



ENERGY DISSIPATION IN HIGHWAY STEEP CULVERTS - EFFECTIVENESS OF ROUGHNESS ELEMENTS IN BOX CULVERTS

Nguyen Dang Phong*, Hoang Thi Minh Hai

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 28/09/2021

Revised: 09/11/2021

Accepted: 12/11/2021

Published online: 15/12/2021

<https://doi.org/10.47869/tcsj.73.2.4>

* *Corresponding author*

Email: ndphong@utc.edu.vn

Abstract. In the hydraulic design of highway steep culverts in mountainous areas in Vietnam, in addition of determining the size of culverts to drain the design discharge, the design to dissipate part of the energy in the culvert body to reduce the size of the dissipators at downstream of the culverts is also considered. Currently, there are two main solutions to dissipate energy in culvert bodies including 1- two unit broken -back culverts consist of steep slope section at upstream and mild slope section at downstream, 2 - culverts in form of the straight drop structure. Besides, in the world, the solution of adding internal roughness elements throughout the culvert or chute or just prior to the outlet is also applied. In this article, the author presents in detail some commonly used methods of energy dissipation in steep culverts. The advantages and disadvantages of these methods are also analyzed. In addition, the results of empirical research on physical model with the high roughness elements in the downstream culvert, performed at the Laboratory of Hydraulics – Hydrology Departments, University of Transport and Communications also presented.

Keywords: steep culverts, dissipate energy, broken -back culverts, straight drop structure, roughness elements.



NGHIÊN CỨU BIỆN PHÁP TIÊU NĂNG DÒNG CHẢY TRONG THÂN CỐNG ĐỐC TRÊN ĐƯỜNG GIAO THÔNG – BIỆN PHÁP BỐ TRÍ MỐ NHÁM GIA CƯỜNG TRONG THÂN CỐNG

Nguyễn Đăng Phóng*, Hoàng Thị Minh Hải

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 28/09/2021

Ngày nhận bài sửa: 09/11/2021

Ngày chấp nhận đăng: 12/11/2021

Ngày xuất bản Online: 15/12/2021

<https://doi.org/10.47869/tcsj.73.2.4>

* Tác giả liên hệ

Email: ndphong@utc.edu.vn

Tóm tắt. Trong công tác thiết kế cống dốc trên đường giao thông ở khu vực đồi núi nước ta, nhiệm vụ tính toán thủy lực cống ngoài việc xác định khẩu độ cống để đảm bảo thoát hết lưu lượng thiết kế của cống, vấn đề thiết kế cống để đảm bảo triệt tiêu một phần năng lượng dòng chảy trong cống để làm giảm áp lực cho công trình tiêu năng ở hạ lưu cống cần được đặt ra. Để làm giảm năng lượng dòng chảy trong thân cống dốc, hiện nay ở Việt Nam thường áp dụng hai giải pháp thiết kế cống: 1) Bố trí cống có hai độ dốc, đoạn thượng lưu có độ dốc lớn và đoạn hạ lưu có độ dốc nhỏ; 2) Bố trí cống dạng bậc nước. Ngoài hai giải pháp này, trên thế giới còn có giải pháp bố trí công trình tiêu năng hay mố nhám gia cường trên toàn thân cống hoặc ở cuối đoạn cuối cống. Trong bài báo này, tác giả trình bày chi tiết một số phương pháp tiêu năng trong thân cống dốc thường dùng. Từ đó phân tích các ưu điểm, nhược điểm của các phương pháp này. Đồng thời, tác giả trình bày các kết quả nghiên cứu mô hình vật lý về mố nhám gia cường trong thân cống dốc được thực hiện tại phòng thí nghiệm Thủy lực – Thủy văn, Trường đại học Giao thông vận tải.

Từ khóa: cống dốc, tiêu năng, cống có hai độ dốc, bậc nước, mố nhám.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cống ngang có độ dốc lớn trong công trình giao thông thường được xây dựng ở khu vực trung du và miền núi có địa hình dốc. Ví dụ trong dự án đường nội đường cao tốc Nội Bài – Lào Cai đến thị trấn Sa Pa, tỉnh Lào Cai với chiều dài toàn tuyến khoảng 22km có 14 cống dốc được thiết kế. Khi đó dòng chảy trong cống cũng là một dạng dòng chảy trên dốc nước. Năng lượng dòng chảy ở hạ lưu những cống này là rất lớn nên phải xây dựng các công trình tiêu năng giảm nguy cơ gây xói cho hạ lưu. Trong thực tế ở hạ lưu cống có thể không xây dựng được công trình tiêu năng do thiếu mặt bằng (hạ lưu đã/sẽ có công trình xây dựng khác hoặc điều kiện địa hình không đủ để xây dựng...), vì vậy cần có giải pháp tiêu hao năng lượng dòng chảy ngay trong thân cống.

Các phương pháp tiêu năng trong thân cống được áp dụng trong xây dựng công trình giao thông ở Việt Nam có thể kể đến như: 1) Bố trí các đợt cống kiểu bậc nước [1], [2], [3]; 2) Bố trí cống dạng gẫy khúc có độ dốc đáy khác nhau với độ dốc đoạn cửa ra nhỏ (đáy cống có nhiều độ dốc) [1], [2], [4].

Ngoài hai phương pháp bố trí cống để tiêu năng như trên, nhiều nước trên thế giới cũng có các giải pháp tiêu năng trong thân cống khác như bố trí thêm một tường tiêu năng ở đoạn cuối đoạn cống có độ dốc nhỏ của phương pháp thứ hai ở trên [4], [5]; hay bố trí các mỏ nhám gia cường ở gần cửa ra của cống [4], [6], [7], [8], [9]...

Trong bài báo này tác giả trình bày chi tiết một số biện pháp tiêu năng trong thân cống dốc chảy không áp thường dùng. Đặc biệt, bài báo chú trọng đến biện pháp tiêu năng bằng cách bố trí các mỏ nhám gia cường ở đoạn hạ lưu trong thân cống hộp trên đường giao thông, đây là giải pháp tiêu năng có nhiều ưu điểm nhưng chưa được áp dụng ở Việt Nam.

