THÍ NGHIỆM BRAZILIAN CHO ĐÁ DỊ HƯỚNG: CƯỜNG ĐỘ KÉO TÁCH

TS. ĐINH QUỐC DÂN

Viện KHCN Xây dựng

Tóm tắt: Thí nghiệm Brazilian được dùng phổ biến để xác định gián tiếp cường độ kéo cho vật liệu dòn như đá, bê tông. Bên cạnh cường độ nén, cắt, cường độ kéo là giá trị quan trọng của vật liệu xác định khả năng chịu tải, khả năng biến dạng, sự hình thành vết nứt và phá hoại của đá,... đồng thời là thông số sử dụng để phân tích ổn định và khả năng làm việc của kết cấu đá.

Bài viết này nằm trong loạt bài viết về thí nghiệm Brazilian cho đá dị hướng. Những nghiên cứu thực nghiệm trong bài viết tập trung vào khảo sát cường độ theo tính dị hướng của đá trong thí nghiệm kéo tách có nhấn mạnh đến tính không gian của cấu trúc mặt phân lớp và hướng gia tải. Tổng số 555 thí nghiệm xác định cường độ kéo tách được tiến hành trên 4 loại đá có tính phân lớp khác nhau từ cát kết được xem gần như đồng nhất đến phân lớp mạnh như gneiss, phiến sét. Kết quả thí nghiệm cho thấy, cường độ kéo tách có tương quan mạnh giữa hướng trục mẫu với cấu trúc mặt phân lớp hơn là tương quan giữa hướng gia tải với mặt phân lớp này.

Từ khoá: Brazilian test; cường độ kéo tách; đá đồng nhất; đá dị hướng; mặt phân lớp.

1. Giới thiệu

Cường độ kéo là một trong những chỉ tiêu cường độ quan trọng của vật liệu, đặc biệt đối với vật liệu có cơ chế phá hoại dòn như đá, bê tông, thuỷ tinh,... khi cường độ kéo trong các vật liệu này thường nhỏ hơn nhiều so với cường độ nén.



Hình 1. "Cường độ kéo" trong tiêu chuẩn phá hoại Mohr-Coulomb (theo Goodman [1])

Cường độ kéo được dùng phổ biến như là đặc trưng cơ bản trong nhiều lĩnh vực ứng dụng của xây dựng dân dụng, khai thác mỏ và khai thác dầu khí, đặc biệt trong những khái niệm sau:

- Ôn định dài hạn hoặc ngắn hạn của công trình ngầm (tunnel, không gian ngầm, hầm mỏ, hố đào,...);
- Xác định phương pháp đào (khoan và nổ mìn hoặc TBM và khoan phá);
- Thiết kế hệ trụ đỡ;
- Dự báo đứt gẫy;
- Ứng xử cơ học thuỷ nhiệt của đá (Thermo-hydro-mechanics);
- Dòng chảy và lan truyền ô nhiễm;
- Nứt và truyền vết nứt.

Thí nghiệm Brazilian hay còn gọi thí nghiệm kéo tách là phương pháp gián tiếp xác định cường độ kéo cho đá và các vật liệu dòn khác. Thí nghiệm này được sử dụng rộng rãi trong cơ học đá nhờ việc chuẩn bị mẫu đơn

giản, thiết bị thí nghiệm trên máy chuyên dụng hoặc đơn giản trên máy nén một trục sử dụng mẫu đĩa tròn hay trụ tròn chịu nén xuyên tâm.

Thí nghiệm Brazilian được phát triển từ năm 1943 [2] và thường được áp dụng cho đá đồng nhất. Những nghiên cứu liên quan đến cường độ kéo cho đá dị hướng cho đến giờ còn hạn chế [3-5]. Việc diễn giải kết quả thí nghiệm cho đá dị hướng còn giới hạn do phương trình đầy đủ trường ứng suất - biến dạng và cơ chế phá hoại cơ học chưa được nghiên cứu chi tiết [6-13]. Những nghiên cứu có tính hệ thống kể đến ảnh hưởng của cấu trúc phân lớp (thế nằm, mặt yếu) đến cường độ kéo cho tới thời điểm hiện nay còn hạn chế [5, 8, 14]. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm bằng thí nghiệm Brazilian cho các mẫu có hướng khác nhau theo mặt yếu và hướng tải trọng tác dụng lại càng giới hạn, dẫn đến diễn giải kết quả thí nghiệm cường độ kéo trong nhiều trường hợp chưa chính xác.

