

## Sức kháng cắt dư của đất: các yếu tố ảnh hưởng và ứng dụng

Nguyễn Thành Dương<sup>1,\*</sup>, Phạm Thị Ngọc Hà<sup>1</sup>, Trần Thị Lan Hương<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Mỏ - Địa chất

<sup>2</sup>Tổng công ty tư vấn xây dựng Việt Nam (VNCC)

### TÓM TẮT

Sức kháng dư của đất là một trong những chỉ tiêu quan trọng trong phân tích, đánh giá, và dự báo ổn định của các khối trượt tái hoạt động. Mục đích của bài báo này là đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến sức kháng cắt dư, và ứng dụng trong địa kỹ thuật. Dựa trên việc tổng hợp, phân tích các nghiên cứu về sức kháng cắt dư của đất trên nhiều loại đất khác nhau sử dụng máy cắt vòng cho thấy sức kháng dư của đất giảm đáng kể khi hàm lượng hạt sét tăng đến 50%, giới hạn chảy tăng đến 150% và chỉ số dẻo tăng đến 110%. Ngược lại, sức kháng cắt dư của đất tăng mạnh khi hàm lượng hạt cát tăng lớn hơn 40%. Trong các khoáng vật sét, khoáng vật smectite có ảnh hưởng lớn nhất đến sức kháng cắt dư của đất, đặc biệt khi hàm lượng smectite trong đất lớn hơn từ 30-50% thì sức kháng cắt dư rất nhỏ và gần như không đổi. Ngoài ra, nó còn phụ thuộc vào các yếu tố của điều kiện thí nghiệm như tốc độ cắt, áp lực cắt. Sức kháng dư giảm khi áp lực cắt tăng, đặc biệt ở cấp áp lực nhỏ hơn 100-200 kPa. Trong các yếu tố trên, ảnh hưởng của tốc độ cắt đến sức kháng cắt dư phụ thuộc vào nhiều yếu tố như loại đất, khoảng tốc độ cắt, quy trình thí nghiệm và là vấn đề cần được tiếp tục nghiên cứu. Về mặt ứng dụng, sức kháng cắt dư của đất không chỉ liên quan đến các khối trượt tái hoạt động sau khi đã xảy ra dịch chuyển lớn mà còn liên quan đến các bề mặt không liên tục trong đất đá, các khối đất đắp bị phá hủy, các mái dốc cấu tạo bằng đất cứng quá có kết.

*Từ khóa:* Sức kháng cắt dư; yếu tố bản chất đất; yếu tố điều kiện thí nghiệm; ứng dụng.

### 1. Mở đầu

Sức kháng cắt dư của đất đã được nghiên cứu từ những năm 1930s, đặc biệt là sau bài giảng Rankine lần thứ 4 của Skempton (Skempton, 1964). Trong bài giảng này, sức kháng cắt dư của đất được định nghĩa là sức kháng cắt thoát nước nhỏ nhất sau khi đất đã trải qua biến dạng cắt rất lớn dưới tác dụng của một cấp tải trọng nhất định. Do trải qua biến dạng cắt lớn, ở trạng thái dư các hạt đất xung quanh đới cắt tái sắp xếp và nằm song song với mặt cắt. Sức kháng cắt dư được coi là một chỉ tiêu thuộc bản chất của đất, phụ thuộc chủ yếu vào thành phần hạt (kích thước và hình dạng), thành phần khoáng vật và đặc tính chảy dẻo. Ngoài ra, nó còn phụ thuộc vào thành phần hóa học của nước lỗ rỗng và một số điều kiện thí nghiệm như tốc độ cắt, áp lực cắt. Nó không phụ thuộc vào độ chặt, hệ số lỗ rỗng ban đầu của đất và lịch sử ứng suất (hệ số quá cố kết, OCR). Sức kháng cắt dư của đất có thể được xác định từ các thí nghiệm trong phòng như thí nghiệm cắt vòng, thí nghiệm cắt phẳng lặp. Trong đó, thí nghiệm cắt vòng được sử dụng phổ biến và cho kết quả đáng tin cậy vì mẫu đất có thể được cắt tới mức biến dạng bất kỳ theo 1 hướng nhất định và sự sắp xếp các hạt đất ở đới cắt theo 1 hướng không đổi trong quá trình cắt. Thí nghiệm cắt vòng có 2 loại thiết bị phổ biến, gồm: kiểu Bishop và nnk., 1971) và kiểu Bromhead (Bromhead, 1979).

