

## ĐỊA CHẤT – KHOÁNG SẢN & MÔI TRƯỜNG (trang 16-24)

### NGHIÊN CỨU CƠ CHẾ HÌNH THÀNH CÁC HỐ SỤT Ở KHU VỰC PHÂN BỐ KARST NGẦM (LẤY VÍ DỤ KHU VỰC CHỢ ĐỒN, TỈNH BẮC KẠN)

ĐỖ MINH ĐỨC<sup>1</sup>, ĐẶNG QUANG KHANG<sup>1</sup>, NGUYỄN VĂN BÌNH<sup>2</sup>, VŨ VĂN LỢI<sup>3</sup>,  
PHẠM TRƯỜNG SINH<sup>4</sup>, PHẠM HỒNG ĐỨC<sup>4</sup>, NGUYỄN NGỌC TRỰC<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG Hà Nội

<sup>2</sup> – Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

<sup>3</sup> – Công ty cổ phần Tư vấn Thiết kế Công trình Xây dựng Hải Phòng

<sup>4</sup> – Trường Đại học Mỏ - Địa chất

**Tóm tắt:** Hiện tượng sụt đất xảy ra ngày càng phổ biến tại nhiều khu vực ở Việt Nam, có thể tạo thành các “hố tử thần” gây thiệt hại lớn về người và tài sản. Trong rất nhiều trường hợp, nguyên nhân chủ yếu liên quan đến các hoạt động nhân sinh, đặc biệt là các hoạt động dẫn đến sự hạ thấp nhanh của mực nước ngầm. Bài báo tập trung làm rõ đặc điểm sụt lún trong khu vực karst, phân tích cơ chế hình thành các hố sụt và sau đó ứng dụng tính toán cụ thể cho khu vực thị trấn Bằng Lũng và xã Ngọc Phái, huyện Chợ Đồn, tỉnh Bắc Kạn, nơi mà từ đầu năm 2008, đã xuất hiện 5 hố sụt đất lớn kèm theo nhiều hiện tượng bất thường. Tại đây, nguyên nhân chính được xác định là hoạt động bơm hút nước làm khô moong mỏ tại mỏ chì kèm Bằng Lũng. Hố sụt xảy ra trong tầng phủ là các trầm tích sông-lũ, liên quan đến biến dạng thấm của tầng cát sạn.

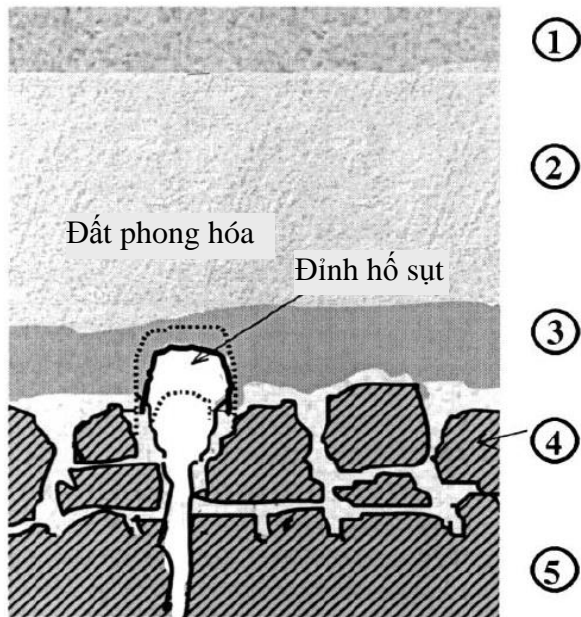
#### 1. Đặt vấn đề

Trong thời gian gần đây, hiện tượng sụt đất đã và đang xảy ra tại nhiều khu vực ở Việt Nam, gây thiệt hại đáng kể về người và tài sản. Nhiều hố sụt xuất hiện đã tạo ra tâm lý hoang mang trong cộng đồng, như các hố sụt ở Cam Lộ (Quảng Trị), Ninh Dân (Phú Thọ), Quốc Oai, Mỹ Đức (Hà Nội), Na Rì, Chợ Đồn (Bắc Kạn),... Thực tế này cho thấy, việc nghiên cứu sự hình thành và phát triển các hố sụt, từ đó đề xuất giải pháp phòng chống phù hợp có tính cấp thiết và ý nghĩa khoa học.

Bài báo tiến hành tổng hợp các tài liệu nghiên cứu, làm sáng tỏ cơ chế hình thành các hố sụt trong vùng phân bố karst ngầm dựa trên các phân tích địa chất - địa kỹ thuật. Kết quả được nghiên cứu áp dụng cho các hố sụt xảy ra vào đầu năm 2008 tại khu vực thôn Nà Tùm, thị trấn Bằng Lũng và hai thôn Nà Tùm, Cốc Thờ xã Ngọc Phái, huyện Chợ Đồn, tỉnh Bắc Kạn.

#### 2. Đặc điểm sụt lún karst

Nghiên cứu các lớp tàn tích trong địa hình đá vôi cho thấy đất nằm bên trên đá gốc không đồng nhất và ranh giới đất đá không liên tục. Trái ngược với hầu hết các lớp đất tàn tích, sức chống cắt và độ cứng của đất tàn tích trong khu vực karst thường giảm theo độ sâu (Sowers, 1996). Một cách lý tưởng, mặt cắt các lớp đất phía trên hang karst có nguy cơ hình thành hố sụt có dạng như hình 1. Lớp thứ nhất, sát trên mặt, là lớp đất đắp với độ cứng dao động lớn, đó là sản phẩm của môi trường gần bề mặt. Lớp 2 và 3 là các lớp tàn tích với hệ số quá cố kết và độ bền trong lớp 2 lớn hơn trong lớp thứ 3. Bề dày của lớp 2 có thể thay đổi từ 1 đến 50m và lớp 3 từ 1,5 đến 5m. Lớp thứ 4 gồm các đỉnh đá nhọn phân bố hỗn độn với các khối đá và xen giữa là đất mềm. Các lớp đất lấp nhét trong các khe rãnh thường có độ ẩm vượt quá giới hạn chảy, trong một số trường hợp, chúng có thể tăng độ bền do bị cố kết bởi tải trọng của lớp đất tàn tích bên trên (Sowers, 1996).