Dưới lực nén đối xứng phân bố đều trên 2 cung tròn của ngàm gia tải, theo lý thuyết, mẫu thí nghiệm bị phá hoại theo trạng thái ứng suất gần 2 trục (nén theo phương thẳng đứng và kéo theo phương ngang) phát triển dọc theo đường xuyên tâm đi qua tâm mẫu. Cường độ kéo lớn nhất khi phá hoại xảy ra tại tâm đĩa hay trụ tròn và kết quả mẫu bị tách thành 2 nửa [7].



(a) Mô hình thí nghiệm
(b) Mẫu cát kết bị tách thành 2 nửa
Hình 2. Thí nghiệm Brazilian theo đề xuất của ISRM [15]

Nội dung của bài viết phản ánh ảnh hưởng của tính dị hướng đến cường độ kéo lớn nhất trong thí nghiệm Brazilian. Lượng lớn mẫu đã được tiến hành thí nghiệm trên tập hợp của 4 loại đá có mức độ dị hướng khác nhau từ mẫu đá gần như đồng nhất của cát kết đến dị hướng mạnh theo lớp của đá phiến sét. Kết quả thí nghiệm trong phòng kết hợp với mô phỏng số đã cho phép diễn giải chi tiết cơ chế phá hoại và đưa ra hệ số mức độ ảnh hưởng của dị hướng tới giá trị cường độ kéo ứng với từng loại đá nghiên cứu theo điều kiện kiến tạo và thế nằm [16]. Điều này có ý nghĩa lớn đối với việc phân tích thí nghiệm và hệ số tham chiếu cho các trường hợp khác khi số lượng mẫu thí nghiệm bị hạn chế.

2. Lựa chọn mẫu thí nghiệm

Đá được lựa chọn có đặc trưng mức độ đồng nhất khoáng vật và tính dị hướng của cấu trúc khác nhau phụ thuộc vào mức độ phong hoá của đá và nguồn gốc thành tạo từ macma, trầm tích hay biến chất. Mức độ dị hướng của một loại đá cụ thể được định nghĩa bởi sự hiện diện của cấu trúc phần tử về mặt tổng thể như là thế nằm, mức độ phân tầng, phân lớp, nhỏ hơn là cấu trúc phân phiến, khe nứt, dứt gẫy hay rạn nứt hoặc liên kết. Đánh giá đặc trưng dị hướng giúp cho việc dự báo ứng xử của đá nâng cao chất lượng và hệ số an toàn khi phân tích, thiết kế và xây dựng công trình trên trong môi trường đá [17].

Đồng nhất theo lớp cũng là đặc trưng phổ biến được biết đến trong khối đá biến chất theo lớp như đá phiến sét (slate), gneiss, filit (phyllites) hoặc đá phiến (schists). Điểm đáng chú ý của các đá này là đã trải qua quá trình thành tạo có thể đã bộ lộ tính dị hướng theo một hay nhiều hướng như trong mặt phân lớp và thế nằm như đá phiến sét. Những hướng này nhiều khi không song song với nhau dẫn đến đặc trưng tuyến tính theo lớp có thể không trùng với đặc trưng phân lớp. Do tính đặc trưng dị hướng riêng biệt nên đá biến chất được lựa

