

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**

**BỘ QUỐC PHÒNG**

**HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ**

---

**Ngô Thị Thanh Hương**

**NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN ỨNG SUẤT  
TRONG NỀN ĐẤT CÁC CÔNG TRÌNH GIAO THÔNG**

**Chuyên ngành: Xây dựng sân bay**

**Mã số: 62. 58. 32. 01**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

**HÀ NỘI - 2012**

Công trình được hoàn thành tại:  
**HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ**

**Người hướng dẫn khoa học:**

**1. GS.TSKH. Hà Huy Cương**

**2.TS. Dương Tất Sinh**

Phản biện 1: **GS.TSKH. Nguyễn Đăng Bích**

Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng

Phản biện 2: **GS.TS. Đỗ Như Tráng**

Trường Học viện Kỹ thuật Quân sự

Phản biện 3: **PGS.TS. Nguyễn Sỹ Ngọc**

Trường Đại học Giao thông vận tải

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án Tiến sĩ kỹ thuật cấp Học viện họp tại Học viện Kỹ thuật Quân sự.

Vào hồi: giờ ngày tháng năm 2012.

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- **Thư viện Quốc gia**
- **Thư viện Học viện Kỹ thuật Quân sự**

## DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ

1. Ngô Thị Thanh Hương (2011), *Nghiên cứu trạng thái ứng suất tự nhiên của nền đất*, tạp chí Giao thông vận tải, số tháng 3 năm 2011.
2. Ngô Thị Thanh Hương (2011), *Nghiên cứu tính toán tải trọng tới hạn của nền đất*, tạp chí Địa kỹ thuật, số 2 năm 2011.
3. Ngô Thị Thanh Hương (2011), *Nghiên cứu trạng thái ứng suất do tác dụng của tải trọng ngoài bằng sai phân hữu hạn*, tạp chí Cầu đường Việt Nam, số tháng 5 năm 2011.
4. Ngô Thị Thanh Hương (2011), *Nghiên cứu trạng thái ứng suất trong lăng trụ cát do tác dụng của trọng lượng bản thân*, tạp chí Cầu đường Việt Nam, số tháng 8 năm 2011.

## MỞ ĐẦU

### 1. Tính cấp thiết của luận án

Trong xây dựng công trình giao thông, một trong những nhiệm vụ quan trọng là đảm bảo yêu cầu về sự ổn định toàn khối của nền công trình, mái dốc đường không bị sụt trượt và nền công trình phải có đủ cường độ. Các yêu cầu đó được trình bày trong Tiêu chuẩn thiết kế đường ô tô TCVN 4054-2005, thiết kế áo đường mềm 22TCN 211-06 và theo Tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN-272-05.

Để có thể tiến hành thiết kế nền mặt đường, nền móng các công trình cầu đảm bảo theo các Tiêu chuẩn thiết kế hiện hành trên, một trong những vấn đề quan trọng có tính chất quyết định đến đến kết quả tính toán theo các Tiêu chuẩn nói trên là vấn đề xác định trạng thái ứng suất trong đất một cách chính xác.

Các mô hình xác định trạng thái ứng suất biến dạng hiện nay là mô hình đàn hồi, đàn-dẻo và theo lý thuyết cân bằng giới hạn. Tuy nhiên, đất là môi trường hạt rời với các tính chất đặc biệt, không tuân theo quy luật đàn hồi, đàn-dẻo, tuân theo điều kiện bền Mohr-Coulomb và nguyên lý ứng suất có hiệu của Terzaghi. Điều này có thể thấy rõ nhất là khi tính toán móng cọc chịu tác dụng của tải trọng động đất, trạng thái ứng suất trong đất do tác dụng của trọng lượng bản thân... Trong trường hợp không coi đất là vật liệu đàn hồi, đàn-dẻo thì không có phương trình liên hệ giữa ứng suất và biến dạng. Điều đó dẫn đến thiếu các phương trình cần thiết để nghiên cứu xác định trạng thái ứng suất trong đất.

Qua các phân tích trên, việc nghiên cứu điều kiện bổ sung để xây dựng được một mô hình mới xác định trạng thái ứng suất phù hợp hơn với các tính chất làm việc thực tế của đất, nhằm tăng độ tin cậy của các tính toán nền đất trong công trình giao thông là rất cấp thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn. Từ những lý do trên tác giả đã chọn đề tài "*Nghiên cứu tính toán ứng suất trong nền đất các công trình giao thông*".

### 2. Mục đích nghiên cứu của luận án

Xây dựng điều kiện bổ sung để có đầy đủ phương trình xác định trạng thái ứng suất trong đất. Từ đó xây dựng mô hình mới xác định trạng thái ứng suất gần hơn với điều kiện làm việc thực tế của môi trường đất.

Áp dụng lý thuyết xác định trạng thái ứng suất đã xây dựng để nghiên cứu ứng suất trong nền đất các công trình giao thông

### 3. Nội dung và phạm vi nghiên cứu của luận án

- Nội dung luận án: Nghiên cứu bổ sung điều kiện cần thiết, xây dựng bài toán quy hoạch phi tuyến xác định trạng thái ứng suất trong đất, giải bài toán bằng phương pháp sai phân hữu hạn.

Sử dụng lý thuyết được xây dựng để xác định trạng thái ứng suất chưa tới hạn trong đất tác dụng của tải trọng ngoài, trọng lượng bản thân, đồng thời tác dụng của tải trọng ngoài và trọng lượng bản thân trong các bài toán ứng dụng của cơ học đất.

Kiểm chứng lý thuyết mới xác định trạng thái ứng suất bằng việc nghiên cứu xác định góc dốc tới hạn trong lăng trụ cát khô và sức chịu tải của đất nền theo Prandtl.

- Phạm vi nghiên cứu: Trong luận án chỉ xét bài toán phẳng để nghiên cứu xác định trạng thái ứng suất trong đất do tác dụng của tải trọng thẳng đứng phân bố đều, trọng lượng bản thân, đồng thời do tác dụng của tải trọng thẳng đứng và trọng lượng bản thân. Các thành phần ứng suất được nghiên cứu là các ứng suất có hiệu.

#### **4. Phương pháp nghiên cứu của luận án**

Phương pháp nghiên cứu: Nghiên cứu lý thuyết và viện dẫn về kết quả lý thuyết đã có.

#### **5. Bố cục của luận án**

Luận án bao gồm 108 trang thuyết minh, cùng với 13 bảng, 129 hình vẽ, đồ thị, ngoài ra còn có 39 tài liệu tham khảo và phần phụ lục gồm 89 trang với 8 chương trình phần mềm.

Phần mở đầu.

Chương 1: Các tính chất cơ học của đất và tổng quan các mô hình tính toán trạng thái ứng suất trong đất

Chương 2: Xây dựng cơ sở lý thuyết nghiên cứu xác định trạng thái ứng suất trong đất

Chương 3: Nghiên cứu xác định một số trạng thái ứng suất trong đất

Chương 4: Nghiên cứu xác định trạng thái ứng suất trong đất dưới tác dụng của móng băng.

Kết luận và kiến nghị.

Phần phụ lục.

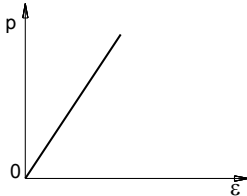
## Chương 1

### CÁC TÍNH CHẤT CƠ HỌC CỦA ĐẤT VÀ TỔNG QUAN CÁC MÔ HÌNH TÍNH TOÁN TRẠNG THÁI ỨNG SUẤT TRONG ĐẤT

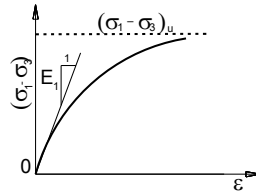
Đất là thành phần ba pha, thành phần hạt của nó thay đổi trong phạm vi lớn từ  $0,002 \div 63\text{mm}$  [33], nên tính chất của nó rất phức tạp. Đối với thành phần hạt lớn, có tính chất ma sát, các thành phần hạt nhỏ có tính dính.

Quá trình hình thành của đất trong tự nhiên cũng như quá trình đầm chặt đất là quá trình dẫn đến ổn định. Khi đất chịu cắt, thể tích của đất có thể tăng hoặc giảm, hiện tượng trượt nở (dilatancy) và hiện tượng trượt co (contractancy) xảy ra, các hạt đất sắp xếp lại. Độ lún của nền đất sinh ra do sự sắp xếp lại các hạt và do quá trình cố kết. Với các đặc điểm trên, Terzaghi đưa ra nguyên lý ứng suất có hiệu để nghiên cứu trạng thái ứng suất trong đất. Sự phá hỏng của đất chủ yếu do trượt, điều kiện bền của đất tuân theo định luật ma sát Coulomb.

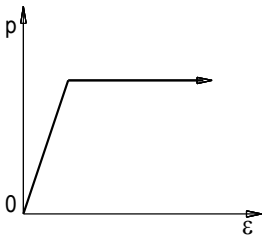
Xác định trạng thái ứng suất trong đất hiện nay thường dùng các mô hình: Mô hình đàn hồi tuyến tính đẳng hướng (Hình 1.1); mô hình đàn hồi phi tuyến Duncan-Chang (Hình 1.2); mô hình đàn-dẻo lý tưởng Mohr-Coulomb (Hình 1.3); mô hình đàn-dẻo biến cứng Cam-clay (Hình 1.4). Ngoài ra, mô hình tính toán theo lý thuyết cân bằng giới hạn được dùng để xác định trạng thái ứng suất tới hạn trong đất.



