

MÔ PHỎNG ĐÁ RƠI ĐÁ LĂN BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ RỜI RẠC

Nguyễn Quang Tuấn
Trường Đại học Thủy lợi, email: ngtuan@tlu.edu.vn

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Đá rơi, đá lăn (rockfall) là hiện tượng một khối đá tách rời khỏi vách dốc đứng hoặc gần dốc đứng do trượt, lật hoặc đổ, dịch chuyển xuống sườn dốc bằng hình thức rơi tự do, bật nảy theo quỹ đạo hoặc lăn trên sườn dốc [1]. Cùng các dạng trượt lở đất khác, đá rơi là hiện tượng thường xuyên xảy ra ở các vùng miền núi, đặc biệt vào mùa mưa. Hiện tượng này cũng có thể xảy ra khi thực hiện các công trình đào như đường giao thông, bờ mố khai thác lộ liên. Vận tốc dịch chuyển lớn và năng lượng mà các khối đá mang tới thường gây ra thiệt hại cho kết cấu công trình, phương tiện và đặc biệt gây thương vong với con người.

Khi nghiên cứu hiện tượng này cần xác định phạm vi dịch chuyển của đá rơi, đồng thời cần xác định tác động của đá rơi lăn tới kết cấu công trình, đặc biệt tác động lên kết cấu chắn đỡ trên đường đã dịch chuyển. Để dự báo được các đặc điểm trên, chúng ta có nhiều phương pháp mô phỏng tính toán khác nhau.

Có nhiều phương pháp mô phỏng, tính toán đá rơi đá lăn, đã được tổng hợp đánh giá bởi Volkwein và cộng sự (2011) [2] và sau đó khái quát lại khá đầy đủ bởi Leine và cộng sự (2014) [3]. Có thể chia thành 2 nhóm như sau:

- Mô phỏng bằng các mô hình toán học, trong đó có 2 mô hình phổ biến là mô hình khối gộp (lumped mass model) và mô hình vật thể cứng (rigid body model).

- Mô phỏng bằng mô hình số, sử dụng phương pháp phần tử rời rạc ("Discrete Element Method", viết tắt là DEM) [4].

Bài báo này trình bày việc sử dụng DEM để mô phỏng một trường hợp đá rơi cụ thể.

2. MÔ PHỎNG ĐÁ RƠI, ĐÁ LĂN BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ RỜI RẠC

Theo sự phát triển của phương pháp phần tử rời rạc (DEM), một số nghiên cứu đã áp dụng DEM trong mô phỏng đá rơi với mục đích chính là xác định vùng ảnh hưởng và tác động của hiện tượng đá rơi, đá lăn [5-7].

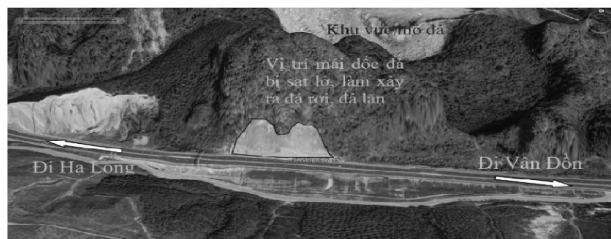
Trong nghiên cứu này, mô hình bài toán đá rơi, đá lăn được mô phỏng bằng phần mềm PFC2D. Các phần tử hình tròn được liên kết với nhau tại các điểm tiếp xúc để biểu diễn vật liệu liên tục là đá và bê tông. Gắn kết song song (parallel bond) được sử dụng để mô phỏng liên kết giữa các hạt phần tử. Sự phá hủy đá có thể được mô phỏng khi liên kết bond bị phá vỡ. Các phần tử wall được dùng để mô tả bề mặt địa hình.

Cũng trong nghiên cứu này, khối đá bị trượt được mô tả là một khối đá nứt nẻ. Các khe nứt được mô phỏng dựa trên đặc điểm nứt nẻ mô tả tại hiện trường sử dụng mô đun DFN (Discrete Fracture Network) để tạo ra các khe nứt phẳng (flat joints). Mô hình Smooth Joint được gán cho các khe nứt. Sự có mặt các khe nứt phân bố rời rạc sẽ làm khối đá trượt bị phân chia thành từng mảnh tách rời.

3. ĐẶC ĐIỂM VỊ TRÍ NGHIÊN CỨU

Vị trí nghiên cứu là đoạn đường cao tốc Hạ Long - Vân Đồn từ km18+980 đến km19+120, thuộc địa phận huyện Hoành Bồ, tỉnh Quảng Ninh. Điểm xảy ra trượt lở là sườn núi đá vôi có độ dốc lớn, một phần phía dưới chân sườn dốc bị đào cắt do quá trình làm đường cao tốc (Hình 1).

