

土の均一性について

正員 工学博士 最上 武雄*
 准員 箭内 寛治**

ON THE UNIFORMITY OF SOIL

(JSCE Jan. 1951)

Dr. Eng. Takeo Mogami, C. E. Member, Kanji Yanai, C. E. Assoc. Member

Synopsis With the predictions that the mechanical properties of soil would have narrow relations with the distribution of porosities or moisture contents within the soil sample, the electric resistivities at various places on the surface of the sample were measured and the variations, namely the average of the squares of the deviations from the average, of their values were calculated.

The variations thus obtained were so exceeded the experimental errors that they have some physical meanings.

The variations vary regularly with the moisture contents of the soil and are effected by the methods of treatments of soil.

The characteristics of the change of the variations with the moisture contents are considered to have close relations with those of the mechanical properties of soil.

要旨 土の力学的性質は、その間隙比や含水量の分布に関係があると言う予想の下に、土の電気抵抗の場所的偏差を測定した。

実験誤差以上の偏差があり、しかも含水比に対し規則的に変化し、土の処理方法にも依る。土の力学的性質の3段階と関係があり、更に突き固め特性とも関係があるように思われる。

1. 目的

土の力学的性質がその含水量に依る事は周知の事であるが立入つて考えて見ると、少しく精密に考えるべき点があるように思われる。乱した土を乾かして、それに水を加えてその力学的性質を調べると、水の少い中はサラサラしており、砂質の感じがする。後節に於て砂質段階と言うのはこの事である。水を適量加えると初めて粘着力を帯びて来る事は古くから知られている。水の少い時には土を混合しても水を様に分布させることは仲々難かしい事であり、従つて間隙比も一様にはなつていない。砂を箱に入れ上部の蓋に圧力を加えて圧縮する実験も決して新味あるものではないが、この場合の砂の力学的現象に対して最上は統計的理論を作つた事がある。¹⁾ そしてその後金沢大学の松尾剛君等に実験的検証をして貰つているが、今迄の結果に依れば、比較的良好理論の一致を示している。この理論の物理的背景は、砂の圧縮の初期に於ける移動の可能性の原因は間隙の不等性にあると言う事であ

る。この理論を無反省に拡張して考える事は至つて危険である。実際に川砂のような様な粗径に揃つていない砂に対する理論は出来ていないのだから土に対してはなほ更と言えるであろう。しかし、独立に、そしてこの理論をかすかな背景として、土の乾燥している場合の性質は、含水量又は間隙比が試料中で一樣でないと言う事によると想像する事は無意味でないと思われる。

現在含水量、間隙比と言つているものは、試料中のそれ等の量の平均値である。しかし、我々の言い度い事は、それ等の量の試料中の分布が大切なのだと言う事である。なほ、路床を転圧する場合にも、一応最適含水比に於てローラーをかける等により、締め固めの最大効果をねらうものゝ、全範囲に亘つて均等に締め固めが行われる事が望しい。

従つて均等度を簡単に測定する方法はいくつも考えられるであろうが、その最も簡便なものを考える事も意味があろう。又建設省土木研究所の森君から聞いた話によると乾燥密度並びに含水量の一致は必ずしも力学的性質の一致を来さぬと言う事もあつたとの事であるが、これも供試体中の性質の均一性に基因するのではあるまいか。

我々の想像によれば均一なもの程土として好しい状態にあると思われるが、この実験はこの方向にも研究の端緒となり得ると思つている。数年来、土の電気伝導度の測定を行つて来た結果に依るとある含水量の範囲内では、土の電気伝導度はその土の乾燥密度に比例すること、並びに土の電気伝導度は含水量に依り著しく変ると言う事を知つている。

* 東京大学教授、第一工学部土木教室

** 山梨大学工学部土木教室

1) 粒子の力学 東大理工研報告 第3巻第5,6号(1949), 但し、本論文には若干の計算の誤りがある。しかし、大勢には大した影響はない。

そこで土の試料の各部の電気伝導度又は抵抗の偏差を測定すれば上記の想像を或る程度確かめられはしないかと言う事を考えた。残念ながらこれに偏差が表われても、それが含水量の偏差なのか間隙量の偏差なのかは決定し難いのであるが、いづれにしても、電気伝導度で測定し得る何等かの量の偏差であることには間違いなからう。

本文の全体の構想は最上が行い、実験は箭内、討論は兩人して行つた。

2. 実験装置及び実験方法

実験に用いた装置は図-1の如きものである。中央の試料を入れた矩形の容器(7cm×20cm×6cm)は電流を流す方向と直交する側板には真鍮の極板を用い、他はベークライトの板に依つて組立てられてある。この試料に間隔約 10 mm に取つて固定してある 2本の銅針(直径約 1mm)を 5mm の深さに刺す。この針によつて別けられる左右の試料と、カルボメーターの上部にある 2つの抵抗とがホイートソン・ブリッジになつてゐる。

