

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG ÁN BỐ TRÍ HỢP LÝ HỆ THỐNG GIẾNG GIẢM ÁP

BÙI VĂN TRƯỜNG

Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Tính toán, thiết kế hệ thống giếng giảm áp theo bài toán thấm phẳng và phương pháp giải tích còn có những hạn chế, nhiều trường hợp không đảm bảo chính xác, ảnh hưởng đến hiệu quả và an toàn của công trình. Sử dụng hệ phần mềm Modflow, Surfer và Mapinfo tác giả mô hình hóa địa hệ Tự nhiên - Kỹ thuật dải ven đê khu vực xây dựng hệ thống giếng giảm áp theo mô hình bài toán thấm 3D. Kết quả tính toán mô hình với 06 tổ hợp và 30 phương án khoảng cách giếng giảm áp đã xác định được phương án bố trí hợp lý cho hệ thống giếng giảm áp. Với hệ thống giếng giảm áp tại K160-161 đê Tả Hồng nếu được bố trí điều chỉnh vị trí tuyến giếng cách chân đê 30 m, đồng thời tăng khoảng cách giữa các giếng từ 10 m lên 25 m sẽ có hiệu quả cao; khi đó ở mức lũ BĐIII toàn bộ phạm vi có nguy cơ phát sinh biến dạng thấm sẽ được đảm bảo ổn định. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy, trong điều kiện địa chất nền đê không đồng nhất, dòng thấm phát triển phức tạp, để lựa chọn, tối ưu hóa các thông số thiết kế của hệ thống giếng giảm áp cần tính toán, thiết kế hệ thống giếng giảm áp theo phương pháp mô hình bài toán thấm 3D.

I. MỞ ĐẦU

Giếng giảm áp (GGA) được xây dựng ở chân đê phía đông hoặc phía sau đập đê giảm áp lực của dòng thấm ở nền đê, đập, từ đó ngăn chặn các hình thức biến dạng thấm (BDT) như xói ngầm, đùn đất, giữ cho nền đê, đập được ổn định. Giếng giảm áp được áp dụng khá phổ biến do có những ưu điểm như tiết kiệm diện tích, phù hợp với điều kiện phát triển cơ sở hạ tầng dải ven đê, có khả năng thích ứng hơn với biến đổi khí hậu và nước biển dâng.

Việc tính toán, thiết kế GGA bằng phương pháp (PP) giải tích và PP mô hình hóa theo bài toán phẳng còn những hạn chế do phải dùng phép hiệu chỉnh để đưa tuyến giếng vô hạn thành hữu hạn hoặc sử dụng phép biến đổi tương đương để đưa về bài toán phẳng. Trong điều kiện địa chất nền đê biến đổi phức tạp sẽ không đảm bảo chính xác, ảnh hưởng rất lớn đến hiệu quả của hệ thống GGA và có thể gây tổn kém kinh phí, không đảm bảo an toàn cho công trình.

Để có những nhìn nhận đầy đủ và trực quan hơn về vấn đề này, từ đó đúc rút kinh nghiệm trong công tác tính toán thiết kế, cần phân tích, đánh giá hiệu quả của hệ thống GGA theo các phương án có khoảng cách tới chân đê và khoảng cách giữa các giếng khác nhau trong mô hình bài toán thấm 3 chiều với một công trình cụ thể. Trong nghiên cứu này, tác giả lựa chọn hệ thống GGA K160÷162 đê Tả Hồng, công trình do tác giả trực tiếp thi công thử nghiệm.

II. NGUYÊN TẮC BỐ TRÍ GIẾNG GIẢM ÁP

Hệ thống GGA được xây dựng theo tuyến cách chân đê 20÷50 m về phía đông, các giếng trên tuyến bố trí cách nhau 20÷40 m, tùy thuộc vào cấu trúc địa chất nền đê và tính thấm của tầng chứa nước (TCN), phải đảm bảo nguyên tắc an toàn và hiệu quả.

Chiều sâu của giếng được thiết kế sao cho giếng cắm sâu vào tầng thấm nước mạnh. Khả năng thấm nước của đoạn lọc phải đạt 3.10^{-3} cm/s, đường kính ống lọc

nhỏ nhất là 150 mm và có chiều dài sao cho giếng có thể thoát được 6 l/s [7, 8]. Những nơi dễ có TCN phân bố nông, dễ hạ thấp được áp lực nước đến giới hạn cho phép cần bố trí giếng gần nhau hơn, hoặc sử dụng giải pháp giếng đào giảm áp, khi đó giếng thường được cắm sâu vào TCN khoảng 0,5 m. Với TCN có cấu trúc xen kẽ không đồng nhất, phải lựa chọn vị trí đặt ống lọc và mật độ giếng thích hợp mới phát huy được tác dụng của hệ thống giếng. Hệ thống GGA bố trí theo tuyến nằm gần sông, có thể xem như hàng lỗ khoan hút nước nằm song song với biên cấp nước loại 3. Để xác định độ hạ thấp mực nước áp lực do tác dụng can nhiễu của hệ thống giếng có thể sử dụng PP chiếu ảnh qua gương phản chiếu và PP cộng dòng.

