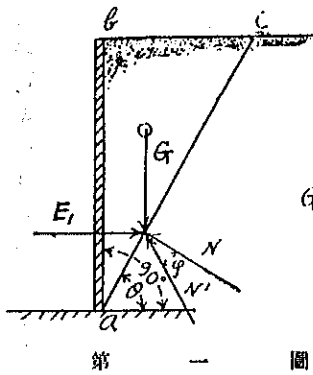


土壓公式

工學士 並川 熊次郎

土壓公式トシテ普ク採用セラル、モノハφヲ土砂ノ息角Hヲ直立擁壁ノ全高、wヲ土砂單位容積ノ重量トスルトキハ次ノ形ヲ有ス



第一圖

今第一圖ニ於テGヲ直立擁壁Sヲ水平地面acヲa點ヲ通シ水平線トθナル角度ヲナセル任意ノ平面トシ是等凡テカ紙面ニ直立シ其奥行單位長トス
 三角形(abc)内ノ土砂ノ重量ヲGトスレハ次ノ關係アリ

$$G = w \frac{H^2}{2} \cot \theta$$

此重量Gハ一面ハS面他面ハC面ニ於テ支持セラル、モノトシ其反動力ヲ夫々N' E1ナリトス

S面ニ於テハ土砂内部ノ摩擦係數μヲ有セルニヨリVハSニ直角ナル方向ヨリφ丈ケ偏倚シ

得ルモ E_1 ハ δ 面カ平滑ニシテ土砂トノ間ニ摩擦ナシトスレハ當然水平ナラサル可カラス今 G E N' カ均衡ヲ保ツ爲ニハ之等三カハ一點ニ會合シ之等ニテ形成セラレタル力ノ三角形ハ完全ニ閉合ス可キナリカクシテ $N'E$ ハ次ノ如ク算定セラル

$$N' = G \frac{1}{\cos(\theta - \varphi)}$$

$$= w \frac{H^2}{2} \frac{\cot \theta}{\cos(\theta - \varphi)}$$

$$E_1 = G \tan(\theta - \varphi)$$

$$= w \frac{H^2}{2} \cot \theta \tan(\theta - \varphi)$$

右ノ E_1 ノ式ハ $\theta = 90^\circ$ 又ハ $\theta = \varphi$ ナルトキニ E_1 ヲ零トナスヲ以テ $90^\circ \sqrt{\varphi}$ ナル範圍ノ一定値ニ於テ E_1 ノ最大ヲ得今 E_1 式ヲ θ ニ關シテ微分シ其係數ヲ零トシ θ ノ値ヲ算定スルコト次ノ如シ

$$\frac{dE_1}{d\theta} = w \frac{H^2}{2} \left[\frac{\cot \theta}{\cos^2(\theta - \varphi)} - \frac{\tan(\theta - \varphi)}{\sin^2 \theta} \right] = 0$$

$$\therefore \sin \theta \cos \theta = \sin(\theta - \varphi) \cos(\theta - \varphi)$$

$$\therefore \sin 2\theta = \sin 2(\theta - \varphi)$$

$$\therefore 180^\circ - 2\theta = 2(\theta - \varphi)$$

$$\therefore \theta = \frac{90^\circ + \varphi}{2}$$

此 θ ノ値ヲ E_1 式ニ代入スレハ最初ニ掲ケシ公式ヲ得ルコト次ノ如シ

$$E_1 = w \frac{H^2}{2} \cot \frac{(90^\circ + \varphi)}{2} \tan \frac{(90^\circ - \varphi)}{2}$$

$$= w \frac{H^2}{2} \frac{\cos(90^\circ + \varphi)}{\sin \frac{(90^\circ - \varphi)}{2}}$$

$$= w \frac{H^2}{2} \frac{\sin \frac{(90^\circ + \varphi)}{2}}{\cos \frac{(90^\circ - \varphi)}{2}}$$

$$= w \frac{H^2}{2} \frac{1}{\sqrt{2} \left(\cos \frac{\varphi}{2} - \sin \frac{\varphi}{2} \right)} \cdot \frac{1}{\sqrt{2} \left(\cos \frac{\varphi}{2} - \sin \frac{\varphi}{2} \right)}$$

$$= w \frac{H^2}{2} \frac{1}{\sqrt{2} \left(\cos \frac{\varphi}{2} + \sin \frac{\varphi}{2} \right)} \cdot \frac{1}{\sqrt{2} \left(\cos \frac{\varphi}{2} + \sin \frac{\varphi}{2} \right)}$$

$$= w \frac{H^2}{2} \frac{\left(\cos \frac{\varphi}{2} - \sin \frac{\varphi}{2} \right)^2}{\left(\cos \frac{\varphi}{2} + \sin \frac{\varphi}{2} \right)^2}$$

$$= w \frac{H^2}{2} \left(\frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \right)$$

