

## Phần 9    **Bắc thấm đứng chế tạo sẵn PVD (Bản thảo cuối cùng)**

Tháng 03, 2026

Tham  
khảo

### **1. Chỉ dẫn kỹ thuật**

#### **1-1. Đặc điểm của bắc thấm đứng**

Lý thuyết cố kết một chiều của Terzaghi cho thấy mối quan hệ giữa thời gian cố kết của lớp đất sét và chiều dài thoát nước. Cụ thể, lượng nước thoát ra trong lớp đất sét phụ thuộc vào chiều dài thoát nước lớn nhất, và chiều dài này càng ngắn thì thời gian cần thiết cho quá trình cố kết càng ngắn. Dựa trên lý thuyết này, bằng cách rút ngắn một cách hiệu quả chiều dài thoát nước, có thể đẩy nhanh tốc độ cố kết lún của lớp đất sét.

Phương pháp thoát nước thẳng đứng là một ví dụ điển hình trong việc ứng dụng lý thuyết này. Trong phương pháp này, các giếng thoát nước được bố trí để tạo ra dòng chảy nhân tạo cho nước, từ đó làm giảm chiều dài thoát nước. Nhờ vậy, thời gian cố kết được rút ngắn đáng kể. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng việc sử dụng vật liệu thoát nước kém chất lượng có thể dẫn đến giảm tính thấm do bị uốn cong hoặc tắc nghẽn bởi quá trình lún, khiến thời gian cố kết bị kéo dài.

Như vậy, lý thuyết Terzaghi và phương pháp bắc thấm thoát nước thẳng đứng mang lại kỹ thuật xử lý nền đất hiệu quả trong xây dựng công trình, và việc áp dụng chúng có thể giúp rút ngắn thời gian thi công cũng như giảm chi phí dự án.

#### **1-2. Cơ sở của việc xác minh tính năng**

##### **(1) Mục tiêu và Kết quả dự kiến**

Phương pháp bắc thấm thoát nước thẳng đứng được thiết kế nhằm cải thiện đặc tính đất để đạt các mục tiêu xử lý cụ thể:

- ✓ Tăng cường độ của đất đạt tới mức yêu cầu.
- ✓ Đảm bảo độ lún dư nằm trong giới hạn cho phép.
- ✓ Duy trì ổn định cần thiết cho các công trình hạ tầng.

##### **(2) Tích hợp với hiệu quả công trình**

Việc xác minh tính năng của phương pháp bắc thấm thoát nước thẳng đứng gắn liền với quá trình xác minh tổng thể của công trình, tương tự như các phương pháp cải tạo nền đất khác. Do đó, cần xem xét các khía cạnh sau:

- ✓ Mức tăng cường độ mục tiêu: Cường độ đất cần đạt được.
- ✓ Độ lún cho phép: Giới hạn tối đa về độ lún của công trình.
- ✓ Phạm vi xử lý: Khu vực không gian được áp dụng bắc thấm.

##### **(3) Đánh giá điều kiện nền đất**

Các tham số chính ảnh hưởng tới hiệu quả của phương pháp bắc thấm thoát nước thẳng đứng gồm có:

- ✓ Cường độ không thoát nước của đất nền ban đầu.
- ✓ Tốc độ gia tăng cường độ.
- ✓ Các đặc tính vật lý của đất như trọng lượng thể tích, hệ số cố kết, độ nén thể tích.
- ✓ Áp lực tiền cố kết và bề dày các lớp đất tham gia cố kết.
- ✓ Đặc tính của đất đắp sử dụng, bao gồm cường độ cắt và trọng lượng thể tích.

##### **(4) Quy trình xác minh**

Việc áp dụng phương pháp bắc thấm thoát nước thẳng đứng chủ yếu nhằm rút ngắn thời gian cố kết thông qua gia tải trước, gia tải bằng đất đắp hoặc hút chân không. Các bước quan trọng gồm:

- ✓ Gia tải theo giai đoạn: Do cường độ nền ban đầu không thay đổi ngay sau khi

- lắp đặt, tải trọng cố kết được gia tăng từng giai đoạn.
- ✓ Theo dõi và điều chỉnh: Chiều cao đắp từng giai đoạn được điều chỉnh dựa trên tải trọng cố kết và mức độ cố kết quan sát được.
- ✓ Xác minh tổng thể cuối cùng: Bố trí bậc thấm thoát nước thẳng đứng được xác nhận để đảm bảo có thể tiến hành đắp đất và hoàn thành quá trình cố kết trong thời gian yêu cầu.

### (5) Quản lý thi công

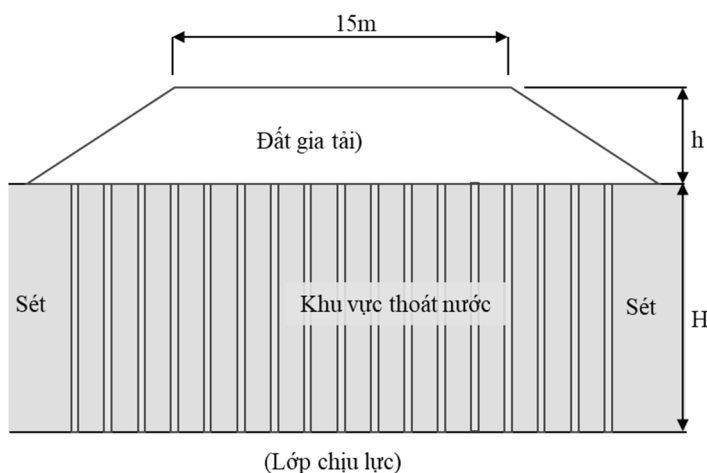
Công tác quản lý hiệu quả là yếu tố quyết định sự thành công của phương pháp thoát nước thẳng đứng, bao gồm:

- ✓ Quản lý vật liệu: Bảo đảm chất lượng, quy cách vật liệu thoát nước và độ sâu lắp đặt.
- ✓ Tính liên tục của hệ thống thoát nước: Đảm bảo thoát nước hoạt động liên tục và kết nối hiệu quả với lớp cát đệm hoặc lớp đất cát sẵn có bên dưới khu vực được cải tạo.
- ✓ Theo dõi tiến độ: Đánh giá thường xuyên để xác nhận sự gia tăng cường độ đất, tiến trình lún, và sự ổn định tổng thể; kịp thời điều chỉnh theo diễn biến áp lực nước lỗ rỗng và các yếu tố liên quan khác.

Cách tiếp cận có hệ thống này bảo đảm rằng tất cả các khía cạnh kỹ thuật và thực tế của phương pháp thoát nước thẳng đứng được xem xét toàn diện, từ giai đoạn lập kế hoạch, thi công cho tới theo dõi, nhằm đạt hiệu quả xử lý nền và tăng cường ổn định công trình.

### 1-3. Xác minh tính năng của đất gia tải

#### (1) Xác định chiều rộng và chiều cao lớp gia tải



TCVN  
11820  
Phần 4-2:  
2020,  
Hình 34

Nguồn: TCVN 11820-4-2-2020

**Hình 1.1- Chiều rộng lớp gia tải theo phương pháp thoát nước thẳng đứng**

Khi sử dụng đất đắp để thúc đẩy quá trình cố kết trong các phương pháp gia tải trước và gia tải thêm, cần có kế hoạch kỹ lưỡng nhằm đạt được độ ổn định nền đất mong muốn:

- ✓ Chiều cao và chiều rộng đất đắp:

Các kích thước này đóng vai trò then chốt trong việc đảm bảo cường độ tăng thêm cần thiết để ổn định khối đất đắp cả trong và sau từng giai đoạn thi công. Đồng thời, chúng ảnh hưởng đến sự ổn định và độ lún cho phép của các công trình xây dựng trên nền đất đã cải tạo, cũng như tác động đến khu vực xung quanh.

✓ Chiều rộng đỉnh (Crown widths):

Chiều rộng đỉnh của khối đất đắp cần ít nhất phải bằng phạm vi cải tạo nền yêu cầu để bảo đảm phạm vi xử lý đầy đủ và hiệu quả của quá trình cải tạo.

