

ĐẬP BÊ TÔNG VÀ BÊ TÔNG CỐT THÉP

CHƯƠNG 1. ĐẬP BÊTÔNG TRỌNG LỰC

Biên soạn: PGS.TS Nguyễn Chiến

§1.1 PHÂN LOẠI ĐẬP VÀ CÁC YÊU CẦU THIẾT KẾ

I. PHÂN LOẠI ĐẬP

Trong chương này trình bày các kiến thức về đập bê tông trọng lực trên nền đá. Đập trọng lực là loại đập có khối lượng lớn và được duy trì ổn định nhờ trọng lượng bản thân đập. Có thể phân loại đập theo nhiều cách khác nhau.

1. Theo chiều cao đập. Chiều cao đập và loại nền là một trong các tiêu chuẩn dùng để phân cấp đập và công trình đầu mối.

Theo tài liệu của thế giới, đập thường phân thành:

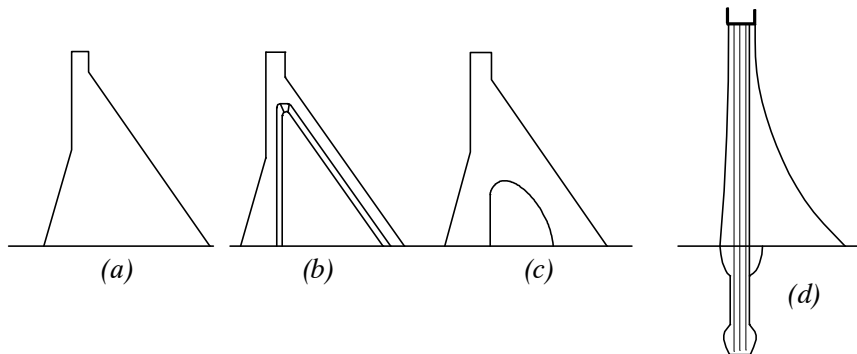
- a. *Đập cao*: có chiều cao $H_d \geq 70\text{m}$;
- b. *Đập cao trung bình*: $30\text{m} \leq H_d < 70\text{m}$.
- c. *Đập thấp*: $H_d \leq 30\text{m}$.

Theo Nghị định 209/2004/NĐ-CP, cấp của đập bê tông trên nền đá như sau:

- Đập cấp đặc biệt : $H_d > 150\text{m}$.
- Đập cấp I: $100\text{m} \leq H_d < 150\text{m}$.
- Đập cấp II: $50\text{m} \leq H_d < 100\text{m}$.
- Đập cấp III: $15\text{m} \leq H_d < 50\text{m}$.
- Đập cấp IV: $H_d < 15\text{m}$.

2. Theo kết cấu mặt cắt ngang đập, có các loại:

- a. Đập trọng lực đặc (hình 1 - 1a);
- b. Đập trọng lực khe rỗng (hình 1 - 1b);
- c. Đập trọng lực có khoét lỗ lớn ở sát nền (hình 1 - 1c);
- d. Đập có neo vào nền (hình 1 - 1d).



Hình 1-1. Kết cấu mặt cắt ngang đập bê tông trọng lực

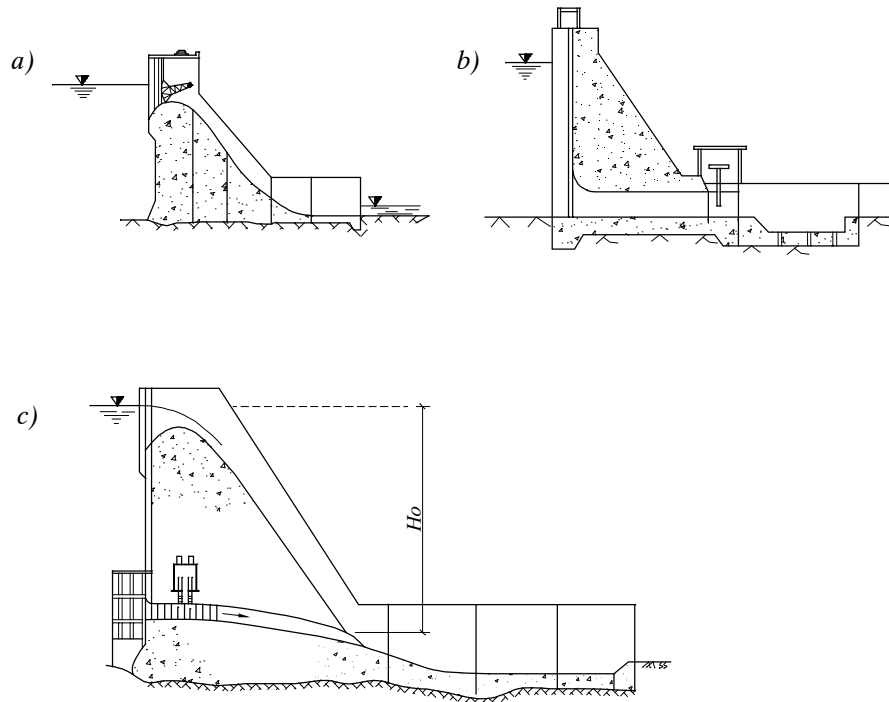
a) Đập đặc; b) Đập có khe rộng; c) Đập có khoét lỗ lớn ở sát nền; d) Đập có neo vào nền.

3. Theo chức năng của đập:

a. *Đập trọng lực không tràn*: Đập có chức năng chắn nước, không cho nước tràn qua (hình 1- 1).

b. *Đập trọng lực tràn nước*: đập có chức năng vừa chắn dâng nước, vừa cho tràn nước qua. Có thể phân biệt:

- Đập tràn mặt: tràn tự do hoặc có cửa van (hình 1 - 2a).
- Đập có lỗ xả sâu: lỗ xả ở lưng chừng, hoặc dưới đáy đập (sát nền), hình 1 - 2b.
- Đập kết hợp tràn mặt và xả sâu (hình 1 - 2c).



Hình 1 - 2. Các hình thức đập trọng lực tràn nước

a- Tràn mặt; b- Xả sâu; c-Kết hợp tràn mặt + xả sâu.

4. Theo dạng bố trí đập trên mặt bằng

Đập bê tông thường là loại kết hợp các đoạn đập tràn và không tràn trên cùng một tuyến. Tùy theo điều kiện địa hình, địa chất và yêu cầu mở rộng diện tràn nước, có thể bố trí tuyến đập theo các dạng sau:

a. *Đập tuyến thẳng*: khi địa chất nền cho phép, và khi chiều dài tuyến đủ để bố trí đoạn tràn nước.

b. *Đập tuyến cong, sử dụng khi*:

- Địa chất nền có chỗ yếu, không cho phép bố trí tuyến thẳng;
- Cần mở rộng diện tràn (bố trí tuyến cong lùi về thượng lưu).

II. CÁC YÊU CẦU THIẾT KẾ ĐẬP

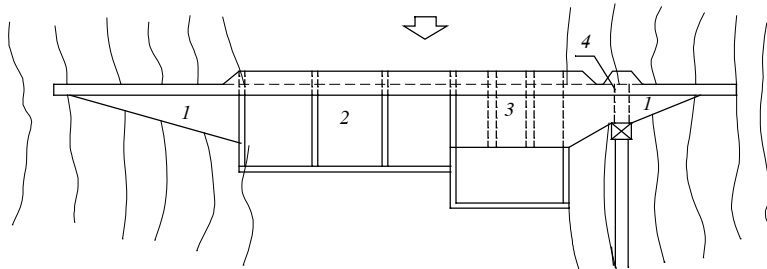
Khi thiết kế đập bê tông trọng lực, phải tuân theo đầy đủ các yêu cầu về kỹ thuật và kinh tế, cơ bản như sau:

1. Đập phải thoả mãn các nhiệm vụ thiết kế đặt ra (dâng nước, tràn nước, lợi dụng tổng hợp).
2. Đập phải đảm bảo ổn định trong mọi điều kiện thi công, quản lý khai thác và sửa chữa.
3. Đập phải đủ độ bền, chống các tác động phá hoại của ngoại lực, tải trọng nhiệt, biến hình nền và ảnh hưởng của môi trường, đảm bảo tuổi thọ theo quy định.
4. Bố trí mặt bằng và kết cấu đập phải thoả mãn các điều kiện thi công, quản lý vận hành, sửa chữa, đảm bảo mỹ quan.
5. Đập phải có tính hiện đại, áp dụng các công nghệ thiết kế, thi công và quản lý tiên tiến phù hợp với điều kiện tại chỗ và xu hướng phát triển của địa phương.
6. Giá thành đập phải hợp lý, phù hợp với nhiệm vụ của nó và với các điều kiện tại nơi xây dựng.

§1.2 BỐ TRÍ ĐẬP BÊ TÔNG TRỌNG LỰC TRONG CỤM ĐẦU MỐI

Trong cụm công trình đầu mối thường có đập dâng, đập tràn và các công trình khác để thoả mãn điều kiện khai thác công trình và bảo vệ môi trường (cống lấy nước, nhà máy thủy điện, âu thuyền hay công trình nâng tàu, đường thả bè, đường cá đi, công trình phục vụ du lịch...).

Với đập bê tông trên nền đá, thường kết hợp đập dâng và đập tràn trên cùng một tuyến. Đập tràn thường bố trí ở đoạn lòng sông để tránh làm biến đổi quá nhiều đến điều kiện nối tiếp dòng chảy ở hạ lưu so với khi chưa có đập, còn phần đập không tràn thường bố trí ở 2 đầu tuyến, nơi tiếp giáp với bờ.



Hình 1.3. Ví dụ về bố trí mặt bằng đập bê tông trên nền đá.

1- Đập không tràn; 2- Tràn mặt; 3- Xả đáy; 4- Cống lấy nước.

Điều kiện địa chất đóng một vai trò quan trọng trong việc bố trí mặt bằng. Nói chung, khi bố trí đập trong cụm công trình đầu mối cần thoả mãn các điều kiện sau đây:

1. Chọn tuyến đập có địa chất nền và 2 vai tốt, tránh các vị trí nứt gãy hoặc mềm yếu cục bộ, phải xử lý phức tạp.

2. Khi các tuyến có điều kiện địa chất như nhau, nên chọn tuyến đập thẳng, nơi lòng sông thu hẹp để giảm khối lượng công trình. Chỉ trừ trường hợp cần mở rộng diện tràn nước thì mới làm tuyến đập cong lồi lên thượng lưu.

Cũng có thể chọn tuyến đập gãy khúc khi phải né tránh các vùng có địa chất yếu cục bộ.

3. Bố trí đập tràn phải phù hợp với điều kiện tháo lưu lượng thi công và phương pháp thi công.

4. Khi trên cùng một tuyến có bố trí nhiều hạng mục khác nhau (đập tràn, nhà máy thủy điện, âu thuyền...) cần phải phân tích để chọn vị trí đặt thích hợp cho từng hạng mục để giảm nhỏ ảnh hưởng của việc tháo lũ qua tràn đến sự làm việc bình thường của các hạng mục công trình khác. Trong nhiều trường hợp, cần bố trí tường ngăn cách đủ dài ở hạ lưu để thoả mãn yêu cầu này.

5. Khi tháo lũ thiết kế, cần huy động đến khả năng tháo một phần lưu lượng lũ qua các công trình khác trong cụm đầu mối như nhà máy thủy điện, âu thuyền, đường thả bè... Ngoài ra cũng có thể xem xét khả năng cho tràn nước trên đỉnh nhà máy thủy điện.

Lưu lượng cần xả qua đập tràn được xác định như sau:

$$Q_{tr} = Q_{th} - \alpha Q_0, \quad (1-1)$$

trong đó:

Q_{th} - lưu lượng cần tháo, xác định theo kết quả tính toán điều tiết lũ;

Q_0 - tổng khả năng tháo qua các công trình khác như trạm thủy điện, cống lấy nước, âu thuyền, đường thả bè...

α - hệ số lợi dụng các công trình khác để tháo lũ, có thể lấy $\alpha = 0,75 - 0,90$ (xét đến trường hợp không phải tất cả các tổ máy thủy điện đều làm việc, các cửa van xả có thể bị sự cố cửa van...).

6. Khi bố trí mặt bằng đập, cần nghiên cứu tổng thể bài toán nối tiếp dòng chảy ra hạ lưu trong điều kiện khai thác bình thường và khi tháo lũ, để đảm bảo điều kiện không xói lở bờ và đáy lòng dẫn ở hạ lưu.

§1.3. MẶT CẮT ĐẬP BÊTÔNG TRỌNG LỰC

I. CÁC YÊU CẦU KHI TÍNH TOÁN MẶT CẮT ĐẬP

1. Điều kiện ổn định:

Đập phải đảm bảo điều kiện ổn định chống trượt:

$$K_t \geq K_{cp}, \quad (1-2)$$

trong đó:

K_t - hệ số an toàn ổn định chống trượt (xem §1.4);

K_{cp} - hệ số an toàn ổn định cho phép, phụ thuộc vào cấp của đập và tổ hợp tải trọng, xác định theo tiêu chuẩn hiện hành.

Khi tính đập theo trạng thái giới hạn, trị số K_{cp} có thể xác định theo công thức:

$$K_{cp} = \frac{n_c k_n}{m}, \quad (1-3)$$

trong đó:

n_c - hệ số tổ hợp tải trọng; $n_c = 1,0$ với tổ hợp tải trọng cơ bản; $n_c=0,9$ với tổ hợp tải trọng đặc biệt và $n_c = 0,95$ với tổ hợp tải trọng thi công, sửa chữa.

k_n - hệ số tin cậy, phụ thuộc vào cấp công trình, tra theo tiêu chuẩn hiện hành.

m - hệ số điều kiện làm việc. Đối với đập bê tông trọng lực trên nền đá, trị số m lấy như sau:

+ Khi mặt trượt đi qua các khe nứt trong đá nền: $m = 1,0$.

+ Khi mặt trượt đi qua mặt tiếp xúc giữa bê tông và đá hoặc đi trong đá nền có một phần qua các khe nứt, một phần qua đá nguyên khối: $m = 0,95$.

2. Điều kiện cường độ

- Ứng suất nén lớn nhất ở mép đập không được vượt quá khả năng chịu nén của vật liệu hoặc của nền:

$$N_1 \leq R_n, \quad (1-4)$$

trong đó: R_n - cường độ chịu nén tính toán của vật liệu hoặc nền.

- Tại mép đập, đặc biệt ở mép thượng lưu khi hồ đầy nước không cho phép phát sinh ứng suất kéo:

$$N'_2 \geq 0, \quad (1-5)$$

trong đó: N'_2 - ứng suất chính nhỏ nhất tại biên thượng lưu đập (ứng suất nén mang dấu dương, còn ứng suất kéo mang dấu âm).

Trong những điều kiện nhất định, cho phép phát sinh ứng suất kéo, nhưng trị số tuyệt đối của nó không được vượt quá cường độ chịu kéo của vật liệu hay nền:

$$|N'_2| < R_k, \quad (1-6)$$

trong đó: R_k là cường độ chịu kéo tính toán của vật liệu hay nền.

3. Điều kiện kinh tế: mặt cắt đập phải có diện tích nhỏ nhất sau khi đã thoả mãn 2 điều kiện trên.

4. Điều kiện sử dụng: mặt cắt đập còn cần phải thoả mãn các yêu cầu trong sử dụng, vận hành như cần có đường giao thông trên đỉnh đập, có đường hầm trong thân đập để đi lại kiểm tra, sửa chữa, đặt các thiết bị quan trắc thí nghiệm, bố trí các hành lang thoát nước... Ngoài ra, còn phải lưu ý đến việc tạo dáng kiến trúc đẹp của công trình.

Để thoả mãn yêu cầu nêu trên, khi thiết kế mặt cắt ngang đập thường tiến hành theo 2 giai đoạn:

1. Giai đoạn xác định mặt cắt cơ bản: dựa vào các yêu cầu ổn định, ứng suất, kinh tế tiến hành tính toán chọn mặt cắt cơ bản của đập.

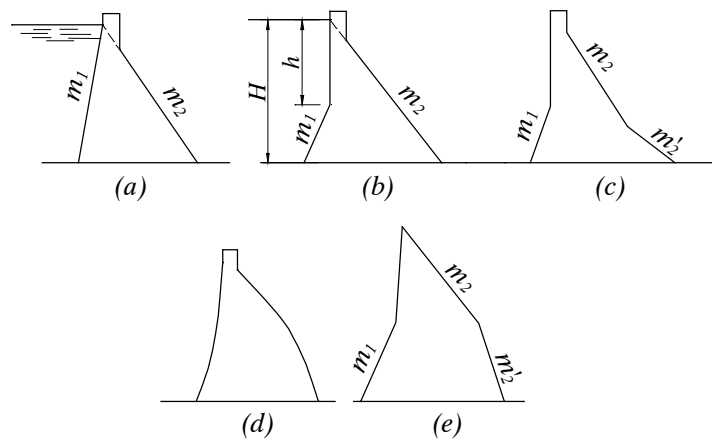
2. Giai đoạn xác định mặt cắt thực dụng: theo các yêu cầu về sử dụng như giao thông, dẫn tháo nước, kiểm tra, sửa chữa.... mà bố trí thêm các phần cấu tạo đỉnh đập, các đường ống tháo, lấy nước trong thân đập, hệ thống đường hầm và hành lang trong thân đập, bộ phận nối tiếp với hạ lưu của đập tràn...

Sau khi đã tu chỉnh, thêm bớt các bộ phận trên đập, cần tiến hành tính toán ổn định và phân tích ứng suất để kiểm tra điều kiện bền của đập.

II. TÍNH TOÁN MẶT CẮT CƠ BẢN CỦA ĐẬP

1. Hình dạng mặt cắt cơ bản

Mặt cắt cơ bản của đập bê tông trọng lực có nhiều dạng như trên hình 1-4.



Hình 1-4. Các dạng mặt cắt cơ bản của đập bê tông trọng lực

a. *Mặt cắt ngang đập có dạng hình tam giác* có hệ số máng thượng lưu là m_1 , hạ lưu là m_2 (hình 1-4a). Đây là dạng cổ điển nhất của mặt cắt đập, nó phù hợp với tình hình chịu lực của đập (áp lực nước xô ngang cũng có biểu đồ phân bố dạng tam giác). Việc chọn $m_1 \neq 0$ nhằm lợi dụng thêm một phần trọng lượng nước đè lên máng thượng lưu làm tăng thêm ổn định cho đập.

b. *Mặt cắt ngang đập dạng đa giác* (hình 1-4 b, c, d, e): tùy theo các điều kiện chịu lực cụ thể (cao trình bùn cát, mực nước hạ lưu, áp lực sóng gió...) mà có thể sử dụng một trong các dạng này để tăng tính hợp lý (tận dụng hết khả năng chịu lực của vật liệu tại mỗi mặt cắt, giảm khối lượng đập...). Dạng mặt cắt trên hình 1-4b là khá hợp lý, được sử dụng nhiều nhất, dễ bố trí kết hợp giữa phần đập tràn và không tràn, thuận tiện cho việc bố trí bộ đặt lưới chắn rác và cửa van của ống tháo nước dưới sâu.

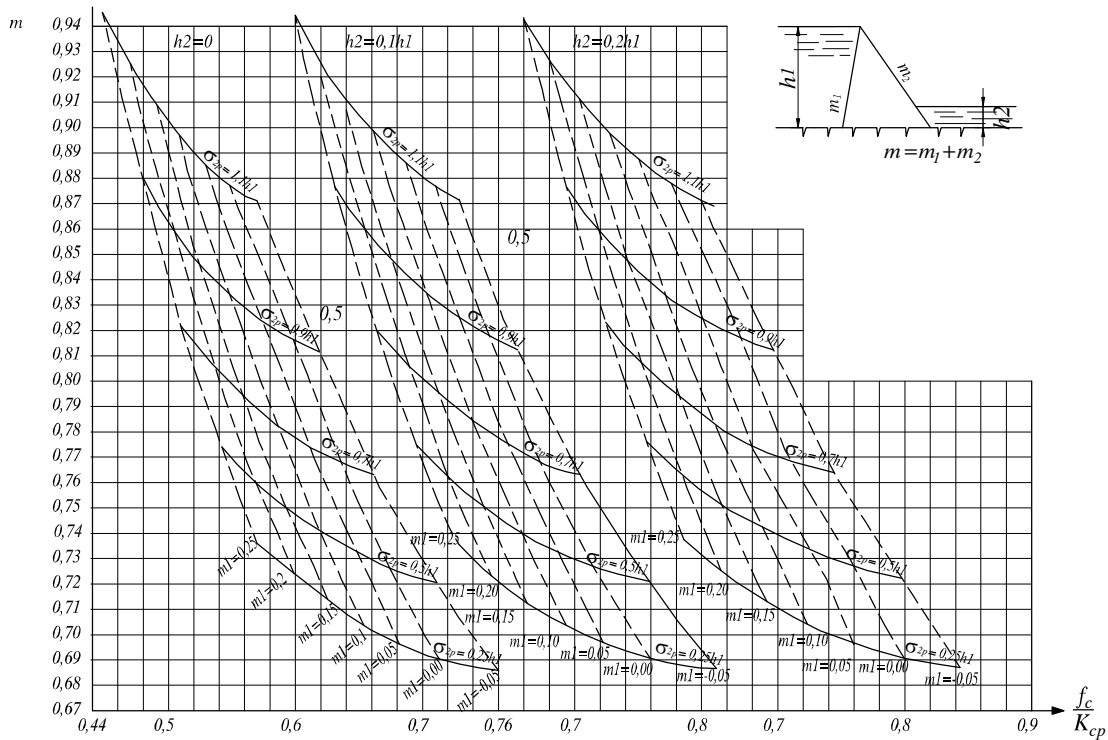
2. Xác định mặt cắt kinh tế (mặt cắt cơ bản) của đập không tràn

a. *Mặt cắt dạng tam giác, $h_2 \neq 0$* : Với các đập có chiều cao không lớn, có thể sơ bộ xác định nhanh mặt cắt kinh tế theo các biểu đồ lập sẵn tham khảo trong quy phạm Liên Xô CH123-60 (hình 1-5). Các biểu đồ này được thiết lập dựa trên các giả thiết sau:

- Mặt cắt đập dạng tam giác có hệ số máng thượng lưu là m_1 , hệ số máng hạ lưu là m_2 ;

- Mức nước thượng lưu ngang đỉnh của tam giác; chiều sâu nước thượng lưu là h_1 , chiều sâu nước hạ lưu là h_2 ;
- Trọng lượng riêng của bê tông: $\gamma_1 = 2,4 \times 10^4 \text{ N/m}^3$; của nước $\gamma = 1,0 \times 10^4 \text{ N/m}^3$.
- Có xét đến cả áp lực đẩy nổi và áp lực sóng.

Biểu đồ này là kết quả tính toán cho nhiều đập với các tham số biến đổi là trị số h_2/h_1 , ứng suất nén lớn nhất không chế ở mép thượng lưu N_1' , hệ số mái thượng lưu m_1 , chỉ tiêu kháng cát của nền và hệ số an toàn cho phép f_c/K_{cp} . Kết quả tính toán sẽ xác định được hệ số mái hạ lưu m_2 hợp lý, thoả mãn các điều kiện ổn định, cường độ và kinh tế.



Hình 1-5. Biểu đồ dùng để sơ bộ chọn mặt cắt kinh tế đập dạng tam giác.

Trong biểu đồ, trị số f_c là chỉ tiêu kháng cát của nền:

$$f_c = \operatorname{tg} \varphi + \frac{c}{\sigma}, \quad (1-7)$$

trong đó $\operatorname{tg} \varphi$ và c là các đặc trưng chống cắt: $\operatorname{tg} \varphi$ được xem như hệ số ma sát, còn c như là lực dính đơn vị trên mặt bị cắt; σ - trị số ứng suất nén trung bình ở đáy đập, khi xét cho 1 đơn vị chiều dài đập (bài toán phẳng), ta có: $\sigma = \Sigma P/B$, với ΣP - tổng lực đứng, B - bề rộng đáy mặt cắt.

Trị số ứng suất nén lớn nhất ở biên thượng lưu N_1' được khống chế (có dự trữ an toàn) bằng các trị số $1,1\gamma h_1 \div 0,2\gamma h_1$. Nếu trị số thực tế nằm giữa các khoảng này thì có thể dùng phép nội suy để xác định trị số $(m_1 + m_2)$ cần thiết.

Ví dụ: một đập có $h_1 = 60$ m; $h_2 = 6$ m; ứng suất nén lớn nhất ở mặt thượng lưu khống chế không lớn hơn $0,25\gamma h_1$ (tức 15×10^4 N/m²), trị số $\text{tg}\varphi = 0,62$; $c = 20 \times 10^4$ N/m²; $\sigma = 70 \times 10^4$ N/m²; $f_c = \text{tg}\varphi + c/\sigma = 0,91$; $K_{cp} = 1,21$; $f_c/K_{cp} = 0,75$. Tra biểu đồ ứng với $h_2 = 0,1h_1$ được: $m_1 = 0$; $m_1 + m_2 = 0,69$, tức $m_2 = 0,69$.

b. Mặt cắt dạng tam giác, $h_2 = 0$

Trường hợp này, có thể tính trực tiếp bề rộng đáy đập B theo chiều cao đập h_1 tương ứng với các điều kiện ứng suất và ổn định như sau:

- Điều kiện cường độ: khống chế ứng suất theo phương thẳng đứng tại mép biên thượng lưu để đập khi hồ đầy nước $\sigma_y' = 0$ sẽ giải ra được:

$$B = \frac{h_1}{\sqrt{\frac{\gamma_1}{\gamma}(1-n) + n(2-n) - \alpha_1}}, \quad (1-8)$$

trong đó:

γ_1 - trọng lượng riêng của vật liệu thân đập;

γ - trọng lượng riêng của nước;

α_1 - hệ số cột nước thấm còn lại sau màn chống thấm;

n - tỷ lệ giữa chiều dài hình chiếu bằng của mái đập thượng lưu so với toàn bộ bề rộng đáy đập B.

