

ẢNH HƯỞNG CỦA ỨNG SUẤT NGANG TRONG THÍ NGHIỆM NÉN BA TRỤC ĐẾN CÁCH ỨNG XỬ CỦA VẬT LIỆU DẠNG HẠT MẪU

ThS. LƯƠNG NGỌC TỰ
KS. DOÃN MINH TIẾN
Viện KHCN Xây dựng

Tóm tắt: Trong cơ học đất, chúng ta đã có những kết quả về cách ứng xử cơ học của các loại hạt có kích thước và hình dạng không đều nhau. Các đường cong cơ học đặc trưng cho các hạt này gần như là những đường cong trơn và ma sát trên bề mặt tiếp xúc của các hạt này được coi là ổn định. Tuy nhiên, khi thay thế các hạt này bằng các hạt có kích thước và hình dạng đều nhau (vật liệu mẫu) thì các đường cong cơ học này không còn trơn và ma sát cũng không còn ổn định. Bài báo phân tích sự trượt bất ổn định của vật liệu dạng hạt trong điều kiện bão hòa nước chịu nén có thoát nước.

Từ khóa: đường cong cơ học; ma sát; bất ổn định; vật liệu dạng hạt mẫu.

1. Mở đầu

Việc hiểu rõ cách ứng xử của vật liệu dạng hạt lý tưởng (các hạt bi thủy tinh) và cơ chế ma sát do trượt bất ổn định của chúng, chúng ta có thể giải thích về cơ chế của một số hiện tượng trong tự nhiên (chẳng hạn như động đất, tuyết lở, đất lở,...). Tác giả đã thực hiện một chuỗi thí nghiệm nén 3 trục bão hòa có thoát nước tại phòng thí nghiệm LGM (Laboratoire Géomatériaux- ENTPE de Lyon- France), sau đó tiến hành phân tích các kết quả thu được. Tất cả các thí nghiệm đều được thực hiện chủ yếu trên mẫu hình lăng trụ kích thước 70x70 cm, cấu tạo từ các hạt bi thủy tinh tròn đường kính $d=1.5\text{mm}$ (hạt lý tưởng) được phóng to như hình vẽ 2b khi quan sát trên kính hiển vi, tại các áp lực buồng $\sigma_3=50; 100; 200; 400\text{ kPa}$.

Những đặc trưng trong cách ứng xử của vật liệu dạng hạt lý tưởng được mô tả qua 4 đại lượng chính có sự liên quan chặt chẽ đến nhau. Đó là:

- Biên độ của độ lệch ứng suất: Δq (kPa);
- Đoạn biến dạng dọc trục tương ứng giữa hai lần sụt liên tiếp của độ lệch ứng suất: $\Delta \varepsilon_1$ (%);
- Hiệu áp lực nước lỗ rỗng: Δu (kPa);
- Biến dạng thể tích ε_v (%).

2. Phân tích kết quả thí nghiệm

a. Kí hiệu

Độ lệch ứng suất: $q = \sigma_1 - \sigma_3 = \sigma'_1 - \sigma'_3$

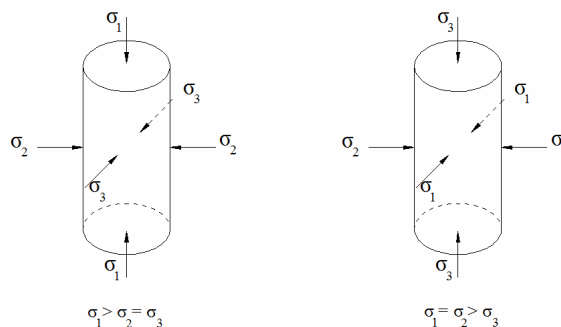
Ứng suất trung bình: $p = (\sigma_1 + 2\sigma_3) / 3$

Ứng suất hữu hiệu: $p' = p - u$ ($u = u_0 - \Delta u$)

