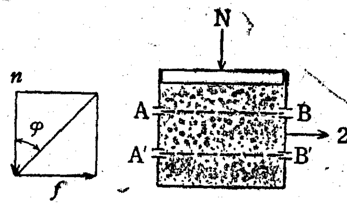
XIV. 土壓及土の支持力

砂の力學的性質

(一) 砂の力學的性質

乾燥せる砂（又は礫、銃丸、穀粒等）の如き粉體（Pulverulent Body）を第1圖の如く N なる壓力をもつて壓へてこれを AB, A′B′ 面に沿つて（此の面積を A とす）剪斷せんとするときは粒子間の摩擦による抵抗力を生ずる

即　$\dfrac{N}{A}=n,\quad \dfrac{F}{A}=f$



第 1 圖

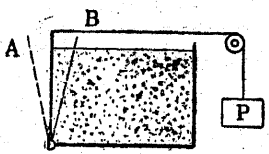
とすれば

$$\left.\begin{array}{l} f=\mu n \\ \mu=\tan\varphi \end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

μ は粉體の種類により異る常數でこれを內部摩擦係數（Coefficient of Internal Friction）といひ φ を內部摩擦角（Angle of Internal Friction）といふ。φ は粉體を自然に永く放置したるときその傾斜面の水平面となす勾配即息角（Angle of Repose）と等しい。

斯くの如き粉體を第2圖の如き鉸によつて支へられた可動壁を有する箱に靜かに入れるときは P 小なるときはこの可動壁は A

の如く外側に倒れるこれを垂直に保つ爲めに P を漸次增し P_1 に達して釣合つたとする尙進んでPを增加せしめても或範圍内では尙可動壁は垂直に立つてゐる P を續けて尙增加せしめる時は遂に B の如く内側に倒れるに至るこの限界の P を P_2 とすれば P が



第　2　圖

$$P_1<P<P_2 \quad\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

の間では可動壁は釣合を保つて垂直に立つてゐる。P_1 を主動土壓 (Active Pressure) P_2 を受動土壓 (Passive Pressure) といふ。砂礫内部の摩擦角 (φ) 及砂礫と石工との間の摩擦角 (φ') は通常下の如き値を有する。

砂礫の摩擦角

	φ	φ'
砂	20°—40°	
砂　利	40°—50°	
砂と混凝土		15°—30°
砂利と混凝土		30°—40°

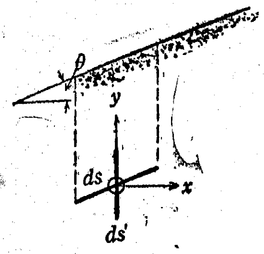
砂の壓力

(二) ランキンの砂の壓力論

砂の單位重量を w kg/m³ とすれば第 3 圖に於て厚さ一米の砂について考へれば y の深さにある O 點を通り上面と平行なる面 ds 上に鉛直に働く重量は $wyds\cos\theta$ 故に ds 上に於ける壓力強

度を q とすれば

$$q=wy\cos\theta\cdots\cdots\cdots(3)$$



第　3　圖

同じく O を通る鉛直面 ds' に働く壓力は上面に平行なるによりこの壓力強度 p は q と互に共軛である即 I (26) により

$$\left.\begin{aligned}\frac{\sigma_2+\sigma_1}{2}&=\frac{p+q}{2\cos\theta}\\ \frac{\sigma_2-\sigma_1}{2}&=\sqrt{\left(\frac{p+q}{2\cos\theta}\right)^2-pq}\end{aligned}\right\}$$

但 σ_1, σ_2 は主應力である。

$$\therefore\ \left(\frac{\sigma_2-\sigma_1}{\sigma_2+\sigma_1}\right)^2=1-\frac{4pq\cos^2\theta}{(p+q)^2}$$

I (22) により

$$\frac{\sigma_2-\sigma_1}{\sigma_2+\sigma_1}=\sin\theta\ 最大$$

$$\therefore\ \frac{4pq\cos^2\theta}{(p+q)^2}=\cos^2\theta\ 最大$$

故に

$$\frac{p}{q}=\frac{\cos\theta-\sqrt{\cos^2\theta-\cos^2\theta\ 最大}}{\cos\theta+\sqrt{\cos^2\theta-\cos^2\theta\ 最大}}\qquad p<q$$

