

PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ RỜI RẠC TƯƠNG TÁC CỨNG: ỨNG DỤNG TRONG MÔ HÌNH VÀ PHÂN TÍCH CÁC VẤN ĐỀ ỔN ĐỊNH TRONG NGÀNH MỎ

TS. NGUYỄN ANH TUẤN
Trưởng Đại học Mỏ-Địa chất

1. Giới thiệu chung

Các phương pháp mô hình hoá từ trước đến nay như phương pháp phần tử hữu hạn đều coi các đối tượng nghiên cứu trong điều kiện nhất định là liên tục và trạng thái tổng thể của đối tượng trong nghiên cứu. Trong thực tế, đất đá mỏ là không liên tục và nó gồm nhiều phần tử liên kết với nhau và mỗi phần tử này có vai trò khác nhau. Trong các thập niên gần đây với sự phát triển mạnh mẽ của máy vi tính thì quá trình mô hình hoá môi trường nứt nẻ không liên tục với số lượng rất lớn các phần tử rời rạc được phát triển mạnh mẽ và đạt được nhiều thành tựu.

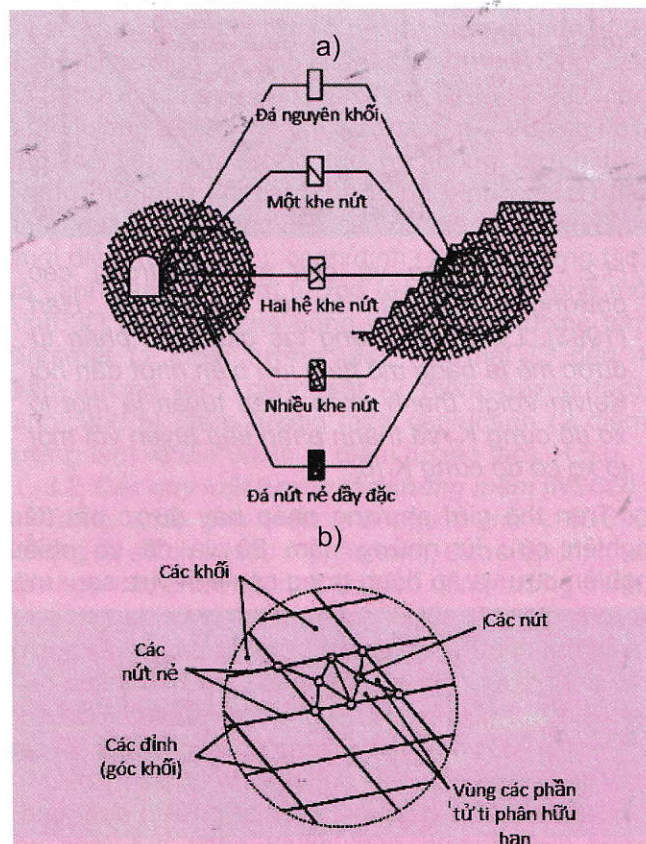
Các phương pháp cân bằng giới hạn và phân tích trên sơ đồ lưới chiếu cầu (Smith/Wuff) trong phân tích ổn định/không ổn định các khối không biến dạng, không kể đến trạng thái ứng suất của tất cả các điểm trong đá nứt nẻ. Phương pháp này bị giới hạn bởi thông số hình học và các điều kiện biên đơn giản đặc biệt là khi giải các bài toán ổn định bờ dốc với các thông số hình học phức tạp, sự biến dạng của các khối và khe nứt trong môi trường rời rạc không tuyến tính, trạng thái ứng suất thực tế phức tạp, Stead et al. (2006) [6].

Phương pháp tính toán được phát triển trong những năm gần đây được gọi là phương pháp "ứng suất-biến dạng" có kể tới trạng thái ứng suất của môi trường khối đá nứt nẻ và sự biến dạng của các khối. Thực tế, không có giải pháp phân tích giải quyết các vấn đề thực tế, các phương pháp tính giải các bài toán trong môi trường không liên tục, nó sử dụng các kỹ thuật với các phần tử liên tục, hữu hạn, hoặc các phần tử biên, etc., Merrien-Soukatchoff (2009) [5].

2. Phương pháp phần tử rời rạc và áp dụng

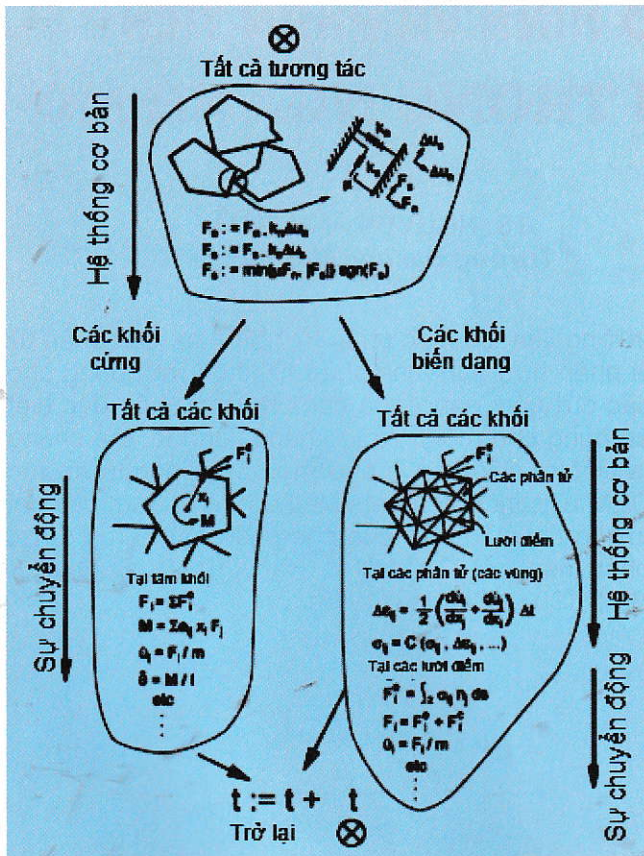
Mô hình số đầu tiên cho môi trường không liên tục được bổ sung với các cách tính toán cho môi

