

講 演

第 20 卷 第 13 號 昭和 9 年 12 月

粘土及び寒天を用いた地滑りの模型實驗

(昭和 9 年 10 月 27 日土木學會創立 20 周年記念講演會に於て)

會 員 工 學 士 野 坂 孝 忠*

The Experiment of Landslide with Models made of Clay and Aga-aga

By Takatada Nosaka, C. E., Member.

内 容 梗 概

軟く練つた粘土及び煮溶した寒天を前面に硝子を張つた箱の中に勾配狀に填め、これを直立して自重によつて斜面の變形滑動する狀況を寫眞に撮影觀察した。この模型實驗によれば地滑り或は斜面の滑動は圓形に近い滑り面に沿つて材料が流動するものと考へられる。

尙鑄込んだ寒天の表面に表はれる襲の形から、隧道の周圍、基礎地盤などの模型に發生する應力の方向をも觀察することが出来る。

1. 緒 言

軟く練つた粘土及び鑄込んだ寒天で作つた模型を用ひて、地滑り或は一般に地盤の變形、崩壞の機構を検べた。普通土壓論或は基礎地盤の安定の問題は(彈性理論による取扱ひを除けば)崩壞した土の安定を論じてゐるものである。例へば Coulomb, Rankine の土壓論は勿論 Kurdjümoﬀ¹⁾ が實驗的に取扱ひ、Krey²⁾, Reissner³⁾ 等が解析した地盤の破壞による基礎の沈下の問題など、何れも最大剪應力の面で剪斷された土塊の安定を論じたものである。

地盤の崩壞の一例である地滑りを力學的に取扱つたのは、Résal⁴⁾, Frontard⁵⁾ の滑り面を deformed cycloid とする斜面の安定の解析と、瑞典 Göteborg 港の岸壁の地滑りを圓錐形滑り面に沿ふ滑動とした Petterson⁶⁾ の假定に基いて Hultin⁷⁾ が解析し、後に Krey⁸⁾, Fellenius⁹⁾ が斜面の安定を論ずるに用ひた圓錐形滑り面を假定する圖式解法などが擧げられる。これらの中 Résal, Frontard の滑り面が cycloid となる解析は恰も土壓

* 東京帝國大學助教授

1) Kurdjümoﬀ: Zur Frage des Widerstandes der Gründungen auf natürlichem Boden, Der Civilingenieur, 1892.

2) Krey: Erddruck, Erdwiderstand und Tragfähigkeit des Baugrundes, 1920.

3) Reissner: Zum Erddruckproblem, Proc. 1st Intern. Congr. f. Appl. Mech., 1925.

4) Résal: Poussée des terres, 2me Part., 1910.

5) Frontard: Cycloides de glissement des terres, Comptes Rend. Hebd. de l'Acad. Scienc., 1922.

6) Petterson: Kajraset i Göteborg d. 5ten Mars, 1916, Teknisk Tidskrift, 1916 Häft 30.

7) Hultin: Grus fyllinger för Kajbyggnader, Bidrag till deras stabilitet, Teknisk Tidskrift, 1916 Häft 31.

8) 2) と同じ。

9) Fellenius: Erdstatische Berechnungen mit Reibung und Kohäsion, 1927.

論に於ける Rankine の理論に於て滑り面が水平方向と $\frac{\pi}{4} \pm \frac{\theta}{2}$ (θ は土の摩擦角)の傾きをなす平面となる結果に相當し、圓錐形滑り面を假定する Krey, Fellenius の圖式解法は恰も Coulomb の土壓論が平面滑り面で境された楔型の土塊を假定してその安定を論ずるに相當してゐる。而して Coulomb の土楔の假定は次の實驗も示す如く正しいことが認められるが、地滑り即ち斜面の崩壊は如何なる機構によつて起るものか、それを甚だ簡單ではあるが以下に示す如き方法によつて調べてみた。尙圓錐形滑り面を假定した斜面の安定の解析には山口昇博士¹⁰⁾の“地之りの深さに就て”がある。