## (2) Phân tích sự gia tăng cường độ và độ lún dư

✓ Công thức cường độ và lún

Công thức 1.1 và 1.2 được sử dụng để đánh giá mức tăng cường độ của nền đất ban đầu và độ lún dư dự kiến. Phân bố ứng suất có thể được ước tính bằng lời giải Boussinesq, hoặc phương pháp Boston Code đối với các khu vực có phạm vi rộng, với giả định phân bố ứng suất đồng đều theo chiều sâu của các lớp đất cố kết.

$$\begin{aligned} c_a &\leq \Delta c \\ \Delta c &= c_u/p \Delta p' U \\ \Delta p' &= p'_0 + \alpha \gamma_t h - p'_c \end{aligned} \quad (1.1)$$

Trong đó:

- $c_a$  : Cường độ đất cần đạt được (kN/m<sup>2</sup>)
- $\Delta c$  : Mức tăng cường độ (kN/m<sup>2</sup>)
- $c_u/p$  : Tỷ lệ tăng cường độ
- $U$  : Mức độ cố kết
- $h$  : Chiều cao đất gia tải (m)
- $p'_0$  : Áp lực ban đầu (áp lực thẳng đứng trước khi bắt đầu thi công) (kN/m<sup>2</sup>)
- $p'_c$  : Áp lực tiền cố kết (kN/m<sup>2</sup>)
- $\alpha$  : Hệ số phân bố ứng suất, tức là tỷ số giữa ứng suất phân bố trong đất và tải trọng cố kết (tải trọng đắp nền).
- $\gamma_t$  : Trọng lượng thể tích của vật liệu đắp nền (trọng lượng riêng thể tích ướt phía trên mực nước và trọng lượng thể tích đẩy nổi phía dưới mực nước) (kN/m<sup>3</sup>)

$$S = \frac{\Delta e}{1+e_0} H$$

$$S = m_v (p'_0 + \alpha \gamma_t h - p'_c) H$$

$$S = \frac{C_c}{1+e_0} H \log_{10} \frac{p'_0 + \Delta p'}{p'_0} \quad (1.2)$$

$$S = \left( \frac{C_s}{1+e_0} \log_{10} \frac{p'_c}{p'_0} + \frac{C_c}{1+e_c} \log_{10} \frac{p'_0 + \Delta p' - p'_c}{p'_c} \right) H$$

Trong đó:

- $C_c$  : hệ số nén lún của đất
- $C_s$  : hệ số trương nở của đất
- $e_0$  : hệ số rỗng ban đầu của đất
- $e_c$  : hệ số rỗng của đất tại áp lực tiền cố kết
- $h$  : chiều cao lớp đất đắp (m)
- $H$  : chiều dày lớp đất cố kết (m)

TCVN  
11820  
Phần 4-2:  
2020  
Công thức  
33(a), (b),  
(c), (d)

- $m_v$  : hệ số thể tích của đất ( $m^3/kN$ )
- $p'_0$  : áp lực ban đầu (áp lực thẳng đứng trước khi bắt đầu thi công) ( $kN/m^2$ )
- $p'_c$  : áp lực tiền cố kết ( $kN/m^2$ )
- $S$  : độ lún của đất (m)
- $\Delta e$  : độ tăng của hệ số rỗng đất sét
- $\Delta p'$  : áp lực cố kết ( $kN/m^2$ )

### (3) Xác minh trượt cung tròn (Circular Slip Failure)

✓ Xác minh ổn định

Sự ổn định của nền đất tương ứng với kích thước khối đất đắp đã xác định cần được xác minh bằng các phương pháp phân tích trượt cung tròn. Nếu chưa đảm bảo ổn định, giai đoạn cuối của quá trình đắp đất có thể phải chia nhỏ thành nhiều giai đoạn, kèm theo các bước xác minh ổn định bổ sung cho từng đợt.

✓ Phân tích trượt cung tròn

Độ ổn định chống lại hiện tượng trượt cũng được phân tích kỹ lưỡng, thường tham chiếu đến các nguyên lý ổn định mái dốc. Các hệ số thành phần (partial factors) dùng trong phân tích cần xem xét đến mức gia tăng cường độ được tính toán theo Công thức (1.1).

Phương pháp Fellenius cải tiến (Modified Fellenius Method) giả định rằng phương của hợp lực tác dụng lên mặt phẳng thẳng đứng giữa các lát cắt (slice segments) song song với đáy của các lát cắt. Phương pháp này còn được gọi là phương pháp đơn giản hóa (Simplified Method) hoặc phương pháp Tschebotarioff. Khi cung trượt tròn và lát cắt được bố trí như trong Hình 1.2, phương pháp Fellenius cải tiến có thể áp dụng.

Thiết kế thông thường theo phương pháp hệ số an toàn (safety factor method) tương đương với việc lấy cả hai hệ số  $S$  và  $R$  bằng 1,0. Hệ số điều chỉnh  $m$  (tương đương hệ số an toàn) được lấy ở mức  $\geq 1,30$  cho các trường hợp dài hạn/ thường xuyên (permanent situations). Tuy nhiên, nếu độ tin cậy của các hàng số sử dụng trong xác minh được xem là cao, dựa trên dữ liệu thực tế của cùng loại nền, và có tiến hành quan trắc biến dạng, ứng suất nền trong quá trình thi công, thì hệ số  $m$  có thể lấy  $\geq 1,10$  cho cùng tình huống. Theo các quy tắc này, khi hệ số thành phần  $S$  và  $R$  chưa được xác định, có thể lấy chúng bằng 1,0 (theo phương pháp truyền thống), và hệ số điều chỉnh  $m$  sẽ được chọn tương đương với hệ số an toàn quy ước để xác minh ổn định.

$$m \cdot \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0 \quad R_d = \gamma_R R_k \quad S_d = \gamma_S S_k$$

$$S_k = \sum \left\{ (W_k + q_k) \sin \theta + \frac{1}{R} a P_{HK} \right\} \quad (1.3)$$

$$R_k = \sum \left\{ c_k s + (W'_k + q_k) \cos^2 \theta \cdot \tan \varphi_k \right\} \sec \theta$$

Trong đó:

- $m$  : hệ số hiệu chỉnh
- $S_d$  : giá trị dùng trong thiết kế cho thành phần tải trọng tác dụng ( $kN/m$ )
- $R_d$  : giá trị dùng trong thiết kế cho thành phần sức kháng ( $kN/m$ )
- $S_k$  : giá trị đặc trưng của thành phần tải trọng tác dụng ( $kN/m$ )
- $R_k$  : giá trị đặc trưng của thành phần sức kháng ( $kN/m$ )
- $\gamma_S$  : hệ số thành phần nhân với thành phần tải trọng tác dụng
- $\gamma_R$  : hệ số thành phần nhân với thành phần sức kháng

TCVN  
11820  
Phần 1:  
2025  
Công thức  
(I.102)  
(I.103)

Điều chỉnh  
từ  
TCVN  
11820  
Phần 4-1:  
2020,  
Công thức

- $W_k$  : giá trị đặc trưng của tổng trọng lượng một phân đoạn, bao gồm trọng lượng đất và nước (kN/m)
- $q_k$  : giá trị đặc trưng của tải trọng thẳng đứng tác dụng từ phía trên phân đoạn lát cắt (kN/m)
- $\theta$  : góc giữa đáy phân đoạn lát cắt và phương ngang ( $^\circ$ )
- $a$  : cánh tay đòn tính từ tâm của cung trượt tròn đến vị trí tác dụng lực  $P_H$  (m)
- $P_{Hk}$  : giá trị đặc trưng của lực tác dụng ngang lên phân đoạn đất trong mặt trượt tròn (kN/m)
- $R$  : bán kính của cung trượt tròn (m)
- $c_k$  : giá trị đặc trưng của cường độ kháng cắt không thoát nước đối với đất sét, hoặc giá trị đặc trưng của lực dính biểu kiến trong điều kiện thoát nước đối với đất cát (kN/m<sup>2</sup>)
- $s$  : bề rộng của phân đoạn lát cắt (m)
- $W'_k$  : giá trị đặc trưng của trọng lượng hiệu dụng của phân đoạn trên một đơn vị chiều dài (trọng lượng phần đất; nếu ngập nước thì tính theo trọng lượng thể tích đẩy nổi) (kN/m)
- $\varphi_k$  : giá trị đặc trưng trong trường hợp đất dính là  $0^\circ$ , và trong trường hợp đất cát là giá trị đặc trưng của góc ma sát trong ở điều kiện thoát nước ( $^\circ$ )

(F.1)

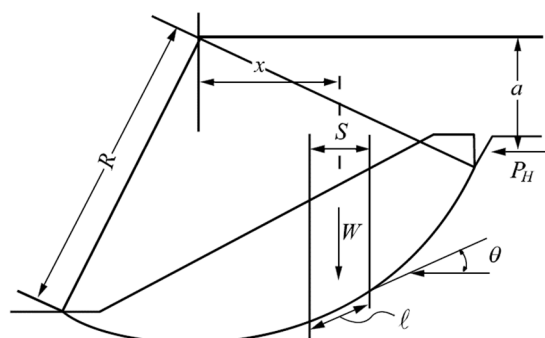
Điều chỉnh từ TCVN 11820 Phần 6: 2023, Công thức (7)

**Bảng 1.1- Hệ số thành phần cho xác minh trượt cung tròn**

Mục tiêu	Hệ số biến thiên của đất dính trong lớp đất đại diện (CV).	Hệ số thành phần nhân với sức kháng $\gamma_R$	Hệ số thành phần nhân với tải trọng $\gamma_S$	Hệ số điều chỉnh $m$
Trượt cung tròn (tình huống lâu dài)	Đất rời	0,83	1,01	(1,0)
	CV < 0,10	0,86	1,05	(1,0)
	0,10 ≤ CV < 0,15	0,85	1,04	(1,0)
	0,15 ≤ CV < 0,25	0,80	1,02	(1,0)
	0,25 ≤ CV	(1,0)	(1,0)	1,30

TCVN 11820 Phần 6: 2023, Bảng 6

Nguồn: TCVN 11820-6-2023



TCVN 11820 Phần 1: 2025 Hình I.37

TCVN 11820 Phần 4-1: 2020, Hình F.1

Nguồn: TCVN 11820-2-2025, TCVN 11820-4-1-2020

**Hình 1.2- Phân tích trượt cung tròn bằng phương pháp Fellenius cải tiến**

#### (4) Quản lý các giai đoạn thi công

✓ Thi công theo giai đoạn (Staged construction):

Khối đất đắp được thi công theo từng giai đoạn, với kích thước mỗi giai đoạn xác định dựa trên mức tăng cường độ của lớp đất cố kết bên dưới từ các giai đoạn trước.

