

論 說 報 告

土木學會誌 第十八卷第七號 昭和七年七月

自 働 性 土 壓 力

會員 工學士 並 川 熊 次 郎

Active Earth Pressure

By Kumajiro Namikawa, C.E., Member.

内 容 梗 概

本文は簡易なる實驗と平易なる數理に由りて自働性土壓力の眞相を探明せむとするものなり。

目 次

1. 總 說	頁 1
2. 實驗器の構造	2
3. 實驗に對する要項	3
4. 土壓係數の檢證	4
5. 土體内部の摩擦角	8
6. 土體内部の假想的構造	9
7. 土體の安定作用	11
8. 安定土體の内應力	15
9. 自働性土壓力及び其の檢證	16

1. 總 說

従來一般に認めらるゝ自働性土壓力は、土體が自己の重量に因りて將に崩壊せむとする極限状態に於ける土體内部諸應力の均衡關係に據りて算出さる。

然るに土體の崩壊が其の重量のみに因りて發現するに非ずして、常に或る他の外力の誘發を必要とするを思ひ、尙又土體の自重は其の全力を以て崩壊に参加するに非らずして、却つて其の一部の力は摩擦力を發生して崩壊を阻止するを考ふれば、土體の自重を以て崩壊現象

の原動力と看做すに躊躇せざるを得ざるべし。否、寧ろ土體の自重は外力の崩壊作用に對し土體の安定を保持せむとする者なること恰も土壓力に因りて生ずる轉倒に對し、擁壁自體の重量が阻止作用を成すに比すべきものあり。若し夫れ土體の側面が安息面より急峻なる場合の崩壊の如きは明かに自重に因りて發生せしが如きも、元來かゝる過急勾配の側面が曝露さるゝ事夫れ自身が外力の作用に因りて初めて實現さるゝものにして、此場合に於ては擁壁の移動等の如き、言はゞ外力の消極的作用が土體の崩壊を誘起せりとするを至當とせむ。

要するに崩壊現象なるものは、之を土體の側より見れば外力に因りて誘起されたる結果、受働的に發現せるものにして、到底之を土體の自發的に出るものとは見るを得ず。従つて此の如き現象を前提として算出されたる土壓力は外力に對する受働性土壓力の一種なりと斷ぜざるを得ず。但し土壓論に於ては、崩壊傾向の原因を土體の變形性又は弾力性に歸せるも之等の性質が果して土體をして自發的に崩壊傾向に達せしむる程有力なりや疑無き能はず。

如上の疑惑を解かんが爲に、已に公表されたる實驗の結果を求め、辛うじて其の一二を得たるも尙釋然たらず、止む無く之が研究に没頭することゝせり。此の研究の主眼とするは、何等外力の影響を受けざる、眞に土體の本質に由りて出でたる自働性土壓力を求めむとするにあれば、從來の土壓論や實驗が土體の變形性や擁壁の微動傾向を基調とせるに反し、實驗にも、理論にも土體の安定状態を目標とせむ。従つて、之に由つて得たる結果が從來の土壓論や、實驗の結果に對し相違を生ずべきは勿論にして、之が正否を讀者の嚴肅なる批判に依りて決定するを得ば、著者の幸之に過ぎざるなり。

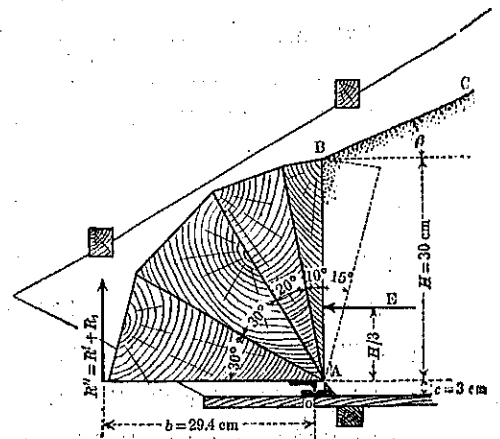
2. 實驗器の構造

實驗装置は、不測なる過誤を避くる爲、努めて簡單ならしむると同時に擁壁の特質を具備せしむることゝせむも、土核説に所謂擁壁の微動傾向は努めて之を回避せり。

實驗器の主要部は擁壁に擬せる木製壁體と、供試土砂を容るべき木製土槽と、計量装置との三部よりなる。以下順を追ひて其の構造を概述せむ。

壁體 壁體は第一圖の如く、横断面二等邊三角形の木塊を扇形に重ね合せて成れり。各木塊の頂角は 10° 、 15° 、 20° 、 30° の4種とし、内 30° のものは2箇、他は何れも1箇宛とす。就中 30° の木塊1箇

第一圖



のみは之を擁壁の基底部に擬し、其の底面 $\overline{AA'}$ を常に水平ならしむる爲、 A 點に近く角鐵形の金具を取付けて刃先支點とし、一方 A' 點に近き計量用緊釘と相俟ちて壁體を支持せしむ。上記の A 點に近き刃先金具は木塊に捻止とせるが故に必要な應じ其の位置を變更し得。

基底部木塊の上面傾斜角は水平と 30° にして、之以上各種木塊の組合に由りて 5° 毎に 105° 迄傾斜角を變化し得可く、夫等木塊相互の接合は取外容易なる柄接とせり。

土槽 壁體並びに供試土砂を容るべき木製土槽は水平底面と兩側並びに後方に鉛直壁を有し、前方は壁體にて閉塞さる。此の内幅 30cm 奥行 120cm にして、側壁上縁は 30° の傾斜角を成して後方に昇れり。壁體下面の刃先金具を受くる爲、土槽前方の底面に角形の細溝を刻せる金具を釘付とし、又土槽前端の横木には計量用秤桿を懸垂すべき鈎を螺旋留とせり。土槽の底並びに周壁は凡て杉八分板を用ひ、3 箇所の木柱にて外部より支持せらる。

計量器 壁體前端の反働力を測定する爲に 4 貫目秤桿を使用せり。懸垂の方法は前二項にて述べたれば茲には省略す。尙秤器の桿の先端に假支點を設けて、其の水平位置を保持せしむるの必要は次節に述ぶることとし、是亦茲には省略す。