III. HỆ THỐNG GIẾNG GIẢM ÁP K106-161 ĐÊ TÀ HỒNG

Tại K160-161 đê Tà Hồng, hệ thống giếng đào giảm áp (GĐGA) được tính toán, thiết kế theo bài toán thấm phẳng và được bố trí theo một tuyến dọc đê gồm 05 giếng, cách chân đê 20-22 m, khoảng cách giữa các giếng là 10 m, giếng sâu

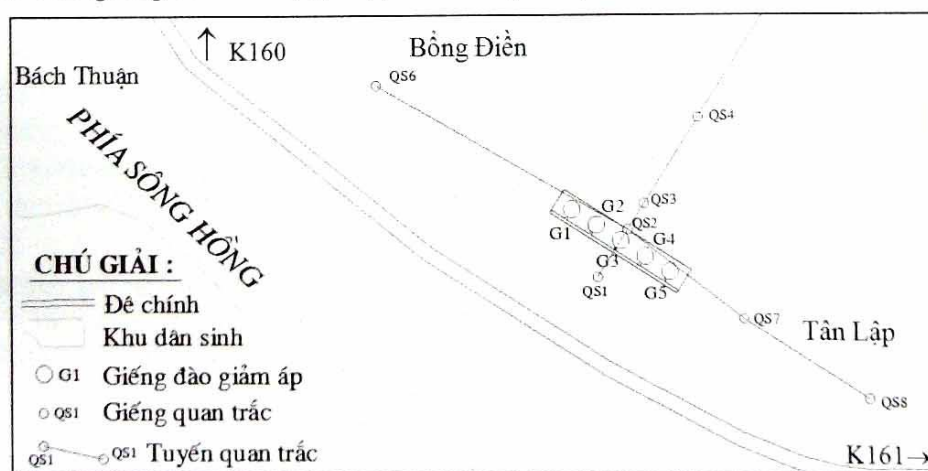
5 m, đường kính giếng $D=1,0$ m (Hình 01). Vị trí xây dựng hệ thống GĐGA là khu vực nền dễ xung yếu, thường xuất hiện hệ thống mạch đứt.

Lưu lượng thoát của giếng được xác định theo công thức Côdoni :

$$Q = 2,73 \frac{KaS}{\lg \frac{R}{r_0}} \left[1 + 5 \sqrt{\frac{r_0}{a}} \cos \frac{\pi a}{2t} \right]$$

Trong đó: Q: lưu lượng thoát của giếng; K: hệ số thấm của tầng chứa nước; a: chiều sâu ngập của giếng vào TCN; S: độ hạ thấp mực áp lực của giếng; r_0 : bán kính của giếng; R: bán kính ảnh hưởng của giếng; t: chiều dày tầng chứa nước.

Kết quả quan trắc cho thấy, GGA là giải pháp có hiệu quả tốt, dễ thi công, giá thành rẻ. Tuy nhiên, hiệu quả thoát nước và giảm áp của GGA suy giảm theo thời gian. Nguyên nhân chủ yếu do keo sắt dính bám và bụi sét làm tắc tầng lọc. Để đảm bảo an toàn cho công trình, cần định kỳ bảo dưỡng hệ thống giếng theo đúng kỹ thuật.



Hình 1. Sơ họa mặt bằng bố trí hệ thống GGA tại K160-161 đê Tà Hồng.

IV. MÔ HÌNH BÀI TOÁN THẨM 3D

Để phân tích lựa chọn các thông số thiết kế và phương án bố trí hợp lý, tác giả sử dụng phần mềm Visual Modflow được viết từ hệ phần mềm MODFLOW [10] cùng với sự hỗ trợ của hệ phần mềm

Surfer, Mapinfo để xây dựng mô hình số bài toán thấm 3D cho khu vực xây dựng hệ thống GGA.

1. Cơ sở lý thuyết của mô hình

a) **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 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 thấm theo các hướng x, y và z; h: cột cao MN tại vị trí (x,y,z) ở thời điểm t; W: module dòng ngầm, phụ thuộc thời gian và vị trí không gian (x,y,z); S_s : hệ số nhả nước đơn vị.

Phương trình (1) cùng với các điều kiện biên, điều kiện ban đầu tạo thành MH toán học của dòng thấm [1].

b) Phương pháp giải: Trong thực tế, miền thấm có điều kiện rất phức tạp, do vậy (1) được giải bằng PP sai phân hữu hạn. Với PP này, môi trường thấm 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 thấm.

2. Cơ sở tài liệu của mô hình

Mô hình được xây dựng trên cơ sở tổng hợp các tài liệu và số liệu địa hình, địa hình đáy sông; tài liệu khảo sát địa chất thủy văn - địa chất công trình nền đề theo các đề án; số liệu quan trắc MNĐĐ; số liệu thủy văn trạm Nhật Tảo; số liệu khí tượng trạm Thái Bình, Nam Định [3]. Kết quả tổng hợp cho thấy, địa chất khu vực xây dựng mô hình hệ thống GGA có cấu trúc gồm 6 lớp: lớp 1 sét pha, dẻo mềm; lớp 2 sét pha, kẹp cát, chảy; lớp 3 bùn sét pha xen kẹp cát; lớp 4 cát pha, chảy; lớp 5 cát hạt nhỏ, chặt vừa-xốp; lớp 6 bùn sét pha.

Số liệu các đặc trưng cơ lý các lớp đất được trình bày cụ thể trong Bảng 1.

Bảng 1. Số liệu các đặc trưng cơ lý các lớp đất khu vực xây dựng mô hình

Số hiệu lớp đất	Tên đất	Tuổi nguồn gốc	η	w %	γ_w g/cm ³	γ_s g/cm ³	e_o	n %	C kG/cm ²	φ độ	k cm/s
1	Sét pha, dẻo mềm	amQ ₂ ³ tb		32,1	1,83	2,70	0,949	48,7	0,114	10,80	3,7x10 ⁻⁶
2	Bùn sét pha, kẹp cát	amQ ₂ ³ tb ₂		43,9	1,74	2,69	1,225	55,0	0,057	6,29	1,1x10 ⁻⁵
3	Bùn sét pha, xen kẹp cát	amQ ₂ ³ tb ₂		41,5	1,75	2,68	1,167	53,9	0,056	7,25	5,0x10 ⁻⁵
4	Cát pha, kẹp sét, chảy	amQ ₂ ³ tb ₂		33,0	1,82	2,68	0,964	49,1	0,042	18,70	3,9x10 ⁻⁴
5	Cát hạt nhỏ, xếp-chặt vừa	amQ ₂ ³ tb ₂	2,39			2,67					4,5x10 ⁻³
6	Bùn sét pha	amQ ₂ ³ hh ₂		45,3	1,69	2,69	1,313	56,8	0,060	5,8	7,5x10 ⁻⁶

Chú giải: η : Hệ số không đều hạt; W: Độ ẩm của; γ_w : Trọng lượng riêng của đất; γ_s : Trọng lượng riêng hạt; e_o : Hệ số rỗng; n: Độ rỗng; C: Lực dính kết; φ : Góc ma sát trong; k: Hệ số thấm của đất.

