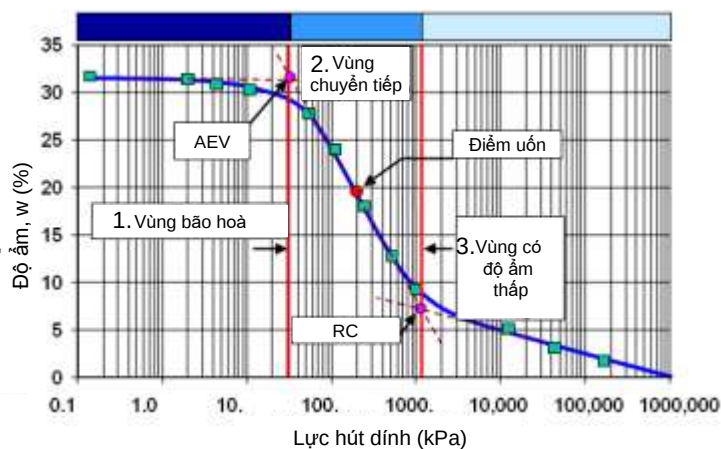
Sạt trượt đất trong tự nhiên thường là do sự tăng áp lực nước lỗ rỗng khi nước mưa xâm nhập những mái đất không bão hòa. Sự tăng áp lực nước lỗ rỗng trong đất sẽ làm suy giảm sức kháng cắt của đất dẫn đến hiện tượng sạt trượt của các mái đất. Tính toán ổn định mái dốc thường vẫn được coi là bài toán đơn giản bởi chúng ta thường giả thiết áp lực nước lỗ rỗng là phân bố theo quy luật thủy tĩnh và không xét đến sự xuất hiện của đất không bão hòa ở trên mực nước ngầm. Tuy nhiên, thấm của nước trong đất không bão hòa rất phức tạp vì hệ số thấm thay đổi phụ thuộc vào lực hút dính (áp lực nước lỗ rỗng). Trong thực tế các yếu tố như mưa, nắng, gió, hay thảm thực vật sẽ là những yếu tố gây ra dòng thấm hay bay hơi của nước không bão hòa và kết quả là sự thay đổi áp lực nước lỗ rỗng. Để làm sáng tỏ hiện tượng sạt trượt cần phải dựa vào những nền tảng của cơ học đất không bão hòa (Hình 2). Do vậy, việc xác định các chỉ tiêu cơ học đất không bão hòa phục vụ công tác tính toán ổn định mái dốc là hết sức cần thiết.

2.2 Một số chỉ tiêu cơ học của đất không bão hòa

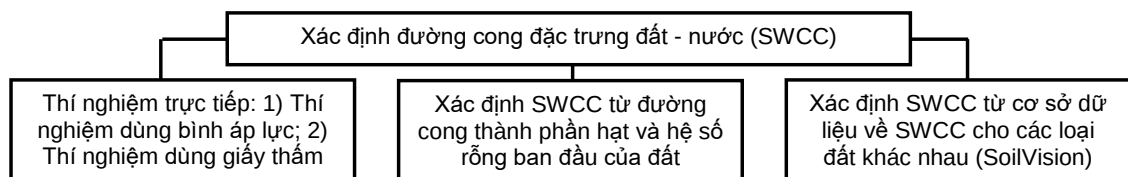
Để có thể tính toán ổn định mái dốc có sự xuất hiện của đất không bão hòa, ta cần phải hiểu về vai trò của một số chỉ tiêu cơ học của đất và cách xác định các chỉ tiêu này.

a. **Biến ứng suất:** Trong đất không bão hòa tồn tại cả áp lực nước lỗ rỗng (u_w) và áp lực khí lỗ rỗng (u_a) nên không thể sử dụng một biến ứng suất duy nhất (ứng suất hữu hiệu $\sigma - u_w$) để mô tả trạng thái ứng suất của đất không bão hòa. Bằng các nghiên cứu người ta thấy rằng cần phải sử dụng hai biến ứng suất là $(\sigma - u_a)$ và $(u_a - u_w)$ mới đủ giải quyết các bài toán về cơ học đất không bão hòa [5]. Độ chênh áp lực khí lỗ rỗng với áp lực nước lỗ rỗng ($u_a - u_w$) được gọi là lực hút dính trong đất.

