ĐỊNH LƯỢNG HÓA TƯƠNG TÁC ĐẤT - RỄ TRONG THIẾT KẾ KÈ SINH THÁI: KHOẢNG TRỐNG NGHIÊN CỨU VÀ ĐỊNH HƯỚNG CHO VIỆT NAM

Nguyễn Quang Hùng
Trường Đại học Thủy lợi
Nguyễn Kiên Quyết
Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải
Mai Trọng Luân
Viện Sinh thái và Bảo vệ Công trình

Tóm tắt: *Giải pháp kè xanh sinh thái (sinh thái - thủy lợi) đang được ứng dụng để phòng chống sạt lở bờ sông tại Việt Nam, nhưng phần lớn thiết kế vẫn dựa trên kinh nghiệm hoặc hiệu quả thủy lực mà chưa định lượng được vai trò cơ học của hệ rễ trong ổn định mái dốc. Bài báo này phân tích cơ sở khoa học về tương tác đất - rễ, làm rõ các khái niệm về cường độ chịu kéo, mật độ rễ (RAR) và ảnh hưởng của chúng đến sức kháng cắt của đất. Thông qua việc đối sánh với các phương pháp tính toán từ đơn giản đến phức tạp trên thế giới, nghiên cứu chỉ ra những khoảng trống tại Việt Nam: thiếu hụt dữ liệu cơ học của cây bản địa, phương pháp đo lường chưa chuẩn hóa và thiếu quy trình tính toán hệ số an toàn trong thiết kế. Từ đó, đề xuất định hướng nghiên cứu chuyên sâu về tương tác rễ - đất nhằm nâng cao độ tin cậy của thiết kế công trình kè sinh thái.*
Từ khóa: *Cơ học đất cốt rễ, Sức kháng cắt, Tương tác đất-rễ, Ổn định bờ sông.*

Summary: *Ecological embankment solutions (eco-hydraulic) are being applied to prevent riverbank erosion in Vietnam; however, most designs rely on empirical experience or hydraulic effectiveness, failing to quantify the mechanical role of root systems in slope stability. This paper analyzes the scientific basis of root-soil interaction, clarifying concepts of root tensile strength, Root Area Ratio (RAR), and their impact on soil shear strength. By benchmarking against global calculation methods ranging from simple to complex, the study identifies significant research gaps in Vietnam: a shortage of mechanical data for native plant species, unstandardized measurement methods, and the absence of safety factor calculation procedures in design. Consequently, the paper proposes directions for in-depth research on root-soil interaction to enhance the reliability of ecological embankment designs.*
Keywords: *Root-Soil Mechanics, Shear Strength, Root-Soil Interaction, Riverbank Stability.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việt Nam đang đối mặt với tình trạng sạt lở bờ sông nghiêm trọng, đặc biệt tại Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) do nền đất yếu và thay đổi dòng chảy [5]. Các giải pháp kè cứng (bê tông, rọ đá) tuy phổ biến nhưng chi phí cao và gây tác động môi trường. Gần đây, các giải pháp kè sinh thái đã được nghiên cứu và áp dụng, điển hình tại khu vực Tây Nam sông Hậu, bước đầu thành công trong việc tạo bãi, giảm sóng và khôi phục thảm thực vật [1].

Tuy nhiên, các nghiên cứu trong nước hiện nay chủ yếu tập trung vào hiệu quả thủy lực (giảm vận tốc dòng chảy, giảm sóng) và hiệu quả sinh thái (cảnh quan, môi trường). Cơ chế cốt lõi đảm bảo sự ổn định của mái dốc là tương tác cơ học giữa rễ cây và đất vẫn chưa

Ngày nhận bài: 22/12/2025
Ngày thông qua phản biện: 30/01/2026
Ngày duyệt đăng: 02/02/2026

được giải mã tường tận. Chúng ta thiếu các thông số đầu vào định lượng như: quan hệ giữa đường kính rễ và lực kéo, mô hình phân bố rễ trong không gian, và đặc biệt là mô hình dự báo sức kháng cắt của đất có rễ. Đây là những vấn đề mà thế giới đã giải quyết khá bài bản nhưng vẫn còn mới mẻ tại Việt Nam. Bài báo này tập trung phân tích sâu vào cơ chế tương tác đất - rễ để làm rõ những khoảng trống về dữ liệu và phương pháp tính toán mà Việt Nam cần lấp đầy để đưa kè sinh thái trở thành một giải pháp kỹ thuật tin cậy.

