



Phân tích kết cấu bảo vệ chống tác động của sạt lở và đá rơi

■ **TS. PHÙNG BÁ THẮNG^(*); TS. NGUYỄN VĂN QUANG; TS. LẠI VĂN ANH**

Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

Email: ^(*)thangpb@utt.edu.vn

TÓM TẮT: Sạt lở và đá rơi là những hiện tượng tai biến địa chất khi xảy ra thường rất nghiêm trọng. Những tuyến đường ở vùng núi khi xảy ra hiện tượng sạt lở, đá rơi có thể gây hư hỏng công trình, gián đoạn giao thông trong thời gian dài để khắc phục, nguy hiểm cho người tham gia giao thông. Có nhiều giải pháp đã thực hiện để phòng, chống tác động của sạt lở và đá rơi như thay đổi hình dạng mái dốc, giảm chiều cao mái dốc, kiểm soát nước mặt, nước ngầm hoặc dùng các công trình như lưới phủ, neo cáp, phun bê tông, tường chắn... Những giải pháp trên trong thực tế vẫn tồn tại sạt lở, đá rơi. Giải pháp hầm xuyên núi giải quyết triệt để tuy nhiên chi phí cao. Bài báo trình bày giải pháp kết cấu bảo vệ bằng bê tông cốt thép được bố trí trên các đoạn tuyến vùng núi để có thể chống được tác động của sạt lở và đá rơi. Những phân tích về ứng xử của kết cấu cùng với các khảo sát cho thấy rõ hiệu quả và sự đáp ứng của giải pháp công trình.

TỪ KHÓA: Sạt lở, đá rơi, kết cấu bảo vệ, áp lực đất đá.

ABSTRACT: Landslides and rockfalls are very serious geological hazards when they occur. Roads in mountainous areas, when landslides and falling rocks occur, can cause damage to works, disrupt traffic for a long time to overcome, dangerous for traffic participants. There are many solutions that have been implemented to prevent and control the impact of landslides and falling rocks such as changing the shape of the slope, reducing the height of the slope, controlling surface water, groundwater, or using structures such as covering nets and anchors, cables, concrete spraying, retaining walls... The above solutions still exist in practice, sliding and falling rocks. The solution of tunneling through the mountain is completely solved but the cost is high. This paper presents a solution of reinforced concrete protective structures arranged on mountain sections to withstand the impact of landslides and falling rocks. The structural behavior analysis along with the surveys clearly show the effectiveness and responsiveness of the structural solution.

KEYWORDS: Landslide, rock fall, structural protection, earth pressure.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sạt lở và đá rơi là hiện tượng tai biến địa chất thường xảy ra ở các vùng núi, khi địa hình núi dốc cao, đất đá nứt nẻ, không ổn định. Khi xảy ra sạt lở, đá rơi có thể gây hư hỏng công trình, với các tuyến đường sẽ gây ách tắc và phải mất thời gian dài mới được xử lý và lưu thông bình thường. Có những sự cố nguy hiểm tới tính mạng của người tham gia giao thông. Hình 1.1 là hiện tượng sạt lở, đá rơi ở tuyến đường ven biển Sea to Sky nổi Vancouver tới khu nghỉ dưỡng Whistler ở Canada vào năm 2008 và sạt lở, đá rơi ở QL25, tỉnh Gia Lai.



Đá rơi ở đường Sea to Sky (Canada)



Sạt lở, đá rơi ở QL25 (Gia Lai)

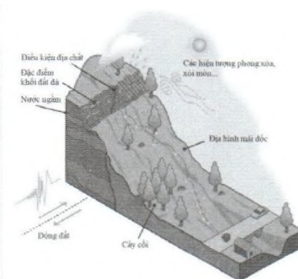
Hình 1.1: Sạt lở, đá rơi ở các tuyến đường vùng núi

Ở các cửa hầm cũng có hiện tượng sạt lở đất đá. Hình 1.2 là hiện tượng sạt lở ở hầm đường sắt qua đèo Hải Vân vào năm 2006. Đất đá đã rơi trước cửa hầm khiến giao thông đường sắt bị đình trệ.