Hình 1. Mặt cắt lý tưởng của khu vực có thể phát sinh hồ sụt karst (Sower, 1996)

1. Đất mặt
2. Phong hóa thành đất cứng chắc
3. Phong hóa thành đất mềm yếu
4. Đá gốc bị phong hóa nứt nẻ
5. Đá gốc nguyên khối

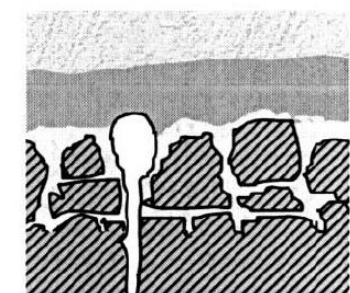
Các nghiên cứu thực địa cho thấy sự hình thành hồ sụt là do sự phát triển của các khoảng trống (hang hốc) bên trong tầng đất phủ. Thông thường, hang hốc trong đất bắt đầu phát triển từ một khe rãnh giữa các khối đá (hình 1). Sự dao

động mực nước ngầm có thể mở rộng các hang hốc theo thời gian. Nếu bề dày của tầng phủ nằm trên mái vòm không đủ để phát triển vòm, lớp đất nằm trên mái vòm sẽ trở nên yếu và hình thành hồ sụt. Mô hình vật lý (Goodings và Abdulla, 1997) và mô hình toán (Drumm và nnk, 1987; Ketelle và nnk, 1987) đã được sử dụng để nghiên cứu chi tiết sự ổn định của hệ thống karst.

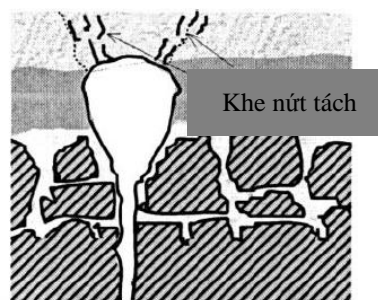
Các nghiên cứu hồ sụt cho thấy rằng các hồ sụt có thể phát triển từ các khe nứt nhỏ trong đá (Sowers, 1996). Các hang hốc nhỏ đường kính khoảng 150mm có thể tạo vòm có đường kính lớn hơn 15m, phụ thuộc vào độ bền của đất xung quanh và hoạt động nước ngầm (Sowers, 1996). Các vòm đất tàn tích trong khu vực karst có thể bị phá hủy theo một hoặc hai mô hình phá hủy. Mô hình thứ nhất liên quan đến lực cắt dư hoặc ứng suất căng do không thể phát triển vòm. Mô hình thứ hai tương ứng với dòng chảy dèo xung quanh vòm và trong khe đá.

### 2.1. Mô hình I – Phá hủy do hình thành khe nứt căng (tension crack)

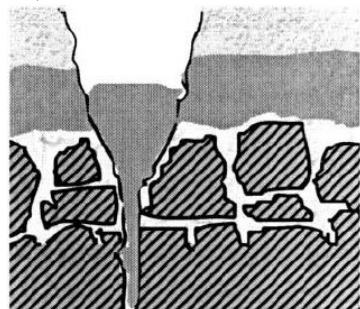
Khi các hang hốc trong hệ thống hang động karst được lên kết về thủy văn, những thay đổi theo mùa của nước ngầm sẽ làm mềm và gây xói mòn đất tàn tích xung quanh cùng với sự hình thành dần dần và mở rộng vòm đất. Sự phát triển của hồ sụt bao gồm 4 giai đoạn (hình 2).



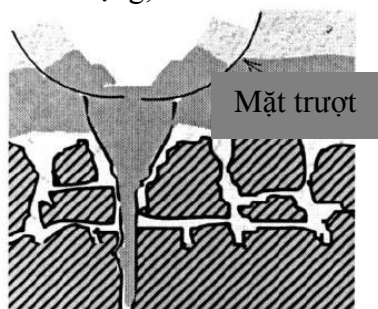
a) Hình thành đỉnh hồ sụt



b) Đỉnh hồ mở rộng, hình thành khe nứt căng



c) Hiện tượng sụt xảy ra



d) Trượt đất theo hồ sụt

Hình 2. Biểu đồ hình thành hồ sụt – mô hình phá hủy I

- Giai đoạn 1: Hình thành đỉnh hố sụt, liên quan đến các hoạt động rửa lũa các thành tạo đá vôi, tạo các khoảng trống trong tầng đá phát triển karst.

- Giai đoạn 2: Đỉnh hố sụt được mở rộng do các hang hốc karst phát triển rộng hơn hoặc vật liệu mịn bị vận chuyển đi do tác dụng của dòng thấm. Sự mở rộng này dẫn đến sự hình thành các khe nứt căng. Đây là dấu hiệu rất quan trọng trước giai đoạn hình thành hố sụt thực sự.

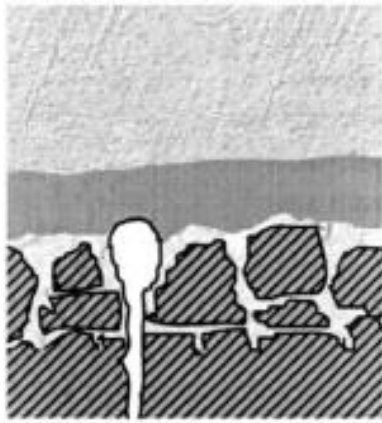
- Giai đoạn 3: Các khe nứt căng phát triển mạnh, các lớp đất phía trên hình thành mặt trượt liên tục sụt xuống khoảng không gian karst trống phía dưới.