3. 實驗に對する要項

(1) 供試土砂 問題を簡單ならしむる爲と、其の不確實性を厭ひ、本實驗には土體内部の凝集力極めて微弱なる物、即ち天然砂、篩砂、碎砂利、豆砂利等の水分其の他の扶雜物無き物に限り使用せり。

上掲の供試土砂の夫々の單位容積の重量 w を測定するには約 0.015 立米の内容ある木箱に注ぎ込み、表面に軽く引均を行ひて秤量せり。

息角 φ の測定にも土體表面に壓迫を加ふること無く、只表面の土粒が轉動降下せざるを限度とせり。

(2) 準備作業 實驗に先立ちて行ふ準備作業としては特に記すべき程の事項無きも、唯一事の重要なるは壁體の自重よりする其の先端に於ける反働力を測定せるまゝ秤桿を水平に固定せしむるにあり。之が爲には桿の先端を假支點に托し、錘を該支點に近付け置きて供試土砂注入中桿の浮動を防ぐにあり。

次に尙附記すべきは、供試土體の築立作業は凡べて前記 w や φ の測定方法に準じ、搗固、壓迫、振動等を避け、只適當なる厚毎に水平に軽く引均をなすのみなるにあり。要するに凡べての作業を緩徐に靜肅に行ひ、土體や壁體やに激動の及ぶを避くるを必要とす。

(3) 計量作業 左手指先にて桿の先端を軽く壓しつゝ、右手に錘を徐々に假支點より遠ざけ、桿の浮動傾向が左手の指先に感じたる際兩手を離隔し、桿の先端下面が僅かに假支點を離れて靜止せるを認めたる後目盛を讀取るべし。

此の計量作業中嚴禁すべきは錘の逆行にあり。之が爲に壁體に動搖を來たし、土體に受働性壓力を生ぜしむる結果、讀高の差異の範圍を著しく擴大せしむ。

(4) 供試土體の奥行 壁體背面の高さ 30cm なるに對し、土體内部の息角面の貫通を期し、其の 4 倍大なる 120cm とせるも、實驗回數を重ねるに及び、かゝる長大なる奥行の不必要なるを知り、之を半減して 60cm とせり。

(5) 土體側面の摩擦 壁體背面と土體との間の摩擦力の影響を知らむが爲に、硝子板、亜鉛引鐵板、或は砂を糊着せる布を壁面に貼付せるも、結果に於て殆んど差異を認むるを得ず。更らに土槽内側面と土體との間の摩擦の影響を検出せむが爲に、土槽の中央に板の隔壁を設け、摩擦面積を倍加せるも、土壓力の減少は隔壁木板の厚さの爲に失はれたる量に相當せるを知るのみなりき。

(6) 實驗中の氣象 木製實驗器の變形を恐れし爲、實驗室を日蔭に探定せると、作業困難なる嚴冬を避けし外は溫度、濕度等に對しては設備のみにて觀測を行はずして止みたりき。但し連日降雨ある期間は實驗を行はざることとせり。

4. 土壓係數の檢證

第一圖に記入せる \overline{BC} は土體 (ABC) の表面、 \overline{AB} は其の鉛直側面にして同時に壁體の背面なり。m 點に於て測定せる反働力 R'' より壁體自重より生ぜる反働力 R' を減じたる差 R は土壓力 E に因りて生ぜるものなれば、 E を水平とし、其の働點は壁體背面の全高 H の $1/3$ の高さに在りと假定すれば、O 點の回りの顛倒力率に由りて次の等式を得。

$$E\left(\frac{H}{3} + C\right) = Rb$$

$$\therefore E = \frac{Rb}{\frac{H}{3} + C}$$

次に E を假りに w , $\frac{H^2}{2}$, K にて表はせば

$$K = \frac{Rb}{w \frac{H^2}{2} \left(\frac{H}{3} + C\right)}$$

上記の K を假りに土壓係數と稱し、其の實測に據れる値と公式にて算出せるものとを第一表乃至第五表に掲出し、兩者の比較對照に資せむ。

第一表

北上川河口附近海岸砂 $w=1432.4$ 粒/米; $\varphi=30^\circ$.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
		$\delta=0^\circ$ 公式	差異	$\delta=\varphi$ 公式	差異	檢證 公式	差異
β	實測値	算出値	百分率	算出値	百分率	算出値	百分率
-30°	0.1872	0.2309	+ 24.0	0.1823	- 2.0	0.1870	- 0.10
-25°	0.2116	0.2625	+ 24.0	0.1933	- 7.0	0.2054	- 2.93
-20°	0.2239	0.2762	+ 23.0	0.2029	- 9.0	0.2208	- 1.34
-15°	0.2300	0.2852	+ 21.0	0.2133	- 10.0	0.2333	- 1.10
-10°	0.2442	0.2977	+ 22.0	0.2248	- 8.0	0.2425	- 0.70
- 5°	0.2483	0.3114	+ 21.0	0.2377	- 4.0	0.2481	- 0.08
± 0°	0.2523	0.3333	+ 32.0	0.2539	+ 0.6	0.2500	- 0.01
+ 5°	0.2564	0.3447	+ 34.0	0.2629	+ 2.5	0.2518	- 0.80
+10°	0.2605	0.3660	+ 40.0	0.2906	+ 12.0	0.2570	- 1.11
+15°	0.2727	0.3938	+ 44.0	0.3189	+ 17.0	0.2607	- 2.20
+20°	0.2849	0.4321	+ 52.0	0.3593	+ 26.0	0.2793	- 1.97
+25°	0.3012	0.4920	+ 63.0	0.4256	+ 40.0	0.2946	- 2.19
+30°	0.3217	0.7348	+120.0	0.7348	+120.0	0.3125	- 2.80
平均	—	—	+ 40.7	—	+ 14.4	—	- 1.47