b. **Đường cong đặc trưng đất - nước:** Đường cong đặc trưng đất-nước SWCC (Soil-Water Characteristic Curve) là đường cong thể hiện mối liên hệ giữa độ ẩm, w hoặc độ ẩm thể tích, θ và lực hút dính ($u_a - u_w$). Đường cong đặc trưng SWCC có thể được biểu diễn trên hệ trục logarit như trên Hình 3. Đồ thị đường cong SWCC có thể được chia thành ba vùng: 1) Vùng có độ ẩm ở trạng thái bão hòa kết thúc tại giá trị lực hút dính mà tại đó khí bắt đầu xâm nhập vào các lỗ rỗng trong đất; 2) Vùng chuyển tiếp là vùng nước lỗ rỗng dần dần thoát ra ngoài và bị thay thế bằng khí trong lỗ rỗng; và 3) Vùng có độ ẩm thấp, nước trong lỗ rỗng bám chặt vào các hạt đất và sự thoát nước lúc này chỉ là ở dạng bay hơi. Khi đạt đến nhiệt độ 105°C , nước trong đất bay hơi hoàn toàn thì lực hút dính lúc này là xấp xỉ 1×10^6 kPa. Hình 4 trình bày các phương pháp thường dùng để xác định đường cong đặc trưng đất - nước [7].

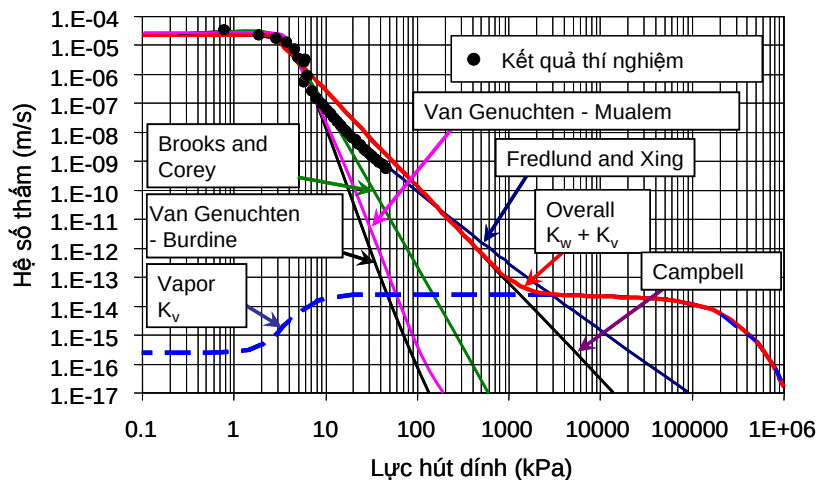


Hình 3. Cấu trúc của đường cong đặc trưng đất - nước

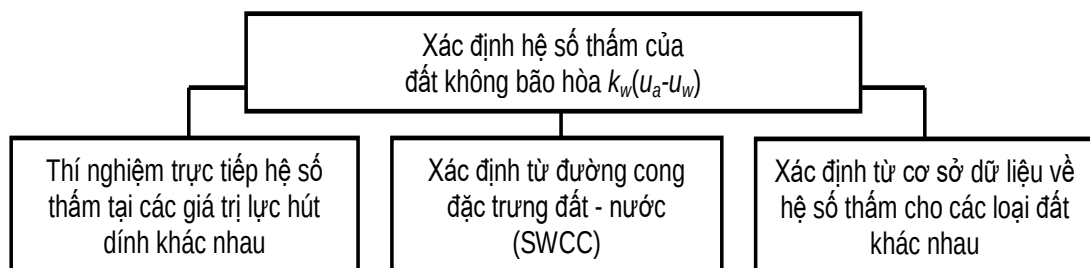


Hình 4. Sơ đồ các phương pháp xác định đường cong đặc trưng đất - nước [7]

c. **Hệ số thấm của đất không bão hòa:** Khi đất ở trạng thái bão hòa, hệ số thấm là hằng số. Tuy nhiên, khi đất không bão hòa hệ số thấm không thể xem là hằng số. Hệ số thấm của đất không bão hòa giảm rất nhanh khi lực hút dính tăng lên (Hình 5). Có ba phương pháp xác định hệ số thấm của đất không bão hòa như trên Hình 6. Hình 5 cũng trình diễn của một số mô hình dự báo hệ số thấm của đất không bão hòa [4], [6].