chọn nghiên cứu, cụ thể: Freiberger Gneiss (FG.Gs) lấy từ mỏ đá vùng Freiberg (Germany), Leubsdorfer Gneiss (Le.Gs) lấy từ mỏ đá thung lũng Flöha (Germany) và Mosel Slate (My.Sc) lấy từ vùng Mayen-Koblenz (Germany). Các đá biến chất này có tính dị hướng đặc trưng bởi tầng, lớp hoặc thế nằm giống như đá phiến dầu (shales), cát kết, sét kết, đá vôi hoặc than đá. Trong những loại đá này, đặc trưng dị hướng là kết quả kết hợp phức tạp của quá trình lý hoá kết hợp với sự chuyển dời, ngưng tụ, nén chặt, xi măng hoá,... Bên cạnh đó, mẫu đá cát kết Postaer Sandstone (FG.Ss) lấy từ mỏ đá vùng Pirna (Germany) với hạt trung kích thước hạt từ 0,01 đến 1,0 mm, đôi khi có các đóm khoáng vật lớn màu nâu xám kích thước tới 2,0 và 3,0 mm được xem là gần đồng nhất đẳng hướng. Kết quả thí nghiệm cho mẫu đá này sử dụng làm kết quả tham khảo cho mẫu đả dòng nhất đẳng hướng.

3. Chuẩn bị mẫu thí nghiệm

Việc chuẩn bị mẫu và thí nghiệm thực hiện theo đề xuất phương pháp xác định cường độ kéo cho đá của hội cơ học đá quốc tế (ISRM) [15] và thí nghiệm kéo gián tiếp cho mẫu đá của Hội địa kỹ thuật Đức (DGGT) [18]. Các mẫu trụ tròn đường kính D = 50 mm với tỉ lệ chiều cao trên đường kính h/D = 0,5.

Ban đầu, khối đá lấy từ mỏ được khoan lõi trụ đường kính 50 mm và đảm bảo chính xác góc giữa trục của lõi khoan và mặt phân lớp định trước các góc: $\psi = 0^{\circ}$, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° và 90°. Lõi khoan sau đó được cắt thành các mẫu thí nghiệm có chiều dài phù hợp và đảm bảo vuông góc với trục lõi. Mặt mẫu được mài và đánh bóng. Mẫu được kiểm tra kích thước và độ thẳng trục thoả mãn các quy định chặt chẽ trong tiêu chuẩn và được lưu giữ trong môi trường ẩm theo nhiệt độ trong phòng.

4. Thiết bị thí nghiệm





Hình 3. Thiết bị thí nghiệm MTS 20/M tại phòng thí nghiệm cơ học đá, Viện Địa kỹ thuật, trường ĐH Freiberg

Thí nghiệm được thực hiện trên máy MTS 20/M với lực nén tối đa ±100 kN và độ chính xác 0,01 %. Sử dụng phầm mềm TestWorks-4-System cho phép điều kiển tự động quá trình gia tải và lưu số liệu. Tải trọng nén được đo bằng cảm biến lực, chuyển dịch được đo bởi cảm biến chuyển dịch vi sai tuyến tính (LVDT) và biến dạng đo bởi giãn kế với độ chính xác tới 0,0002 %.

5. Phương pháp thí nghiệm

Thí nghiệm Brazilian được tiến hành theo đề xuất phương pháp thử của ISRM và DGGT [15, 18]. Đĩa tròn được nén tới khi phá hoại theo phương pháp tốc độ gia tải không đổi 200 N/s.

Quy trình thí nghiệm được thể hiện trong

Hình 4 tương ứng với việc sắp xếp mẫu thí nghiệm theo các góc khác nhau của mặt phân lớp và tải trọng tác dụng. Mặt phân lớp thường là mặt yếu do cường độ kéo và lực dính trên mặt này giảm. Theo quy trình này 2 giá trị góc được định nghĩa, góc phân lớp (ψ) là góc giữa trục mẫu và mặt cấu trúc phân lớp; góc gia tải (β) là góc hợp bởi hướng gia tải và mặt cấu trúc phân lớp. Quy trình thí nghiệm được thực hiện bằng cách xoay 2 góc ψ và β từ 0° đến 90°, điều này tương ứng với việc xoay mẫu theo 2 phương trực giao. Kết hợp với tính chất đối xứng theo trục của mẫu trụ tròn cho phép hình thành không gian khảo sát 3 chiều cho toàn bộ mẫu. Với mô hình này, lần đầu tiên mẫu thí nghiệm được nghiên cứu một cách hệ thống trong không gian 3D. Các giá trị góc ψ và β được thay đổi với khoảng tăng 15° tạo ra ma trận góc kết hợp {7 × 7} bao trùm tất cả các tập hợp có thể của hướng cấu trúc mặt yếu và hướng gia tải (hình 4).



