

# Đánh giá khả năng hóa lỏng của cát mịn khu vực ven biển Bắc Bộ bằng thí nghiệm ba trục động

Evaluation of liquefaction potential of fine sand in the northern coastal area based on dynamic triaxial test

> TS ĐẶNG QUANG HUY<sup>1\*</sup>, TS VŨ MINH NGẠN<sup>1</sup>, TS ĐÀO HUY HOÀNG<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Mô-Địa chất Hà Nội

<sup>2</sup>Trường Đại học Xây dựng Miền Tây

\*Email: dangquanghuy@humg.edu.vn

## TÓM TẮT

Động đất là một thảm họa thiên nhiên gây ra nhiều thiệt hại cho con người và hiện tượng này xảy ra ngày càng thường xuyên tại nước ta. Nghiên cứu về động đất cùng những hệ quả đi kèm như hóa lỏng đất là một vấn đề ngày càng được quan tâm. Khu vực ven biển Bắc Bộ hiện nay đang có nhiều công trình hạ tầng được xây dựng đòi hỏi đánh giá cẩn trọng các rủi ro có thể xảy ra. Bài báo nghiên cứu nhằm đánh giá khả năng hóa lỏng của cát mịn khai thác tại khu vực ven biển Bắc Bộ thông qua các thí nghiệm nén ba trục động trong phòng, đây là phương pháp được sử dụng phổ biến trên thế giới để nghiên cứu hóa lỏng đất. Tuy vậy, ở Việt Nam nó vẫn chưa được sử dụng rộng rãi. Kết quả cho thấy, cát mịn khu vực này có khả năng bị hóa lỏng, mức độ hóa lỏng phụ thuộc vào các yếu tố khác nhau như áp lực cố kết, độ chặt của mẫu hay tỷ số ứng suất của tải trọng động.

**Từ khóa:** Hóa lỏng; áp lực cố kết; độ chặt; tỷ số ứng suất; ba trục động.

## ABSTRACT

Earthquake is a natural disaster that causes significant damage to humans and this phenomenon occurs more frequently in our country. Research on earthquakes and their effects such as soil liquefaction is an issue of increasing concern. The coastal area of the North is currently having many infrastructure projects being built, requiring careful assessment of possible risks. This paper evaluates the liquefaction potential of fine sand exploited in the coastal area of the North through cyclic triaxial test, this is a method commonly used over the world for studying soil liquefaction, however it is not yet widely used in Vietnam. The results show that fine sand in this area can be liquefied, the degree of liquefaction depends on various factors such as consolidation stress, relative density or cyclic stress ratio.

**Keywords:** liquefaction; consolidation stress; relative density; cyclic stress ratio; cyclic triaxial test.

## 1. GIỚI THIỆU

Động đất là một thảm họa thiên nhiên đã gây ra rất nhiều thiệt hại cho công trình và con người. Hiện tượng này đi kèm với hóa lỏng đã làm hư hại trên diện rộng thành phố Nigata, Nhật Bản vào năm 1964 với hàng nghìn ngôi nhà cùng các cơ sở hạ tầng như cầu, đường, cảng bị phá hủy. Sau thảm họa này, động đất đi kèm với hóa lỏng đã nhận được sự quan tâm rất lớn của các nhà khoa học với các công trình tiên phong như Lee và seed (1967) [1], Castro (1969) [2]. Gần đây hơn, động đất đi kèm với hóa lỏng tiếp tục là nguyên nhân gây hư hỏng cho công trình dân dụng cũng như hạ tầng cơ sở trên thế giới. Trong các trận động đất năm 2010, 2011 tại Christchurch, New Zealand nền đất đã bị hóa lỏng ở nhiều khu vực, dẫn đến việc hàng loạt ngôi nhà và công trình công cộng bị sụt lún hoặc đổ sập. Đường sá bị nứt gãy, hệ thống thoát nước và hạ tầng ngầm bị hư hại nghiêm trọng [3]. Năm 2018, tại Palu, Indonesia, một trận động đất 7,5 độ đã tạo ra một dòng trượt đất dài hơn 800 m, làm sụp đổ khoảng 1,64 km<sup>2</sup> đất đai và phá hủy hàng ngàn ngôi nhà. Dòng trượt này là do hóa lỏng lớp đất cát nằm ngay dưới mặt đất tại nơi có độ dốc nhẹ khoảng 3 độ [4].

Tại Việt Nam, có nhiều khu vực nằm trong vành đai động đất mạnh cấp độ 7-8. Thực tế cho thấy, gần đây cũng xảy ra nhiều trận động đất khác nhau như tại Trùng Khánh, Cao Bằng năm 2019 hay tại Mường Tè, Lai Châu năm 2020, mặc dù hậu quả để lại chưa đến mức nghiêm trọng, tuy nhiên vấn đề hóa lỏng đất gắn liền với địa chấn cần đặc biệt quan tâm nghiên cứu.