又は

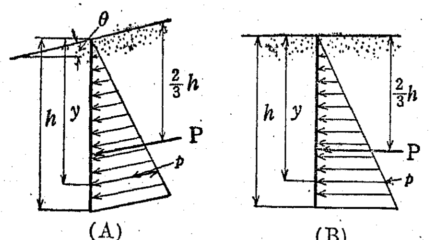
$$\frac{p}{q}=\frac{\cos\theta+\sqrt{\cos^2\theta-\cos^2\theta\ 最大}}{\cos\theta-\sqrt{\cos^2\theta-\cos^2\theta\ 最大}}\qquad p>q$$

砂が將に崩れんとするときは θ 最大 は摩擦角 φ と等しい故に

$$p=kq=k\cos\theta\, wy$$

但し主動的土壓では $\kappa=\dfrac{\cos\theta-\sqrt{\cos^2\theta-\cos^2\varphi}}{\cos\theta+\sqrt{\cos^2\theta-\cos^2\varphi}}$ ……(4)

受動的土壓では $\kappa=\dfrac{\cos\theta+\sqrt{\cos^2\theta-\cos^2\varphi}}{\cos\theta-\sqrt{\cos^2\theta-\cos^2\varphi}}$



第 4 圖

p は深さ y に正比例すること第4圖(A)の如く p の合力は

$$P=\int_0^h p\,dy=\frac{\kappa\cos\theta\, wh^2}{2} \quad \cdots\cdots(5)$$

特に上面水平の時卽 $\theta=0$ の時は（第4圖 B）

$$p=\kappa wy$$

主動土壓では $\kappa=\dfrac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi}=\tan^2\left(\dfrac{\pi}{4}-\dfrac{\varphi}{2}\right)$ ……(6)

受動土壓では $\kappa=\dfrac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}=\tan^2\left(\dfrac{\pi}{4}+\dfrac{\varphi}{2}\right)$

$$P=\kappa\frac{wh^2}{2} \quad \cdots\cdots(7)$$

地表面に載荷あるときはその表面に沿つて單位面積をとりこれに働く強度を r kg/m² とすれば第5圖 A の場合は

$$p=\kappa(\cos\theta\, wy+r) \quad \cdots\cdots(8)$$

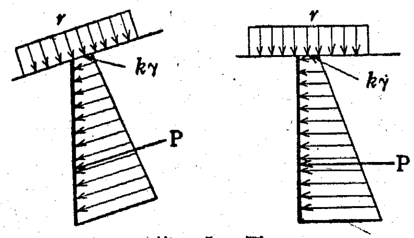
$$P=\kappa\left(\frac{\cos\theta\, wh^2}{2}+rh\right) \quad \cdots\cdots(9)$$

同 B の場合は

$$p=\kappa(wy+r) \quad \cdots\cdots(10)$$

$$P=\kappa\left(\frac{wh^2}{2}+rh\right) \quad \cdots\cdots(11)$$

となる但し κ は (4) (6) と同一であり P は凡て p 線圖（第5圖陰影部）の圖心を通り上面に平行に働く。

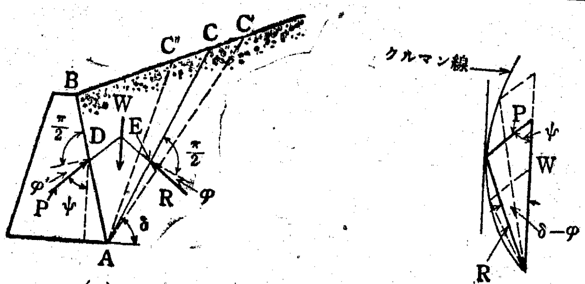


第 5 圖

鉛直壁に働く砂の壓力は上式によつて與へられる。上式より共軛應力 p, q 及その角 θ が既知なるにより I (13) により主應力の大さ及方向が求められる故に任意の傾斜をなす壁に働く砂の壓力も容易に求め得。上の理論をランキン・レビの土壓論 (Rankine-Lévy's Theory of Earth Pressure) といひ無限の擴がりを有する平な表面を有する砂の場合に壁を作つてもその狀況に變化が起らぬと假定することによつて基礎づけられたる土壓の基本定理である。