Sức kháng cắt dư của đất đã được sử dụng phổ biến trên thế giới trong phân tích, đánh giá, và dự báo ổn định của các khối trượt đã xảy ra dịch chuyển lớn. Tuy nhiên, ở Việt Nam, chỉ tiêu sức kháng cắt dư của đất ít được quan tâm và sử dụng. Một phần cũng là do thiết bị thí nghiệm còn hạn chế, một phần là các tiêu chuẩn chưa đưa chỉ tiêu này vào tính toán, thiết kế. Mục đích của bài báo này là đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến sức kháng cắt dư của đất dựa trên kết quả các nghiên cứu trước và khái quát về ứng dụng trong các bài toán phân tích ổn định mái dốc.

### 2. Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến sức kháng cắt dư

Các yếu tố ảnh hưởng đến sức kháng cắt dư của đất được chia thành các nhóm: 1) Nhóm yếu tố thuộc bản chất của đất; 2) Nhóm yếu tố thuộc điều kiện thí nghiệm. Nhóm thuộc bản chất của đất bao gồm kích thước và hình dạng hạt; đặc tính chảy dẻo; thành phần khoáng vật; thành phần hóa học nước lỗ rỗng. Nhóm điều kiện thí nghiệm bao gồm tốc độ cắt và áp lực cắt.

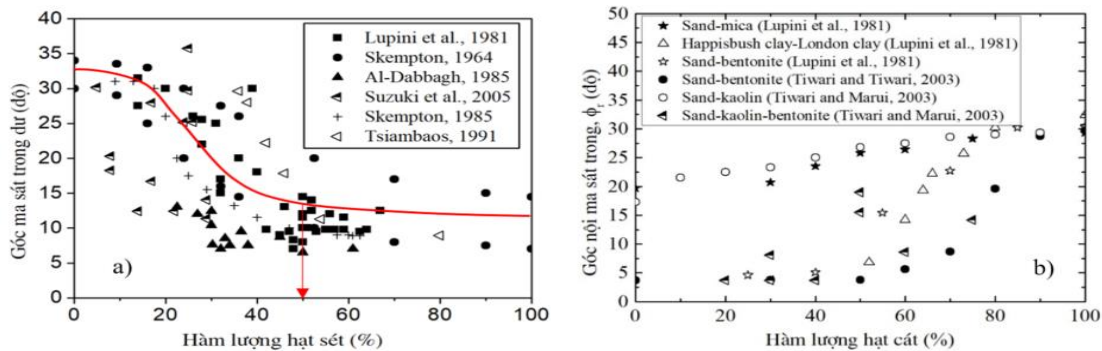
\* Tác giả liên hệ

Email: nguyenthanduong@humg.edu.vn

## 2.1. Ảnh hưởng của nhóm yếu tố thuộc bản chất của đất

### a. Kích thước và hình dạng hạt

Kích thước và hình dạng hạt là một trong những yếu tố chính không chỉ ảnh hưởng đến sức kháng cắt đỉnh mà còn ảnh hưởng đến sức kháng cắt dư của đất. Trong các nhóm hạt, các nghiên cứu đã chỉ ra rằng hàm lượng hạt sét ảnh hưởng rất lớn đến sức kháng cắt dư của đất. Hàm lượng hạt sét tăng sẽ làm giảm sức kháng cắt dư của đất (ví dụ Skempton, 1964, 1985; Al-Dabbagh, 1986; Tsiambaos, 1991; Suzuki và nnk., 2005; Lupini và nnk., 2009). Kết quả của một số nghiên cứu trước được thể hiện trên Hình 1a. Có thể thấy rằng khi hàm lượng hạt sét tăng đến 50% thì sức kháng cắt dư của đất giảm đáng kể, khi hàm lượng sét lớn hơn 50%, sức kháng cắt dư của đất gần như không thay đổi.

