

HiStudy on the stability of road embankment due to the effect of water level changes on the slopes



Hung Nam Tran ^{1,*}, Duong Nguyen Tran ², Tiep Duc Pham ³

¹ Institute of Technique for Special Engineering, Military Technical Academy, Hanoi, Vietnam

² Faculty of Civil Engineering, Engineering Arms College, Binh Duong, Vietnam

³ Institute of Technique for Special Engineering, Military Technical Academy, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:

Received 05th Oct. 2020

Revised 03rd Nov. 2020

Accepted 31st Dec. 2020

Keywords:

Drawdown,
Embankment stability,
Hydraulic gradient,
Permeability,
Water level.

ABSTRACT

This paper presents a study on the stability of road embankment due to the effect of water level changes on the slope. Two scenarios of the drawdown were considered. The first one is the case of the embankment with the water on one slope and the second one is for the embankment with the water on both two slopes. For the two cases, the water level on one side drops. Effects of various parameters such as the permeability of the road embankment soil, the rate of change in water level on the stability of the slope were evaluated, to found out the principle of the change of stability of the embankment. The results showed that the embankment stability reduces if there is a drawdown of the water level on the slope.

Copyright © 2020 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

E - mail: tranhung@lqdtu.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.HTCS2020.04



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



Nghiên cứu sự ổn định của nền đường do ảnh hưởng của sự thay đổi mực nước trên mái ta-luy

Trần Nam Hưng^{1,*}, Trần Nguyên Dương², Phạm Đức Tiệp³

¹ Viện Kỹ thuật Công trình đặc biệt, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội, Việt Nam

² Khoa Công trình, Trường Sĩ quan Công binh, Bình Dương, Việt Nam

³ Viện Kỹ thuật Công trình đặc biệt, Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 05/10/2020

Sửa xong 03/11/2020

Chấp nhận đăng 31/12/2020

Từ khóa:

Độ thấm,
Gradient thủy lực,
Mực nước,
Ổn định nền đường,
Rút nước.

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu sự ổn định của nền đường khi có mực nước trên một mái ta-luy rút xuống và khi có mực nước ở trên hai mái ta-luy và một bên rút xuống trong khi một bên giữ nguyên. Ảnh hưởng của các tham số khác nhau như độ thấm (hay hệ số thấm) của đất nền đường, tốc độ thay đổi mực nước trên mái ta-luy nền đường đến sự ổn định của nền đường được khảo sát, để từ đó tìm ra quy luật về sự thay đổi mức độ ổn định của nền đường. Kết quả cho thấy, nền đường bị suy giảm đáng kể mức độ ổn định khi có sự rút xuống của mực nước trên mái ta-luy.

© 2020 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Nền đường ven các con sông hoặc qua các bãi sông, nền đường dọc theo các kênh mương thủy lợi hoặc nền đường đi qua các khu vực đầm, ao, hồ thường xuyên phải tiếp xúc với nước mặt một bên hoặc hai bên ta-luy nền đường. Sự tiếp xúc của nước mặt với nền đường có thể làm cho nền đường bị bão hòa nước như là hệ quả của một quá trình thấm nước vào trong nền đường. Một mặt, khi nền đường ngậm nước, nước sẽ làm suy giảm các tính chất cơ-lý như lực dính đơn vị và góc ma sát trong của đất nền, làm cho khả năng mất ổn định của nền đường tăng lên. Mặt khác, nếu có sự

thay đổi mực nước trên mái ta-luy, sẽ hình thành nên một sự chênh lệch cột nước giữa phần bên trong thân nền đường và phần bên ngoài nơi sát bề mặt ta-luy, đặc biệt khi mực nước rút nhanh. Sự sạt lở nền đường ven sông Đà thuộc địa phận phường Đồng Tiến - thành phố Hòa Bình vào năm 2018 có thể xem là một ví dụ minh chứng cho hiện tượng trên (Hình 1).

