



ẢNH HƯỞNG ÁP LỰC NƯỚC LỖ RỒNG TRONG NỀN ĐƯỜNG VEN SÔNG

EFFECT OF PORE WATER PRESSURE IN RIVERSIDE ROADBED

Ths. Lê Anh Tuấn¹ | TS. Võ Nhật Luận² | TS. Nguyễn Kế Tường³

Tóm tắt: Các nền đường giao thông ven sông thường chịu ảnh hưởng của thủy triều và mưa, luôn có sự thay đổi mực nước ngầm và độ bão hòa nước trong đất. Áp lực trên đường gây ra ứng suất trong nền, ứng suất tổng này bao gồm ứng suất hiệu quả do hạt đất chịu và ứng suất do nước trong lỗ rỗng chịu. Áp lực nước lỗ rỗng gây ra dòng chảy trong nền đất, làm trôi một số hạt đất nhỏ khi nền không được nén chặt đồng nhất – gradient thủy lực do áp lực nước lỗ rỗng lớn hơn gradient tới hạn của nền đất đầm chặt - sẽ trôi theo dòng chảy và dần dần làm cho nền đất tăng độ rỗng. Lỗ rỗng trong nền đường được hình thành trong thời gian dài và từ nhiều lần tác động của phương tiện giao thông sẽ hình thành những túi nước có thể tích lớn. Khi các túi nước đủ lớn thì áp lực nước trong nền sẽ lớn và sự cố sụp lún nền đường sẽ xuất hiện.

Từ khóa: Áp lực nước lỗ rỗng, gradient tới hạn, gradient thủy lực, ứng suất hiệu quả, đường ven sông.

Abstract: Roadbeds along rivers are often affected by tides and rain, there are always changes in groundwater levels and water saturation in the soil. The pressure on the road causes stress in the soil, this total stress includes the effective stress borne by soil particles and the stress borne by water in the pores. Pore water pressure causes flow in the soil, causing some small soil particles to drift when the soil is not uniformly compacted - the hydraulic gradient due to pore water pressure is greater than the critical gradient of the compacted soil - will drift with the flow and gradually increase the porosity of the soil. Pores in the roadbed are formed over a long period of time and from the repeated impacts of traffic vehicles, large-volume water pockets will be formed.

When the water pockets are large enough, the water pressure in the foundation will be large and the roadbed collapse will occur.

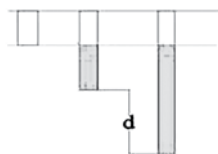
Keywords: Pore water pressure, critical gradient, hydraulic gradient, effective stress, riverside road.

Nhận bài ngày 12/8/2025, chỉnh sửa ngày 20/9/2025, chấp nhận đăng ngày 05/11/2025.

1. Cơ sở lý luận về áp lực nước lỗ rỗng trong nền đất

Áp lực nước lỗ rỗng là áp lực của nước ngầm tồn tại trong các lỗ rỗng của các hạt đất. Trong đới không bão hòa bên trên mặt nước ngầm, áp lực lỗ rỗng được xác định bằng tính mao dẫn và cũng được gọi là sức căng mặt ngoài, sức hút hoặc áp lực kết dính. Áp lực nước lỗ rỗng trong điều kiện không bão hòa được, hoạt động bằng cách cho phép nước lỗ rỗng ở trạng thái cân bằng.

1.1. Áp lực nước lỗ rỗng trong nền đất



Hình 1. Sơ đồ mực nước để tính áp lực nước lỗ rỗng trong nền đất

Theo sơ đồ trên hình 1, áp lực nước lỗ rỗng trong nền đất trong nền đất xác định như sau:

$$u = \gamma_w \cdot d; (1)$$

* γ_w dung trọng của nước ngầm; (kN/m³)

¹ Viện Quy hoạch xây dựng Miền Nam

² Trường Đại học Văn hiến

Email: ³nguyenketuong@gmail.com

* d : Chiều cao cột nước; (m)