Hình 4. Quy trình thí nghiệm

6. Kết quả thí nghiệm

Tổng số 555 thí nghiệm đã được tiến hành trên 4 loại mẫu đá có mức độ dị hướng khác nhau từ đá gần đồng nhất (cát kết) đến đá đồng nhất theo lớp có mức độ dị hướng cao (gneiss hoặc phiến sét). Các tổ mẫu ứng với mỗi tổ hợp góc ψ và β gồm 3 đến 5 mẫu. Số lượng thí nghiệm đã thực hiện: FG.Ss 97 mẫu, FG.Gs 126 mẫu, Le.Gs 160 mẫu và My.Sc 172 mẫu.

Kết quả thí nghiệm cho các mẫu đá được trình bày trong các hình dưới đây:



Hình 5. Kết quả cường độ kéo trung bình của FG.Ss trong toạ độ cực Hình 6. Kết quả cường độ kéo của FG.Ss với mặt hồi quy từ phép hồi quy đa biến



Hình 7. Kết quả cường độ kéo trung bình của FG.Gs trong toạ độ cực



Hình 9. Kết quả cường độ kéo trung bình của Le.Gs trong toạ độ cực



Hình 11. Kết quả cường độ kéo trung bình của My.Sc trong toạ độ cực



Hình 8. Kết quả cường độ kéo của FG.Gs với mặt hồi quy từ phép hồi quy đa biến



Số mẫu khảo sát 160 Hệ số xác định bội (R^2) = 0.708





Hình 12. Kết quả cường độ kéo của My.Sc với mặt hồi quy từ phép hồi quy đa biến

Diễn giải kết quả cường độ kéo

	-			-
Loại đá	FG.Ss	FG.Gs	Le.Gs	My.Sc
Số lượng mẫu	97	126	160	172
Giá trị trung bình	3,546	12,833	16,244	9,408
Độ lệch chuẩn	0,458	3,961	4,231	5,692
Khoảng lệch	0,210	15,693	17,905	32,401
Sai số chuẩn	0,046	0,353	0,335	0,434
Hệ số phân tán	13 %	31 %	26 %	61 %

Bảng 1. Giá trị thống kê cường độ kéo cho các mẫu đá thí nghiệm

Kết quả đá cát kết FG.Ss cho thấy độ lệch chuẩn và hệ số phân tán thấp (13 %). Dựa trên sự hình thành vết nứt của mẫu khi phá hoại, đá cát kết xuất hiện ít hay nhiều vết nứt đặc trưng do phá hoại kéo đi qua tâm mẫu sát gần với đường phá hoại lý thuyết mà không phụ thuộc vào hướng của mẫu [16]. Do đó, có thể xem đá cát kết FG.Ss là vật liệu gần như đồng nhất (quasi-isotropic) và góc phân lớp tương quan với góc gia tải trong thực tế là hoàn toàn không quan trọng. Ngược lại, đá phiến sét My.Sc cho thấy rõ ràng mức độ ảnh hưởng của dị hướng là lớn nhất, hệ số phân tán cao nhất (61 %), như vậy đối với các đá có tính phân lớp mạnh cường độ kéo khi phá hoại phụ thuộc rất lớn vào góc phân lớp ψ và góc gia tải β .

