

# TỔNG QUAN MỘT SỐ GIẢI PHÁP CHỐNG LỎNG HÓA ĐẤT ĐỂ HẠN CHẾ SỤT LÚN CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG

## SOME APPROACHES FOR LIQUEFACTION MITIGATION TO LIMIT SUBSIDENCE IN CONSTRUCTION WORKS: A REVIEW

ThS. Lê Thị Bạch Tuyết

Khoa KT Hạ tầng – Đô thị - ĐH Xây dựng Miền Tây

Email: lethibachtuyet@mtu.edu.vn

Điện thoại: 0939 541 348

ThS. Đỗ Trọng Nghĩa

Khoa Xây dựng - ĐH Xây dựng Miền Tây

Email: dotrongnghia@mtu.edu.vn

Điện thoại: 0907703968

Ngày nhận bài: 29/11/2023

Ngày gửi phản biện: 07/12/2023

Ngày chấp nhận đăng: 14/12/2023

### Tóm tắt:

Hóa lỏng đất mô tả một hiện tượng trong đó đất bão hòa mất đi một phần đáng kể độ bền và độ cứng trước ứng suất tác dụng, thường là do động đất rung chuyển hoặc sự thay đổi đột ngột khác trong điều kiện ứng suất, khiến nó hoạt động giống như chất lỏng. Cho đến nay, nhiều kỹ thuật cải tạo nền đất đã được phát triển và áp dụng cho nhiều loại nền đất khác nhau để giảm thiểu tình trạng hóa lỏng đất, có thể kể đến như thay cải tạo đất không có phụ gia, thay thế đất, gia tải trước hoặc nén trước, thoát nước theo chiều dọc, sử dụng phụ gia và phun vữa để ổn định đất, phương pháp nhiệt, ... Bài viết này cung cấp một cái nhìn tổng quan về những tiến bộ gần đây trong các phương pháp giảm thiểu hóa lỏng đất và đánh giá tác động của chúng đến môi trường.

**Từ khóa:** Hóa lỏng đất, bão hòa, độ cứng, động đất, môi trường.

**Abstract:**

Soil liquefaction describes a phenomenon in which saturated soil loses a significant portion of its strength and stiffness to an applied stress, usually due to earthquake shaking or other sudden change in stress conditions, causing it to behave like a liquid. Up to now, many soil improvement techniques have been developed and applied to many different types of soil to minimize soil liquefaction, such as soil amendment without additives, soil replacement, soil, pre-loading or pre-compression, vertical drainage, use of admixtures and grouting for soil stabilization, thermal methods, etc. This article provides an overview of recent advances in soil stabilization. Soil liquefaction mitigation methods and assessment of their impact on the environment.

**Keywords:** Soil liquefaction, saturate, stiffness, earthquake, environment.

**1. Giới thiệu**

Sự tồn tại của đất không phù hợp cho các công trình hỗ trợ tại công trường xây dựng, thiếu không gian và động lực kinh tế là những lý do chính dẫn đến việc sử dụng các kỹ thuật cải tạo đất với điều kiện nền đất kém thay vì nền móng sâu. Trong những thập kỷ qua, một số phương pháp đã được áp dụng để khắc phục tình trạng hóa lỏng. Chúng bao gồm đầm nén động hoặc rung, cột đá hoặc trụ đập, hệ thống thoát nước hoặc vữa xi măng hoặc hóa chất. Đầm nén là phương pháp được sử dụng phổ biến nhất vì tính nguyên tắc rõ ràng và tính khả thi khi áp dụng tại hiện trường. Cột đá hoặc trụ đỡ có thể gia cố nền đất bằng cách sử dụng cột tạo thành từ đá trong khi phương pháp thoát nước là tăng cường tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng bằng cách lắp đặt cống trong đất. Các phương pháp này thường dùng để giảm thiểu lỏng hóa đất như giảm độ lún sau xây dựng, tăng cường độ bền cắt của hệ thống đất, tăng khả năng chịu lực của đất và cải thiện độ ổn định của đập và kè.