上掲第一表 (1) 行は供試土體表面の傾斜角 β の値を示し、(2) 行は β の夫々の値に對する K の實驗値なり。(3) 行は鉛直壁面に對する土楔説公式

$$P = w \frac{H^2}{2} \frac{\cos^2 \varphi}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\cos \delta \cos \beta}} \right]^2} \cos \delta$$

に於て、壁面摩擦角 $\delta=0^\circ$ とし、次の式にて算出せるものなり

$$K = \frac{\cos^2 \varphi}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin \varphi \sin(\varphi - \beta)}{\cos \beta}} \right]^2}$$

斯くして得たる値を (2) 行の夫々同列の値と比較するに、(4) 行の百分率にて示せる如く、平均 40.7% の過大を示し、特に $\beta = +30^\circ$ の場合にては算出値は實測値の 2 倍以上の數字を興ふ。茲に至つて著者は實驗方法の不備を痛感せざるを得ざるも、翻つて思ふに、土楔説の如く、土楔の摺動を前提とせる場合に δ が果して零なるを得べきにや。否、著者は 1. 節に説きし如く、 P を一種の外力とし、夫が土體の側面に垂直に之を壓迫せし場合に於てこそ $\delta=0^\circ$ となり得るものなりと考ふ。従つて第一表 (3) 行に示せる値は一種の受働性土壓力の K の値を示せるなりとすれば、夫等が上記の如く、實驗値に比して過大なるは、或は寧ろ當然なりとせむ。

茲に於て著者は δ の最大値たる $\delta = \varphi$ を以て前記 P の式に代入し、第一表 (5) 行の値を算出せり。但し此の場合に於ては、 P は水平に對し φ だけ傾斜せるが故に之に $\cos \varphi$ を乗ぜるものを以て算出値とせり。斯の如くするも壁體の底端 A 點の回りの顛倒力率に變化無きなり。されば K は次の式にて算出さる。

$$K = \frac{\cos^2 \varphi}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin 2\varphi \sin(\varphi - \beta)}{\cos \varphi \cos \beta}}\right]^2} \cos \varphi$$

$$= \frac{\cos^2 \varphi}{\left[1 + \sqrt{\frac{2 \sin \varphi \sin(\varphi - \beta)}{\cos \beta}}\right]^2}$$

斯くして算出せる値を夫々 (2) 行の實測値と比較するに、(6) 行の百分率にて見る如く、其の平均値は (+14.4%) と成り前項の (+40.7%) なるに比し差異の著しく少きを覺ゆるも、箇々の差異を見るに (-2.0%) より (+120.0%) に及び、其の範圍は却つて擴大せるを見る。特に此の範圍の兩極限が $\beta = \pm \varphi = \pm 30^\circ$ なる場合に在るは該公式の與ふる値が β に對して如何に敏感なるかを知るに足らむ。尙又之よりして實驗と公式とは、 β に關して K の値の變化に甚しく相違せる状態を與ふるものなるを知る。然らば φ の値に關しては實驗値は K に如何なる状態を與ふるか。此の問題を解決せむが爲に著者は不取敢在合の豆砂利を使用して第二表を得たり。

第 二 表

鴨瀨川産豆砂利 $w = 1540.78$ 粒/米; $\varphi = 36^\circ$.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
-30°	0.1560	0.1042	+24.5	0.1930	-11.0	0.1580	+1.28
-15°	0.2301	0.2508	+ 0.0	0.1680	-27.0	0.2201	-1.70
$\pm 0^\circ$	0.2457	0.2585	+ 5.0	0.1046	-21.0	0.2423	-1.38
$+15^\circ$	0.2613	0.3020	+10.0	0.2370	- 0.3	0.2585	-1.07
$+30$	0.3042	0.4067	+33.0	0.3446	+13.3	0.3030	-0.09
平均	—	—	+17.5	—	-11.12	—	-0.59

上掲第二表中の數値は第一表と同様の順序に配列せしものなれば茲には夫等の註記を省略せむ。本實驗にては煩を厭ひて、前表の場合に比し β の中間値に對するものを省略せるのみならず、 $\beta = \varphi$ の値に對しては、實驗器土槽上縁の勾配に制限せられて實驗不可能なりしを遺憾とす。以下第五表に至るもの凡て皆然り。之が爲に β に對する K の値の變化の狀態を察するに稍不便を感じるも、尙ほ實測値が算出値に比し著しく鈍重の變化を呈せるを見るを得べし。

特に此表を前表と比較すれば、 φ の値の 6° の増加に對する K の値の變化が實測値に於ては僅少なるに係はらず、算出値に於ては著しく減少せるを見るべし。多年用在來公式の使

用に馴れ来りたる著者は斯くの如き K の實測値の變化の輕少なるに信を置き難く、且又、(5) 行の $\delta = \varphi$ なる場合の公式算出値が實測値より過少なる K の値を與ふる事實に不審を抱き、 φ の實値の更らに高度なる材料に就きて之を確かむる必要を感じ、取り敢へず本實驗に使用せし豆砂利を一粒づゝ鐵槌もて半割とし、之を實驗に供して次の第三表を得たり。

第三表

半割小砂利 $w=1526.3$ 粒/米; $\varphi=41^\circ$

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
-37°	0.1415	0.1584	+12.0	0.1107	-21.7	0.1435	+1.4
-15°	0.2044	0.1816	-11.0	0.1304	-36.0	0.2032	-0.6
± 0°	0.2207	0.2076	- 6.0	0.1532	-35.0	0.2256	+2.2
+15°	0.2397	0.2384	- 0.5	0.1814	-24.8	0.2407	+0.4
+30°	0.2790	0.2736	- 2.8	0.2155	-22.8	0.2820	+1.7
平均	—	—	- 1.5	—	-27.9	—	+1.0

上表に見るか如く、(2) 行の實驗値に比し (3), (5) 行の公式にて算出せる K の値が著しく過少となり、 $\delta = \varphi = 41^\circ$ の場合の (5) 行の如きは平均に於て 27.9% の過少となれるを知る。

