Journal of Mining and Earth Sciences

Website: http://jmes.humg.edu.vn

Study on some fundamental factors affecting the static liquefaction of sand

Kien Trung Nguyen [1,*], Thang Kim Nguyen [2], Ha Quang Ta [3], Huy Quang Dang [4]

[1] *Geotechnical Engineering Department, University of Transport Technology, Vietnam*
[2] *Construction Activities Management Agency., Ministry of Construction, Vietnam*
[3] *Vietnam Construction Technology - Economic Consulting Joint Stock Company, Vietnam*
[4] *Faculty of Civil Engineering, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam*

ARTICLEINFO

Article history:
Received 17th Oct. 2020
Revised 28th Nov. 2020
Accepted 31st Dec. 2020

Keywords:
Confining pressure,
Relative density,
Static liquefaction,
Triaxial test.

ABSTRACT

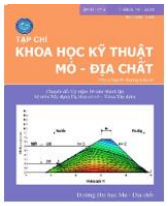
Static liquefaction of soil is a hazard that has caused a lot of damage to humans. Therefore, this phenomenon has been studied for a long time over the world, nevertheless, research on this issue in Vietnam is still limited. This paper presents the results of several triaxial tests under undrained conditions to evaluate the influence of some fundamental factors on the static liquefaction of Fontainebleau sand. The results show that the relative density and the confining pressure have a significant influence on the static liquefaction of the sand. When the density of the sand increases, the liquefaction resistance of the sand increases, until a certain limit, the sand changes from liquefaction behavior to dilatancybehavior with a decrease in pore pressure and an increase in mean effective stress. When the test is carried out at different confining pressures, the greater the confining pressure, the higher the liquefaction resistance.

Copyright © 2020 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author
E - mail: kiennt86@utt.edu.vn
DOI: 10.46326/JMES.HTCS2020.06

Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: http://tapchi.humg.edu.vn



Nghiên cứu các yếu tố cơ bản ảnh hưởng đến sự hóa lỏng tĩnh của cát mịn

Nguyễn Trung Kiên [1,*], Nguyễn Kim Thắng [2], Tạ Quang Hà [3], Đặng Quang Huy [4]

[1] *Bộ môn Địa kỹ thuật, Khoa công trình, Trường ĐH Công nghệ GTVT, Việt Nam*
[2] *Cục Quản lý hoạt động xây dựng, Bộ Xây dựng, Việt Nam*
[3] *Công ty cổ phần Tư vấn kinh tế, Kỹ thuật Xây dựng Việt Nam*
[4] *Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mỏ-Địa chất, Việt Nam*

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:
Nhận bài 17/10/2020
Sửa xong 28/11/2020
Chấp nhận đăng 31/12/2020

Từ khóa:
Áp suất buồng nén,
Cát mịn,
Độ chặt,
Hóa lỏng tĩnh,
Thí nghiệm 3 trục.

TÓM TẮT

Hóa lỏng tĩnh của đất là một thảm họa tự nhiên đã gây ra rất nhiều thiệt hại cho con người. Bởi vậy, hiện tượng này đã được nghiên cứu từ khá lâu trên thế giới, tuy nhiên các nghiên cứu của Việt Nam về vấn đề này còn hạn chế. Bài báo phân tích kết quả một số thí nghiệm nén ba trục trong điều kiện không thoát nước nhằm xem xét sự ảnh hưởng của một số yếu tố cơ bản đến sự hóa lỏng tĩnh của cát Fontainebleau, một loại cát mịn được sử dụng phổ biến tại Pháp. Kết quả thí nghiệm cho thấy độ chặt (hay độ rỗng) và áp lực cố kết có ảnh hưởng đáng kể đến sự hóa lỏng tĩnh của cát. Khi độ chặt của cát tăng lên thì cường độ chống hóa lỏng của cát cũng tăng, đến một giới hạn nào đó, cát chuyển từ trạng thái hóa lỏng sang xu hướng nở với sự giảm áp lực nước lỗ rỗng và sự tăng của ứng suất hữu hiệu.Khi Áp lực cố kết càng lớn thì cường độ chống hóa lỏng hay ứng suất đỉnh của cát càng cao.