Mức độ cố kết cho mỗi giai đoạn thường lấy khoảng 80%, nhưng có thể dao động từ 50% đến 90% tùy điều kiện.

- ✓ Hiệu quả kinh tế so với tính toán vện kết cấu

Nếu chọn mức cố kết lớn hơn ở mỗi giai đoạn, thời gian chờ thoát nước dài hơn hoặc kéo dài thời gian duy trì tải, ảnh hưởng đến hiệu quả kinh tế. Ngược lại, nếu chọn mức cố kết nhỏ hơn, có thể phải tăng số giai đoạn thi công, do cường độ đất chưa đủ để chống đỡ cho lớp đất đắp tiếp theo.

#### **(5) Xem xét lại và dỡ bỏ tải trước (Re-examination and Preloading Removal)**

- ✓ Đánh giá lại mặt cắt ngang (Cross-sectional re-assessment):

Sau khi thiết lập chu kỳ thoát nước, nên đánh giá lại mặt cắt của khối đất đắp dựa trên tính toán chính xác về mức độ cố kết. Điều này đảm bảo rằng quá trình cố kết đã đạt đủ để đáp ứng yêu cầu thiết kế, đặc biệt trong điều kiện mực nước ngầm cao.

- ✓ Xem xét việc dỡ bỏ tải trước (Preloading considerations):

Nếu đất đắp tải trước được giữ lại và trở thành một phần của công trình cuối cùng thì không cần tháo dỡ. Tuy nhiên, nếu đất đắp tải trước được dỡ bỏ sau khi cố kết thì cần xác minh hiệu quả thật kỹ, do có thể xảy ra hiện tượng nền đất trương nở và giảm cường độ theo thời gian khi đất hút ẩm trở lại.

Cách tiếp cận có hệ thống này giúp bảo đảm rằng mọi khía cạnh của quá trình đắp đất và cố kết nền đều được lập kế hoạch và thi công cẩn trọng, phù hợp với mục tiêu tổng thể của dự án xử lý.

### **1-4. Xác minh hiệu quả của hệ thống thoát nước (Performance Verification of Drain)**

Việc xác minh hiệu quả của hệ thống thoát nước cần được thực hiện dựa trên tính toán, có xét đến khoảng cách và đường kính các ống/bấc thấm thoát nước, điều kiện thoát nước ở phía trên và dưới lớp đất cần cố kết, đặc tính thấm của vật liệu bấc thoát nước và lớp đệm cát, chiều dày các lớp đệm cát.

#### **(1) Hệ thống thoát nước và lớp đệm cát (Drains and Sand Mats)**

##### **1) Chức năng thoát nước của hệ thống thoát nước và lớp đệm cát**

Các ống/bấc thoát nước và lớp đệm cát dùng trong quá trình cố kết nền đất phải đáp ứng các tiêu chí về khả năng thoát nước đã được xác định trước, để đảm bảo hoạt động đúng chức năng trong suốt quá trình cải tạo nền.

##### **2) Mức độ cố kết và đường kính của ống/bấc thoát nước (Consolidation Degrees and Drain Diameters)**

Hiệu quả của hệ thống thoát nước trong quá trình cố kết đất phụ thuộc vào kích thước và cách bố trí các ống/bấc thoát nước.

- ✓ Hệ số tỷ lệ (Proportional factors):

Tốc độ cố kết gần như tỷ lệ thuận với đường kính ống/bấc thoát nước và tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng.

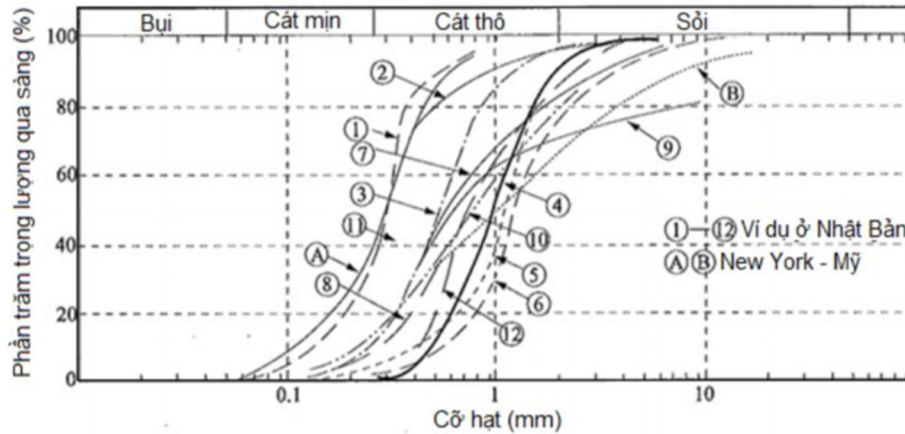
- ✓ Cấu hình tối ưu (Optimal configuration):

Các ống/bấc đường kính nhỏ, bố trí với khoảng cách ngắn → thường tiết kiệm vật liệu hơn so với các ống/bấc có đường kính lớn nhưng đặt thưa.

- ✓ Nguy cơ tắc nghẽn và tính toàn vẹn kết cấu (Risk of clogging and structural integrity):

Bấc hoặc cọc cát đường kính nhỏ dễ bị tắc nghẽn do các hạt đất dính hoặc bị gãy khi nền đất biến dạng trong quá trình gia tải và duy trì tải. Trong phương pháp cọc cát

(Sand Drain Method), đường kính cọc cát thường dùng phổ biến là 40–50 cm.



Nguồn: TCVN 11820-4-2-2020

**Hình 1.3- Ví dụ về sử dụng cọc cát**

TCVN  
11820  
Phần 4-2:  
2020,  
Hình 35

### 3) Vật liệu cho cọc cát (Materials for Sand Piles)

Việc lựa chọn cát để thi công cọc cát đóng vai trò then chốt nhằm ngăn ngừa tắc nghẽn và đảm bảo hiệu quả thoát nước:

- ✓ Thành phần cấp phối hạt (Grain size distribution):

Theo tiêu chuẩn Terzaghi, đường kính hạt đặc trưng của cát sử dụng ( $D_{15}$ ) phải lớn ít nhất 4 lần  $D_{15}$  của đất nền cần cố kết và không vượt quá 4 lần  $D_{85}$  của đất đó.

- ✓ Yêu cầu về độ thô (Coarse requirements):

Một số nghiên cứu đề xuất dùng loại cát thô hơn so với tiêu chuẩn Terzaghi để bù cho khả năng mất áp trong quá trình thoát nước, nghĩa là cần loại cát có cấp phối hạt phù hợp để duy trì tính thấm.

### 4) Vật liệu cho bắc thấm chế tạo sẵn (Prefabricated Drains)

Những tiến bộ trong vật liệu thoát nước đứng đã dẫn đến sự phát triển của các loại cọc thoát nước chế tạo sẵn (bắc thấm):

- ✓ Các dạng thiết kế (Design variations):

Bao gồm bắc thấm dạng dải với kết cấu composite, bao gồm lớp vải không dệt hoặc lõi nhựa tổng hợp, được thiết kế giúp dễ thi công và có thể hiệu quả hơn.

- ✓ Xác minh hiệu quả (Performance verification):

Bắc thấm chế tạo sẵn thường được quy đổi diện tích tiết diện ngang tương đương với cọc cát tròn, thông thường giả định có đường kính khoảng 5 cm. Tuy nhiên, bắc có khả năng thoát nước kém có thể làm chậm quá trình cố kết, đặc biệt ở các đoạn phía dưới của bắc thấm.