Có nhiều yếu tố ảnh hưởng tới sự ổn định của mái dốc (Hình 1.3). Các yếu tố bên trong như: đặc trưng của đất đá (loại đá, tính liên khối, hình dạng), mái dốc (chiều cao, góc nghiêng, hình dạng), vật liệu mái dốc, cây cối, nước ngầm. Các yếu tố bên ngoài (như: mưa, hoạt động động đất), tác động con người (đào bới, nổ mìn, thay đổi mực nước ngầm, điều khiển nước mặt, phá rừng) [1, 2].



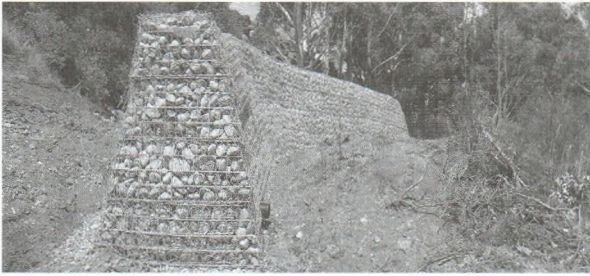
Hình 1.2: Sạt lở trước cửa hầm Hải Vân



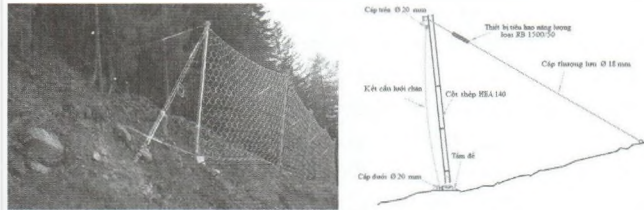
Hình 1.3: Các yếu tố ảnh hưởng tới sạt lở, đá rơi

Những giải pháp với công trình đường bộ chống sạt trượt, đá rơi như thay đổi hình dạng mái dốc, giảm độ cao, độ dốc, phản áp ở chân dốc, kiểm soát nước mặt, nước ngầm,

hoặc dùng các công trình chống giữ như neo cáp, lưới phủ, phun bê tông, tường chắn... Hệ thống tường chắn có thể bằng rọ đá học (Hình 1.4) hoặc tường mềm với các cột thép và lưới chắn thép được neo giữ bằng hệ thống cáp (Hình 1.5).



Hình 1.4: Tường chắn bằng các rọ đá



Hình 1.5: Tường mềm bằng cột thép và lưới chắn

Những năm gần đây, kết cấu bảo vệ chống sạt lở, đá rơi được làm dưới dạng kết cấu hầm bảo vệ với mặt cắt kiểu mái che, vòm... đã được áp dụng nhiều nơi trên thế giới (Hình 1.6).



Hình 1.6: Kết cấu bảo vệ đường sắt ở Nga và đầu hầm Dudley Ward, Gibraltar

2. ĐẶC ĐIỂM KẾT CẤU BẢO VỆ

Kết cấu bảo vệ thường được áp dụng trên các đoạn đường qua vùng núi đang khai thác hoặc tuyến mới có điều kiện:

- Vùng địa hình dốc cao, sụt lở cao, vùng có đá rơi;
 - Địa chất đất đá không ổn định nứt nẻ, dễ xảy ra sạt lở, đá rơi;
 - Tuyến hầm có thể đào theo lộ thiên có lắp trên hoặc không có lắp trên (đất phủ trên);
 - Xử lý các đầu hầm đã thi công như hầm đường sắt Hải Vân;
 - Thay thế giải hầm xuyên núi để giảm chi phí;
 - Khi sử dụng các giải pháp phòng chống khác (lưới thép, neo...) không giải quyết được triệt để hiện tượng sạt lở, đá rơi.
- Các bộ phận chính của kết cấu bảo vệ gồm:

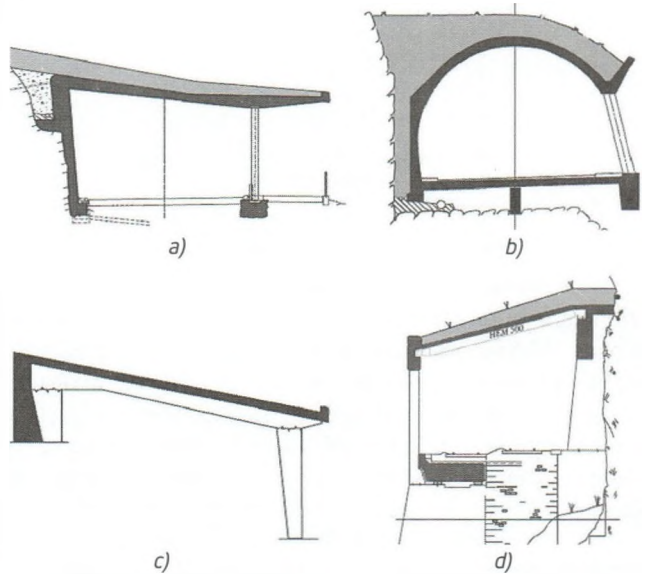
- Kết cấu chịu lực chính: Thường có dạng vòm, kết cấu mái che dạng bản. Kết cấu chịu lực làm bằng bê tông cốt thép, bê tông dự ứng lực hoặc bằng thép có thể đúc sẵn thi công lắp ghép hoặc đổ tại chỗ. Phía trên kết cấu vòm/bản chịu lực bê tông cốt thép có thể cấu tạo lớp phòng nước bảo vệ.

- Kết cấu móng: Có thể móng trên nền thiên nhiên hoặc móng cọc tùy thuộc vào điều kiện địa chất và tải trọng tác dụng.

- Lớp đệm giảm tải, tiêu tán năng lượng: Được bố trí phía trên kết cấu chịu lực chính, có tác dụng giảm, tiêu tán năng lượng xung kích của đá rơi. Lớp đệm thường có dạng hạt như cát.

- Tường chắn có tác dụng chắn đất đá rơi xuống.

Kết cấu bảo vệ có thể cấu tạo bởi nhiều dạng khác nhau (Hình 2.1) dạng bản bê tông cốt thép, dạng vòm, kết cấu bê tông cốt thép đổ tại chỗ và dạng liên hợp thép-bê tông cốt thép. Loại phổ biến nhất ở Thụy Sĩ là kết cấu bê tông cốt thép nguyên khối được bao phủ bởi một lớp đệm giảm tải [1].



Hình 2.1: Các dạng khác nhau của kết cấu dạng mái che

Hình 3.1 thể hiện kết cấu bảo vệ Byo-Bu-Iwa dạng mái che ở Nhật Bản có dạng bản sandwich dày 31,8 cm, phía trên là lớp đệm cát dày 90 cm [1, 3] và được đưa vào trong ví dụ tính toán cụ thể.

* Các bước thi công cơ bản kết cấu bảo vệ:

- Thi công móng: Tùy thuộc vào điều kiện địa chất và tải trọng, móng kết cấu có thể là móng nông hoặc móng cọc. Với các tuyến đường đang khai thác có thể chia móng thành hai phần. Móng ở phần ngoài cùng với tường chắn thường thi công trước, các phương tiện vẫn lưu thông ở phần trong và tường chắn đảm bảo an toàn cho phương tiện giao thông, sau đó thi công phần móng phía trong, khi đó các phương tiện lưu thông ở phía ngoài.

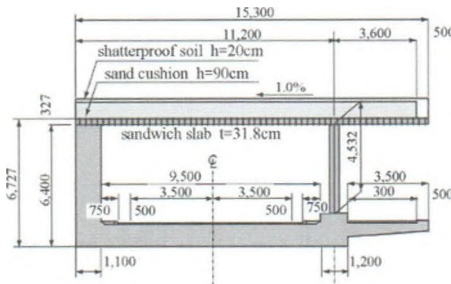
- Thi công kết cấu, vỏ hầm, tường chắn: Trong khi móng đang thi công ở ngoài công trường, kết cấu bảo vệ dạng vòm hoặc bản bê tông cốt thép có thể được đúc sẵn ở bãi đúc công trường. Khi kết cấu móng đã thi công xong, kết cấu vòm/bản được vận chuyển đến và lắp ghép bằng cần cẩu; tiếp theo thi công tường chắn phía trên các cột.



- Thi công đắp đất phía sau kết cấu, có thể thi công theo nhiều lớp.
- Cuối cùng là thi công lớp đệm giảm tải và hoàn thiện công trình.