© 2020 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Hóa lỏng đất là một thảm họa tự nhiên thường gặp trong các trận động đất lớn, khi áp lực nước lỗ rỗng tăng quá nhanh dưới ảnh hưởng của tải trọng dẫn đến áp lực hữu hiệu của đất bằng 0 hoặc rất nhỏ, đất không còn khả năng chịu lực và chảy ra như chất lỏng. Hậu quả của nó để lại thường rất nặng nề với sự phá hủy trên diện rộng nhiều công trình xây dựng của con người. Trận động đất năm 1964 tại Nigata, Nhật Bản (Seed và Idriss, 1967) phá hủy một phần lớn thành phố, hàng trăm ngôi nhà đã bị đổ vỡ hoặc hư hại hoàn toàn. Gần đây hơn, trận động đất tại Indonesia năm 2018 đã đẩy trôi toàn bộ các ngôi làng trong vùng. Ngoài ra, nhiều công trình khác, đặc biệt là đê, đập, hay đảo nhân tạo đã bị sạt lở, lún thậm chí khi không có động đất, hoặc sau động đất một thời gian dài. Thực tế, cụm từ "hóa lỏng" lần đầu được sử dụng bởi (Hazen, 1920) để miêu tả hiện tượng hư hỏng của đập Calaveras do sự hóa lỏng tĩnh gây ra. Rất nhiều các hư hỏng khác, đặc biệt liên quan đến đập ở các vùng mỏ bị hư hỏng do sự hóa lỏng của đất và phế thải mỏ. Mới năm 2019, vụ vỡ đập hồ chứa chất thải tại mỏ quặng sắt Corrego do Feijao, bang Minas Gerais, Brazil đã khiến hàng

[*] *Tác giả liên hệ*
E - mail: kiennt86@utt.edu.vn
DOI: 10.46326/JMES.HTCS2020.06

trăm người chết và mất tích, đồng thời gây ra thảm họa to lớn về môi trường (Rotta và nnk., 2020). Có thể thấy, hóa lỏng tĩnh cũng gây ra những hậu quả thảm khốc không kém gì hóa lỏng động đi kèm cùng động đất.

Nhiều nhà khoa học trên thế giới đã chú ý nghiên cứu vấn đề này. Từ năm 1920, Hazen đã đề cập đến hóa lỏng tĩnh. Tiếp đó, Terzaghi (1956) đã sử dụng cụm từ "hóa lỏng tự sinh" để miêu tả về hiện tượng chuyển trạng thái của cát từ trạng thái rắn sang trạng thái lỏng dưới những tác động tải trọng nhỏ. Nghiên cứu quan trọng đặt nền tảng cho sự xem xét các yếu tố ảnh hưởng đến hỏa lỏng tĩnh của cát phải kể đến công trình của Castro(1969). Trong nghiên cứu đó, tác giả đã chỉ ra rằng độ chặt có ảnh hưởng rất lớn đến cường độ chống hóa lỏng của cát "Banding". Dựa theo nghiên cứu của Castro, nhiều nhóm tác giả khác đã tiến hành tìm hiểu ảnh hưởng của các yếu tố như áp lực buồng nén, áp lực cố kết,... đến hóa lỏng tĩnh của nhiều loại cát khác nhau mà chủ yếu vẫn là ở các nước hay xảy ra động đất như Nhật Bản, Hoa Kỹ, Trung Quốc. Tại các nước khác, khi yêu cầu về độ an toàn công trình ngày càng được chú trọng, nghiên cứu về hóa lỏng đất cũng được quan tâm hơn.

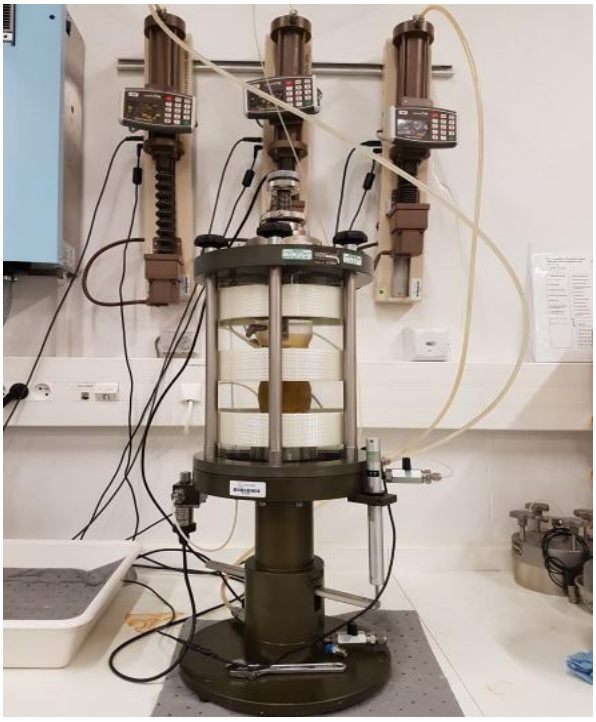
Tại Việt Nam, trong khoảng hai thập kỉ trở lại đây, một số tác giả cũng đã chú ý nghiên cứu vấn đề này. (Trần Đình Hòa và Bùi Mạnh Duy, 2003) tiến hành khảo sát vấn đề hóa lỏng nền và các phương pháp đánh giá hóa lỏng nền công trình chống ngập ở Thành phố Hồ Chí Minh. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng công trình cống Kinh Lộ không bị hóa lỏng dưới tác động của động đất. (Ngô, 2019) nghiên cứu khả năng hóa lỏng của đất nền đê hữu Hồng đoạn qua Hà Nội. Kết quả cho thấy đoạn đê này có khả năng bị hóa lỏng dưới tác động của động đất và một số tải trọng cụ thể. Những nghiên cứu này mới chỉ dừng lại ở các phương pháp khảo sát hóa lỏng đất dựa trên thí nghiệm hiện trường SPT. Các thí nghiệm trong phòng để đánh giá chuyên sâu ảnh hưởng của các yếu tố đến hóa lỏng tĩnh vẫn chưa được thực hiện.

