



ẢNH HƯỞNG CỦA ĐẶC TRƯNG HỆ SỐ THẨM CỦA ĐẤT THÂN VÀ NỀN ĐẬP ĐẾN VỊ TRÍ ĐƯỜNG BẢO HÒA

Lưu Thị Diệu Chinh¹, Lưu Công Hùng²

Tóm tắt: Ở Việt Nam số lượng đập đất và đê bằng đất chiếm tỷ lệ lớn trong số các đập đã xây dựng. Rõ ràng an toàn về ổn định đập là một vấn đề mấu chốt liên quan đến sự an toàn khai thác của công trình. Việc tính toán ổn định của đập đất trong công trình thủy lợi - thủy điện phụ thuộc lớn vào kết quả tính toán thấm, xác định vị trí Đường bảo hòa (ĐBH). Trong bài báo này, tác giả tiến hành so sánh ĐBH xác định theo phương pháp Thủy lực học (TLH) của Dupuit và phương pháp Phần tử hữu hạn (PTHH), sau đó sử dụng phương pháp PTHH để nghiên cứu ảnh hưởng của đặc trưng hệ số thấm của thân và nền đến vị trí ĐBH. Cuối cùng, sử dụng kết quả nghiên cứu này để phân tích ổn định của đập đất Buôn Kuốp.

Từ khóa: Thấm; đập đất; đường bảo hòa; ổn định

Summary: In Vietnam, the number of earth dams and dikes is accounted for a large portion. Obviously, the dam stability is a key issue related to the operation safety. The stability calculation of embankment dam depends greatly on the permeability calculation result, particularly the free surface determination. In this paper, the comparison between the two free surfaces which are determined according to the Dupuit theory and the finite element method is carried out, then the finite element method is used to investigate the effect of the permeability coefficients of the dam body and foundation on the free surface location. Finally, these results are used to analyze the stability of Buon Kuop embankment dam.

Keywords: Permeability; embankment; free surface; dam, stability

Nhận ngày 01/8/2013, chỉnh sửa ngày 20/11/2013, chấp nhận đăng 28/2/2014



1. Mở đầu

Bài toán thấm là một trong những vấn đề quan trọng trong thiết kế và thi công đập và các kết cấu công trình thủy lợi. Bài toán thấm có thể được chia ra: bài toán thấm không áp và bài toán thấm có áp. Dòng thấm qua đập đất thuộc bài toán thấm không áp. Trong bài toán thấm không áp, việc xác định vị trí ĐBH là lời giải quan trọng nhất. ĐBH là biên phân cách hai vùng đất bảo hòa và đất không bão hòa nước [1].

Vấn đề ổn định mái dốc chịu ảnh hưởng rất lớn từ dòng thấm - vị trí ĐBH. Tuy nhiên việc xác định vị trí của ĐBH là không đơn giản và là vấn đề được nghiên cứu bởi rất nhiều các nhà khoa học [2].

Có một số phương pháp xác định vị trí ĐBH như phương pháp vẽ lưới thấm, áp dụng lý thuyết Dupuit [3]. Tuy nhiên, những phương pháp này chỉ áp dụng cho những trường hợp với điều kiện biên đơn giản, trong khi các công trình thực tế thường có điều kiện biên phức tạp nên thường được giải bằng các phương pháp số như phương pháp sai phân hữu hạn, phương pháp thể tích hữu hạn và phương pháp phần tử hữu hạn [4]-[6].

Thông thường hệ số thấm của thân đập sẽ được xác định chính xác qua việc lấy mẫu đất đầm nén và

¹ThS, Khoa Xây dựng Công trình thủy. Trường Đại học Xây dựng. E-mail: luuthidieuchinh@nuce.edu.vn

²KS, Ban Quản lý dự án thủy điện 5.

thí nghiệm trong phòng [7] nên độ tin cậy thường cao. Trong khi việc xác định chính xác hệ số thấm của nền là một việc khó khăn do tính phức tạp của điều kiện địa chất và sự thiếu chính xác của tài liệu địa chất thu thập được. Điều này dẫn đến khó khăn cho việc thiết kế công trình.

