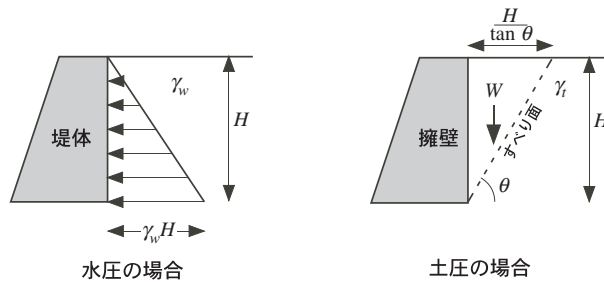


土圧

1 土圧の基本式

水圧の場合、各深さにおける水圧は、深さと水の密度の積となり、堤体全体で受ける水圧は、それを堤体の高さで積分した値となる。したがって、水圧 P_w は、水深を H 、水の密度を γ_w とすると、以下の式で計算できる。

$$P_w = \frac{1}{2} \gamma_w H^2 \quad (1)$$



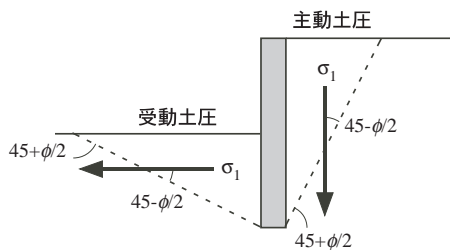
一方、土圧はすべり面を境にそれより上の土塊から圧力が発生すると考えらる。しかし、土塊の面積分の圧力がすべて、液体のように壁面に対して垂直に作用することはない。したがって、土塊の重さを W 、比例係数 K を導入すれば、以下の式で土圧 P を表すことができる。

$$P = W \cdot K = \frac{\gamma_t H^2}{2 \tan \theta} K \quad (2)$$

この比例係数 K を土圧係数と呼んでいる。

2 主動土圧と受動土圧

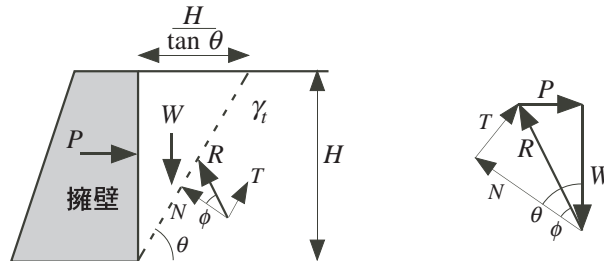
土圧は、主応力の方向によって主動土圧と受動土圧とに分類されている。つまり、主応力の方向が鉛直方向で、擁壁が土塊から離れるようなときに受ける土圧を主動土圧といい、主応力の方向が水平方向で、擁壁が土塊に向かうようなときに受ける土圧を受動土圧と呼んでいる。



すべり面は、モールの応力円より剪断抵抗角が ϕ のとき、 $45 + \phi/2$ の角度となることが推測できる。

3 クーロン土圧

クーロンは、すべり土塊の釣り合いより、土圧係数を導いた。



まず、主動土圧について考える。W の力に対して垂直な応力 N と剪断力 T で抵抗するとき、その合力 R は、すべり面の垂直方向に対して剪断抵抗角 ϕ の傾きをもつ。一方、すべり面の角度 θ は、すべり面に垂直な応力 N と土塊荷重の働く鉛直方向の W とのなす角度に等しい。よって、R と W のなす角度は、 $\theta - \phi$ となる。したがって、擁壁の受ける主動土圧 P_a は、以下の式で表すことができる。

$$P_a = W \tan(\theta - \phi) = \frac{\gamma_t H^2}{2 \tan \theta} \tan(\theta - \phi) \quad (3)$$

土圧係数 K は、 $\tan(\theta - \phi)$ ということになるが、主動土圧 P_a が最も大きくなるすべり面を対象としなければならない。そこで、この式を θ で偏微分して、 $\frac{\partial P_a}{\partial \theta} = 0$ となる θ を求めると、 $\theta = 45 + \frac{\phi}{2}$ となる。これを式 (3) に代入すると、以下の式を得る。