3. PHÂN TÍCH KẾT CẤU BẢO VỆ

Trong phần này, nhóm tác giả phân tích một kết cấu hầm lắp ghép tại một vị trí điển hình có mái dốc lớn trên tuyến đường. Hầm lắp ghép được cấu tạo bởi các bộ phận: bản đáy, tường chắn, cột, bản nóc hầm và lớp đệm cát phía trên cùng có tác dụng tiêu năng lượng các khối đất đá rơi giảm thiểu thiệt hại đến kết cấu hầm và phương tiện giao thông. Như đã phân tích ở trên, hầm được thiết kế thi công theo phương pháp lắp ghép nên thời gian thi công nhanh chóng, thậm chí có thể tiến hành mà không ảnh hưởng nhiều đến việc lưu thông giao thông. Kích thước hầm được thể hiện như trong Hình 3.1.



Hình 3.1: Sơ họa phương án nghiên cứu

Một mô hình trên phần mềm Plaxis 3D được lập để mô phỏng ảnh hưởng của đá rơi và hiệu ứng giảm chấn của lớp đệm cát. Phần mềm Plaxis có thể mô phỏng tương tác giữa đất nền và kết cấu cũng như tải trọng động do đá rơi gây ra. Trong mô hình này có hai loại đất đá được xem xét: Lớp đá tự nhiên mà công trình hầm đi qua và lớp đệm cát tiêu năng nằm phía trên cùng là lớp cát có độ đầm chặt K95, thông số địa chất đầu vào cho mô hình được thể hiện trong Bảng 3.1.

Bảng 3.1. Thông số địa chất đầu vào

Lớp đất/thông số	Đơn vị	Đá gốc	Cát đắp
Mô hình	-	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Ứng xử	-	Drained	Drained
Trọng lượng riêng	(kN/m ³)	22	19,0
Lực dính hữu hiệu	c' (kPa)	500	1
Góc nội ma sát	φ (độ)	45	30
Hệ số Possion	ν (-)	0,18	0,3
Modul đàn hồi	kPa	6.00E+05	3.00E+04

Kết cấu hầm và tường chắn được mô phỏng bằng phần tử tấm (plate) với mô-đun đàn hồi của bê tông kết cấu B35 là 34.5.103 Mpa.

Lực tác động do đá rơi F có thể mô phỏng theo thời gian trong Plaxis như một tải trọng điều hòa (harmonic load) [7], được định nghĩa theo công thức (1).

$$F = F' M' \sin(\omega t + \varphi_0) \text{ (kN)} \tag{1}$$

Trong đó: M' - Hệ số biên độ (-); F' - Tải trọng đầu vào (kN); ω = 2πf với f là tần số (Hz); φ₀ - Góc pha ban đầu (độ); F' M' - Biên độ của tải trọng động.

Tải trọng động từ đá rơi có thể coi như tải trọng đơn lẻ (tính cho một lần đá rơi). Trong trường hợp này, tần số bằng 0 Hz và góc pha ban đầu bằng 90°. Tải trọng đầu vào

F' được tính theo số tay của Hiệp hội Đường bộ Nhật Bản, tải trọng đá rơi được tính dựa trên lý thuyết Hertzian theo công thức [4, 5, 6]:

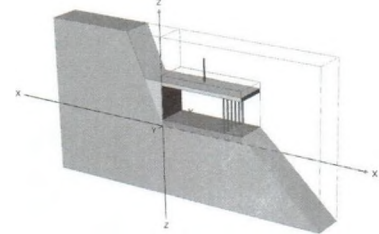
$$F' = 2,455 \cdot \lambda^5 \cdot w^3 \cdot H^5 \cdot i \tag{2}$$

$$i = \left(\frac{h}{D}\right)^{-0,5} \tag{3}$$

Trong đó:

- F' - Lực tác động;
- λ - Hằng số Lamé bằng 100 tf /m²= 980.665 kN/m²;
- w - Trọng lượng khối rơi;
- H - Chiều cao rơi;
- i - Hệ số chiều dày lớp đệm;
- h - Chiều dày lớp đệm;
- D - Đường kính khối rơi.