3. Mô hình hoá địa hệ tự nhiên kỹ thuật khu vực xây dựng hệ thống GGA

Từ các tài liệu địa hình, địa chất nền đề sử dụng phần mềm Surfer số hoá bản đồ địa hình nền, xây dựng bản đồ bề mặt địa hình 3D và lập các bản đồ đẳng đáy, đẳng bề dày các lớp đất; xây dựng sơ đồ phân vùng độ nhả nước, phân vùng hệ số thấm để đưa vào MH. Lượng mưa, bốc hơi tính toán trong MH được xác định theo số liệu quan trắc của trạm Thái Bình, Nam Định. Mô hình 3D khu vực xây dựng hệ thống GGA tại K160-161 đề Tả sông Hồng thể hiện ở Hình 2 và 3.

4. Điều kiện biên của mô hình

Tại khu vực xây dựng hệ thống GGA, sông đào cắt vào TCN, có quan hệ thủy lực trực tiếp với NDĐ được đặt là biên loại III - biên sông "River" và được xác định cho từng trường hợp cụ thể: lũ chưa ngập bãi sông (Hình 4) và lũ ngập bãi (Hình 5 và 6).

Diễn biến MN trên biên sông được xác định theo tài liệu quan trắc tại 2 trạm thủy văn Nhật Tảo và Nam Định. Nằm dưới và trên TCN là lớp thấm nước yếu do vậy tồn tại một giá trị thấm xuyên thuộc biên

loại III ($W = f(\Delta H)$). Trị số sức cản thấm C của sông được xác định theo các tài liệu khảo sát của lớp bùn đáy sông.

5. Chinh lý mô hình

Kết quả chinh lý mô hình theo bài toán ổn định trình bày ở Bảng 2 và Hình 6.

Điều kiện biên và các thông số của MH được chinh lý qua từng bước thời gian. Độ tin cậy của MH phản ánh qua sai số trung bình (ME), sai số tuyệt đối (MAE), sai số quân phương (RMS) và sai số quân phương tiêu chuẩn (NRMS) và tương quan giữa cốt cao MN trên MH với mực nước 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

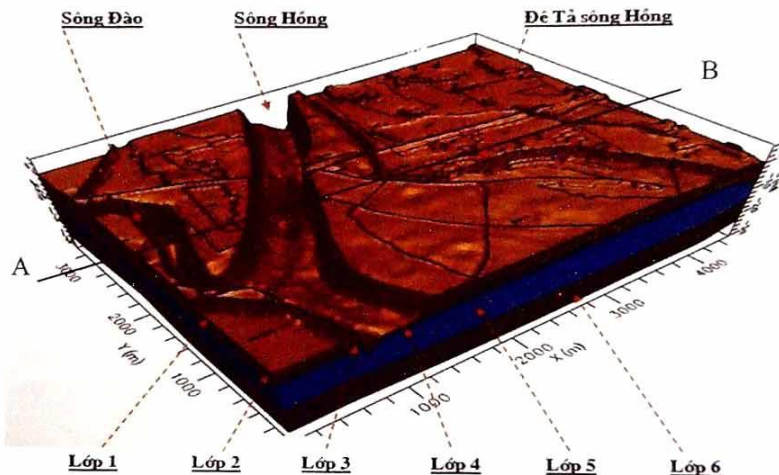
2 (CL2) theo kết quả bài toán chinh lý không ổn định được thể hiện ở Bảng 2, Bảng 3, Hình 7-9.

Bảng 2. Kết quả tính toán sai số mực nước theo bài toán chinh lý ổn định

ME (m)	MAE (m)	RMS (m)	NRMS (%)
0,008	0,023	0,031	3,33

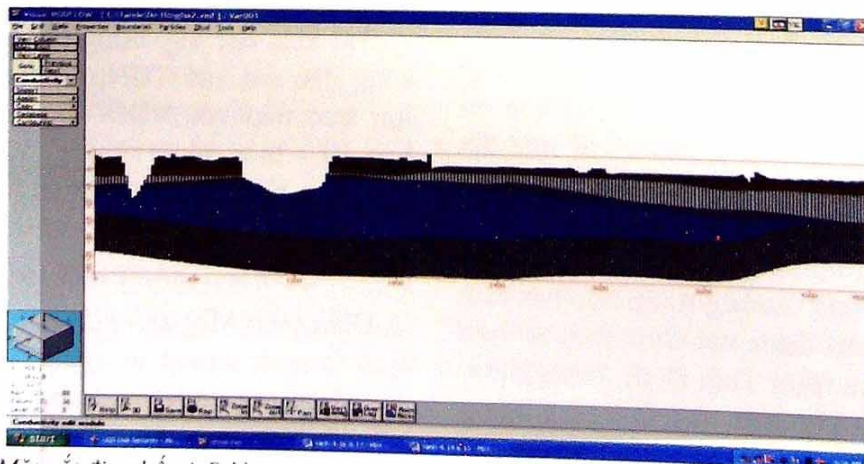
Bảng 3. Sai số mực nước theo kết quả bài toán chinh lý không ổn định