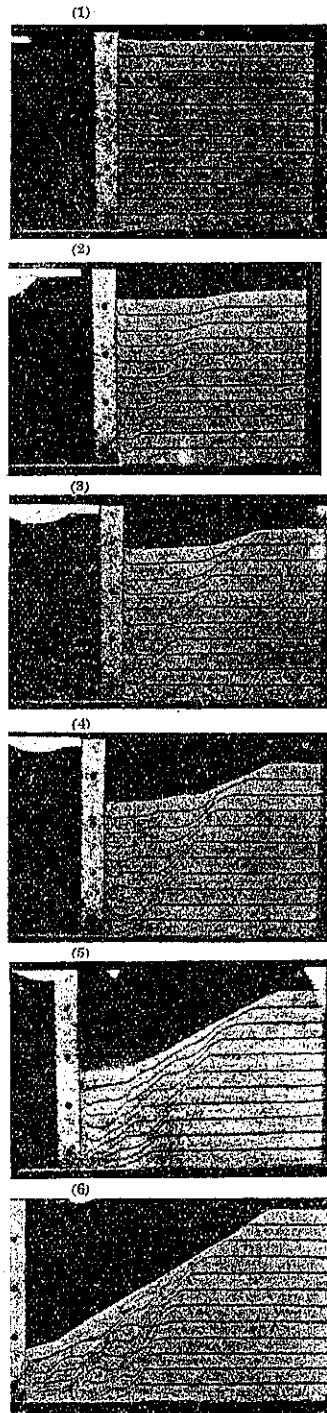
2. 實 験

1. 壁の背後の土の崩壊 移動する壁の背後の土の崩壊に就ては古く Forchheimer¹¹⁾の白黒の砂を水平の互層に填めて行つた實驗があり、近く

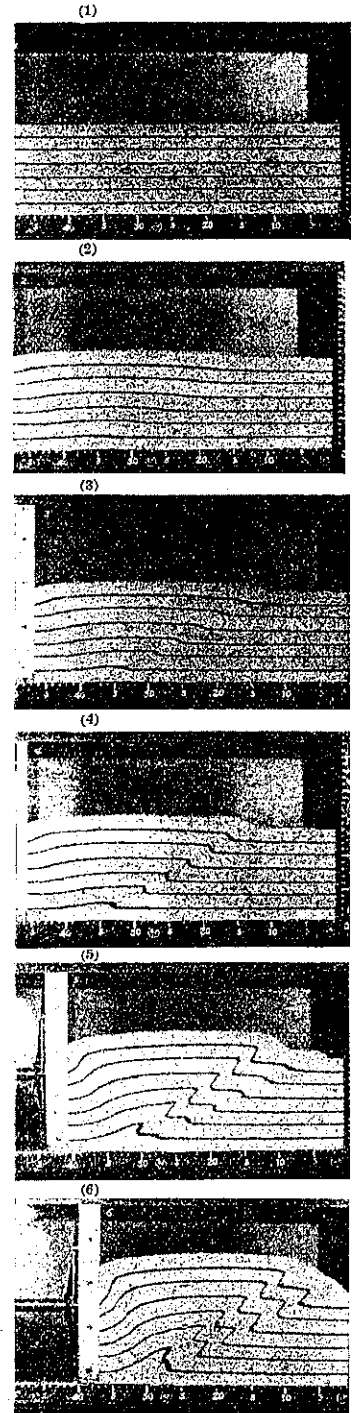
10) 山口昇, 地之りの深さに就て, 土木工學 1933 年, 同補遺, 同誌 1934 年

11) Forchheimer: Versuche über Gleitflächenbildung und Schichtenfaltung, Neues Jahrbuch f. Mineral. Geol. Paläont., 1893, Bd. 1.