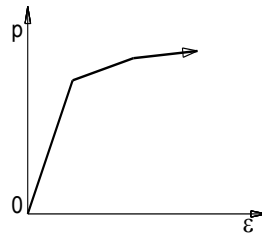
Hình 1.1. Đàn hồi tuyến tính



Hình 1.2. Đàn hồi phi tuyến



Hình 1.3. Đàn-dẻo lý tưởng



Hình 1.4. Đàn-dẻo biến cứng

### **Kết luận chương 1:**

1. Từ các đặc điểm kích thước hạt của đất có thể kết luận đất là môi trường hạt rời nhưng có những tính chất đặc thù có thể được hiểu thông qua các độ ẩm giới hạn Atterberg; lực dính đơn vị  $c$  và góc nội ma sát  $\varphi$  (nếu là hạt rời chỉ có góc nội ma sát  $\varphi$ ); tính chất đầm chặt của đất đắp, hiện tượng trượt nở (dilatancy); hiện tượng trượt co (contractancy); độ cứng của đất tăng dần theo chiều sâu....

2. Mô hình để nghiên cứu cơ học của đất thông qua trạng thái ứng suất và biến dạng được xây dựng theo hai mô hình: Mô hình ứng suất có hiệu của Terzaghi để xác định trạng thái ứng suất và mô hình nén lún để xác định độ lún của đất nền, mô hình cố kết để xác định độ lún theo thời gian.

3. Hiện nay, các mô hình xác định trạng thái ứng suất trong đất là mô hình đàn hồi, đàn-dẻo hoặc phương pháp theo lý thuyết cân bằng giới hạn để xác định trạng thái ứng suất tới hạn như Coulomb, Rankine, Prandtl, Xôkôlvxky, Bêrêzanxhev...

4. Từ những vấn đề nêu ra ở trên, ta có thể thấy là trạng thái ứng suất trong trường hợp khi đất chưa đạt đến tới hạn thì chưa có lời giải phù hợp với các tính chất làm việc thực của đất ở trạng thái đó.

Đối với áp lực đất lên tường chắn vì không biết trạng thái ứng suất trong đất khi đất chưa tới hạn nên nảy sinh khái niệm áp lực đất chủ động và bị động.

Xác định trạng thái ứng suất trong đất khi không giả thiết đất là vật liệu đàn hồi, đàn-dẻo, gắn với mô hình ứng suất có hiệu, phù hợp với các tính chất của đất và thỏa mãn điều kiện bền Mohr-Coulomb là rất cần thiết. Từ đó, ta có thể nghiên cứu xây dựng một mô hình mới xác định trạng thái ứng suất phù hợp hơn với các tính chất làm việc thực tế của đất. Mô hình mới xây dựng được sẽ góp phần tăng độ tin cậy của các tính toán nền đất. Như vậy, mục đích của luận án là nghiên cứu đưa ra điều kiện bổ sung để có thể có đầy đủ phương trình xác định trạng thái ứng suất trong đất phù hợp với các tính chất đặc biệt của đất.

## **Chương 2**

### **XÂY DỰNG CƠ SỞ LÝ THUYẾT NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH TRẠNG THÁI ỨNG SUẤT TRONG ĐẤT**

#### **2.1. Đặt vấn đề**

Xét một phân tử đất trong bài toán phẳng chịu tác dụng của các ứng suất  $\sigma_z$ ,  $\sigma_x$ ,  $\tau_{xz}$  và trọng lượng bản thân  $\gamma$  (Hình 2.1), thỏa mãn các phương trình cân bằng tĩnh học:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = 0 \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} - \gamma = 0$$

Nếu đất là vật liệu đàn hồi hoặc đàn-dẻo thì hệ (2.1) có thêm một phương trình nữa. Ví dụ, đất là vật liệu đàn hồi ta có thêm phương trình liên tục, hệ (2.1) trở thành:

$$\nabla(\sigma_x + \sigma_z) = 0$$

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = 0 \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} - \gamma = 0$$

Như vậy, hệ (2.2) có ba phương trình để xác định ba hàm ẩn ứng suất  $\sigma_z$ ,  $\sigma_x(x,z)$ , và  $\tau_{zx}(x,z) = \tau_{xz}(x,z)$ .

Nếu không giả thiết đất là vật liệu đàn hồi, đàn-dẻo hoặc ở trạng thái tới hạn thì bài toán không xác định. Chỉ có hai phương trình (2.1) mà có ba hàm ẩn  $\sigma_z(x,z)$ ,  $\sigma_x(x,z)$  và  $\tau_{zx}(x,z) = \tau_{xz}(x,z)$ . Bài toán xác định trạng thái ứng suất trong đất của hệ (2.1) có vô số nghiệm.

Vậy có thể đưa thêm điều kiện bổ sung nào để có thể xác định trạng thái ứng suất trong đất. Tác giả xin được trình bày sau đây:

Xét cột đất riêng lẻ, các thành phần ứng suất giả thiết như trên Hình 2.2, đất có  $\varphi=0$ ,  $c \neq 0$ . Kiểm tra ổn định của phân tố đất từ điều kiện bền Mohr-Coulomb được kết quả: nếu  $z \leq \frac{2c}{\gamma}$  cột đất ổn định.

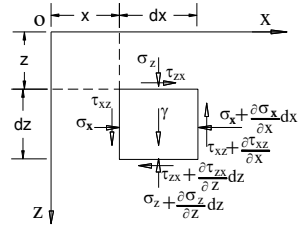
Nếu  $z > \frac{2c}{\gamma}$  thì cột đất mất ổn định. Điều

này không đúng với thực tế vì ở độ sâu càng lớn đất càng ổn định.

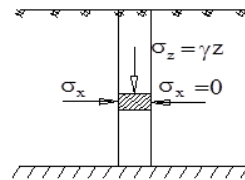
Ví dụ đơn giản trên gợi ý cho thấy là có thể tìm trạng thái ứng suất của nền đất từ điều kiện  $\min(\tau_{\max})$  và khi đó đất nền là ổn định. Dưới dạng bình phương tối thiểu, bài toán có dạng:

$$Z = \int_V \frac{1}{G} \tau_{\max}^2 dV = \int_V \frac{1}{G} \left[ \left( \frac{\sigma_x - \sigma_z}{2} \right)^2 + \left( \frac{\tau_{xz} + \tau_{zx}}{2} \right)^2 \right] dx dz \rightarrow \min \quad (2.11)$$

trong đó:  $\tau_{\max}$  - ứng suất trượt lớn nhất tại điểm đang xét ;



Hình 2.1. Ứng suất trên phân tố đất



Hình 2.2. Ứng suất trên cột đất



V - giới hạn miền lấy tích phân, thể tích khối đất đang xét;  
G - mô đun biến dạng trượt của đất.

Hàm mục tiêu (2.11) là điều kiện bổ sung để xác định trạng thái ứng suất trong đất. Trạng thái ứng suất trong (2.11) phải thỏa mãn các điều kiện cân bằng:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} &= 0 \\ \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} - \gamma &= 0 \end{aligned} \quad (2.12)$$

Như vậy, bài toán xác định trạng thái ứng suất trong đất là bài toán tìm cực trị của hàm mục tiêu (2.11) với các ràng buộc (2.12). Đây là bài toán quy hoạch phi tuyến tìm trạng thái ứng suất thỏa mãn cả phương trình cân bằng và bảo đảm ứng suất tiếp  $\tau_{\max}$  là nhỏ nhất.

Trường hợp riêng, có thể xem là bài toán biến phân. Đưa về dạng không ràng buộc bằng cách viết phiếm hàm Lagorăng mở rộng:

$$\int_V \left\{ \frac{1}{G} \left[ \left( \frac{\sigma_x - \sigma_z}{2} \right)^2 + \left( \frac{\tau_{xz} + \tau_{zx}}{2} \right)^2 \right] + \lambda_1(x, z) \left( \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right) + \lambda_2(x, z) \left( \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} - \gamma \right) \right\} dV \rightarrow \min \quad (2.13)$$

trong đó:

$\lambda_1$  và  $\lambda_2$  - thừa số Lagrange, là hàm của x và z và là hai hàm chưa biết;  
 $\sigma_x, \sigma_z, \tau_{xz}, \tau_{zx}$  là các hàm của tọa độ x và z. Các thành phần ứng suất  $\sigma_x, \sigma_z, \tau_{xz}, \tau_{zx}$  xuất phát từ điều kiện cân bằng phân tử và trong môi trường liên tục nên là các hàm liên tục.