trường liên tục (các phần tử hữu hạn, các phần tử vi phân hữu hạn, các phần tử khối) ứng dụng cho các đứt gãy, sau đó là các phương pháp đặc biệt áp dụng cho môi trường không liên tục, mà chúng ta biết tới dưới tên là phương pháp phần tử rời rạc DEM (Distinct Elements Method), H.2, xem các đối tượng như tập hợp của các phần tử rời rạc được phát triển bởi Cundall & Hart (1992), Cundall & Hart (1993), Cundall (1988).



H.1. Tỷ lệ khác nhau của mô hình và biểu diễn môi trường khối đá không liên (Hoek 2000) (a) và kiểm soát các khối trong môi trường khối đá nứt nẻ (b) [4], [5]

Trường hợp cụ thể áp dụng cơ học đá, phương pháp các phần tử rời rạc được sử dụng phổ biến dưới các phương pháp tính toán được tích hợp trong phần mềm UDEC, 3DEC được phát triển bởi ITASCA.



trường hạt, cơ học rạn nứt và phá huỷ, hỗn hợp và phân li, hiện tượng mỗi chu kì tĩnh, phân tích ổn định dài hạn ngắn hạn của các công trình,...

Một cách tổng quát có thể chia 4 bước của phương pháp DEM như sau:

- ❖ Mô hình dạng hình học của các phần tử rời rạc (mô hình 2D hoặc 3D): các hạt dạng hình góc cạnh, góc cạnh ít, gần tròn, tròn trịa, dạng nhộng, etc;

- ❖ Mô hình hoá các liên kết dựa trên cơ sở đặc điểm, tính chất tiếp xúc giữa các phần tử (đàn hồi, biến dạng, không biến dạng,...): các phần tử không biến dạng (cứng) khi tương tác, va chạm coi như tức thời tại một điểm; các phần tử biến dạng, các hạt có sự thâm nhập lẫn nhau khi tiếp xúc trong môi trường đủ chặt và các hạt lân cận tiếp xúc nhau. Ứng suất đàn hồi được xấp xỉ theo qui luật lò xo. Ngoài ra khi hai hạt tiếp xúc, để mô hình hoá lực ma sát ta giả thiết các hạt tác dụng lên nhau một lực gây mất năng lượng thông qua cơ chế giảm chấn; đây là bước rất quan trọng quyết định đến thời gian tính toán của phương trình;

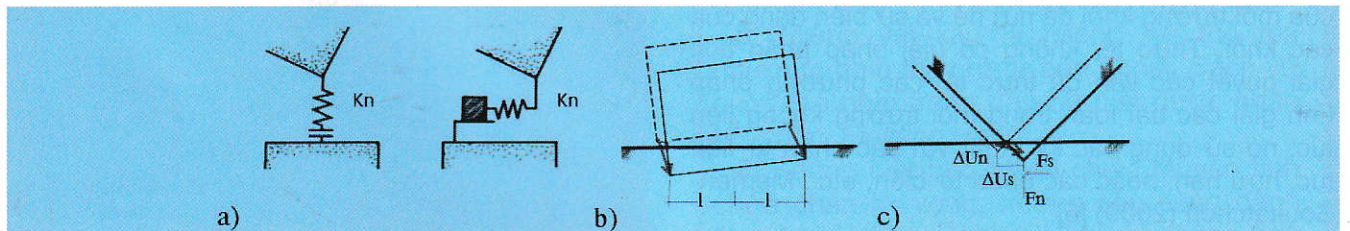
- ❖ Định vị là bước xác định các quy luật chuyển động và biến dạng của các phần tử cũng như các quy luật phân bố lực tiếp xúc tương tác giữa các phần tử;

- ❖ Đồng nhất hoá là bước được tiến hành sau 3 bước trên là các tính toán thực hiện ở thang tỉ lệ vi cấu trúc, bước cuối cùng của DEM sẽ thực hiện chuyển đổi từ thang vi cấu trúc sang thang vĩ mô thông thường. Tức là thực hiện quá trình đồng nhất hoá: sau khi chạy chương trình sẽ thu được các chuyển vị, góc xoay lực tương tác của các phần tử riêng rẽ, tổng hợp các kết quả này sẽ được trạng thái ứng xử tổng thể của vật thể được xét là tập hợp của các phần tử rời rạc.

Cundall (1988) xác định và lựa chọn điểm tương tác giữa các phần tử được quan sát như một đặc tính phụ thuộc vào góc quay tương ứng giữa 2 bề mặt tiếp xúc. Các dạng tương tác khác nhau có thể giữa các phần tử đa diện và đa giác lồi: cạnh/đỉnh; cạnh/cạnh;... H.3.