第1圖 乾いた砂を水平に填め左方の直立壁を左方へ引き出した際に表はれる滑り面



第2圖 乾いた砂を水平に填め、左方の壁を右方へ押し込んだ際に表はれる滑り面

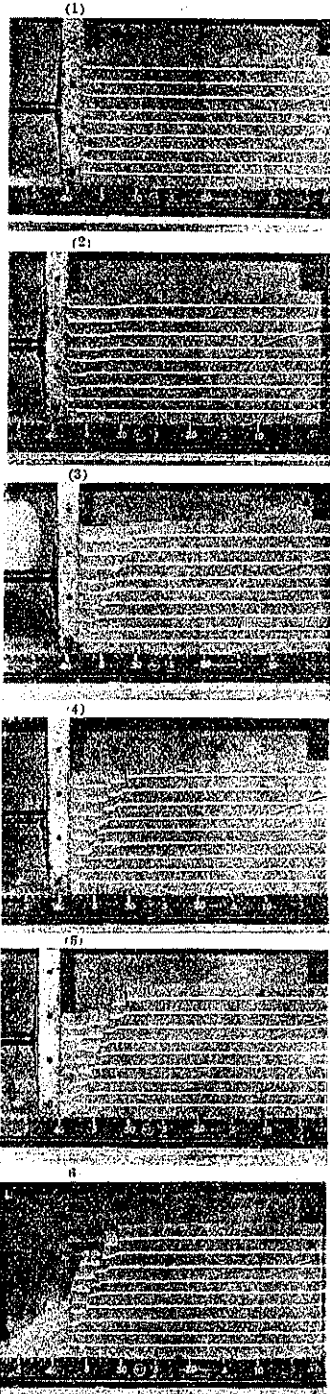


は寺田寅彦博士¹²⁾、鷹部屋福平博士¹³⁾の同じく乾いた砂を用いた研究がある。

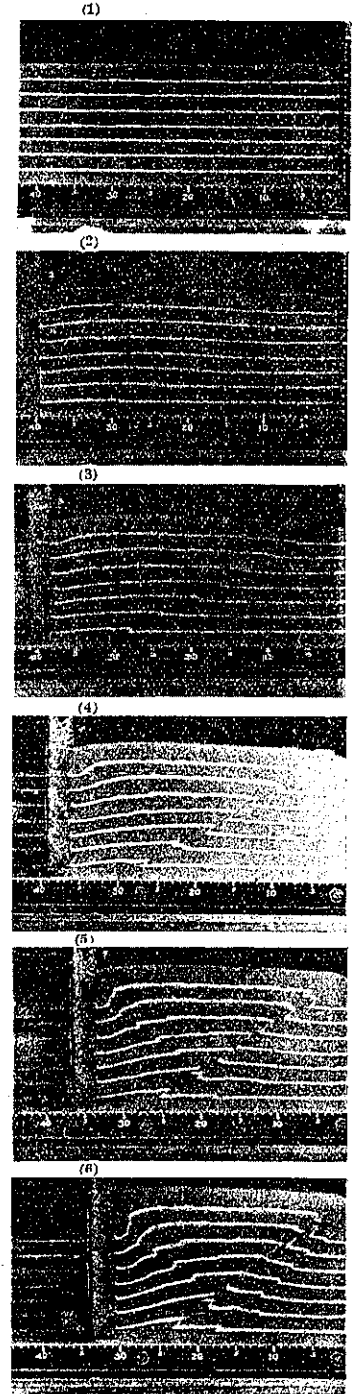
今乾いた砂(セメント規格試験用標準砂)を前面に硝子を張つた箱に正しく白黒の互層に詰め、片方の直立壁を前後に移動すると、壁の後方の砂は楔状の一塊となつて移動するを見る(第1圖及び第2圖参照)。この際滑り面は幾何學的の面ではなく或る厚さをもつた帯であることは寺田博士によつて指摘されてゐる。

今これと同一の實驗を乾いた非常に細かい粉體(Tylerの標準篩100番を通過する砂及び粘土の混合物)について行ふと、粗い砂と較べて異なる點は第3圖の如く滑り面は上端に於て少しく内側に彎

第3圖 乾いた粘土粉を水平に詰め、左方の直立壁を左方へ引き出した際に表はれる滑り面



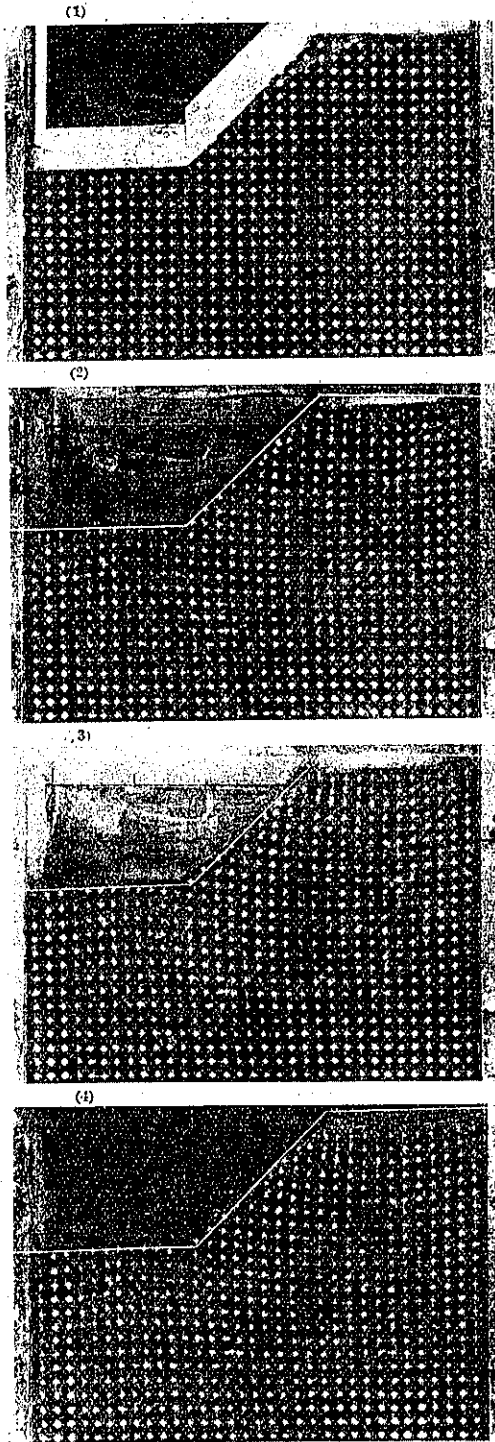
第4圖 乾いた粘土粉を水平に詰め、左方の直立壁を右方へ押し込んだ際に表はれる滑り面