Nếu xem (2.13) là bài toán biến phân với  $\sigma_x, \sigma_z, \tau_{xz}, \tau_{zx}$  là các đại lượng biến phân và sử dụng phép tính biến phân đối với hàm mục tiêu (2.13), nhận được hệ các phương trình sau:

$$\frac{1}{2G} (\sigma_x - \sigma_z) = \frac{\partial \lambda_1}{\partial x} \quad \text{Lấy đạo hàm bậc hai, } \tau_{xz} = \tau_{zx}, \text{ hệ (2.14) còn 3}$$

$$\frac{1}{2G} (\sigma_z - \sigma_x) = \frac{\partial \lambda_2}{\partial z}$$

$$\frac{1}{2G} (\tau_{xz} + \tau_{zx}) = \frac{\partial \lambda_1}{\partial z} \quad (2.14)$$

$$\frac{1}{2G} (\tau_{xz} + \tau_{zx}) = \frac{\partial \lambda_2}{\partial x}$$

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} - \gamma = 0$$

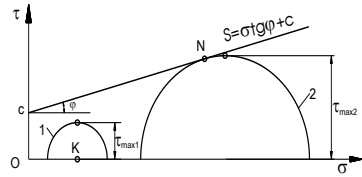
$$\nabla(\sigma_x - \sigma_z) = 0 \quad (2.16)$$

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} - \gamma = 0$$

Hệ (2.16) có ba phương trình để tìm ba hàm ẩn  $\sigma_x, \sigma_z$  và  $\tau_{xz}$ . Vậy, bài toán xác định trạng thái ứng suất trong đất là có nghiệm. Từ phương trình đầu thấy rằng một nghiệm riêng của (2.16) là  $\sigma_x = \sigma_z$ , kết hợp với điều kiện  $\tau_{xz} = 0$ . Các thành phần ứng suất này luôn thỏa mãn điều kiện bền Mohr-Coulomb, đất luôn ổn định.

Như vậy, điều kiện đất ổn định là  $\min(\tau_{\max})$ , viết dưới dạng hàm mục tiêu (2.11). Điều kiện đó được giải thích dựa trên vòng tròn Mohr như sau: Ứng suất tiếp lớn nhất  $\tau_{\max 1}$  của một trạng thái ứng suất về mặt toán học là bán kính của vòng tròn Mohr (1) (Hình 2.4). Dưới tác dụng của tải trọng, đất ở trạng thái ổn định thì vòng tròn Mohr



Hình 2.4. Trạng thái ứng suất trong đất

có bán kính là nhỏ nhất, tức là  $\tau_{\max 1}$  là nhỏ nhất. Vậy, theo tác giả đưa ra, điều kiện ổn định là ứng suất tiếp lớn nhất đạt giá trị nhỏ nhất ( $\min(\tau_{\max})$ ) là đúng đắn. Trạng thái ứng suất lớn nhất trong đất là vòng tròn (2) trên Hình 2.4 và ứng suất tiếp lớn nhất tương ứng là  $\tau_{\max 2}$ .

## 2.2. Xây dựng bài toán xác định trạng thái ứng suất trong đất

Bài toán xác định trạng thái ứng suất trong đất là bài toán tìm cực trị hàm mục tiêu (2.11) viết lại dưới đây:

$$Z = \int_V \frac{1}{G} \tau_{\max}^2 dV \rightarrow \min \quad (2.18)$$

Trạng thái ứng suất trong đất phải thỏa mãn các ràng buộc sau:

+ Hai phương trình cân bằng : + Đất không chịu kéo:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = 0 \quad (2.19) \quad \sigma_x \geq 0 \text{ và } \sigma_z \geq 0 \quad (2.21)$$

+ Điều kiện bền Mohr-Coulomb:

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} - \gamma = 0 \quad (2.20) \quad f(k) = \tau - \sigma \tan \varphi - c \leq 0 \quad (2.22)$$

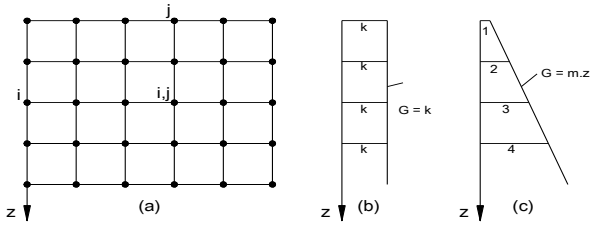
+ Các điều kiện biên bài toán: (2.23)

Bài toán tìm cực trị của hàm mục tiêu (2.18) với các ràng buộc (2.19), (2.20), (2.21), (2.22) và (2.23) là bài toán quy hoạch phi tuyến.

## 2.3. Xây dựng phương pháp giải bài toán trạng thái ứng suất trong đất bằng sai phân hữu hạn

Dùng phương pháp sai phân hữu hạn để giải bài toán với các đặc điểm:

- + Phương trình cân bằng được viết cho điểm nằm giữa của cạnh ô lưới.
- + Hàm mục tiêu dưới dạng sai phân cho ứng suất trung bình trên mỗi cạnh ô lưới sai phân.
- + Mô đun trượt  $G$  tính toán là  $G = \text{const}$  và  $G$  thay đổi tuyến tính theo chiều sâu như trên Hình 2.10b và Hình 2.10c.
- + Điều kiện bền Mohr-Coulomb dưới dạng sai phân viết cho mỗi điểm nút.



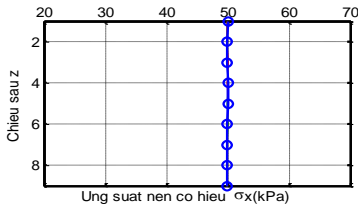
Hình 2.10. Mô đun trượt  $G$  theo chiều sâu

## 2.4. Nghiên cứu trạng thái ứng suất trong đất do tác dụng của tải trọng phân bố đều khắp trên mặt đất nằm ngang

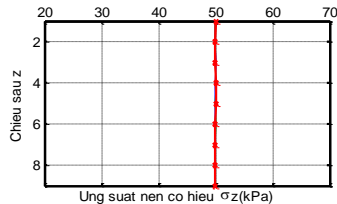
**Bài toán 2.1:** Mục đích là áp dụng lý thuyết đã trình bày ở trên trong trường hợp cụ thể để chứng tỏ phương pháp giải bài toán bằng phương pháp sai phân hữu hạn là đúng đắn.

Dữ liệu tính toán: Đất nền có  $c=10$  kPa,  $\varphi=10^0$ ,  $\gamma=17\text{kN/m}^3$ ;  $G$  thay đổi tuyến tính theo chiều sâu như trên Hình 2.10c; tải trọng phân bố đều cường độ  $p=50$  kPa.

Kết quả tính toán ứng suất nén có hiệu  $\sigma_z$  và  $\sigma_x$  của các cột đất theo chiều sâu được trình bày trên Hình 2.15a và Hình 2.15b.



Hình 2.15a. Biểu đồ ứng suất  $\sigma_x$



Hình 2.15b. Biểu đồ ứng suất  $\sigma_z$

Giá trị ứng suất tiếp  $\tau_{xz}$  tại các nút tính toán gần như bằng 0.

## 2.5. Kết luận chương 2

1. Nền đất hình thành tự nhiên hay nền đất đắp luôn là ổn định nếu không các tác dụng bên ngoài làm thay đổi trạng thái ứng suất hoặc làm thay đổi các tính chất cơ lý của nó. Quá trình đầm nén, cố kết của đất là quá trình dẫn đến ổn định. Khi đất ổn định nhất thì vòng tròn Mohr ứng suất có ứng suất tiếp lớn nhất  $\tau_{\max}$  (bán kính đường tròn) là nhỏ nhất. Vì vậy, tác giả đã đưa thêm điều kiện bổ sung  $\min(\tau_{\max})$  để xác định trạng thái ứng suất trong đất là phù hợp với quá trình hình thành và tồn tại của đất.

2. Bài toán xác định trạng thái ứng suất trong đất trên là bài toán quy hoạch phi tuyến. Bằng phép tính biến phân tác giả đã nhận được hệ phương

trình (2.16) để xác định trạng thái ứng suất trong đất đối với bài toán phẳng. Có thể nói đây là trường hợp riêng của lời giải bài toán quy hoạch trên. Những dẫn giải khi đưa về bài toán biến phân và xét trên vòng tròn Mohr cho thấy bài toán có nghiệm, về mặt cơ học, đó là nghiệm duy nhất.

3. Tác giả xây dựng cách giải bài toán xác định trạng thái ứng suất trong đất bằng phương pháp sai phân hữu hạn và đã xét được các tính chất đặc biệt của đất như: mô đun trượt tăng theo chiều sâu, đất không chịu kéo, thỏa mãn điều kiện bền Mohr-Coulomb.

4. Xây dựng chương trình giải bài toán quy hoạch phi tuyến (cả hàm mục tiêu và ràng buộc) dựa trên chương trình có sẵn *fmincon* đối với bài toán quy hoạch phi tuyến và *quadprog* đối với bài toán quy hoạch toàn phương của phần mềm Matlab.

5. Áp dụng lý thuyết xác định trạng thái ứng suất trong đất bằng phương pháp sai phân hữu hạn đã trình bày ở trên trong trường hợp cụ thể nền đất nằm ngang chịu tải trọng phân bố đều khắp trên mặt đất, ta nhận được nghiệm và nghiệm đó là hội tụ. Điều đó chứng tỏ phương pháp giải bài toán bằng phương pháp sai phân hữu hạn là đúng đắn.