然ルニ上記ノ説明ヨリ知ラル、如ク本公式ハ擁壁背後ノ土砂カ (w) ナル一 個體トシテ落下セン
トスルトキ、面ニ生スル反動力ヲ示スモノニシテ已ニ土砂内部ノ粘着力ヲ無視セル上ハ如此團
隊的運動傾向ヲ果シテ認容スルヲ得ヘキカ疑念ヲ存ス可キナリ加之、 E_1 ナル水平分力ヲ殊更ニ増
大シテ、面ニ於ケル反動ノ方向ヲ (←) ナル角度ニ取リタル如キハ果シテ實現シ得ヘキコトナ
リヤ元來 Sliding plane ナルモノハ土砂カ摩擦カヲ有セル性質上假想サルヘキモノニシテ之ヲ (w) 土
體ノ實際的運動傾向ニ際シテ迄モ實在的ニ取扱ヒ反動力計算ノ資料タラシムルハ如何アルノ
キカ

今 \mathcal{E} ナル直立壁ニ對シ a ナル Sliding plane ヲ假定シタル以上ハ之ヨリ算出サル可キ

$$G = w \frac{H^2}{2} \cot \theta$$

$$N = G \cos \theta$$

$$= w \frac{H^2}{2} \cot \theta \cos \theta$$

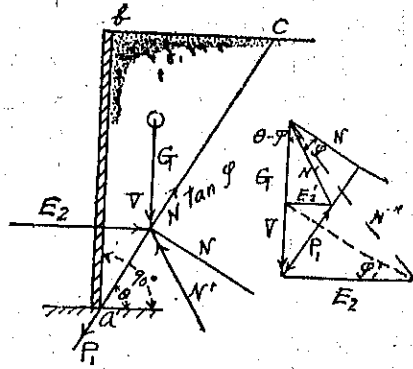
$$P_1 = w \frac{H^2}{2} \cot \theta (\sin \theta - \cos \theta \tan \varphi)$$

$$N' = w \frac{H^2}{2} \cot \theta \cos \theta \sqrt{1 + \tan \varphi}$$

等ノ値ハ土砂内部ニ生成スヘキ全然自然的ノ性質ヲ有シ人爲的ニハ妄リニ之ヲ加減スルヲ得可カラスサレハ人工的ナル擁壁 \mathcal{E} ニ對スル力ヲ算定セントセハ單ニ P_1 ノミニ關係スヘク強テ N' ヲ變更セントスレハ土砂内部ノ安定ヲ攪亂スルコトノナル \mathcal{E} 面平滑ニシテ P_1 ヲ其儘負荷シ得ストスレハ P_1 ノ垂直分力 V ハ土體(土 \mathcal{E})内ノ垂直摩擦力ニテ均衡サル可キカ故ニ此摩擦力ヲ生成スルニ充分ナル水平力ヲ算出シ此力ヲ以テ擁壁ノ支持スヘキ土壓 E_2 トシテ不可ナキカ如シ而シテ此 E_2 並ヒニ之ヨリ喚起サル可キ摩擦力ハ共ニ發生ノ傾向アルノミニシテ實際ニ於テハ V ハ其マ、下層ニ傳ハルヘキモノナリ從ツテ如此算法ニ依ルトキハ土體内部ノ安定ハ何等攪亂ヲ受ケサルナリ其算式次ノ如シ(第二圖參照)

$$E_2 \tan \varphi = V = P_1 \sin \theta$$

$$= w \frac{H^2}{2} \cot \theta \frac{\sin(\theta - \varphi)}{\cos \varphi} \sin \theta$$



第二圖

如此シテ土砂本來ノ性質ニ基キ \$E_2\$ ナル土壓公式ヲ得タルカ擁壁背部ノ土體カ一個體トシテ集團狀ノマ、擁壁ニ作用スルヤ否ヤノ疑點ハ依然トシテ殘存セリ然ルニ今若シ \$\phi\$ 壁ノ背後ニ \$\phi\$ ナル第二ノ擁壁ヲ想像シ土砂ハ單ニ兩壁ノ中間此間隔ハ常ニ前圖ノ \$\phi\$ ヨリ少ナリトスニ中埋トシテ存在セルコト締切工又ハ拱橋ノ Filling ノ如キ場合ニハ前者ハ應張材ニテ兩壁連結セラレ後者ハ兩壁ノ強度勿論同様ナル可キヲ以テ \$\phi\$ 面ニ向ツテ落下セントスル土體ハ (abc) ニ代フルニ (adjc) ナル可シ

