

# ẢNH HƯỞNG ĐỘ BẢO HÒA CỦA ĐẤT ĐẤP LÊN SỰ PHÂN TÁN ÁP LỰC NƯỚC LỖ RỖNG TRONG THÂN ĐẬP

**Châu Ngọc Ân**

Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh

(Bài nhận ngày 24 tháng 02 năm 2005, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 31 tháng 3 năm 2005)

**TÓM TẮT:** Bài viết này nhằm phân tích các ảnh hưởng của độ bão hòa, độ nén của nước-khí lên sự phân tán áp lực nước lỗ rỗng trong thân đập khi tích và tháo nước hồ chứa với chương trình tính *Gefdyn*

## 1. ỨNG XỬ THỦY HỌC CỦA ĐẤT BẢO HÒA VÀ KHÔNG BẢO HÒA

Thông thường, khi tính toán lượng thấm nước trong thân đập đất khi tích hoặc tháo nước trong hồ chứa các kỹ sư đều giả thuyết rằng đất bão hòa để có thể dễ dàng áp dụng bài toán Laplace với định luật thấm Darcy. Điều này thường dẫn đến sự mô phỏng không chính xác áp lực nước trong lỗ rỗng của đất đắp trong thân đập và có thể không tiên đoán được hệ số an toàn chống trượt của mái dốc thượng lưu. Để có thể đạt được độ chính xác cao trong các bài toán mô phỏng loại này, cần phải xét đến sự thay đổi độ bão hòa của đất trong quá trình thay đổi nhanh mực nước trong hồ chứa, nó ảnh hưởng đến khả năng và tốc độ thấm nước trong đất thân đập.

Khảo sát phương trình bảo toàn khối lượng nước trong một phân tử của lớp đất thấm nước không bão hòa nước hoàn toàn, tổng đại số của lưu lượng ra và vào phân tử phải bằng với độ thay đổi thể tích phân tử.

$$\frac{\partial}{\partial t} nS\rho_w + \text{div}(\rho_w V) = 0 \tag{1}$$

- với
- n: độ rỗng mẫu đất,
  - S: độ bão hòa nước,
  - $\rho_w$ : khối lượng thể tích của nước,
  - V: vận tốc thấm Darcy của nước trong đất.

Triển khai số hạng đầu của biểu thức (1)

$$\frac{\partial}{\partial t} (nS\rho_w) = nS \frac{\partial \rho_w}{\partial t} + n\rho_w \frac{\partial S}{\partial t} + S\rho_w \frac{\partial n}{\partial t} \tag{2}$$

Biểu thức (2) cho thấy sự thay đổi lỗ rỗng theo thời gian do ba nguyên nhân:

- Độ nén của nước khi xét ảnh hưởng của các bọt khí trong nước.
- Sự thay đổi độ bão hòa theo thời gian của đất cho phép chúng ta xét đặc điểm khử bão hòa của đất bên trên mực nước tự do trong khối đất.
- Sự thay đổi độ rỗng theo thời gian của đất

### Tính nén của nước, [1]

Ir.E. Schuurman đã kiểm chứng hệ số nén  $C_w$  của hỗn hợp nước - không khí có khuynh hướng tiến về 0 khi tất cả các bọt không khí li ti trong nước hòa tan hoàn toàn vào nước. Schuurman cũng đã kiểm chứng bằng cả lý thuyết và thực nghiệm rằng hệ số nén của hỗn hợp nước - không khí có giá trị trong khoảng từ 0 đến  $5 \times 10^{-7} \text{ Pa}^{-1}$ , [1], theo định nghĩa hệ số nén của hỗn hợp nước - không khí dưới tác dụng của áp lực nước lỗ rỗng p được ký hiệu là  $C_w(p)$  diễn tả dưới dạng:

$$\frac{1}{\rho_w} \frac{\partial \rho_w}{\partial p} = C_w(p) \tag{3}$$

Từ biểu thức (3) có thể suy ra:

$$\frac{\partial \rho_w}{\partial t} = \frac{\partial \rho_w}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial t} = C_w(p) \rho_w \frac{\partial p}{\partial t} \quad (4)$$