6. Các thành phần ứng suất được xác định là các ứng suất có hiệu. Trong mỗi loại đất khác nhau tồn tại áp lực nước lỗ rỗng khác nhau. Ứng tổng bằng ứng suất có hiệu tìm được cộng với áp lực nước lỗ rỗng.

### Chương 3

#### NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH MỘT SỐ TRẠNG THÁI ỨNG SUẤT TRONG ĐẤT

Trong chương này, sử dụng lý thuyết xác định trạng thái ứng suất trong đất và phương pháp giải bằng sai phân hữu hạn trình bày ở chương 2, nghiên cứu trạng thái ứng suất của nền đất trong các trường hợp sau: trạng thái ứng suất trong nửa mặt phẳng nằm ngang, trạng thái ứng suất trong lăng trụ cát khô. Ngoài ra, trong chương này còn xây dựng bài toán để xác định góc dốc tới hạn của lăng trụ cát khô.

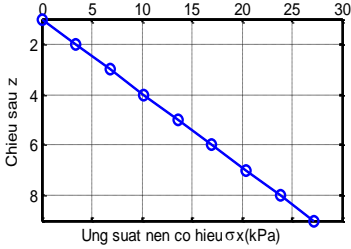
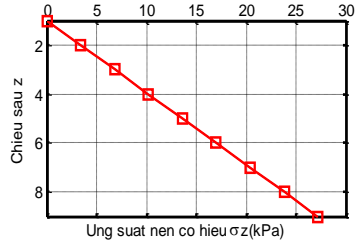
##### 3.1. Xác định trạng thái ứng suất trong nửa mặt phẳng nằm ngang

*-Do tác dụng của trọng lượng bản thân*

**Bài toán 3.1:** Mục đích là nghiên cứu trạng thái ứng suất trong nền đất tự nhiên (ứng suất vốn có).

Dữ liệu tính toán: Đất có  $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ ,  $\varphi = 15^\circ$ ,  $c = 10 \text{ kPa}$ ,  $G$  thay đổi tuyến tính theo chiều sâu như Hình 2.10c.

Kết quả ứng suất nén có hiệu  $\sigma_z$ ,  $\sigma_x$  của các cột đất thay đổi theo chiều sâu trình bày trên Hình (3.3a), Hình (3.3b).

Hình 3.3a. Biểu đồ ứng suất  $\sigma_x$ Hình 3.3b. Biểu đồ ứng suất  $\sigma_z$ 

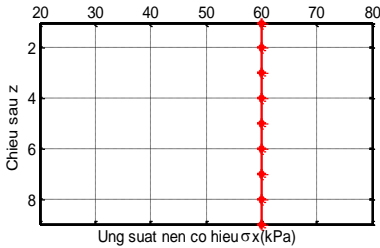
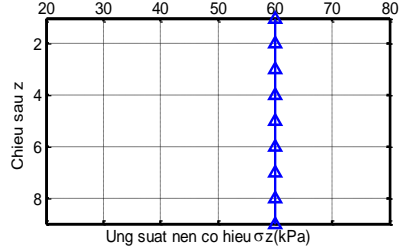
Giá trị ứng suất tiếp  $\tau_{xz}$  tại các nút tính toán gần như bằng 0.

**-Do tác dụng của tải trọng phân bố đều khắp trên mặt**

**Bài toán 3.2:** Mục đích là nghiên cứu trạng thái ứng suất gây lún trong bài toán 1 chiều.

Dữ liệu tính toán: Đất nền có  $c=10$  kPa,  $\varphi=15^\circ$ ,  $\gamma=17$  kN/m<sup>3</sup>, G thay đổi tuyến tính theo chiều sâu như Hình 2.10c; tải trọng  $p=60$  kPa;

Kết quả ứng suất nén có hiệu  $\sigma_z$ ,  $\sigma_x$  của các cột đất thay đổi theo chiều sâu được trình bày trên Hình (3.4a), Hình (3.4b)

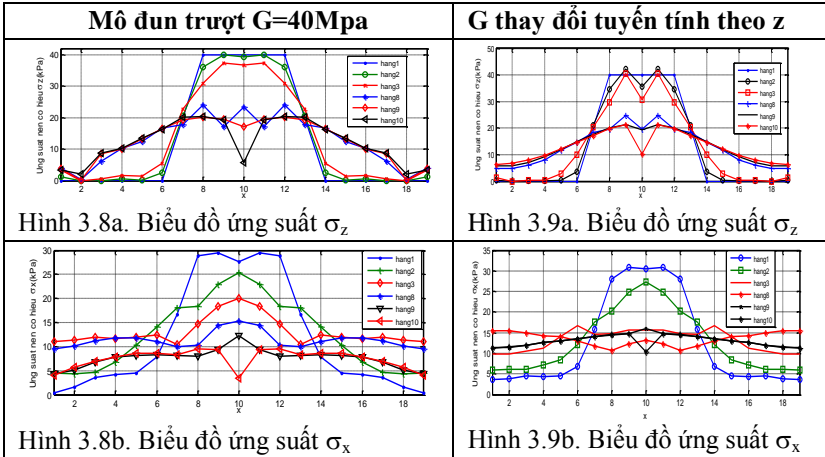
Hình 3.4a. Biểu đồ ứng suất  $\sigma_x$ Hình 3.4b. Biểu đồ ứng suất  $\sigma_z$ 

**-Do tác dụng của tải trọng phân bố cục bộ**

**Bài toán 3.4:** Mục đích là nghiên cứu trạng thái ứng suất gây lún do tải trọng các công trình đắp đất và xét ảnh hưởng mô đun trượt G đến sự phân bố ứng suất.

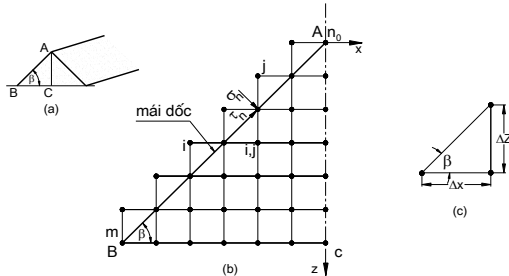
Dữ liệu tính toán: Đất nền có  $c=10$  kPa,  $\varphi=10^\circ$ ,  $\gamma=17$  kN/m<sup>3</sup>; tải trọng  $p=40$  kPa, bề rộng  $B=4$ .  $\Delta x=2$  m,.

Kết quả ứng suất nén có hiệu  $\sigma_z$ ,  $\sigma_x$  thay đổi theo chiều ngang của các điểm nút tính toán có cùng chiều sâu (cùng một hàng) được trình bày trên Hình 3.8a, Hình 3.8b, Hình 3.9a và Hình 3.9b



### 3.2. Nghiên cứu xác định trạng thái ứng suất trong lăng trụ cát khô

Tác giả dùng lý thuyết đã trình bày ở chương 2 để nghiên cứu xác định trạng thái ứng suất trong lăng trụ cát khô: Xét lăng trụ cát khô (Hình 3.11a), chịu tác dụng của trọng lượng bản thân, lưới sai phân (Hình 3.11b).

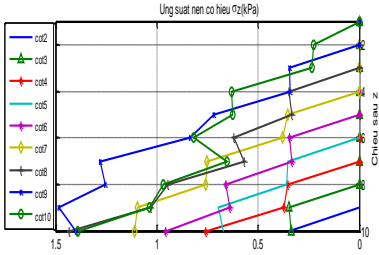


Hình 3.11: Lăng trụ cát

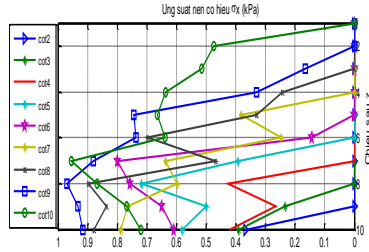
**Bài toán 3.7:** Mục đích là nghiên cứu trạng thái ứng suất trong lăng trụ cát khô nói riêng, trong vật liệu hạt rời nói chung do tác dụng của trọng lượng bản thân.

Dữ liệu tính toán: Lăng trụ cát có góc dốc  $\beta = 10^\circ$ , đất có  $\varphi = 30^\circ$ ,  $c = 0$ ,  $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ ,  $G$  thay đổi tuyến tính theo chiều sâu theo như Hình 2.10c.

Kết quả tính toán các giá trị ứng suất nén có hiệu  $\sigma_x$ ,  $\sigma_z$  thay đổi theo chiều sâu của các cột đất được trình bày trên Hình 3.12a, Hình 3.12b.



Hình 3.12a. Biểu đồ ứng suất  $\sigma_z$

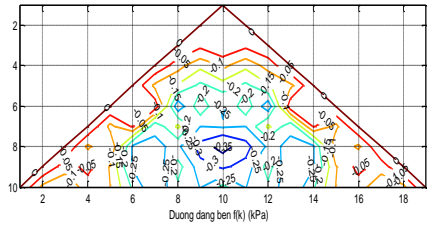


Hình 3.12b. Biểu đồ ứng suất  $\sigma_x$

Các điểm nút tính toán có cùng điều kiện bền Mohr-Coulomb  $f(k)$  được nối lại với nhau và được gọi là các đường đẳng bền  $f(k)$ . Các đường đẳng bền  $f(k)$  trong trình bày trên Hình 3.12c.

hệ số áp lực đất tĩnh tính toán:

$$K_0^t = \frac{\sigma_x}{\sigma_z}$$



Hình 3.12c: Các đường đẳng bền  $f(k)$

Kết quả  $K_0^t$  tại các điểm nút được trình bày theo Bảng 3.1.