### 5) Lớp đệm cát (Sand Mats)

Đệm cát được sử dụng để thoát nước ra khỏi khu vực xử lý nền, hỗ trợ quá trình cố kết:

- ✓ Chất lượng vật liệu (Material quality):

Cát có chất lượng cao, đặc tính thấm tốt là điều kiện bắt buộc để lớp đệm hoạt động hiệu quả.

- ✓ Chiều dày (Thickness considerations):

Thông thường, lớp đệm cát có độ dày từ 1,0 đến 1,5 mét đối với các công trình ngoài khơi và từ 0,5 đến 1,0 mét đối với công trình trên đất liền. Chiều dày phải cân bằng giữa khả năng thoát nước hiệu quả và không cản trở việc lắp đặt bắc thấm.

- ✓ Giải pháp tăng cường thoát nước (Enhanced drainage solutions):

Trong trường hợp khả năng thấm của đệm cát bị hạn chế, có thể bố trí thêm ống thoát nước trong lớp đệm để tăng cường thoát nước.

✓ Phương pháp cải tiến (Innovative methods):

Các nghiên cứu phát triển gần đây đã đề xuất các phương án sử dụng phần kéo dài của bắc thấm, được bố trí theo ô lưới, có thể thay thế đệm cát truyền thống bằng cách duy trì các kênh thoát nước ngang hiệu quả.

Những lưu ý và cải tiến này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc lựa chọn đúng vật liệu và cấu hình trong các dự án cố kết đất nhằm tối ưu hiệu quả và quản lý rủi ro một cách hiệu quả.

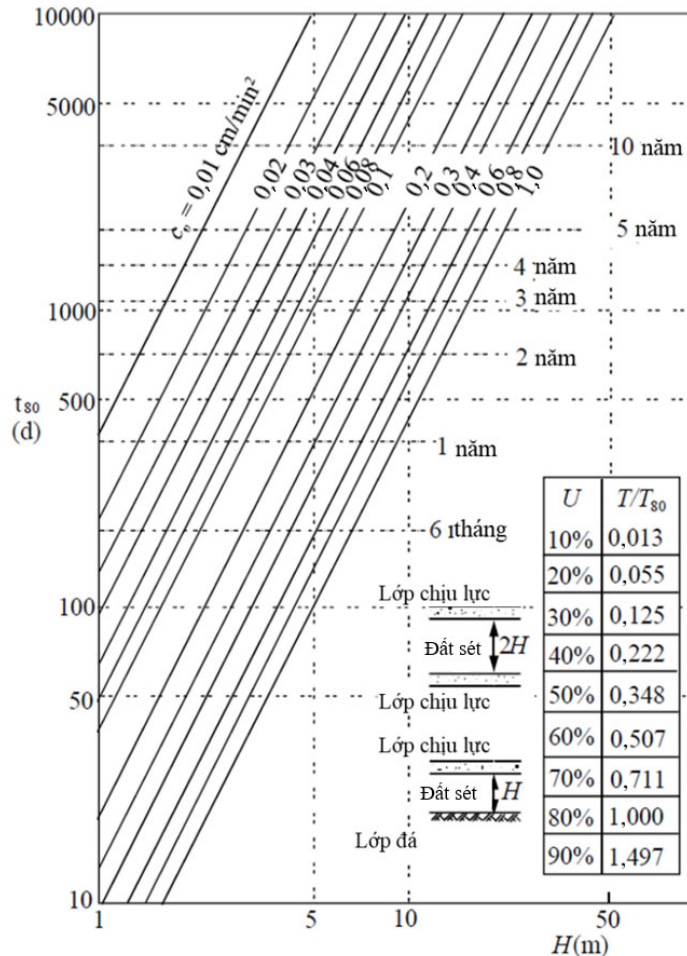
## (2) Khoảng cách bố trí hệ thống thoát nước (Drains Intervals)

### 1) Xác định khoảng cách bố trí ống/bắc thoát nước (Determining Drain Intervals):

Khoảng cách bố trí ống/bắc thoát nước là yếu tố quan trọng để đạt mức độ cố kết mong muốn trong khoảng thời gian thi công quy định. Khoảng cách cần được hiệu chỉnh phù hợp để đảm bảo quá trình thoát nước và gia cố nền diễn ra hiệu quả.

### 2) Áp dụng trong thực tế (General Implementation):

Hệ thống thoát nước đứng thường được áp dụng khi tốc độ cố kết tự nhiên của đất không đáp ứng được tiến độ dự án. Mối quan hệ giữa thời gian cố kết, chiều dài đường thoát nước, và hệ số cố kết thường được mô hình hóa để làm cơ sở tính toán. Hình 1.4 minh họa mối quan hệ này khi áp dụng phương pháp gia tải trước.



OCDI  
2020,  
Phần III  
Chương 2  
Hình 5.4.4

Nguồn: OCDI 2020

Hình 1.4- Số ngày cần thiết để đạt được mức độ cố kết của các lớp đất dính

### 3) Xác định khoảng cách hệ thống thoát nước

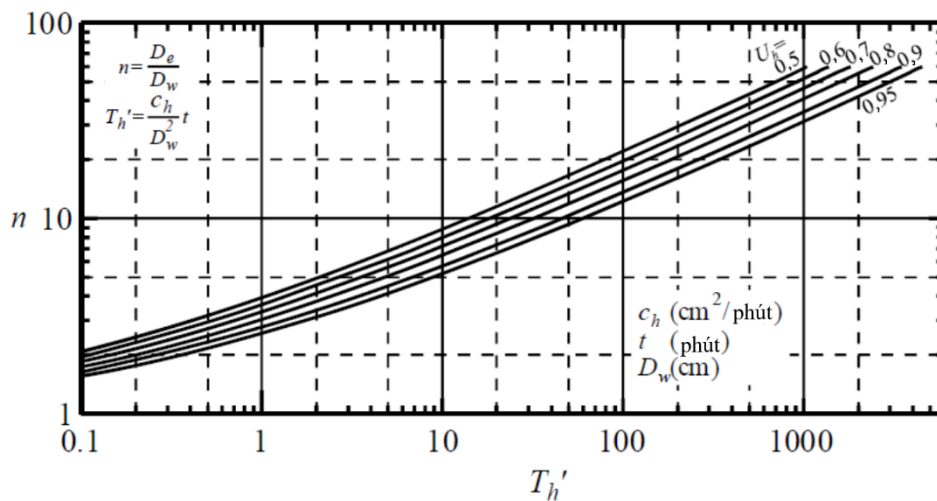
Khoảng cách bố trí ống/bắc thấm thoát nước có thể được xác định bằng các mô hình lý thuyết chuyên biệt, chẳng hạn như các mô hình của Baron hoặc Bio, được minh họa qua sơ đồ và công thức (ví dụ Hình 1.5 và Công thức (1.4)). Tuy nhiên, cần thận trọng vì nếu khoảng cách quá nhỏ có thể dẫn tới hiện tượng bôi trơn (smear) – tức là đất sét xung quanh bắc bị xáo trộn trong quá trình lắp đặt, làm giảm độ thấm và gây chậm quá trình cố kết so với dự kiến.

$$d = \beta n d_w \quad (1.4)$$

Trong đó:

- $d$  : khoảng cách giữa các ống/bắc thoát nước (cm)
- $\beta$  : hệ số liên quan đến cách bố trí ống/bắc thoát nước.  $\beta = 0,886$  trong trường hợp bố trí hình vuông;  $\beta = 0,952$  trong trường hợp bố trí tam giác đều
- $n$  :  $n = d_e / d_w$  (giá trị  $n$  có thể xác định từ Hình 1.4)
- $d_e$  : đường kính tương đương của ống/bắc thoát nước (cm)
- $d_w$  : đường kính thực của ống/bắc thoát nước (cm)
- $T_h'$  : tham số tương tự như hệ số thời gian,  $T_h' = C_h t / (D_w^2)$
- $C_h$  : hệ số cố kết liên quan đến dòng chảy nước theo phương ngang ( $\text{cm}^2/\text{phút}$ )
- $t$  : thời gian cố kết (phút)

OCDI  
2020,  
Phần III  
Chương 2  
Công thức  
(5.4.3)



OCDI  
2020,  
Phần III  
Chương 2  
Hình 5.4.5

Nguồn: OCDI 2020

Hình 1.5- Biểu đồ xác định giá trị  $n$

### 4) Đường kính thoát nước tương đương (Equivalent Drain Diameters)

Đường kính thoát nước tương đương ( $d_e$ ) được định nghĩa là đường kính của một hình tròn có diện tích bằng với diện tích tương đương của tiết diện ống/bắc thoát nước. Mỗi quan hệ giữa  $d_e$  và khoảng cách bố trí ống/bắc thoát nước ( $d$ ) như sau:

- ✓ Bố trí vuông (Square arrangement):  $d_e = 1,128d$
- ✓ Bố trí tam giác (Triangular arrangement):  $d_e = 1,050d$

### 5) Xem xét dòng chảy nước theo phương đứng (Vertical Water Flow Considerations)

Mặc dù thoát nước theo phương ngang là chủ yếu, nhưng thoát nước đứng cũng đóng vai trò quan trọng, đặc biệt trong các lớp đất mỏng cần cố kết. Ảnh hưởng của

dòng thấm đứng không nên đánh giá thấp và cần được xem xét trong các phân tích xác minh hiệu quả.