Bài báo trình bày một số kết quả thí nghiệm nén ba trục của cát Fontainebleau, từ đó nêu rõ ảnh hưởng của các yếu tố cơ bản như độ chặt, áp lực cố kết đến sự hóa lỏng tĩnh của cát.

2. Thí nghiệm nén ba trục

2.1. Thiết bị thí nghiệm

Thiết bị sử dụng để tiến hành thí nghiệm là hệ thống máy nén ba trục cải tiến dạng Bishop và Wesley chế tạo bởi tập đoàn GDS (Hình 1). Thiết bị này cho phép tiến hành các thí nghiệm ba trục đơn điệu hoặc thí nghiệm nén ba trục tuần hoàn với tần số thấp. Hệ thống thí nghiệm gồm một buồng nén hình trụ trong suốt chịu được áp lực nén tối đa 1700kPa, và ba xy lanh thủy lực, một xy lanh được nối với buồng nén để tạo áp lực buồng (Cell Pressure), một xy lanh được nối với bộ phận chuyển động dọc trục và một xy lanh được nối với mẫu thí nghiệm để kiểm soát áp lực nước lỗ rỗng (áp lực ngược). Các bộ phận này được kết nối với máy tính qua bộ điều khiển trung tâm. Khi tiến hành thí nghiệm, các thông số được thiết lập và kiểm soát từ máy tính. Ngoài ra, còn có một số bộ phận phụ trợ khác như các dụng cụ để tạo mẫu, hệ thống để bão hòa mẫu.



Hình 1. Máy nén ba trục dạng Bishop và Wesley.

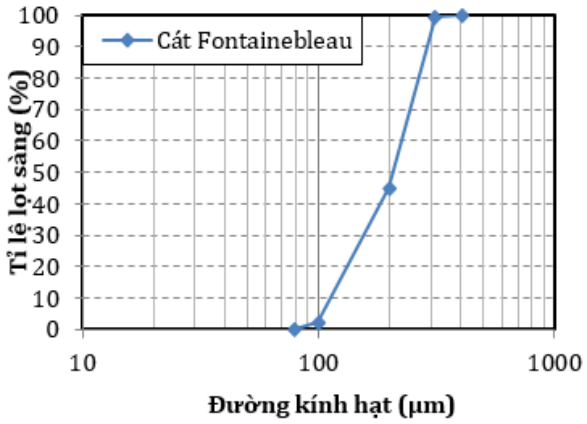
2.2. Vật liệu thí nghiệm

Vật liệu thí nghiệm là cát Fontainebleau, một loại cát mịn, hạt tròn và đồng đều được phân bố rộng rãi ở Pháp. Loại cát này cũng được sử dụng để nghiên cứu trong rất nhiều phòng thí nghiệm. Cát Fontainebleau có cỡ hạt nằm trong khoảng 80÷400 μm với cỡ hạt trung bình (d50) 0,21 mm

và hệ số đồng nhất 1,96 (Hình 2). Độ rỗng lớn nhất và nhỏ nhất của cát tương ứng là 0,89 và 0,83 (Bảng 1).

Bảng 1. Đặc trưng của cát Fontainebleau.

d_{50} (µm)	C_c	C_u	e_{max}	e_{min}
211	0,99	1,96	0,89	0,63



Hình 2. Biểu đồ thành phần hạt cát Fontainebleau.

2.3. Trình tự thí nghiệm

Để tiến hành thí nghiệm, trước hết ta chuẩn bị mẫu thí nghiệm hình trụ với đường kính 50 mm, chiều cao 100 mm. Mẫu được chế tạo bởi phương pháp đầm ẩm, phương pháp này cho phép tạo mẫu với độ chặt tùy ý, từ những mẫu rất đặc đến nhưng mẫu rất xốp, thậm chí có thể tạo ra những mẫu có độ rỗng lớn hơn e_{max}. Phương pháp đầm ẩm có nhược điểm là mẫu thí nghiệm không đồng nhất so với các phương pháp lắng cát trong nước hoặc phương pháp rót cát khô (Ishihara, 1993; Vaid, 1999), tuy vậy, nhược điểm này có thể được giảm bớt nhờ kĩ thuật chia lớp khi đầm.