**Biến thiên của độ bão hòa, [3]**

Khi áp lực nước lỗ rỗng âm, nhịp độ biến thiên của độ bão hòa là một hàm theo áp lực nước lỗ rỗng p, sự khử bão hòa có dạng sau:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{\partial S}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial t} \quad (5)$$

Van Genuchten kiểm chứng hàm độ bão hòa biến thiên theo áp lực nước lỗ rỗng âm  $p_{su}$  như sau:

$$S = S_r + \frac{1 - S_r}{\sqrt{1 + \left( \frac{\alpha p_{su}}{\rho_w g} \right)^2}} \quad (6)$$

Với  $\alpha$  là hệ số mô hình Van Genuchten, có giá trị thay đổi từ 0,1 đến 5 (1/m)  
 $S_r$  là độ bão hòa còn sót lại sau cùng.

**Biến thiên độ rỗng, [2], [5]**

Sự thay đổi độ rỗng quan hệ chặt chẽ với độ thay đổi thể tích khung hạt. Định luật bảo toàn khối lượng khung hạt có dạng :

$$\frac{\partial}{\partial t} (1-n) \rho_s + \text{div}(\rho_s \frac{\partial u}{\partial t}) = 0 \quad (7)$$

Với  $u$  là trường chuyển vị khung hạt  
 $\rho_s$  là khối lượng hạt

Khai triển biểu thức (7)

$$-\rho_s \frac{\partial n}{\partial t} + (1-n) \frac{\partial \rho_s}{\partial t} + \rho_s \text{div}(\frac{\partial u}{\partial t}) + \text{grad} \rho_s \cdot (\frac{\partial u}{\partial t}) = 0 \quad (8)$$

Độ nén của các hạt do chuyển vị khung hạt rất bé có thể bỏ qua, nên các thành phần  $\frac{\partial \rho_s}{\partial t}$  và  $\text{grad} \rho_s$  có thể loại ra khỏi biểu thức (8), chỉ còn biến dạng khung hạt do dịch chuyển tương đối giữa các hạt, nên biểu thức (8) trở thành:

$$-\rho_s \frac{\partial n}{\partial t} + \rho_s \text{div}(\frac{\partial u}{\partial t}) = 0 \quad (9)$$

Độ rỗng là một hàm của trường chuyển vị  $u$  của khung hạt tại tọa độ  $x$  và ở thời điểm  $t$  có dạng:

$$n(x,t) = n_{0(x)} + \text{div}(u(x,t)), \quad (10)$$

với  $n_{0(x)}$  là độ rỗng ban đầu tại  $x$   
 $u(x,t)$  là chuyển vị của điểm  $x$  tại thời điểm  $t$

Từ đây, độ rỗng là một hàm theo chuyển vị  $u$  và có ký hiệu  $n(u)$

Biểu thức (1) giờ đây có dạng:

$$\rho_w n(u) \left[ S(p) C_w(p) + \frac{\partial S(p)}{\partial p} \right] \frac{\partial p}{\partial t} + S(p) \rho_w \text{div}(\frac{\partial u}{\partial t}) + \text{div}(\rho_w V) = 0 \quad (11)$$

Triển khai số hạng cuối của (11) :

$$\text{div}(\rho_w V) = \rho_w \text{div} V + V \text{grad} \rho_w \quad (12)$$

Trong biểu thức (12) số hạng cuối cùng chỉ sự phân tán nước lỗ rỗng thặng dư theo sự thay đổi khối lượng nên rất bé thường được bỏ qua, và vì hệ số nén của nước khá bé và vận tốc thấm của nước trong đất không lớn, nên cả số hạng cuối của biểu thức (11) được bỏ qua

$$\text{I ặt : } c(u, p) = n(u) \left[ S(p)C_w(p) + \frac{\partial S(p)}{\partial p} \right], \quad (13)$$