即チ此場合ニ於テハ土體容積ハ著シク減少セラレ

\$G\$ ノ値トシテハ

$$G = w \frac{(H + H - l \tan \theta)}{2} l$$

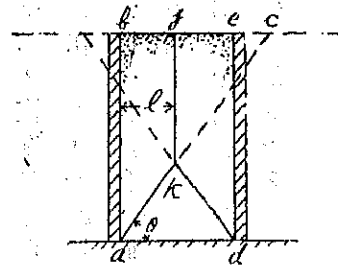
此外ニ \$P_1\$ ノ水平分力 \$E_2'\$ アルモ \$\theta\$ カ四十五度ヨリ大ナル間ハ \$\cos \theta\$ ハ常ニ \$\sin \theta\$ ヨリ少ナルヲ以テ \$E_2 = P_1 \sin \theta > E_2' = P_1 \cos \theta\$ ナル可ク已ニ \$E_2\$ ノ存在セル以上 \$E_2'\$ ノ要ヲ見ス

$$E_2 = w \frac{H^2}{2} \frac{\cos \theta \sin (\theta - \phi)}{\sin \phi}$$

$$= w \frac{H^2}{2} \frac{\cos (90^\circ + \phi) \sin (90^\circ - \phi)}{\sin \phi}$$

$$\therefore \theta = \frac{90^\circ + \phi}{2} \text{ (後文参照)}$$

$$= w \frac{H^2}{2} \frac{(1 - \sin \phi)}{2 \sin \phi}$$



第三圖

トナリ從ツテ

$$E = G \tan(\theta - \phi)$$

$$= \frac{w(2H - l \tan \theta)}{2} \tan(\theta - \phi)$$

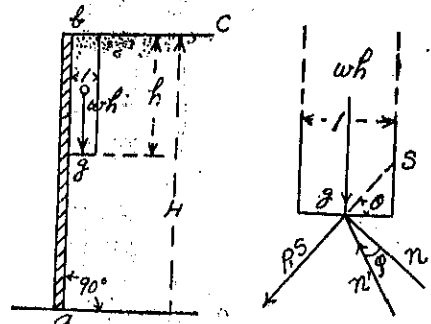
lノ大小ニヨリテEハ増減スヘシ

如此コトノ果シテ正當ナリヤ否ヤハ別問題トスルモ土砂ノ固體的落
下ヲ認容スル以上カ、ル場合ニ於テハ特別ノ算出法ヲ要スルハ明カ
ナリトス

又E₂ノ式ハ分母ニE₁モヲ有スルニヨリφノ減少ト共ニE₂ハ急激ニ増大シ遂ニφカ零ニ達スレハ
E₂ハ無窮大トナル可シφカ零ナルトキハ即チ流動體ヲ意味シ其壓力ハ當然 $\frac{H^2}{2}$ ナル可キニ却
ツテ上記ノ結果ヲ見タルハ一方ヨリ見レハ又前記個體的落下傾向ヲ假定セル餘弊トモ考ヘラル
可ク直ニE₂ノ式ハE₁ノ式ヨリ之レカ爲メニ劣レリトハ速斷シカタキモノアリ

半流動體タル土砂ト純流動體タル水トノ壓力ヲ共通ノ公式ニテ律スルハ正否如何アラシモ余一
個ノ愚考ヨリ以テ不合理ナリトスル前述諸件ヲ一掃スルカ爲ニ試ミニ水壓ノ算定法ニ基キ水頭
ニ代フルニ土頭ヲ以テシ之ニ土砂内部ノ摩擦力ヲ加味シテ擁壁ニ及ボス土壓ヲ算出スルコト次
ノ如シ

第四圖ニ於テE₂擁壁ノ頂點bヨリh丈ケ下レルg點ノ壓力強度ヲ求メンニ此點ニ於ケル垂直壓
力強度ハ $\frac{w}{2}$ ニシテgヲ通セル水平層内ノ土粒ハ凡テ此強度ニ起因セル下壓力ヲ任意ノ方向ニ呈
シ得ヘシ今g點ヲ通シ任意ノ平面ヲ想像スルトキハ $\frac{w}{2}$ ナル強度ハ此面ニ於テ之ニ直角ナル壓
迫力ルト之ニ沿ヘル落下力pトニ分タル然レニ $\frac{w}{2} \tan \theta$ ナル摩擦係數ヲ有セルニヨリpハ