Quan hệ giữa n và hệ số mái thượng lưu m_1 như sau:

$$n = m_1 \cdot \frac{h_1}{B} \quad (1-9)$$

Trong thực tế thường chọn trị số $m_1 \geq 0$ vì, nếu $m_1 < 0$ thì sẽ khó khăn trong việc bố trí thi công mặt thượng lưu đập và đập “chúi về thượng lưu” như vậy thì sẽ sinh ứng suất kéo ở mép hạ lưu khi hồ chưa tích nước (mới thi công xong), hoặc khi mực nước hồ rút xuống thấp nhất (thời kỳ khai thác).

Trong trường hợp $m_1 = 0$ (tức $n = 0$), ta có:

$$B = \frac{h_1}{\sqrt{\frac{\gamma_1}{\gamma} - \alpha_1}}. \quad (1-10)$$

Khi đó, hệ số mái hạ lưu của mặt cắt đập là:

$$m_2 = \frac{1}{\sqrt{\frac{\gamma_1}{\gamma} - \alpha_1}}. \quad (1-11)$$

- Điều kiện ổn định. Từ việc khống chế hệ số an toàn về ổn định $K = K_{cp}$, rút ra được công thức xác định bề rộng đáy đập theo điều kiện ổn định như sau:

$$B = \frac{K_{cp} h_1}{f_c \left(\frac{\gamma_1}{\gamma} + n - \alpha_1 \right)} \quad (1-12)$$

trong đó: f_c - hệ số kháng cắt của mặt tiếp xúc giữa đập và nền, xác định theo tài liệu khảo sát địa chất nền; trị số K_{cp} xác định theo (1-3); các ký hiệu khác như đã nêu trên.

Trong thiết kế, chọn B theo trị số lớn trong 2 kết quả tính theo (1-8) và (1-12).

Với nền đá có hệ số kháng cắt f_c nhỏ thì trị số B theo điều kiện ổn định sẽ lớn hơn nhiều so với điều kiện ứng suất. Khi đó nên chọn n thiên lớn nhằm lợi dụng trọng lượng khối nước trên mái để tăng ổn định cho đập. Tuy nhiên, mái thượng lưu quá thoải sẽ không có lợi cho việc khống chế ứng suất kéo ở mép thượng lưu đập. Trị số giới hạn của n thỏa mãn đồng thời 2 điều kiện cường độ và ổn định (công thức 1-8 và 1-12) tìm được từ phương trình sau:

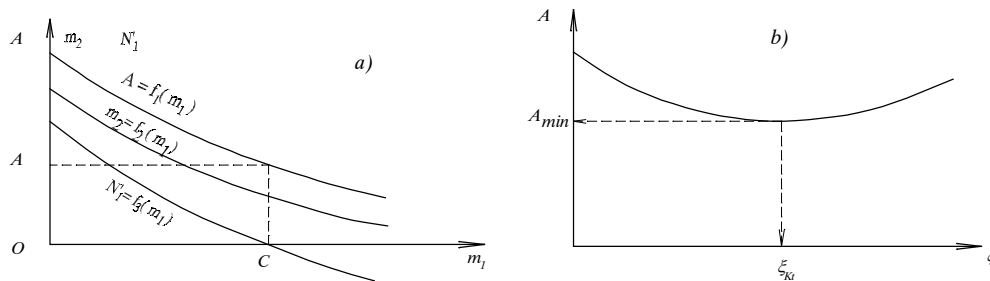
$$\left(1 + \frac{K_{cp}^2}{f^2} \right) n^2 + \left[\frac{\gamma_1}{\gamma} \left(\frac{K_{cp}^2}{f^2} + 2 \right) - 2 \left(\frac{K_{cp}^2}{f^2} + \alpha_1 \right) \right] n + \left[\left(\frac{\gamma_1}{\gamma} \right)^2 - \frac{\gamma_1}{\gamma} \left(\frac{K_{cp}^2}{f^2} + 2\alpha_1 \right) + \alpha_1 \left(\frac{K_{cp}^2}{f^2} + \alpha_1 \right) \right] = 0 \quad (1-13)$$

c. Mặt cắt dạng đa giác:

Cách tính toán sau đây giành cho dạng mặt cắt trên hình 1-4b. Cần xác định các đại lượng ξ , m_1 , m_2 sao cho mặt cắt đập đồng thời thỏa mãn các điều kiện cường độ, ổn định và có diện tích nhỏ nhất. Việc tính toán tiến hành theo các bước sau:

- Giả thiết một loạt các trị số ξ , ví dụ $\xi = 0; 0,1; 0,2; \dots$

- Với mỗi trị số ξ , lại giả thiết nhiều trị số m_1 . Dựa vào yêu cầu ổn định chống trượt $K_t = K_{cp}$ tính được số m_2 tương ứng, tức lập được quan hệ $m_2 = f(m_1)$ như trên hình 1-6a.



Hình 1-6. Các biểu đồ để xác định mặt cắt kinh tế dạng đa giác

a) Các đường quan hệ $A \sim m_1$, $m_2 \sim m_1$, $N_1' \sim m_1$ ứng với một giá trị ξ .

b) Biểu đồ chọn trị số ξ của mặt cắt kinh tế.

- Ứng với mỗi cặp (m_1, m_2) của bước trên, tiến hành tính toán ứng suất chính ở mép biên đập và lập quan hệ $N_1' = f(m_1)$, xem hình 1-6a.

- Cũng với mỗi cặp m_1, m_2 đó, tính được diện tích A của mặt cắt cơ bản và thiết lập đường quan hệ $A = f(m_1)$; xem hình 1-6a.

- Dựa vào các đường quan hệ trên hình 1-6a, chọn được một cặp trị số m_1, m_2 (ứng với một giá trị của ξ) vừa thỏa mãn yêu cầu ổn định, cường độ và cho diện tích mặt cắt đập nhỏ nhất A (ứng với điểm C trên trục Om_1 , hình 1-6a).

- Với các trị số ξ khác cũng lặp lại các bước tương tự. Cuối cùng lập được quan hệ $A \sim \xi$ như trên hình 1-6b. Từ quan hệ này xác được điểm A_{\min} và tìm được trị số ξ tương ứng. Truy ngược lại các kết quả tính ở các bước trên, ta xác định được các trị số m_1, m_2 của mặt cắt kinh tế.

III. XÁC ĐỊNH MẶT CẮT THỰC TẾ CỦA ĐẬP TRỌNG LỰC

1. Đập không tràn

a. *Cao trình đỉnh đập*: Với đập không tràn, cần đảm bảo để sóng do gió từ hồ chứa không vượt qua đỉnh, với một độ dự trữ cần thiết. Cao trình đỉnh đập xác định theo các công thức sau đây.

$$Z_{d1} = MNDBT + \Delta h + \eta_s + a; \quad (1-14)$$

$$Z_{d2} = MNLTK + \Delta h' + \eta_s' + a'; \quad (1-15)$$

trong đó:

MNDBT - mực nước dâng bình thường trong hồ;

MNLTK - mực nước lũ thiết kế;

$\Delta h, \Delta h'$ - độ dềnh của tâm sóng trên mực nước tính toán, tính tương ứng với gió lớn nhất $V_{p\%}$ và gió bình quân lớn nhất V_{bqmax} .

η_s, η_s' - độ cao lớn nhất của đỉnh sóng khi gặp vật chắn thẳng đứng, tính tương ứng với $V_{p\%}$ và V_{bqmax} như đã nêu trên.

a, a' - các chiều cao dự trữ, phụ thuộc vào cấp công trình, xác định theo quy phạm.

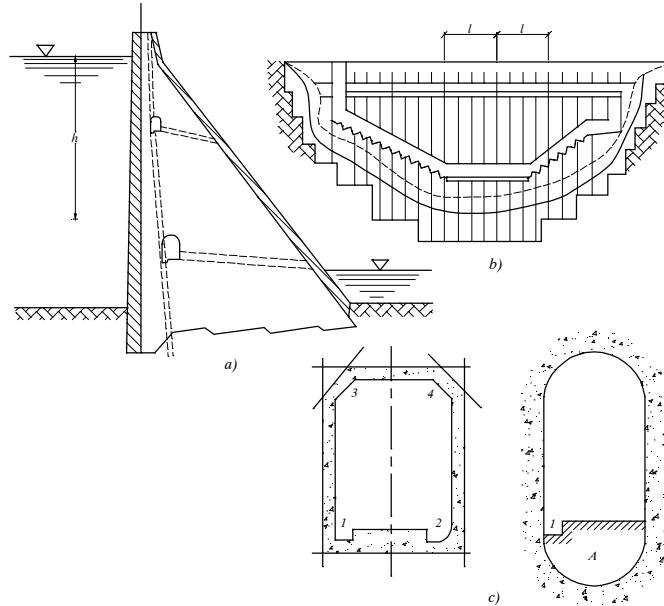
Cao trình đỉnh đập được chọn là trị số max (Z_{d1}, Z_{d2}). Ngoài ra, còn cần đảm bảo mực nước lũ kiểm tra không vượt quá đỉnh đập, tức:

$$Z_d \geq MNLKT. \quad (1-16)$$

b. *Chiều rộng đỉnh đập*. Chiều rộng mặt đỉnh đập b xác định theo điều kiện thi công, theo yêu cầu sử dụng đỉnh đập làm đường cho người và xe cộ qua lại trong thời kỳ khai thác, và cho các mục đích khác nếu có. Nói chung mặt đập không được nhỏ hơn 2 mét. Ngoài ra, hai bên mặt đỉnh đập cần bố trí hệ thống lan can phòng hộ, các cột đèn chiếu sáng v.v...

c. *Bố trí hệ thống hành lang trong thân đập*. Hệ thống này bao gồm các hành lang dọc và ngang thân đập để đi lại kiểm tra sự làm việc của các giếng tiêu nước và trạng thái bê tông thân đập, đặt các đường ống, các thiết bị đo kiểm tra, để tiến hành phun xi măng vào các khớp nối, để thi công màn chống thấm dưới nền, và để tiến hành các công tác phục hồi sửa chữa sau này.

Theo chiều cao đập, các tầng hành lang cần bố trí cách nhau 15 - 20m. Các tầng được liên thông với nhau bởi hành lang chạy vòng theo mặt nền, từ bờ trái sang bờ phải. Về nguyên tắc, phải thiết kế hành lang dọc thấp nhất cao hơn mực nước kiệt hạ lưu để đảm bảo việc tháo nước tự chảy. Trong trường hợp mực nước kiệt hạ lưu khá cao, phải đặt hành lang thấp hơn thì cần dự kiến việc bơm thoát nước ra.



Hình 1-7. Bố trí hệ thống hành lang trong thân đập

a) Cắt ngang đập; b) Cắt dọc đập; c) Các dạng mặt cắt hành lang

Khoảng cách b_1 từ mặt cắt thượng lưu đập đến mặt thượng lưu của hành lang dọc cần lấy không nhỏ hơn 2m và thỏa mãn điều kiện:

$$b_1 \geq \frac{h}{J_{cp}},$$

trong đó:

h - cột nước tính đến cao trình đáy hành lang;

J - gradien cột nước cho phép của bê tông đập.

Đối với đập trọng lực thường lấy $J_{cp} = 20$. Điều này không áp dụng đối với đập có lớp chống thấm ở mặt chịu áp.

Kích thước của các hành lang thường chọn như sau:

* Đối với hành lang tập trung nước, kiểm tra, bố trí thiết bị đo và các loại đường ống:

- Chiều rộng: $b_h \geq 1,2$ m;

- Chiều cao: $h_h \geq 2,0$ m.

* Đối với hành lang phục vụ ở gần nền, kích thước của nó cần chọn sao cho thỏa mãn điều kiện đặt, vận hành và di chuyển máy khoan phục, thường chọn như sau:

- Chiều rộng: $b_h \geq 2 \div 2,5$ m;

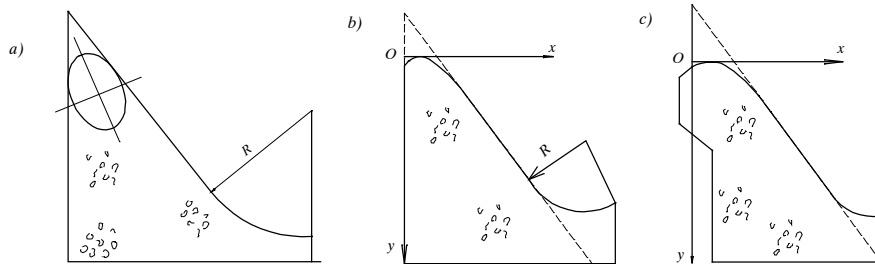
- Chiều cao: $h_n \geq 3 \div 3,5$ m.

Các yêu cầu khác về cấu tạo xem ở §1-7.

2. Đập tràn nước

Mặt cắt thực tế của đập tràn cũng được chọn xuất phát từ mặt cắt cơ bản, có thêm bớt một số phần cho phù hợp với điều kiện tháo nước và nối tiếp dòng chảy ở hạ lưu.

a. *Đỉnh đập*: Đỉnh đập tràn có thể cấu tạo theo dạng không chân không hay có chân không (đầu tràn dạng tròn, elíp). Loại mặt cắt có chân không tuy có tăng được hệ số lưu lượng của tràn, nhưng làm việc không ổn định và dễ sinh chấn động cũng như phát sinh khí thực ở phần đầu tràn nếu trị số chân không vượt quá mức cho phép. Vì vậy chỉ nên làm đỉnh tràn có chân không khi có luận chứng xác đáng. Đối với các công trình quan trọng, sự làm việc của đập và mức độ chân không ở đỉnh đập cần phải được kiểm tra qua thí nghiệm mô hình.



Hình 1-8. Các dạng mặt cắt đập tràn

a. Đập có đầu hình elíp (có chân không); b) Đập tràn dạng không chân không; c) Đập không chân không có phần nhô về phía trước.

Dạng đỉnh tràn không chân không có chế độ làm việc ổn định và thường được sử dụng nhiều hơn (hình 1-8b). Khi cần mở rộng đoạn nằm ngang ở trên đỉnh để bố trí cửa van và thiết bị, có thể làm đỉnh tràn có phần nhô về phía trước (hình 1-8c).

Toạ độ không thứ nguyên của mặt tràn không chân không có thể xác định theo công thức WES (Phòng thí nghiệm công trình thuỷ, Hiệp hội kỹ sư quân đội Hoa Kỳ) [22]:

$$Y_o = \frac{1}{K} X_o^n, \quad (1-17)$$

trong đó: $Y_o = y/H_1$; $X_o = x/H_1$;

H_1 – cột nước thiết kế của đập tràn;

K và n – các hằng số phụ thuộc vào độ nghiêng mái thượng lưu m_1 , lấy như sau:

m_1 (mái thượng lưu) :	0	1/3	2/3	1,0
K :	2,000	1,936	1,939	1,873
n :	1,850	1,836	1,810	1,776

Với đập tràn có mặt thượng lưu thẳng đứng, có thể xác định toạ độ mặt tràn Coriger-Ôphixêrốp (bảng 1-1)

Bảng 1-1. Toạ độ không thứ nguyên của mặt tràn Coriger - Ôphixêrôp

Thứ tự điểm	X ₀	Y ₀	Thứ tự điểm	X ₀	Y ₀	Thứ tự điểm	X ₀	Y ₀
1	0,0	0,126	14	1,3	0,475	27	2,6	2,122
2	0,1	0,036	15	1,4	0,564	28	2,7	2,289
3	0,2	0,007	16	1,5	0,661	29	2,8	2,462
4	0,3	0,000	17	1,6	0,764	30	2,9	2,640
5	0,4	0,006	18	1,7	0,873	31	3,0	2,824
6	0,5	0,027	19	1,8	0,987	32	3,1	3,013
7	0,6	0,060	20	1,9	1,108	33	3,2	3,207
8	0,7	0,100	21	2,0	1,235	34	3,3	3,405
9	0,8	0,146	22	2,1	1,369	35	3,4	3,609
10	0,9	0,198	23	2,2	1,508	36	3,5	3,818
11	1,0	0,256	24	2,3	1,653	37	3,6	4,031
12	1,1	0,321	25	2,4	1,894	38	3,7	4,249
13	1,2	0,394	26	2,5	1,960	39	3,8	4,471

b. Mái đập: Để đảm bảo điều kiện ổn định và nối tiếp liên tục với phần đập không tràn, mái thượng và hạ lưu của mặt đập cắt đập tràn đều lấy theo trị số m_1 và m_2 của mặt cắt cơ bản đã tính. Tại vị trí chuyển tiếp từ đường cong đỉnh tràn (đã xác định ở trên) sang đường thẳng mặt mái hạ lưu, đường thẳng này phải tiếp tuyến với đường cong đỉnh tràn để tránh tạo ra điểm gãy, tức tránh tạo ra nguồn sinh chân không, khí thực cục bộ trên mặt tràn.

c. Chân mái hạ lưu: Tùy theo hình thức tiêu năng được chọn, chân mái hạ lưu có thể là bể tiêu năng (tiêu năng đáy), mũi phun (tiêu năng phóng xa), hay bậc thụt (tiêu năng mặt). Nối tiếp giữa mặt hạ lưu tràn và bộ phận tiêu năng phải qua một đoạn chuyển tiếp, thường chọn là cung tròn bán kính R. Khi nối tiếp với bể tiêu năng, trị số R chọn như sau:

$$R = (0,2 \div 0,5)(P + H_t),$$

trong đó:

P - chiều cao đập tính đến cao trình đáy bể tiêu năng;

H_t - cột nước trên đỉnh tràn.

Nếu nối tiếp với mũi phun, bán kính R có thể chọn:

$$R = (6 \div 10)h_c,$$

với h_c là độ sâu co hẹp trên mũi phun.

§1.4 ỔN ĐỊNH CỦA ĐẬP BÊTÔNG TRỌNG LỰC TRÊN NỀN ĐÁ

I. CÁC LỰC TÁC DỤNG LÊN ĐẬP BÊTÔNG TRỌNG LỰC.

1. Các lực tác dụng bao gồm (hình 1-19):

- Trọng lượng đập và các thiết bị đặt trên đó: G;

- Áp lực thuỷ tĩnh, thuỷ động từ phía thượng lưu (T_1, P_1), hạ lưu (T_2, P_2), trong đó T - thành phần nằm ngang; P - thành phần thẳng đứng.

- Áp lực thấm (W_{th}) và đẩy nổi (W_{dn}) từ dưới đáy đập;

- Áp lực sóng T_s

- Áp lực bùn cát từ phía thượng lưu, thành phần ngang (E_b) và đứng (P_b).

- Áp lực gió T_g

- Lực sinh ra do động đất (lực quán tính động đất của thân công trình, của khối nước và bùn cát từ hai phía của đập).

- Tác dụng của nhiệt độ trong thời kỳ thi công (do tỏa nhiệt khi bê tông ngưng kết) và thời kỳ khai thác (do dao động của nhiệt độ môi trường).

- Ảnh hưởng của biến hình nền.

Trị số các lực và tác động được xác định theo các tài liệu chuyên môn. Riêng áp lực thấm đẩy ngược xác định theo tài liệu số [17] như trên hình 1-9. Trị số cột nước áp lực thấm tại các điểm đặc biệt như sau:

- Tại mép biên thượng lưu đáy đập: H_t (cột nước thấm tính toán);
- Tại trục màn chống thấm: $h_m = \alpha_m \cdot H_t$;
- Tại hàng lỗ thoát nước sau màn chống thấm: $h_l = \alpha_l \cdot H_t$.

Trị số của α_m và α_l xác định theo cấp công trình và tổ hợp tải trọng như sau:

Cấp công trình	Tổ hợp tải trọng cơ bản		Tổ hợp tải trọng đặc biệt	
	α_m	α_l	α_m	α_l
I	0,4	0,2	0,6	0,35
II	0,4	0,15	0,5	0,25
III – V	0,3	0	0,4	0,15

Ghi chú: tổ hợp tải trọng đặc biệt ở đây chỉ ứng với trường hợp thượng lưu là MNDBT, thiết bị chống thấm và thoát nước không làm việc bình thường.

Trường hợp không có hàng lỗ thoát nước sau màn chống thấm thì biểu đồ áp lực là ABD (hình 1-9).

2. Các tổ hợp lực dùng trong tính toán (việc tính toán cụ thể theo tiêu chuẩn hiện hành).

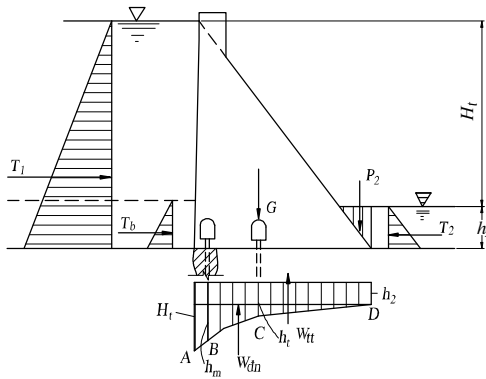
a. *Tổ hợp lực cơ bản*: bao gồm các lực thường xuyên hoặc định kỳ tác dụng lên đập, như trọng lượng bản thân và các thiết bị đặt trên đập, áp lực nước với mực nước dâng bình thường, áp lực sóng, gió với vận tốc gió bình thường (V_{bqmax}), lực thấm và đẩy nổi, áp lực bùn cát.

b. *Tổ hợp lực đặc biệt*: bao gồm các lực trong tổ hợp cơ bản, cộng thêm hay thay thế một số lực xảy ra trong trường hợp đặc biệt như:

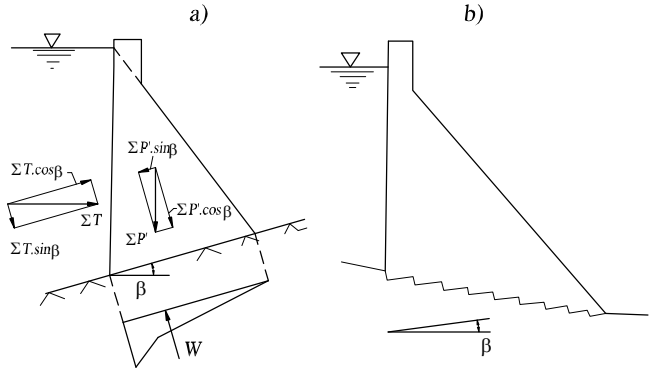
- Lực sinh ra khi có động đất;

- Áp lực thủy tĩnh, áp lực thấm và áp lực đẩy nổi khi có mực nước dâng gia cường (thay thế cho các lực này trong trường hợp mực nước dâng bình thường);

- Áp lực thấm khi thiết bị chống thấm hoặc thiết bị thoát nước không làm việc bình thường (thay thế cho áp lực thấm khi các thiết bị này làm việc bình thường).



Hình 1-9. Sơ đồ các lực tác dụng lên đập bê tông trọng lực



Hình 1-10.

a- Sơ đồ tính ổn định khi mặt trượt nghiêng về thượng lưu (công thức 1-19)

b- Xử lý chống trượt khi nền đập nghiêng về hạ lưu

II. TÍNH TOÁN ỔN ĐỊNH CỦA ĐẬP BÊ TÔNG TRÊN NỀN ĐÁ

1. Các khả năng mất ổn định. Với đập bê tông trọng lực trên nền đá, các khả năng mất ổn định có thể xảy ra là:

a. Trượt theo một mặt nào đó, có thể là mặt đáy đập tiếp xúc với nền, hay mặt phẳng đi qua đáy của các chân khay (khi đập có làm chân khay cắm sâu vào nền). Trường hợp nền đá phân lớp thì cần xét thêm mặt trượt đi qua các mặt phân lớp, là nơi các đặc trưng chống trượt của đá giảm nhỏ so với mặt trượt qua đá nguyên khối. Khi thân đập có các vị trí giảm yếu (khoét lỗ, mặt ngang tiếp giáp giữa các khối đổ,...) thì cần xét mặt trượt đi qua các vị trí này.

Tùy theo đặc điểm bố trí công trình và cấu tạo nền đập mà mặt trượt có thể nằm ngang hay nằm nghiêng (nghiêng về phía thượng lưu hay hạ lưu).

b. Lật theo trục nằm ngang dọc theo mép hạ lưu của một mặt cắt nào đó, thường là mặt đáy đập, hay mặt cắt mà đập bị khoét lỗ, giảm yếu. Khả năng lật chỉ có thể xảy ra khi biểu đồ ứng suất trên mặt nằm ngang tính toán có giá trị âm (trên một phần mặt tính toán có ứng suất kéo).

c. Nền đập bị phá hoại khi trị số ứng suất từ đập truyền xuống vượt quá sức chịu tải của nền. Trong trường hợp này, cần phải thay đổi hình dạng mặt cắt đập, hoặc tăng bề rộng đáy đập để điều chỉnh lại phân bố ứng suất dưới đáy đập.

2. Tính toán ổn định về trượt phẳng

Đập đảm bảo ổn định khi thỏa mãn điều kiện (1-2). Trị số hệ số an toàn ổn định trượt xác định như sau:

a. Với mặt trượt nằm ngang:

$$K_t = \frac{(\sum P - W) \operatorname{tg} \varphi + cF}{\sum T}, \quad (1-18)$$

trong đó:

$\operatorname{tg} \varphi$ và c là các đặc trưng chống cắt trên mặt phá hoại ;

F - diện tích mặt phá hoại ;

$\sum P$ – tổng các lực theo phương đứng, tính từ mặt trượt trở lên ;

W - tổng áp lực đẩy ngược tác dụng vào mặt trượt, bao gồm lực thấm và lực đẩy nổi thủy tĩnh (nếu có) ;

$\sum T$ - tổng đại số các lực nằm ngang tác dụng vào phần đập tính từ mặt trượt trở lên.

