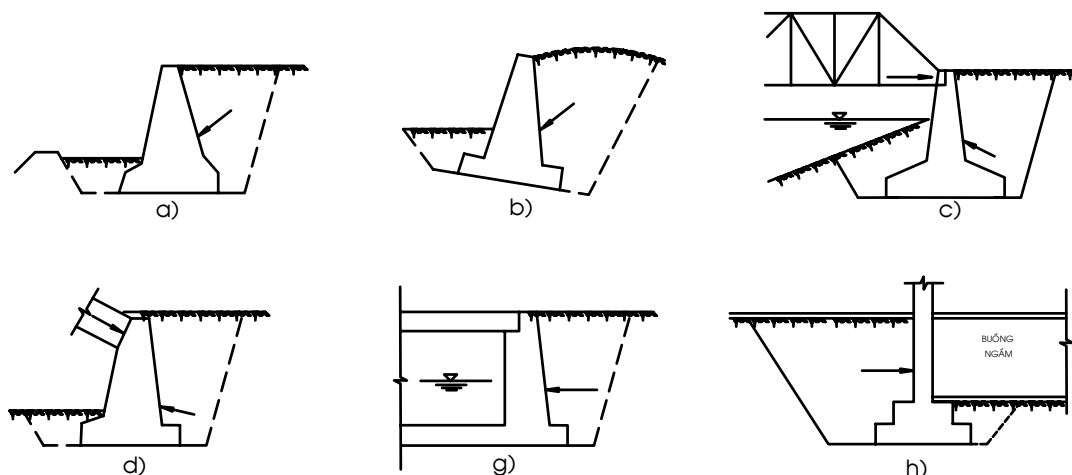


## CHƯƠNG V: TÍNH TOÁN ÁP LỰC ĐẤT LÊN LUNG TƯỜNG CHẮN.

### §1. KHÁI NIỆM CHUNG.

Tường chắn là kết cấu công trình dùng để giữ khối đất đắp hoặc vai hố đào sau tường khỏi bị sạt trượt. Tường chắn đất được sử dụng rộng rãi trong các ngành xây dựng, thủy lợi, giao thông. Khi làm việc lưng tường chắn tiếp xúc với khối đất sau tường và chịu tác dụng của áp lực đất. Ví dụ trong xây dựng dân dụng và công nghiệp tường chắn thường được dùng trong các nhà có tầng hầm, trong xây dựng cầu đường dùng để chống đỡ nền đường đắp hay nền đường đào sâu, dùng để làm mố cầu, tường để bảo vệ các sườn dốc tự nhiên và nhân tạo khỏi bị trượt, sạt hoặc sụt lở. Trong các công trình xây dựng thủy lợi, tường chắn thường được dùng trong các công trình trạm thủy lợi, tường chắn thường được dùng trong các công trình trạm thủy điện trên sông, làm bộ phận nối tiếp giữa đập tràn hoặc nhà của trạm thủy điện với các công trình đất và sườn bờ, chúng cũng được dùng trong các công trình vận tải như âu thuyền hoặc dùng trong hệ thống dẫn nước thuộc trạm thủy điện như máng nước, bể lắng, ngoài ra tường chắn còn được dùng rộng rãi để đối phó với các quá trình xâm thực và bào xói, bảo vệ bờ sông, bờ biển, v.v. Ở hình V-1 là mặt cắt của một số loại tường chắn : a) đường đắp ; b) đường đào ; c,d) Mố cầu ; g) tường bên cống nước ; h) tường tầng hầm .



Hình V-1: Mặt cắt một số loại tường chắn

Chúng ta nên lưu ý rằng, đối với các công trình thủy công, có một số bộ phận của kết cấu công trình không phải là tường chắn đất nhưng có tác dụng tương hỗ với đất và cũng chịu áp lực của đất giống như tường chắn đất. Do đó, khái niệm về tường chắn được mở rộng ra cho tất cả những bộ phận của công trình có tác dụng tương hỗ giữa đất tiếp xúc với chúng. Áp lực đất là một trong những tải trọng chủ yếu tác dụng lên tường. Vì vậy khi thiết kế và xây dựng các tường chắn, trước hết cần xác định được trị số, điểm đặt, phương và chiều tác dụng của áp lực đất, đó là tài liệu quan trọng trong thiết kế tường chắn

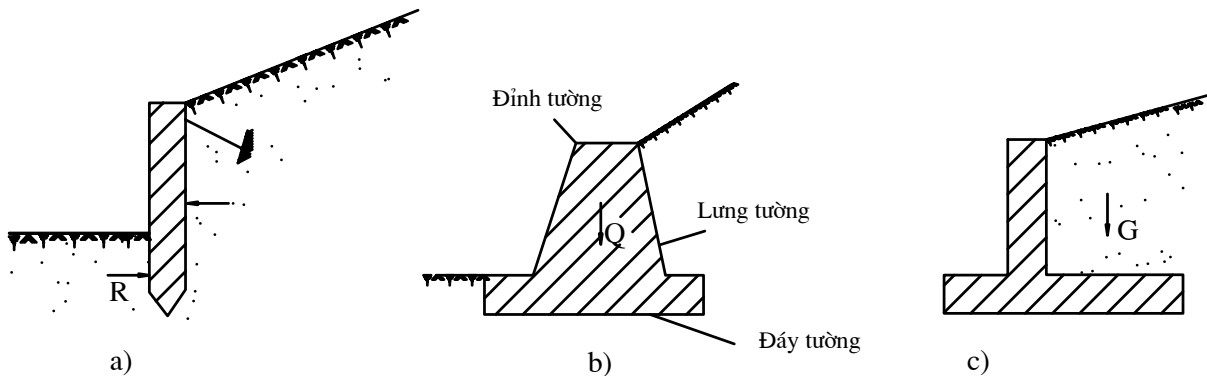
#### 1.1. Phân loại tường chắn đất.

Người ta có thể phân loại tường chắn dựa trên các cơ sở mục đích sau đây : Theo mục đích xây dựng, theo đặc tính công tác của tường, theo chiều cao tường, theo vật liệu xây dựng tường, theo độ nghiêng của tường hay theo phương pháp thi công xây dựng tường, theo độ cứng, v.v. Trong đó việc phân loại tường theo độ cứng là yếu tố quan trọng nhất để tính toán sự làm việc đồng thời giữa tường chắn và đất. Theo cách phân loại này, tường được phân thành các loại sau:

- *Tường mềm*: Là loại tường sinh ra biến dạng uốn khi chịu tác dụng của áp lực đất. Loại tường này thường là những tấm gỗ, thép, bê tông cốt thép ghép lại do đó chiều dày nhỏ hơn nhiều so với chiều cao và bề rộng của tường. Nếu bản thân tường chắn đất bị biến dạng (uốn) thì nó sẽ làm thay đổi điều kiện tiếp xúc giữa lưng tường chắn với khối đất đắp sau tường, do đó làm thay đổi trị số áp lực đất tác dụng lên lưng tường và cũng làm thay đổi dạng biểu đồ phân bố áp lực đất theo chiều cao tường. Sự ổn định của loại tường này được quyết định bằng cách chôn chân tường vào trong nền đất, để tăng cường sự ổn định và độ cứng của tường người ta thường dùng neo tường vào khối đất (Hình V-2.a)

- *Tường cứng*: Là loại tường không có biến dạng uốn khi chịu áp lực đất mà chỉ có chuyển vị tịnh tiến và xoay. Nếu tường cứng xoay mép dưới thì đỉnh thường có xu hướng tách rời khỏi khối đất đắp và chuyển vị về phía trước. Nếu tường cứng xoay quanh mép trên thì chân tường sẽ rời khỏi khối đất, loại tường này thường dùng vật liệu gạch, đá học, bê tông đá học, bê tông, tường có chiều cao, chiều dày và bề rộng gần bằng nhau. Độ ổn định của loại tường này thường được quyết định do trọng lượng bản thân tường, do đó loại tường này còn có tên gọi là tường Trọng lực (Hình V-2.b)

- *Tường bán trọng lực*: Loại tường này thường được cấu tạo bởi các cấu kiện bê tông cốt thép hoặc nhiều tấm bê tông cốt thép ghép lại với nhau. Tường này có chiều dày nhỏ hơn nhiều so với chiều cao và bề rộng của tường. Độ ổn định của tường quyết định không những chỉ do trọng lượng bản thân tường và bản đáy mà còn do trọng lượng khối đất đắp nằm trên bản móng (Hình V-2.c).



Hình V-2

## 1.2. Áp lực đất và điều kiện sản sinh ra áp lực đất.

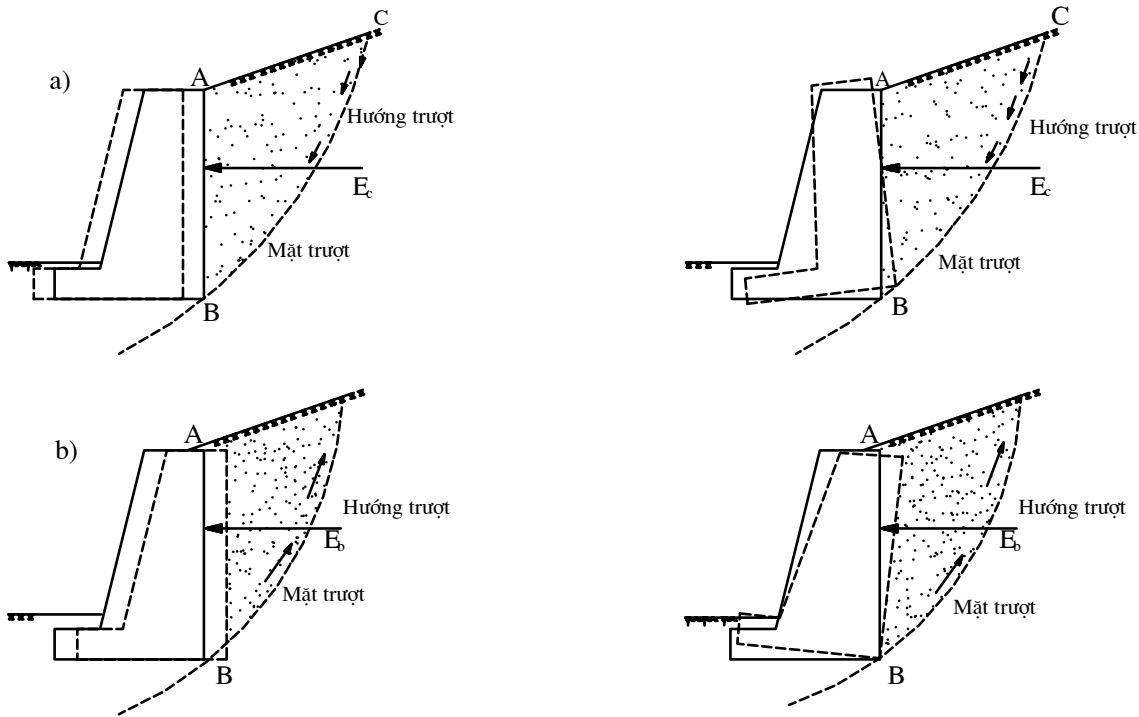
Như chúng ta đã biết, tường chắn đất là một kết cấu công trình dùng để giữ cho khối đất sau tường được cân bằng, khỏi bị đổ. Khi có tường chắn đất, do trọng lượng của khối đất sau tường và tải trọng ở trên bề mặt khối đất đó (nếu có), cho nên sẽ sinh ra một áp lực đất tác dụng lên lưng tường, tùy theo hình thức chuyển vị của tường mà trạng thái ứng suất của khối đất sau tường sẽ khác nhau, do đó trị số của áp lực đất lên tường cũng khác nhau. Vì vậy, trước khi xét đến vấn đề tính toán áp lực đất, cần phải biết điều kiện sản sinh ra chúng.

Dựa trên cơ sở thí nghiệm nghiên cứu tương tác giữa đất và tường, với đất sau tường là cát hạt vừa. K.Terzaghi đã cho biết rằng, dưới ảnh hưởng của trọng lực, khối đất sau lưng tường luôn luôn có xu hướng chuyển dịch và khi gặp sức phản kháng của tường thì sẽ tạo ra áp lực tác dụng lên tường. Áp lực này phụ thuộc vào tính chất cơ lý của đất, kích thước hình học của tường và nó phụ thuộc rất nhiều vào độ chuyển vị của tường.

Nếu tường tuyệt đối cứng, và hoàn toàn không chuyển vị đất sau tường ổn định, thì khối đất sau tường ở trạng thái cân bằng tĩnh, áp lực đất tác dụng lên lưng tường lúc này gọi là *áp lực tĩnh* và ký hiệu bằng  $E_t$ .

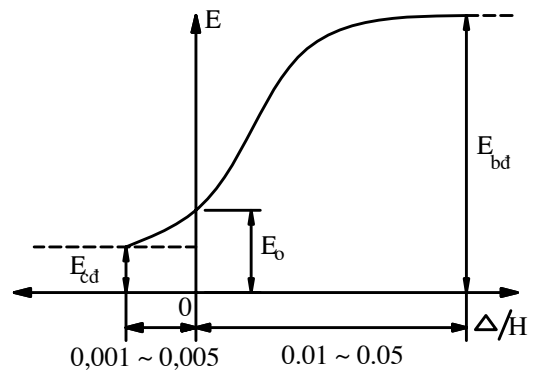
Khi tường chuyển dịch về phía trước hoặc quay với một góc rất nhỏ quanh mép trước của chân tường (hình V-3a), thì khối đất sau lưng tường sẽ dãn ra, áp lực đất lên tường sẽ giảm dần khi độ chuyển dịch của tường tăng. Khi chuyển dịch đạt đến giá trị nhất định (theo K Terzaghi giá trị này là  $\Delta = 0,1 \div 0,5\%H$ , H: chiều cao của tường) thì xuất hiện các vết nứt trong đất, khối đất sau tường sẽ bị trượt xuống theo các vết nứt, người ta gọi là *mặt trượt chủ động*. Áp lực đất tương ứng khi xuất hiện mặt trượt gọi là *áp lực chủ động* và ký hiệu là  $E_c$ .

Ngược lại nếu do tác dụng của lực ngoài tường chuyển dịch ngang hoặc ngã về phía sau (hình V-3.b) thì khối đất sau tường sẽ bị ép lại, do đó mà áp lực đất lên tường sẽ tăng dần lên khi độ chuyển dịch của tường tăng. Khi chuyển dịch đủ lớn (khoảng  $\Delta = 1 \div 5\%H$ ) trong đất xuất hiện vết nứt và khối đất sau tường bị đẩy trượt lên trên người ta gọi là *mặt trượt bị động*. Áp lực đất tác dụng lên tường tương ứng khi xuất hiện mặt trượt gọi là *áp lực bị động* và ký hiệu là  $E_b$ .



Hình V-3

Hình (V-4) : Cho kết quả thí nghiệm mô hình tường chắn của K.Terzaghi. Từ hình (V-4) ta thấy rằng, giá trị của áp lực đất tác dụng lên tường chắn phụ thuộc hướng và trị số chuyển vị của tường đối với đất. Trong cả hai trường hợp, khi tường chuyển vị tăng dần về phía này hay phía kia đến các trị số giới hạn nào đó ( $\Delta_c$  và  $\Delta_b$ ) thì áp lực đất tác dụng lên tường giảm hoặc tăng đến các trị số giới hạn là áp lực chủ động hoặc áp lực bị động, sau đó áp lực đất tác dụng lên lưng tường chắn hầu như không biến đổi nữa (ứng với trạng thái cân bằng giới hạn) và phân đất sau lưng tường sẽ bị phá hoại (trượt) theo một mặt BC nào



Hình V-4

đó trong khối đất đắp (hình V-3). Từ nhận xét trên ta thấy rằng áp lực chủ động của đất có chiều cùng với chiều chuyển vị của tường, còn áp lực bị động của đất thì có chiều ngược với chiều chuyển vị của tường.

Nhìn chung, tất cả các loại tường chắn đều làm việc ở điều kiện hết sức phức tạp, do đó việc xác định giá trị áp lực hông thực tế tác dụng lên công trình chắn đất là một vấn đề rất khó khăn, nên các giá trị áp lực hông tính toán được theo các phương pháp hiện có, kể cả phương pháp được gọi là chính xác nhất hiện nay cũng chưa cho được lời giải phản ánh đúng thực tế.

### 1.3. Các lý thuyết tính toán áp lực đất lên tường chắn.

Lý thuyết áp lực đất là một trong những vấn đề quan trọng và phức tạp của Cơ học đất. Để giải quyết vấn đề này, đến nay đã có khá nhiều thuyết về áp lực đất theo những quan điểm khác nhau. Tuy nhiên, có thể thấy rằng tất cả các lý thuyết ấy thuộc về hai loại cơ bản khác nhau.

- Loại không xét đến độ cứng của tường và loại có xét đến độ cứng của tường (có thể tham khảo trong các tài liệu chuyên sâu về tường chắn).

- Loại không xét đến độ cứng của tường giả thiết tường tuyệt đối cứng và chỉ xét đến các trị số áp lực đất ở trạng thái giới hạn là áp lực chủ động và áp lực đất bị động. Thuộc loại này có thể phân thành hai nhóm.

a) Nhóm theo lý thuyết cân bằng giới hạn của khối rắn.

Các lý thuyết theo nhóm này đều giả thiết khối đất trượt sau tường chắn, giới hạn bởi mặt trượt có hình dạng định trước, như một khối rắn ở trạng thái cân bằng giới hạn. Đại diện cho xu hướng lý thuyết này là lý thuyết C.A.Coulomb (1773) và sau đó được I.V.Pôngxele, K.Culman, ... phát triển thêm.

b) Nhóm theo lý thuyết cân bằng giới hạn phân tố (điểm):

Nhóm lý thuyết này chủ trương tính toán các trị số áp lực đất chủ động và áp lực đất bị động với giả thiết các điểm của môi trường đất đắp đạt trạng thái cân bằng giới hạn cùng một lúc. Lý thuyết này đã được giáo sư V.L.M.Rankine đề ra năm 1857 sau đó được nhiều tác giả phát triển thêm và đặc biệt đến nay lý thuyết cân bằng giới hạn phân tố được phát triển rất mạnh mẽ, trước hết phải kể đến các công trình nghiên cứu lý thuyết của viện sĩ V.V.Xôcôlovski. Ngoài ra còn có X.X.Geluskêvits đã thành công trong việc giải các bài toán về lý thuyết cân bằng giới hạn bằng phương pháp đồ giải, bằng hệ vòng tròn đặc trưng.

Đến nay, lý thuyết tính toán áp lực đất có xét đến độ cứng của tường (tường mềm) chưa được nghiên cứu đầy đủ bằng lý thuyết tính toán áp lực đất lên tường cứng loại này được phát triển theo hai hướng.

Xu hướng tính gần đúng theo các biểu thức tính toán áp lực đất chủ động và áp lực đất bị động đối với tường cứng.

