

**MÔ HÌNH SỐ 3D BÀI TOÁN THẨM
KHU VỰC PHÂN LƯU SÔNG HỒNG - SÔNG ĐÀO****Bùi Văn Trường¹**

Tóm tắt: Bài báo trình bày phương pháp, kết quả mô phỏng bài toán thẩm khu vực phân lưu của sông Hồng - sông Đào bằng mô hình số 3D. Kết quả mô hình cho phép xác định các thông số của trường thẩm ở bất kỳ thời điểm và vị trí nào trong khu vực, là cơ sở quan trọng cho việc tính toán, dự báo và lựa chọn các giải pháp xử lý đảm bảo ổn định hệ thống đê, kè và công trình. Phần cuối bài báo trình bày kết quả ứng dụng mô hình trong bài toán dự báo nguy cơ phát sinh biến dạng thẩm ở nền đê khu vực phân lưu của sông.

Từ khóa: Mô hình 3D, bài toán thẩm, phân lưu sông.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nơi dòng sông phân lưu và nơi sông chảy uốn khúc là những nơi biên sông có hình thái biến đổi phức tạp, dòng thẩm từ sông về phía đồng và từ đồng ra sông phát triển rất phức tạp. Đây cũng là nơi có chế độ thủy động lực, địa chất nền đê biến đổi rất phức tạp trong không gian. Do vậy việc giải các bài toán thẩm theo bài toán phẳng thường kém chính xác và gặp khó khăn khi chọn mặt cắt tính toán. Trong điều kiện đó, mô hình (MH) hóa hệ thống tự nhiên - kỹ thuật (TNKT) khu vực bằng mô hình số 3D là phương pháp (PP) tiếp cận hợp lý.

Phần mềm Visual Modflow phiên bản 4.2.0.151 được viết từ hệ phần mềm MODFLOW của Mỹ có những tính năng hiện đại, linh hoạt, cho phép mô phỏng khá đầy đủ các tính chất, hình thái của môi trường và các hợp phần của hệ thống. Sử dụng phần mềm này cùng với sự hỗ trợ của hệ phần mềm Surfer, Mapinfo cho phép mô hình hóa hệ thống TNKT khu vực phân lưu của sông theo bài toán không gian, từ đó xác định được các thông số của trường thẩm ở bất kỳ thời điểm và vị trí nào trong khu vực, là cơ sở quan trọng cho việc tính toán, dự báo và lựa chọn các giải pháp xử lý (GPXL) đảm bảo ổn định hệ thống đê, kè và công trình.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA MÔ HÌNH**2.1. Mô hình toán học**

Sự biến đổi độ cao mực nước (MN) dưới đất

$h(x, y, z)$ được mô tả bằng một phương trình đạo hàm riêng (Todd D.K, 1980) như sau:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

trong đó: K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} - hệ số thẩm theo các hướng x, y và z;

h - cốt cao MN tại vị trí (x,y,z) ở thời điểm t;

W - module dòng ngầm;

S_s - hệ số nhả nước đơn vị (1/m).

Phương trình (1) mô tả động thái của nước dưới đất (NDĐ) trong môi trường không đồng nhất và dị hướng. Phương trình (1) cùng với các điều kiện biên, điều kiện ban đầu tạo thành MH toán học của dòng thẩm.

2.2. Phương pháp giải

Trong thực tế, miền thẩm có điều kiện rất phức tạp, do vậy (1) được giải bằng PP sai phân hữu hạn (Raudkivi A. J et al, 1975). Với PP này, môi trường thẩm được chia thành các lớp. Mỗi lớp lại được chia thành các ô nhỏ. Từ đó thiết lập được hệ phương trình có số phương trình tương ứng với số ô lưới. Giải hệ phương trình này bằng PP lặp sẽ xác định được $h(x, y, z)$ ở bất kỳ thời điểm (t) nào đó trong môi trường thẩm.

3. MÔ HÌNH SỐ 3D BÀI TOÁN THẨM**3.1. Cơ sở tài liệu của mô hình**

Mô hình khu vực được xây dựng trên cơ sở tổng hợp các loại tài liệu và số liệu sau (Bùi Văn Trường, 2004, 2009):

- Bản đồ địa hình, địa hình đáy sông; tài liệu đo vẽ cắt ngang đê sông;

¹ Bộ môn Địa kỹ thuật - Đại học Thủy lợi.

- Tài liệu khảo sát ĐCCT-ĐCTV nền đề, tài liệu khảo sát ĐC, ĐCTV, môi trường các đề án;
- Số liệu quan trắc MNĐĐ năm 1996, 2003, 2004;
- Số liệu thủy văn trạm Nhật Tảo trên sông Hồng và trạm Nam Định trên sông Đào;
- Số liệu khí tượng (lượng mưa, bốc hơi,...) của trạm Thái Bình, Nam Định.

