

PHÂN TÍCH TÁC ĐỘNG CỦA SÓNG LÊN HẦM GIAO THÔNG TREO TRONG MÔI TRƯỜNG NƯỚC

Lê Văn Nam⁽¹⁾, Nguyễn Thị Ngọc Phi⁽²⁾

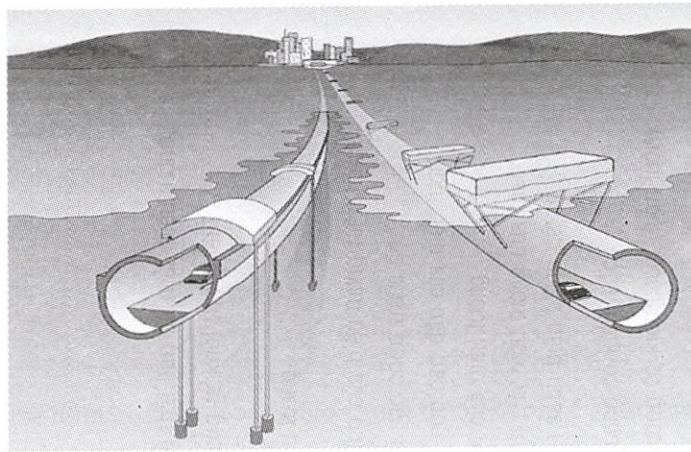
⁽¹⁾Trường Đại Học Bách Khoa ĐHQG TP.HCM, ⁽²⁾ Phân Viện KHCN GTVT Phía Nam

(Bài nhận ngày 9 tháng 3 năm 2005, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 14 tháng 4 năm 2005)

TÓM TẮT: Khi thiết kế hầm giao thông nằm trong môi trường nước, ngoài các yếu tố về tĩnh tải do trọng lượng bản thân hầm, hoạt tải xe thì các tác động do môi trường nước gây ra là những yếu tố có ảnh hưởng lớn đến sự làm việc của hầm. Yếu tố khác biệt của dạng hầm này so với hầm nằm trong đất là do môi trường đất là môi trường tương đối “tĩnh” hơn còn môi trường nước là môi trường động. Vì thế hầm luôn chịu ảnh hưởng của các yếu tố động như: sóng, gió, thủy triều, dòng chảy Các yếu tố này đều gây ra dao động và lực tác động lên hầm mà Morison gọi là lực quán tính, lực cản và lực nâng. Trong giới hạn bài báo này, các tác giả chỉ phân tích, tính toán sự ảnh hưởng của sóng lên đường hầm treo trong nước.

1. GIỚI THIỆU

Trong lịch sử phát triển của các loại hầm, tùy theo môi trường bao quanh hầm mà ta thấy có nhiều dạng hầm khác nhau. Từ thuở xa xưa người ta đã biết phá đá để làm hầm xuyên qua đá, đây là một môi trường rất cứng. Tiếp theo đá là hầm nằm trong đất, là môi trường tương đối ổn định. Với trình độ khoa học ngày càng phát triển, người ta có thể đặt hầm trong môi trường yếu hơn như đất yếu (hầm Thủ Thiêm đã khởi công tại Việt Nam). Trên thế giới trong thời gian gần đây đã xuất hiện ý tưởng làm hầm treo trong nước như các nghiên cứu ở Na-Uy, Ý, Nga, Nhật ...[3].



Hình 1 : Hầm treo trong nước

Một trong những yếu tố đặt ra sự quan tâm lo ngại cho các nhà khoa học là hầm sẽ làm việc như thế nào trong môi trường có nhiều biến động như vậy. Trong phạm vi của nghiên cứu này tác giả sẽ đưa ra cách xác định các lực do sóng tác động lên hầm nằm trong nước để làm cơ sở cho việc lựa chọn kết cấu hầm thích hợp.