Xu hướng tính tường mềm như dầm tựa lên nền đàn hồi và dùng các loại mô hình cơ học về nền để giải. Các phương pháp theo xu hướng này không những cho phép xác định áp lực đất lên tường mềm (tức là phản lực nền) mà còn xác định được cả chuyển vị của tường mềm nữa.

Lý luận áp lực đất của Xôcôlovski hiện nay được coi là một lý luận chặt chẽ về mặt toán học, cho kết quả với độ chính xác khá cao và đúng với các quan sát thực tế, song còn bị hạn chế chủ yếu ở chỗ cách thực hiện lời giải quá phức tạp, chưa đưa ra được các lời giải và bảng tính sẵn cho mọi trường hợp cần thiết trong tính toán thực tế.

Còn lý luận áp lực đất của C.A.Coulomb chỉ được coi là lý luận gần đúng do những hạn chế của các giả thiết cơ bản. Song hiện nay lý luận này vẫn được dùng phổ biến để tính áp lực đất chủ động lên tường chắn, vì tính toán tương đối đơn giản, có khả năng giải được nhiều bài toán thực tế phức tạp và cho kết quả đủ chính xác trong

trường hợp tính áp lực đất chủ động, còn khi xác định áp lực bị động của đất thì sai số lại quá lớn so với thực tế.

### §2. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH ÁP LỰC TĨNH CỦA ĐẤT LÊN TƯỜNG CHẮN

Xét bài toán mặt đất sau tường phẳng, nằm ngang, đất sau tường đồng nhất nằm trong trạng thái cân bằng bên, lưng tường phẳng thẳng đứng. Với giả thiết sự có mặt của tường không làm thay đổi điều kiện làm việc của đất. Khi đó áp lực của đất tác dụng lên mặt phẳng lưng tường chính là áp lực hông trên mặt phẳng đó trong nền khi không có tường. Do khối đất ở trạng thái cân bằng tĩnh nên áp lực đó gọi là áp lực tĩnh.

Cường độ áp lực đất tĩnh được xác định theo công thức sau:

$$P_o = K_o \cdot \gamma \cdot z \tag{V-1}$$

Trong đó : -  $\gamma$  : là dung trọng của đất

z: độ sâu của điểm M cần tính

$K_o$  hệ số áp lực hông của đất . Hệ số này có thể xác định bằng thí nghiệm hoặc tính theo các công thức sau:

$$K_o = \frac{\mu_o}{1 - \mu_o} \quad ; \quad K_o = 1 - \sin\varphi \quad ; \quad K_o = \frac{1 - \sin\varphi}{\cos\varphi}$$

Hoặc có thể lấy theo bảng (V-1) sau:

Bảng V-1: Hệ số áp lực hông  $K_o$

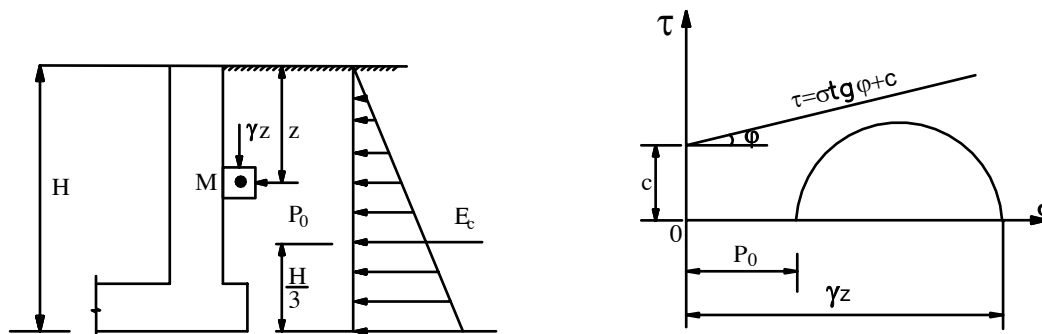
Tên đất	Cát	Á sét nhẹ	Á sét	Sét
Hệ số $K_o$	0,43÷0,54	0,54÷0,67	0,67÷0,82	0,82÷1,00

Vì đất ở trạng thái cân bằng bên nên vòng Mohr biểu diễn ứng suất tại điểm M nằm dưới đường C.A.Coulomb (Hình V-5).

Biểu diễn cường độ áp lực đất tác dụng lên tường có dạng tam giác, do đó tổng áp lực đất tĩnh tính theo công thức:

$$E_t = \frac{1}{2} \gamma H^2 \cdot K_o \tag{V-3}$$

Và điểm đặt cách đáy tường  $1/3 H$ .



Hình V-5

### §3. LÝ THUYẾT ÁP LỰC ĐẤT CỦA C.A.COULOMB.

Như chúng ta đã biết, trong nhóm theo lý thuyết cân bằng giới hạn của khối rắn có xu hướng xem khối đất trượt sau tường chắn, giới hạn bởi mặt trượt có hình dạng định trước: Là mặt phẳng (C.A.Coulomb), là mặt cong (W.Fellenius), là mặt hỗn hợp giữa phẳng và cong (L.Rendulic).

Do tính phức tạp trong tính toán của xu hướng xem mặt trượt là mặt cong hay mặt hỗn hợp, hơn nữa kết quả cũng không sai khác nhiều so với xu hướng xem mặt trượt là mặt phẳng của C.A.Coulomb, nên trong phần này chỉ trình bày xu hướng xem mặt trượt là mặt phẳng.

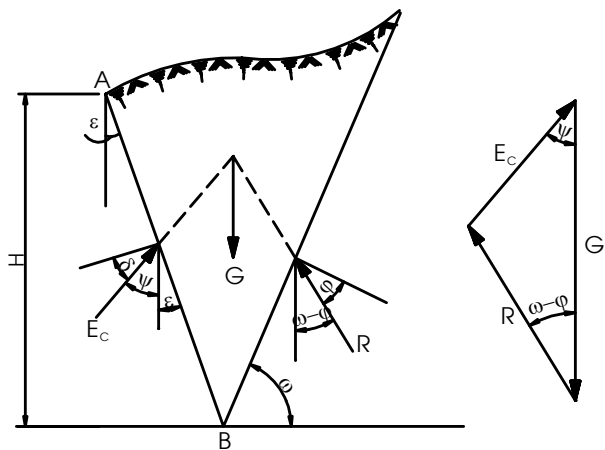
Lý thuyết áp lực đất lên tường chắn của C.A.Coulomb dựa trên cơ sở của các giả thiết sau đây :

- Tường tuyệt đối cứng không biến dạng, mặt trượt là mặt phẳng.
- Lãng thể trượt xem như một khối rắn tuyệt đối được giới hạn bằng hai mặt trượt : mặt phát sinh trong khối đất và mặt lưng tường. Giả thiết này cho phép ta thay các lực thể tích và lực bề mặt tác dụng lên lãng thể trượt bằng các lực tương đương như trọng lượng G của lãng thể trượt, phản lực R từ khối đất bất động và phản lực E từ phía tường.
- Xét khối đất trượt ở trạng thái cân bằng giới hạn, nghĩa là trạng thái ứng với thời điểm bắt đầu trượt (trị số áp lực đất chủ động tính toán được xác định tương ứng với lực đẩy của lãng thể trượt lên tường, còn trị số áp lực đất bị động được xác định tương ứng với lực chống của lãng thể trượt lên tường). Với giả thiết này cho phép ta thừa nhận các góc lệch của các phản lực tại các mặt trượt bằng góc ma sát trong  $\varphi$  (giữa khối đất bất động và lãng thể trượt) và góc ma sát ngoài  $\delta$  (giữa đất và lưng tường) đồng thời đa giác lực (G,  $E_c$ , R) khép kín.

**3.1. Tính toán áp lực chủ động lớn nhất của đất theo lý thuyết C.A.Coulomb.**

*3.1.1. Tính toán áp lực chủ động lớn nhất của đất rời theo lý thuyết C.A.Coulomb*

Giả sử có một tường chắn cứng với lưng tường phẳng AB, chắn giữ khối đất đắp (đất rời) sau lưng tường với mặt đất có dạng bất kỳ, không chịu tác dụng của tải trọng ngoài (hình V-6). Nếu gọi  $\varepsilon$  là góc nghiêng của lưng tường so với phương thẳng đứng và  $\omega$  là góc hợp bởi mặt trượt giả thiết nào đó với phương nằm ngang, thì tại thời điểm xảy ra trượt sẽ xuất hiện hai mặt trượt AB và BC, tạo thành lãng thể trượt ABC.



Hình V-6

Theo giả thiết 2 và 3 thì phương của hai phản lực  $E_c$  và R được xác định

bởi góc ma sát ngoài  $\delta$  và góc ma sát trong  $\varphi$  như hình (V-6). Điều kiện cân bằng giới hạn được thỏa mãn khi tam giác lực (G,  $E_c$ , R) khép kín. Do đó, dựa vào hệ thức lượng của tam giác lực (hình V-6): có thể rút ra biểu thức sau đây của áp lực chủ động đối với đất rời lên lưng tường cứng.

$$E_c = G \cdot \frac{\sin(\omega - \varphi)}{\sin(\omega - \varphi + \psi)} \tag{V-4}$$

Trong đó : G - Trọng lượng của lãng thể trượt ABC ;

$\omega$  - Góc trượt ;

$\psi$  - Góc nghiêng giữa  $E_c$  và phương thẳng đứng và xác định bằng:

$$\psi = 90^\circ - \varepsilon - \delta \tag{V-5}$$

$\varepsilon$  - Góc nghiêng của lưng tường.

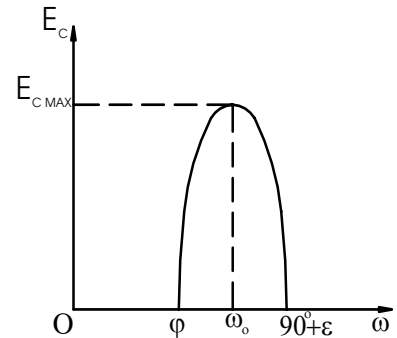
Tương tự ta có biểu thức tính R :

$$R = G \cdot \frac{\sin \psi}{\sin(\omega - \varphi + \psi)} \tag{V-6}$$

Trong phương trình (V-4) do đại lượng  $G$  thay đổi theo  $\omega$ , nên  $E_c$  là hàm số của  $\omega$ . Để tính toán ổn định của tường phải dựa vào áp lực chủ động lớn nhất  $E_{cmax}$  của đất tác dụng lên lưng tường. Do đó, để giải được bài toán áp lực đất C.A.Coulomb đã dùng nguyên lý cực trị để đưa thêm vào một phương trình nữa. Nguyên lý cực trị tức là góc  $\omega$  ứng với trị số áp lực chủ động lớn nhất ( $E_{cmax}$ ) của đất rời lên lưng tường cũng được xác định từ điều kiện:

$$\frac{dE_c}{d\omega} = 0 \tag{V-7}$$

Từ phương trình (V-4) có thể thấy rằng hàm số  $E_c = f(\omega)$  biến thiên theo dạng đường cong (hình V-7) đường cong này sẽ cắt trục  $\omega$  tại các điểm khi  $\omega = \varphi$  hoặc  $\omega = 90^\circ + \varepsilon$ , tức là  $E_c = 0$ . Nếu vẽ đường thẳng tiếp tuyến với đường cong và song song với trục  $\omega$  sẽ xác định được trị số áp lực chủ động lớn nhất ( $E_{cmax}$ ) và trị số góc trượt  $\omega_0$ .

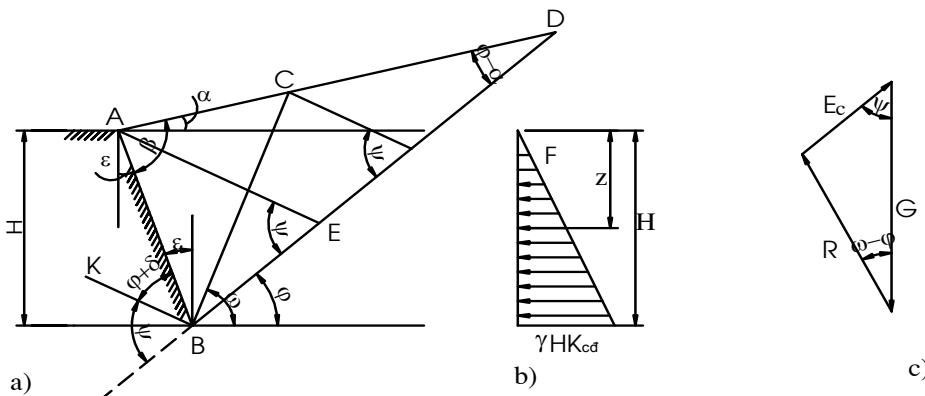


Hình V-7

Để xác định được trị số lớn nhất của  $E_c$  trong các trị số có thể có, người ta phải giả thiết nhiều mặt trượt BC có thể xảy ra, để từ đó xác định được trị số  $E_{cmax}$ . Dựa vào các điều kiện của bài toán đặt ra (hình dạng lưng tường, hình dạng mặt đất đắp, và tải trọng ngoài tác dụng lên khối đất đắp, v.v ...) hiện nay thường dùng các phương pháp sau đây để xác định áp lực chủ động lớn nhất  $E_{cmax}$  của đất.

3.1.1.1. Thành lập công thức tính toán áp lực chủ động lớn nhất của đất rời theo phương pháp giải tích.

Phương pháp giải tích chỉ dùng để giải bài toán với trường hợp mặt đất phẳng và lưng tường phẳng (hình V-8). Từ đáy tường B trên hình (V-8). Kẻ trục ma sát BD hợp với phương nằm ngang một góc bằng góc ma sát trong của đất  $\varphi$ . Và cũng từ B vẽ trục chuẩn BK hợp với lưng tường một góc  $(\varphi + \delta)$ . Như vậy trục chuẩn BK sẽ tạo với đường kéo dài của trục ma sát một góc bằng  $\psi$ .



Hình V-8

Giả sử BC là một mặt trượt bất kỳ và có góc trượt tương ứng là  $\omega$ . Từ A và C kẻ các đường AE, CF song song với trục chuẩn BK. Từ hình (V-8) ta thấy rằng tam giác BCF đồng dạng với tam giác lực nên ta có :

$$E_c = G \cdot \frac{CF}{BF} \quad (V-9)$$

Trong đó :  $G = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot AB \cdot AC \cdot \sin \beta$  (V-10)

với  $\beta = 90^\circ - \varepsilon + \alpha$   
 $\gamma$  - dung trọng của đất

Thay (V-10) vào (V-9) ta có :  $E_c = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot AB \cdot AC \cdot \frac{CF}{BF} \cdot \sin \beta$  (V-11)

vì  $CF \parallel AE$  nên ta có :

$$AC = AD \cdot \frac{EF}{ED} \text{ và } CF = AE \cdot \frac{FD}{ED} \quad (V-12)$$

Thay (V-12) vào (V-11) ta có :  $E_c = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot \sin \beta \cdot \frac{AB \cdot AE \cdot AD}{ED^2} \cdot \frac{EF \cdot FD}{BF}$  (V-13)

Từ biểu thức (V-13) ta thấy rằng  $AB, AE, AD$  và  $ED$  hoàn toàn không phụ thuộc vào góc trượt  $\omega$ , cho nên trị số cực đại của áp lực chủ động ( $E_{cmax}$ ) sẽ tương ứng với trị số cực đại của biến lượng  $\frac{EF \cdot FD}{BF}$ .

Nếu ta đặt :  $A = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot \sin \beta \cdot \frac{AB \cdot AE \cdot AD}{ED^2}$  và  $X = \frac{EF \cdot FD}{BF}$

với lý do trên ta có :  $E_{cmax} = A \cdot X_{max}$  (V-14)

Do điểm C chưa xác định dẫn đến F cũng chưa xác định được nên đặt  $BF = x$  là ẩn số,  $BE = a$  và  $BD = b$  là những số đã biết.

Ta có :  $X = \frac{(x-a)(b-x)}{x}$  (V-15)

Dựa vào điều kiện (V-7) và (V-14) ta có :  $\frac{dX}{dx} = 0$ , sau khi giải ra ta có trị số cực đại của  $x_{max} = \sqrt{a \cdot b}$  và đem thay trị số này vào phương trình (V-15) ta được trị số cực đại của  $X$  là :

$$X_{max} = (\sqrt{b} - \sqrt{a})^2 \quad (V-16)$$

Xét tam giác ABD ta có góc  $ADB = \varphi - \alpha$  thì theo hệ thức sin trong tam giác lượng ta có

$$AB = b \cdot \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\sin \beta} ; \quad AD = AB \cdot \frac{\cos(\varphi - \varepsilon)}{\sin(\varphi - \alpha)}$$

$$AE = AB \cdot \frac{\cos(\varphi - \varepsilon)}{\sin \psi} ; \quad DE = b - a$$

Thay  $AB, AD, AE, DE$  và (V-16) vào (V-14) đồng thời rút gọn ta có :

$$E_{cmax} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot AB^2 \cdot \frac{\cos^2(\varphi - \varepsilon)}{\sin \psi} \cdot \frac{1}{[1 + \sqrt{a/b}]^2} \quad (V-17)$$

Mặt khác ta có :  $AB = \frac{H}{\cos \varepsilon}$ , và nếu đặt  $Z = \frac{a}{b}$  ta có thể viết dưới dạng sau :

$$Z = \frac{a}{b} = \frac{a}{AB} \times \frac{AB}{b} = \frac{\sin(\varphi + \delta)}{\sin \varphi} \cdot \frac{\sin(\varphi - \alpha)}{\cos(\varepsilon - \alpha)}, \text{ thay } Z \text{ vào công thức (V-17)}$$



ta có:  $E_{c\max} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_{cd}$  (V-18)

Trong đó :  $K_{cd}$  - là hệ số áp lực chủ động của đất và bằng

$$K_{cd} = \frac{\cos^2(\varphi - \varepsilon)}{\cos^2 \varepsilon \cdot \sin \psi} \cdot \frac{1}{\left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \alpha)}{\sin \psi \cdot \cos(\varepsilon - \alpha)}} \right]^2}$$
 (V-19)

H - là chiều cao tường chắn ;  $\delta$  - góc ma sát giữa đất đắp và lưng tường có thể lấy theo bảng (V-2) ; các đại lượng khác như hình vẽ (V-8).

\* Các trường hợp đặc biệt.

- Trường hợp tường thẳng đứng với lưng tường nhẵn, mặt đất sau lưng tường nghiêng dưới góc bằng góc ma sát trong của đất, tức là ( $\varepsilon = 0, \delta = 0$  và  $\alpha = \varphi$ ).

Do đó :  $K_{cd} = \cos^2 \varphi$  (V-20)

- Trường hợp lưng tường nghiêng, lưng tường trơn nhẵn và mặt đất nằm ngang tức là ( $\delta = 0, \alpha = 0$  và  $\varepsilon \neq 0$ ). Do đó ta có :

$$K_{cd} = \left[ \pm tg \varepsilon + tg \left( 45^\circ - \frac{\varphi - \varepsilon}{2} \right) \right]^2 \cos \varepsilon$$
 (V-21)

Lấy dấu (+) khi tường nghiêng dương còn dấu (-) khi tường nghiêng âm

- Trường hợp tường thẳng đứng, lưng tường trơn nhẵn và mặt đất sau lưng tường nằm ngang, tức là ( $\varepsilon = 0, \delta = 0$  và  $\alpha = 0$ ). Do đó ta có :

$$K_{cd} = tg^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$
 (V-22)

Bảng V-2: Trị số góc ma sát giữa đất đắp và lưng tường.