Nguồn: https://danviet.vn *Nguồn: https://1thegioi.vn* *Nguồn: https://laodong.vn*

Hình 1: Một số hình ảnh sạt lở bờ sông ĐBSCL

Hình 2: Một số hình ảnh bảo vệ bờ sông ĐBSCL bằng công trình kiên cố, [5]

a) Cỏ vectiver *b) Cây mắm trắng* *c) Cây dừa nước*

Hình 3: Một số hình ảnh bảo vệ bờ sông ĐBSCL bằng công trình kè sinh thái, [5]

2. CƠ SỞ KHOA HỌC VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

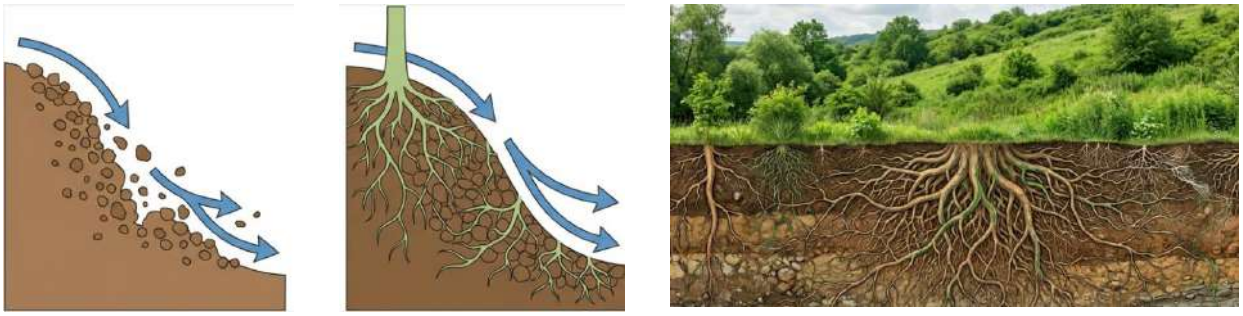
2.1. Các khái niệm cốt lõi trong kè sinh thái

Kè sinh thái (hay còn gọi là giải pháp sinh thái - thủy lợi, kỹ thuật sinh học - *bioengineering*) là một phương thức bảo vệ bờ sông, kênh, rạch bằng cách kết hợp các quy trình sinh thái tự nhiên (thảm thực vật) với các cấu trúc hạ tầng kỹ thuật trợ lực, [2]. Mục tiêu cốt lõi của giải pháp này là kiến tạo những hệ thống bảo vệ bờ bền vững, chi phí thấp và hài hòa với môi trường thay vì sử dụng các công trình kè cứng bằng bê tông, cốt thép đắt tiền và ít thân thiện.

Cường độ chịu kéo của rễ (T_r): Khả năng chịu lực kéo đứt của một sợi rễ đơn lẻ (đơn vị: MPa).

Tỷ lệ diện tích rễ (RAR): Tỷ số giữa tổng diện tích mặt cắt ngang của rễ (A_r) trên một đơn vị diện tích đất (A) tại một độ sâu nhất định.

$$RAR = A_r/A \quad (2.1)$$



a) đất không có rễ cây *b) đất được gia cố bằng rễ cây*

Hình 4: Hình ảnh minh họa bờ sông trạng thái tự nhiên và trạng thái được trồng cây

2.2. Quan hệ giữa đường kính và cường độ chịu kéo của rễ (T_r)

Các nghiên cứu của Pollen-Bankhead (2005) đã cho thấy: Cường độ chịu kéo của rễ (T_r) tỷ lệ nghịch với đường kính rễ (D) theo hàm mũ [3]:

$$T_r = \alpha.D^{-\beta} \quad (2.2)$$

trong đó: α, β là các hệ số thực nghiệm phụ thuộc loài cây.

2.3. Công thức tính toán ổn định

Trong địa kỹ thuật truyền thống, sức kháng cắt của đất (τ) tuân theo định luật Mohr-Coulomb:

$$\tau = c' + (\sigma - u_w).\tan\phi' \quad (2.3)$$

trong đó:

τ: Sức kháng cắt của đất;

c': Lực dính đơn vị của đất;

σ: Ứng suất pháp tuyến;

u_w: Áp lực nước lỗ rỗng;

ϕ': Góc ma sát trong của đất.

Khi đất có rễ, sức kháng cắt tăng thêm một lượng c_R (lực dính rễ):

$$\tau_r = c' + c_R + (\sigma - u_w).\tan\phi' \quad (2.4)$$

trong đó:

τ_r: Sức kháng cắt của đất có rễ;

c_R: Lực dính gia tăng do rễ cây. Đây là tham số quan trọng, phụ thuộc vào mật độ rễ, cường độ chịu kéo của rễ và góc ma sát của đất.

Vấn đề nằm ở việc xác định c_R. Có 2 phương pháp từ đơn giản đến phức tạp:

Phương pháp đơn giản (Mô hình Wu-Waldron): Giả định tất cả rễ đứt cùng lúc [3].

$$c_R = 1.2 \sum(T_{r,i} . RAR_i)$$

Phương pháp phức tạp (Mô hình bó sợi FBM): Giả định rễ đứt lần lượt (phá hoại lũy tiến). Phương pháp này chính xác hơn, thường cho kết quả c_R thấp hơn (Wu-Waldron), nhưng an toàn hơn trong thiết kế, [4].