更に宮城縣石巻町内五松山公園産粘盤岩の碎砂利を使用して實驗せるに第四表に示すが如き結果となり、 β に就ては勿論 φ に関して K の値の變化の狀勢が實測と公式とによりて甚だしく相違せるは最早疑ふ可からざるが如し。

第四表

碎砂利 $w=1455.4$ 粒/米; $\varphi=44^\circ$

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
-44°	0.1119	0.1316	+17.6	0.0907	-19.0	0.1097	-1.9
-21°	0.1824	0.1544	-15.0	0.1105	-39.4	0.1819	+1.4
± 0°	0.2073	0.1802	-13.0	0.1317	-36.0	0.2073	±0.0
+15°	0.2280	0.2045	-10.3	0.1585	-35.0	0.2203	-0.8
+30°	0.2570	0.2454	- 7.0	0.1993	-23.6	0.2570	+3.1
平均	—	—	- 5.5	—	-30.6	—	+0.5

最後に念の爲、第一表の實驗に使用せる砂と同産地のものゝ細粒を篩ひ去りてせるに、其の結果は次の第五表に示すが如し。

第五表

篩 砂 $w=1522.8$ 粒/米; $\varphi=34^\circ$.							
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
-34°	0.1749	0.2143	+22.5	0.1541	-12.0	0.1653	-2.0
-24°	0.2062	0.2780	+34.7	0.1686	-18.0	0.2104	+4.6
$\pm 0^\circ$	0.2498	0.2828	+13.2	0.2143	-16.0	0.2464	-1.6
$+15^\circ$	0.2657	0.3328	+25.2	0.2638	- 0.6	0.2613	-1.0
$+30^\circ$	0.3172	0.4793	+51.7	0.4066	+28.0	0.3042	-2.9
平均	—	—	+29.5	—	-24.0	—	-0.7

5. 土體内部の摩擦角

前節に於て K の値を實測と公式とにて得たるものに據りて比較對照せる結果、 K の變化が實測にては β や φ に関して極めて鈍重なるに公式の與ふものにおいては頗る敏感なるを知れり。實驗が安定土體に就て行れたるに反し、在來公式が土體の崩壞を前提として誘導されたるものなる以上、如上の相違は寧ろ當然なりと看做すべきに似たるも、只看過し難きは、 K の數値の差違の正負が常に一樣なるを得ざるにあり。而して其の正負の別が β にのみ關して現はるゝものは別問題として、茲には φ の値の大小に因る影響のみに就て考察せむに、前節各表中 $\beta = \pm 0^\circ$ なる場合の K の値を摘出して、 φ の順次に配列すれば次の第六表を得。

第六表

φ	實測値	φ の每 1° に對する K の減少値	公式算出の K , $\delta=0^\circ$	φ の每 1° に對する K の減少値	公式算出の K , $\delta=\varphi$	φ の每 1° に對する K の減少値
30°	0.2523		0.3333		0.2599	
34°	0.2498	0.0006	0.2328	0.0128	0.2143	0.0114
36°	0.2454	0.0020	0.2585	0.0122	0.1946	0.0100
41°	0.2207	0.0050	0.2076	0.0102	0.1532	0.0083
44°	0.2073	0.0045	0.1802	0.0091	0.1317	0.0072
平均	—	0.0032	—	0.0109	—	0.0091

上表に見る如く、公式にて算出せる K の値は $\delta=0^\circ$ の場合に於て 41° にて實測値より過少なるに、 $\delta=\varphi$ の場合には、已に早く $\varphi=34^\circ$ に於て K の値の過少を示し、特に $\varphi=30^\circ$ に於て K の値が實測値に殆んど近似せるは注意すべきなり。

上記の如く公式算出値が實測値より小となるは φ の増大するに従ひ K の値が急激に減少するが爲にして、それは上表中各行の K の値の右側に附記せる φ の每 1° に對する

K の減少値に由りて明かにして、公式算出の K の減少値が實測のものに比し平均約 3 倍せるを見る。かゝる結果に直面せる著者は其の何れが正しきかを判定する前に所謂土體内部の摩擦角なるものに就て静思するの必要を痛感する者なり。

土の摩擦力は息角に由りて決定する外に、直接測定方法として諸書に記載せるものは土體を剪斷するにありて、著者も本實驗に於て兩 3 回之を試みしも、所謂“若し將に剪斷せられむとし辛うじて平衡状態を維持”せる抵抗力は、粗砂以上の粒質土體に在りては、剪斷面に於ける表面接觸に因る摩擦力のみならずして、此の抵抗力と前後して土粒相互の咬み合ひに因る抵抗力を生ずるが故に、實測者が加ふる剪斷力は先以て此の咬合状態の變更の爲に其の一部或は全部を消費せられ、夫が又剪斷面と交叉せる土粒及び之に隣接せる土粒によりて剪斷面の上下部土體内部に傳播さるゝことゝ成る。されば上記の所謂“平衡状態”なりと認むべき剪斷力に可成に廣き幅行あり、何れが眞の値なりや判断に苦しまざるを得ず。況や各土粒間の空際の配置如何が平衡状態の時機を誤認せしむるが故に、結局は實驗装置の大規模なるを欲するに至るも、かくては土粒其の物の應剪力さへ加はりて問題は益々紛糾すべきなり。かゝる次第なれば著者は半途にして此の實測方法を放棄し、從來の慣例に従ひて息角を測定して、之を以て摩擦角を代表せしむること前に述べしが如くせり。

然れども咬合の影響は之を無視すべくも非ざるは前掲第六表(6)行に見るが如く $\varphi=30^\circ$ に於けるものゝ外は公式算出の K の値が凡べて實測値より過少なるにて明かならむ。之を詳言すれば $\varphi>30^\circ$ の場合には φ は土粒相互の接觸摩擦力の外に咬合より生ぜる抵抗力に影響せられたる一種の合成抵抗力を律すべき角度なるを、何等修正を加ふること無しに、之を其のまま公式に代入せしが爲に K の値の過少を來たせしとよりは解せられざるなり。然らば φ の修正方法を如何様にすべきか。之即ち次節以下に説かむとするものなりとす。