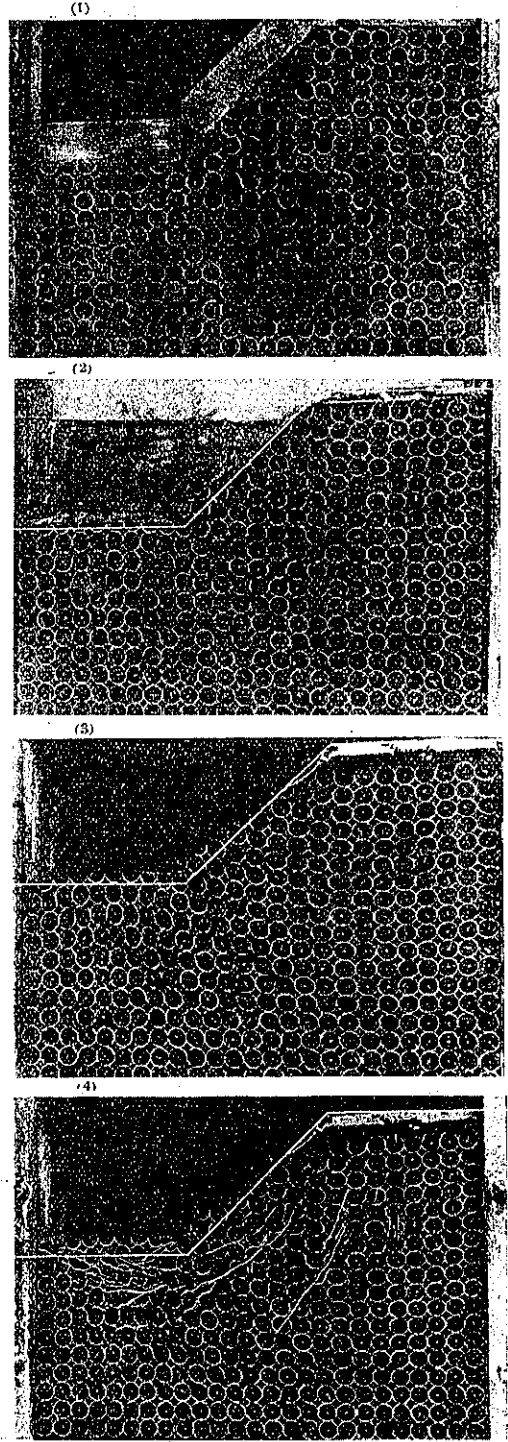
12) 寺田寅彦、宮部直巳：砂層の崩壊に関する實驗、東京帝國大學地質研究所彙報、第4號 1927年、第6號 1929年、第7號 1929年。

13) 鷹部屋福平：砂の内部崩壊運動に関する實驗的研究、土木學會發行、應用力學聯合大會講演集、1932年。

第5圖 軟く練つた粘土を斜面の形に填め、表面に滑石の白粉で斑點を書いた場合の自重による變形



第6圖 軟く練つた粘土を斜面の形に填め、表面に滑石粉で白い圓を畫いた場合の自重による變形

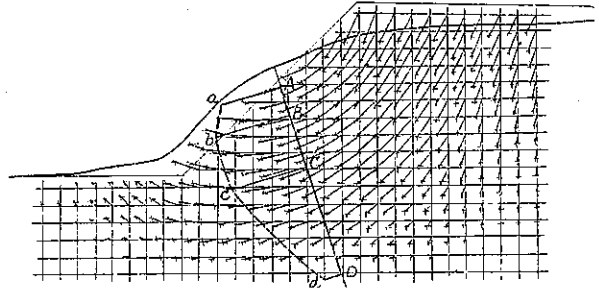


曲し(第3圖)、最初の間は滑り面は肉眼で見得る限り厚さのない面であることが認められる(第3圖、第4圖参照)。これは粒子が細かくなつたため、個々の粒子の間に粘着力を生じた故ではないかと考えられる。

何れにしても乾いた粉體に於ては Coulomb の假定した土楔の發生が認められることは、壁の倒壊の現象から入つて發達したとされてゐる Coulomb の土壓論の假定としては當然のことと思はれる。