Thiết bị nén ba trục động là thí nghiệm được sử dụng phổ biến trên thế giới để nghiên cứu hóa lỏng đất. Đây là thiết bị gia tải chu kỳ với biên độ, tần số có thể mô phỏng ứng suất gây ra trong các trận động đất. Kết quả nghiên cứu từ thí nghiệm này có thể dùng để đánh giá khả năng hóa lỏng của một loại đất, cát trong thực tế cũng như sử dụng các kết quả đó để nâng cao khả năng kháng hóa lỏng của đất và ứng dụng trong thiết kế nền móng công trình. Khu vực ven biển Bắc Bộ hiện nay là một trong những khu vực trọng điểm phát triển kinh tế với rất nhiều công trình đang được đầu tư xây dựng, điển hình có thể kể đến như tuyến đường ven biển cùng nhiều hải cảng nằm trong khu vực. Việc đánh giá nguy cơ có thể ảnh hưởng đến độ bền vững của các công trình này là vô cùng quan

trọng. Trong bài báo này, nhóm tác giả thực hiện chuỗi thí nghiệm nén ba trục động để đánh giá khả năng bị hóa lỏng của cát khai thác tại khu vực Hải Phòng, đây là loại cát được dùng nhiều trong san lấp cũng như đắp nền đường cho các công trình tại ven biển Bắc Bộ.

**2. THIẾT BỊ VÀ QUY TRÌNH THÍ NGHIỆM**

**2.1. Vật liệu thí nghiệm**

Vật liệu thí nghiệm được sử dụng là cát mịn có màu vàng nhạt, được khai thác từ mỏ cát Hải An, Hải Phòng. Đây là loại cát phổ biến và được ứng dụng rộng rãi trong xây dựng, đặc biệt là trong việc đắp nền đường cũng như nền móng cho các công trình hạ tầng và dân dụng khác. Trước khi đưa vào thí nghiệm, cát được xử lý qua nhiều bước nhằm đảm bảo tính đồng nhất và loại bỏ tạp chất.

Quá trình xử lý bao gồm việc loại bỏ các hạt hữu cơ, sỏi lớn và tạp chất lẫn trong cát. Sau khi loại bỏ tạp chất, các hạt cát có kích thước chủ yếu nằm trong khoảng từ 80 µm đến 400 µm, kích cỡ này nằm trong nhóm cát mịn. Sau khi hoàn tất sàng lọc, ta tiến hành xác định kích thước hạt trung bình (d<sub>50</sub>) thu được kết quả là 0,21 mm, hệ số đồng nhất là 1,96.

Bên cạnh đó, độ rỗng của cát cũng được xác định, kết quả thu được giá trị độ rỗng lớn nhất (e<sub>max</sub>) là 0,90 và nhỏ nhất (e<sub>min</sub>) là 0,62 (chi tiết thể hiện trong Bảng 1). Thành phần hạt của cát sau khi sàng lọc được ghi nhận và trình bày trong Bảng 2, thể hiện chi tiết hơn về cấu trúc và phân bố kích thước hạt của mẫu cát.

Bảng 1. Đặc trưng của cát Hải An

d <sub>50</sub> (µm)	C <sub>c</sub>	C <sub>u</sub>	e <sub>max</sub>	e <sub>min</sub>
211	0,98	1,94	0,90	0,62

Bảng 2. Tỷ lệ thành phần hạt cát Hải An

Kích thước lỗ sàng (mm)	0.08	0.14	0.315	0.4
Lượng sót tích lũy trên sàng (%)	100	79	5	0

**2.2. Thiết bị và quy trình thí nghiệm**

Thiết bị sử dụng để tiến hành thí nghiệm là hệ thống máy nén ba trục động Trittech 50 của Controls (Hình 1), đây là một thiết bị cao cấp được thiết kế để thực hiện các thí nghiệm cơ học đất nhằm phân tích các đặc tính ứng xử của đất dưới nhiều điều kiện tải khác nhau như tải trọng động, tải trọng chu kỳ cũng như tải trọng tĩnh trong các điều kiện thoát nước hoặc không thoát nước.

Cấu tạo của máy bao gồm các thành phần chính gồm khung máy chính được làm từ thép cường độ cao, là phần trụ đỡ của thiết bị, đảm bảo khả năng chịu tải lớn mà không gây biến dạng, đồng thời giữ các bộ phận khác của máy khác ở đúng vị trí. Buồng thí nghiệm kín (triaxial cell) nằm ở trung tâm giữa 2 khung máy, được chế tạo từ vật liệu trong suốt, chịu áp lực cao, cho phép dễ dàng quan sát mẫu đất trong khi thực hiện thí nghiệm. Mẫu đất tiêu chuẩn hình trụ được đặt trong buồng này có kích thước tối đa là đường kính 70mm, cao 140mm và được bao bọc bởi một lớp màng cao su không thấm nước, giúp cô lập mẫu với nước xung quanh. Nước được bơm vào buồng qua các cổng nạp để tạo áp lực buồng (confining pressure), mô phỏng điều kiện ứng suất thực tế của đất trong tự nhiên.