6. 土體内部の假想的構造

土木工事に於て、土體の基底面として、水平面が採用せらるゝを通常とするは、夫が土體の安定上最有利なるが故なるは勿論にして、本實驗に於ても實驗土槽の底面を水平ならしめたり。斯くの如く、水平基底面を採用せる上は、此の上に休止せる土體の内部に水平層面の存在を假想するは強ちに不合理ならざるべし。否、著者は安定土體の内部には必然的に此の層面の成立せるを假想せむと欲する者なり。何となれば、土體の自重より生ぜる鉛直壓力を支持しつゝ上方より下方に安全に傳達せむには、水平層面の存在を假想せむとするは當然の要望なればなり。

次に土體内部に假想さるべきは、安息面に平行なる層面なりとす。既に 5. 節に説きし如く、所謂土體内部の摩擦角を息角 φ にて代表せしむるの止む無きに至りたる以上、上記の

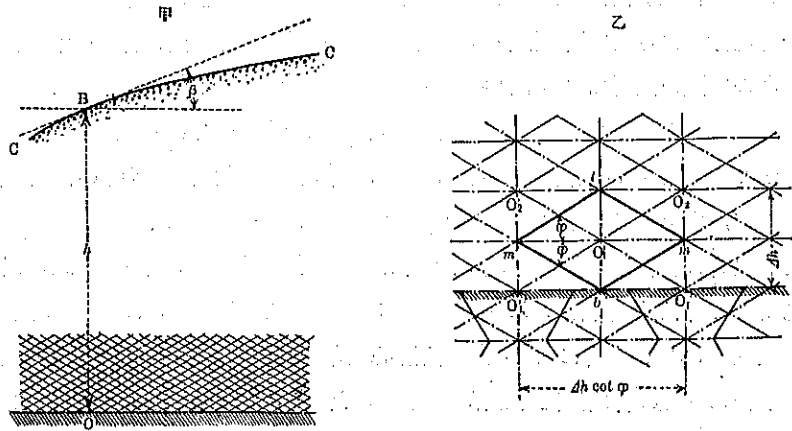
如き安息面に平行なる層面の存在を土體の内部に假想するも亦由無きに非ざるべし。而して、此の層面は土體内部の性質を表示すべき重要なものなれば、特に之を息角面と稱し、土體表面の安息面と區別せむ。

最後に尙假想され得可きものは土體内部の鉛直壓力を收むべき鉛直面なりとす。

斯くして吾人は土體の特性を表示すべき 3 種の平面を土體内部に假想するを得たり。今尙一つ殘されたる問題は本實驗に於て取扱へる土體が凡て砂又は礫質なれば、土體が如此小固形塊の累積物たる特質を如何様に表示すべきかにあり。

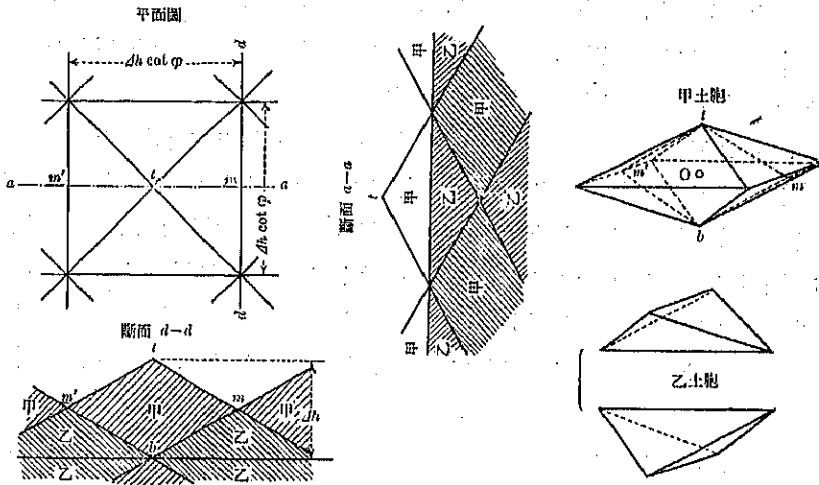
今假りに第二圖 乙 の如く、土體内部の任意の一點 O を通し、前記せる 3 種の平面に平

第 二 圖



行なる直線を鎖線にて表はし更に O を中心とし、土體内部の總土粒の平均高さと同看做さるべき dh の長さを鉛直鎖線に取り b, t 2 點を定む。是等 2 點の夫々を通ずる息角面は乙圖の如く $bmtm'$ なる菱形を形成し、3 種の鎖線は其の中軸線を成す。而して m, m' 2 點の夫々を通ずる鉛直鎖線が隣接菱形の中軸線を成し、 O_1, O_2, O_1', O_2' 等が該隣接菱形の中心點に相當するは圖によりて明かなるべし。此の作圖法を土體横斷面の全部に及ぼせば該横斷面は菱形にて等齊に區劃されたることゝ成るは勿論なり。然るに圖面に直角なる縦斷面に於ても、前記 3 種の假想平面は夫々鎖線として現はるべきに由り、結局土體の全體積は第三圖に示すが如き甲、乙兩種の多面體にて分割さることゝなる。而して甲は 4 對、乙は 2 對の息角面にて圍まれ、土體内部に於て交互に水平層を成して全體積を填充せり。之等區劃の各々を一種の固形體とすれば、其の比重は勿論土體の比重と等しく、其の大きさを實際の土粒に近き物とせば、形狀、大小共に千差萬別にして到底數理上の取扱に耐へざる土粒の代表物として上記固形體採用し得べきなり。之等固形體を假りに土胞と稱し、土體内部は第三圖

第三圖



に示せる如き土胞組織にて構成さるゝものと假想し、以つて土體が小固形塊の累積體たる特質を明示し、土粒相互の咬合の影響を理論に反映せしむ。之に依つて咬合に因る抵抗力に對する修正が土體内部の構造の假想に由りて自ら成し遂げらるゝことゝなり、従つて土胞相互の表面摩擦角は咬合作用に無關係に、安息角 ϕ に等しとし、土體内部の摩擦角を代表せしめ得。