Như vậy biểu thức (11) có dạng đơn giản hơn:

$$c(u, p) \frac{\partial p}{\partial t} + S \operatorname{div} \left( \frac{\partial u}{\partial t} \right) + \operatorname{div} V = 0, \quad (14)$$

**Quy luật Darcy tổng quát, [5]**

Vận tốc nước thấm trong đất phụ thuộc vào áp lực nước lỗ rỗng được diễn tả bởi định luật Darcy tổng quát như sau:

$$V = -K \operatorname{grad} (p + \rho_w g x) \quad (15)$$

Trong đó

$g$  là gia tốc trọng trường

$K$  là tensor độ thấm của đất, nó phụ thuộc dạng hình học của các lỗ rỗng, hình thái vi mô cấu trúc hạt lỗ rỗng chứa nước – khí, độ nhớt của nước và độ bão hòa,  $K$  có dạng sau:

$$K = \frac{k_r(S)k(n)}{\mu} \quad (16)$$

với

$k_r(S)$ : hệ số thấm tương đối của nước trong đất có một phần thể tích lỗ rỗng chứa không khí, độ bão hòa  $S$  phụ thuộc áp lực nước lỗ rỗng  $p$ , nên hệ số thấm  $k_r$  cũng phụ thuộc áp lực  $p$ .

$k(n)$ : hệ số thấm nội tại của nước trong đất phụ thuộc vào hình dạng, kích thước lỗ rỗng và là hàm theo trường chuyển vị  $u$ .

Trong chương trình tính toán Gefdyn  $k_r(S)$  và  $k(n)$  có dạng sau:

$$k_r(S) = \frac{(S - S_r)^3}{(1 - S_r)^3}, \quad (17)$$

$$k(n) = k(n_0) \frac{n^3}{n_0^3} \left( \frac{(1 - n_0)}{(1 - n)} \right)^2, \quad (18)$$

Với  $n_0$  là độ rỗng ban đầu  
 $n$  là độ rỗng ứng với chuyển vị  $u$

Tensor độ thấm đầy đủ được ký hiệu là  $K(u,p)$ . Thay (16) vào (15) chúng ta có được biểu thức bảo toàn khối lượng nước biến thiên theo hai biến số áp lực nước lỗ rỗng  $p$  và chuyển vị  $u$

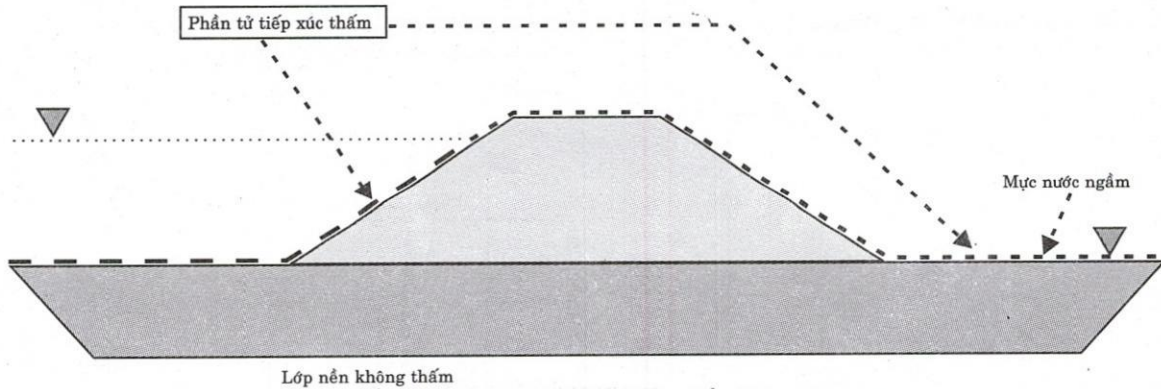
$$S(p) \operatorname{div} \left( \frac{\partial u}{\partial t} \right) + c(u, p) \frac{\partial p}{\partial t} - \operatorname{div} [K(u, p) \operatorname{grad} (p + \rho_w g x)] = 0 \quad (19)$$