Bài toán xem xét một khối đá có khối lượng là 0,35 tấn rơi ở độ cao 45 m. Trong phạm vi bài báo, 3 vị trí rơi khác nhau của khối đất đá được xem xét để nghiên cứu ứng xử của kết cấu vỏ hầm: vị trí nằm giữa đỉnh hầm, vị trí bên trái và phải. Hình 3.2 thể hiện mô hình trên phần mềm Plaxis 3D kết cấu vỏ hầm với chiều dày lớp đệm cát xem xét thay đổi là 0,5 m, 1,0 m, 1,5m, 2,0 m.



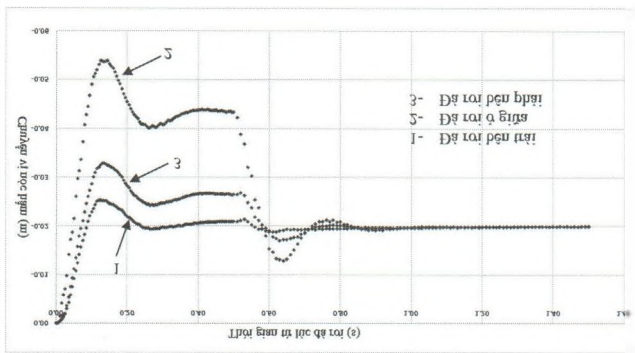
Hình 3.2: Mô hình Plaxis

Trong Bảng 3.2 sơ họa ứng xử của nóc hầm khi chịu tác động của đá rơi trong trường hợp lớp đệm cát dày 0,5 m. Các kết quả chi tiết về chuyển vị và mô-men uốn của nóc hầm trong các trường hợp đá rơi ứng với các chiều dày đệm cát khác nhau sẽ được tổng hợp tại Hình 3.4 và Hình 3.5.

Bảng 3.2. Tổng hợp kết quả phân tích trong trường hợp lớp đệm cát dày 0,5 m

	Đá rơi bên trái	Đá rơi ở giữa	Đá rơi bên phải
Mô hình			
Chuyển vị nóc hầm			
Mô-men uốn nóc hầm			
Lực cắt nóc hầm			

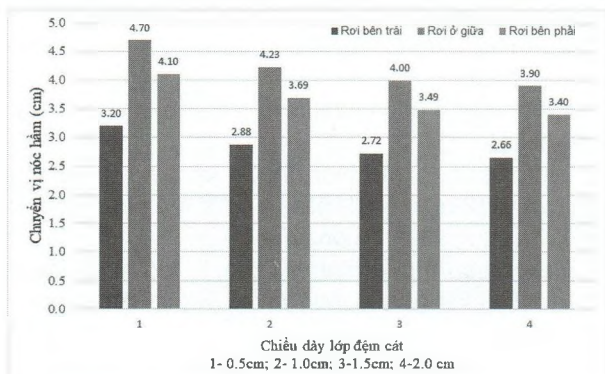
Tác động của đá rơi được mô phỏng là lực động theo phương trình (1), nên tác động của nó đến nóc hầm sẽ theo thời gian và chậm. Hình 3.3 thể hiện chuyển vị của nóc hầm theo thời gian sau va chạm của đá rơi.



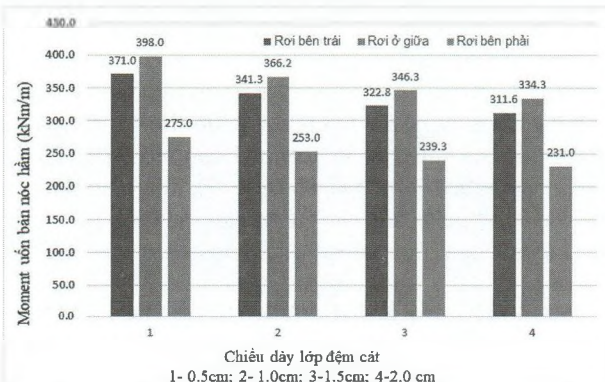
Hình 3.3: Biểu đồ chuyển vị của nóc hầm theo thời gian và chậm của đá

Từ kết quả chuyển vị của nóc hầm theo thời gian trong Hình 3.3 có thể thấy tại thời điểm 0,1s sau va chạm chuyển vị của nóc hầm đạt cực đại và sau 0,8s chuyển vị về trạng thái cân bằng. Đá rơi ở giữa nóc hầm đối với loại kết cấu này là bất lợi nhất.

