

# Khảo sát và thiết kế móng cọc trên các tuyến đường xuất hiện hang Caster

## Survey and design of pile foundations on the highways in Karst terrain

> TS NGUYỄN HỮU DŨNG

Bộ môn Đường bộ, Khoa Công trình, Trường Đại học Giao thông vận tải  
Email: nguyenuhdungtapchi@gmail.com

### TÓM TẮT

Karst "hay còn gọi là Caster" là một địa hình phức tạp, trong đó chủ yếu được hình thành bởi sự hòa tan của đá Cacbonat như đá vôi hoặc Dolomit. Khi tuyến đường đi qua khu vực có hang Caster, nếu không đưa ra các phương án khảo sát và thiết kế hợp lý sẽ xảy ra các sự cố lún sụt và gây mất ổn định công trình. Phần lớn các hố sụt xảy ra trên các tuyến đường quốc lộ và cao tốc đều do lượng mưa bất thường gây ra tại khu vực nằm trong địa hình Caster. Do đó phương pháp khảo sát thăm dò địa vật lý lỗ khoan cùng với các nhóm giải pháp thiết kế khoan phụt vữa xi măng bịt hang Caster và giải pháp móng cọc khoan nhồi xuyên qua hang Caster cần được đề xuất nghiên cứu để giảm thiểu những rủi ro xuất hiện khi tuyến đường đưa vào khai thác và sử dụng.

**Từ khóa:** Karst; Caster; khảo sát thăm dò địa vật lý lỗ khoan; thiết kế khoan phụt vữa; bịt hang Caster; móng cọc khoan nhồi; xuyên qua hang Caster.

### ABSTRACT

Karst is a complex topography in which the terrain is chiefly shaped by the dissolving of carbonate rock such as limestone or dolomite. When the highway passes through an area with Karst caves, if the reasonable survey and design are not suggested, the subsidence incidents will occur and cause instability of embankment. Most of the sinkholes that occur on the national highways and expressways are caused by unusual amounts of rainfall in the area located on the Karst terrain. Therefore, the geophysical survey method at boreholes along with the designs for drilling and cement grouting to seal Karst caves and bored pile foundation solutions through these caves need to be researched for mitigating these risks when the highways traffic opening.

**Keyword:** Karst; Caster; the geophysical survey method at boreholes; the designs for drilling and cement grouting; seal Karst caves; bored pile foundation through Karst caves.

### 1. TỔNG QUAN KHU VỰC XUẤT HIỆN HANG CASTER (KARST)

Khu vực dự án xuất hiện hang Caster rất khó kiểm soát, với rất nhiều hình thái từ hang động, mặt đá dốc, gồ ghề, chất đá cứng, đến các đặc điểm phức tạp của thủy văn, từ đó gây ảnh hưởng đến chất lượng thi công của các loại móng, từ móng nông đến móng sâu.

Đặc biệt, khi thi công móng cọc khoan nhồi trong vùng địa chất có hang Caster sẽ khó khăn hơn rất nhiều so với địa chất thông thường. Sự xuất hiện của các hang dốc trong đá làm chiều dài thực tế của cọc thay đổi nhiều, thậm chí có trường hợp các cọc cạnh nhau có thể chèn nhau hàng chục mét.

Do tính phức tạp của địa tầng nên cần tiến hành khoan thăm dò hang Caster cho từng cọc. Nếu trường hợp phát hiện dị thường khu vực Caster âm tính giả là rất nguy hiểm, vì các khoảng trống Caster nếu không được phát hiện và không được xử lý có thể dẫn đến phương pháp thiết kế móng cọc và biện pháp thi công để đảm bảo khả năng chịu tải của móng cọc sẽ không phù hợp.

Các dạng hang Caster thường gặp bao gồm:

❖ Hang Caster chết có đất đá bên trong.

❖ Hang Caster chết, rỗng hoặc Caster sống kích thước nhỏ, nước trong hang không có vận tốc.

❖ Hang Caster sống có bùn nhão có hiện tượng nước ngầm lưu thông.

Khi gặp hang Caster nhiều giải pháp xử lý móng được đưa ra nhưng nhìn chung đều phải tốn nhiều công xử lý làm chi phí tăng cao, thời gian thi công kéo dài. Do đó nếu tách rời giữa khâu khảo sát, thiết kế và công tác thi công nền móng trong vùng địa chất Caster sẽ dẫn đến những hậu quả nghiêm trọng ảnh hưởng đến chất lượng của công trình.