3.2. Mô hình hóa hệ thống

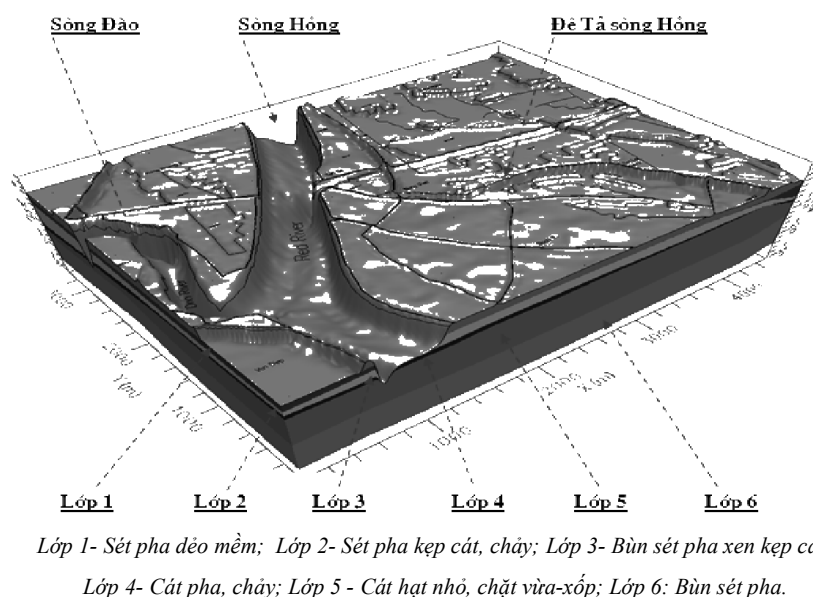
3.2.1. Mô hình hóa bề mặt địa hình

Hình thái bề mặt địa hình bao gồm bề mặt đáy sông, bãi sông, công trình đê,... là yếu tố quyết định sự tương tác giữa môi trường nước sông với môi trường địa chất (MTĐC) và công

trình. Để MH hóa bề mặt địa hình, tác giả sử dụng phần mềm Surfer của Mỹ số hoá bản đồ địa hình nền, xây dựng bản đồ bề mặt địa hình 3D để đưa vào mô hình.

3.2.2. Mô hình hóa các lớp đất nền

Trên cơ sở tài liệu địa chất nền đề, các công trình trên đề,..., tiến hành lập hệ thống bản đồ đẳng đáy và bản đồ đẳng bề dày các lớp đất để mô phỏng các lớp đất nền. Các bản đồ này đồng thời được sử dụng cho tính toán, chỉnh lý MH, tính toán xác định gradien áp lực thấm (ALT) của các lớp đất nền. Mô hình 3D mô phỏng khu vực phân lưu của sông Hồng - sông Đào được thể hiện ở hình 01.



Hình 1. Mô hình 3D mô phỏng hệ thống tự nhiên - kỹ thuật khu vực phân lưu của sông trong môi trường 6 lớp

3.2.3. Tính thấm, giá trị bổ cập và bốc hơi

Để mô phỏng trường thấm khu vực, từ số liệu ĐCTV, phân tích quy luật biến đổi bề dày và tính thấm của tầng chứa nước (TCN), đã tiến hành phân vùng và MH hóa độ nhả nước, phân chia tính thấm và xây dựng sơ đồ phân vùng hệ số thấm của tầng chứa nước (hình 02). Lượng mưa, bốc hơi tính toán trong MH được xác định theo số liệu quan trắc của trạm Thái Bình, Nam Định.

3.2.4. Điều kiện biên của mô hình

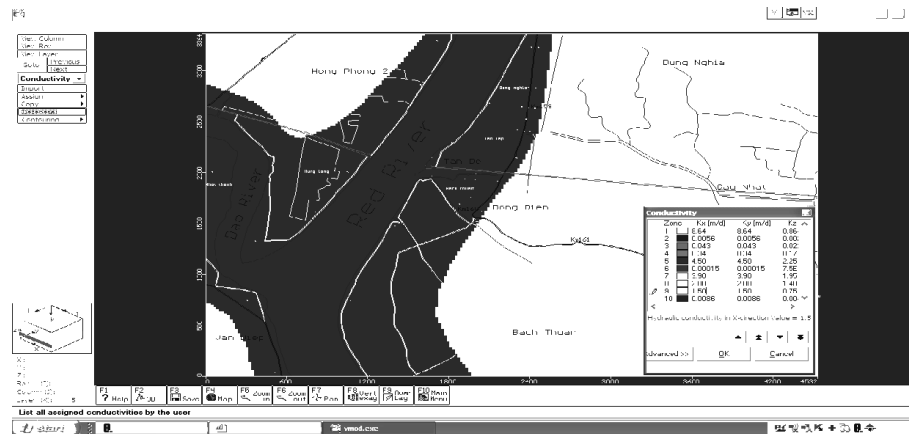
Tại khu vực phân lưu, sông đào cắt vào TCN,