Biểu thức (19) diễn tả quan hệ áp lực nước lỗ rỗng  $p$ , chuyển vị  $u$ , độ bão hòa  $S(p)$ , hệ số thấm  $K(u,p)$  của một phân tử đất. Biểu thức này cho phép giải bài toán thấm cho đất bão hòa và không bão hòa, có xét đến sự thay đổi độ rỗng do chuyển vị của phân tử đất. Điều này cho phép mô phỏng đầy đủ ứng xử thủy học và cơ học của bài toán ổn định mái dốc thượng lưu của đập đất trong quá trình dâng nước hay tháo nước hồ chứa.

**2. BÀI TOÁN MÔ PHỎNG ĐẬP MONDELY (PHÁP), [2], [4], [6]**

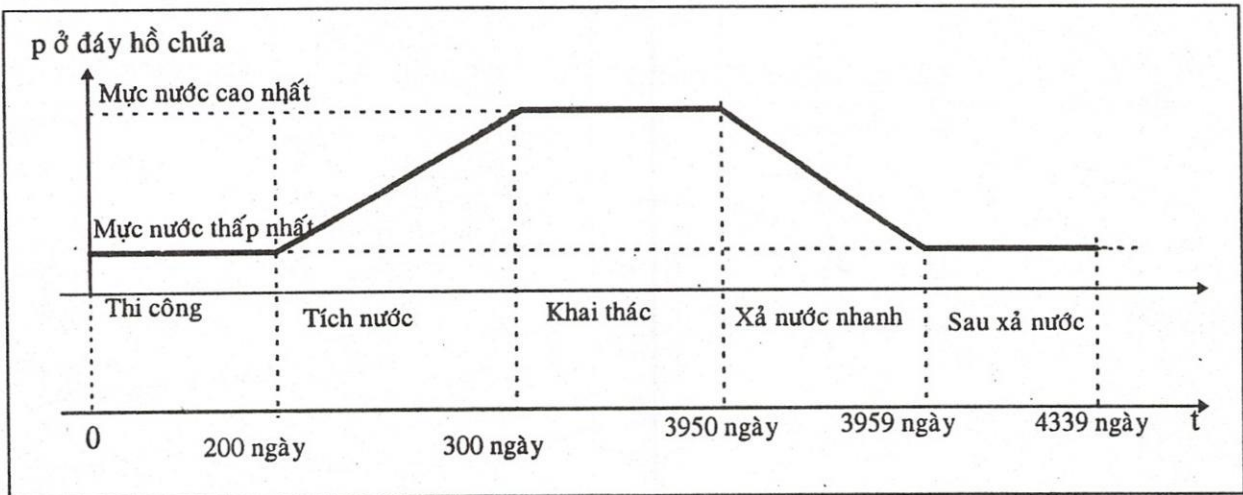
Đập Mondely ở Pháp là một đập đất á sét đồng nhất cao 20m, độ dốc talus 1 :3, bị trượt mái dốc thượng lưu khi tháo nước nhanh năm 1981. Khả năng bị trượt của đập là do khi tính toán ổn định không xét đặc điểm khử bão hòa trong giai đoạn hạ nhanh mực nước trong hồ chứa. Bài toán mô phỏng ổn định của đập Mondely với chương trình tính toán Gefdyn do tác giả thực hiện tại Viện Công trình điện lực Pháp năm 1997. Gefdyn được viết bởi Trường Trung ương Paris, Viện Điện lực Pháp và công ty tính toán Coyne-Bellier nhằm giải các bài toán đất đắp và nền móng công trình với các quy