Một số khu vực tuyến đường cao tốc phía Bắc có sự xuất hiện hang Caster là khu vực thuộc địa phận huyện Thạch An (tỉnh Cao Bằng); địa phận huyện Đà Bắc (tỉnh Hòa Bình) và tuyến cao tốc qua địa phận các tỉnh Tuyên Quang và tỉnh Hà Giang.

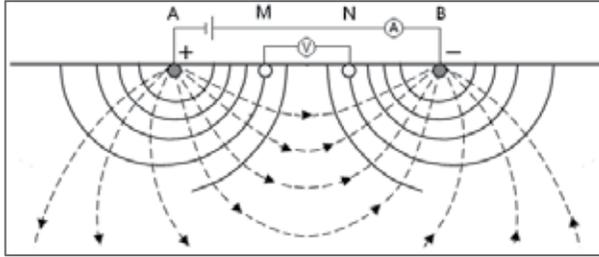
### 2. PHƯƠNG PHÁP KHẢO SÁT TẠI KHU VỰC HANG CASTER (KARST)

**A. Phương pháp địa vật lý lỗ khoan:** Phương pháp đo sâu điện trở với mục đích nghiên cứu sự thay đổi tính chất điện của đất đá theo chiều sâu và chiều ngang, nhằm xây dựng mô hình lát cắt điện trở suất của môi trường địa chất dọc tuyến. Tiến hành khảo sát và khoan định các vùng dị thường điện trở suất thấp, liên quan tới các

đứt gãy, đới dập vỡ phá hủy, hang động Caster, hoặc các vùng điện trở suất cao, biểu hiện của các loại đất đá dạng khối rắn chắc.

Để nghiên cứu các đối tượng địa chất bằng phương pháp địa điện, người ta thường sử dụng hệ thiết bị 4 cực, bao gồm: cặp cực phát dòng AB và cặp cực thu thế MN (Hình 1 phía dưới). Trong lý thuyết trường đã xác định biểu thức thế tại một điểm cách tâm điện cực một khoảng r khi phát dòng I xuống môi trường đồng nhất vô hạn có điện trở suất ( $\rho$ ).

$$U(r) = \frac{I\rho}{2\pi r}$$



**Hình 1.** Sự phân bố dòng (nét đứt) và thế (nét liền) của hệ cực bốn cực trong môi trường nửa không gian đồng nhất

Trong thực tế, đội khảo sát sẽ phát dòng qua hai điện cực phát A, B và đo thế qua hai điện cực thu M, N. Với hệ bốn điện cực bất kỳ, từ đó hình thành các công thức tính như sau:

$$U_M = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) \quad U_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right)$$

Từ đó:

$$\Delta U_{MN} = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right)$$

Suy ra:

$$\rho = K \frac{\Delta U}{I}$$

Với:

$$K = \frac{2\pi}{\left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right)}$$

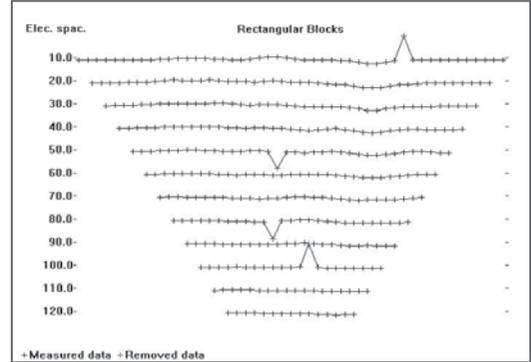
Bằng cách đo dòng phát qua các điện cực phát và thế ở các điện cực thu, ta có thể xác định được điện trở suất của môi trường ( $\rho$ ). Trong đó, hệ số K trong công thức phía trên chỉ phụ thuộc vào vị trí bố trí các điện cực và được gọi là hệ số hệ cực đo.

Cấu hình bố trí điện cực đo điện trở suất gọi là hệ cực. Mỗi hệ cực với khoảng cách giữa các điện cực khác nhau sẽ xác định được một hệ số cực đo khác nhau. Để tăng độ sâu nghiên cứu cần phải tăng khoảng cách giữa các điện cực. Độ sâu nghiên cứu của phương pháp đo sâu điện thường được xác định bằng 1/4 khoảng cách cực đại của cặp cực phát AB. Như vậy, bằng cách đo dòng phát và thu thế tại một điểm đo sâu với khoảng cách các điện cực tăng dần, ta sẽ thu được thông tin về phân bố điện trở suất tại vị trí trung tâm của hệ cực theo chiều sâu.