- Giai đoạn 4: Trong một số trường hợp, các hố sụt dẫn đến sự hình thành khối trượt

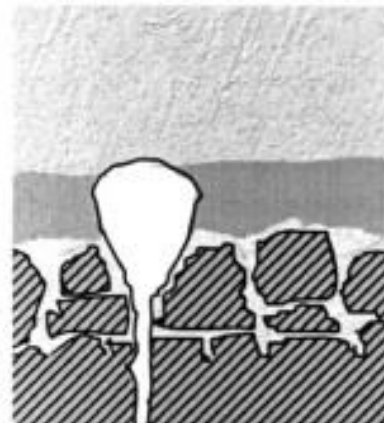
trong đất đá xung quanh.

## 2.2. Mô hình ổn định II – Phá hủy do sự hình thành và phát triển biến dạng dẻo-chảy

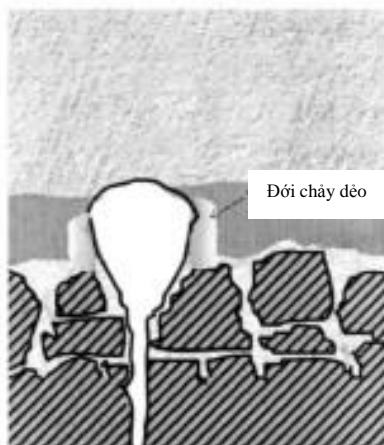
Trong trường hợp các hệ thống vòm ổn định theo mô hình I (hình 3a, b), nền đất vẫn có thể vẫn bị phá hủy do bị biến dạng quá mức, dẫn đến đất bị phá hủy. Đây là mô hình phá hủy liên quan đến sự tăng lên của tải trọng ngoài, dẫn đến sự hình thành biến dạng dẻo-chảy trong đất. Khi tải trọng đủ lớn, phạm vi biến dạng dẻo-chảy ngày càng lan rộng (hình 3c). Trong trường hợp tải trọng tác dụng ít hoặc không thay đổi, biến dạng dẻo-chảy sẽ hình thành do suy giảm độ bền của nền đất, đặc biệt là đất yếu do hạ thấp nhanh mực nước ngầm.



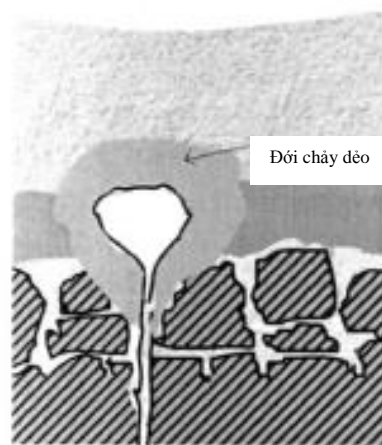
(a) Giai đoạn đầu  
Hình thành vòm gần khe nứt



(b) Mở rộng vòm nhưng vẫn ổn định theo mô hình I



(c) Hình thành vùng chảy dẻo, các điều kiện thể hiện sự mất ổn định theo mô hình II



(d) Bề mặt bị biến dạng, phá hủy vòm do tải trọng phụ thêm

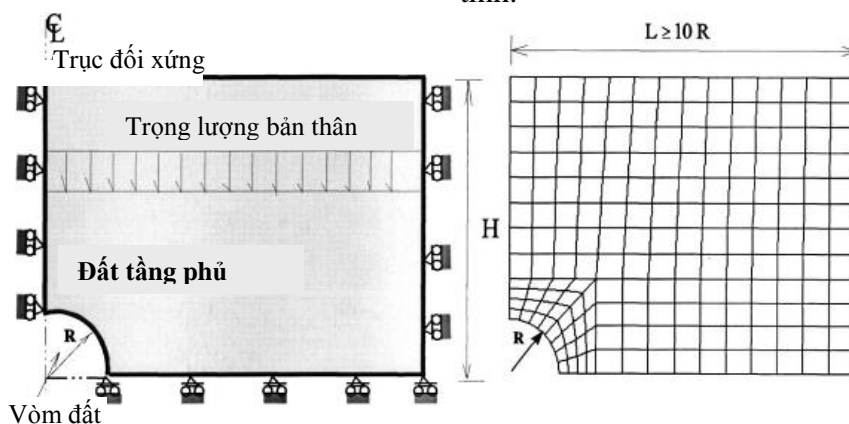
Hình 3. Phá hủy vòm đất do biến dạng dẻo - chảy - mô hình ổn định II

Khu vực biến dạng dẻo - chảy xuất hiện trong các vùng có ứng suất cao nhất, trong phần thấp hơn của vòm trên đá gốc. Khu vực này ban đầu có thể mở rộng theo sự tăng lên của tải trọng ngoài và quá trình từ biến. Đất ở đáy vòm có thể bị nén ép vào trong các khe hở của đá do vùng chảy dẻo được mở rộng dần. Như trong hình 3d, nếu các tải trọng phụ thêm nằm trên bề mặt, đới chảy dẻo có thể mở rộng theo chu vi của vòm, và kích thước vòm sẽ giảm thậm chí đến 0. Điều này sẽ gây lún bề mặt hoặc hình thành hố sụt karst.