H.2. Thuật toán và chu kỳ tính trong các phương pháp phần tử rời rạc (DEM), Hart (1993). Lý thuyết tương tác giữa các phần tử được mô tả bằng mô hình lưu biến nhớt đàn hồi Kelvin-Voigt: thành phần pháp tuyến là một lò xo độ cứng K_n và thành phần tiếp tuyến với một lò xo có độ cứng K_t [6]

Trên thế giới phương pháp này được bắt đầu nghiên cứu từ những năm 80 và đã có nhiều nghiên cứu và áp dụng trong các lĩnh vực sau: môi



H.3. Ứng xử của khe nứt trong mô hình DEM: a - Một điểm tương tác; b - Tương tác mặt-mặt; c - Tương tác điểm-mặt

Bên cạnh đó, gần đây phương pháp phân tích các khối chủ riêng biệt (Jing, 2003) được phát triển

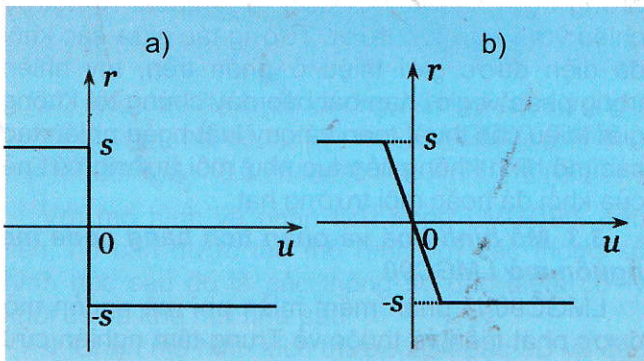
bởi Ghazal et al. (2011). Tuy nhiên, trong phạm vi bài báo này, chúng tôi giới thiệu phương pháp các

phần tử rời rạc (DEM) với phương pháp NSCD được lập trình và phát triển trong LMGC90.

Jing (2003) đề xuất nhiều phương pháp tính toán ứng dụng trong cơ học đá, tuy nhiên không đề cập đến phương pháp tính toán NSCD (Non Smooth Contact Dynamics) được phát triển đầu tiên bởi J. Moreau và M. Jean và lập trình trong code tính toán mã nguồn mở LMGC90, Dubois & Jean (2006); Rafiee & Vinches (2008), Moreau (2003), Jean (1999). Phương pháp mô hình và tính toán phân tích áp dụng các phần tử rời rạc áp dụng cho tính toán phân tích các công trình xây dựng và các bài toán phân tích cơ học đá được nghiên cứu và phát triển mạnh mẽ.

3. Phương pháp phần tử rời rạc tương tác cứng (DEM-NSCD)

Phương pháp NSCD cho phép xử lý vấn đề tương tác giữa các phần tử cứng hoặc biến dạng 2D và 3D tuân theo mối quan hệ tương tác Coulomb, H.3.



H.3. Mối quan hệ tương tác Coulomb giữa các phần tử (r lực ma sát, u chuyển vị): a) không tuyến tính và b) tuyến tính theo Moreau (2005)

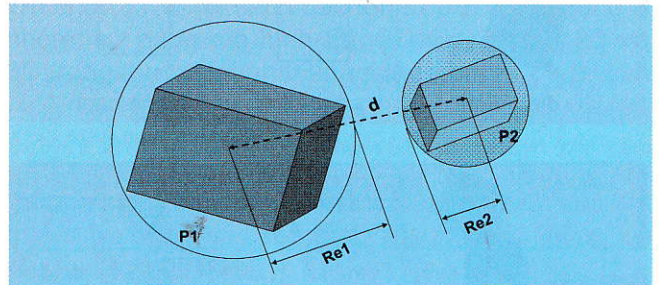
Tương tác cục bộ giữa các phần tử cho phép tính toán đồng thời vận tốc và các lực tương tác có kể tới các quy luật tương tác khác nhau. Tương tác ma sát giữa các phần tử được mô tả như điều kiện tác động một phía (Signorini) và một điều kiện ma sát của Coulomb. Chúng ta gọi điểm tương tác một chiều nếu ứng suất sinh ra theo một duy nhất một hướng tương tác.

3.1. Nhận dạng các tương tác

Khi hai phần tử (dạng đa giác bất kỳ) chạm vào nhau, nó tồn tại các điểm tiếp xúc. Để nhận dạng tương tác giữa hai đa giác trong hệ thống cần tìm kiếm các dạng tương tác. Với mỗi tương tác dự kiến, sẽ xác định tọa độ nhỏ nhất của điểm tương tác; hệ tọa độ địa phương, khoảng cách giữa hai phần tử; vận tốc tương quan giữa hai phần tử.

Với các đối tượng với thông số hình học phức tạp, như một đa giác bao quanh phần tử, đầu tiên cần

phải xác định các điểm va chạm nếu tồn tại tương tác, trong trường hợp này tính toán vị trí các điểm tương tác. Phương pháp tính này là kiểu "shadow overlap" được giới thiệu bởi Moreau, trên H.4.