**B. Phương pháp đo sâu điện 2D hay còn được gọi là phương pháp ảnh điện đa cực (Resistivity Imaging):** là sự kết hợp giữa đo sâu điện và đo mật cắt điện trên cùng một tuyến đo để thu được ảnh điện 2D về cấu trúc địa chất bên dưới mặt đất. Phương pháp ảnh điện 2D tạo ra một bức tranh chi tiết về phân bố điện trở suất theo cả phương thẳng đứng và phương ngang dọc theo tuyến đo.

Hình 2 là sơ đồ bố trí hệ điện cực và điểm ghi số liệu trong phương pháp đo ảnh điện 2D. Tất cả các điện cực được kết nối đồng thời với máy đo thông qua cáp điện. Khi đo, một chương trình lập sẵn liên kết với bộ điều khiển sẽ quản lý quá trình đo thu thập số liệu. Công tác thu thập số liệu hoàn toàn tự động. Điều này góp

phần làm giảm những sai số chủ quan do quá trình dịch chuyển cực hoặc sai số do tiếp xúc giữa điện cực với đất. Ngoài ra nó còn giúp rút ngắn thời gian triển khai thu thập số liệu do không mất thời gian di chuyển điện cực sau mỗi phép đo.



**Hình 2.** Sơ đồ bố trí điện cực và điểm ghi của phương pháp ảnh điện đa cực

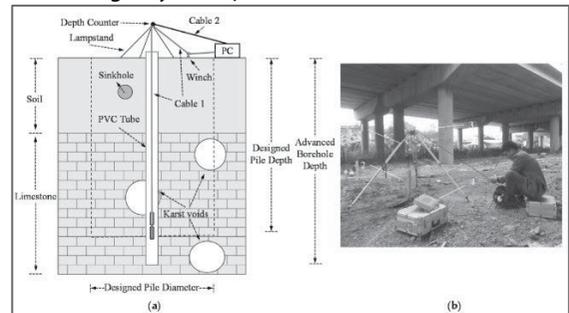
**C. Phương pháp Radar lỗ khoan:** Phương pháp này cho phép mở rộng phạm vi phát hiện và xác định các hang hốc Caster tại các vị trí tiếp giáp và gần các lỗ khoan theo hướng ngang. Trong quá trình khoan cần thực hiện phương pháp xử lý tín hiệu kết hợp phân tích tín hiệu phức tạp bằng biến đổi Hilbert (HT) để phân biệt sóng tán xạ ngược yếu trên khu vực nền lỗ khoan.

Phương pháp Radar lỗ khoan thường sử dụng thiết bị máy dò GPR kết hợp với Radar lỗ khoan để thăm dò toàn bộ đường kính của cọc kết hợp với lỗ khoan hiện có, nhằm mục đích cung cấp chi tiết đặc điểm về địa chất tốt hơn cho công tác thiết kế, tính toán khả năng chịu lực của cọc từ đó đưa ra biện pháp thi công hiệu quả nhất. Việc sử dụng Radar xuyên lỗ có thể cung cấp mô hình vận tốc và sự phân bố hệ số suy giảm giữa các tầng địa chất.

Hệ thống thiết bị GPR bao gồm: 01 máy tính bề mặt, ăng-ten truyền và nhận, cáp quang, bộ đếm độ sâu và bộ sạc. Ăng-ten được kết nối với máy tính bằng cáp quang. Cáp quang đi qua bộ đếm độ sâu và ghi lại độ sâu của đầu dò.

Ăng-ten phát là một lưỡng cực đa hướng được chế tạo bằng hai ống đồng hình nón và có dải tần từ 20 MHz đến 200 MHz. Ăng-ten thu có cấu trúc giống như ăng-ten phát và được lắp đặt bộ chuyển đổi A/D 16 bit. Ăng-ten thu và phát GPR trong lỗ khoan được hạ từ trên xuống dưới cùng của lỗ khoan với vận tốc 0,1 m/s bằng cách sử dụng giá đỡ mặt đất.

Sóng điện từ (EM) được truyền đi ở độ sâu 0,1 m. Sóng truyền qua và dọc theo lỗ khoan và phản xạ từ các giao diện trở kháng, sau đó sóng được ăng-ten thu thu và xử lý trước. Cấu hình sóng EM được phân tích bằng máy tính tại chỗ.



**Hình 3.** Bố trí thiết bị máy dò GPR kết hợp với Radar lỗ khoan, trong quá trình khảo sát địa chất tại khu vực xuất hiện hang Caster

**D. Thiết bị sử dụng của nhóm nghiên cứu:** Tại một số dự án cao tốc nhóm nghiên cứu đã sử dụng thiết bị đo điện đa cực Super-Sting R1/IP + 56 do hãng Advanced Geosciences (Mỹ) sản xuất (năm

2009) có một số ưu điểm vượt trội như dòng phát lên đến 2A với điện thế phát lên đến 400 V, tốc độ thu thập số liệu nhanh, phần mềm chuyên dụng xử lý số liệu nhanh.