Máy được trang bị piston thẳng đứng để tác động tải trọng dọc trục lên mẫu đất. piston này được điều khiển bằng động cơ hoặc hệ thống thủy lực, giúp đảm bảo áp lực được thiết lập chính xác, có thể điều chỉnh theo yêu cầu của từng thí nghiệm. Trong buồng thí nghiệm, các cổng thoát nước và kiểm soát áp suất lỗ rỗng (pore pressure control ports) được kết nối với các cảm biến, cho phép theo dõi và điều chỉnh sự thoát nước hoặc áp lực lỗ rỗng bên trong mẫu đất. Điều này đặc biệt quan trọng trong các bài thí nghiệm nén có thoát nước (CD) hoặc không thoát nước (UU, CU).

Hệ thống Trittech 50 này tích hợp các cảm biến đo lường hiện đại để giám sát và ghi nhận dữ liệu chính xác. Cảm biến lực (load cell) được sử dụng để đo lực nén trực tác động lên mẫu đất, cảm biến dịch chuyển ghi nhận sự thay đổi chiều cao và độ biến dạng ngang của mẫu. Ngoài ra, các cảm biến áp suất đảm bảo việc đo và kiểm soát áp lực bên và áp suất lỗ rỗng một cách chính xác. Đặc biệt, máy còn có hệ thống đo thể tích thoát nước, cho phép tính toán sự thay đổi thể tích của mẫu đất trong các điều kiện thí nghiệm khác nhau.

Máy Trittech 50 được điều khiển thông qua một phần mềm tự động hiện đại không chỉ cung cấp khả năng lập trình tải trọng và áp lực theo từng giai đoạn, mà còn cho phép thu thập, xử lý và phân tích dữ liệu thời gian thực. Từ đó, các thông số quan trọng như góc ma sát trong, lực dính của đất, mô đun đàn hồi và biến dạng giới hạn được tính toán một cách chính xác. Hệ thống còn hỗ trợ thực hiện các loại thí nghiệm phổ biến như nén không cố kết - không thoát nước (sơ đồ UU), nén cố kết không thoát nước (sơ đồ CU) và nén thoát nước hoàn toàn (CD).



Hình 1. Thiết bị nén ba trục Trittech 50

**2.3. Quy trình thí nghiệm**

Thí nghiệm ba trục động cho phép xác định các chỉ tiêu tính chất động học của đất nền cũng như khả năng hóa lỏng của nền đất, hiện nay có rất nhiều quy trình có thể được sử dụng để tiến hành thí nghiệm nén ba trục, tiêu biểu có thể kể đến một số tiêu chuẩn như:

- Thí nghiệm xác định độ bền và khả năng hóa lỏng (theo ASTM D5311);
- Thí nghiệm xác định mô đun và hệ số giảm chấn (theo ASTM D3999);
- Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi của đất nền và vật liệu móng đường (theo AASHTO T307-99 hoặc theo TCCS 37: 2022/TCĐBVN).
- Thí nghiệm nén ba trục cải tiến theo tiêu chuẩn của Pháp NF P 94-070 và NF P94-074
- Thí nghiệm xác định sức kháng cắt không cố kết - không thoát nước và cố kết - thoát nước của đất dính trên thiết bị nén ba trục TCVN 8868:2011

Nhìn chung, các tiêu chuẩn sẽ có những điểm riêng biệt cho phù hợp với điều kiện của từng nước nhưng cơ bản các bước chuẩn bị mẫu, tiến hành thí nghiệm, xử lý kết quả của tất cả các tiêu chuẩn là giống nhau. Trong phạm vi nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng các bước thí nghiệm theo tiêu chuẩn ASTM D5311 [5].

a) Chuẩn bị mẫu.

Mẫu cát thí nghiệm phải đạt được yêu cầu về độ đồng nhất và độ chặt yêu cầu. Hiện nay, có 3 phương pháp chủ yếu để chuẩn bị mẫu thí nghiệm đó là phương pháp rót cát khô, phương pháp lắng cát trong nước và phương pháp đầm ẩm, mỗi phương pháp có ưu

nhược điểm riêng [6]. Phương pháp lắng cát trong nước sẽ cho mẫu có độ đồng nhất tốt nhất, nhưng phương pháp này thì công phức tạp, và mẫu chế bị bởi phương pháp này thường có độ chặt lớn. Phương pháp rót cát khô thì công đơn giản hơn, mẫu thí nghiệm cũng có độ đồng nhất rất tốt nhưng không thể chế tạo được các mẫu có độ rỗng lớn. Phương pháp đầm ẩm khi chế tạo mẫu có nhược điểm là tạo ra các lớp cát khác nhau, nhưng nhờ đó độ chặt của các lớp cát này rất đồng nhất và đặc biệt là phương pháp này sẽ chế bị được các mẫu có độ chặt rất đa dạng, từ các mẫu rất xốp đến rất chặt. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng phương pháp đầm ẩm để chế bị mẫu.