Đặc điểm tường chắn	Góc ma sát $\delta$
Lưng tường trơn nhẵn, thoát nước không tốt	$0 \div \varphi/3$
Lưng tường nhám, thoát nước tốt	$\varphi/3 \div \varphi/2$
Lưng tường rất nhám, thoát nước tốt	$\varphi/2 \div 2\varphi/3$

Từ công thức (V-18) ta thấy rằng, áp lực chủ động ( $E_{cd}$ ) tỷ lệ thuận với chiều cao tường. Do vậy cường độ áp lực đất chủ động tác dụng lên tường tại độ sâu Z được tính như sau:

$$P_c = \frac{dE_c}{dz} = \frac{d}{dz} \left( \frac{1}{2} \gamma \cdot z^2 \cdot K_{cd} \right) = \gamma \cdot z \cdot K_{cd}$$
 (V-23)

Biểu đồ cường độ áp lực đất chủ động của đất lên tường theo chiều sâu có dạng hình tam giác như trên hình (V.8-b). Điểm đặt của áp lực đất chủ động nằm ở trọng tâm biểu đồ cường độ áp lực, trong trường hợp này, trọng tâm của biểu đồ nằm trên đáy tường là H/3, phương tác dụng của  $E_c$  nghiêng một góc  $\delta$  so với pháp tuyến của lưng tường.

3.1.1.2. Xác định áp lực chủ động lớn nhất của đất theo phương pháp đồ giải.

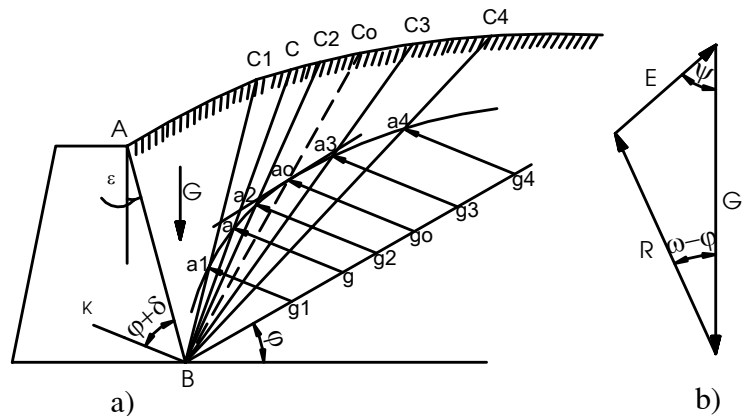
Phương pháp này vẫn dựa trên những giả thiết cơ bản và nguyên lý tính toán giống như phương pháp giải tích, chỉ khác là dùng cách vẽ để xác định áp lực chủ động

3.1.1.2.1. Phương pháp K.Culman.

Phương pháp này được dùng cho mọi trường hợp khi tường đứng hoặc nghiêng mặt đất sau tường có dạng bất kỳ, và có xét đến ảnh hưởng của lực ma sát giữa đất và tường. Bản chất của phương pháp này là dựa vào nguyên tắc xây dựng tam giác lực khép kín (Hình V-9). Để giải quyết bài toán này K.Culman dựa trên cơ sở tính chất

sau đây:

Giả sử có mặt trượt BC làm với mặt nằm ngang một góc  $\omega$  (hình V-9). Từ B kẻ trục chuẩn BK làm với lưng tường một góc  $(\varphi + \delta)$  và cũng từ B kẻ đường BD làm với mặt nằm ngang một góc là  $\varphi$ , rồi từ C kẻ đường song song với BK cắt BD tại F, (hình V-9) thì tam giác BCF sẽ đồng dạng với tam giác lực G,R,E<sub>c</sub>. Nếu lấy đoạn Bg trên BD biểu thị trọng lượng G của lãng thể trượt BCA (cạnh G trong tam giác lực GRE<sub>c</sub>) và từ g kẻ đường thẳng song song với BK cắt mặt trượt BC tại a, thì đoạn ag biểu thị trị số áp lực chủ động E<sub>c</sub> ứng với mặt trượt BC đã giả định. (Vì tam giác Bag cũng đồng dạng và bằng tam giác lực G.R.E<sub>c</sub>).



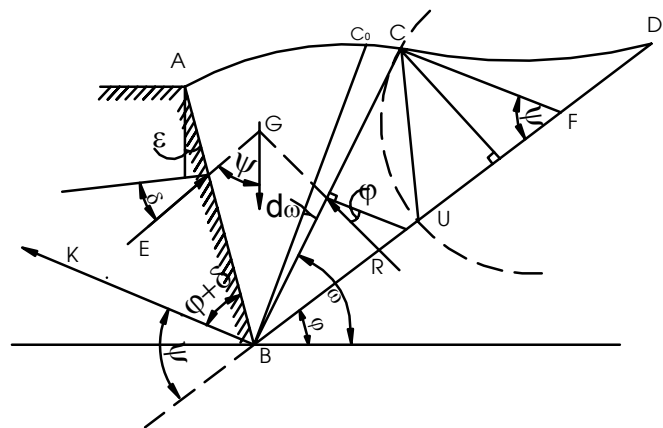
Hình V-9

Dựa trên cơ sở của tính chất đó K.Culman đã đề ra cách vẽ như sau : Vẽ nhiều mặt trượt "có thể" BC<sub>1</sub>, BC<sub>2</sub> ... BC<sub>n</sub>, và cũng bằng cách tương tự như đã trình bày ở trên sẽ xác định được các giao điểm a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub> ... a<sub>n</sub>. Như vậy đã tìm được các vectơ biểu diễn áp lực chủ động E<sub>c1</sub>, E<sub>c2</sub>, ... E<sub>cn</sub> tương ứng với các mặt trượt đã giả định. Nối các điểm a<sub>i</sub> ta được một đường cong trong hệ trục tọa độ xiên KBD gọi là đường cong Culman (C). Đường cong này có tung độ lớn nhất là a<sub>0</sub>g<sub>0</sub> (a<sub>0</sub> là điểm tiếp tuyến của đường thẳng với đường cong và song song với BD), biểu diễn áp lực chủ động lớn nhất E<sub>cmax</sub> của đất rời lên lưng tường cứng. Mặt trượt tính toán BC<sub>0</sub> sẽ đi qua điểm a<sub>0</sub> có tung độ lớn nhất a<sub>0</sub>g<sub>0</sub> (hình V-9).

3.1.1.2.2. Phương pháp G.Rebhan.

Phương pháp này có thể áp dụng cho mọi trường hợp. Dựa vào các giả thiết tính toán áp lực đất của Coulomb. Rebhan đưa ra hai định lý gọi là định lý Rebhan.

- Diện tích của lãng thể trượt ABC ứng với trị số E<sub>cmax</sub> bằng diện tích của tam giác lực BCF vẽ trên vết của mặt trượt.



Hình V-10

- Trị số E<sub>cmax</sub> bằng dung trọng của đất nhân với diện tích tam giác CUF là tam giác cân có CF = UF).

Bản chất của phương pháp này là dựa vào các giả thiết của C.A.Coulomb. Trị số áp lực chủ động của đất lên tường xác định theo công thức (V-4).

$$E_c = G \cdot \frac{\sin(\omega - \varphi)}{\sin(\omega - \varphi + \psi)} \tag{V-4'}$$

Theo A.C.Coulomb thì trị số E<sub>c</sub> cần tìm là lớn nhất, do đó dựa vào nguyên lý cực trị ta lấy đạo hàm biểu thức trên theo  $\omega$  và cho triệt tiêu để tìm trị số E<sub>cmax</sub> ta có :

$$\begin{aligned} \frac{dE_c}{d\omega} &= \frac{dG}{d\omega} \cdot \frac{\sin(\omega - \varphi)}{\sin(\omega - \varphi + \psi)} + \\ &+ G \cdot \frac{\cos(\omega - \varphi) \cdot \sin(\omega - \varphi + \psi) - \sin(\omega - \varphi) \cdot \cos(\omega - \varphi + \psi)}{\sin^2(\omega - \varphi + \psi)} = 0 \end{aligned} \quad (V-24)$$

$$\text{hay : } \frac{dG}{d\omega} \sin(\omega - \varphi) + G \cdot \frac{\sin \psi}{\sin(\omega - \varphi + \psi)} = 0 \quad (V-24')$$

Vì  $\cos(\omega - \varphi) \cdot \sin(\omega - \varphi + \psi) - \sin(\omega - \varphi) \cdot \cos(\omega - \varphi + \psi) = \sin \psi$

Do đó ta có thể rút ra biểu thức xác định trọng lượng lăng thể trượt ứng với mặt trượt có áp lực đất chủ động lớn nhất tác dụng lên lưng tường.

$$G = -\frac{dG}{d\omega} \cdot \frac{\sin(\omega - \varphi) \cdot \sin(\omega - \varphi + \psi)}{\sin \psi} \quad (V-25)$$

Mặt khác theo hình vẽ (V-10) ta có  $[dG] = \gamma \cdot dt(\Delta BC_0C)$  (trị số tuyệt đối). Do  $d\omega$  nhỏ nên ta có thể viết :

$$[dG] = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot BC^2 \cdot d\omega$$

Vì  $\omega$  tăng thì  $G$  giảm cho nên ta có :

$$dG = -[dG] = -\frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot BC^2 \cdot d\omega \quad (V-26)$$

Hơn nữa từ tam giác BCF ta có :

$$BC = BF \cdot \frac{\sin \psi}{\sin(\omega - \varphi + \psi)} \quad (V-27)$$

Thay biểu thức (V-27) và (V-26) vào (V-25) ta có :

$$G = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot BC \cdot BF \cdot \sin(\omega - \varphi) = \gamma \cdot dt(\Delta BCF) \quad (V-28)$$

Mặt khác theo hình vẽ (V-10) ta có :

$$G = \gamma \cdot dt(\Delta ABC) \quad (V-29)$$

Do đó ta có :

$$dt(\Delta ABC) = dt(\Delta BCF) \quad (V-30)$$

Công thức (V-30) là nội dung định lý thứ nhất của Rebhan.

Theo định lý thứ nhất của Rebhan thì từ biểu thức (V-28) thay vào biểu thức (V-4') ta được trị số của áp lực chủ động lớn nhất  $E_{cmax}$  là :

$$E_{cmax} = \gamma \cdot dt(\Delta BCF) \cdot \frac{\sin(\omega - \varphi)}{\sin(\omega - \varphi + \psi)} = \gamma \cdot \frac{1}{2} \cdot BF \cdot CF \cdot \frac{\sin \psi \cdot \sin(\omega - \varphi)}{\sin(\omega - \varphi + \psi)} \quad (V-31)$$

cũng theo hình vẽ (V-10) ta có liên hệ :

$$BF = CF \cdot \frac{\sin(\omega - \varphi + \psi)}{\sin(\omega - \varphi)} \quad (V-32)$$

Do đó khi thay (V-32) vào (V-31) ta có :

$$E_{cmax} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot CF^2 \cdot \sin \psi \quad (V-33)$$

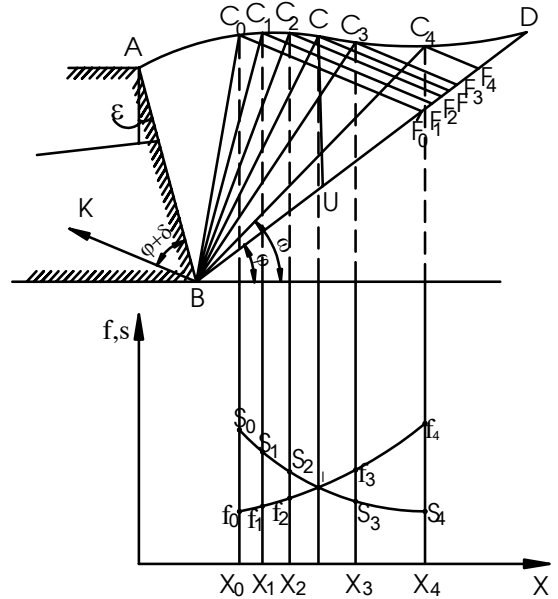
vì  $\frac{1}{2} \cdot CF^2 \cdot \sin \psi$  chính bằng diện tích của tam giác cân CUF nên ta có :

$$E_{cmax} = \gamma \cdot dt(\Delta CUF) \quad (V-34)$$

(Tam giác CUF được vẽ như sau : lấy F làm tâm chấp đoạn FC xuống trục BD ta được FU = FC).

Dựa trên cơ sở hai định lý trên G.Rebhan và M.G.Beskin đề nghị phương pháp đồ thị xác định vị trí mặt trượt ứng với  $E_{cmax}$  như sau:

Sau khi đã vẽ được đường chuẩn BK làm một góc  $(\varphi + \delta)$  với lưng tường và đường BD làm với mặt phẳng nằm ngang một góc là  $\varphi$  (hình V-11), ta vẽ nhiều mặt trượt bất kỳ  $BC_0, BC_1, BC_2 \dots BC_n$ . Từ các điểm  $C_0, C_1, C_2 \dots C_n$  ta vẽ các đường thẳng song song với trục chuẩn BK, và như thế ta đã có các tam giác lực vẽ trên vết các mặt trượt là  $\Delta BC_0F_0, \Delta BC_1F_1, \dots \Delta BC_nF_n$  (hình V-11). Tính các diện tích của tam giác  $ABC_i$  và  $BC_iF_i$  gọi (đặt) chúng là  $f_i$  và  $S_i$ . Từ chân tường B, theo một tỷ lệ nhất định đặt các tung độ có trị số bằng  $f_i$  và  $S_i$  tương ứng với các hoành độ  $X_i$  của các điểm  $C_i$ . Nối các đầu mút của các đoạn thẳng đó ta được hai đường cong f và S. Từ giao điểm I của hai đường cong đó, ta dựng đường thẳng đứng gặp mặt đất tại C. Nối C với B ta được vị trí mặt trượt BC tính toán tương ứng với  $E_{cmax}$ , bởi lúc này ta có diện tích lăng thể trượt ABC bằng diện tích tam giác lực BCF vẽ trên vết mặt trượt của nó. Nếu từ C ta kẻ đường thẳng song song với trục chuẩn BK ta sẽ được đoạn CF, để tính  $E_{cmax}$  theo công thức (V-33).

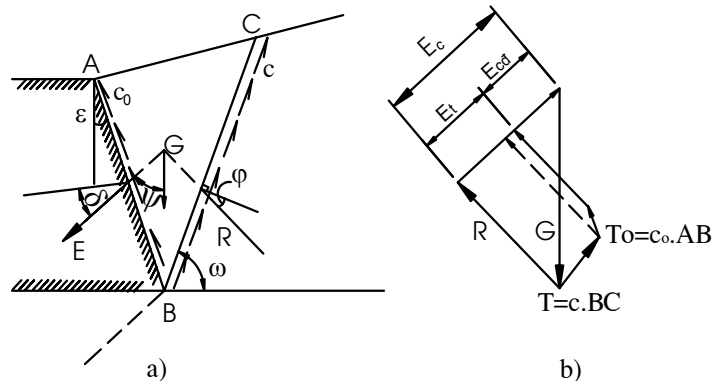


Hình V-11

3.1.2. Tính toán áp lực chủ động lớn nhất của đất dính theo lý thuyết C.A.Coulomb.

Việc tính toán áp lực đất chủ động lớn nhất, có xét đến ảnh hưởng của lực dính kết là điều rất cần thiết. Trước đây, khi thiết kế thường hay bỏ qua ảnh hưởng của lực dính vì cho rằng nó chỉ được phát huy trong một điều kiện nhất định, còn khi trong đất đắp xuất hiện vùng biến dạng dẻo dưới tác dụng của trọng lượng bản thân đất cũng như do ảnh hưởng của tải trọng ngoài trên mặt đất đắp, hoặc khi đất nằm trong nước (thường thấy ở đất đắp sau tường chắn thuộc các công trình thủy lợi), cũng như khi nhiệt độ của môi trường xung quanh thay đổi, làm cho kết cấu của khối đất bị phá hoại, thì ảnh hưởng của lực dính không còn nữa. Rõ ràng đánh giá ảnh hưởng của lực dính như vậy là chưa thoả đáng.

Lý luận áp lực đất của Coulomb có thể mở rộng đối với đất đắp là đất dính, khi xác định áp lực chủ động  $E_{cd}$  của đất dính, vẫn dựa vào các giả thiết và nguyên lý tính toán như đất rời, nhưng thêm vào giả thiết, lực dính của đất đắp được xem như tác dụng theo phương của mặt trượt và phân bố đều trên mặt trượt. Như vậy ảnh hưởng của lực dính được xét đến qua hai lực tác dụng lên hai mặt trượt, trên mặt trượt thứ nhất, lực dính được xác định theo công thức (xét bài toán phẳng):



Hình V-12

$$T = c \cdot \overline{BC} \quad (V-35)$$

Lực dính tác dụng lên mặt trượt thứ hai (lưng tường) bằng :

$$T_0 = c_0 \cdot \overline{AB} \quad (V-36)$$

Trong đó :  $c$  - lực dính đơn vị của đất đắp

$c_0$  - lực dính đơn vị của đất đắp với lưng tường.

Trong trường hợp này đa giác lực gồm năm lực ( $G, R, T, T_0$  và  $E_{cd}$ ) hợp lại cũng phải khép kín. Dựa vào đa giác lực (hình V-12.b) có thể thiết lập được công thức của áp lực chủ động trong trường hợp này dưới dạng :

$$E_{cd} = E_c - E_T \quad (V-37)$$

Trong tính toán nhiều khi để đỡ phức tạp người ta không xét đến lực dính trên lưng tường mà chỉ xét đến lực dính trên mặt trượt BC.

$$\text{Trong đó : } E_c = G \frac{\sin(\omega - \varphi)}{\sin(\omega - \varphi + \psi)}$$

$$E_T = T \frac{\cos \varphi}{\sin(\omega - \varphi + \psi)}$$

Để tìm được trị số áp lực chủ động lớn nhất của đất dính ( $E_{cdmax}$ ) cũng tiến hành tương tự như đối với đất rời.