**2. Tổng quan về lỏng hóa đất****2.1. Khái niệm**

Hoá lỏng đất là hiện tượng xảy ra đối với đất bão hòa nước hoặc đất bão hòa một phần dẫn đến mất cường độ và sức kháng [1], xảy ra khi chấn động địa chất như động đất hoặc những thay đổi điều kiện ứng suất đột ngột làm cho mực nước thay đổi đến mức các hạt đất dễ dàng di chuyển tương đối với nhau. Khi đất bị hóa lỏng sẽ mất hết ma sát gây giảm đáng kể sức chịu tải của cọc hoặc biến dạng lớn cho công trình.

**2.2. Nguyên nhân**

Sự xuất hiện hiện tượng hóa lỏng là kết quả của việc tác dụng tải trọng nhanh và phá vỡ lớp cát bão hòa lỏng lẻo và các hạt đất riêng lẻ bị nén chặt [1]. Dưới tác động của lực động đất hoặc điều kiện tải trọng nhanh, không có thời gian để ép hết nước lỗ rỗng trong đất. Thay vì bị ép ra, các hạt đất bị ngăn không cho di chuyển lại gần nhau hơn. Điều này làm tăng áp lực nước trong hệ thống đất dẫn đến làm mềm và làm suy yếu lớp lắng đọng của đất.

### 2.3. Hậu quả

Một số hậu quả do hóa lỏng đất gây ra [2]:

Khi hiện tượng hóa lỏng xảy ra bên dưới bề mặt đã được nén chặt hoàn toàn, áp lực nước bên dưới bề mặt khiến nước vỡ ra như bong bóng.

Sự hóa lỏng gây ra thiệt hại rất lớn cho các công trình xây dựng dân dụng và cầu đường.

Sự hư hỏng của các khối chứa nước có thể dẫn đến lở đất bề mặt.

Sự hóa lỏng kéo theo lực động đất làm cho các công trình mất đi sự ổn định khiến cấu trúc bị sụp đổ hoàn toàn.

### 3. Tổng quan các giải pháp giảm thiểu lỏng hóa đất để hạn chế sụt lún công trình xây dựng

#### 3.1. Thay thế đất

Phương pháp thay thế đất [3] được sử dụng cách đây khá lâu và đơn giản nhằm cải thiện điều kiện chịu lực của đất bằng cách thay thế các vật liệu tốt hơn như cát, sỏi hoặc đá dăm...

Ưu điểm: Sử dụng phương pháp thay đất thường dùng cho đất thay thế dưới nền nông vì có thể làm giảm độ lún cố kết và tăng khả năng chịu lực của đất; tiết kiệm thời gian và ít bị trễ tiến độ thi công.

Nhược điểm: chi phí vận chuyển các vật liệu thay thế.

Tác động môi trường: có khả năng gây ô nhiễm môi trường không khí tạm thời do hoạt động đào bới và các thiết bị máy móc hoạt động.

#### 3.2. Gia tải trước hoặc nén trước

Gia tải trước hoặc nén trước [3] là quá trình đặt thêm ứng suất thẳng đứng lên đất chịu nén để loại bỏ nước lỗ rỗng theo

thời gian. Sự tiêu tán nước lỗ rỗng làm giảm tổng thể tích gây ra độ lún. Kỹ thuật này phù hợp và đạt hiệu quả trên đất sét.

Ưu điểm: Duy trì vị trí hướng trục và hướng tâm để chuyển vị chính xác các chuyển động góc; tăng độ cứng ổ trục; ngăn chặn các chuyển động trượt.

Nhược điểm: Không có đủ thời gian để đạt được yêu cầu nén hoặc tiêu tán áp lực lỗ rỗng. Hệ số an toàn chống phá hoại do cắt không đủ khi kết cấu hoàn thiện. Các loại đất được xử lý là bùn hữu cơ, bùn và đất sét đa dạng, đất sét mềm, vật liệu nạo vét.

Tác động môi trường: ô nhiễm không khí do quá trình hoạt động của máy móc thiết bị cũng như quá trình đào bới đất.