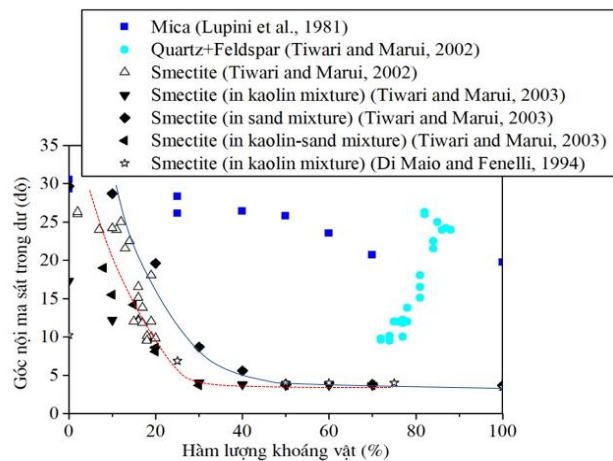


Hình 1. Ảnh hưởng của hàm lượng hạt sét (a) và hạt cát (b) đến sức kháng cắt dư của đất

Ngược lại, khi hàm lượng hạt cát (hạt thô) tăng thì sẽ làm tăng sức kháng cắt dư của đất (Tiwari và Marui, 2003; Lupini và nnk., 2009) (Hình 1b). Dựa trên kết quả trên Hình 2b có thể thấy, hàm lượng hạt cát tăng từ 0 đến 40% ít có ảnh hưởng tới sức kháng cắt dư của đất, khi hàm lượng cát lớn hơn 40%, nó làm tăng đáng kể sức kháng cắt dư của đất. Về hình dạng, khi đất chứa các hạt có hình dạng dẹt như sét, mica sẽ có sức kháng cắt dư nhỏ hơn khi đất chứa các hạt có hình dạng tròn hay góc cạnh.

### b. Thành phần khoáng vật

Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng nhóm khoáng vật sét (kaolinite, illite, smectite) ảnh hưởng rất lớn đến sức kháng cắt dư của đất. Khi hàm lượng các khoáng vật này tăng sẽ làm giảm sức kháng cắt dư của đất, đặc biệt là hàm lượng khoáng vật smectite (ví dụ Maio và Fenellif, 1994; Stark và Eid, 1994; Tiwari và Marui, 2002, 2003; Gratchev và nnk., 2005). Ngược lại, sức kháng cắt dư của đất sẽ tăng khi hàm lượng các khoáng vật như quartz, feldspar và calcite tăng (Tiwari và Marui, 2002, 2003). Đối với nhóm khoáng vật mica, khi hàm lượng mica tăng sẽ làm giảm sức kháng cắt dư của đất (Lupini và nnk., 2009). Kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của thành phần khoáng vật đến sức kháng cắt của đất từ các nghiên cứu trước được thể hiện trên Hình 2. Với khoáng vật smectite có thể thấy, khi hàm lượng tăng lớn hơn 30% thì ít có ảnh hưởng tới sức kháng cắt dư của hỗn hợp smectite-kaolin và smectite-sand-kaolin và khi lớn hơn 50%, ít có ảnh hưởng tới sức kháng cắt dư của hỗn hợp smectite-sand.