### 3.2. Tính toán áp lực bị động nhỏ nhất của đất tác dụng lên lưng tường chắn.

Nếu dưới tác dụng của lực ngoài, tường chắn chuyển vị về phía đất và gây ra trạng thái cân bằng giới hạn bị động, thì đất sau tường có khả năng bị trượt lên theo mặt trượt BC và BA (hình V-13). Ở trạng thái cân bằng giới hạn, lãng thể ABC chịu tác dụng của các lực:

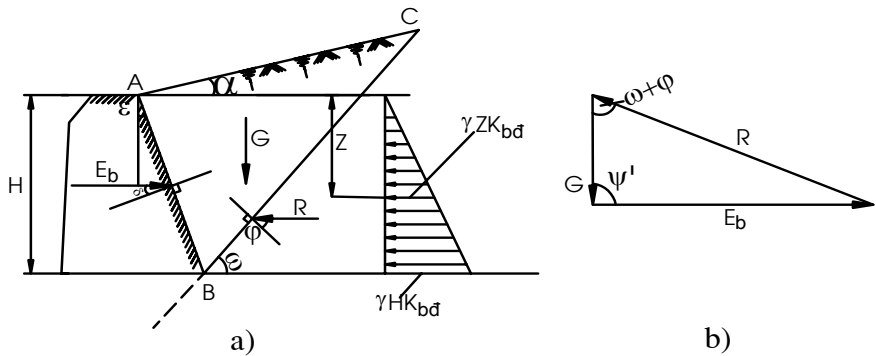
- Trọng lượng bản thân  $G$  của lãng thể trượt ABC ;
- Phản lực  $R$  của phần đất còn lại đối với lãng thể ABC ;
- Phản lực  $E_b$  của lưng tường đối với lãng thể trượt.

Vì lãng thể ABC ở trạng thái cân bằng giới hạn và có xu hướng trượt lên trên, nên phương và chiều của các lực tác dụng có thể biểu thị như trên hình (V-13a). Hệ lực tác dụng lên lãng thể cân bằng nên tam giác lực khép kín. Từ hệ thức lượng trong tam giác lực có thể dễ dàng rút ra công thức của  $E_b$ . như sau :

$$E_b = G \cdot \frac{\sin(\omega + \varphi)}{\sin(\omega + \varphi + \psi')} \quad (V-38)$$

Công thức (V-38) cho thấy rằng  $E_b$  là một hàm số của  $\omega$  và trị số của  $E$  sẽ thay đổi khi  $\omega$  thay đổi, nghĩa là ứng với những mặt trượt khác nhau,  $E_b$  sẽ có những trị số khác nhau. Theo giả thiết của C.A.Coulomb, trị số áp lực bị động  $E_b$  là trị số nhỏ nhất của  $E_b$  và mặt trượt ứng với  $E_{bmin}$  là mặt trượt nguy hiểm nhất.

Muốn tìm  $E_{bmin}$ , có thể dùng phương pháp giải tích hoặc phương pháp đồ giải tương tự như trường hợp tính áp lực của đất chủ động.



Hình V-13

Đối với đất rời, kết quả của phương pháp giải tích cho trường hợp mặt đất phẳng nghiêng một góc  $\alpha$  so với phương nằm ngang, biểu thức áp lực bị động có dạng như sau:

$$E_{b\min} = K_{bd} \cdot \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \tag{V-39}$$

Trong đó :  $K_{bd}$  - hệ số áp lực bị động, trong trường hợp tổng quát tính theo công thức sau :

$$K_{bd} = \frac{\cos^2(\varphi + \varepsilon)}{\cos^2 \varepsilon \cdot \cos(\varepsilon - \delta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi + \alpha)}{\cos(\varepsilon - \delta) \cdot \cos(\varepsilon - \alpha)}} \right]^2} \tag{V-40}$$

Trường hợp đặc biệt nếu lưng tường thẳng đứng , mặt tường trơn nhẵn, mặt đứng nằm ngang  $\alpha = \varepsilon = \delta = 0$ , sẽ có :

$$K_{bd} = \text{tg}^2(45^\circ + \varphi/2) \tag{V-41}$$

Cường độ áp lực đất bị động tại điểm bất kỳ theo chiều cao của tường được xác định theo công thức sau:

$$P_b = \frac{dE_b}{dz} = \frac{d}{dz} \left( \frac{1}{2} \gamma \cdot z^2 dZ \right) = \gamma z K_{bd} \tag{V-42}$$

Áp lực bị động  $E_b$  tác dụng tại điểm cách chân tường một khoảng  $H/3$ , phương tác dụng nghiêng với pháp tuyến lưng tường một góc  $\delta$ .

Trị số áp lực bị động tính theo phương pháp của C.A.Coulomb lớn hơn trị số thực tế rất nhiều và sai số càng lớn khi  $\delta$  càng lớn. Sở dĩ có sai số lớn như vậy là vì do giả thiết về mặt trượt này không phù hợp với thực tế. Tuy nhiên, khi  $\delta = \varepsilon = \alpha = 0$ , thì kết quả tương đối phù hợp với thực tế hơn.

Lực dính của đất làm tăng trị số áp lực bị động, nhưng khi điều kiện môi trường (nhiệt độ, độ ẩm) thay đổi thì trị số của nó thay đổi nhiều. Vì vậy để đảm bảo an toàn cho công trình thiết kế, trong thực tế tính toán áp lực bị động, thường bỏ qua ảnh hưởng của lực dính

#### §4. CÁC PHƯƠNG PHÁP DỰA VÀO LÝ THUYẾT CÂN BẰNG GIỚI HẠN.

Các phương pháp tính toán áp lực chủ động lớn nhất của đất lên lưng tường cứng theo thuyết tạo cố thể ở trạng thái cân bằng giới hạn C.A. Coulomb tuy có ưu điểm là đơn giản và trong nhiều trường hợp đã cho kết quả đủ mức độ chính xác mà thực tế yêu cầu, nhưng một số trường hợp lại cho kết quả không phù hợp với thực tế nên không thể dùng được. Ví dụ khi tính toán áp lực bị động theo thuyết tạo cố thể ta được kết quả quá lớn và khi tính toán áp lực chủ động lớn nhất ( $E_{c\max}$ ) của đất rời trong một số trường hợp cho kết quả kém chính xác.

Các phương pháp tính toán áp lực đất lên lưng tường cứng theo thuyết cân bằng giới hạn đã khắc phục được những nhược điểm của thuyết tạo cố thể, vì thuyết cân bằng giới hạn không dựa vào các giả thiết gần đúng như dạng mặt trượt cho trước (phẳng hoặc cong) hoặc giả thiết về khối đất ở trạng thái cân bằng giới hạn được hình thành dưới dạng cố thể. Mà coi trạng thái cân bằng giới hạn sẽ xảy ra không phải chỉ tại các điểm trên mặt trượt, mà ở tất cả mọi điểm trong vùng đất mất ổn định. Lúc này, đất ở khắp các nơi trong vùng đều có xu thế trượt theo những đường trượt bao gồm hai họ khác nhau và tạo thành một mạng lưới kín khắp trong phạm vi vùng đất bị phá hoại.

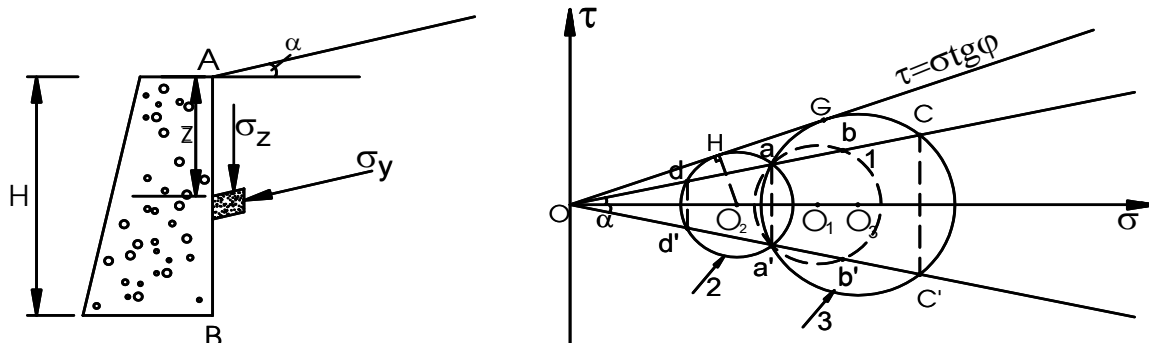
##### 4.1 Tính toán áp lực đất theo lý luận W.J.W.Rankine.

Dựa vào trạng thái ứng suất trong vật thể bán không gian vô hạn và điều kiện cân bằng giới hạn tại một điểm trong bán không gian đó W.J.W.Rankine đã đề ra phương pháp tính toán áp lực đất chủ động và bị động của đất lên tường bỏ qua ma sát giữa đất và tường, nghĩa là ứng suất phân bố trên mặt tiếp xúc giữa đất và tường trong trường hợp có tường và không có tường như nhau.

4.1.1.Trường hợp đất rời: ( $\varphi \neq 0, c=0$ ) lưng tường thẳng đứng, mặt đất nghiêng một góc  $\alpha$  so với phương ngang.

Xét một phân tố đất M có hai mặt thẳng đứng và hai mặt song song với mặt đất ở độ sâu z như trong trường hợp xác định áp lực tĩnh của đất lên tường.

Giả sử tường dịch chuyển ra phía ngoài hoặc vào phía trong nền đất. Giá trị của  $\sigma_z = const$ , còn giá trị  $\sigma_y$  thay đổi trong khoảng  $\sigma_{ymin} \leq \sigma_y \leq \sigma_{ymax}$  tùy thuộc vào sự chuyển vị tương đối giữa tường và đất. Do vậy, ta có thể dựng vô số vòng tròn ứng suất Mohr đi qua điểm a có tâm nằm trên trục  $\sigma$ . Trên hình (V-14) vòng tròn 1 tâm  $O_1$  thể hiện trạng thái ứng suất  $\sigma_y$  bất kỳ và vòng tròn 2,3 tâm  $O_2, O_3$  tương ứng thể hiện trạng thái cân bằng giới hạn cực tiểu gây nên áp lực chủ động  $\sigma_{ymin}$  và trạng thái cân bằng giới hạn cực đại gây nên áp lực bị động  $\sigma_{ymax}$  lên tường. Vòng tròn 1 cắt trục  $\sigma$  tại các điểm  $T_1$  và  $S_1$ , vòng tròn 2 cắt trục  $\sigma$  tại các điểm  $T_2$  và  $S_2$  và vòng tròn 3 cắt trục  $\sigma$  tại  $T_3$  và  $S_3$ . Trong trường hợp này có thể chứng minh được rằng giá trị của ứng suất trên mặt thẳng đứng tương ứng với ba trạng thái ứng suất của phân tố kể trên là:



Hình V-14

- Trạng thái ứng suất tương ứng với vòng tròn 1:

$$\sigma_y = \overline{Ob'} \tag{V-43}$$

- Trạng thái cân bằng giới hạn cực tiểu tương ứng với vòng tròn 2 (cường độ áp lực chủ động).

$$P_c = \sigma_{ymin} = \overline{Od'} = \overline{Od} \tag{V-44}$$

- Trạng thái cân bằng giới hạn cực đại tương ứng với vòng tròn 3 (cường độ áp lực bị động).

$$P_b = \sigma_{ymax} = \overline{Oc'} = \overline{Oc} \tag{V-45}$$

Để xác định  $\sigma_{Ymin}$  ta xét riêng vòng tròn 2 (hình V-14):

$$\frac{\sigma_{ymin}}{\sigma_z} = \frac{\overline{Od'}}{\overline{Oa}} = \frac{\overline{Od}}{\overline{Oa}} = \frac{\overline{OK} - \overline{Kd}}{\overline{OK} + \overline{Ka}} \tag{V-46}$$

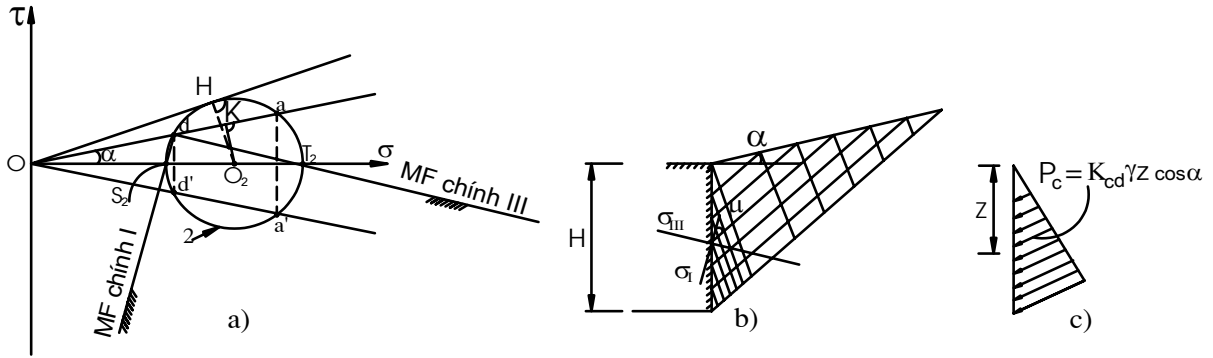
Trong đó:  $\overline{OK} = \overline{OO_2} \cos \alpha$ ;  $\overline{Kd} = \overline{Ka} = \sqrt{r^2 - \overline{O_2K}^2}$  ;  $r = \overline{OO_2} \sin \varphi$

$$\text{Từ đó ta có : } P_c = \sigma_{y \min} = \frac{\cos \alpha - \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \alpha}}{\cos \alpha + \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \alpha}} \cdot \sigma_z \quad (\text{V-47})$$

Hay :  $P_c = \sigma_{y \min} = \gamma \cdot z \cdot K_{cd}$  (V-48)

Trong đó:  $K_{cd}$  - hệ số áp lực chủ động được tính như sau :

$$K_{cd} = \frac{\cos \alpha - \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \alpha}}{\cos \alpha + \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \alpha}} \cdot \cos \alpha \quad (\text{V-49})$$



Hình V-15

Do đó áp lực chủ động của đất lên tường chắn được xác định theo công thức sau:

$$E_c = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot K_{cd} \quad (\text{V-50})$$

Các đường  $dT_2$  và  $dS_2$  trên hình (V-15) chỉ hướng các mặt phẳng chính III và I. Khi một điểm nằm trong trạng thái cân bằng giới hạn, thì tại đó sẽ xuất hiện hai mặt trượt cắt nhau một góc  $(90^\circ - \varphi)$  và hợp với mặt phẳng chính I một góc  $\mu = 45^\circ - \frac{\varphi}{2}$

Trên hình (V-15b,c) cho thấy các họ đường trượt và biểu đồ cường độ áp lực chủ động. Tương tự với vòng tròn 3, ta có:

$$P_b = \sigma_{y \max} = \overline{OC'} = \gamma \cdot z \cdot K_{bd} \quad (\text{V-51})$$

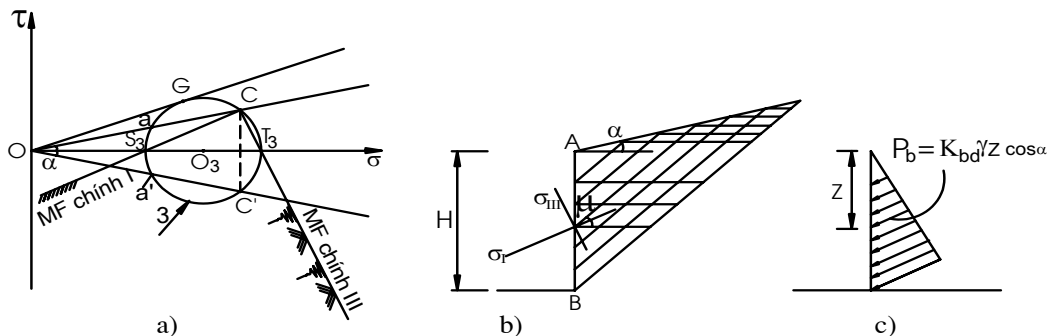
Trong đó:  $K_{bd}$  - hệ số áp lực bị động được xác định:

$$K_{bd} = \frac{\cos \alpha + \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \alpha}}{\cos \alpha - \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \alpha}} \cdot \cos \alpha \quad (\text{V-52})$$

Và áp lực bị động  $E_b$  của đất lên tường được xác định theo công thức :

$$E_b = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot K_{bd} \quad (\text{V-53})$$

Trạng thái ứng suất bị động của một điểm, các mặt trượt, biểu đồ cường độ áp lực bị động thể hiện trên hình (V-16).



Hình V-16



4.1.2. Trường hợp đối với đất dính: ( $\varphi \neq 0$ ;  $c \neq 0$ ) mặt đất nằm ngang ( $\alpha=0$ ) và lưng tường thẳng đứng ( $\varepsilon=0$ ).

Trạng thái ứng suất tại điểm M ở chiều sâu z, khi khối đất đang ở trạng thái cân bằng bên thì lúc đó thành phần ứng suất thẳng đứng được xác định như sau:

$$\sigma_z = \gamma.z \tag{V-54}$$

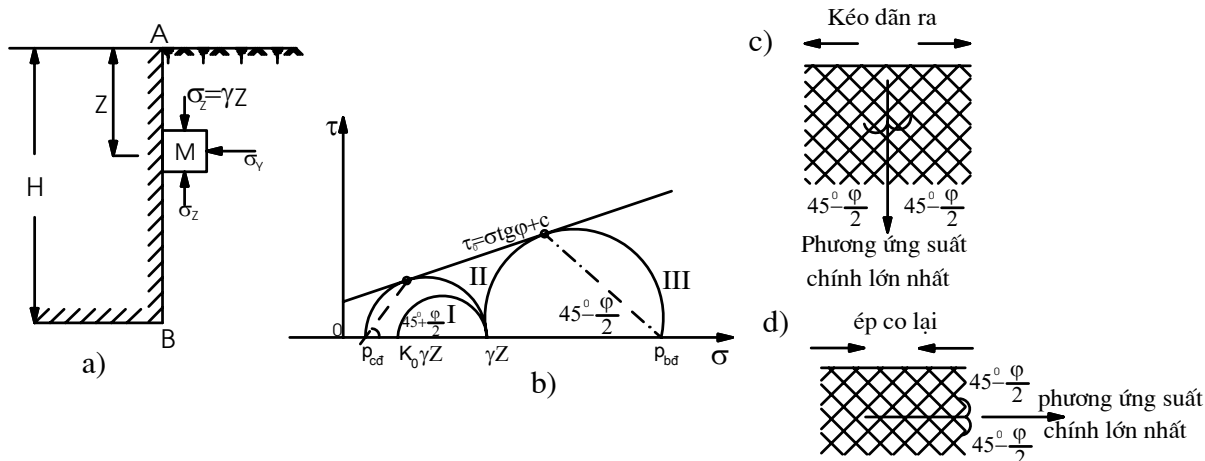
còn thành phần ứng suất pháp của mặt phẳng thẳng đứng sẽ là:

$$\sigma_y = \gamma.z.K_0 \tag{V-55}$$

Nếu xem khối đất là bán không gian vô hạn thì mọi mặt phẳng thẳng đứng đều là mặt phẳng đối xứng của bán không gian, do đó trên mặt phẳng thẳng đứng và ngang ứng suất tiếp đều bằng không. Từ đó suy ra rằng ứng suất pháp trên mặt phẳng nằm ngang  $\sigma_z$  và trên mặt phẳng thẳng đứng  $\sigma_y$  đều là ứng suất chính tương ứng là  $\sigma_I$  và  $\sigma_{III}$ . Từ hai ứng suất chính này có thể dùng vòng tròn Mohr để biểu thị (Hình V-17). Do điểm M đang ở trạng thái cân bằng bên nên vòng tròn Mohr I nằm dưới đường bao cường độ chống cắt của Coulomb.

