

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT**

NGUYỄN HỮU SÀ

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA BÃI THẢI BỀ MẶT MỎ ĐẾN
ỨNG XỬ CƠ HỌC CỦA KẾT CẤU CHỐNG GIỮ ĐƯỜNG LÒ
PHÍA DƯỚI TẠI VÙNG THAN QUẢNG NINH**

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI - 2026

Công trình được hoàn thành tại
Bộ môn Xây dựng công trình ngầm và mỏ
Khoa Xây dựng – Trường Đại học Mỏ – Địa chất.

Người hướng dẫn khoa học:

1. PGS.TS. Đặng Văn Kiên

Trường Đại học Mỏ – Địa chất.

2. PGS.TS. Đào Viết Đoàn

Trường Đại học Mỏ – Địa chất.

Phản biện 1: **GS.TS Đỗ Như Tráng**

Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

Phản biện 2: **PGS.TS Nguyễn Chí Thành**

Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Phản biện 3: **TS Nguyễn Thị Nguyệt Hằng**

Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

Luận án bảo vệ tại **Hội đồng đánh giá luận án cấp trường họp tại**
Trường Đại học Mỏ – Địa chất Vào hồi...giờ,...ngày...tháng...năm
2026

Có thể tìm hiểu luận án tại: - **Thư viện Quốc gia Hà Nội**

- **Thư viện Trường đại học mỏ - Địa chất**

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Thực tế sản xuất cho thấy các đường lò nằm dưới bãi thải mặt mỏ (BTBM) thường xuất hiện biến dạng lớn, làm gia tăng nguy cơ hư hỏng và mất ổn định kết cấu chống (KCC) so với các đường lò không chịu ảnh hưởng của BTBM. Tuy nhiên, các phương pháp tính áp lực đất đá lên KCC hiện nay chủ yếu xét điều kiện địa hình, địa chất tự nhiên mà chưa xem xét một cách hệ thống và định lượng ảnh hưởng của tải trọng nhân tạo do BTBM gây ra. Trong bối cảnh BTBM ngày càng cao và mở rộng, việc nghiên cứu, đánh giá định lượng ảnh hưởng của BTBM đến ứng xử cơ học của KCC đường lò phía dưới là cần thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn đối với công tác thiết kế, duy trì và đảm bảo an toàn khai thác than tại vùng Quảng Ninh.

2. Mục tiêu nghiên cứu

Nghiên cứu, đánh giá được ảnh hưởng của BTBM mỏ bao gồm: trọng lượng thể tích (TLTT) đất đá thải, chiều cao bãi thải (CCBT), vị trí đường lò so với bãi thải đến ứng xử cơ học (nội lực) trong KCC thép của đường lò nằm phía dưới bãi thải.

3. Đối tượng nghiên cứu

KCC thép chống giữ đường lò nằm ngang phía dưới BTBM.

4. Phạm vi nghiên cứu

Đường lò cơ bản hoặc chuẩn bị nằm ngang có dạng hình tròn (KCC kín) và hình tường thẳng vòm bán nguyệt (KCC hở), chống giữ bằng KCC thép nằm bên dưới BTBM (bãi thải dương - bãi thải đổ trên các khu vực mặt bằng) có thời gian tồn tại lâu dài tại vùng than Quảng Ninh.

5. Nội dung nghiên cứu

Luận án tập trung nghiên cứu các nội dung chủ yếu sau:

- Tổng quan về BTBM mỏ và cách tính áp lực tác dụng lên KCC đường lò;
- Xây dựng mô hình số mô phỏng BTBM mỏ và đường lò nằm dưới bãi thải;
- Nghiên cứu ảnh hưởng của BTBM mỏ đến ứng xử cơ học của KCC giữ đường lò;
- Nghiên cứu ảnh hưởng của bãi thải đến ứng xử của KCC thép cho đường lò nằm dưới bãi thải mỏ than Mông Dương Quảng Ninh.

6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài luận án

Ý nghĩa khoa học:

Bổ sung cơ sở khoa học và phương pháp đánh giá ảnh hưởng của bãi thải bề mặt mỏ đến ứng xử cơ học của kết cấu chống giữ đường lò phía dưới, đồng thời xác lập quy luật biến đổi và phân bố nội lực trong kết cấu chống theo sự thay đổi của các đặc trưng bãi thải.

Ý nghĩa thực tiễn:

Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học và thực tiễn phục vụ tính toán, thiết kế, lựa chọn loại kết cấu chống thép và điều chỉnh khoảng cách chống phù hợp đối với các đường lò nằm dưới bãi thải. Đồng thời, kết quả nghiên cứu có thể được sử dụng làm tài liệu tham khảo trong công tác thiết kế, kiểm tra và quản lý các đường lò nằm dưới hoặc chịu ảnh hưởng của bãi thải bề mặt tại các mỏ than vùng Quảng Ninh, góp phần nâng cao hiệu quả và độ ổn định của kết cấu chống giữ đường lò.

7. Phương pháp nghiên cứu

- Nghiên cứu lý thuyết: Tổng quan, phân tích và tổng hợp tài liệu trong và ngoài nước liên quan đến BTBM mỏ và đường lò nằm dưới bãi thải; Xây dựng cơ sở lý thuyết phục

vụ nghiên cứu ảnh hưởng BTBM mở đến ứng xử cơ học của KCC giữ đường lò nằm bên dưới.

- Phương pháp mô hình số: Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn bằng phần mềm Phase2 mô phỏng BTBM mở và đường lò nằm dưới bãi thải trong bài toán 2D; Xây dựng mô hình tính, thực hiện nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng với bài toán lý thuyết và bài toán thực tế tại mỏ than Mông Dương, phân tích ứng xử cơ học trong KCC đường lò;

8. Những điểm mới của luận án

- Luận án xây dựng mô hình số 2D mô phỏng bãi thải và đường lò chống giữ bằng KCC thép phía dưới bãi thải và kiểm chứng với kết quả của bài toán bán không gian hai chiều của Boussinesq và Hamilton Gray.

- Luận án phân tích ảnh hưởng của BTBM mở đến ứng xử KCC thép của đường lò hình tròn và hình tường thẳng vòm bán nguyệt nằm dưới bãi thải mở trong các trường hợp: 1) Thay đổi TLTT của đất đá thải; 2) Thay đổi CCBT; 3) Thay đổi vị trí đường lò.

- Luận án nghiên cứu trong điều kiện thực tế của BTBM mở Mông Dương Quảng Ninh với trường hợp ảnh hưởng của CCBT đến ứng xử cơ học của đường lò nằm phía dưới bãi thải.

9. Các luận điểm bảo vệ

Luận điểm 1: Sự thay đổi chiều cao, trọng lượng thể tích và vị trí tương quan của bãi thải bề mặt mở làm thay đổi giá trị cũng như quy luật phân bố nội lực trong kết cấu chống thép đường lò phía dưới;

Luận điểm 2: Sự thay đổi hình dạng tiết diện đường lò nằm dưới bãi thải bề mặt mở làm thay đổi giá trị và quy luật phân bố nội lực trong kết cấu chống giữ.

10. Cơ sở dữ liệu

Cơ sở dữ liệu phục vụ công tác nghiên cứu của luận án bao gồm:

- Các báo cáo địa chất và hiện trạng các BTBM của các mỏ than vùng Quảng Ninh;
- Mặt cắt địa chất tuyến qua khu vực bãi thải mở bên dưới có các vỉa than đã, đang và sẽ khai thác của vùng than Quảng Ninh;
- Điều kiện địa cơ học của khối than đá, tính chất cơ lý của đất đá thải vùng than Quảng Ninh;
- Các công trình khoa học, bài báo, công bố liên quan trong và ngoài nước.

11. Cấu trúc của luận án

Ngoài phần mở đầu, kết luận và kiến nghị, tài liệu tham khảo và mục lục, cấu trúc của luận án bao gồm 4 chương được trình bày trong 84 trang đánh máy khổ A4, kèm theo 54 hình minh họa và 14 bảng biểu.

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ BÃI THẢI BỀ MẶT MỎ VÀ CÁCH TÍNH ÁP LỰC TÁC DỤNG LÊN KẾT CẤU ĐƯỜNG LÒ

1.1. Tổng quan chung về BTBM trong khai thác mỏ than

1.1.1. Các dạng bãi thải mở

Hiện nay các bãi thải mở trên thế giới nói chung và ở Việt Nam nói riêng bao gồm các dạng chủ yếu sau:

a) Theo vị trí xây dựng bãi thải

Theo vị trí xây dựng BTBM mở gồm: Bãi thải trong; Bãi thải ngoài; Bãi thải đổ dọc theo thung lũng; Bãi thải đổ lên một phía sườn dốc; Bãi thải đổ hỗn hợp sườn dốc và thung lũng

b) Theo thời gian tồn tại

Tùy thuộc vào các đặc điểm, điều kiện khai thác mỏ mà có thể thiết kế khu vực bãi thải theo các dạng: *Bãi thải tạm; Bãi thải cố định*

c) Theo công nghệ tạo bãi thải

Theo công nghệ tạo bãi thải được xây dựng bằng công nghệ ô tô và máy gạt; công nghệ băng tải máy rải đá hoặc cầu dờ tải; công nghệ xúc và đổ thải bằng máy xúc gầu treo... Ngoài ra có thể có bãi tải 1 tầng và bãi thải nhiều tầng.

1.1.2. Đặc điểm hình thành và nguồn gốc đất đá bãi thải

Đặc điểm của BTBM mỏ là một trong những yếu tố chi phối trực tiếp đến trạng thái ứng suất – biến dạng của khối đất đá bên dưới và ứng xử cơ học của KCC đường lò. Các đặc điểm này có thể được xem xét trên các phương diện chủ yếu sau:

- BTBM hình thành qua quá trình

- + Đổ thải rời rạc từ ô tô tải hoặc băng tải theo từng lớp;
- + Tự sắp xếp lại cấu trúc của đất đá dưới tác dụng trọng lực;
- + Tải cấu trúc thứ cấp do mưa, xói mòn, rửa trôi, bão hòa nước;
- + Nén ép theo thời gian tạo thành khối vật liệu có độ chặt tăng dần nhưng vẫn mang tính rời rạc.

Đặc điểm quan trọng là bãi thải luôn biến đổi theo thời gian, chịu ảnh hưởng mạnh bởi điều kiện khí hậu - đặc biệt là mùa mưa Quảng Ninh với lượng mưa lớn, gây nguy cơ trượt lở và tăng tải trọng tác dụng xuống nền đá.

Vật liệu đất đá bãi thải có nguồn gốc hoàn toàn khác nhau, phụ thuộc tầng địa chất bị bóc và phương pháp vận chuyển. Vì vậy, đặc tính địa kỹ thuật của chúng rất biến động.

- Thành phần vật liệu

Hỗn hợp đất sét, sét pha, cát pha, đá vụn, đá kẹp, sét kết, bột kết, cát kết, cuội kết. Kích thước hạt thay đổi từ dạng đất mịn đến đá tảng 1–2 m, không đồng nhất theo cả phương đứng và phương ngang.

- Trạng thái cấu trúc

Độ rời rạc cao, nhiều hốc rỗng, độ chặt ban đầu nhỏ, tăng dần theo thời gian, mang tính đất đá rời với cấu trúc hạt – khối xen kẽ.

- Thành phần nguồn gốc của đất đá bãi thải

Các bãi thải là không gian chứa đất đá thải của một hoặc vài mỏ. Thành phần thạch học chủ yếu đất đá của các mỏ khu vực Cẩm Phả, Hòn Gai, Uông Bí gồm: phủ đệ tứ, cuội, sạn kết, cát kết, bột kết, sét kết và sét than. Tổng hợp tính chất cơ lý đá nguyên khối thể hiện ở Bảng 1.1 [28].