(三) クーロンの砂の壓力論

ランキンよりも古く Coulomb は壁に働く砂の壓力を第6圖 AC の如く壁後假想せる滑り面にて境せられたる三角形 ABC の砂が楔の如く働いて起るものと考へて次の定理を導出した。ABC の形からこの定理を土楔の定理 (Wedge Theory) ともいふ。主動土壓を求めるには ABC の土の重量 W がずり落つるのを壁面



(a) (b)

第 6 圖

AB に働く力 P と滑り面 AC に働く力 R とによつて支へるものと考へ滑動の將に起らんとするときは R は AC 面の垂線と摩擦角 φ なる角をなし P は壁面の垂線と φ' なる角をなす φ' は (1) の表に示す如く通常下の値をとる

$$\varphi'=\frac{3}{4}\varphi \quad \text{又は} \quad \frac{1}{2}\varphi \cdots\cdots\cdots\cdots(12)$$

P, R の働く位置は

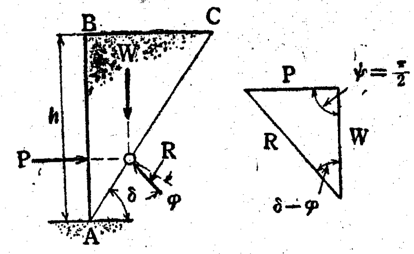
$$AD=\frac{AB}{3}, \quad AE=\frac{AC}{3} \cdots\cdots\cdots\cdots(13)$$

今 WPR を以て力の三角形を作れば第6圖 (b) の如くなり AC を AC′, AC″ 等の示す如く δ を變動せしめて其れ等の場合に同じく力の三角形を作れば第6圖 (b) の點線に示す如く AB 壁面の力は φ' が決定してゐて AB が動かぬ爲凡て平行し R は滑面の傾きが變る爲め方向が變化する從つて PR の大さが變る斯くの如き P の最大なる値を與ふる AC の傾角を δ とすれば最大 P は

$$P=\frac{\sin(\delta-\varphi)}{\sin(\delta-\varphi+\psi)}W \cdots\cdots\cdots\cdots(14)$$

此 P の働く點は A から AB の $\frac{1}{3}$ の距離の所である。これクーロンの土壓論 (Coulomb's Theory of Earth Pressure) であり上式中の $\delta-\varphi$ は WPR の力の三角形の PR の交點なる頂點の軌跡を求め (此れを Culmann 線といふ) これにより最大なる P を與ふる位置により求められる。

クーロンの土壓論は壁面と砂との間の摩擦角 φ' を實驗の結果に合せて自由に取り得るものと從來考へられ此れがクーロンの定理のランキンの定理よりも實際に近い一大利點とされてゐるけれ共これは必ずしも常に任意の φ' を取り得るとは限らない。例へばランキンの定理と對比する爲めに最も簡單なる第 7 圖の場合の數式を求めて見るとする。



第 7 圖

W は明かに △ABC の重心を通る爲め AC 邊を A より $\frac{1}{3}$ の O 點で切る R も亦 AC 邊の A より $\frac{1}{3}$ の O 點を通る理であるその爲め P は當然 W と R との交點 O 點を通らざるを得ないその爲めには P は水平の方向ならざるを得ない卽ちこの時は $\varphi'=0$ ならざるを得ぬ。然してこの P の値は (14) により

$$P=\tan(\delta-\varphi)\,W=\frac{\tan(\delta-\varphi)}{\tan\delta}\,\frac{wh^2}{2}=\frac{1-\dfrac{\tan\varphi}{\tan\delta}}{1+\tan\varphi\tan\delta}\,\frac{wh^2}{2}$$