2. TÓM TẮT LÝ THUYẾT VỀ SÓNG

2.1 Sóng tuyến tính:

Các phương trình cơ bản của chuyển động chất lỏng là phương trình liên tục và phương trình Euler có dạng sau [1]:

$$\Delta\phi = \frac{\partial^2\phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\phi}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial\phi}{\partial t} + \frac{1}{2}(\text{grad}\phi)^2 + \frac{p}{\rho} + gz = 0 \quad (2)$$

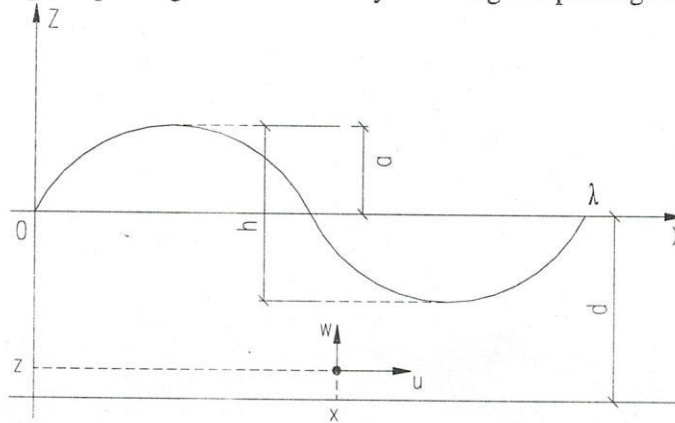
Với: p: Áp suất thủy động, $p = p(x,z,t)$

ρ : Mật độ chất lỏng

g: Gia tốc trọng trường

Xét chuyển động của sóng phẳng dựa trên hình 2, trong đó mặt sóng được biểu diễn bằng phương trình: $z = \zeta(x,t)$ (3)

Mặt nước tĩnh ứng với phương trình $z=0$ và đáy biển ứng với phương trình $z=-d$



Hình 2: Một sóng điều hoà

Một phần tử ở tọa độ (x,z) có dịch chuyển theo phương x và z tương ứng là u, w và vận tốc tương ứng là [2]:

$$\dot{u} = \frac{\partial u}{\partial t} \quad ; \quad \dot{w} = \frac{\partial w}{\partial t} \quad (4)$$

Để xác định vận tốc và gia tốc chất lỏng ta lập các điều kiện biên sau:

a- Ở đáy biển $z=-d$, thành phần vận tốc thẳng góc với đáy biển bằng 0:

$$\frac{\partial\phi}{\partial z} = 0 \quad \text{với } z = d \quad (5)$$

b- Ở mặt tự do $z = \zeta(x,t)$, thành phần vận tốc theo phương đứng có dạng:

$$g \frac{\partial\phi}{\partial z} = \frac{\partial^2\phi}{\partial t^2} = 0 \quad \text{với } z = 0 \quad (6)$$

c- Ở mặt tự do $z = \zeta(x,t)$, áp suất p bằng hằng số và lấy bằng 0:

$$\frac{\partial\phi}{\partial t} + g\zeta = 0 \quad \text{với } z = 0 \quad (7)$$

Từ các điều kiện biên và các lý thuyết về chất lỏng tìm được phương trình sóng và các thành phần vận tốc chất lỏng ở tọa độ x, z do sóng gây ra:

$$\xi(x,t) = ae^{-j(kx-\omega t)}$$

$$u = \frac{agk}{\omega} \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd} e^{-j(kx-\omega t)} = \frac{ak}{\omega} \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd} \xi(x,t) \quad (8)$$

$$\dot{w} = j \frac{agk}{\omega} \frac{\sinh k(z+d)}{\cosh kd} e^{-j(kx-\omega t)} = j \frac{gk}{\omega} \frac{\sinh k(z+d)}{\cosh kd} \xi(x,t) \quad (9)$$

và các thành phần gia tốc:

$$\ddot{u} = jagk \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd} e^{-j(kx-\omega t)} = jgk \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd} \xi(x,t) \quad (10)$$

$$\ddot{w} = -agk \frac{\sinh k(z+d)}{\cosh kd} e^{-j(kx-\omega t)} = -jk \frac{\sinh k(z+d)}{\cosh kd} \xi(x,t) \quad (11)$$

Trong đó: Chiều dài sóng: $\lambda = \frac{2\pi}{k} \quad (12)$

Chu kỳ dao động: $T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (13)$

Các công thức từ (8) đến (11) dùng để xác định vận tốc và gia tốc của chất lỏng do sóng gây ra. Các thành phần này là các hàm số phụ thuộc vào biên độ sóng, chu kỳ sóng, chiều dài sóng và độ sâu mực nước.