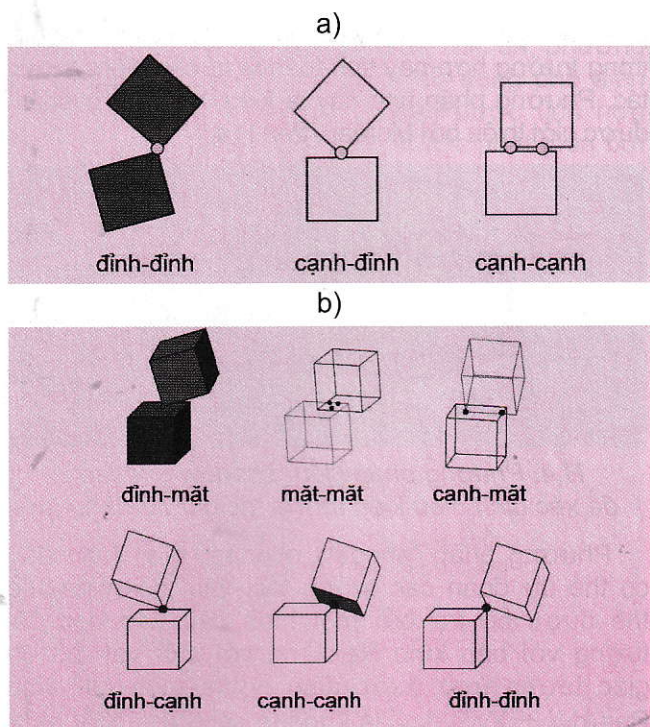
H.4. Phương pháp kiểu "shadow overlap" để xác định điều kiện tương tác giữa 2 phần tử

Phương pháp "shadow overlap" giai đoạn đầu có thể dự đoán các tương tác. Giai đoạn này có thể được hỗ trợ bởi một hình cầu bao bọc đối tượng với bán kính Re. Ứng với mỗi vật thể đa giác tương ứng được định nghĩa một bán kính $Re = (d_{max} + \epsilon)$ với d_{max} là khoảng cách lớn nhất giữa các đỉnh của đa giác và tâm của nó và một khoảng cách nhỏ ϵ . Nếu khoảng cách giữa 2 phần tử đa giác P1 và P2 nhỏ hơn tổng bán kính của 2 đa giác thì sẽ có nhận dạng tương tác rất nhỏ (giai đoạn 2) được biểu diễn và tính toán. Trong cách tiếp cận các phương pháp phần tử rời rạc DEM-NSCD, các điểm tương tác có thể tìm được trong 2 trường hợp sau: có tiếp xúc tương tác và không tương tác. Trong mô hình 2D các khả năng hình học có thể nhận dạng tương tác cho các đa diện là: đỉnh/đỉnh (một điểm tương tác); cạnh/đỉnh (1 điểm tương tác) và cạnh/cạnh (2 điểm tương tác), H.5.a. Trong mô hình 3D tồn tại 6 khả năng nhận dạng tương tác: đỉnh/mặt (1 điểm tương tác), mặt/mặt (3 đến 4 điểm tương tác), cạnh/mặt (2 điểm tương tác), đỉnh/cạnh (1 điểm tương tác), cạnh/cạnh (2 điểm tương tác) và đỉnh/đỉnh (1 điểm tương tác), H.5.b.

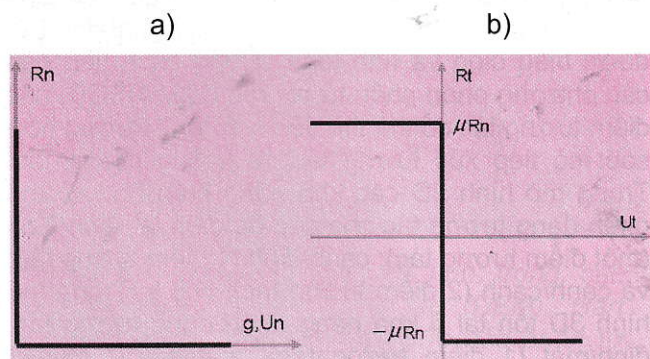
3.2. Các quy luật tương tác không mềm (NSCD)

Trong code tính toán, mã nguồn mở LMGC90 (chúng tôi sẽ giới thiệu ở phần sau), được lập trình và tích hợp các phương trình chuyển động tường minh, ẩn trong phương trình không tuyến tính để mô tả tương tác và ma sát giữa các phần tử trong mô hình. Các phần tử được coi là các đa diện tương tác với nhau bởi các lực pháp tuyến R_n và tiếp tuyến R_t tại các điểm tương tác, như biểu diễn trên H.6.

Các phần tử tương tác không xâm nhập vào nhau theo hướng tiếp xúc, kết quả quá trình tương tác gồm lực pháp tuyến luôn dương (>0) hoặc bằng không (0) hoặc không xuất hiện tương tác, ngược lại với các quy luật tương tác trên là các phương pháp tuyến tính (tương tác mềm: DEM).



H.5. Các dạng tương tác trong phương pháp phần tử rời rạc DEM-NSCD



H.6. Đồ thị biểu diễn quy luật tương tác Signorini (a) và quy luật ma sát khô (b) (định luật Coulomb) với tốc độ pháp tuyến U_n , tiếp tuyến U_t ; lực pháp tuyến R_n , tiếp tuyến R_t ; g khoảng cách giữa 2 phần tử; μ hệ số ma sát tiếp xúc tương tác giữa 2 phần tử

Tương tác: điều kiện bổ sung trong chuyển vị (quy luật Signorini), H.6.a

$$g \geq 0, R_n \geq 0, g \cdot R_n = 0 \text{ hoặc} \quad (1)$$

$$R_n > 0 \text{ nếu } U_n = 0 \text{ và } R_n = 0 \text{ nếu } U_n > 0. \quad (2)$$