Các công trình thủy lợi như đê, đập cũng quan sát được hiện tượng mất ổn định khi mực nước trên mái ta-luy rút nhanh (Nguyễn Cảnh Thái, Lương Thị Thanh Hương, 2012). Liên quan đến vấn đề này, các nghiên cứu đến sự mất ổn định của thân đê, đập hay bờ sông khi có mực nước trên mái rút nhanh đã được nghiên cứu. Có thể kể ra đây các công trình của Desai C.S. (1977); (Borja RI, (Kishnani, 1992); (Nguyễn Cảnh Thái, Lương Thị Thanh Hương, 2012); Toan Duong Thi and Duc Do Minh (2019).

* Tác giả liên hệ

E - mail: tranhung@lqdtu.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.HTCS2020.04



Hình 1. Bờ hữu sông Đà bị sạt lở (hạ lưu thủy điện Hòa Bình) do mực nước sông rút nhanh (nguồn: internet).

Kết quả của các nghiên cứu chỉ ra rằng, chiều cao mái, tốc độ rút, hệ số thấm của nền đắp ảnh hưởng nhiều đến hệ số ổn định trượt của mái.

Mặc dù vậy, trong thiết kế nền đường ô tô, vấn đề này thường chưa được đề cập đến. Việc đánh giá một cách chi tiết các tình huống rút nước có thể xảy ra cũng như tốc độ rút nước trong tính toán ổn định mái ta-luy nền đường chưa được quan tâm đúng mức.

Bài báo này trình bày một nghiên cứu lý thuyết và thử nghiệm số về sự ổn định của nền đường do ảnh hưởng của sự thay đổi mực nước trên mái ta-luy gây ra với các kịch bản rút nước khác nhau.

2. Phương pháp nghiên cứu

Trong bài báo này, tác giả sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) thông qua thuật giải SEEP/W và SLOPE/W của bộ phần mềm Geostudio-2012 để tính toán. Thuật giải SEEP/W, được áp dụng để thực hiện các phân tích dòng thấm bằng phương pháp giải chính xác theo phương trình của Richards (Richards, L.A., 1931). Các phân tích ổn định mái dốc ta-luy được thực hiện bằng phương pháp phân mảnh Bishop bằng thuật giải SLOPE/W, có tính đến áp lực nước lỗ rỗng được tính toán trong các phân tích trạng thái ngắn hạn trong điều kiện thoát nước.

3. Các trường hợp tính toán

Tiến hành nghiên cứu ổn định của nền đường đối với nền đường đắp và nền đường đào chữ L ven sông. Trong mỗi trường hợp sẽ sử dụng các điều kiện biên (mực nước, tốc độ rút nước, hệ số

thấm đất đắp) khác nhau để tính toán nhằm đánh giá một cách khái quát và chính xác hơn về sự làm việc của nền đường trong các điều kiện nhất định.

Đối với nền đường đắp, tiến hành nghiên cứu nền đường có chiều rộng là $B=9m$; chiều cao lớp đất đắp $H=12m$; mái ta-luy có độ dốc 1:1, 5; đất nền tự nhiên và đất đắp là loại á sét với các tham số tính toán cho trong Bảng 1.

Bảng 1. Chỉ tiêu cơ lý các lớp đất đắp nền đường.

TT	Thông số vật liệu	Giá trị		Đơn vị tính
		Nền tự nhiên	Nền đắp	
1	Dung trọng tự nhiên (W_n)	15	16	kN/m ³
2	Lực dính (C)	16	17	kPa
3	Góc ma sát (φ)	14	15	Độ (°)
4	Hệ số thấm	$K_1 = 10^{-7}$	K_2 thay đổi	m/s

Các điều kiện biên được sử dụng như sau. Nền đường đắp có mực nước mặt tác động ở một bên (trường hợp 1) và ở cả hai bên thân nền đường (trường hợp 2). Trong trường hợp nước mặt tác động ở cả hai bên thân nền đường thì mực nước một bên không thay đổi còn một bên rút xuống.