2. MỘT SỐ PHƯƠNG PHÁP TIÊU NĂNG TRONG THÂN CỐNG DỐC TRÊN ĐƯỜNG GIAO THÔNG

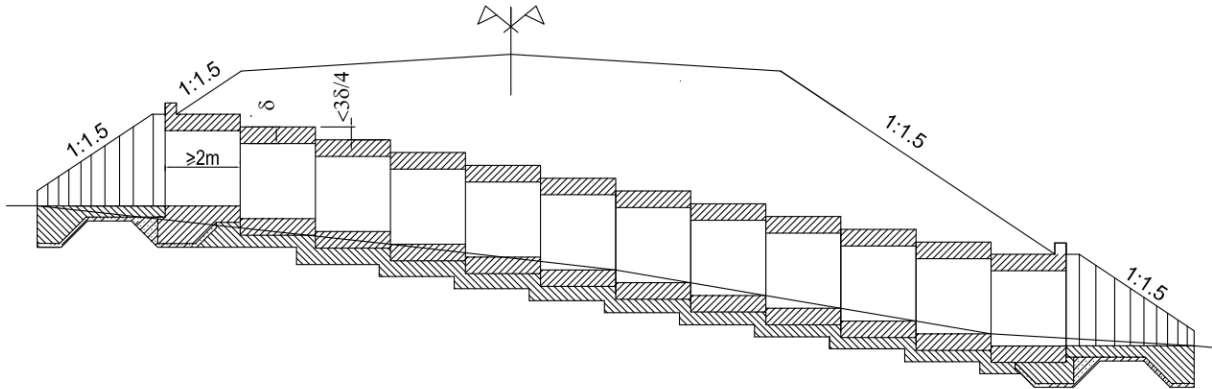
Nhiệm vụ tính toán thủy lực cống đặt trên sườn dốc ngoài việc xác định khẩu độ để thoát hết lưu lượng thiết kế còn phải tính toán bố trí cống sao cho tiêu hao bớt một phần năng lượng dòng chảy, làm giảm lưu tốc ở cửa ra. Các phương án bố trí cống để tiêu năng trong thân cống cần đảm bảo vẫn sử dụng được các kết cấu, cấu kiện cống tiêu chuẩn như đối với công trình cống thông thường (ở Việt Nam thì cống thông thường là cống có độ dốc dưới 5%). Có một số phương án bố trí cống sau đây có tác dụng tiêu hao một phần năng lượng dòng chảy trong thân cống.

2.1. Thân cống bố trí dạng bậc nước

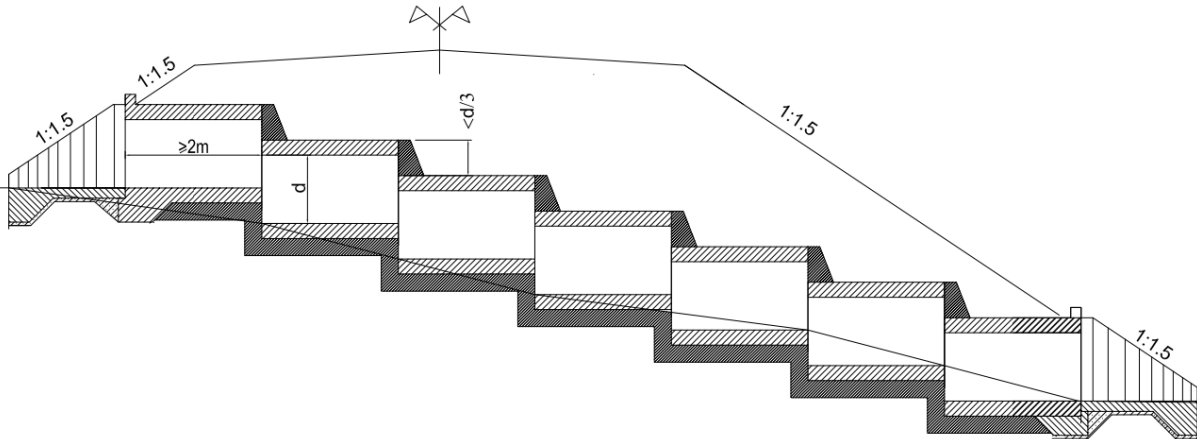
Thân cống bố trí dạng bậc nước nên dùng cống hộp để thuận tiện trong công tác thi công. Với địa hình có độ dốc không thay đổi nhiều có thể bố trí các đợt cống dạng bậc thang đều (có một độ dốc) [1], [2], [3] có chiều dài và chiều cao mỗi bậc thay đổi trong một phạm vi lớn (Hình 1).

Chiều cao mỗi bậc không quá $\frac{3}{4}$ chiều dày đợt cống để đảm bảo chống thấm cho cống (Hình 1a). Nếu bố trí như trên làm số đoạn cống (số bậc) tăng lên nhiều thì chiều cao mỗi bậc có thể lớn hơn chiều dày thành cống lên đến khoảng 70cm – 100cm nhưng không quá $\frac{1}{3}$ chiều cao cống, phần khe hở giữa hai bậc cống được bít lại (Hình 1b). Chiều dài mỗi bậc của cống được tính toán sao cho lưu tốc lớn nhất ở đầu bậc không lớn hơn lưu tốc cho phép của vật liệu làm đợt cống và cuối bậc có năng lượng dòng chảy là nhỏ nhất (có độ sâu cuối bậc

sắp xỉ độ sâu phân giới [10], [11]), tuy nhiên chiều dài mỗi đoạn cống không nên nhỏ hơn 2m để thuận tiện trong công tác thi công và bảo dưỡng sau này.

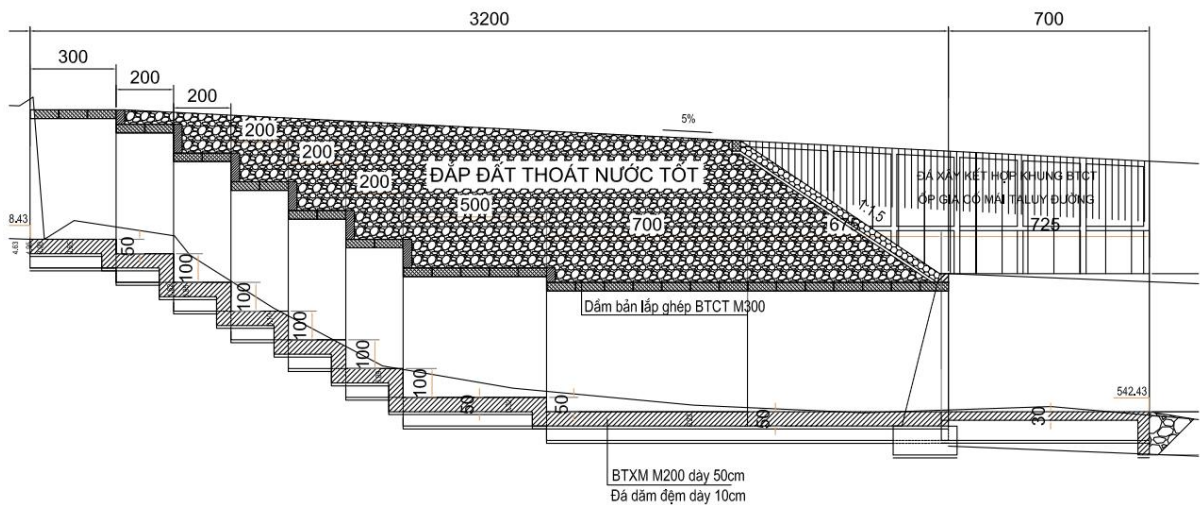


a) Cống bố trí theo kiểu bậc nước với chiều cao mỗi bậc nhỏ hơn $\frac{3}{4}$ chiều dày đốt cống



b) Cống bố trí kiểu bậc nước với chiều cao mỗi bậc lớn (chiều cao không quá $\frac{1}{3}$ chiều cao cống và không quá 80-100cm)

Hình 1. Cống dọc bố trí theo kiểu bậc nước dốc đều.