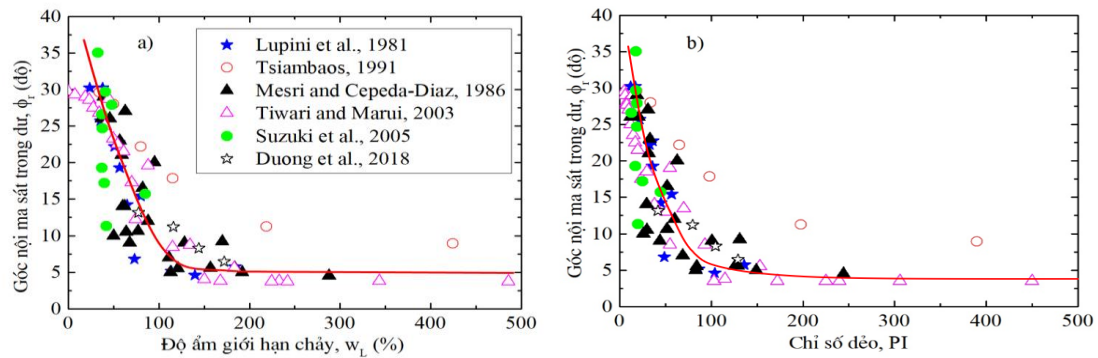


Hình 2. Ảnh hưởng của khoáng vật đến sức kháng cắt dư của đất

### c. Đặc tính chảy dẻo

Đặc tính chảy dẻo của đất bao gồm các yếu tố như độ ẩm giới hạn chảy ( $W_L$ ), độ ẩm giới hạn dẻo ( $W_p$ ) và chỉ số dẻo ( $I_p$ ). Cùng với kích thước hạt và thành phần khoáng vật, đặc tính chảy dẻo của đất cũng ảnh hưởng rất lớn đến sức kháng cắt dư của đất. Mối liên hệ giữa các yếu tố chảy dẻo của đất và sức kháng cắt dư đã được nhiều tác giả nghiên cứu và đều chỉ ra rằng khi các yếu tố này tăng sẽ làm giảm sức kháng cắt dư của đất (ví dụ Mesri and Cepeda-Diaz, 1986; Tsiambaos, 1991; Suzuki và nnk., 2005; Lupini và nnk., 2009; Duong và nnk., 2018). Kết quả của các nghiên cứu trước trên Hình 3 cho thấy sức kháng cắt dư của

đất tăng khi độ ẩm giới hạn chảy và chỉ số dẻo tăng, đặc biệt khi các giá trị này tăng tương ứng đến khoảng 150% và 110%.



Hình 3. Ảnh hưởng của giới hạn Atterberg tới sức kháng cắt dư của đất

#### d. Thành phần hóa học nước lỗ rỗng

Ảnh hưởng của thành phần hóa học nước lỗ rỗng gồm hóa trị và hàm lượng muối hòa tan ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ), độ pH đến sức kháng cắt dư của đất đã được nhiều tác giả nghiên cứu (Moore, 1991; Maio và Fenellif, 1994; Di Maio và nnk., 2004; Suzuki và nnk., 2005). Nhìn chung, các nghiên cứu này đã chỉ ra rằng thành phần hóa học của nước lỗ rỗng ít nhiều ảnh hưởng đến sức kháng cắt dư của đất, đặc biệt là khi đất có hàm lượng khoáng vật smectite, kaolinite cao và thành phần hóa học của nước lỗ rỗng có chứa muối hòa tan  $\text{K}^+$  và  $\text{Ca}^{++}$ . Nghiên cứu của Moore (1991) dựa trên việc phân tích ảnh hưởng của muối  $\text{Na}^+$  và  $\text{Ca}^{++}$  đến sức kháng cắt dư của kaolinite và bentonite cho thấy hai loại muối này làm tăng sức kháng cắt dư của bentonite, trong khi đó nó làm giảm sức kháng cắt dư của kaolinite. Ngoài ra, ảnh hưởng của muối  $\text{Ca}^{++}$  đến sức kháng cắt dư lớn hơn ảnh hưởng của muối  $\text{Na}^+$ .

### 2.2. Ảnh hưởng của điều kiện thí nghiệm

#### a. Tốc độ cắt

Đây là một trong những yếu tố chính của điều kiện thí nghiệm ảnh hưởng đến sức kháng cắt dư của đất. Nó đã được nhiều tác giả nghiên cứu, điển hình là các nghiên cứu của (Skempton, 1985; Tika và nnk., 1996; Suzuki và nnk., 2017, 2002; Scaringi và Di Maio, 2014; Duong và nnk., 2018; Habibbeygi và Nikraz, 2018; Lian và nnk., 2018; Xu và nnk., 2018; Wang và Cong, 2019; Wang và nnk., 2020a, 2020b;). Các nghiên cứu này đã chỉ ra rằng tốc độ cắt ít nhiều ảnh hưởng đến sức kháng cắt dư của đất, đặc biệt là đối với đất dính và cắt ở vận tốc lớn.