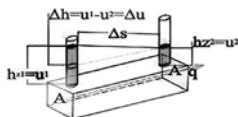
* u : áp lực nước lỗ rỗng trong nền đất; (kN/m²)

Áp lực nước lỗ rỗng trong nền đất biến đổi theo giá trị tải trọng tác động và tạo ra dòng chảy trong nền với độ chênh áp lực như công thức (2):

$$\Delta u = u_1 - u_2 = \gamma_w (d_1 - d_2) = (h_{w_1} - h_{w_2}) = \Delta h; (2)$$

Áp lực nước lỗ rỗng có thể tạo ra dòng chảy trong nền đất theo (2) do áp lực từ tải trọng ngoài truyền vào đất khác nhau và độ chặt của nền đất khác nhau, cấu trúc lỗ rỗng khác nhau.

1.2. Gradient thủy lực



Hình 2. Mô hình cột nước áp xác định gradient thủy lực trong nền đất

Gradient thủy lực (i) của nước ngầm trong nền đất được xác định theo công thức (3) và trên hình 2, như sau:

$$i = \frac{h_{z_1} - h_{z_2}}{\Delta s} = \frac{\Delta h}{\Delta s} = \frac{\Delta u}{\Delta s}; (3)$$

Với mỗi loại đất khác nhau với từng trạng thái khác nhau thường có một độ chặt và có một khả năng ổn định đối với dòng chảy ngầm, khả năng này được gọi tên là Gradient tới hạn của nền đất – (J_o).

Theo TCVN 9902:2016 Công trình thủy lợi - Yêu cầu thiết kế đê sông có quy định một số giá trị gradient giới hạn của đất nền trong nền – thân đê như trong bảng 1:

Bảng 1 - Trị số gradient thấm [J_o] cho phép của một số đất nền

Loại đất nền	Cấp công trình đê		
	Cấp đặc biệt và cấp I	Cấp II và cấp III	Cấp IV và cấp V
1. Đất sét chặt	0,70	0,90	1,10
2. Cát to, sỏi	0,35	0,45	0,54
3. Á sét	0,32	0,40	0,50
4. Cát hạt trung	0,22	0,28	0,25
5. Cát hạt nhỏ	0,18	0,22	0,26

Điều kiện để nền đất bão hòa nước được ổn định là:

$$V = k.i = k \cdot \frac{\Delta h}{\Delta s} = k \cdot \frac{\Delta u}{\Delta s}; (5)$$

→ k là hệ số thấm của đất nền theo trạng thái độ chặt;

→ V là vận tốc dòng chảy, phụ thuộc vào hệ số thấm (k) của nền đất và độ dốc thủy lực (i) của dòng chảy, độ dốc thủy lực (i) phụ thuộc vào áp lực nước lỗ rỗng (Δu)

→ Δs là khoảng đường dòng nước di chuyển

Ứng suất do tải trọng bên trên đường, nền đất truyền vào trong nền:

$$i = \frac{\Delta u}{\Delta s}; (6)$$

$$\sigma = \sigma' - u; (7)$$

$$\rightarrow u = \sigma - \sigma' (8)$$

$$u \rightarrow 0 \Rightarrow \sigma = \sigma'; (9)$$

Công thức (7) có 2 thành phần:

→ Ứng suất hiệu quả do cấu trúc hạt đất trong nền tiếp nhận.

→ Ứng suất do nước trong lỗ rỗng nền đất bão hòa nước tiếp nhận.

Công thức (8) xác định áp lực nước trong lỗ rỗng trong nền đất. Áp lực nước lỗ rỗng (u) được xác định bằng ứng suất tổng (σ) trừ ứng suất hiệu quả (σ'). Ứng suất hiệu quả là ứng suất của thành phần cấu trúc hạt đất trong nền. Khi nước trong lỗ rỗng thoát đi tạo thành dòng chảy có thể cuốn trôi một số hạt đất, làm tăng lỗ rỗng và giảm áp lực nước lỗ rỗng (u). Ứng suất do tải trọng ngoài sẽ truyền vào toàn bộ cấu trúc hạt trong nền như công thức (9).