Để chuẩn bị mẫu, trước hết ta tính toán lượng cát cần thiết để chế tạo mẫu, tiếp đến, trộn đều cát với khoảng 5% nước tinh khiết rồi chia hỗn hợp thành 5 phần bằng nhau và lần lượt rót từng phần vào khuôn, san đều và đầm nhẹ bằng đầm nhựa đường kính 3,5 cm đến khi đạt chiều dày 2 cm. Chiều dày này là hợp lý để chế tạo mẫu được đồng nhất và nó đã được sử dụng bởi rất nhiều các nhà nghiên cứu khác (Benahmed, 2001).

Sau khi tạo mẫu xong, khuôn được tháo ra, tiếp đến ta gắn kín lồng lên bệ máy, cố định mẫu và đổ đầy nước vào trong lồng. Trong bước này, để tránh cho mẫu bị biến dạng, ta có thể dùng bơm hút chân không tạo áp suất khoảng -20 kPa trong mẫu. Khi lồng đầy nước, một áp suất khoảng 20 kPa được thiết lập trong lồng (thông qua piston Cell pressure) để cố định mẫu, lúc ấy bơm hút chân không được gỡ ra và thay vào đó là ống truyền khí CO_2 đi qua mẫu. Khí CO_2 đi từ bên dưới mẫu lên bên trên rồi thoát ra ngoài trong vòng 30 phút sẽ đuổi toàn bộ không khí trong mẫu và thay thế bằng CO_2, khí này tan tốt trong nước nên đảm bảo cho mẫu sẽ được bão hòa hoàn toàn. Kết thúc quá trình này, nước tinh khiết sẽ được truyền qua mẫu tương tự như CO_2 trong vòng 30 phút để thay thế toàn bộ khí trong mẫu. Có thể vẫn tồn tại một lượng nhỏ khí CO_2 còn sót lại trong mẫu thì sẽ tan hoàn toàn vào trong nước dưới một áp suất thích hợp, đảm bảo cho mẫu thí nghiệm bão hòa hoàn toàn. Kết thúc bước này, các dây dẫn ở 2 đầu mẫu thí nghiệm sẽ được kết nối với piston áp lực ngược để điều khiển và đo áp lực nước lỗ rỗng trong mẫu. Các bước tiếp theo sẽ được tiến hành thông qua phần mềm điều khiển GDS trong máy tính. Quá trình bão hòa, cố kết mẫu, tạo mẫu quá cố kết được tiến hành theo như hướng dẫn trong tiêu chuẩn của Pháp NF P 94-074 thông qua 4 bước cơ bản:

1. Bão hòa mẫu (satuaration): Trong quá trình bão hòa mẫu, ta đặt vào buồng nén một áp suất bằng tổng 2/3 áp suất hữu hiệu khi cố kết cộng với áp suất lỗ rỗng trong mẫu với khoảng thời gian hợp lý. Khoảng thời gian này lớn hay nhỏ tùy thuộc vào mẫu, với những mẫu đặc, chắc thời gian này lớn và ngược lại. Với các mẫu trong bài báo này, chỉ cần để thời gian bão hòa từ 180 phút trở lên là đảm bảo. Để đảm bảo khí có thể tan hoàn toàn vào trong nước, áp lực nước lỗ rỗng thường lấy nhỏ nhất là 200 kPa, đất càng cứng thì áp lực nước lỗ rỗng này càng cao. Theo kinh nghiệm, ta thiết lập áp lực nước lỗ rỗng (hay áp lực ngược) bằng 400 kPa để đảm bảo mẫu bão hòa hoàn toàn.

2. Kiểm tra độ bão hòa (*B* check): Chỉ số B hay còn gọi là hệ số Skempton thường được dùng để kiểm tra độ bão hòa của mẫu trong thí nghiệm nén ba trục. Chỉ số này được tính bởi tỷ số độ biến thiên áp lực nước lỗ rỗng với độ biến thiên áp lực trong buồng nén 3 trục. Để tìm được hệ số này ta khóa ống thoát nước trong mẫu đồng thời tăng áp lực buồng lên một lượng nhất định (trong chuỗi thí nghiệm này là tăng thêm 50 kPa) và theo dõi ghi lại sự thay đổi của áp lực nước lỗ rỗng. Kết quả cho thấy trong tất cả các thí nghiệm, hệ số *B* đều lớn hơn 0,95, các mẫu coi như đã bão hòa.