luật ứng xử thực nhất của đất đàn hồi dẻo theo mô hình Mohr-Coulomb cải tiến; CamClay; Hujeux; ... cho cả bài toán tĩnh và động. Gfedyn cũng được trang bị đầy đủ các loại phần tử đặc biệt kể cả phần tử tiếp xúc ma sát và thấm. Đập mô phỏng cao 20m, chiều rộng đỉnh là 6m, độ dốc talus 1:3 cả hai phía thượng và hạ lưu. Đất làm đập có các đặc trưng thủy học thay đổi theo áp lực nước lỗ rỗng. Để đạt độ chính xác cao hơn trong việc mô tả áp lực trên biên đập, bài toán khảo sát đã được thực hiện có phần tử tiếp xúc thấm đặt ở mặt trên công trình và không có phần tử thấm (hình 1.)



Hình 1. Đập mô phỏng và điều kiện biên trên

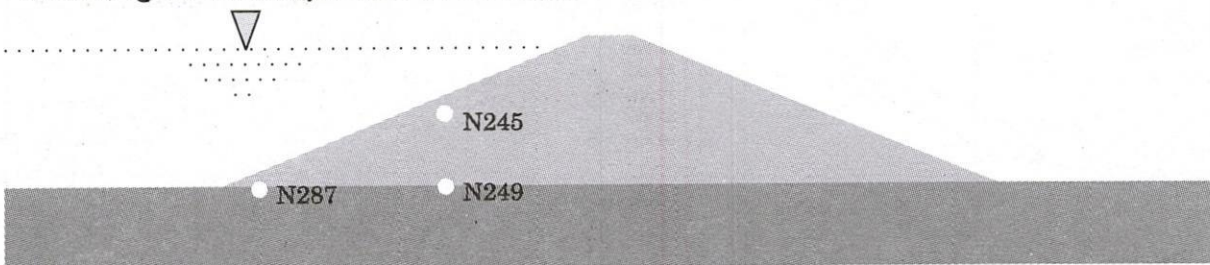
Bài toán mô phỏng được tiến hành gồm: giai đoạn thi công 200 ngày; tích nước hồ chứa 100 ngày; khai thác hồ 10 năm; tháo nước trong hồ chế độ khẩn cấp 9 ngày; bảo trì đập và hồ chứa 1 năm.



Hình 2. Các giai đoạn hoạt động của đập đất

Mô hình đất HUJEUX được sử dụng trong bài toán có các đặc trưng của đất thân đập và nền như sau: trọng lượng riêng hạt  $\gamma_s = 27 \text{ kN/m}^3$ ; hệ số rỗng  $n=0.55$ ; hệ số Poisson  $\nu = 0.25$ ; góc ma sát thoát nước  $\varphi' = 30^\circ$ ; góc dẫn nở  $\psi = 0,9\varphi'$ ; lực dính  $c=1 \text{ kPa}$ ; hệ số áp lực đất ở trạng thái tĩnh  $K=0,5$ ; module Young  $E = 20 \text{ MPa}$ ; hệ số thấm phương ngang  $k_y$ , hệ số thấm phương đứng  $k_z$  có quan hệ  $k_y = 10k_z = 1E-7 \text{ m/s}$ , hệ số thấm của phần tử tiếp xúc mặt đất với nước  $k_{\text{suốt}}=1E-6 \text{ s}^{-1}$ . Với cả hai giả thuyết hệ số nén của nước  $C_w = 0$  và  $C_w=5E-7 \text{ Pa}^{-1}$