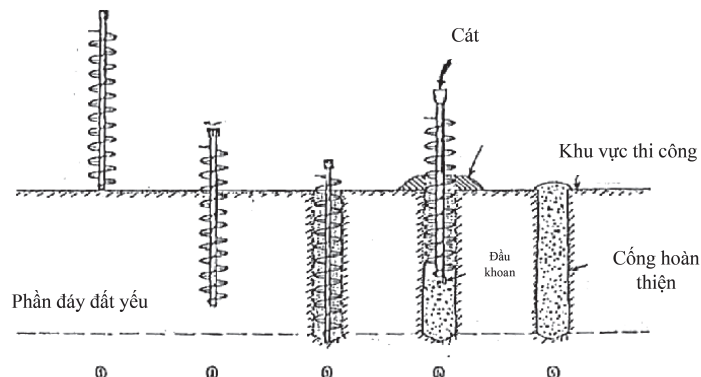
#### 3.3. Thoát nước theo chiều dọc

Phương pháp thoát nước theo chiều dọc là phương pháp cải tạo nền đất nhằm tạo điều kiện cho độ lún cố kết và cải thiện cường độ nền đất bằng cách rút ngắn khoảng cách thoát nước. Khi tải trọng như nền đắp tác dụng lên nền đất yếu, mặt đất sẽ lún xuống.

Thoát nước theo chiều dọc bao gồm:

+ *Cống cát thoát nước* [3]:

Cống cát được thi công bằng cách khoan lỗ xuyên qua lớp đất sét bằng cách sử dụng mũi khoan quay, mũi khoan bay liên tục hoặc lái các trục rỗng vào đất. Sau đó, các lỗ được lấp đầy bằng cát. Do đó quá trình cố kết được tăng tốc.



**Hình 1.** Sơ đồ cống thoát nước dọc [4]

Ưu điểm: Cống cát cho phép thoát nước lỗ rỗng theo hướng xuyên tâm. Tốc độ cố kết trở nên nhanh hơn đáng kể do độ dẫn của đất theo hướng ngang thường lớn hơn nhiều lần so với chuyển động thẳng đứng. Thoát cát tránh được các vấn đề tiềm ẩn trong quá trình thi công trên nền đất mềm chịu nén.

Nhược điểm: Lắp đặt cống cát bằng cách đóng các trục rỗng gây xáo trộn đất xung quanh mỗi cống. Điều này có thể làm giảm lưu

lượng nước chảy vào cống. Các vấn đề về xây dựng và ngân sách có thể phát sinh do đường kính cống cát lớn.

+ *Bấc thấm (PVDs) [5]*

Bấc thấm (PVDs) được cấu tạo lõi đúc sẵn được bọc chặt trong một lớp vải địa kỹ thuật được làm bằng polypropylene liên kết kéo sợi có khả năng thấm nước rất cao trong khi vẫn giữ được các hạt đất tốt nhất (Hình 2).



**Hình 2.** Bấc thấm [5]

Cống được dẫn xuống một trục gá rỗng gắn trên máy xúc hoặc cột cần cẩu. Dùng búa rung hoặc phương pháp tĩnh để đưa trục gá vào độ sâu thiết kế. Sau đó, trục gá

được tháo ra, để lại bấc thấm tại chỗ [3]. Nước ngầm dưới áp lực sẽ đi qua vải lọc vào lõi nơi nó chảy lên cống và ra khỏi đất. Nước chỉ phải di chuyển đến cống gần nhất

để đến đường thoát nước tự do.

Bắc thấm được áp dụng cho các loại đất hạt mịn như bùn, đất sét, bùn hữu cơ...

Ưu điểm: Giảm tổng thời gian cần thiết để hoàn thành quá trình cố kết sơ cấp do gia tải trước. Giảm lượng phụ phí cần thiết để đạt được mức nén trước mong muốn trong thời gian nhất định. Tăng tốc độ tăng cường độ do cố kết đất yếu khi cần quan tâm đến độ ổn định.

Nhược điểm: Ở những nơi có đất nhạy cảm hoặc nơi có vấn đề về độ ổn định, sự xáo trộn của đất do lắp đặt hệ thống thoát nước có thể không được chấp nhận. Trong điều kiện mùa đông lạnh giá, mặt đất bị đóng băng làm giảm hoặc ngăn chặn việc thoát nước ở mực nước ngầm hoặc vào lớp thoát nước ở mặt đất.

Tác động đến môi trường: PVD thông thường được làm từ vật liệu polyme tổng hợp nên tồn tại trong đất trong thời gian rất dài và gây thiệt hại cho môi trường [6].