Khi tường dịch chuyển ra ngoài khối đất, thì khối đất bị kéo giãn ra phía hông do đó ứng suất của mặt phẳng nằm ngang  $\sigma_z$  không thay đổi, còn ứng suất pháp của mặt phẳng đứng  $\sigma_y$  sẽ bị giảm dần, cho đến khi đạt thỏa mãn điều kiện cân bằng giới hạn thì dừng lại (gọi là trạng thái chủ động Rankine), lúc đó  $\sigma_y$  đạt cực tiểu và ký hiệu là  $P_c$ ,  $P_c$  là ứng suất chính nhỏ nhất, còn  $\sigma_z = \gamma.z$  là ứng suất chính lớn nhất. Vòng tròn Mohr II được dựng từ các ứng suất trên sẽ tiếp xúc với đường bao cường độ chống cắt của Coulomb, nếu đất giãn ra tiếp thì chỉ có thể dẫn đến trạng thái chảy dẻo chứ không làm thay đổi trạng thái ứng suất đó.

Khi tường dịch chuyển về phía khối đất, thì khối đất sẽ bị ép lại từ hai phía hông thì ứng suất pháp của mặt phẳng đứng  $\sigma_y$  không ngừng tăng lên, còn  $\sigma_z$  không đổi, cho đến khi khối đất thỏa mãn điều kiện cân bằng giới hạn (gọi là trạng thái bị động của Rankine) thì  $\sigma_y$  đạt giá trị cực đại, ký hiệu là  $P_b$ , lúc đó  $P_b$  là ứng suất chính lớn nhất còn  $\sigma_z = \gamma.z$  là ứng suất chính nhỏ nhất. Vòng tròn Mohr dựng từ hai giá trị ứng suất này là vòng III tiếp xúc với đường bao Coulomb (hình V-17.b). Do khi khối đất ở trạng thái giới hạn chủ động, mặt ứng suất chính lớn nhất là mặt phẳng ngang cho nên mặt trượt làm với mặt phẳng đứng một góc  $(45^\circ - \varphi/2)$  còn khi khối đất ở trạng thái cân bằng bị động thì mặt ứng suất chính lớn nhất là mặt phẳng đứng cho nên mặt trượt làm với mặt phẳng ngang một góc  $(45^\circ + \varphi/2)$  (Hình V-17.c,d). Từ sự phân tích nêu trên, W.J.W. Rankine đưa ra các công thức tính toán áp lực đất chủ động và bị động tác dụng lên tường chắn như sau.



Hình V-17

a/ Xác định áp lực chủ động:

- Xét trạng thái ứng suất tại điểm M ta có

$$\sigma_z = \gamma.z = \sigma_1 \tag{V-56}$$

$$P_c = \sigma_3 \tag{V-57}$$

Do điểm M ở trạng thái cân bằng giới hạn, nên ứng suất tại điểm M phải thỏa mãn điều kiện cân bằng giới hạn Mohr - Coulomb nêu trong Chương IV. Từ công thức (IV-28) ta có:

$$\sigma_1 = \sigma_3 . \text{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) + 2c . \text{tg}(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) \tag{V-58}$$

Thay (V-57) và (V-58) vào (V-56) ta có:

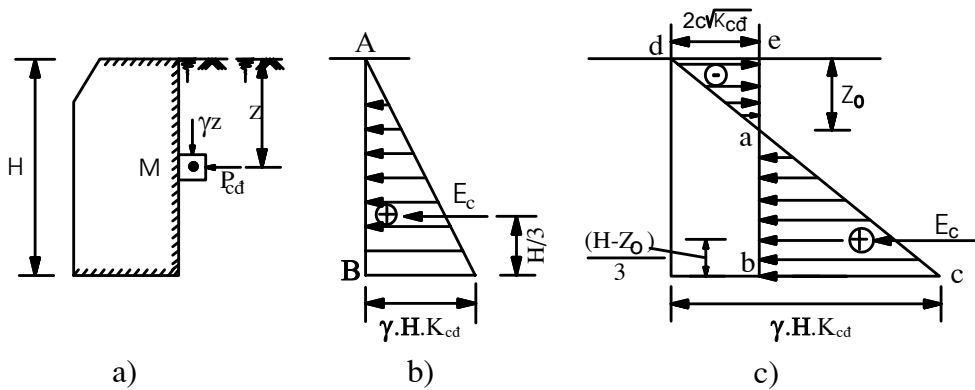
$$\gamma.z = P_c . \text{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) + 2c . \text{tg}(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) \tag{V-59}$$

hay : 
$$P_{cd} = \gamma.z . K_{cd} - 2c\sqrt{K_{cd}} \tag{V-60}$$

Trong đó: 
$$K_{cd} = \frac{1}{\text{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})} = \text{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$$
 - hệ số áp lực chủ động theo lý

luận Rankine

Từ công thức (V-60) ta có thể thấy rằng cường độ áp lực đất chủ động trong đất dính gồm hai thành phần: một phần do trọng lượng đất gây ra ( $\gamma.H.K_{cd}$ ) có tác dụng đẩy tường ra, còn phần kia do lực dính của đất gây ra áp lực âm ( $-2c\sqrt{K_{cd}}$ ) không phụ thuộc chiều cao tường có tác dụng níu tường lại, tức làm giảm áp lực đất lên tường. Kết quả tính toán được thể hiện trên hình (V-18), trong đó tồn tại phân biểu đồ âm ade có tác dụng kéo tường lại. Trong thực tế tính toán người ta thường bỏ qua vai trò ảnh hưởng của lực dính đến cường độ áp lực đất lên tường với lý do là lớp đất đắp này trên mặt thường bị ảnh hưởng nhiều của môi trường thay đổi trong tự nhiên, nên không thể phát huy hết vai trò của nó.



Hình V-18

Nếu loại bỏ vai trò phân biểu đồ âm thì biểu đồ phân bố áp lực đất chỉ còn phân tam giác abc.

Như vậy tại a thì 
$$P_{cd} = 0 = \gamma z_0 K_{cd} - 2c\sqrt{K_{cd}}$$

Từ đó rút ra: 
$$z_0 = \frac{2c}{\gamma \cdot \sqrt{K_{cd}}} \tag{V-61}$$

Trong đó:  $z_0$  - chiều sâu giới hạn ảnh hưởng của lực dính;

Trị số tổng áp lực đất chủ động được tính bằng diện tích của biểu đồ abc (Hình V-18):

$$E_{cd} = dt\Delta abc = \frac{(H - z_0)(\gamma z K_{cd} - 2c\sqrt{K_{cd}})}{2} \tag{V-62}$$

Thay  $z_0$  từ công thức (V-61) vào công thức (V-62) ta có:

$$E_{cd} = \frac{1}{2} \gamma H^2 \cdot K_{cd} - 2cH \sqrt{K_{cd}} + \frac{2c^2}{\gamma} \quad (V-63)$$

Áp lực chủ động  $E_{cd}$  tác dụng tại điểm cách chân tường một khoảng  $(\frac{H - z_0}{3})$

(Hình V-18)

- Trong trường hợp đất đắp là đất rời ( $\varphi \neq 0, c=0$ ) thì từ công thức (V-60) suy ra:

Cường độ áp lực chủ động:  $P_c = \gamma z K_{cd} \quad (V-64)$

Tổng áp lực đất chủ động:  $E_c = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_{cd} \quad (V-65)$

Từ đó ta thấy rằng công thức này sẽ trùng với trường hợp đặc biệt theo lời giải giải tích của C.A.Coulomb (V-22). Biểu đồ phân bố cường độ và điểm đặt của áp lực chủ động cho trong hình (V-18).

b/ *Xác định áp lực bị động.*

Vì một lý do nào đó làm cho tường chắn chuyển dịch về phía khối đất đắp, nó làm cho khối đất đắp bị ép lại từ hai phía, và khi khối đất đó đạt tới trạng thái cân bằng giới hạn bị động thì các thành phần ứng suất tại điểm M được xác định như sau:

$$\sigma_z = \gamma \cdot z = \sigma_3 \quad (V-66)$$

$$\text{và } P_b = \sigma_1 \quad (V-67)$$

Thay công thức (V-66) và (V-67) vào điều kiện cân bằng giới hạn Mohr-Coulomb (V-59) ta được:

$$P_{bd} = \gamma z K_{bd} + 2c \sqrt{K_{bd}} \quad (68)$$

Trong đó:  $K_{bd} = tg^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})$  - là hệ số áp lực bị động theo lý luận Rankine.

Từ công thức trên ta thấy rằng cường độ áp lực đất bị động gồm hai phần, đó là  $(\gamma \cdot z \cdot K_{bd})$  do trọng lượng của khối đất gây ra và  $(2c \sqrt{K_{bd}})$  do lực dính gây ra. Cả hai phần áp lực đều có tác dụng chống lại tường. Lực dính của đất làm tăng áp lực đất bị động lên tường.

Biểu đồ phân bố cường độ áp lực đất bị động lên tường như hình (V-19c) biểu đồ này có dạng hình thang.

Tổng giá trị áp lực đất bị động trong trường hợp này được tính bằng diện tích của biểu đồ hình thang.

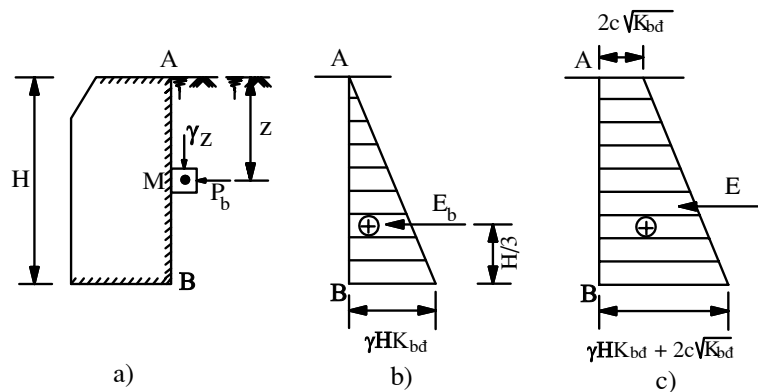
$$E_{bd} = \frac{1}{2} \gamma H^2 \cdot K_{bd} + 2c \cdot H \cdot \sqrt{K_{bd}} \quad (V-69)$$

Và điểm đặt ở tâm hình thang.

- Trong trường hợp đất đắp là đất rời ( $\varphi \neq 0, c=0$ ) thì từ công thức (V-68) ta suy ra cường độ áp lực đất bị động sẽ được tính là:

$$P_{bd} = \gamma \cdot H \cdot K_{bd} \quad (V-70)$$

và tổng áp lực đất bị động là:



Hình V-19

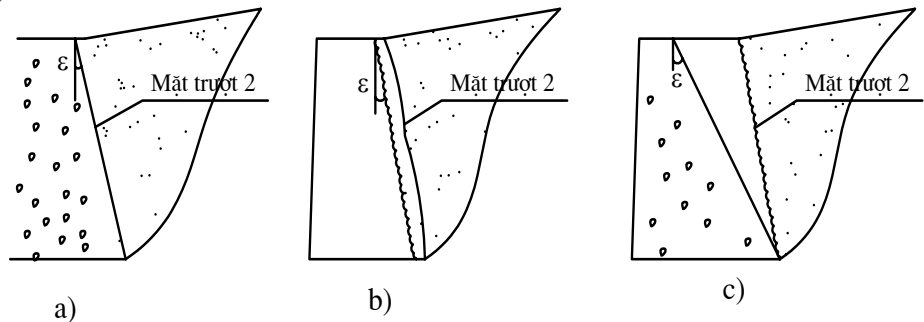
$$E_{bd} = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_{bd} \tag{V-71}$$

**4.2. Tính toán áp lực đất theo lý thuyết V.V.Xôclovski**

Thực tế cho thấy rằng sự có mặt của tường chắn trong đất sẽ làm thay đổi điều kiện làm việc của nền đất sau lưng tường rất nhiều. Chính vì vậy cần đưa vào tính toán không những điều kiện biên ở trên mặt đất mà còn cả điều kiện biên ở mặt tiếp xúc giữa đất và tường, đó chính là yếu tố ma sát giữa đất và tường. Khi xuất hiện áp lực đất chủ động (hoặc bị động), trong nền đất đắp sau tường đồng thời xuất hiện khối trượt giới hạn bởi hai mặt trượt và mặt đất tự nhiên. Mặt trượt thứ nhất xảy ra trong khối đất như hình (V-20).

Trong trường hợp nếu mặt phẳng lưng tường trơn nhẵn, ma sát giữa đất và tường nhỏ hơn ma sát trong của đất thì mặt trượt thứ II chính là mặt phẳng lưng tường như hình (V-20.a). Trường hợp bề mặt lưng tường gồ ghề, độ nhám lớn, ma sát giữa đất và tường lớn hơn ma sát trong của đất, mặt trượt thứ II thường xảy ra trong đất sát lưng tường hình (V-20.b). Còn trường hợp lưng tường quá thoải, góc nghiêng lưng tường ( $\epsilon$ ) lớn thì mặt trượt thứ II cũng thường xảy ra trong đất nhưng cách lưng tường một quãng (Hình V-20.c). Chính yếu tố ma sát làm thay đổi tình hình ứng suất trong đất nền. Khi đất nằm trong trạng thái cân bằng giới hạn không phải toàn bộ thỏa mãn điều kiện cân bằng giới hạn cực tiểu đơn thuần, hoặc cân bằng giới hạn cực đại đơn thuần như W.J.W Rankine quan niệm, mà trong nền đất có thể xuất hiện nhiều vùng khác nhau với những điều kiện cân bằng giới hạn khác nhau; tùy thuộc vào tình hình tải trọng và ma sát giữa đất và tường.

Vì bài toán áp lực đất lên tường chắn và bài toán ổn định của nền đất, về thực chất đều thuộc bài toán cân bằng giới hạn của các khối đất, nên trong trường hợp tổng quát khi  $\alpha$ ,  $\epsilon$  và  $\delta$



Hình V-20

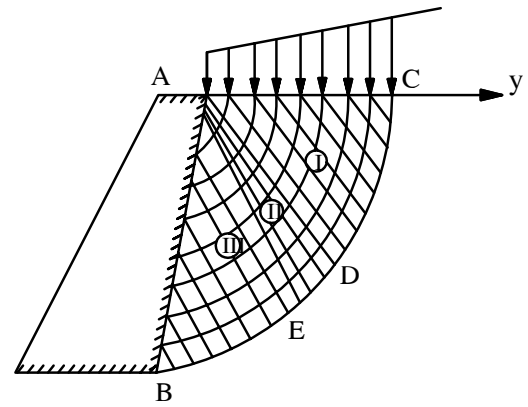
đều khác không, để xác định áp lực đất chủ động, và áp lực đất bị động lên tường, cần phải xuất phát từ hệ phương trình quen thuộc sau đây đã trình bày ở chương IV, bao gồm hai phương trình cân bằng tĩnh của bài toán phẳng và một phương trình cân bằng giới hạn :

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} &= \gamma \\ \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} &= 0 \\ \frac{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_{zy}^2}{(\sigma_z + \sigma_y + 2c \cdot \cot g\varphi)^2} &= \sin^2 \varphi \end{aligned} \right\} \tag{V-72}$$

V.V.Xôclovski đã giải hệ phương trình này một cách chặt chẽ, lời giải đã cho phép xác định chính xác vị trí và hình dạng mặt trượt của khối đất sau lưng tường trong điều kiện cân bằng giới hạn, trong trường hợp tổng quát, các đường trượt trong lăng thể

đất bị phá hoại sau lưng tường bao gồm hai họ đường cong tạo thành một mạng lưới kín khấp trong phạm vi lăng thể đó.

Biết được hình dạng mặt trượt và giới hạn các vùng đất ở trạng thái cân bằng giới hạn trong lăng thể trượt. Như các điểm nằm trong vùng I (ACD) thỏa mãn điều kiện cân bằng giới hạn cực tiểu, các điểm nằm trong vùng III (ABE) thỏa mãn điều kiện cân bằng giới hạn cực đại còn các điểm nằm trong vùng II (ADE) là vùng chuyển



Hình V-21

tiếp, đồng thời dựa vào điều kiện biên của bài toán tương ứng, ông đã rút ra các biểu thức giải tích cho phép xác định được áp lực chủ động và bị động của đất lên tường. Tuy vậy, do những sự phức tạp và đòi hỏi khối lượng lớn, nên dẫn đến việc áp dụng trong thực tế đối với phương pháp này bị hạn chế. (Hình V-21).

- Đối với trường hợp khi lưng tường nghiêng, mặt đất đắp sau tường nằm ngang và ma sát giữa lưng tường và đất đắp không thể bỏ qua được ( $\epsilon \neq 0$ ,  $\delta \neq 0$  và  $\alpha = 0$ ), thì áp lực chủ động và bị động của đất lên tường theo lý thuyết của Xôlôlovski được tính theo biểu thức sau:

$$E_c = \lambda_{cd}^* \cdot \frac{\gamma H^2}{2} \tag{V-73}$$

$$E_b = \lambda_{bd}^* \cdot \frac{\gamma H^2}{2} \tag{V-74}$$

Trong đó :  $\lambda_{cd}^*$ ,  $\lambda_{bd}^*$  - Hệ số áp lực chủ động và bị động theo thuyết Xôlôlovski được tra trong bảng (V-3) và (V-4).

Trường hợp khi ( $\epsilon=0$ ,  $\delta=0$  và  $\alpha=0$ ) thì biểu thức tính toán áp lực chủ động và bị động đều trùng với công thức được rút ra theo lý thuyết của W.J.W Rankine và lý thuyết của C.A. Coulomb.

Bảng V - 3: Hệ số áp lực đất chủ động  $\lambda_{cd}^*$  theo lời giải của lý thuyết Xôlôlovski.

$\varphi^0$	$\delta^0 \backslash \epsilon^0$	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
		0	0,49	0,58	0,65	0,70	0,72	0,73	0,72
10	5	0,45	0,64	0,61	0,66	0,69	0,70	0,69	0,64
	10	0,43	0,51	0,58	0,64	0,67	0,69	0,68	0,63
20	0	0,27	0,35	0,42	0,49	0,54	0,57	0,60	0,59
	10	0,23	0,31	0,38	0,44	0,50	0,53	0,56	0,66
	20	0,22	0,28	0,35	0,41	0,47	0,51	0,53	0,54
30	0	5,28	4,42	3,65	0,33	0,40	0,46	0,50	0,52
	15	8,76	7,13	5,63	0,29	0,36	0,42	0,46	0,48
	30	11,72	9,31	7,30	0,27	0,33	0,39	0,43	0,46
40	0	0,06	0,11	0,16	0,22	0,29	0,35	0,42	0,46
	20	0,05	0,09	0,13	0,19	0,25	0,32	0,38	0,42
	40	0,04	0,07	0,11	0,17	0,23	0,29	0,38	0,41

Bảng V-4: Hệ số áp lực đất bị động  $\lambda_{bd}^*$  theo lời giải của lý thuyết Xôcôlovski.