Bảng 3.1. Bảng giá trị hệ số áp lực đất tĩnh tính toán  $K_0^t$

Hàng \ cột	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										0
2									0	2.11
3								0	0.48	2.19
4							0	0.70	0.97	1.01
5						0	1.08	0.99	1.04	1.06
6					0	0.42	0.65	1.13	0.88	0.78
7				0	1.11	2.40	0.85	0.82	0.69	1.46
8			0	1.20	2.01	1.15	0.79	0.95	0.77	0.90
9		0	0.67	0.71	0.72	1.02	0.70	0.81	0.63	0.74
10	0	1.04	1.17	0.56	0.86	0.64	0.71	0.61	0.65	0.52

### 3.3. Nghiên cứu xác định góc dốc tới hạn của lăng trụ cát khô

Khi góc dốc  $\beta$  thay đổi, trạng thái ứng suất trong lăng trụ cát được xác định thay đổi theo. Tuy nhiên, nếu góc dốc  $\beta$  lớn hơn góc nội ma sát của đất ( $\beta > \varphi$ ), bài toán không có nghiệm. Về mặt vật lý, đối với cát khô, góc dốc  $\beta$  bằng với góc nội ma sát của cát [32]. Như vậy sẽ tồn tại góc dốc tới hạn  $\beta_{th}$

bằng với góc nội ma sát. Trong mục này tác giả sẽ dùng định lý giới hạn dưới của lý thuyết phân tích giới hạn để xác định góc dốc tới hạn  $\beta_{th}$ .

Bài toán xác định góc dốc tới hạn lăng trụ cát khô xây dựng như sau:

Khi góc dốc  $\beta$  tăng lên, cạnh  $\Delta x = \Delta z \cdot \cot g \beta$  thay đổi (Hình 3.11c). Thay cho ẩn  $\beta$ , ta chọn  $\Delta x$  là ẩn của bài toán và điều kiện để góc dốc  $\beta$  đạt đến giá trị lớn nhất  $\beta_{th}$  là:

$$\Delta x \rightarrow \min \quad (3.2a)$$

Như vậy bài toán có thêm ẩn là  $\Delta x$ .

Trong trường hợp này có thể coi là *mỗi điểm trong đất có khả năng xảy ra biến dạng trượt* (điều kiện bền Mohr-Coulomb theo (2.22)  $f(k)=0$ ). Điều kiện trạng thái ứng suất tới hạn viết dưới dạng bình phương tối thiểu như sau:

$$Z = \int_v \frac{1}{G} \left[ \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_z)^2}{4} + \tau_{xz}^2} - \frac{(\sigma_x + \sigma_z)}{2} \sin \varphi - c \cdot \cos \varphi \right]^2 dv \rightarrow \min \quad (3.2b)$$

Trạng thái ứng suất trong lăng trụ cát khô phải thỏa mãn các ràng buộc:

$$Z_2 = \int_v \frac{1}{G} \tau_{\max}^2 dv \rightarrow \min \quad (3.2c)$$

và hai phương trình cân bằng (2.19) và (2.20); đất không chịu kéo (2.21); điều kiện bền Mohr-Coulomb (2.22); điều kiện ứng suất pháp bằng không trên mái dốc.

Bài toán xác định góc dốc tới hạn của lăng trụ cát khô là bài toán tìm cực tiểu của (3.2a), (3.2b), (3.2c) với các ràng buộc (2.19), (2.20), (2.21), (2.22) và điều kiện ứng suất pháp bằng không trên mái dốc.

Kết quả tính toán góc dốc tới hạn của lăng trụ cát khô khi thay đổi các tính chất cơ lý của cát khô trình bày trên Bảng 3.2.

Bảng 3.2. Kết quả góc dốc tới hạn

Stt	$\gamma(\text{kN/m}^3)$	$\varphi(\text{độ})$	Kết quả $\beta_{th}$
Trường hợp 1	16	$20^0$	$19,9995^0 = \varphi = 20^0$
Trường hợp 2	16,5	$25^0$	$24,9988^0 = \varphi = 25^0$
Trường hợp 3	17	$30^0$	$29,9986^0 = \varphi = 30^0$
Trường hợp 4	17,5	$30^0$	$29,9981^0 = \varphi = 30^0$

### 3.4. Kết luận chương 3

1. Từ những nghiên cứu trên cho thấy tính chất đúng đắn của lý thuyết trạng thái ứng suất trong đất đã trình bày ở chương hai được thể hiện qua các trường hợp nghiên cứu cụ thể với kết quả sau:

+ Trạng thái ứng suất chưa tới hạn trong trường hợp mặt đất bán vô hạn nằm ngang chịu tác dụng của trọng lượng bản thân, quy luật thay đổi giá trị



ứng suất nén theo chiều sâu là  $\sigma_x = \sigma_z = \gamma \cdot z$ , ứng suất tiếp  $\tau_{xz} \approx 0$  và hệ số áp lực đất tĩnh tính toán  $K_0^s = 1$ .

+ Trạng thái ứng suất chưa tới hạn trong trường hợp mặt đất bán vô hạn nằm ngang chịu tác dụng của tải trọng dải đều khắp trên mặt, ứng suất nén  $\sigma_x = \sigma_z$  và không thay đổi theo chiều sâu, hệ số áp lực đất tĩnh  $K_0^s = 1$

+ Trạng thái ứng suất chưa tới hạn trong trường hợp mặt đất nằm ngang chịu tác dụng của tải trọng phân bố đều cục bộ, ứng suất nén  $\sigma_x$  và  $\sigma_z$  giảm theo chiều ngang và chiều sâu.

2. Kết quả nghiên cứu trạng thái ứng suất chưa tới hạn khi mặt đất nằm ngang chịu tác dụng của tải trọng phân bố đều cục bộ cho thấy bài toán xét được sự thay đổi mô đun trượt của đất theo chiều sâu.

3. Tác giả nghiên cứu trường hợp trạng thái ứng suất của lăng trụ cát khô trong bài toán phẳng do tác dụng của trọng lượng bản thân và đã tìm được sự phân bố trạng thái ứng suất chưa tới hạn trong khối cát này. Kết quả cho thấy hệ số áp lực đất tĩnh  $K_0^s$  có giá trị khác nhau tùy theo vị trí của điểm tính ứng suất.

4. Trạng thái ứng suất tới hạn trong lăng trụ cát khô được nghiên cứu bằng bài toán góc dốc tới hạn của lăng trụ cát khô. Kết quả nhận được góc dốc tới hạn đúng bằng góc nội ma sát  $\varphi$  của cát ( $\beta_m = \varphi$ ). Kết quả này là phù hợp với thực tế [32]. Mặt khác chứng tỏ rằng cách xây dựng điều kiện bổ sung để xác định trạng thái ứng suất trong đất của tác giả là đúng đắn.

#### Chương 4

### NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH TRẠNG THÁI ỨNG SUẤT TRONG ĐẤT DƯỚI TÁC DỤNG CỦA MÓNG BĂNG

Trong chương này lần lượt nghiên cứu các vấn đề sau:

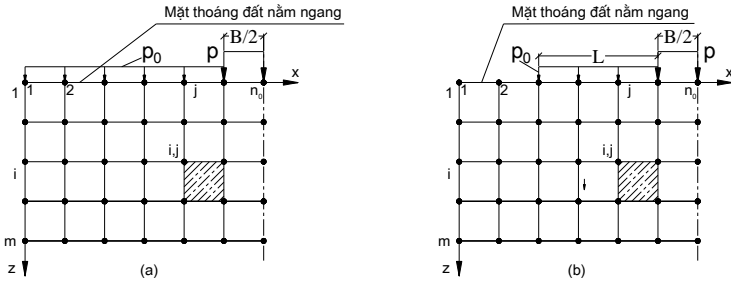
xác định trạng thái ứng suất trong đất dưới tác dụng của tải trọng trên móng băng;

sự phát triển của vùng biến dạng dẻo khi tải trọng tác dụng trên móng băng tăng dần;

xác định sức chịu tải của nền đất dưới móng băng và sức chịu tải của nền đất trong trường hợp không xét đến trọng lượng bản thân để so sánh với lời giải Prandtl.

#### 4.1. Nghiên cứu trạng thái ứng suất trong đất dưới tác dụng của móng băng-mặt đất nằm ngang

Xét hai trường hợp: Móng băng chịu tác dụng của tải trọng phân bố đều với tải trọng bên chiều rộng vô hạn (lưới sai phân Hình 4.2a) và chiều rộng hữu hạn  $L$  (lưới sai phân Hình 4.2b).