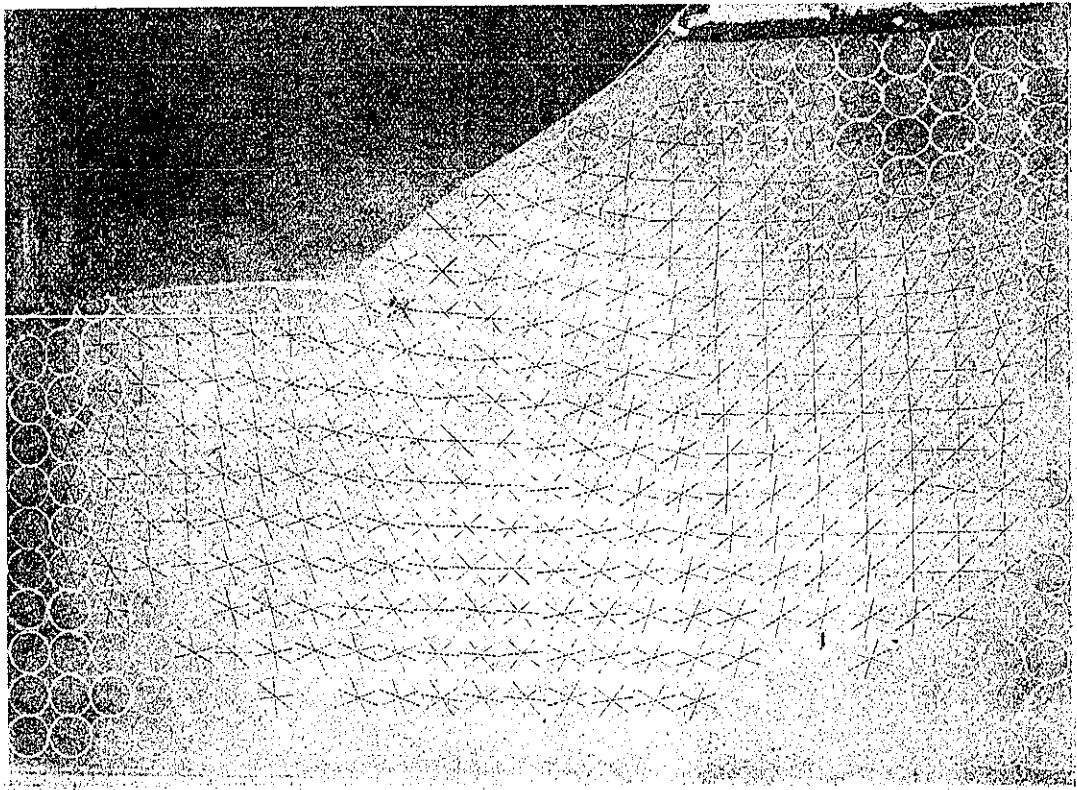
2. 斜面の崩壊、粘土を用いた実験 斜面の崩壊機構を検べるため、幅 50 cm、高さ 40 cm の前面及び後面硝子張りの箱(厚さ 12.5 cm)に、勾配 1 割、高さ 15 cm の斜面を與へる型枠を施して、この中に軟く(含水量 31~35%)練つた粘土(徑 0.02 mm 以下の粒子 43%、0.02~0.075 mm の粒子 36%、0.075 mm 以上の粒子 21%よりなるもの)を填める。填充には先づ箱を水平に置いて鍍で平に均し、表面に滑石の微粉を以つて 15 mm 目の白い斜模様及び半徑 10 mm の白い圓を畫く。然る後箱を直立して型枠を取外し粘土の自重による移動を観察し、これを逐時寫眞に撮つたものが第5圖及び第6圖である。