có quan hệ thủy lực trực tiếp với NDĐ nên được đặt là biên loại III (biên sông “River”). Biên này được xác lập trên cơ sở quan hệ tương tác giữa môi trường nước sông với MTĐC và được xác lập theo các trường hợp cụ thể (hình 03). Diễn biến MN trên biên sông theo các pha nước lũ dâng và rút được xác định theo tài liệu quan trắc tại 2 trạm thủy văn Nhật Tảo và Nam Định (Trung tâm khí tượng thủy văn Quốc gia, 2008). Trị số sức cản thấm C của sông được xác định theo các tài liệu khảo sát và nghiên cứu lớp bùn đáy sông.

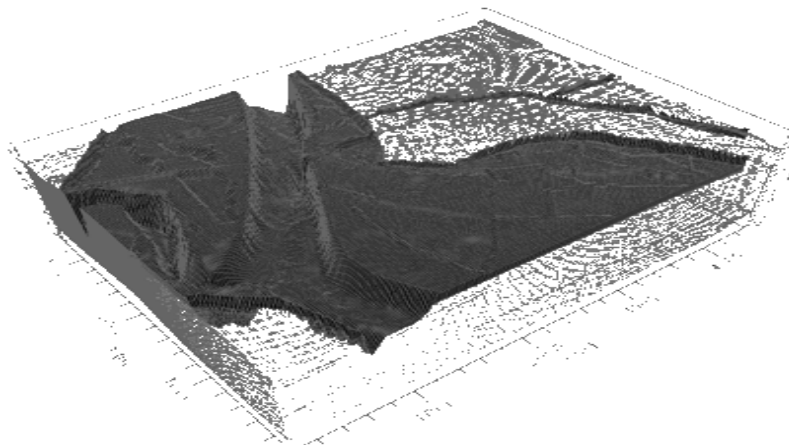
3.2.5. Điều kiện mực nước ban đầu và hệ thống lỗ khoan quan trắc

Để chỉnh lý MH, mực nước tại thời điểm đầu của pha nước lũ dâng ngày 20/7/2004 được lấy

làm điều kiện ban đầu. Mạng lưới lỗ khoan quan trắc được thiết lập theo các mặt cắt ngang đề. Chuỗi số liệu quan trắc năm 2003 & 2004 được cập nhật vào MH để so sánh với MN tính toán.



Hình 2. Sơ đồ phân vùng hệ số thấm tầng chứa nước sau khi được mô hình hoá



Hình 3. Sơ đồ điều kiện biên và lưới sai phân trong mô hình

3.3. Chỉnh lý mô hình

Dòng thấm nước dưới đất ở khu vực bị chi phối mạnh bởi chế độ thủy văn của sông, đặc biệt là khi có lũ về. Năm 2004 ở hệ thống sông xuất hiện 3 đợt lũ. Biến đổi MN rõ nét nhất từ ngày 20/7÷18/8/2004 với 2 pha nước lũ dâng và 2 pha lũ rút, do vậy đã chọn giai đoạn này để chỉnh lý MH. Chuỗi số liệu quan trắc MN trong mùa lũ năm 2003 & 2004 là số liệu để kiểm tra khi giải bài toán chỉnh lý không ổn định theo các bước thời gian.

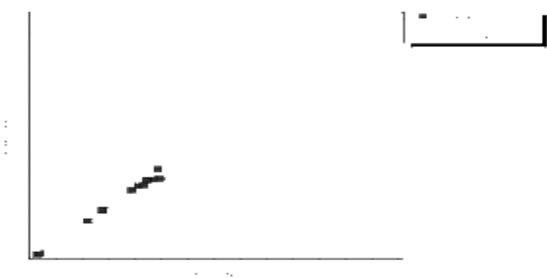
3.3.1. Kết quả bài toán chỉnh lý ổn định

Bài toán chỉnh lý ổn định nhằm khôi phục

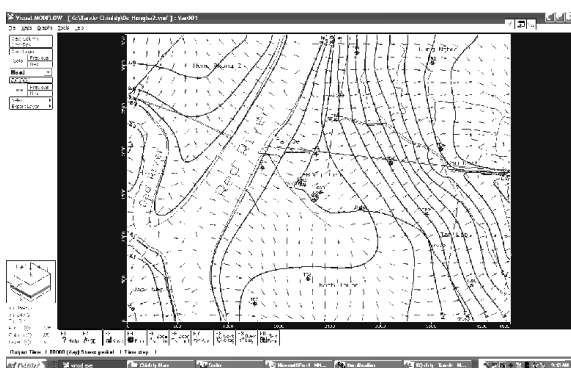
lại diện mạo của trường thấm, cụ thể là bề mặt mực nước áp lực (MNAL) ở khu vực tại thời điểm chỉnh lý. Lời giải của bài toán tìm được bằng PP giải lặp. Độ tin cậy của MH được đánh giá bởi sai số trung bình (ME), sai số trung bình tuyệt đối (MAE), sai số trung bình quân phương (RMS) và sai số trung bình quân phương tiêu chuẩn (NRMS). Kết quả bài toán chỉnh lý (bảng 01 & hình 04) đã xác lập được bề mặt MNAL cho mô hình ở thời điểm ngày 20/7/2004 (hình 05). Kết quả này phù hợp với điều kiện tự nhiên và kết quả quan trắc MNAL ở nền đề.