Hình 2. Cống dọc bố trí theo kiểu bậc nước khi độ dốc đáy thay đổi nhiều (Dự án sửa chữa cầu bản Km124+300, QL 4D, tỉnh Lào Cai năm 2017).

Với địa hình có độ dốc thay đổi nhiều hoặc trong các trường hợp nổi cống khi mở rộng nền đường, các bậc nước có thể bố trí với các đoạn bậc không đều nhau sao cho phù hợp với địa hình (Hình 2).

Ưu điểm:

- Nếu chiều dài mỗi bậc được tính toán phù hợp thì ở cuối bậc độ sâu dòng chảy bằng độ sâu phân giới, như vậy năng lượng ở mặt cắt cuối bậc là nhỏ nhất, chứng tỏ bậc nước có tác dụng tiêu hao hết năng lượng dòng chảy từ các bậc trên đổ xuống.
- Có thể không cần xây dựng công trình tiêu năng ở hạ lưu cống.
- Có độ ổn định chống trượt cao hơn so với công bố trí dạng dốc phẳng.

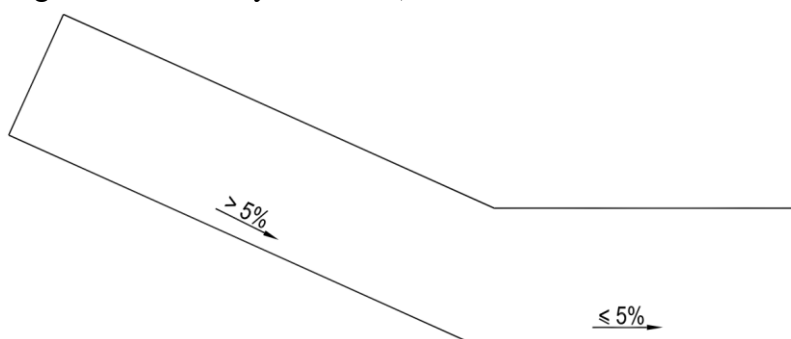
Nhược điểm:

- Công tác thi công khá phức tạp: khó đảm bảo điều kiện chống thấm nước giữa các bậc của công nhất là trong trường hợp chiều cao bậc lớn hơn chiều dày ống cống.
- Giảm chiều cao của công, làm giảm khả năng thoát nước của công.

2.2. Cống dạng máng nghiêng phẳng có 2 độ dốc.

Trong trường hợp độ dốc đặt cống lớn và có sự thay đổi nhiều có thể bố trí cống dạng máng nghiêng có độ dốc thay đổi phù hợp với độ dốc tự nhiên. Đoạn dốc thứ nhất là cống dốc (có độ dốc lớn hơn 5%), đoạn dốc 2 là đoạn cống có độ dốc thông thường (có độ dốc nhỏ hơn 5%) [1], [2], [4] (Hình 3, 4). Trong đoạn cống 1 sẽ có đường nước hạ chảy xiết (đường mặt nước dạng b2) với độ sâu đầu đoạn dốc xấp xỉ độ sâu phân giới h_k và độ sâu cuối đoạn đó tiến tới gần độ sâu chảy đều h_o ($h_o < h_k$). Dòng chảy từ đoạn 1 nối tiếp với dòng chảy ở đoạn 2 sẽ có dạng một đường nước dâng hoặc nước nhảy tùy theo độ dốc và chiều dài đoạn dốc thứ hai:

- Trường hợp thứ nhất: nếu đoạn dốc thứ hai có độ dốc nhỏ hơn độ dốc phân giới và chiều dài đủ lớn (lớn hơn chiều dài đoạn phóng xạ trong nối tiếp bằng nước nhảy xa) thì ở cuối đoạn thứ hai sẽ có hiện tượng nước nhảy. Trong trường hợp này năng lượng dòng chảy sẽ được tiêu hao tương đối lớn bởi nước nhảy (nếu có nước nhảy ổn định thì trong nước nhảy năng lượng dòng chảy sẽ tiêu hao được khoảng 45% đến 47% năng lượng trước nước nhảy [10], [11]).



Hình 3. Cống dạng máng nghiêng phẳng có 2 độ dốc.

- Trường hợp thứ hai: nếu độ dốc đoạn thứ hai lớn hơn độ dốc phân giới (nhưng vẫn nhỏ hơn 5%) hoặc nhỏ hơn độ dốc phân giới nhưng chiều dài nhỏ hơn chiều dài đoạn phóng xạ trong nối tiếp bằng nước nhảy xa thì dòng chảy từ đoạn 1 sẽ nối tiếp với dòng chảy ở đoạn 2 bằng đường nước dâng c2 hoặc c1, cuối đoạn này độ sâu dòng chảy sẽ tăng lên tiến tới gần độ sâu phân giới (khi $i_3 > i_k$) hoặc độ sâu chảy đều (khi i_3

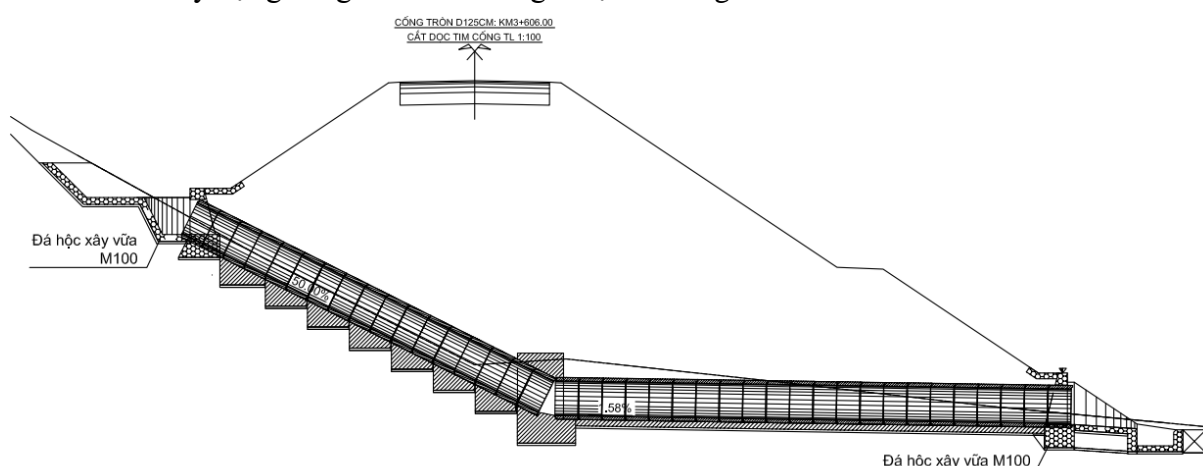
< i_k). Trong trường hợp này hiệu quả tiêu năng không cao vì tiêu hao năng lượng bằng dòng chảy thay đổi dần rất ít, nhưng đoạn dốc 2 cũng làm lưu tốc ở cửa ra của cống giảm được một phần.