Bảng 1.1. Tổng hợp tính chất cơ lý của các loại đá nguyên khối

Khu vực	Loại đá	Tỷ lệ phân bố, %	Khối lượng thể tích, ρ , g/cm ³	Khối lượng riêng ρ_s , g/cm ³	Cường độ kháng nén σ_n , MPa	Cường độ kháng kéo σ_k , MPa	Lực dính kết C, MPa	Góc nội ma sát φ , độ
Cẩm Phả	Sét kết	3,4	2,667	2,751	28,856	4,597	8,715	31,43
	Bột kết	25,4	2,673	2,749	48,076	5,659	14,714	33,37
	Cát kết	47,7	2,659	2,721	99,956	10,902	37,098	34,45
	Cuội sạn kết	15,3	2,594	2,674	127,313	13,427	43,825	34,4

Hòn Gai	Sét kết	6	2,58	2,67	35,326	3,286	9,282	29,67
	Bột kết	33	2,65	2,72	60,663	5,923	18,472	32,5
	Cát kết	34	2,63	2,7	117,19	10,424	36,489	34,07
	Cuội sạn kết	14	2,57	2,66	137,56	11,098	41,523	33,93
Uông Bí	Sét kết	11	2,63	2,74	29,382	3,669	8,734	31,45
	Bột kết	38	2,68	2,77	46,964	5,354	13,9	32,35
	Cát kết	35	2,67	2,72	107,199	9,499	33,7	33,48
	Cuội sạn kết	7	2,67	2,7	128,981	13,316	51,1	34,63

Từ Bảng 1.1 cho thấy các loại đá của các mỏ có khối lượng thể tích (KLTT) trung bình bằng 2,6 g/cm³, độ bền từ trung bình đến cứng và rất cứng. Tuy nhiên, khi bị làm toỉ do ra các bãi thải, dung trọng, lực dính kết, góc nội ma sát bị giảm xuống so với trạng thái nguyên khối. Như vậy có thể thấy rằng với các loại khối đá khác nhau thì KLTT của khối đá cũng khác nhau và gây ra áp lực nhân tạo xuống các đường lò nằm dưới bãi thải cũng khác nhau. Như vậy với các loại khối đất đá thải khác nhau sẽ gây ra tải trọng tác dụng lên đường lò nằm dưới bãi thải cũng khác nhau.

Kết quả thí nghiệm xác định KLTT đá thải ở trạng thái tự nhiên và bão hòa tại các mỏ than vùng Quảng Ninh thể hiện trên Bảng 1.2 [28].

Bảng 1.2. Tổng hợp kết quả thí nghiệm xác định KLTT đá thải ở trạng thái tự nhiên và bão hòa

TT	Khu vực	Tên bãi thải	Số mẫu	Khối lượng thể tích TN $\rho_{tn}, t/m^3$	Khối lượng thể tích BH $\rho_{bh}, t/m^3$
1	Cẩm Phả	BT. Trong - L.Trí Đ.Nai	4	2,274	2,428
		BT. Đông K.Sim Đ.Nai	4	2,292	2,428
		BT. Đông C.Son	6	2,228	2,376
		BT. B.Nâu - Cao Sơn	4	2,082	2,180
2	Hòn Gai	BT.V 7+8 Hà Tu	4	2,062	2,208
		BT. CB.H Tu	4	2,188	2,32
		BT. CB.N Béo	4	2,370	2,523
3	Uông Bí	BT.M Khê	4	2,073	2,240

1.2. Hiện trạng các vỉa than dưới bãi thải mỏ khu Cẩm Phả Quảng Ninh

Tại mỏ than Mông Dương: Bên dưới bãi thải mỏ than Mông Dương là khu vực mỏ than Mông Dương quản lý và khai thác các vỉa than bao gồm: V.G (9), V.K8, V.7b, VL (7), V.M (6), V.N (5), V.0 (4), V.4a, V.3. Trong đó các vỉa V.G (9), V.K8, V.7b đã tiến hành khai thác, các vỉa này khu vực dưới bãi thải phân bố ở mức từ -150 lên đến mức +30 [5], [8]. Mặt cắt địa chất tuyến A-A khu vực có bãi thải mặt mỏ và các vỉa đã đang và chưa khai thác thể hiện trên Hình PL1.2.1

Tại mỏ than Khe Chàm: Bên dưới bãi thải Bàng Nâu là khu vực mỏ than Khe Chàm quản lý và khai thác. Toàn bộ các vỉa than thuộc khai trường mỏ than Khe Chàm quản lý và khai thác đều nằm phía dưới bãi thải Bàng Nâu bao gồm: V11, V12, V13.1, V13.2, V14.1, V14.2, V14.4, V14.5, V15, V16, V17 hiện đang khai thác V.14.2, V14.5 Mặt cắt địa chất tuyến VIII khu vực có bãi thải mặt mỏ và các vỉa đã đang và chưa khai thác thể hiện trên Hình PL 1.2.2.

Tại mỏ than Dương Huy: Bên dưới bãi thải Khe Tam – Dương Huy là khu vực mỏ than Dương Huy quản lý và khai thác các vỉa than bao gồm: V.6a, V.6, V.7a, V.7, V.8, V.9, V.10, V.11, V.12, V.13, V.14, V.15, V.15b. Trong đó các vỉa V.13, V.14, V.15, V.15b đã tiến hành khai thác các vỉa khu vực dưới bãi thải phân bố từ mức +0 đến mức +100. Mặt cắt địa chất tuyến V khu vực có bãi thải mặt mỏ và các vỉa đã đang và chưa khai thác thể hiện trên Hình PL 1.2.3.

Tại mỏ than Quang Hanh: Bên dưới bãi thải mỏ than Quang Hanh là khu vực mỏ than Quang Hanh quản lý và khai thác các vỉa than bao gồm: V1, V2, V2a, V2b, V3, V3a, V3b, V4, V5, V6, V10, V11, V12, V15, V16, V17, V18, V19, V20. Trong đó các vỉa đã khai thác nằm gần mặt đất bao gồm V19 và V20 [7], [12]. Mặt cắt địa chất tuyến IVa khu vực có bãi thải mặt mỏ và các vỉa đã đang và chưa khai thác thể hiện trên Hình PL 1.2.4.

Tại mỏ than Hà Lâm: Bên dưới bãi thải mỏ than Núi Béo là khu vực mỏ than Hà Lâm quản lý và khai thác các vỉa than bao gồm: V.13(9), V.11, V.10, V.9, V.7, V.6, V5, V.4, V.3. Trong đó các vỉa V.13, V.11 đã tiến hành khai thác, các vỉa này khu vực dưới bãi thải phân bố từ mức -100 đến mức -150. Mặt cắt địa chất tuyến 40 khu vực có bãi thải mặt mỏ và các vỉa đã đang và chưa khai thác thể hiện trên Hình PL 1.2.5.

Tại mỏ than Núi Béo: Bên dưới bãi thải mỏ than Núi Béo là khu vực mỏ than Núi Béo quản lý và khai thác các vỉa than bao gồm: V31a, V4(1), V5(2), V6(3), V7, V7(4), V9, V9(6), V10, V11(2) V11(8), V11(8), V13. Trong đó các vỉa V.11(8), V.11 đã tiến hành khai thác. Như vậy có thể thấy rằng có rất nhiều vỉa than nằm dưới khu vực bãi thải mỏ đã, đang và sẽ khai thác. Việc nghiên cứu về phương pháp tính áp lực dưới bãi thải tác dụng lên các đường lò nằm dưới bãi thải là rất cần thiết, để lựa chọn được loại hình, tham số kết cấu chống phù hợp đảm bảo độ ổn định của đường lò trong quá trình sử dụng.

1.3. Tổng quan về phương pháp tính nội lực KCC thép chống giữ đường lò

Để chống giữ các đường lò trong mỏ thường sử dụng khung chống thép. Tùy thuộc vào điều kiện sử dụng khung chống có thể chia ra làm nhiều đoạn và liên kết giữa các đoạn với nhau có thể sử dụng liên kết cứng hoặc liên kết ma sát, hình dạng của khung chống cũng tùy thuộc vào điều kiện sử dụng có thể ở dạng hình thang, hình chữ nhật, hình vuông, hình vòm, hình vòm móng ngựa hoặc hình tròn.

Có nhiều phương pháp tính nội lực trong KCC đường lò tuy nhiên các phương pháp chính bao gồm:

- Phương pháp tính toán bằng giải tích

Dựa trên các phương trình cơ học và điều kiện cân bằng để xác định áp lực đất đá tác dụng lên kết cấu chống, từ đó tính toán các nội lực dọc (N), lực cắt (Q) và mô men uốn (M) trong kết cấu. Phương pháp có ưu điểm đơn giản, tính toán nhanh, nhưng phụ thuộc vào các giả thiết về điều kiện địa chất và quy luật phân bố tải trọng.

- Phương pháp nền đàn hồi (Phương pháp chuyển vị)

Coi khối đá xung quanh đường lò là nền đàn hồi, KCC là dầm hoặc vòm đàn hồi. Tải trọng và nội lực trong KCC được xác định thông qua chuyển vị tương đối giữa khối đá và KCC, trong đó phản lực nền phụ thuộc vào độ dịch chuyển của KCC. Phương pháp phản ánh tốt hơn sự tương tác đá-KCC, phù hợp với đường lò chịu áp lực lớn và điều kiện địa chất phức tạp.

- Phương pháp tương tác đá – KCC

Xét sự tương tác đồng thời giữa khối đá và KCC, trong đó tải trọng tác dụng lên KCC phụ thuộc vào biến dạng của khối đá sau khi đào. Trạng thái cân bằng được xác định tại giao điểm giữa đường phản ứng của khối đá và đường đặc tính của KCC, qua đó đánh giá độ hội tụ đường lò, tải trọng và mức độ ổn định của hệ đá-KCC.

- Phương pháp mô hình số:

Sử dụng các phương pháp tính toán số để mô phỏng sự tương tác giữa khối đá và KCC, phù hợp với đường lò có điều kiện địa chất phức tạp, áp lực lớn hoặc hình dạng phức tạp. Hai nhóm phương pháp phổ biến là:

+ Phương pháp phần tử hữu hạn: Chia khối đá thành các phần tử liên tục, KCC được mô hình hóa bằng phần tử dầm hoặc khung; cho phép xác định nội lực và chuyển vị của KCC.

+ Phương pháp sai phân hữu hạn và phần tử rời rạc: Phù hợp với bài toán biến dạng lớn, phá hủy, nứt vỡ và sập đổ của khối đá; cho phép mô phỏng quá trình biến dạng và truyền tải trọng lên KCC.

Kết luận chương 1

Trong quá trình đổ thải tùy thuộc vào loại đất đá thải cỡ hạt, thời gian hình thành bãi thải thì TLTT của đất đá trong bãi thải có thể khác nhau. Chiều cao bãi thải sẽ hình thành theo thời gian đổ thải và đường lò có thể nằm ở các vị trí khác nhau dưới bãi thải (đường lò nằm ở vị trí trung tâm bãi thải, sườn bãi thải, ngoài bãi thải);

Bên dưới các bãi thải vùng than Quảng Ninh có nhiều vỉa than đã đang và sẽ khai thác đồng nghĩa với việc có các hệ thống đường lò đã đang và sẽ sử dụng chịu ảnh hưởng của tải trọng nhân tạo gây ra bởi BTBM mở tác dụng lên hệ thống các đường lò nằm dưới bãi thải;

Có nhiều phương pháp tính nội lực trong KCC lò như phương pháp tính toán bằng giải tích, phương pháp nền đàn hồi, phương pháp tương tác đá- KCC (phương pháp chuyển vị), phương pháp số (phương pháp phần tử hữu hạn, phương pháp sai phân hữu hạn và phần tử rời rạc).

CHƯƠNG 2

XÂY DỰNG MÔ HÌNH SỐ MÔ PHỎNG BÃI THẢI BỀ MẶT MỎ VÀ ĐƯỜNG LÒ NẸM DƯỚI BÃI THẢI

2.2. Xây dựng mô hình số

Chương trình phần mềm Phase2 được xây dựng trên cơ sở phương pháp phần tử hữu hạn. Trong đó môi trường nghiên cứu được chia thành một mạng lưới các phần tử có kích thước hữu hạn, tiếp xúc với nhau bởi các nút. Bằng phương pháp này việc giải một hệ các phương trình vi phân được đưa về dạng giải một hệ các phương trình đại số, liên kết các lực tại các nút với các chuyển vị nút qua "ma trận độ cứng". Các hàm số "hình dạng" và nội suy được áp dụng để diễn tả các biểu hiện ứng suất, biến dạng của từng phần tử. Phase2 cho phép mô phỏng đồng thời điều kiện địa chất đất đá, tải trọng BTBM, kết cấu chống giữ đường lò và quá trình thi công theo giai đoạn thực tế, kết quả có thể đưa ra dữ liệu về nội lực trong KCC, phân bố ứng suất, biến dạng, vv.