斯くして得たる土體内部の假想構造圖は土壓論に必要な要件を具備し、力學上の所理を簡明ならしむと雖も、只一つ土胞が或る傾斜表面を形成し得る特質の表示を缺けり。蓋し此の特質は土體内部に摩擦角を保有せるに因りて生ぜる第二次的の性質なるべきが故に、之が影響は單に數理上の問題として、次節に於て解説することゝせむ。

7. 土體の安定作用

土體が安定するに當り其の體積に幾分の壓縮沈下を生ずるは吾人の常に目撃せる所にして、築土中の搗固作業や水浸方法は畢竟此の壓縮沈下を促進し、土體の安定作用を助成する手段に外ならず。本實驗に於ても、凡ての作業に静肅を旨とせしも尙供試土砂の填充引均等に因りて少からざる衝動を生じ、期せずして土體の安定を助成しつつありしなり。

勿論之等一時的の衝動は安定作用に要する經過時間を短縮するのみにして、土體の内應力には差したる影響無しと雖も前節に説けるが如き假想的構造を有する土體にありては其の内部組織に動搖を來たすは明かなり。何となれば、該構造圖に見るが如く、各土胞は夫が當然受くべき鉛直壓力を受授すべき水平周面を有せずして、却つて土體内部を貫通せる息角面を

以つて相互に接觸することにより、辛うじて均衡を保てるに過ぎざれば、些少の衝動も忽ちに摩擦力の均衡を破り、土胞相互の摺動、従つて土體内部の動搖を惹起すべきなり。此の際土體の受くる衝動にして適度ならば土體の安定作用は順調に、下層より上層に向ひ進捗し所謂壓縮沈下を見るに至つて土體は完全に安定す。

以下前節に示せる假想構造圖に據り、上述の經過を、項を追ひて解説せむ。

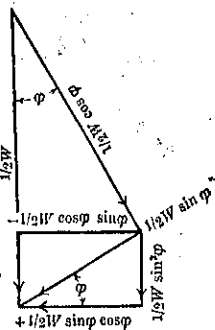
(1) 鉛直壓力 土體内部を構成せる土胞は總て夫々の鉛直軸を中心として 累積せること前節の假想構造圖に於けるが如しとせば、各土胞が其の方向の壓力を受くべきは明かなり。されば第二圖甲に於ける O を中心とせる土胞の受くべき總鉛直壓力 W は、 \overline{OB} なる鉛直高を h (以下之を O 點の土頭と稱す)、 O 土胞の O 點を通ずる水平斷面積を ΔA 、土體單位容積の重量を w とせば $W = wh \Delta A$ にして、 $\Delta A = (\Delta h \cot \varphi)^2$ なること第三圖に據りて明かなり。

上記總鉛直壓力 W は便宜上之を二等分し、其の各々を假りに全鉛直壓力と稱し、夫々土胞下半部左右兩側の斜面 \overline{mb} , $\overline{m'b}$ の一對、並びに前後兩側の斜面の一對に向ふものとす。

(2) 主壓力 前項に記せし、全鉛直壓力 $= \frac{1}{2}W$ は必ずしも左右或は前後の兩斜面の各面に等分値を以つて作用するに非ずして、土胞表面摩擦力の程度に因り強弱の別を生ずるは次に説くが如し。

前項に記せる如く、 \overline{mb} , $\overline{m'b}$ は全鉛直壓力 $\frac{1}{2}W$ を支持すべきなるも、兩面の傾斜角は

第四圖



息角 φ に等しきが故に、摩擦力の全部を盡くして滑動力に均衡するを要し、些少の衝動にも耐へざるは明かなり。之が爲に上方の土體は動搖し、全鉛直壓力 $\frac{1}{2}W$ は交々上記二斜面上に働き、 O 土胞は一種の嵌入運動を爲す。従つて此の際兩面の各々は、垂直壓力 $= \frac{1}{2}W \cos \varphi$ と、各面に沿ふ、降下力 $= \frac{1}{2}W \sin \varphi$ との二分力にて作用せらるべし(第四圖参照)。上記降下力は垂直壓力に由りて生ぜる、摩擦力 $= \frac{1}{2}W \cos \varphi \tan \varphi = \frac{1}{2}W \sin \varphi$ にて均衡さるべきなるも、上記の嵌入運動の爲に b 點に於ける O 土胞の稜角は崩れて水平底面 $\overline{bb'}$ を生じ兩側面は其の中點を軸として廻轉し、傾斜角

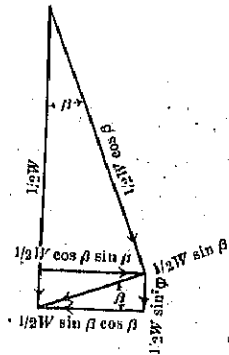
θ を成すこと第六圖の如し。此の間兩側面に交々働きつゝありし全壓力 $\frac{1}{2}W$ の一部は漸次に側面を去つて水平底面 $\overline{bb'}$ に移動すべし。然れどもかゝる動搖期間に於て、果して幾何の鉛直壓力が兩側面に殘存すべきかは決定するに困難なるも、前記假想構造破綻の直前に於て摩擦力に依りて均衡されたる、降下力 $= \frac{1}{2}W \sin \varphi$ の鉛直分力 $= \frac{1}{2}W \sin^2 \varphi$ は土體の本質に因りて定まれる不變値として、動搖期間を通じ常に兩側面に働けりと假定し、各種應力決定の基礎とせむ。

斯かる理由によりて、本書にては上記鉛直力を假りに主壓力と稱し、次項の副壓力に對せしむ。

(3) 副壓力 土體が夫々一定限度内の傾斜表面を保持し、其の最大傾斜角は内部の摩擦角に等しきは土壓論に於て一般に唱道せらるゝも、地表面傾斜の影響が如何にして土體内部に及ぶかは未だ明確に解説せられざるが如し。然るに前項に於けるが如く、土體の安定が適度の動搖に因つて達せらるゝとせば此の動搖中に地面傾斜の影響が土體内部に傳播すべきは推定するに難からず。