### 3. KẾT QUẢ VÀ NHẬN XÉT KẾT LUẬN



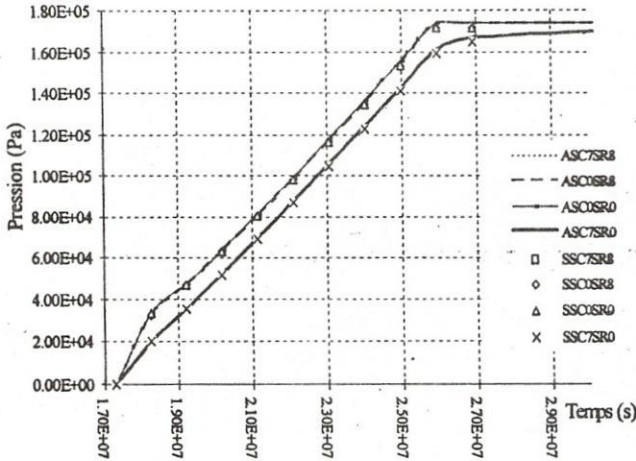
Hình 3. Vị trí các điểm khảo sát áp lực lỗ rỗng

Trong bài báo này, chúng tôi chỉ phân tích các kết quả nói lên ảnh hưởng độ bão hòa lên sự

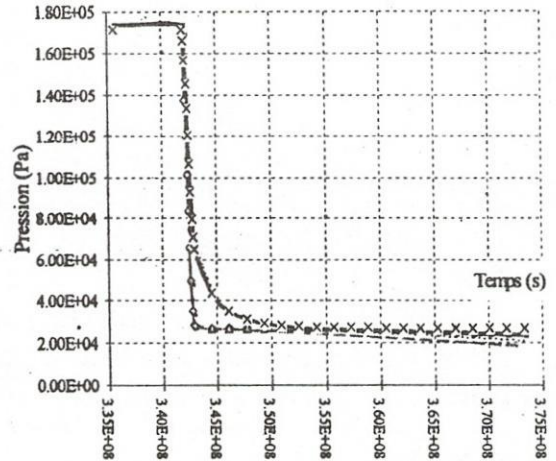
phân tán áp lực lỗ rỗng của thân đập trong giai đoạn tích nước và giai đoạn xả nước nhanh, thông qua 3 điểm khảo sát: N287 chân mái thượng lưu; N245 giữa mái thượng lưu và N249 bên dưới giữa mái thượng lưu. Như trong hình 3.

Các ký hiệu trong các đường vận động áp lực nước có nghĩa như sau: AS có phần tử tiếp xúc thấm; SS không có phần tử thấm; C7 khi độ nén của nước  $C_w=4,5 \times 10^7 Pa^{-1}$ ; C0 khi độ nén của nước  $C_w=0$ ; SR8 chỉ độ bão hòa sót lại  $S_r=0,8$  và hệ số mô hình Van Genuchten  $\alpha=0,9 m^{-1}$ ; SR0 chỉ độ bão hòa  $\theta=1$ , [2]

EVOLUTION DE LA PRESSION INTERSTITIELLE, Du noeud 287. AU REMPLISSAGE  
Hydraulique-pure,  $K_y=10Kz=1E-6$  m/s

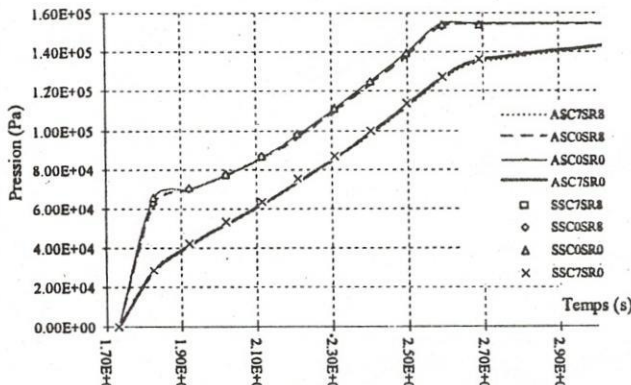


EVOLUTION DE LA PRESSION INTERSTITIELLE, Du noeud 287. A LA  
VIDANGE Hydraulique-pure,  $K_y=10Kz=1E-6$  m/s