Trị số của $\operatorname{tg} \varphi$ và c phụ thuộc vào đặc trưng nền đá (khi mặt trượt nằm trong nền), hay đặc trưng của vật liệu bê tông (khi mặt trượt cắt qua khối bê tông).

Trong thiết kế sơ bộ, với mặt trượt trong bê tông có thể lấy $\operatorname{tg} \varphi = 1$ (tương đương với góc ma sát bằng 45°), còn trị số c lấy bằng 5% của cường độ kháng nén của vật liệu.

Đối với nền công trình cấp I và II có các điều kiện địa chất công trình đơn giản, trong thiết kế sơ bộ, giá trị tính toán của các đặc trưng của đá $\operatorname{tg} \varphi_{I, II}$ và $c_{I, II}$ có thể lấy theo bảng 1-2, trong đó lấy các hệ số $K_{\operatorname{tg} \varphi} = 1,15$ và $K_{dc} = 1,8$ ($K_{\operatorname{tg} \varphi}$ và K_{dc} là các hệ số an toàn về vật liệu áp dụng cho đại lượng góc ma sát trong φ và lực dính đơn vị c).

Trong thiết kế kỹ thuật, cũng như khi xét mặt trượt đi qua các mặt phân lớp của đá nền, trị số của $\operatorname{tg} \varphi$ và c cần phải xác định bằng thí nghiệm. Trị số tính toán của $\operatorname{tg} \varphi$ và c cần được xác định trên cơ sở xử lý thống kê các số liệu thí nghiệm (xem [15], phụ lục 8).

Lưu ý rằng, các giá trị thí nghiệm của 1 mẫu chỉ phản ánh đặc trưng cục bộ của vật liệu hay nền tại vị trí lấy mẫu, nên số lượng mẫu thí nghiệm phải đủ lớn và phải tuân thủ các quy định theo tiêu chuẩn hiện hành [15].

b. Với mặt trượt nghiêng về thượng lưu: hệ số an toàn ổn định trượt được xác định như sau:

$$K_t = \frac{(\sum P \cos \beta + \sum T \sin \beta - W) \operatorname{tg} \varphi + c.F}{\sum T \cos \beta - \sum P \sin \beta}, \quad (1-19)$$

trong đó: β là góc giữa mặt trượt và mặt nằm ngang; các ký hiệu khác như đã nêu trên.

c. Với mặt trượt nghiêng về hạ lưu: một góc β , tương tự ta có:

$$K_t = \frac{(\sum P \cos \beta - \sum T \sin \beta - W) \operatorname{tg} \varphi + c.F}{\sum T \cos \beta + \sum P \sin \beta}, \quad (1-20)$$

Rõ ràng với mặt trượt nghiêng về phía thượng lưu sẽ cho hệ số ổn định về trượt cao hơn so với mặt trượt nằm ngang; còn trường hợp mặt trượt nghiêng về phía hạ lưu là bất lợi nhất về mặt ổn định trượt. Vì vậy, tại các vị trí mà nền đập có thể nghiêng về hạ lưu thì cần xử lý để tăng ổn định chống trượt bằng cách làm cho mặt tiếp giáp giữa đập và nền thành dạng răng cưa có cạnh dài nghiêng về thượng lưu (hình 1-10b).

Bảng 1-2: Giá trị tính toán của các đặc trưng đá nền $\lg\phi_{I,II}$ và $c_{I,II}$

Loại đá nền	Khi tính độ bền cục bộ của nền khi mặt trượt không trùng với các khe nứt và với mặt tiếp xúc bê tông - đá.		Độ ổn định và độ bền cục bộ đối với các mặt và mặt phẳng tiếp xúc bê tông - đá ; các mặt trượt trong địa khối một phần theo vết nứt, một phần trong khối nguyên.				Độ ổn định và độ bền cục bộ đối với các mặt và mặt phẳng trượt trong địa khối theo các khe nứt, với chiều rộng miệng khe nứt (mm)					
							Nhỏ hơn 2		2 đến 20		Lớn hơn 20	
	tg φ _{II}	C _{II} (daN/cm ²)	$\frac{tg\ \varphi_{II}}{K_{đp}}$	$C_I,\ C_{II}/K_{đc}$ (daN/cm ²)	$\frac{tg\ \varphi_I}{K_{đp}}$	$\frac{tg\ \varphi_{II}}{K_{đp}}$	$C_I,\ C_{II}/K_{đc}$ (daN/cm ²)	$\frac{tg\ \varphi_I}{K_{đp}}$	$\frac{tg\ \varphi_{II}}{K_{đp}}$	$C_I,\ C_{II}/K_{đc}$ (daN/cm ²)		
Đá có sức chống nén tức thời một trục R _n >500 daN/cm ² (dạng liên khối, phân khối lớn, các khối dạng phân lớp, dạng phiến ít nứt nẻ, không bị phong hoá)	3,0	40	0,95	4,0	0,8	0,7	1,5	0,8	0,7	1,0	0,55	0,5
Đá có R _n > 500 daN/cm ² (dạng liên khối, phân khối lớn, các khối dạng phân lớp, dạng phiến nứt nẻ vừa, phong hoá yếu)	2,4	25	0,85	3,0			1,5	0,8	0,7	1,0	0,55	0,5
Đá có R _n =150÷ 500 daN/cm ² (dạng liên khối, phân khối lớn, các khối dạng phân lớp, phiến nứt nẻ nhiều)	2,0	15	0,75	2,0								
Đá có R _n = 50÷ 500 daN/cm ² (phong hoá yếu, độ bền nhỏ, ít đứt gãy)												
Đá nửa cứng R _n < 50 daN/cm ² (dạng phiến, phiến mỏng, nứt nẻ trung bình và mạnh)	1,5	3	0,7	1,0	0,65	0,5	0,5	0,65	0,5	0,3	0,15	0,2

Ghi chú: chỉ số I và II tương ứng với khi tính toán theo trạng thái giới hạn I và 2

3. Tính toán ổn định về lật

Tại mỗi mặt cắt tính toán, phần đập phía trên mặt cắt này có thể bị lật đổ quanh trục đi qua mép biên hạ lưu của mặt cắt nếu ở mép trên thượng mặt cắt này có xuất hiện ứng suất kéo. Điều kiện để đập không bị lật là:

$$\frac{\sum M_{cl}}{\sum M_1} \geq K_{cp} , \quad (1-21)$$

trong đó:

$\sum M_{cl}$ - tổng mômen của các lực chống lật lấy đối với trục nằm ngang đi qua mép hạ lưu mặt cắt tính toán;

$\sum M_1$ - tổng mô men của các lực gây trượt đối với trục nói trên;

K_{cp} - Hệ số an toàn cho phép, xác định theo (1-3).

Theo tiêu chuẩn của Hoa Kỳ [23], khi xét một mặt cắt tính toán bất kỳ, để không gây lật thì hợp của tất cả các lực tác dụng lên phần đập phía trên mặt cắt này phải nằm trong khoảng 1/3 giữa bề rộng mặt cắt khi xét tổ hợp tải trọng cơ bản, nằm trong khoảng 1/2 giữa bề rộng mặt cắt khi xét tổ hợp tải trọng bất thường và nằm trong phạm vi mặt cắt khi xét tổ hợp tải trọng cực hạn.

III. TÍNH TOÁN ĐỘ BỀN CỦA NỀN ĐẬP

Với mỗi tổ hợp lực tính toán, ứng suất đáy móng đập được xác định theo công thức nén lệch tâm:

$$\sigma_{y_{max, min}} = \frac{\sum P}{F} \pm \frac{\sum M_0}{W} , \quad (1-22)$$

trong đó:

$\sum P$ - tổng hình chiếu các lực thẳng đứng tác dụng lên đập tính từ mặt đáy đập trở lên (có xét cả áp lực thấm và đẩy nổi);

$\sum M_0$ - tổng mômen của các lực tác dụng lên đập tính từ mặt đáy đập trở lên, lấy đối với tâm mặt đáy;

F - diện tích mặt cắt đáy đập;

W - môđun chống uốn của mặt đáy đập, theo phương uốn từ thượng về hạ lưu.

Đối tượng tính toán có thể là cho một đoạn đập giữa 2 khớp nối, hoặc một mét dài đập (bài toán phẳng).

Độ bền của nền được đảm bảo khi thoả mãn các điều kiện:

$$\sigma_{y_{max}} < R_n ; \quad (1-23)$$

$$\sigma_{y_{min}} \geq 0 ; \quad (1-24)$$

trong đó: R_n - cường độ kháng nén tính toán của đá nền.

§1.5. TÍNH TOÁN ĐỘ BỀN CỦA ĐẬP BÊTÔNG TRỌNG LỰC

I. NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG

1. Nội dung tính toán: tính toán độ bền của đập bao gồm phân tích trạng thái ứng suất trong thân đập để kiểm tra điều kiện bền trong các trường hợp làm việc khác nhau của đập, cụ thể như sau:

a. Tính toán các ứng suất chính lớn nhất và nhỏ nhất ở biên đập để kiểm tra các điều kiện bền trên biên (thường ứng dụng trong giai đoạn thiết kế sơ bộ).

b. Xác định trạng thái ứng suất trong thân đập:

- Xác định giá trị ứng suất tại các điểm khác nhau trong thân đập;
- Vẽ đường đẳng ứng suất chính để tiến hành phân vùng sử dụng vật liệu cho thích hợp.
- Vẽ các đường quỹ đạo ứng suất chính, từ đó có thể bố trí các mặt khe thi công, các đường ống đặt trong thân đập.

c. Tính toán các loại ứng suất tập trung cục bộ xuất hiện quanh các đường hầm, lỗ khoét trong thân đập và tính toán bố trí cốt thép chịu lực cho riêng khu vực này.

2. Các trường hợp tính toán

Cần phải tính toán với các trường hợp làm việc khác nhau của đập, tức xét các tổ hợp lực cơ bản và tổ hợp lực đặc biệt khác nhau tác dụng lên đập. Trong thiết kế, cần dựa vào điều kiện địa hình, địa chất và đặc điểm công trình mà chủ động đặt ra các trường hợp làm việc bất lợi của đập như khi có động đất, khi có lũ đặc biệt lớn, khi có nhiệt độ thay đổi, có biến hình nền...

3. Các phương pháp tính toán

Tùy theo mức độ phức tạp của bài toán và yêu cầu độ chính xác, có thể áp dụng các phương pháp khác nhau để phân tích ứng suất thân đập như:

a. Phương pháp tính ứng suất mặt biên;

b. Phương pháp phân tích trọng lực tính ứng suất trong thân đập (phương pháp chia lưới).

c. Phương pháp lý thuyết đàn hồi.

d. Các phương pháp số: có thể là phương pháp sai phân hữu hạn, hay phần tử hữu hạn. Cơ sở để thiết lập các phương trình tính toán có thể là lý thuyết đàn hồi hoặc là một giả thuyết nào đó về cơ chế phá hủy vật liệu.

Sau đây sẽ trình bày các phương pháp dựa trên lý thuyết đàn hồi, áp dụng cho bài toán phẳng.

II. XÁC ĐỊNH ỨNG SUẤT TẠI CÁC MÉP BIÊN ĐẬP

Việc tính toán tiến hành cho một mặt cắt ngang bất kỳ theo chiều cao (có thể là mặt cắt sát nền, hay mặt cắt ở lưng chùng đập).

1. Ứng suất pháp trên mặt phẳng nằm ngang:

- Sử dụng công thức nén lệch tâm của lý thuyết sức bền vật liệu:

$$\sigma_y', \sigma_y'' = \frac{\Sigma P}{F} \pm \frac{\Sigma M_0}{W}; \quad (1-25)$$

trong đó:

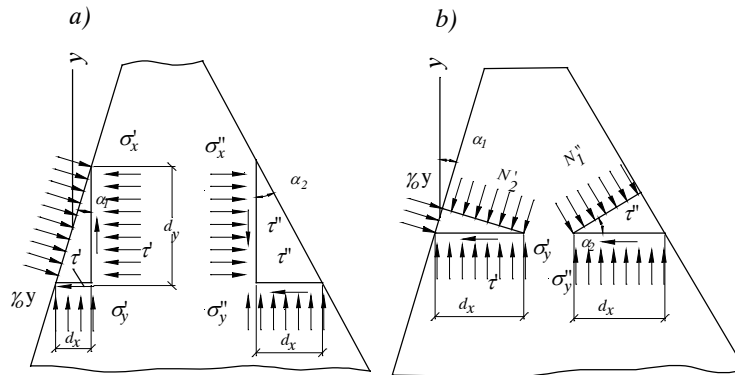
σ_y - ứng suất pháp trên mặt phẳng nằm ngang. Ở đây và các phần tiếp theo, ký hiệu 1 dấu phẩy là dành cho biên thượng lưu; 2 dấu phẩy là dành cho biên hạ lưu;

ΣP - tổng hợp các lực thẳng đứng kể từ mặt tính toán trở lên (trường hợp mặt tính toán ở sát nền thì ΣP phải kể đến cả lực đẩy nổi do thấm và áp lực thủy tĩnh);

F - diện tích mặt tính toán, ở đây $F = B \times 1$, B là chiều dài mặt tính toán từ biên thượng lưu đến biên hạ lưu đập;

$$W - \text{môđun chống uốn của mặt cắt: } W = \frac{1 \times B^2}{6};$$

ΣM_0 - tổng mômen của các lực tác dụng kể từ mặt cắt tính toán trở lên đối với điểm giữa của mặt cắt đó. Khi quy định chiều dương của M quay thuận chiều kim đồng hồ và trong mặt cắt, biên thượng lưu ở bên trái, biên hạ lưu ở bên phải thì trong công thức (1-25), dấu - áp dụng cho σ_y' và dấu + cho σ_y'' .



Hình 1-11. Sơ đồ xác định các loại ứng suất ở biên đập

a) Các ứng suất trên mặt phẳng đứng và ngang; b) Các ứng suất chính.

2. Ứng suất cắt τ_{xy} tại biên (sau đây viết tắt là τ)

- Tại biên thượng lưu:

$$\tau' = (\gamma \cdot y' - \sigma_y').m_1; \quad (1-26)$$

- Tại biên hạ lưu:

$$\tau'' = (\gamma \cdot y'' - \sigma_y'').m_2; \quad (1-27)$$

trong đó:

γ - trọng lượng riêng của nước;

y' - chiều sâu nước ở thượng lưu tính đến mặt cắt tính toán;

y'' - chiều sâu nước ở hạ lưu tính đến mặt cắt tính toán;

σ_y' , σ_y'' - theo kết quả xác định ở mục trên;

m_1, m_2 - tương ứng là hệ số mái đập thượng, hạ lưu.

Với ký hiệu α_1, α_2 như trên hình 1-11 thì: $m_1 = \tan \alpha_1; m_2 = \tan \alpha_2$

3. Ứng suất pháp σ_x trên biên

- Biên thượng lưu:

$$\sigma_x' = \gamma \cdot y' - \tau' \cdot m_1; \quad (1-28)$$

- Biên hạ lưu:

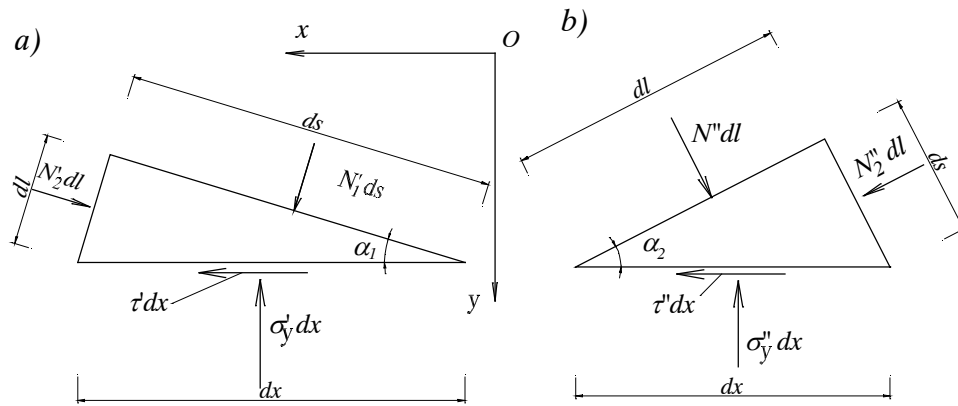
$$\sigma_x'' = \gamma \cdot y'' + \tau'' \cdot m_2; \quad (1-29)$$

các ký hiệu như đã nêu trên.

Khi hạ lưu không có nước thì:

$$\sigma_x'' = \tau'' \cdot m_2 = \sigma_y'' \cdot m_2^2 \quad (1-30)$$

4. Ứng suất chính ở biên:



Hình 1-12. Sơ đồ xác định ứng suất chính ở biên

a) Biên thượng lưu; b) Biên hạ lưu.

Dựa vào sơ đồ lực lên phân tố biên ở hình 1-12, xác định được:

- Tại biên thượng lưu:

$$N_2' = \gamma \cdot y'; \quad (1-31)$$

$$N_1' = \sigma_y' (1 + m_1^2) - \gamma \cdot y' m_1^2 \quad (1-32)$$

- Tại biên hạ lưu:

$$N_2'' = \gamma y''; \quad (1-33)$$

$$N_1'' = \sigma_y'' (1 + m_2^2) - \gamma \cdot y'' m_2^2 \quad (1-34)$$

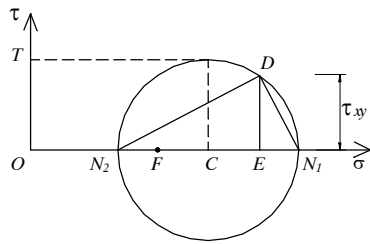
Khi hạ lưu không có nước ($y''=0$):

$$N_2'' = 0; \quad N_1'' = \sigma_y'' (1 + m_2^2) \quad (1-35)$$

5. Ứng suất cắt chính:

Ứng suất cắt chính tại 1 điểm là trị số ứng suất cắt lớn nhất tại điểm đó. Theo lý thuyết sức bền vật liệu:

$$T = \frac{N_1 - N_2}{2} \quad (1-36)$$



Có thể biểu diễn quan hệ giữa các thành phần ứng suất tại một điểm bằng sơ đồ vòng Mo ứng suất như trên hình 1-13.

Hình 1-13. Sơ đồ vòng Mo ứng suất tại 1 điểm:

OE = σ_x ; OF = σ_y ; ED = τ_{xy} .

III. XÁC ĐỊNH ỨNG SUẤT TRONG THÂN ĐẬP THEO PHƯƠNG PHÁP CHIA LƯỚI.

Theo phương pháp này, mặt cắt đập tính toán được chia bằng một lưới trực giao có các mắt lưới theo phương x là Δx , theo phương y là Δy . Mức độ chính xác đạt được phụ thuộc vào độ nhỏ của Δx , Δy . Giá trị của các thành phần ứng suất được xác định tại các điểm nút trên lưới.

Các công thức trong phần này được lập với hệ trục quy ước như sau: trục ox hướng từ hạ lưu lên thượng lưu; trục oy hướng từ trên xuống dưới. Các trị số ứng suất trên biên đã được xác định ở mục trên.

1. Ứng suất pháp σ_y :

$$\left. \begin{aligned} \sigma_y &= a + bx; \\ a &= \sigma_y''; b = (\sigma_y' - \sigma_y'')/B \end{aligned} \right\} \quad (1-37)$$

2. Ứng suất cắt τ :

$$\left. \begin{aligned} \tau &= a_1 + b_1x + c_1x^2; \\ a_1 &= \tau''; \\ b_1 &= -(6\sum Q/B + 2\tau' + 4\tau'')/B; \\ c_1 &= (6\sum Q/B + 3\tau' + 3\tau'')/B^2 \end{aligned} \right\} \quad (1-38)$$

3. Ứng suất pháp σ_x :

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= a_2 + b_2x + c_2x^2 + d_2x^3; \\ a_2 &= \sigma_x''; \\ b_2 &= \frac{b_1}{m_2} + \frac{da_1}{dy}; \\ c_2 &= \frac{c_1}{m_2} + \frac{1}{2} \frac{db_1}{dy}; \\ d_2 &= \frac{1}{3} \cdot \frac{dc_1}{dy}, \end{aligned} \right\} \quad (1-39)$$

trong đó: a_1, b_1, c_1 là các tham số của biểu thức tính τ tại các mặt cắt đã xác định ở mục trên.

Có thể tính gần đúng các đạo hàm trong công thức (1-39) như sau:

$$\frac{da_1}{dy} = \frac{a_1 - a_1^*}{\Delta y}, \frac{db_1}{dy} = \frac{b_1 - b_1^*}{\Delta y}, \frac{dc_1}{dy} = \frac{c_1 - c_1^*}{\Delta y}, \quad (1-40)$$

trong đó: a_1^*, b_1^*, c_1^* là các tham số của biểu thức τ tại mặt cắt lân cận phía trên mặt cắt đang xét (2 mặt cắt cách nhau một khoảng Δy).

Đối với các đập thấp, để đơn giản tính toán, có thể coi σ_x phân bố tuyến tính trên mặt cắt ngang:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= a_2 + b_2 x; \\ a_2 &= \sigma_x'' \\ b_2 &= (\sigma_x' - \sigma_x'')/B \end{aligned} \right\} \quad (1-41)$$

4. Ứng suất chính. Theo các công thức của sức bền vật liệu:

a. Trị số:

$$N_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau^2} \quad (1-42)$$

$$N_2 = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau^2} \quad (1-43)$$

b. Phương: phương của N_1 và N_2 vuông góc với nhau (xem hình 1-13). Phương của N_1 (ứng suất pháp lớn nhất) hợp với trục x (khi $\sigma_x > \sigma_y$) hoặc với trục y (khi $\sigma_x < \sigma_y$) một góc α ; góc α xác định theo:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = - \frac{2\tau}{\sigma_x - \sigma_y} \quad (1-44)$$

Góc α lấy theo chiều ngược kim đồng hồ khi trị số α tính được là dương.

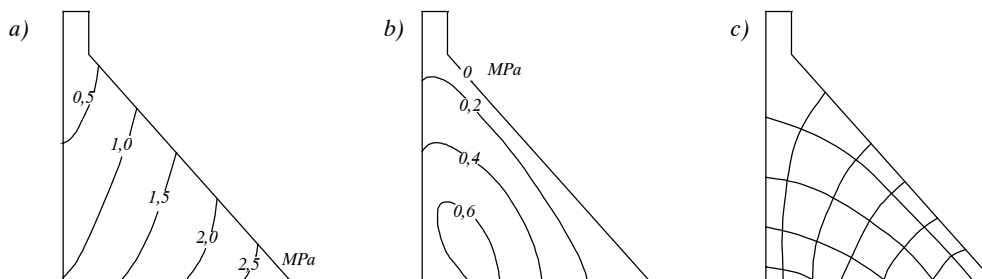
5. Ứng suất tiếp chính:

$$T = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau^2} \quad (1-45)$$

6. Các đường đẳng ứng suất và quỹ đạo ứng suất

a. Đường đẳng ứng suất: Vẽ riêng đường đẳng ứng suất pháp lớn nhất N_1 và ứng suất nhỏ nhất N_2 theo nguyên tắc vẽ đường đồng mức sau khi đã điền tất cả trị số ứng suất tương ứng lên các nút của lưới.

Đường đẳng N_1 dùng để kiểm tra khả năng chịu nén và phân vùng vật liệu đập. Đường đẳng N_2 cho phép khoanh các vùng xử lý đặc biệt khi có ứng suất kéo.



Hình 1-14. Các đường đẳng ứng suất, quỹ đạo ứng suất

a) Đường đẳng N_1 ; b) Đường đẳng N_2 ; c) Quỹ đạo ứng suất chính

b. Quỹ đạo ứng suất

Biểu đồ quỹ đạo ứng suất cho biết phương của các ứng suất chính tại một điểm bất kỳ của mặt cắt. Đó là một hệ gồm 2 họ đường trực giao: họ thứ nhất biểu thị phương của N_1 ; họ thứ hai - phương của N_2 .

Cách vẽ:

- Vẽ mũi tên chỉ phương của N_1 , N_2 tại tất cả các điểm nút của lưới.
- Dùng nội suy để vẽ dần các quỹ đạo ứng suất:

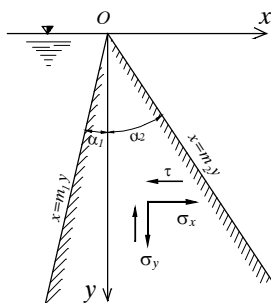
Nếu quỹ đạo đi qua điểm nút thì nó phải tiếp tuyến với phương của N_1 (hoặc N_2) tại nút đó;

Nếu quỹ đạo đi qua khoảng giữa 2 nút kề nhau thì dùng nội suy để xác định phương của N_1 (hay N_2) tại điểm đang xét.

IV. TÍNH TOÁN ỨNG SUẤT TRONG ĐẬP THEO PHƯƠNG PHÁP LÝ THUYẾT ĐÀN HỒI (LTĐH)

Khi tính toán đập bê tông trọng lực, ta xét bài toán phẳng của LTĐH. Nói chung mặt cắt đập thường có dạng tam giác, dưới thân đập là mặt nền bán vô hạn, do đó để phân tích ứng suất thân đập có thể đưa về dạng bài toán hình nêm bán vô hạn. Một cách gần đúng, khi vật liệu thân đập và nền là gần đồng chất, có thể xem đập như một hình nêm vô hạn để tính toán.