7 節第二圖甲に於て O 點を通じ地表面に平行なる層面を假想し、本節(1)項の全鉛直壓力 $= 1/2 W$ を O 點に於ける假層面の切線に垂直なると平行なるとの二分力にて代置すれば、前者 $= 1/2 W \sin \beta$ は假層面上切線の方に降下せむとする力にして、之に對し後者 $= 1/2 W \cos \beta$ は假層面を垂直に壓迫して摩擦力 $= 1/2 W \cos \beta \tan \beta = 1/2 W \sin \beta$ を發現し前者の降下力と均衡すべきも、本論の基礎とせる土體の假想構造にては、上記の平行層面を認め得ざるのみならず、前項に述べし如き土體の動搖は、此の場合に

第五圖

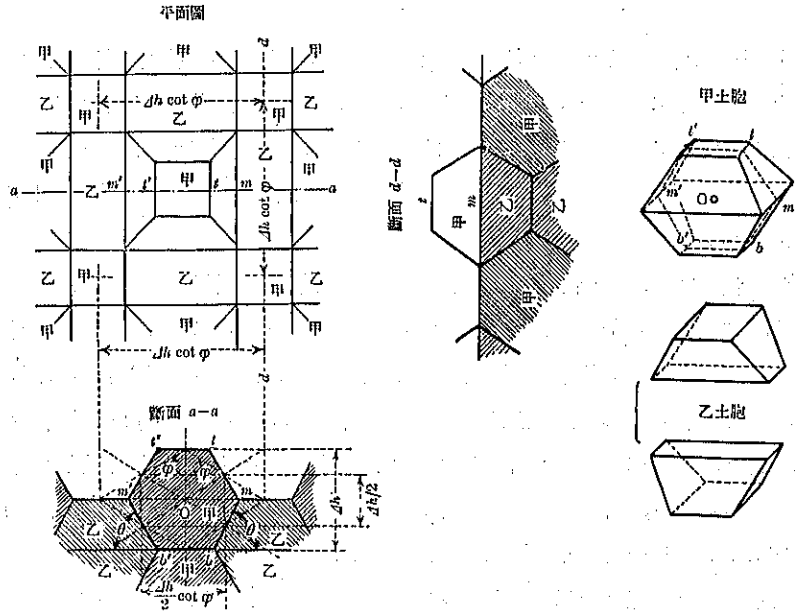


於ても同様に上記の均衡を妨ぐべきは明かなり。されば本論にては、上記降下力を水平と鉛直との二分力にて代置すること第五圖の如し。然るときは水平分力は前記垂直力の水平分力と消殺し、該垂直力の鉛直分力は復歸して全鉛直壓力の一部と成るも、只獨降下力の鉛直分力のみは地表面傾斜の影響を代表して全鉛直壓力に結合し $1/2 W \times (1 \pm \sin^2 \beta)$ を成す。但し括弧内の符號の正負は β の正負に従ふ。従つて地表面傾斜の影響を受けたる主壓力の値は $1/2 W (1 \pm \sin^2 \beta) \sin^2 \varphi$ に等し。之が括弧を取り拂へば $1/2 W \sin^2 \varphi \pm 1/3 W \sin^2 \varphi \sin^2 \beta$ にして其の初項は(2)項に記せる主壓力の値に等しく、次項は主壓力 $1/2 W \sin^2 \varphi$ と $\sin^2 \beta$ との乗積に等しく、同時に地表面傾斜の影響を表はす者なれば、該影響は主壓力に正比例せるを知る。されば此の影響を表はす鉛直壓力を主壓力に對する副壓力と稱す。之等兩力は共に土體の安定作用の要素たる動搖に因りて發現せるものなれば地表面傾斜せる場合には常に前記の如く結合して \overline{mb} 又は $\overline{m'b}$ に作用すべきなり。

土胞前後の側斜面に對しても同様の鉛直壓力が作用すべく、只其の値は前記の者の β に代ふるに β' を以つてするを異とするのみ。

(4) 摺動力 O 土胞の右側斜面 \overline{mb} は第六圖の如く φ より大なる傾斜角 θ を成せるが故に、此の面に働く主副兩鉛直壓力の合成力は此の面に沿ふ摺動力を生ずべし。即ち第七圖に於て \overline{po} は上記合成力 $= 1/2 W (1 + \sin^2 \beta) \sin^2 \varphi$ を表はし、其の \overline{mb} 面への垂直分力を $\overline{pn} = \overline{po} \cos \theta$ 、平行分力を $\overline{no} = \overline{po} \sin \theta$ とせば \overline{pn} は \overline{no} に對し摩擦力 $= \overline{pn} \tan \varphi$ を

第六圖



生ずるが故に、 \overline{no} は夫れ丈減少して $\overline{fo} = \overline{no} - \overline{pn} \tan \varphi = \overline{po} (\sin \theta - \cos \theta \tan \varphi)$ と成る。此の \overline{fo} は即ち所要の摺動力に等し。

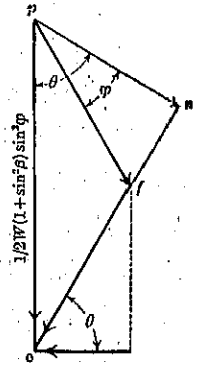
左側 $\overline{m'b'}$ 面の摺動力は右下方に向ふべきに地表面は之に反して左下方に向へること第二圖甲の如きを以つて、副壓力は負號を帯ぶべきなるも右側部の壓迫に因りて均衡上一種の受働作用を生ずるが故に此の面の摺動力も右側面 \overline{mb} と等値と成る。

O 土胞上半部に關しては、下半部に於けると同様に、近似的見地より土胞自體の重量に對する取捨を行はざるが故に、左右兩側斜面に沿ふ摺動力の値は下半部に等し。但し之等兩面に働く主副兩壓力は反働方向を探るべきが故に、摺動力の方向は夫々の面に沿ひて上向すべきなり。

