

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

**HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ**

NGUYỄN MINH KHOA

**NGHIÊN CỨU TRẠNG THÁI ỨNG SUẤT GIỚI HẠN  
TRONG NỀN ĐẤT TỰ NHIÊN DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TẢI TRỌNG  
NỀN ĐƯỜNG ĐÁP VÀ BỆ PHẢN ÁP**

Chuyên ngành: Kỹ thuật xây dựng công trình giao thông

Mã số: 62 58 02 05

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

**TS. Hoàng Đình Đạm**

HÀ NỘI - 2013

## **LỜI CAM ĐOAN**

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các số liệu, kết quả trong luận án là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

**Tác giả luận án**

**Nguyễn Minh Khoa**

## LỜI CẢM ƠN

Tác giả luận án xin bày tỏ lòng biết ơn chân thành và sâu sắc tới GS.TSKH Hà Huy Cương và TS Hoàng Đình Đạm đã tận tình hướng dẫn về khoa học, tạo điều kiện thuận lợi, giúp đỡ tác giả trong suốt quá trình học tập, nghiên cứu và thực hiện hoàn thành luận án.

Tác giả xin chân thành cảm ơn các Giáo sư, phó Giáo sư, Tiến sỹ, các Chuyên gia, các Nhà khoa học trong và ngoài Học viện Kỹ thuật Quân sự đã tạo có nhiều ý kiến đóng góp và chỉ dẫn quý báu cho luận án.

Tác giả xin trân trọng cảm ơn các cán bộ, giảng viên của Bộ môn Cầu Đường Sân bay, Viện Kỹ thuật công trình đặc biệt, Phòng Sau đại học - Học viện Kỹ thuật Quân sự đã tạo điều kiện, giúp đỡ cho tác giả trong quá trình học tập và nghiên cứu tại Học viện.

Tác giả xin trân trọng cảm ơn Ban Giám hiệu, Khoa Công trình, Bộ môn Đường bộ - Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải, nơi tác giả đang công tác, đã tạo điều kiện về kinh phí cũng như thời gian để tác giả có thể hoàn thành được bản luận án.

Cuối cùng, tác giả muốn bày tỏ lòng biết ơn đối với những người thân trong gia đình đã động viên khích lệ và chia sẻ khó khăn với tác giả trong suốt thời gian thực hiện luận án.

**Tác giả luận án**

**Nguyễn Minh Khoa**

## MỤC LỤC

<b>MỞ ĐẦU .....</b>	<b>1</b>
1. Tính cấp thiết của đề tài .....	1
2. Mục đích nghiên cứu.....	3
3. Phạm vi nghiên cứu.....	3
4. Phương pháp nghiên cứu.....	3
5. Nội dung nghiên cứu .....	3
6. Bố cục của luận án .....	4
<b>CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ TRẠNG THÁI ỨNG SUẤT VÀ TẢI TRỌNG GIỚI HẠN CỦA NỀN ĐẤT TỰ NHIÊN DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TẢI TRỌNG NỀN ĐƯỜNG ĐẮP .....</b>	<b>6</b>
1.1. Nền đường đắp .....	6
1.2. Nền đất yếu.....	7
1.2.1. Khái niệm đất yếu .....	7
1.2.2. Nền đất yếu ở Việt Nam.....	8
1.2.3. Hiện tượng mất ổn định của nền đường đắp trên đất yếu .....	9
1.3. Tải trọng của nền đường đắp tác dụng lên nền đất tự nhiên.....	10
1.4. Trạng thái ứng suất và tải trọng giới hạn của nền đất.....	11
1.4.1. Cân bằng đàn hồi và cân bằng dẻo.....	11
1.4.1.1. Đất là vật liệu đàn - dẻo lý tưởng.....	11
1.4.1.2. Đất là vật liệu cứng - dẻo lý tưởng .....	13
1.4.2. Lý thuyết biến dạng tuyến tính .....	14
1.4.3. Lý thuyết cân bằng giới hạn.....	20
1.4.3.1. Cơ sở của lý thuyết cân bằng giới hạn .....	20
1.4.3.2. Hệ phương trình cơ bản .....	20
1.4.3.3. Các lời giải của hệ phương trình cơ bản .....	21