Trong các trường hợp trên, vận tốc rút nước V lấy một trong 4 giá trị: $V_1=0, 01$; $V_2=0, 1$; $V_3=0, 5$ và $V_4=2$ (m/ngày đêm). Quá trình rút nước từ cao trình 0, 8H xuống cao trình 0, 1H sẽ được chia đều thành 5 bước rút với các ký hiệu lần lượt là: B_1, B_2, B_3, B_4 và B_5 .

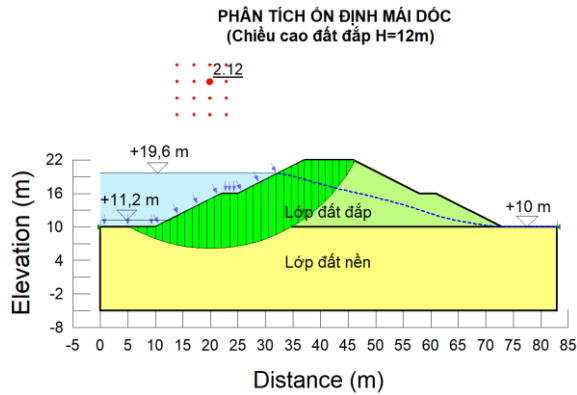
Đối với nền đường đào có một bên mái ta-luy tiếp xúc với nước sông (trường hợp 3). Mực nước sông sẽ rút từ cao trình ban đầu là H xuống đến cao trình H' so với đáy sông.

4. Kết quả phân tích ổn định nền đường

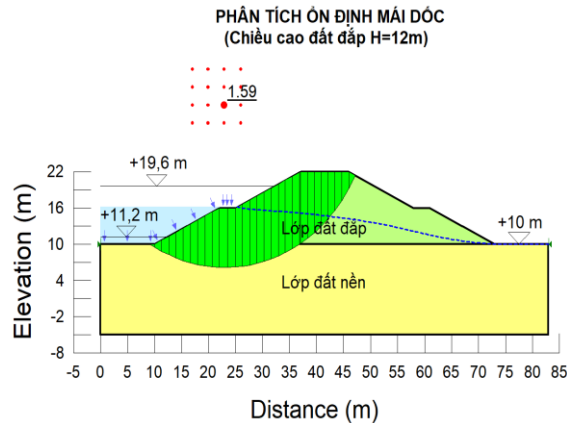
4.1. Nền đường đắp, mực nước ở một bên mái ta-luy rút xuống

Trước hết, tiến hành đánh giá ổn định của nền đường với mực nước mặt ở trên một mái ta-luy với vận tốc nước rút $V = 0, 01$ m/ngày đêm, hệ số thấm của đất đắp $K_2 = 10^{-7}$ m/s. Ta được kết quả như ở Hình 2, 3, 4.

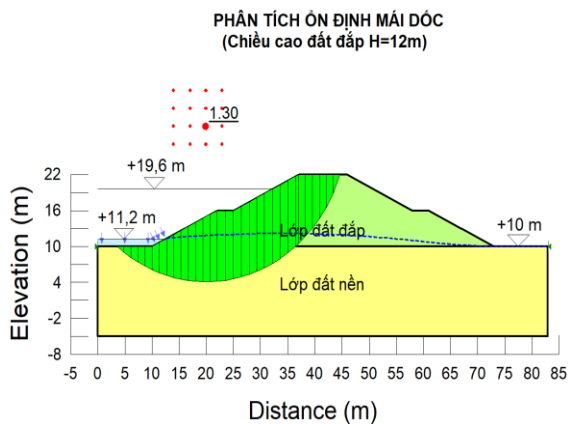
Trong các Hình 2, 3, 4, đường nét đứt (---) thể hiện đường bão hòa nước trong nền đường. Từ các kết quả trên có thể thấy rằng, hệ số ổn định của nền đường giảm dần theo từng bước nước rút từ hệ số ổn định cao nhất khi chưa rút nước là 2,



Hình 2. Khi mực nước chưa rút xuống - trường hợp 1.