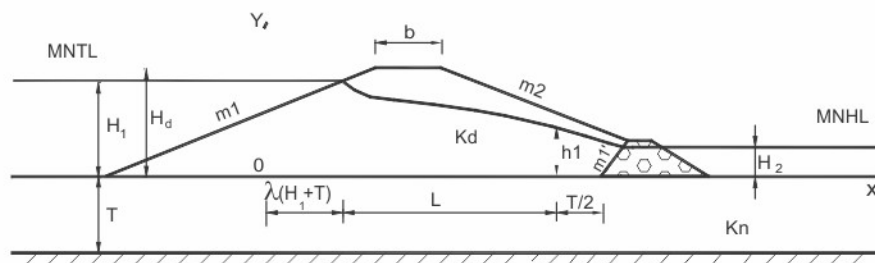
Trong bài báo này, trước hết ĐBH của 1 đập đất đồng chất có vật thoát nước (VTN) lắng trụ được xác định theo 2 phương pháp TLH và PTHH, sau đó phương pháp PTHH được sử dụng để mô hình một đập đất đồng chất có VTN lắng trụ với các trường hợp hệ số thấm của đất thân đập (K_d) và hệ số thấm của đất nền đập (K_n) thay đổi $K_n/K_d = 1 \div 50$ lần và $K_d/K_n = 1 \div 50$ lần để khảo sát ảnh hưởng của hệ số thấm của đất thân đập và nền đập đến vị trí của ĐBH. Cuối cùng, kết quả này được áp dụng vào việc phân tích thấm qua thân và nền đập công trình Thủy điện Buôn Kuốp, so sánh với kết quả quan trắc thực tế và từ đó đánh giá vấn đề ổn định của đập khi phân tích với kết quả quan trắc thấm.

2. Phân tích bài toán thấm qua đập đất

2.1 So sánh tọa độ vị trí ĐBH xác định theo phương pháp TLH và PTHH với trường hợp đập đồng chất trên nền thấm nước hữu hạn có VTN lắng trụ

2.1.1 Sơ đồ và công thức xác định ĐBH theo phương pháp TLH

Dựa vào công thức của Dupuit, sơ đồ xác định ĐBH theo phương pháp TLH của đập đồng chất trên nền thấm nước hữu hạn có VTN lắng trụ được chỉ ra trong Hình 1 [8].



Hình 1. Sơ đồ xác định ĐBH theo phương pháp TLH của đập đồng chất trên nền thấm nước hữu hạn có VTN lắng trụ

Theo sơ đồ tính ở Hình 1, lưu lượng thấm đơn vị qua mặt cắt đập có thể xác định theo công thức:

$$q = K_d \frac{H_1^2 - H_2^2}{2L_{bd}} + K_n T \frac{H_1 - H_2}{L_{bd} + 0,4T} \quad (1)$$

Sử dụng phép biến đổi tương đương toán học cho phương trình (1), ta có phương trình ĐBH sau đây:

$$y = \sqrt{2 \frac{q}{K_d} (L - x) + \left(H_1 + \frac{K_n T}{K_d} \right)^2 - \frac{K_n T}{K_d}} \quad (2)$$

Theo phương pháp TLH, tính toán thấm với giả thiết chuyển động thấm qua đập và nền là độc lập nhau. Cụ thể, khi tính thấm qua đập thì xem nền là không thấm, còn khi tính thấm qua nền thì xem như thấm chuyển động trong ống đi từ thượng lưu ra hạ lưu với chiều dài trung bình $L_{bd} = nL_0$ với L_0 là chiều rộng đáy đập, n là hệ số phụ thuộc vào T và L_0 . Tuy nhiên, giả thiết này không phù hợp với thực tế vì thấm qua thân và nền thể nào cũng ảnh hưởng lẫn nhau. Sự ảnh hưởng qua lại này sẽ được minh họa rõ trong mục 2.2.