Theo TCVN 8216:2018, nghiên cứu ảnh hưởng của áp lực nước lỗ rỗng trong nền đất là rất cần thiết và quan trọng đối với tính ổn định cho công trình có đất đắp và nền đường các công trình. Lực dính và góc ma sát trong của đất nền phụ thuộc vào giá trị của áp lực nước lỗ rỗng.

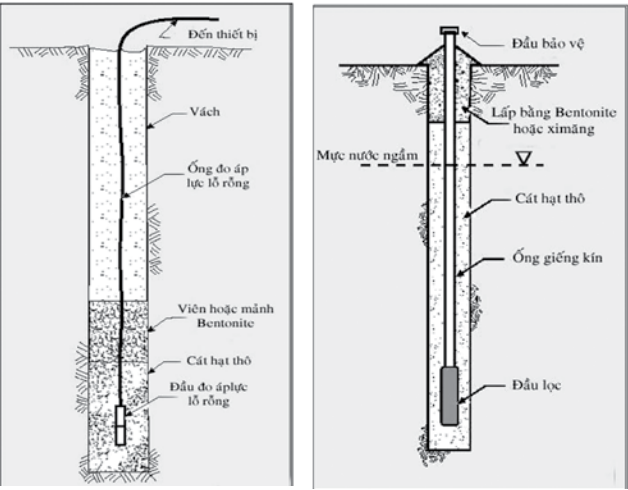


Hình 3. Một số hình ảnh “hố sụp” do ảnh hưởng áp lực nước lỗ rỗng trong nền đường

2. Phương pháp xác định áp lực nước lỗ rỗng trong nền đường giao thông ven sông

2.1. Quan trắc áp lực nước lỗ rỗng trong nền đất

Sơ đồ cấu trúc hệ thống đo áp lực nước lỗ rỗng trong nền đất. Khi khảo sát đo áp lực nước trong lỗ rỗng được ghi theo bảng kết quả khảo sát bên dưới. Xác định và đo áp lực nước lỗ rỗng trong nền công trình phụ thuộc vào thiết bị đo để có độ chính xác phù hợp.



Hình 4. Sơ đồ nguyên lý đo áp lực nước lỗ rỗng trong nền đất

Kết quả quan trắc áp lực nước lỗ rỗng theo bảng quy định chung bên dưới. Áp lực nước lỗ rỗng sẽ biến đổi theo cấp áp lực gia tải và thời gian gia tải. Áp lực nước lỗ rỗng còn phụ thuộc vào cao độ mực nước ngầm trong nền đất.

Bảng 2. Biểu mẫu quan trắc áp lực nước lỗ rỗng

KẾT QUẢ QUAN TRẮC ÁP LỰC NƯỚC LỖ RỖNG					
Hạng mục:			Hạng mục:		
Số hiệu đầu đo áp lực nước lỗ rỗng:			Mật cắt số:		
Số hiệu giếng quan trắc mực nước ngầm:			Ngày quan trắc:		
Cao độ gia tải:					
Ngày đo	Thời gian quan trắc (ngày)	Thời tiết	Chiều cao cột nước (m)	Cao độ mực nước ngầm (m)	Áp lực lỗ rỗng

Từ kết quả quan trắc áp lực nước lỗ rỗng có thể xác định được gradient thủy lực (i)

i = Δu / Δs ; (6)

2.2. Thí nghiệm xác định ảnh hưởng của áp lực nước lỗ rỗng trong phòng thí nghiệm

Theo TCVN 8216:2018, sức kháng cắt của đất đắp đập có liên quan đến áp lực nước lỗ rỗng theo các phương pháp thí nghiệm theo bảng 2. Trong tiêu chuẩn này nêu các phương pháp thí nghiệm xét ảnh hưởng của áp lực nước trong nền đất.