Ưu điểm:

- Tương đối đơn giản trong thi công.
- Có thể áp dụng được với cả cống tròn và cống hộp.
- Không làm thay đổi chiều cao cống vì vậy khả năng thoát nước của cống dạng máng nghiêng lớn hơn cống dạng bậc nước.
- Tăng khả năng chống trượt so với cống dạng máng nghiêng có 1 độ dốc.

Nhược điểm:

- Khả năng tiêu hao năng lượng trong thân dốc không lớn.
- Cần xây dựng công trình tiêu năng ở hạ lưu cống.

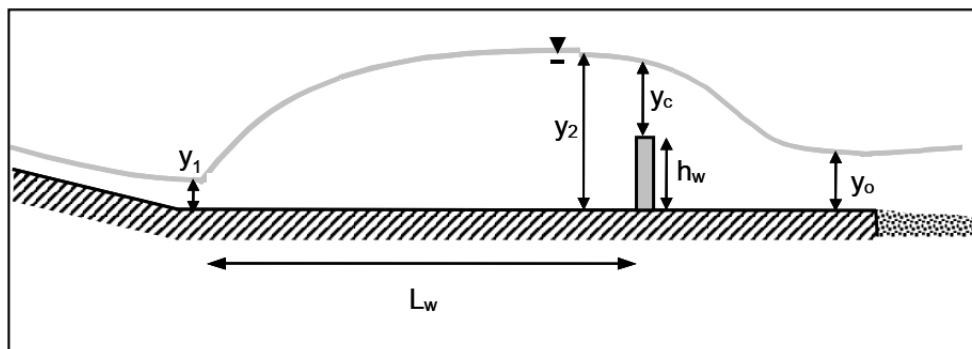


Hình 4. Ví dụ về cống có 2 độ dốc (Cống tại Km3+606 của dự án đường nối đường cao tốc Nội Bài – Lào Cai đến thị trấn Sa Pa, tỉnh Lào Cai).

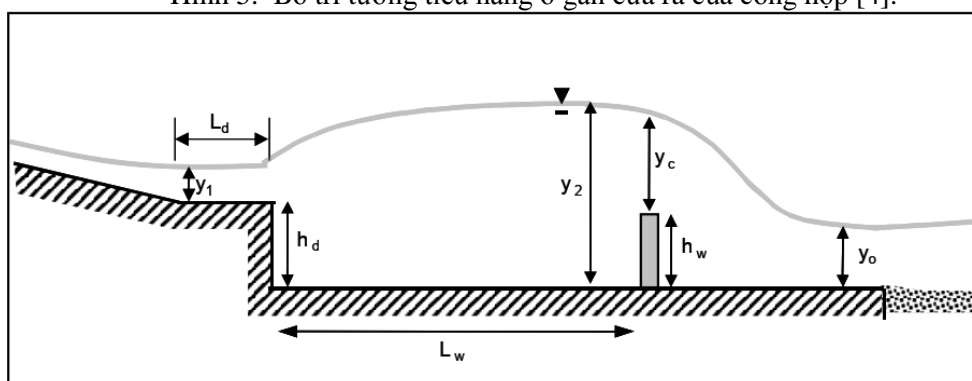
2.3. Cống có thiết bị tiêu năng trong thân cống

Để khắc phục nhược điểm về khả năng tiêu hao năng lượng trong thân dốc của cống có hai độ dốc không lớn, đối với cống hộp ở đoạn cống thứ hai người ta thiết kế độ dốc bằng không và bổ sung một tường tiêu năng ở gần cửa ra [4], [5]. Tường tiêu năng này nằm trong cống và đặt cách cửa cống khoảng 3 m (10 ft). Tường tiêu năng gần ra của cống sẽ tạo ra hiện tượng nước nhảy thủy lực trong các điều kiện dòng chảy nhất định (Hình 5). Do có hiện tượng nước nhảy đã tiêu hao một phần năng lượng dòng chảy nên yêu cầu bảo vệ hạ lưu cống sẽ giảm.

Trong trường hợp làm tường tiêu năng như trên làm cho độ sâu sau nước nhảy tăng lên trên chiều cao của cống hoặc thiết kế đoạn dốc thứ hai nằm ngang không thích hợp có thể thiết kế đoạn cống hai như một bậc nước 1 cấp (tường nước rơi) và cuối của sân bậc (trong cống, trước cửa ra của cống) cũng bố trí một tường tiêu năng (Hình 6). Với dạng công trình như vậy cũng tạo hiệu quả tiêu năng như trường hợp làm tường tiêu năng ở trên.



Hình 5. Bố trí tường tiêu năng ở gần cửa ra của cống hộp [4].



Hình 6. Bố trí bậc nước một cấp kết hợp tường tiêu năng ở gần cửa ra của cống hộp [4].

Ưu điểm:

- Do tạo ra hiện tượng nước nhảy ở gần cửa ra của cống nên sẽ tăng hiệu quả tiêu năng so với cống có hai độ dốc.

Nhược điểm:

- Việc thiết kế bố trí đoạn cống ngang tương đối khó khăn trong điều kiện địa hình có độ dốc lớn.
- Chỉ tạo ra hiện tượng nước nhảy trong điều kiện dòng chảy phù hợp.
- Khi có hiện tượng nước nhảy mạnh có thể làm chiều sâu sau nước nhảy lớn hơn chiều cao cống, khi đó chế độ dòng chảy trong cống sẽ thay đổi (chuyển sang chế độ chảy bán áp hoặc có nước nhảy mặt) không còn đúng với thiết kế ban đầu.
- Thi công tương đối phức tạp.