Hình 5. So sánh giữa các mô hình và số liệu thí nghiệm của hệ số thấm không bão hòa của một loại đất cát pha [4], [6]



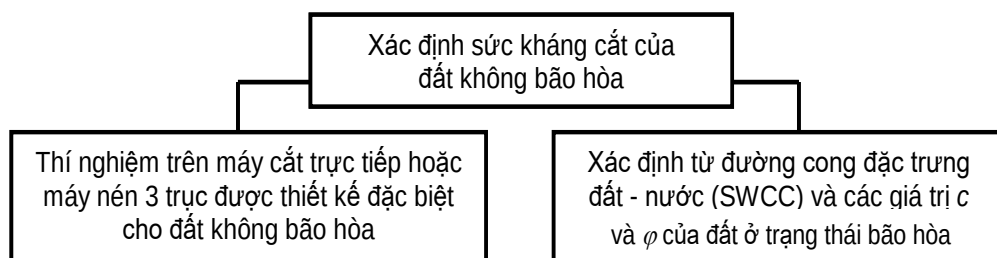
Hình 6. Các phương pháp xác định hệ số thấm của đất không bão hòa

d. **Sức kháng cắt của đất không bão hòa:** Sức kháng cắt phải được mô tả thông qua 2 biến ứng suất: 1) ứng suất pháp thực ($\sigma - u_a$) và 2) lực hút dính ($u_a - u_w$). Fredlund và cộng sự (1978) đã xây dựng lại công thức sức kháng cắt của đất không bão hòa dựa trên thuyết bền Mohr-Coulomb như sau:

$$\tau = c' + (\sigma - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi_b$$

trong đó: c' = lực dính hữu hiệu, $(\sigma - u_a)$ = ứng suất pháp thực, ϕ' = góc ma sát trong hữu hiệu, $(u_a - u_w)$ = lực hút dính trên mặt phá hoại, ϕ_b = góc biểu thị tốc độ tăng của sức kháng cắt theo lực hút dính.

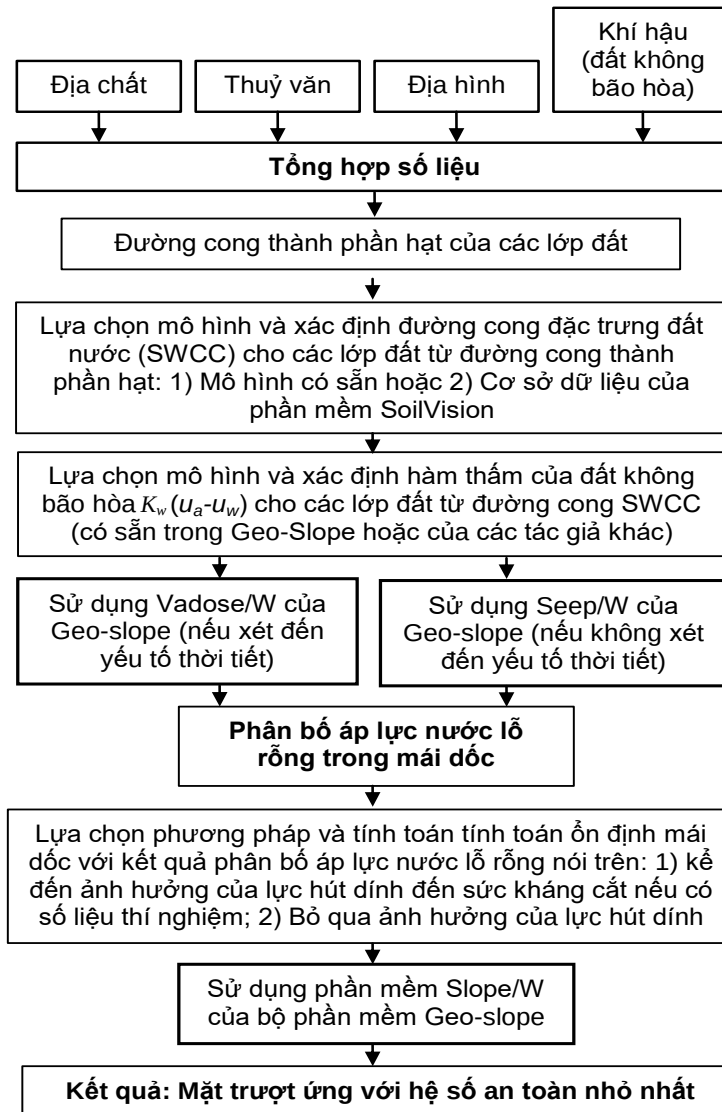
Phương trình sức kháng cắt của đất không bão hòa thực chất là sự mở rộng của phương trình sức kháng cắt của đất bão hòa. Các chỉ tiêu về sức kháng cắt thường được xác định thông qua 2 phương pháp sau: 1) Thí nghiệm trực tiếp trên mẫu đất không bão hòa; 2) Sử dụng các mô hình về sức kháng cắt (Hình 7)