3. Cố kết mẫu (Consolidation): Khi kết thúc quá trình kiểm tra độ bão hòa của mẫu, ta mở van nước lỗ rỗng và thiết lập quá trình cố kết mẫu. Trong giai đoạn này, áp lực buồng nén được tăng lên đến khi đạt ứng suất hữu hiệu trong mẫu. Quá trình cố kết kết thúc khi lượng nước thoát ra khỏi mẫu nhỏ đến một giá trị không đổi và gần bằng 0. Trong chuỗi thí nghiệm này, quá trình cố kết kết thúc khi lượng nước thoát ra nhỏ hơn 5 mm^3 trong vòng 15 phút. Thời gian để hoàn thành quá trình cố kết tùy thuộc vào mẫu thí nghiệm, với các mẫu sét, thời gian có thể lên tới hàng tuần, tuy nhiên với mẫu cát xốp như trong bài báo này thì thời gian đó ngắn hơn rất nhiều, chỉ khoảng vài giờ đồng hồ.

4. Cắt mẫu hay nén mẫu: Quá trình cắt mẫu hay nén mẫu được tiến hành dưới dạng thí nghiệm nén ba trục cổ điển với vận tốc nén dọc trục là 1 mm/phút. Trước khi quá trình nén mẫu bắt đầu, phải đảm bảo rằng piston trên nắp lồng nén đã tiếp xúc với mẫu bởi trong quá trình bão hòa, cố kết kích thước của mẫu đã bị thay đổi và không còn tiếp xúc với nắp lồng nữa. Bằng cách quan sát và đo lại kích thước di chuyển của piston đến khi mẫu tiếp xúc với nắp, ta có thể biết được giá trị độ biến thiên thể tích của mẫu khi cố kết. Tuy nhiên, thức tế cho thấy, mẫu hầu không thay đổi kích thước khi cố kết.

Sau khi kết thúc thí nghiệm, toàn bộ mẫu được đổ cẩn thận vào trong một bát kim loại để xác định độ ẩm của mẫu sau khi thí nghiệm. Vì mẫu đã bão hòa hoàn toàn, từ độ ẩm đó ta có thể xác định được độ rỗng của mẫu sau khi cố kết.

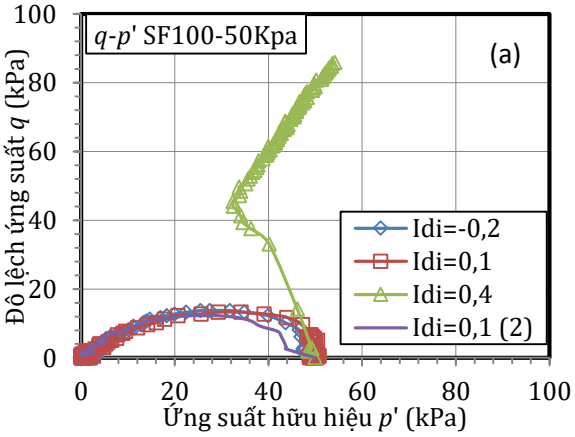
3. Kết quả và thảo luận.

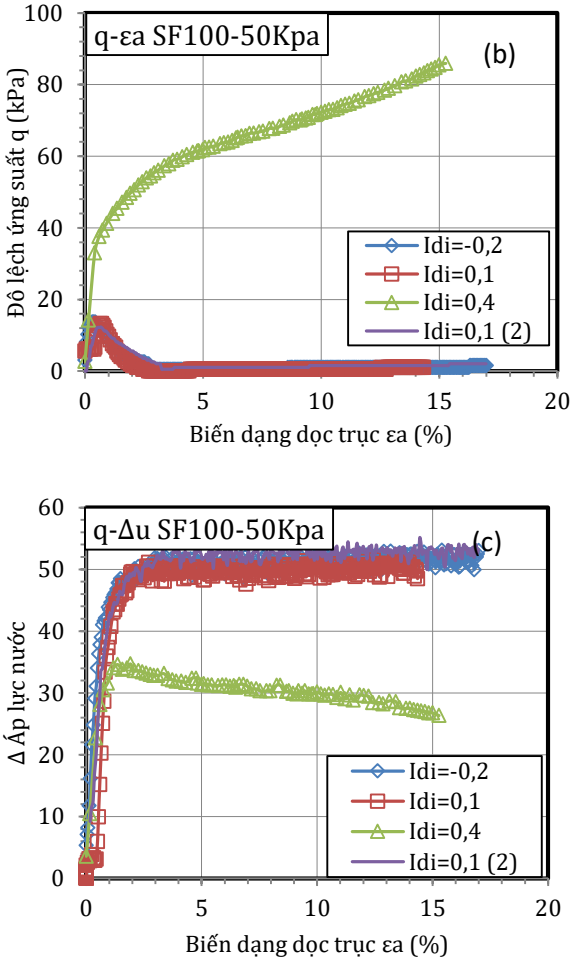
3.1. Ảnh hưởng của độ chặt đến sự hóa lỏng tĩnh của cát