2.1.2 So sánh tọa độ vị trí ĐBH xác định theo phương pháp TLH và PTHH

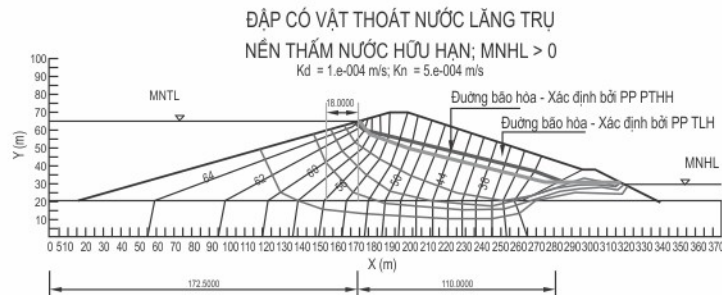
Để có thể so sánh ĐBH được xác định theo hai phương pháp TLH và PTHH, một đập đồng chất trên nền thấm nước hữu hạn có VTN lắng trụ với các thông số sau: $H_d = 50$ m; $H_1 = 45$ m; $H_2 = 10$ m; $T = 20$ m; $m_1 = 3,5$; $m_2 = 3$; $K_d = 10^{-4}$ m/s; $K_n = 5 \cdot 10^{-4}$ m/s; $m'_1 = 2$ được đưa vào phân tích.

Sau đó, giải phương trình (2) bằng phương pháp thử dần sẽ được kết quả tọa độ ĐBH xác định theo phương pháp TLH. Đồng thời sử dụng phương pháp PTHH cũng sẽ cho kết quả tọa độ ĐBH. Kết quả tọa độ ĐBH xác định theo hai phương pháp được trình bày trong Bảng 1

Bảng 1. Tọa độ ĐBH xác định theo phương pháp TLH

X	175	185	195	205	215	225	235	245	255	265	275	285
y_{TLH}	39,3	37,1	34,8	32,5	30,1	27,8	25,3	22,8	20,3	17,7	12,6	10,8
y_{PTHH}	40,8	35,4	31,9	28,9	26,1	23,4	20,7	18,0	15,2	12,5	10,7	10,0

Đường bão hòa xác định theo cả hai phương pháp được thể hiện trực quan trên Hình 2.

**Hình 2.** Kết quả so sánh ĐBH theo phương pháp PTHH và TLH**Bảng 2.** So sánh tọa độ ĐBH theo phương pháp TLH và PTHH

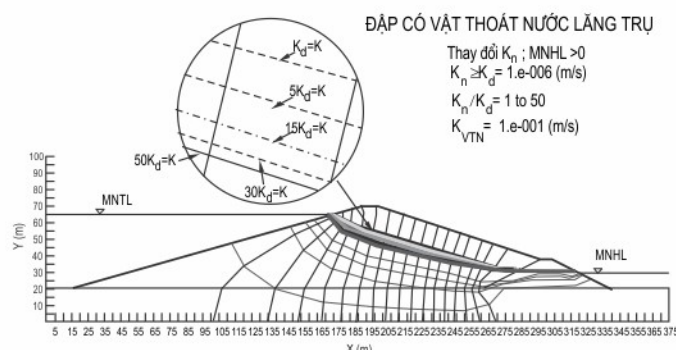
X	175	185	195	205	215	225	235	245	255	265	275	285
$\Delta y = (y_{PTHH} - y_{TLH})$	1,5	-1,7	-2,9	-3,6	-4,0	-4,4	-4,6	-4,9	-5,1	-5,2	-1,9	-0,8
$\Delta y/y_{PTHH} (\%)$	3,7	-4,7	-9,1	-12,3	-15,3	-18,6	-22,4	-27,2	-33,5	-41,2	-18,0	-8,4

Theo Bảng 2, chênh lệch tọa độ ĐBH trung bình của hai phương pháp TLH và PTHH là 18,93%. Sở dĩ có sự chênh lệch khá lớn này là do tính toán thấm bằng phương pháp TLH dựa trên giả thiết của Dupuit là các đường dòng song song và nằm ngang, các đường thế song song, thẳng đứng và vuông góc với đường dòng, dẫn đến sai số lớn đặc biệt là khi có bố trí VTN trong thân đập khiến đường dòng và đường thế bị tác động, chi phối gây uốn cong. Hơn nữa, trong thực tế, điều kiện biên của các bài toán thấm rất phức tạp và VTN thường được thiết kế nhằm tăng ổn định công trình, cho nên phương pháp PTHH được kiến nghị dùng trong tính toán thiết kế. Tuy nhiên với ưu điểm đơn giản, các bước tính toán tường minh nên phương pháp TLH vẫn có giá trị, giúp cho các kỹ sư định tính và định lượng được kết quả bài toán thấm trước và sau khi áp dụng phương pháp PTHH nhằm loại bỏ kịp thời các sai sót có thể mắc phải trong quá trình thiết lập mô hình tính, khai báo các thông số đầu vào.