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

So sánh với cơ sở khoa học quốc tế nêu trên, công tác nghiên cứu và thiết kế kè sinh thái tại Việt Nam đang tồn tại những khoảng trống:

3.1. Khoảng trống về dữ liệu đầu vào

Để tính toán (c_R), cần biết (T_r) và (RAR). Tuy nhiên:

Quốc tế: Đã có ngân hàng dữ liệu cho hàng trăm loài cây (Willow, Poplar, Vetiver, v.v...).

Việt Nam: Chúng ta hoàn toàn thiếu dữ liệu về cường độ chịu kéo (T_r) và các hệ số (α, β) của các loài cây bản địa giữ đất tốt như: Bần, Mắm, Cóc kèn, Tre gai. Các thiết kế hiện nay nếu có tính toán thường "tham khảo" số liệu của nước ngoài, dẫn đến sai số do khác biệt thổ nhưỡng. Chưa có nghiên cứu định lượng về sự phân bố mật độ rễ (RAR) theo độ sâu của cây trồng tại ĐBSCL. Đây là những thông số đầu vào cần thiết để mô phỏng sự suy giảm lực dính theo chiều sâu trong phần mềm tính ổn định

3.2. Khoảng trống về phương pháp thí nghiệm và đo lường

Việt Nam chưa có Tiêu chuẩn (TCVN) hướng dẫn phương pháp thí nghiệm kéo rễ. Việc kẹp mẫu rễ trong phòng thí nghiệm thường gặp khó khăn do rễ trơn, bị dập, dẫn đến kết quả lực kéo thấp hơn thực tế.

Chưa có quy trình đo đạc hiện trường để xác định lực kháng nhổ của khóm cây nguyên trạng – một chỉ số quan trọng cho ổn định bề mặt.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

4.1. Kết luận

Các nghiên cứu ứng dụng của các tác giả trong nước về kè sinh thái là bước quan trọng về mặt giải pháp công trình và thủy lợi. Tuy nhiên, để hoàn thiện bức tranh khoa học về kè sinh thái, Việt Nam cần khẩn trương lấp đầy các khoảng trống về Cơ học đất - rễ. Việc định lượng hóa chính xác sức kháng cắt và cơ chế tương tác rễ - đất chính là chìa khóa để thuyết phục các kỹ sư và nhà quản lý thay thế bê tông bằng các giải pháp xanh bền vững.

4.2. Kiến nghị

Để lấp đầy các khoảng trống trên, tác giả kiến nghị:

Về nghiên cứu khoa học: Cần triển khai các đề tài nghiên cứu chuyên sâu về cơ học đất cốt rễ, tập trung xác định bộ thông số (T_r, α, β, RAR) cho các loài cây chủ lực vùng sông nước Việt Nam.

Về tiêu chuẩn: Sớm ban hành "Tiêu chuẩn thí nghiệm xác định tính chất cơ lý của rễ cây". Bổ sung "Tính toán ổn định đất có cốt thực vật" vào các TCVN về thiết kế đê điều, bờ kè.

Về đào tạo: Cập nhật kiến thức về kỹ thuật sinh học đất vào chương trình đào tạo kỹ sư công trình thủy, thể cụ thể đưa nội dung này vào các môn học (Địa kỹ thuật, Công trình bảo vệ bờ, chỉnh trị sông) giúp thay đổi tư duy từ "chinh phục tự nhiên" sang "hợp tác với tự nhiên".

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Nguyễn Hoàng Hanh và cộng sự (2024). *Nghiên cứu cơ sở khoa học và ứng dụng giải pháp sinh thái - thủy lợi nhằm phòng, chống sạt lở bờ sông, kênh, rạch khu vực Tây Nam sông Hậu*. Đề tài KHCN cấp Quốc gia, Mã số: ĐTĐL.CN-97/21.

[2] Hoang Hanh Nguyen, Quoc Huy Nguyen, Minh Duc Nguyen, Quy Manh Do, Ngoc Cuong Le, Van Luan Truong, Thi Mai Sen Tran (2024), *Status of Riverbank Erosion and Proposal of Bioengineering Solution to Prevent Riverbank Erosion in Saline Soils Area. Case Study in Lung Tram River, Tan Hung Tay Commune, Phu Tan District, Ca Mau Province, Viet Nam.* International Journal of Technical & Scientific Research Engineering, ISSN: 2581-9259, Volume 7 Issue 2, May-June 2024

[3] Wu, T. H., McKinnell, W. P., & Swanston, D. N. (1979). "Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska". *Canadian Geotechnical Journal*, 16(1), 19-33.

[4] Pollen, N., & Simon, A. (2005). "Estimating the mechanical effects of riparian vegetation on stream bank stability using a fiber bundle model". *Water Resources Research*, 41(7).

[5] Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam (2017). *Báo cáo thực trạng xói lở, bồi lắng và công trình chống xói lở trên hệ thống sông, kênh rạch, bờ biển ĐBSCL và định hướng các giải pháp bảo vệ, ổn định lâu dài.*