Trong nghiên cứu này mô hình số được xây dựng theo các giả thiết nêu trên, bãi thải được mô hình hóa dưới dạng tải trọng phân bố hình thang lên bề mặt mô hình, các bước xây dựng mô hình số và kiểm chứng mô hình bao gồm:

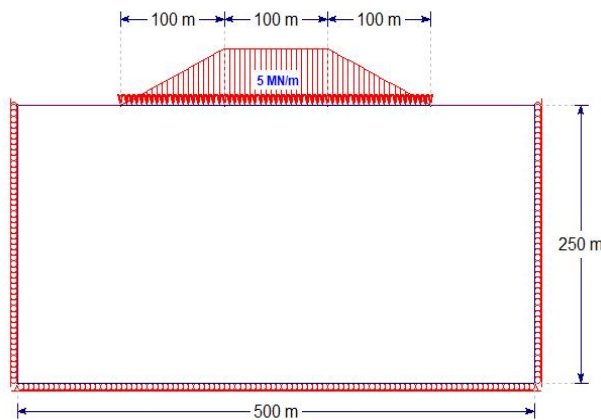
- Bước 1: Xây dựng mô hình số với khối đá đồng nhất;
- Bước 2: Gán tải trọng phụ dạng hình thang trên bề mặt mô hình (tải trọng này coi như tải trọng của BTBM mở)
- Bước 3: Kiểm chứng độ tin cậy của mô hình số bằng việc sử dụng bài toán kinh điển xác định phân bố ứng suất phụ thêm trong bán không gian vô hạn đàn hồi chịu tải trọng bề mặt của Boussinesq (1885) với lời giải cho tải trọng tập trung và tải trọng phân bố đều;

Hamilton Gray (1936) với lời giải cho bài toán tải trọng phân bố tuyến tính, trong đó có dạng tải trọng hình thang – phù hợp với mô hình BTBM trong nghiên cứu này ở cùng điều kiện biên.

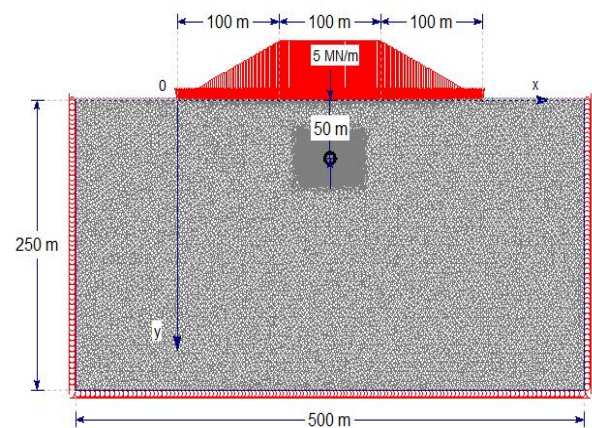
- Bước 4: Sử dụng mô hình đã được kiểm chứng để đào đường lò nghiên cứu với các phương án khảo sát: thay đổi dung trọng của đất đá thải trong bãi thải, thay đổi CCBT và thay đổi vị trí tương quan giữa đường lò với bãi thải trong trường hợp đường lò hình tròn và hình tường thẳng vòm bán nguyệt (Bãi thải có trước, đường lò đào sau dưới bãi thải). Nội dung nghiên cứu này sẽ được trình bày tại Chương 3. .

2.2.1. Kích thước mô hình

Kích thước mô hình được lựa chọn thông qua khảo sát các kích thước khác nhau nhằm hạn chế ảnh hưởng của điều kiện biên, bảo đảm chuyển vị và ứng suất gần biên phù hợp với trường ứng suất nguyên sinh, đồng thời đáp ứng điều kiện môi trường bán không gian. Mô hình biến dạng phẳng 2D được chọn có kích thước 500×250 m, trong đó BTBM có chiều rộng đáy 300 m và chiều rộng đỉnh 100 m (Hình 2.1). Mô hình được sử dụng thống nhất để khảo sát ảnh hưởng của TLTT đất đá thải, chiều cao bãi thải và vị trí tương quan giữa đường lò với BTBM đến ứng xử của KCC thép.



Hình 2.1. Mô hình số bài toán mô phỏng



Hình 2.2. Chia lưới và cố định biên trong mô hình

2.2.2. Xây dựng lưới phần tử hữu hạn và gán điều kiện biên ban đầu

Khối đá được rời rạc hóa thành các phần tử hữu hạn tam giác 6 nút. Do kích thước mô hình đủ lớn để hạn chế ảnh hưởng của điều kiện biên, các biên của mô hình được gán điều kiện chuyển vị bằng không theo các phương Ox và Oy, như thể hiện trên Hình 2.2.

Quy ước mô hình của Phase2 là: x: phương ngang, y: phương đứng, z: phương vuông góc mặt phẳng mô hình.

Thông số đầu vào của khối đá trong mô hình thể hiện trên bảng 2.1

Bảng 2.1. Các thông số đầu vào của khối đá trong mô hình

STT	Thông số	Đơn vị tính	Giá trị
1	Trọng lượng thể tích	kN/m ³	20,0
2	Mô đun biến dạng (E)	MPa	4611,0
3	Hệ số nở hông (μ)	-	0.3
4	Độ bền nén đá liên khối (σ_{ci})	MPa	37,8

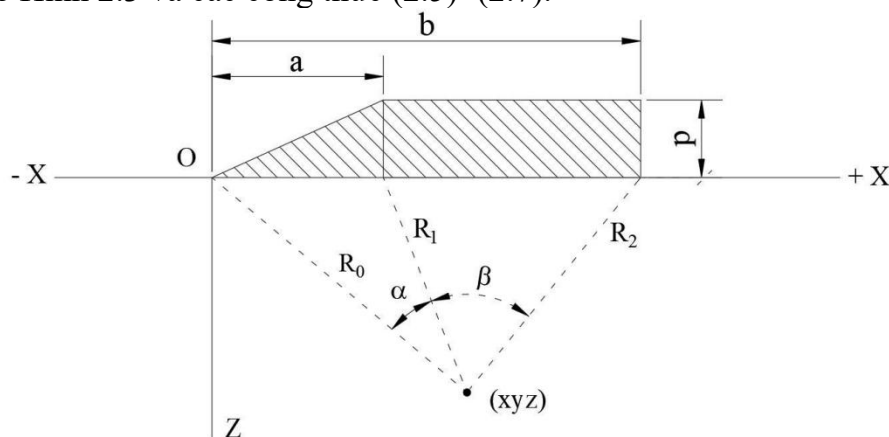
5	GSI	-	50,0
6	Hằng số vật liệu của đá mi	-	7,0
7	D	-	0,5
8	m_b		0,6472
9	s		0,0013
10	a		0,5057
11	Hệ số áp lực ngang (K_0)	-	0,5
13	Mô hình phá huỷ	-	Hoek-Brown

2.3. Kiểm chứng mô hình

2.3.1. Phương pháp giải tích bài toán trong bán không gian vô hạn chịu tải trọng trên bề mặt

Bài toán giả thiết khối đất đá là bán không gian hai chiều Oxz, trong đó Ox và Oz lần lượt là phương ngang và phương đứng; môi trường được xem là đàn hồi, đồng nhất và đẳng hướng. Khi chịu tải trọng trên bề mặt, trong khối đất đá xuất hiện ứng suất phụ thêm phân bố theo không gian.

Bài toán phân bố ứng suất phụ thêm trong bán không gian đàn hồi chịu tải trọng bề mặt đã được nghiên cứu bởi nhiều tác giả. Boussinesq (1885) đưa ra lời giải cho tải trọng tập trung và tải trọng phân bố đều; Hamilton Gray (1936) phát triển lời giải cho tải trọng phân bố dạng hình thang [42], phù hợp với dạng tải trọng mô phỏng BTBM trong nghiên cứu này, theo Hình 2.3 và các công thức (2.5)÷(2.7).



Hình 2.3. Bài toán bán không gian vô hạn đàn hồi

Kết quả ứng suất theo phương x và phương z của một phân tố ứng suất bất kỳ trong bán không gian vô hạn đàn hồi được tính theo công thức:

- Ứng suất theo phương ngang

$$\sigma_x = \frac{p}{\pi a} \left[a\beta + x\alpha + \frac{az}{R_2^2} (x-b) + 2z \log_e \frac{R_1}{R_0} \right] \quad (2.5) \quad [42]$$

- Ứng suất theo phương thẳng đứng

$$\sigma_z = \frac{p}{\pi a} \left[a\beta + x\alpha - \frac{az}{R_2^2} (x-b) \right] \quad (2.6) \quad [42]$$

- Ứng suất cắt:

$$\tau_{xz} = -\frac{p}{\pi a} \left[z\alpha - \frac{az^2}{R_0^2} \right] \quad (2.7) \quad [42]$$

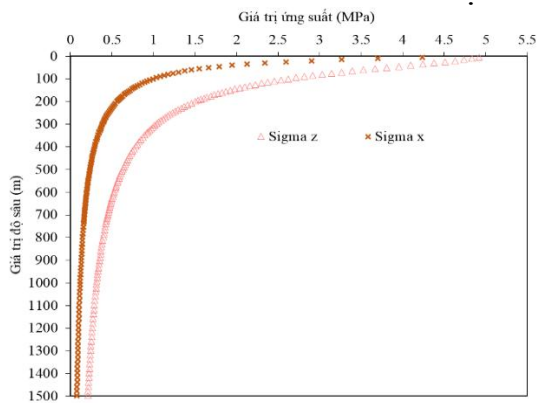
Trong đó:

- x, z - Là tọa độ hai chiều trong bán không gian vô hạn đàn hồi Oxz ;
- R_0, R_1, R_2 - Là các bán kính tọa độ tính từ điểm quan sát tới các vị trí tải trọng trên bề mặt;
- α, β - Là các góc lần lượt tạo bởi R_0R_1 và R_1R_2 ;
- a, b - Là chiều rộng các cạnh tải trọng theo phương Ox ;
- p - Là cường độ tải trọng tính bằng lực trên một đơn vị chiều dài. Trong mô hình biến dạng phẳng, chiều dày quy ước theo phương vuông góc mặt cắt là 1 m. Do đó, tải trọng $P = 5\text{MN/m}$ được quy đổi tương đương thành áp lực bề mặt $p = 5\text{MN/m}^2 = 5\text{MPa}$.

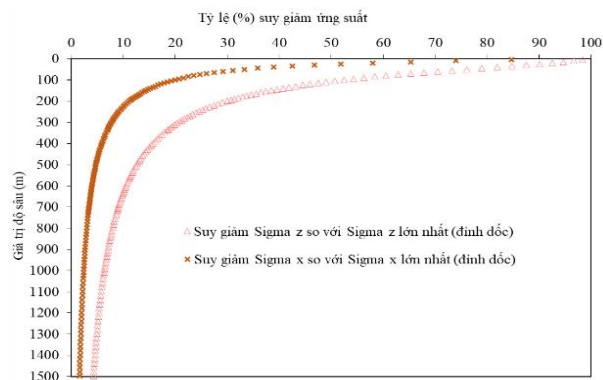
2.3.2. Khảo sát chiều sâu giới hạn và sự phù hợp của kích thước mô hình kiểm chứng

Từ Hình 2.1, các công thức (2.1), (2.2) và đặc điểm của BTBM, cần xác định chiều sâu giới hạn mà tại đó ảnh hưởng của tải trọng bề mặt đến khối đất đá là không đáng kể. Với các thông số mô hình $P = 5\text{ MN/m}$, $a = 100\text{ m}$, $b = 150\text{ m}$ và $b - a = 50\text{ m}$, sử dụng các công thức (2.5), (2.6) và Hình 2.3 để xác định sự phân bố của ứng suất σ_z và σ_x theo chiều sâu đến 1.500 m tại vị trí ngay dưới đỉnh dốc (Hình 2.4, 2.5).

Kết quả cho thấy σ_z và σ_x giảm theo chiều sâu. Trong phạm vi độ sâu dưới 200 m, ảnh hưởng của tải trọng bề mặt thể hiện rõ, với σ_z đạt khoảng $1,5 \div 5\text{ MPa}$. Ở độ sâu 500 m, σ_z giảm còn khoảng 0,6 MPa, tương ứng 12%; tại độ sâu 1.000 m, giảm còn khoảng 0,22 MPa, tương ứng 4,9%. Kết quả cho thấy ảnh hưởng của tải trọng bề mặt giảm nhanh theo chiều sâu và trở nên nhỏ ở độ sâu lớn.



Hình 2.4. Quan hệ giữa ứng suất Sigma z và Sigma x với độ sâu



Hình 2.5. Quan hệ giữa tỷ lệ suy giảm ứng suất Sigma z và Sigma x với độ sâu

Đối với σ_x , trong phạm vi độ sâu nhỏ hơn 200 m, ảnh hưởng của tải trọng bề mặt thể hiện rõ, với giá trị lớn nhất khoảng $0,5 \div 4,23\text{ MPa}$. Khi độ sâu tăng, σ_x giảm dần; tại độ sâu 500 m còn khoảng 0,23 MPa, tương ứng tỷ lệ giảm 4,6%, và tại độ sâu 1.000 m còn khoảng 0,11 MPa, tương ứng 2,3% (Hình 2.5).