$\varphi^0$	$\delta^0 \backslash \varepsilon^0$	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
	10	0	1,53	1,53	1,49	1,42	1,31	1,18	1,04	0,89	0,71
5		1,71	1,69	1,64	1,55	1,43	1,28	1,10	0,93	0,74	0,55
10		1,88	1,79	1,74	1,63	1,50	1,33	1,15	0,96	0,76	0,55
20	0	2,76	2,53	2,30	2,04	1,77	1,51	1,26	1,01	0,77	0,56
	10	3,26	3,11	2,89	2,51	2,16	1,80	1,46	1,16	0,87	0,61
	20	4,24	3,379	3,32	2,86	2,42	2,00	1,63	1,25	0,92	0,63
30	0	5,28	4,42	3,65	3,00	2,39	1,90	1,49	1,15	0,85	0,60
	15	8,76	7,13	5,63	4,46	3,50	2,70	2,01	1,45	1,03	0,69
	30	11,72	9,31	7,30	5,67	4,35	3,29	2,42	1,73	1,23	0,75
40	0	11,27	8,34	6,16	4,60	3,37	2,50	1,86	1,35	0,95	0,64
	20	26,70	8,32	13,02	9,11	6,36	4,41	2,98	1,99	1,33	0,81
	40	43,23	29,40	20,35	13,96	9,43	6,30	4,16	2,67	1,65	0,96

Trong thực tế điều kiện làm việc đồng thời giữa đất đắp và tường chắn phức tạp hơn nhiều so với các vấn đề đã được đề cập ở trên. Điều kiện càng phức tạp, độ chính xác đòi hỏi càng cao thì sơ đồ tính toán càng phải sát với thực tế, tuy nhiên mức độ chính xác của bài toán so với thực tế lại phụ thuộc chủ yếu vào dữ liệu đầu vào như tính chất của đất, trạng thái ứng suất trong nền, ma sát giữa đất và tường, và các yếu tố khác, đòi hỏi phải nghiên cứu kỹ.

### §5. TÍNH TOÁN ÁP LỰC ĐẤT LÊN TƯỜNG CHẮN TRONG CÁC TRƯỜNG HỢP THƯỜNG GẶP.

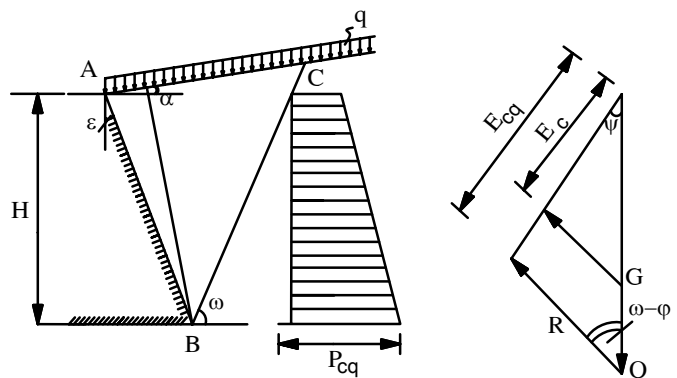
Trong thực tế thường gặp những trường hợp phức tạp như có tải trọng trên mặt đất, tường có bề giảm tải, mặt đất gãy khúc, tường có góc nghiêng lớn, ảnh hưởng của nước, của đất đắp không đồng nhất v.v... và dưới đây ta sẽ lần lượt xét một số các trường hợp đó.

#### 5.1. Trường hợp tải trọng ngoài tác dụng trên mặt đất.

##### 5.1.1. Tải trọng ngoài phân bố đều và kín khắp trên mặt đất.

##### 5.1.1.1. Đất đắp là đất rời, lưng tường nghiêng, mặt đất phẳng nghiêng

Trên mặt đất phẳng sau lưng tường AB có tải trọng  $q$  (tấn/m<sup>2</sup>) tác dụng thẳng đứng và phân bố đều, kín khắp như hình (V-22), trong trường hợp này, do ảnh hưởng của tải trọng trên mặt đất làm tăng lực đẩy của đất vào tường, và có thể làm thay đổi cả hình dáng lẫn phạm vi mặt trượt. Trong thực hành tính toán dùng lý luận của Coulomb để xác định áp lực chủ động và bị động của đất lên



Hình V-22

tường chắn cho trường hợp này có thể thuận lợi hơn. Trên hình (V-22) thể hiện sơ đồ tính toán áp lực chủ động của đất lên tường chắn theo phương pháp Coulomb.

Nếu khi trượt xảy ra thì sẽ trượt theo mặt trượt BC, và chỉ những phần tải trọng nằm trong phạm vi lăng thể trượt (đoạn AC) mới có ảnh hưởng tới áp lực của đất trên tường. Do đó trong trường hợp này sơ đồ tam giác lực có dạng như hình (V-22). Từ đó ta có thể viết biểu thức tính  $E_{cq}$  như sau :

$$E_{cq} = (1 + \eta)G \frac{\sin(\omega - \varphi)}{\sin(\omega - \varphi + \psi)} \quad (V-75)$$

Trong đó :  $E_{cq}$  - là áp lực chủ động của đất khi có tải trọng ngoài  
 $Q$  - là tổng tải trọng ngoài trên đoạn AC, còn  $G$  là trọng lượng của lăng thể trượt.

- Các ký hiệu khác  $\omega, \varphi, \psi$  : đều như trên ta đã quy ước.

Hoặc ta có thể viết:  $E_{cq} = (1 + \eta) E_c$  (V-75')

Trong đó :  $E_c$  - là áp lực chủ động của đất khi không có tải trọng ngoài. Nếu ta chứng

minh được tỷ số  $\eta = \frac{Q}{G}$  không phụ thuộc vào góc  $\omega$  thì  $\frac{dE_{cq}}{d\omega}$  sẽ tương đương với  $\frac{dE_c}{d\omega}$ ,

nghĩa là góc  $\omega$  ứng với  $E_{cmax}$  cũng chính là góc  $\omega$  ứng với  $E_{cqmax}$ . Điều đó nói lên rằng sự có mặt của tải trọng ngoài phân bố đều và kín khắp trên mặt đất không ảnh hưởng đến trị số của góc trượt tính toán.

Theo hình (V-22) ta có :  $Q = \overline{AC}q \cos \alpha$  (V-76)

Trong đó :  $\alpha$  - góc nghiêng giữa mặt đất và mặt phẳng nằm ngang.

$$G = \gamma \cdot dt(\Delta ABC) = \frac{1}{2} \overline{\gamma AC} \frac{H \cdot \cos(\varepsilon - \alpha)}{\cos \varepsilon} \quad (V-77)$$

Từ (V-76) và (V-77) ta có :

$$\eta = \frac{Q}{G} = \frac{\overline{AC}q \cos \alpha}{\frac{1}{2} \overline{\gamma ACH} \frac{\cos(\varepsilon - \alpha)}{\cos \varepsilon}} = \frac{2q \cos \varepsilon \cdot \cos \alpha}{\gamma H \cos(\varepsilon - \alpha)} \quad (V-78)$$

Rõ ràng tỷ số  $\eta$  hoàn toàn không phụ thuộc vào góc  $\omega$ . Do đó từ biểu thức (V-75') ta có thể viết :

$$E_{cqmax} = (1 + \eta) E_{cmax} = (1 + \eta) \frac{1}{2} \gamma K_{cd} H^2 \quad (V-79)$$

Cường độ áp lực đất  $P_{cq}$  sẽ là :

$$P_{cq} = \gamma \cdot K_{cd} \cdot H + K_{cd} \cdot q \frac{\cos \varepsilon \cdot \cos \alpha}{\cos(\varepsilon - \alpha)} \quad (V-80)$$

Từ biểu thức (V-80) ta thấy  $P_{cq}$  có hai thành phần :  $\gamma \cdot K_{cd} \cdot H$  như trường hợp không có tải trọng ngoài phân bố đều, còn  $K_{cd} \cdot q \frac{\cos \varepsilon \cdot \cos \alpha}{\cos(\varepsilon - \alpha)}$  là cường độ áp lực do tải trọng phân bố đều gây ra. Vậy biểu đồ của  $P_{cq}$  có dạng hình thang, hình (V-22), (phần gạch ngang).

5.1.1.2. Đất đắp là đất dính, lưng tường thẳng đứng và mặt đất nằm ngang.

Đối với trường hợp này có thể dùng biểu thức tính toán của Rankine hoặc Coulomb để xác định  $E_c$  hoặc  $E_b$ . Như phần trên ta thấy áp lực đất tác dụng lên tường chắn trong trường hợp này sẽ làm gia tăng thành phần ứng suất thẳng đứng một đại lượng bằng  $q$ , tức là :

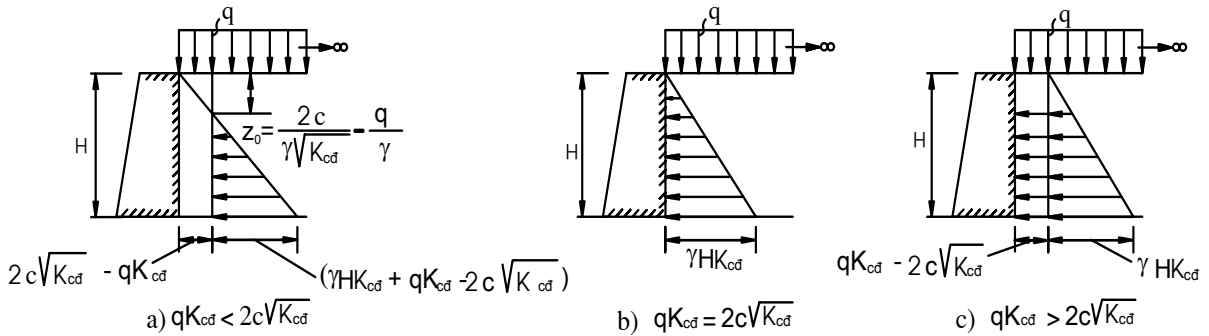
$$\sigma_z = \gamma z + q \quad (V-81)$$

Vì vậy công thức xác định cường độ áp lực đất chủ động và bị động rút ra từ điều kiện cân bằng giới hạn Mohr -Coulomb sẽ được xác định như sau:

$$P_{cdq} = \gamma z K_{cd} + q \cdot K_{cd} - 2c\sqrt{K_{cd}} \tag{V-82a}$$

$$P_{bdq} = \gamma z K_{bd} + q \cdot K_{bd} + 2c\sqrt{K_{bd}} \tag{V-82b}$$

Biểu đồ phân bố cường độ áp lực chủ động như trên hình (V-23), còn biểu đồ phân bố cường độ áp lực bị động như trên hình (V-24).

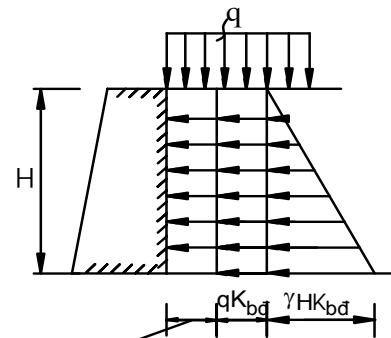


Hình V-23

5.1.2. Tải trọng phân bố đều và không kín khắp trên mặt đất phẳng.

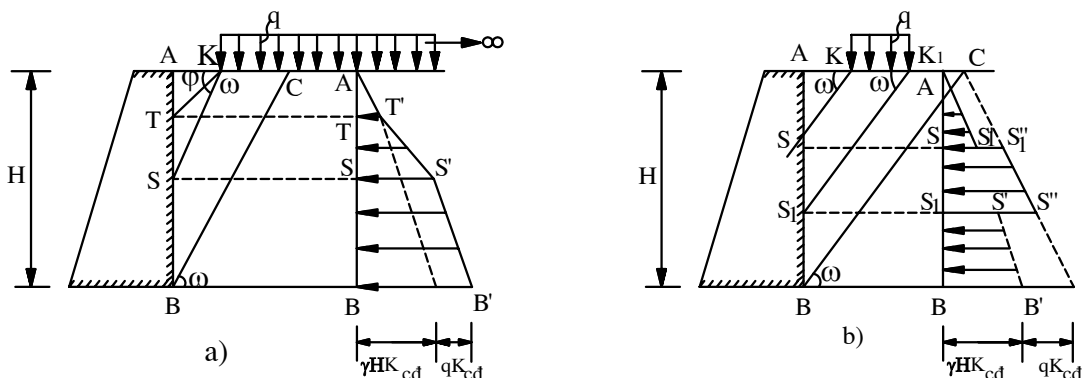
Hình (V-25) cho thấy trên mặt đất trong phạm vi đoạn AK không có tải trọng ngoài phân bố đều tác dụng. Trường hợp này cường độ áp lực chủ động có thể xác định theo phương pháp gần đúng.

Để vẽ biểu đồ cường độ áp lực đất chủ động trong trường hợp này ta có thể thực hiện cách vẽ như sau : Từ điểm K (mép của tải trọng trong hình V-25.a) ta kẻ hai đường thẳng KT và KS tạo với phương nằm ngang một góc bằng  $\varphi$  và  $\omega$ . Từ đó ta thấy rằng tải trọng ngoài phân bố đều chỉ ảnh hưởng từ điểm S trở xuống, còn trong phạm vi TS biểu đồ cường độ có dạng chuyển tiếp như hình (V-25.a). Kết quả nhận được biểu đồ cường độ áp lực đất là (ATSBB'S'T'A).



Hình V-24

Nếu trong trường hợp tải trọng phân bố đều trong đoạn  $KK_1$  thuộc phạm vi của lăng thể đất trượt ABC (hình V-25.b), thì cách vẽ biểu đồ cũng tương tự như trên. Từ hai mép K và  $K_1$  của tải trọng phân bố đều, ta kẻ hai đường thẳng  $K_1S_1$  và KS tạo với mặt phẳng nằm ngang một góc  $\omega$ . Tải trọng ngoài phân bố đều trên đoạn  $KK_1$  chỉ ảnh hưởng trong phạm vi từ S đến  $S_1$ , với một giá trị cường độ áp lực đất gia tăng bằng  $q \cdot \sqrt{K_{cd}}$  còn trong phạm vi AS và  $S_1B$  hoàn toàn không chịu ảnh hưởng của tải trọng q. Kết quả nhận được biểu đồ phân bố cường độ áp lực là (ASS<sub>1</sub>BB'S<sub>1</sub>'S<sub>1</sub>'S''S'A).



Hình V-25



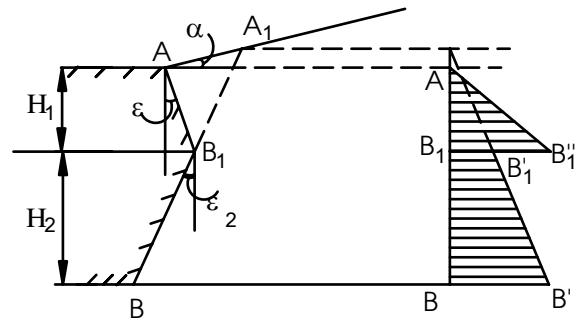
**5.2. Trường hợp lưng tường gãy khúc và mặt đất phẳng.**

Để thích hợp với điều kiện chịu lực, trong thực tế tường chắn đất có khi được cấu tạo với lưng tường có dạng gãy khúc AB.

Để xác định áp lực đất lên các tường loại này, người ta thường xác định riêng rẽ cho mỗi đoạn của lưng tường, rồi sau đó cộng tất cả các diện tích của các biểu đồ cường độ đó lại, cụ thể như sau :

Đối với đoạn lưng tường AB<sub>1</sub>, thì việc xác định biểu đồ cường độ áp lực đất tiến hành như các phần trên đã trình bày

(diện tích phần AB<sub>1</sub>B<sub>1</sub>”). Đối với đoạn lưng tường B<sub>1</sub>B, thì kéo dài đoạn này cho gặp mặt đất tại A<sub>1</sub> và tiến hành tính toán áp lực đất như đối với tường A<sub>1</sub>B, có góc nghiêng lưng tường ε<sub>2</sub>, còn góc nghiêng của mặt đất vẫn là α. Thực tế vì không có đoạn B<sub>1</sub>A<sub>1</sub> nên biểu đồ cường độ áp lực đất của đoạn B<sub>1</sub>B chỉ là phần hình thang (B<sub>1</sub>BB<sub>1</sub>”) có chiều cao bằng chiều cao của đoạn tường đó là H<sub>2</sub>), và biểu đồ cường độ áp lực đất chung cho cả lưng tường và phần diện tích gạch ngang (AB<sub>1</sub>BB<sub>1</sub>”B<sub>1</sub>”A) trong hình (V-26).



Hình V-26

**5.3. Trường hợp đất đắp sau tường gồm nhiều lớp.**

Khi đất đắp sau tường chắn có nhiều lớp đất khác nhau. Để giải quyết bài toán này, nói chung là rất phức tạp, đặc biệt là khi mặt đất nghiêng và các lớp đất phân bố không song song. Do đó, hiện nay trong tính toán, người ta thường dùng các phương pháp gần đúng. Muốn xác định được áp lực chủ động lớn nhất E<sub>cmax</sub> của đất lên lưng tường cứng, người ta thường : Coi áp lực của mỗi lớp đất cần xác định không phụ thuộc vào áp lực của các lớp đất khác, nghĩa là khi xác định áp lực đất ta có thể xác định cho từng đoạn tường tương ứng với mỗi lớp đất có tính chất cơ lý khác nhau.

Trường hợp đơn giản, khi lưng tường thẳng đứng, mặt đất nằm ngang và lớp đất song song với nhau (hình V-27). Ta sẽ xác định áp lực riêng rẽ cho từng lớp đất, bằng cách xây dựng biểu đồ phân bố áp lực đất cho mỗi lớp rồi dựa vào các biểu đồ đó để tính trị số áp lực chủ động của toàn bộ khối đất đó tác dụng lên lưng tường.