### **3.4. Sử dụng phụ gia và phun vữa để ổn định đất**

Sử dụng phụ gia là việc sử dụng các chất ổn định (vật liệu kết dính) [7] trong đất yếu để cải thiện các đặc tính địa kỹ thuật của nó như khả năng chịu nén, cường độ, độ thấm và độ bền. Phun vữa bao gồm việc bơm một loại vật liệu giống như chất lỏng vào lòng đất để lấp đầy các khoảng trống, cải thiện độ bền, kiểm soát dòng nước, tăng cường độ ổn định và khả năng chịu tải của đất.

Chất phụ gia là những vật liệu thủy lực (chất kết dính sơ cấp) hoặc không thủy lực (chất kết dính thứ cấp) khi tiếp xúc với nước hoặc khi có mặt khoáng chất puzolan sẽ phản

ứng với nước tạo thành vật liệu composite xi măng [7]. Các chất kết dính thường được sử dụng là: xi măng, vôi, tro bay và xỉ lò cao. Đất áp dụng phương pháp này thường là đất mềm (bùn, than bùn, sét hoặc đất hữu cơ).

Ưu điểm: đất ổn định bằng các vật liệu kết dính sẽ có độ bền cao hơn, độ thấm thấp hơn và độ nén thấp hơn so với vật liệu đất bản địa. Đất đã qua xử lý phụ gia cũng được sử dụng làm chất chống xói mòn trên mặt đập đất, đê và kênh.

Nhược điểm: Cần có các thiết bị chuyên dụng để đạt được sự trộn kỹ lưỡng. Nếu việc trộn không đủ, sản phẩm thu được sẽ bao gồm các điểm cứng đã được xử lý xen kẽ với các điểm mềm chưa được xử lý, tình trạng này có thể còn tệ hơn là không xử lý gì cả.

Tác động môi trường: Các thiết bị và máy móc sử dụng trong quá trình trộn đất sâu tiêu thụ năng lượng. Khí thải phát sinh từ các thiết bị thi công. Các chất thải như đất thừa và đất vụn phát sinh trong quá trình trộn.

### **3.5. Phương pháp nhiệt**

#### **3.5.1. Sưởi ấm đất**

Xử lý bằng nhiệt được sử dụng để cải thiện các đặc tính của đất. Nhiệt có thể ảnh hưởng đến thành phần hóa học của đất và khả năng thay thế khoáng sét trong quá trình hình thành đá trầm tích, cho phép cải tiến đặc tính kỹ thuật của các loại đất [8].

Việc gia nhiệt cho đất có thể áp dụng bằng nhiều kỹ thuật khác nhau như đốt nhiên liệu lỏng hoặc khí trong các lỗ khoan hoặc phun khí nóng vào các lỗ khoan có đường kính 0,15 đến 0,2 m để tạo ra vùng ổn định có đường kính 1,3 đến 2,5 m sau khi xử lý liên tục trong khoảng 10 ngày.

Đặc tính kỹ thuật của đất hạt mịn ít bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ dưới 1000°C (ngoại trừ việc làm khô đất) (Bảng 3.). Khi nhiệt độ tăng lên có thể làm tăng khả năng cố kết của đất hạt mịn do việc giảm lực đẩy giữa các hạt, nước lỗ rỗng và độ

ẩm của đất giảm do tốc độ bay hơi tăng. Đối với đất sét, sử dụng nhiệt tối thiểu 400°C để cải thiện một số đặc tính kỹ thuật bao gồm giảm khả năng nén, giảm độ dẻo, giảm khả năng trương nở, độ ẩm tối ưu thấp hơn và tăng cường độ từ 10 đến 20 lần [9].