Kết quả cho thấy ảnh hưởng của tải trọng bề mặt tập trung chủ yếu trong phạm vi độ sâu dưới 200 m. Do đường lò trong mô hình nghiên cứu được đặt ở độ sâu 50 m, ảnh hưởng của tải trọng BTBM được thể hiện rõ. Kích thước mô hình chiều rộng $\times$ cao: $500\text{ m} \times 250\text{ m}$ đáp ứng yêu cầu nghiên cứu và hạn chế ảnh hưởng của điều kiện biên.

Cũng trong điều kiện đầu vào của tải trọng phụ thêm trên bề mặt giả thiết như trên tại độ sâu lớn hơn 1.000m tính từ mặt đất thì ứng suất phụ thêm sinh ra do tác dụng của tải trọng bề mặt là rất nhỏ hay nói cách khác là không đáng kể. Trong phạm vi nghiên cứu này, độ sâu giới hạn được xác định khi ứng suất phụ thêm do tải trọng bề mặt giảm

xuống mức rất nhỏ so với giá trị ứng suất tại vùng chịu ảnh hưởng rõ rệt; giá trị này phụ thuộc vào độ lớn và phạm vi phân bố của tải trọng bề mặt cũng như điều kiện hình học của bài toán. Trên cơ sở đó, độ sâu 1.000 m được lựa chọn là độ sâu giới hạn để xét ảnh hưởng của tải trọng bề mặt trong phạm vi nghiên cứu.

2.3.3 Xây dựng mô hình kiểm chứng

Kết quả bài toán phân bố ứng suất phụ thêm trong bán không gian đàn hồi chịu tải trọng bề mặt là cơ sở phù hợp để nghiên cứu ảnh hưởng của BTBM đến ứng xử của KCC đường lò phía dưới. Do bài toán nghiên cứu có khối lượng tính toán lớn và điều kiện phức tạp, luận án sử dụng phương pháp số bằng phần mềm Phase². Để đảm bảo độ tin cậy, mô hình số được kiểm chứng bằng cách so sánh kết quả với lời giải giải tích của Hamilton Gray (1936).

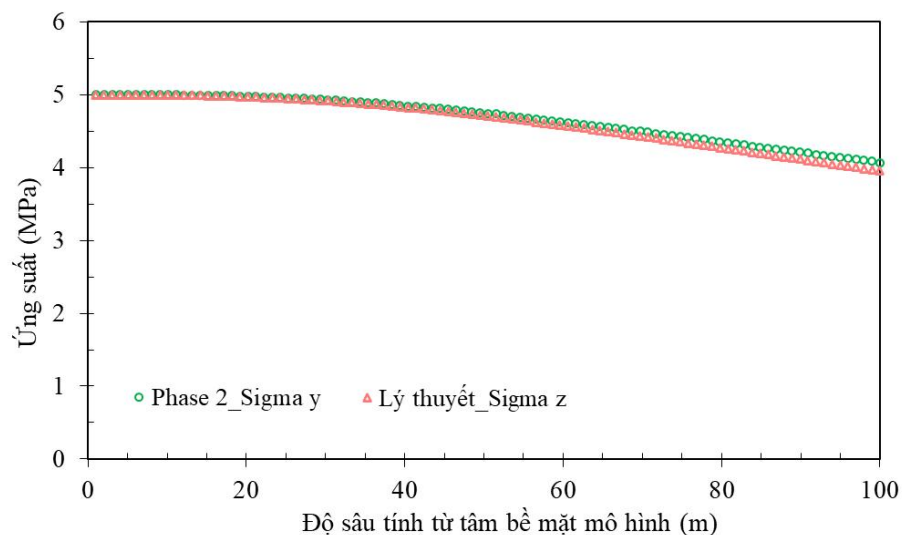
Mô hình kiểm chứng có kích thước chiều rộng $\times$ chiều cao: 500 $\times$ 250 m. BTBM được mô phỏng bằng tải trọng phân bố dạng hình thang, có đáy nhỏ 100 m, đáy lớn 300 m và cường độ tải trọng 5 MN/m, tương ứng với bãi thải cao 250 m và trọng lượng thể tích 20 kN/m³. Các thông số đất đá được thể hiện tại Bảng 2.1.

2.3.4 Kết quả kiểm chứng

Trạng thái ứng suất trong khối đá

Trạng thái ứng suất nguyên sinh trong khối đá được mô phỏng trong mô hình có xem xét tới ảnh hưởng của trường trọng lực tác dụng lên mô hình. Trường ứng suất trọng lực được đặc trưng bằng các thông số: ứng suất theo phương thẳng đứng xác định dựa vào TLTT của khối đá và chiều sâu điểm khảo sát. Bản chất của bài toán nghiên cứu ảnh hưởng của bãi thải là xét tải trọng phụ thêm trên bề mặt theo phương thẳng đứng, do đó thành phần ứng suất theo phương thẳng đứng là quan trọng nhất. Luận án tiến hành so sánh thành phần ứng suất chính theo phương thẳng đứng giữa hai phương pháp giải tích và mô hình số.

Kết quả kiểm chứng ứng suất phụ thêm bằng phương pháp giải tích và mô hình số Phase² được thể hiện trên Hình 2.6, trong đó so sánh các giá trị ứng suất theo phương thẳng đứng tại các điểm quan sát nằm trên trục giữa phía dưới bãi thải.



Hình 2.6. Kết quả kiểm chứng giá trị ứng suất bằng giải tích và phần mềm

Kết quả giải tích và mô hình số đều xét khối đá đàn hồi, đồng nhất, chưa xảy ra phá hủy. Hình 2.6 cho thấy phân bố và xu hướng biến thiên của σ_y theo chiều sâu từ mô

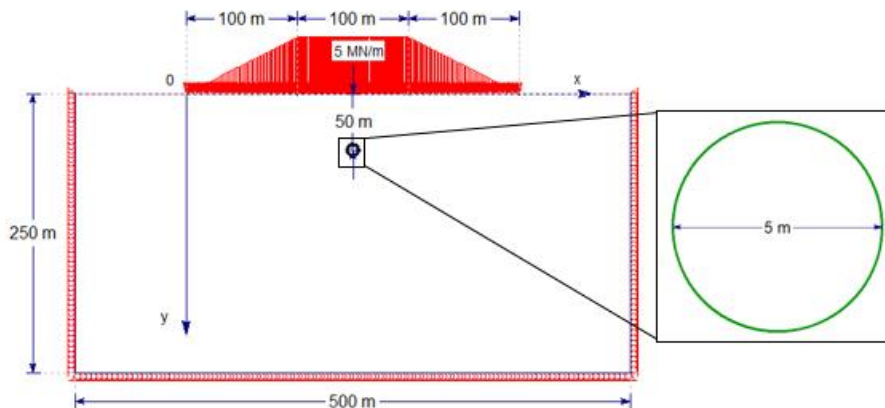
hình số phù hợp với kết quả giải tích, đường cong ứng suất mô phỏng số bám sát giá trị lý thuyết. Sai số trung bình giữa hai phương pháp khoảng 2,0%, chủ yếu do sự khác biệt về điều kiện biên và phương pháp tính toán.

Với mức sai lệch nhỏ và xu thế phân bố ứng suất gần như trùng khớp với lời giải lý thuyết, có thể thấy rằng mô hình số được xây dựng trong luận án mô phỏng bằng phần mềm Phase2 đúng bản chất cơ học của bài toán truyền tải trọng từ bề mặt xuống khối đất đá phía dưới. Kết quả kiểm chứng cũng khẳng định tính đúng đắn của các thao tác mô phỏng số bằng phần mềm Phase2 để xây dựng mô hình và nghiên cứu các tham số minh chứng các luận điểm của luận án mô hình số. Do vậy, mô hình có đủ độ tin cậy để được sử dụng trong các phân tích tiếp theo về ảnh hưởng của BTBM mở đến ứng xử cơ học của KCC giữ đường lò nằm dưới bãi thải được trình bày ở Chương 3.

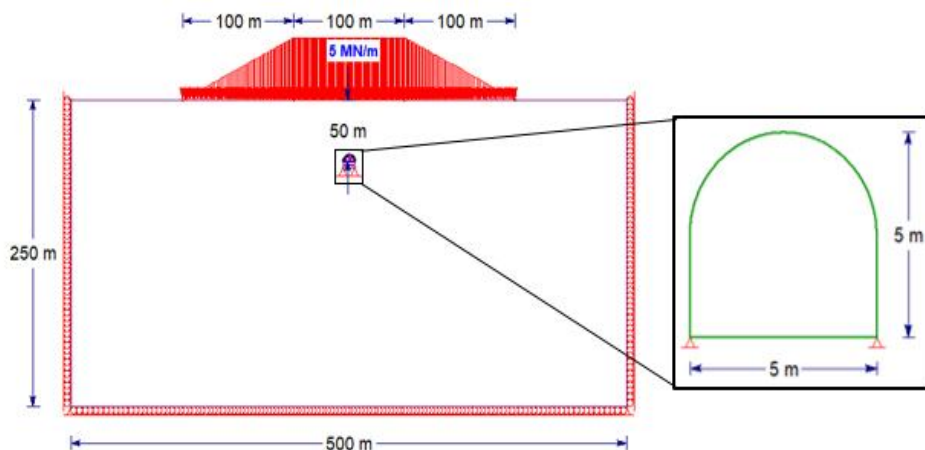
2.4. Các trường hợp nghiên cứu

2.4.1 Hình dạng kích thước đường lò dưới bãi thải và KCC

Trường hợp khảo sát với đường lò hình tròn, và hình tường thẳng vòm bán nguyệt kích thước mô hình chiều rộng $\times$ chiều cao: 500×250 m, bãi thải được mô hình hóa dưới dạng tải trọng phân bố hình thang có kích thước đáy bãi thải bằng 300m, kích thước đỉnh bãi thải bằng 100m, chiều cao lớn nhất của bãi thải bằng 250m, đường lò hình tròn có kích thước đường kính bằng 5m đặt cách bề mặt đất 50m, đường lò hình tường thẳng vòm bán nguyệt có kích thước chiều rộng bằng 5m chiều cao bằng 5m đặt cách bề mặt đất 50m, thể hiện trên Hình 2.7 và Hình 2.7.



Hình 2.7. Mô hình nghiên cứu với hình dạng đường lò hình tròn



Hình 2.8. Mô hình nghiên cứu với hình dạng đường lò hình tường thẳng vòm bán nguyệt

KCC cho đường lò trong các phương án mô phỏng bằng phần tử thanh tương đương với vì thép SVP33, tham số của KCC thể hiện trên Bảng 2.2.

Bảng 2.2. Tham số đầu vào của đường lò và kết cấu chống thép SVP33

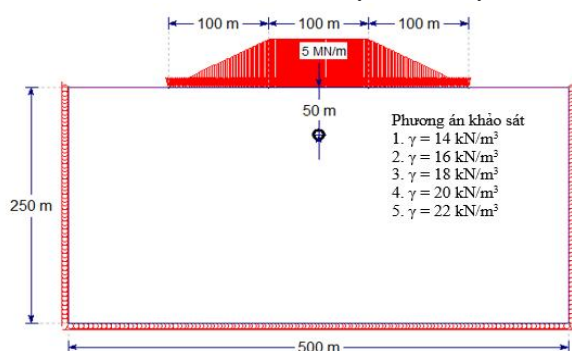
STT	Tham số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Tham số đường lò hình tròn			
	Đường kính	R	5,0	m
2	Tham số đường lò hình tường thẳng vòm bán nguyệt			
	Chiều cao tường	h	2,5	m
	Chiều rộng	b	5,0	m
	Bán kính vòm	R_v	2,5	m
3	Tham số vì thép SVP33			
	Bước chống	l	0,5	m
	Chiều cao mặt cắt	-	0,137	m
	Diện tích mặt cắt ngang	S	0,00425	m ²
	Mô đun biến dạng	E	200000	MPa
	Hệ số Poisson	μ	0,35	-
	Độ bền nén	σ_n	500	MPa
	Độ bền kéo	σ_k	500	MPa
	Khối lượng theo chiều dài	-	33	Kg/m

2.4.2. Trường hợp ảnh hưởng của TLTT đất đá thải đến ứng xử KCC

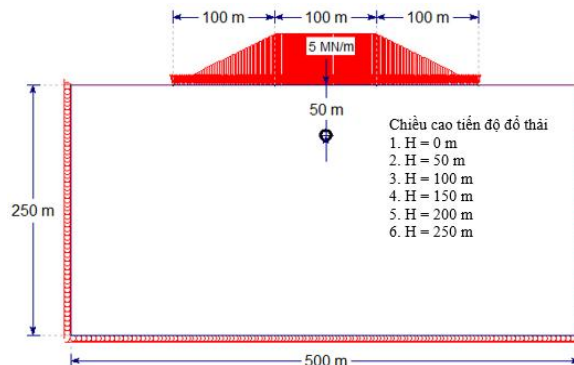
TLTT của vật liệu bãi thải phụ thuộc chủ yếu vào thành phần vật liệu, mức độ phong hóa, kích thước hạt và trạng thái đầm nén. Đất đá thải rời, phong hóa mạnh thường có TLTT thấp; đá thải vụn và đá cỡ lớn có TLTT cao hơn; vật liệu được đầm nén có TLTT và độ ổn định cao hơn. Trong nghiên cứu này, TLTT được lựa chọn trong khoảng 14÷22 kN/m³ với các giá trị $\gamma = 14, 16, 18, 20$ và 22 kN/m³. Sơ đồ mô hình được thể hiện trên Hình 2.9.