Chiều dày lớp đệm cát là một thông số quan trọng ảnh hưởng đến chuyển vị và nội lực vào vòm hầm trong trường hợp có đá rơi. Trong bài báo này, để khảo sát khả năng tiêu tán lực của lớp đệm cát, chiều dày lớp đệm cát được thay đổi với các giá trị khác nhau : 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m và 2,0 m. Kết quả chuyển vị, mô-men uốn của nóc hầm trong các trường hợp đã được thể hiện trong các Hình 3.4 và Hình 3.5.



Hình 3.4: Chuyển vị vòm hầm với chiều dày lớp đệm cát khác nhau



Hình 3.5: Mô-men uốn tại vòm với chiều dày lớp đệm cát khác nhau

Từ Hình 3.4 và Hình 3.5 có thể thấy rằng, chiều dày lớp đệm cát ảnh hưởng lớn đến kết quả chuyển vị và mô-men uốn tại nóc hầm. Khi tăng chiều dày lớp đệm cát thì ảnh hưởng của đá rơi giảm đi (chuyển vị và mô-men uốn nóc hầm nhỏ đi). Cũng có thể thấy rằng, trường hợp đá rơi vào giữa nóc hầm đối với loại kết cấu hầm này là bất lợi nhất (chuyển vị và mô-men uốn của nóc hầm là lớn nhất) trong 3 trường hợp khảo sát. Đá rơi vào bên phải là ít bất lợi nhất với chuyển vị và mô-men uốn gây ra bởi đá rơi là nhỏ nhất.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã đưa ra giải pháp hầm lắp ghép để phòng tránh những rủi ro do đá rơi, sụt lở cho những tuyến đường có nguy cơ cao. Qua phân tích có thể thấy kết cấu hầm bảo vệ có ưu điểm là thi công nhanh chóng và hiệu quả cao trong việc phòng tránh các hiện tượng đá rơi và sụt lở đất. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả cũng phân tích một dạng kết cấu hầm bảo vệ điển hình khi chịu tác động của đá rơi. Tải trọng của đá rơi được mô phỏng là tải trọng động theo thời gian. Kết quả nghiên cứu cho thấy chiều dày lớp đệm cát giúp giảm ảnh hưởng của đá rơi lên kết cấu hầm. Chuyển vị nóc hầm và mô-men uốn của nóc hầm gây ra bởi đá rơi sẽ nhỏ đi đáng kể khi tăng chiều dày lớp đệm cát.

Kết quả nghiên cứu là một tài liệu tham khảo, để ra một giải pháp tuy đã được áp dụng khá phổ biến trên thế giới nhưng còn hạn chế ở Việt Nam. Giải pháp này thích hợp cho những tuyến đường khu vực miền núi, nơi có nguy cơ sụt lở, đá rơi cao.

Tài liệu tham khảo

- [1]. A. Volkwein et al. (Sep. 2011), *Rockfall characterisation and structural protection - a review*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., vol.11, no.9, pp.2617-2651, doi: 10.5194/nhess-11-2617-2011.
- [2]. Rockfall (2016), *Design considerations for passive protection structures*, Wellington: Ministry of Business, Innovation & Employment.
- [3]. A. Volkwein, V. Labiouse and K. Schellenberg (2008), *Interdisciplinary Workshop on ROCKFALL PROTECTION*.
- [4]. C. W. Lim and D. Plantier (2020), *An introduction on the increasing usage of precast concrete arch tunnel in Korea*, in Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development, Singapore, pp.257-263. doi: 10.1007/978-981-15-2184-3_32.
- [5]. K. Schellenberg (2009), *On the design of rockfall protection galleries*, ETH Zurich, doi: 10.3929/ETHZ-A-005816027.
- [6]. Japan Road Association (1983), *Manual for anti-impact structures against falling rocks (in Japanese)*.
- [7]. *Plaxis 3D Reference Manual Connect Edition V20*.

Ngày nhận bài: 01/11/2022

Ngày chấp nhận đăng: 05/12/2022

Người phản biện: PGS. TS. Trần Thế Truyền