Hình 7. Các phương pháp xác định sức kháng cắt của đất không bão hòa [6]

3. Tính toán ổn định mái dốc phù hợp với điều kiện Việt Nam

Việc tính toán ổn định mái dốc có xét đến yếu tố không bão hòa cần phải xác định được sự phân bố của áp lực nước lỗ rỗng trong nền đất của mái dốc (kể cả áp lực lỗ rỗng âm và lỗ rỗng dương). Sau đó, dùng các mô hình tính toán ổn định mái dốc để tính toán hệ số an toàn của các mái dốc trong đó có xét đến ảnh hưởng của áp lực nước lỗ rỗng.



Hình 8. Một trình tự tính toán ổn định mái dốc cho vùng đồi núi phù hợp với điều kiện của Việt Nam

Việc lựa chọn phần mềm tính toán ổn định mái dốc của vùng đồi núi cũng hết sức quan trọng. Phần mềm tính toán phải cho phép tính toán được phân bố áp lực nước lỗ rỗng trong cho đất không bão hòa có xét đến yếu tố thời tiết. Trên thế giới hiện nay, có một số phần mềm tính toán cho phép giải quyết được bài toán này như bộ phần mềm của: Soilcover, SoilVision, Geo-slope, Mod-flow, Hydrus. Trong những bộ phần mềm này thì có Geo-slope và Soilvision cho phép sử dụng kết quả tính toán phân bố áp lực nước lỗ rỗng trong mái dốc và tính toán ổn định mái dốc có xét đến ảnh hưởng của lực hút dính. Tuy nhiên, các kỹ sư của Việt Nam đã

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ ỨNG DỤNG

khá quen thuộc với bộ phần mềm Geo-slope nên tác giả kiến nghị sử dụng bộ phần mềm này để tính toán ổn định mái dốc. Bên cạnh đó, việc dùng bộ phần mềm SoilVision để khai thác cơ sở dữ liệu của đất không bão hòa nhằm nâng cao độ tin cậy của các thông số đầu vào cũng là rất cần thiết.

Như đã trình bày ở trên, sức kháng cắt của đất không bão hòa có thể được xác định qua thí nghiệm trực tiếp hoặc qua những mô hình dự báo sức chịu tải. Tuy nhiên, việc thí nghiệm trong phòng thí nghiệm để đạt được hàm sức kháng cắt của đất không bão hòa yêu cầu mất nhiều thời gian và chi phí rất lớn. Những mô hình cho hàm sức kháng cắt của đất không bão hòa cũng yêu cầu nhiều số liệu thực nghiệm hoặc mang tính kinh nghiệm qua những loại đất tương tự. Do vậy, trong công tác tính toán ổn định mái dốc ta nên lựa chọn cách xác định sức kháng cắt như sau:

- Xét đến ảnh hưởng của lực hút dính đối với sức kháng cắt của đất không bão hòa nếu có kết quả thí nghiệm về sức kháng cắt; và
- Bỏ qua ảnh hưởng của lực hút dính (áp lực lỗ rỗng âm) nếu không có kết quả thí nghiệm. Về mặt lý thuyết, phương pháp này sẽ cho hệ số an toàn nhỏ hơn.

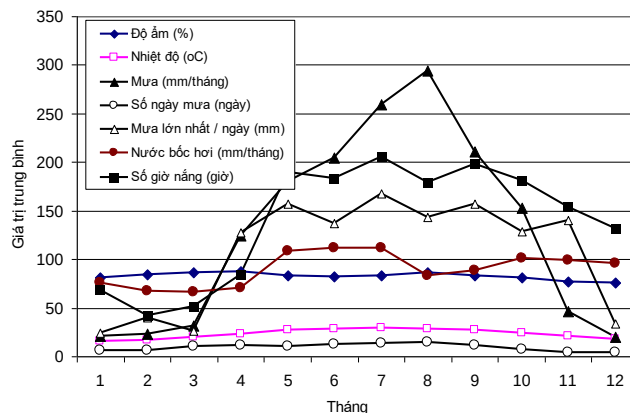
Qua những phân tích ở trên, sơ đồ tính toán ổn định mái dốc của vùng đồi núi Việt Nam cần phải thực hiện theo các bước như trong Hình 8.

