



**TẠP CHÍ XÂY DỰNG - eISSN 3030-4482**

**Nghiên cứu giải pháp lưới thép cường độ cao kết hợp hệ thống neo đá trong giải pháp gia cường mái dốc đá nứt nẻ tại Việt Nam**

Research on high-strength wire mesh combined with rock bolting systems for reinforcing fractured rock slopes in Vietnam

➤ **THS Trần Đông\***, **THS Trịnh Bích Ngọc**

Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

\*Email: dongt@huce.edu.vn

---

**THÔNG TIN BÀI BÁO**

Chuyên mục: Khoa học công nghệ

Ngày nhận bài: 24/4/2026

Ngày sửa bài: 11/5/2026

Ngày chấp nhận đăng: 26/5/2026

Ngày xuất bản Online: 19/6/2026

Tác giả liên hệ:

Email: dongt@huce.edu.vn

---

**TÓM TẮT**

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu giải pháp gia cố mái dốc đá nứt nẻ bằng hệ thống lưới thép mắt cáo cường độ cao kết hợp neo đá (Rock Bolt) chiều dài  $L = 6 - 9$  m bố trí so le. Nghiên cứu tập trung vào khu vực núi thấp dọc tuyến Quốc lộ 2, tỉnh Tuyên Quang. Thông qua phân tích bằng phần mềm GeoSlope (Slope/W), kết quả cho thấy hệ số ổn định (Fs) của mái dốc sau khi gia cường được cải thiện đáng kể, đáp ứng tiêu chuẩn an toàn hiện hành và đảm bảo tính thẩm mỹ, bền vững cho công trình hạ tầng giao thông vùng cao.

**Từ khóa:** Lưới thép cường độ cao; ổn định mái dốc; hệ số nứt nẻ (Fs); neo đá.

**ABSTRACT**

This paper presents the research results on reinforcing fractured rock slopes using a system of high-strength hexagonal wire mesh combined with staggered rock bolts (length  $L = 6 - 9$  m). The study focuses on the low-mountainous areas along National Highway No. 2 in Tuyen Quang province. Through numerical analysis using GeoSlope (Slope/W) software, the results indicate that the Factor of Safety (Fs) of the reinforced slopes is significantly improved, meeting current safety standards and ensuring both aesthetic value and long-term sustainability for transport infrastructure in highland regions.

**Keywords:** High-strength wire mesh; slope stability; Factor of Safety (Fs); rock bolt.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quốc lộ 2 đoạn qua tỉnh Hà Giang (cũ) (Bắc Mê - TP Hà Giang - Bắc Quang) là tuyến giao thông huyết mạch, thường xuyên đối mặt với nguy cơ sạt trượt mái dốc do địa hình chia cắt mạnh và hoạt động kiến tạo phức tạp [7, 9]. Quá trình hạ lùi mái dốc thi công đường đã phá vỡ trạng thái cân bằng tự nhiên, làm lộ ra các diện cắt đá nứt nẻ mạnh. Dưới tác động của phong hóa và mưa lũ, cường độ kháng cắt của khối đá suy giảm nhanh chóng, gây ra các hiện tượng đá rơi, đá lăn và trượt lở cục bộ.

Các giải pháp truyền thống như tường chắn bê tông cốt thép [1, 2] hay bê tông phun (shotcrete) bộc lộ nhiều hạn chế về kinh phí, thời gian thi công và đặc biệt là gây cản trở quá trình thoát nước tự nhiên, dẫn đến tích tụ áp lực nước lỗ rỗng gây mất ổn định [8].