2.2 Phân tích ảnh hưởng của hệ số thấm của đất thân và nền đập đến vị trí ĐBH

2.2.1 Hệ số thấm của nền tảng: $K_n/K_d = 1 \div 50$

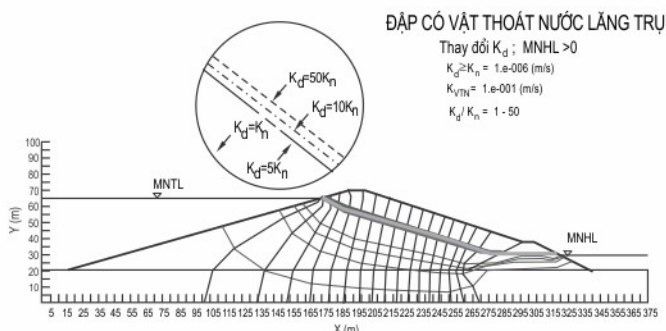
Sử dụng phương pháp PTHH, tiến hành phân tích một chuỗi các trường hợp khi thay đổi tương quan hệ số thấm của đất thân và nền đập đối với bài toán đập đất đồng chất có VTN lăng trụ. Các kết quả được tổng hợp và biểu diễn trên cùng một hình vẽ để cho thấy sự thay đổi của vị trí ĐBH liên quan đến tương quan hệ số thấm của đất thân và nền đập (xem Hình 3).

**Hình 3.** Kết quả xác định ĐBH theo PTHH với các trường hợp đập có VTN lăng trụ và $K_n > K_d$

Kết quả phân tích trong Hình 3 cho thấy khi tăng tỷ số $K_d/K_n = 1 \div 50$ lần thì vị trí ĐBH có xu hướng đi xuống, hay nói một cách khác hệ số thấm của nền K_n càng tăng thì vị trí ĐBH càng dịch chuyển xuống phía nền đập. Kết quả phân tích khẳng định vị trí của ĐBH phụ thuộc vào tỷ số K_d/K_n .

2.2.2 Hệ số thấm của đập tăng: $K_d/K_n = 1 \div 50$

Với trường hợp ngược lại, tương tự một chuỗi các trường hợp khi thay đổi tương quan hệ số thấm của đất thân và nền đập đối với bài toán đập đất đồng chất có VTN lắng trụ được tiến hành phân tích. Kết quả phân tích được tổng hợp lại trong cùng một hình vẽ để cho thấy sự thay đổi của vị trí ĐBH liên quan đến tương quan hệ số thấm của đất thân và nền đập khi K_d lớn hơn K_n (xem Hình 4).



Hình 4. Kết quả xác định ĐBH theo PTHH với các trường hợp đập có VTN lắng trụ và $K_n < K_d$

Kết quả phân tích trong cho thấy khi tăng tỷ số $K_d/K_n = 1 \div 50$ lần thì vị trí ĐBH có xu hướng dịch chuyển lên trên, hay nói một cách khác hệ số thấm của thân đập K_d càng tăng thì vị trí ĐBH càng dịch chuyển lên trên. Đồng thời kết quả cũng cho thấy vị trí của ĐBH phụ thuộc vào tỷ số K_d/K_n .

3. Ứng dụng kết quả phân tích vào tính toán ổn định đập Buôn Kuốp

3.1 Điều kiện địa chất của đập Buôn Kuốp

Công trình thủy điện Buôn Kuốp có công suất lắp máy 280MW và điện lượng bình quân năm $1.458,6 \times 10^6$ kWh, là công trình thủy điện lớn thứ hai ở Tây Nguyên sau công trình Yaly. Trong giai đoạn thiết kế, tư vấn thiết kế đã tiến hành khảo sát địa chất và kết quả có thể mô tả ngắn gọn như sau [9]:

- Cấu trúc địa chất tại vị trí nền đập gồm có 02 pha bazan và sự hiện diện của lớp e(β) dày 1÷3m ngăn cách giữa chúng.