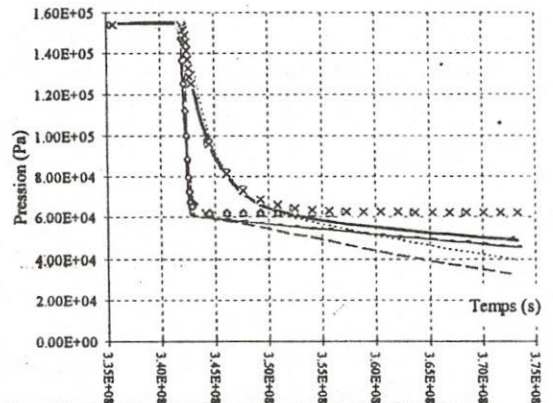


Đồ thị 1. Áp lực lỗ rỗng tại nút 287 trong giai đoạn tích nước (trái) và xả nước nhanh (phải)[2]

EVOLUTION DE LA PRESSION INTERSTITIELLE, Du noeud 249. AU REMPLISSAGE  
Hydraulique-pure,  $K_y=10Kz=1E-6$  m/s

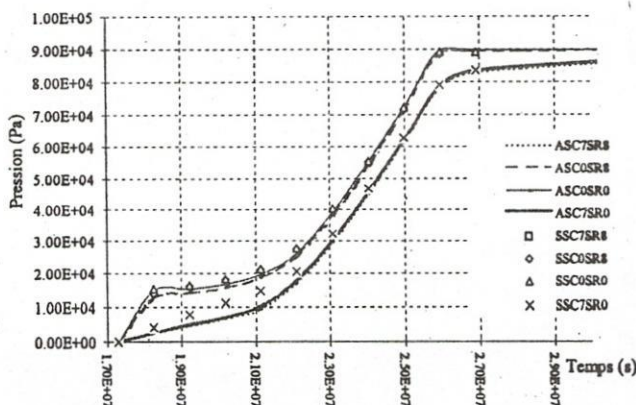


EVOLUTION DE LA PRESSION INTERSTITIELLE, Du noeud 249. A LA  
VIDANGE Hydraulique-pure,  $K_y=10Kz=1E-6$  m/s

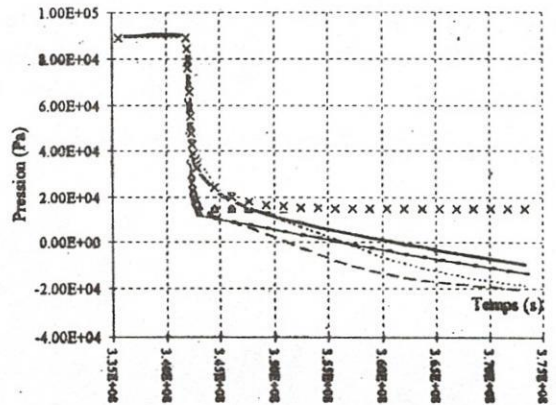


Đồ thị 2. Áp lực lỗ rỗng tại nút 249 trong giai đoạn tích nước (trái) và xả nước nhanh (phải)[2]

EVOLUTION DE LA PRESSION INTERSTITIELLE, Du noeud 245. AU REMPLISSAGE  
Hydraulique-pure,  $K_y=10Kz=1E-6$  m/s



EVOLUTION DE LA PRESSION INTERSTITIELLE, Du noeud 245. A LA  
VIDANGE Hydraulique-pure,  $K_y=10Kz=1E-6$  m/s



Đồ thị 3. Áp lực lỗ rỗng tại nút 245 trong giai đoạn tích nước (trái) và xả nước nhanh (phải)[2]

Qua các kết quả tính toán diễn tả trong các đồ thị 1; 2; 3 cho thấy: - tại nút 287 (vùng chân mái dốc thượng lưu lúc  $n$  nằm dưới mực nước), cả trong giai đoạn tích nước và xả nước nhanh hồ chứa, áp lực nước lỗ rỗng bị ảnh hưởng bởi độ nén của nước-khí làm cho áp lực nước lỗ rỗng tăng hoặc giảm chậm hơn trường hợp tính toán nước không bị nén, các bọt khí cản trở tính thấm nước của đất. Trong giai đoạn nước hồ đã cạn thì ảnh hưởng của độ bão hòa lên áp lực nước lỗ rỗng mới xuất hiện và chỉ thấy được khi có sử dụng phần tử tiếp xúc thấm, điều này gần với thực tế đo đạc và cũng có ảnh hưởng đến ổn định mái dốc.