2.2 Sóng ngẫu nhiên

Thực tế sóng chủ yếu gây ra bởi gió, mà gió là đại lượng luôn thay đổi tạo nên nhiều sóng có biên độ khác nhau, phương truyền khác nhau làm cho sóng nước không còn là sóng điều hòa mà là một trường quá trình ngẫu nhiên.

Theo lý thuyết về độ tin cậy, với độ tin cậy nhất định nào đó người ta rút ra các thông số về sóng ứng với độ tin cậy đó.

Trong tính toán thường dùng các thông số về chiều cao sóng có ý nghĩa và chu kỳ sóng có ý nghĩa để tính toán.

Chiều cao sóng có ý nghĩa: là chiều cao trung bình của 1/3 sóng cao nhất trong các sóng.

Chu kỳ sóng có ý nghĩa: là trung bình của các chu kỳ của 1/3 sóng cao nhất trong các sóng.

Sau khi xác định được các thông số của sóng ngẫu nhiên thay vào các công thức (8) – (11) sẽ xác định được vận tốc và gia tốc dòng chảy do sóng gây ra.

3. TẢI TRỌNG SÓNG TÁC DỤNG LÊN HẦM

3.1. Các lực do sóng tác động lên hầm

Dựa trên phương trình của Morison viết về sóng tác dụng lên thân của hình trụ, A.H Mousselli đã áp dụng công thức này trong trường hợp hầm nằm ngang như sau:

Lực do chất lỏng tác dụng lên hầm có thể phân ra làm 3 lực: lực thứ nhất là *lực quán tính* F_1 , gây ra do gia tốc các phần tử chất lỏng hoặc là do sự chuyển động của chất lỏng bị cản lại bởi hầm

nằm trong nước. Lực thứ 2 là lực cản do ma sát giữa chất lỏng và hầm F_d . Ngoài ra lực tách xoáy làm cho lực ngang biến đổi chu kỳ theo phương thẳng góc tạo thành lực nâng F_L . Gọi F là lực do chất lỏng tác dụng lên 1 đơn vị chiều dài của hầm [2].

$$F = F_i + F_d + F_L \tag{14}$$

$$F_i = \rho C_m (A/4) \left(\frac{du}{dt} \right) \tag{15}$$

$$F_d = \frac{1}{2} \rho C_D D U_e^2 \tag{16}$$

$$F_L = \frac{1}{2} \rho C_L D U_e^2 \tag{17}$$

Trong đó : F_i : Lực ma sát trên đơn vị chiều dài hầm
 F_d : Lực cản trên đơn vị chiều dài hầm
 F_L : Lực nâng trên đơn vị chiều dài hầm
 ρ : Trọng lượng riêng của nước
 D : Kích thước ngang lớn nhất của mặt cắt ngang hầm vuông góc với phương dòng chảy

A : Diện tích mặt cắt ngang của hầm
 U_e : Vận tốc tương đối (có hiệu) của nước theo phương ngang tại vị trí có hầm
 du/dt : Gia tốc của nước chuyển động theo phương ngang tại vị trí tiếp xúc với hầm
 C_D : Hệ số lực cản
 C_m : Hệ số quán tính
 C_L : Hệ số nâng

- Xác định C_D :

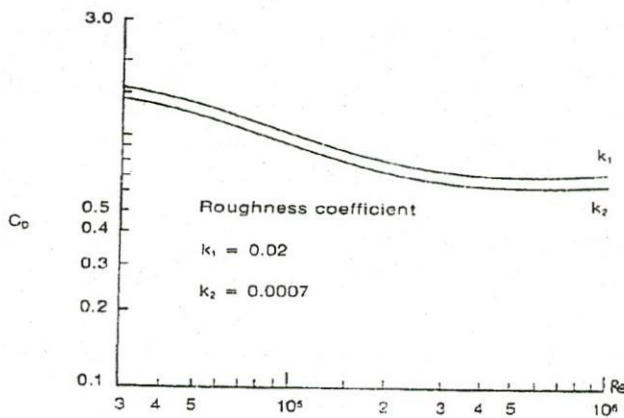
Trong điều kiện dòng chảy ổn định thì C_D phụ thuộc vào hệ số Reynolds và bề mặt của hầm.