Đối với lớp đất thứ nhất (lớp trên cùng), biểu đồ phân bố áp lực đất được vẽ theo các phương pháp thông thường đã trình bày ở trên có dạng hình tam giác với độ đỉnh cao ngang với đỉnh tường, trị số cường độ áp lực đất chủ động tại đáy của tam giác được xác định theo biểu thức sau :

$$P_{cd} = \gamma_1 H_1 K_{cd1} - 2c_1 \sqrt{K_{cd1}} \tag{V-83}$$

Kết quả nhận được biểu đồ phân bố cường độ áp lực đất như Hình (V-27.a)

Để tính áp lực của lớp đất thứ hai, ta giả thiết trọng lượng của lớp đất trên tác dụng như tải trọng ngoài phân bố đều và liên tục có cường độ là q = γ<sub>1</sub>h<sub>1</sub>. Trị số cường độ áp lực đất chủ động tại đáy của lớp đất thứ hai được xác định như sau:

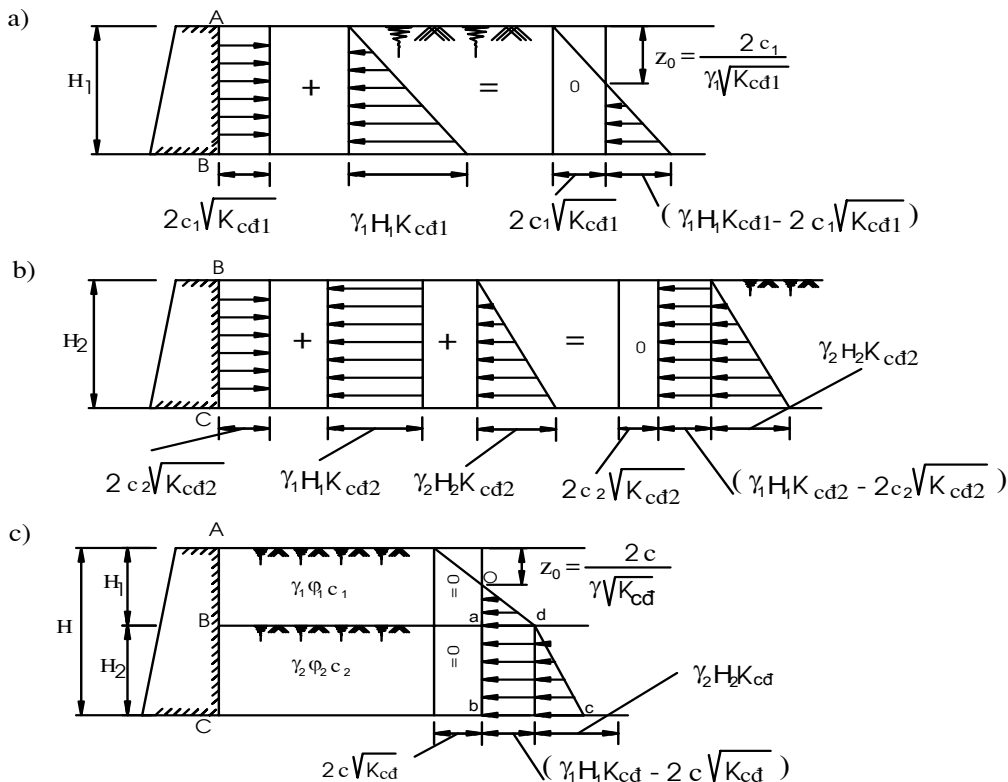
$$P_{cd} = \gamma_2 H_2 K_{cd2} + \gamma_1 H_1 K_{cd2} - 2c_2 \sqrt{K_{cd2}} \tag{V-84}$$

Kết quả biểu đồ cường độ áp lực đất chủ động phân bố trên đoạn BC như hình (V-27.b)

Trong đó:

$$K_{cd1} = tg^2(45^\circ - \varphi_1 / 2) \text{ còn } K_{cd2} = tg^2(45^\circ - \varphi_2 / 2)$$

Nếu hai lớp đất đó có góc ma sát trong và lực dính bằng nhau ( $\varphi_1=\varphi_2=\varphi$ ) và  $c_1=c_2=c$  thì biểu đồ phân bố cường độ áp lực đất lên toàn bộ chiều cao tường ABC sẽ là diện tích (OabcdO) như trên hình (V-27.c).



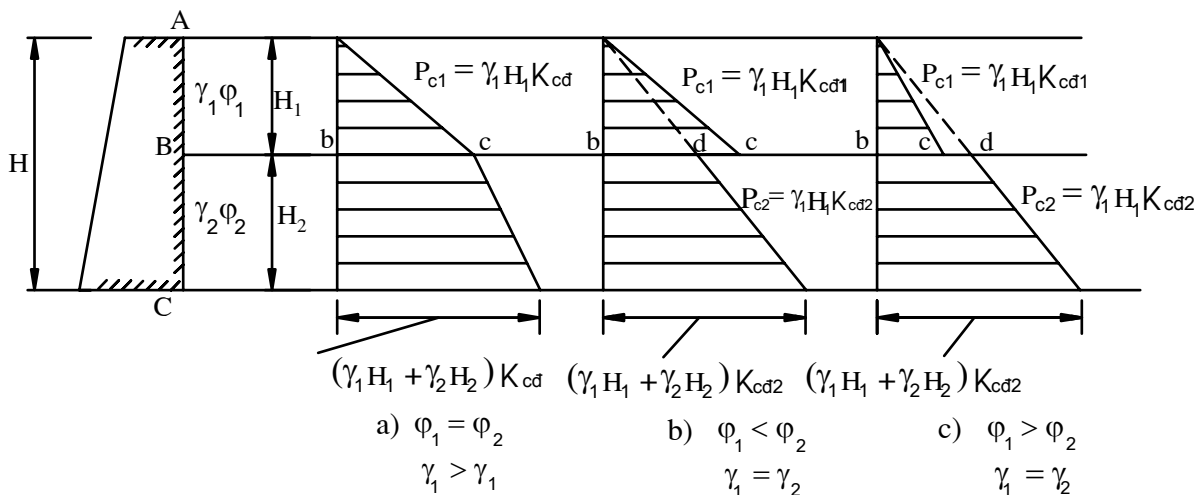
Hình V-27

Hình (V-28) trình bày dạng biểu đồ phân bố cường độ áp lực chủ động của đất rời khi các lớp đất có chỉ tiêu cơ lý khác nhau.

Biểu đồ Hình (V-28.a) với điều kiện  $\gamma_1 > \gamma_2$  và  $\varphi_1 = \varphi_2$  do đó độ dốc của biểu đồ trong phạm vi độ sâu  $H_1$  thoải hơn trong phạm vi  $H_2$ .

Biểu đồ ở Hình (V-28.b) do  $\varphi_1 < \varphi_2$  và  $\gamma_1 = \gamma_2$  cho nên  $K_{cd2} < K_{cd1}$ , vì vậy độ dốc của biểu đồ trong phạm vi  $H_2$  dốc hơn trong phạm vi  $H_1$  dẫn đến áp lực đất có bước nhảy tại mặt lớp, tại đó  $\overline{bd} = \gamma_1 H_1 K_{cd2} < \overline{bc} = \gamma_1 H_1 K_{cd1}$ .

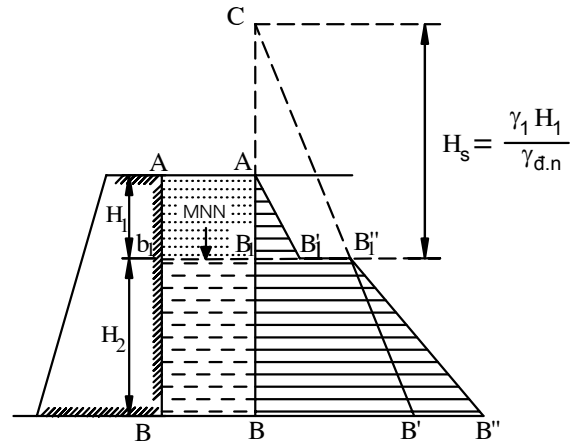
Biểu đồ ở Hình (V-28.c) do  $\varphi_1 > \varphi_2$  và  $\gamma_1 = \gamma_2$  nên có dạng ngược lại về bước nhảy áp lực đất tại mặt lớp, cụ thể  $\overline{bd} = \gamma_1 H_1 K_{cd2} > \overline{bc} = \gamma_1 H_1 K_{cd1}$ .



Hình V-28

**5.4. Trường hợp đất đắp sau tường có nước ngầm.**

Trong thực tế, đối với các công trình cảng, thủy lợi và một số công trình khác, trong đất đắp sau tường thường có nước ngầm. Do đó khi tính toán áp lực đất lên tường chắn chúng ta cũng cần xét đến vai trò ảnh hưởng của nó. Nói chung khi giải quyết bài toán này cũng gặp nhiều khó khăn khi mặt đất đắp sau tường nghiêng ( $\alpha \neq 0$ ). Nhưng sẽ đơn giản cho việc tính toán, khi góc nghiêng  $\alpha$  không lớn lắm thường là giả thiết mặt nước ngầm và mặt đất song song với nhau, rồi tiến hành tính toán bình thường như các phương pháp đã trình bày ở trên.



Hình V-29

Do ảnh hưởng của mực nước ngầm trong đất đắp sau tường, nên áp lực đất lên tường cũng khác đi. Trong trường hợp này áp lực đất tác dụng lên tường bao gồm hai thành phần : thành phần áp lực hữu hiệu và thành phần áp lực thủy tĩnh (hình V-29).

Biểu đồ phân bố áp lực đất trên đoạn tường  $AB_1$  không bị ngập nước, vẽ theo phương pháp thông thường và có dạng hình tam giác với cường độ áp lực lớn nhất tại đáy là :

$$P_c = \gamma \cdot K_{cd} \cdot H_1 \tag{V-85}$$

Để tính toán áp lực đất lên đoạn lưng tường  $B'B$  bị ngập nước, thì xem lớp đất trên không bị ngập nước, như tải trọng ngoài phân bố đều, liên tục và đổi nó thành một lớp đất tương đương có cùng dung trọng với đất bị ngập nước, chiều dày của lớp đất tương đương đó sẽ là :

$$H_s = \frac{\gamma \cdot H_1}{\gamma_{dn}} \tag{V-86}$$

- Trong đó :
- $H_s$  - chiều dày lớp đất tương đương kể từ mặt nước ngầm
  - $H_1$  - chiều dày lớp đất không bị ngập nước
  - $\gamma, \gamma_{dn}$  : dung trọng và dung trọng đẩy nổi của đất đắp sau tường.

Tại đáy B ta có :  $P_{C(B)} = \gamma_{dn} (H_2 + H_s) \cdot tg^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi_2}{2} \right)$  (V-87)

Biểu đồ phân bố cường độ áp lực của đất lên đoạn  $H_2$  là tam giác  $CBB'$  nhưng ta chỉ lấy phần hình thang  $B_1BB'B_1'$  ở phía dưới.

- Áp lực thủy tĩnh là:  $\sigma_n = \gamma_o \cdot H_2$  (V-88)

Biểu đồ phân bố áp lực thủy tĩnh là tam giác  $B_1'B'B''$

Áp lực chủ động của đất tác dụng lên tường chắn bằng tổng diện tích các biểu đồ phân bố cường độ áp lực đất ( $AB_1BB'B_1'B_1'A$ ) như Hình (V-29).

**Bài tập V-1 :** Cho tường chắn thẳng đứng ( $\epsilon=0$ ) với chiều cao 10m. Đất đắp sau tường là đất rời với các chỉ tiêu cơ lý sau:  $\gamma=1,8T/m^3$  ;  $\varphi=30^\circ$ , mặt đất sau tường nghiêng một góc  $\alpha=12^\circ$ .

Yêu cầu xác định áp lực đất chủ động theo phương pháp Coulomb và Rankine?

Giải:

1/. Xác định áp lực đất chủ động theo lý thuyết Coulomb:

- Tính hệ số áp lực đất chủ động: theo bảng (V-2) chọn  $\delta = \frac{\varphi}{2} = \frac{30^0}{2} = 15^0$

$$K_{cd} = \frac{\cos^2(\varphi - \varepsilon)}{\cos^2 \varepsilon \cdot \cos(\varepsilon + \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \alpha)}{\cos(\varepsilon + \delta) \cos(\varepsilon - \alpha)}} \right]^2}$$

$$K_{cd} = \frac{\cos^2 30^0}{1 \cdot \cos 15^0 \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin 45^0 \cdot \sin 18^0}{\cos 15^0 \cos(-12^0)}} \right]^2} \text{ Error! Not a valid link.}$$

$$K_{cd} = \frac{0,866^2}{10,9659 \left[ 1 + \sqrt{\frac{0,7071 \times 0,309}{0,9659 \times 0,999}} \right]^2} = 0,3565$$

- Tính áp lực chủ động:

$$E_c = \frac{1}{2} \gamma H^2 \cdot K_{cd} = \frac{1}{2} \cdot 1,8 \cdot 10^2 \cdot 0,3565 = 32,085T / m$$

Điểm đặt của  $E_c$  cách chân tường  $\frac{H}{3} = \frac{10}{3} m$ . Kết quả thể hiện trên Hình (V-30a)

2. Xác định áp lực chủ động theo lý thuyết Rankine.

- Tính hệ số áp lực chủ động theo công thức (V-49) ta có

$$K_{cd} = \frac{\cos 12^0 - \sqrt{\sin^2 30^0 - \sin^2 12^0}}{\cos 12^0 + \sqrt{\sin^2 30^0 - \sin^2 12^0}} \cdot \cos 12^0 = \frac{0,98 - \sqrt{0,25 - 0,04}}{0,98 + \sqrt{0,25 - 0,04}} \cdot 0,98 = 0,35$$

- Tính áp lực chủ động:

$$E_c = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_{cd} = \frac{1}{2} \cdot 1,8 \cdot 10^2 \cdot 0,35 = 31,75T / m$$

- Điểm đặt của  $E_c$  cách chân tường  $\frac{H}{3} = \frac{10}{3} m$ .

3. Xác định áp lực bị động theo lý thuyết của Rankine

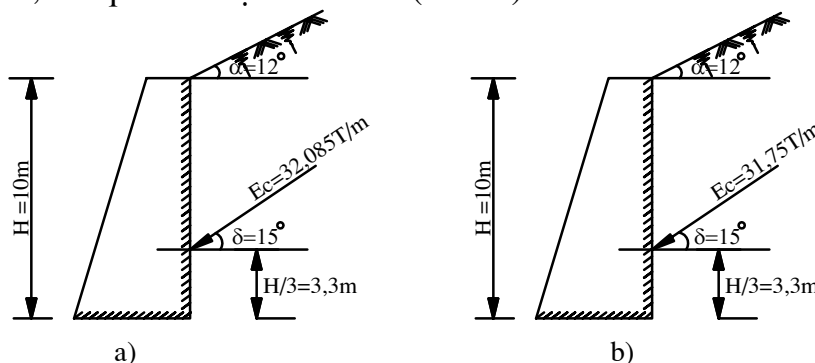
- Tính hệ số áp lực bị động theo công thức (V-52) ta có

$$K_{bd} = \frac{\cos 12^0 + \sqrt{\sin^2 30^0 - \sin^2 12^0}}{\cos 12^0 - \sqrt{\sin^2 30^0 - \sin^2 12^0}} \cdot \cos 12^0 = \frac{0,98 + \sqrt{0,25 - 0,04}}{0,98 - \sqrt{0,25 - 0,04}} \cdot 0,98 = 2,71$$

- Tính áp lực bị động tác dụng lên tường

$$E_b = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_{bd} = \frac{1}{2} \cdot 1,8 \cdot 100 \cdot 2,71 = 243,9T / m$$

So sánh kết quả tính toán, ta thấy tính toán từ hai phương pháp nêu trên cho kết quả xấp xỉ nhau, kết quả thể hiện trên hình (V-30b).



Hình V-30

Trường hợp nếu trên bề mặt của khối đất sau tường chịu tác dụng tải trọng thẳng đứng và phân bố đều kín khắp với cường độ  $q=2T/m^2$  (Hình V-31) thì ta có thể áp dụng phương pháp của Coulomb để tính như sau:

Theo công thức (V-80) ta có thể tính cường độ áp lực đất tại các điểm trên lưng tường:

- Tại đỉnh tường (A) lúc đó  $H=0$

$$P_{cq} = K_{cd} \cdot q \cdot \frac{\cos \varepsilon \cdot \cos \alpha}{\cos(\varepsilon - \alpha)} = 0,3565 \cdot 2 \cdot \frac{1 \cdot \cos 12^\circ}{\cos(-12^\circ)} = 0,6978T / m^2$$

- Tại chân tường (B) lúc đó  $H=10m$

$$P_{cq} = \gamma \cdot HK_{cd} + K_{cd} \cdot q \cdot \frac{\cos \varepsilon \cdot \cos \alpha}{\cos(\varepsilon - \alpha)} = 1,8 \cdot 10 \cdot 0,3565 + 0,6978 = 6,417 + 0,6978 = 7,145T / m^2$$

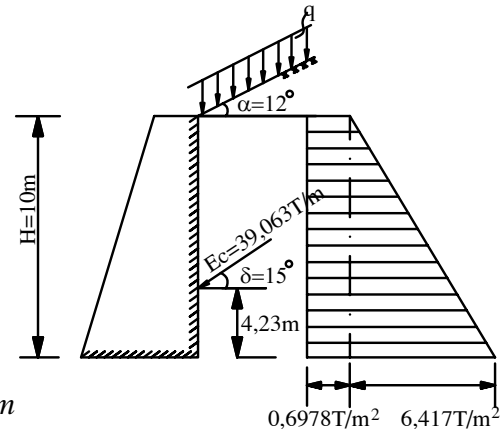
- Tổng áp lực đất chủ động tác dụng lên tường là:

$$E_{cq} = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_{cd} + K_{cd} \cdot q \cdot H \cdot \frac{\cos \varepsilon \cdot \cos \alpha}{\cos(\varepsilon - \alpha)}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 1,8 \cdot 10^2 \cdot 0,3565 + 0,6978 \cdot 10 = 39,063T / m$$

- Điểm đặt của  $E_{cq}$  ứng với trọng tâm của biểu đồ cường độ hình thang, nằm cách chân tường một đoạn bằng:

$$\frac{1}{3} H \cdot \frac{P_{cq}(B) + 2 \cdot P_{cq}(A)}{P_{cq}(B) + P_{cq}(A)} = \frac{1}{3} \cdot 10 \cdot \frac{7,145 + 2 \cdot 0,6978}{7,145 + 0,6978} = 4,23m$$



Hình V-31

Kết quả tính toán được thể hiện trên hình (V-31).

**Bài tập: V-2:** Cho một tường chắn cao 10m, lưng tường thẳng đứng và trơn nhẵn, đất đắp sau tường là đất dính, mặt đất đắp phẳng và nằm ngang chịu tác dụng của tải trọng thẳng đứng phân bố đều với cường độ  $q=2,5T/m^2$ . Đất đắp có các chỉ tiêu cơ lý như sau:  $\gamma=1,9t/m^3$ ;  $\varphi=18^\circ$ ;  $c=1,2T/m^2$

Yêu cầu: Tính và vẽ biểu đồ áp lực đất chủ động tác dụng lên tường trong trường hợp không có tải trọng và có tải trọng tác dụng trên mặt đất?

Để tính toán trong trường hợp này có thể sử dụng phương pháp Rankine hoặc Coulomb đều được cả.