Bảng 1. Kết quả tính toán sai số mực nước theo bài toán chỉnh lý ổn định

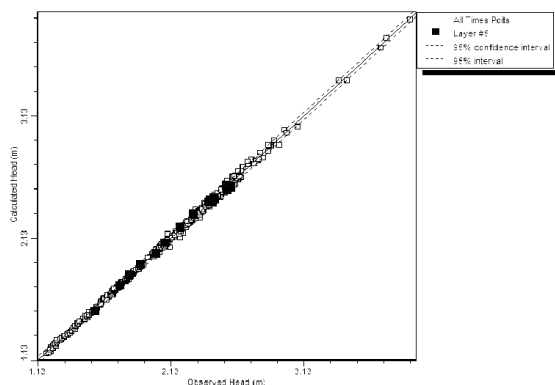
ME (m)	MAE (m)	RMS (m)	NRMS (%)
0.008	0.023	0.031	3.33



Hình 4. Tương quan MN tính toán với quan trắc theo bài toán chỉnh lý ổn định



Hình 5. Bản đồ đẳng mực nước áp lực theo bài toán chỉnh lý ổn định.



Hình 6. Tương quan MN tính toán và quan trắc theo bài toán chỉnh lý không ổn định

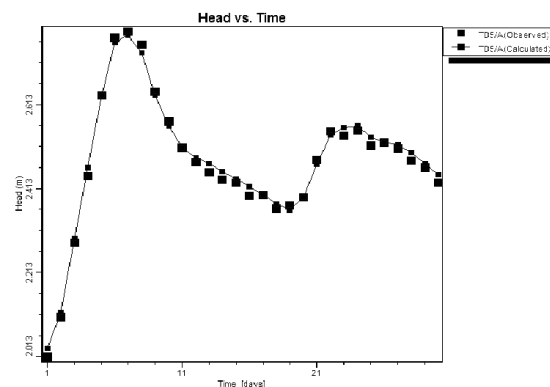
Kết quả chỉnh lý theo bài toán không ổn định cho thấy sự phù hợp với điều kiện tự nhiên và kết quả quan trắc MNAL theo từng bước thời gian. Ở pha nước lũ dâng, dòng thấm chủ yếu vận động

3.3.2. Kết quả chỉnh lý không ổn định

Bài toán chỉnh lý không ổn định đã xác lập được sự phân bố mực nước áp lực ở nền đề theo từng bước thời gian của 2 pha nước lũ dâng và 2 pha lũ rút. Điều kiện biên và các thông số của MH được chỉnh lý qua từng bước thời gian. Độ tin cậy của MH phản ánh qua sai số và tương quan giữa cốt cao MN trên MH với MN quan trắc thực tế tại các lỗ khoan ở các thời điểm đỉnh lũ 1 (ĐL1), chân lũ 1 (CL1), đỉnh lũ 2 (ĐL2), chân lũ 2 (CL2) được thể hiện ở bảng 02, hình 06 & hình 07.

Bảng 2. Sai số MN theo kết quả bài toán chỉnh lý không ổn định

Thời điểm	ME (m)	MAE (m)	RMS (m)	NRMS (%)
ĐL1	0.002	0.009	0.010	0.36
CL1	0.002	0.009	0.009	0.89
ĐL2	0.002	0.009	0.010	0.62
CL2	0.005	0.016	0.018	1.77