- Có nhiều bằng chứng về tính rỗng của nền đập khi quan sát bằng camera. Hiện tượng sụt cần khi khoan xảy ra phổ biến với độ sụt từ 0.2m đến hơn 1m.

- Hệ số thấm trung bình của tầng đá bazan bột xốp là 440m/ngđ (tương ứng 0,5cm/s hay 40000Lu); hệ số thấm trung bình của tầng đá bazan đặc sít xen kẹp lỗ rỗng nứt nẻ là 237m/ngđ (tương ứng 0,27cm/s hay 21 000Lu). Rất nhiều đoạn trong địa tầng không thể làm thí nghiệm thấm được vì lượng tiêu hao nước quá lớn.

- Xác định đặc tính ngăn nước của lớp e(β) giữa 2 pha bazan: nền vai trái đập hoàn toàn khô nếu tính từ tầng sét e(β) trở lên và mực nước ngầm chỉ xuất hiện khi hố khoan xuyên thủng tầng sét này để vào pha bazan bên dưới.

Do khoảng cách các hố khoan lớn (>30m), nên chưa thể đánh giá được khả năng liên thông giữa các lỗ rỗng trong tầng đá bazan lỗ rỗng và bột xốp.

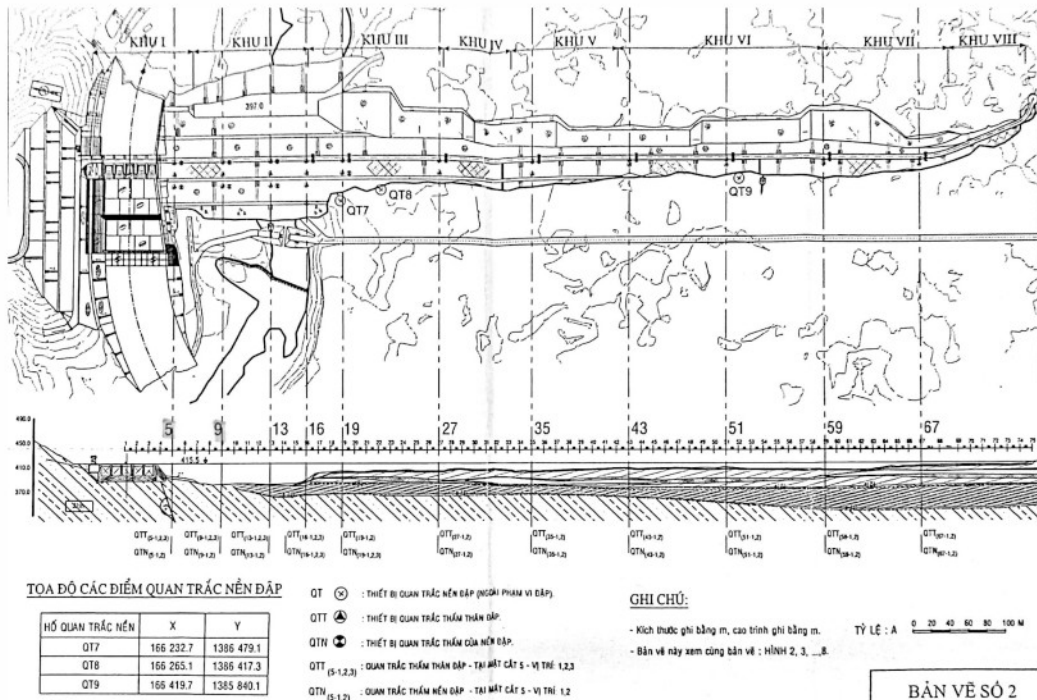
Cụ thể kết quả khảo sát địa chất khu vực đập qua các giai đoạn cho kết quả hệ số thấm của các lớp đất đá nền đập như sau:

- Đá bazan (pha trên): 241÷403m/ngđ (21 000÷36 000Lu).
- Lớp lỗ rỗng - bột xốp: 2 951÷4 181m/ngđ (260 000÷370 000Lu).
- Lớp e(β): < 0,1m/ngđ (<10Lu).
- Đá bazan (pha dưới): 3m trên cùng: 1,1m/ngđ (100Lu). Còn lại: < 0,5m/ngđ (<50Lu).
- Đá cát bột kết hệ tầng La Ngà: < 0,5m/ngđ (<50Lu).