Xuất phát từ thực tế đó, giải pháp lưới thép cường độ cao kết hợp neo đá [3, 4] (Rock Bolt) bố trí so le được nghiên cứu ứng dụng như một phương án tối ưu. Giải pháp này không chỉ huy động sức kháng của khối đá ổn định phía sau mặt trượt thông qua hệ thống neo  $L = 6 - 9 \text{ m}$  [10] mà còn tận dụng khả năng giam giữ của lưới thép để bảo vệ bề mặt. Bài báo tập trung phân tích hiệu quả của giải pháp này bằng phần mềm GeoSlope, dựa trên số liệu thực tế tại Hà Giang (cũ), nhằm cung cấp cơ sở khoa học cho việc thiết kế mái dốc bền vững tại các khu vực địa chất tương đồng.

## 2. ĐẶC ĐIỂM ĐỊA CHẤT VÀ GIẢI PHÁP KỸ THUẬT

### 2.1. Đặc điểm địa chất khu vực nghiên cứu



Hình 1. Hình ảnh hiện trạng trượt mái dốc đá

Khu vực Hà Giang (cũ) - Quốc lộ 2 đặc trưng bởi các thành tạo đá biến chất nứt nẻ mạnh [6]. Dựa trên hồ sơ khảo sát, các thông số địa kỹ thuật chính được xác lập cho mô hình tính toán bao gồm:

- Khối đá gốc: Trọng lượng riêng  $\gamma = 26,5 \text{ kN/m}^3$ ; lực dính kết  $C = 45 \text{ kPa}$ ; góc ma sát trong  $\varphi = 32^\circ$ .
- Chỉ số GSI: Dao động từ 35 - 45 (theo chuẩn phá hoại Hoek-Brown) [5], phản ánh cấu trúc đá bị vỡ vụn và bề mặt khe nứt bị phong hóa mạnh,  $\tau_{\text{đá}} = 600 \text{ kPa}$  (tra bảng 09 - TCCS 28:2019).

### 2.2. Giải pháp gia cường bằng lưới thép và neo đá

Giải pháp sử dụng hệ thống hỗn hợp nhằm mục đích vừa gia cường sâu, vừa bảo

vệ bề mặt:

a) Hệ thống neo đá (Rock Bolt) [5, 7, 12]

- Thông số: Thanh thép cường độ cao, đường kính  $d = 32$  mm, chiều dài  $L = 6 - 9$  m.

- Bố trí: Dạng so le (quincunx) với khoảng cách  $S_h \times S_v = (2,0 \times 2,0)$  m.

- Cơ chế: Huy động sức kháng nhỏ của bầu neo trong lớp đá ổn định để tạo lực ép giữ khối đá trượt. Lực kéo thiết kế được xác định theo công thức:

$$T_{all} = \frac{\pi \cdot d \cdot L_{neo} \cdot q_{all}}{FS} \quad (1)$$

Trong đó:

-  $L_{neo}$ : Chiều dài bầu neo;

-  $q_{all}$ : Cường độ bám dính giữa vữa xi măng và đá;

- FS: Hệ số an toàn ( $FS \approx 2,0$ );

b) Lưới thép cường độ cao [3, 11]

Đặc tính: Lưới thép gồm các sợi lưới dạng hình thoi có đường kính sợi lưới thép  $d = 3$  mm, cường độ chịu kéo  $\geq 1.770$  Mpa (High-tensile wire mesh) ghim sát mặt mái dốc. Vai trò ngăn chặn hiện tượng đá lăn, đá rơi cục bộ và truyền tải trọng từ các khối đá rời rạc lên các đầu neo. Lưới thép tạo ra một áp lực giam giữ bề mặt ( $\sigma_3$ ), giúp cải thiện sức kháng cắt của khối đá theo tiêu chuẩn Hoek-Brown:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \cdot \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (2)$$

Việc bố trí neo so le giúp các vùng hưởng ứng suất (stress bulbs) tại đầu neo đan xen vào nhau, loại bỏ các "điểm mù" ứng suất so với cách bố trí hàng dọc thông thường. Điều này đặc biệt quan trọng trong địa chất nứt nẻ mạnh tại Hà Giang (cũ), giúp hệ thống lưới thép làm việc đồng bộ và hiệu quả hơn dưới tác động của tải trọng rung động giao thông trên Quốc lộ 2.