Bảng 3. Mô tả phương pháp thí nghiệm xác định chỉ tiêu cơ lý của đất

Điều kiện làm việc của đập	Phương pháp tính cường độ kháng cắt	Loại đất		Thiết bị sử dụng	Phương pháp thí nghiệm và ký hiệu	Chỉ tiêu cường độ	Trạng thái ban đầu của mẫu	
1	2	3		4	5	6	7	
Thời kỳ thi công	Phương pháp ứng suất hữu hiệu	Đất rời	Độ bão hòa < 80%	Cắt trực tiếp	Cắt chậm	C', φ'	Đất đắp đúng mẫu đất có độ ẩm và dung trọng khô thì ít kể. Đất nền là đất nguyên thổ	
				3 trục	Cắt có kết - thoát nước (CD)			
		Đất dính	Độ bão hòa > 80%	Cắt trực tiếp	Cắt chậm			C _u , φ_{cu}
				3 trục	Cắt không có kết - không thoát nước (UL)			
	Phương pháp ứng suất tổng	Đất dính	Hệ số thấm < 10 ⁻⁷ cm/s	Cắt trực tiếp	Cắt nhanh	C _u , φ_{cu}		
			Hệ số thấm bất kỳ	3 trục	Cắt có kết không thoát nước, đo áp lực nước lỗ rỗng (CU)			
Thời kỳ thấm ổn định	Phương pháp ứng suất hữu hiệu	Đất rời		Cắt trực tiếp	Cắt chậm	C, φ	Đất đắp đúng mẫu đất bão hòa nước với dung trọng khô thì ít kể.	
Thời kỳ mực nước hồ rút nhanh	Phương pháp ứng suất tổng	Đất dính		3 trục	Cắt chậm			
		Đất dính		3 trục	Cắt có kết -không thoát nước, đo áp lực nước lỗ rỗng (CU)			C _{cu} , φ_{cu}

2.3. Xác định áp lực nước lỗ rỗng theo phương pháp đo lưu lượng thấm trong công trình

Theo công thức (5),(6),(7), khi tải trọng tác động tức thời, nước chưa thoát nên một phần áp lực truyền vào nước. Theo thời gian nước sẽ thấm và thoát đi, áp lực nước lỗ rỗng sẽ giảm dần và u→0. Thời điểm u→0 thì σ→σ';

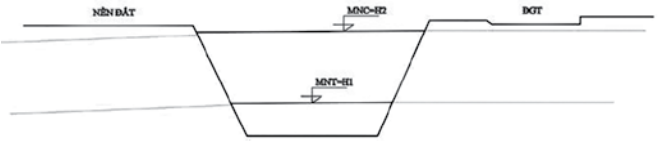
Xác định độ dốc thủy lực – gradient thủy lực trong nền theo (9) chỉ cần xác định lưu lượng thấm:

q = V . A = k . Δu / Δs A = k . Δh / Δs A = k . i . A ; (10)

- A là tiết diện mặt cắt ngang của ống đo lưu lượng dòng thấm
- Q là lưu lượng thấm đo được
- Từ (10) xác định được gradient thủy lực (i)
- Theo (4) so sánh gradient thủy lực (i) và gradient tới hạn (Jo) để đánh giá ảnh hưởng của áp lực nước lỗ rỗng (u) trong nền đất đến độ ổn định nền.

2.4. Xác định áp lực nước lỗ rỗng do ảnh hưởng thủy triều trong sông

Quá trình hình thành áp lực nước lỗ rỗng do thủy triều lên xuống tạo thành nước ngầm trong nền và quá trình giảm áp lực nước lỗ rỗng trong nền thường tạo ra những sự cố, sẽ gây ra dòng thấm, dòng chảy của nước ngầm trong nền đất đắp, nền đường, nền đất. Vậy cần phải theo dõi để tránh các hiện tượng xói ngầm, gây sạt trượt nền đất, mất ổn định công trình, theo (11).