4. Áp dụng thử cho một số khu vực đồi núi

Trong mục này, tác giả sẽ tiến hành tính toán ổn định mái dốc cho địa chất thu thập được tại huyện Lương Sơn, tỉnh Hòa Bình. Số liệu tóm tắt về địa chất, khí hậu - thủy văn được trình bày trước, sau đó là kết quả tính toán so sánh với các trường hợp mái dốc nghiêng 42° , 49° và 58° cùng các lượng mưa khác nhau.

4.1 Số liệu địa chất và khí hậu - thủy văn

Do không có số liệu khí hậu - thủy văn đầy đủ tại khu vực nghiên cứu nên tác giả sử dụng số liệu khí hậu thủy văn thu thập được của trạm Vĩnh Yên để tính toán theo trình tự nói trên (Hình 9).



Hình 9. Số liệu tổng hợp về khí hậu - thủy văn cho khu vực Vĩnh Yên

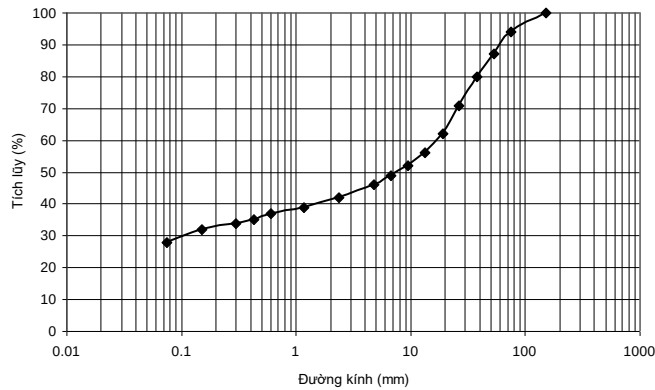
4.2 Số liệu địa chất

Địa tầng ở đây được phân chia thành 3 lớp theo thứ tự từ trên xuống dưới như sau:

Lớp 1: Là lớp đất mặt - trạng thái không đồng nhất, dày 0,30m - 0,50m. Do bề dày mỏng, không có đầy đủ các số liệu khảo sát nên các chỉ tiêu cơ học được lấy theo của lớp 2.

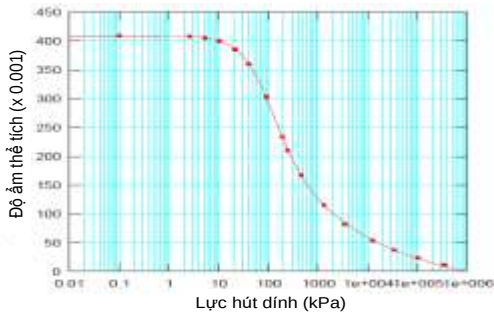
Lớp 2: Lớp sét pha phân bố trên toàn bộ diện tích khảo sát có bề dày: 3,20m đến 9,60m. Đất có dung trọng tự nhiên $\gamma_w = 1,88 \text{ T/m}^3$, dung trọng khô, $\gamma_k = 1,6 \text{ T/m}^3$, lực dính hữu hiệu $c' = 16 \text{ kPa}$ và góc ma sát trong hữu hiệu $\varphi' = 14^\circ$. Đường cong thành phần hạt được trình bày trên hình 10.

Lớp 3: Lớp đá gốc rất dày nằm dưới lớp 2.

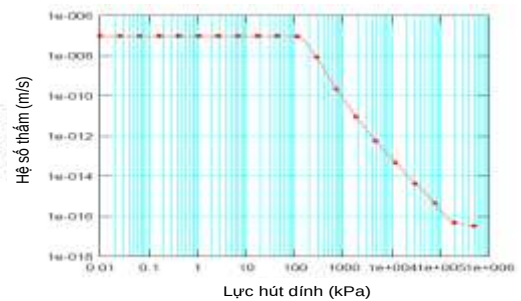


Hình 10. Đường cong thành phần hạt của lớp 2 tại Lương Sơn, Hòa Bình

Trên cơ sở đường cong thành phần hạt của lớp đất số 2, ta có thể xây dựng đường cong đặc trưng đất-nước (SWCC) và hàm thấm không bão hòa cho lớp đất số 2 theo [3] và [8] (hình 11).