Về điều kiện địa chất công trình: theo bản đồ địa chất, tại điểm nghiên cứu là đá vôi thuộc Hệ tầng Cát Bà (C_{1cb}). Đá vôi có màu xám bị phong hóa vừa, đôi chỗ bị phong hóa mạnh màu nâu vàng, có chỗ lẫn đất. Đặc biệt, vị trí này nằm trong đới phá hủy kiến tạo của một đứt gãy theo phương Đông - Tây, làm cho đá bị nứt nẻ mạnh, bị chia cắt bởi nhiều khe nứt có kích thước khác nhau, đá bị phân khối mạnh đến rất mạnh, nhiều tảng đá ở vị trí thiếu ổn định, dễ tách rời khỏi mái dốc, có nguy cơ cao rơi xuống đường (Hình 2).



Hình 1. Vị trí và đặc điểm địa hình nơi xảy ra trượt lở mái dốc gây đá rơi, đá lăn

Tháng 6 năm 2018, tại đây đã xảy ra trượt lở mái dốc, dẫn đến đá rơi và lăn xuống đường. Theo quan sát thực tế ngay sau khi trượt lở, nhiều khối đá và mảnh đá với hình dạng và kích thước khác nhau đã rơi và lăn xuống lòng đường. Phần lớn vật liệu đá rơi xuống nằm ở làn đường sát chân sườn dốc. Đặc biệt, có tảng đá rơi va chạm và làm vỡ dải phân cách bằng bê tông ở giữa lòng đường (Hình 2).

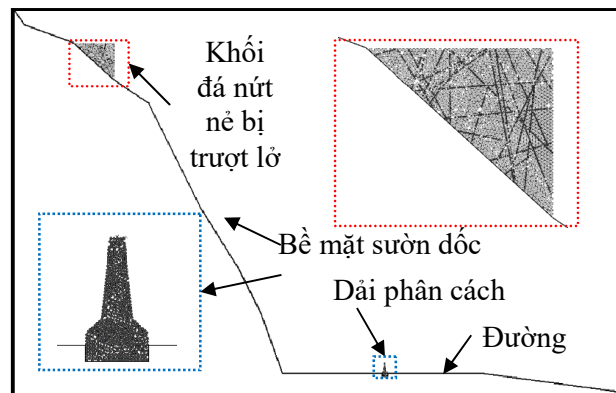


Hình 2. Đặc điểm khối đá tại mái dốc nơi xảy ra trượt lở (trái) và dải phân cách bằng bê tông bị hư hại do tác động của đá rơi (phải)

3. MÔ HÌNH PHẦN TỬ RỜI RẠC VÀ KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Mô hình bài toán được xây dựng như trong Hình 3. Bề mặt sườn dốc được mô phỏng bằng

các phần tử wall. Khối đá trượt lở được mô phỏng bằng tập hợp các hạt tròn có liên kết song song (parallel bond). Đặc điểm nứt nẻ của đá được mô phỏng bằng DFN như trong Hình 3 với số khe nứt trên 1m chiều dài $P10 = 1$, góc dốc các khe nứt phân bố ngẫu nhiên từ 0° đến 90° , độ dài khe nứt từ 5 đến 20m và phân bố theo quy luật hàm mũ, mô hình "smooth joint" được gán cho các khe nứt. Dải phân cách giữa đường cũng được mô phỏng tương tự như với đá (Hình 3). Tương tác giữa đá và bề mặt địa hình (mái dốc và mặt đường) được mô phỏng thông qua mô hình tuyến tính tại tiếp xúc giữa các hạt với wall kết hợp với mô hình cản nhót đặc trưng bởi các hệ số cản theo phương pháp tuyến và tiếp tuyến.



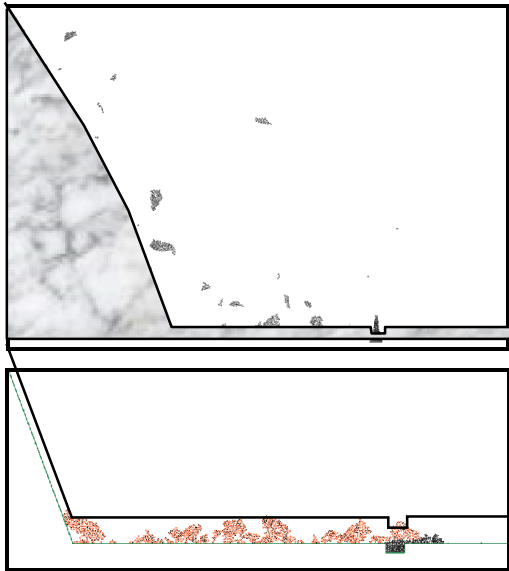
Hình 3. Mô hình PFC2D ban đầu

Thông số của mô hình được chọn dựa trên kết quả mô phỏng và hiệu chỉnh mô hình và được trình bày trong Bảng 1. Trong nghiên cứu này, đá vôi và bê tông được giả thiết có cùng độ cứng và cường độ.