Hiệu áp lực nước lỗ rỗng: Δu

Tỉ số ứng suất: $\eta = q / p'$

Biến dạng dọc trục: ε_1

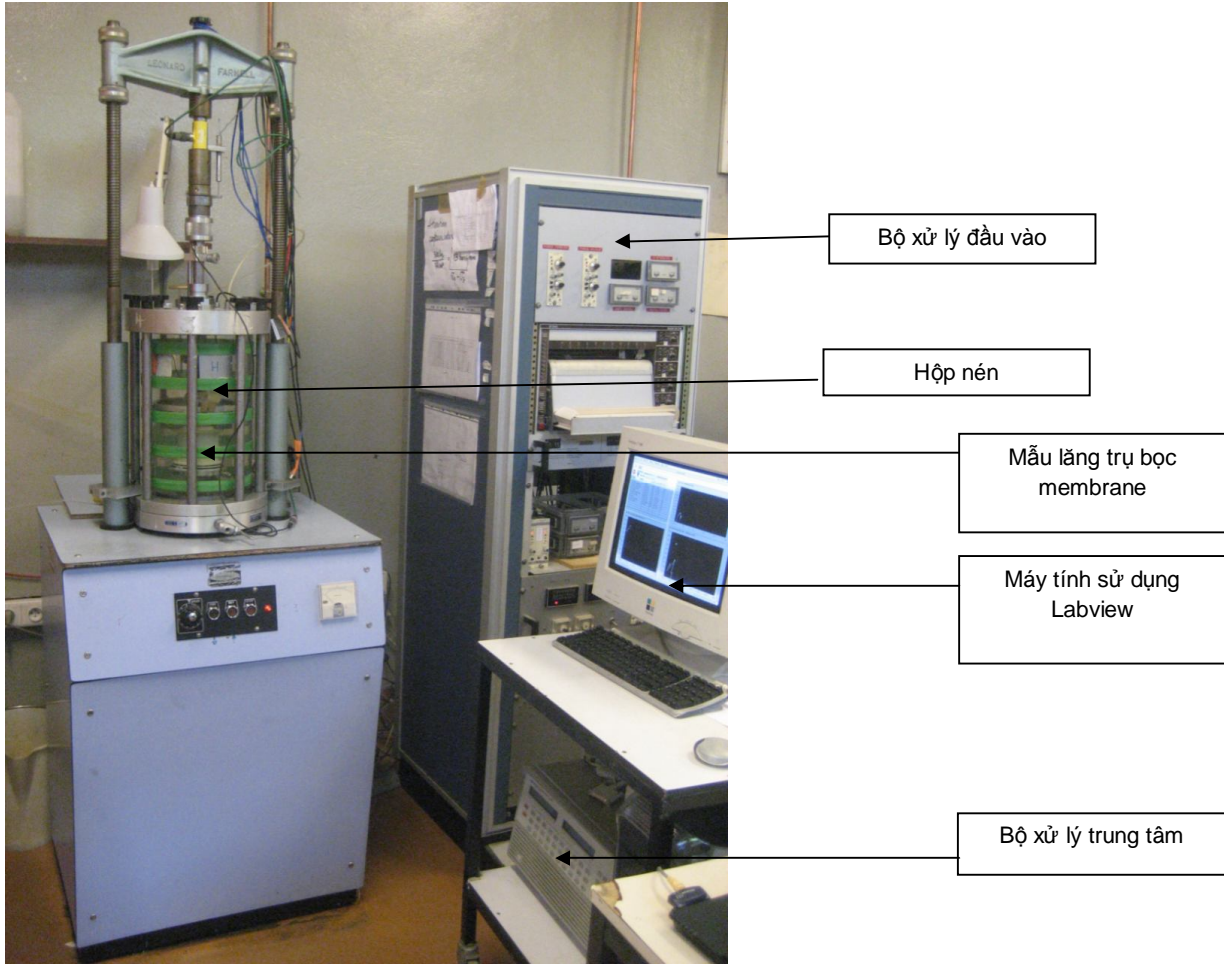


Hình 1. Ứng suất tác dụng vào mẫu thí nghiệm

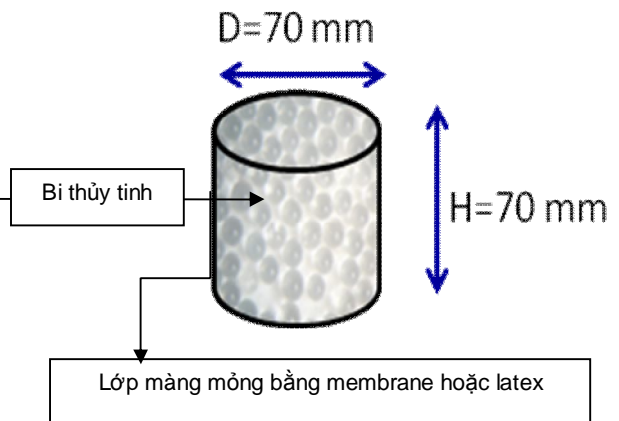
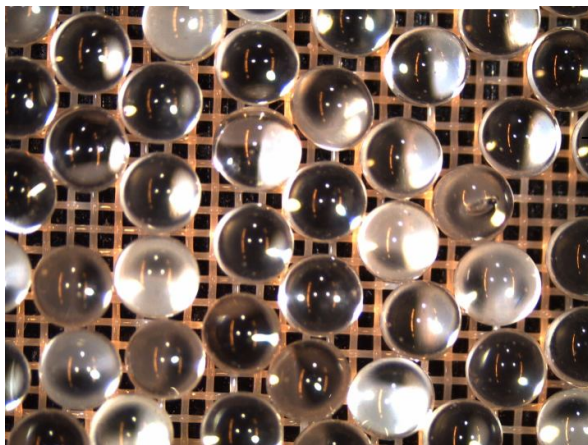
b. Bố trí thí nghiệm

Máy nén 3 trục gồm một bình áp lực kín, một trục theo phương thẳng đứng, hệ bão hòa, hệ điều khiển và trung tâm xử lý dữ liệu đầu ra. Bình áp lực kín cho phép tác dụng áp lực theo phương ngang σ_3 vào mẫu lăng trụ thông qua áp lực tĩnh của nước ép vào trong bình. Trục đứng được điều khiển để tác dụng lên phần đầu của mẫu lăng trụ ứng suất dọc trục σ_1 với vận tốc không đổi 0.2mm/phút. Hệ bão hòa gồm một bình chứa CO₂ nhằm mục đích đưa CO₂ vào mẫu thử để đẩy không khí ra khỏi mẫu thử. Sau đó nước đi qua mẫu thử sẽ hòa

tan hoàn toàn CO₂ này để đạt đến trạng thái bão hòa. Chúng ta có thể tính độ bão hòa thông qua hệ số Skempton B: $\Delta u = B [\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_3)]$. Trong trường hợp áp lực tác dụng là đẳng hướng nên $\Delta\sigma_1 = \Delta\sigma_3$ và $A=0 \Rightarrow \Delta u = B.\Delta\sigma_3 \Rightarrow B$.