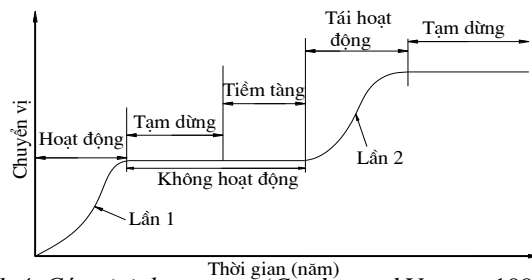
Tika và nnk. (1996) dựa trên kết quả thí nghiệm xác định sức kháng cắt dư của nhiều loại đất ở vận tốc cắt lớn đã đưa ra ba ứng xử của sức kháng dư của đất khi tăng vận tốc cắt. Khi tăng tốc độ cắt, sức kháng cắt dư của đất không thay đổi (sức kháng cắt dư của đất không phụ thuộc vào tốc độ cắt) (không ảnh hưởng); Khi tăng tốc độ cắt, sức kháng cắt dư của đất giảm (ảnh hưởng giảm); Khi tăng tốc độ cắt, sức kháng cắt dư của đất tăng (ảnh hưởng tăng). Tika và nnk. (1996) cũng đã chỉ ra rằng phương thức chuyển động của các hạt đất trong đới cắt ở trạng thái dư có ảnh hưởng đến ứng xử của sức kháng cắt dư ở các tốc độ cắt khác nhau. Đối với phương thức chuyển động rời, sức kháng cắt dư có thể không phụ thuộc hoặc giảm khi tăng tốc độ cắt và mức độ ảnh hưởng phụ thuộc vào áp lực cắt. Đối với phương thức chuyển động trượt, sức kháng cắt dư có thể tăng hoặc giảm khi tăng tốc độ cắt. Đối với phương thức chuyển động trung gian, sức kháng cắt dư có thể giảm khi tăng tốc độ cắt. Có thể thấy, tốc độ cắt có thể làm tăng, giảm hoặc không ảnh hưởng đến sức kháng cắt dư của đất và với mỗi đất khác nhau, ảnh hưởng của tốc độ cắt đến sức kháng cắt dư là khác nhau. Trong đó, có thể thấy sức kháng cắt dư của nhiều loại đất không phụ thuộc vào tốc độ cắt nhỏ hơn 0.05 mm/min (Duong và Suzuki, 2018).

#### b. Áp lực cắt

Kết quả nghiên cứu của nhiều nghiên cứu trước về ảnh hưởng của áp lực cắt đến sức kháng cắt dư cho thấy sức kháng cắt dư của đất dính giảm khi áp lực cắt tăng (LaGatta, 1970; Bishop và nnk., 1971; Townsend và Gilbert, 1976; Gibo và nnk., 1987; Suzuki và nnk., 2000; Dewoolkar và Huzjak, 2005; Suzuki và nnk., 2007; Li và nnk., 2013; Xu và nnk., 2018). Tuy nhiên, khi áp lực cắt lớn hơn 100-200 kpa, ảnh hưởng của áp lực cắt tới sức kháng cắt dư của đất là không đáng kể. Đối với đất rời, áp lực cắt ít ảnh hưởng tới sức kháng cắt dư, do đất rời chứa ít các hạt có hình dạng dẹt (Hung và Morgenstern, 1984). Sự giảm sức kháng cắt dư của đất khi tăng áp lực cắt là do áp lực cắt càng lớn, các hạt đất trong đới cắt càng dễ tái sắp xếp và nằm song song với đới cắt dẫn tới làm giảm sức kháng cắt dư.

### 3. Ứng dụng

Sức kháng cắt dư của đất chủ yếu được sử dụng trong việc đánh giá, dự báo ổn định của các khối trượt đã xảy ra dịch chuyển lớn (trượt cổ). Nói cách khác, sức kháng cắt dư có nghĩa lớn trong việc đánh giá ổn định của các khối trượt tái hoạt động. Khối trượt có thể trải qua các giai đoạn khác nhau gồm: trượt lần đầu, tạm dừng hoạt động và tái hoạt động (trượt lần 2) (Hình 4).



Hình 4. Các giai đoạn trượt (Cruden and Varnes, 1996)

Các kết quả thí nghiệm trong phòng xác định sức kháng cắt dư cho thấy lực dính kết dư của đất có thể khác 0. Điều này xảy ra do sự ảnh hưởng của áp lực cắt đến sức kháng cắt dư. Tuy nhiên, giá trị lực dính kết dư thường không lớn (Skempton, 1985). Vì vậy, Stark và nnk. (2005) đã đề nghị rằng khi phân tích ổn định mái dốc ở trạng thái dư, giá trị lực dính kết nên lấy bằng 0, trừ trường hợp kết quả phân tích ngược cho giá trị lực dính kết dư khác 0. Trong thực tế, nhiều trường hợp mặc dù không xảy ra dịch chuyển lớn nhưng sức kháng cắt của đất gần tương đương với sức kháng cắt dư. Ví dụ như trong các đới đứt gãy, khe nứt hay ranh giới giữa các lớp trầm tích. Trong những trường hợp này, sức kháng cắt dư của đất nên được sử dụng để phân tích, đánh giá ổn định mái dốc. Ngoài ra, trong một số trường hợp như khối đất đắp bị phá hủy (chưa xảy ra dịch chuyển), các mái dốc cầu tạo bằng đất sét cứng quá cô kết, có nhiều nứt nẻ thì sức kháng cắt dư của đất cũng nên được sử dụng.