### 3. Phân tích ổn định các hố sụt karst bằng mô hình toán

Trong trường hợp mô hình ổn định thứ I (phá hủy vòm đất dưới trọng lượng bản thân), sự mất ổn định xảy ra khi có phá hủy căng ở bề mặt hoặc ở đỉnh vòm. Do sức kháng kéo giới hạn của hầu hết các lớp đất nhỏ, tiêu chuẩn sau đã được giả định: khi ứng suất chính trung bình  $(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$  và ứng suất ngang ở bề mặt của nền hoặc ở đỉnh vòm là lực kéo, vòm sẽ bị phá hủy. Với trường hợp mô hình ổn định II, tiêu chuẩn ổn định theo dòng chảy dẻo được dựa trên biến dạng dẻo. Nếu hình dạng của đất và hệ thống vòm tạo nên các ứng suất nằm dưới đường bao sức kháng cắt lý thuyết, chỉ có các biến dạng đàn hồi được tạo ra. Trong khu vực có ứng suất cắt ở giới hạn đàn hồi, biến dạng dẻo sẽ được hình thành. Đối với trường hợp mô hình ổn định thứ II, giả định rằng khu vực biến dạng dẻo phải nhỏ hơn hai lần khu vực vòm.

Để đơn giản hóa mô hình phần tử hữu hạn, bài toán 3D của hố sụt được chuyển thành bài toán 2D đối xứng trục. Do tính đối xứng, một phần tư của hình cầu đã được mô hình hóa như trong hình 4.



Hình 4. Bài toán lý tưởng hóa và lưới phần tử hữu hạn cơ bản

Các giả định sau đây được đưa ra trong phân tích phần tử hữu hạn:

(1) Mực nước được giả định nằm dưới bề mặt đá gốc. Độ bền của đất và các điều kiện thủy văn liên quan với sự dao động mực nước ngầm không được xét đến. Sự phá hủy của vòm đất được giả định chỉ là do trạng thái ứng suất vượt quá độ bền của đất.

(2) Mặt tiếp xúc đất - đá vôi là nằm ngang và sự hình thành vòm là kết quả của quá trình địa chất lâu dài, bắt đầu ở bên trong đá với lỗ rỗng rất nhỏ dưới lớp phủ bề dày không đổi.

(3) Độ cứng của đá vôi lớn hơn nhiều so với lớp phủ nằm bên trên. Do đó, đá có thể coi là phần rắn không bị biến dạng. Do đó không xét đến sự phá hủy của đá gốc trong tính toán.

(4) Ở mặt phân giới đất - đá, các lực liên kết ngang trên khối đất được loại bỏ. Giả định này dựa trên sự có mặt của một đới đất ẩm và rất mềm ở mặt tiếp xúc đất - đá.

(5) Bài toán trong hình 1 có thể được lý tưởng hóa như trong hình 4, sử dụng các phần tử bậc hai 8 nút. Để tránh các ảnh hưởng của các liên kết biên của mô hình, chiều dài của vùng đất,  $L$  lớn hơn nhiều bán kính,  $R$ . Hệ số  $L/R$  lớn hơn 10 được sử dụng trong tính toán.

(6) Sự mở rộng của đường bao Mohr-Coulomb tuyến tính vào trong miền chịu kéo có thể dẫn đến giá trị ước tính quá cao về độ bền kéo của đất, và do đó, ước tính quá cao sự ổn định của hố sụt. Để phản ánh độ bền kéo giới hạn của đất, tiêu chuẩn giới hạn kéo hyperbolic đã được sử dụng trong tính toán. Đối với các trạng thái ứng suất nằm dưới ngưỡng giới hạn, đất được xem là ứng xử theo mô hình đàn hồi tuyến tính.

#### 4. Ứng dụng cho khu vực Chợ Đồn tỉnh Bắc Kạn

##### 4.1. Hiện trạng sụt lún

Theo khảo sát, từ 07/01/2008 đến sáng 09/01/2008, tại khu vực 2 thôn Nà Tùm và Cốc Thử, xã Ngọc Phái, huyện Chợ Đồn xuất hiện nhiều vết nứt và lún sụt mặt đất tự nhiên (hình 5). Những ngày tiếp theo, hiện tượng nứt nhà cửa vẫn tiếp diễn nhưng đã giảm dần. Các vết nứt xuất hiện còn ảnh hưởng nhiều đến đường 254 từ Chợ Đồn đến hồ Ba Bể và đường 255 từ Chợ Đồn đến xã Bản Thi cũng xuất hiện rạn nứt dài khoảng 3.000 m (hình 6). Các vết nứt trên Quốc lộ 255 thường rộng khoảng 1-2 cm, chạy cắt qua đường theo phương Đông Bắc – Tây

Nam, một số đoạn theo phương Đông-Tây. Giếng của một số hộ dân ở đây cũng bị mất nước một cách không bình thường. Suối Nà Tùm nằm bên cánh đồng Nà Tùm, bị cạn khô từ khi hoạt động bơm hút nước trong khu mỏ được tiến hành. Không những thế, nhiều hiện tượng bất thường cũng đã xảy ra nơi đây. Tại cống ở suối Nà Tùm nằm trên quốc lộ 255, xuất hiện những mạch nước đùn lên từ trong lòng đất. Đặc biệt, từ sáng 08/01/2008 đến 14/1/2008, tại khu vực cánh đồng Nà Tùm xuất hiện 5 hố lún sụt đất lớn hình elíp, chiều sâu mỗi hố từ 5 - 6 m, có hố đến 17m, đường kính khoảng 5 - 7 mét (hình 7).



Hình 5. Vết nứt xuất hiện trong nhà dân



Hình 6. Vết nứt trên quốc lộ 255 kéo dài cắt lên cả khu đồi



Hình 7. Hai hố sụt xuất hiện ngày 08/01/2008 đã bị ngập nước

Tất cả các hồ sụt trên cánh đồng Nà Tùm và suối Nà Tùm ban đầu khi mới xuất hiện đều cạn khô không có nước, khi đó, hoạt động bơm hút tháo khô mỏ chì kẽm vẫn đang tiếp diễn. Về sau, khi hoạt động bơm hút ngừng, nước trong các hồ sụt đó lập tức dâng đầy. Điều đó chứng tỏ sự hình thành hồ sụt có thể có mối liên quan đến hoạt động bơm hút nước tại mỏ chì kẽm. Kết quả đối sánh các hoạt động bơm hút nước tại khu mỏ chì kẽm Bằng Lũng với các hiện tượng nứt nhà cửa, nứt đường sá và sụt nền đất cho thấy có sự tương đồng về thời gian.

