

# PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ RỜI RẠC TRONG ĐỊA KỸ THUẬT

## 1. GIỚI THIỆU CHUNG

Phương pháp phần tử rời rạc (PP PTRR) là một phương pháp số xét miền phân tích là tập hợp những phần tử riêng rẽ có tương tác qua lại giữa các phần tử. Phương pháp này đã được đề xuất từ khá lâu [1], tuy nhiên việc áp dụng phương pháp mới phát triển mạnh mẽ những năm gần đây nhờ vào tiến bộ của công nghệ máy tính. Hiện tại ở Việt Nam, phương pháp này có thể coi là rất mới. Ban đầu phương pháp được đề xuất sử dụng cho phân tích vật liệu địa chất nhưng hiện tại phương pháp đã được áp dụng rộng rãi ở nhiều lĩnh vực khác nhau. Bài báo này giới thiệu tổng quát về phương pháp, khả năng ứng dụng và triển vọng của phương pháp trong tính toán mô phỏng vật liệu và địa kỹ thuật.

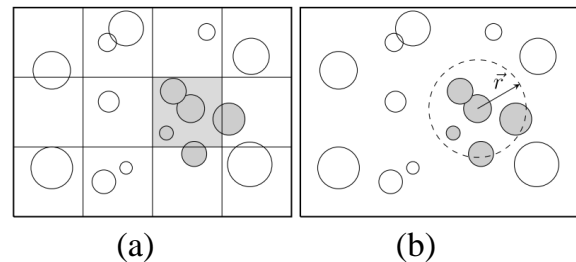
## 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ RỜI RẠC

PP PTRR là phương pháp dựa trên định luật Newton về chuyển động các phần tử và quan hệ giữa lực-chuyển động tại điểm tiếp xúc giữa các phần tử. PP PTRR xét miền phân tích là tập hợp các hạt (particle) hoặc khối (block) riêng rẽ, gọi chung là các phần tử không liên tục. Các phần tử có thể có hình dạng khác nhau, có thể là rắn hoặc có thể biến dạng.

Cơ sở của phương pháp là thành lập và giải các phương trình chuyển động của phần tử rắn hoặc biến dạng. Chuyển vị của các phần tử và các điểm tiếp xúc giữa

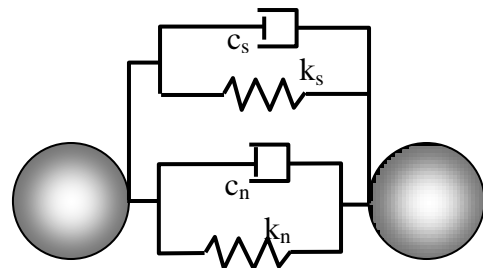
chúng được xác định và cập nhật liên tục theo từng bước tính.

Việc dò tìm điểm tiếp xúc là điểm mấu chốt của phương pháp. Có 2 thuật toán dò tìm tiếp xúc: (1) Dò theo hệ thống ô lưới; (2) hoặc dò theo phương pháp Verlet như minh họa ở Hình 1.



**Hình 1** Hệ thống ô lưới quản lý vị trí các phần tử; (b) dò tìm điểm tiếp xúc theo phương pháp Verlet. [2]

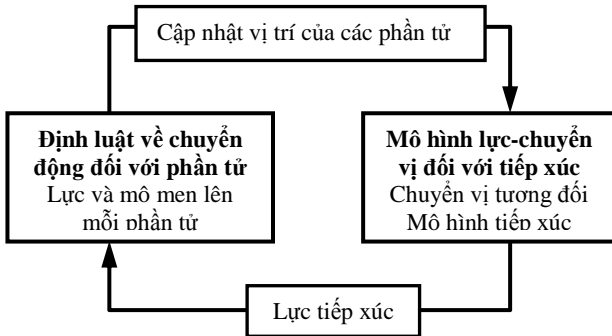
Các điểm tiếp xúc này được đặc trưng bằng các mô hình tiếp xúc, qua đó các tương tác giữa các phần tử được biểu diễn thông qua quan hệ lực và biến dạng/chuyển vị tại các điểm tiếp xúc. Mô hình tiếp xúc có thể được mô tả bằng các phần tử cơ bản như phần tử đàn hồi lò xo, phần tử nhớt pít tông nhớt, phần tử trượt dẻo ... (Hình 2)



**Hình 2.** Mô hình tại tiếp xúc giữa hai hạt tròn theo 2 phương [3]

Chuyển động của các phần tử được biểu diễn bởi các phương trình cân bằng và được giải liên tục cho đến khi thỏa mãn điều kiện biên.