Việc tính toán được tiến hành riêng cho từng loại ngoại lực, và cuối cùng dùng phép cộng tác dụng để xác định nội lực tổng cộng. Sau đây là một số sơ đồ cụ thể.



1. Đập có dạng hình nêm vô hạn dưới tác dụng của áp lực nước và trọng lượng bản thân.

Theo lý thuyết đàn hồi ứng suất tại một điểm bất kỳ trong thân đập có chiều cao vô hạn (hình 1-15) được biểu diễn dưới dạng các hàm số tuyến tính:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= a_1x + b_1y \\ \sigma_y &= a_2x + b_2y \\ \tau &= a_3x + b_3y \end{aligned} \right\} \quad (1-46)$$

Hình 1-15. Sơ đồ tính ứng suất theo lý thuyết đàn hồi

Các hệ số của các phương trình này được xác định từ việc phân tích ứng suất tại các biên đập.

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \frac{\gamma_1}{(m_1 + m_2)^2} m_1 m_2 (m_2 - m_1) + \frac{\gamma}{(m_1 + m_2)^2} m_1 m_2 (m_1 m_2 - m_2^2 - 2) \\ b_1 &= \frac{\gamma_1}{(m_1 + m_2)^2} 2m_1^2 m_2^2 - \frac{\gamma}{(m_1 + m_2)^2} m_2^2 (2m_1^2 m_2 - 3m_1 - m_2); \\ a_2 &= \frac{\gamma_1}{(m_1 + m_2)^2} (m_2 - m_1) - \frac{\gamma}{(m_1 + m_2)^2} (m_1^2 + 3m_1 m_2 - 2); \\ b_2 &= \frac{\gamma_1}{(m_1 + m_2)^2} (m_1^2 + m_2^2) - \frac{\gamma}{(m_1 + m_2)^2} (m_2 - m_1 - 2m_2^2 m_1); \\ a_3 &= 1 - b_2 \\ b_3 &= -a_1 \end{aligned} \right\} \quad (1-47)$$

Ở đây: $m_1 = \operatorname{tg} \alpha_1$; $m_2 = \operatorname{tg} \alpha_2$.

Ứng suất chính và phương của chúng cũng được xác định theo các công thức (1-42); (1-43); (1-44).

Ứng suất tại các biên đập được xác định từ các biểu thức (1-46), (1-47) với $x = -m_1 y$ và $x = m_2 y$.

$$\left. \begin{aligned} \sigma_y' &= a_2 x + b_2 y = (-a_2 m_1 + b_2) y \\ \sigma_y'' &= a_2 x + b_2 y = (a_2 m_2 + b_2) y \\ \sigma_x' &= a_1 x + b_1 y = (-a_1 m_1 + b_1) y \\ \sigma_x'' &= a_1 x + b_1 y = (a_1 m_2 + b_1) y \\ \tau' &= a_3 x + b_3 y = (-a_3 m_1 + b_3) y \\ \tau'' &= a_3 x + b_3 y = (a_3 m_2 + b_3) y \end{aligned} \right\} \quad (1-48)$$

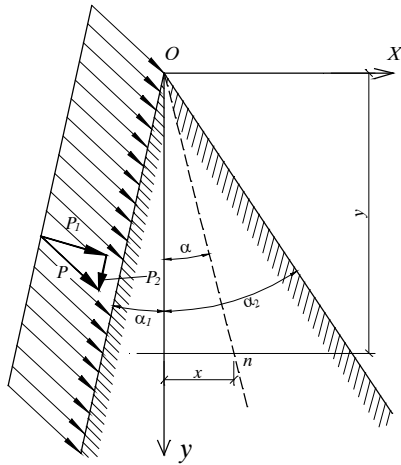
Ứng suất chính tại các mép đập được xác định theo công thức (1-42) và (1-43) nhưng các trị số σ_x , σ_y , τ trong đó được thay thế bởi các trị số ở biên đập đã được tính ở các công thức (1-48).

2. Đập có dạng hình nêm vô hạn chịu tải trọng phân bố đều

Trong một số trường hợp đập có thể chịu tác dụng của tải trọng phân bố đều có phương làm với mặt đập một góc nào đó (hình 1-16).

Bài toán này đã được M. Levy giải và cho các kết quả riêng theo thành phần lực thẳng góc p_1 và lực tiếp tuyến p_2 tác dụng lên mặt đập.

Ứng suất do thành phần lực thẳng góc p_1 tác dụng lên một điểm $n(x, y)$ bằng:



$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= -p_1 \frac{\left(\alpha_2 - \alpha + \frac{\operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} \right) A - m_2}{B}; \\ \sigma_y &= -p_1 \frac{\left(\alpha_2 - \alpha - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} \right) A - m_1}{B}; \\ \tau &= -p_1 \frac{\frac{A}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - 1}{B} \end{aligned} \right\} \quad (1-49)$$

Hình 1-16. Sơ đồ tính toán ứng suất khi mặt đập chịu tải trọng phân bố đều

Ở đây $A = 1 - m_1 m_2$;

$B = m_1 + m_2 - (\alpha_1 + \alpha_2)(1 - m_1 m_2)$.

Ứng suất do thành phần tiếp tuyến p_2 gây ra bằng:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= -p_2 \frac{C m_2^2 - D + m_1 m_2}{B}; \\ \sigma_y &= -p_2 \frac{C - D - 1}{B}; \\ \tau &= -p_2 \frac{C m_2^2 + \frac{m_1 \operatorname{tg}^2 \alpha - m_2}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}}{B} \end{aligned} \right\} \quad (1-50)$$

Ở đây: $C = (\alpha_1 + \alpha_2) \frac{1 + m_2^2}{m_1 + m_2}$;

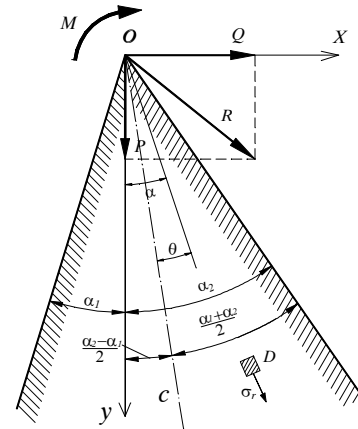
$D = \left(\alpha_2 - \alpha - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} \right) (m_1 + m_2)$

3. Đập có dạng hình nêm vô hạn chịu tác dụng của lực tập trung ở đỉnh

Bài toán này đã được Mitchen giải trên hệ tọa độ cực với gốc O đặt tại đỉnh tam giác (hình 1-17).

Trục tọa độ cực Oc là đường phân giác của góc đỉnh tam giác. Góc giữa trục tọa độ vuông góc Oy và trục Oc bằng $\frac{1}{2}(\alpha_2 - \alpha_1)$. Ta ký hiệu σ_r , σ_θ là ứng suất theo phương

hướng tâm và phương tiếp tuyến do lực R gây ra tại điểm D (x,y) trong thân đập. Ta phân lực R thành hai thành phần: lực thẳng đứng P và lực nằm ngang Q.



Hình 1-17. Sơ đồ tính toán ứng suất khi đập chịu lực tập trung và mômen đặt tại đỉnh.

Ứng suất do P gây ra bằng:

$$\sigma_{rP} = \frac{2P}{y(1 + \operatorname{tg}^2 \alpha)} \times \frac{\operatorname{tg} \alpha (m_2^2 - m_1^2) - A_1 + B_1}{c} \quad (1-51)$$

Ứng suất do lực Q gây ra bằng:

$$\sigma_{rQ} = \frac{2Q}{y(1 + \operatorname{tg}^2 \alpha)} \times \frac{m_2^2 - m_1^2 - \operatorname{tg} \alpha (A_1 + B_1)}{C_1} \quad (1-52)$$

Ở đây:

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= (\alpha_1 + \alpha_2)(1 + m_1^2)(1 + m_2^2); \\ B_1 &= (1 + m_1 m_2)(m_1 + m_2); \\ C_1 &= (\alpha_1 + \alpha_2)^2 - (1 + m_1^2)(1 + m_2^2) - (m_1 + m_2)^2, \end{aligned} \right\} \quad (1-53)$$

trong đó α là góc giữa tia OD và trục y.

Trong hệ toạ độ vuông góc các ứng suất tại D được xác định như sau:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} \sigma_r = \sigma_r \sin^2 \alpha; \\ \sigma_y &= \frac{\sigma_r}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} = \sigma_r \cos^2 \alpha; \\ \tau &= \frac{\operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} \sigma_r. \end{aligned} \right\} \quad (1-54)$$

4. Ứng suất do mômen tập trung M ở đỉnh gây ra

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{x,M} &= -\frac{2M[(3 - \operatorname{tg}^2 \alpha)(m_2 - m_1)\operatorname{tg}^2 \alpha - 2(2 + m_1 m_2)\operatorname{tg}^3 \alpha + 2m_1 m_2 \operatorname{tg} \alpha]}{y^2 \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha)^3 \cdot B}; \\ \sigma_{y,M} &= -\frac{2M[2\operatorname{tg}^3 \alpha + (1 - 3\operatorname{tg}^2 \alpha)(m_2 - m_1) - 2(1 + 2m_1 m_2)\operatorname{tg} \alpha]}{y^2 \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha)^3 \cdot B}; \\ \tau_M &= -\frac{2M[\operatorname{tg}^4 \alpha + 2(1 - \operatorname{tg}^2 \alpha)(m_2 - m_1)\operatorname{tg} \alpha - 3(1 + m_1 m_2)\operatorname{tg}^2 \alpha + m_1 m_2]}{y^2 \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha)^3 \cdot B} \end{aligned} \right\} \quad (1-55)$$

Ở đây $B = m_1 + m_2 - (\alpha_1 + \alpha_2)(1 - m_1 m_2)$.

5. Ứng suất trong đập bê tông do các tải trọng khác gây ra

Ta có thể tính được ứng suất trong đập hình nêm dưới tác dụng của các tải trọng khác như bùn cát, sóng, lực quán tính động đất v.v...

Ví dụ khi xét tải trọng bùn cát ta có thể chuyển áp lực bùn cát W_{bc} tới đỉnh của tam giác. Sau khi chuyển ta có một lực W_{bc} và một mômen $M = W_{bc} \cdot h$ (h là khoảng cách từ lực W_{bc} đến đỉnh tam giác). Sau đó ứng dụng các công thức (1-51) ÷ (1-55) để tính ứng suất trong thân đập.

6. Mô tả phân bố ứng suất trong thân đập

a. Vẽ các đường đẳng ứng suất

Từ đỉnh mặt cắt đập tam giác kẻ hàng loạt các tia và đánh số thứ tự các tia như sau: trục Oy được kí hiệu là O, các tia phía phải của Oy được kí hiệu là 1, 2, 3... các tia phía trái Oy được kí hiệu là -1, -2, -3,... (hình 1-18).

Từ các công thức (1-46) ta có thể viết:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= (a_1x + b_1y) = \left(a_1 \frac{x}{y} + b_1\right)y = \sigma_x^* \cdot y; \\ \sigma_y &= (a_2x + b_2y) = \left(a_2 \frac{x}{y} + b_2\right)y = \sigma_y^* \cdot y; \\ \tau &= (a_3x + b_3y) = \left(a_3 \frac{x}{y} + b_3\right)y = \tau^* \cdot y \end{aligned} \right\} \quad (1-56)$$

Tại 1 điểm A (x,y) trên một tia bất kỳ thì $\frac{x}{y} = \operatorname{tg} \alpha_n$ do đó $\sigma_x^*, \sigma_y^*, \tau^*$ là các hằng số cho mỗi tia.

Thay các biểu thức (1-56) vào công thức (1-42) và (1-43) ta có thể tính được các ứng suất chính trên tia đang xét:

$$N_{1,2} = \frac{(\sigma_x^* + \sigma_y^*) \pm \sqrt{(\sigma_x^* - \sigma_y^*)^2 + (2\tau^*)^2}}{2} \cdot y = N_{1,2}^* \cdot y \quad (1-57)$$

$$T = \frac{\sqrt{(\sigma_x^* - \sigma_y^*)^2 + (2\tau^*)^2}}{2} \cdot y = \frac{N_1^* - N_2^*}{2} \cdot y = T^* \cdot y \quad (1-58)$$

Tại một tia bất kỳ ta có thể tính được $\frac{x}{y} = \operatorname{tg} \alpha_m^n$ và các trị số

$\sigma_x^*, \sigma_y^*, \tau^*, N_1^*, N_2^*, T^*$, sau đó sử dụng các công thức (1-57), (1-58) để vẽ đường đẳng ứng suất.

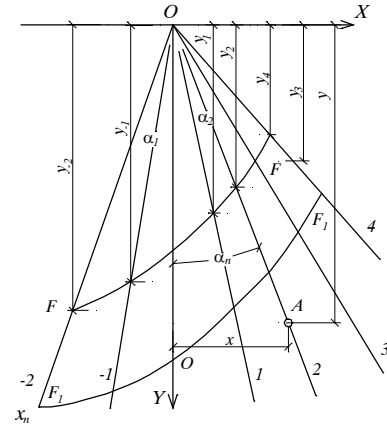
Thí dụ vẽ đường đẳng ứng suất pháp chính N_1 có trị số bằng F kg/cm² (hình 1-18).

Ta có: $N = N_1^* \cdot y = F$

$$y = \frac{F}{N_1^*} \quad (1-59)$$

Trị số N_1^* cho các tia thay vào công thức (1-59) ta có thể tính được các tung độ y_n của các điểm của đường đẳng ứng suất F, nối các điểm đó ta được đường đẳng ứng suất $N_1 = F$.

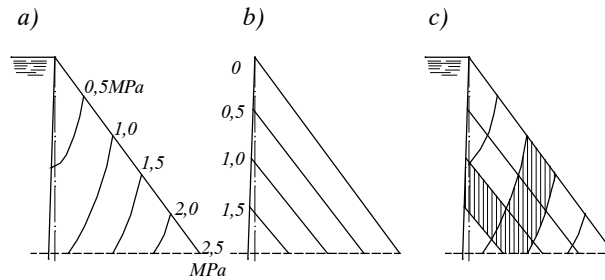
Cho các trị số khác của N_1 và tương tự ta được các đường đẳng ứng suất với các trị số khác nhau.



Hình 1-18. Sơ đồ vẽ đường đẳng ứng suất.

Các đường đẳng ứng suất thường được vẽ với các trị số ứng suất 5, 10, 15, 20 v.v... kG/cm².

Hình 1-19 biểu diễn các đường đẳng ứng suất pháp chính, trong đó hình 1-19a cho trường hợp hồ đầy nước; hình (1-19b) cho trường hợp hồ không có nước; hình 1-19c là tổng hợp của hai trường hợp trên, nó biểu thị sự thay đổi trị số ứng suất trong từng vùng của thân đập. Ví dụ vùng được gạch chéo là vùng chịu ứng suất pháp chính với trị số 15 kG/cm².



Hình 1-19. Các đường đẳng ứng suất pháp chính

a) Trường hợp hồ đầy nước; b) Hồ không có nước; c) Tổng hợp của 2 trường hợp trên.

b. Đường quỹ đạo ứng suất chính

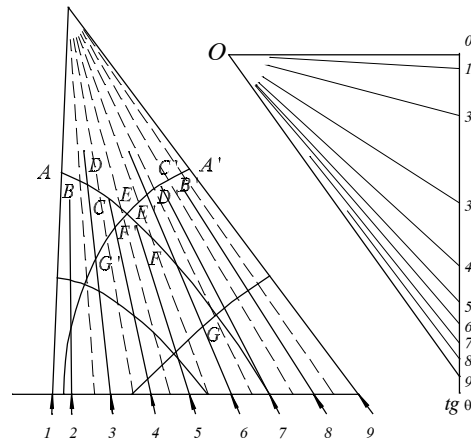
Phương tác dụng của các ứng suất pháp chính được xác định bằng góc nghiêng θ giữa chúng với trục Ox (hình 1-20). Để xác định góc θ ta thay các biểu thức (1-56) vào công thức (1-44) và được:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{-(\sigma_x^* - \sigma_y^*) \pm \sqrt{(\sigma_x^* - \sigma_y^*)^2 + (\tau^*)^2}}{2\tau} \quad (1-60)$$

Trong công thức dấu dương ứng với ứng suất chính thứ nhất; dấu âm cho ứng suất chính thứ hai.

Ta tiến hành vẽ đường quỹ đạo ứng suất pháp chính như sau:

Từ đỉnh tam giác ta vẽ các tia 1, 2, 3,... dựa vào công thức (1-60) ta có thể tính được trị số $\operatorname{tg} \theta$ cho từng tia. Sau đó dùng phương pháp đồ giải để vẽ đường quỹ đạo ứng suất pháp chính (hình 1-20). Theo phương x lấy một đoạn OO' có chiều dài đơn vị, ta vẽ các đoạn O1, O2, O3,... theo điều kiện $\overline{O'1}/\overline{O'O} = \operatorname{tg} \theta_1$; $\overline{O'2}/\overline{O'O} = \operatorname{tg} \theta_2$; $\overline{O'3}/\overline{O'O} = \operatorname{tg} \theta_3$,... trong đó các trị số $\operatorname{tg} \theta$ của từng tia đã tính được theo công thức (1-60). Phương của các đoạn O1, O2, O3,... biểu thị phương của ứng suất pháp chính trên các tia 1, 2, 3,...



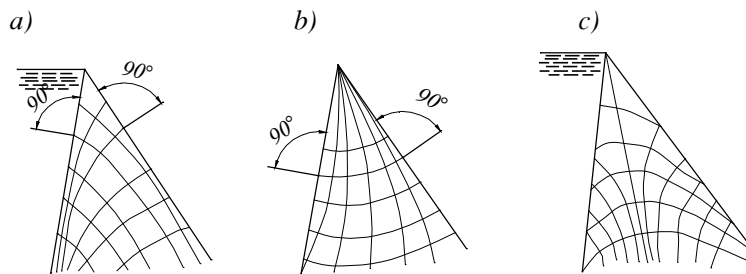
Hình 1-20. Sơ đồ vẽ đường quỹ đạo ứng suất pháp chính

Thí dụ vẽ đường quỹ đạo ứng suất pháp chính N₂. Từ một điểm A nào đó trên tia 1 ta kẻ đoạn, $\overline{AB} // \overline{O1}$, điểm B nằm trên đường phân

giác của góc hợp giữa tia 1 và tia 2; từ B kẻ đoạn $\overline{BC} \parallel \overline{O_2}$, điểm C nằm trên đường phân giác của góc hợp giữa tia 2 và tia 3. Tiếp tục làm tương tự ta xác định được các điểm D, E, F, G vẽ đường cong qua các điểm A B C D E F G ta được đường quỹ đạo ứng suất N_2 .

Để vẽ đường quỹ đạo ứng suất pháp chính N_1 ta tiến hành như sau: từ điểm A' trên tia 9 vẽ đoạn $\overline{A'B'} \perp \overline{O_9}$ điểm B' nằm trên đường phân giác của góc được tạo thành giữa tia 9 và tia 8; từ B' vẽ đoạn $\overline{B'C'} \perp \overline{O_8}$, điểm C' nằm trên đường phân giác của góc được hợp thành giữa tia 8 và tia 7, tương tự ta vẽ được đường quỹ đạo ứng suất chính N_1 là $A'B'C'D'E'F'D'$ và họ đường quỹ đạo ứng suất chính N_1 .

Các đường quỹ đạo ứng suất tiếp chính hướng theo góc 45° so với các đường quỹ đạo ứng suất pháp chính.



Hình 1 - 21. Các họ đường quỹ đạo ứng suất

- Họ đường quỹ đạo ứng suất pháp chính khi hồ đầy nước;
- Họ đường quỹ đạo ứng suất chính khi hồ không có nước;
- Họ đường quỹ đạo ứng suất tiếp chính khi hồ đầy nước.

Dựa vào các đường quỹ đạo ứng suất chính ta biết được tình hình phân bố và phương tác dụng của các ứng suất chính trong thân đập, trên cơ sở đó ta có thể bố trí cốt thép, chọn vị trí các hành lang, khe lún và các khe thi công một cách hợp lý.

V. TÍNH TOÁN ỨNG SUẤT TRONG ĐẬP VÀ NỀN CÙNG LÀM VIỆC NHƯ MỘT HỆ THỐNG NHẤT.

1. Luận điểm chung: Khi chiều cao của nê là hữu hạn, đập có mặt cắt tam giác đặt lên nền ở dạng nửa mặt phẳng vô hạn, ở mặt tiếp giáp giữa đập và nền xuất hiện sự phân bố lại ứng suất trên đế đập và trên toàn thân đập do sự cùng biến dạng của đập và nền gây ra. Ứng suất ở đây phụ thuộc nhiều vào tính đàn hồi của đập và nền, tức vào tỷ số các môđun đàn hồi (biến dạng) E_d và E_n , cũng như vào hệ số Poatxông μ_d và μ_n . Việc giải bài toán tiếp xúc này rất phức tạp và khó khăn.

Tính toán gần đúng ứng suất tiếp xúc xuất phát từ lời giải cho dầm hay bản trên nền đàn hồi.

Theo phương pháp của I.A.Constantinôp, người ta cho rằng ảnh hưởng của vùng tiếp xúc lên ứng suất trong thân đập được lan truyền lên phía trên vào khoảng 0,2h tính từ nền, trong đó h là chiều cao đập. Ở phần đập nằm bên trên vùng này, ứng suất có thể xác định hoàn toàn theo lý thuyết nê vô hạn. Phần đập có chiều cao 0,2h ở sát nền có thể tính như

dầm gắn trực tiếp với nền đàn hồi, chịu tác dụng của trọng lượng bản thân và tải trọng ngoài ở dạng ứng suất truyền từ phần trên tới (ứng suất này được tính theo bài toán nêm vô hạn).

Theo phương pháp của cơ học kết cấu phải tính lặp nhiều, khối lượng tính toán lớn và tốc độ chậm. Ngoài ra trong trường hợp nền không đồng nhất hay thân đập có các vùng vật liệu khác nhau thì việc xử lý càng thêm phức tạp, phải sử dụng các giả thiết đơn giản hoá, khó đạt được độ chính xác cần thiết. Vì vậy, hiện nay các phương pháp tính nêu trên ít được dùng; thay vào đó là xu hướng áp dụng rộng rãi phương pháp phần tử hữu hạn và các chương trình máy tính.

2. Tính toán ứng suất đập và nền bằng phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH)

Ngày nay phương pháp PTHH được ứng dụng rộng rãi trong tính toán công trình và nền. Theo phương pháp này đập được chia thành các phần tử nhỏ, chẳng hạn chúng có dạng tam giác đối với bài toán phẳng hay khối tứ diện ở bài toán không gian. Các tải trọng khối lượng (trọng lượng bản thân, lực thấm...) cũng như tải trọng bề mặt (áp lực nước, bùn cát...) trên mái đập, nền, sườn và bờ đều được biến đổi về một hệ lực tập trung đặt ở các điểm nút (đỉnh) của các phần tử.

Theo phương pháp PTHH, bài toán quy về việc giải một hệ phương trình đại số xác định quan hệ giữa các lực tác dụng vào nút của phần tử và chuyển vị của các điểm góc của phần tử. Quan hệ này được biểu diễn dưới dạng ma trận:

$$\{F\} = \{K\} \{U\}, \quad (1-61)$$

trong đó:

$\{F\}$ - véctơ cột của các lực ở nút;

$\{K\}$ - ma trận độ cứng của hệ;

$\{U\}$ - véctơ cột chuyển vị các điểm nút của hệ.

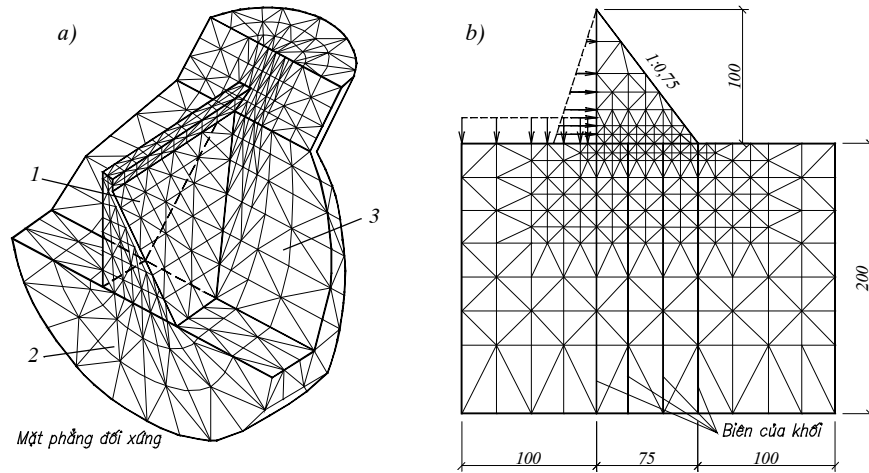
Khi giải bài toán phẳng, ở mỗi nút xét các lực (và chuyển vị) theo 2 trục (x, y) , tổng số phương trình là $2n$ (n - số nút trong hệ). Đối với bài toán không gian (3 biến x, y, z), số phương trình là $3n$.

Khi giải bài toán thực tế, phải chia miền tính toán (bao gồm đập và phần nền dưới đó) thành một số lớn các phần tử, số đó có thể đạt tới hàng nghìn. Lời giải chỉ có thể tìm được với sự trợ giúp của máy tính.