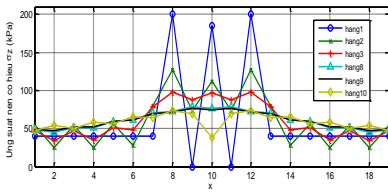


Hình 4.2. Sơ đồ sai phân

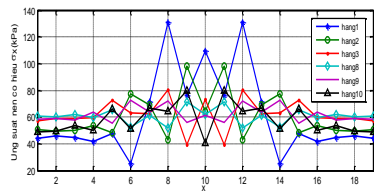
**Bài toán 4.1:** Mục đích là nghiên cứu trạng thái ứng suất gây lún trong đất do tác dụng tải trọng phân bố đều trên móng băng với tải trọng bên chiều rộng vô hạn.

Dữ liệu tính toán: Đất nền có  $c=30$  kPa,  $\varphi=15^\circ$ ,  $\gamma = 17$  kN/m<sup>3</sup>,  $G$  thay đổi tuyến tính theo chiều sâu như Hình 2.10c; tải trọng  $p=200$ kPa, bề rộng móng  $B=4$ .  $\Delta x=3,2$ m, tải trọng bên  $p_0=40$ kPa.

Kết quả tính toán giá trị ứng suất nén có hiệu  $\sigma_z$ ,  $\sigma_x$  thay đổi theo chiều ngang được trình bày trên Hình 4.3a, Hình 4.3b.



Hình 4.3a. Biểu đồ ứng suất  $\sigma_z$

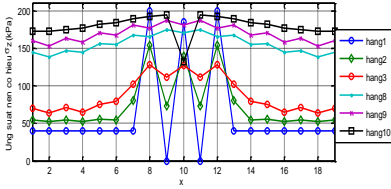
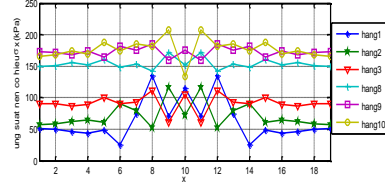


Hình 4.3b. Biểu đồ ứng suất  $\sigma_x$

**Bài toán 4.2:** Mục đích là nghiên cứu trạng thái ứng suất thực trong đất do tác dụng tải trọng phân bố đều trên móng băng với tải trọng bên chiều rộng vô hạn và do tác dụng của trọng lượng bản thân.

Dữ liệu tính toán: Giống dữ liệu bài toán 4.1.

Kết quả tính toán giá trị ứng suất nén có hiệu  $\sigma_z$ ,  $\sigma_x$  thay đổi theo chiều ngang được trình bày trên Hình 4.4a, Hình 4.4b

Hình 4.4a. Biểu đồ ứng suất  $\sigma_z$ Hình 4.4a. Biểu đồ ứng suất  $\sigma_x$ 

## 4.2. Nghiên cứu xác định sức chịu tải của đất nền dưới móng băng-mặt đất nằm ngang

### 4.2.1. Phương pháp xác định sức chịu tải của đất nền

#### 4.2.1.1. Phương pháp thử dần

Bài toán xác định sức chịu tải của nền đất là bài toán quy hoạch phi tuyến nên phương pháp giải có thể dùng là thử dần. Các bước làm của phương pháp này giống như quá trình thực nghiệm, tức là tải trọng  $p$  tác dụng trên móng được tăng dần. Ở mỗi giá trị tải trọng, kết quả tính toán là các thành phần ứng suất  $\sigma_z$ ,  $\sigma_x$ ,  $\tau_{xz}$  và điều kiện bền Mohr-Coulomb  $f(k)$ . Giá trị tải trọng lớn nhất tương ứng với một cơ cấu phá hỏng cho phép là sức chịu tải của đất nền.

Đặc điểm của phương pháp này là tiêu chuẩn phá hoại (cơ cấu phá hỏng cho phép) là rất khó xác định. Lời giải Xhrtôvich trong bài toán xác định sức chịu tải của móng băng, bằng thực nghiệm, tiêu chuẩn phá hoại được ông đưa ra là khi chiều sâu của vùng biến dạng dẻo bằng  $1/4$  bề rộng của móng.

Vì vậy, để xác định sức chịu tải của đất nền, tác giả dùng phương pháp là định lý giới hạn dưới.

#### 4.2.1.2. Phương pháp dùng định lý giới hạn dưới

Trong trường hợp này có thể hình dung rằng mỗi điểm trong đất có khả năng xảy ra biến dạng trượt (điều kiện bền Mohr-Coulomb theo (2.22) thì  $f(k)=0$ ). Do đó điều kiện trạng thái ứng suất tới hạn viết dưới dạng bình phương tối thiểu như sau:

$$Z_1 = \int_v \frac{1}{G} \left[ \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_z)^2}{4} + \tau_{xz}^2} - \frac{(\sigma_x + \sigma_z)}{2} \sin \varphi - c \cdot \cos \varphi \right]^2 dv \rightarrow \min \quad (4.1a)$$

Trong phương pháp này cường độ áp lực tác dụng của tải trọng  $p$  tại mép móng là ẩn (ở mép móng có sự tập trung ứng suất nên ứng suất tiếp xúc tại đây là lớn nhất) và trạng thái ứng suất tới hạn để xác định sức chịu tải của đất nền cần tìm dưới dạng là giá trị lớn nhất của  $p$  ( $p_{\max}$ ). Tuy nhiên, do tải trọng tác dụng  $p$  không chứa trong hàm mục tiêu nên trong bài toán này sẽ có thêm hàm mục tiêu của lực  $p$  tại điểm mép móng với mục tiêu là  $p_{\max}$

(khi chuyển sang bài toán min có dấu (-)). Vì vậy, hàm mục tiêu của lực p tại điểm mép móng có dạng như sau:

$$Z_2 = \int_V \frac{1}{G} \tau_{\max}^2 dV - \frac{p_{\max}^2}{G} \Delta V \rightarrow \min \quad (4.1b)$$

với  $\Delta V$  là diện tích gắn với điểm đặt lực.

Điều kiện đất ở trạng thái ổn định:

$$Z_3 = \int_V \frac{1}{G} \tau_{\max}^2 dV = \int_V \frac{1}{G} \left[ \frac{(\sigma_x - \sigma_z)^2}{4} + \tau_{xz}^2 \right] dV \rightarrow \min \quad (4.1c)$$

Trạng thái ứng suất trong nền đất dưới móng băng phải thỏa mãn các ràng buộc sau:

hai phương trình cân bằng (2.19) và (2.20)

điều kiện ràng buộc là điều kiện bền Mohr-Coulomb (2.22)

các điều kiện biên của bài toán.

Như vậy, bài toán xác định sức chịu tải của đất nền là bài toán tìm cực tiểu của (4.1a), (4.1b), (4.1c) với các ràng buộc (2.19), (2.20), (2.21), (2.22) và các điều kiện biên.

#### 4.2.2. Nghiên cứu sức chịu tải đất nền do tác dụng của tải trọng phân bố đều trên móng băng với tải trọng bên chiều rộng vô hạn

**Bài toán 4.4:** Mục đích là nghiên cứu sức chịu tải của đất nền dưới móng băng; nghiên cứu sự phát triển vùng biến dạng dẻo khi tăng tải trọng và so sánh kết quả lời giải của tác giả với phương pháp Terzaghi.

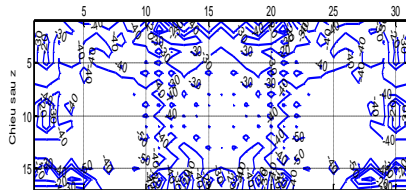
Dữ liệu bài toán: Đất nền có  $c=40$  kPa,  $\varphi=15^\circ$ ,  $\gamma=17$  kN/m<sup>3</sup>, G thay đổi tuyến tính theo chiều sâu như Hình 2.10c; chiều rộng móng  $B=10$ .  $\Delta x=3,0$ m; tải trọng bên  $p_0=40$  kPa.

#### Xác định sức chịu tải của đất nền theo phương pháp thử dần:

Nhằm theo dõi sự phát triển của vùng biến dạng dẻo khi tăng tải, nên tác giả chỉ trình bày kết quả của điều kiện bền Mohr-Coulomb  $f(k)$ .

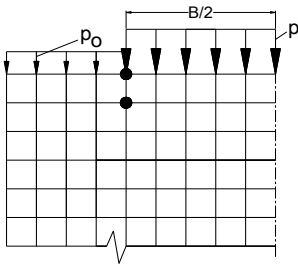
- Với  $0 < p < 210$  kPa-ứng suất trong tất cả các điểm nút tính toán đều thỏa mãn điều kiện bền Mohr-Coulomb (2.22) ( $f(k) < 0$ ).

Tải trọng  $p=200$  kPa, các đường đẳng bền  $f(k)$  được trình bày trên Hình 4.6.

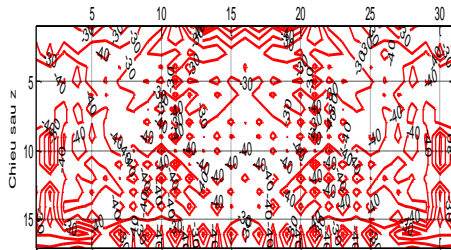


Hình 4.6. Các đường đẳng bền  $f(k)$

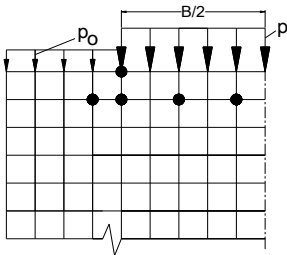
- Với giá trị tải trọng  $p=240\text{kPa}$ , xuất hiện các điểm chảy dẻo từ mép móng ( $f(k) = 0$ ). Xét một nửa lưới sai phân có hai điểm chảy dẻo (Hình 4.7a). Kết quả các đường đẳng bền  $f(k)$  (Hình 4.7b).