の最大値

$$\frac{dP}{d\delta}=0 \quad 即 \quad \tan 2\delta=-\cot\varphi$$

故に

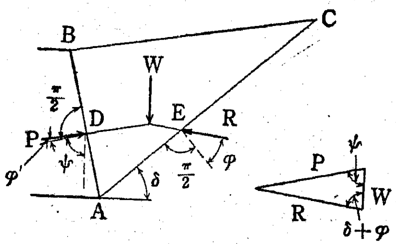
$$2\delta=\frac{\pi}{2}+\varphi \quad 或は \quad \delta=\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(15)$$

故に

$$P=\tan^2\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\varphi}{2}\right)\frac{wh^2}{2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(16)$$

此れは全くランキン式 (7) と同一である。

受動土壓を求むるには ABC の重量 W が押し上げらるゝのを壁面 AB に働く力 P と滑り面 AC に働く R とによつて制するものと考へればよい (第 8 圖) 従つて主動土壓の場合とは φ 及 φ' の取り方が垂線の反對側であり P は最小値をとることとなる。



第 8 圖

故に

$$P=\frac{\sin(\delta+\varphi)}{\sin(\delta+\varphi+\psi)}W \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(17)$$

但この ψ は (14) の ψ とは異る (第 6 圖及第 8 圖參照)

(15) (16) に對する此の場合の式は下の如し

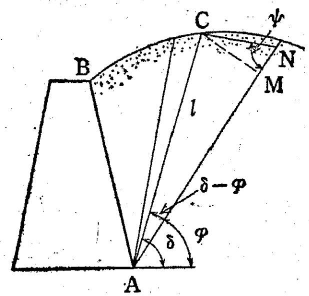
$$\delta=\frac{\pi}{4}-\frac{\varphi}{2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(18)$$

$$P=\tan^2\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)\frac{wh^2}{2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(19)$$

地表面に載荷あるときは載荷による合成力を W に加へればよい但しこの爲め W の働く位置が多少變つて來るがこれは圖解力學によつて容易に求められる P, R の働く位置も多少上つて來る。即 ABC の上にのる載荷の總量を L とすれば第 6 圖第 8 圖に於て

$$AD=\frac{\frac{W}{3}+\frac{L}{2}}{W+L}AB, \quad AE=\frac{\frac{W}{3}+\frac{L}{2}}{W+L}AC \quad \cdots\cdots(20)$$

地表面が無限に擴がれる平面でない場合にもクーロン法則は用ひられる即第 9 圖の如き場合に就ても Culmann 線を求めて最大なるPを得ればよい。此れを求むる他の方法として Rebhann の發案した方法は (14) 式の P を δ について微分して 0 と置けば最大 P を得



第 9 圖

即 $$\frac{dP}{d\delta}=0$$

これより

$$W=-\frac{dW}{d\delta}\,\frac{\sin(\delta-\varphi)\sin(\delta-\varphi+\psi)}{\sin\psi} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(21)$$

今 AC$=l$ とすれば

$$dW \fallingdotseq -\frac{wl^2}{2}d\delta$$

第9圖の如く AN を水平より φ の傾にとり $\angle CNA=\psi$ にとれば

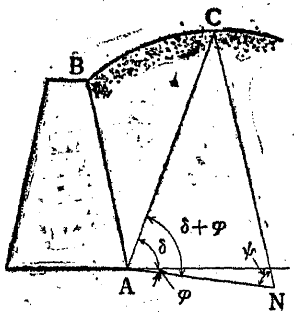
$$\frac{\sin(\delta-\varphi+\psi)}{\sin\psi}=\frac{AN}{l},\qquad \sin(\delta-\varphi)=\frac{CM}{l}$$

此等を (21) に入れて

$$W=\frac{w}{2}AN.MC \quad\cdots\cdots\cdots\cdots(22)$$

即先づ水平と φ の傾の線 AN を引き △ABC と △ACN と等面積になる樣に AC を引けば滑り面の傾 δ が求まる δ が決定すれば (14) 式により主動的壓力 P を得。