Mẫu thí nghiệm có hình trụ đường kính 50mm và cao 100mm, sau khi tính toán lượng cát tương ứng với độ chặt cần thiết, ta trộn đều cát khô với khoảng 5% nước tinh khiết theo khối lượng rồi chia hỗn hợp thành 5 phần bằng nhau và lần lượt rót từng phần vào khuôn, san đều và đầm nhẹ đến khi đạt chiều dày 2cm, đây là chiều dày tối ưu để chế tạo mẫu đảm bảo độ đồng nhất đã được kiểm nghiệm bởi một số nghiên cứu trước đây [7]. Sau khi đầm hết các lớp cát, màng cao su được bọc kín xung quanh mẫu và ta tạo một áp lực âm khoảng 20kPa bên trong mẫu để giữ cho mẫu cố định trong quá trình lắp đặt các thiết bị.

#### b) Bảo hòa và cố kết mẫu

Sau khi lắp đặt xong thiết bị, ta thổi khí CO<sub>2</sub> đi qua mẫu để đuổi hết không khí ra ngoài, đảm bảo cho quá trình bão hòa được tối ưu, tiếp theo ta điền nước vào mẫu bằng cách mở van để nước chảy qua dụng cụ đo thể tích từ đường áp lực ngược. Quá trình bão hòa được tiến hành bằng cách tăng dần áp lực buông và áp lực ngược, chú ý duy trì một áp lực hữu hiệu đủ lớn trong mẫu để tránh trường hợp mẫu bị phá hủy trong quá trình bão hòa. Trong chuỗi thí nghiệm này, nhóm tác giả tăng dần ứng suất hữu hiệu đến bằng 2/3 áp lực cố kết. Kết thúc quá trình bão hòa, ta khóa van áp lực ngược, tăng áp lực buông để tiến hành đo chỉ số B ( $B = \Delta u / \Delta \sigma_{cell} \geq 0,95$ ;  $\Delta \sigma_{cell}$  là gia số áp lực buông và  $\Delta u$  là độ gia tăng áp lực nước lỗ rỗng) và kiểm tra độ bão hòa. Nếu  $B > 0,95$  thì coi như mẫu đã bão hòa và chuyển sang bước cố kết, nếu không ta tiến hành lại quá trình bão hòa.

Kết thúc quá trình bão hòa, ta mở van áp lực ngược và tiến hành cố kết mẫu bằng cách giữ nguyên áp lực ngược và tăng áp lực buông cho đến khi đạt áp lực cố kết ( $\sigma'_c$ ) yêu cầu. Áp lực cố kết là hiệu giữa áp lực buông và áp lực ngược ( $\sigma'_c = \sigma_{cell} - \sigma_{back}$ ). Quá trình cố kết hoàn thành sau khi lượng nước thoát ra nhỏ hơn 5mm<sup>3</sup>

trong vòng 15 phút. Với các mẫu cát trong chuỗi thí nghiệm này, thông thường thời gian đạt được cố kết khá nhanh, chỉ trong vòng vài giờ đồng hồ, với các mẫu sét hoặc các mẫu có lẫn hạt mịn nhiều hơn thì thời gian cố kết có thể lên tới hàng ngày. Trong quá trình cố kết, các thay đổi về áp lực, lượng nước ra vào mẫu, thay đổi về kích thước được ghi nhận lại. Kích thước của mẫu có thể thay đổi trong quá trình cố kết, tuy vậy kinh nghiệm cho thấy, với các mẫu cát thì sự thay đổi này khá nhỏ, không đáng kể.

#### c) Gia tải chu kỳ

Theo tiêu chuẩn ASTM D5311, thí nghiệm gia tải chu kỳ được tiến hành theo sơ đồ điều khiển ứng suất, theo đó, tải trọng dọc trục sẽ được thiết lập tăng và giảm theo từng chu kỳ. Thông số tải trọng chu kỳ được lựa chọn phù hợp với loại công trình, đặc điểm tải trọng động và các điều kiện cụ thể khác. Thông thường, tần số của tải trọng ( $f$ ) thường được chọn trong khoảng  $f = 1 - 2$  Hz cho tải trọng động đất, với tải trọng sóng hoặc tải trọng xe cộ, tần số này nhỏ hơn, ảnh hưởng của tần số này đến ứng xử của mẫu hiện nay vẫn còn đang tranh cãi, một số tác giả cho rằng tần số không ảnh hưởng đến ứng xử của đất, mặt khác để tiện cho việc theo dõi quá trình biến đổi của mẫu, nhóm tác giả chọn chu kỳ gia tải là 1 phút, tương ứng với tần số  $f = 0,0167$  Hz; biên độ của tải trọng được xác định theo tỷ số ứng suất mong muốn (CSR), với:

$$CSR = \frac{\Delta \sigma_a}{2\sigma'_c}$$

Với  $\Delta \sigma_a$  là biên độ ứng suất chu kỳ, được dự tính theo đặc điểm tải trọng động;  $\sigma'_c$  là áp lực cố kết. Kết quả thí nghiệm được biểu diễn trên các biểu đồ thay đổi áp lực nước lỗ rỗng, thay đổi độ lệch ứng suất hoặc thay đổi về biến dạng dọc trục.