Phương pháp phần tử hữu hạn là một phương pháp tổng hợp được sử dụng để giải các bài toán khác nhau, có thể xét được các vùng có môđun đàn hồi của vật liệu khác nhau, vật liệu có tính dị hướng, sự có mặt các vùng giảm yếu, các khớp nối, khe nứt...

Trên hình 1-22 là một ví dụ về lưới phần tử của bài toán không gian (a) và bài toán phẳng (b) khi giải theo phương pháp PTHH.

Các phần mềm phân tích ứng suất đập và nền được sử dụng phổ biến hiện nay là: SAP 2000 (Công ty máy tính và kết cấu SCI - Mỹ), SIGMA/W (hãng GEO-SLOPE- Canada) và phần mềm KC2 của GS Nguyễn Văn Lê trường Đại học Thủy lợi,...



Hình 1-22. Sơ đồ lưới chia phần tử của đập và nền

a) Bài toán không gian; b) Bài toán phẳng; 1 - Đập; 2 - Nền;
3 - Phần nền, bờ gần đập.

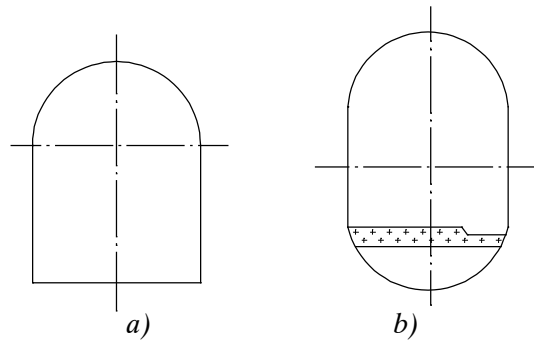
VI. TÍNH TOÁN ỨNG SUẤT TẬP TRUNG QUANH ĐƯỜNG HẦM TRONG THÂN ĐẬP

Đường hầm trong thân đập bê tông thường dùng 2 dạng mặt cắt là dạng mặt cắt tiêu chuẩn (phần dưới là hình chữ nhật, trên đỉnh là một nửa vòng tròn như hình 1-23a) và dạng mặt cắt hình elíp, phía dưới để tiện đi lại, kiểm tra sửa chữa, thường tiến hành đổ bê tông đợt II làm cho đáy đường hầm bằng phẳng.

Sau đây là phương pháp tính toán ứng suất tập trung quanh đường hầm tiêu chuẩn.

Sơ đồ tính toán như hình 1-24, trong đó trường ngoại lực tác dụng quanh đường hầm lấy bằng các trị số σ_y , σ_x và τ ở trung tâm

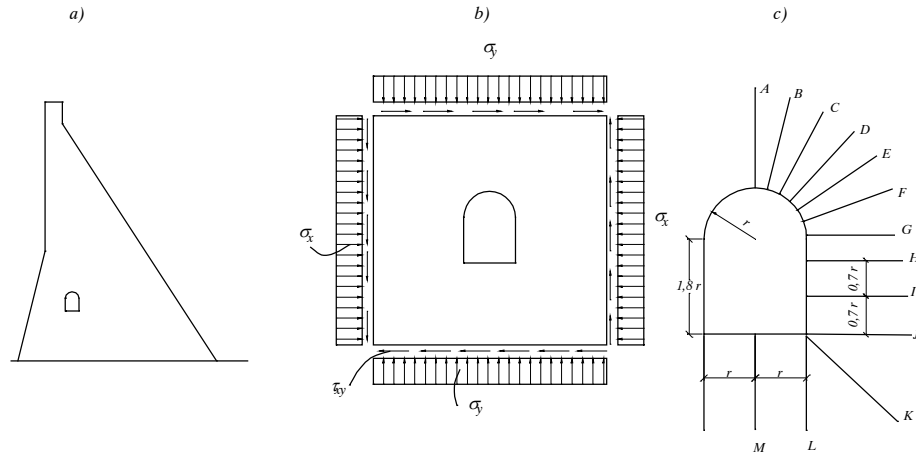
đường hầm tính toán theo các nội dung ở phần trên khi đập chưa có đường hầm.



Hình 1-23. Các dạng mặt cắt của đường hầm

a) Mặt cắt tiêu chuẩn; b) Mặt cắt elíp

Dùng các bảng biểu lập sẵn theo kết quả thí nghiệm quang đàn hồi cho dạng đường hầm tiêu chuẩn dưới tác dụng của trường ngoại lực đơn vị là $\sigma_y = 1$; $\sigma_x = 1$ và $\tau_{xy} = 1$ để tiến hành tính toán ứng suất tập trung cục bộ quanh dạng đường hầm này (theo kết quả nghiên cứu thí nghiệm quang đàn hồi của Cục khai hoang Hoa Kỳ).



Hình 1-24. Sơ đồ tính toán ứng suất quanh đường hầm tiêu chuẩn

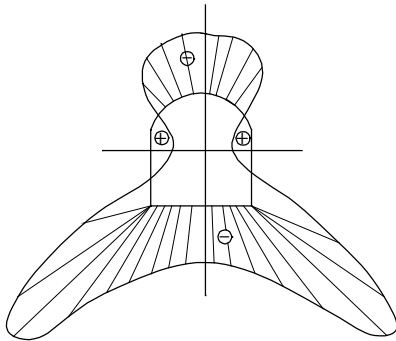
a) Sơ đồ đường hầm trong đập; b) Sơ đồ ngoại lực tác dụng lên vùng lân cận đường hầm; c) Mặt cắt tiêu chuẩn của đường hầm.

Các bước tính toán như sau:

a. Xác định ứng suất σ_x , σ_y , τ_{xy} tại trung tâm đường hầm trong thân đập để dùng làm trường ngoại lực tác dụng quanh đường hầm.

b. Xác định các mặt cắt cần tính toán quanh đường hầm (xem hình 1-24c). Cần chú trọng các mặt cắt A, B, C, D, E, F ở trên đỉnh đường hầm và các mặt cắt ở các cạnh góc đường hầm G, K.

c. Tính toán ứng suất tập trung cục bộ σ_θ , σ_r và $\tau_{r\theta}$ tại các điểm trên mặt cắt A, B, C... này theo công thức sau đây:



$$\left. \begin{aligned} \sigma_\theta &= A_1 \sigma_y + A_2 \sigma_x + A_3 \tau_{xy} \\ \sigma_r &= B_1 \sigma_y + B_2 \sigma_x + B_3 \tau_{xy} \\ \tau_{r\theta} &= C_1 \sigma_y + C_2 \sigma_x + C_3 \tau_{xy} \end{aligned} \right\}; \quad (1-62)$$

trong đó: $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3, C_1, C_2, C_3$ là các hệ số ứng suất của các loại ứng suất σ_θ, σ_r và $\tau_{r\theta}$ sinh ra dưới tác dụng của ngoại lực đơn vị $\sigma_y = 1, \sigma_x = 1, \tau_{xy} = 1$ tra

Hình 1-25. ứng suất tập trung quanh đường hầm được theo các bảng 1-3 đến 1-11.

d. Chỉnh biên kết quả, vẽ biểu đồ ứng suất tập trung quanh đường hầm, như thí dụ ghi trong hình 1-25 và tính toán bố trí cốt thép.

Bảng 1-3. Hệ số ứng suất hướng vòng A_1 dưới tác dụng của ngoại lực $\sigma_y = 1$

Khoảng cách từ mép lỗ đến điểm tính toán Mặt cắt	0	0,2r	0,4r	0,8r	1,2r	1,6r
A	- 1,00	- 0,34	- 0,10	0,00	0,02	0,05
B	- 0,94	- 0,11	0,01	0,08	0,11	0,12
C	- 0,55	0,34	0,33	0,41	0,39	0,36
D	- 0,84	0,79	0,73	0,67	0,66	0,63
E	2,10	1,6 2	1,38	1,10	0,97	0,89
F	2,75	1,96	1,58	1,27	1,10	1,04
G	2,50	2,01	1,70	1,42	1,28	1,20
H	2,18	1,89	1,68	1,43	1,29	1,17
I	2,26	1,92	1,72	1,46	1,31	1,26
J	3,20	1,82	1,44	1,32	1,22	1,22
K	3,20	0,80	0,59	0,53	0,52	0,52
L	3,20	- 0,12	- 0,10	- 0,04	0,04	0,13
M	- 1,00	- 0,53	- 0,22	0	0,15	0,21

Bảng 1-4. Hệ số ứng suất hướng vòng B_1 dưới tác dụng của ngoại lực $\sigma_y = 1$

Khoảng cách từ mép lỗ đến điểm tính toán Mặt cắt	0	0,2r	0,4r	0,8r	1,2r	1,6r
A	0	0,02	0,13	0,13	0,59	0,71
B	0	0,14	0,27	0,27	0,59	0,67
C	0	0,10	0,20	0,20	0,50	0,59
D	0	0,14	0,23	0,23	0,38	0,41
E	0	0,11	0,17	0,17	0,24	0,25
F	0	0,00	0,01	0,01	0,04	0,06
G	0	0,14	0,19	0,19	0,18	0,14
H	0	0,09	0,11	0,11	0,17	0,19
I	0	0,09	0,14	0,14	0,18	0,18
J	0	0,26	0,24	0,24	0,12	0,10
K	0	0,92	0,73	0,73	0,64	0,61
L	0	0,72	0,78	0,78	0,92	1,00
M	0	- 0,03	0	0	0,37	0,47

Bảng 1-5. Hệ số ứng suất hướng vòng C_1 dưới tác dụng của ngoại lực $\sigma_y = 1$

Khoảng cách từ mép lỗ đến điểm tính toán		0	0,2r	0,4r	0,8r	1,2r	1,6r
Mặt cắt							
A		0	0	0	0	0	0
B		0	0,38	0,40	0,36	0,32	0,29
C		0	0,51	0,55	0,56	0,57	0,58
D		0	0,36	0,60	0,66	0,62	0,58
E		0	0,28	0,42	0,56	0,59	0,54
F		0	0,24	0,32	0,37	0,38	0,39
G		0	0,22	0,18	0,07	0,02	0
H		0	0	0	0	0	0
I		0	0	0	0	0	0
J		0	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04
K		0	- 0,72	- 0,70	- 0,68	- 0,66	- 0,64
L		0	- 0,15	- 0,27	- 0,35	- 0,27	0
M		0	0	0	0	0	0

Bảng 1-6. Hệ số ứng suất hướng vòng A_2 dưới tác dụng của ngoại lực $\sigma_x = 1$

Khoảng cách từ mép lỗ đến điểm tính toán		0	0,2r	0,4r	0,8r	1,2r	1,6r
Mặt cắt							
A		4,00	2,83	2,20	1,52	1,32	1,23
B		3,42	2,68	2,13	1,52	1,33	1,21
C		2,33	1,85	1,53	1,22	1,08	0,99
D		1,21	1,09	0,99	0,85	0,77	0,72
E		- 0,24	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37
F		- 0,91	0,06	0,07	0,09	0,11	0,12
G		- 1,10	- 0,60	- 0,40	- 0,17	- 0,04	0,03
H		- 1,08	- 0,43	- 0,20	0,09	0,26	0,34
I		- 0,98	- 0,64	- 0,39	- 0,11	0	0,04
J		3,40	- 0,05	- 0,22	- 0,18	- 0,10	0,02
K		3,40	0,20	0,09	0,05	0,05	0,05
L		3,40	2,20	1,57	1,33	1,29	1,23
M		2,72	2,09	1,86	1,57	1,50	1,40

Bảng 1-7. Hệ số ứng suất hướng vòng B_2 dưới tác dụng của ngoại lực $\sigma_x = 1$

Khoảng cách từ mép lỗ đến điểm tính toán		0	0,2r	0,4r	0,8r	1,2r	1,6r
Mặt cắt							
A		0	0,38	0,51	0,48	0,32	0,23
B		0	0,43	0,52	0,42	0,34	0,29
C		0	0,43	0,55	0,50	0,40	0,31
D		0	0,23	0,31	0,37	0,41	0,43
E		0	0,23	0,32	0,45	0,53	0,59
F		0	0,19	0,28	0,46	0,61	0,68
G		0	- 0,06	0,12	0,27	0,41	0,54
H		0	- 0,08	0,00	0,16	0,33	0,4
I		0	- 0,11	- 0,01	0,23	0,44	0,61
J		0	1,35	1,13	0,95	0,89	0,87
K		0	1,10	0,92	0,79	0,70	0,66
L		0	- 0,40	0,05	0,16	0,10	0,07
M		0	0,20	0,27	0,25	0,14	0,10

Bảng 1-8. Hệ số ứng suất hướng vòng C_2 dưới tác dụng của ngoại lực $\sigma_x = 1$

Khoảng cách từ mép lỗ đến điểm tính toán		0	0,2r	0,4r	0,8r	1,2r	1,6r
Mặt cắt							
A		0	0	0	0	0	0
B		0	- 0,30	- 0,32	- 0,35	- 0,35	- 0,36
C		0	- 0,47	- 0,55	- 0,66	- 0,66	- 0,65
D		0	- 0,60	- 0,70	- 0,76	- 0,76	- 0,76
E		0	- 0,50	- 0,57	- 0,69	- 0,69	- 0,70
F		0	- 0,42	- 0,47	- 0,44	- 0,44	- 0,43
G		0	- 0,20	- 0,20	- 0,20	- 0,20	- 0,20
H		0	- 0,05	- 0,06	- 0,06	- 0,06	- 0,06
I		0	0,09	0,19	0,19	0,19	0,17
J		0	0,42	0,42	0,42	0,28	0,22
K		0	0,70	0,80	0,80	0,76	0,70
L		0	0,18	0,01	0,01	0,03	0,05
M		0	0	0	0	0	0

Bảng 1-9. Hệ số ứng suất hướng vòng A_3 dưới tác dụng của ngoại lực $\tau_{xy} = 1$

Khoảng cách từ mép lỗ đến điểm tính toán Mặt cắt	0	0,2r	0,4r	0,8r	1,2r	1,6r
A	0	0	0	0	0	0
B	- 3,27	- 1,51	- 1,10	- 0,78	- 0,68	- 0,65
C	- 5,18	- 2,20	- 1,74	- 1,27	- 1,07	- 0,91
D	- 6,12	- 2,65	- 2,17	- 1,62	- 1,29	- 1,03
E	- 5,72	- 3,18	- 2,49	- 1,61	- 1,13	- 0,95
F	- 3,77	- 2,17	- 1,67	- 1,11	- 0,75	- 0,47
G	- 2,43	- 1,40	- 1,08	- 0,44	- 0,14	- 0,02
H	- 0,45	0,10	0,26	0,33	0,28	0,23
I	1,04	0,45	0,50	0,52	0,45	0,34
J	7,0	1,95	1,29	0,71	0,42	0,29
K	7,0	2,68	2,20	1,67	1,36	1,16
L	7,0	1,50	1,04	1,56	1,26	0,07
M	0	0	0	0	0	0

Bảng 1-10. Hệ số ứng suất hướng vòng B_3 dưới tác dụng của ngoại lực $\tau_{xy} = 1$

Khoảng cách từ mép lỗ đến điểm tính toán Mặt cắt	0	0,2r	0,4r	0,8r	1,2r	1,6r
A	0	0	0	0	0	0
B	0	- 0,33	- 0,24	- 0,03	0,15	0,28
C	0	- 0,34	- 0,26	- 0,06	0,17	0,35
D	0	- 0,37	- 0,31	- 0,03	0,15	0,30
E	0	- 0,1	- 0,34	- 0,20	- 0,02	0,20
F	0	- 0,39	- 0,49	- 0,39	- 0,26	- 0,10
G	0	- 32	- 0,49	- 0,57	- 0,50	- 0,35
H	0	- 0,63	- 0,65	- 0,64	- 0,57	- 0,43
I	0	0,18	0,26	0,25	0,15	0,07
J	0	1,55	1,46	1,12	0,77	0,47
K	0	0,21	0,19	- 0,01	- 0,19	- 0,30
L	0	1,21	1,42	1,35	0,91	0,56
M	0	0	0	0	0	0

Bảng 1-11. Hệ số ứng suất hướng vòng C_3 dưới tác dụng của ngoại lực $\tau_{xy} = 1$

Khoảng cách từ mép lỗ đến điểm tính toán		0	0,2r	0,4r	0,8r	1,2r	1,6r
Mặt cắt							
A		0	- 0,20	- 0,38	- 0,74	- 1,06	- 1,38
B		0	- 1,15	- 1,20	- 1,24	- 1,21	- 1,14
C		0	- 0,74	- 0,77	- 0,77	- 0,70	- 0,59
D		0	0,06	- 0,06	- 0,14	- 0,11	- 0,08
E		0	0,25	0,37	0,49	0,51	0,51
F		0	0,79	0,90	1,00	1,02	1,00
G		0	0,53	0,79	1,06	1,26	1,34
H		0	0,30	0,54	0,92	1,21	1,37
I		0	0,45	0,64	0,88	1,05	1,17
J		0	0,84	0,91	0,92	0,92	0,91
K		0	0,14	0,15	0,11	0,06	0,06
L		0	- 0,91	- 1,08	- 1,15	- 1,15	- 1,12
M		0	- 0,72	- 0,82	- 0,88	- 0,92	

§1.6. XỬ LÝ NỀN ĐÁ CỦA ĐẬP BÊTÔNG TRỌNG LỰC

Đập trọng lực cần phải được xây trên nền tốt. Nền cần phải thoả mãn các yêu cầu sau đây:

- Đủ sức chịu đựng áp lực từ thân đập truyền xuống và có khả năng chống trượt.
- Rất ít lún hoặc không xảy ra hiện tượng nền bị lún không đều.
- Ít thấm nước và không bị xâm thực.

Khi thiết kế cần phải xem xét kỹ cấu tạo của nền và phải có biện pháp xử lý thích đáng để nền đạt được các yêu cầu trên.

I. CÔNG TÁC DỌN NỀN

Cần bóc bỏ lớp đá phong hoá trên mặt để đập được đặt trực tiếp trên lớp đá rắn chắc ít nứt nẻ.

Để tăng khả năng chống trượt của đập, trên mặt nền cần đào thành các cấp nằm nghiêng, các cấp này cao dần về phía hạ lưu với góc nghiêng α so với mặt phẳng nằm ngang. Góc α thường lấy từ $5^\circ \sim 10^\circ$.

Dọc theo trục đập, tại những nơi cao trình mặt đá tốt đột ngột trôi lên cao hay lõm sâu xuống thì nền đập cũng cần đào thành từng bậc. Vị trí bậc phải ăn khớp với vị trí các khe lún biến dạng.

Ở hai biên thượng lưu và hạ lưu mặt tiếp xúc giữa đế đập với nền cần đào thành 2 chân khay để tăng thêm khả năng ổn định chống trượt.

Trước khi đổ bê tông, mặt đá nền sau khi đã bóc hết lớp đá nứt nẻ, phong hoá phải được đánh sạch bằng bàn chải thép, rửa nước và cuối cùng được thổi sạch bằng khí nén.

Có thể cho phép dùng mìn nổ phá đá ở nền, nhưng cần chú ý dùng liều lượng thích hợp và chú ý phạm vi nổ mìn. Khi nền đã bóc gần đến cao trình thiết kế, phải chấm dứt nổ phá mìn và thay bằng các biện pháp thủ công hoặc nửa thủ công để không ảnh hưởng xấu đến cấu tạo của đá nền.

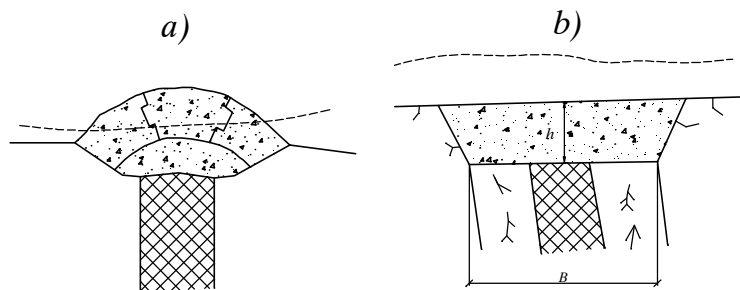
Nếu nền là đá diệp thạch sét và diệp thạch macrô pha cát, đá macrô và các loại đất đá dễ bị phong hoá nặng khi lộ ra ngoài không khí thì công tác bóc dọn nền cần phải được tiến hành theo các quy định đặc biệt dựa trên cơ sở các thí nghiệm tại hiện trường và trong phòng thí nghiệm đồng thời cần phải chú ý che đậy các đoạn mặt nền đã được xử lý trước, khi tiến hành đổ bê tông.

Tại những vùng đá vôi, khi xây dựng đập cần phải kiểm tra phát hiện kịp thời các hang động để xử lý tránh cho công trình bị mất nước và để bảo đảm an toàn cho đập. Nếu tại nền khu vực xây dựng đập gặp phải hiện tượng cactơ thì thường xử lý bằng biện pháp:

- Bịt kín các hang động chạy về phía hạ lưu hoặc dẫn sang các khu vực khác.
- Đối với loại nền có hiện tượng cactơ mới phát triển nhanh, có thể làm màng chắn đến tận vùng đá không bị hoà tan, đồng thời kéo dài lớp phủ phòng thấm về phía thượng lưu, giảm tốc độ hoà tan của nước thấm.

Khi dưới mặt nền có xen lớp đá xấu hoặc vòng đai xấu, nằm sâu (hình 1-26) nếu đào bỏ thì vừa tốn công, tốn vật liệu, mất nhiều thời gian, lúc đó có thể dùng một trong hai biện pháp:

- Trên lớp đá xấu, làm thêm một lớp đệm bằng bê tông cốt thép dạng phẳng hoặc dạng vòm (hình 1-26a) để truyền lực từ thân đập xuống hai bên thành đá tốt ở nền.
- Đào thành chân khay, bỏ đi một phần đá xấu, sau đó đổ bê tông bịt kín vòng đai xấu tạo thành một nút bê tông ở trên vành đai đó (hình 1-26b) rồi tiếp tục đổ bê tông thân đập ở trên nút bê tông này.



Hình 1-26. Gia cố vòng đai đá xấu ở nền

a) Lớp đệm kiểu vòm; b) Nút bịt phẳng

II. PHỤT VỮA GIA CỐ NỀN ĐẬP TRỌNG LỰC

Sau khi bóc bỏ lớp đá phong hoá trên mặt nền, nếu thấy đá nền bị nứt nẻ nhiều cần tiến hành khoan và phun vữa xi măng gia cố để tăng sự liên kết giữa đá và nền và tăng mô đun đàn hồi của nền, như vậy sẽ làm cho nền đập bị biến dạng ít, và cường độ chịu nén, chống cắt của nền cũng được nâng lên. Các lỗ khoan phun vữa gia cố trên mặt bằng có thể bố trí theo từng ô chữ nhật hoặc so le xen kẽ như dạng hoa mai. Chiều sâu phụt vữa gia cố cần phải dựa vào tính chất nứt nẻ và độ sâu nứt nẻ của đá để quyết định, thường từ 5 - 15m, khoảng cách giữa các lỗ khoan phun thường từ 1,5 - 3m. Áp lực khi phụt vữa gia cố thường lấy bằng $2 \sim 4 \text{ kG/cm}^2$. Muốn dùng áp lực lớn hơn cần phải làm một lớp đệm bằng bê tông trước, sau đó mới tiến hành khoan phụt vữa để không làm cho kẽ nứt của đá phát triển. Phạm vi phụt vữa gia cố chỉ cần tiến hành ở gần thượng lưu và hạ lưu đập. Phạm vi phụt vữa gia cố ở thượng lưu và hạ lưu đập không được lấy nhỏ hơn 1/3 chiều rộng đế đập và cần lấy vượt ra ngoài mép thượng lưu (phần phía trước của khoan phụt sâu tạo màn chống thấm) và hạ lưu đập. Ngoài ra ở vùng nền có nếp gãy vụn nát cũng cần được tăng cường phụt vữa gia cố. Việc tính toán, thiết kế, thi công khoan phụt theo tiêu chuẩn hiện hành.

III. PHỤT VỮA TẠO MÀNG CHỐNG THẤM Ở NỀN ĐẬP VÀ HAI BỜ

1. Nhận xét chung:

Tuỳ theo tác dụng, màng chống thấm có thể chia ra làm 2 loại:

- Màng dùng để chống thấm
- Màng vừa dùng để chống thấm, vừa có tác dụng củng cố một phần đá nền.

Loại thứ nhất được thi công bằng các phương pháp phun nhựa đường (bitum), phun dung dịch xi măng hoặc phun hỗn hợp nhựa đường và xi măng.

Loại thứ hai được thi công theo các phương pháp phun xi măng và silicat hoá.

2. Màng xi măng chống thấm dưới nền đập và hai bên bờ

Các màng xi măng chống thấm dưới nền đập được tiến hành khoan phun ở dưới chân răng thượng lưu (hoặc càn sát mép thượng lưu càng tốt) để giảm lưu lượng thấm và giảm áp lực đẩy ngược dưới đáy công trình.

Tại 2 bên bờ đập và dọc theo bờ hồ chứa khi cần thiết cũng phải khoan phun xi măng để chống thấm, không cho nước thấm về hạ lưu và sang khu vực chứa nước khác.

Vữa xi măng dùng để phun tạo màng chống thấm chỉ được ứng dụng dưới các điều kiện sau đây:

- Chiều rộng kẽ nứt của đá nền từ 0,1mm trở lên thì xi măng mới có thể chui vào các khe nứt.
- Lưu tốc của dòng nước ngầm không được vượt quá 600m/ngày đêm. Với những vận tốc lớn hơn cần phải tiến hành thí nghiệm trước mới áp dụng phun xi măng.
- Nước ngầm không có tác dụng xâm thực đối với xi măng. Trường hợp nước ngầm có tác dụng xâm thực, cần phải dùng loại xi măng đặc biệt, không bị xâm thực.