受動的壓力を求めるには第 10 圖の如く AN を水平より下にとればよい。δ がきまれば (17) 式より P を得。



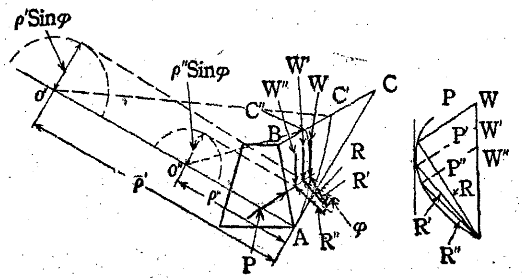
第 10 圖

載荷のある場合にはその重量を土の重量に換算してそれ丈土が盛増されたるものと考へ BC 線を上げて考へれば大過ない。

(四) 滑り面を圓壔面と假定した砂の壓力論

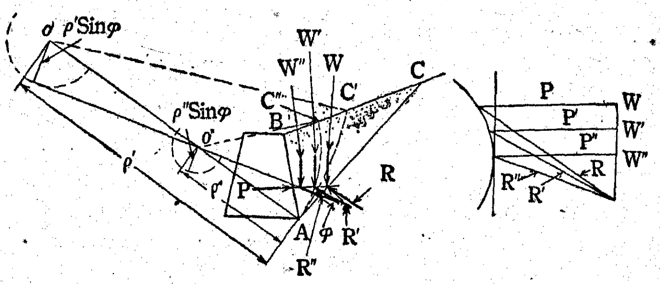
Rankine, Coulomb 何れの論でも砂の滑り面は平面と假定したがこれを圓壔面と假定する方が一層大なる主動壓力又は一層小なる受動壓力を與へる故にそれ等の値を以て砂の壓力とする方が妥當であるといふ説がある (Kötter の説) これを H. Krey は次の如く圖解法で求めることを發案した。

AC を一つの滑り平面 (例へば Coulomb の平面) としてこれに垂直線 AO を引きその上に任意の點 O′ O″ 等をとりこれを中心として $AO'=\rho'$, $AO''=\rho''$ 等の半徑で AC′, AC″ 等の圓弧を描きこれを滑り曲面と考へ此れ等の滑り面の上の反力を R R′ R″ 等とするとき R′, R″ は O′ 及 O″ に於て描かれた $\rho'\sin\varphi$, $\rho''\sin\varphi$ の半徑の圓に接する樣にしかも P 線と W′, W″ との交點を通る方向にとればよい然るときは ABC, ABC′, ABC″ の重量 W, W′, W″ が知れる故力の三角形が成立して此れ等に對する Culmann 線を得其の內最大なる P をとればこれが主動壓力となる。嚴密にいへば基本となる平面 AB のとり方を變へて幾つかの群を作りその中の絕對最大の値をとるべきである。



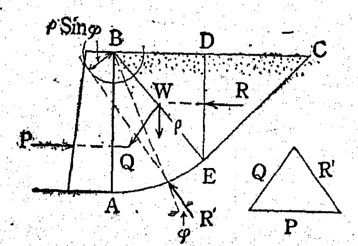
第 11 圖

受動壓力を求めるには第 12 圖の如く AC を受動壓力の滑り平面 (例へば Coulomb の平面) にとり $\rho'\sin\varphi$, $\rho''\sin\varphi$ を反對側にとり且 P の最小値をとればよい。



第 12 圖

近來第 13 圖の如く壁を遠ざかつた位置に於ては平面滑り面が成立するものと考へ壁の附近に於ては圓壔又はこれに類似の曲面

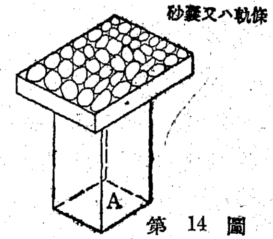


第 13 圖

をなすと考へた說 (Reissner, Krey, Kármán 等の說) がある。即 DE に於ては Rankine 又は Coulomb 說で R を決定しこれと ABDE の重量とより Q を求める然るときは P 及 R′ の方向及位置が解つてゐる爲力の三角形より P の大さが出る。