Chúng ta có mối tương quan giữa tương tác một phía trong phạm vi xét với vận tốc, nếu thời gian ban đầu t_0 , $g(t_0) \geq 0$ ($t > t_0$, nếu $g(t) \leq 0$):

$$U_n \geq 0, R_n \geq 0, U_n \cdot R_n = 0. \quad (3)$$

Kết quả là, tương tác một phía xảy ra khi tương tác giữa 2 phần tử không xâm nhập vào nhau thì dẫn đến khoảng cách (g) trước và sau khi tương

tác giữa các phần tử phải luôn dương, $g \geq 0$. Với quy luật tương tác này ($g=0$), cho phép chúng ta xây dựng và phát triển và thoả mãn nhiều quy luật tương tác khác nhau. Đơn giản nhất như là hiện tượng dính kết và tách ra giữa các khối, có nghĩa là $R_n > 0$. Sẽ không có tương tác khi $g > 0$, tương tác lực lúc này bằng không.

Quy luật ma sát Coulomb: là quy luật tương tác tương quan giữa lực pháp tuyến (R_n) và tiếp tuyến (R_t), nhỏ hơn và nằm trong hình côn ma sát Coulomb. Với cùng phương pháp này, quy luật ma sát khô Coulomb được giới thiệu trên H.6.b, quy luật này được biểu diễn theo hệ phương trình sau:

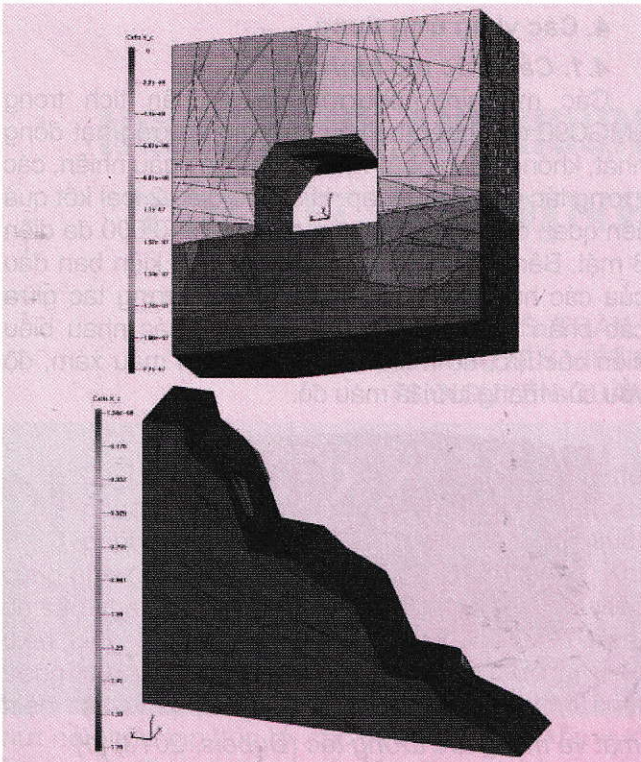
$$\begin{cases} R_t = -\mu \cdot R_n \text{ nếu } U_t > 0 \rightarrow \text{trượt về phía trước} \\ |R_t| < \mu \cdot R_n \text{ nếu } U_t = 0 \rightarrow \text{dính kết} \\ R_t = \mu \cdot R_n \text{ nếu } U_t < 0 \rightarrow \text{trượt về phía sau} \end{cases} \quad (4)$$

Với U_t là vận tốc phần tử theo phương tiếp tuyến và μ là hệ số ma sát. Mối tương quan được biểu diễn sự tương tác giữa các phần tử, nếu hiện tượng trượt xuất hiện, vector lực ma sát R_t ngược chiều với vector lực trượt. Tương tác giữa các khối đa diện được giới thiệu ở phần trên, tuy nhiên trong phạm vi giới hạn bài báo này chúng tôi không giới thiệu các thuật toán và quy luật ngẫu nhiên tạo các mô hình không liên tục như môi trường nứt nứt của khối đá hoặc môi trường hạt,...

3.3. Mô hình hoá và phân tích bằng code mã nguồn mở LMGC90

LMGC90 là phần mềm miễn phí mã nguồn mở được phát triển và thuộc về Trung tâm nghiên cứu khoa học quốc gia Pháp (Centre National de la Recherche Scientifique, CNRS) tại Trường đại học Montpellier 2, CH Pháp. Phần mềm cho phép phát triển các mô hình khác nhau dưới dạng 2D và 3D tương ứng với các tương tác phức tạp mô tả trạng thái và ứng xử của môi trường không liên tục. Phần mềm được viết trên ngôn ngữ lập trình Foxtran và cập nhật trên ngôn ngữ C++ và Python. LMGC90 được mở rộng trên cơ sở lý thuyết phương pháp DEM và NSCD.

Điểm mạnh của mã nguồn lập trình tính toán là khả năng xử lý hàng nghìn đối tượng, có thể là đối tượng không lồi, với tương tác năng động phức tạp. Trong LMGC90, đối tượng được mô tả dưới dạng 2D và 3D, quy luật tương tác giữa các phần tử đối tượng lân cận, quy luật tương tác và ứng xử của các phần tử được mô tả trên nhiều hiện tượng vật lý thông thường. Tương tác năng động được phân tích trong phạm vi tương tác không mềm, quá trình tích phân ẩn theo thời gian và giải các phương trình mô tả chuyển động và tương tác của các phần tử.