PP PTRR bắt đầu bằng việc đặt tất cả các phần tử vào vị trí nhất định và kèm theo vận tốc ban đầu của các phần tử. Sau đó, các lực tác dụng lên mỗi phần tử được tính từ số liệu ban đầu theo các định luật vật lý cơ bản. Ở mỗi bước thời gian, công việc tính toán gồm các bước cơ bản như được minh họa trong *Hình 3*.



*Hình 3. Chu trình tính ở mỗi timestep*

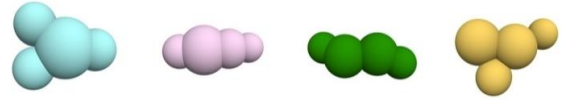
### 3. KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG

#### 3.1. Mô phỏng vật liệu rời

Đã có nhiều nghiên cứu áp dụng PP PTRR để mô phỏng ứng xử của vật liệu rời, từ mô phỏng các thí nghiệm đến mô phỏng sự ổn định, biến dạng của khối vật liệu rời cũng như sự dịch chuyển của dòng vật liệu rời. Việc mô phỏng các thí nghiệm thường giúp hiệu chỉnh, xác định các thông số của mô hình tiếp xúc hay nghiên cứu cơ chế và xây dựng tiêu chuẩn phá hoại của vật liệu. Thí nghiệm mô hình PTRR còn giúp giảm chi phí thí nghiệm thực, đặc biệt có ích cho việc mô phỏng các thí nghiệm đòi hỏi thiết bị cỡ lớn, hoặc khi các thông tin khó có thể đo được bằng thí nghiệm.

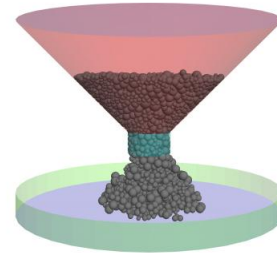
PP PTRR có thể xét tới các đặc điểm từ quy mô hạt đất để nghiên cứu đánh giá đặc điểm cơ học của cả tập hợp khối vật liệu đất rời. Ví dụ như xét đặc điểm về hình dạng hạt, đặc điểm cấp phối hạt và

đặc điểm độ chặt của khối vật liệu. Hình dạng hạt đất trong mô hình PTRR có thể được mô phỏng bằng sử dụng khối hạt (clump) hoặc sử dụng cụm hạt có liên kết (bond) để có thể xét tới sự phá vỡ các hạt ở điều kiện tải trọng.

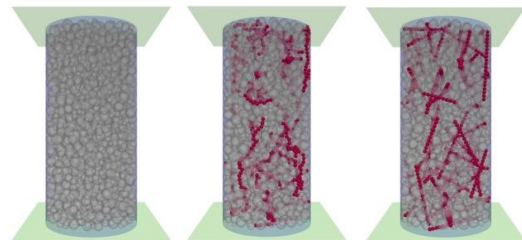


*Hình 4. Clump mô phỏng hình dạng hạt [4]*

Tác giả bài báo này cũng đã tiến hành mô phỏng vật liệu đá ba lát có xét tới hình dạng hạt và cấp phối hạt [5, 6]. Qua đó, tác giả nghiên cứu đặc điểm ổn định của khối vật liệu đá ba lát được lắp trong giếng mỏ [4]. Tác giả cũng đã mô phỏng ứng xử của cát trong điều kiện nén 3 trục, có xét tới cả vật liệu gia cố.



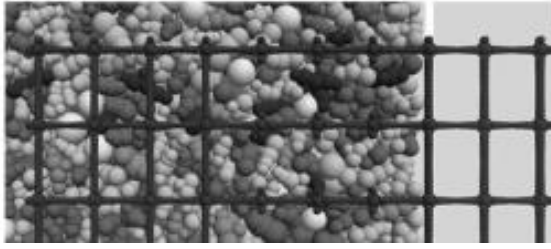
*Hình 5. Mô hình thí nghiệm góc nghiêng của đất rời [4]*



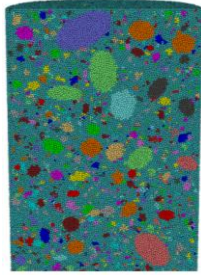
*Hình 6. Mô phỏng nén 3 trục mẫu cát và mẫu cát trộn vật liệu sợi gia cố [7]*

#### 3.2. Mô phỏng vật liệu đá liên khối

Nhờ sử dụng mô hình liên kết (bond) giữa các hạt phần tử, PP PTRR có khả năng mô phỏng đá liên khối hoặc vật liệu tương tự như bê tông [8]. Chúng ta có thể nghiên cứu đặc điểm cơ học của vật liệu đá từ tầm kiến trúc vi mô: xét đặc điểm kiến trúc, cấu tạo và thành phần khoáng vật cũng như tính dị hướng của đá ảnh hưởng tới đặc tính cơ học của đá.