Sức kháng cắt ở trạng thái dư có thể tăng sau một thời gian do quá trình tái cô kết, gọi là sự phục hồi sức kháng cắt. Tuy nhiên, nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng, sự phục hồi sức kháng cắt dư xảy ra chủ yếu đối với trượt nông (độ sâu nhỏ hơn 5-10 m) và nó giảm về giá trị dư sau một khoảng chuyển vị rất nhỏ, một vài milimeters (Stark và Hussain, 2010). Chính vì vậy, sự phục hồi sức kháng cắt ở trạng thái dư ít có ý nghĩa trong phân tích ổn định trượt tái hoạt động.

### 4. Kết luận

Dựa trên việc phân tích, đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến sức kháng cắt dư và ứng dụng, một số kết luận được rút ra như sau:

Sức kháng cắt dư của đất phụ thuộc nhiều vào các yếu tố thuộc bản chất của đất như kích thước, hình dạng hạt, thành phần khoáng vật, đặc tính dẻo, và thành phần hóa học của nước lỗ rỗng. Theo đó, sức kháng cắt dư giảm khi hàm lượng hạt sét và đặc tính chảy dẻo tăng, đặc biệt, khi hàm lượng hạt sét tăng đến 50%, độ ẩm giới hạn chảy tăng đến 150%, và chỉ số dẻo tăng đến 110%. Khi lớn hơn các giá trị này, sức kháng cắt dư của đất giảm không đáng kể. Ngược lại, sức kháng cắt dư tăng khi hàm lượng nhóm hạt cát tăng, đặc biệt khi hàm lượng nhóm hạt cát lớn hơn 40%. Trong các loại khoáng vật sét, khoáng vật smectite có ảnh hưởng lớn nhất tới sức kháng cắt dư của đất. Khi hàm lượng khoáng vật smectite trong đất lớn hơn từ 30-50%, sức kháng cắt dư của đất rất nhỏ. Thành phần hóa học ít nhiều ảnh hưởng đến sức kháng cắt dư của đất, đặc biệt là sức kháng cắt dư của đất chứa hàm lượng smectite cao.

Sức kháng cắt dư còn phụ thuộc vào các yếu tố của điều kiện thí nghiệm như tốc độ cắt, áp lực cắt. Theo đó, sức kháng cắt dư của đất giảm khi áp lực cắt tăng, đặc biệt ở cấp áp lực nhỏ hơn 100-200 kPa. Đối với tốc độ cắt, ảnh hưởng của nó và các nguyên nhân gây ra ảnh hưởng phụ thuộc nhiều vào khoảng tốc độ cắt thí nghiệm, loại đất, quy trình thí nghiệm và là vấn đề cần được làm sáng tỏ hơn nữa.

Sức kháng cắt dư của đất không chỉ liên quan đến các khối trượt tái hoạt động sau khi đã xảy ra dịch chuyển lớn mà còn liên quan đến các bề mặt không liên tục trong đất đá, các khối đất đắp bị phá hủy, các mái dốc cầu tạo bằng đất cứng quá cô kết. Sự phục hồi sức kháng cắt ở trạng thái dư là không đáng kể. Vì vậy, sức kháng cắt phục hồi ít có ý nghĩa trong tính toán ổn định mái dốc ở trạng thái dư.

### Lời cảm ơn

Nghiên cứu được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 105.08-2019.315.

### Tài liệu tham khảo

Al-Dabbagh, T.H., 1986. A study of residual shear strength of Namurian shale in respect of slopes in north Derbyshire. (PhD Thesis). University of Sheffield.

Bishop, A.W., Green, G.E., Garga, V.K., Andresen, A., Brown, J.D., 1971. A new ring shear apparatus and its application to the measurement of residual strength. *Geotechnique* 21, 273-328.

Bromhead, E. N., 1979. A simple ring shear apparatus. *Ground Engineering*, 12(5), 40-44.

- Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996. Landslides: investigation and mitigation. Chapter 3-Landslide types and processes. Transportation research board special report.
- Dewoolkar, M.M., Huzjak, R.J., 2005. Drained residual shear strength of some claystones from Front Range, Colorado. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 131, 1543-1551.
- Di Maio, C., Santoli, L., Schiavone, P., 2004. Volume change behaviour of clays: the influence of mineral composition, pore fluid composition and stress state. *Mechanics of materials* 36, 435-451.
- Duong, N.T., Suzuki, M., Van Hai, N., 2018. Rate and acceleration effects on residual strength of kaolin and kaolin-bentonite mixtures in ring shearing. *Soils and foundations* 58, 1153-1172.
- Gibo, S., Egashira, K., Ohtsubo, M., 1987. Residual strength of smectite-dominated soils from the Kamenose landslide in Japan. *Canadian Geotechnical Journal* 24, 456-462.
- Gratchev, I., Sassa, K., Fukuoka, H., 2005. The shear strength of clayey soils from reactivated landslides. *Annual of Disaster Prevention Research Institute* 431-438.
- Habibbeygi, F., Nikraz, H., 2018. Effect of shear rate on the residual shear strength of pre-sheared clays. *Cogent Geoscience* 4, 1453989.
- Hunger, O., Morgenstern, N.R., 1984. High velocity ring shear tests on sand. *Geotech.* 34, 415-421.
- LaGatta, D.P., 1970. Residual strength of clay and clay-shales by rotation shear tests. *Harvard Soil Mechanics Series No. 86*, Harvard University, Cambridge, Massachusetts.
- Lemos, L.J.L., Coelho, P., 1991. Displacements of slopes under earthquake loading. *Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, Rolla, MO. Balkema, Rotterdam, 1-6.
- Li, Y., Chan, L.S., Yeung, A.T., Xiang, X., 2013. Effects of test conditions on shear behaviour of composite soil. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering* 166, 310-320.
- Lian, B., Peng, J., Wang, X., Huang, Q., 2018. Influence of shearing rate on the residual strength characteristic of three landslides soils in loess area. *Natural Hazards and Earth System Sci. Dis.* 1-24.
- Lupini, J.F., Skinner, A.E., Vaughan, P.R., 2009. The drained residual strength of cohesive soils, in: *Selected Papers on Geotechnical Engineering by PR Vaughan*. Thomas Telford Publishing, pp. 88-120.
- Maio, C.D., Fenellif, G.B., 1994. Residual strength of kaolin and bentonite: the influence of their constituent pore fluid. *Geotechnique* 44, 217-226.
- Mesri, G., Cepeda-Diaz, A.F., 1986. Residual shear strength of clays and shales. *Geotech.* 36, 269-274.
- Moore, R., 1991. The chemical and mineralogical controls upon the residual strength of pure and natural clays. *Geotechnique* 41, 35-47.
- Newmark, N.M., 1965. Effects of earthquakes on dams and embankments. *Géotechnique* 15(2), 139-159.
- Scaringi, G., Di Maio, C., 2014. Residual Shear Strength of Clayey Soils: the influence of displacement rate, in: *GC Chiorean (Ed.), Proc. 2nd Int. PhD Conf. Civ. Eng. & Arch.* pp. 325-332.
- Skempton, A.W., 1985. Residual strength of clays in landslides, folded strata and the laboratory. *Geotechnique* 35, 3-18.
- Skempton, A.W., 1970. First-time slides in over-consolidated clays. *Geotechnique* 20, 320-324.
- Skempton, A.W., 1964. Long-term stability of clay slopes. *Geotechnique* 14, 77-102.
- Skempton, A.W., Leadbeater, A.D., Chandler, R.J., 1989. The Mam Tor landslide, North Derbyshire. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences* 329, 503-547.
- Stark, T.D., Choi, H., McCone, S., 2005. Drained shear strength parameters for analysis of landslides. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 131, 575-588.
- Stark, T.D., Eid, H.T., 1994. Drained residual strength of cohesive soils. *Journal of Geotechnical Engineering* 120, 856-871.
- Stark, T.D., Hussain, M., 2010. Drained residual strength for landslides, in: *GeoFlorida 2010: Advances in Analysis, Modeling & Design*. pp. 3217-3226.
- Suzuki, K., Usui, H., Sasai, T., Kojima, A., Nozu, M., Nguyen, H.T., 2007. Cement deep mixing applied to soft clay in Mekong Delta, in: *Proceedings of the Sri Lankan Geotechnical Society's First Conference on Soil and Rock Engineering*, Colombo.
- Suzuki, M., Duong, N.T., 2018. Residual shear strength of soil and its shear displacement rate dependency: An overview. *The 4<sup>th</sup> International conference on Geological and Geotechnical Engineering in Response to Climate Change and Sustainable Development of Infrastructure*, Vietgeo 2018, pp. 233-245.
- Suzuki, M., Tsuzuki, S., Yamamoto, T., 2007. Residual strength characteristics of naturally and artificially cemented clays in reversal direct box shear test. *Soils and foundations* 47, 1029-1044.
- Suzuki, M., Tsuzuki, S., Yamamoto, T., 2005. Physical and chemical index properties of residual strength of various soils. *Memoirs Fac. Engineering Yamaguchi University* 56, 1-11.