#### 4.2. Đặc điểm địa chất công trình khu vực nghiên cứu

Kết quả thu thập được từ công tác khảo sát hiện trường kết hợp với các tài liệu địa chất, tài liệu thí nghiệm phân tích chỉ tiêu cơ lý đất trong phòng cho thấy, toàn bộ diện tích vùng nghiên cứu được che phủ bởi các thành tạo Đệ Tứ có nguồn gốc eluvi-deluvi và sông lũ.

Tập thạch học nguồn gốc sông-lũ có thành phần, tính chất cơ lý rất đa dạng, bao gồm 3 lớp đất (bảng 1 và 2), theo trình tự từ trên xuống là:

- Lớp 1: Đất loại sét (sét pha, sét pha nặng, sét) màu xám nâu, xám vàng. Lớp đất có bề dày phổ biến 2-5m, đôi chỗ có bề dày nhỏ hơn 2m. Theo quan điểm địa chất công trình khi phân chia chi tiết lớp đất này gồm 4 loại khác nhau.

- Lớp 2: Cuội, sỏi, cát lòng suối: có diện lộ dọc theo dòng chảy của suối hiện đại. Nhiều khu vực bị che phủ bởi lớp đất 1. Bề dày phổ biến 5-10m, đôi chỗ dày hơn 10 m hoặc mỏng hơn 5m. Lớp 2 nằm trên tầng sỏi, sạn lòng suối cổ hoặc nằm trực tiếp trên tầng đất phong hóa.

- Lớp 3: Sạn, sỏi, cát của lòng suối cổ. Lớp đất này có diện lộ rất hẹp, bề dày chủ yếu 5-

10m. Lớp đất này chủ yếu được che phủ bởi lớp 1 và 2.

Tập thạch học nguồn gốc eluvi-deluvi được chia thành 5 loại khác nhau theo đặc điểm thành phần, đá gốc và mức độ phong hóa, trong đó các lớp 4e, 4b, 4c phong hóa từ đá gốc hệ tầng Pia Phương, 4d phong hóa từ đá gốc hệ tầng Mia lé, riêng loại 4e là tầng đá gốc chủ yếu bị phong hóa vật lý, phân bố ở độ sâu hơn 5m trong mặt cắt vỏ phong hóa.

Về đặc điểm địa chất thủy văn, khu vực gồm hai tầng chứa nước là Tầng chứa nước các trầm tích lục nguyên xen carbonat Devon hạ (D<sub>1</sub>) và tầng chứa nước lỗ hổng trầm tích Đệ tứ. Tầng chứa nước các trầm tích lục nguyên xen Carbonat Devon hạ bao gồm các trầm tích lục nguyên xen carbonat hệ tầng Mia Lé và hệ tầng Pia Phương được phân bố rộng rãi. Thành phần đất đá chứa nước gồm đá phiến, cát kết xen các lớp đá vôi với chiều dày tầng 800-1200m. Chiều dày tầng chứa nước không quá 100m đối với đá lục nguyên và 150m đối với đá carbonat. Hệ số dẫn của đất đá chứa nước dao động từ rất nhỏ đến 30m<sup>2</sup>/ng, trong đá vôi đạt đến 300-500m<sup>2</sup>/ng. Nước dưới đất thuộc loại nhạt có độ tổng khoáng hóa 0,1-0,3g/l thuộc loại hình hoá học nước là bicarbonat-canxi. Như vậy, tầng chứa nước được đánh giá chung là nghèo nước nên chỉ có ý nghĩa cung cấp nước nhỏ và phân tán. Tầng chứa nước lỗ hổng trầm tích Đệ Tứ nằm trong các lớp đất hạt thô nguồn gốc sông-lũ. Chiều sâu mực nước biến đổi từ 2m đến 3m. Mực nước biến đổi rõ rệt theo mùa. Khi tiến hành bơm hút nước ở moong mỏ để khai thác khoáng sản, nước lỗ rỗng trong trầm tích dễ dàng bị tháo khô.

Bảng 1. Các lớp đất và loại đất trong khu vực nghiên cứu

Lớp đất	Loại đất	Tên lớp đất	Vị trí
1 (apQ)	1a	Sét pha nặng chứa sạn, màu xám nâu, nửa cứng	Hồ sụt H1, cánh đồng Nà Tùm
	1b	Sét pha, màu nâu vàng, nửa cứng	Hồ sụt H2, cánh đồng Nà Tùm
	1c	Sét pha, màu nâu vàng, dẻo cứng	Hồ sụt H3, H4, cánh đồng Nà Tùm
	1d	Sét - sét pha nhẹ lẫn kết hạch ôxít, màu nâu vàng, nửa cứng	Khu vực bãi bồi lấy sét làm gạch
2 (apQ)	2	Cuội sỏi, cát thô lòng suối	Hồ sụt H5 tại lòng suối Nà Tùm
3 (apQ)	3	Sạn, sỏi, cát lòng suối	Lòng suối Nà Tùm
4 (edQ)	4a	Sét pha lẫn sạn, màu xám đen, nâu xám, dẻo cứng	Moong khai thác quặng
	4b	Sét pha lẫn sạn, màu loàng lỏ, vàng sáng, nửa cứng	Moong khai thác quặng
	4c	Sét-sét pha, màu nâu vàng, xốp rời	Đường vào moong khai thác
	4d	Sét pha chứa sạn, xám nâu, nửa cứng	Sườn đồi phía trái cánh đồng Nà Tùm
	4e	Cát bột chứa sạn sỏi, màu nâu vàng, rời	Moong khai thác quặng