2.4. Bố trí các mô nhám gia cường trong thân cống

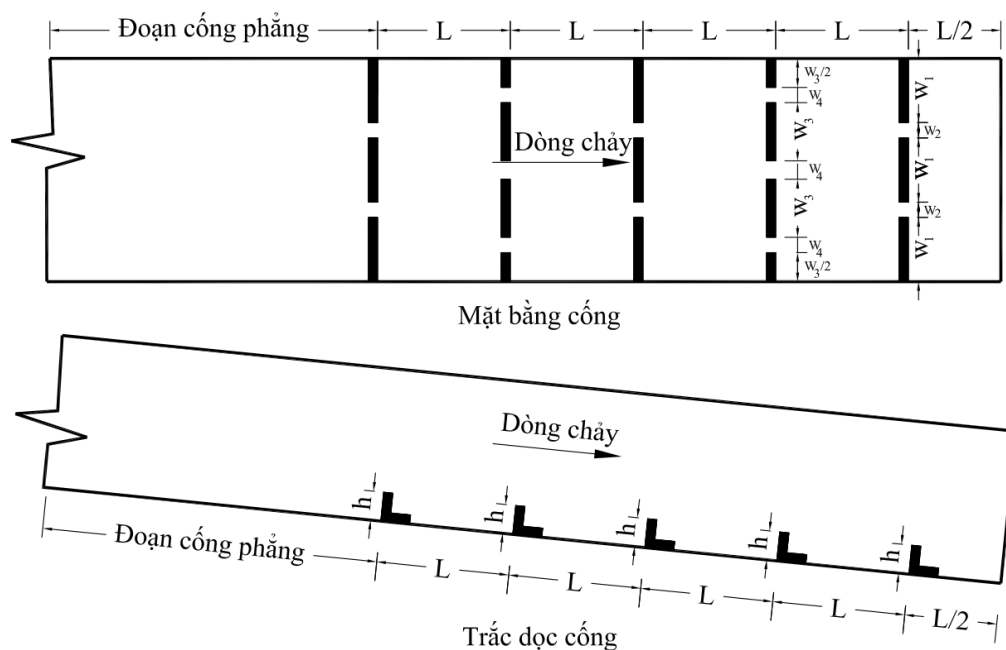
Với các cống bố trí dạng máng nghiêng phẳng có độ dốc lớn (kể cả cống có 1 độ dốc hay nhiều độ dốc), để giảm năng lượng dòng chảy trong cống có thể bố trí các mô nhám trong cống (Hình 7). Các mô nhám này có thể được thiết kế để làm giảm vận tốc trong cống, tạo ra hiện tượng nước nhảy ổn định trong cống (Hình 8). Các mô nhám bên trong cống như vậy có thể được đặt trên toàn bộ chiều dài của cống hoặc là gần cuối trước cửa xả, tùy thuộc vào điều kiện thủy lực và điều kiện đầu ra mong muốn.

Ưu điểm:

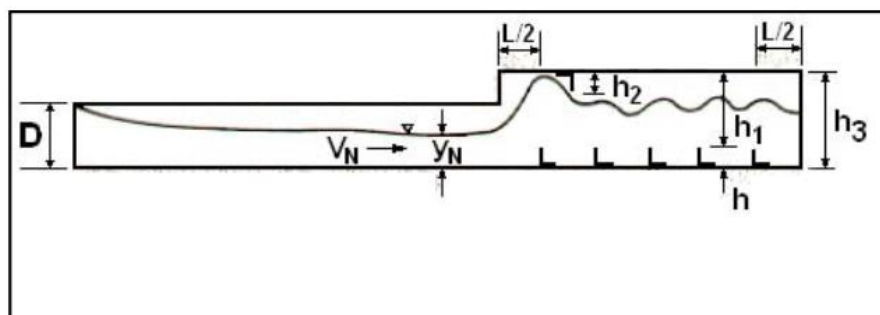
- Tương đối đơn giản trong thi công do đây là dạng cống nghiêng phẳng.
- Hiệu quả tiêu năng cao do có một đoạn mó nhám dài đã tạo ra nước nhảy có chu kỳ và ổn định.
- Chiều cao mó nhám không lớn nên không làm giảm chiều cao cống nhiều, dẫn đến khả năng thoát nước của cống không bị giảm như cống dạng bậc nước.
- Có thể áp dụng được với cả cống tròn và cống hộp.

Nhược điểm:

- Nếu cống đặt ở khu vực có lũ bùn đá có thể xảy ra hiện tượng lắng đọng một phần bùn cát ở khu vực mó nhám, dẫn đến giảm hiệu quả tiêu năng và khó khăn trong công tác duy tu, bảo dưỡng.



Hình 7. Bố trí các mó nhám có khe hở ở đoạn cuối của cống hộp.



Hình 8. Nước nhảy ở đoạn cuối cống khi bố trí các mó nhám [4].

Vấn đề giảm năng lượng dòng chảy trong cống hộp bằng hệ thống mó nhám gia cường tạo nước nhảy trong thân cống được nghiên cứu bởi nhiều tác giả trên thế giới từ những năm 50 của thế kỷ 20. Mohanty (1959), Mohanty và Peterson (1960) [6], Morris (1968, 1969) [7] đã nghiên cứu bố trí các mó nhám gia cường ở đoạn cuối của cống hộp và mương hở tại Học

viện Bách khoa Virginia (VPI). Kết quả nghiên cứu này được giới thiệu trong HEC-14 (2006) [4].

Ngoài các nghiên cứu về bố trí mô nhám trong cống hộp thì các nghiên cứu để bố trí mô nhám trong cống tròn cũng được các nhà khoa học về thủy lực đặt ra. James M. Wiggert và nnk. [8] đề xuất bố trí các mô nhám có dạng hình vành khăn trong cống tròn có độ dốc lớn. A. L. Simon và nnk. [9] nghiên cứu giải pháp giảm năng lượng trong cống tròn có hai độ dốc, độ dốc đoạn thứ hai bằng không có bố trí 03 mô nhám dạng hình vành khăn để tạo ra hiện tượng nước nhảy trong đoạn cống này.

3. NGHIÊN CỨU THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH VẬT LÝ PHẠM VI BỐ TRÍ MÔ NHÁM GIA CƯỜNG TRONG THÂN CỐNG

Thí nghiệm được thực hiện tại phòng thí nghiệm Thủy lực – Thủy văn, Trường Đại học Giao thông vận tải (UTC), thí nghiệm với số mô nhám gia cường khác nhau gắn ở phía hạ lưu cống. Mục đích thí nghiệm là xác định phạm vi hợp lý bố trí mô nhám gia cường trong cống hộp.