Số Reynolds được định nghĩa :
$$R_e = \frac{U_e D}{\nu}$$

ν : Tính nhớt động của nước; đối với nước biển ta có
 $\nu = 1 \cdot 10^{-5} \text{ ft}^2 / \text{sec} = 9.26 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2 / \text{sec}$

Hệ số nhám k của bề mặt hầm: $k = e/D$ (cm/cm)

e: Chiều cao của độ nhám



Hình 3. Cách xác định C_D phụ thuộc Re và k

Mặc dù hệ số cản C_D được tính cho dòng chảy đều nhưng công thức này vẫn được dùng cho dòng chảy “động” liên hệ đến sóng bằng cách lựa chọn dòng chảy có vận tốc lớn nhất bao quanh hầm để tính toán.

- Xác định C_M, C_L

Theo nghiên cứu và khảo sát, C_M nói chung thay đổi từ 1.5 ÷ 2.5 phụ thuộc vào số Reynolds R_e

Bảng 1 : Bảng kiến nghị các hệ số C_M, C_D, C_L theo R_e

| R_e | C_D | C_L | C_M |
|---|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| $R_e < 5.0 \times 10^4$ | 1.3 | 1.5 | 2.0 |
| $5.0 \times 10^4 < R_e < 1.0 \times 10^5$ | 1.2 | 1.0 | 2.0 |
| $1.0 \times 10^5 < R_e < 2.5 \times 10^5$ | $1.53 - R_e / (3 \cdot 10^5)$ | $1.2 - R_e / (5 \cdot 10^5)$ | 2.0 |
| $2.5 \times 10^5 < R_e < 5.0 \times 10^5$ | 0.7 | 0.7 | $2.5 - R_e / (5 \cdot 10^5)$ |
| $5.0 \times 10^5 < R_e$ | 0.7 | 0.7 | 1.5 |

Ghi chú : Bảng trên dùng trong trường hợp bề mặt hầm có độ nhám nhỏ.

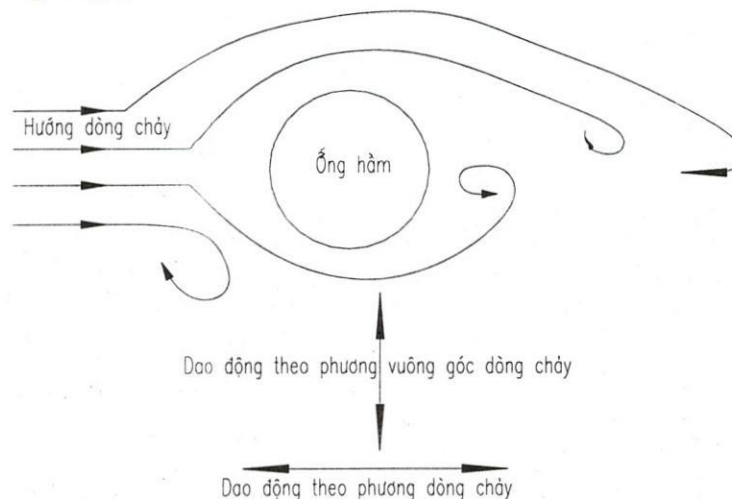
Thay các đại lượng $C_D, C_L, C_M \dots$ vào công thức (15) – (17) và (14) ta tính được F_i, F_d, F_L và lực F.

3.2. Ảnh hưởng của dòng xoáy (dao động do sóng)

Khi dòng nước chảy qua hầm, xoáy nước sẽ xuất hiện phía sau hầm. Những xoáy nước này sinh ra bởi dòng chảy không đều và không ổn định phía sau. Sự rơi của xoáy gây ra sự thay đổi của áp suất nước tác động lên thành hầm.

Tần số xoáy phụ thuộc đường kính hầm và vận tốc dòng chảy. Nếu tần số xoáy trùng với tần số chuyển động tự nhiên của nhịp hầm thì cộng hưởng xảy ra và nhịp hầm sẽ bị hư hại.

Dao động của đường hầm có thể xảy ra theo hướng dòng chảy hoặc hướng vuông góc dòng chảy trong đó dao động xảy ra theo hướng vuông góc dòng chảy là nguy hiểm nhất. Dao động theo phương dòng chảy nói chung ít nguy hiểm hơn.