第 四 圖

夫丈ケ減少シテ P_1 トナルヘシ

$$P_1 = p - n \tan \varphi$$

$$= wh (\sin \theta - \cos \theta \tan \varphi)$$

$$= wh \frac{\sin(\theta - \varphi)}{\cos \varphi}$$

右ノ式ヲ見ルニ $\theta = 90^\circ$ ナルトキニ P_1 ハ最大値ニトナリ $\theta = 0^\circ$ ノトキニ P_1 ハ零トナル θ ニ此兩極限値以內ノ凡テノ値ヲ代入シテ得タル各々ノ P_1 ヲ θ 點ノ周圍ニ布置ススレハ第五圖ニ見ルカ如キ壓力強度圖ヲ得ヘシ是等 P_1 ノ內左側ニアルモノハ擁壁ニ作用シ右側ノモノハ隣接土粒ノ壓力ト均衡スヘシ斯クシテ P_1 ハ其兩側ニ於テ水平分力ヲ失ヒ結局垂直下壓力ノミ直下土層ニ傳ハルコト、ナルサレハ擁壁カ P_1 ノ水平分力中最大ナルモノヲ支持スルトキハ左側ニアル P_1 ハ凡テ消失スヘシ此 P_1 ノ水平分力ヲ e トスレハ

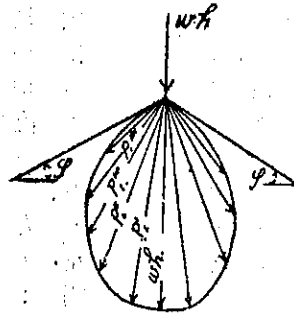
$$e = P_1 \cos \theta = wh \frac{\sin(\theta - \varphi)}{\cos \varphi} \cos \theta$$

トナル此 e ノ式ハ $\theta = 90^\circ$ カ又ハ $\theta = 90^\circ$ ナルトキニ e ヲ零ナラシムルヲ以テ θ ノ $90^\circ \sim \theta \sim \varphi$ ナル範圍內ニ於ケル一定値ニ對シテ e ノ最大値ヲ得ヘシ即チ次ノ如シ

$$\frac{de}{d\theta} = \frac{wh}{\cos \varphi} [\cos(\theta - \varphi) \cos \theta - \sin(\theta - \varphi) \sin \theta] = 0$$

$$\therefore \cos(\theta - \varphi + \theta) = 0$$

$$\therefore 2\theta - \varphi = 90^\circ$$



第五圖

此 θ の値ヲ e の式ニ代入スレバ e の最大値即チ θ 點ニ於ケル土壓強度ヲ得ヘシ

$$\therefore \theta = \frac{90^\circ + \varphi}{2}$$

$$e = wh \frac{\sin\left(\frac{90^\circ + \varphi}{2} - \varphi\right)}{\cos \varphi} \cos\left(\frac{90^\circ + \varphi}{2}\right)$$

$$= \frac{wh}{\cos \varphi} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{\cos \varphi}{2} - \frac{\sin \varphi}{2}\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{\cos \varphi}{2} - \frac{\sin \varphi}{2}\right)$$

$$= \frac{wh}{\cos \varphi} \frac{\left(\frac{\cos \varphi}{2} - \frac{\sin \varphi}{2}\right)^2}{2}$$

$$= wh \frac{1 - \sin \varphi}{2 \cos \varphi}$$

右ノ e ノ式ハ擁壁 ab ノ任意ノ點 g ニ於ケル土壓強度ヲ示シ其値ハ eg ナル土頭ニ比例セルヲ以テ擁壁全高 H ニ通セル壓力強度圖ハ當然三角形ヲナスヘク此三角形ノ面積ハ即チ全壓力ニシテ其作用點ハ下底ヨリ $\frac{H}{3}$ 上レル點ニアリ全壓力 E_p ハ次ノ如クニシテ求ムルヲ得

$$E_p = \int_0^H e \, dh = \int_0^H wh \frac{1 - \sin \varphi}{2 \cos \varphi} \, dh$$