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
CL1	0,005	0,016	0,018	1,77

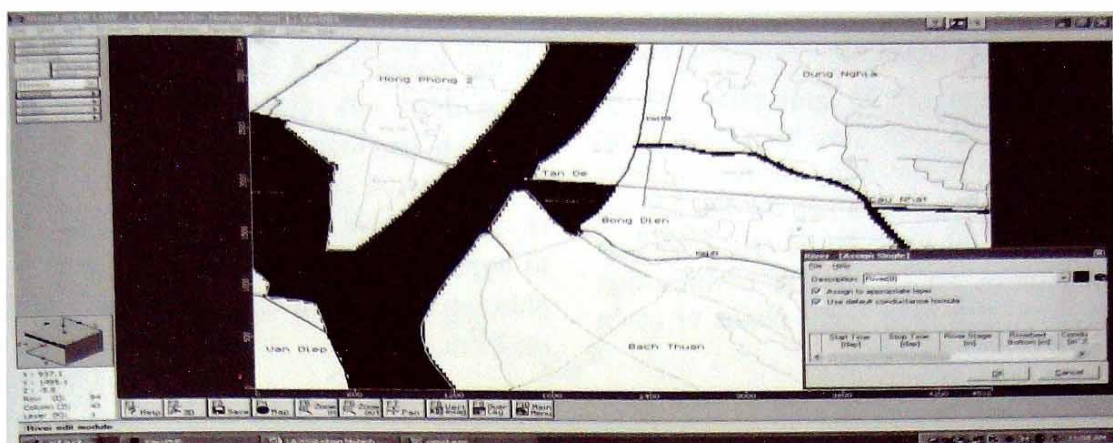


Hình 2. Mô hình 3D khu vực xây dựng hệ thống GGA

Ghi chú: Lớp 1 sét pha dẻo mềm; Lớp 2 sét pha kẹp cát, chảy; Lớp 3 bùn sét pha xen kẹp cát; Lớp 4 cát pha, chảy; Lớp 5 cát hạt nhỏ, chặt vừa-xốp; Lớp 6 bùn sét pha.

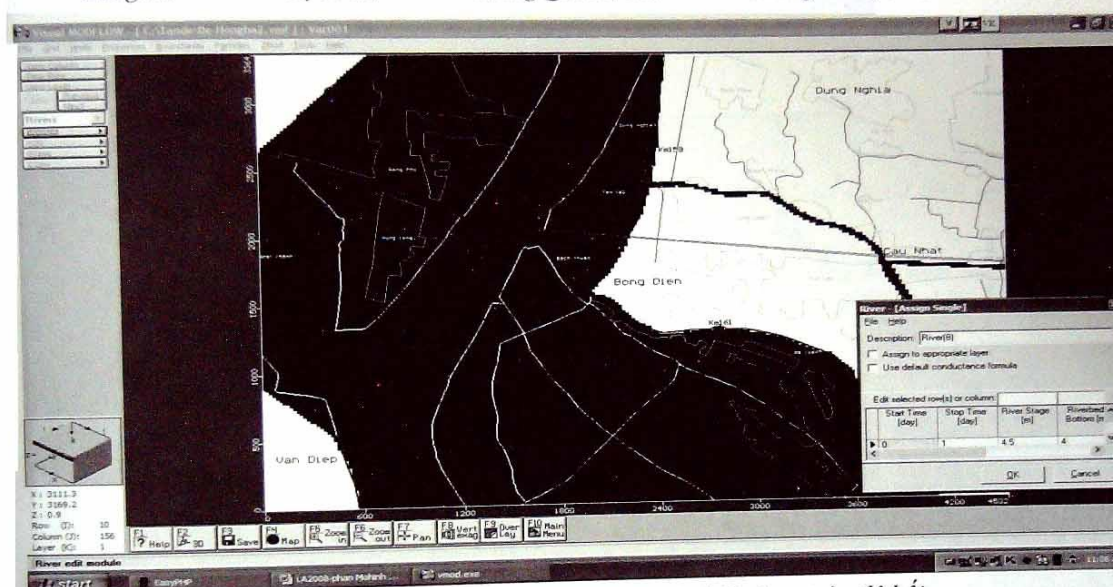


Hình 3. Mặt cắt địa chất A-B khu vực xây dựng GGA sau khi mô hình hóa (các lớp đất như hình 2).

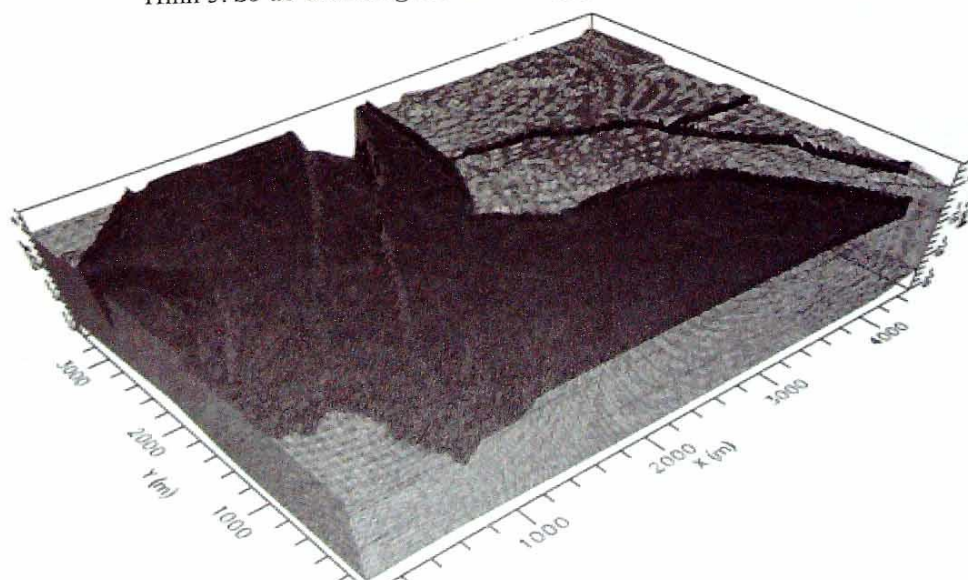


Hình 4. Sơ đồ biên sông khi nước lũ chưa ngập bãi sông.

Chú giải: ————— tuyến đê; ————— đường Quốc lộ 10; ————— đường bờ đắp; □ khu dân cư.



Hình 5. Sơ đồ biên sông khi nước lũ ngập bãi sông, tràn đê bồi.