Để nghiên cứu ảnh hưởng của độ chặt đến sự hóa lỏng tĩnh của cát, các tác giả đã tiến hành chuỗi thí nghiệm nén ba trục với các mẫu có độ rỗng khác nhau ở cùng một ứng suất hữu hiệu 50 kPa. Ứng suất hữu hiệu này tương ứng với độ sâu mặt đất khoảng từ 3÷5m, là độ sâu thường xảy ra hóa lỏng đất (Bray và nnk., 2004). Kết quả thí nghiệm cho thấy, với các mẫu có độ rỗng lớn tương ứng độ chặt tương đối ban đầu (Idi) nhỏ *Idi*=-0,2 và *Idi*=0,1, mẫu bị hóa lỏng tĩnh hoàn toàn khi tiến hành thí nghiệm. Trong biểu đồ *q-p'*, sự hóa lỏng tĩnh được đặc trưng bởi đường cong biến thiên của độ lệch ứng suất. Khi mẫu bắt đầu bị nén, độ lệch ứng suất này tăng nhanh với ứng suất hữu hiệu trung bình gần như không thay đổi. Quá trình này diễn ra gần như tức thời, sau đó, ứng suất hữu hiệu giảm dần, độ lệch ứng suất vẫn tiếp tục tăng nhẹ đến khi đạt đỉnh thì cùng với ứng suất hữu hiệu giảm dần về 0. Khi ấy mẫu mất hoàn toàn khả năng chịu lực.

Trong biểu đồ q-ε_a, có thể nhận thấy độ lệch ứng suất của các mẫu bị hóa lỏng đạt giá trị lớn nhất khi biến dạng dọc trục còn rất nhỏ, khoảng 0,3÷0,5% (Hình 3b). Tiếp đó, độ lệch ứng suất giảm dần và đạt giá trị xấp xỉ bằng 0 khi biến dạng dọc trục của mẫu bằng khoảng 3%. Trong suốt quá trình đó, áp lực nước lỗ rỗng tăng liên tục, khi độ lệch ứng suất nhỏ nhất cũng là lúc độ biến thiên áp lực nước lỗ rộng đạt giá trị lớn nhất chính bằng áp lực cố kết của mẫu (Hình 3c). Chú ý rằng, trong chuỗi thí nghiệm này, mẫu có độ chặt tương đối ban đầu(*Idi*) bằng 0,1 được thực hiện 2 lần và mang lại kết quả tương đồng nhau, cho thấy sự tin cậy của kết quả thí nghiệm. Mặt khác, ta cũng có thể nhận thấy, ứng xử của hai thí nghiệm có độ chặt tương đối *Idi*=0,1 này và mẫu *Idi*=-0,2 là tương đối trùng khớp với nhau, ứng suất đỉnh có sự sai lệch rất nhỏ. Điều này thể hiện với các mẫu rất lỏng, sự ứng xử của chúng có thể giống nhau.

Khi độ chặt của mẫu thí nghiệm tăng lên đến *Idi*=0,4, ứng xử của cát Fontainebleau đã thay đổi từ hóa lỏng hoàn toàn sang xu hướng nở với sự biến mất của ứng suất đỉnh. Xu hướng nở còn dẫn đến độ lệch ứng suất và ứng suất hữu hiệu tăng lên, đồng thời sự biến thiên của áp lực nước lỗ rỗng sau khi tăng đến giá trị cực đại thì giảm xuống chứ không ổn định như ở các mẫu bị hóa lỏng hoàn toàn. Nói cách khác, khi độ chặt của mẫu tăng, khả năng hóa lỏng của mẫu giảm đi.