### 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Thiết lập mô hình mô phỏng

Bài toán được thiết lập trong phân hệ Slope/W thuộc bộ phần mềm GeoStudio. Mái dốc được mô hình hóa dựa trên trắc dọc thực tế tại hiện trường với chiều cao tầng khai thác trung bình và góc dốc thiết kế.

- Phương pháp tính: Morgenstern-Price (thỏa mãn đầy đủ các điều kiện cân bằng).

- Trạng thái phân tích: Xét trong điều kiện bất lợi nhất (có tính đến áp lực nước lỗ rỗng do mưa kéo dài và tải trọng xe chạy trên Quốc lộ 2). Trong đó, hệ số an toàn  $F_s$  được xác định:

$$F_s = \frac{\sum \frac{1}{m_a} [C' \times b + (w - u \times b) \tan \varphi']}{\sum w \times \sin \alpha} \quad (3)$$

$$m_a = \cos \alpha \left( 1 + \tan \alpha \frac{\tan \varphi'}{F_s} \right) \quad (4)$$

Trong đó:

-  $C'$ : Lực dính;

-  $\varphi'$ : Góc ma sát trong;

-  $b$ : Bề rộng mảnh;

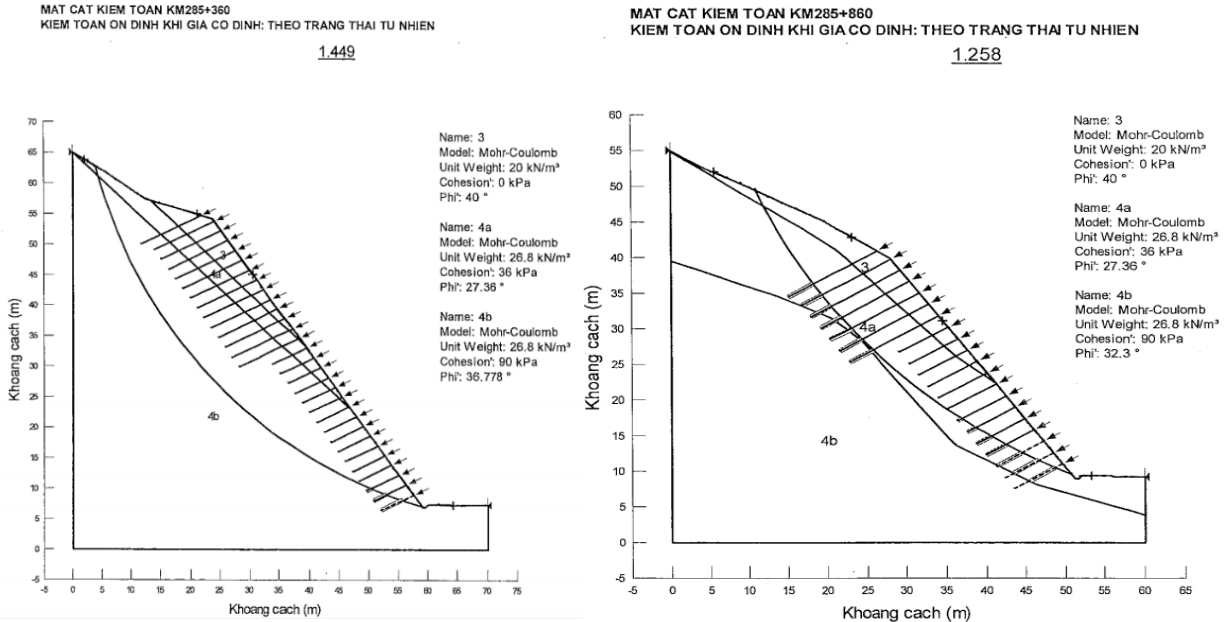
-  $u$ : Áp lực nước lỗ rỗng tại mảnh;

-  $W$ : Trọng lượng mảnh;

-  $\alpha$ : Góc mảnh theo hướng phương ngang.