砂地の支持力

(五) 砂地の支持力

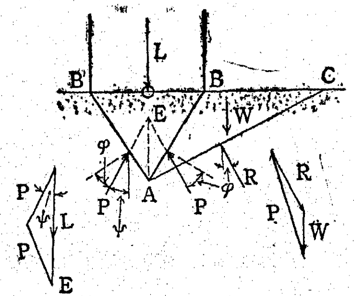


第 14 圖

地盤の支持力を試驗するには通常第 14 圖の如き載荷試驗を行つて每平方米につき何程の荷重を支へ得るかを見る。通常の土壤に於ては下表の如き値である。

土壤の支持力 (ton/m²)

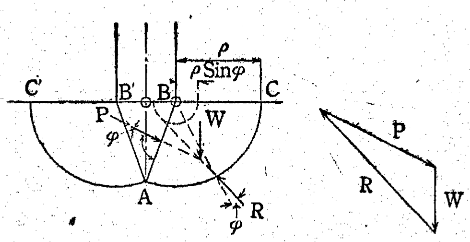
泥土	0	固き砂	50—70
粘土	5—20	固き礫	50—80
砂交り泥土	30—40	軟き岩(土丹、砂岩等)	70—250
水分多き砂	1—30	堅き岩	200—500
水分少き砂	30—50		



第 15 圖

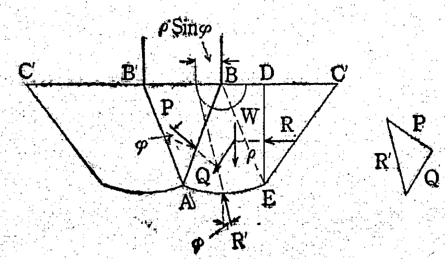
然し乍ら此等の支持力は載荷面 A の大さによつて每平方米の力が異つた値となる筈である。今假りに厚さ一米の砂地について考へれば第 15 圖の如く載荷重の爲めに假りに BB′ 下の砂が B′AB の如き楔型に固まつて砂中に入り込むものと考へれば BB′ に

來る荷重を L, BAB′ の砂の重量 E とし、AB, AB′ 面に働く P の値は A より $\frac{AB}{3}$ 及 $\frac{AB'}{3}$ の點に於て垂線と摩擦角 φ をなすものと考へれば L+E と力の三角形によりて P の大さを決定し得此の P の大さが AB 面を任意にとつた時に AB 面に於ける受動土壓の値より常に小なれば安定である。受動土壓の計算には Rankine 又は Coulomb の法則を用ふればよい例へば Coulomb の土楔を第 15 圖 ABC の如くとればよい。又は AC 面を B を中心とし AB を半徑とする圓壔面と考へ ABC の重量を W とし第 16 圖の如くにして求めてもよい。



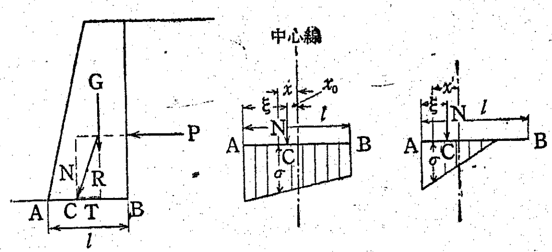
第 16 圖

尙又第 17 圖の如くにしてもよい DE に於ては Rankine 又は Coulomb 說で R を出しこれと ABDE の重量 W とより Q を決定し此と P 及 R′ の方向及位置が知れてゐる故力の三角形で受動壓力として P の大さが決定する。



第 17 圖

(六) 砂地に造つた擁壁



第 18 圖

砂中に造つた擁壁 (Retaining Wall) の安定を保つ爲めには第 18 圖の如く砂の主動土壓 P と擁壁の重量 G との合力 R が擁壁の基底 AB 內を通過するを要し今 C 點を通るとき R を垂直力 N 水平力 T とに分力して考へ N は基礎に壓力として下の垂直應力を生ずる (I.(36) 式參照)

$$\left.\begin{aligned} &\frac{l}{3}<\xi<\frac{2l}{3} \quad \text{ならば} \quad \sigma=\frac{N}{l}\left(1+\frac{12x\,x_0}{l_2}\right) \\ &\frac{l}{3}>\xi \qquad\qquad \text{ならば} \quad \sigma=\frac{N}{3\xi}\left(1+\frac{2x'}{3\xi}\right) \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots(23)$$