Hình 4 là ảnh chụp máy Super-Sting đang thu thập số liệu ngoài thực địa. Máy đo điện đa cực Super-Sting gồm khối điều khiển chính, bộ chuyển mạch (Switch), 8 cuộn cáp điện, mỗi cuộn gồm 7 take-out để kết nối với điện cực, 56 cực bằng thép không gỉ và ắc quy (Hình 4). Dòng điện phát vào lòng đất từ 500 đến 2000 mA phụ thuộc vào điều kiện môi trường bên dưới.



**Hình 4.** Máy Super-Sting R1 / IP đang thực hiện khảo sát số liệu ngoài thực địa

**E. Quá trình thực hiện khảo sát địa vật lý:** Tiến hành công tác phát tuyến tạo hành lang để cắm điện cực và trải dây cáp chuyên dụng. Các cọc mốc phải được cắm theo phương thẳng hàng, đảm bảo đúng vị trí tuyến như để cương được phê duyệt.

Xác định và cắm mốc dọc theo tuyến đo với khoảng cách 10m/cọc bằng thiết bị trắc địa đo địa hình RTK.

Xác định mặt cắt địa hình dọc theo tuyến đo. Tại mỗi vị trí đóng điện cực, xác định tọa độ và cao độ của từng điện cực. Mặt cắt địa hình được sử dụng trong công tác xử lý số liệu đo ảnh điện đa cực.

+ Đóng 56 điện cực xuống vị trí các cọc mốc đã định sẵn.

+ Trải cáp chuyên dụng của thiết bị Super-Sting R1/IP. Kết nối 56 điện cực với cáp chuyên dụng.

+ Kết nối máy đo với cáp chuyên dụng.

+ Kiểm tra tiếp xúc giữa các điện cực với đất bằng thiết bị đảm bảo sai lệch giá trị trở kháng tiếp đất giữa hai cặp điện cực liên tiếp không quá 10%. Trong trường hợp điện trở tiếp đất thay đổi mạnh, cần thực hiện các biện pháp như tưới nước, nước muối hoặc hỗn hợp nước muối - bùn sét (dung dịch muối - Bentonite) nhằm giảm điện trở tiếp đất, đảm bảo phép đo có độ chính xác cao.

+ Thiết lập cấu hình hệ cực đo. Kiểm tra kết nối giữa máy với cáp, đảm bảo an toàn trên tuyến đo. Thực hiện công tác đo.

+ Máy đo tiến hành thu thập số liệu tự động. Trong suốt quá trình đo, phải đảm bảo an toàn của điện cực, dây cáp chuyên dụng. Không tiếp xúc với điện cực nhằm tránh bị điện giật. Thường xuyên ghi chú các đặc điểm về hệ cực, tên tuyến, khoảng cách điện cực và các đặc điểm nổi bật khác vào sổ ghi chép thực địa.

+ Thời gian đo máy: Phụ thuộc vào cấu hình hệ cực đo lựa chọn.

+ Kết thúc một tuyến đo: ghi số liệu vào file. Tắt máy và chuyển tuyến đo mới.

**F. Quy trình xử lý số liệu:** Công tác xử lý số liệu sơ bộ được tiến hành sau mỗi buổi đo thực địa và triết xuất các kết quả mặt cắt phân bố điện trở suất 2D dọc theo tuyến đo.

+ Công tác xử lý số liệu và minh giải tài liệu được tiến hành sau khi kết thúc công tác thực địa bao gồm cả số liệu địa hình.

+ Xây dựng mặt cắt cấu trúc địa chất - phân tầng đất đá, xác định đới đứt gãy được thực hiện và chuyển sang bản vẽ AutoCad (.dwg files) để phục vụ công tác thiết kế.

### 3. GIẢI PHÁP THIẾT KẾ MÓNG CỌC TẠI HANG CASTER (KARST)

#### A. Giải pháp thiết kế khoan phụt vữa xi măng bịt hang

**Caster:** Phương pháp này thường dùng cho giải pháp đặt phía trên hang Caster (móng nông hoặc móng cọc có mũi cọc đặt phía trên

hang Caster) và địa chất bị điểm lỗ chỗ bởi những hang Caster kích thước nhỏ và dễ dàng khoan phụt vữa xi măng vào trong hang. Khả năng chịu lực của các hang Caster sẽ tăng lên, tính nén lún giảm xuống nhờ việc phụt vữa xi măng vào một số lượng lớn các hang. Nhờ khoan phụt vữa nên giảm bớt và ngăn chặn sự phát triển của hiện tượng xói sụt của các lớp đất phủ phía trên vào trong hang.