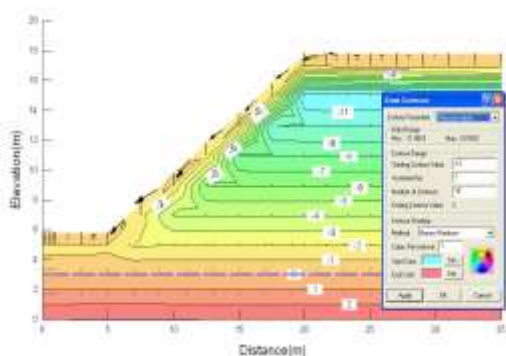
a) Đường cong SWCC [3]



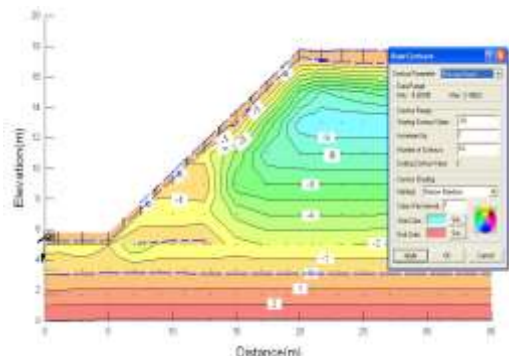
b) Hệ số thấm không bão hòa [8]

Hình 11. Các đặc trưng cơ học của lớp 2

4.3 Kết quả tính toán



a) Sau 9 ngày không mưa



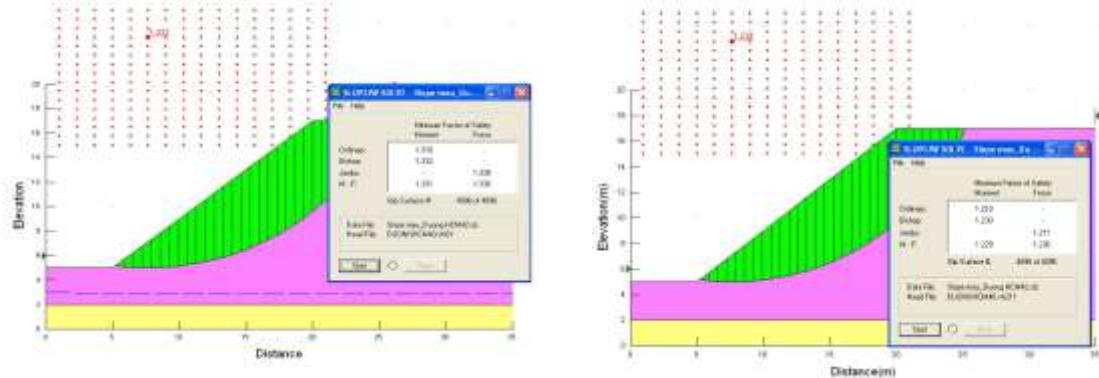
b) Sau khi mưa liên tục trong 3 ngày

Hình 12. Phân bố áp lực nước lỗ rỗng trong đất với mái dốc 42° sử dụng phần mềm Vadose/W

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ ỨNG DỤNG

Với số liệu địa chất, khí hậu thủy văn được mô tả như ở trên, tác giả tiến hành tính toán phân bố áp lực nước lỗ rỗng bằng phần mềm Vadose/W. Kết quả tính toán cho mái dốc có độ dốc 42° sau 9 ngày liên tục không mưa và sau 3 ngày mưa liên tục với lưu lượng 150mm/ngày được thể hiện trên Hình 12. Ta dễ dàng nhận thấy áp lực nước lỗ rỗng khoảng 3m đất gần bề mặt sau 3 ngày mưa tăng khoảng 20-30 kPa so với khi không mưa.