電源に交流(50サイクル)を用いたのでガルバノメーターの前に亜酸化銅整流器を挿入した。他にスライダック、交流ミリアムメーター、交流ヴォルトメーターを図の如く使用した。

矩形の箱に試料を 3段に別け各層、10回、重サ 680g の突棒を約 5 cm の高さから落して突固める。これを図-1の如く定位し 2本の銅針を刺す。

この 2本の針は切換えスイッチにより片方づゝ電流が流れ極板との電圧が夫々測定出来る様になつてゐる。まづ R_2 なる抵抗を適當なる一定値を入れる。

次いで左の針に電流が流れる様スイッチを入れガルバノメーターの右の摺動抵抗を零にして電流を流す。除々に摺動抵抗を上げてガルバノメーターに一樣の電流を流し同時に $R_1(R_1')$ なる摺動抵抗を変化せしめてガルバノメーターのバランスをはかり、その時の抵抗を R_2, R_1 とすれば容器の右極板と左の針との間の電圧は

$$V_1 = V \times \frac{R_1}{R_2 + R_1}$$

又スイッチを右の針に切換えその時の抵抗を R_2, R_1' とすれば、右極板と右の針との間の電圧は

$$V_1' = V \times \frac{R_1'}{R_2 + R_1'}$$

而してその電位差 $V_1 - V_1'$ をこの時の電流で割ると、左右 2本の銅針の間の電気抵抗 ρ が求まる。斯くして全表面に渉り約 20~25ヶ所の電気抵抗を求めた。

試料は何れも東京都駒場、理工学研究所内にて採取せる關東ロームであるが、処理方法で区別される次の 3種類に就いて実験を行つた。

(1) 採取直後の土を室内で自然乾燥し、含水比の変化と共に実験を行つた。大きな固まりは除去若しくはベークライト板で軽く潰したが、篩処理は湿気のため不可能であつた。

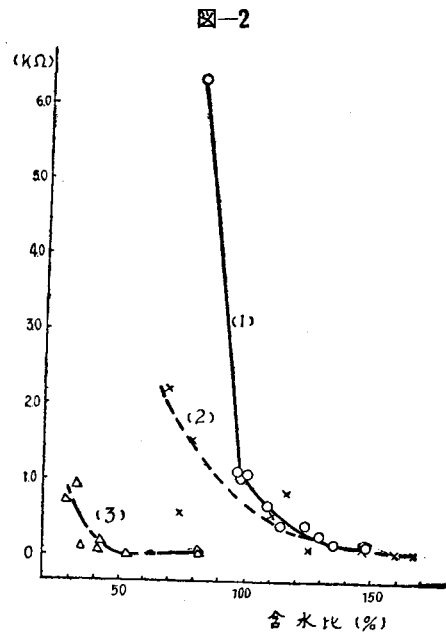
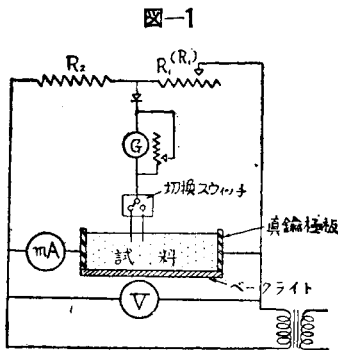
(2) 採取後約 150 日室内で自然乾燥させた土を鉄板上で木の角棒で潰し、タイラー標準篩 20 番を通過したものに蒸留水を加え種々含水比を変えて実験した。

(3) 乾燥炉(100°~120°C)で約 24 時間乾燥せしめたものを自然冷却し、(2)と同様に潰し 20 番篩を通過したものに蒸留水を加え実験した。

3. 実験結果及び考察

結果を次の 3種の図に纏めてみた。

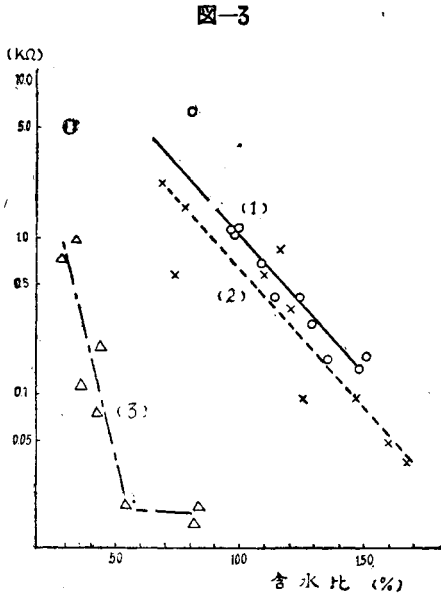
a) 求められた 20~25ヶ所の電気抵抗 ρ から偏差 σ を出しこれと含水比との曲線を出してみた。図-2である。