H.7. Mô hình 3D tuyến đường hầm và talus trong môi trường khối đá nứt nẻ trong LMGC90 (Raffie, 2007; Dubois, 2010, Nguyen et al. 2014) [4], [5], [6]

Với mô hình và phân tích trong LMGC90, đầu tiên, nó cần được tạo mô hình với các thông số hình học sau đó là các thông số đặc điểm cơ lý khối đá và khe nứt như sau:

- ❖ Chọn mô hình kích thước 2D hoặc 3D và đặc điểm cơ lý của khối đá và khe nứt;

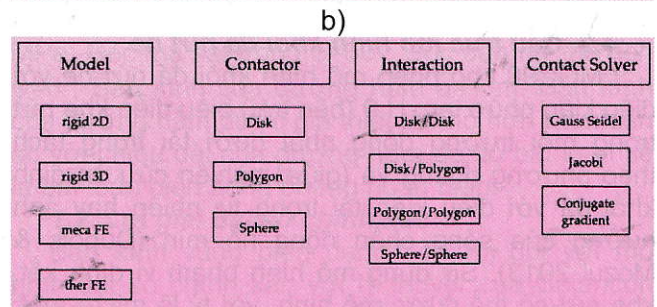
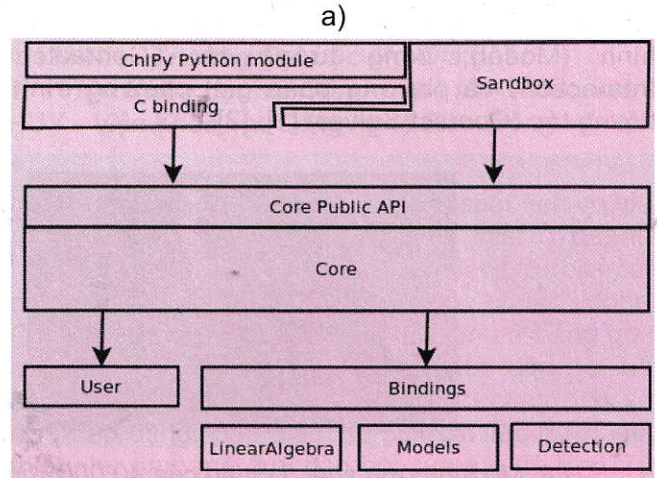
- ❖ Mô tả môi trường và phạm vi nghiên cứu như tập hợp các đối tượng dưới 2 dạng chính (cứng và biến dạng) trong tương quan với nhiều lựa chọn về đặc điểm điều kiện hình học và điều kiện biên với mô hình 2D (dạng đĩa, dạng gạch, dạng đa giác, dạng điểm, dạng đường,...) hoặc 3D (dạng cầu, trụ, đa diện, mặt, điểm,...) với các đối tượng lân cận (chúng tôi gọi chúng là các đối tượng Candidate và Antagonist);

- ❖ Lựa chọn cơ sở nhận dạng tương tác phù hợp và quy luật tương tác tương ứng giữa cặp phân tử Candidate và Antagonist (giữa 2 đối tượng cứng, đối tượng cứng với biến dạng và giữa 2 đối tượng biến dạng);

- ❖ Xác định dạng ứng xử của các đối tượng (cứng, đàn hồi, dẻo, nhiệt, etc.) và đặc điểm tương quan tới các tương tác và điều kiện giới hạn giữa các đối tượng (số bậc tự do, tốc độ, lực tương tác,...).

Các mô hình có thể tìm thấy trong phần thư viện tiền xử lý “pre-processing” của LMGC90 hoặc có thể liên kết từ các ứng dụng thứ 3 bên ngoài. Sau

khi mô hình được xây dựng chính xác (Nguyen, 2015), mô phỏng và hậu xử lý “post-processing” có thể thực hiện các tính toán và hiển thị. Tùy thuộc vào yêu cầu của công việc, các lệnh tính toán được lực chọn từ danh sách các lệnh được chia trong 3 nhóm: sử dụng mô hình 2D, 3D và kết hợp 2D và 3D trong thư viện tính toán và lập trình.



H.8. Các môđul (a) và cấu trúc của LMGC90 (b)

Bên cạnh khả năng mở rộng trong mô hình và phân tích với môi trường rời rạc, vài hạn chế được tạo ra trong quá trình mô hình hoá và tạo lưới mô hình hoặc trong kiểm soát kết quả tìm được. Tuy nhiên, các tính toán trên các phiên bản gần đây của LMGC90 được xác định là chính xác và phù hợp với hiện tượng thực tế, tại thời điểm này là LMGC90V2, chúng tôi có thể cải thiện và nâng cấp khả năng mô hình và tính toán của nó. Ví dụ, khả năng của LMGC90 được tạo ra từ kết quả của mô hình “pre-processing” và trong các đối tượng được mô hình và tạo lưới mô hình, chương trình LMGC90 có thể làm việc với các mô hình được xây dựng từ các code mô hình và tính toán khác nhau như SALOME, SALADYN, RESBLOK, etc. Khả năng hiển thị kết quả là có một vài hạn chế và phải tập hợp một vài code hiển thị độc lập. Các code được sử dụng trong quá trình tính toán và hiển thị như là SALOME, GMSH, ParaVIEW, etc. Xây dựng LMGC90 như code miễn phí mã nguồn mở,