Bảng 2. Tính chất cơ lý của các lớp đất trong khu vực nghiên cứu

Chỉ tiêu	Lớp 1a	Lớp 1b	Lớp 1c	Lớp 1d	Lớp 2	Lớp 3	Lớp 4a	Lớp 4b	Lớp 4c	Lớp 4d	Lớp 4e
Thành phần hạt (%)											
> 20				0,00	52,27	10,32	0,00			0,00	0,0
20 – 10		0,0		1,09	15,37	20,54	0,76			4,56	0,37
10 – 5	0,0	0,44	0,0	4,34	9,82	31,4	4,09	0,0	0,0	4,62	13,71
5 – 1	12,11	9,95	0,36	18,75	7,46	11,35	25,28	6,5	0,39	27,16	44,60
1 – 0,5	9,13	29,85	3,48	13,55	3,38	10,21	15,62	14,45	3,63	18,40	13,48
0,5 – 0,25	2,76	0,95	2,29	15,72	6,58	8,89	11,62	6,12	2,04	12,57	8,69
0,25 – 0,1	10,96	2,49	9,04	30,50	4,07	5,65	18,40	12,13	8,56	13,54	7,55
0,1 – 0,074	2,03	1,13	1,11	12,44	0,93	1,2	14,49	2,19	1,70	13,97	3,72
< 0,074	63,99	55,58	84,37	3,61	0,12	0,44	9,75	58,52	83,70	5,17	4,89
Độ ẩm tự nhiên (%)	32,08	37,26	41,91	26,27			39,26	34,19	19,05	36,62	22,13
Dung trọng tự nhiên(g/cm <sup>3</sup> )	1,71	1,77	1,78	1,91			1,61	1,79	1,45	1,42	1,38
Dung trọng bão hòa(g/cm <sup>3</sup> )	1,79	1,08	1,79	1,97			1,69	1,83	1,69	1,16	1,56
Dung trọng khô (g/cm <sup>3</sup> )	1,29	1,29	1,25	1,51			1,15	1,33	1,21	1,28	1,13
Khối lượng riêng	2,69	2,70	2,70	2,71	2,68	2,68	2,7	2,69	2,70	2,70	2,65
Hệ số rỗng	1,078	1,091	1,159	0,792			1,338	1,017	1,225	1,598	1,345
Độ rỗng (%)	51,87	52,17	53,67	44,18			57,2	50,41	55,04	61,50	57,36
Độ bão hoà (%)	80,08	92,22	97,67	89,94			78,84	90,47	42,00	61,89	43,59
Giới hạn chảy (%)	47,72	51,72	50,56	44,51			52,74	50,27	47,32	52,61	
Giới hạn dẻo (%)	31,48	34,86	33,95	25,14			35,92	33,99	28,75	36,16	
Chỉ số dẻo (%)	16,2	16,9	16,6	19,4			16,8	16,3	18,6	16,5	
Độ sệt	0,036	0,142	0,479	0,058			0,449	0,012	-0,52	0,028	
Góc ma sát trong (độ)	20°50	8°44'	15°00	24°45			23°25	13°18	22°43		
Lực dính kết (kPa)	18,84	22,48	30,22	25,98			32,07	43,69	4,75		
Hệ số nén lún (cm <sup>2</sup> /kG)	0,071	0,052	0,063	0,021			0,07	0,038	0,114	0,115	
Hệ số thấm (x 10 <sup>-3</sup> cm/s)	0,57	0,065	1,54	0,110	43,42	21,5	2,17	2,67	2,01	3,18	3,21

### 4.3. Phân tích nguyên nhân sụt lún

#### 4.3.1. Hiện trạng khai thác mỏ chì - kẽm Bằng Lũng

Ghi nhận của của nhóm nghiên cứu tại mỏ chì - kẽm Bằng Lũng được biết, từ năm 2000 Ủy ban Nhân dân tỉnh Bắc Kạn đã đồng ý cho công ty Khoáng sản Thái Nguyên được phép điều tra nghiên cứu chi tiết để tiến hành khai thác quặng chì kẽm tại đây. Đến 2006, cấp mỏ đã được phê duyệt và bắt đầu tiến hành các công tác đền bù giải tỏa. Đến đầu năm 2007 đường dẫn vào khu mỏ đã được mở. Việc bóc dỡ tầng phủ và mở moong khai thác được tiến

hành từ tháng 4 năm 2007, đến cuối năm thi gặp thân quặng. Moong khai thác có dạng hình phễu, diện tích mặt thoáng khoảng trên 1000 m<sup>2</sup>, góc dốc bờ moong dao động từ 45<sup>0</sup> đến 60<sup>0</sup>. Hiện tại moong đã được khai đào đến độ sâu khoảng 20 m nhưng nước đang ngập đến 10 m. Địa tầng quan sát được có cấu trúc như sau: Từ 0-5 m: tầng phủ tàn tích, 5-20 m: đới mũ sắt, trên 20 m: thân quặng (ngập nước).

Thân quặng nằm sâu hơn các con suối trong khu vực nên mỏ luôn bị nước chảy vào. Ghi nhận tại hiện trường cho thấy, có nhiều mạch nước ngầm đường kính tới 2-4 cm cắt ngang

thân quặng. Nước mặt liên tục chảy vào moong theo các mạch nước này. Đồi chỗ nước tràn từ dưới lên tạo thành mạch tràn rõ ràng. Hiện tại khi đã ngừng bơm hút, nước ngập mỏ tới 10m. Trước đây, để tháo khô mỏ phục vụ khai đào, người ta phải thực hiện bơm hút nước liên tục. Theo ông Nguyễn Văn Hải, giám đốc Mỏ chì kẽm Bằng Lũng, với mực nước hiện tại, cần sử dụng 7 máy bơm công suất 35.000m<sup>3</sup>/ngày bơm hút liên tục trong 4-5 ngày mới tháo khô xong, sau đó dùng 3-4 máy bơm hút duy trì. Điều này cho thấy, một lượng nước rất lớn từ các thể chứa nước xung quanh đã chảy vào mỏ, sau đó chúng được hút lên đổ vào các kênh dẫn mang ra xa khỏi khu vực. Việc làm này có thể dẫn đến giảm áp lực nước lỗ rỗng trong đất hoặc các hang ngầm chứa nước và có thể gây nên sụt lún mặt đất khu vực xung quanh.