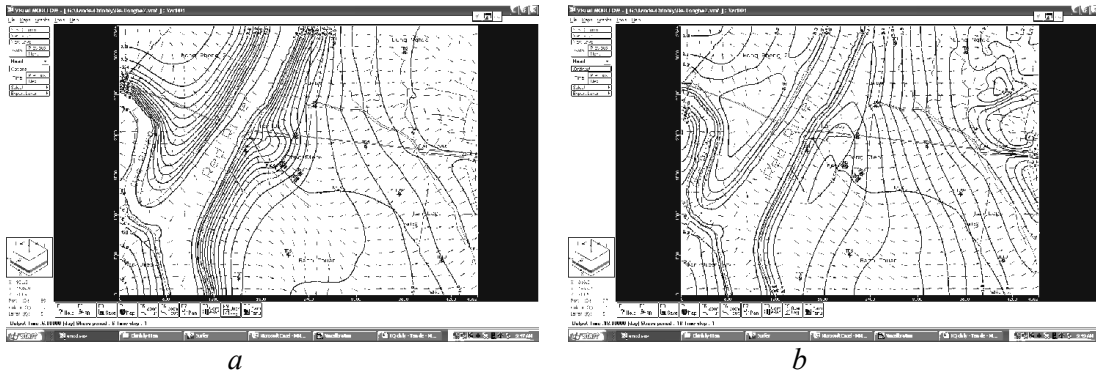


Hình 7. Biến đổi MN tính toán và quan trắc theo bài toán chỉnh lý không ổn định

theo hướng từ phía sông vào trong đồng làm gia tăng áp lực ở nền đề (hình 08a). Mức độ gia tăng phụ thuộc vào MN tác dụng ở phía sông và thời gian dâng lũ. Ở pha nước lũ rút dòng thấm phát

triển theo hai hướng, một hướng từ phía đồng ra sông và một hướng tiếp tục thẳm từ phía sông về

phía đồng hình thành các đường phân thủy rất rõ nét trên bản đồ đẳng áp (hình 08b).

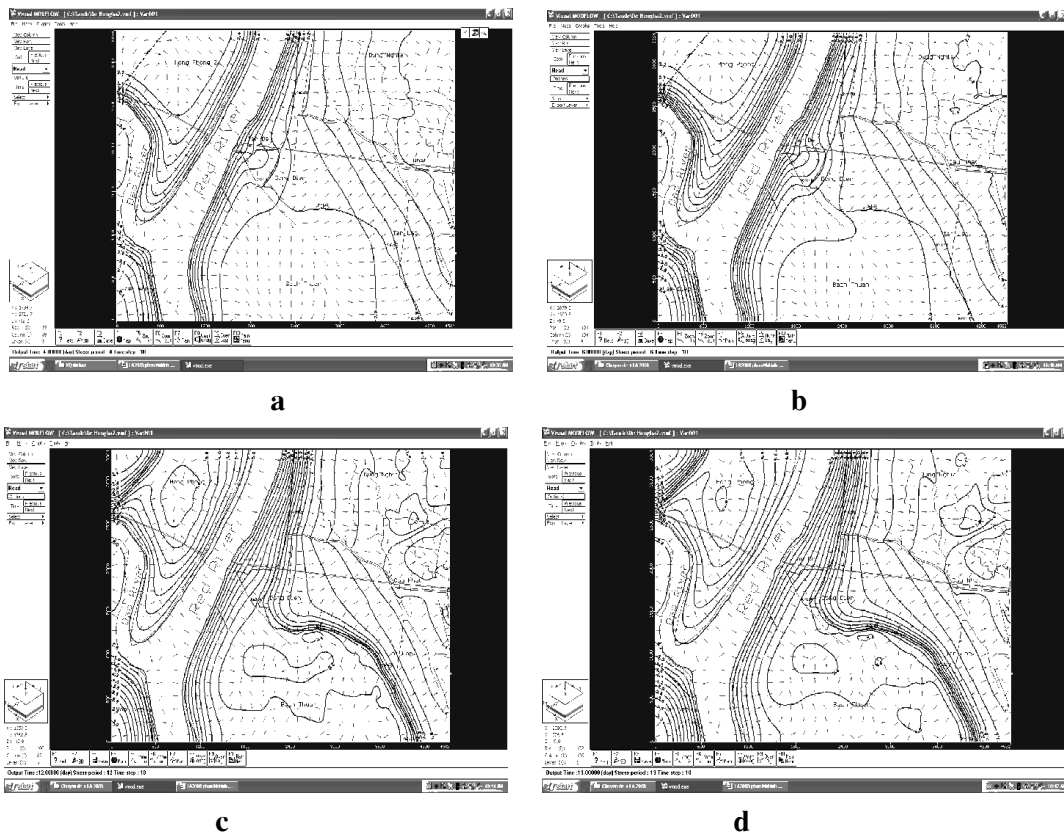


Hình 8. Bản đồ đẳng mực nước áp lực theo kết quả bài toán chỉnh lý không ổn định tại thời điểm đỉnh lũ (a) và chân lũ (b)

3.4. Kết quả mô hình

Kết quả mô hình đã cho phép xác định được mực nước áp lực, các thông số của

trường thấm ở nền đề tại các thời điểm và vị trí khác nhau (hình 09), từ đó cho phép giải các bài toán thẩm chính xác và hiệu quả.



Hình 9. Bản đồ đẳng cao trình mực nước áp lực khu vực phân lưu của sông tại thời điểm BDI (a), BDI (b), BBĐIII (c), DL (d)

4. DỰ BÁO BIẾN DẠNG THẨM

Để thấy rõ tính ưu việt, độ chính xác và tiện ích của MH, kết quả MH được ứng dụng cho bài toán dự báo khả năng phát sinh biến dạng thẩm (BDT) ở nền đề.