2.4.3. Trường hợp ảnh hưởng của chiều cao bãi thải đến ứng xử cơ học của KCC

Trong nghiên cứu này, CCBT được khảo sát tại các mức H = 50, 100, 150, 200 và 250 m. Sơ đồ mô hình được thể hiện trên Hình 2.10.



Hình 2.9. Mô hình trường hợp nghiên cứu thay đổi TLTT đất đá thải

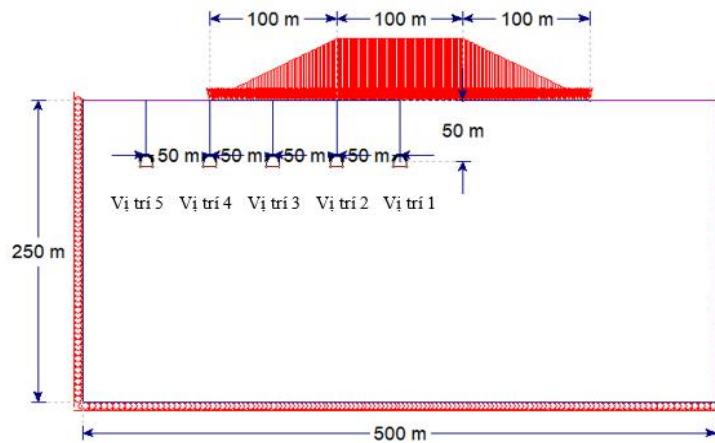


Hình 2.10. Mô hình trường hợp nghiên cứu thay đổi CCBT

2.4.4. Trường hợp ảnh hưởng của vị trí đặt đường lò với bãi thải đến ứng xử cơ học của KCC

Bên cạnh TLTT đất đá thải và CCBT, vị trí đường lò so với BTBM cũng ảnh hưởng đáng kể đến trạng thái ứng suất và nội lực trong KCC. Sự thay đổi vị trí đường lò làm thay đổi quy luật truyền tải trọng từ bãi thải xuống khối đá, dẫn đến sự khác biệt về ứng xử của KCC.

Luận án khảo sát 05 vị trí đường lò: (1) dưới trung tâm bãi thải; (2) dưới đỉnh sườn; (3) dưới giữa sườn; (4) tại chân bãi thải; và (5) ngoài phạm vi bãi thải. Các trường hợp được sử dụng để so sánh và đánh giá mức độ ảnh hưởng của vị trí bãi thải đến KCC đường lò (Hình 2.11).



Hình 2.11. Mô hình trường hợp nghiên cứu vị trí đặt đường lò với bãi thải

Kết luận chương 2

Trên cơ sở bài toán giải tích kinh điển về phân bố ứng suất phụ thêm trong bán không gian vô hạn đàn hồi chịu tải trọng bề mặt, luận án đã tiến hành xây dựng mô hình bằng phần mềm Phase² nghiên cứu ảnh hưởng của BTBM mở đến ứng xử KCC lò nằm dưới bãi thải và đã tiến hành kiểm chứng mô hình số. Kết quả so sánh cho thấy phân bố và giá trị ứng suất phụ thêm theo phương thẳng đứng và phương ngang thu được từ mô hình số phù hợp với lời giải lý thuyết của tác giả Hamilton Gray;

Trên cơ sở phân tích thực trạng hình thành BTBM mở trong điều kiện đổ thải trên mặt bằng, đưa ra các phương án nghiên cứu ảnh hưởng của BTBM mở đến ứng xử cơ học của KCC đường lò hình tròn và hình tường thẳng vòm bán nguyệt nằm dưới bãi thải mở bao gồm:

- 1) Trường hợp ảnh hưởng của TLTT đất đá thải đến ứng xử cơ học KCC;
- 2) Trường hợp ảnh hưởng của CCBT đến ứng xử cơ học của KCC;
- 3) Trường hợp ảnh hưởng của vị trí tương quan đường lò với bãi thải đến ứng xử cơ học của KCC;

Nội dung và kết quả của các trường hợp khảo sát này sẽ được trình bày trong chương 3.

CHƯƠNG 3

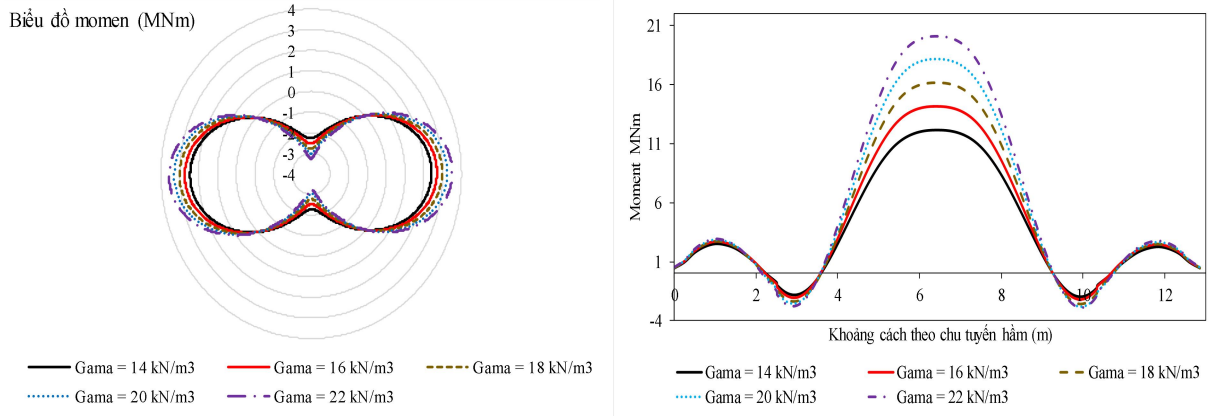
NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA BÃI THẢI BỀ MẶT MỎ ĐẾN ỨNG XỬ CƠ HỌC CỦA KẾT CẤU CHỐNG GIỮ ĐƯỜNG LÒ

3.1. Ảnh hưởng của TLTT đất đá thải đến ứng xử cơ học KCC

Trường hợp nghiên cứu nhằm đánh giá ảnh hưởng của TLTT đất đá thải đến nội lực (M và N) trong KCC thép của đường lò hình tròn và tường thẳng vòm bán nguyệt

nằm dưới BTBM. Các giá trị TLTT khảo sát gồm $\gamma=14,16,18,20$ và 22 kN/m^3 . Mô hình và các tham số đầu vào được thể hiện tại Hình 2.10, Bảng 2.1 và Bảng 2.2.

Kết quả biểu đồ tổng hợp M trong KCC của hai dạng đường lò khi thay đổi TLTT được thể hiện trên Hình 3.1.

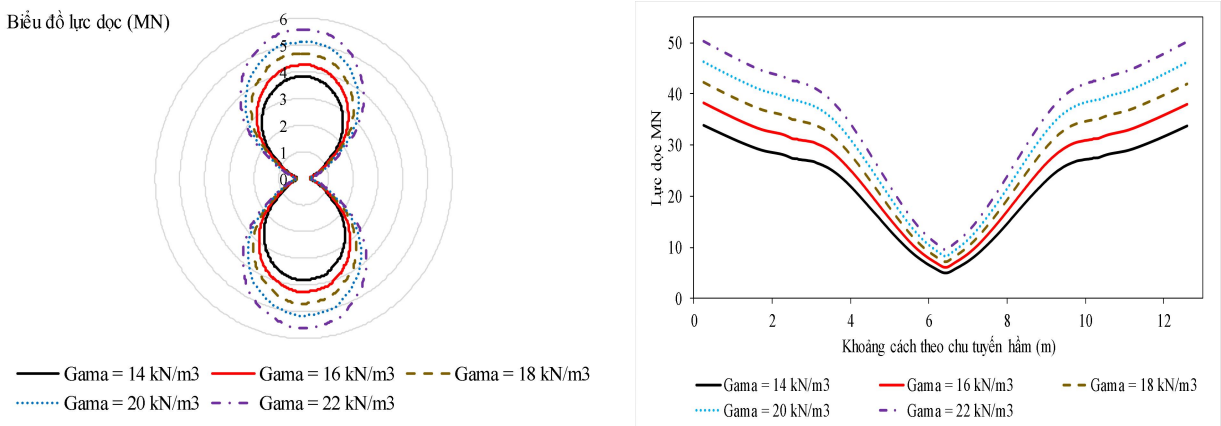


a. Tổng hợp biểu đồ M trong kết cấu thép hình tròn

b. Tổng hợp biểu đồ M trong kết cấu thép hình tường thẳng vòm bán nguyệt

Hình 3.1. Tổng hợp biểu đồ M trong KCC thép ứng với các loại TLTT đất đá trong bãi thải

Tổng hợp biểu đồ lực dọc trong KCC thép đường lò hình tròn và đường lò hình tường thẳng vòm bán nguyệt trong các trường hợp thay đổi TLTT của đất đá thải thể hiện trên Hình 3.2.



a. Tổng hợp biểu đồ N trong kết cấu thép hình tròn

b. Tổng hợp biểu đồ N trong kết cấu thép hình tường thẳng vòm bán nguyệt

Hình 3.2. Tổng hợp biểu đồ N trong KCC thép ứng với các loại TLTT đất đá trong bãi thải

Phân tích kết quả:

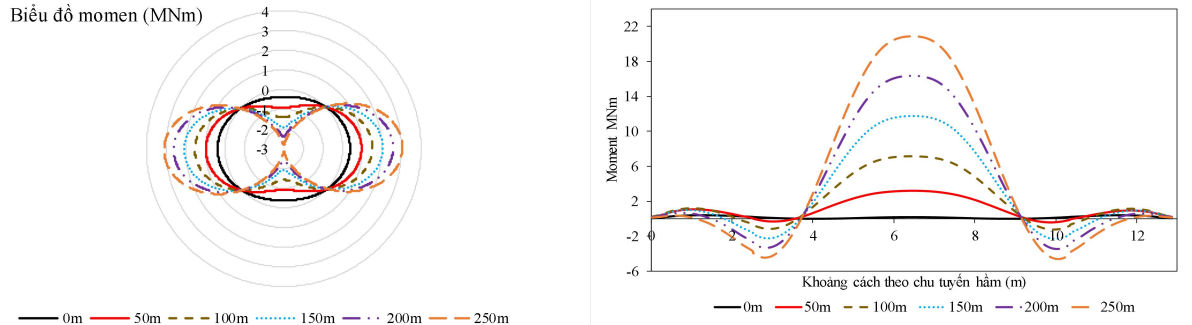
Kết quả từ Hình 3.1 và Hình 3.2 cho thấy khi TLTT đất đá thải tăng, M và N trong KCC đường lò đều tăng. M đạt lớn nhất tại nóc đường lò, trong khi N lớn nhất tại hông đối với tiết diện tròn và tại chân tường đối với tiết diện tường thẳng vòm bán nguyệt.

Trong cùng điều kiện TLTT, nội lực trong KCC đường lò hình tròn nhỏ hơn so với KCC tường thẳng vòm bán nguyệt, do kết cấu kín hình tròn có khả năng phân bố nội lực đều hơn. Đồng thời, mức độ gia tăng nội lực của KCC tường thẳng vòm bán nguyệt lớn hơn KCC hình tròn khi TLTT đất đá thải tăng.

3.2. Ảnh hưởng của chiều cao bãi thải đến ứng xử cơ học của KCC

Trường hợp nghiên cứu nhằm đánh giá ảnh hưởng của chiều cao BTBM đến nội lực (M và N) trong KCC thép của đường lò hình tròn và tường thẳng vòm bán nguyệt nằm dưới bãi thải. Chiều cao bãi thải được khảo sát theo các cấp $h = 0, 50, 100, 150, 200$ và 250 m, tương ứng với quá trình phát triển bãi thải từ khi chưa đổ thải đến chiều cao 250 m. Mô hình và các tham số đầu vào được thể hiện tại Hình 2.10, Bảng 2.1 và Bảng 2.2.