Kết quả khảo sát khu vực quanh mỏ cho thấy, khoảng 10 gia đình tại Bản Tàn, thị trấn Bằng Lũng (cách moong khai thác khoảng 300m) nước giếng đều cạn khô kể từ khi khu mỏ tiến hành bơm hút. Nhà ông Mông Văn Thôn đã đào thêm giếng mới sâu tới 11m nhưng hầu như vẫn không có nước. Theo ông Thôn, những năm trước đây nước giếng không bao giờ cạn kể cả vào mùa khô. Cũng tại Bản Tàn có giếng khoan của Liên Đoàn Địa chất Đông Bắc khoan sâu tới 75m nhưng nay cũng không đủ nước để bơm cấp cho dân được.

#### 4.3.2. Phân tích khả năng phá hủy các lớp đất phía trên các hang karst

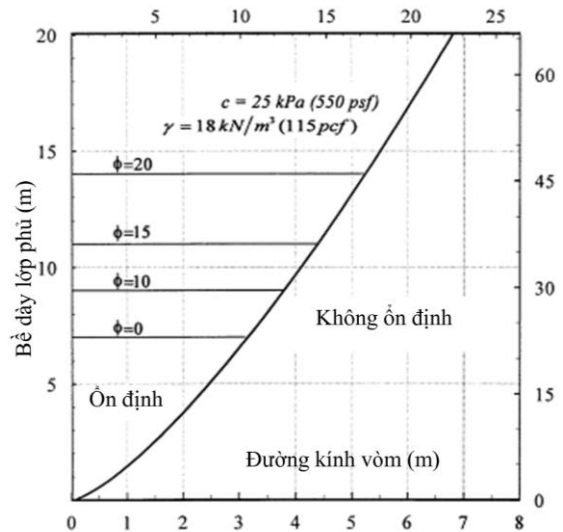
Trong thực tế nếu chỉ có sự vận chuyển các hạt mịn không thể gây ra các chuyển vị lớn hình thành hố sụt. Hố sụt chỉ hình thành khi lượng hạt mịn vận chuyển ra khỏi lớp đất hạt thô đủ lớn, độ bền của lớp đất bị suy giảm rõ rệt, dẫn đến sự phá hủy và các tầng đất phía trên bị đổ xuống, lấp vào các hang karst ở phía dưới. Một cách lý tưởng, mặt cắt các lớp đất phía trên hang karst có nguy cơ hình thành hố sụt có dạng như hình 1. Trong điều kiện thực tế của khu vực nghiên cứu theo các kết quả đo địa vật lý, không phát hiện được sự có mặt của lớp 4. Các hệ thống khe nứt, do có kích thước không lớn cũng không thể xác định được bằng tài liệu địa vật lý. Tuy nhiên theo các kết quả nghiên cứu địa chất, đá gốc trong khu vực nghiên cứu có

nhiều hệ khe nứt được hình thành do các hoạt động kiến tạo. Trên cơ sở các kết quả đo địa vật lý và thí nghiệm trong phòng có thể thấy rằng, khu vực nghiên cứu hội đủ các điều kiện thuận lợi cho sự hình thành các khối sụt và nguyên nhân trực tiếp là sự hạ thấp mực nước ngầm do khai thác khoáng sản. Theo kết quả tính toán từ các mô hình phá hủy (Yang và Drumn, 2002) (hình 8), hố sụt với đường kính tới 5 m có thể xảy ra khi bề dày tầng phủ nhỏ hơn 15 m. Điều này phù hợp với thực tế của khu vực. Tuy nhiên, tại tất cả các hố sụt không phát hiện hang karst, do đó đây không phải là yếu tố quyết định đến sự hình thành hố sụt.

#### 4.3.3. Phân tích khả năng biến dạng thắm hình thành các hố sụt

Kết quả đo sâu điện tại các hố sụt cho thấy, chúng đều có lớp cát sỏi sạn (lớp 3) phân bố ở độ sâu 4,0 đến 6,8 m, dày 5-15 m, phủ trực tiếp trên tầng đá vôi nứt nẻ. Như vậy, khu vực nghiên cứu có các điều kiện cần để phát sinh, phát triển hiện tượng xói ngầm, bao gồm:

- Đất không đồng nhất với hệ số không đồng nhất ( $d_{60}/d_{10} > 20$ ), các hạt nhỏ có thể chuyển dịch giữa các hạt to hơn và bị moi chuyển đi;
- Có gradien nhất định của dòng nước, gradien này gây ra tốc độ thắm lớn của nước hoặc gây ra áp lực thủy động trong khối đất;
- Tồn tại miền xả và tiêu thoát các hạt nhỏ khỏi đất vào hệ thống các khe nứt của đá gốc.



Hình 8. Biểu đồ ổn định vòm karst với  $c' = 25\text{kPa}$  (Yang và Drumn, 2002)



Khi tiến hành hạ thấp mực nước trong moong phục vụ khai thác khoáng sản, mực nước thấp hơn thời điểm ban đầu 15m. Khoảng cách ngắn nhất từ moong mở đến các hố sụt là hơn 1200m. Như vậy gradien thủy lực của dòng thấm ngang rất nhỏ (nhỏ hơn  $15/1200 = 0.0125$ ) không thể vận chuyển các hạt vật liệu mịn.