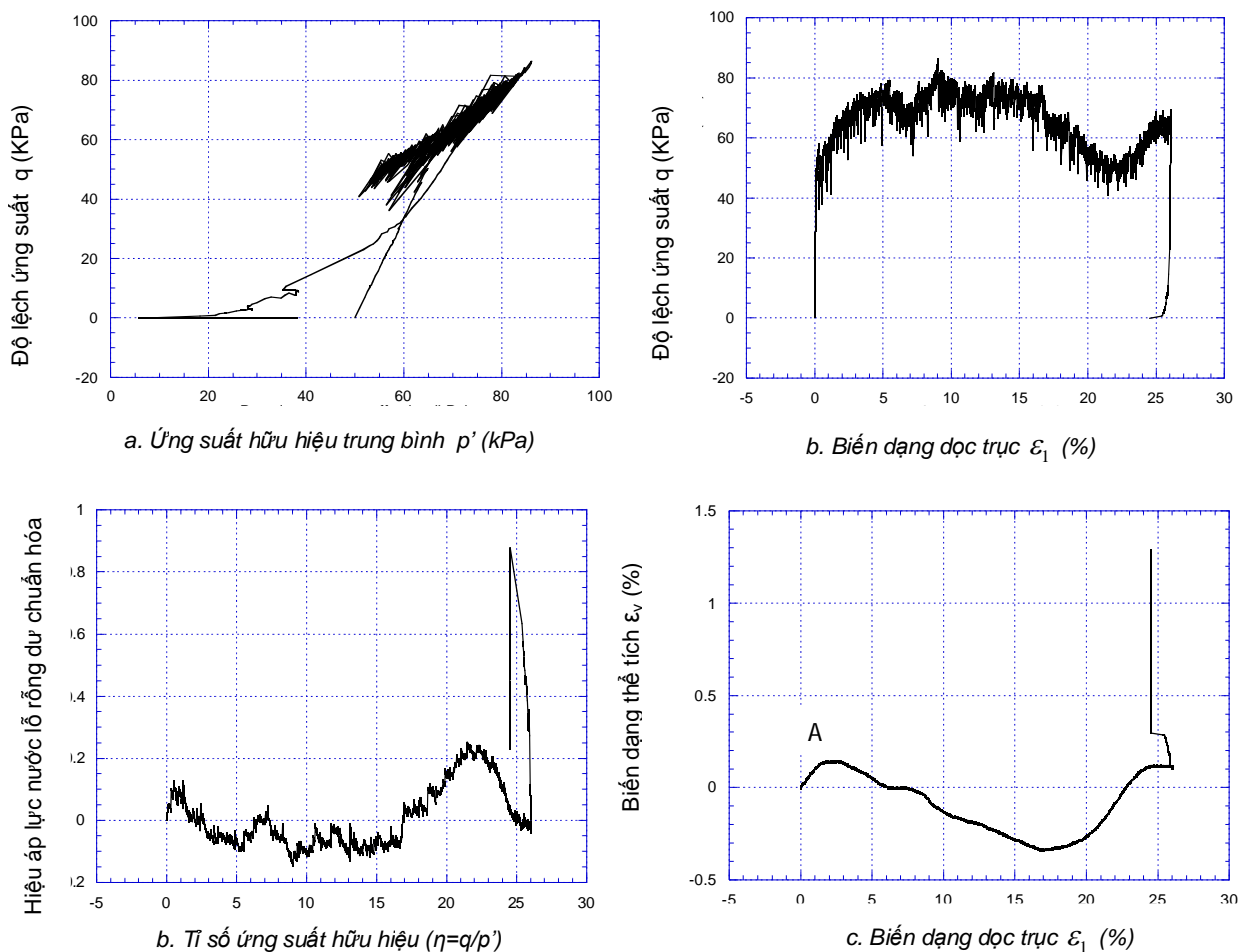


Hình 2. Bố trí thí nghiệm



c. Phân tích thí nghiệm

Chúng ta phân tích kết quả thí nghiệm nén 3 trục ở điều kiện bão hòa và có thoát nước. Mẫu thí nghiệm được chế tạo bằng phương pháp “nén-ẩm”(sous-compaction humide). Một chuỗi thí nghiệm nén thoát nước được thực hiện với máy nén 3 trục tại các áp lực theo phương ngang σ_3 khác nhau. Ta xét trường hợp điển hình $\sigma_3 = 50$ kPa. Sau khi tính toán trên Matlab, ta có đồ thị và một số kết quả sau:



Hình 3. Các đường cong cơ học đặc trưng trong thí nghiệm nén 3 trục

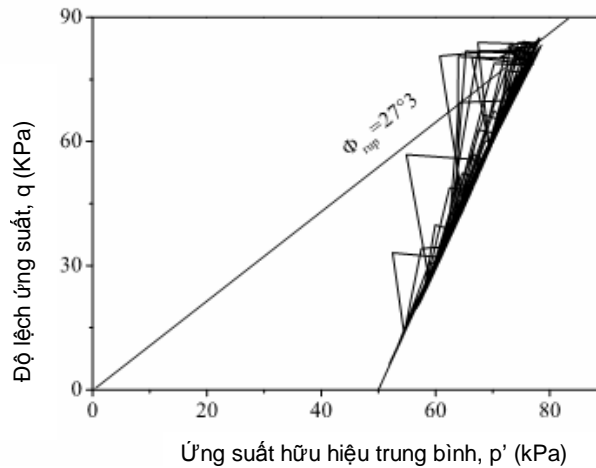
Hình 3b biểu diễn rất nhiều stick-slip không đều nhau trong mặt phẳng độ lệch ứng suất q - biến dạng dọc trục ε_1 . Sự mất ổn định của stick-slip kéo dài trên một khoảng lớn của biến dạng từ stick-slip đầu tiên tại biến dạng dọc trục $\varepsilon_1 = 0.0868\%$ cho đến những stick-slip tại biến dạng lớn ($\varepsilon_1 > 2\%$). Ở đây chúng ta có tất cả 385 stick-slip trong đó có 53 stick-slip trung bình ($3 \text{ kPa} < \text{hiệu độ lệch ứng suất của pha "slip"} < 10 \text{ kPa}$) và 332 stick-slip nhỏ (hiệu độ lệch ứng suất của pha "slip" $\leq 3 \text{ kPa}$). Giá trị lớn nhất của độ lệch ứng suất là $q_{pic} = 86.34 \text{ kPa}$ tại biến dạng dọc trục $\varepsilon_1 = 9.06\%$ trên đường bao $q - \varepsilon_1$. Giá trị lớn nhất của stick-slip được tìm thấy tại giá trị lớn nhất của biến dạng dọc trục là 9.06% cùng với biên độ của độ lệch ứng suất tương ứng là 21.89 kPa (từ giá trị 58.15 kPa đến 36.26 kPa) và bước nhảy của độ biến dạng dọc trục là 0.0349% .

Trên hình 3a, khi ứng suất hữu hiệu trung bình p' tăng lên thì độ lệch ứng suất q cũng tăng lên, đến một giá trị nào đó của p' thì p' lại giảm dần trong khi q vẫn tiếp tục tăng lên. Sau đó p' giảm đến một mức độ $p' = p_1$ nào đó thì nó không giảm nữa mà tiếp tục tăng lên cùng với độ lệch ứng suất q . Ta gọi điểm nằm trên đường cong ứng suất q - p' tại giá trị p_1 này là điểm chuyển pha. Điểm chuyển pha này cũng chính là điểm A trên hình 3d (chuyển từ trạng thái nở sang trạng thái co ngót). Điểm chuyển pha này tương ứng với góc chuyển pha $\phi_{Tp} = 23^\circ 57'$. Trên biểu đồ q - p' , ta có thể tính được góc phá hoại của mẫu thí nghiệm $\phi_{rup} = 26^\circ 33'$.

Như vậy, sự tồn tại của những lần sụt q (còn gọi là pha "slip") đã chỉ ra sự mất ổn định tổng thể trong cách ứng xử của vật liệu mẫu. Mối quan hệ giữa áp lực nước lỗ rỗng và biến dạng dọc trục được mô tả trên hình 3c. Ta nhận xét rằng áp lực nước lỗ rỗng tăng nhanh trong khoảng thời gian 2 giây là khoảng thời gian đo giữa hai lần liên tiếp của bộ xử lý trung tâm. Khi mà áp lực nước lỗ rỗng đạt đến một giá trị cực đại thì độ lệch ứng suất sẽ giảm ngay lập tức sau đó.