Kết quả biểu đồ tổng hợp M của hai dạng đường lò được thể hiện trên Hình 3.3.

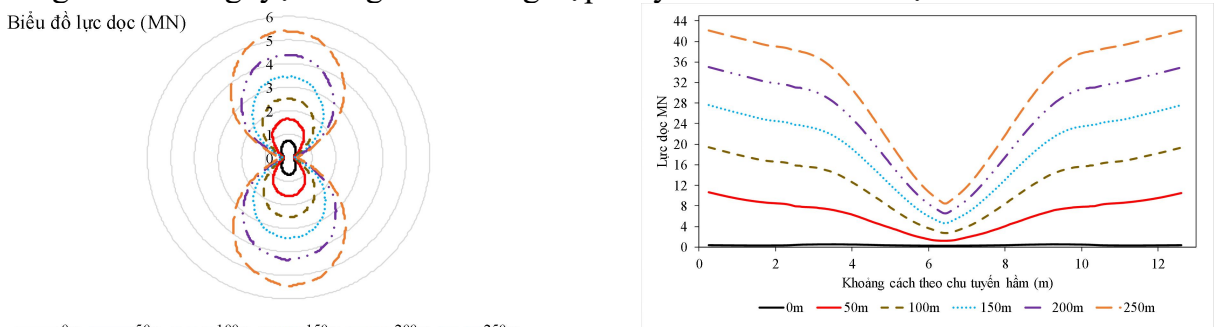


a. Tổng hợp biểu đồ M trong kết cấu thép hình tròn

b. Tổng hợp biểu đồ M trong kết cấu thép hình tường thẳng vòm bán nguyệt

Hình 3.3. Tổng hợp biểu đồ M trong KCC thép ứng với các chiều cao bãi thải

Tổng hợp biểu đồ N trong KCC thép đường lò hình tròn và đường lò hình tường thẳng vòm bán nguyệt trong các trường hợp thay đổi CCBT thể hiện trên Hình 3.4.



a. Tổng hợp biểu đồ N trong kết cấu thép hình tròn

b. Tổng hợp biểu đồ N trong kết cấu thép hình tường thẳng vòm bán nguyệt

Hình 3.4. Tổng hợp biểu đồ lực dọc trong KCC thép ứng với các chiều cao bãi thải

Nhận xét:

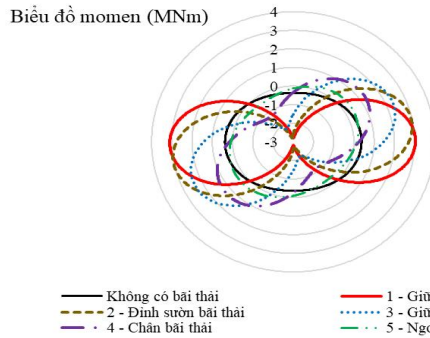
Kết quả Hình 3.3 và Hình 3.4 cho thấy khi chiều cao BTBM tăng, nội lực trong KCC đường lò tăng đối với cả hai dạng tiết diện hình tròn và tường thẳng vòm bán nguyệt. Trong cùng điều kiện, giá trị và tốc độ gia tăng nội lực của KCC tường thẳng vòm bán nguyệt lớn hơn KCC hình tròn, do kết cấu tường thẳng vòm bán nguyệt là KCC hở, trong khi kết cấu hình tròn là KCC kín.

3.3. Ảnh hưởng của vị trí tương đối giữa đường lò và bãi thải đến ứng xử cơ học của KCC

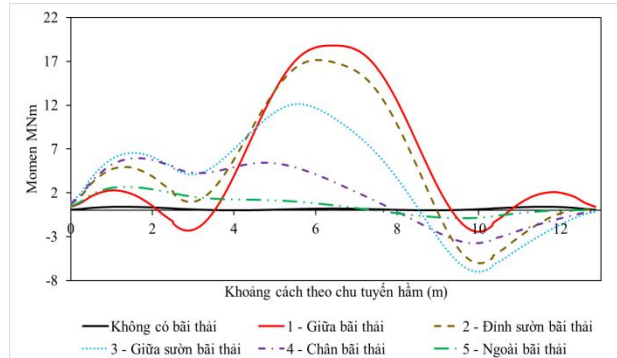
Nghiên cứu nhằm đánh giá ảnh hưởng của vị trí đường lò so với BTBM đến nội lực (M và N) trong KCC thép của đường lò hình tròn và tường thẳng vòm bán nguyệt. Năm vị trí khảo sát gồm: (1) dưới trung tâm bãi thải; (2) tại đỉnh sườn; (3) giữa sườn; (4)

tại chân bãi thải; và (5) ngoài phạm vi bãi thải. Các thông số đầu vào được trình bày tại Bảng 2.1 và Bảng 2.2.

Kết quả biểu đồ tổng hợp M trong KCC của hai dạng đường lò theo vị trí tương quan của đường lò với bãi thải được thể hiện trên Hình 3.5.



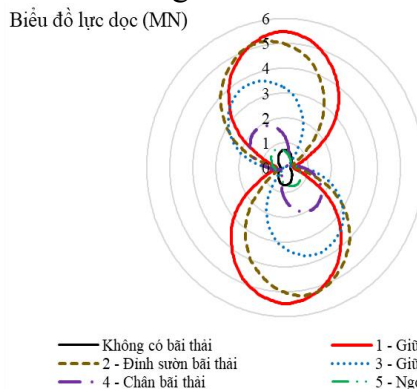
a. Tổng hợp biểu đồ M trong kết cấu thép hình tròn



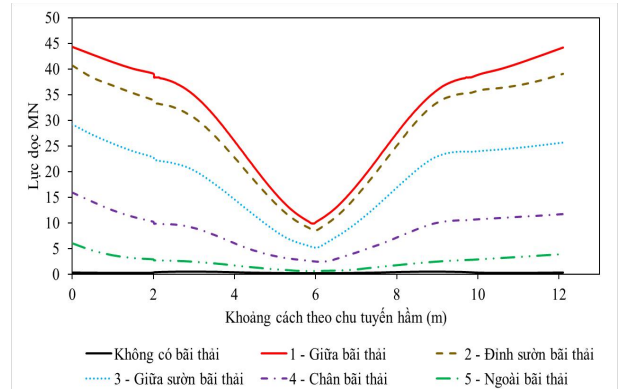
b. Tổng hợp biểu đồ M trong kết cấu thép hình tường thẳng vòm bán nguyệt

Hình 3.5. Tổng hợp biểu đồ M trong KCC thép ứng với thay đổi vị trí tương quan của đường lò với bãi thải

Tổng hợp biểu đồ N trong KCC thép trong các trường hợp thay đổi vị trí tương quan của đường lò với bãi thải thể hiện trên Hình 3.26.



a. Biểu đồ N trong kết cấu thép hình tròn



b. Biểu đồ N trong kết cấu thép hình tường thẳng vòm bán nguyệt

Hình 3.6. Tổng hợp biểu đồ N trong KCC thép ứng với thay đổi vị trí tương quan của đường lò với bãi thải

Nhận xét:

Kết quả cho thấy, khi chưa có BTBM, biểu đồ M trong KCC của cả hai dạng đường lò có tính đối xứng qua trục đường lò. Khi có bãi thải và đường lò nằm dưới trung tâm bãi thải, biểu đồ vẫn đối xứng nhưng giá trị M tăng so với trường hợp không có bãi thải.

Khi đường lò dịch chuyển từ trung tâm về phía sườn, chân và ra ngoài phạm vi bãi thải, M trong KCC có xu hướng giảm và biểu đồ ngày càng bất đối xứng; tại vị trí ngoài bãi thải, giá trị và dạng biểu đồ gần với trường hợp không có bãi thải. Mức độ bất đối xứng của biểu đồ M và N phản ánh sự lệch tâm của tải trọng bãi thải và tăng khi đường lò

dịch chuyển về phía sườn, chân bãi thải.

Vị trí M lớn nhất trong KCC cũng thay đổi theo vị trí tương quan giữa đường lò và bãi thải. N chủ yếu tập trung tại hai bên hông đường lò và có xu hướng bất đối xứng theo hướng dốc bãi thải. Tính bất đối xứng của M và N thể hiện rõ hơn ở KCC tiết diện tròn so với KCC tường thẳng vòm bán nguyệt.

Nhận xét

Kết quả phân tích cho thấy vị trí tương quan giữa đường lò và BTBM là yếu tố ảnh hưởng mạnh đến nội lực trong KCC. Khi đường lò nằm dưới trung tâm bãi thải, mô men uốn và lực dọc đạt giá trị lớn nhất; khi dịch chuyển về phía đỉnh sườn, giữa sườn, chân và ngoài bãi thải, các nội lực có xu hướng giảm dần theo khoảng cách.

M nhạy cảm hơn với vị trí đường lò, đặc biệt tại khu vực trung tâm và sườn bãi thải, nơi KCC hở có nguy cơ xuất hiện uốn lệch tâm và tập trung M. Trong khi đó, N biến thiên ổn định hơn, chủ yếu phản ánh trạng thái chịu nén tổng thể của KCC.

So sánh hai dạng KCC cho thấy KCC kín hình tròn có nội lực nhỏ và ổn định hơn, trong khi KCC hở tường thẳng vòm bán nguyệt nhạy cảm hơn với sự thay đổi vị trí đường lò, đặc biệt về mô men uốn. Như vậy, hình dạng KCC không làm thay đổi quy luật ảnh hưởng của vị trí đường lò nhưng có ảnh hưởng rõ đến mức độ bất lợi của nội lực.

Kết luận chương 3

Trong Chương 3, luận án sử dụng mô phỏng số để đánh giá ảnh hưởng của BTBM đến ứng xử cơ học của KCC đường lò thông qua ba yếu tố: TLTT đất đá thải, CCBT và vị trí tương quan giữa đường lò với bãi thải, đối với hai dạng KCC hình tròn và tường thẳng vòm bán nguyệt. Kết quả cho thấy:

Thứ nhất, khi TLTT đất đá thải tăng, M và N trong KCC đều tăng đối với cả hai dạng kết cấu.

Thứ hai, khi CCBT tăng, nội lực trong KCC tăng theo, trong đó M nhạy cảm hơn N, đặc biệt đối với KCC hở.

Thứ ba, vị trí tương quan giữa đường lò và BTBM ảnh hưởng rõ rệt đến nội lực. Đường lò nằm dưới trung tâm bãi thải là trường hợp bất lợi nhất; khi dịch chuyển về phía sườn, chân và ngoài bãi thải, M và N có xu hướng giảm.

Kết quả nghiên cứu là cơ sở xác định trường hợp bất lợi, lựa chọn vị trí đường lò và dạng KCC phù hợp, đồng thời định hướng giải pháp thiết kế và gia cường KCC trong điều kiện chịu ảnh hưởng của BTBM.

CHƯƠNG 4

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA BÃI THẢI ĐẾN ỨNG XỬ CỦA KẾT CẤU CHỐNG THÉP CHO ĐƯỜNG LÒ NẴM DƯỚI BÃI THẢI MỎ THAN MÔNG DƯƠNG QUẢNG NINH

4.2. Điều kiện bãi thải mỏ than Mông Dương

Để nghiên cứu ảnh hưởng của BTBM đến ứng xử cơ học của KCC thép đường lò, luận án lựa chọn mặt cắt địa chất tuyến AA đi qua trung tâm mỏ than Mông Dương, tại khu vực có bãi thải với chiều cao lớn nhất 217 m.

Theo mặt cắt AA, phía trên là tầng đất đá thải; bên dưới gồm các lớp cuội kết, sạn kết, cát kết, bột kết và các vỉa than. Trong đó, cát kết và bột kết chiếm chủ yếu, còn cuội

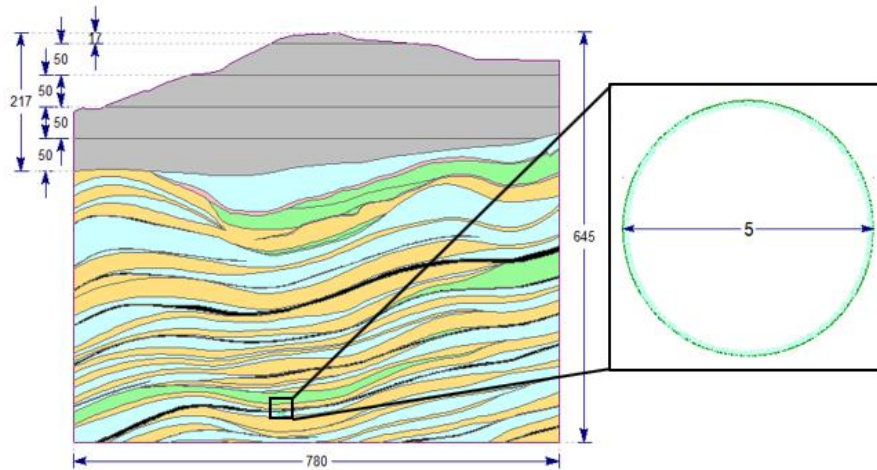
kết và sạn kết có chiều dày nhỏ. Đá thải gồm hỗn hợp cuội kết, sạn kết, cát kết, bột kết và sét kết với kích thước không đồng đều, phân bố không ổn định.