**Bảng 1. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến tính chất của đất sét [8]**

| Nhiệt độ (°C) | Các tác động                                                                                    |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 100           | Có thể gây khô và tăng đáng kể độ bền của đất sét.                                              |
| 500           | Có thể gây ra những thay đổi vĩnh viễn trong cấu trúc của đất sét do đó làm giảm độ dẻo của nó. |
| 1000          | Có thể tạo ra sự kết hợp của các hạt đất sét thành chất rắn.                                    |

Kỹ thuật này có thể được sử dụng hiệu quả khi có nguồn nhiệt lớn và rẻ tiền ở gần địa điểm. Ngoài ra, xử lý bề mặt bằng thiết bị gia nhiệt di chuyển có thể xử lý thành công ở độ sâu hạn chế của đất bề mặt tại chỗ hiện có hoặc các lớp đệm được thiết kế. Một lưu ý cẩn thận trọng là hãy cẩn thận với chuyển động có thể xảy ra của mặt đất do sự giãn nở của nước sau đó là sự cố kết khi mất nước.

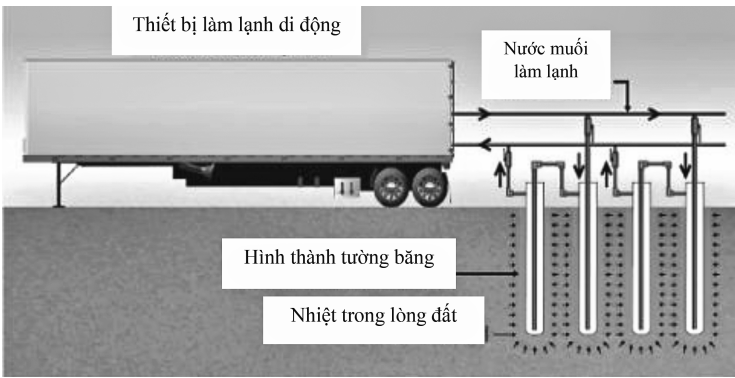
Nhược điểm: Phương pháp này có thể

không được áp dụng nhiều bởi vì sự tăng chi phí nhiên liệu và các vấn đề môi trường khác.

3.5.2. Đóng băng đất

Có hai kỹ thuật được sử dụng để đóng băng đất là [8]:

- *Sử dụng nước muối siêu lạnh:* đặt các ống cách đều nhau tuần hoàn nước muối siêu lạnh (thường <-25°C đến -35°C). Dung dịch được tuần hoàn xuống một ống trung tâm và quay trở lại qua hình khuyên để lấy nhiệt từ đất xung quanh (Hình 3)



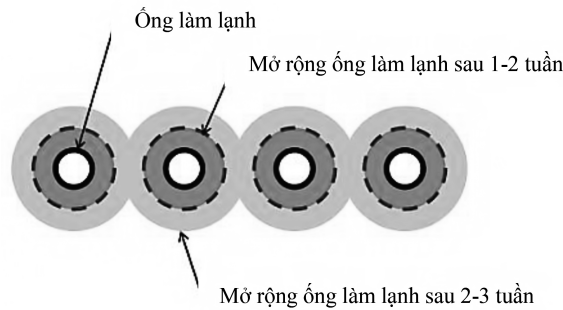
**Hình 3. Sơ đồ ví dụ về đóng băng bằng nước muối siêu lạnh tuần hoàn [8]**

Dung dịch muối mạnh (thường là canxi clorua) có điểm đóng băng thấp hơn

nhiều so với nước lỗ rỗng và do đó sẽ vẫn ở trạng thái lỏng ngay cả ở nhiệt độ thấp

tới  $-35^{\circ}\text{C}$ . Các đường ống thường được đặt thành một hàng hoặc “đường” liên tục hoặc phần tử “kết cấu” tạm thời tạo thành

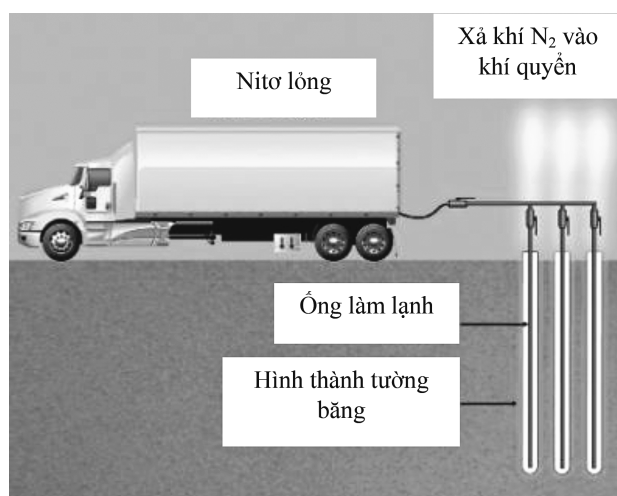
tường băng (freezewall) (Hình 4) để cung cấp hệ đỡ tường và rào chắn thủy lực để cắt nước ngầm.