3.1. Cơ sở lý thuyết

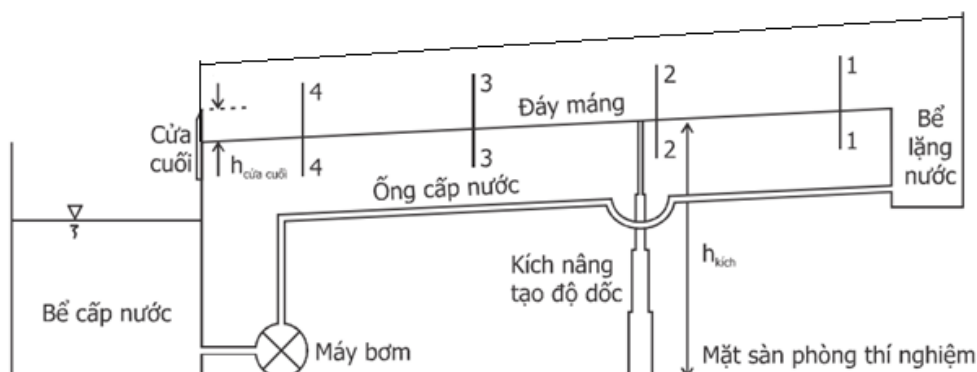
Các đặc trưng quan trắc và tính toán để đánh giá hiệu quả của mô nhám gia cường đến việc giảm năng lượng dòng chảy trong cống gồm:

- Lưu lượng dòng chảy trong máng Q (m^3/s).
- Chiều sâu trung bình dòng chảy h (m) quan trắc dọc mô hình.
- Lưu tốc trung bình dòng chảy v (m/s) được tính từ phương trình liên tục: $V = \frac{Q}{B.h}$, trong đó B là chiều rộng đáy máng (m).
- Số Froude Fr [-]: $Fr = \frac{V}{\sqrt{g.h}}$.
- Cột nước lưu tốc h_v (m) (động năng dòng chảy): $h_v = \frac{V^2}{2.g}$, trong đó g là gia tốc trọng trường (m/s^2).
- Năng lượng đơn vị của dòng chảy E (m): $E = h + h_v$.
- Hiệu quả giảm năng lượng $\cdot E$ (%): $\Delta E = \frac{E_1 - E_2}{E_1} . 100\%$, trong đó: E_1 là năng lượng dòng chảy tương ứng với đáy cống không có mô nhám; E_2 là năng lượng dòng chảy tương ứng với đáy cống có mô nhám.

Khi bố trí mô nhám trong thân cống có độ dốc lớn ($I_{cống} > I_K$), do ảnh hưởng của chiều cao mô nhám trong cống sẽ hình thành nước nhảy, khi có nhiều mô nhám sẽ tạo ra hiện tượng nước nhảy với chu kỳ nhất định, do có nước nhảy tồn thất năng lượng của dòng chảy sẽ tăng lên. Trong trường hợp chiều cao mô nhám nhỏ, trong phạm vi bố trí mô nhám không hình thành nước nhảy (hoặc nước nhảy yếu) thì các mô nhám sẽ làm tăng hệ số nhám của thân cống, sẽ làm tăng tồn thất năng lượng của dòng chảy trong cống. Như vậy việc bố trí mô

nhám trong các trường hợp sẽ đều có tác dụng làm tăng tổn thất năng lượng của dòng chảy trong cống.

3.2. Thiết lập mô hình thí nghiệm



Hình 9. Sơ đồ máng thí nghiệm.

Cấu tạo hệ thống máng kính tuần hoàn có thể thay đổi độ dốc với sơ đồ như hình 9. Chiều dài máng 5m, chiều rộng 0,073m, chiều dài từ cửa cuối đến trực kích 3,3m. Thiết bị đo lưu lượng là ống Venturi gắn trên ống cấp nước.

Để xem xét hiệu quả của các mô nhám trong việc giảm động năng dòng chảy, thí nghiệm được tiến hành với trường hợp có và không có mô nhám gia cường. Mô hình mô nhám được thí nghiệm có chiều cao $h = 10\text{mm}$, các mô nhám đặt vuông góc với dòng chảy và cách nhau $L = 100\text{mm}$ gồm 2 loại: (1) mô nhám không có khe hở; (2) mô nhám có khe hở với cấu tạo chi tiết như hình 7, khoảng cách giữa các khe hở $W_2 = W_4 = h/2 = 0,5\text{mm}$; bề rộng các mô nhám $W_3 = 19\text{mm}$ với hàng mô có 03 khe hở và $W_1 = 21\text{mm}$ với hàng mô có 02 khe hở. Số mô nhám được lắp đặt lần lượt là 5, 10, 15 và 20 từ cuối cống đi lên với cả 2 loại mô.



Hình 10. Ảnh quá trình thí nghiệm.

3.3. Quy trình thí nghiệm

Trước khi tiến hành thí nghiệm cần lắp đặt mô hình thí nghiệm gồm gắn mô nhám lên đáy máng kính, đảm bảo không có rò rỉ nước, tạo độ dốc cần thiết cho mô hình. Sau khi lắp đặt xong mô hình tiến hành bật máy bơm để tạo ra dòng chảy trong máng kính (dòng chảy qua mô hình thí nghiệm), dòng chảy sau khoảng 5 phút sẽ đạt ổn định. Tiến hành đọc kiểm tra

lưu lượng ở lưu lượng kế gắn trên ống đầy, quan sát dòng chảy trong máng kính và đo chiều sâu dòng chảy tại các vị trí khác nhau, đặc biệt chú trọng quan trắc khu vực có mô nhám (Hình 10). Các trường hợp thí nghiệm được tiến hành với cùng 01 cấp lưu lượng lớn nhất của bơm là $Q = 6,83\text{m}^3/\text{h}$ ($0,0019\text{m}^3/\text{s}$) tổ hợp với 04 độ dốc máng từ 2% đến 5%.

3.4. Kết quả nghiên cứu

Bảng 1. Kết quả thí nghiệm và tính toán số Froude, động năng và năng lượng dòng chảy khi không có mô nhám và có số mô nhám khác nhau.

Độ dốc (%)	Không có mô nhám	Mô nhám không có khe hở				Mô nhám có khe hở			
		20 mô	15 mô	10 mô	5 mô	20 mô	15 mô	10 mô	5 mô
Độ sâu trung bình h (m)									
2	0,027	0,058	0,057	0,056	0,050	0,054	0,052	0,051	0,048
3	0,023	0,054	0,050	0,055	0,047	0,048	0,046	0,046	0,044
4	0,021	0,052	0,046	0,049	0,044	0,046	0,044	0,045	0,042
5	0,020	0,051	0,045	0,048	0,042	0,045	0,044	0,044	0,043
Lưu tốc trung bình V (m/s)									
2	0,975	0,452	0,458	0,467	0,523	0,484	0,499	0,506	0,545
3	1,118	0,481	0,525	0,476	0,559	0,540	0,563	0,564	0,594
4	1,219	0,498	0,563	0,529	0,598	0,563	0,592	0,580	0,619
5	1,300	0,510	0,578	0,542	0,619	0,578	0,591	0,591	0,605
Số Froude Fr [-]									
2	1,906	0,601	0,614	0,631	0,748	0,667	0,698	0,712	0,796
3	2,342	0,660	0,753	0,651	0,828	0,785	0,835	0,838	0,907
4	2,664	0,696	0,835	0,762	0,915	0,837	0,903	0,874	0,965
5	2,935	0,721	0,870	0,789	0,965	0,870	0,899	0,899	0,931
Động năng dòng chảy h_v (m)									
2	0,048	0,010	0,011	0,011	0,014	0,012	0,013	0,013	0,015
3	0,064	0,012	0,014	0,012	0,016	0,015	0,016	0,016	0,018
4	0,076	0,013	0,016	0,014	0,018	0,016	0,018	0,017	0,020
5	0,086	0,013	0,017	0,015	0,020	0,017	0,018	0,018	0,019
Năng lượng dòng chảy E (m)									
2	0,075	0,068	0,067	0,067	0,064	0,066	0,065	0,064	0,063
3	0,087	0,066	0,064	0,066	0,062	0,063	0,062	0,062	0,062
4	0,097	0,065	0,062	0,063	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062
5	0,106	0,064	0,062	0,063	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062