Công tác phun vữa xi măng tạo màng chống thấm cần được tiến hành và kết thúc trước khi hồ chứa nước, nếu không dưới tác dụng của cột nước áp lực cao ở phía thượng lưu, việc

thì công màng chắn sẽ gặp khó khăn, ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng và giá thành màng chống thấm.

Xác định chiều sâu phun vữa và khoảng cách giữa các lỗ khoan

Nếu tầng đá không thấm nước nằm không sâu lắm thì cần khoan, phun màng chống thấm xuống tận tầng không thấm. Nếu tầng đá không thấm nước ở rất sâu hoặc khi không có tài liệu về vị trí tầng không thấm thì màng chống thấm cần làm sâu xuống lớp đá có độ hấp thụ nước đơn vị $\omega \leq 0,01 \text{ l/phút.m}^2$ (tương đương với hệ số thấm $K \leq 2.10^{-5} \text{ cm/s}$), với các đập có cột nước thấp thì trị số ω có thể lấy lớn hơn.

Ngoài ra khi xác định chiều sâu màng chắn còn cần phải xét các mặt khác như hiệu quả của màng chắn làm giảm áp lực đẩy ngược của nước (thông qua hệ số α_1 tức hệ số biểu thị cột nước thấm còn lại sau màng chắn) do đó có thể giảm bớt khối lượng phân thân đập, tức là phải so sánh giữa giá thành thân đập với giá thành màng chắn ứng với một số chiều sâu khoan phun vữa khác nhau để sao cho có lợi nhất về kinh tế (đối với toàn bộ công trình).

Khi chọn chiều sâu màng chắn cũng cần phải dựa vào phương tiện thiết bị và khả năng thi công của địa phương.

Độ hấp thụ nước đơn vị ω của lỗ khoan là độ hấp thụ nước tương ứng với cột nước 1m và 1 mét chiều sâu lỗ khoan, xác định theo công thức:

$$\omega = \frac{Q}{H.l} , \quad (1-63)$$

trong đó:

ω - độ hấp thụ nước đơn vị của lỗ khoan (l/phút.m^2)

Q - độ hấp thụ nước toàn phần thực tế của lỗ khoan khi thí nghiệm ép nước (l/phút);

H - cột nước áp lực khi tiến hành thí nghiệm ép nước (m);

l - chiều sâu lỗ khoan trong khoảng thí nghiệm (m).

Độ hấp thụ nước đơn vị cho phép $[\omega]$ để quyết định phạm vi khoan, tức chiều sâu màng chắn chống thấm phụ thuộc vào cột nước trước đập H .

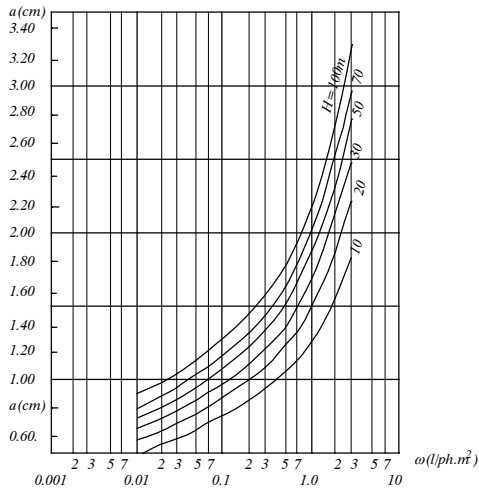
$$H < 30\text{m} \quad [\omega] = 0,05 \text{ l/ph.m}^2$$

$$H = 30 \sim 70\text{m} \quad [\omega] = 0,03 \text{ l/ph.m}^2$$

$$H > 70\text{m} \quad [\omega] = 0,01 \text{ l/ph.m}^2$$

Khi tính toán sơ bộ có thể lấy chiều sâu phun xi măng bằng khoảng $(0,4 \sim 0,6)H$, trong đó H là cột nước trước đập. Bảng 1-12 thống kê một số tư liệu về màng chống thấm của một số đập trọng lực trên thế giới để tham khảo khi thiết kế.

Khoảng cách giữa các lỗ khoan không những phụ thuộc vào độ nứt nẻ của đá và cột nước thấm mà còn phụ thuộc vào thiết bị, phương pháp thi công và chất lượng loại xi măng được dùng để phun. Khoảng cách giữa các lỗ khoan nên xác định dựa trên cơ sở thí nghiệm phun xi măng vào đá ở nền đập. Khi tính toán sơ bộ có thể dựa vào biểu đồ trong hình 1-27 và hình 1-28 để xác định khoảng cách này. Trong đó biểu đồ hình 1-27 dùng khi khe nứt của đá nền quan sát ở hiện trường thấy tương đối đều và nhỏ. Còn biểu đồ ở hình 1-28 dùng khi khe nứt lớn và đều. Ký hiệu trong hình:



Hình 1-27. Đồ thị xác định khoảng cách giữa các lỗ khoan trong trường hợp đá nền có khe nứt nhỏ

a - khoảng cách giữa các lỗ khoan tính bằng mét;

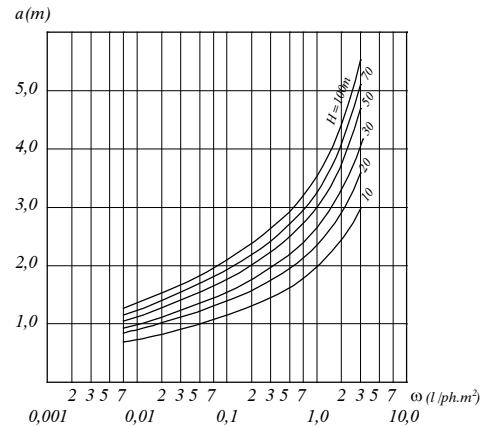
ω - độ hấp thụ nước đơn vị (l/phút.m²)

H - cột nước thấm (m)

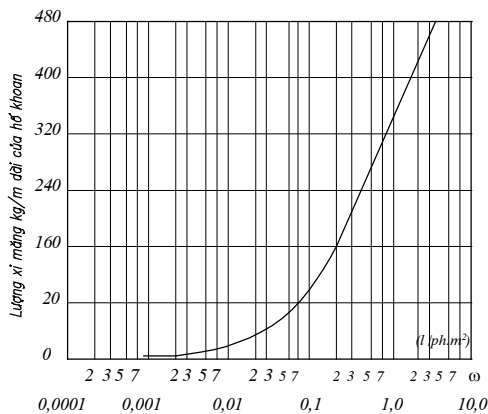
Cách xác định khoảng cách a tốt nhất là dùng phương pháp tăng dần lỗ khoan trong khi thi công, nghĩa là giữa các lỗ đã tiến hành khoan phun xi măng xong, người ta khoan thêm các lỗ trung gian cho đến khi nào thấy thí nghiệm ép nước cho kết quả ω đạt đúng yêu cầu chống thấm.

Hình 1-28. Đồ thị xác định

khoảng cách giữa các lỗ khoan trong trường hợp đá nền có khe nứt lớn.



Xác định lượng xi măng: lượng xi măng cần phun để tạo màng chống thấm ở nền phụ thuộc vào mức độ nứt nẻ của đá nền và có quan hệ mật thiết với trị số ω , tức độ hấp thụ nước đơn vị. Khi tính toán sơ bộ, có thể xác định lượng xi măng dùng trung bình cho 1m lỗ khoan với mức độ chính xác đủ dùng cho thiết kế, thi công theo đồ thị trong hình 1-29 lập ra theo tài liệu phun xi măng ở nền của một số đập trọng lực trên thế giới.



Hình 1-29. Đồ thị để xác định lượng xi măng (kg) trên 1 mét lỗ khoan

Vì áp lực phun vừa tạo màng chống thấm khá lớn nên tại đầu màng chắn tức đỉnh lỗ khoan cần làm chân khay hoặc một lớp đệm bê tông để không cho kẽ nứt của đá nền phát triển. Chiều sâu chân khay hoặc chiều dày lớp đệm này phụ thuộc vào áp lực được dùng khi phun xi măng.

Bảng 1-12. Tư liệu về màng chống thấm của một số đập trọng lực trên thế giới

Số TT	Tên đập	Chiều cao đập (m)	Địa chất nền đập	Chiều sâu lỗ khoan (m)	Tỷ lệ giữa chiều sâu lỗ khoan với chiều cao đập %	áp lực phun vữa (kg/cm ²)
1	Gren Dixen (Thụy Sĩ)	284	Đá hoa cương	150	52,9	50
2	Bundơ (Mỹ)	228	Sa thạch	91,5 ~ 150	40,1 ~ 65,8	52,7 ~ 70,3
3	Branjor Canino (Mỹ)	225	Đá hoa cương	100	44,4	
4	Bhara (Ấn Độ)	207	Sa thạch có kẹp điệp thạch sét	45,7 ~ 76,2	22,1 ~ 36,8	
5	Sát (Mỹ)	183,5	Đá cẩm thạch, đá vôi	38 ~ 60	20,6 ~ 32,6	38,7
6	Kara (Iran)	172	Đá vôi, đá nền nứt nẻ nhiều	90	52,3	
7	Gren Culo (Mỹ)	167,6	Đá hoa cương	91 ~ 152,4	54,3 ~ 91	35,2
8	Fontana (Mỹ)	143,3	Đá thạch anh rắn chắc	46	32,1	
9	Sambuco (Thụy Sĩ)	130	Đá vôi	80	61,5	
10	Pievedi Cadore (Ý)	110	Sa thạch có kẹp một lớp điệp thạch	35	31,8	
11	Saran (Pháp)	109,8	Đá hoa cương	34,5	31,4	
12	Geniciat (Pháp)	103,7	Đá vôi	40	38,7	
13	Fren (Mỹ)	97,6	Phiến thạch	30	31,1	
14	Hioazo (Mỹ)	93	Phiến thạch kết tinh; phiến thạch anh	24	25,9	
15	Buctaminxkaia (Liên Xô)	93,3	Đá gabbro	30	32,2	

3. Chống thấm bằng cách phun nhựa đường vào nền đập

Màng chống thấm được tạo bằng cách phun nhựa đường, có tác dụng làm giảm bớt lượng nước thấm qua nền đập và qua chỗ nối tiếp với 2 bờ. Đồng thời cũng làm giảm bớt áp lực đẩy ngược dưới đáy công trình và giảm bớt được tác dụng xói ngầm hoá học (xâm thực) của nước ngầm đối với đá nền. Bằng cách phun dung dịch nhựa đường nóng có thể bịt kín các khe nứt của đá và tạo ra màng chống thấm hữu hiệu dùng trong trường hợp nước ngầm có chứa nhiều chất khoáng hoặc chảy với lưu tốc lớn hoặc khi đá nền có các hợp chất kiềm (trường hợp đá bị thạch cao hoá, hoặc đá vôi có khả năng tạo cactơ v.v....)

- Bán kính tác dụng của nhựa đường: khi tính toán sơ bộ cho nền đá, có thể tính bán kính tác dụng của nhựa đường theo bảng 1-13.

Bảng 1-13. Bán kính tác dụng phun nhựa đường

Bề rộng của khe nứt (mm)	Áp lực trung bình khi phun nhựa đường (at)	Áp lực lớn nhất khi phun nhựa đường (at)	Kích thước bán kính tác dụng khi phun nhựa đường (m)
≤ 40 ~ 60	8 ~ 10	25	≤ 10
≤ 10	≤ 15	-	≤ 6
≤ 3	8 ~ 15	30	1,4 ~ 1,85
≤ 1,5	≤ 20 ~ 24	-	0,35 ~ 0,45

- Khoảng cách giữa các lỗ khoan: theo tài liệu của B.P. Soráybe có thể sơ bộ xác định khoảng cách giữa các lỗ khoan theo bảng 1-14 lập ra trên cơ sở phân tích tổng hợp các số liệu thí nghiệm và thi công ở hiện trường.

Bảng 1-14. Khoảng cách (sơ bộ) giữa các lỗ khoan phun nhựa đường

Bề rộng khe nứt của đá nền (mm)	> 20	10 ~ 20	5 ~ 10	1,5 ~ 5	1 ~ 1,5	0,2 ~ 1
Khoảng cách a giữa các lỗ khoan (m)	3 ~ 4	2 ~ 3	1,5 ~ 2	1 ~ 1,5	0,8 ~ 1	0,5 ~ 0,8

Chú ý: khi phun nhựa đường vào đá không đồng chất, có độ nứt nẻ thay đổi và có áp lực thuỷ tĩnh thay đổi theo chiều sâu, thì khoảng cách giữa các lỗ khoan cần phải xác định theo trị số khe nứt bé nhất.

- Lượng nhựa đường: tổng khối lượng nhựa đường cần thiết để phun đầy các khe nứt có thể sơ bộ xác định theo công thức:

$$x = \frac{K \cdot p \cdot V}{100} \text{ (m}^3\text{)}, \quad (1-64)$$

trong đó: x - lượng nhựa đường (m³);

V - thể tích đá (m³);

p - tỷ lệ thể tích các khe nứt (%);

K - hệ số tổn thất, bằng khoảng 1,3 ~ 1,5

Theo tài liệu của B.P. Soraybe, lượng nhựa đường cho 1m dài lỗ khoan bằng 200kg đối với đá có khe nứt rộng đến 10mm, có độ hấp thụ nước đơn vị $\omega = 0,005 \sim 0,008 \text{ l/ph.m}^2$.

Phun nhựa đường lạnh tức là phun dung dịch nước và bột nhựa đường ở trạng thái nguội, không cần phải đốt nóng lỗ khoan. Độ nhớt của nước nhựa đường ấy nếu được chế tạo tốt thì chỉ lớn hơn độ nhớt của nước từ 1,4 đến 4 lần, do đó có thể ngấm vào tận các lỗ và khe rất nhỏ trong đá.

Nước nhựa đường dùng để phun vào các lỗ và khe nứt rất nhỏ phải có kích thước nhỏ hơn $2 \sim 3\mu\text{m}$. Hàm lượng nhựa đường trong nước không được lớn quá 25 ~ 50%, vì nếu hàm lượng nhựa đường lớn hơn 50% thì độ nhớt của nước nhựa đường tăng rất nhanh.

4. Màng chống thấm bằng vữa xi măng + bentonite.

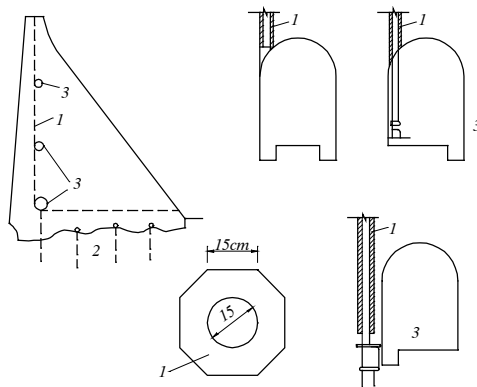
Nhằm cải thiện tính chất của vữa phụt tạo màng, trong thời gian gần đây, loại vật liệu vữa xi măng + bentonite + phụ gia chậm đông cứng đã được áp dụng khi xử lý chống thấm cho các loại nền. Đối với nền đá có kích thước kẽ nứt nhỏ, loại vữa xi măng + bentonite có độ linh động cao có thể len lỏi được vào các kẽ nứt này, làm tăng hiệu quả chống thấm của màn. Ở nước ta, tường hào chống thấm bentonite đã được áp dụng thành công khi xử lý chống thấm cho thân và nền một số đập đất (Dầu Tiếng, Dương Đông,...).

Đối với nền đá của đập bê tông, kinh nghiệm sử dụng loại vật liệu này chưa có nhiều, nên khi áp dụng cần xem xét kỹ các yếu tố kinh tế – kỹ thuật, có tham khảo tài liệu nước ngoài và thử dần từng bước (khoan phụt và khoan kiểm tra) để tìm ra các chỉ tiêu kỹ thuật hợp lý (thành phần vữa, cự ly hố khoan, áp lực phụt,...)

§1.7 MỘT SỐ CẤU TẠO CHI TIẾT CỦA ĐẬP BÊ TÔNG TRỌNG LỰC TRÊN NỀN ĐÁ

1. Thoát nước cho nền và thân đập

Hệ thống thoát nước thân đập trọng lực gồm nhiều đường ống đặt ở sau lớp bê tông chống thấm ở mặt thượng lưu. Khoảng cách giữa các ống thoát nước này thường từ 1,5 ~ 3,0m; đường kính ống $d = 15 \sim 30\text{cm}$.



Hình 1-30. Bố trí đường ống thoát nước trong thân đập.

1. ống bê tông có đục lỗ để thoát nước;
2. lỗ thoát nước ở nền; 3. đường hầm tập trung nước

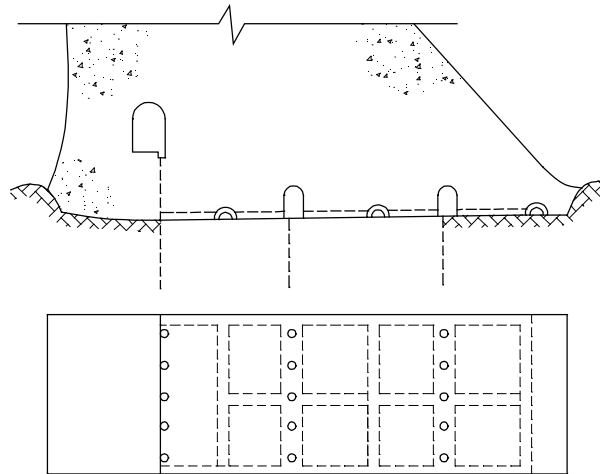
Các ống thoát nước trong thân đập thường dùng ống bê tông có đục nhiều lỗ hoặc bằng ống bê tông đúc bằng sỏi, sạn, ít cát để nước dễ ngấm qua, chiều dài mỗi đoạn ống từ 1 ~ 1,5m; các ống này nên đặt theo phương thẳng đứng hoặc thành một đường thẳng nghiêng và đều tập trung vào các đường hầm đặt trong thân đập (hình 1-30).

Khoảng cách từ đường ống đến mép thượng lưu đập không được nhỏ hơn trị số $(0,08 \sim 0,1)y$,

trong đó y là độ sâu nước tính từ mặt nước thượng lưu đến vị trí đang xét, nếu không nước thấm có thể phá hoại phần bê tông ở mặt thượng lưu đập.

Để thoát nước và tăng hiệu quả giảm áp lực thấm dưới nền tức giảm áp lực đẩy ngược dưới đáy đập, thường dùng biện pháp khoan các lỗ xuống nền để tập trung nước thấm dưới nền lại và dẫn (hoặc bơm) về phía hạ lưu. Các lỗ khoan thoát nước ở nền đặt ở sau màng chống thấm và cách màng chống thấm từ 2 ~ 3m về phía hạ lưu, đường kính các lỗ khoan này không nên lấy nhỏ hơn 15 ~ 25cm, khoảng cách giữa các lỗ khoan từ 1,5 ~ 3,0m và chiều sâu của lỗ khoan thường lấy bằng $1/2 \sim 2/3$ chiều sâu màng chống thấm.

Các lỗ thoát nước ở nền đều tập trung vào các đường hầm tập trung nước đặt ngay trên mặt nền hoặc vào đường hầm vừa dùng để khoan phun xi măng chống thấm vừa là đường hầm tập trung nước đặt cao hơn mặt nền một chút (hình 1-31).



Hình 1-31. Hệ thống thoát nước dưới nền đập

2. Đường hầm trong thân đập trọng lực:

Xem §1.3.III

3. Cấu tạo các khớp nối của đập trọng lực

Các khớp nối ngang của các khe lún vĩnh cửu trên thân đập cần phải bảo đảm an toàn khi các đoạn đập bị biến dạng do lún không đều hoặc do nhiệt độ biến đổi đồng thời phải bảo đảm không cho nước thấm qua.

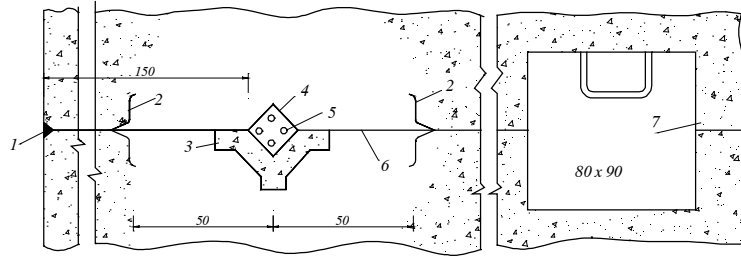
Trừ các khe lún kết hợp làm khe nhiệt độ vĩnh cửu trong đập, tất cả các khe dọc, khe ngang để phân chia đập thành các khối nhỏ trong quá trình thi công và để khắc phục ứng suất nhiệt trong giai đoạn thi công, trước khi đập làm việc đều phải xử lý phun vữa liên kết lấp khe.

Khoảng cách giữa các khớp nối ngang (khe lún) thường lấy khoảng 15 ~ 20m, trị số này có thể thay đổi tùy theo tình hình địa chất thực tế tại nơi xây dựng đập.

Trong các khớp nối ngang cần đặt các thiết bị chống thấm (xem hình 1-32 ÷ 1-34), sau bộ phận chống thấm cần bố trí các giếng quan sát để kiểm tra sự làm việc của khớp nối ngang. Thiết bị chống thấm đường đặt cách mặt thượng lưu từ 2 ÷ 4m còn giếng quan sát kiểm tra đặt cách thiết bị chống thấm từ 2 ÷ 3m về phía hạ lưu đập.

Cấu tạo của các khớp nối ngang được trình bày trên hình 1-33 và 1-34. Trong hình 1-33 là các loại khớp nối bitum dùng trong công trình thủy lợi. Những ống kim loại đặt dọc theo

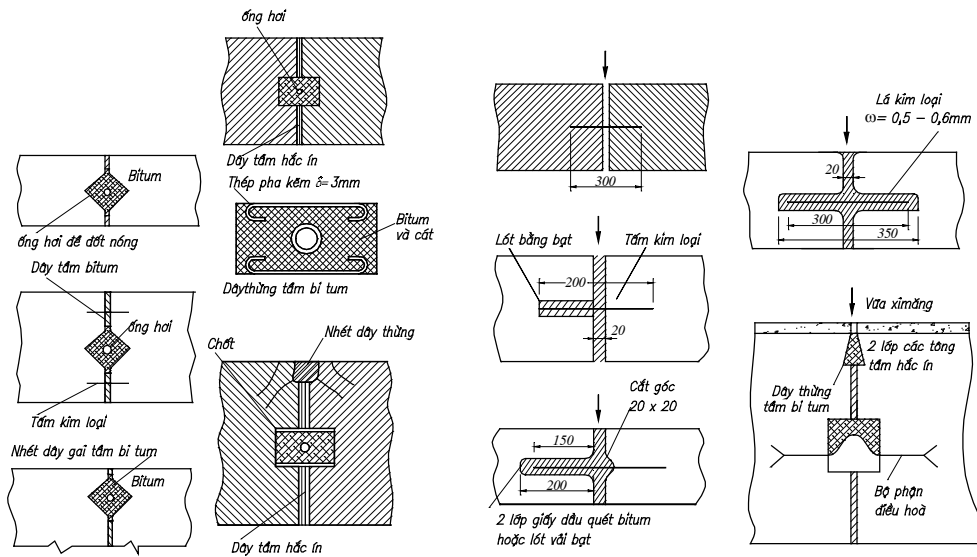
suốt chiều dài khớp nối có đường kính bằng khoảng 50mm để dẫn hơi nóng đốt chảy nhựa đường (bitum).



Hình 1-32. Sơ đồ bố trí cấu tạo của một khớp nối ngang, đơn vị: cm

1. nút bê tông đầu khe ngang ở mặt thượng lưu; 2. tấm đồng chống thấm dày 1,8mm; 3. tấm bê tông đúc sẵn; 4. giếng nhựa đường (bitum) chống thấm có kích thước 20 x 20cm; 5. điện cực để đốt nóng nhựa đường; 6. mặt khe ngang; 7. giếng quan sát, kiểm tra kích thước 80 x 90 cm.

Các kiểu khớp nối trong hình 1-34 được làm bằng các tấm kim loại chống rỉ (đồng, thép không rỉ, nhôm...). Tấm kim loại chống thấm thường rộng 300 ~ 350mm, không lấy nhỏ hơn 200 ~ 250 mm, dày 0,8 ~ 2mm. Các kiểu khớp nối trong hình 1-34 chế tạo đơn giản làm việc tốt nhưng khó sửa chữa, khôi phục và tốn nhiều kim loại chống rỉ.



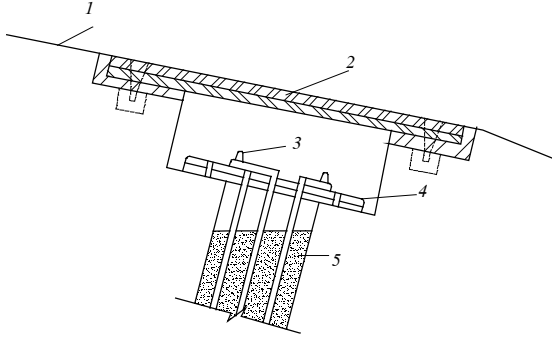
Hình 1-33. Các kiểu khớp nối chống thấm bằng bi tum

Hình 1-34. Các kiểu khớp nối chống thấm bằng các tấm kim loại

Tốt nhất là kết hợp dùng cả hai loại khớp nối này để lợi dụng tất cả các ưu điểm của 2 loại. Khớp nối kim loại thích hợp với trạng thái biến dạng lún, giếng nhựa đường (bi tum) dễ sửa chữa, dùng hỗn hợp sẽ làm cho hiệu quả chống thấm và tính bền vững của khớp nối ngang được cải thiện hơn.