Hình 3. Sau bước rút nước thứ hai - trường hợp 1.



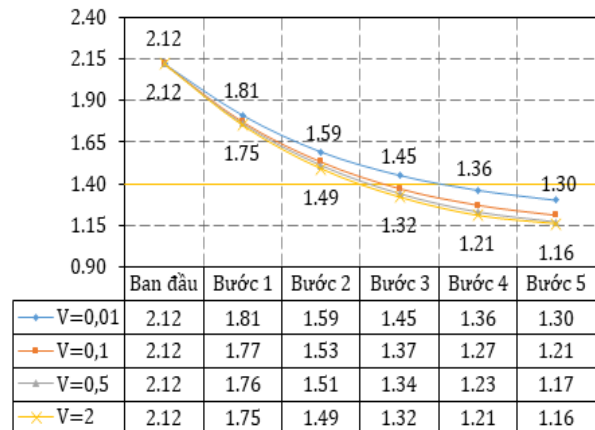
Hình 4. Sau bước rút nước cuối cùng - trường hợp 1.

12 đến hệ số ổn định thấp nhất khi nước rút đến mức thấp nhất là 1,30, có nghĩa là hệ số ổn định giảm xấp xỉ 40%. Qua trường hợp đầu tiên với vận tốc nước rút khá nhỏ (0,01 m/ng.đ) ta đã nhận thấy được là hệ số ổn định thay đổi rất lớn.

Sở dĩ hệ số ổn định của nền đường giảm xuống khi mực nước rút là do ảnh hưởng của hiện

tượng thủy lực. Khi có sự chênh lệch áp lực nước lỗ rỗng giữa phần bên trong thân nền đường và phần bên ngoài nơi mái ta-luy (do mực nước rút), sẽ hình thành nên gradient thủy lực, và do đó là dòng thấm từ bên trong nền đường ra ngoài. Dòng thấm kèm theo đó là áp lực thấm (Seepage Force) sẽ thúc đẩy cho mái đất thêm mất ổn định.

Tiếp tục tính toán cho các vận tốc rút nước V khác nhau, ta có được kết quả là đồ thị thể hiện sự thay đổi của hệ số ổn định mái dốc nền đường tương ứng với từng vận tốc rút nước và theo các bước rút như Hình 5.



Hình 5. Hệ số ổn định nền đường theo các vận tốc rút nước và các bước rút nước khác nhau - trường hợp 1.

Nhìn vào Hình 5 thấy rằng, khi tốc độ rút nước càng nhanh thì hệ số ổn định của nền đường càng giảm. Điều này có thể được giải thích như sau. Khi nước rút nhanh, đường bão hòa trong thân nền đường chưa kịp thay đổi theo tốc độ nước rút (do cần phải có thời gian để nước thấm ra ngoài), khi đó độ chênh lệch áp lực nước lỗ rỗng giữa phần bên trong nền đường và phần bên ngoài nền đường nơi tiếp giáp mái ta-luy (gradient thủy lực) lớn gây ra sự mất ổn định lớn hơn, hay hệ số ổn định nhỏ hơn. Hình 5 cũng cho ta thấy, hệ số ổn định của nền đường nhỏ hơn 1,4 đối với các bước rút nước từ bước 4 đến bước 5 và một số kết quả đối với bước 3 (khi $V \geq 0,1$ m/ng.đ).

Với hệ số ổn định như vậy nền đường đã được coi là đã mất ổn định (khi mà hệ số an toàn lấy bằng $F_{cp}=1,4$ (Bùi Xuân Cây và nnk., 2009)).

Để có thể đánh giá một cách đầy đủ hơn, ta tiếp tục xét đến các trường hợp còn lại khi thay đổi hệ số thấm đất đắp nền đường (K_2). Các kết quả tính toán được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Hệ số ổn định tương ứng với các hệ số thấm (K_2) và vận tốc rút nước (V) khác nhau.