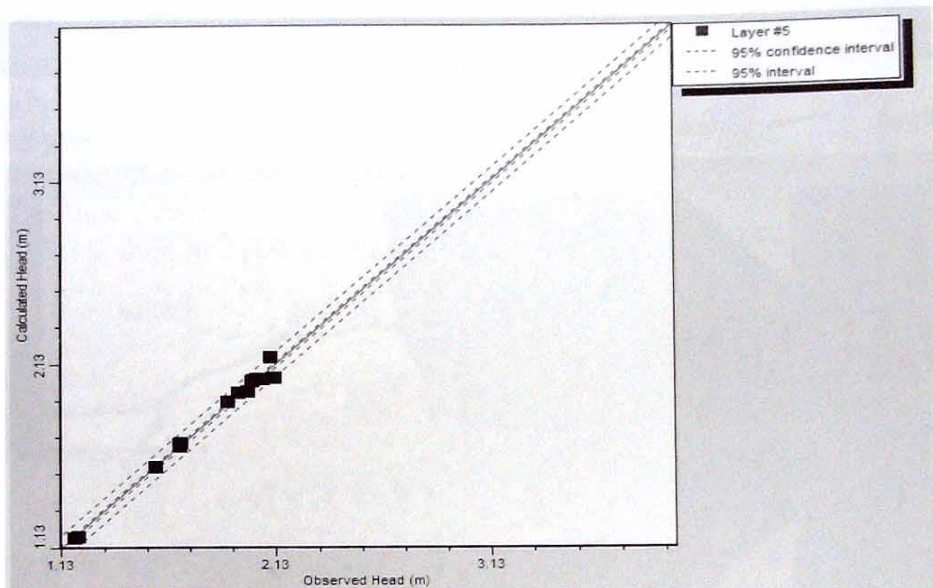


Hình 6. Sơ đồ điều kiện biên và lưới sai phân trong mô hình.

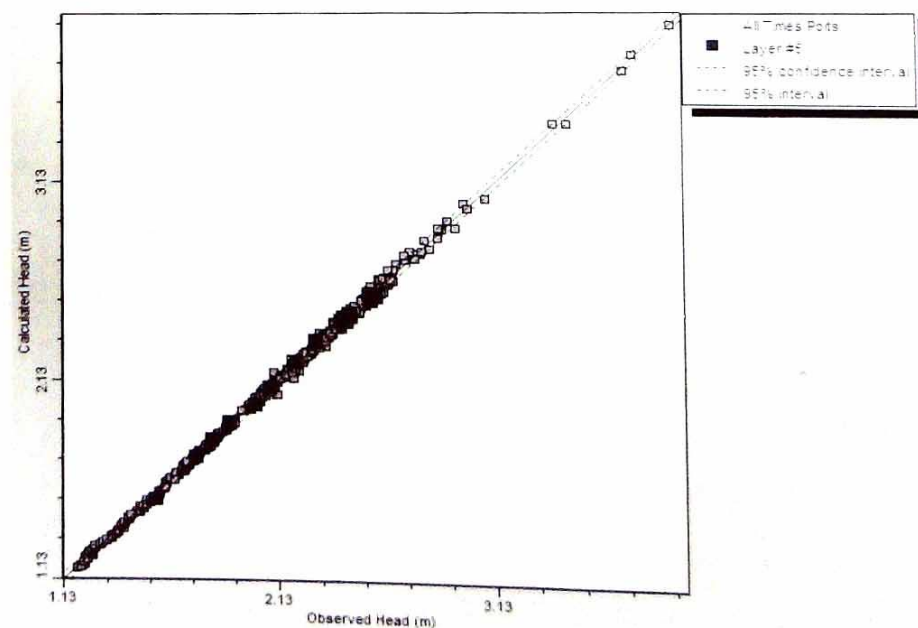
V. PHÂN TÍCH LỰA CHỌN PHƯƠNG ÁN BỐ TRÍ GIẾNG GIẢM ÁP

Giếng giảm áp là giải pháp xử lý, ngăn chặn các hình thức biến dạng thấm (BDT) như mạch đùn, mạch sủi, bực đất,... gây mất ổn định nền đê dẫn đến vỡ đê. Do vậy, phương án bố trí GGA hợp lý là phương án xử lý BDT có hiệu quả nhất được thể hiện bằng phạm vi (diện tích) BDT được xử lý.

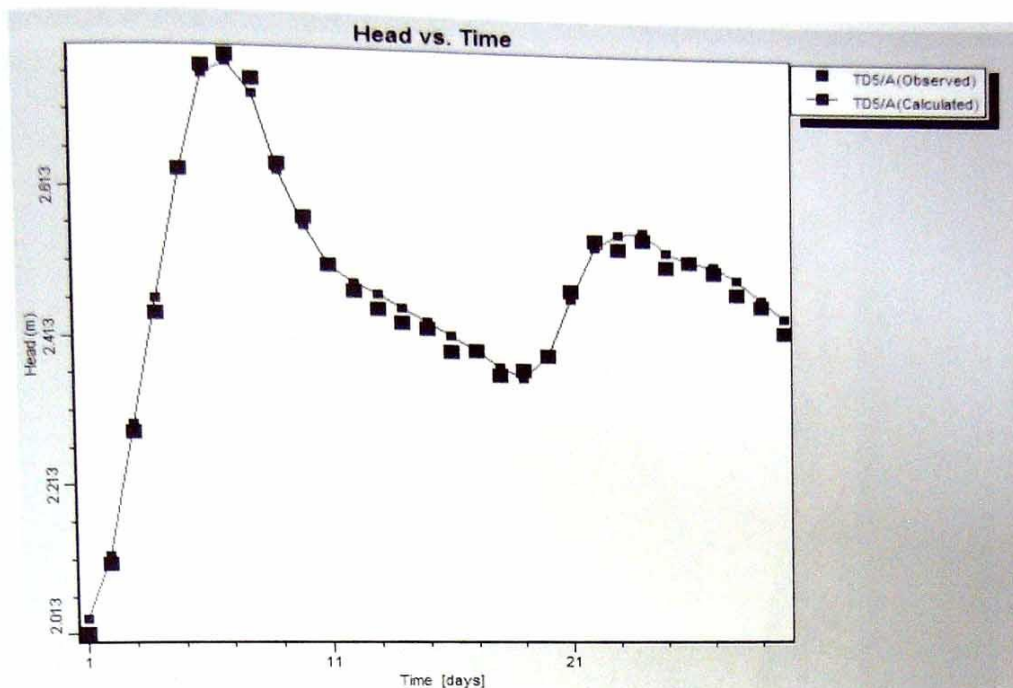
Để lựa chọn phương án bố trí GGA hợp lý, hệ thống GGA tại K160÷161 đê Tả Hồng được mô phỏng và tính toán trong mô hình bài toán thấm 3D với 6 tổ hợp phương án có khoảng cách tới chân đê 20 m, 25 m, 30 m, 35 m, 40 m và 50 m. Mỗi tổ hợp, GGA được bố trí trên tuyến với 5 phương án khoảng cách 10 m, 15 m, 20 m, 25 m và 30 m.