第 7 圖



次にこれらの圖から移動量及び變形率(從つて應力の方向)を求めんとするのであるが、簡單のため使用した粘

第8圖 第6圖の圖が變形して出來た橢圓に記入せる主應力及び最大剪應力の方向線

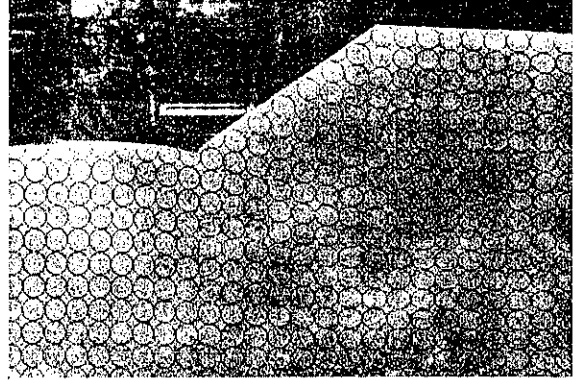


土が甚だ plastic なるため圧應力による變形は剪應力（或は滑り）による變形に比して高次の微小量と考へ、求めた變形は滑りによる變形のみと假定する。

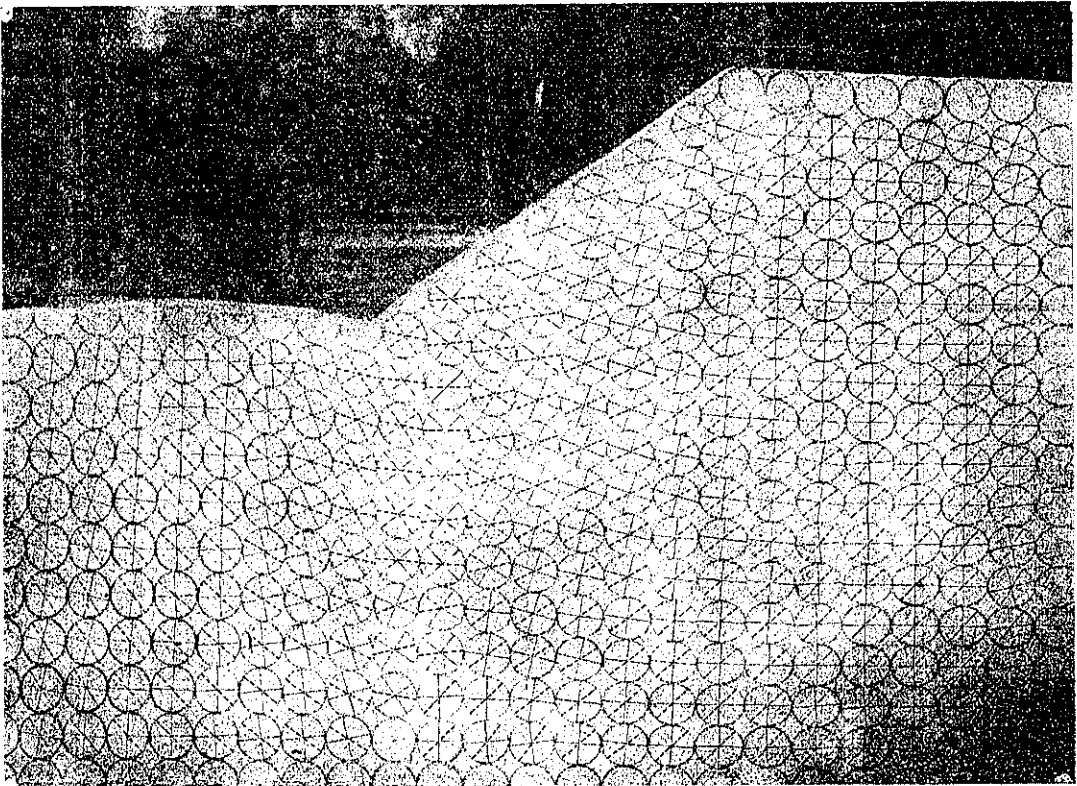
先づ耕機様の寫眞(第 5 圖)をとり、紙の上に各斑點の最初の位置と最後の位置を寫してこれらを連結すると第 7 圖を得る。これは粘土の plastic な流れによる移動量の分布圖であつて、圖に於て流れに直角の方向 AD 線上にとつた移動量圖を觀ると各斑點の間の相互移動は CD の間に於て特に著しく、BC 間は殆ど相互移動なく上方の土は一塊として移動する傾向のあることを知る。第 1 圖及び第 2 圖の乾いた砂の崩壊にも認められるやうに、滑り變形が斯くの如く或る部分に於て或る厚さに限られることは、

彈性限を超えた材料の變形が局部的集中を示す事實によるものと考へられる。次に崩壊の際に發生した變形率從つて應力の方向を求めるため、各小圓が橢圓形に變形せる第 6 圖 (2) をとる。一般に等方均質の物體に剪力が働くとその中に考へた圓形の微小部分は橢圓形に變形する。而してその橢圓の長軸及び短軸の方向は正及び負の主應力の方向に相當し最大剪應力の方向はこれら

第 9 圖 鑄込んだ寒天の表面に蒟蒻版のインクで圓を書き自重による變形を撮影す



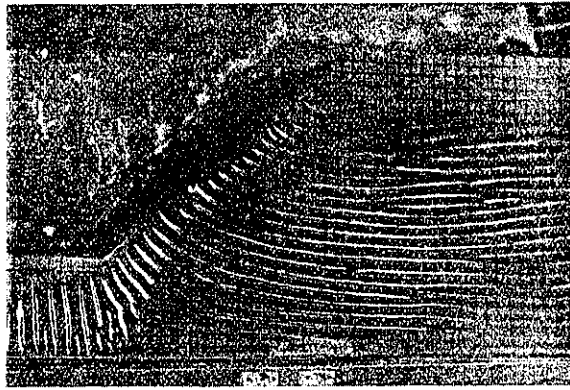
第 10 圖 第 9 圖の圓が變形して出來た橢圓に記入せる主應力、最大剪應力の方向線