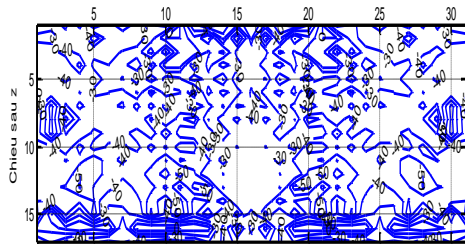
Hình 4.7a. Điểm chảy dẻo

Hình 4.7b. Các đường đẳng bền  $f(k)$ 

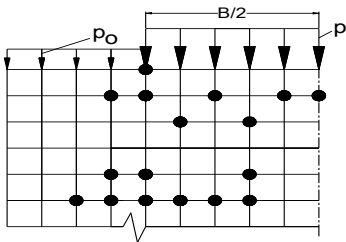
- Với giá trị tải trọng  $p=300\text{kPa}$ , xuất hiện các điểm chảy dẻo lan rộng từ mép móng và sang xung quanh. Xét một nửa lưới sai phân, các điểm chảy dẻo (Hình 4.8a). Kết quả các đường đẳng bền  $f(k)$  (Hình 4.8b).



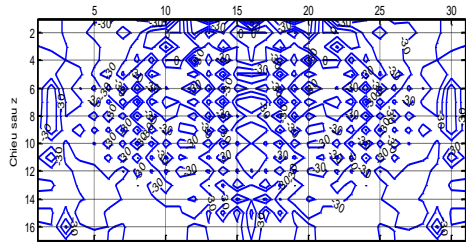
Hình 4.8a. Điểm chảy dẻo

Hình 4.8b. Các đường đẳng bền  $f(k)$ 

- Với giá trị tải trọng  $p=381,19\text{ kPa}$ , các điểm dẻo phát triển và nối liền thành vùng biến dạng dẻo. Xét một nửa lưới sai phân, các điểm chảy dẻo trên Hình 4.9a. Kết quả các đường đẳng bền  $f(k)$  (Hình 4.9b).



Hình 4.9a. Điểm chảy dẻo

Hình 4.9b. Các đường đẳng bền  $f(k)$

Khi áp lực của tải trọng  $p=381,19\text{kPa}$  có thể coi trong nền đất đã hình thành một cơ cấu phá hỏng cho phép. Đó là giá trị tải trọng tới hạn- sức chịu tải của đất nền. Từ Hình 4.9b cho thấy các điểm chảy dẻo nối liền tạo thành vùng biến dạng dẻo và xuất hiện “nêm đất” ở dưới đáy móng (vùng đất bị nén chặt- không bị chảy dẻo). Tuy nhiên, cơ sở để đưa ra giá trị tải trọng này là chưa chặt chẽ. Vì vậy, để xác định sức chịu tải của đất nền, tác giả dùng phương pháp định lý giới hạn dưới.

***Xác định sức chịu tải của đất nền theo định lý giới hạn dưới:***

Dùng phương pháp định lý giới hạn dưới, khi thay đổi kích thước lưới sai phân, giá trị sức chịu tải tính toán  $p_{th}^u$  thay đổi như Bảng 4.1.

Bảng 4.1. Sức chịu tải tính toán  $p_{th}^u$  theo kích thước lưới sai phân

Số lần	Số nút n	Số nút m	$p_{th}^u$ (kPa)	Sai số (%)
Lần 1	29	16	380,95	
Lần 2	31	17	381,19	0,06

Theo Bảng 4.1, sai số giá trị sức chịu tải tính toán  $p_{th}^u$  giữa hai lần tính toán là 0,06% ( $0,06\% < 1\%$ ). Với sai số này có thể lựa chọn kích thước lưới sai phân có số nút theo trục ox là  $n=31$ , số nút theo trục oz là  $m=17$  được dùng trong tính toán. Với kích thước lưới sai phân này, dưới tác dụng của tải trọng  $p$  tăng dần đến giá trị  $p_{th}^u = 381,19\text{kPa}$  thì sự phát triển của vùng biến dạng dẻo được trình bày trên Hình 4.7b, Hình 4.8b, Hình 4.9b.

***Xác định sức chịu tải của đất nền theo phương pháp Terzaghi:***

Dùng công thức của Terzaghi (1.27) với các điều kiện của bài toán như sau: Đất nền có  $c = 40\text{kPa}$ ,  $\varphi=10^\circ$ ,  $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ ; bề rộng móng  $B=3\text{m}$ ; tải trọng bên  $p_0=40\text{kPa}$ . Sức chịu tải của đất nền là:

$$P_{th} = N_c \cdot c + N_q \cdot q_0 + \frac{1}{2} \gamma \cdot N_\gamma \cdot B = 445,87 \text{ (kPa)} \quad (4.2)$$

***4.2.3. Nghiên cứu sức chịu tải đất nền chịu tác dụng của tải trọng phân bố đều trên móng băng với tải trọng bên chiều rộng hữu hạn***

Xác định sức chịu tải tính toán của cùng điều kiện đất nền và móng:  $c=40 \text{ kPa}$ ,  $\varphi = 10^\circ$ ,  $\gamma = 17\text{kN/m}^3$ ,  $G$  thay đổi tuyến tính theo chiều sâu như Hình 2.10c; chiều rộng móng  $B=10.\Delta x=3,0\text{m}$ ; tải trọng bên khác nhau trong ba trường hợp. Kết quả tính toán được biểu diễn trong Bảng 4.2.

Bảng 4.2. Bảng giá trị  $p_{th}^{tt}$  xét ảnh hưởng của tải trọng bên

<b>Đất nền có <math>c=40</math> kPa; <math>\varphi=10^0</math>; <math>\gamma=17</math> kN/m<sup>3</sup>; bề rộng móng <math>B=3</math>m</b>		
$p_{th}^{tt1}$ (kPa) khi có tải trọng bên $p_0=40$ kPa với chiều rộng đặt tải $L=0,6$ m.	$p_{th}^{tt2}$ (kPa) khi có tải trọng bên $p_0=60$ kPa với chiều rộng đặt tải $L=0,6$ m	$p_{th}^{tt3}$ (kPa) khi có tải trọng bên $p_0=40$ kPa với chiều rộng đặt tải vô hạn
350,94	378,18	381,19

### 4.3. Nghiên cứu sức chịu tải đất nền khi không xét trọng lượng bản thân để so sánh với lời giải Prandtl

#### 4.3.1. Xác định sức chịu tải của đất nền khi móng băng đặt trên mặt đất

##### 4.3.1.1. Đất nền là đất dính có tính dẻo cao $c \neq 0$ ; $\varphi = 0$

**Bài toán 4.7:** Mục đích là so sánh với lời giải Prandtl

Dữ liệu tính toán: Đất có  $c=40$  kPa;  $\varphi=0^0$ ;  $G$  thay đổi tuyến tính theo chiều sâu như Hình 2.10c, móng đặt trên mặt đất.

Dùng phương pháp định lý giới hạn dưới, thay đổi kích thước lưới sai phân, nhận được giá trị sức chịu tải tính toán  $p_{th}^{tt}$  của đất nền theo Bảng 4.3.

Bảng 4.3. Sức chịu tải tính toán  $p_{th}^{tt}$  theo kích thước lưới sai phân

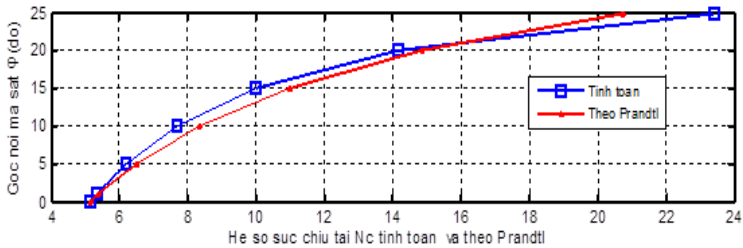
Số lần	Số nút n	Số nút m	$p_{th}^{tt}$ (kPa)	Sai số (%)
Lần 1	29	16	205,5	
Lần 2	31	17	205,6	0,05

Theo bảng 4.3, sai số giữa hai lần tính toán giá trị sức chịu tải tính toán  $p_{th}^{tt}$  bằng 0,05% (0,05% < 1%). Với sai số này, có thể lựa chọn kích thước lưới sai phân có số nút theo trục  $ox$  là  $n=31$  và số nút theo trục  $oz$  là  $m=17$  được dùng trong tính toán.

Vậy, kết quả tính toán sức chịu tải của đất nền là  $p_{th}^{tt} = 205.6$  kPa = 5,14c. Kết quả này *đúng bằng* sức chịu tải của Prandtl.