C が中心線より左にあれば A に於て最大垂直應力を生じ夫れ等の値は

$$\left.\begin{aligned} &\frac{l}{3}<\xi<\frac{2l}{3} \quad \text{の時} \quad \text{最大} \ \sigma=\frac{N}{l}\left(1+\frac{6x_0}{l}\right) \\ &\frac{l}{3}>\xi \qquad\qquad \text{の時} \quad \text{最大} \ \sigma=\frac{2N}{3\xi} \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots(24)$$

此等の最大 σ の値が其の基礎地盤の支持力より小なれば擁壁は安定である。基礎地盤の支持力は(五)に述べた樣に載荷試驗で定め

てゐるがこの値は上述の如く一定し難いわけである。實際上には可なり粗略ではあるが（五）の表の様な値を經驗上使用してゐる。水平力 T は通常基底 AB に等布されたる接線應力を生ずるものと考へ

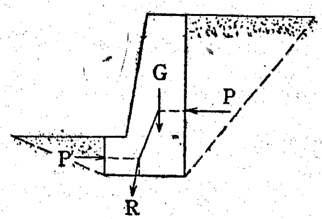
$$\tau=\frac{T}{l}\cdots\cdots\cdots\cdots(25)$$

これが基底の摩擦抵抗より小なれば安定である

即 $$\frac{\tau}{\sigma}=\frac{T}{N}=\tan\theta\cdots\cdots\cdots\cdots(26)$$

とすれば $\theta<\varphi'$（但し φ' は砂と基底との摩擦角（一）の表參照）なれば安定である。

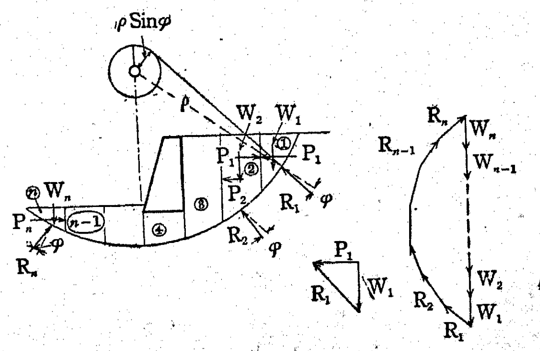
第 19 圖の如く擁壁を根掘して築造するときは前面の砂の受動土壓 P′ が安定の助けになる。



第 19 圖

軟弱地盤の場合特に岸壁(Quay Wall)の類には第 20 圖の如く基底より遙かに深い所で地盤がほゞ圓壔面にそつて滑ることがある。かゝる場合には滑るべき部分を垂直面で 1, 2, 3...n ケに分けてその各々の重量 W_1 W_2...W_n より垂直面に働く土壓 P_1 P_2...P_{n-1}（頂點より深さの $\frac{2}{3}$ の點を通るものとし）と R_1 R_2 R_3...R_n とを φ を任意に假定して圖上で求める斯くして得た R_1 R_2 R_3...R_n と W_1 W_2...W_n とで力の多角形を作りもし閉鎖しない場合は φ を色々に變じて多角形が閉鎖する様にすればその φ の値でその滑り面は安定なることを示す斯くし

て得た φ の値が土の摩擦角より小なればよい。第 20 圖の圓壔滑り面の中心 O の位置及半徑 ρ の大さが變れば勿論凡てが變つて來るにより最も滑り易さうな面に對して幾つか如上の檢査を行ひそれ等の内の最大 φ が土の摩擦角より小なればその擁壁は絕對安全なるわけである（Petterson-Sven Hultin の方法）。



第 20 圖

粘着力の影響

（七） 粘土質土壤の力學的性質

粘土質土壤に於ては第 1 圖の如き装置で剪斷試験を行へば下の式の如くなる。

$$f=c+nt\mathrm{an}\,\varphi\cdots\cdots\cdots\cdots(27)$$

この場合摩擦角 φ は (1) の場合と異りもはや息角とは等しくない土中に含まるゝ水分が不變なる狀態で載荷し剪斷した時と水分が逸去する狀態で載荷して剪斷したときの値とは異つた値を與へる。c は粘着力 (Cohesion) であつてこれは壓力には全く無關係とはいへないが主として水分によつて異る値である。斯くの如き