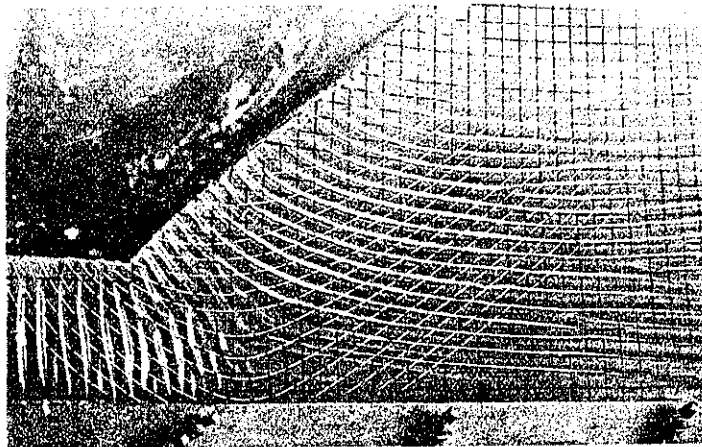
の軸に 45° ¹⁴⁾ の傾きをなす。そこでこれらの楕圓に従つて畫いた最大剪應力従つて滑り面の方向線は第 8 圖の如くなる。

寒天を用いた實驗 次に比較的よく弾性をもつて而も甚だ變形の大きい、寒天を用ひて如上の實驗を試みた。寒天を乾燥重量で水に對し約 1.5% に煮て鑄込んだものゝ表面に前と同じ斜及び圓の模様を蒔莖版のインクを以つて捺染し、硝子の内面に紙を張つて直立し、變形した楕圓の模様(第 9 圖, 第 10 圖参照)を紙に寫し採つて前と同様の作圖を施す。尙寒天の便利な性質はこれを水に對し約 1.3% 位に稍軟く煮ると、寒天の表面は直壓力に對し容易に buckle して表面に皺を生ずることである。この皺は明かに直壓力に直交すると考へられるから、皺の方向は正の主應力の方向を示すものと見てよい。従つてこの線に 45° に交はる線は最大剪應力の方向を與へる(第 11 圖第 12 圖参照)。

第 11 圖 斜面の形に鑄込んだ寒天の表面に發生した皺



第 12 圖 寒天の表面の皺に 45° に交はる最大剪應力の方向(破線)

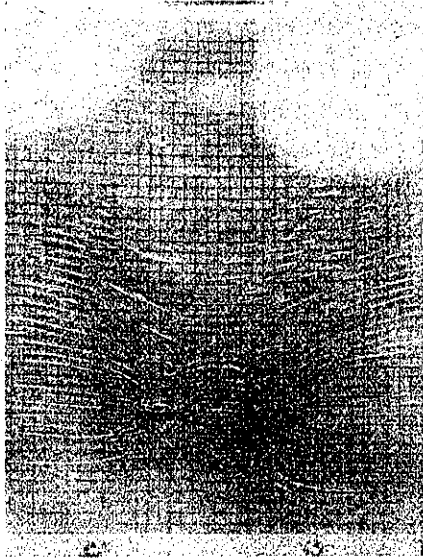


以上は簡単な實驗であるが第 10 圖と第 12 圖とから求めた最大剪應力の方向が略一致すること、又第 8 圖と

¹⁴⁾ 使用した粘土の抗剪強度は下の如き値である。茲には簡單のため摩擦角を 0 としたが、その影響を考慮に入れば 45° の代りに $45^{\circ} \pm \frac{\theta}{2}$ にとればよい。 摩擦角 θ° 3 8 8 7