Các giếng kiểm tra thường làm theo hình vuông, kích thước 0,7 x 0,7 ~ 1 x 1m hoặc có thể lớn hơn. Cũng có thể dùng hình tròn có đường kính nhỏ hơn 1m.

Các tấm kim loại chống thấm và giếng nhựa đường cần phải cắm sâu vào đá nền 1 đoạn 30 ~ 50cm và phải làm cao hơn mực nước lớn nhất ở thượng lưu. Tại đỉnh đập tràn, cần có các tấm nắp đậy để bảo vệ bộ phận này của khớp nối (hình 1-35).



Hình 1-35. Cấu tạo bộ phận bảo vệ của giếng nhựa đường trên mặt đập tràn

1. mặt tràn; 2. tấm nắp kim loại; 3. điện cực; 4. tấm sắt đậy; 5. giếng nhựa đường.

4. Lớp phủ mặt ngoài của đập

Mặt ngoài của đập thường được phủ bảo vệ để chống thấm, ngăn chặn các ảnh hưởng xâm thực hoá học có hại của nước đối với bê tông thân đập. Với điều kiện khí hậu Việt Nam, các đập bằng bê tông chỉ cần đặc biệt chú ý phòng chống thấm ở mái thượng lưu.

Biện pháp thích hợp:

- Làm lớp bê tông chất lượng đặc biệt tốt phủ ở mặt thượng lưu bằng phương pháp đổ chân không.
- Trát 1 lớp vữa xi măng chống thấm dày từ 2 ~ 3cm ở mặt thượng lưu;
- Quét bi tum lên mặt thượng lưu.

Đối với móng đập, để tránh móng thấm quá nhiều và tránh tác dụng ăn mòn của nước cần phải sử dụng các loại bê tông không thấm, không bị ăn mòn hoặc kết hợp với các biện pháp khác.

5. Cấu tạo đỉnh đập

Chiều rộng đỉnh đập cần thoả mãn các yêu cầu đi lại, kiểm tra quá trình sử dụng và trong khi thi công. Khi không có yêu cầu về giao thông, chiều rộng đỉnh đập nhỏ nhất không nên lấy nhỏ hơn 2m.

Đỉnh đập phải có đủ độ cao an toàn so với mực nước lớn nhất trước đập và không để sóng tràn qua. Khi cần thiết để giảm bớt chiều cao đập, có thể làm tường chắn sóng ở phía thượng lưu. Cao trình đỉnh tường chắn sóng cũng cần phải có đủ độ cao an toàn như trên.

Đỉnh đập cần làm hơi nghiêng về 2 phía thượng, hạ lưu để dễ tháo nước mưa trên đỉnh đập và phải làm rãnh tập trung và tháo nước mưa về thượng lưu hoặc hạ lưu đập.

Khi đỉnh đập được dùng vào mục đích giao thông, các kích thước và cấu tạo đỉnh đập cần thoả mãn các yêu cầu về giao thông.

Hai bên đỉnh đập cần bố trí hệ thống lan can bảo vệ, đèn chiếu sáng và phải đảm bảo yêu cầu về mỹ quan công trình.

§1.8 VẬT LIỆU XÂY DỰNG ĐẬP BÊTÔNG TRỌNG LỰC

Đập trọng lực có thể làm bằng bê tông hoặc đá xây, nhưng vật liệu bê tông được sử dụng rộng rãi nhất.

I. CÁC YÊU CẦU ĐỐI VỚI VẬT LIỆU LÀM ĐẬP

Vật liệu làm đập là bê tông thủy công cần thỏa mãn các yêu cầu sau:

1. Đủ cường độ chịu lực

Cường độ chịu lực được biểu thị qua mác bê tông. Mác được xác định theo cường độ nén ở tuổi 28 ngày, tính bằng MPa (N/mm²). Khi tính toán, với trường hợp đập bắt đầu làm việc ở tuổi dài ngày hơn thì có thể xác định cường độ bê tông ở tuổi tương ứng theo công thức tính đổi:

$$R_t = K_t \cdot R_{28} \quad , \quad (1-65)$$

trong đó: R_t , R_{28} – cường độ bê tông ở tuổi t ngày và 28 ngày ;

K_t – hệ số quy đổi được xác định sơ bộ theo bảng 1-15

Bảng 1-15. Hệ số quy đổi cường độ nén của bê tông theo tuổi

Tuổi bê tông, ngày	3	7	14	21	28	60	90	180
K_t	0,50	0,70	0,83	0,92	1,00	1,10	1,15	1,20

Cường độ chịu kéo khi uốn (cường độ uốn) được xác định bằng thí nghiệm. Khi dùng các vật liệu thông thường, tương quan giữa cường độ nén và cường độ uốn có thể tham khảo ở bảng 1-16.

Bảng 1-16. Tương quan giữa cường độ nén và cường độ uốn

Cường độ nén (MPa)	15	20	25	30	35	40	50
Cường độ uốn (MPa)	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5

Trong thiết kế, cần dựa vào kết quả phân tích ứng suất thân đập và đặc điểm công tác của từng vùng để lựa chọn mác bê tông cho phù hợp.

2. Đủ độ chặt và ít thấm nước

Các biện pháp cơ bản để nâng cao khả năng chống thấm của bê tông tức đảm bảo tính đồng nhất và liên khối của bê tông là:

- Hạn chế tỷ lệ N/X trong thành phần bê tông bằng cách tăng lượng dùng xi măng; tăng hàm lượng tương đối của cát trong hỗn hợp cốt liệu.
- Tránh để xảy ra phân tầng trong vận chuyển và đổ bê tông, làm tốt công tác đầm chặt khối lượng bê tông khi đổ.
- Sử dụng các chất phụ gia hoá dẻo, cho phép giảm lượng nước trộn bê tông và nâng cao độ ổn định chống thấm phân tầng.
- Bảo dưỡng tốt khối bê tông sau khi đổ.

Theo tính chống thấm, người ta chia bê tông thành các loại mác như sau: B-2, B-4, B-6, B-8, B-12.

Đối với bê tông thủy công ở vùng thường xuyên ngập nước và vùng mực nước biến đổi, mác chống thấm được xác định theo tỷ số giữa cột nước tác dụng lớn nhất và bề dày kết cấu, hoặc bề dày lớp bên ngoài của kết cấu (tức gradien cột nước J_h) như trên bảng 1-17.

Bảng 1-17: Chọn mác chống thấm của bê tông theo trị số J_h .

Mác:	B-4	B-6	B-8	B-12
J_h	< 5	5 – 10	10 - 12	≥ 12

3. Tính chịu nước

Môi trường nước có thể gây tác động ăn mòn bê tông. Dạng và mức độ ăn mòn cần được xác định trong quá trình điều tra khảo sát bằng cách phân tích thành phần hoá học của nước và khả năng ăn mòn bê tông, từ đó đề ra các biện pháp phòng chống thích hợp. Giải pháp cơ bản nhất để gia tăng độ bền của bê tông chống tác động xâm thực của nước làm tăng độ chặt của khối bê tông bằng các biện pháp như đã nêu ở mục trên.

4. Biến dạng nhiệt và ẩm của bê tông

Sự toả nhiệt của bê tông khi ngưng kết phụ thuộc vào loại xi măng và hàm lượng của nó trong bê tông. Vì vậy để hạn chế sự toả nhiệt khi bê tông ngưng kết khi cần thiết phải sử dụng các loại xi măng ít toả nhiệt, thiết kế thành phần bê tông với lượng dùng xi măng ít nhất, hoặc sử dụng phụ gia là các chất có hoạt tính bề mặt.

Khi kích thước của khối bê tông lớn mà việc áp dụng các biện pháp trên vẫn chưa đủ hạ nhiệt cho khối bê tông khi ngưng kết thì buộc phải áp dụng các biện pháp đặc biệt như luân chuyển nước lạnh qua thân của khối bê tông, hoặc là chia khối lớn ra thành các khối nhỏ hơn.

- Biến dạng co, nở của bê tông khi ngưng kết. Theo tiêu chuẩn về các yêu cầu kỹ thuật đối với bê tông thủy công, độ co ngót của mẫu bê tông ở tuổi 28 ngày khi ngưng kết trong không khí có nhiệt độ 18°C và độ ẩm tương đối 60% không được vượt quá 0,3 mm/m và ở tuổi 180 ngày thì không được vượt quá 0,7 mm/m.

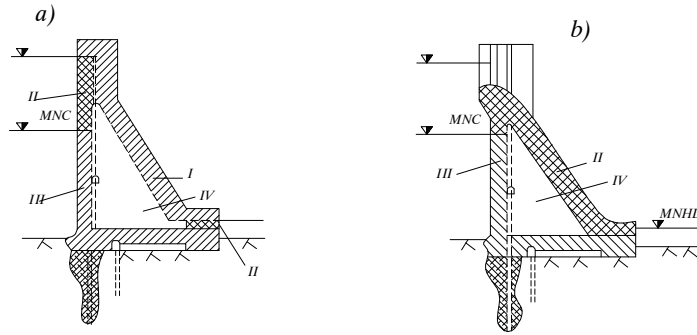
Độ nở dài khi bê tông ngưng kết trong nước không được vượt quá 0,1mm/m ở tuổi 28 ngày và 0,3mm/m ở tuổi 180 ngày.

5. Độ bền chống mài mòn và chống khí thực của bê tông

Mặt tràn nước của đập bê tông chịu tác động mài mòn khi dòng chảy mang nhiều bùn cát. Mặt tràn có dòng chảy lưu tốc cao cũng có thể bị phá hoại do khí thực khi trên mặt có các gồ ghề cục bộ vượt quá mức cho phép.

Để nâng cao độ bền chống khí thực và chống mài mòn, cần áp dụng bê tông có độ đặc và độ bền cao (mác ≥ 350) với cốt liệu nhỏ và trung bình, và với độ gồ ghề bề mặt là bé nhất.

II. PHÂN VÙNG THÂN ĐẬP



Hình 1-36. Phân vùng vật liệu thân đập

a. Đập không tràn; b. Đập tràn

Thân đập bê tông thường được phân ra các vùng như sau (hình 1-36):

I. Vùng ngoài của đập và các bộ phận của nó chịu tác động của khí quyển, nhưng không ngập nước;

II. Vùng ngoài của đập nằm trong phạm vi dao động của mực nước thượng, hạ lưu, cũng như các phần của đập bị ngập nước từng thời kỳ như phần tràn nước.

III. Vùng ngoài và vùng tiếp giáp với nền thường xuyên ngập dưới mực nước.

IV. Vùng trong thân đập, giới hạn bởi vùng I, II, III.

Bê tông của các vùng trong đập phải đạt được các yêu cầu sau:

Bảng 1-18. Yêu cầu đối với bê tông ở các vùng

STT	Yêu cầu đối với bê tông	Vùng đập			
		I	II	III	IV
1	Độ bền chịu nén	x	x	x	x
2	Độ bền chịu kéo	x	x	x	
3	Độ không ngấm nước		x	x	
4	Độ giãn dài giới hạn	x	x	x	x
5	Độ bền chống xâm thực của nước		x	x	
6	Độ bền chống mài mòn và khí thực khi dòng chảy có $V \geq 15$ m/s		x		
7	Độ toả nhiệt khi bê tông ninh kết	x	x	x	x

Chiều dày của vùng ngoài của đập phụ thuộc vào loại đập, cột nước tác dụng, điều kiện khí hậu và kích thước các bộ phận của đập. Thường không chế $\delta \geq 2m$.

Thông thường trong thiết kế đập không dùng quá 4 loại mác bê tông để tránh gây phức tạp trong việc bố trí thi công. Trường hợp đập sử dụng quá 4 loại mác bê tông cần có luận chứng xác đáng.

III. VẬT LIỆU CHẾ TẠO BÊTÔNG

1. Xi măng. Xi măng là một trong những vật liệu chủ yếu nhất để chế tạo bê tông thân đập. Việc giảm lượng dùng xi măng trong xây dựng đập vừa có ý nghĩa kinh tế vừa giảm được lượng nhiệt toả ra khi bê tông ngưng kết, do đó tăng được tốc độ thi công và hạn chế hình thành khe nứt do nhiệt trong thời kỳ thi công. Các biện pháp tiết kiệm xi măng là:

- Phân vùng đập để áp dụng các loại bê tông có số hiệu thích hợp. Việc phân vùng và lựa chọn số hiệu bê tông là dựa vào kết quả phân tích ứng suất thân đập (các đường đẳng ứng suất) và những chỉ dẫn và phân vùng nêu ở mục trên.

- Triệt để lợi dụng cường độ của bê tông ở thời kỳ cuối. Nếu có căn cứ xác định được là công trình chỉ bắt đầu làm việc sau một thời gian dài sau khi đổ bê tông thì có thể lấy cường độ bê tông ở tuổi 60 ngày, 90 ngày để tính toán lượng xi măng cần dùng. Theo tài liệu thí nghiệm thì cường độ bê tông sau 180 ngày tăng $1,13 \div 1,65$ lần so với cường độ sau 28 ngày.

- Sử dụng cốt liệu có đường kính lớn cho vùng có bê tông khối lớn

- Trộn thêm vật liệu thay thế một phần xi măng.

Các loại vật liệu có thể dùng để pha trộn là: tro hoà sơn, đất đialômíc, đá vôi v.v... Tỷ lệ thích hợp nhất giữa số hiệu xi măng và số hiệu bê tông là $2,0 \div 2,5$ lần. Nếu vượt quá 2,5 lần thì nên trộn thêm vật liệu khác, khi đó có thể sẽ ảnh hưởng đến cường độ bê tông. Vì vậy loại vật liệu pha trộn và hàm lượng hợp lý cần phải xác định bằng thí nghiệm.

- Trộn thuốc hoá dẻo vào bê tông. Thuốc hoá dẻo có tác dụng làm cho vữa bê tông linh động, dễ đổ, kéo dài được thời gian ninh kết ban đầu. Nhờ dùng thuốc hoá dẻo, có thể giảm được một phần lượng nước, nhờ đó tăng được độ chặt và tính chống thấm của bê tông. Loại và liều lượng dùng thuốc hoá dẻo cũng cần được xác định bằng thí nghiệm.

2. Cốt liệu bê tông

a. Cốt liệu thô (dăm, sỏi). Chỉ tiêu quan trọng của cốt liệu thô là thành phần, cường độ và cấp phối hạt. Về thành phần, cần tránh dùng các loại đá phân phiến, đá có chứa các hoạt chất, dễ bị xâm thực. Độ bền của đá dùng để xây thành đá dăm đổ bê tông cần phải vượt quá $2,5 \div 3$ lần cường độ bê tông khi sử dụng đá vôi; con số tương ứng khi sử dụng các loại đá cacbonát là $2 - 2,5$ lần.

Kích thước hạt của đá đổ bê tông không nên vượt quá 120 mm. Để đảm bảo tính không đổi về thành phần hạt của bê tông, khi sản xuất đá dăm, đề nghị phân thành các nhóm hạt có các kích cỡ như sau:

- Khi $D_{\max} = 80\text{mm}$, phân thành các cỡ 2-10, 10-20, 20-40 và 40-80 mm;

- Khi $D_{\max} = 120\text{ mm}$, phân thành các cỡ 5-10, 10-20, 20-40, 40-80 và 80-120mm.

b. Cốt liệu mịn (cát)

Để chế tạo bê tông thuỷ công, người ta sử dụng cát thiên nhiên. Cát cần phải sạch và bao gồm các hạt cứng không chứa các tạp chất hữu cơ và hạt bụi. Thành phần hạt của cát cần phải nằm trong giới hạn các đường cong cấp phối cho phép. Theo độ lớn của hạt, cát được phân thành 3 nhóm: hạt thô với môđun độ lớn $3,5 \div 2,8$; hạt trung với môđun độ lớn $2,8 \div 2,2$ và hạt mịn tương ứng với $2,2 \div 1,8$. Việc sử dụng cát hạt nhỏ hơn cần phải được luận chứng.

Khi sử dụng cốt liệu thô, cũng như cốt liệu mịn được xay từ các mỏ đá, tuyệt đối không được dùng loại đá có chứa silic vô định hình, bởi vì yếu tố này khi tác dụng với xi măng gây ra phản ứng hoá học làm trương nở thể tích của bê tông, làm cho bê tông nứt nẻ không thể khắc phục được.

§1.9. CÁC LOẠI ĐẬP BÊTÔNG TRONG LỰC CẢI TIẾN

I. LUÂN ĐIỂM CHUNG

Đập bê tông trọng lực khối lớn có nhiều ưu điểm như: đơn giản về kết cấu và điều kiện xây dựng; cho phép tháo lưu lượng lũ lớn trong thời gian thi công cũng như khai thác; làm việc an toàn với mọi điều kiện khí hậu, mọi chiều cao..

Bên cạnh đó, đập bê tông khối lớn cũng có những nhược điểm, đó là:

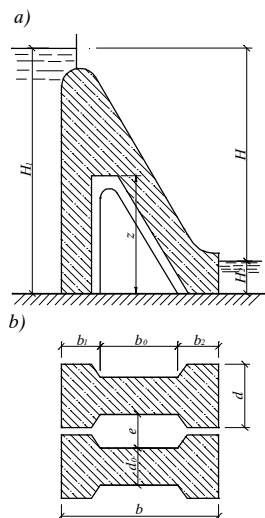
- Có thể tích lớn, sử dụng nhiều vật liệu, trong đó có vật liệu xi măng, dẫn đến giá thành cao so với các kiểu đập khác;
- Sử dụng không hết khả năng chịu lực của vật liệu bê tông, đặc biệt là ở các đập không cao lắm ($H < 100\text{m}$);
- Các biến dạng nhiệt và lún có thể làm mất đi tính toàn khối của thân đập.
- Bê tông tỏa nhiệt nhiều trong thời gian ninh kết làm hạn chế tốc độ thi công.

Những nhược điểm này đặt ra sự cần thiết phải tìm kiếm các biện pháp cải tiến đập bê tông trọng lực khối lớn. Cho đến nay, những thành tựu đạt được từ sự cải tiến theo các hướng sau đây:

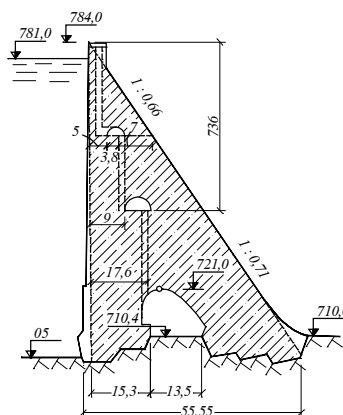
1. Làm nhẹ bớt mắt cắt đập

a. Làm giảm áp lực thẩm thấu ngược lên đáy đập

- Đập trọng lực khe rỗng (hình 1-37)
- Đập có khoét lỗ lớn ở gần nền (hình 1-38)



Hình 1-37. Đập trọng lực khe rỗng
a. Cắt ngang; b. Mặt bằng



Hình 1-38. Đập có lỗ lớn ở nền (đập
Grosser Muldorpherdee - Áo)

Các giải pháp này cũng góp phần làm cho bê tông toả nhiệt được dễ hơn. Ngoài ra, các lỗ lớn ở nền có thể kết hợp làm hành lang đi lại kiểm tra, phụt vữa xử lý nền, hay làm gian máy của trạm thủy điện (ở các đập lớn).

b. Đặt các thanh neo có ứng suất trước ở mặt thượng lưu của đập (hình 1-39). Các thanh neo này có tác dụng:

- Loại trừ ứng suất kéo xảy ra ở mặt thượng lưu đập khi hồ đầy nước;
- Tăng ổn định chống trượt cho đập, nhờ kết cấu găm chặt đập vào nền.

Kinh nghiệm thế giới về xây dựng đập có neo thép ứng

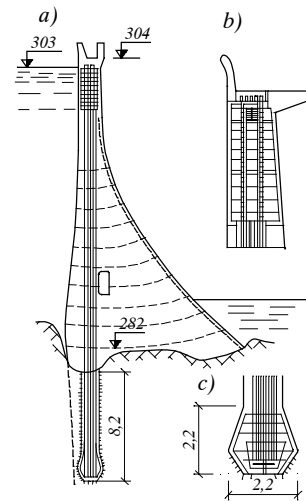
suất trước cho thấy hình thức này có hiệu quả đối với các đập cao 50 - 60m. Khối lượng bê tông tiết kiệm được có thể đến 30 - 40% so với đập không neo; giá thành toàn bộ đập giảm được 10 - 20% so với đập trọng lực thông thường tương ứng.

c. Thay thế bê tông trong thân đập bằng một loại vật liệu khác rẻ hơn.

Vật liệu thay thế thường được khai thác tại chỗ: cát, sỏi, đá cuội... Những vật liệu này thường được chất đầy tại các lỗ lớn ở trong thân đập.

2. Hạn chế lượng dùng xi măng và cải tiến phương pháp đổ bê tông:

a. Hạn chế lượng dùng xi măng: các biện pháp đã nêu ở §1.8. Biện pháp này có tác dụng tiết kiệm một phần tiền mua xi măng và quan trọng hơn là giảm được mức độ toả nhiệt của khối bê tông trong thời gian thi công, nhờ đó có thể tăng được kích thước khối đổ, tăng tốc độ thi công và hạn chế sự hình thành các khe nứt do nhiệt.



Hình 1-39. Đập có neo ứng suất trước (đập Olt na Leirige - Scotlen)

b. Cải tiến phương pháp đổ bê tông

Phương pháp truyền thống để đổ bê tông thân đập khối lớn là sử dụng phễu để đổ và đầm rung bề mặt để đầm bê tông trong từng khoảng đã quy định. Phương pháp này có hạn chế là phải giới hạn diện tích khoảng đổ để tránh phát sinh khe lạnh trong quá trình đổ bê tông, dẫn đến làm giảm tốc độ thi công, tăng khối lượng xử lý tiếp giáp giữa các khối.

Nhằm khắc phục tình trạng này, trong thời gian gần đây trên thế giới đã áp dụng một phương pháp cải tiến để đổ bê tông thân đập, đó là công nghệ đổ bê tông đầm lăn (RCC). Với phương pháp này, việc đổ và đầm bê tông được tiến hành như khi đắp đập đất đầm nén. Vữa bê tông được rải đều trên mặt khoảng đổ bằng thùng rải chuyên dụng. Sau khi rải, vữa bê tông được nén chặt bằng máy đầm lăn (Roller). Theo phương pháp này có thể đạt được tốc độ thi công rất cao, tuy nhiên nó cũng đòi hỏi sự phối hợp nhịp nhàng các khâu công tác và một trình độ cao trong tổ chức thi công.

Sau đây sẽ trình bày một số dạng đập cải tiến có nhiều triển vọng áp dụng ở Việt Nam.

II. ĐẬP TRỌNG LỰC KHE RỖNG

1. Đặc điểm và cấu tạo

Thân đập gồm các đoạn làm việc độc lập. Mặt tiếp giáp giữa các đoạn có khoét khe rỗng (phần bên trong mặt cắt, kéo xuống đến mặt nền). Nhờ cấu tạo như vậy nên đập có những ưu điểm:

- Áp lực đẩy ngược lên để đập nhỏ nên tổng thể tích bê tông yêu cầu giảm nhiều so với đập trọng lực đặc. Thường thể tích có thể giảm được 10 - 20% hoặc lớn hơn;
- Dễ dàng cho việc bố trí biện pháp tỏa nhiệt trong thi công.
- Tiện lợi trong công tác kiểm tra, sửa chữa các đoạn đập;
- Ứng suất trong thân đập khe rỗng phân bố tương đối đều hơn đập trọng lực đặc nên có thể tận dụng khả năng chịu lực của vật liệu bê tông nhiều hơn.

Các kích thước mặt cắt đập khe rỗng: tỷ lệ giữa khe rỗng với chiều rộng đoạn đập $\frac{2S}{B}$ thường lấy khoảng từ 0,2 ÷ 0,4, nếu tỷ số này vượt quá 0,4 thì đập khe rỗng sẽ trở thành đập trụ chống.

Chiều rộng mỗi đoạn đập B khi thiết kế quyết định bởi tình hình địa chất nền, cường độ trộn đổ bê tông và còn phụ thuộc cả vào việc bố trí các khoang đập tràn nữa (nếu đập khe rỗng cho tràn nước).

Chiều dày S_1 ở đầu thượng lưu đập phải đủ lớn để bố trí các đường hầm trong thân đập, để thỏa mãn các yêu cầu đặc biệt như chống thấm cho đoạn đầu đập, tránh hiện tượng ứng suất tập trung, thường $S_1 \geq (0,08 \div 0,12)H$, H là cột nước ở thượng lưu, trị số S_1 không được nhỏ hơn 3m, ngay cả khi không bố trí các loại đường hầm trong thân đập.

Chiều dày S'_1 ở đoạn hạ lưu đập có thể lấy nhỏ hơn, thường từ 3 ÷ 5m.

Các góc vát của khe rỗng nên lấy nhỏ hơn 45° để tránh ứng suất tập trung.

Việc xác định mặt cắt đập cũng cần thông qua tính toán so sánh theo 3 yêu cầu về ổn định, cường độ và kinh tế để chọn độ dốc mái thượng lưu và hạ lưu đập như đối với đập trọng lực đặc.

2. Tính toán đập trọng lực khe rỗng

Do đặc điểm trên nên khi tính toán kiểm tra ổn định và ứng suất đập trọng lực khe rỗng không thể tính cho 1m dài mà phải tính cho cả đoạn đập có chiều rộng là B.