Hình 7. Tương quan MN tính toán (Calculated Head) với quan trắc (Observed Head) theo bài toán chỉnh lý ổn định.



Hình 8. Tương quan MN tính toán (Calculated Head) với quan trắc (Observed Head) theo bài toán chỉnh lý không ổn định.



Hình 9. Biến đổi MN tính toán (Calculated Head) và quan trắc (Observed Head) theo thời gian (Time) trong bài toán chỉnh lý không ổn định.

Kết quả tính toán mô hình đã xác lập được trường phân bố áp lực thấm thực tế khi chưa có GGA (Hình 10 và 11) và phê duyệt hạ thấp mực nước áp lực ở nền đề theo các phương án bố trí GGA ứng với từng thời điểm lũ rất cụ thể. Hình dạng và kích thước của phễu phụ thuộc vào mức lũ và khả năng thoát nước của hệ thống giếng (Hình 13). Kết quả này cho phép phân tích lựa chọn các thông số thiết kế và phương án bố trí GGA được hợp lý, chính xác và thuận tiện.

Phạm vi xảy ra BDT ở nền đề là nơi cột nước áp lực thực tế (H_{tt}) vượt quá cột nước áp lực cho phép (H_{cp}) của tầng phủ thấm nước yếu. Sử dụng phương pháp chập bản đồ phân bố áp lực thực tế với bản đồ đẳng cao trình mực nước áp lực cho phép (Hình 12) sẽ dễ dàng xác định được phạm vi có nguy cơ phát sinh BDT theo từng phương án (Hình 14).

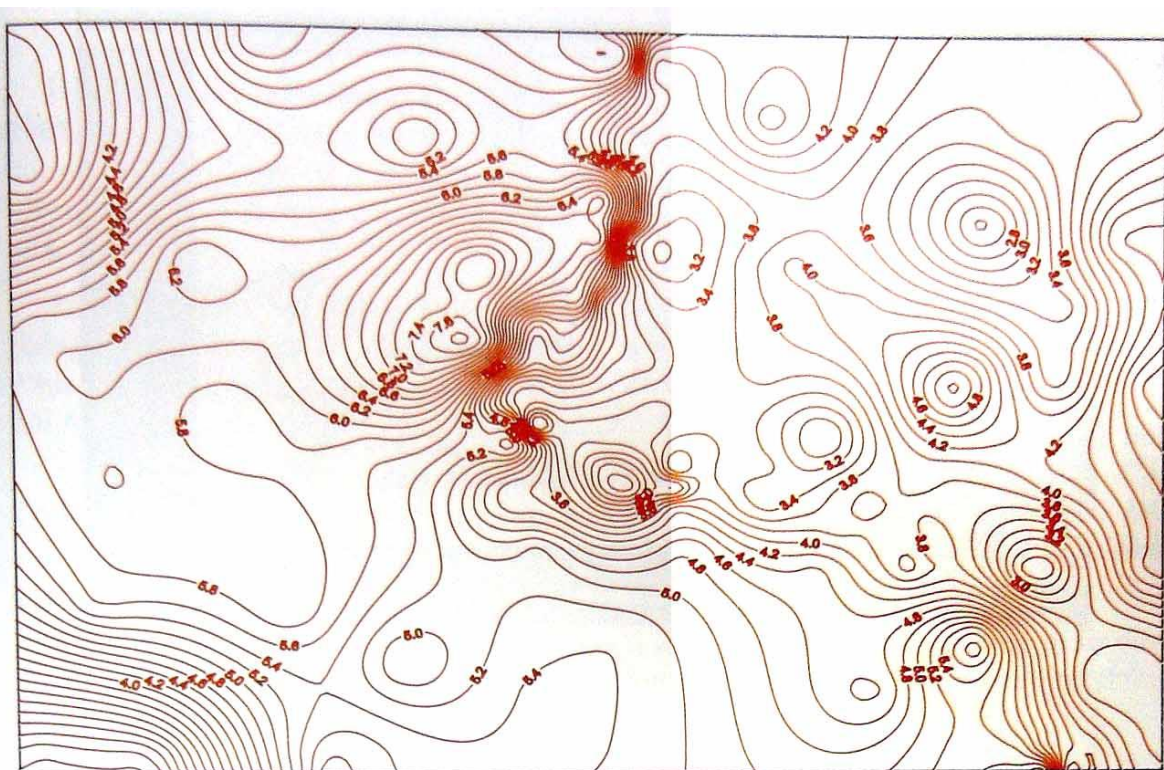
Sơ đồ đẳng cao trình mực nước áp lực cho phép (H_{cp}) tại khu vực xây dựng hệ thống GGA được xác lập theo PP nội suy Kriking bằng phần mềm Surfer trên cơ sở kết quả thí nghiệm xác định cột nước áp lực giới hạn của các lớp đất tầng phủ

tại hiện trường và số liệu cao độ bề mặt địa hình, chiều dày các lớp đất tầng phủ tại khu vực xây dựng hệ thống GGA [5, 6].