### 6) Hệ số cố kết theo phương ngang (Coefficient of Consolidation in Horizontal Direction)

Hệ số cố kết theo phương ngang ( $c_h$ ) thường lớn hơn hệ số theo phương đứng ( $c_v$ ), nhưng kết quả thực nghiệm có thể khác nhau. Trong thực tế, khi không có số liệu chính xác,  $c_v$  đôi khi được dùng thay thế cho  $c_h$  trong các tính toán, nhằm đơn giản hóa quá trình thiết kế.

### 7) Tính toán mức độ cố kết (Calculating Degrees of Consolidation)

Sau khi xác định khoảng cách ống/bấc thoát nước, mối quan hệ giữa mức độ cố kết ( $U$ ) và thời gian trôi qua ( $t$ ) có thể được xác định thông qua Công thức (1.5) và minh họa trên Hình 1.6.

$$U = 1 - \exp\left(-\frac{8T_h}{F(n)}\right)$$

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2-1} \ln(n) - \frac{3n^2-1}{4n^2}$$

$$T_h = \frac{C_h t}{d_e^2}$$

$$n = \frac{d_e}{d_w}$$

TCVN  
11820  
Phần 4-2:  
2020,  
Công thức  
(34)

Trong đó:

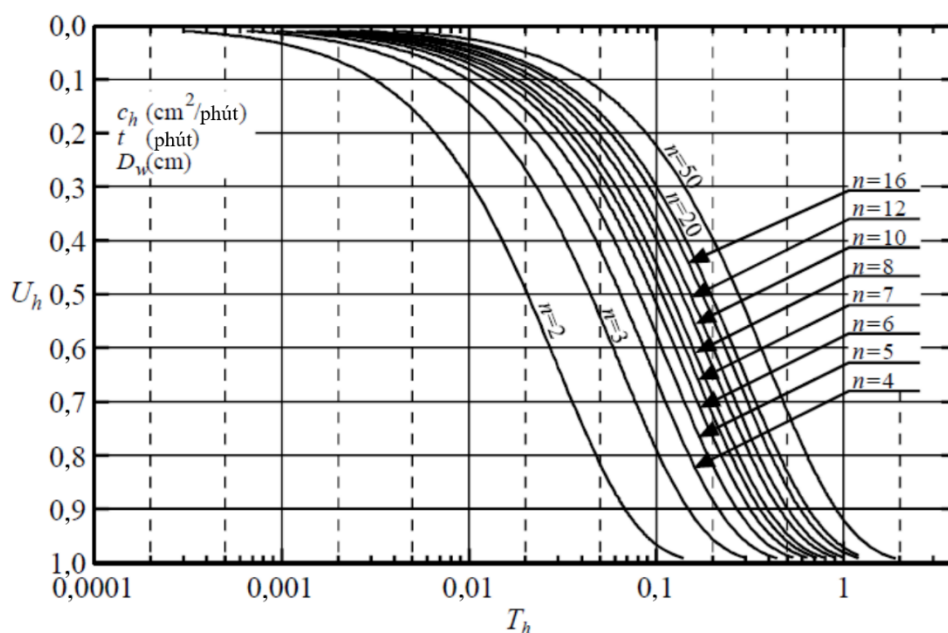
- $U$  : độ cố kết trung bình
- $T_h$  : hệ số thời gian cố kết do nước chảy theo phương ngang
- $C_h$  : hệ số cố kết do nước chảy theo phương ngang (cm<sup>2</sup>/ngày)
- $t$  : thời gian đã trôi qua kể từ khi bắt đầu quá trình cố kết (ngày)
- $d_e$  : đường kính tương đương của ống thoát nước (cm)
- $d_w$  : đường kính của ống thoát nước (cm)

Đường kính ống/bấc thoát nước ( $d_w$ ) cần được tính toán theo Công thức (1.6) trong trường hợp sử dụng bấc thấm đứng chế tạo sẵn (Prefabricated Vertical Drain – PVD). Trong thực tế thiết kế và tính toán, giá trị này thường được giả định xấp xỉ 5 cm.

$$d_w = 2(a+b) / \pi$$

$$d_w = (a+b) / 2$$

TCVN  
11820  
Phần 4-2:  
2020,  
Công thức  
(35)



Nguồn: OCDI 2020

Hình 1.6- Biểu đồ xác định mức độ cố kết

### 8) Yếu tố ảnh hưởng đến tốc độ lún

Quá trình cố kết bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố, chẳng hạn như hiệu ứng bôi trơn smear, sức cản của giếng thoát nước và sức cản của lớp đệm cát, những yếu tố này có thể được đưa vào thiết kế để đánh giá chính xác.

Một vùng xung quanh ống/bấc thoát nước có độ thấm và đặc tính cố kết bị ảnh hưởng bởi sự xáo trộn của đất. Hiệu ứng của vùng bôi trơn smear trở nên chiếm ưu thế trong trường hợp khoảng cách giữa các ống/bấc thoát nước nhỏ.

Ảnh hưởng của sức cản giếng thoát nước và sức cản lớp đệm cát cần được đưa vào tính toán mức độ cố kết khi các sức cản này không thể bỏ qua. Trong trường hợp ống/bấc thoát nước dài, sức cản giếng có khả năng xảy ra, do đó độ thấm của ống/bấc thoát nước phải được xem xét theo các Công thức (1.7).

$$U = 1 - \exp\left(-\frac{8T_h}{F(n+0,8(L_w+L_m))}\right)$$

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2-1} \ln(n) - \frac{3n^2-1}{4n^2}$$

$$T_h = \frac{C_h t}{d_e^2} \quad (1.7)$$

$$n = \frac{d_e}{d_w}$$

$$L_m = \frac{32}{\pi^2} \frac{H k_c}{n^2 H_m k_m} \left(\frac{B}{d_w}\right)$$

$$L_w = \frac{32}{\pi^2} \frac{k_c}{k_w} \left(\frac{H}{d_w}\right)^2$$

Trong đó:

- $B$  : chiều dài của lớp đệm thoát nước (m)
- $H$  : chiều dài của ống/bấc thoát nước đứng (m)
- $H_m$  : chiều dày của lớp đệm thoát nước (m)

TCVN  
11820  
Phần 4-2:  
2020,  
Công thức  
(37)

- $k_c$  : hệ số thấm của đất nền (m/phút)  
 $k_m$  : hệ số thấm của lớp đệm thoát nước (m/phút)  
 $k_w$  : hệ số thấm của ống/bấc thoát nước đứng (m/phút)  
 $L_m$  : hệ số cản trở của lớp đệm  
 $L_w$  : hệ số cản trở của ống/bấc thoát nước đứng

### 9) Ứng xử lún (Settlement Behavior)

Lún thường xảy ra nhanh hơn ở khu vực gần ống/bấc thoát nước. Khái niệm lún đều (even settlement), trong đó áp lực được phân bố đồng đều hơn nhờ hiệu ứng vòm (arching effect), đối lập với lún tự do (free settlement), khi phân bố áp lực vẫn giữ nguyên. Hiểu rõ những cơ chế này là rất quan trọng để phân tích hiện trường chính xác.

### 10) Cố kết do tải trọng tăng dần (Incremental Load Consolidation)

Trong các dự án mà đất đắp được thi công theo từng giai đoạn, việc gia tải tăng dần cho phép nâng cao dần áp lực cố kết. Các phương pháp đơn giản đã được phát triển để tính toán quá trình cố kết trong những điều kiện này.