#### 2.4. Chương trình thí nghiệm

Để đánh giá khả năng hóa lỏng bằng thiết bị ba trục động, nhóm tác giả đã tiến hành chuỗi 11 thí nghiệm trên các mẫu cát có độ chặt và áp lực cố kết khác nhau. Áp lực cố kết được thay đổi từ 100kPa tới 400 kPa để đánh giá ảnh hưởng của áp lực cố kết đến sự hóa lỏng. Ngoài ra, các thí nghiệm thực hiện chủ yếu với áp lực cố kết 100kPa, mô phỏng tầng đất nền có độ sâu khoảng 5m-10m vốn là tầng đất có nguy cơ hóa lỏng lớn nhất [8]. Độ chặt của cát trong thí nghiệm này được lựa chọn là  $Dr = 0; 0,2$  và  $0,5$  tương ứng với độ rỗng ban đầu là  $0,90; 0,83$  và  $0,78$ . Biên độ tải trọng cũng được thay đổi để đánh giá tương đối ảnh hưởng của cường độ các trận động đất đến khả năng hóa lỏng của đất nền. Chi tiết các thông số của chuỗi thí nghiệm được thể hiện trong Bảng 1.

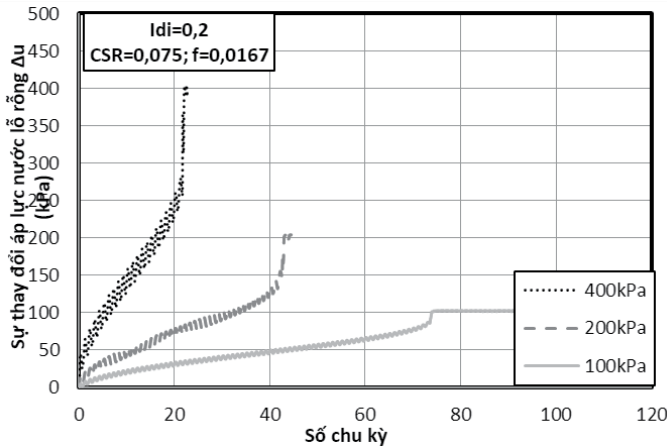
Bảng 3. Thông số thí nghiệm.

STT	Áp lực cố kết (kPa)	Độ rỗng ban đầu $e_i$	Tần số (Hz)	$\Delta \sigma_a$ (kPa)	CSR	Độ rỗng sau cố kết $e_c$	Số chu kỳ hóa lỏng
1	100	0,90	0,0167	15,00	0,075	0,87	4
2	200	0,83	0,0167	30,00	0,075	0,83	42
3	400	0,83	0,0167	60,00	0,075	0,82	22
4	100	0,83	0,0167	15,00	0,075	0,83	73
5	100	0,83	0,0167	15,00	0,075	0,80	40
6	100	0,78	0,0167	15,00	0,075	0,78	46
7	100	0,78	0,0167	15,00	0,075	0,78	65
8	100	0,83	0,0167	10,00	0,050	0,83	130
9	100	0,83	0,0167	20,00	0,100	0,82	3
10	100	0,83	0,0167	40,00	0,200	0,81	1
11	100	0,77	0,0167	15,00	0,075	0,77	136

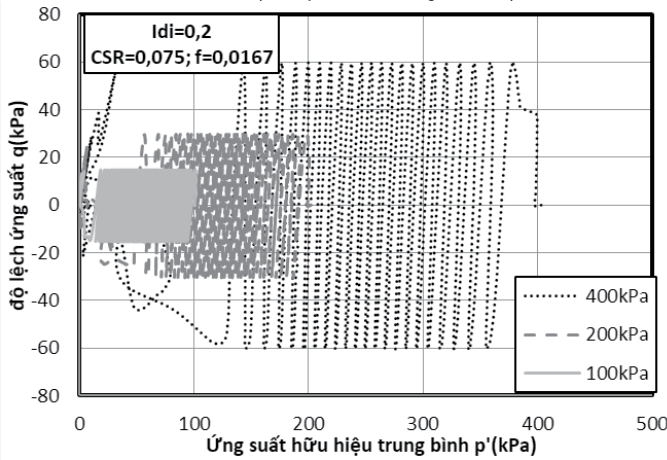
### 3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