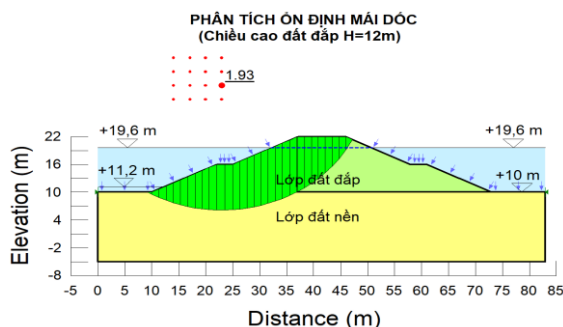
Các bước rút	Hệ số ổn định							
	$K_2 = 1e-6$ (m/s)				$K_2 = 1e-8$ (m/s)			
	V_1	V_2	V_3	V_4	V_1	V_2	V_3	V_4
B_0	2,06	2,06	2,06	2,06	2,26	2,26	2,26	2,26
B_1	1,79	1,76	1,73	1,71	1,89	1,88	1,87	1,87
B_2	1,59	1,55	1,50	1,47	1,63	1,61	1,60	1,60
B_3	1,47	1,41	1,35	1,31	1,47	1,44	1,42	1,42
B_4	1,38	1,32	1,24	1,20	1,36	1,33	1,32	1,31
B_5	1,33	1,26	1,18	1,14	1,31	1,28	1,26	1,25

Ta có thể thấy từ Bảng 2 là, khi độ thấm của phần đất đắp càng lớn thì hệ số ổn định càng nhỏ và ngược lại. Điều này là do, khi độ thấm lớn hơn thì nó gây ra áp lực thấm (Seepage Force) lớn hơn nếu có sự rút xuống của mực nước trên mái ta-luy. Áp lực thấm góp phần thúc đẩy sự mất ổn định của nền đường. Nếu lấy hệ số an toàn về ổn định trượt của nền đường $F_{cp}=1,4$ thì nền đường với chiều cao đắp lớn, $H=12$ m, có thể sẽ mất ổn định khi mực nước rút xuống từ bước 4 (với tất cả các độ thấm của đất đắp xem xét). Điều này gợi ý rằng, đối với nền đường đắp cao và có mực nước mặt trên mái ta-luy thì việc kiểm toán ổn định nền đường có xét đến sự rút xuống của mực nước trên mái là cần thiết.

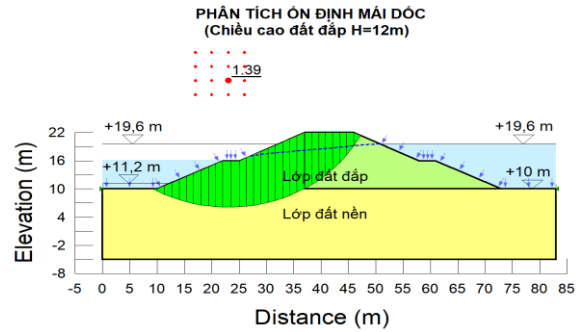
4.2. Nền đường đắp, mực nước ở hai bên mái ta-luy, một bên rút xuống, một bên không đổi

Xét bài toán nền đường đắp với tốc độ rút nước $V=0,01$ m/ngày đêm, tiến hành tính toán tương tự như trường hợp 1, ta được kết quả như ở các hình dưới đây (Hình 6, 7, 8).

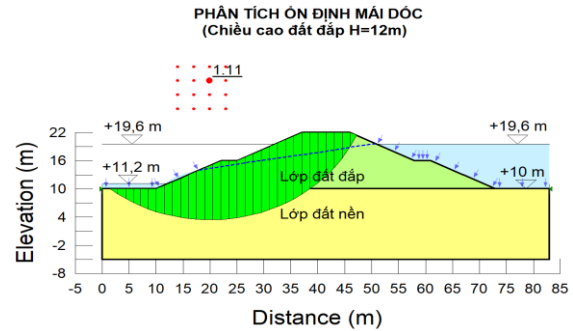
Tiếp tục tính toán cho các vận tốc rút nước V còn lại, ta có được các hệ số ổn định theo từng bước rút nước ứng với các vận tốc khác nhau. Kết quả được thể hiện trên Hình 9.