- Tại nút 249, khu vực giữa mái dốc thượng lưu, khi dâng nước hồ chứa áp lực nước lỗ rỗng tăng chậm hơn khi xét đến độ nén của nước tương tự với trạng thái ở nút 287. Trong khi đó, khi tháo nước nhanh hồ chứa, áp lực nước lỗ rỗng ngoài ảnh hưởng của độ nén của nước còn bị ảnh hưởng bởi độ bão hòa ngay khi mực nước hồ bắt đầu hạ. Đặc biệt, khi hồ cạn nước thì phần tử tiếp xúc thấm bắt đầu ảnh hưởng lên áp lực nước lỗ rỗng tại nút 249. Giai đoạn này ảnh hưởng của sự khử bão hòa (độ bão hòa sót lại  $S_r=0,8$  và hệ số mô hình Van Genuchten  $\alpha=0,9m^{-1}$ ) lên áp lực nước lỗ rỗng rất rõ.

- Tại nút 245, khu vực ở đáy đập dưới điểm giữa mái dốc, khi dâng nước trong hồ chứa áp lực nước lỗ rỗng thay đổi tương tự với nút 249 nhưng chậm hơn do đường phân tán nước xa hơn. Trong giai đoạn hạ mực nước trong hồ chứa và hồ cạn thì áp lực nước lỗ rỗng thay đổi tương tự nút 249.

**Kết luận:** Các ảnh hưởng của độ nén của nước, sự khử bão hòa, và đặc tính thấm qua biên lên áp lực nước lỗ rỗng trong thân đập khi dâng và hạ mực nước trong hồ chứa sẽ ảnh hưởng trực tiếp lên bài toán mô phỏng độ an toàn của mái dốc thượng lưu. Qua kết quả phân tích trên, thì trường hợp ASC7SR8 (có phần tử tiếp xúc thấm, hệ số nén của nước khác không, đất có tính khử bão hòa) rất phù hợp cho bài toán tính ổn định mái dốc khi hạ mực nước trong hồ chứa.

## INFLUENCES OF THE SATURATION ON THE EXCES PORE PRESSURE DIFFUSION OF THE DAM SOIL

Chau Ngoc An

University of Technology – VNU-HCM

**ABSTRACT:** *This dissertation is devoted to analyse the influences of the permeability, the water compressibility and the non-saturation on the excess pore pressure diffusion during of the filling and the emptying of the dam reservoir with Gefdyn code of calculation.*

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. I. E. Schuurman, *The compressibility of an air/water mixture and a theoretical relation between the air and water pressure*, Geotechnique, vol. 16, N4, 1966.
- [2]. Châu Ngọc Ân, *Analyse de l'influence des caractéristiques mécaniques et hydrauliques sur le comportement des barrages en terre et en enrochement*, Thèse de Docteur, INPG, 1999.
- [3]. Van Genuchten, *A closed-form for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*, Soil sciences Am. Soc., 1980.
- [4]. E. Alonso, J.J. Fry, F. Isambert, *Rupture et confortement du barrage en argile humide de Mondely*, Dix-neuvième Congrès des Grands Barrages, Q.75 R.49, Florence-Italie, 1997.
- [5]. D.G. Fredlund, H. Rahardjo, *Soil mechanics for unsaturated soils*, J. Wiley, New York, 1993.
- [6]. J.J.Fry, *Les calculs d'écoulement transitoire dans les sols. A la recherche d'une méthodologie*, Bilan et Perspectives du Greco Géomatériaux, Paris.1990