#### 3.1. Đánh giá khả năng hóa lỏng động của cát tại các áp lực cố kết khác nhau

Hình 2 thể hiện khả năng hóa lỏng động của cát Hải An tại các áp lực khác nhau 100 kPa, 200 kPa và 400 kPa. Trong nhóm này, các tác giả đã thể hiện ứng xử của 3 mẫu cát Hải An ở cùng một độ chặt 0,2, tỉ số ứng suất 0,075 và tần số 0,0167 (chu kỳ 60s). Hình 2a biểu diễn sự thay đổi áp lực nước lỗ rỗng theo từng chu kỳ, theo thời gian, áp lực nước lỗ rỗng tăng dần, đến khi đạt một mức độ nào đó thì áp lực nước tăng đột ngột và đạt tới áp lực cố kết, đó là lúc mẫu bị hóa lỏng. Có thể thấy, với cùng một tỉ số ứng suất CSR, thì mẫu ở áp lực cố kết 400kPa bị hóa lỏng nhanh nhất, sau 21 chu kỳ, sau đó đến mẫu cố kết ở 200kPa, mẫu hóa lỏng sau 42 chu kỳ, và mẫu bị hóa lỏng lâu nhất là mẫu cố kết ở 100kPa, mẫu bị hóa lỏng sau 73 chu kỳ. Như vậy, có thể thấy cả ba mẫu này khi chế tạo ở độ chặt nhỏ 0,2 đều đã bị hóa lỏng, tuy nhiên khả năng hóa lỏng của chúng tại các áp lực cố kết khác nhau là khác nhau. Với cùng một tỉ số nén, cùng một độ chặt thì mẫu cố kết ở áp lực cố kết càng lớn thì càng dễ bị hóa lỏng. Điều này có hơi khác