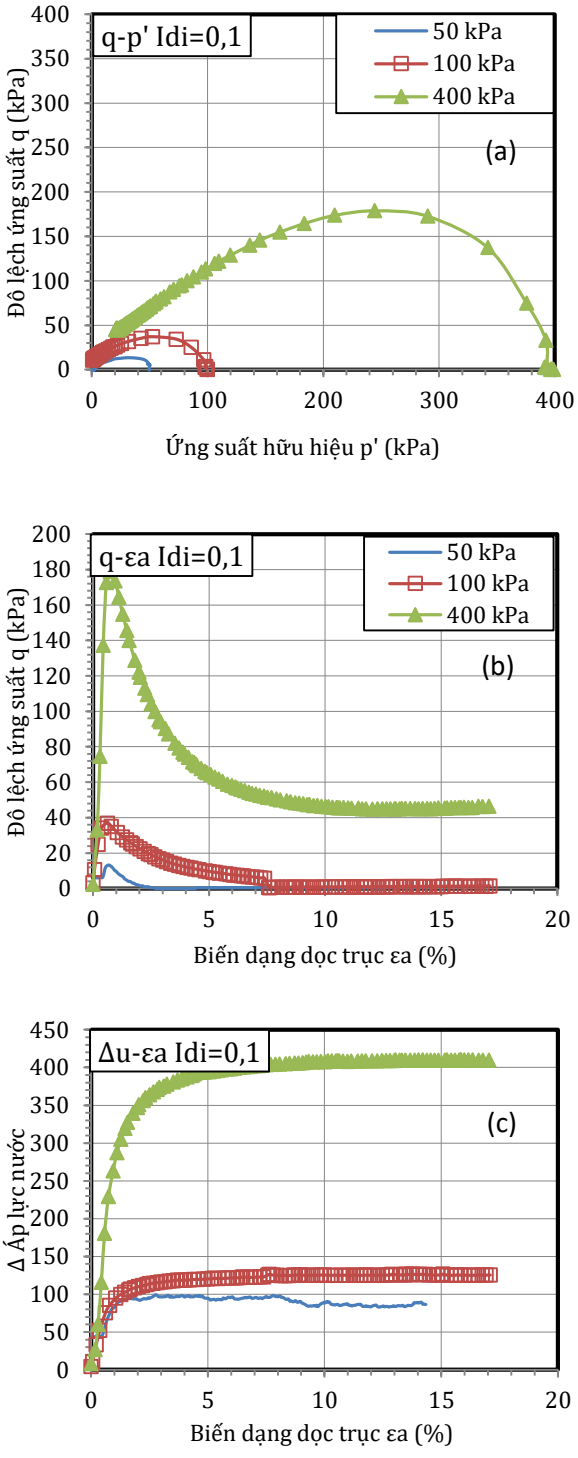




Hình 3. Ảnh hưởng của độ chặt tương đối đến sự hóa lỏng tĩnh của cát Fontainebleau. (a) q-p'; (b) q – ε_a; (c) Δu – ε_a

3.2. Ảnh hưởng của áp lực cố kết đến sự hóa lỏng tĩnh của cát

Sự ảnh hưởng của áp lực cố kết đến sự hóa lỏng tĩnh của cát được nghiên cứu qua chuỗi thí nghiệm với mẫu cát có độ chặt tương đối không đổi ở Idi=0,1 tương ứng với độ rỗng e=0,86 và các áp lực cố kết khác nhau, trong khoảng 50kPa đến 400kPa (Hình 4). Tất cả các mẫu thí nghiệm này đều bị hóa lỏng khi bị nén không thoát nước. Các đường ứng suất có hình dạng giống nhau và đặc trưng cho hóa lỏng tĩnh của cát mịn. Tuy vậy, ứng suất đỉnh từng mẫu tăng tỉ lệ thuận với áp lực cố kết. Khi áp lực cố kết càng lớn thì mẫu càng khó hóa lỏng hơn. Bên cạnh đó, ở hai thí nghiệm với ứng suất cố kết 50kPa và 100kPa, mẫu bị hóa lỏng hoàn toàn và ứng suất dư bằng 0, tuy nhiên ở mẫu thí nghiệm với ứng suất cố kết 400kPa, sau khi thí nghiệm kết thúc, mẫu vẫn còn tồn tại ứng suất dư khoảng 20kPa.



Hình 4. Biểu đồ ảnh hưởng của áp lực cố kết đến sự hóa lỏng tĩnh của cát Fontainebleau. (a) q-p'; (b) q – ε_a; (c) Δu – ε_a

3.3. Thảo luận.

Độ chặt có ảnh hưởng rõ rệt đến sự hóa lỏng tĩnh của cát mịn. Khi độ chặt tăng lên, khả năng kháng hóa lỏng của cát cũng tăng lên, các mẫu thí nghiệm chuyển từ ứng xử hóa lỏng hoàn toàn sang xu hướng nở ra trong thí nghiệm nén ba trục không thoát nước. Tuy vậy, với các mẫu thí nghiệm ở trạng thái ban đầu rất xốp, có độ chặt tương đối nhỏ sự ảnh hưởng này không rõ rệt, các mẫu này có ứng xử gần như trùng khớp nhau. Có thể do các mẫu được chế tạo lúc đầu quá lỏng nên cấu trúc chưa ổn định, trong quá trình tiến hành thí nghiệm, từ bước bão hòa đến khi cố kết, các hạt cát đã sắp xếp lại và đạt đến trạng thái cấu trúc ổn định khi chưa chịu tải. Sự sắp xếp lại này chỉ xảy ra với các mẫu cát lỏng hoặc rất lỏng, khi mẫu được chế tạo đạt đến một độ chặt tương đối nào đó mà bản thân các hạt cát đã có sự tiếp xúc vừa đủ để chịu được các tác động trong quá trình tiến hành thí nghiệm thì các hạt cát không còn bị sắp xếp lại, và giữ nguyên cấu trúc so với lúc ban đầu. Khả năng chịu tải, hay khả năng kháng hóa lỏng của mẫu lúc đó mới thay đổi tùy theo độ chặt của mẫu. Để xác định được ngưỡng độ chặt, cần phải tiến hành thêm nhiều thí nghiệm với các mẫu có độ chặt tương đối khác nhau.Tuy nhiên cũng có thể thấy là ngưỡng độ chặt đó nằm trong khoảng *Idi*=0,1 và *Idi*=0,4.