Nguyên nhân chính dẫn đến sự hình thành các hố sụt karst là dòng thấm theo phương thẳng đứng. Các hố sụt đều hình thành ở dòng suối Nà Tùm nên theo phương thẳng đứng, khi mực nước ngầm được hạ thấp nhanh, nước sẽ chảy từ dòng suối vào các lớp đất tạo ra áp lực thủy động vận chuyển các hạt vật liệu mịn vào lỗ rỗng và các hệ khe nứt, hang hốc karst của đá gốc, dẫn đến tăng độ rỗng và giảm độ bền của tầng đất này. Tuy nhiên, đây là vấn đề có diễn biến phức tạp, với các tài liệu nghiên cứu hiện có chưa đủ để minh chứng một cách định lượng. Các nghiên cứu tiếp theo cần tập trung làm sáng tỏ đặc điểm quá trình rửa trôi vật liệu đất hạt mịn trong môi trường đất hạt thô hơn, cũng như cơ chế vận chuyển đất vào trong các hệ thống khe nứt của đá gốc và mức độ giảm độ bền của đất.

### **Kết luận và kiến nghị**

1. Hiện tượng sụt đất ở khu vực phân bố karst ngầm xảy ra chủ yếu do hoạt động nhân sinh làm giảm đột ngột mực nước ngầm.

2. Sụt đất có thể xảy ra khi tầng phủ không nằm trực tiếp trên hang karst và liên quan chủ yếu đến biến dạng thấm, rửa trôi các hạt mịn ra khỏi đất, đặc biệt là ở lớp đất tiếp xúc trực tiếp với đá gốc.

3. Các hố sụt ở khu vực Nà Tùm và hiện tượng nứt đất trong khu vực phát sinh do bơm hút nước phục vụ khai thác khoáng sản ở mỏ chì-kẽm Bằng Lũng. Đối với khu mỏ, việc ngừng bơm hút nước đã cơ bản chấm dứt hiện tượng nứt và sụt đất.

4. Kiến nghị trước khi tiến hành khai khoáng ở các khu vực phân bố karst ngầm cần tiến hành đánh giá nguy cơ sụt lún trên diện rộng hơn so với diện tích mỏ được cấp phép và luận chứng kỹ thuật chi tiết tác động đến các tầng chứa nước khi bơm hút nước ngầm.

### **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1]. Đỗ Đình Toát, Phạm Trường Sinh, Đỗ Minh Đức, Nguyễn Ngọc Trúc, Phạm Hồng Đức, 2008. Báo cáo khảo sát đánh giá hiện tượng sụt lún khu vực Nà Tùm, huyện Chợ Đồn, tỉnh Bắc Kạn.
- [2]. Drumm, E.C., Ketelle, R.H., Manrod, W.E., Ben-Hassine, J., 1987. Analysis of plastic soil in contact with cavitate bedrock. Proc. Spec. Conf. on Geotech. Prac. For Waste Disposal. ASCE Geotech. Spec. Publ. No. 13, pp. 418–431. Ann Arbor, MI, June.
- [3]. Drumm, E.C., Kane, W.F., Yoon, C.J., 1999. Application of limit plasticity to the stability of sinkholes. Engineering Geology, 29 (1999) 213-225.
- [4]. Goodings, D.J., Abdulla, W.A., 1997. Predicting the development of sinkholes in weakly cemented sand. Geotech. News, 27– 31.
- [5]. Ketelle, R.H., Drumm, E.C., Ben-Hassine, J., Manrod, W.E., 1987. Soil mechanics analysis of plastic soil deformation over a bedrock cavity. In: Proc. 2<sup>nd</sup> Multidisciplinary Conf. on Sinkholes and the Environmental Impacts of Karst. Balkema, Rotterdam, pp. 383–387.
- [6]. Lei, M., Jiang, X., Yu, L., 2002. New advances in karst collapse research in China. Environmental Geology (2002) 42:462-468.
- [7]. Sowers, G.F., 1996. Building on Sinkholes: Design and Construction of Foundations in Karst Terrain. ASCE Press, New York.
- [8]. Tharp T. M., 1999. Mechanics of upward propagation of cover-collapse sinkholes. Engineering Geology 52 (1999) 23-33.
- [9]. Tharp T.M., 2002. Poroelastic analysis of cover-collapse sinkhole formation by piezometric surface drawdown. Environmental Geology (2002) 42:447-456.
- [10]. Yang, M.Z., Drumm E.C., 2002. Stability evaluation for the siting of municipal landfills in karst. Engineering Geology 65 (2002) 185–195.
- [11]. Zhou, W., Beck, B.F., 2008. Management and mitigation of sinkholes on karst lands: an overview of practical applications. Environmental Geology (2008) 55:837-851.

*(xem tiếp trang*

## SUMMARY

### **Mechanism of sinkhole formation in underground limestone karstic areas (A case study of Na Tum area, Bac Kan province)**

**Nguyen Minh Duc<sup>1</sup>, Dang Quang Khang<sup>1</sup>, Nguyen Van Binh<sup>2</sup>, Vu Van Loi<sup>3</sup>,  
Pham Truong Sinh<sup>4</sup>, Pham Hong Duc<sup>4</sup>, Nguyen Ngoc Truc<sup>1</sup>**

1- *Vietnam National University, Hanoi*

2- *Hanoi University for Natural Resources and Environment*

3- *Hai Phong Construction design and Consultant joint stock company*

4- *University of Mining and Geology*

Sinkholes are becoming more often in many areas of Vietnam, causing serious damages on lives and properties. The main reason of many cases is human activities, especially the ones lead to rapid drawdown of groundwater level. The paper deals with characteristics of sinkholes in limestone areas, mechanism of sinkhole formation with a case study of Bang Lung town and Ngoc Phai commune, Cho Don district, Bac Kan province where a series of 5 sinkholes occurred in 2008. Herein, the main reason was defined as the water pumping for lead-zinc mineral exploitation. Sinkholes take place in fluvial sediments in a close relation to sand piping of sandy gravelly layer.