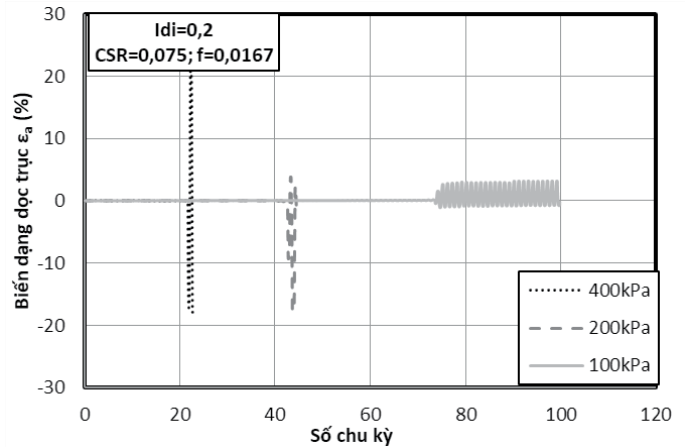


Hình 2a. Sự thay đổi áp lực nước lỗ rỗng - số chu kỳ

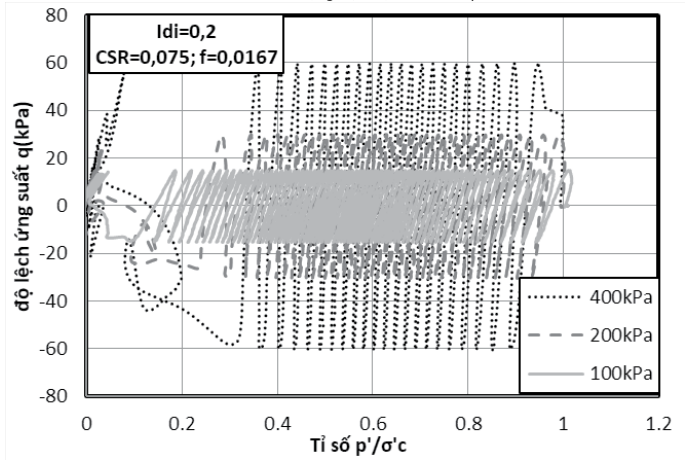


Hình 2c. Độ lệch ứng suất - ứng suất hữu hiệu trung bình

so với khi xét đến hóa lỏng tĩnh, một mẫu được cố kết ở áp lực càng cao thì càng khó bị hóa lỏng, đó là do khi chịu tải trọng động cùng tỷ số ứng suất tác động thì biên độ tải trọng của mẫu cố kết ở áp lực cao cũng cao hơn, do đó chúng sẽ dễ bị hóa lỏng hơn. Hình 2b thể hiện biến dạng dọc trục của mẫu theo chu kỳ, theo đó, biến dạng của các mẫu trước thời điểm hóa lỏng xảy ra đều rất nhỏ và mẫu biến dạng theo chu kỳ hình sin, tại thời điểm mẫu bị hóa lỏng, biến dạng dọc trục đột ngột tăng cao, với các mẫu cố kết tại 200kPa và 400kPa, biến dạng lên tới 20% lúc hóa lỏng trong khi mẫu cố kết tại 100kPa chỉ khoảng 5%. Hình 2c thể hiện sự thay đổi độ lệch ứng suất theo ứng suất hữu hiệu trung bình, hình 2d thể hiện sự thay đổi độ lệch ứng suất theo tỷ số giữa ứng suất hữu hiệu trung bình và áp lực cố kết. Ta thấy rằng, từ lúc bắt đầu thí nghiệm, ứng suất hữu hiệu trung bình sẽ giảm dần, trong khi đó độ lệch ứng suất biến thiên theo chu kỳ hình sin có xu hướng đi dần về gốc 0, đến thời điểm hóa lỏng, ứng suất hữu hiệu trung bình giảm đột ngột về 0, độ lệch ứng suất cũng tiến nhanh về mốc 0 và tiếp tục biến đổi tăng giảm theo chu kỳ quanh gốc tọa độ.



Hình 2b. Biến dạng dọc trục - số chu kỳ



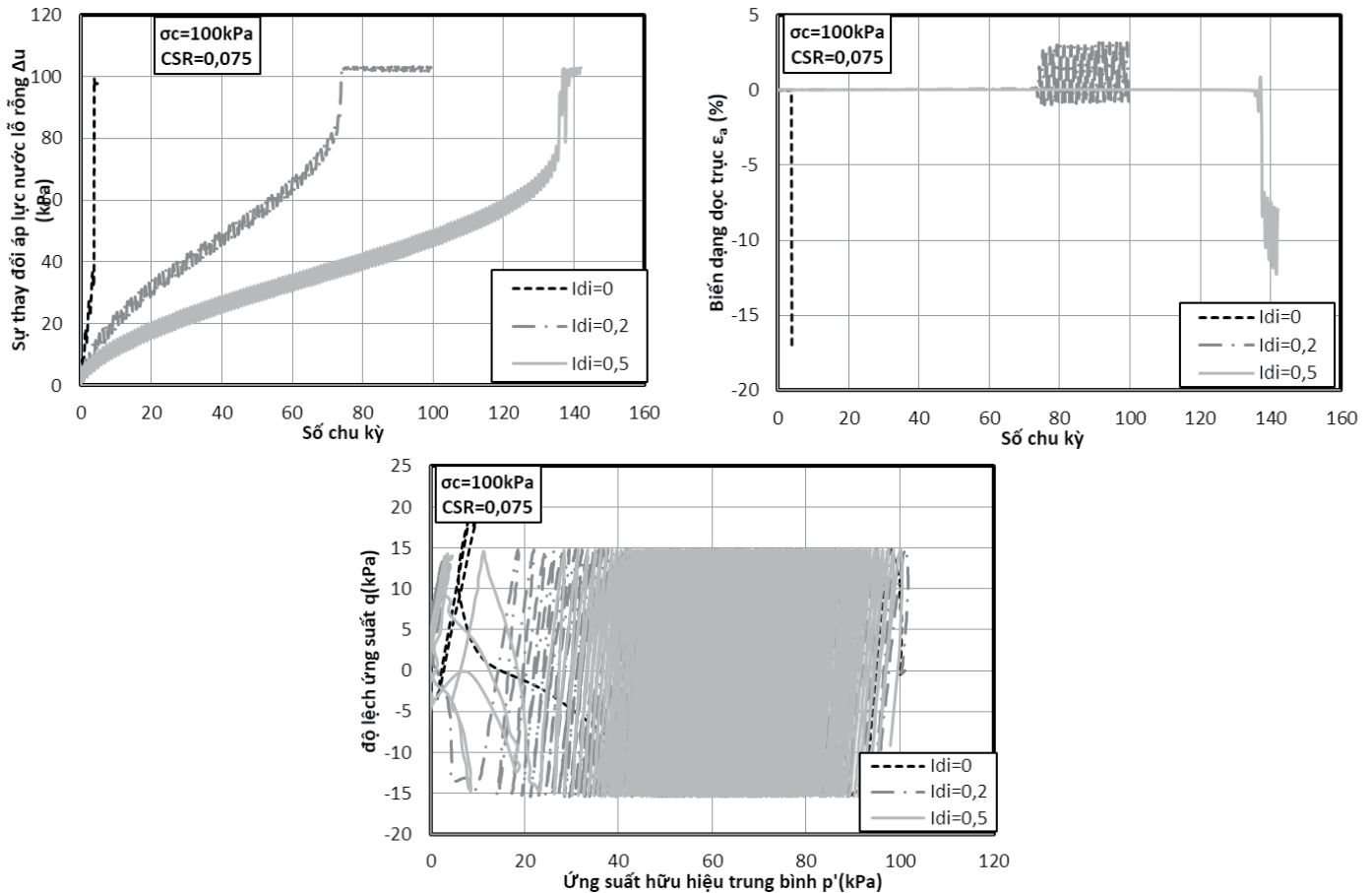
Hình 2d. Độ lệch ứng suất - Tỉ số p'/σ'c