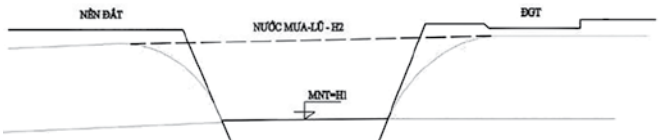
Hình 5. Mặt cắt mô hình kênh ảnh hưởng thủy triều Gradient ảnh hưởng của thủy triều theo công thức:

i = (H2 - H1) / dl ; (11)

H1 là mực nước thủy triều thấp và H2 là mực nước thủy triều cao, dl là khoảng cách từ bờ sông vào điểm xét gradient thủy lực (i) trong trường hợp ảnh hưởng từ thủy triều lên hay xuống.

Khi thủy triều lên cao và nhanh vào những đợt triều cường sẽ có gradient thủy lực (i) lớn hơn gradient tới hạn (Jo) thì sẽ ảnh hưởng đến cấu trúc nền đường, nền công trình.

2.5. Xác định ảnh hưởng áp lực nước lỗ rỗng do mưa lũ ven sông



Hình 6. Mặt cắt kênh mô tả ảnh hưởng mưa - lũ Gradient ảnh hưởng của mưa lũ trên sông và bờ theo công thức:

i = (H2 - H1) / dl ; (12)

H1 là mực nước thủy triều thấp trên sông và H2 là mực

nước mưa, lũ, dl là khoảng cách từ bờ sông vào điểm xét gradient thủy lực (i) trong trường hợp ảnh hưởng từ thủy triều lên hay xuống.

Khi mưa lũ lên cao sẽ có gradient thủy lực (i) lớn hơn gradient tới hạn (Jo) thì sẽ ảnh hưởng đến cấu trúc nền đường, nền công trình.

3. Phân tích các nguyên nhân do áp lực nước lỗ rỗng trong nền đến độ ổn định

Từ các nội dung bên trên, các nguyên nhân sự cố công trình veb sông do ảnh hưởng của áp lực nước lỗ rỗng trong nền, như sau:

3.1. Do nước ngầm liên thông từ nơi khác

Nước ngầm liên thông từ nơi khác đến khu vực đường ven sông, khi có áp lực phương tiện giao thông bên trên đường sẽ làm cho áp lực nước lỗ rỗng tăng lên, sẽ tạo ra gradient thủy lực (i) lớn hơn gradient tới hạn của nền đất (Jo).

3.2. Do thủy triều trên sông

Thủy triều trong sông sẽ thấm ngấm vào bờ sông, khi lên, khi xuống, sẽ có ảnh hưởng áp lực nước lỗ rỗng trong nền, sẽ tạo ra gradient thủy lực (i) trong nền lớn hơn gradient tới hạn (Jo), có thể gây nguy hiểm trong nền đất.

3.3. Do mưa, lũ trên lưu vực

Mưa trên lưu vực, lũ trên sông sẽ ngấm vào nền, tràn xuống sông, ngấm vào nền, tạo dòng thấm từ nền ra sông. Dòng nước thấm tạo ra gradient thủy lực (i) trong nền. Vào mùa mưa lũ lớn sẽ có dòng thấm có lưu lượng lớn, tạo ra gradient thủy lực (i) lớn, có thể gây xói lở, trôi khi lớn hơn gradient tới hạn của đất nền.

3.4. Nhận xét

→ Áp lực nước lỗ rỗng trong nền đất tạo ra gradient thủy lực (i) trong nền đất từ sự không đồng nhất của nền đất và tải trọng từ bên ngoài khác nhau;

→ Áp lực nước lỗ rỗng khi biến đổi sẽ tạo ra dòng chảy trong nền đất;

→ Khi áp lực lớn sẽ tạo gradient thủy lực (i) lớn hơn gradient tới hạn (Jo) của đất, đất nền sẽ phá hoại.

→ Các công trình đường ven sông cần có biện pháp giải thoát áp lực nước lỗ rỗng trong nền và có biện pháp ngăn hạt đất nền trôi theo dòng chảy.