	Ψ	β	FG.Ss	FG.Gs	Le.Gs	My.Sc
Ψ	1,000	-0,053	-0,277	0,692	0,602	0,792
β	-0,053	1,000	-0,029	0,281	0,286	0,046
FG.Ss	-0,277	-0,029	1,000	-0,093	0,011	0,020
FG.Gs	0,692	0,281	-0,093	1,000	0,739	0,754
Le.Gs	0,602	0,286	0,011	0,739	1,000	0,663
My.Sc	0,792	0,046	0,020	0,754	0,663	1,000

Bảng 2. Hệ số tương quan cường độ kéo giữa các mẫu đá thí nghiệm

Trong bảng 2 hệ số tương quan cường độ kéo tương ứng với góc ψ và β lần lượt là 0,692 và 0,281 cho FG.Gs (gneiss); 0,602 và 0,286 cho Le.Gs (gneiss); 0,792 và 0,046 cho My.Sc (slate) thấy rõ ảnh hưởng của góc phân lớp (ψ) đến cường độ kéo lớn hơn ảnh hưởng của góc gia tải (β) lên giá trị cường độ kéo tách.



Hình 13. Tương quan cường độ kéo chuẩn hoá xác định hệ số mức độ dị hướng cho Le.Gs

Hình 14. Tương quan cường độ kéo chuẩn hoá xác định hệ số mức độ dị hướng cho My.Sc

Dựa trên biếu đồ kết quả cường độ chuẩn hoá so với kết quả giá trị cường độ kéo ứng với $\psi = 0^{\circ}$ và $\beta = 0^{\circ}$ cho phép xây dựng hệ số mức độ dị hướng dựa trên độ lệch cường độ kéo đưa ra trong hình 13 và hình 14. Ở đây, khái niệm cường độ kéo được hiểu là giá trị cường độ lớn nhất theo lý thuyết tại tâm mẫu khi phá hoại. Thực tế, cơ chế phá hoại trong mẫu không hoàn toàn giống như lý thuyết với trạng thái biến dạng 2 trục kéonén dọc theo đường kính đi qua tâm mẫu. Cơ chế phá hoại chiếm ưu thế gây ra vùng biến dạng dẻo quyết định mô hình phá hoại. Mô hình phá hoại trong mẫu phức tạp là giao thoa giữa cơ chế phá hoại nén-kéo-cắt phụ thuộc vào góc ψ và β . Vấn đề này sẽ được trình bày trong các bài viết tiếp theo.

Mức độ dị hướng xác định tương ứng với tỉ lệ lệch của cường độ đỉnh có thể đạt lần lượt tới 2.65 và 5.24 lần cho đá gneiss và đá phiến sét. Giá trị này tương ứng với mức độ biến động kết quả thí nghiệm cường độ kéo lên tới 2.65 và 5.24 lần trong đá dị hướng khi xét đến ảnh hưởng của mặt phân lớp và thế nằm.

8. Kết luận và kiến nghị

Cường độ kéo tách trong thí nghiệm Brazilian ảnh hưởng lớn bởi đặc tính phân lớp của đá dị hướng nhưng ít ảnh hưởng đối với vật liệu gần đồng nhất.

Cường độ kéo của đá cát kết FG.Ss có độ lệch chuẩn thấp và hệ số phân tán nhỏ 13 %, ngược lại đá gneiss và phiến sét có độ lệch chuẩn lớn và hệ số phân tán lớn (31 %, 26 % và 61 % lần lượt cho đá gneiss FG.Gs, Le.Gs và phiến sét My.Sc). Độ phân tán càng lớn chứng tỏ ảnh hưởng của mức độ dị hướng càng lớn.

Cấu trúc mặt phân lớp ảnh hưởng lớn hơn thế nằm đối với đá gneiss và phiến sét.

Khác biệt trong kết quả thí nghiệm cường độ kéo cho đá dị hướng có thể lên tới 2,65 đến 5,24 lần đối với đá gneiss và đá phiến sét phụ thuộc vào cấu trúc phân lớp và thế nằm.