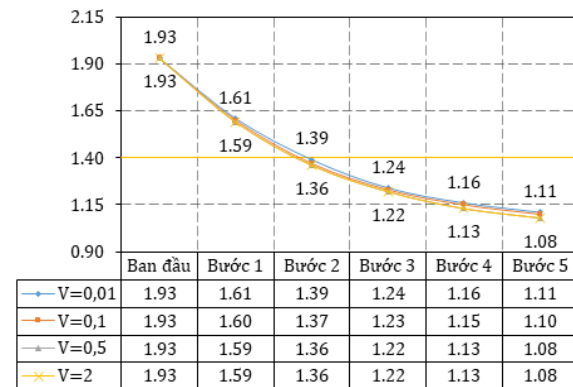
Hình 6. Mực nước chưa rút-trường hợp 2.



Hình 7. Sau bước rút thứ 2- trường hợp 2.



Hình 8. Sau bước rút cuối cùng- trường hợp 2.



Hình 9. Hệ số ổn định nền đường theo các vận tốc rút nước và các bước rút nước khác nhau - trường hợp 2.

So sánh Hình 5 và Hình 9 có thể thấy: khi có mực nước ở hai bên mái ta-luy và một bên rút xuống với vận tốc V thì nền đường sẽ dễ mất ổn định hơn so với khi mực nước chỉ ở bên một bên mái ta-luy và rút xuống với cùng vận tốc. Cụ thể, hệ số ổn định thấp nhất lúc này là 1,11 so với giá trị 1,3 ở trường hợp trước. Điều này là do khi nước một bên rút xuống còn một bên giữ nguyên thì bên mực nước giữ nguyên sẽ giúp duy trì đường bão hòa trong nền đường phía bên đó ở mức cao. Khi đó gradient thủy lực từ mái có mực nước giữ nguyên đến mái có mực nước rút xuống sẽ cao hơn so với trường hợp chỉ có mực nước ở

một bên và rút xuống. Gradient thủy lực cao góp phần làm gia tăng mức độ mất ổn định nền đường hay giảm hệ số ổn định của nó.

Hình 9 cũng cho thấy, nền đường bị mất ổn định ngay từ bước rút nước thứ 3 (so với bước thứ 4 ở trường hợp có mực nước 1 bên) khi mà hệ số ổn định nhỏ hơn hệ số an toàn cho phép ($F_s \leq F_{cp}$).

4.3. Nền đường đào - trường hợp 3

Trong thực tế, những nền đường đào khu vực miền núi dễ bị mất ổn định, đặc biệt khi có mưa dài ngày. Lúc này thân nền đường và mái ta-luy dương bị ngậm một lượng nước lớn, thậm chí bão hòa. Hiện tượng này còn có thể bị cộng tác dụng khi mái ta-luy âm của đường tiếp giáp với sông. Sự tăng lên hoặc giảm xuống của mực nước sông cũng sẽ làm thay đổi mức độ ổn định của nền đường. Để đi tìm bức tranh mô tả rõ hơn hiện tượng này, tiến hành phân tích ổn định của nền đường đào có xét đến sự thay đổi của mực nước trên mái ta-luy âm. Trong phân tích này, giả thiết nền đường đào trong lớp đất đá đồng nhất với các chỉ tiêu cơ-lý góc nội ma sát $\varphi=25^\circ$ và lực dính đơn vị $c=35$ kPa.

Đối với bài toán nền đường đào ta thực hiện phân tích ổn định đối với một giá trị vận tốc nước rút là $V=1$ m/ngày đêm.