Tổng hợp loạt sơ đồ dự báo phạm vi phát sinh BDT theo từng phương án sẽ thành lập được sơ đồ so sánh hiệu quả của các phương án bố trí GGA (Hình 15). Kết quả này là bức tranh trực quan, cho phép so sánh và thấy rõ hiệu quả kỹ thuật của các phương án bố trí GGA ở nền đề. Phương án hợp lý nhất là bố trí tuyến giếng cách chân đề 30 m và khoảng cách giữa các giếng là 25 m.

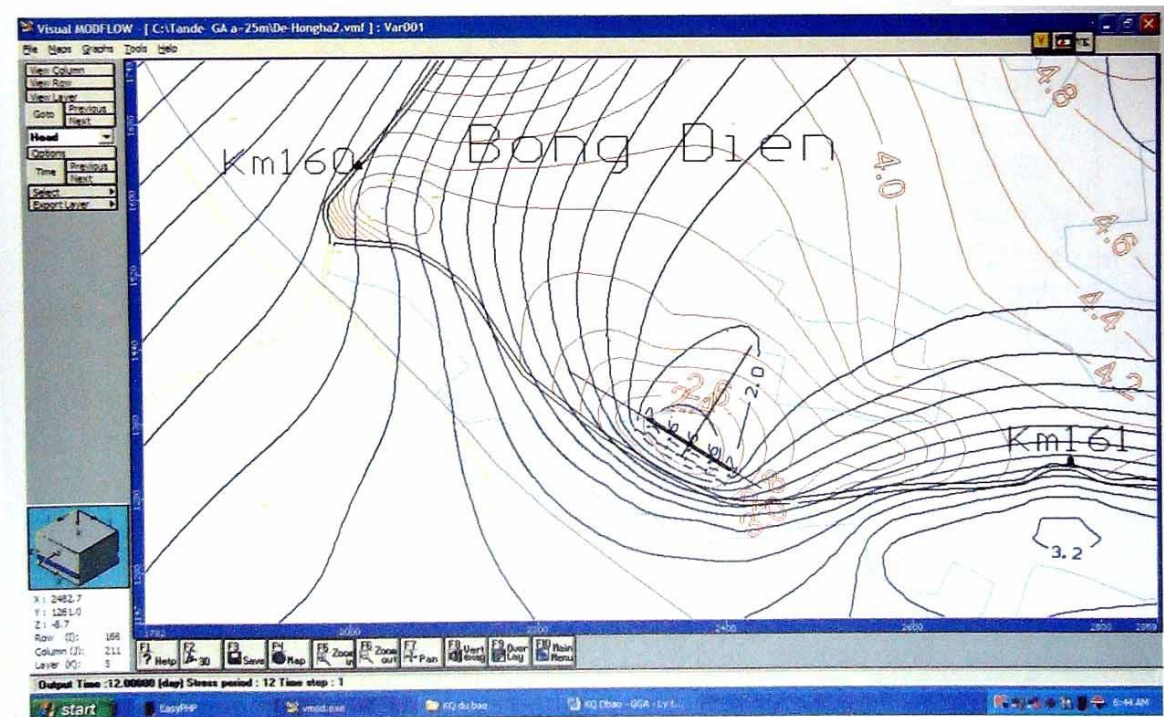
Như vậy, nếu điều chỉnh vị trí tuyến giếng về hạ lưu 10 m (cách chân đề 30 m), đồng thời tăng khoảng cách giữa các giếng từ 10 m lên 25 m thì hệ thống giếng sẽ có hiệu quả cao. Khi đó ở mức lũ BĐIII toàn bộ phạm vi có nguy cơ phát sinh BDT sẽ được đảm bảo ổn định thấm; ở mức đỉnh lũ năm 1996 diện tích phát sinh BDT sẽ được thu hẹp $\approx 50\%$.

Phân tích mô hình bài toán thấm 3D hệ thống GGA cũng cho phép lựa chọn, chính xác hóa các thông số thiết kế hệ thống giếng được dễ dàng và thuận tiện.



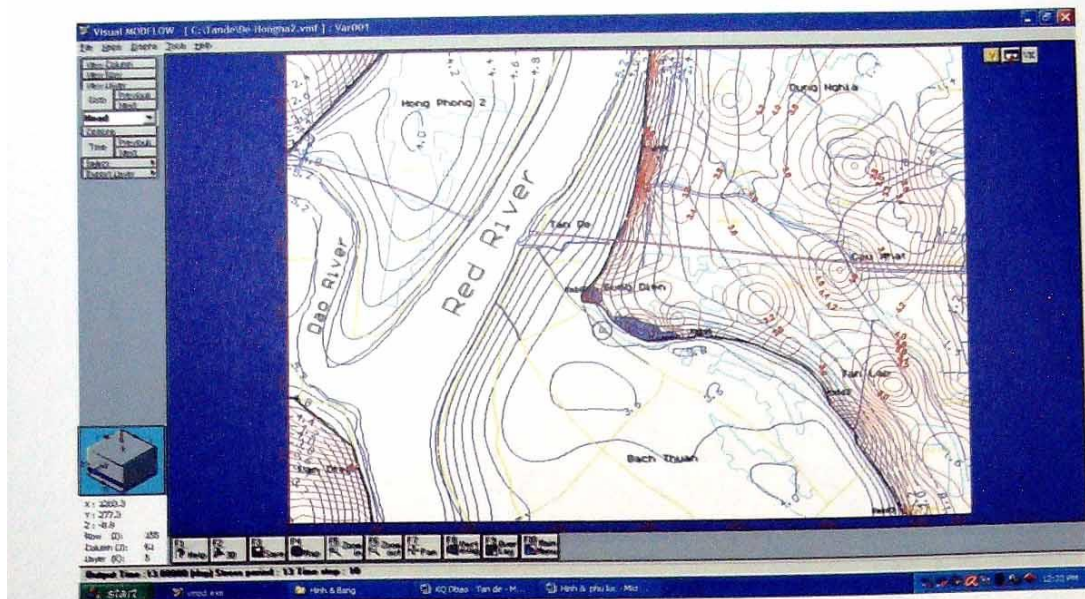
Hình 12. Sơ họa phân bố nước áp lực cho phép.