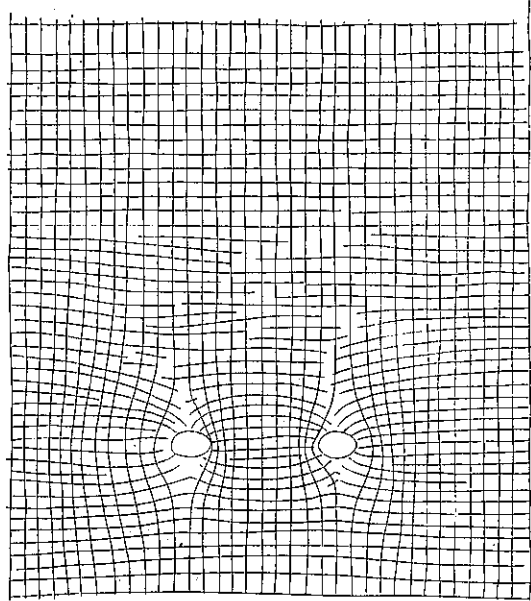
粘着力 c gr/cm² 10 8 8 5

第 13 圖 寒天の中に穿つた2個の接近する孔の周囲に表はれる皺



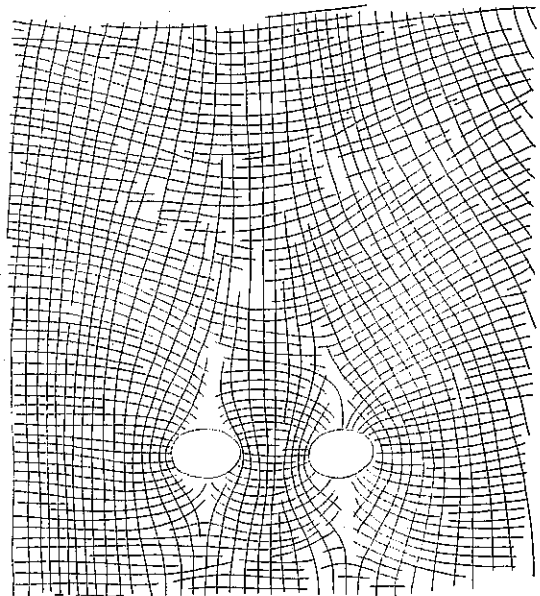
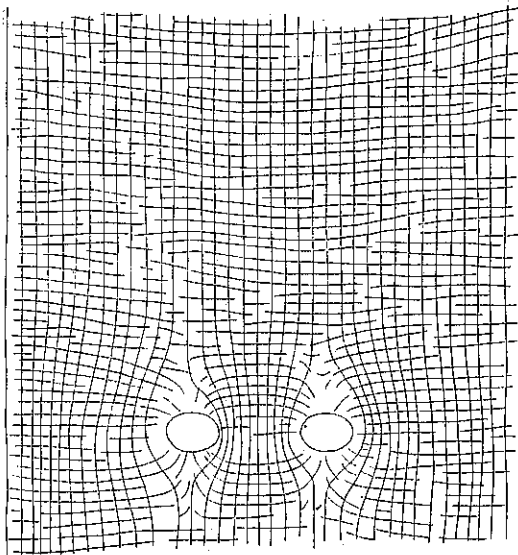
第 14 圖 2つの孔の附近に発生した皺（横線）とそれに直角に書いた曲線（縦線）

(1)



(3)

(2)



第 10 圖とが略一致することからみると、前掲の斜面の安定解析に用ひてゐる圓筒形滑り面の假定は、簡単な圖式解法の假定としては容認さるべきものと考へられる。

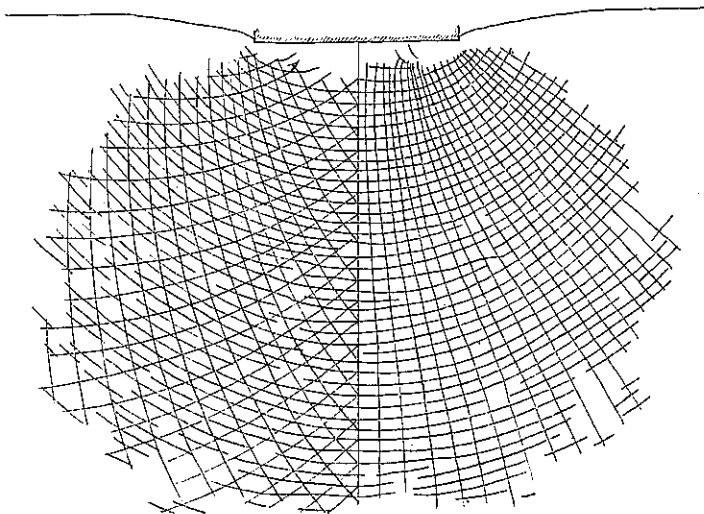
3. 寒天の皺による地盤應力の研究 寒天の表面に發生する皺が正の主應力の方向と一致することは甚だ便利であつて、地滑りの實驗とは別であるがこれを應用して地盤内に發生する應力の方向を検べ得る 1, 2 の例を示した。

隧道の周囲の應力狀況 第 13 圖は前記の箱に一杯に寒天を填めて下方に 2 個の圓形の孔を穿ち、これを直立した場合に孔の周圍に表はれる變である。この變の方向は正の主應力線と見做されるから、これを紙に寫しとつて變に直角に引いた曲線第 14 圖は負の主應力或は重力線の方角と見てよい。

例へば 2 つの接近して掘られた隧道が互に影響する狀況はこの圖によつて可成り明瞭に認められると思ふ。

基礎地盤の應力狀況 この問題は彈性理論によつても種々解かれてゐるが、この場合も寒天の變によつて應力の方向を求めれば第 15 圖の如き曲線を得る。

第 15 圖 鑄込んだ寒天の上面から角錐體の荷重を加へた際、寒天の表面に表はれる變（横線）と之に直角及び 45° に交はる曲線



以上の模型實驗を通じて甚だ遺憾な點は、地盤の破壊機構又は彈性變形の狀況は多少明かにすることが出来るが、壓力或は應力の値を簡單に求め得ぬことである。