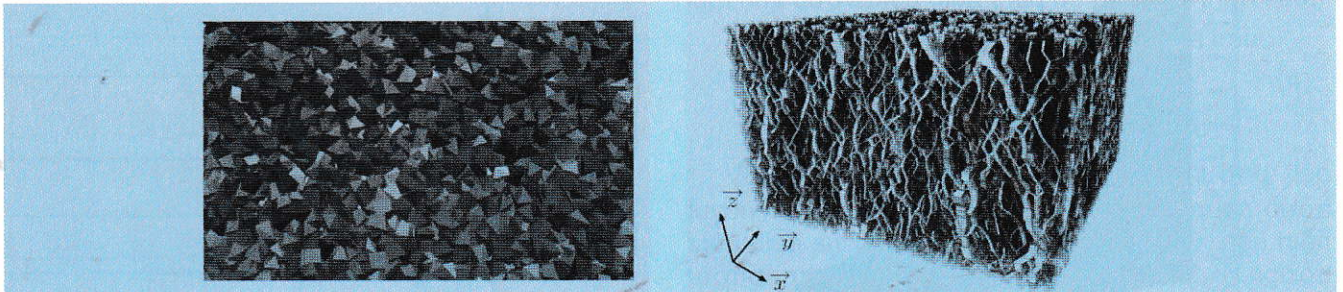
người lập trình có thể biểu diễn các ý tưởng mô hình một cách phổ biến trong phạm vi mô hình tính toán kỹ thuật cần thiết.

Core được viết trong Fortran9x; ChiPy Python môđul được xây dựng trong C API cung cấp bởi Fortran200x; Sandbox được phát triển để kiểm soát các dữ liệu; Bindings là phần thư viện mở rộng; User module cho phép định nghĩa các hàm và các thông số tùy biến; còn bên phải là mô hình (Model); dạng tương tác (Contactor, Interaction) và phương pháp giải phương trình tương tác (Contact Solver) [1], [2].

4. Các ví dụ ứng dụng

4.1. Cấu trúc mô hình hạt

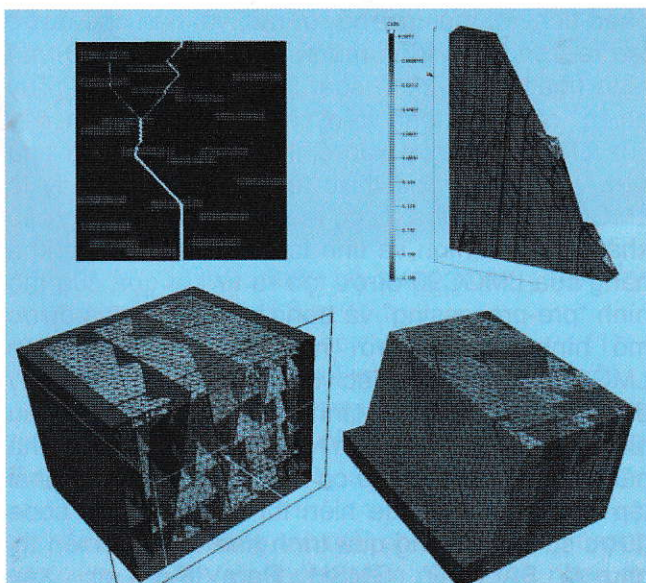
Các mô hình, phương pháp phân tích trong LMGC90 cho phép nghiên cứu môi trường hạt đồng nhất, không đồng nhất với kích thước ngẫu nhiên, các tương tác vật lý phức tạp. H.8 biểu diễn 2 loại kết quả liên quan đến các mẫu biến dạng của 40 000 đĩa điện 8 mặt. Bên trái chi tiết kích thước, điều kiện ban đầu của các hạt, bên phải là mạng lưới tương tác giữa các phần tử: đường với chiều dày khác nhau biểu diễn các lực, độ mạnh của mạng lưới màu xám, độ yếu của mạng lưới là màu đỏ.



H.8. Mô hình ứng suất 3 chiều của 40 000 khối 8 mặt và mạng lực tương tác (Dubois, 2013) [1]

4.2. Cấu trúc mô hình khối đá nứt nẻ

LMGC90 cho phép mô hình khối đá nứt nẻ với điều kiện phức tạp, H.9 (bên trái) biểu diễn khe nứt trong môi trường đồng nhất dưới tải trọng tách theo phương ngang và (giữa) nghiên cứu ổn định khối đá với điều kiện tải trọng tự nhiên hay ảnh hưởng của sóng chấn động nổ mìn (Dubois & Mozul 2013). Sử dụng mô hình phạm vi dính kết, khe nứt có thể được mô hình, với tỷ lệ micro mét, từ trạng thái ban đầu tới trạng thái sau khi phá hủy (bên phải), (Nguyen et al. 2015).