Chú giải: — 5.4 - đường đẳng mức nước áp lực cho phép.

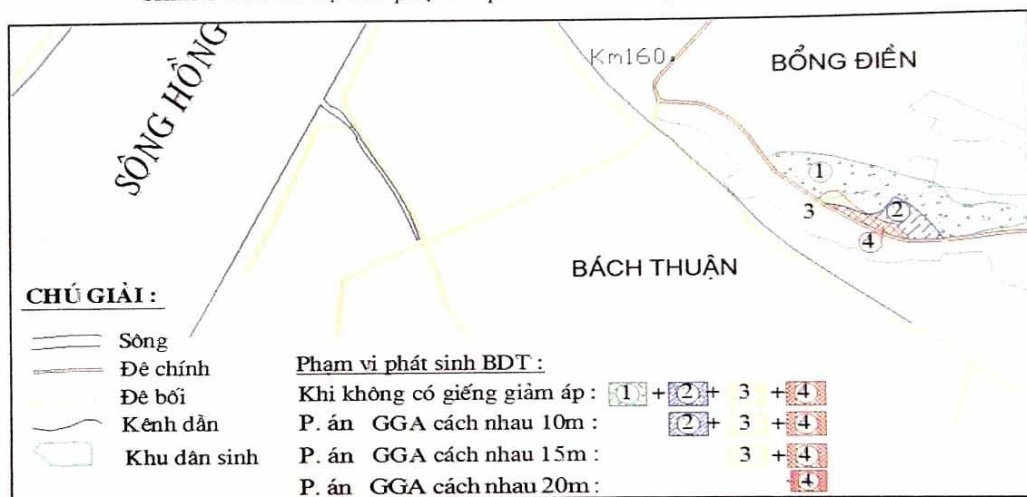


Hình 13. Phế hạ thấp mức nước áp lực khu vực GGA ở mức lũ BĐIII.

Chú giải: — tuyến đê; 2,5 — đường đẳng mức nước áp lực thực tế; 2,7 — đường đẳng mức nước áp lực cho phép.



Hình 14. Sơ đồ dự báo phạm vi phát sinh BDT tại thời điểm đỉnh lũ.



Hình 15. Sơ đồ so sánh hiệu quả của hệ thống GGA theo các phương án bố giếng cách nhau 10 m, 15 m, 20 m và 2 5m.

VI. KẾT LUẬN

Khoảng cách bố trí GGA so với chân đê và khoảng cách giữa các giếng trên tuyến là một trong những yếu tố quan trọng quyết định hiệu quả của hệ thống GGA. Để đảm bảo an toàn cho công trình và phát huy tối đa hiệu quả của hệ thống GGA, cần lựa chọn phương án bố trí giếng hợp lý, tối ưu hóa các thông số thiết kế hệ thống GGA bằng mô hình bài toán thấm 3 chiều.

Hệ thống GGA tại K160-161 đê Tả Hồng nếu được bố trí điều chỉnh vị trí tuyến giếng về hạ lưu 10 m, đồng thời

tăng khoảng cách giữa các giếng từ 10 m lên 25 m thì hệ thống giếng sẽ có hiệu quả cao nhất, đây là phương án bố trí hợp lý.

Mô hình thấm 3 chiều với sự hỗ trợ của hệ phần mềm Visual Modflow có những tính năng hiện đại, linh hoạt, cho phép mô phỏng khá đầy đủ hình thái, tính chất của môi trường và các hợp phần trong hệ thống; xác định được đầy đủ các thông số của trường thấm, giúp cho việc lựa chọn các thông số thiết kế, phân tích, so sánh hiệu quả kỹ thuật của hệ thống GGA theo các phương án được chính xác và thuận tiện.

VĂN LIỆU

1. Đoàn Văn Cánh, Phạm Quý Nhân, 2001. Tin học Địa chất thủy văn ứng dụng. *Bài giảng phục vụ giảng dạy và học tập sau đại học, Trường Đại học Mỏ Địa chất. Hà Nội.*

2. Phạm Hữu Sy, 2004. Thiết kế hệ thống giếng giảm áp. *TC Nông nghiệp và Phát triển nông thôn số 5&6. Hà Nội.*

3. Trung tâm Khí tượng thủy văn Quốc gia, 2008. Số liệu quan trắc thủy văn trạm Nhật Tảo, trạm Triều Dương, trạm Nam Định. *Lưu trữ Trung tâm Khí tượng thủy văn Quốc gia. Hà Nội.*

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

5. Bùi Văn Trường, Phạm Văn Ty, 2008. Biến dạng thấm nền đề sông tỉnh Thái Bình và một số kết quả nghiên cứu.

Báo cáo tuyển tập công trình khoa học, Hội thảo khoa toàn quốc Tai biến địa chất và giải pháp phòng chống. Hà Nội.

6. Bùi Văn Trường, Phạm Văn Ty, 2009. Nghiên cứu, dự báo biến dạng thấm ở nền đề sông tỉnh Thái Bình bằng phương pháp mô hình không gian. *TC Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất, số 25/01-2009. Hà Nội.*

7. Trần Văn Tư, 1999. Bàn về tính toán thiết kế giếng giảm áp ven đề. *Các báo cáo khoa học, Hội nghị khoa Địa chất công trình và Môi trường Việt Nam, Tp. Hồ Chí Minh.*

8. TCVN 8413:2010. Công trình thủy lợi - Vận hành và bảo dưỡng hệ thống giếng giảm áp cho đề.

9. TCVN 9157:2012. Công trình thủy lợi - Giếng giảm áp - Yêu cầu thi công, kiểm tra và nghiệm thu.

10. Waterloo Hydrogeologic. Visual Modflow 4.2.0.151, Canada.