Nếu trong một lỗ khoan phụt vữa có nhiều hang chồng lên nhau, công tác phụt vữa cần được tiến hành từ hang dưới cùng và chỉ sau khi hoàn thành mới được di chuyển lên các hang phía trên. Trong trường hợp cần thiết, các vật liệu bịt khe có thể được đưa xuống để ngăn ngừa việc vữa xi măng chảy qua các hang khác. Mỗi lỗ khoan phụt vữa cần đi kèm với tối thiểu một lỗ thông khí hoặc một lỗ giảm áp có cùng đường kính và chiều sâu.

#### B. Giải pháp thiết kế móng cọc khoan nhồi xuyên qua hang

**Caster:** Móng cọc khoan nhồi có thể thi công đến độ sâu rất lớn nên có thể xuyên qua hệ thống hang hốc Caster đến tận tầng đá còn nguyên vẹn, nhờ đó kết cấu móng rất an toàn. Tuy nhiên, thi công cọc khoan nhồi trong vùng địa chất có hang Caster vẫn khó khăn hơn nhiều so với địa chất thông thường, khi thi công hay xảy ra sự cố. Sự xuất hiện của các hang dốc trong đá làm chiều dài thực tế của cọc thay đổi nhiều, thậm chí có trường hợp các cọc cạnh nhau có thể chèn nhau hàng chục mét.

Ống vách thép cần thiết kế để giữ thành hố khoan khi tạo lỗ và đổ bê tông được sử dụng thường xuyên khi gặp các hang Caster lớn, rỗng hoặc nước trong hang có vận tốc.

Khi gặp hang Caster chết thông nhau hoặc hang Caster sống có dòng chảy, dung dịch khoan có thể thất thoát qua các kẽ thông nhau này. Trường hợp gặp hang Caster sống có bùn nhão có thể xảy ra hiện tượng trái ngược là dự dâng cao đột ngột của dung dịch khoan. Khi rút ống vách lên, nếu dưới là hang Caster sống, đặc biệt các hang có nước có lưu tốc thì bê tông sẽ bị thất thoát. Để xử lý vấn đề này, khi rút ống vách lên, cần dùng ống vách phụ để làm cốp pha đổ bê tông. Ống vách phụ sẽ được để lại sau khi đổ bê tông xong.

### 4. KẾT LUẬN

Ngoài việc sử dụng các thiết bị thăm dò địa vật lý lỗ khoan, đối với các công trình cầu đi qua khu vực đá vôi có hang Caster thì quá trình khảo sát mỗi móng trụ phải bố trí tối thiểu 03 lỗ khoan trong cùng một bộ móng.

Kết quả minh giải tài liệu đo ảnh điện đa cực sẽ chính xác hơn nếu có thêm các thông tin địa chất để kiểm chứng như: cột địa tầng lỗ khoan trên tuyến, vật liệu lớp phủ, giá trị điện trở suất của lớp phủ theo kết quả phân tích mẫu trong phòng thí nghiệm.

Các nhóm giải pháp thiết kế khoan phụt vữa xi măng bịt hang Caster và giải pháp móng cọc khoan nhồi xuyên qua hang Caster cần được nghiên cứu kỹ để nâng cao chất lượng của dự án và việc lựa chọn giải pháp móng cần đặt yếu tố An toàn lên hàng đầu nhưng vẫn phải đảm bảo tính kinh tế của giải pháp ở một mức độ nhất định.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. M. Z. Yang, D. Sajedi, E. C. Drumm, A. M. Ramakrishna, Design and Construction of Highway Structures in Karst Terrain, ASCE Library - GeoShanghai 2006.
2. Mohammed Farfour, Mohammed Farfour, Integration of Geophysical Methods for Doline Hazard Assessment: A Case Study from Northern Oman, Department of Earth Science, The Sultan Qaboos University, Muscat 123, Oman - Published: 13 June 2022.
3. Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về thăm dò điện 57:2014/BTNMT theo Thông tư số 33/2014/TT-BTNMT ngày 10/6/2014 của Bộ TN&MT
4. Tiêu chuẩn Quốc gia số TCVN:9433/2012 về Điều tra, đánh giá thăm dò khoáng sản- Phương pháp ảnh điện đa cực do Bộ Khoa học và Công nghệ ban hành kèm theo Quyết định số 2755/QĐ-BKHNC ngày 12/10/2012 của Bộ Khoa học công nghệ.