4. Kết luận và kiến nghị

→ Thủy triều và mưa lũ trên các lưu vực sẽ tạo ra nước ngầm cho nền đất ven sông.

→ Nước ngầm trong nền đất tạo ra áp lực nước lỗ rỗng trong nền đất.

→ Áp lực nước lỗ rỗng trong nền đất sẽ tạo ra dòng chảy và gây sụp lở trong nền công trình.

→ Các dự án ven sông cần có giải pháp thoát nước mặt tốt để tránh nước ngấm thấm vào nền.

→ Các sông, rạch cần có biện pháp bảo vệ bờ, chống sạt lở đất nền.

→ Các công trình đường ven sông cần có biện pháp giải thoát

áp lực nước lỗ rỗng trong nền và có biện pháp ngăn hạt đất nền trôi theo dòng chảy.

→ Các công trình đường giao thông ven sông thành phố Hồ Chí Minh và các tỉnh vùng Tây Nam bộ nên tham khảo và xem xét ảnh hưởng của áp lực nước lỗ rỗng vì là khu vực mưa nhiều và thủy triều cao để công trình luôn ổn định.

Tài liệu tham khảo:

- [1]. 22TCN 262-2000 Quy trình khảo sát thiết kế nền đường ô tô đắp trên nền đất yếu
- [2]. Tiêu chuẩn Châu Âu EN 1997-1:2004 Thiết kế địa kỹ thuật; Nhà Xuất bản Xây dựng Hà Nội, năm 2016.
- [3]. Tiêu chuẩn Châu Âu EN 1997-2:2007 Thiết kế địa kỹ thuật; Nhà Xuất bản Xây dựng Hà Nội, năm 2016.
- [4]. TCVN 8567:2010 Chất Lượng đất – Phương pháp xác định thành phần cấp hạt
- [5]. TCVN 8869:2011 Quy Trình đo áp lực nước lỗ rỗng trong đất
- [6]. TCVN 8723:2012 Xác định hệ số thấm của đất xây công trình thủy lợi
- [7]. TCVN 9148:2012 Công Trình thủy lợi - Xác định hệ số thấm của đất đá chứa nước bằng phương pháp hút nước thí nghiệm từ các lỗ khoan;
- [8]. TCVN 9362:2012 Tiêu chuẩn thiết kế nền nhà và công trình
- [9] TCVN 9436 : 2012 Nền Đường ô tô – Thi công và nghiệm thu
- [10] TCVN 9902:2016 Công trình thủy lợi - Yêu cầu thiết kế đề dsông
- [11] TCVN 8216:2018 Công trình thủy lợi – Thiết kế đập đầm nén.
- [12]. TCCS 41:2022/TCĐBVN: Tiêu chuẩn khảo sát, thiết kế nền đường ô tô trên nền đất yếu
- [13] D.G.Fredlund, H.Rahardjo, M.D.Fredlund; Unsaturated Soil Mechanics in Engineering Practice; First published: 11 July 2012; Print ISBN: 9781118133590 | Online ISBN: 9781118280492 | DOI: 10.1002/9781118280492; Copyright © 2012 John Wiley & Sons, Inc.
- [14]. V.A.Mironenko - V.M.Sextakov; Cơ sở thủy địa cơ học; Nhà Xuất bản Khoa học kỹ thuật Hà Nội, năm 1982.
- [15]. Hoàng Văn Tân và nnk; Những Phương pháp xây dựng công trình trên nền đất yếu; Nhà Xuất bản Khoa học kỹ thuật Hà Nội, năm 1973.
- [16]. Hoàng Văn Tân và nnk; Tính toán nền móng theo trạng thái giới hạn; Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật Hà Nội, năm 1976.
- [17]. Nguyễn Uyên; Cơ học đất; Nhà xuất bản xây dựng Hà Nội, năm 2005
- [18]. Robert.V.Whitlow; Cơ học đất; Nhà xuất bản giáo dục, năm 1999.