3.2 Kết quả quan trắc thấm tại đập Buôn Kuốp

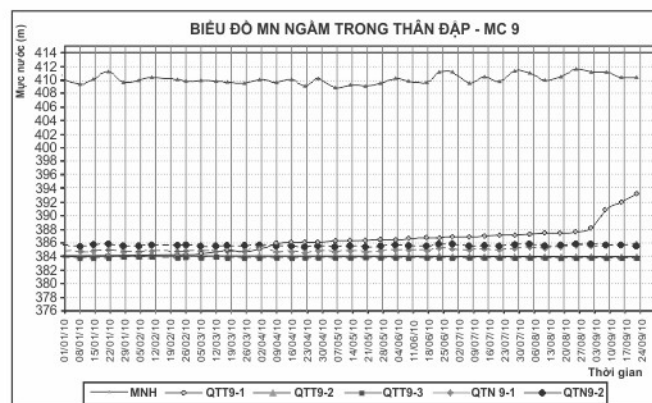
Vấn đề thấm qua đập đất trong thời gian đầu làm việc của đập là yếu tố quan trọng nhất cần quan tâm. Nền đập chính Buôn Kuốp chủ yếu là các lớp đá Bazan, đặc biệt là lớp Bazan lỗ rỗng pha trên xen kẹp bột xốp, nên hiện tượng thấm qua lớp này rất phức tạp. Việc lắp đặt các thiết bị quan trắc thấm nhằm kiểm soát sự làm việc của đập chính Buôn Kuốp là cần thiết đồng thời phải tiến hành phân tích xử lý các số liệu thực đo để đánh giá ổn định thấm của đập.

Vị trí lắp đặt thiết bị quan trắc thấm tại cả thân và nền đập chính Buôn Kuốp được chỉ ra trong mặt bằng và mặt cắt dọc đập chính Buôn Kuốp trong Hình 5.



Hình 5. Mặt bằng và mặt cắt dọc đập Buôn Kuốp có bố trí thiết bị quan trắc thấm [9]

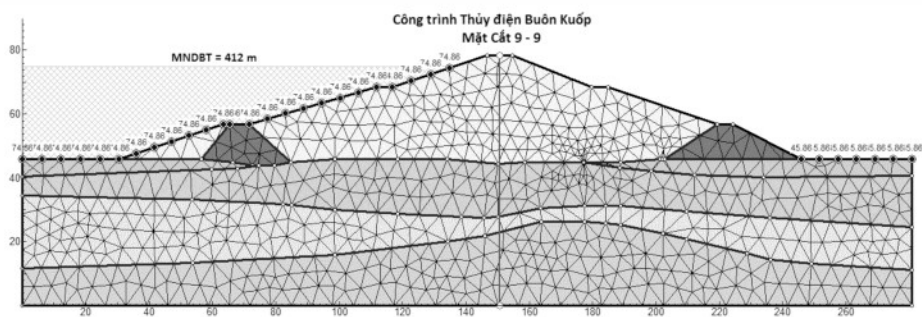
Xét một mặt cắt điển hình MC9 gồm các hồ quan trắc thấm thân đập: QTT9-1 (đỉnh đập 415,5m), QTT9-2 (mái hạ lưu cao trình 407,5m) và QTT9-3 (mái hạ lưu cao trình 402,5m) như trong Hình 8 để tiến hành các phân tích đánh giá ổn định thấm. Kết quả quan trắc thấm thống kê tại MC9 từ 01/01/2010 đến 24/9/2010 được mô tả trong Hình 6. Số liệu quan trắc mực nước thấm thân đập tại MC9 cho thấy: mực nước thấm hạ thấp nhiều (từ 25÷27m) so với MNHL, chênh lệch giữa các hồ quan trắc không cao, chứng tỏ ĐBHT thấm trong thân đập là phù hợp.