Trong nghiên cứu, đường lò được bố trí trong lớp bột kết ở độ sâu -355 m, là điều kiện địa chất điển hình tại khu vực trung tâm mỏ. Việc lựa chọn mặt cắt AA và vị trí đường lò này giúp mô hình phản ánh điều kiện thực tế, làm cơ sở đánh giá ảnh hưởng của chiều cao BTBM đến ứng xử của KCC thép đường lò.

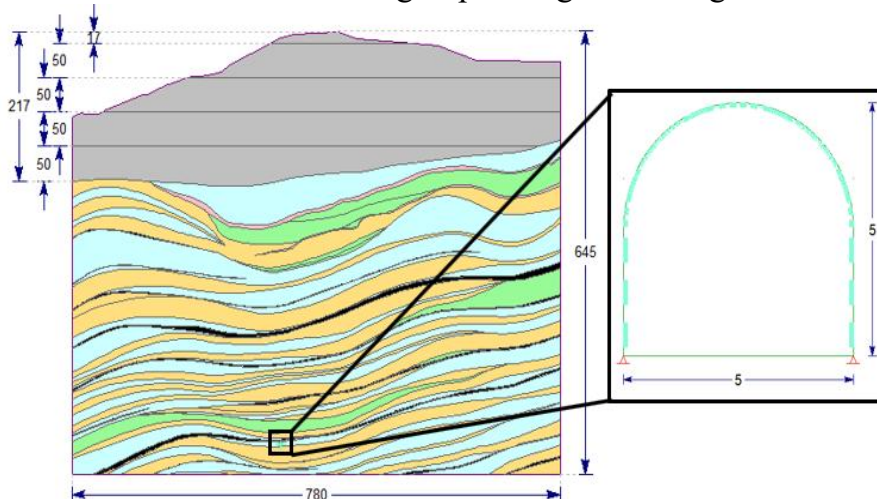
4.3. Xây dựng mô hình và điều kiện đầu vào

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu lý thuyết ở Chương 3 và điều kiện địa chất, địa hình, thể nằm các lớp đất đá và vỉa than tại mặt cắt AA khu vực trung tâm mỏ than Mông Dương, luận án xây dựng mô hình số với các cấp chiều cao BTBM từ 0 đến 217 m, tăng 50 m theo từng giai đoạn đổ thải. Mô hình có kích thước cao $\times$ rộng: 645×780 m; đường lò đặt ở độ sâu -355 m trong lớp bột kết.

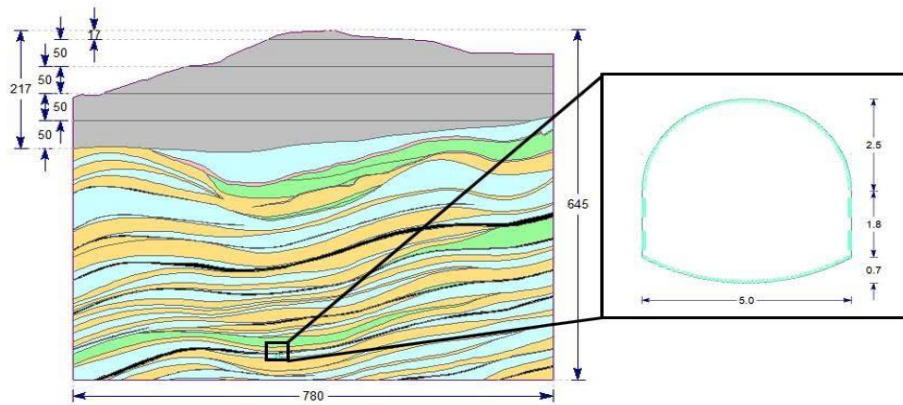
Ba dạng tiết diện đường lò được khảo sát gồm: (1) hình tròn, đường kính 5 m (Hình 4.1); (2) tường thẳng vòm bán nguyệt, rộng 5 m, cao 5 m (Hình 4.2); và (3) tường thẳng vòm bán nguyệt có vòm nền, rộng 5 m, cao 5 m (Hình 4.3). Việc lựa chọn ba dạng tiết diện nhằm so sánh ảnh hưởng của BTBM đến ứng xử của KCC kín và KCC hở trong điều kiện thực tế mỏ Mông Dương.



Hình 4.1. Mô hình trường hợp đường lò có dạng hình tròn



Hình 4.2. Mô hình trường hợp đường lò có hình tường thẳng vòm bán nguyệt



Hình 4.3. Mô hình trường hợp đường lò có hình tường thẳng vòm bán nguyệt vòm nền

Các tham số đầu vào của mô hình được xác định theo điều kiện địa chất bãi thải mỏ than Mông Dương và trình bày tại Bảng 4.1, Các thông số kỹ thuật của mô hình và KCC thép được lấy theo Bảng 4.2.

Bảng 4.1. Tham số đầu vào của khối than đá

STT	Thông số	Đơn vị tính	Cuội kết	Sét kết	Bột kết	Cát kết	Than	Đá thải
1	Dung trọng	MN/m ³	0,0263	0,0258	0,0262	0,0264	0.014	0.02
2	Mô đun biến dạng	MPa	13.400	3180	10.600	11.100	2140	733.2
3	Hệ số nở hông	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0.12	0.25
4	Độ bền nén đá liên khối	MPa	108,5	20,3	37,8	104,9	10.5	17
5	Mô hình phá hủy	-	Hoek-Brown					

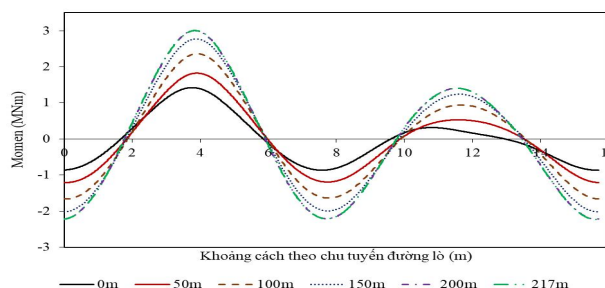
Bảng 4.2. Tham số đầu vào đường lò và KCC vì thép

STT	Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Thông số đường lò hình tròn			
	Đường kính	R	5,0	m
2	Thông số đường lò hình tường thẳng vòm bán nguyệt			
	Chiều cao	h	5,0	m
	Chiều rộng	b	5,0	m
	Bán kính vòm	R	2,5	m
3	Thông số đường lò hình tường thẳng vòm bán nguyệt vòm nền			
	Chiều cao từ chân vòm nền đến chân vòm nóc lò	h	1,8	m
	Chiều rộng	b	5,0	m
	Bán kính vòm nóc	R	2,5	m
	Khoảng cách từ chân tường đến đỉnh vòm nền	R'	0,7	m

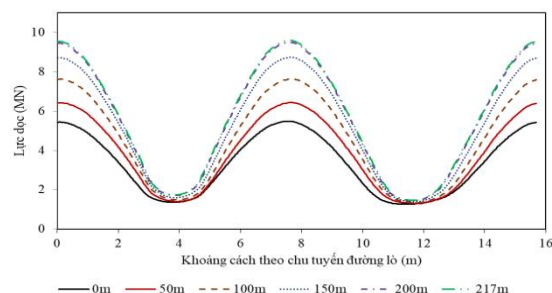
4	Mô hình khối đá được lựa chọn là mô hình phá hủy Hoek-Brown với tham số mô hình khảo sát			
	Kích thước (rộng x cao)	-	645 x 780	m x m
	Chiều sâu đặt đường lò	-	-355	m
	Hệ số áp lực ngang	K	0,5	-

4.4 Kết quả ảnh hưởng của CCBT đến nội lực trong KCC thép đường lò hình tròn

Kết quả mô men và lực dọc trong KCC thép của đường lò hình tròn khi chưa có BTBM và khi chiều cao bãi thải $H = 50, 100, 150, 200$ và 217 m được thể hiện trên Hình 4.4 và Hình 4.5



Hình 4.4. Tổng hợp biểu đồ M trong các trường hợp CCBT đường lò hình tròn



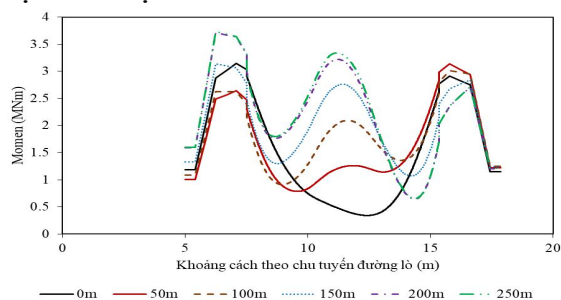
Hình 4.5. Tổng hợp biểu đồ N trong các trường hợp CCBT đường lò hình tròn

Kết quả từ Hình 4.4 và Hình 4.5 cho thấy khi chiều cao BTBM tăng từ 0 đến 217 m, M và N trong KCC đều tăng. Ở các cấp chiều cao $H = 0, 50, 100$ và 150 m, nội lực có tính đối xứng do tải trọng bãi thải phân bố tương đối đều. Khi chiều cao đạt 200 và 217 m, do hình dạng bãi thải thu hẹp về phía đỉnh và đường lò nằm lệch về một phía, tải trọng tác dụng trở nên không đối xứng, làm nội lực trong KCC hình tròn có xu hướng lệch theo trục đường lò nhưng mức độ không lớn.

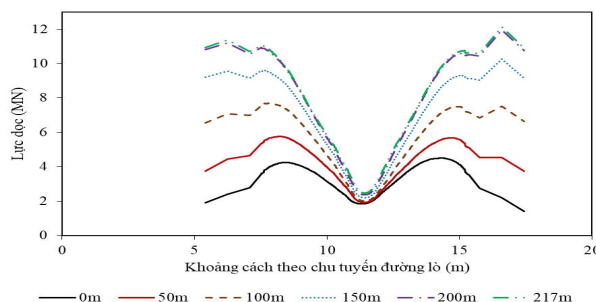
Tại chiều cao bãi thải 217 m, mô men trong KCC tăng khoảng 1,75 lần và lực dọc tăng khoảng 2,1 lần so với trường hợp chưa có bãi thải.

4.5 Kết quả ảnh hưởng của CCBT đến nội lực trong KCC thép đường lò hình tường thẳng vòm bán nguyệt

Kết quả mô men và lực dọc trong KCC thép của đường lò hình tường thẳng vòm bán nguyệt khi chưa có BTBM và khi chiều cao bãi thải $H = 50, 100, 150, 200$ và 217 m được thể hiện trên Hình 4.6 và Hình 4.7.



Hình 4.6. Tổng hợp biểu đồ M trong các trường hợp CCBT đường lò hình tường thẳng vòm bán nguyệt



Hình 4.7. Tổng hợp biểu đồ N trong các trường hợp CCBT đường lò hình tường thẳng vòm bán nguyệt

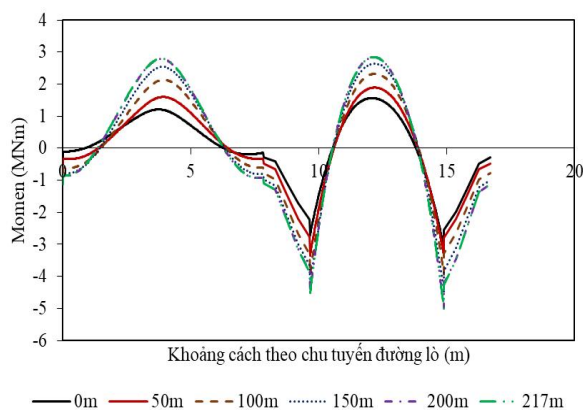
Kết quả từ Hình 4.6 và Hình 4.7 cho thấy khi chiều cao BTBM tăng, M trong KCC tăng. Ở chiều cao $0 \div 150$ m, M tăng chậm và phân bố tương đối đối xứng. Khi chiều cao tăng lên $200 \div 217$ m, mô men tăng rõ rệt và xuất hiện sự phân bố bất đối xứng, trong đó M phía tường phải lớn hơn phía tường trái. Nguyên nhân là khi bãi thải phát triển cao, bề mặt bãi thải không còn bằng phẳng mà có sự chênh lệch cao độ hai phía, tạo tải trọng lệch lên đường lò và làm mô men phía có chiều cao bãi thải lớn hơn tăng cao.