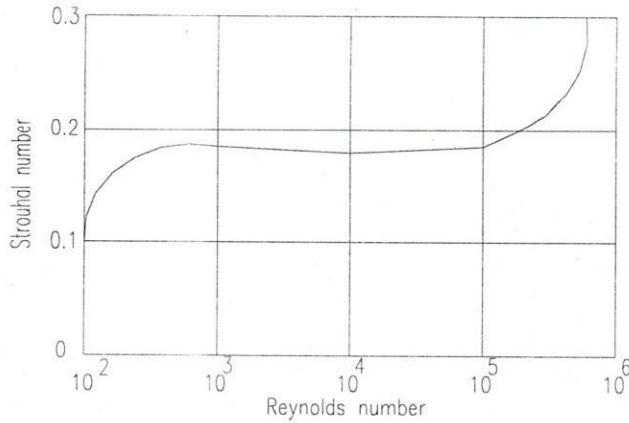


Hình 4

Sự hư hại của hầm do chuyển động xoáy này có thể ngăn chặn được nếu như tần số xoáy không trùng với tần số dao động tự nhiên một khoảng nào đó. Khi đó dao động của hầm là nhỏ nhất.

Tần số dao động của xoáy [2] : $f_s = \frac{SV}{D}$ (18)

- S : Số Strouhal
 V : Vận tốc dòng chảy
 D : Đường kính vỏ hầm hoặc chiều cao của tiết diện ngang hầm
 Số Strouhal là một hàm của số Reynolds (như hình vẽ 5)



Hình 5

Hoerner chứng minh rằng Strouhal number có thể liên hệ với hệ số cản bằng quan hệ sau đây:

$$S = \frac{0.21}{(C_D)^{0.75}} \quad (19)$$

Trong trường hợp thông thường thì $S=0.2$.

Tần số tự nhiên của nhịp hầm phụ thuộc vào độ cứng của hầm, điều kiện gối tựa 2 đầu nhịp hầm, chiều dài nhịp và tải trọng [2]:

$$f_n = \frac{C}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{M}} \quad (20)$$

- EI : Độ cứng của hầm
 L : Chiều dài nhịp hầm
 M : Khối lượng tổng cộng của hầm / đơn vị chiều dài
 C : Hằng số phụ thuộc điều kiện biên của nhịp

Ví dụ : Nếu 2 đầu nhịp là gối giản đơn $C = \pi^2/4$, nếu là ngàm $C = 3.5$.

Cho mục đích thiết kế, để không xảy ra cộng hưởng người ta thường chọn các thông số của hầm sao cho :

$$f_s \leq 0.7 f_n \quad (21)$$

4. KẾT LUẬN

Đường hầm treo trong nước làm việc trong điều kiện hết sức phức tạp, chịu các tải trọng: trọng lượng riêng của đường hầm và các thiết bị, hoạt tải của xe, áp lực nước, ảnh hưởng của dòng chảy, gió, thủy triều. Ngoài các tác động trên, kết cấu đường hầm còn chịu tác động của sóng. Cách tính toán sự ảnh hưởng của sóng lên kết cấu đường hầm đi trong nước được trình bày trong bài báo này nhằm mục đích làm phong phú thêm tài liệu tham khảo cho các nhà chuyên môn quan tâm đến lĩnh vực này.

ANALYZING THE IMPACT OF WAVE ON SUBMERGED FLOATING TUNNEL

Le Van Nam ⁽¹⁾, Nguyen Thi Ngoc Phi ⁽²⁾

⁽¹⁾ University of Technology – VNU – HCM

⁽²⁾ Research Institute of Transportation Science & Technology, Branch – Institute in HCMC

ABSTRACT: *When designing the submerged floating tunnel, beside the dead load and the vehicle load, the environment (water surround) has an important impact on the submerged floating tunnel. It differs from soil (static environment) because water is a movable environment. Therefore the submerged floating tunnel is affected by many movable factors such as: wave, wind, flow, tide They cause oscillation and forces to the tunnel as Morison called: inertia force, drag force and lift force. In this paper, the authors only analyze and calculate the effect of wave to submerged floating tunnel.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Xuân Hùng, *Động lực học công trình biển*, NXB KHKT (1997)
- [2]. A.H. Mousselli, *Offshore Pipeline design analysis and method*, NXB Penn Well (1981)
- [3]. L.V.Makobxkii, *Thiết kế đường hầm ô tô và đường hầm thành phố*, Nxb Gtvt Matxcova (1993) (Bản Tiếng Nga)