Hình 2. Khả năng hóa lỏng động của cát tại các áp lực cố kết khác nhau

#### 3.2 Đánh giá khả năng hóa lỏng động của cát tại các độ chặt khác nhau

Hình 3 đánh giá khả năng hóa lỏng động của cát tại các độ chặt khác nhau. Cũng giống như với trường hợp hóa lỏng tĩnh, độ chặt có ảnh hưởng rất lớn đến sự hóa lỏng động của cát. Có thể thấy rõ ràng rằng khi mẫu ở trạng thái rất lỏng, độ chặt bằng 0 thì mẫu gần như bị hóa lỏng ngay lập tức, chỉ sau 3 chu kỳ. Mẫu có độ chặt 0,5 bị

hóa lỏng chậm nhất, sau 140 chu kỳ. Mẫu có độ chặt 0,2 hóa lỏng sau 70 chu kỳ. Như vậy, đất có độ chặt càng lớn, thì đất càng khó hóa lỏng cho dù là hóa lỏng tĩnh hay hóa lỏng do tải trọng động. Trong các nghiên cứu trước đây của của nhóm, cho thấy với độ chặt 0,5 thì cát Hải An không bị hóa lỏng tĩnh, tuy nhiên trong nghiên cứu này, mẫu vẫn bị hóa lỏng do tải trọng động, mặc dù thời gian bị hóa lỏng lâu hơn.



Hình 3. Khả năng hóa lỏng động của cát tại các độ chặt khác nhau

#### 4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu này đã đánh giá khả năng hóa lỏng của cát khai thác tại mỏ Hải An, Hải Phòng bằng thí nghiệm ba trục động. Nhóm tác giả đã thực hiện các thí nghiệm thực nghiệm dựa vào máy nén ba trục Triotech 50 trên các mẫu có độ chặt, áp lực cố kết và tỷ số ứng suất khác nhau. Kết quả cho thấy, tất cả các mẫu cát được chế bị từ độ chặt từ 0 - 0,5 trong chuỗi thí nghiệm này đều bị hóa lỏng, tuy nhiên khả năng hóa lỏng của mẫu bị ảnh hưởng bởi các điều kiện khác nhau. Mẫu có độ chặt càng lớn thì càng khó bị hóa lỏng hơn, mẫu có áp lực cố kết càng lớn và bị tác dụng cùng một tỷ số ứng suất CSR thì sẽ dễ bị hóa lỏng hơn mẫu có kết tại áp lực nhỏ hơn và chịu cùng tỷ số ứng suất CSR đó.

Các thí nghiệm trong nghiên cứu này chưa xem xét đến các độ chặt lớn hơn 0,5 để đánh giá khả năng giới hạn của cát Hải An khi chịu tác động của tải trọng động, đồng thời, cũng chưa xem xét đến ứng xử của các mẫu có kết tại áp lực khác nhau khi chịu tác động của cùng một biên độ tải trọng. Nhóm tác giả kiến nghị cần phải xem xét vấn đề này trong các nghiên cứu tiếp theo.

#### Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin cảm ơn đề tài mã số B2022-MDA-04, Bộ GD&ĐT đã giúp đỡ hoàn thành bài báo này.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] K. Ee, H.B. Seed (1967). Cyclic stress conditions causing liquefaction of sand. Journal of Geotechnical Engineering Division, Vol. 93., No. SM1, pp 47 - 70.
- [2] J. Castro (1969). Liquefaction of sands. Ph.D. Thesis, Harvard Soil Mechanics Series n°81, Harvard University, Cambridge, MA, 112 p.

- [3] Joanne R. Stevenson et al (2011). Preliminary observations of the impacts the 22 february christchurch earthquake on organisations and the economy: a report from the field. Bulletin of the New Zealand society for earthquake engineering, September 2011.

- [4] Abdul Jalil, Teuku Faisal Fathani, Iman Satyarno and Wahyu Wilopo (2021) Liquefaction in Palu: the cause of massive mudflows, Geoenvironmental Disasters, 8:21.

- [5] ASTM-D5311, 2013. Standard test method for load controlled cyclic triaxial strength of soil. Annual Book of ASTM 11.

- [6] K. Ishihara (1993). Liquefaction and flow failure during earthquakes. Géotechnique 43, No. 4, pp. 349-415.

- [7] B. Nadia (2001). Comportement mécanique d'un sable sous cisaillement monotone et cyclique : application aux phénomènes de liquéfaction et de mobilité cyclique. Ph.D. Thesis, Ecole Nationale des ponts et chaussées, 360 p.

- [8] D. Jonathan et al (2004). Subsurface Characterization at Ground Failure Sites in Adapazari, Turkey, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental engineering, 130(7): 673-685.