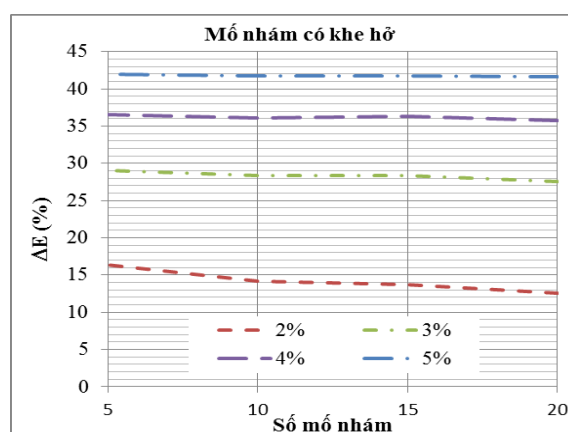
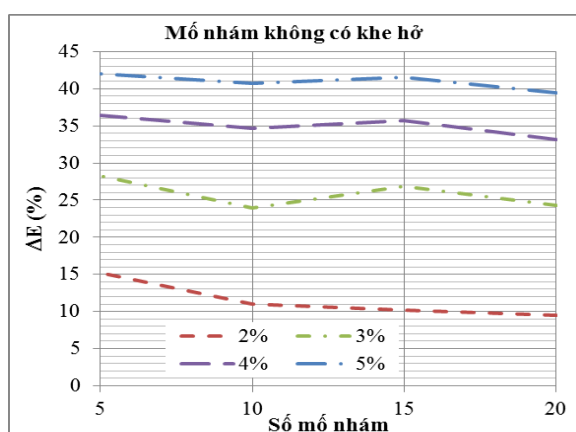
Quan sát dòng chảy trong máng thí nghiệm cho thấy phía thượng lưu đoạn dốc hình thành đường nước dâng (mặt nước gần như nằm ngang), vào đến đoạn cống dốc phẳng (chưa có mô nhám) hình thành đường nước hạ S2 (là dòng chảy xiết), đến cuối đoạn cống dốc phẳng dòng

chảy bị các mố nhám cản trở lại làm độ sâu hạ lưu tăng lên hình thành nước nhảy trong khu vực mố nhám (Hình 10). Như vậy, việc hình thành nước nhảy ở đoạn cuối cống dốc có mố nhám là yếu tố chính làm cho năng lượng dòng chảy bị tiêu tán (đặc biệt là sự tiêu tán động năng dòng chảy).

Từ kết quả quan trắc lưu lượng và độ sâu dòng chảy tại các điểm đo, tiến hành tính toán lưu tốc trung bình, động năng dòng chảy, số Froude, tỷ lệ lưu tốc, tỷ lệ động năng dòng chảy khi có và không có mố nhám. Kết quả thí nghiệm và tính toán lưu tốc trung bình, số Froude, động năng và năng lượng dòng chảy ở cửa ra của cống cho trong bảng 1.

Bảng 2. Kết quả tính toán độ giảm năng lượng dòng chảy khi có số mố nhám khác nhau so với khi không có mố nhám.

Độ dốc (%)	Độ giảm năng lượng dòng chảy $\cdot E$ (%)							
	Mố nhám không có khe hở (A)				Mố nhám có khe hở (B)			
	20 mố	15 mố	10 mố	5 mố	20 mố	15 mố	10 mố	5 mố
2	9,6	10,2	11,1	15,2	12,6	13,7	14,2	16,3
3	24,3	26,9	24,0	28,2	27,6	28,3	28,4	29,0
4	33,2	35,8	34,7	36,4	35,8	36,3	36,1	36,6
5	33,8	36,1	35,1	36,6	36,1	36,3	36,3	36,5
TB	22,3	24,3	23,2	26,6	25,3	26,1	26,2	27,3



Hình 11. Biểu đồ biểu diễn sự giảm năng lượng dòng chảy khi có số mố nhám khác nhau.

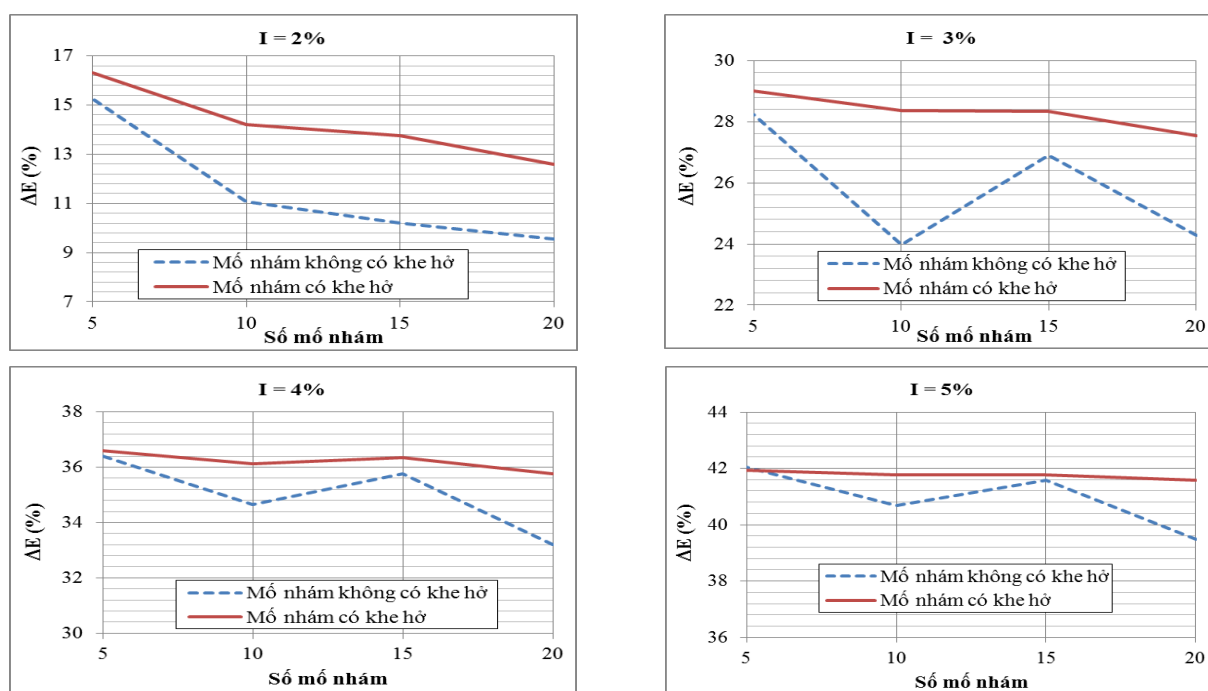
Kết quả tính toán độ giảm năng lượng dòng chảy khi có mố nhám được cho trong bảng 2 và hình 11, hình 12.