Bài toán dự báo được xây dựng với kịch bản, trên hệ thống sông xuất hiện đợt lũ có cường suất và tính chất tương tự đợt lũ lịch sử tháng 8 năm 1996. Đây là đợt lũ lớn với những đặc trưng nguy hiểm nhất. Thời gian dự báo bắt đầu từ ngày 10/8÷26/8/1996 gồm 13 ngày lũ dâng và 4 ngày lũ rút với các cấp báo động I (BDI), báo động II (BDII), ... đỉnh lũ (ĐL), sau đỉnh lũ 2 ngày (SDL2) và sau đỉnh lũ 4 ngày (SDL4).

BDT xảy ra tại vị trí có cột nước áp lực thực tế vượt quá cột nước áp lực cho phép của tầng phủ thẩm nước yếu. Do vậy, để dự báo khả năng phát sinh BDT cần xác định cao trình MNAL thực tế khi có lũ và MNAL cho phép tại các vị trí ở nền đề.

4.1. Xác định áp lực thẩm ở nền đề

Kết quả MH cho phép xác định được áp lực thẩm ở nền đề tại từng thời điểm nước lũ. Phân bố áp lực lên đáy tầng phủ được thể hiện cụ thể trên loạt bản đồ đẳng MNAL ở mức báo động BDI,

BDII, BDIII và ĐL (hình 09).

4.2. Xác định mực nước áp lực cho phép

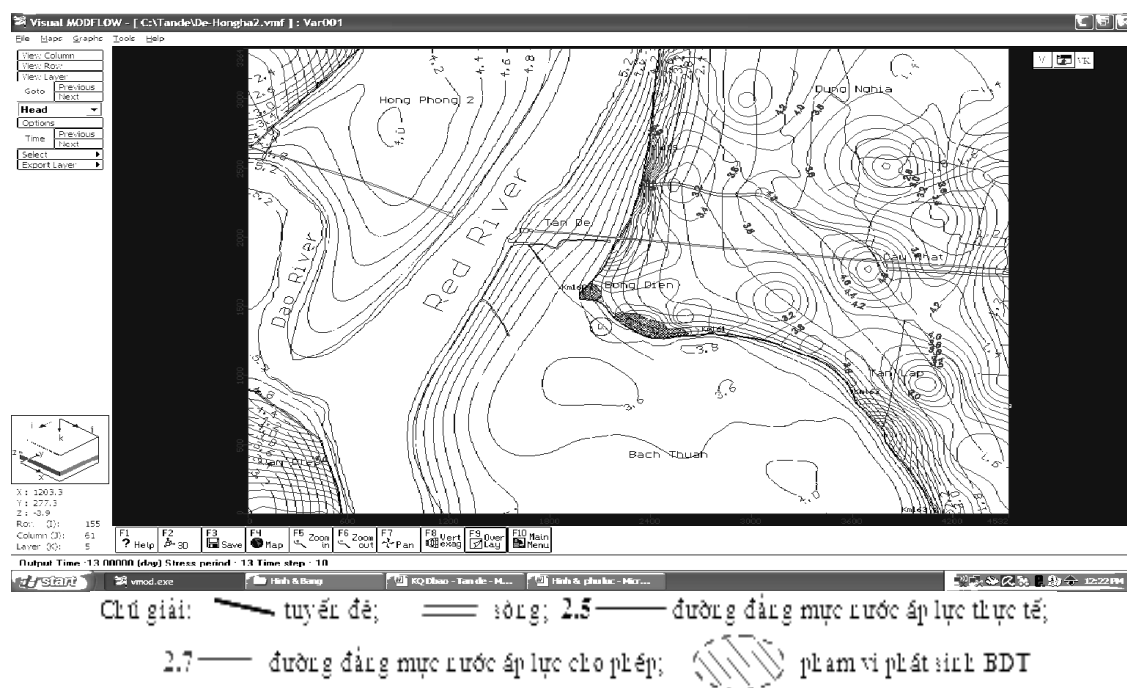
Trên cơ sở kết quả thí nghiệm xác định cột nước áp lực giới hạn của các lớp đất tầng phủ tại hiện trường và số liệu về cao độ bề mặt địa hình, chiều dày các lớp đất tầng phủ đã xác định được cột nước áp lực giới hạn, cột nước áp lực cho phép (Bùi Văn Trường, Phạm Văn Ty, 2008) và cao trình MNAL cho phép (H_{cf}). Từ kết quả này, sử dụng PP nội suy Kriking bằng phần mềm Surfer đã lập được bản đồ đẳng cao trình MNAL cho phép tại khu vực.