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma_t H^2 \frac{\tan(45 - \phi/2)}{\tan(45 + \phi/2)} = \frac{1}{2} \gamma_t H^2 \tan^2(45 - \frac{\phi}{2}) \quad (4)$$

$\tan^2(45 - \frac{\phi}{2})$ をクーロンの主動土圧係数と呼んでいる。

受動土圧についても同様に、今度は横向きで解くと、受動土圧 P_p は次式となる。

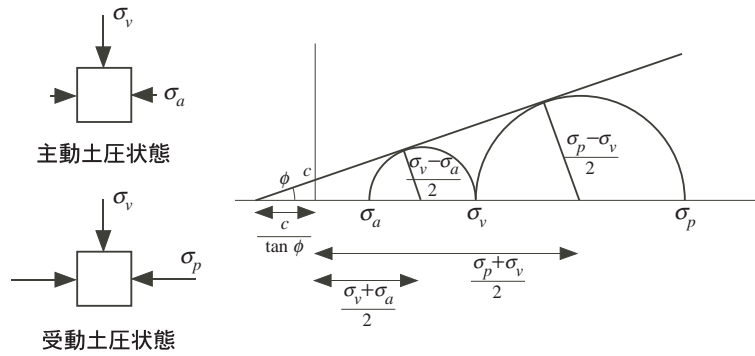
$$P_p = \frac{1}{2} \gamma_t H^2 \tan^2(45 + \frac{\phi}{2}) \quad (5)$$

$\tan^2(45 + \frac{\phi}{2})$ が、クーロンの受動土圧係数である。

なお、以上の式が成り立つのは、土塊に対して擁壁が鉛直に立ち、土塊自体も勾配のない水平なときに限定されている。したがって、土塊に接する擁壁部分が斜めになっていたり、土塊に勾配があるときは、それらを考慮して力の釣り合い状態を解かなければならない。

4 ランキン土圧

ランキンは、モールの応力円より土圧を考えた。したがって粘着力 c を考慮することが出来る。



図のように，主動土圧は，鉛直方向の応力 σ_v の方が，側圧より大きい状態で，そのときの応力を σ_a とする．受動土圧は，鉛直方向の応力 σ_v より，側圧が大きい状態で，そのときの応力を σ_p とする．この状態でのモールの応力円は，剪断抵抗角 ϕ ，粘着力 c とすると，右側のグラフのようになる．この図より， $\sin \phi$ は，次式で表すことができる．

$$\sin \phi = \frac{\frac{\sigma_v - \sigma_a}{2}}{\frac{\sigma_v + \sigma_a}{2} + \frac{c}{\tan \phi}} = \frac{\frac{\sigma_p - \sigma_v}{2}}{\frac{\sigma_p + \sigma_v}{2} + \frac{c}{\tan \phi}} \quad (6)$$

この式を主動土圧に関する第一等号において σ_a で整理すると，

$$\sigma_a = \sigma_v \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} - 2c \frac{\cos \phi}{1 + \sin \phi} \quad (7)$$

σ_v は，地盤内部での圧力を求める式より，土の密度を γ_t ，土の深さを z とすると， $\sigma_v = \gamma_t z$ となり，これを式 (7) に代入し，さらに整理すると以下の式を得る．

$$\sigma_a = \gamma_t z \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) - 2c \tan \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (8)$$

この式において， $\tan^2(45 - \frac{\phi}{2})$ をランキンの主動土圧係数と呼んでいる．クーロンの土圧係数と同じ式が得られた．この土圧係数を K_a とすると，

$$\sigma_a = \gamma_t z K_a - 2c \sqrt{K_a} \quad (9)$$

これを高さ H の堤体に対して全体に作用する主動土圧合力 P_a は，以下のようになる．

$$P_a = \int_0^H \sigma_a dz = \left(\frac{1}{2} \gamma_t H^2 \right) K_a - 2cH \sqrt{K_a} \quad (10)$$

受動土圧に関しては，式 (6) における第二等号に着目し，同様に解くと，ランキンの受動土圧係数 K_p は， $\tan^2(45 + \frac{\phi}{2})$ となり，受動土圧合力 P_p は，

$$P_p = \int_0^H \sigma_p dz = \left(\frac{1}{2} \gamma_t H^2 \right) K_p + 2cH \sqrt{K_p} \quad (11)$$