3.5. Nhận xét kết quả nghiên cứu

- Với cấp lưu lượng thí nghiệm $0,0019\text{m}^3/\text{s}$ và 04 độ dốc máng $2 \cdot 5\%$ thì khi thí nghiệm với đáy phẳng dòng chảy ở trạng thái chảy xiết $Fr > 1$ (Bảng 1).
- Khi có mố nhám năng lượng dòng chảy sẽ giảm so với trường hợp không có mố nhám, độ dốc càng lớn thì độ giảm năng lượng càng nhiều (Hình 11, Bảng 2). Tuy nhiên với trường hợp độ dốc nhỏ (2%) thì độ giảm năng lượng không đáng kể (lớn nhất là 16,3% khi có 5 mố nhám có khe hở). Như vậy có thể thấy nhám gia cường phù hợp với các

công có độ dốc đáy tương đối lớn (với độ dốc 5% thì độ giảm năng lượng xấp xỉ 35%).

- Mố nhám dạng khe hở có hiệu quả giảm năng lượng tốt hơn mố nhám không có khe hở (Hình 12, Bảng 2). Nguyên nhân là do mố nhám có khe hở dòng chảy được khuếch tán theo cả phương đứng và một phần phương ngang nên hiệu quả tiêu năng tốt hơn mố nhám không có khe hở.
- Khi số mố nhám tăng thì hiệu quả giảm năng lượng gần như không tăng, thậm chí trong một số thí nghiệm còn giảm (Hình 12, Bảng 2 với $I = 2\%$, $I = 3\%$ và 5% khi mố nhám có khe hở). Do vậy ở tài liệu [4] kiến nghị nên sử dụng 5 mố nhám gắn ở cuối công là phù hợp.



Hình 12. So sánh sự giảm năng lượng dòng chảy khi mố nhám không có và có khe hở.

4. KẾT LUẬN

Vấn đề giảm năng lượng trong thân công dốc là vấn đề quan trọng trong xây dựng công trình giao thông ở khu vực địa hình có độ dốc lớn như ở vùng đồi núi nước ta.

Các công trình giao thông ở vùng đồi núi nước ta, nếu xây dựng công dốc chủ yếu áp dụng công dạng bậc nước và công nghiêng phẳng có một hoặc hai độ dốc. Để giảm năng lượng dòng chảy trong thân công, thì giải pháp làm công nghiêng phẳng có hai độ dốc được sử dụng nhiều hơn cả do có ưu điểm là thuận lợi trong công tác thiết kế và thi công. Tuy nhiên giải pháp này hiệu quả tiêu năng không được cao. Giải pháp công dạng bậc nước được sử dụng ít hơn do công tác thi công và bảo dưỡng phức tạp.

Với giải pháp tiêu năng bằng tường tiêu năng trong công hộp và bố trí mố nhám gia cường trong thân công hiện nay chưa được áp dụng trong các công trình công trên đường giao thông ở nước ta.

Với các ưu điểm của công có bố trí mô nhám ở đoạn cuối cống (như dễ thi công, hiệu quả tiêu năng cao, không làm giảm nhiều khả năng thoát nước của cống, ...) thì vấn đề nghiên cứu ứng dụng dạng cống này cần được đặt ra cho công tác thiết kế và thi công cống trên đường giao thông vùng đồi núi ở nước ta.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bộ Giao thông Vận tải, Thiết kế điển hình cống dốc 83 – 02X, Hà Nội, 1983.
- [2]. Trương Xuân Khiêm và nnk, Quy hoạch, thiết kế và xây dựng đường giao thông nông thôn, Nhà xuất bản Giao thông Vận tải, Hà Nội, 1998.
- [3]. Nguyễn Quang Chiêu, Trần Tuấn Hiệp, Thiết kế cống và cầu nhỏ trên đường ô tô, Tái bản có sửa chữa bổ sung, Nhà xuất bản Giao thông Vận tải, Hà Nội, 2004.
- [4]. L. T. Philip, T. K. Roger, Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels – HEC – 14, Federal Highway Administration National Highway Institute, 2006. <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/06086/hec14.pdf>.
- [5]. H. H. Rollin, et al, Energy Dissipation in Culverts by Forced Hydraulic Jump Within a Barrel, Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2005. <https://doi.org/10.1177/0361198105190400113>.
- [6]. D. F. Peterson, P. K. Mohanty, Flume Studies of Flow in Steep Rough Channels, ASCE Hydraulics Journal, HY-9, 1960. https://scholarworks.umass.edu/fishpassage_journal_articles/1443/.
- [7]. H. M. Morris, Design of Roughness Elements for Energy Dissipation in Highway Drainage Chutes, HRR #261, TRB, Washington, D.C, 1969, pp. 25-37. <https://www.semanticscholar.org/paper/Design-of-Roughness-Elements-for-Energy-Dissipation-Morris/09bcbb81cf677ec2d5f6b6c82629e69c5d89c795>.
- [8]. M. W. James, et al, Roughness elements as energy dissipators of free-surface flow in circular pipes, Sponsored by Committee on Surface Drainage of Highways, 1971. <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrr/1971/373/373-006.pdf>.
- [9]. A. L. Simon, et al, Internal Energy Dissipators for Culverts on Steep Slopes with Inlet Control, Transportation Research Record 1151. <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1987/1151/1151-003.pdf>.
- [10]. Nguyễn Cảnh Cẩm và nnk, Thủy lực – tập 2, Tái bản lần thứ ba có chỉnh lý và bổ sung, NXB Nông nghiệp, Hà Nội, 2006.
- [11]. Mai Quang Huy và nnk, Thủy lực, Nhà xuất bản Giao thông Vận tải, Hà Nội, 2020.
- [12]. Nguyễn Đăng Phóng và Hoàng Thị Minh Hải, Nghiên cứu hiệu quả giảm năng lượng trong cống hộp trên đường giao thông bằng nhám gia cường, Kỷ yếu Hội nghị Khoa học công nghệ lần thứ XXII Trường Đại học GTVT, 2020, ISBN: 987-604-76-2272-6.