### 3.2. Phân tích hệ số ổn định (Fs)

Kết quả mô phỏng cho thấy sự khác biệt rõ rệt về hệ số ổn định trước và sau khi áp dụng giải pháp gia cường:



Hình 2. Kiểm tra ổn định trượt tại Km285+360 và Km285+860

- Trạng thái tự nhiên: Cung trượt tiềm năng xuất hiện sâu, cắt qua lớp đá phong hóa nứt nẻ và lớp phủ. Hệ số ổn định tính toán được nằm trong khoảng  $F_s = 0,88 - 0,96$ . Với giá trị này, mái dốc được xếp vào nhóm nguy cơ cao, có thể xảy ra sạt lở bất cứ lúc nào dưới tác động của kích thích ngoại lực (mưa, rung động).

- Sau khi gia cường (neo đá + lưới thép): Khi đưa hệ thống neo thép d32, L= 6 - 9 m vào mô hình, các thanh neo đã cắt qua mặt trượt tiềm năng, đóng vai trò như các chốt giữ cơ học. Hệ số ổn định tăng lên đáng kể, đạt giá trị  $F_s = 1,38 - 1,45$ . Kết quả này thỏa mãn yêu cầu của tiêu chuẩn thiết kế hiện hành ( $F_s > 1,25$ ).

### 3.3. Thảo luận về hiệu quả của hệ thống gia cường

Việc phân tích các biểu đồ vector lực và ứng suất trong mô hình GeoSlope cho thấy:

- Vai trò của chiều dài neo: Với L=6 - 9 m, phần bầu neo được ngàm chặt vào lớp đá ổn định (vùng nằm ngoài cung trượt nguy hiểm), giúp huy động tối đa sức kháng nhỏ để giữ khối trượt.

- Hiệu ứng giam giữ của lưới thép: Lưới thép mắt cáo không chỉ ngăn đá rơi mà còn đóng vai trò phân phối lại lực nén từ đầu neo lên bề mặt mái dốc. Điều này tạo ra một "áp lực giam giữ" cục bộ, giúp hạn chế sự mở rộng của các khe nứt đá phiến trong quá trình phong hóa.

- Ưu thế của bố trí so le: Kết quả mô phỏng cho thấy các đường đẳng trị ứng suất bao quanh đầu neo được phân bố đều hơn, không tạo ra các dải tập trung ứng suất lớn gây phá hủy cục bộ như khi bố trí neo thẳng hàng.

Giải pháp này đặc biệt hiệu quả tại địa bàn Hà Giang (cũ) nhờ tính linh hoạt. Việc sử dụng thiết bị khoan cầm tay để lắp đặt neo L= 6 - 9 m trên mái dốc cao giúp giảm thiểu diện tích chiếm dụng mặt bằng thi công trên Quốc lộ 2, vốn có lưu lượng giao thông đông đúc. Đồng thời, cấu trúc "hở" của lưới thép giúp mái dốc tự thoát nước tốt, loại bỏ hoàn toàn nguy cơ mất ổn định do áp lực nước lỗ rỗng tích tụ phía sau lớp phủ như các giải pháp tường chắn kín.

## 4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### 4.1. Kết luận

Từ kết quả nghiên cứu lý thuyết, phân tích đặc điểm địa chất tại khu vực Hà Giang (cũ) và mô phỏng số bằng phần mềm GeoSlope, bài báo rút ra các kết luận chính sau:

- Tính tương thích của giải pháp: Hệ thống lưới thép mắt cáo cường độ cao kết hợp neo đá là giải pháp kỹ thuật đặc biệt phù hợp với các mái dốc đá biến chất nứt nẻ mạnh dọc tuyến Quốc lộ 2. Chiều dài neo  $L = 6 - 9$  m đảm bảo việc ngàm giữ vào vùng đá ổn định, nằm ngoài phạm vi cung trượt tiềm năng.