**Hình 4.** Ví dụ về cách vùng đóng băng xung quanh các ống đóng băng cuối cùng liên kết với nhau để tạo thành một “bức tường” vững chắc, không thấm nước liên tục [8]

- *Sử dụng nitơ lỏng*: để đóng băng trên mặt đất tốn kém hơn do chi phí nitơ, nhưng do nhiệt độ tạo ra cực thấp ( $-196^{\circ}\text{C}$  hoặc  $-320^{\circ}\text{C}$ ), quá trình đóng băng sẽ diễn ra rất nhanh. Ngoài ra, cũng ít sử dụng các thiết bị hơn và ít tốn kém hơn thiết bị làm mát bằng nước muối, cũng như không yêu cầu về nguồn điện. Nitơ lỏng cũng không cháy và không độc hại, có thể dễ dàng vận chuyển trong bể chứa. Những thuộc tính này làm cho việc

đông lạnh bằng nitơ lỏng trở nên thuận lợi cho việc ổn định khẩn cấp tại các địa điểm ở xa (Hình 5 và 6). Khí lỏng được bơm trực tiếp vào các ống đóng băng bằng đồng được lắp đặt trong (hoặc trong trường hợp khẩn cấp, dẫn vào) mặt đất, ống này ngay lập tức đóng băng mặt đất xung quanh khi nitơ lỏng bốc hơi. Nitơ lạnh bốc hơi (tức là khí thải) tiếp tục hút nhiệt khi nó chảy ngược ra khỏi mặt đất.



**Hình 5.** Sơ đồ ví dụ về đông lạnh bằng cách bơm nitơ lỏng [8]



Hình 6. Ứng dụng đóng băng bằng cách bơm nitơ lỏng [8]

**Bảng 2. Cung cấp bản tóm tắt cơ bản về so sánh tương đối giữa nước muối canxi clorua ướp lạnh và nitơ lỏng (LN<sub>2</sub>) [10]**

| Chất làm lạnh     | Nhiệt độ tuần hoàn điển hình (°C) | Thời gian đóng băng    | Chi phí | Tốc độ đóng băng cao của nước ngầm | Thiết bị chuyên dụng                                                  |
|-------------------|-----------------------------------|------------------------|---------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| CaCl <sub>2</sub> | -15 đến -25                       | Vài tuần đến vài tháng | Thấp    | Không                              | Thiết bị làm lạnh di động                                             |
| LN <sub>2</sub>   | -196 (Điểm sôi)                   | Vài ngày đến vài tuần  | Cao     | Có                                 | Bồn LN <sub>2</sub> cung cấp cho dự án trong suốt thời gian thực hiện |

Ưu điểm: Đóng băng mặt đất được áp dụng rộng rãi cho hầu hết các loại đất và cho các hạng mục xây dựng tạm thời (đề chắn sóng, gia cố các kết cấu hiện có, ổn định cho đường hầm...), các hiện tượng trượt dốc mới xảy ra hoặc đang hoạt động, chất thải nguy hại và sự cố tràn các chất độc hại. Kiểm soát rò rỉ tạm thời trong các ứng dụng khử nước trong xây dựng. Sử dụng ở những nơi tồn tại khả năng tiếp cận, giới hạn không gian và cơ sở hạ tầng “nhạy cảm” (các cuộc khai quật liên kế hoặc gần các công trình lịch sử).

Nhược điểm: Khi đất đóng băng bị đào lên, hoặc bề mặt đóng băng có thể bị bức xạ mặt trời làm tan chảy. Trong quá trình đóng băng, đất đóng băng có khả năng bị đẩy lên do sự giãn nở của nước trong lòng

đất và trong quá trình tan băng dẫn đến hiện tượng lún hoặc sụt xuống khi mặt đất đóng băng co lại [8]. Giám sát chặt chẽ tính liên tục của khối đông lạnh như: nhiệt độ nước muối, nhiệt độ đất, độ lệch của các công trình liên kế hoặc gần đó, sự nâng lên và lún ở bề mặt mặt đất, độ mặn của nước ngầm, áp suất trong các ống đóng băng (phát hiện rò rỉ), độ dày của tường đóng băng và vị trí và kích thước của các cửa sổ có thể có trong bức tường đông lạnh...