Hình 13 trình bày kết quả phân tích ổn định của mái dốc sử dụng phần mềm Slope/W với kết quả phân tích áp lực nước lỗ rỗng từ Vadose/W và góc nghiêng của mái dốc là 42° . Tổng kết hệ số an toàn tính toán được cho các trường hợp được thể hiện trên Bảng 1.



a) Sau 9 ngày không mưa

b) Sau khi mưa liên tục trong 3 ngày

Hình 13. Hệ số an toàn ổn định của mái dốc với góc nghiêng 42°

Bảng 1. Hệ số an toàn mái dốc đường Hồ Chí Minh huyện Lương Sơn, tỉnh Hòa Bình với độ dốc và lưu lượng mưa khác nhau

Các trường hợp		Hệ số an toàn ứng với các góc nghiêng		
		42°	49°	58°
1	Ngày không mưa	1.332	1.125	1.004
2	Sau 3 ngày mưa liên tục	1.230	1.032	0.928
3	Sau 5 ngày mưa liên tục	1.193	1.006	0.901

Kết quả tính toán ở trên cho thấy hệ số an toàn giảm đi khi mà số lượng ngày mưa liên tiếp tăng lên, đồng nghĩa với việc tăng nguy cơ sạt trượt mái đất. Các mái đất có góc nghiêng 42° thì với các điều kiện mưa 5 ngày liên tục mái đất vẫn chưa bị sạt trượt. Mái đất có góc nghiêng là 49° sẽ bị sạt trượt với mặt trượt nông khi mưa kéo dài 5 ngày liên tiếp. Mái đất có góc nghiêng 58° thì chỉ cần trận mưa kéo dài 1 ngày liên tục với cường độ là 150mm/ngày là đã có thể bị sạt trượt. Các mặt trượt đều là trượt nông, phù hợp với những quan sát thực tế.

5. Kết luận và kiến nghị

Qua kết quả tính toán áp dụng cho khu vực đồi núi thuộc Lương Sơn, Hòa Bình, một số kết luận có thể rút ra như sau:

- Trong điều kiện còn hạn chế về thiết bị thí nghiệm như Việt Nam, việc sử dụng các mô hình tương quan giữa các chỉ tiêu cơ học ở trạng thái bão hòa để xác định các chỉ tiêu cơ học của đất không bão hòa là thích hợp.

- Trình tự tính toán ổn định mái dốc có xét đến yếu tố không bão hòa của đất đã được trình bày là phù hợp và có khả năng áp dụng tại Việt Nam.

- Kết quả tính toán cho khu vực Lương Sơn, Hòa Bình cho thấy bên cạnh độ dốc, lưu lượng mưa và độ dài của mỗi cơn mưa cũng làm giảm đáng kể hệ số an toàn của mái dốc.
- Mặt trượt có dạng trượt nông phù hợp với các quan sát thực tế.

Tài liệu tham khảo

1. Đào Văn Toại (2005), *Nghiên cứu các sự cố mất ổn định các mái dốc và nền đất các tuyến đường miền núi và kiến nghị các giải pháp đảm bảo ổn định lâu dài* (2005), Đề tài nghiên cứu cấp bộ. Cơ quan chủ trì đề tài: Trường Đại học Xây dựng.
2. Nguyễn Xuân Giáp, Trần Tân Văn (2005), *Hiện trạng và phân vùng dự báo trượt lở đất đá dọc một số đoạn hành lang đường Hồ Chí Minh*, Tuyển tập Báo cáo HNKH 60 năm Địa chất Việt Nam.
3. Arya, L.M., and Paris, J.F., 1981. "A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data", *Soil Science Society of America Journal*, 45: 1023-1030.
4. Fredlund D. G. (2006) *Unsaturated Soil Mechanics in Engineering Practice* .J. Geotech. Geoenviron. Eng. doi:10.1061/(ASCE) 1090-0241. Vol. 132:3(286)
5. Fredlund, Rahardjo. *Soil Mechanics for unsaturated Soils* (1993). University of SaskatchewanSaskatoon, Sask, Canada.
6. Fredlund M. D., G. Ward Wilson and Delwyn G. Fredlund (1997). *Indirect Procedures to Determine Unsaturated Soil Property Functions*. University of SaskatchewanSaskatoon, Sask, Canada.
7. Fredlund M. D., D.G. Fredlund, G.W. Wilson (1997). *Prediction of the Soil-Water Characteristic Curve from Grain-Size Distribution and Volume-Mass Properties*. University of SaskatchewanSaskatoon, Sask, Canada.
8. Green, R. E. And J. C. Corey 1971, "Calculation of hydraulic conductivity: a further evaluation of some predictive methods", *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35:3-8