Bảng 1. Các thông số mô hình PFC2D

Thông số	Giá trị
Bán kính các phần tử tròn (m)	0,02 -0,05
Khối lượng riêng ρ (kg/m^3)	2650
Hệ số ma sát μ	0,2
Độ cứng hạt $k_n = k_s$ (N/m)	1×10^8
Độ cứng gắn kết $\bar{k}_n$ (N/m)	1×10^7
Độ cứng gắn kết $\bar{k}_s$ (N/m)	1×10^7
Độ bền kéo của gắn kết $\bar{\sigma}_c$ (N/m^2)	2×10^5
Lực dính đơn vị của gắn kết $\bar{c}$ (N/m^2)	5×10^4
Hệ số cản nhót pháp tuyến β_n	0,75
Hệ số cản nhót tiếp tuyến β_s	0,70

Kết quả mô phỏng quá trình dịch chuyển của vật liệu đá xuống chân dốc và tập hợp vật liệu mảnh vụn đá khi kết thúc dịch chuyển như trong Hình 4. Va chạm giữa mảnh đá và dải phân cách làm dải phân cách bị phá hủy, phản ánh khá sát với thực tế hư hại dải phân cách như trong Hình 2.



Hình 4. *Quá trình dịch chuyển đá trên sườn dốc (trên) và kết quả cuối cùng (dưới)*

Qua xem xét quá trình có thể thấy sự tách rời các mảnh đá xảy ra đồng thời với chuyển động khối đá trên sườn dốc. Phần lớn khối đá trượt bị phá vỡ trong quá trình di chuyển. Các dạng chuyển động trượt, rơi và xoay lăn của các mảnh đá ra xảy ra đồng thời. Các mảnh đá có va chạm ảnh hưởng lẫn nhau, và tiếp tục vỡ nhỏ trong quá trình di chuyển.

Kết quả cuối cùng của mô hình cho thấy phần lớn vật liệu trượt lở tích tụ ở gần chân sườn dốc. Một số mảnh đá kích thước nhỏ di chuyển khá xa khỏi chân sườn dốc. Kết quả này khá sát với quan sát thực tế quan sát tại hiện trường sau khi xảy ra trượt lở.

4. KẾT LUẬN

Mô hình phần tử rời rạc PFC2D mô phỏng tốt sự tách rời, quá trình dịch chuyển vật liệu trên sườn dốc. Sử dụng mô hình có thể tính toán giới hạn phạm vi đá rơi, đá lăn. Mô hình cũng mô phỏng tốt va chạm, có khả năng mô phỏng sự phá hủy vật liệu khi xảy ra va chạm.

Trong khuôn khổ bài báo, nội dung mới chỉ là kết quả bước đầu về việc sử dụng DEM mô phỏng bài toán đá rơi. Bài báo chưa trình bày được chi tiết về các mô hình đã sử dụng, cũng chưa thể hiện được các chi tiết định lượng về tốc độ dịch chuyển, lực va chạm, năng lượng va chạm. Đồng thời, việc kiểm định mô hình mới chỉ thông qua số lượng mặt cắt còn hạn chế, cần có nghiên cứu thêm. Tuy nhiên, kết quả mô phỏng cho thấy triển vọng của việc sử dụng DEM cho bài toán đá rơi, đặc biệt trong việc xác định cự ly dịch chuyển, ảnh hưởng của va chạm.

5. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Varnes, D.J., Slope movement types and processes. 1978. 176: p. 11-33.
- [2]. Volkwein, A., et al., Rockfall characterisation and structural protection - a review. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2011. 11(9): p. 2617-2651.
- [3]. Leine, R.I., et al., Simulation of rockfall trajectories with consideration of rock shape. Multibody System Dynamics, 2014. 32(2): p. 241-271.
- [4]. Cundall, P.A., A computer model for simulating progressive largescale movements in blocky rock systems, in Proceedings of the Symposium of the International Society of Rock Mechanics. 1971: Nancy, France.
- [5]. Salciarini, D., C. Tamagnini, and P. Conversini, Numerical approaches for rockfall analysis: a comparison. 2009.
- [6]. Li, X., et al., Discrete element modeling of debris avalanche impact on retaining walls. Journal of Mountain Science, 2010. 7(3): p. 276-281.
- [7]. Thoeni, K., et al., A 3D discrete element modelling approach for rockfall analysis with drapery systems. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2014. 68: p. 107-119.