### 11) Hệ thống thoát nước xuyên không hoàn toàn (Partial Penetration Drains)

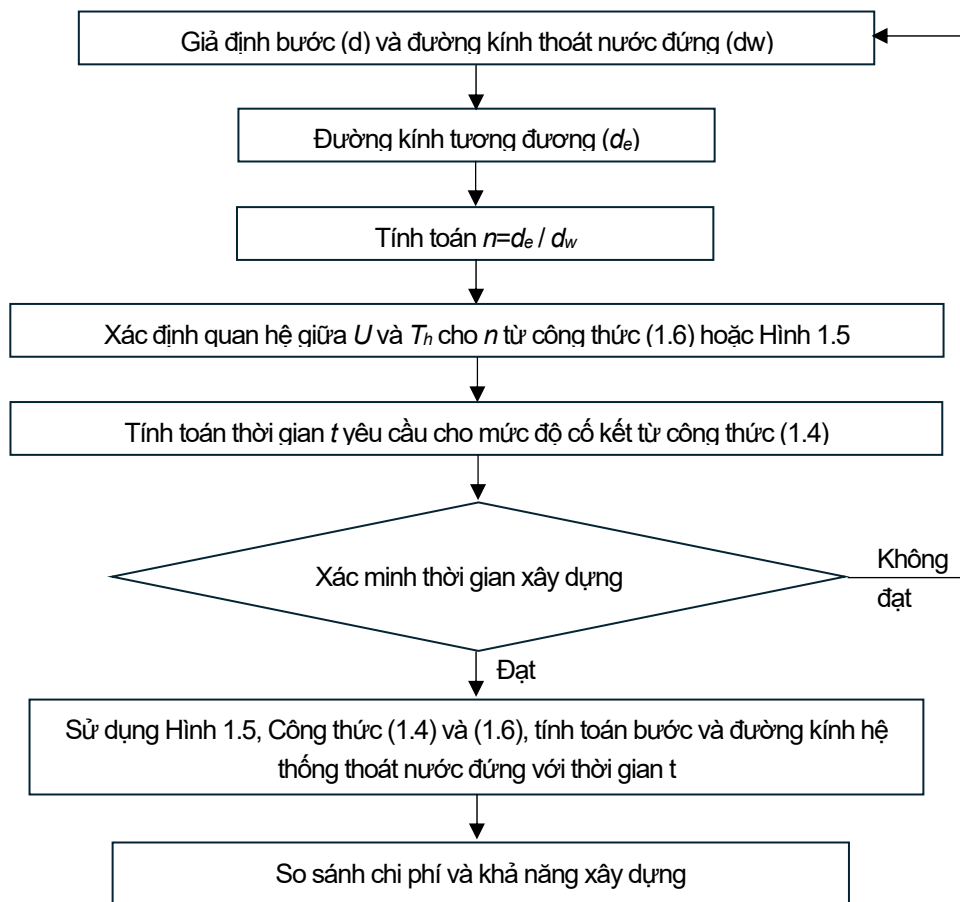
Trong những trường hợp ống/bấc thoát nước không thể xuyên hết toàn bộ lớp đất cần xử lý, quá trình cố kết có thể bị kéo dài đáng kể. Các phương pháp đơn giản được sử dụng để ước tính quá trình cố kết trong những điều kiện chưa tối ưu này.

### 12) Các lớp đất dính không đồng nhất (Inhomogeneous Cohesive Soil Layers)

Khi các lớp đất có tính chất không đồng nhất, cần phải tiến hành phân tích chi tiết theo từng lớp riêng biệt để dự đoán và quản lý kết quả cố kết một cách chính xác. Các tài liệu và phương pháp chuyên biệt có thể được tham khảo để hướng dẫn việc đánh giá phức tạp này.

Những hướng dẫn và nguyên tắc này rất quan trọng để tối ưu hóa việc thiết kế và triển khai hệ thống thoát nước đứng trong các dự án gia cố nền đất yếu, đảm bảo hiệu quả và đạt được kết quả cố kết mong muốn trong phạm vi các điều kiện của dự án.

Hình 1.7 minh họa sơ đồ quy trình thiết kế hệ thống thoát nước đứng.



Nguồn: Nhóm JICA

**Hình 1.7- Quy trình thiết kế thoát nước thẳng đứng**

### 1-5. Phương pháp cố kết bằng chân không (Vacuum Consolidation Method)

Phương pháp cố kết bằng chân không là một cách tiếp cận đặc biệt trong xử lý nền đất, trong đó ứng suất hữu hiệu trong đất được gia tăng bằng cách giảm áp lực nước lỗ rỗng, thay vì tác dụng tải trọng bên ngoài như gia tải trước. Phương pháp này thường được kết hợp với thoát nước thẳng đứng, giúp tăng tốc đáng kể quá trình cố kết.

#### (1) Đặc điểm chính và Ưu điểm

- ✓ Không phát sinh ứng suất cắt bổ sung:

Khác với phương pháp gia tải, cố kết bằng chân không không tạo thêm ứng suất cắt trong đất, nhờ đó giảm nguy cơ mất ổn định, đặc biệt phù hợp ở các khu vực nhạy cảm.

- ✓ Tốc độ thi công nhanh:

Do không cần áp dụng gia tải theo giai đoạn như các phương pháp gia tải trước, cố kết chân không giúp rút ngắn thời gian thi công, rất hữu ích với các dự án có tiến độ gấp.

#### (2) Hạn chế và Nhược điểm

- ✓ Tỷ lệ cố kết thấp hơn:

Thực tế cho thấy cố kết bằng chân không đạt tỷ lệ cố kết thấp hơn so với phương pháp gia tải trước, tức là dù bắt đầu cố kết nhanh hơn nhưng hiệu quả làm chặt đất có thể kém hơn trong cùng một khoảng thời gian.

- ✓ Tăng cường độ nền chậm hơn:

Trong giai đoạn đầu, cường độ đất tăng chậm hơn so với khi gia tải, điều này có thể ảnh hưởng đến tiến độ thi công công trình giai đoạn sớm và đòi hỏi điều chỉnh kế hoạch quản lý.

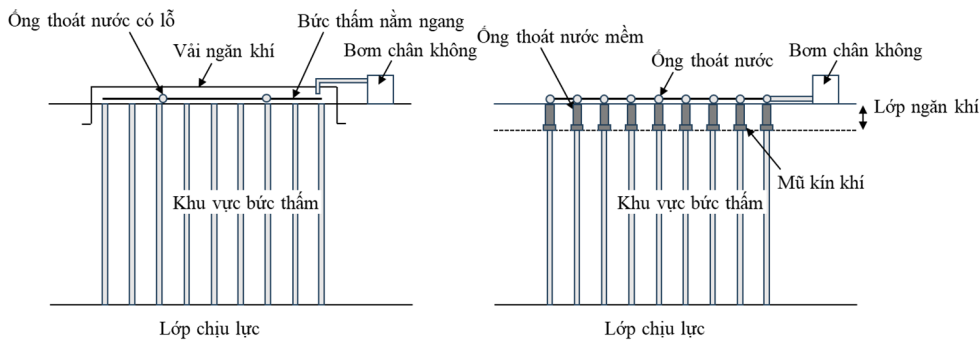
### (3) Lưu ý khi áp dụng

Phương pháp cố kết chân không đặc biệt phù hợp trong các dự án có ưu tiên giảm thiểu lượng đất đắp gia tải và rút ngắn thời gian thi công.

Trong thực tế, cần quan trắc chặt chẽ và đánh giá phản ứng của nền đất đối với cố kết bằng chân không để đảm bảo đạt được các đặc tính đất mong muốn, tránh chậm trễ hoặc sự cố phát sinh.

### (4) Các phương pháp điển hình

- ✓ Áp dụng áp suất chân không khoảng 50 – 80 kPa để thúc đẩy quá trình cố kết.
- ✓ Phương pháp màng kín khí (airtight sheet method): bề mặt đất được phủ màng kín để ngăn không khí xâm nhập, duy trì áp suất âm trên toàn bộ khu vực xử lý.
- ✓ Phương pháp chụp kín khí (airtight cap method): mỗi bậc thấm được gắn nắp chụp kín khí ở đầu, áp suất âm được tạo riêng lẻ cho từng bậc.



Nguồn: Nhóm JICA

**Hình 1.8- Phương pháp tấm kín khí (trái) và phương pháp nắp kín khí (phải)**

### 1-6. Phương pháp trộn khí nén (Pneumatic Flow Mixing Method)

Từ góc độ bảo tồn môi trường và sử dụng hiệu quả tài nguyên, hiện nay có xu hướng tái sử dụng đất nạo vét thay vì xử lý chúng như chất thải. Đất nạo vét có hàm lượng nước cao và cường độ thấp, vì vậy trước đây khó sử dụng trực tiếp làm vật liệu xây dựng. Tuy nhiên, với các phương pháp xử lý thích hợp, đất nạo vét có thể được tái sử dụng làm vật liệu san lấp.

Phương pháp PVD (Prefabricated Vertical Drain) là kỹ thuật cố kết, trong đó vật liệu thoát nước được cắm vào đất yếu (ví dụ đất nạo vét) để thúc đẩy thoát nước lỗ rỗng. Ngược lại, phương pháp trộn khí nén (Pneumatic Flow Mixing Method) là kỹ thuật xử lý đất, trong đó đất nạo vét được trộn và gia cố tại chỗ bằng chất rắn hóa, tạo nên nền đất cải tạo có cường độ cao và có thể sử dụng ngay làm nền móng.

Ưu điểm lớn nhất là tái sử dụng đất nạo vét ngay tại chỗ cho các mục đích như san lấp, lớp chống thấm, cải tạo nền, thay vì phải vận chuyển và xử lý thải bỏ. Phương pháp này được nêu trong TCVN Phần 4-2:2019, Chương 9.