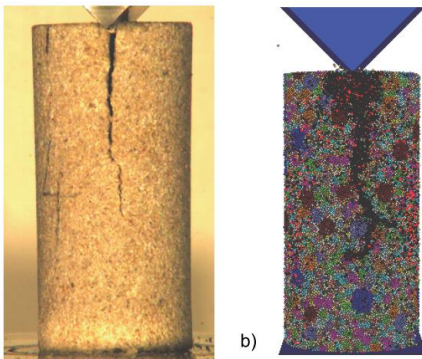


**Hình 7.** Mô phỏng tương tác giữa vật liệu đất rời và lưới địa kỹ thuật [9]



**Hình 8.** Mô phỏng mẫu đá có xét kiến trúc và thành phần khoáng vật. Nguồn: Viện địa kỹ thuật (TUBAF)

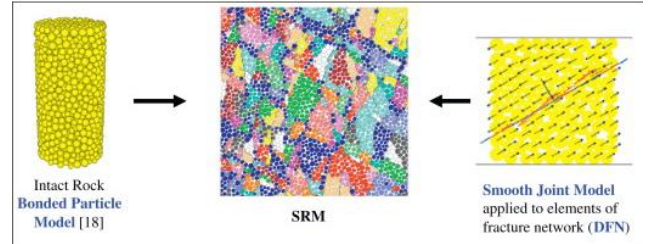
Ngoài ra, PP PTRR còn có khả năng mô phỏng quá trình hình thành và phát triển nứt vỡ khi đá chịu tác dụng của tải trọng.



**Hình 9.** Mô phỏng thí nghiệm nén dập mẫu đá có xét kiến trúc hạt. Nguồn: TUBAF

### 3.3. Mô phỏng khối đá nứt nẻ

PP PTRR đang có những bước đi rất tích cực trong việc mô phỏng, nghiên cứu và phân tích khối đá nứt nẻ. Khối đá nứt nẻ được mô phỏng bằng việc kết hợp mô hình đá liên khối (bonded particle model – BPM) mô hình khe nứt phẳng (smooth joint) để mô phỏng các khe nứt [9].



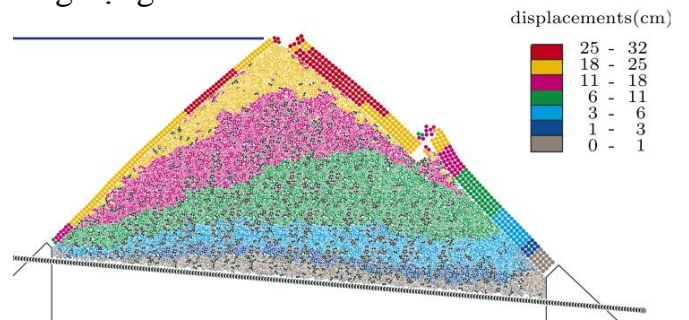
**Hình 10.** Mô phỏng khối đá nứt nẻ [10]

### 3.3. Một số ứng dụng khác

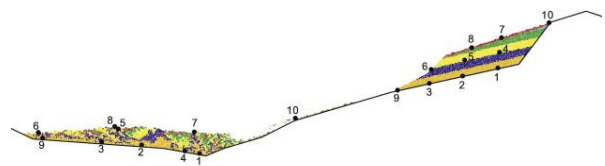
PP PTRR có thể giải quyết rất nhiều bài toán khác nhau. Điển hình như:

- Nghiên cứu tương tác giữa đất đá và vật liệu gia cố.
- Nghiên cứu phân tích bài toán trượt đất và ổn định mái dốc.
- Mô phỏng phân tích các bài toán về nền móng và công trình ngầm, áp lực đất lên tường chắn.
- Nghiên cứu tác dụng tương hỗ giữa quá trình thủy động lực trong đất đá.
- Mô phỏng quá trình vận chuyển, dịch chuyển vật liệu rời.