Trong hình 3a, đường ứng suất xuất hiện bởi sự có mặt của nhiều đường xiên có độ dốc $i = \Delta q / \Delta p' = 3$ và trước khi độ lệch ứng suất bị sụt xuống thì áp lực nước lỗ rỗng xuất hiện. Áp lực nước lỗ rỗng này làm giảm ứng suất biên hiệu quả σ_3 , do đó ứng suất trung bình hữu hiệu giảm đi. Điều này giải thích sự chênh lệch của

đường ứng suất về bên trái như hình 4 sau khi được phóng to lên. Sau đó sự sụt độ lệch ứng suất lại xuất hiện và làm biến mất rất nhanh áp lực nước lỗ rỗng. Do đó, ứng suất biên hữu hiệu lại tăng lên và đường ứng suất lại thành một đoạn thẳng có độ dốc $i = \Delta q / \Delta p' = 3$ như trong cơ học đất đã chứng minh với thí nghiệm nén thoát nước ở trạng thái bão hòa.



Hình 4. Mối liên hệ giữa độ lệch ứng suất và ứng suất hữu hiệu trung bình $q-p'$ trong thí nghiệm nén thoát nước

Các kết quả với trường hợp $\sigma_3 = 100, 200, 400$ kPa được tính toán theo bảng sau:

σ_3	Số lượng SS lớn	Số lượng SS trung bình	Số lượng SS bé	Tổng số lượng SS	1 st SS q (kPa)	1 st SS ϵ_1 (%)	1 st SS ϕ_{1SS} (°)	1 st SS η_{1SS}	q_{pic} (kPa)	Δq_{max} (kPa)	$\Delta \epsilon_1$ max (%)	ϕ_{TP} (°)	ϕ_{rup} (°)
50kPa	0	53	332	385	45.62	0.087	18.7	0.717	86.4	21.9	0.035	23.8	26.5
100kPa	0	239	406	645	106	0.21	20.6	0.796	154.7	35.9	0.011	22.2	25.7
200kPa	4	346	199	549	151.4	0.042	16.1	0.610	308.8	117.6	0.068	23.6	28.0
400kPa	91	95	65	251	430	0.249	20.8	0.791	672	261.6	0.094	24.8	26.5

3. Kết luận

- Hiện tượng stick-slip là hiện tượng mất ổn định tổng thể của độ lệch ứng suất và biến dạng thể tích trong trường hợp có thoát nước;

- Độ dốc của đường ứng suất trong mặt phẳng $q-p'$ với vật liệu dạng hạt lý tưởng $i = \Delta q / \Delta p' = 3$ giống như những kết luận trong cơ học đất;

- Cách ứng xử của vật liệu dạng hạt phụ thuộc vào áp lực hữu hiệu σ_3 theo phương ngang. Khi mà ứng suất này tăng lên, biên độ của độ lệch ứng suất, giá trị đỉnh (cực đại) của độ lệch ứng suất tăng lên. Từ những nghiên cứu này, người ta có thể ứng dụng một số kết quả để nghiên cứu trong địa chấn học.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. ADJEMIAN, F., EVESQUE, P. Experimentale study of stick-slip behaviour. *International Journal for Numerical and Analytical in Geomechanics*, Vol.28, pp.501-530. 2004.
2. DOANH, T., HOANG, M.T., ROUX, J.N., DEQUEKER, C. On the stick-slip behaviour of idealized granular materials in triaxial drained compression, 2011.
3. HOANG, M.T. Frottements saccades du matériau granulaire modèle. *Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon*, 2011.
4. ALSHIBI, K.A., ROUSSEL, L.E. Experimental investigation of stick-slip behaviour in granular materials. *In. J. Numer. Anal. Meth. Geomech*, 30(14):1391-1407, 2006.