$$= w \frac{1 - \sin \varphi}{2 \cos \varphi} \int_0^H h \, dh$$

$$= w \frac{H^2}{2} \frac{1 - \sin \varphi}{2 \cos \varphi}$$

此所ニ於テ吾人ハ土壓公式トシテ次ノ三ヲ得タリ

$$E_1 = w \frac{H^2}{2} \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$$

$$E_2 = w \frac{H^2}{2} \frac{1 - \sin \phi}{2 \sin \phi}$$

$$E_3 = w \frac{H^2}{2} \frac{1 - \sin \phi}{2 \cos \phi}$$

右ノ三式中 E_1 ハ第一圖ノ (abc) ナル楔形土體ヲ一個體ナリトシテ算定セラレ E_2 ハ半ハ個體半ハ流動體トシ E_3 ハ土砂ヲ流動體ニシテ内部ニ摩擦力ヲ有セルモノトシテ得タルモノナリ而シテ擁壁土砂共ニ同一ナラハ E_2 ハ最大 E_3 ハ最少 E_1 ハ此中間値ヲ與フ加之 E_1 ノ式ハ普ク認容セラレ、モノニシテ淺學余ノ如キカ故意ニ之ヲ變更スルノ徒勞ナルヤ明ナリト雖モ或場合ニ於テハ高キ擁壁(二十尺以上?)ニ對シテハ E_2 ヲ低キモノ(十尺以下?)ニ對シテハ E_3 ヲ中間高ノ者 E_1 ヲ用フルカ如キ必要無キカ且又 E_2 ノ如キ算定法ノ正當カ認容サル、モノナラハ前掲以外ノ複雑ナル土壓ハ容易ニ解決サルヘキカ故ニ茲ニ愚案ノ基本形式ヲ掲ケテ讀者諸賢ノ高覽ニ供フ幸ヒニ叱正ノ勞ヲ惜マレサラシコトヲ希フ

因ニ云フ以上ノ三式ヲ $\phi = 0$ ナル特別ノ場合ニ於テ比較スルニ $E_1 = w \frac{H^2}{2}$, $E_2 = 8$, $E_3 = w \frac{H^2}{4}$ トナル然ルニ E_1 ノ式ハ前述ノ如ク $E_1 = w \frac{H^2}{2} \frac{\cot \theta \tan(\theta - \phi)}{\tan \theta} = w \frac{H^2}{2} \frac{\tan(\theta - \phi)}{\tan \theta}$ ヲリ得タルモノニテ此式中ノ θ ヲ定ムルニ際シ $\phi = 9$ ナルトキ $E_1 = 0$ ナルコト已述ノ如クナルカ、コハ ϕ カ零ナラサル條件ノ下ニ成立スヘキニテ若シ假リニ $\phi = 6$ ナル關係ヲ有シナカラ ϕ カ零トナレハ $\tan(\theta - \phi) : \tan \theta$ 共ニ零トナリテ E_1 ハ不定値トナル從ツテ θ モ不定ナラサル可カラス此即チ E_1 ノ式ニ於テハ ϕ ヲ零トナシ

得サルヲ意味セスヤ尙考究ヲ要ス E_3 カ無窮大トナルハ其式算出ノ意義ヨリ見テ必スシモ不可解ナラスト雖モ元來本式成立ノ要義ニ於テ前述ノ如ク E_3 ノ場合ト共通ノ疑點ヲ有スルノミナラス E_3 ナルコト實際ニ於テ有り得可カラサルナレハ深ク考フルノ要ナク只尤モ恐ル可キハ地震其他ノ原因ニヨリテ地盤ニ弛緩ヲ生シ擁壁背部ノ土砂カ突如陷落セントシ土粒間ニ激シキ摩擦ヲ生シタルトキハ之ニ伴フ直角力即チ水平力トシテ擁壁ニ來ルモノハ最大 $\frac{wH^2}{2 \tan \phi}$ トナルコトナキニシモアラサル可シ

E_3 ナルトキニ $E_3 = \frac{w}{4} H^2$ トナルハ ϕ カ漸次ニ少ニナリテ遂ニ零ニ歸スルニ係ハラス w ハ依然トシテ其値ヲ變セサル如キ換言スレハ例令 ϕ カ零トナルモ尙土砂トシテノ性質ヲ失ハサルトキニ上記 $\frac{H^2}{4}$ ニナル全壓力ヲ呈スルヲ意味シ若シ ϕ ノ減少ト共ニ w モ又減シ遂ニ ϕ カ零トナルニ至リテ w ハ $\frac{w}{2}$ トナルトキハ全然液體ト同一ノ全壓力ヲ呈シ $\frac{H^2}{2 \times 2} \parallel \frac{w}{2} \times \frac{H^2}{2} \parallel \frac{w}{2} \frac{H^2}{2}$ ナル式ト合致スルニ非サルナキカ但シ w ハ液體單位容積ノ重量トスコハ土砂ト水トカ恰モ其單位容積ノ重量ニ於テ E_3 ノ比重ヲ有セルヨリ偶然思出テタル愚考ニシテ深カキ根據アルニ非ラス(完)