- Hiệu quả ổn định: Kết quả mô phỏng cho thấy hệ số ổn định của mái dốc sau khi gia cường tăng từ 40% đến 55% so với trạng thái tự nhiên, đạt mức  $F_s \geq 1,35$ . Việc bố trí neo dạng so le giúp phân bổ ứng suất đều hơn, loại bỏ các vùng nguy hiểm cục bộ trên bề mặt mái dốc.

- Lợi thế về mặt cơ học: Khác với các giải pháp cứng (tường chắn, bê tông phun), giải pháp này duy trì khả năng thoát nước tự nhiên qua bề mặt lưới, giúp triệt tiêu áp lực nước lỗ rỗng tích tụ - một trong những nguyên nhân chính gây sạt lở phổ biến tại vùng núi phía Bắc.

- Giá trị thực tiễn: Giải pháp giúp tối ưu hóa công tác thi công trong điều kiện địa hình khó khăn, giảm thiểu khối lượng đào đắp và bảo tồn được hệ sinh thái, cảnh quan dọc tuyến đường.

### 4.2. Kiến nghị

- Mở rộng nghiên cứu: Cần thực hiện các quan trắc hiện trường sau thi công (đo biến dạng, ứng suất neo) để kiểm chứng và hiệu chỉnh mô hình tính toán, từ đó tối ưu hóa khoảng cách bố trí neo cho các dự án tương tự.

- Công tác bảo trì: Khuyến nghị định kỳ kiểm tra tình trạng ăn mòn của lưới thép và đầu neo, đặc biệt trong môi trường khí hậu nóng ẩm và mưa nhiều tại Hà Giang (cũ) để đảm bảo tuổi thọ công trình.

- Ứng dụng thực tế: Đề xuất các cơ quan quản lý đường bộ xem xét áp dụng rộng rãi giải pháp "mềm" này cho các mái dốc đá nứt nẻ trên toàn tuyến Quốc lộ 2 và các tuyến đường miền núi có đặc điểm địa chất tương đồng nhằm thay thế các giải pháp bê tông hóa truyền thống.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] TCVN 9152:2012: Công trình thủy lợi - Quy trình thiết kế tường chắn công trình thủy lợi.

[2] TCVN 10304:2014: Móng cọc - Tiêu chuẩn thiết kế.

[3] ASTM D6418: Standard Practice for Using High-Strength Steel Wire Mesh for Slope Stabilization.

[4] Eurocode 7 (EN 1997). Geotechnical design - Part 1: General rules.

[5] Hoek, E., & Bray, J. Rock Slope Engineering, 1981.

[6] Wyllie, D. C. Rock Slope Engineering: Civil and Mining. CRC Press, 2014.

[7] Bình, P. V. Cơ học đá và ứng dụng trong xây dựng công trình. NXB. Xây dựng, Hà Nội, 2015.

[8] Tiến, N. V. Gia cố nền móng công trình. NXB. Giáo dục Việt Nam, 2012.

[9] Bùi Trường Sơn và cộng sự. Đánh giá hiện tượng mất ổn định mái đào hạ lưu vai phải đập công trình thủy điện Trung Sơn và đề xuất giải pháp xử lý. Tạp chí Khí tượng Thủy văn, số EME4, tr. 1-11, 2022.

[10] Nguyễn Đức Mạnh và cộng sự. Phòng chống đá lở, đá rơi bằng lưới thép cường độ cao chống ăn mòn. Tạp chí Khoa học & Công nghệ Việt Nam, số 4, tr. 34-36, 2019.

[11] Geobrugg AG. High-tensile steel wire mesh systems for rockfall protection: Technical report and case studies in Southeast Asia, 2019.

[12] C. Carranza-Torres et al. Analytical and Numerical Study of the Mechanics of Rockbolt Reinforcement around Tunnels in Rock Masses. Journal of Rock Mechanics and Rock Engineering, số 42, tr. 175-228, 2009.