1.4.4. Lý thuyết đàn - dẻo dùng cho khối đất .....	23
1.4.4.1. Tải trọng giới hạn đàn hồi.....	23
1.4.4.2. Bài toán hỗn hợp đàn - dẻo về khối đất .....	24
1.4.4.3. Lý thuyết Cam - Clay.....	25
1.4.5. Các phương pháp dùng mặt trượt giả định .....	25
1.4.5.1. Phương pháp mặt trượt giả định mặt phẳng.....	25
1.4.5.2. Phương pháp mặt trượt trụ tròn.....	26
1.4.5.3. Phương pháp mặt trượt theo lý luận cân bằng với nền đồng nhất ....	26
1.4.6. Phương pháp phân tích giới hạn .....	29
1.4.7. Phương pháp xác định ứng suất theo điều kiện ứng suất tiếp lớn nhất đạt giá trị nhỏ nhất trong nền đất .....	30
1.5. Giải pháp tăng cường sức chịu tải (tải trọng giới hạn) của nền đất yếu ..	31
1.6. Kết luận .....	34
<b>CHƯƠNG 2: NGHIÊN CỨU TRẠNG THÁI ỨNG SUẤT TRONG NỀN ĐẤT TỰ NHIÊN DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LƯỢNG BẢN THÂN VÀ TẢI TRỌNG NỀN ĐƯỜNG ĐẮP.....</b>	<b>37</b>
2.1. Đặt vấn đề.....	37
2.2. Xây dựng bài toán trạng thái ứng suất trong nền đất tự nhiên dưới tải trọng của nền đường đắp.....	39
2.2.1. Bài toán trạng thái ứng suất trong nền đất .....	39
2.2.2. Bài toán trạng thái ứng suất trong nền đất tự nhiên dưới tải trọng của nền đường đắp .....	46
2.3. Phương pháp giải bài toán trạng thái ứng suất trong nền đất tự nhiên dưới tải trọng của nền đường đắp.....	49
2.3.1. Phương pháp giải bài toán bằng sai phân hữu hạn .....	49
2.3.2. Phương pháp giải bài toán quy hoạch phi tuyến.....	53
2.3.3. Lập chương trình giải bài toán bằng ngôn ngữ Matlab.....	54

2.4. Trạng thái ứng suất trong nền đất tự nhiên .....	56
2.4.1. Trạng thái ứng suất trong nền đất tự nhiên chịu trọng lượng bản thân ....	56
2.4.2. Trạng thái ứng suất trong nền đất tự nhiên dưới tải trọng của nền đường đắp.....	62
2.4.3. Khảo sát sự xuất hiện và phát triển vùng biến dạng dẻo .....	63
2.5. Kết quả và bàn luận.....	65
<b>CHƯƠNG 3: NGHIÊN CỨU TRẠNG THÁI ỨNG SUẤT GIỚI HẠN TRONG NỀN ĐẤT TỰ NHIÊN DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TẢI TRỌNG NỀN ĐƯỜNG ĐẮP VÀ BỆ PHẢN ÁP .....</b>	<b>67</b>
3.1. Nghiên cứu trạng thái ứng suất trong nền đất tự nhiên dưới tác dụng của tải trọng nền đường đắp và bộ phản áp .....	67
3.1.1. Xây dựng bài toán .....	67
3.1.2. Xây dựng phương pháp giải bài toán.....	70
3.1.2.1. Phương pháp giải bài toán bằng sai phân hữu hạn .....	70
3.1.2.2. Lập chương trình giải bài toán bằng ngôn ngữ Matlab .....	72
3.1.3. Trạng thái ứng suất và sự phát triển của vùng biến dạng dẻo.....	74
3.1.3.1. Trạng thái ứng suất .....	74
3.1.3.2. Sự phát triển của vùng biến dạng dẻo.....	75
3.2. Nghiên cứu trạng thái ứng suất giới hạn trong nền đất tự nhiên dưới tác dụng của tải trọng nền đường đắp và bộ phản áp.....	77
3.2.1. Đặt vấn đề.....	77
3.2.2. Xây dựng bài toán trạng thái ứng suất giới hạn.....	77
3.2.3. Phương pháp giải bài toán trạng thái ứng suất giới hạn .....	79
3.2.3.1. Phương pháp giải bài toán bằng sai phân hữu hạn .....	79
3.2.3.2. Lập chương trình giải bài toán bằng ngôn ngữ Matlab .....	80
3.3. Trạng thái ứng suất giới hạn trong nền đất tự nhiên dưới tác dụng của tải trọng nền đường đắp và bộ phản áp .....	81