4.3. Dự báo phạm vi phát sinh biến dạng thẩm

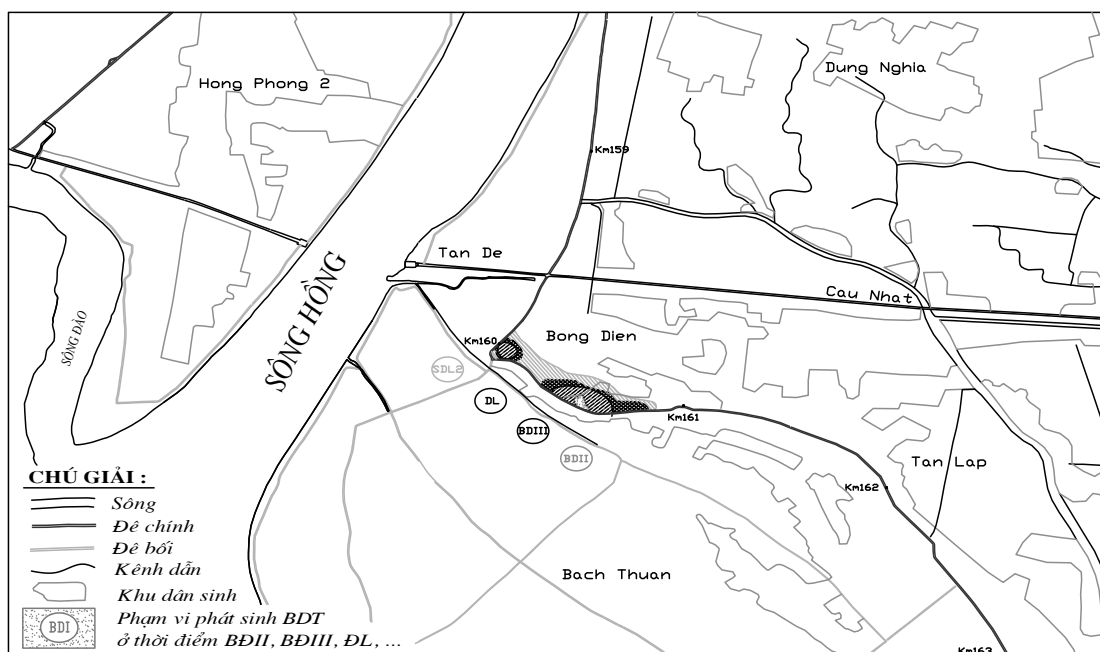
Kết quả MH đã lập được hệ thống bản đồ đẳng cao trình MNAL thực tế (H_{tt}) ứng với các thời điểm lũ (hình 09). Chập các bản đồ này với bản đồ đẳng cao trình MNAL cho phép (H_{cf}) để dàng xác định được phạm vi có nguy cơ phát sinh BDT theo từng thời điểm lũ.

Phạm vi có nguy cơ phát sinh BDT ứng với từng thời điểm lũ là phạm vi có H_{tt} ở mức lũ xem xét lớn hơn H_{cf} (hình 10).

Tổng hợp loạt bản đồ dự báo BDT theo từng mức lũ đã thành lập được bản đồ dự báo BDT cho các mức lũ ở khu vực nghiên cứu (hình 11).



Hình 10. Bản đồ dự báo phạm vi phát sinh BDT khu vực phân lưu sông tại thời điểm đỉnh lũ (ĐL)



Hình 11. Bản đồ dự báo phạm vi phát sinh BDT khu vực phân lưu sông theo các mức nước lũ

Từ kết quả dự báo có thể rút ra một số nhận xét như sau :

- Cấu trúc nền đê ảnh hưởng rất lớn đến mức độ gia tăng và phân bố ALT ở dải ven đê. Mức độ và phạm vi ảnh hưởng được thể hiện rõ trên MH và bản đồ đẳng MNAL theo từng thời điểm, từng cấp báo động (hình 09). Phân tích loạt bản đồ này cho thấy, nơi sông sát đê, ALT gia tăng mạnh, cùng pha với nước lũ, mức độ nguy hiểm BDT rất cao; nơi có bãi sông phía ngoài đê, MNAL gia tăng chậm pha hơn nhưng nguy cơ phát sinh BDT ở thời điểm sau đỉnh lũ cũng rất nguy hiểm.

- Những nơi có đê bồi, có ảnh hưởng rất rõ đối với sự vận động của dòng thấm. Khi nước lũ chưa tràn qua đê bồi, dòng thấm chủ yếu vận động theo phương ngang và nhận đê bồi làm biên sông, ALT biến đổi mạnh ở dải song song với đê bồi, nguy cơ phát sinh BDT ở trong đê chính chưa cao. Sau khi nước lũ tràn qua đê bồi, dòng thấm xuyên phát triển ở vùng bãi giữa đê chính và đê bồi, biên sông được dịch chuyển vào sát đê chính, ALT biến đổi mạnh ở dải song song với đê chính. Khi đó BDT có nguy cơ phát sinh ở phía trong đê chính với mức độ lớn và nguy hiểm hơn. Như vậy, để nâng cao khả năng

ổn định cho đê chính, đồng thời để khai thác quỹ đất vùng bãi sông có thể nghiên cứu xây dựng các tuyến đê bồi ngăn lũ ở phía ngoài.