4. Kết luận.

Các kết quả thí nghiệm trình bày trong bài báo chỉ ra rằng độ chặt tương đối và áp lực cố kết có ảnh hưởng đáng kể đến khả năng hóa lỏng tĩnh của cát mịn. Khi cát càng chặt hoặc áp lực cố kết càng cao thì khả năng kháng hóa lỏng của cát càng cao. Tuy vậy với các mẫu cát rất xốp thì sự ảnh hưởng của độ chặt tương đối lại không rõ ràng. Ứng xử của các mẫu đó trong thí nghiệm nén ba trục không thoát nước là tương tự nhau.

Lời cảm ơn

Các thí nghiệm trong bài báo này được thực hiện tại phòng thí nghiệm Đất, Đá và Công trình Địa kỹ thuật (SRO), đại học Gustave Eiffel, Pháp dưới sự tư vấn và hướng dẫn kỹ thuật của tiến sĩ Philippe Reiffsteck. Nhóm tác giả xin chân thành cám ơn Tiến sĩ về sự hợp tác và giúp đỡ quý báu đó.

Những đóng góp của tác giả

Khái niệm hóa: Nguyễn Trung Kiên; Phương pháp luận: Nguyễn Trung Kiên; Kiểm chứng: Tạ Quang Hà; Phân tích dữ liệu: Đặng Quang Huy Thực hiện thí nghiệm: Đặng Quang Huy; Viết bản thảo bài báo: Nguyễn Trung Kiên; Đánh giá và chỉnh sửa:Nguyễn Kim Thắng.

Tài liệu tham khảo

Benahmed, N., (2001). Comportment mécanique d'un sable sous cisaillement monotone et cyclique: application au phénomènes de liquéfaction et mobilité cyclique,. *Thèse de doctorat, Ëcole Nationale des Ponts et Chaussées,.*

Bray, J., Sancio, R., Durgunoglu, T., Onalp, A., Youd, T., Stewart, J., Karadayilar, T., (2004). Subsurface Characterization at Ground Failure Sites in Adapazari, Turkey. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 130 (7), 673–685.

Castro, J., (1969). *Liquefaction of sands.* Cambridge, M A: Harvard Soil Mechanics Series nº81, Harvard University.

Hazen, A., (1920). Hydraulic fill dams. *ASCE transactions*, Vol. 83, pp. 1713-1745.

Ishihara, K., (1993). Liquefaction and flow failure during earthquakes. *Géotecnique 43, No. 4*, 349-415.

Ngô Thị Ngọc Vân, (2019). *Nghiên cứu khả năng hóa lỏng của đất nền đê hữu Hồng đoạn qua Hà Nội (K73+500 - K75+100) chịu tải trọng động đất.* Hà Nội: Luận án tiến sỹ, Trường Đại học Thủy Lợi.

Rotta, L., Alcântara, E., Parkc, E., Negri, R., Lin, Y., Bernardo, N., Filho, C., (2020). The 2019 Brumadinho tailings dam collapse: Possible cause and impacts of the worst human and environmental disaster in Brazil. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*.

Seed, H., & Idriss, I., (1967). Analysis of soil liquefaction: Niigata earthquake. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, Vol. 93, No. SM 3, pp. 83-108.

Terzaghi, K., (1956). Varieties of submarine slope failures. *Harvard Soil Mechanics Series*, No. 52, 16 p.

Trần Đình Hòa, Bùi Mạnh Duy, (2003). Hóa lỏng nền do động đất và phương pháp đánh giá khả năng hóa lỏng nền công trình chống ngập TP. Hồ Chí Minh. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, (14), 21-28.

Vaid, Y. S., (1999). Influence of Specimen Reconstitution Method on Undrained Response of Sand. *Geotechnical Testing Journal, ASTM, 22(3)*, 187-195.