##### 4.3.1.2. Đất nền là đất dính có tính thông thường $c \neq 0$ ; $\varphi \neq 0$

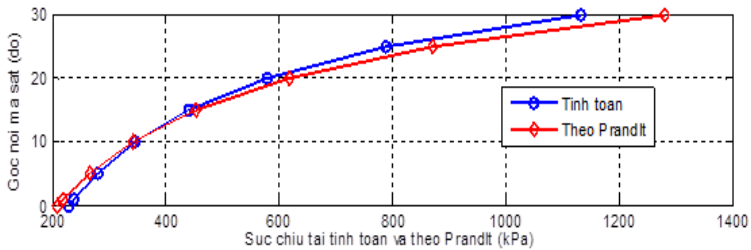
Xác định hệ số sức chịu tải tính toán  $N_c^{tt}$  với so sánh với hệ số theo sức chịu tải  $N_c$  Prandtl, kết quả sai số giữa hai phương pháp là từ 0% ÷ 19% (Hình 4.16).



Hình 4.16. Biểu đồ so sánh hệ số  $N_c$  tính toán và theo Prandtl

#### 4.3.2. Xác định sức chịu tải đất nền khi móng băng đặt chìm trong đất

Đất có  $c=40$  kPa,  $\varphi = 10^\circ$ , tải trọng bên  $p_0=8$  kPa. Kết quả xác định sức chịu tải theo phương pháp của tác giả và theo Prandtl sai khác -9.7% đến 11.5% (Hình 4.17).



Hình 4.17. Biểu đồ so sánh sức chịu tải tính toán và theo Prandtl

#### 4.4. Kết quả và bàn luận

1. Bài toán xác định trạng thái ứng suất trong đất được xây dựng trong chương hai cho phép xác định trạng thái ứng suất chưa tới hạn trong đất dưới móng băng- mặt đất nằm ngang trong các điều kiện khác nhau của tải trọng và đất nền.

2. Bằng cách tăng tải trọng từng bước, tác giả nhận được sự tăng vùng biến dạng dẻo trong nền đất. Vùng biến dạng dẻo xuất hiện đầu tiên ở mép móng, sau đó mở rộng xuống dưới sâu và sang hai bên. Trong mọi trường hợp đều nhận được nêm đất dưới đáy móng.

3. Như đã biết lời giải của Prandtl để xác định sức chịu tải của đất nền dưới móng cứng không xét được ảnh hưởng của kích thước móng  $B$  và



trọng lượng thể tích  $\gamma$  của đất (công thức 1.26). Các nhà khoa học Terzaghi, Caquot và Kerisel đã xây dựng các công thức để xét ảnh hưởng kích thước móng B và trọng lượng thể tích  $\gamma$  để bổ sung vào công thức của Prandtl (công thức 1.27). Bằng phương pháp dùng định lý giới hạn dưới, ví dụ nghiên cứu ở mục 4.2.2 đã chứng tỏ lời giải của tác giả cho phép xác định được các đặc trưng của đất ( $\varphi, \gamma, c$ ) và kích thước của móng.

4. Các ví dụ nghiên cứu ở mục 4.2.3 chứng tỏ tác giả đã giải được bài toán xét ảnh hưởng của chiều rộng tác dụng và giá trị cường độ của tải trọng bên (bộ phân áp) đến sức chịu tải của đất nền.

5. Tác giả nghiên cứu bài toán sức chịu tải trong trường hợp không xét đến trọng lượng bản thân để so sánh lời giải Prandtl nhận được kết quả như sau:

+ Đất nền dính có tính dẻo cao ( $\varphi = 0^\circ$ ,  $c \neq 0$ ) kết quả sức chịu tải tính toán đúng bằng kết quả của lời giải Prandtl ( $p_{th}^u = 5,14c$ ). Điều này một lần nữa chứng tỏ cách xây dựng điều kiện bổ sung để xác định trạng thái ứng suất trong đất của tác giả là đúng đắn.

+ Trong trường hợp có xét đến ảnh hưởng của góc nội ma sát  $\varphi$  đến sức chịu tải của đất nền (hệ số sức chịu tải  $N_c$ ), sai khác giữa hai phương pháp là 0÷19% (Hình 4.16). Sai khác này là do trong lời giải của Prandtl chỉ xét trạng thái ứng suất của vùng biến dạng dẻo giới hạn trong một phạm vi nhất định dưới móng, lời giải của tác giả cho phép xác định trạng thái ứng suất của toàn khối đất nghiên cứu.

+ Trong trường hợp có xét đến ảnh hưởng của góc nội ma sát  $\varphi$  và tải trọng bên khi có  $c=40$  kPa,  $\varphi = 1^\circ; 5^\circ; \dots$ , tải trọng bên  $p_0=8$  kPa, thì sự sai khác giữa hai phương pháp từ -9.7% đến -11.5% (Hình 4.17). Sai khác này là do Prandtl khi xét đến ảnh hưởng của tải trọng bên, lời giải của bài toán được dựa theo nguyên lý cộng tác dụng [33]. Còn phương pháp của tác giả, khi xét ảnh hưởng của tải trọng bên đã dùng lời giải của bài toán phi tuyến.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### 1. Các kết quả chính và mới đạt được

1. Như chúng ta đã biết, trạng thái ứng suất trong đất là trạng thái dẫn đến ổn định hoặc hình thành ổn định. Khi đất ổn định nhất thì vòng tròn Mohr ứng suất có ứng suất tiếp lớn nhất  $\tau_{max}$  (bán kính đường tròn) là nhỏ

nhất. Vì vậy, tác giả đã đưa thêm điều kiện bổ sung để xác định trạng thái ứng suất trong đất là  $\min(\tau_{\max})$  là hợp lý và đúng đắn.

2. Đất là vật liệu ba pha, Terzaghi đã đưa ra nguyên lý ứng suất có hiệu để nghiên cứu trạng thái ứng suất trong đất. Sử dụng nguyên lý ứng suất có hiệu của Terzaghi, đưa thêm điều kiện bổ sung  $\min(\tau_{\max})$  để nhận được đầy đủ phương trình xác định trạng thái ứng suất trong đất nói chung (cơ học hạt rời nói riêng). Bài toán xác định trạng thái ứng suất trong đất là:

$$Z = \int_V \frac{1}{G} \tau_{\max}^2 dV \rightarrow \min$$

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} - \gamma = 0$$

Kết quả này được công bố trong công trình [1].

3. Bài toán trên được giải cùng với các ràng buộc: đất không chịu kéo, điều kiện bền Mohr-Coulomb và các điều kiện biên của khối đất. Bài toán này là bài toán quy hoạch phi tuyến. Bằng phép tính biến phân tác giả đã nhận được hệ phương trình (2.16) là trường hợp riêng để xác định trạng thái ứng suất trong đất. Những dẫn giải khi đưa về bài toán biến phân và xét trên vòng tròn Mohr cho thấy bài toán có nghiệm, về mặt cơ học, đó là nghiệm duy nhất.

4. Tác giả xây dựng cách giải bài toán xác định trạng thái ứng suất trong đất bằng phương pháp sai phân hữu hạn và đã xét được các tính chất đặc biệt của đất như: mô đun trượt tăng theo chiều sâu, đất không chịu kéo, thỏa mãn điều kiện bền Mohr-Coulomb.

5. Sử dụng lý thuyết trên tác giả đã nghiên cứu xác định trạng thái ứng suất chưa tới hạn trong một số bài toán ứng dụng cơ học đất với kết quả điển hình là:

+ Nền đất chịu tác dụng của trọng lượng bản thân, khi mặt giới hạn nằm ngang thì hệ số áp lực đất tĩnh  $K_0^u = 1$ , mặt giới hạn nằm nghiêng thì hệ số  $K_0^u$  có giá trị thay đổi tùy theo vị trí của điểm tính ứng suất.

+ Tải trọng tác dụng trên móng băng được tăng từng bước, kết quả nhận được sự phát triển vùng biến dạng dẻo trong nền đất dưới móng và

nền đất khi ở trạng thái tới hạn. Kết quả này là phù hợp với thực nghiệm [19] và được công bố trong công trình [2].

6. Để kiểm chứng lý thuyết mới xác định trạng thái ứng suất, tác giả đã viện dẫn về các lời giải cổ điển như sau:

+ Kết quả xác định góc dốc tới hạn của lăng trụ cát khô đúng bằng góc nội ma sát của cát ( $\beta_{th}=\varphi$ ). Kết quả này là phù hợp với thực tế [32] và được công bố trong công trình [4].

+ Sức chịu tải của đất dưới móng băng khi không xét đến trọng lượng bản thân với đất dính tính dẻo cao ( $\varphi =0^0$ ,  $c\neq 0$ ) đúng bằng kết quả của lời giải Prandtl ( $p_{th}^u =5,14c$ ). Kết quả này được công bố trong công trình [2].

Các kết quả trên chứng tỏ cách xây dựng điều kiện bổ sung để xác định trạng thái ứng suất trong đất của tác giả là đúng đắn.

## 2. Kiến nghị

Dùng lý thuyết xác định trạng thái ứng suất trên để giải quyết các bài toán ứng dụng của cơ học đất như trạng thái ứng suất trong nền đường, trong nền đất dưới móng, tính toán ổn định của mái dốc, tính toán sức chịu tải của đất nền và xét sự ảnh hưởng của bộ phận áp đến sức chịu tải của đất nền.

Dùng lý thuyết có được để nghiên cứu trạng thái ứng suất của đất trong bài toán không gian.