Hình 6. Biểu đồ kết quả quan trắc thấm thân đập tại mặt cắt 9 [10]

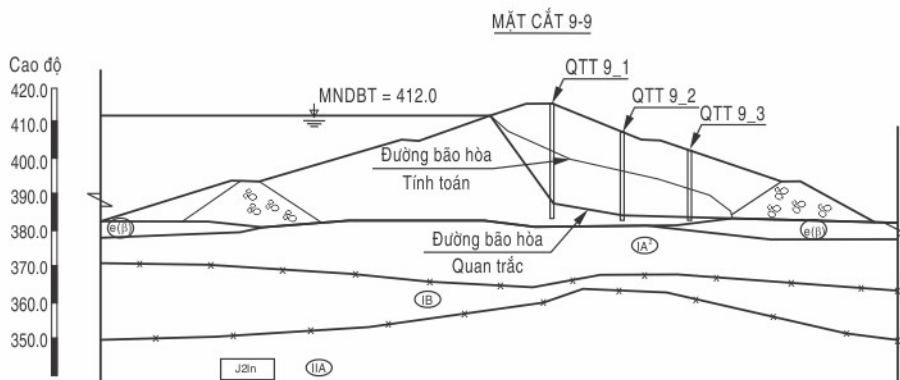
3.3 Phân tích bài toán thẩm qua đập đất Buôn Kuốp

Mô hình tính thấm theo phương pháp PTHH cho mắt cắt MC9 được mô tả trong Hình 7.



Hình 7. Mô hình tính thấm theo phương pháp PTHH

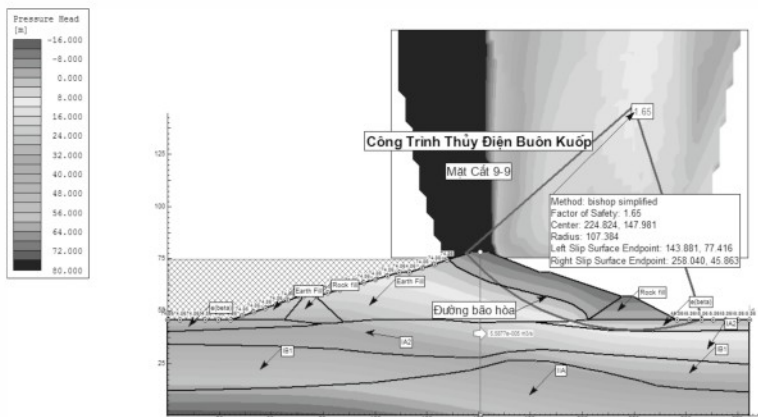
Từ kết quả phân tích, ĐBH xác định được từ phương pháp PTHH được biểu diễn trên cùng một hình vẽ với ĐBH từ kết quả quan trắc thực tế (Hình 8). Kết quả so sánh cho thấy ĐBH thực tế hạ thấp hơn rất nhiều so với lý thuyết. Sở dĩ có kết quả như vậy là vì nền đập là lớp đá Bazan lỗ rỗng pha trên xen kẹp bột xốp, hệ số thấm thực tế của nền rất lớn và lớn hơn nhiều so với giá trị hệ số thấm lấy theo tài liệu thiết kế, cho nên vị trí ĐBH bị hạ thấp. Trường hợp này hoàn toàn phù hợp với kết quả phân tích thấm trong mục 2.2.1.



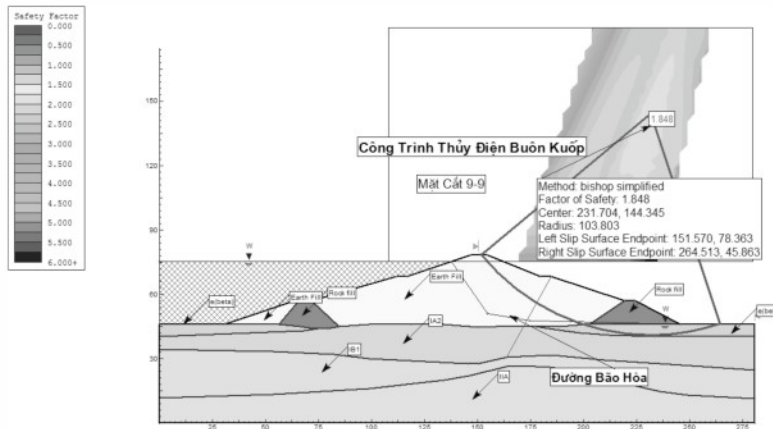
Hình 8. So sánh ĐBH theo lý thuyết và ĐBH quan trắc được