Việc tính toán kiểm tra ổn định đập khe rỗng giống như đập trọng lực đặc đã nêu ở các phần trên. Trong phần này, chỉ đề cập đến tính toán ứng suất đập khe rỗng.

Hình 1-40 biểu thị sơ đồ mặt cắt tính toán ứng suất đập trọng lực khe rỗng.

Các ký hiệu:

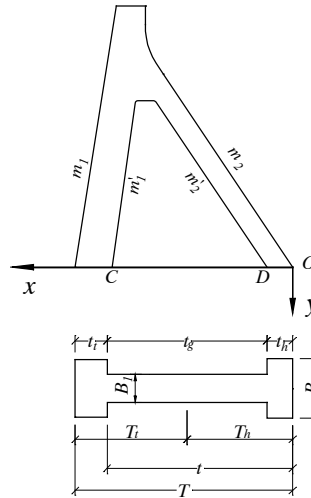
T_1 - khoảng cách từ trọng tâm mặt cắt đến biên thượng lưu đập;

T_h - khoảng cách từ trọng tâm mặt cắt đến biên hạ lưu đập;

t_1 - chiều dài đoạn đập ở thượng lưu;

t_h - chiều dài đoạn đập ở hạ lưu;

t_g - chiều dài đoạn khe rỗng;
 $T = t_t + t_h + t_g$;
 $t = t_g + t_h$;
 B - chiều rộng của đoạn đập khe rỗng;
 B_1 - chiều rộng đoạn đập ở chỗ có khe rỗng;
 F - diện tích mặt cắt ngang của đập (cắt theo mặt phẳng nằm ngang);
 I - mômen quán tính của mặt cắt ngang.



Hình 1-40. Mặt cắt tính toán ứng suất đập khe rỗng

Các trị số T_t , T_h , F , I có thể xác định theo công thức:

$$T_t = T - T_h$$

$$T_h = \frac{1}{2F} [B(t_h^2 - t_t^2) + B_1 t_g^2 + 2(B_1 t_h t_g + B t_t T)]$$

$$F = B(t_t + t_h) + B_1 t_g$$

$$I = \frac{1}{12} (B t_h^3 + B t_t^3 B_1 t_g^3) + B t_t \left(T_t - \frac{t_t}{2} \right)^2 +$$

$$+ B t_h \left(T_h - \frac{t_h}{2} \right)^2 + B_1 t_g \left(T_h - t_h - \frac{t_g}{2} \right)^2$$

b. Tính toán ứng suất σ_y

σ_y trong thân đập khe rỗng vẫn giả thiết phân bố theo quy luật đường thẳng, tức $\sigma_y = a + b.x$ (x lấy gốc xuất phát từ mái hạ lưu như đập trọng lực đặc),

trong đó:
$$a = \frac{\Sigma P}{F} - \frac{\Sigma M}{I} T_h$$

$$b = \frac{\Sigma M}{I}$$

ΣP - tổng các lực thẳng đứng tác dụng kể từ mặt cắt tính toán trở lên;

ΣM - tổng mômen của các lực tác dụng đối với trọng tâm mặt cắt;

Ứng suất σ_y tại một số điểm đặc biệt như sau:

Tại mép thượng lưu đập: $\sigma_y' = a + b.T$

Tại mép hạ lưu đập: $\sigma_y'' = a$

Tại mép đầu của đoạn khe rỗng ở thượng lưu, tức tại điểm C.

$$\sigma_{y_c} = a + b(t_h + t_g) = a + b.t$$

Tại mép cuối đoạn khe rỗng về phía hạ lưu, tức tại điểm D:

$$\sigma_{y_D} = a + b.t_h$$

c. Ứng suất cắt τ :

Tại mép biên hạ lưu: $\tau'' = (\sigma_y'' - \gamma.y'').m_2$

Tại mép biên thượng lưu: $\tau' = (\gamma.y' - \sigma_y').m_1$

y' , y'' là chiều sâu nước ở thượng, hạ lưu tính đến mặt cắt tính toán.

Ứng suất τ ở trong thân đập khe rỗng cũng phân bố theo quy luật bậc 2 như sau:

Tại đoạn đầu đập phía thượng lưu: $\tau_t = a_{1t} + b_1x + c_1x^2$;

Tại đoạn giữa đập (đoạn có khe rỗng): $\tau_g = a_{1g} + b_1x + c_1x^2$;

Tại đoạn đầu đập phía hạ lưu: $\tau_h = a_{1h} + b_1x + c_1x^2$

Khi tìm τ tại mỗi điểm trong các đoạn thân đập, cần phải xác định 5 hệ số a_{1t} , a_{1g} , a_{1h} , b_1 và c_1 trước, sau đó tùy theo tọa độ x ở mỗi điểm, sẽ xác định được trị số τ ở điểm ấy:

Để xác định 5 hệ số trên, phải tiến hành giải 5 phương trình sau đây:

1. $a_{1h} = \tau''$

2. $B_1(a_{1g} + b_1t_h + c_1t_h^2) - B(a_{1h} + b_1t_h + c_1t_h^2) + (B - B_1)m_2'.\sigma_{y_D} = 0$

3. $B(a_{1t} + b_1t + c_1t^2) - B_1(a_{1g} + b_1t + c_1t^2) + (B - B_1)m_1'.\sigma_{y_c} = 0$

4. $a_{1t} + b_1t + c_1t^2 = \tau'$

5. $Ba_{1h}t_h + B_1a_{1g}t_g + Ba_{1t}t_t + b_1\left[\frac{B}{2}t_h^2 + \frac{B_1}{2}(t^2 - t_h^2) + \frac{B}{2}(T^2 - t^2)\right] + c_1\left[\frac{B}{3}t_h^3 + \frac{B_1}{3}(t^3 - t_h^3) + \frac{B}{3}(T^3 - t^3)\right] = -Q,$

trong đó: Q là tổng lực nằm ngang tác dụng lên mặt cắt, τ'' , τ' , σ_{y_c} và σ_{y_D} đều đã được xác định theo các công thức trên, có thể liên hệ các phương trình và tìm được a_{1t} , a_{1g} , a_{1h} , b_1 , c_1 của mặt cắt tính toán.

d. Ứng suất σ_x

Ứng suất σ_x'' ở biên hạ lưu:

$$\sigma_x'' = (\sigma_y'' - \gamma.y'')m_2^2 + \gamma.y'' = \tau''.m_2 + \gamma.y''$$

Ứng suất σ_x' ở biên thượng lưu:

$$\sigma_x' = \gamma.y' = (\gamma.y' - \sigma_y')m_1^2 = \gamma.y' - \tau'.m_1$$

Ứng suất σ_x tại các đoạn trong thân đập, phân bố theo quy luật đường cong bậc 3, ta có:

Tại đoạn đầu đập thượng lưu: $\sigma_x = a_{2t} + b_2x + c_2x^2 + d_2x^3$;

Tại đoạn giữa (đoạn có khe rỗng) $\sigma_x = a_{2g} + b_{2g}x + c_2x^2 + d_2x^3$;

Tại đoạn đầu đập hạ lưu: $\sigma_x = a_{2h} + b_{2h}x + c_2x^2 + d_2x^3$.

Muốn tìm σ_x tại mỗi điểm trong thân đập, cần phải biết 8 hệ số: a_{2t} , b_{2t} , a_{2g} , b_{2g} , a_{2h} , b_{2h} , c_2 và d_2 ;

Khi xác định 8 hệ số này, cần giải 8 phương trình sau:

$$1. a_{1h} = \sigma_x''$$

$$2. a_{2g} = \frac{B}{B_1} \gamma \cdot y'' + \frac{B}{B_1} \left(t_h \frac{da_{1h}}{dy} + \frac{1}{2} t_h^2 \frac{db_1}{dy} + \frac{1}{3} t_h^3 \frac{dc_1}{dy} \right) + \left(a_{1g} \cdot m_2 - t_h \frac{da_{1g}}{dy} - \frac{1}{2} t_h^2 \frac{db_1}{dy} - \frac{1}{3} t_h^3 \frac{dc_1}{dy} \right).$$

$$3. a_{2t} = \gamma \cdot y' + a_{1t} \cdot m_2 - \tau(m_2 + m_1) - T \frac{da_{1t}}{dy} - \frac{1}{2} T^2 \frac{db_1}{dy} - \frac{1}{3} T^3 \frac{dc_1}{dy}.$$

$$4. b_{2h} = \frac{da_{1h}}{dy} + b_1 \cdot m_2.$$

$$5. b_{2g} = \frac{da_{1g}}{dy} + b_1 \cdot m_2.$$

$$6. b_{2t} = \frac{da_{1t}}{dy} + b_1 \cdot m_2.$$

$$7. c_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{db_1}{dy} + c_1 \cdot m_2.$$

$$8. d_2 = \frac{1}{3} \frac{dc_1}{dy}$$

Trong khi tính toán, có thể chuyển dạng vi phân thành sai phân:

$$\frac{da_{1h}}{dy} \approx \frac{\Delta a_{1h}}{\Delta y}, \quad \frac{db_1}{dy} \approx \frac{\Delta b_1}{\Delta y}, \quad \frac{dc_1}{dy} \approx \frac{\Delta c_1}{\Delta y}, \quad \frac{da_{1g}}{dy} \approx \frac{\Delta a_{1g}}{\Delta y}, \quad \frac{da_{1ht}}{dy} \approx \frac{\Delta a_{1ht}}{\Delta y}.$$

Sau đó tìm các trị số này như phương pháp đã trình bày trong phần tính toán ứng suất đập trọng lực đặc.

Do khối lượng tính toán σ_x quá nhiều, khi tính cho các đập thấp hoặc trong giai đoạn thiết kế sơ bộ, có thể tính σ_x theo quy luật phân bố bậc nhất.

$$\sigma_x \cdot B_x = a_2 + b_2 \cdot x,$$

trong đó:

$$a_2 = \sigma_x'' \cdot B;$$

$$b_2 = \frac{\sigma_x' \cdot B - \sigma_x'' \cdot B}{T};$$

B_x - chiều rộng của đoạn đập tại điểm có toạ độ x , tại 2 đầu thượng, hạ lưu đập $B_x = B$ (xem hình 1-40).

Chú ý trong tất cả các bước tính toán trên để tìm σ_y , τ và σ_x , gốc toạ độ của trục x đều xuất phát từ mép biên hạ lưu của mặt cắt.

Sau khi tìm xong σ_y , τ , σ_x tại mỗi điểm trong thân đập, tiến hành xác định ứng suất chính N_1 , N_2 giống như đập trọng lực và vẽ đường đẳng ứng suất và quỹ đạo ứng suất.

Trên đây là phương pháp xác định các loại ứng suất trung bình, chưa xét đến ứng suất tập trung cục bộ. Ứng suất tập trung cục bộ quanh đường hầm, lỗ khoét trong thân đập tham khảo cách tính toán ở §1.5. Ứng suất tập trung cục bộ tại 2 đầu thượng, hạ lưu có thể tham khảo tài liệu “Tính toán và thiết kế đập trọng lực” của Phan Gia Tranh, Nhà xuất bản Công nghiệp Trung Quốc 1965, hoặc có thể tiến hành xác định theo thí nghiệm quang đàn hồi.

III. ĐẬP BÊTÔNG ĐẦM LẤN

1. Bố trí đập. Đập bê tông đầm lặn cũng có thể bố trí các đoạn tràn nước và không tràn nước trên cùng một tuyến.

Đoạn tràn nước nên bố trí ở giữa lòng sông để giảm thiểu sự ảnh hưởng đến tình hình dòng chảy ở hạ lưu. Về hình thức tràn, nên ưu tiên xem xét phương án tràn hở, làm việc tự động (không có cửa van) để giảm nhỏ khối lượng các bộ phận công trình phải thi công bằng bê tông thường. Trường hợp tuyến đập ngắn, không đủ để bố trí tràn tự do mới xét đến phương án tràn có cửa van.

Khi trong đầu mối có bố trí nhà máy thủy điện thì nên chọn loại đặt sau đập để tránh ảnh hưởng nhiều đến tiến trình thi công đập bằng bê tông đầm lặn.

Về dẫn dòng thi công, có thể xem xét các phương án đường hầm, kênh tháo hay lỗ tháo trong thân đập. Phương án dẫn dòng qua đập đang thi công là có nhiều hạn chế. Khi sử dụng các lỗ tháo trong thân đập để dẫn dòng, cần dự kiến trước thời gian và biện pháp thi công bịt lỗ.

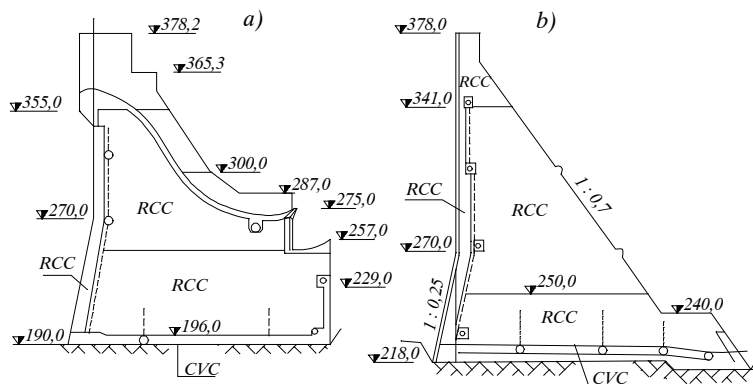
2. Mặt cắt đập. Một nguyên tắc rất quan trọng khi bố trí mặt cắt đập bê tông đầm lặn là phải đơn giản hoá để tiện cho thi công.

Theo nguyên tắc này, nên cố gắng giảm bớt số hành lang, lỗ khoét trong thân đập. Khi đập cao không quá 45m, thường chỉ bố trí một tầng hành lang ở sát nền. Hành lang này vừa để thi công khoan phụt vữa, đi lại kiểm tra, vừa là nơi tập trung nước thấm từ thân đập và nền, và bố trí các dây dẫn nối với thiết bị quan trắc.

Đối với đập không tràn, bề rộng đỉnh đập thường chọn $b \geq 5m$ để dễ bố trí thi công đầm lặn.

Đối với đập tràn, mặt tràn có thể làm dạng bậc thang để kết hợp tiêu năng hạ lưu. Các bậc này thường được làm bằng bê tông đúc sẵn, kết hợp làm cốt pha khi đổ khối bê tông đầm lặn thân đập. Đối với các đập cao, kích thước và cách bố trí bậc tràn cần được kiểm chứng bằng thí nghiệm mô hình thủy lực.

3. Bố trí vật liệu trong thân đập.



Hình 1-40. Đập trọng lực bê tông đầm lăn Long Than (Trung Quốc)

a) Mặt cắt đập tràn; b) Mặt cắt đập không tràn

RCC: bê tông đầm lăn; CVC: bê tông đầm lăn biến thái.

Nguyên tắc bố trí vật liệu trong thân đập bê tông đầm lăn là phải hạn chế sử dụng bê tông thường, có phân vùng để tận dụng khả năng làm việc của vật liệu, nhưng không dùng quá nhiều mác vật liệu trong một đập (số loại mác thường không quá 4).

Sơ đồ bố trí vật liệu trong thân đập như sau:

- Lớp sát nền (có chiều dày không quá 1m): dùng bê tông thường, hoặc bê tông đầm lăn cấp phối 2 (RCC2) biến thái. RCC2 là loại bê tông đầm lăn mà cốt liệu thô gồm 2 nhóm: hạt nhỏ có $d = 5 \div 20\text{mm}$ và hạt vừa có $d = 20 \div 40\text{mm}$.

RCC biến thái là loại bê tông mà sau khi rải vật liệu RCC, người ta trộn thêm vào một tỷ lệ vữa nhất định rồi đầm chặt; trong thành phần của vữa trộn thêm này có thể có phụ gia làm tăng cường độ hay tính chống thấm, tùy theo yêu cầu của từng vùng. Ở vùng sát nền và vai đập, dùng RCC2 biến thái để tăng cường độ và khả năng chống nứt khi thân đập có sự co giãn so với nền đã ổn định. Đối với các đập cao, thành phần của RCC biến thái cần được xác định thông qua thí nghiệm.

- Mặt thượng lưu: bố trí lớp bê tông chống thấm. Yêu cầu về mác chống thấm của bê tông phụ thuộc vào cột nước tác dụng, thường lấy như sau:

Cột nước tác dụng H(m)	Mác chống thấm của bê tông
< 30	B-4
30 ÷ 70	B-6
70 ÷ 150	B-8

Ngoài ra, đối với bê tông vùng dưới mực nước chết của hồ, hay bê tông lớp sát nền cũng yêu cầu mác chống thấm là B-8.

Mặt thượng lưu được cấu tạo bằng RCC2 biến thái. Tỷ lệ phụ gia cần được xác định theo mức chống thấm yêu cầu và đối với các đập cao thì phải thông qua thí nghiệm để xác định.

Chiều dày của lớp bê tông chống thấm ở mặt thượng lưu được xác định như sau:

$$\delta = \frac{y}{J_{cp}}, \quad (1-66)$$

trong đó: y - cột nước tính toán (từ mực nước dâng bình thường đến cao trình điểm xét).

J_{cp} - gradien cho phép của vật liệu chống thấm, lấy $J_{cp} = 12 \div 20$.

Ngoài ra, chiều dày δ còn phải thỏa mãn điều kiện thi công, cấu tạo.

- Hành lang trong thân đập: mặt cắt hành lang có thể tạo bằng cách đổ bê tông thường, hoặc bê tông lắp ghép. Bên ngoài lớp áo được bọc bằng bê tông đầm lăn cấp phối 2 biến thái. Chiều dày lớp này thường không quá 1m.

- Mặt đập tràn: trong trường hợp không dùng các dầm bê tông đúc sẵn để tạo bậc thì mặt đập tràn được tạo bằng RCC2 biến thái. Bê tông mặt tràn cần thỏa mãn các yêu cầu về chống mài mòn, chống khí thực.

- Phần trong của mặt cắt đập: dùng RCC3, tức bê tông đầm lăn mà cốt liệu thô gồm đủ 3 nhóm - hạt nhỏ, hạt vừa và hạt to. Ở vùng này nên dùng một loại mác bê tông.

4. Khớp nối.

Ở đập bê tông đầm lăn, các khớp nối ngang vừa là khớp lún vừa là khe co giãn nhiệt. Với đập trên nền đá, khoảng cách giữa các khớp nối ngang thường khoảng 30m, có thể lấy đến 40m nếu có luận cứ xác đáng (thông qua tính toán ứng suất nhiệt).

Thiết bị ngăn nước của khớp nối được đặt ở gần mặt thượng lưu, trong lớp bê tông chống thấm. Nó thường gồm tấm đồng ở phía trước và tấm nhựa tổng hợp ở phía sau. Đối với hành lang dọc đập cắt qua khớp nối thì thiết bị chống thấm bọc vòng quanh hành lang chỉ gồm 1 lớp, đặt trong vùng RCC2 biến thái.

Phần khe phía sau thiết bị ngăn nước được tạo thành bằng phương pháp cắt hay khoan thành một hàng lỗ sau một lớp rải RCC, sau đó lấp đầy khoảng hở bằng cát hay gỗ tấm nhựa đường rồi mới tiến hành đầm chặt. Chú ý rằng, nếu khớp nối được chèn bằng gỗ thì chiều cao của tấm chèn phải nhỏ hơn chiều dày của lớp sau khi đầm chặt.

5. Thiết bị thoát nước thân đập.

Thiết bị thoát nước thân đập là một hàng lỗ khoan hoặc ống xối đặt sau lớp bê tông chống thấm, nối với hành lang tập trung nước. Khoảng cách giữa các lỗ là $2 \div 3m$; đường kính lỗ $d = 76 \div 102mm$.

6. Tính toán ổn định đập.

Việc tính toán ổn định cũng tiến hành tương tự như đối với đập bê tông thường (công thức 1-18 ÷ 1-21). Về mặt trượt tính toán, ngoài mặt cắt sát nền, còn phải xét đến các mặt trượt qua thân đập, các vị trí giảm yếu, đặc biệt là mặt phân cách các tầng khi đổ bê tông.

Đối với đập cao, các đặc trưng chống cắt ($tg\phi$, c) trên mặt phân tầng thi công cần được xác định bằng thí nghiệm. Đối với các đập vừa và thấp, trị số $tg\phi$ và c có thể tham khảo ở các công trình tương tự. Theo tài liệu [24], trong thiết kế sơ bộ thường lấy $tg\phi = 1$; $c = 5\%R_n$.

7. Tính toán độ bền của đập bê tông đầm lăn.

Nguyên tắc và các phương pháp tính toán độ bền của đập loại này không khác với đập bê tông thường đã được trình bày ở §1.5. Điều cần lưu ý là do bê tông đầm lăn ninh kết chậm nên trong kiểm tra bền cần tận dụng cường độ bê tông ở tuổi 90 ngày, 120 ngày hoặc cao hơn. Muốn vậy khi vạch tiến độ thi công cũng cần đảm bảo để đập thực sự bắt đầu làm việc ở các thời gian tương ứng. Theo thống kê ở các đập đã xây dựng tại Trung Quốc, cường độ bê tông ở tuổi bất kỳ vẫn xác định theo (1-65), trong đó $K_t = 1,5$ ứng với $t = 90$ ngày; $K_t = 1,8$ ứng với $t = 180$ ngày.

8. Vật liệu bê tông đầm lăn.

Đặc điểm của vật liệu bê tông đầm lăn là sử dụng hạn chế lượng xi măng và thêm vào một tỷ lệ phụ gia khoáng hoạt tính nhất định. Các loại phụ gia khoáng hoạt tính có thể nghiên cứu sử dụng (tùy theo nguồn cung cấp ở từng vùng) là: puzolan, tro bay, xỉ lò cao.

Yêu cầu đối với các loại phụ gia là:

- Tổng lượng ($SiO_2 + Al_2O_3 + FeO_2$) $> 70\%$;
- Hàm lượng $SO_3 < 4\%$;
- Độ ẩm $< 3\%$;
- Lượng mất khi nung $< 10\%$;
- Chỉ số hoạt tính 28 ngày $> 75\%$;
- Độ mịn: lượng dư trên sàng 0,08 mm: $< 15\%$.

Khi thiết kế cấp phối bê tông, cần dựa vào loại xi măng, phụ gia và cốt liệu cụ thể để thí nghiệm xác định thành phần hợp lý. Cần lưu ý rằng thời gian ninh kết của bê tông đầm lăn dài hơn so với bê tông thường nên trong thí nghiệm, số lượng mẫu của 1 nhóm cần lấy nhiều hơn để có thể xác định được thoả đáng quan hệ $R \sim t$ làm căn cứ kiểm tra điều kiện bền của đập.

Ngoài ra, khi sử dụng phụ gia khoáng hoạt tính còn cần lưu ý các điểm sau:

- Phụ gia làm chậm sự đông kết, cứng hoá của bê tông nên việc hoàn thiện bề mặt cần thực hiện chậm hơn để tránh trường hợp bê tông bị tiết nước.
- Cường độ chống thấm ở giai đoạn đầu mới đông kết của bê tông có phụ gia khá thấp (mặc dù cường độ chống thấm cuối cùng lại cao hơn so với bê tông thường), nên bê tông có phụ gia cần được bảo dưỡng dài ngày hơn.
- Khoáng phụ gia có thể nghiền chung, trộn với xi măng theo tỷ lệ thích hợp trước khi đưa ra sử dụng, hạn chế việc trộn trực tiếp. Có thể pha thêm phụ gia trơ (bột đá nghiền mịn) nhưng độ mịn phải cao, và phải thông qua thí nghiệm để xác định liều lượng thích hợp ứng với từng vùng và từng loại mác bê tông.
- Việc xác định kích thước lớn nhất của khối đổ đảm bảo bê tông không bị nứt nẻ do ứng suất nhiệt cần được kiểm tra bằng thí nghiệm tại hiện trường.

Tỷ lệ lượng vật liệu trộn vào vật liệu dính kết ở phần vỏ ngoài của mặt cắt (dùng RCC2) không nên vượt quá 55% tổng lượng vật liệu dính kết; ở phần trong thân đập (dùng RCC3), tỷ lệ nói trên không vượt quá 65% (trong khoảng 55 ÷ 65%).

Cấp phối của bê tông đầm lăn do thí nghiệm xác định, song tổng lượng vật liệu dính kết không được thấp hơn 130kg/m³ ; tỷ lệ $\frac{N}{C+F}$ nên nhỏ hơn 0,7; ở đây N- lượng nước; C- lượng xi măng; F- lượng phụ gia khoáng hoạt tính.

Trong bê tông đầm lăn nên dùng một lượng nhất định dung dịch giảm nước làm chậm đông kết. Phẩm chất và liều dùng của phụ gia cần thông qua thí nghiệm để xác định.

9. Thiết kế đo đạc giám sát khống chế an toàn đập.

Hạng mục quan trắc ở đập bê tông đầm lăn gồm:

- Quan trắc áp lực thấm ở thân và nền đập ;
- Quan trắc ứng suất và biến dạng của thân đập ;
- Quan trắc nhiệt độ thân đập ;
- Quan trắc chuyển vị thân đập (theo 3 phương: thẳng đứng, nằm ngang từ thượng lưu về hạ lưu và phương dọc trục đập).

TÀI LIỆU THAM KHẢO CHƯƠNG 1

1. TCXDVN 285-2002- Công trình thuỷ lợi. Các quy định chủ yếu về thiết kế. NXB Xây dựng, Hà nội, 2002.
2. 14TCN56-68. Thiết kế đập bê tông và bê tông cốt thép. Tiêu chuẩn thiết kế. Bộ Thuỷ lợi, 1988.
3. QPTLC8-76. Quy phạm tính toán thuỷ lực đập tràn. Bộ Thuỷ lợi, 1977.