Tác động môi trường: Đóng băng mặt đất cực kỳ thân thiện với môi trường, đặc biệt là so với các phương án đào khác. Vòng đất đóng băng xung quanh địa điểm khai quật tạo thành một hàng rào chống thấm nước, loại bỏ nhu cầu bơm nước ngầm ra khỏi địa

điểm khai quật, xử lý và lưu trữ. Nó cũng loại bỏ nguy cơ lan truyền nước ngầm bị ô nhiễm vào các khu vực trước đây không bị ô nhiễm.

#### 4. Kết luận và kiến nghị

Có nhiều kỹ thuật cải tiến hiện có có thể được sử dụng nhằm mục đích tăng khả năng chịu lực, tăng cường độ bền cắt và giảm độ lún cố kết của đất bão hòa như thay đất, gia tải trước bằng thoát nước

thẳng đứng, cột đá, ổn định bằng phụ gia và phương pháp nhiệt. Các kỹ thuật này hầu như đạt được các mục tiêu nhằm chống lỏng hóa đất. Tuy nhiên, chúng cần thời gian dài để tiến hành thực hiện cũng như về mặt chi phí. Điều cần thiết là phải hiểu sâu hơn về cơ chế đằng sau và các tác động đến môi trường của các phương pháp này.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Rashmi Rawat, Neelam, Avenish Singhal, 2016. Liquefaction in Soils. *International Journal On Occupational Health & Safety, Fire & Environment – Allied Science*, **vol. 5 issue 1**, pp.012-016
- [2] The Constructor, 2023. 'What is soil liquefaction? Causes and importance' [Trực tuyến]. Xem tại: < <https://theconstructor.org/geotechnical/soil-liquefaction-causes-importance/2340/>> [Truy cập 11/01/2023].
- [3] Gaafer, Manar, Bassioni, Hesham, Mostafa and Tareq, 2015. *Soil Improvement Techniques. International Journal of Scientific & Engineering Research*, **Volume 6, Issue 12**, pp.217-222
- [4] S. Kirmani, S. Arabia, 2005. Consolidation of soil for foundation by using sand drains. *IEP-SAC Journal 2004-2005*, pp.49-55
- [5] Vietnam Geotextile JSC, 2023. 'Wick drain' [Online]. Xem tại: < <https://aritex.com.vn/en/sanpham/wick-drain/#:~:text=Wick%20drain%20is%20a%20geosynthetic,water%20ditch%20in%20both%20sides.>> [Truy cập 11/01/2023].
- [6] Gregory, M.R. and Andrady, A.L. (2003) Plastics in the Marine Environment. In: *Andrady, A.L., Ed., Plastics and the Environment*, Wiley, Hoboken, 379-401. <https://doi.org/10.1002/0471721557.ch10>
- [7] Sina Kazemain and Maassoumeh Barghchi, 2012. Review of soft soils stabilization by grouting and injection methods with different chemical binders. *Scientific Research and Essays* **Vol. 7 (24)**, pp. 2104-2111.
- [8] Peter G. Nicholson, 2015. Chapter 13. Thermal Treatment in *Soil Improvement and Ground Modification Methods*, Publisher: Elsevier, Pages 319-339.
- [9] Abu - Zreig, M., Rudra, R.P., Whiteley, H.R., 2001. *Validation of a vegetated filter strip model (VFSSMOD), Hydrological Processes*. John Wiley&Sons, 15(5), pp.729-742
- [10] The International Information Center for Geotechnical Engineers, 2014. 'Ground Freezing' [Trực tuyến]. Xem tại: <<https://www.geoengineer.org/education/web-class-projects/cee-542-soil-site-improve-winter-2014/assignments/ground-freezing#:~:text=value%20engineering%20process.,Disadvantages,required%20for%20quicker%20soil%20freezing>> [Truy cập 03/11/2023].