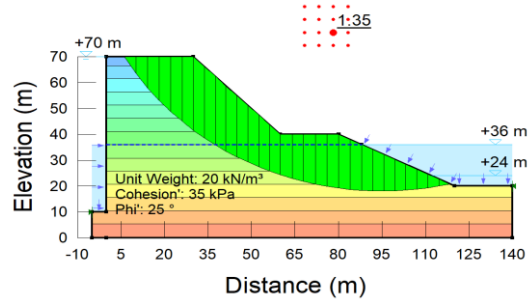
Các bước rút nước như sau:

- Bước tính ban đầu: Khi mực nước sông ở cao độ H và đường bão hòa trong nền đường ngang bằng với mực nước sông;
- Bước 1: Khi nước trong nền đường dâng lên đột ngột (do mưa nhiều) và mực nước sông vẫn chưa rút xuống;
- Bước 2: Khi mực nước sông hạ đến cao trình $(H+H')/2 = 30$ m;
- Bước 3: Khi mực nước sông hạ đến cao trình H' .

Các kết quả được minh họa trên các hình từ Hình 10 đến Hình 13.

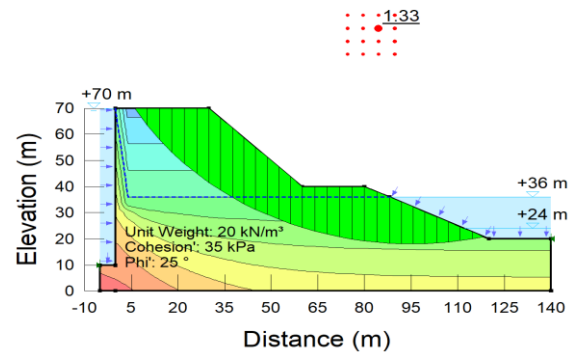
Các hình từ Hình 9 đến Hình 13 củng cố quan điểm rằng, nền đường đào ven sông khu vực miền núi (nền đào chữ L hoặc nửa đào nửa đắp) có hệ số ổn định thấp khi nền đường bị ngậm nước. Đó là do đường bão hòa trong thân nền đường ở mức cao. Sự rút nước trên mái ta-luy âm càng làm cho mức độ mất ổn định của nền đường gia tăng. Trong nghiên cứu này, chúng tôi mới chỉ phân tích sự ảnh hưởng của đường bão hòa (tức yếu tố thủy lực) đến sự ổn định nền đường chứ chưa xét đến

PHÂN TÍCH ỔN ĐỊNH MÁI DỐC TALUY NỀN ĐƯỜNG ĐÀO



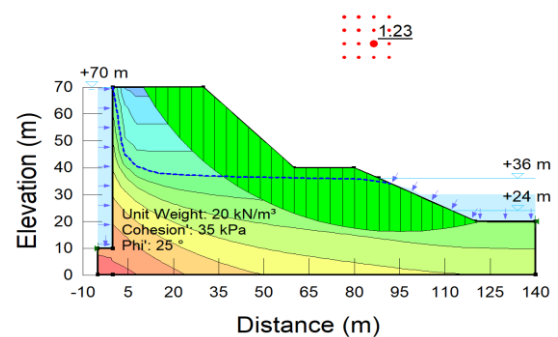
Hình 10. Ở trạng thái ban đầu - trường hợp.

PHÂN TÍCH ỔN ĐỊNH MÁI DỐC TALUY NỀN ĐƯỜNG ĐÀO



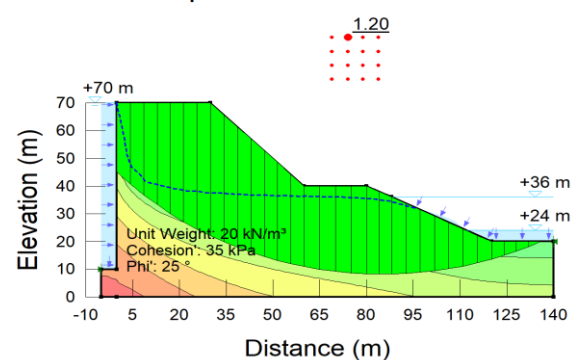
Hình 11. Sau bước 1 - trường hợp 3.