- Mức độ nguy hiểm và phạm vi phát sinh BDT phụ thuộc vào cấu trúc nền đê, MN lũ và thời gian duy trì lũ. Kết quả dự báo cho thấy, phạm vi phát sinh BDT có thể phát triển đến vị trí cách chân đê 70-150m về phía trong đồng. Ở thời điểm sau đỉnh lũ 2-4 ngày, tình hình BDT vẫn có nguy cơ diễn ra rất nghiêm trọng. Nếu tầng phủ bị đào khoét, bóc mỏng hơn hoặc bị xâm hại, BDT có thể phát sinh ở mức độ nguy hiểm và phạm vi rộng hơn so với dự báo.

5. KẾT LUẬN

- Mô hình số 3D với sự hỗ trợ của hệ phần mềm Visual Modflow cho phép giải chính xác bài toán thấm. Mô hình này cho phép dự báo, mô phỏng các GPXL từ đó có thể so sánh, lựa chọn phương án tối ưu, rất thuận tiện và chính xác ở những nơi có điều kiện ĐCCT-ĐCTV, điều kiện biên và chế độ thủy văn biến đổi phức tạp ở khu vực phân lưu của sông, ở những đoạn sông cong và những nơi sông có hình thái biến đổi phức tạp.

- Mô hình cho phép xác định trường phân bố, biến đổi ALT trong không gian và thời gian. Kết

quả dự báo được xác định theo phạm vi trên mặt bằng là bức tranh rất cụ thể về nguy cơ phát sinh BDT theo tình trạng lũ trên sông, đáp ứng kịp thời cho công tác phòng chống lụt và quản lý đề điều.

- Dự báo BDT theo các mức lũ có ý nghĩa thực tế rất lớn, cho phép xác định phạm vi cần được bảo vệ ứng với từng mức lũ để chủ động phòng chống các sự cố có thể xảy ra ngay cả

trong trường hợp lũ không cao và khi lũ đã bắt đầu rút. Kết quả dự báo phù hợp với tình hình BDT đã diễn ra trong thực tế, là cơ sở quan trọng xác định phạm vi có nguy cơ phát sinh BDT (phạm vi nguy hiểm) từ đó lập hành lang bảo vệ đề phù hợp, giúp đơn vị quản lý và địa phương xây dựng chiến lược bảo vệ đề theo hướng trước mắt và lâu dài.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Trung tâm khí tượng thủy văn Quốc gia (2008), *Số liệu quan trắc thủy văn trạm Nhật Tảo, trạm Triều Dương, trạm Nam Định*, Hà Nội.

Bùi Văn Trường (2004), *Nghiên cứu, đánh giá khả năng ổn định thềm nền đề sông tỉnh Thái Bình*, Báo cáo đề tài khoa học cấp tỉnh, Thái Bình.

Bùi Văn Trường, Phạm Văn Tỵ (2008), *Biến dạng thềm nền đề sông tỉnh Thái Bình và một số kết quả nghiên cứu*, Báo cáo tuyển tập công trình khoa học, Hội thảo khoa học toàn quốc “Tai biến địa chất và giải pháp phòng chống”, Hà Nội.

Bùi Văn Trường, Phạm Văn Tỵ (2009), *Nghiên cứu, dự báo biến dạng thềm nền đề sông tỉnh Thái Bình bằng phương pháp mô hình không gian*, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.

Bùi Văn Trường (2009), *Nghiên cứu biến dạng thềm nền đề hạ du sông Hồng địa phận tỉnh Thái Bình và đánh giá thực nghiệm các giải pháp xử lý*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Hà Nội.

Bùi Văn Trường (2013), *Cơ chế phá hủy thềm nền đề hạ du sông Hồng*, Tạp chí Địa kỹ thuật, số 4-2013, Hà Nội.

Raudkivi A. J., Callander R. A (1975), *Analysis of groundwater*, New Zealand.

Todd D.K. (1980), *Groundwater hydrology*, John Wiley & Sons, New York chichester Brisbane Toronto.

Waterloo Hydrogeologic, *Visual Modflow 4.2.0.151*, Canada.

Abstract:

3D MODEL FOR SEEPAGE PROBLEM RED RIVER REGION SHARE WITH DAO RIVER

This article presents method, simulation results of seepage problem Red river area share with Dao river by 3D model number. The results of the model allows to identify the parameters of seepage field at any time and any location in the region, is an important basis for the calculation, forecasts and selection of handling, solutions ensure stability of the system of dykes, embankments and buildings. The last part of the article presents the results of modeling applications the problem arises risk prediction destruction seepage dyke foundation..

Keywords: 3D model, seepage problem, share of river flow.

BBT nhận bài: 15/11/2015

Phản biện xong: 14/12/2015