#### (1) Đặc điểm chính và Ưu điểm

- ✓ Khả năng thi công (Constructability):

Vì tận dụng đất nạo vét làm vật liệu san lấp nên nhu cầu xử lý và vận chuyển đất thải là rất ít. Trong quá trình thi công, dung dịch chất rắn hóa được bơm trực tiếp vào đất nạo vét chứa nước thông qua ống dẫn, giúp đạt hiệu quả trộn cao.

- ✓ Kiểm soát chất lượng (Quality control):

Quá trình trộn có thể được giám sát liên tục, nhờ đó tạo ra nền đất cải tạo được rắn hóa đồng đều và đảm bảo chất lượng ổn định.

- ✓ Khả năng ứng dụng (Applicability):

TCVN  
11820  
Phần 4-2:  
2020,  
Phụ lục  
A

Có thể áp dụng ở các khu vực chật hẹp, trực tiếp bên dưới công trình hiện hữu, cũng như những nơi có mực nước ngầm cao.

## (2) Hạn chế và Nhược điểm

✓ Lựa chọn đất và kiểm soát liều lượng (Soil selection and amount control):

Cần tiến hành thí nghiệm trong phòng trước để xác định loại và lượng chất rắn hóa phù hợp. Nếu chọn sai, nền đất có thể không đạt đủ cường độ hoặc gặp vấn đề về độ bền lâu dài.

✓ Độ đồng đều khi trộn (Mixing uniformity):

Nếu việc trộn không đủ hoặc không đồng đều, khối đất cải tạo có thể không đồng nhất, gây ra yếu cục bộ và lún không đều.

✓ Chi phí (Cost):

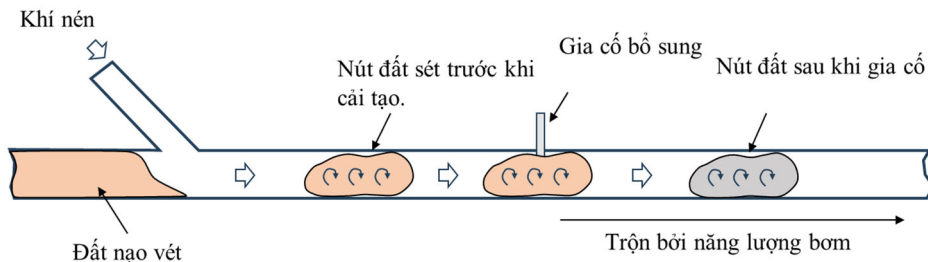
Phương pháp này giúp giảm chi phí xử lý và vận chuyển đất thải, nhưng tổng chi phí vẫn cao do giá thành của chất rắn hóa và yêu cầu tàu/vật tư chuyên dụng.

## (3) Các phương pháp điển hình



Nguồn: TCVN 11820-4-2-2020

Hình 1.9- Sơ đồ diễn hình của phương pháp trộn dòng khí nén



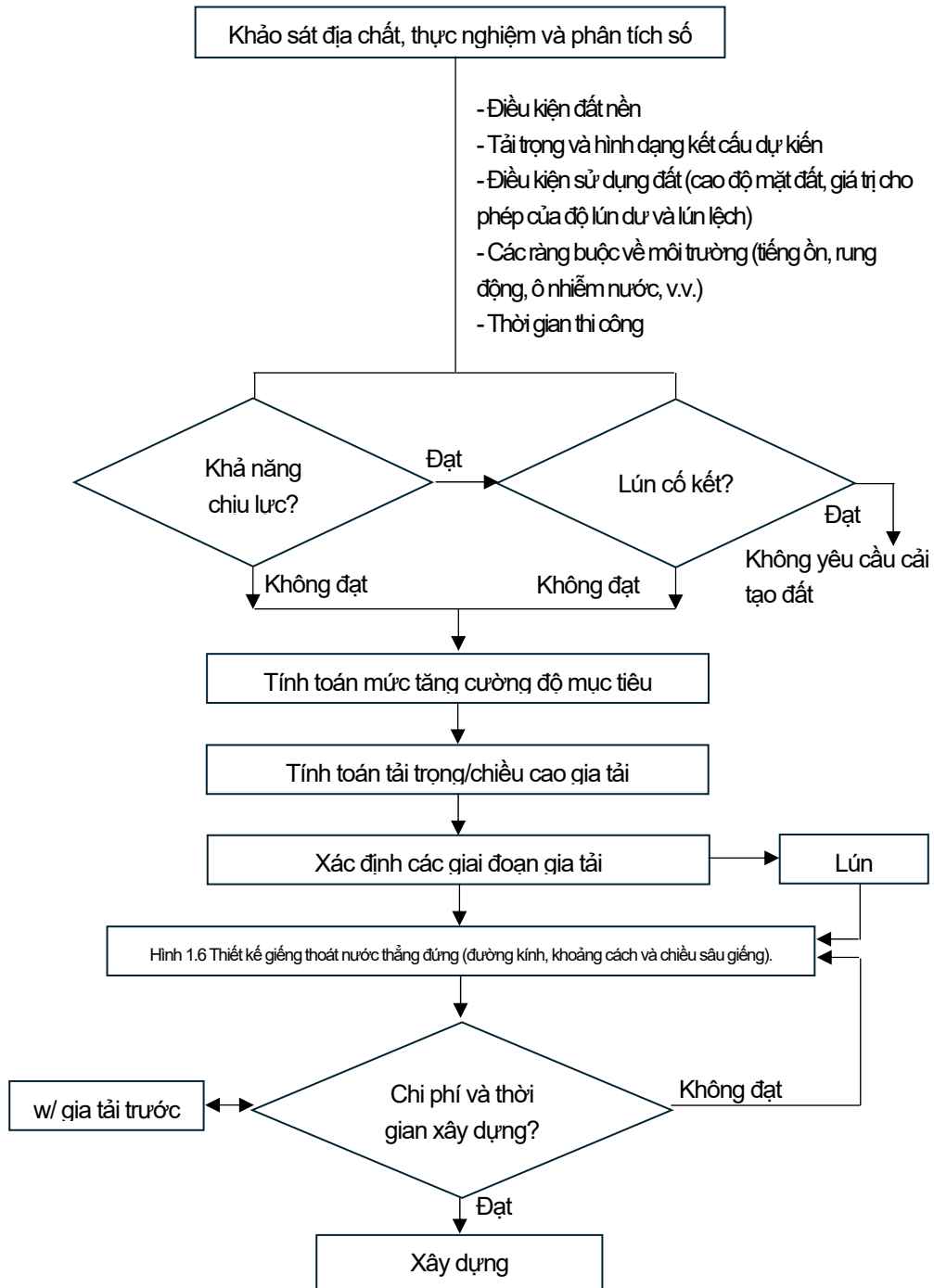
Nguồn: Nhóm JICA

Hình 1.10- Sơ đồ trộn của phương pháp trộn dòng khí nén

TCVN  
11820  
Phần 4-2:  
2020,  
Hình A.5

## 2. Ví dụ thiết kế

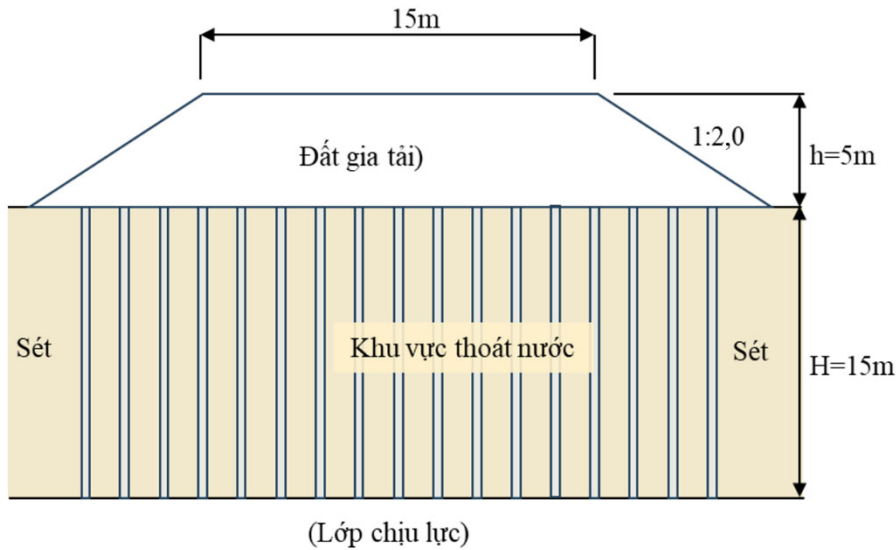
### (1) Sơ đồ trình tự thiết kế



Nguồn: Nhóm JICA

Hình 2.1- Quy trình thiết kế gia cố nền

**(2) Mặt cắt ngang điển hình và điều kiện thiết kế cho xác minh tính năng**



**Hình 2.2- Ví dụ thiết kế**

- ✓ Chiều dày lớp đất sét: 15,0 m, thoát nước hai phía (double drainage)
- ✓ Tính chất đất: đất sét cố kết bình thường (NC clay)
- ✓ Cường độ ban đầu của đất:  $c = c_0 + kz$  ( $c_0 = 1,0\text{kN/m}^2$ ,  $k = 2,5\text{kN/m}^3$ )
- ✓ Tỷ lệ tăng cường độ:  $c_u/p = 0,3$
- ✓ Hệ số cố kết:  $C_v = C_h = 0,05\text{cm}^2/\text{phút}$
- ✓ Mục tiêu tăng cường độ:  $20\text{kN/m}^2$
- ✓ Mục tiêu mức độ cố kết ở mỗi giai đoạn đắp nền: 80%
- ✓ Thời gian thi công: 1 năm
- ✓ Chiều cao đắp: 5 m (trọng lượng riêng:  $20\text{kN/m}^3$ ; xem tính toán (4))