H.9. Ví dụ mô hình khe nứt [3], [4], [5]

5. Kết luận

Kết quả nghiên cứu trên cho thấy khả năng ứng dụng của lý thuyết LMGC90 trong ngành mỏ là rất lớn như trong tính toán kết cấu; ổn định đường hầm và talys; các tính toán trong môi trường khô, hay nước;... Các thách thức hiện nay là các hiện tượng vật lý, cơ học phức tạp trong môi trường hạt, môi trường khối đá không liên tục với các mô hình cứng, biến dạng hoặc một phần cấu trúc với các phần tử trong môi trường nước, áp lực cao hoặc điều kiện khắc nghiệt. Tuy nhiên, chi phí cho nghiên cứu và ứng dụng tính toán giải quyết các vấn đề thực tế một cách hiệu quả là rất lớn không phải cá nhân hoặc tổ chức riêng lẻ nào có thể chi trả. Tuy nhiên, các công cụ mở hỗ trợ và phát triển các thư viện cũng như khả năng áp dụng hiệu quả của nó là một cơ hội cũng như thuận lợi lớn đến với các nhà khoa học cũng như các trường đại học nghiên cứu ứng dụng vào điều kiện thực tế. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Dubois, F. & Jean, M., 2006. The non smooth contact dynamic method: recent LMGC90 software developments and application. In P. Wriggers & U. Nackenhost, eds. Analysis and Simulation of Contact Problems. Berlin/Heidelberg: Springer, pp. 375-378.
2. Dubois, F. & Mozul, R., 2013. LMGC90. In Csm 2013, 11e Colloque National en Calcul des Structures. Presqu'île de Giens (Var), pp. 1-8.

(Xem tiếp trang 5)

đầu của tuổi thọ vòng kim cương, sau đó kích thước khối cắt phải tăng theo thời gian tồn tại của vòng kim cương nhưng ở giai đoạn cuối của tuổi thọ vòng kim cương thì kích thước khối cắt nên giảm. Nếu bỏ qua các kích thước khối cắt, số lượng vòng kim cương tối ưu trên 1 m chiều dài dây là 31 và nếu muốn chọn giữa 30 và 32 thì 32 sẽ hiệu quả hơn. Từ phương pháp cắt dây kim cương, đưa vào số lượng vòng kim cương và vài thông số khác như kích thước và số lượng dây thép, mối nối và gập dây sẽ có thể ảnh hưởng tới hiệu quả cắt. Do đó, cần thiết khảo sát những ảnh hưởng này hơn nữa và nghiên cứu thêm trong tương lai để hoàn thiện thêm các thông số tối ưu tới hiệu quả cắt của dây cắt kim cương. Bài báo này mới chỉ nghiên cứu sơ bộ về vòng kim cương cho các mỏ đá hoa trắng, do đó kết quả này có thể áp dụng cho các mỏ đá khối carbonat, những mỏ khác muốn áp dụng cho các loại đá khối khác như granit cần phải nghiên cứu thêm theo hướng này. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Anh Tuấn, Trần Quang Hiếu, Phạm Văn Việt (2016). Công nghệ khai thác đá khối tiên tiến. Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội.
2. Trần Đình Tài (2016). Nghiên cứu áp dụng công nghệ khai thác sử dụng cưa cáp kim cương phù hợp nhằm nâng cao chất lượng trong khai thác đá khối, ứng dụng trong một số mỏ đá trắng vùng Quý Hợp, Nghệ An. Luận văn Thạc sĩ Kỹ thuật, Trường Đại học

Mỏ-Địa chất.

3. Risto Dambov, Goran Stojkoski, Zoran Kostosk (2011). Technology of exploitation of stone with diamond wire saw and pillow. Proceedings of the XIth National conference with international participation of the open and underwater mining of minerals, Varna, Bulgaria.

Người biên tập: Hồ Sĩ Giao

Từ khóa: *cắt dây kim cương; số lượng vòng kim cương; khai thác đá khối*

Ngày nhận bài: 05 tháng 03 năm 2016

Ngày duyệt đăng bài: 06 tháng 8 năm 2016

SUMMARY

Nowadays, mining technologies for dimension stone are very diverse, one of which is cutting by diamond cutting wire. One of the problems for this method is the consumption of diamond beads on cutting wire and cutting efficiency of the wire. Therefore, the paper optimizes the number of diamond beads per length unit of the wire and selects block areas in order to the highest cutting efficiency.

PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ...

(Tiếp theo trang 32)

3. Nguyen, A.T. et al., 2015. Grouping discontinuities in representative sets: influence on the stability analysis of slope cuts. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. doi:10.1007/s10064-015-0822-x.
4. Nguyen, A.T., Merrien-Soukatchoff, V. & Vinches, M., 2014. Grouping discontinuities of fractured rock mass into main sets : consequences on the stability analysis of open pit benches. In D. 2014, ed. DFNE 2014. Vancouver, Canada, pp. 1-8.
5. Rafiee, A. & Vinches, M., 2008. Application of geostatistical characteristics of rock mass fracture systems in 3D model generation. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 45(4), pp.644-652.
6. Stead, D., Eberhardt, E. & Coggan, J.S., 2006. Developments in the characterization of complex rock slope deformation and failure using numerical modelling techniques. Engineering Geology, 83(1-3), pp.217-235.

Người biên tập: Hồ Sĩ Giao

Từ khóa: *các đứt gãy, đá nứt nẻ, bờ mỏ, phương pháp tương tác cứng, phân tích ổn định*

Ngày nhận bài: 05 tháng 11 năm 2015

Ngày duyệt đăng bài: 05 tháng 7 năm 2016

SUMMARY

We propose the modeling of the contact dynamics as a Non-Smooth discrete element method (NSCD). The theoretical basis of a new approach which makes it possible to consider a better surface contact with friction between polyhedral discrete elements analysis simultaneously is studied in this paper. The results of the application of the NSCD to investigate the verification examples present the stability conditions of jointed rock slopes: slope cuts, tunnel in the mining engineering.