PHÂN TÍCH ỔN ĐỊNH MÁI DỐC TALUY NỀN ĐƯỜNG ĐÀO



Hình 12. Sau bước 2 - trường hợp 3.

PHÂN TÍCH ỔN ĐỊNH MÁI DỐC TALUY NỀN ĐƯỜNG ĐÀO



Hình 13. Sau bước 3 - trường hợp 3.

sự suy giảm các chỉ tiêu cơ-lý của đất nền khi ngậm nước. Có nghĩa là, trên thực tế sự mất ổn định của nền đường còn có thể lớn hơn.

Mặc dù trong trường hợp tính toán này chưa có các dữ liệu thực tế để phân tích, so sánh mức độ ổn định nền đường với các kết quả tính toán, song có thể nhận xét định tính rằng, nền đường ven sông khu vực miền núi với một bên là vách núi (ta-luy dương) và một bên là sông (bên ta-luy âm) sẽ rất dễ bị mất ổn định nếu mái đất ta-luy dương bị bão hòa nước do mưa nhiều, mưa lớn. Hiện tượng này sẽ bị thúc đẩy thêm nếu có sự rút xuống nhanh của mực nước sông.

5. Kết luận

Từ các kết quả tính toán số nhận được trong nghiên cứu này, có thể rút ra một số nhận xét như sau cho nền đường đắp:

- Đối với nền đường đắp có một bên mái ta-luy tiếp xúc với nước mặt, khi mực nước trên mái ta-luy rút xuống thì nền đường kém ổn định hơn. Trường hợp có mực nước trên hai mái với một bên nước rút xuống còn một bên giữ nguyên thì nền đường sẽ trong trạng thái nguy hiểm hơn trường hợp trên. Điều này chứng minh rằng trường hợp nào duy trì đường bão hòa trong thân nền đường cao hơn sẽ là trường hợp bất lợi hơn. Khi mực nước rút xuống thấp nhất là lúc nền đường mất ổn định nhất.

- Tốc độ rút nước trên mái ta-luy càng lớn, nền đường càng dễ mất ổn định. Hệ số thấm của nền đường đắp cũng ảnh hưởng đến sự giảm độ ổn định của nền đường, trong đó hệ số thấm lớn hơn sẽ làm nền đường kém ổn định hơn.

- Đối với nền đường đào ven sông khu vực miền núi với một bên ta-luy âm tiếp giáp mực nước sông thì dễ bị mất ổn định khi nền đường

trong trạng thái ngậm nước và hiện tượng này sẽ được cộng tác dụng bởi sự rút xuống của nước sông.

Những đóng góp của tác giả

Lên ý tưởng: Trần Nam Hưng; Viết bản thảo bài báo: Trần Nam Hưng; Đánh giá và chỉnh sửa: Trần Nguyên Dương, Phạm Đức Tiệp.

Tài liệu tham khảo

- Borja, R. I., Kishnani, S. S., (1992). Movement of slopes during rapid and slow drawdown. *Proceedings of a special conference on the Geotechnical Engineering Division of ASCE*, Berkeley (CA).
- Bùi Xuân Cậy, Trần Thị Kim Đăng, Vũ Đức Sỹ, Nguyễn Quang Phúc, (2009). Thiết kế nền mặt đường ô tô, *Nhà xuất bản Giao thông Vận tải Hà Nội*.
- Desai, C. S., (1977). Drawdown analysis of slopes by numerical methods. *Journal of Geotech Eng, ASCE*; 109: 946-60.
- Nguyễn Cảnh Thái, Lương Thị Thanh Hương, (2012). Ổn định mái dốc khi mực nước trên mái rút nhanh. *Tạp chí khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, 21:85.
- Richards, L. A., (1931). Capillary conduction of liquids through porous medium. *Journal of Physics* (1), 318-333.
- Toan Duong Thi and Duc Do Minh, (2019). Riverbank Stability Assessment under River Water Level Changes and Hydraulic Erosion. *Water*, 11, 2598, doi: 10.3390/w11122598.