を以つて第2圖の如き實驗をなしても今度は充分なる深さがなければ可動壁は前方には倒れないで (2) 式の P_1 が零又は負となることがある。

φ 及 c の値

	φ(度)	c(ton/m²)
砂交り泥土	30	2.0
堅き粘土	8	7.5
中位の粘土	6	5.0
軟き粘土	4	2.0
極めて軟き粘土	2	1.0
泥土	0	0.5

(八) 粘着力のある土壤についての土楔論

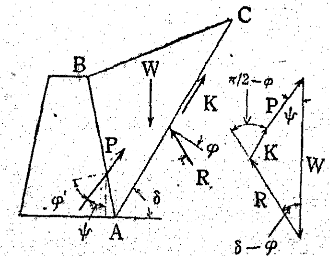
粘着力のある場合は土楔の定理に於て滑り面 AC に

$$K=c\times AC\dots\dots\dots(28)$$

の抵抗を増す。

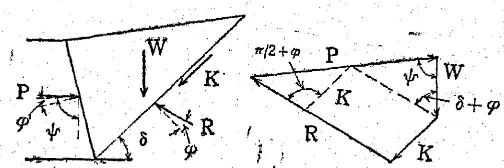
故に主動土壓では第 21 圖の如く (14) 式は下の如くなる

$$P=\frac{\sin(\delta-\varphi)}{\sin(\delta-\varphi+\psi)}W-\frac{\cos\varphi}{\sin(\delta-\varphi+\psi)}K\dots(29)$$



第 21 圖

受動土壓では第 22 圖の如く



第 22 圖

(17) 式は下の如くなる。

$$P=\frac{\sin(\delta+\varphi)}{\sin(\delta+\varphi+\psi)}W+\frac{\cos\varphi}{\sin(\delta+\varphi+\psi)}K\dots\dots\dots(30)$$

尙擁壁と土との接觸面 AB に於ても粘着力働くものと考へれば

$$K'=c'\times AB\quad(\text{但 } c' \text{ は土と擁壁との粘着力とす})\dots\dots(31)$$

なる抵抗を AB 面に加へればよい。

近來粘土の如きは寧ろ摩擦角 φ, φ' を零として滑り面に働く接線力は粘着力のみをとる方が實際に近いといふ說 (Nils Westerberg) ありこゝに於て土壓論も材料學の新問題たる塑性論 (Plasticity) の領域に入らんとしてゐる。

(九) 粘着力のある土壤の支持力

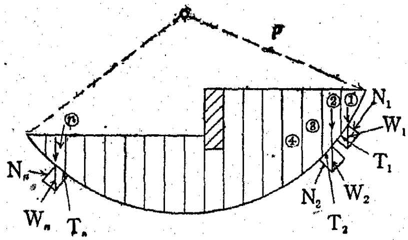
第 15 圖に於ける P を粘着力のある場合の値をとり且 AB 面にも K ($=c\times AB$) を働かしめればよい。尙摩擦の値を粘着力に比して小なるものと考へれば $\varphi=0$ とすればよい。

(一〇) 粘着力のある土壤に造つた擁壁

第 18 圖、第 19 圖に於て P P′ を粘着力のある場合の値をとればよい。

軟弱地盤の場合には Hultin の方法に粘着力の項を入るればよ

い。或は簡單に第 23 圖の如く 1, 2, 3…n の各境目の壓力 P_1, P_2,…P_{n-1} を無視すれば W_1, W_2,…W_n の圓壔面に於ける垂直分力を N 接線分力を T とするとき此等の圓壔滑り面の中心 O に於ける力のモーメントをとり



第 23 圖

これが O の位置及半徑 ρ を色々に變化しても常に滑り面の抵抗力のモーメントより小なれば安定である卽下式にて安定がきまる (Terzaghi の方法)。

$$\sum_1^n T \leqq cL + \tan\varphi \sum_1^n N \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(32)$$

但 L は圓弧の長さ