\* Tính cường độ áp lực chủ động khi chưa có tải trọng tác dụng:

Theo công thức (V-81) ta có:

$$P_{cd} = \gamma \cdot z \cdot K_{cd} - 2c \cdot \sqrt{K_{cd}}$$

Tính hệ số áp lực chủ động:

$$K_{cd} = \tan^2(45^\circ - \varphi/2) = \tan^2(45^\circ - \frac{18^\circ}{2}) = (0,7265)^2 = 0,5279$$

Cường độ áp lực đất tại đỉnh tường:

$$P_{cd(A)} = -2c \sqrt{K_{cd}} = -2 \cdot 1,2 \cdot \sqrt{0,5279} = -1,744T / m^2$$

Cường độ áp lực đất tại chân tường:

$$P_{cd(B)} = \gamma \cdot H \cdot K_{cd} - 2c \sqrt{K_{cd}}$$

$$= 1,9 \cdot 10 \cdot 0,5279 - 2 \cdot 1,2 \cdot \sqrt{0,5279} = 8,2861T / m^2$$

Tính  $z_0$ : 
$$z_0 = \frac{2c}{\gamma \cdot \sqrt{K_{cd}}} = \frac{2 \cdot 1,2}{1,9 \cdot \sqrt{0,5279}} = 1,74m$$

Tính áp lực chủ động tác dụng lên tường chắn, theo công thức (V-49) ta có:

$$E_{cd} = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_{cd} - 2c \cdot H \sqrt{K_{cd}} + \frac{2c^2}{\gamma} = \frac{1}{2} \cdot 1,9 \cdot 10^2 \cdot 0,5279 - 2 \cdot 1,2 \cdot 10 \cdot \sqrt{0,5279} + \frac{2 \cdot 1,2^2}{1,9} = 34,2279T / m$$

- Điểm đặt của áp lực chủ động  $E_{cd}$  cách chân tường: 
$$\frac{H - z_0}{3} = \frac{10 - 1,74}{3} = 2,75m$$

Kết quả được thể hiện trên hình (V-32)

\* Khi có tải trọng ngoài tác dụng; cường độ áp lực đất được tính theo công thức (V-81):

$$P_{cdq} = \gamma \cdot z \cdot K_{cd} + qK_{cd} - 2c\sqrt{K_{cd}}$$

- Tính áp lực do ảnh hưởng của tải trọng ngoài:

$$q \cdot K_{cd} = 2,5 \cdot 0,5279 = 1,3197T / m^2$$

- Tính cường độ áp lực đất tại đỉnh tường:

$$P_{cdq(A)} = q \cdot K_{cd} - 2c \cdot \sqrt{K_{cd}} = 2,5 \cdot 0,5279 - 2 \cdot 1,2 \cdot \sqrt{0,5279} = -0,425T / m^2$$

- Tính cường độ áp lực đất tại chân tường:

Error! Not a valid link.- Tính  $z_0$ : 
$$z_0 = \frac{2c}{\gamma \sqrt{K_{cd}}} - \frac{q}{\gamma} = \frac{2 \cdot 1,2}{1,9 \sqrt{0,5279}} - \frac{2,5}{1,9} = 0,4243m$$

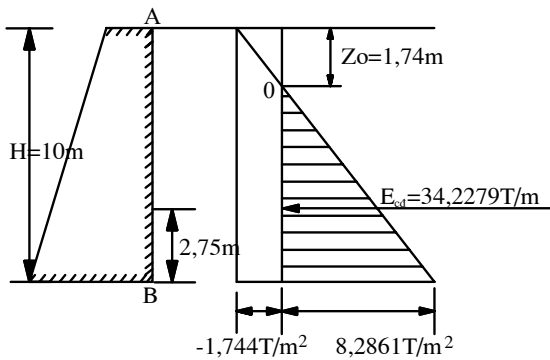
- Tính áp lực đất chủ động:

$$E_{cdq} = dt(\Delta Oab) = \frac{1}{2} (H - z_0) \cdot ab = \frac{1}{2} (10 - 0,4243) \cdot 9,6051 = 45,9877T / m$$

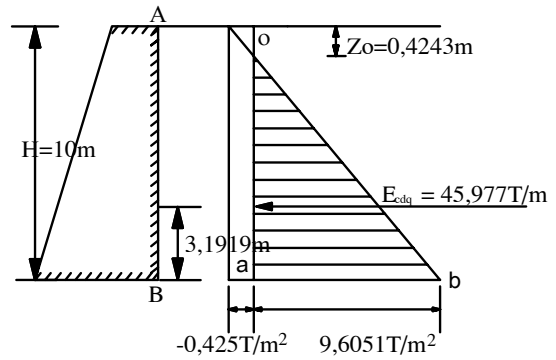
Điểm đặt của áp lực chủ động  $E_{cdq}$  cách chân tường một khoảng:

$$\frac{H - z_0}{3} = \frac{10 - 0,4243}{3} = 3,1919m$$

Kết quả tính toán được thể hiện trên hình (V-33).



Hình V-32



Hình V-33

## §6. NHẬN XÉT PHẠM VI ÁP DỤNG LÝ THUYẾT ÁP LỰC ĐẤT LÊN

## TƯỜNG CHẤN

Từ các kết quả nghiên cứu thực nghiệm về áp lực đất đối với đất rời, cho thấy trong trường hợp cân bằng giới hạn chủ động, mặt trượt theo giả thiết C.A Coulomb không khác nhau mấy so với mặt trượt thực tế, do đó trị số áp lực chủ động theo lý thuyết Coulomb chỉ nhỏ hơn trị số thực tế rất ít. Nói chung khi  $\varepsilon = \delta \leq 15^\circ$ , thì trị số áp lực đất chủ động theo lý thuyết Coulomb phù hợp với thực tế, đặc biệt khi  $\varepsilon = 0$  sự sai khác không đáng kể. Ngược lại theo lý thuyết Coulomb để tính áp lực bị động thì cho kết quả khá xa với thực tế. Với góc ma sát trong của đất đắp  $\varphi = 16^\circ$  thì sai khác 17%,  $\varphi = 30^\circ$  thì sai khác gấp đôi, với  $\varphi = 40^\circ$  sai khác khoảng 7 lần. Ngoài ra khi góc ma sát ngoài  $\delta$  càng lớn thì sai khác đó cũng lớn, nhất là khi  $\delta \geq \varphi/3$  thì sai khác tăng lên rõ rệt. Vì vậy trong thực tế ít dùng lý thuyết của C.A. Coulomb để xác định áp lực đất bị động. Lý thuyết áp lực đất của C.A. Coulomb có thể áp dụng rộng rãi đối với lưng tường thẳng đứng hoặc nghiêng, mặt tường trơn nhẵn hoặc nhám, mặt đất nằm ngang hoặc nghiêng, nhưng hạn chế đất đắp là đất rời, còn đối với các trường hợp phức tạp như đất đắp là đất dính, đất đắp thành lớp, mặt đất có hình dạng tùy ý, trên mặt đất chịu tải trọng bất kỳ v.v... đều có thể áp dụng lý thuyết áp lực đất của Coulomb bằng các phương pháp đồ giải Culman, Rebhan để xác định áp lực đất chủ động rất có hiệu quả.

Lý thuyết áp lực đất của W.J.W. Rankine xuất phát từ sự phân tích trạng thái giới hạn tại một điểm trong khối đất với giả thiết ứng suất phân bố trên mặt tiếp xúc giữa đất và tường trong trường hợp có tường và không có tường như nhau, nghĩa là bỏ qua ma sát giữa đất và tường. Từ sự phân tích đó Rankine đã xác lập được các công thức tính toán áp lực tĩnh của đất lên tường và các công thức xác định giá trị áp lực đất lên tường với tất cả mọi trạng thái của đất trong đó có áp lực chủ động và bị động (1857). Lý thuyết này không xét đến ma sát giữa đất và tường là một tồn tại lớn, dẫn đến sai khác và hạn chế phạm vi ứng dụng lý thuyết của Rankine. Mặc dù vậy, đứng trên quan điểm phát triển, lý thuyết áp lực đất của Rankine vẫn rất có giá trị.

Lý thuyết áp lực đất của V.V. Xôcôlovski cũng xuất phát từ sự phân tích trạng thái giới hạn tại một điểm trong khối đất nhưng có xét đến ảnh hưởng của ma sát giữa đất đắp và lưng tường, chính yếu tố này làm cho sự phân bố ứng suất trong khối đất thay đổi, trong nền đất có thể xuất hiện nhiều vùng khác nhau với những điều kiện cân bằng giới hạn khác nhau. Phương pháp tính toán này đòi hỏi khối lượng tính toán lớn, nên dẫn đến việc áp dụng trong thực tế đối với phương pháp này bị hạn chế, thông thường nếu áp dụng trong trường hợp đặc biệt ( $\alpha = 0, \varepsilon = 0, \delta = 0$ ) thì các kết quả của Xôcôlovski, Rankine và Coulomb gần như trùng hợp nhau.

## §7. MỘT SỐ VẤN ĐỀ CẦN CHÚ Ý KHI TÍNH TOÁN ÁP LỰC ĐẤT LÊN TƯỜNG CHẤN.

### 7.1. Việc chọn các chỉ tiêu cơ lý của đất đắp :

Những chỉ tiêu cơ lý của đất đắp xác định được ở trong phòng thí nghiệm, hoặc ở hiện trường dùng để đánh giá tính chất công trình của đất đắp, các tính chất này quyết định điều kiện xây dựng công trình, kết cấu, giá thành, tuổi thọ và tính an toàn của công trình nói chung, ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả tính toán áp lực đất lên tường chắn nói riêng. Vì vậy khi thí nghiệm xác định các chỉ tiêu đó ( $\varphi, C, \gamma$ ) cần phải chế bị mẫu đất sao cho có trạng thái - "tương tự" với trạng thái làm việc của đất đắp sau tường, đồng thời phải coi việc lựa chọn đúng đắn những giá trị tiêu biểu nhất của các đặc trưng đó dùng trong các công thức tính toán áp lực, ổn định của công trình là một vấn đề cơ bản không thể thiếu được trong nghiên cứu địa chất công trình.

Những đặc trưng tính chất địa chất công trình xác định được từ những mẫu đất có kích thước không lớn lấy từ các hố thăm dò hoặc chế bị ở trong phòng thí nghiệm, thường không tiêu biểu được cho toàn bộ khối đất hoặc tầng đất đá đang nghiên cứu, vì những giá trị của chúng thường rất phân tán ngay cả khi khối đất hoặc tầng đất được coi là đồng nhất. Nguyên nhân của sự phân tán này có thể do tính chất không đồng nhất của khối đất hay tầng đất, do sự phá hoại cục bộ kết cấu tự nhiên và độ ẩm khi lấy mẫu, bảo quản và chuyên chở, do sai số khi xác định chúng trong phòng thí nghiệm không kể đến sự không chính xác của thiết bị thí nghiệm hoặc của việc ghi chép v.v.....

Vì những lý do kể trên mà trong việc xử lý và chọn các đặc trưng cơ lý của đất để phục vụ cho việc tính toán cần phải thận trọng trong khâu lựa chọn này.

Mặt khác cũng cần chú ý rằng giá trị và phương tác dụng của áp lực đất dính (chủ động và bị động) đều phụ thuộc vào trị số góc ma sát giữa đất đắp với tường  $\delta$  (góc ma sát ngoài của đất đắp) và lực dính đơn vị tác dụng lên mặt lưng tường. Góc ma sát giữa đất đắp với tường và lực dính đơn vị tác dụng lên mặt lưng tường phụ thuộc vào nhiều yếu tố như loại và trạng thái của đất đắp, vật liệu làm tường, độ nhám và hình dạng mặt lưng tường và điều kiện địa chất thủy văn trong đất đắp, v.v... Hiện nay chưa có cách xét chính xác ảnh hưởng của các yếu tố đó tới giá trị góc ma sát ngoài và lực dính đơn vị giữa lưng tường và đất đắp mà trong thực tế chúng thường được chọn theo kinh nghiệm.

Đối với góc ma sát ngoài ( $\delta$ ), nói chung hiện nay các tác giả nghiên cứu về nó đều cho rằng giá trị của nó không thể lớn hơn góc ma sát trong ( $\varphi$ ) của đất.

Theo T.C.X.D. 57 - 73 : đối với đất rời, nói chung lấy giá trị  $\delta = \varphi/2$ , nếu có căn cứ chắc chắn, có thể chọn giá trị  $\delta$  như sau : Trường hợp tường có lưng nhám nhiều (lưng tường bậc thang), có thể lấy  $\delta = \varphi$ ; trường hợp đất đắp là cát hạt nhỏ bão hòa nước và khi trên mặt đất đắp có tải trọng động tác dụng hoặc trường hợp lưng tường chắn được phun hoặc trát bitum làm lớp phủ cách nước, có thể lấy  $\delta = 0$ .

Trường hợp đất đắp là đất dính : tiêu chuẩn đề nghị lấy  $\delta < \varphi/2$  và trong những trường hợp riêng lấy  $\delta = 0$ .

Đối với việc chọn giá trị lực dính đơn vị giữa đất đắp với tường. Theo I.P.Prokofev cho rằng khi có lực dính đơn vị thì góc giữa phương áp lực đất với pháp tuyến lưng tường sẽ lớn hơn góc ma sát giữa đất với tường  $\delta$ , từ đó tác giả đề nghị rằng, trên thực tế có thể lấy góc nghiêng giữa phương áp lực đất với pháp tuyến lưng tường bằng góc ma sát trong của đất. Vậy có thể xem quan niệm này là một cách xét gián tiếp ảnh hưởng của lực dính đơn vị tại mặt lưng tường đối với áp lực đất lên tường chắn.

Theo K.Terzaghi : quan niệm rằng cường độ chống trượt giữa đất với tường ( $\tau$ ) có thể giả thiết tuân theo định luật C.A.Coulomb do đó công thức của  $\tau$  có dạng sau :

$$\tau = p.tg\delta + c_2 \quad (V-89)$$

Trong đó :  $\delta$  - góc ma sát giữa đất và lưng tường  
 $c_2$  - lực dính đơn vị giữa đất và tường.

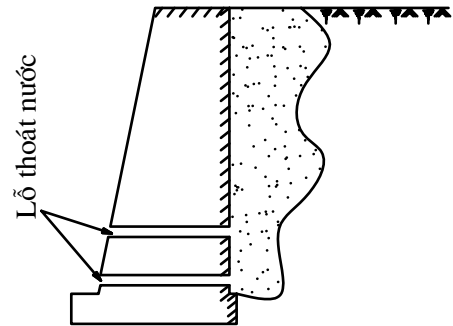
Giả thiết này có ý nghĩa thực tiễn ở chỗ nhờ đó có thể xác định được  $\delta$  và  $c_2$  bằng thí nghiệm một cách đơn giản, tuy nhiên điều đó không phải bao giờ cũng có thể chấp nhận được.



Nói tóm lại, lực dính đơn vị giữa đất đắp và tường có thể xem như bằng không trong trường hợp mặt lưng tường tương đối nhẵn và đất đắp ngập trong nước hoặc có thể đạt đến giá trị bằng lực dính đơn vị của đất đắp khi mặt lưng tường rất nhám. Dùng đất dính để đắp sau tường chắn sẽ kém hiệu quả do đất dính có góc ma sát trong bé, hơn nữa lực dính của đất sẽ giảm đi khi bị ngập nước, vì vậy trong thiết kế đôi khi bỏ qua không xét đến lực dính

**7.2. Ảnh hưởng của sự nở đất và áp lực thủy động :**

Khi tường chắn đất, chắn giữ khối đất sau tường là khối đất dính, thì khi gặp nước khối đất này sẽ có hiện tượng trương nở, và do đó làm tăng áp lực đất lên tường. Hiện tượng này hiện nay chưa có phương pháp tính toán nào đề cập đến, nhưng trên thực tế ảnh hưởng của sự nở đất đối với áp lực đất lên tường thường được xét đến qua hệ số an toàn.

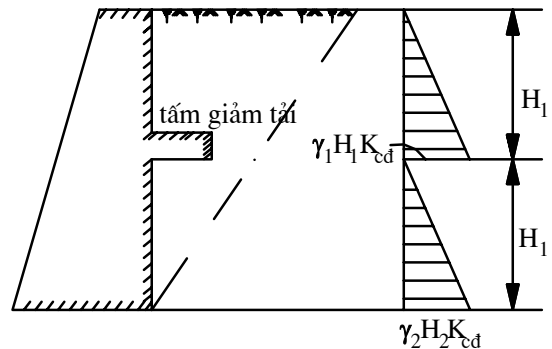


Hình V-34

Đối với một số công trình thủy lợi, thường gặp trường hợp nước thoát ra từ đất sau tường, do đó có thể phát sinh áp lực thủy động, làm ảnh hưởng đến trạng thái ứng suất của đất đắp sau tường. Trong trường hợp này, thực tế thường được bố trí vật thoát nước ở lưng tường Hình (V-34) để giảm áp lực đó, nên trong tính toán thường không xét đến ảnh hưởng đó.

**7.3. Biện pháp làm giảm áp lực đất lên tường :**

Mục đích của việc làm giảm áp lực đất lên tường là để giảm kích thước tiết diện tường và cuối cùng là để hạ giá thành công trình. Tuy nhiên, chỉ trong những trường hợp nhất định với những biện pháp thích hợp, thì việc giảm áp lực đất lên tường mới đem lại được hiệu quả mong muốn.



Hình V-35

Để giảm áp lực đất lên tường, thường dùng biện pháp chọn loại đất đắp thích hợp hoặc thay đổi hình dáng tiết diện tường.

Nếu đất đắp có trọng lượng đơn vị nhỏ, góc ma sát trong và lực dính lớn thì áp lực đất lên tường sẽ nhỏ. Nhưng trong thực tế khó chọn được loại vật liệu lý tưởng như vậy, mà thường dùng các loại đất tại nơi xây dựng. Khi đắp đất sau tường, nếu đầm nén tốt, cũng có thể làm giảm áp lực chủ động lên tường. Nói chung, nếu không có yêu cầu phòng thấm thì có thể dùng vật liệu hạt to như cát, sỏi, đá khối, v.v... đắp sau tường. Nhưng đối với tường chắn của các công trình thủy lợi thường không cho phép thấm trong khối đất đắp, mặt khác nhiều khi phải tận dụng các vật liệu tại chỗ, nên cũng thường dùng đất dính đắp sau tường. Trong trường hợp này, khi tính toán áp lực đất chủ động, phải kể đến ảnh hưởng của lực dính, nhưng cần thận trọng trong việc chọn trị số lực dính tính toán, mặt khác cần phải chú ý tới ảnh hưởng của tính nở của đất tới áp lực đất tác dụng lên tường.

Thay đổi hình dạng tiết diện tường cũng là một biện pháp phổ biến để làm giảm áp lực đất lên tường. Hình (V-35) trình bày loại kết cấu tường thường gặp trong thực tế.

Trường hợp tường có chiều cao lớn, để giảm áp lực của đất một cách tốt nhất ở

phía sau tường, tại chiều sâu nào đó cần làm một tấm giảm tải (Hình V-35). Tấm giảm tải này chia tường thành hai đoạn, đất đắp ở dưới tấm giảm tải gây ra áp lực chủ động ở đoạn  $H_2$ . Nếu tấm giảm tải vươn ra đủ lớn thì hiệu quả làm giảm áp lực lên tường ở đoạn  $H_2$  càng lớn, vì lúc đó đất đắp trên tấm giảm tải coi như không gây ảnh hưởng đối với lưng tường  $H_2$ .