Khi chưa có bãi thải, M lớn nhất và nhỏ nhất lần lượt là 3,15 MNm và 0,34 MNm. Khi bãi thải đạt chiều cao 217 m, các giá trị tương ứng là 3,73 MNm và 0,65 MNm, tăng lần lượt khoảng 1,18 và 1,91 lần.

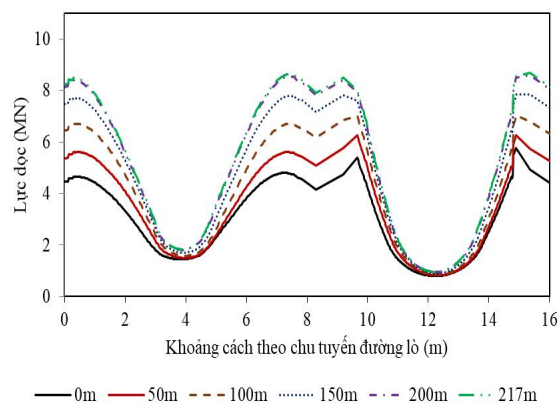
Đối với N, giá trị nhìn chung tăng theo chiều cao bãi thải nhưng vẫn phân bố tương đối đối xứng. Điều này cho thấy lực dọc ít nhạy cảm với sự lệch tải của bãi thải hơn so với M. Khi chưa có bãi thải, N lớn nhất và nhỏ nhất lần lượt là 4,50 MN và 1,40 MN; tại chiều cao 217 m, tăng lên tương ứng 12,15 MN và 2,47 MN, tức tăng khoảng 2,70 và 1,76 lần.

4.6 Kết quả ảnh hưởng của CCBT đến nội lực trong KCC thép đường lò hình tường thẳng vòm bán nguyệt vòm nền

Kết quả mô men và lực dọc trong KCC thép của đường lò tường thẳng vòm bán nguyệt có vòm nền khi chưa có BTBM và khi chiều cao bãi thải $H = 50, 100, 150, 200$ và 217 m được thể hiện trên Hình 4.8 và Hình 4.9.



Hình 4.8. Tổng hợp biểu đồ M trong các trường hợp CCBT đường lò hình tường thẳng vòm bán nguyệt vòm nền



Hình 4.9. Tổng hợp biểu đồ N trong các trường hợp CCBT đường lò hình tường thẳng vòm bán nguyệt vòm nền

Kết quả từ Hình 4.8 và Hình 4.9 cho thấy khi chiều cao BTBM tăng, mô men trong KCC tường thẳng vòm bán nguyệt có vòm nền tăng theo. Ở chiều cao $0 \div 150$ m, M tăng chậm và phân bố tương đối đối xứng; khi chiều cao tăng lên $200 \div 217$ m, M tăng rõ rệt và xuất hiện sự bất đối xứng, với M phía tường phải lớn hơn phía tường trái.

Khi chưa có bãi thải, M lớn nhất và nhỏ nhất lần lượt là 3,10 MNm và 1,57 MNm. Khi bãi thải đạt chiều cao 217 m, các giá trị tương ứng là 5,03 MNm và 2,85 MNm, tăng khoảng 1,62 và 1,82 lần.

Đối với N, giá trị nhìn chung tăng theo chiều cao bãi thải nhưng phân bố tương đối đối xứng, cho thấy N ít nhạy cảm với sự lệch tải của bãi thải hơn so với M. Khi chưa có bãi thải, N lớn nhất và nhỏ nhất lần lượt là 5,79 MN và 0,80 MN; khi CCBT đạt 217 m, tăng lên tương ứng 8,69 MN và 0,96 MN, tức tăng khoảng 1,50 và 1,20 lần.

Kết luận chương 4

Trong Chương 4, luận án đã nghiên cứu định lượng ảnh hưởng của BTBM đến ứng xử cơ học của KCC thép đường lò trong điều kiện thực tế mỏ than Mông Dương, với ba dạng tiết diện: hình tròn, tường thẳng vòm bán nguyệt và tường thẳng vòm bán nguyệt có vòm nền. Với các cấp CCBT, $H = 0, 50, 100, 150, 200$ và 217 m, kết quả cho thấy:

Chiều cao BTBM là yếu tố chi phối rõ rệt nội lực trong KCC. Khi CCBT tăng, cả M và N trong KCC đều tăng, phản ánh sự gia tăng tải trọng do BTBM tác dụng lên đường lò phía dưới.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận

Luận án đã tổng hợp đặc điểm hình thành, nguồn gốc của bãi thải và hiện trạng công tác đổ thải của các bãi thải mỏ vùng than Quảng Ninh, và các nước trên thế giới, phương pháp tính nội lực cho KCC đường lò.

Luận án đã xây dựng và kiểm chứng mô hình số hai chiều bằng phần mềm Phase2 mô phỏng bãi thải trên bề mặt mỏ để nghiên cứu ảnh hưởng trong các trường hợp thay đổi TLTT của đất đá thải trong bãi thải, thay đổi CCBT và thay đổi vị trí tương quan giữa đường lò với bãi thải đến ứng xử KCC thép cho đường lò hình tròn và hình tường thẳng vòm bán nguyệt. Kết quả nghiên cứu trong bài toán lý thuyết chỉ ra rằng:

- Khi thay đổi TLTT của đất đá thải có ảnh hưởng đến ứng xử nội lực trong kết cấu đường lò hình tròn cũng như hình tường thẳng vòm bán nguyệt. Khi TLTT tăng giá trị nội lực trong KCC thép cho đường lò hình tròn và tường thẳng vòm bán nguyệt cũng tăng. Trong các trường hợp thay đổi TLTT của đất đá thải thì giá trị nội lực trong KCC thép cho đường lò hình tròn đều nhỏ hơn giá trị nội lực trong KCC thép hình tường thẳng vòm bán nguyệt.

- Khi thay đổi CCBT có ảnh hưởng đến ứng xử nội lực trong kết cấu đường lò hình tròn cũng như hình tường thẳng vòm bán nguyệt. Khi CCBT tăng lên giá trị nội lực trong KCC thép cho đường lò hình tròn và tường thẳng vòm bán nguyệt cũng tăng. Trong các trường hợp thay đổi CCBT thì giá trị nội lực trong KCC thép cho đường lò hình tròn đều nhỏ hơn giá trị nội lực trong KCC thép hình tường thẳng vòm bán nguyệt.

- Khi thay đổi vị trí tương quan đường lò với bãi thải có ảnh hưởng đến ứng xử nội lực trong kết cấu đường lò hình tròn cũng như hình tường thẳng vòm bán nguyệt. Khi đường lò nằm dưới trung tâm bãi thải, nội lực đạt giá trị lớn nhất; khi dịch chuyển ra đỉnh sườn, giữa sườn, chân bãi thải và ngoài phạm vi bãi thải, M và N đều giảm dần theo quy luật rõ ràng. Trong các trường hợp thay đổi vị trí đường lò so với bãi thải thì giá trị nội lực trong KCC thép cho đường lò hình tròn đều nhỏ hơn giá trị nội lực trong KCC thép hình tường thẳng vòm bán nguyệt.

Nghiên cứu thực tế với điều kiện thực tế tại bãi thải mỏ than Mông Dương chỉ ra rằng:

CCBT trong điều kiện mỏ than Mông Dương chỉ phối trạng thái nội lực trong KCC đường lò nằm bên dưới. Khi CCBT tăng, cả N và M trong KCC đều tăng, phản ánh rõ hiệu ứng gia tăng tải trọng BTBM theo chiều cao của bãi thải gây ảnh hưởng đến KCC đường lò nằm bên dưới.

Hình dạng đường lò có ảnh hưởng đến nội lực KCC thép cho đường lò nằm dưới bãi thải, trong nghiên cứu lý thuyết và trong điều kiện thực tế của bãi thải mỏ than Mông Dương đều cho kết quả dưới tác dụng của BTBM thì giá trị nội lực trong KCC hình tròn nhỏ hơn giá trị nội lực trong KCC hình móng ngựa và hình tường thẳng vòm bán nguyệt.

Kiến nghị

- Các đơn vị thiết kế, thi công và các mỏ than hầm lò khi thiết kế và thi công đường lò nằm dưới BTBM mỏ cần chú ý đến áp lực nhân tạo do bãi thải gây ra tác dụng lên KCC thép cho đường lò.

- Các kết quả nghiên cứu của luận án mới chỉ dừng lại ở việc xem xét tới bãi thải dương (bãi thải đổ trên các khu vực mặt bằng). Cần thực hiện các nghiên cứu khác với điều kiện bãi thải âm (bãi thải dưới moong khai thác lộ thiên, bãi thải đổ thải trong hẻm núi, thung lũng..);

- Phạm vi nghiên cứu loại hình KCC mới chỉ dừng lại với loại hình KCC thép. Cần tiếp tục thực hiện với các loại hình KCC khác như neo, neo kết hợp với bê tông phun lưới thép, vỏ chống bê tông liên khối và KCC hỗn hợp;
- Phạm vi nghiên cứu loại đường lò mới chỉ dừng lại đường lò nằm ngang. Cần tiếp tục nghiên cứu trong trường hợp đường lò nằm nghiêng và giếng đứng;
- Phạm vi nghiên cứu về áp lực tác dụng lên KCC mới chỉ xem xét đến áp lực địa tầng và áp lực phụ thêm của bãi thải tác dụng lên đường lò nằm phía dưới bãi thải do vậy cần có thêm các nghiên cứu đường lò chịu đồng thời của tổ hợp áp lực bao gồm áp lực địa tầng, áp lực nhân tạo do bãi thải gây ra, áp lực nước ngầm và các loại áp lực hình thành trong quá trình khai thác, đào lò.
- Trước xu thế chuyển đổi số và ứng dụng công nghệ của cuộc Cách mạng công nghiệp 4.0, Tập đoàn Công nghiệp Than – Khoáng sản Việt Nam cần tăng cường đầu tư nghiên cứu và ứng dụng các công nghệ số, đặc biệt là trí tuệ nhân tạo (AI), dữ liệu lớn (Big Data) và mô hình song sinh số (Digital Twin), để mô phỏng, dự báo ảnh hưởng của bãi thải đến KCC đường lò, xây dựng các kịch bản hỗ trợ ra quyết định trong thiết kế, thi công và chống giữ đường lò. Việc ứng dụng các công nghệ này sẽ góp phần nâng cao mức độ an toàn, tối ưu hóa giải pháp chống giữ và giảm thiểu ảnh hưởng của BTBM đến các công trình khai thác ngầm.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN CỦA NGHIÊN CỨU SINH

Bài báo tạp chí trong nước

1. Nguyen Huu Sa^{1,*}, Dao Viet Doan², Dang Van Kien², Study on the Impact of Surface Waste Dumps Operations on the Behavior of Roadway Structures in Mine, *Journal of Mining and Earth Sciences*, Vol 67, Issue 4 (2026) 71 - 78.

Bài báo hội nghị quốc gia

2. Đặng Văn Kiên, Đỗ Ngọc Anh, Lê Chí Kiên, Ngô Đức Quyền, Mai Xuân Thanh Tuấn, Nguyễn Hữu Sà (2022), Nghiên cứu ảnh hưởng của tương quan vị trí đường lò phía dưới bãi thải mặt mỏ đến ứng xử cơ học của kết cấu chống giữ đường lò tại vùng than Quảng Ninh, *Hội nghị Toàn Quốc Khoa Học Trái Đất và Tài Nguyên với Phát Triển Bền Vững Hà Nội, 11-11-2022(ERSD 2022)*.

Bài báo tạp chí nước ngoài

1. Dang van kien^{1*}, Vo Trong Hung¹, Bui Xuan Nam¹, Nguyen Huu Sa¹ (2023), Research on the Effect of the Mine Waste Dump on the Stability of Tunnels Below in the Quangninh Coal Area by Numecical Method, *Journal of the Polish Mineral Engineering Society* (Tháng 9 năm 2023).

2. Nguyen Huu Sa^{1,2}, *Dao Viet Doan² (2026), Research on the influence of waste dump height on the internal forces of steel roadway supports: A case study in mong duong mine, quang ninh, vietnam, *International Journal of GEOMATE (Geotechnique, Construction Materials and Environment)* ISSN: 2186-2982 (P), 2186-2990 (O), Japan.