3.4 Phân tích ổn định của đập đất Buôn Kuốp

Để đánh giá ổn định của đập khi ĐBH thực tế thấp hơn rất nhiều so với ĐBH tính toán trong thiết kế, tác giả lần lượt tiến hành phân tích ổn định của đập tại MC9 theo ĐBH lý thuyết và ĐBH quan trắc được, kết quả cụ thể được thể hiện trong Hình 9 và Hình 10.



Hình 9. Kết quả tính ổn định của đập tại MC9 theo DBH lý thuyết có $K=1,654$



Hình 10. Kết quả tính ổn định của đập tại MC9 theo ĐBH quan trắc được có $K=1,848$

Từ kết quả phân tích ổn định như trong Hình 9 và Hình 10 cho thấy với ĐBH theo tính toán thiết kế thì cho hệ số ổn định của đập $K=1,654$ còn với ĐBH quan trắc thì cho hệ số ổn định của đập $K=1,848$, như vậy khi vị trí ĐBH bị kéo xuống thì hệ số ổn định của đập sẽ tăng lên, đảm bảo an toàn vận hành của đập.



4. Kết luận và kiến nghị

- Hệ số thấm của nền K_n càng tăng thì vị trí ĐBH càng bị kéo xuống và ngược lại hệ số thấm của thân đập K_d càng tăng thì vị trí ĐBH có xu hướng nâng lên.
- Tọa độ vị trí ĐBH phụ thuộc vào tỷ số K_d/K_n .
- Nếu hệ số thấm của nền lớn cần xem xét bỏ vật thoát nước.
- Nếu nền có điều kiện địa chất phức tạp nên chọn K_n thiên nhỏ để bảo đảm an toàn công trình.

Tài liệu tham khảo

1. A. Ouria, M. M. Toufigh (2009), "Application of Nelder-Mead simplex method for unconfined seepage problems", *Applied Mathematical Modelling*, vol. 33, issue 9, pages 3589-3598.
2. G. Mishra, A. Singh (2005), "Seepage through a Levee", *International Journal of Geomechanics*, vol. 5, issue 1, pages 74-79.
3. M. E. Harr (1962), *Groundwater and Seepage*, Dover Publications, New York.
4. M. Darbandi, S. O. Torabi, M. Saadat, Y. Daghighi, and D. Jarrahbashi (2007), "A moving-mesh finite-volume method to solve free-surface seepage problem in arbitrary geometries", *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, vol. 31, issue 14, pages 1609-1629.
5. C. S. Desai (1976), "Finite element residual schemes for unconfined flow", *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol. 10, issue 6, pages 1415-1418.
6. L. Lam, D. G. Fredlund (1984), "Saturated-Unsaturated Transient Finite Element Seepage Model for Geotechnical Engineering", *Proceedings of the 5th International Conference, Burlington, Vermont, U.S.A.*, Finite Elements in Water Resources, pages 113-122.
7. Nguyễn Cảnh Cầm, Nguyễn Văn Cung, Lưu Công Đào, Hoàng Văn Quý, Vũ Văn Tảo (1978), *Thủy lực tập II*, Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Hà Nội.
8. Nguyễn Xuân Đặng, Nguyễn Xuân Trường, Trịnh Trọng Hàn (2005), *Thủy công*, Tập 1, Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội.
9. EVNPECC2 (2010), *Báo cáo đánh giá ổn định*, Tập đoàn điện lực Việt Nam.
10. Ban quản lý dự án thủy điện 5 (2010), *Báo cáo quan trắc đập chính*, Tập đoàn điện lực Việt Nam.