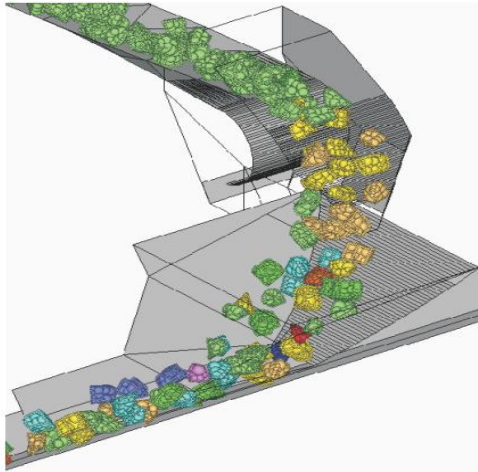
Các hình bên dưới là một số ví dụ về ứng dụng của PP PTRR.



**Hình 11.** Nghiên cứu biến dạng và ổn định của đập đá đổ [11]



**Hình 12.** Nghiên cứu mô phỏng quá trình trượt đất [12]



**Hình 13.** Mô phỏng 3D quá trình vận chuyển đá rời bằng băng tải [13]

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày tóm tắt về PP PTRR và các ứng dụng của phương pháp. Một số kết quả nghiên cứu minh họa cho các ứng dụng phương pháp vào các mục đích khác nhau, đặc biệt là các bài toán trong lĩnh vực địa cơ học.

Số lượng các công bố khoa học liên quan tới PTRR tăng nhanh chóng cho thấy đây là một phương pháp đầy triển vọng trong kỹ thuật nói chung và địa kỹ thuật nói riêng, đặc biệt có triển vọng cho các nghiên cứu khoa học chuyên sâu. Đây cũng là một hướng còn nhiều vấn đề cần nghiên cứu để có thể đưa vào ứng dụng cho thực tế. Tác giả mong muốn đưa phương pháp vào giới thiệu và giảng dạy trong chương trình giảng dạy sau đại học cho các ngành cơ học và địa kỹ thuật.

#### 5. TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. 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.
2. Jakob, C. and H. Konietzky, *Particle Methods - An overview*2012: TU Freiberg.
3. Itasca, *PFC2D Version 2.0 Theory and Background*1999, Minneapolis, Minnesota: Itasca Consulting Group, Inc.
4. Tuấn, N.Q., *Shafts backfilled with ballast: stability and settlement predictions via DEM simulations*, in *Geosciences, Geoengineering and Mining*2016, Technische Universität Bergakademie Freiberg Freiberg.
5. Tuấn, N.Q. and H. Konietzky, *DEM simulation of mechanical lab tests for coarse-grained granular material*, in *Geotechnics for Sustainable Development - Geotec Hanoi 2013*, Đ.L. Phùng, Editor 2013: Hanoi.
6. Tuấn, N.Q. and H. Konietzky, *Simulation von Schottersäulen mittels DEM*, in *20. Fachtagung Schüttgutfortertechnik*2015: Magdeburg.
7. Tuấn, N.Q., *DEM Analysis of Fibre-reinforced Sand*, in *10. Freiberg-St.-Petersburger Kolloquium junger Wissenschaftler*2015, TU Freiberg: Freiberg.
8. Hentz, S., L. Daudeville, and F.V. Donze, *Identification and Validation of a Discrete Element Model for Concrete*. *Journal of Engineering Mechanics*, 2004. 130(6): p. 709-719.
9. Stahl, M., et al., *Discrete element simulation of geogrid-stabilised soil*. *Acta Geotechnica*, 2013. 9(6): p. 1073-1084.
10. Mas Ivars, D., et al., *The synthetic rock mass approach for jointed rock mass modelling*. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2011. 48(2): p. 219-244.
11. Deluzarche, R. and B. Cambou, *Discrete numerical modelling of rockfill dams*. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 2006. 30(11): p. 1075-1096.
12. Tang, C.-L., et al., *The Tsaoling landslide triggered by the Chi-Chi earthquake, Taiwan: Insights from a discrete element simulation*. *Engineering Geology*, 2009. 106(1-2): p. 1-19.
13. Morrison, D.J. and W. Wu, *Experimental Validation of the Discrete Element Method (DEM)*, in *Iron ore; 2007*2007, AustralAsian Institute for Mining & Metallurgy: Perth, Australia p. 341-352.