3.3.1. Khảo sát ảnh hưởng của lưới sai phân hữu hạn đến tải trọng giới hạn ....	81
3.3.1.1. Khảo sát ảnh hưởng của kích thước ô lưới sai phân.....	81
3.3.1.2. Khảo sát ảnh hưởng của kích thước lưới sai phân hữu hạn.....	81
3.3.2. Khảo sát đánh giá kết quả bài toán trạng thái ứng suất giới hạn .....	82
3.3.3. Khảo sát ảnh hưởng của chiều rộng tải trọng nền đắp đến tải trọng giới hạn.....	86
3.3.4. Khảo sát ảnh hưởng của trọng lượng nền đất đến tải trọng giới hạn	87
3.3.5. Khảo sát đường đẳng bên và vùng biến dạng dẻo .....	88
3.3.6. Khảo sát ảnh hưởng của tải trọng bộ phản áp đến vùng biến dạng dẻo ...	95
3.4. Kết quả và bàn luận.....	97
<b>CHƯƠNG 4: NGHIÊN CỨU BỘ PHẢN ÁP ĐỂ LÀM TĂNG TẢI TRỌNG GIỚI HẠN CỦA NỀN ĐẤT YẾU DƯỚI TẢI TRỌNG NỀN ĐƯỜNG ĐẮP .....</b>	<b>101</b>
4.1. Đặt vấn đề.....	101
4.2. Khảo sát quan hệ giữa tải trọng giới hạn của nền đất yếu với tải trọng bộ phản áp .....	103
4.2.1. Quan hệ giữa tải trọng giới hạn và chiều rộng tải trọng bộ phản áp .	103
4.2.2. Quan hệ giữa tải trọng giới hạn với cường độ tải trọng bộ phản áp..	105
4.3. Nghiên cứu tải trọng bộ phản áp làm tăng tải trọng giới hạn của nền đất yếu dưới tải trọng nền đường đắp .....	107
4.3.1. Trường hợp không xét góc ma sát trong của đất yếu.....	107
4.3.1.1. Xây dựng toán đồ thiết kế bộ phản áp.....	107
4.3.1.2. Nghiên cứu tải trọng bộ phản áp hợp lý.....	110
4.3.2. Trường hợp xét góc ma sát trong của nền đất yếu.....	115
4.4. Nghiên cứu bộ phản áp rộng vô hạn để làm tăng tải trọng giới hạn của nền đất yếu dưới nền đường đắp .....	118

4.4.1. Quan hệ giữa tải trọng giới hạn của nền đất yếu và cường độ tải trọng bộ phản áp rộng vô hạn .....	118
4.4.2. Xây dựng toán đồ thiết kế bộ phản áp rộng vô hạn .....	119
4.5. Kết quả và bàn luận.....	121
<b>KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ .....</b>	<b>123</b>
Kết luận chung .....	123
Kiến nghị.....	125
<b>DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ .....</b>	<b>CT-1</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO .....</b>	<b>TL-1</b>
<b>PHỤ LỤC .....</b>	<b>PL-1</b>



## DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU CƠ BẢN

- b - chiều rộng tải trọng nền đường đắp
- $b_d$  - chiều rộng lớn nhất vùng biến dạng dẻo trong nền đất
- B và H - chiều rộng và chiều cao nền đường đắp
- c - lực dính đơn vị của đất nền
- $c_u$  - lực dính đơn vị theo kết quả cắt nhanh không thoát nước của đất nền
- e - hệ số rỗng của đất nền
- $f(\varphi)$  - hệ số xét đến ảnh hưởng của góc ma sát trong của đất nền
- $f(k)$  - giá trị bền theo điều kiện Morh - Coulomb
- G - mô đun trượt của đất nền
- h - chiều cao của bộ phản áp
- $h_d$  - chiều sâu lớn nhất vùng biến dạng dẻo trong nền đất
- $h_{hl}$  - chiều cao hợp lý của bộ phản áp
- i, j - thứ tự hàng và cột trong lưới sai phân hữu hạn
- k - hệ số áp lực ngang của nền đất
- L - chiều rộng tải trọng bộ phản áp
- $L_{hl}$  - chiều rộng hợp lý của tải trọng bộ phản áp
- $N_\gamma$  - hệ số sức chịu tải theo trọng lượng thể tích
- $N_c$  - hệ số sức chịu tải theo lực dính đơn vị
- $N_q$  - hệ số sức chịu tải theo tải trọng bên
- $n_0$  - điểm giữa của lưới sai phân hữu hạn tại hàng trên (tại mặt thoáng)
- na và ma - số nút lưới sai phân hữu hạn theo trục x và z
- p - cường độ tải trọng của nền đường đắp
- $p_{gh}$  - tải trọng giới hạn của nền đất
- q - cường độ tải trọng của bộ phản áp
- $q_{hl}$  - cường độ hợp lý của tải trọng bộ phản áp

$u$  - áp lực nước lỗ rỗng đối với đất bão hòa nước

$u_a$ ,  $u_n$  và  $u$  - áp lực khí lỗ rỗng, áp lực nước lỗ rỗng và áp lực lỗ rỗng đối với đất không bão hòa nước

$u$  và  $v$  - các chuyển vị ảo theo phương  $x$  và  $z$

$V$  - miền lấy tích phân

$z_a$  - chiều sâu khu vực tác dụng của tải trọng xe cộ

$Z_G$  - lượng cường bức theo phương pháp nguyên lý cực trị Gauss

$\varphi$  - góc ma sát trong của đất nền

$\gamma$  - trọng lượng thể tích của đất nền

$\nu$  - hệ số nở hông của đất nền

$\delta$  - biến phân

$\sigma_x$ ,  $\sigma_z$  và  $\tau_{xz}$  - các ứng suất tổng trong hệ trục  $xOz$

$\sigma'_{x0}$ ,  $\sigma'_{z0}$  và  $\tau'_{xz0}$  - các ứng suất hữu hiệu do trọng lượng bản thân nền đất

$\sigma'_x$ ,  $\sigma'_z$  và  $\tau'_{xz}$  - các ứng suất hữu hiệu trong hệ trục  $xOz$

$\sigma_1$  và  $\sigma_2$  - các ứng suất chính lớn nhất và bé nhất trong nền đất

$\gamma_d$  và  $\gamma_b$  - trọng lượng thể tích của đất đắp nền đường và bệ phản áp

$\tau_{max}$  - ứng suất tiếp lớn nhất

$\tau_s$  - cường độ chống cắt của đất nền

$\tau$  và  $\sigma$  - ứng suất tiếp và ứng suất pháp trên mặt đang xét

$\Delta x$  và  $\Delta z$  - kích thước ô lưới sai phân hữu hạn theo trục  $x$  và  $z$

$\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_z$  và  $\varepsilon_{xz}$  - các biến dạng ảo tương đối trong hệ trục  $xOz$

$\Xi$  - thế năng biến dạng cực tiểu