- Suzuki, M., Van Hai, N., Yamamoto, T., 2017. Ring shear characteristics of discontinuous plane. *Soils and Foundations* 57, 1-22.
- Suzuki, M., Yamamoto, T., Sasanishi, T., Sugawara, M., 2000. Residual strength characteristics of pure clay minerals prepared with different salinity. *Memoirs of the Faculty of Engineering, Yamaguchi University* 54, 11-15.
- Suzuki, M., Yamamoto, T., Tanikawa, K., Fukuda, J., Hisanaga, K., 2002. Variation in residual strength of clay with shearing speed. *Yamaguchi Daigaku Kogakubu Kenkyu Hokoku (Memoirs of the Faculty of Engineering, Yamaguchi University)* 50, 45-49.
- Tika, T.E., Vaughan, P.R., Lemos, L., 1996. Fast shearing of pre-existing shear zones in soil. *Geotechnique* 46, 197-233.
- Tiwari, B., Marui, H., 2003. Estimation of residual shear strength for bentonite-kaolin-Toyouura sand mixture. *Journal of the Japan Landslide Society* 40, 124-133.
- Tiwari, B., Marui, H., 2002. Influence of clay mineralogy in residual shear strength of soil. *新潟大学積雪地域災害研究センター研究年報* 37-56.
- Townsend, F.C., Gilbert, P.A., 1976. Effects of specimen type on the residual strength of clays and clay shales, in: *Soil Specimen Preparation for Laboratory Testing*. ASTM International.
- Tsiambaos, G., 1991. Correlation of mineralogy and index properties with residual strength of Iraklion marls. *Engineering Geology* 30, 357-369.
- Wang, L., Han, J., Liu, S., Yin, X., 2020a. Variation in Shearing Rate Effect on Residual Strength of Slip Zone Soils Due to Test Conditions. *Geotechnical and Geological Engineering* 1-13.
- Wang, L., Han, J., Yin, X., Liu, S., 2020b. Effect of moisture content and shearing speed on shear zone structure in fine-grained soils at large displacement. *Arabian Journal of Geosciences* 13, 1-11.
- Wang, Y., Cong, L., 2019. Effects of water content and shearing rate on residual shear stress. *Arabian Journal for Science and Engineering* 44, 8915-8929.
- Xu, C., Wang, X., Lu, X., Dai, F., Jiao, S., 2018. Experimental study of residual strength and the index of shear strength characteristics of clay soil. *Engineering Geology* 233, 183-190.

## ABSTRACT

### Residual shear strength of soil: affecting factors and application

Nguyen Thanh Duong<sup>1</sup>, Pham Thi Ngoc Ha<sup>1</sup>, Tran Thi Lan Huong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Hanoi University of Mining and Geology*

<sup>2</sup>*Vietnam National Construction Consultants Corporation (VNCC)*

Residual shear strength of soil is one of the important strength parameters for the analysis, assessment, and prediction of stability of reactivation landslides. The main purpose of this paper is to evaluate the factors affecting the residual strength of soil and application in geotechnical engineering. The results of review research showed that the residual strength of the soil decreased drastically when the clay particle content increased to 50%, the liquid limit increased to 150% and the plasticity index increased to 110%. By contrast, the residual shear strength of the soil increases sharply when the sand content increases to more than 40%. Regarding clay minerals, the smectite mineral has the greatest influence on the residual shear strength of the soil. When the smectite content in the soil is greater than 30-50%, the residual shear strength is very small and almost unchanged. In addition, the residual shear strength also depends on testing conditions such as shear rates, normal stress. It decreases with increasing normal stress, especially at stress of less than 100-200 kPa. Among the above factors, the effect of shear rates depends on many factors such as soil type, range of shear rates, experimental procedure and it should be further studied. In terms of application, the residual shear strength of the soil is not only related to the reactivated sliding blocks after a large shear displacement, but also to the discontinuous surfaces in the soil, the embankment failure, hard and stiff soil slopes.

**Keywords:** Residual shear strength; intrinsic soil properties; testing conditions; application.