**(3) Đánh giá chiều rộng gia cố**

Khi xem xét đến ổn định mái dốc (slope stability), đã xác định rằng cần tiến hành xử lý nền trên toàn bộ bề rộng của khối đắp.

**(4) Tính toán chiều cao gia tải**

Chiều cao của khối đất đắp, khi mục tiêu là tăng cường độ nền đất, được xác định theo Công thức (1.1).

$$\begin{aligned} \Delta c &= c_u/p \Delta p' U \\ \Delta p' &= p'_0 + \alpha \gamma_t h - p'_c \end{aligned} \quad (1.1)$$

Ở đây,  $p'_0 = p'_c = 0$ , và qua công thức (1.1) đưa ra công thức (2.1):

$$\gamma_t h = \frac{1}{\alpha} \left( \frac{\Delta c}{\left( \frac{c_u}{p} \right) U} \right) \quad (2.1)$$

Hệ số phân bố ứng suất ( $\alpha$ ) là tỷ số giữa ứng suất phân bố trong nền đất và tải trọng của khối đất đắp, được xác định theo lời giải đàn hồi Boussinesq (Boussinesq's elastic solution), hoặc Phương pháp Boston Code. Các giá trị đặc trưng ở phần trung tâm của nền đất được tổng hợp trong Bảng 2.1.

**Bảng 2.1- Hệ số phân bố ứng suất**

Phương pháp	Hệ số ( $\alpha$ )
Boussinesq	0,83
Boussinesq (bao gồm mái dốc)	0,90
Tiêu chuẩn Boston	0,63

Nguồn: OCDI 2020

Để đảm bảo mức tăng cường độ tại phần trung tâm của nền đất, chiều cao đất đắp cần thiết ( $h$ ) có thể được xác định theo công thức sau, dựa trên Công thức (2.1).

$$\begin{aligned}
 \gamma_t h &= \frac{1}{0,90} \left( \frac{20,0}{0,3 \times 0,8} \right) \\
 &= 92,6 \approx 100 \text{ kN/m}^2 \\
 h &= 100/20,0 = 5,0 \text{ m}
 \end{aligned}$$

**(5) Xác định số giai đoạn gia tải (Determination of the Number of Loading Stages)**

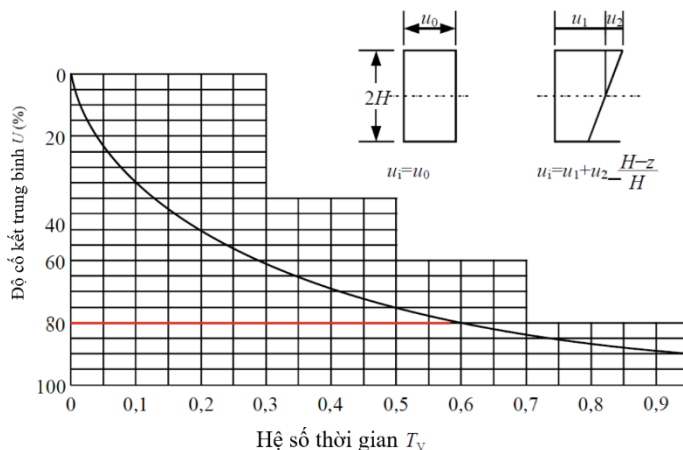
Trước khi xác định số giai đoạn gia tải, cần thực hiện phân tích trượt cung tròn (circular slip failure analysis) để đánh giá xem khối đất đắp cuối cùng (cao 5 m, tải trọng 100 kN/m<sup>2</sup>) có thể thi công một lần hay không. Mặc dù nội dung phân tích chi tiết về trượt cung tròn được lược bỏ trong tài liệu này, kết quả phân tích cho thấy hệ số an toàn (Safety Factor) = 0,42. Điều này cho thấy khối đất đắp cuối cùng không thể thi công một lần mà bắt buộc phải thực hiện theo nhiều giai đoạn gia tải.

Ngoài ra, như một cách tính đơn giản hơn, có thể áp dụng TCVN 11820 Phần 4-1:2020, Phụ lục B.3 – Sức chịu tải của nền đất dính (Bearing Capacity of Foundations on Cohesive Soil Ground) để đánh giá sự ổn định của khối đất đắp.

**(6) Đánh giá thời gian cố kết khi chưa xử lý nền (Evaluation of Consolidation Time Without Soil Improvement)**

Trước khi thiết kế khoảng cách thoát nước thẳng đứng, cần tính toán thời gian cố kết khi chưa áp dụng biện pháp xử lý nền. Với giả thiết cố kết một chiều (do bề rộng khối đất đắp lớn so với chiều dày lớp đất sét), thời gian cần thiết để đạt 80% độ cố kết ( $U = 80\%$ ) được xác định theo công thức sau:

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{(H/2)^2}{C_v} T_v = \frac{(1.500 / 2)^2}{0,05} \times 0,567 \\
 &= 6.378.750 \text{ min} = 4.429 \text{ ngày}
 \end{aligned}$$



Nguồn: OCDI 2020

**Hình 2.3 - Mối quan hệ giữa mức độ cố kết trung bình và các hệ số thời gian**

TCVN  
11820  
Phần 2:  
2025,  
Hình 16

Thời gian cố kết nếu không cải tạo đất sẽ khá dài, do đó nên sử dụng giếng thoát nước thẳng đứng để gia tốc quá trình cố kết.

### (7) Thiết kế bắc thấm đứng (Vertical Drain Design)

Dựa trên các tính toán (5) và (6), có thể khẳng định rằng thi công theo giai đoạn kết hợp thoát nước đứng là cần thiết cho khối đất đắp. Số giai đoạn thi công nên được xác định theo phương pháp thử và sai, có xét đến: các yêu cầu kỹ thuật về cải tạo nền, sự ổn định của khối đất đắp ở từng giai đoạn, thời gian cố kết ở mỗi giai đoạn. Trong tài liệu hướng dẫn này, giả định rằng việc thi công đất đắp được chia thành bốn giai đoạn, với mỗi giai đoạn có thời gian chờ bằng 365 ngày chia cho 4 tương ứng 91 ngày.

Các tính toán được minh họa cho trường hợp cọc cát đường kính 30 cm bố trí cách nhau 1,5 m, và bắc thấm chế tạo sẵn bố trí cách nhau 1,0 m. Thời gian cần thiết để đạt 80% độ cố kết theo phương án này được trình bày chi tiết trong Bảng 2.2 và 2.3.

**Bảng 2.2- Kết quả tính toán (cọc cát)**

Bố trí thoát nước	Mạng vuông	Mạng tam giác
Khoảng cách cọc	1,5m	1,5m
Đường kính tương đương ( $d_e$ )	1,692m	1,575m
Đường kính thoát ( $d_w$ )	0,3m	0,3m
$n = d_e/d_w$	5,64	5,25
$F(n)$ từ công thức (1.5)	1,044	0,980
Hệ số thời gian cố kết ( $T_h$ )	0,210	0,197
Thời gian yêu cầu đạt 80%	83,5 ngày	67,9 ngày

**Bảng 2.3- Kết quả tính toán (bắc thấm thẳng đứng)**

Bố trí thoát nước	Mạng vuông	Mạng tam giác
Khoảng cách cọc	1,0m	1,0m
Đường kính tương đương ( $d_e$ )	1,128m	1,050m
Đường kính thoát ( $d_w$ )	0,05m	0,05m
$n = d_e/d_w$	22,5	21,0
$F(n)$ từ công thức (1.5)	2,370	2,302
Hệ số thời gian cố kết ( $T_h$ )	0,477	0,463
Thời gian yêu cầu đạt 80%	84,3 ngày	70,9 ngày

- Hết -