次に O 土胞の前後兩側面の摺動力も上記同様に求むるを得べく、只此の場合に於ては β に代ふるに β' を以つてするを異とするのみ。

之等總ての摺動力の水平分力は左右並びに前後相對して夫々鉛直軸面に働き土胞の水平内應壓力を成すこと次節に説くが如し。又鉛直分力は夫々水平底面並に水平頂面に働き、土體の安定作用の最終的發現として壓縮沈下を生ずべきが故に土胞の全高 $4h$ も幾分の減少を見らるべきなるも其の量微少なるを以つて茲には之を無視す。

第七圖



8. 安定土體の内應力

安定土體の内部には其の構造上種々の應力の存在せるは前節に説けるが如きも、土壓力の算定に必要な 7. (1) 項の總鉛直壓力と、同節 (4) 項の摺動力の水平分力なりとす。就中後者は、夫れが擁壁に作用して所謂自働性土壓力と成る者なれば、以下之に就きて述べる。

上記水平分力を假りに $1/2 E$ とすれば、 $1/2 E$ は次の如し。

$$\frac{1}{2} E = \bar{p}_0 (\sin \theta - \cos \theta \tan \varphi) \cos \theta = \frac{1}{2} W (1 + \sin^2 \beta) \sin^2 \varphi \frac{\sin(\theta - \varphi)}{\cos \varphi} \cos \theta$$

$$\therefore \bar{p}_0 = \frac{1}{2} W (1 + \sin^2 \beta) \sin^2 \varphi.$$

上式中の θ が φ 又は 90° に等しきときは共に E は零と成り、 $\varphi < \theta < 90^\circ$ の限界内に於て E を最大ならしむる θ の一定値の有るべきは容易に豫測し得べし。されば θ の此の如き値が $45^\circ + \varphi/2$ に等しかるべきは微分算上簡単に證明し得。

θ の此の値を上記 E 式に代入し、之を簡約すれば

$$\frac{1}{2} E = \frac{1}{2} W (1 + \sin^2 \beta) \sin^2 \varphi \frac{1 - \sin \varphi}{2 \cos \varphi}$$

上記 $1/2 E$ は O 土胞の上下各半部の水平内應力にして、兩者の合成力 E は該土胞の中心 O に働く全水平内應力に等し。

又上式中の β に代ふるに β' を以つてすれば前後の方向の水平内應力 E' を得。

次に O 土胞内の鉛直並に水平内應壓力強度を求めむに、總鉛直壓力 W が O 土胞に働く面積は $\Delta A = (dh \cos \varphi)^2$ に等しきこと前節 (1) 項に記せるが如くなるを以つて、 O 點に於ける鉛直壓力強度は次の如し。但し此の壓力強度を v とす。

$$v = \frac{W}{(dh \cot \varphi)^2} = \frac{wh \Delta A}{(dh \cot \varphi)^2} = \frac{wh (dh \cot \varphi)^2}{(dh \cot \varphi)^2} = wh$$

又 O 點に於ける水平内應壓力強度を e 、 O を通じ圖面に直角なる鉛直斷面積を ΔH とすれば $e = E/\Delta H$ にして ΔH は第二圖乙の假想圖に據れば $1/2 dh \cdot dh \cot \varphi$ に等しきは明かなるに、安定後の土胞に於ても、上記斷面の兩側斜邊が其の中點を廻りて回轉せること第五圖の如くなるを以つて、其の面積に變化無きは容易に證明さるべきなり。されば e は次の式にて表はし得。

$$\begin{aligned} e &= \frac{E}{\Delta H} = \frac{W(1 + \sin^2 \beta) \sin^2 \varphi (1 - \sin \varphi)}{2 \Delta H \cos \varphi} \\ &= \frac{wh (dh \cos \varphi)^2 (1 + \sin^2 \beta) \sin^2 \varphi (1 - \sin \varphi)}{2 \cdot 1/2 dh \cdot dh \cot \varphi \cos \varphi} \\ &= wh (1 + \sin^2 \beta) \sin \varphi (1 - \sin \varphi) \end{aligned}$$

上式中 β に代ふるに β' を以つてすれば圖面に直角なる方向の水平壓力強度 e' を得ること前と同様なり。

9. 自働性土壓力及び其の檢證

第二圖 甲の O 點を通じ、圖面に直角なる鉛直面を以つて土體を第八圖の如く左右に分割すれば、分割面 \overline{AB} 内の O 點の水平壓力強度は前節に記せる e に等しきも、分割面 $\overline{A'B'}$ 内の點 O' に於ては右方よりの水平壓迫力 e の作用を缺けるが故に、6. 節(4) 項に記せる受働作用を爲さず、却つて $(-\beta)$ の影響に因り、前節に掲げし e 式中の $\sin^2\beta$ の符號は負と成る。されば一般に e 式は次の如く表さるべし、

$$\pm e = wh(1 \pm \sin^2\beta) \sin\phi(1 - \sin\phi)$$

上式に見るが如く、 e は鉛直高 $\overline{OB} = h$ 、即ち本書に所謂 O 點の土頭に比例せるが故に、分割面の全高 H に對する全水平壓力 E は次の式にて表はされ、其の働點は A 點より H の $1/3$ の點に在るべきは容易に證明さるべし。

$$\pm E = 1/2 wH^2(1 \pm \sin^2\beta) \sin\phi(1 - \sin\phi)$$

上式は砂又は礫質土體に對する著者の觀念と實驗とに基付き、普通の土壓論を參照して案出せる自働性土壓力公式にして、之を $E = 1/2 wH^2 K$ にて表はすこと 4. 節に於けるが如くにして、 K の實驗値と上記公式に據る算出値とを比較對照し、同節各表の (7), (8) 兩行に記入せり。

實驗が砂又は礫質土體の $\phi = 30^\circ$ 乃至 45° なる範圍内の材料に就て行はれ、 E 式も亦此の種の土體の特質を基礎として誘導されたれば、異種の土體に對しては尙研究の要あるも、或は此の一斑に據りて全豹を察するの一資料たるを得むか。

(完)

第八圖