Từ kết quả nghiên cứu khuyến nghị tiến hành thí nghiệm Brazilian cho các mẫu đá có tính dị hướng cao cần lưu ý đến cấu trúc phân lớp và thế nằm thực tế của mẫu đá. Từ đó có thể diễn giải kết quả thí nghiệm chính xác. Thông qua biểu đồ tương quan hệ số mức độ dị hướng cho phép xây dựng hệ số chuẩn dùng làm tham chiếu đối với các kết quả ở các góc phân lớp và góc gia tải khác từ kết quả thí nghiệm đối với các góc cơ bản thường theo phương trực giao hay song song.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 1. GOODMAN, R.E., Rock Mechanics. 2nd Edition ed1989: John Wiley & Sons.
- 2. CARNEIRO, F., Une novelle methode d'sssai pour determiner la resistance a la traction du beton. Paris: Reunion des Laboratoires d'Essai de Materiaux, 1947.
- AMADEI, B., Importance of anisotropy when estimating and measuring in situ stresses in rock. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics, 1996. 33(3): p. 293-325.
- 4. TAVALLALI, A. and A. VERVOORT, Effect of layer orientation on the failure of layered sandstone under Brazilian test conditions. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2010. 47(2): p. 313-322.
- 5. KWAŚNIEWSKI, M. Testing and modeling of the anisotropy of tensile strength of rocks. *in Proceedings of the International Conference on Rock Joints and Jointed Rock Masses. 2009. Tucson, Arizona, USA.*
- 6. HONDROS, G., The evaluation of poisson's ratio and the modulus of materials of a low tensile resistance by the Brazilian (indirect tensile) test with particular reference to concrete. *G. Aust. J. appl. Sci., 1959. 3: p. 243-268.*
- 7. FAIRHURST, C., On the validity of the 'Brazilian' test for brittle materials. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics, 1964. 1(4): p. 535-546.
- 8. HOBBS, D.W., The tensile strength of rocks. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics, 1964. 1(3): p. 385-388, IN17-IN18, 389-396.
- 9. BARLA, G. and N. INNAURATO, Indirect tensile testing of anisotropic rocks. Rock Mech, 1973. 5: p. 215-230.
- 10. ANDREEV, G.E., A review of the Brazilian test for rock tensile strength determination. Part II: contact conditions. *Mining Science and Technology*, 1991. 13(3): p. 457-465.
- 11. CHEN, C., E. PAN, and B. AMADEI. Evaluation of properties of anisotropic rocks using Brazilian tests. *in Proc. 2nd* NAMS, Montreal. 1996.
- 12. MA, C. and K. HUNG, Exact full-field analysis of strain and displacement for circular disks subjected to partially distributed compressions. *International Journal of Mechanical Sciences*, 2008. 50(2): p. 275-292.
- 13. ANDREEV, G.E., A review of the Brazilian test for rock tensile strength determination. Part I: calculation formula. *Mining Science and Technology*, 1991. 13(3): p. 445-456.
- KARAKUL, H., R. ULUSAY, and N.S. ISIK, Empirical models and numerical analysis for assessing strength anisotropy based on block punch index and uniaxial compression tests. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2010.* 47(4): p. 657-665.
- 15. ISRM, Suggested methods for determining tensile strength of rock materials, *in International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics* 1978. p. 99-103.

- 16. DINH, Q.D., Brazilian Test on Anisotropic Rocks Laboratory Experiment, Numerical Simulation and Interpretation, *in Institute of Geotechnics2011, TU Bergakademie Freiberg. p. 228.*
- 17. COLBACK, P.S.B. An Analysis of Britlle Fracture Initiation and Propagation in the Brazilian test. *in Proc. 1st Cong. Int. Soc. of Rock Mechanics. 1967.*
- 18. DGGT, Indirekter Zugversuch an Gesteinsproben Spaltzugversuch, in Deutschen Gesellschaft für Geotechnik Bautechnik, 8-b2008, Ernst & Sohn Verlag. p. 623-627.