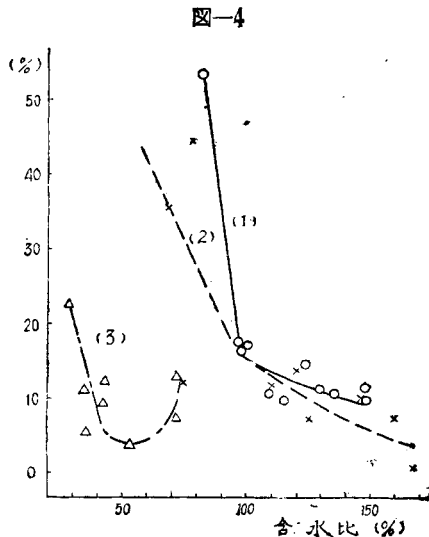
但し $\sigma = \sqrt{\frac{\sum(\rho - \bar{\rho})^2}{N}}$ 但し $\bar{\rho} = \frac{\sum \rho}{N}$

$N: \rho$ の個数

b) σ を対数目盛に取りこれと含水比との関係を図-3 に表わした。



c) a) の σ を更に平均値 $\bar{\rho}$ で除しその比率を百分率で表わし、含水比との関係を考えた。図-4 がそれである。



尚この場合に得られた値は次に示す処の実験誤差より大きいから明らかに物理的な意味を持つものである。

$$\rho = \frac{V}{I} \left[\frac{R_1}{R_2 + R_1} - \frac{R_1'}{R_2 + R_1'} \right]$$

であり (こゝで R_2 は一定) 又各誤差は夫々独立に起

るから ρ の実験誤差は

$$\left[\frac{\Delta \rho}{\rho} \right] = \left[\frac{\Delta V}{V} \right] + \left[\frac{\Delta I}{I} \right] + \left[\frac{\Delta(R_1 - R_1')}{R_1 + R_1'} \right] + \left[\frac{\Delta(R_1/C + 1)}{R_1/C + 1} \right] + \left[\frac{\Delta(R_1'/C + 1)}{R_1'/C + 1} \right]$$

0.7% 0.7% 2.0% 1.4~1.7% 1.4~1.7%

で見つもられ各曲線、含水比最小の所で 6.8%, 含水比最大の所で 6.2%, の最大誤差がありこの間は直線的に変化する。

図-2 では試料 (1), (2), (3) の順に同含水比に対し偏差が大である。即ち乾燥による土の組織の破壊の少い土程粒子はよく結合して居り水とのなじみも良いのでこの様な状況を示すのではないか。(1) は含水比 100% 以下になると急上昇し偏差が非常に大きくなっている。この傾向は (2), (3) の試料についても見られ、夫々 90%, 40% 附近以下では可成り偏差が大きくなって居り、この辺りを一つの限界として異なった段階に入る徴候が見られる。所謂砂質段階に入る様である。尚ほ実験時の印象によると急激なる上昇は水分の多少よりも主として空隙の如何によつて左右される感を与える。

含水比 100% 以上に於て (1), (2) の曲線が殆んど一致して居り、これ以下で分離しているのは乾燥炉に入れて組織を全く破壊したか全く変貌した土以外は 100% の水を含ませることによつて生の土に復元出来ることを意味しているのではなからうか。図-3 によつて σ を対数目盛に取ると、(1) は殆んど一直線に乗り (2), (3) も概ね一直線上に乗る。(1), (2) の傾斜が同傾向であるのは何等かの意味で前述の復元性を重ねて裏づける様に考えられる。又 (1) について点のばらつきが少い事にも何か物理的意味があるように思われる。次いで 図-4 には σ の電気抵抗に対する百分率と含水比との関係を示すが (1), (2), (3) を比較して人工的に未処理の工程、砂質段階に入る前は一樣化の傾向が強い。つまり (1) に於ける含水比 100% ~ 150% の諸点が可成り良く偏差百分率 10% の附近に集っている事は、偏差と電気抵抗とが比例している訳で偏差の一樣化を表わしている。実験の当初には (1) の曲線が最も下を這うのではないかと考えたのであるが、そうはならなかつた。最初の予想の根拠は偏差の少い程安定であり、且つ偏差の一定な程望ましい状態と考えたからである。然し結果は偏差の値の大小よりも、偏差の一樣化の程度つまりそれ等の曲線の傾斜の方がより重大である様に思える。実験結果では (1), (2) の方が一樣化の程度高く、その区間が良い。(3) は一樣になつている区間が非常に限られている事は、

土の強度や、締固め程度等と或る関聯性がある様に考えられる。即ち最も一様化した所が最も締固めの効く所であり、最も強度の大なる所である様だが、これは未だ今後に残された問題である。又図-2では含水比100~150%の間で(1)、(2)が殆んど一致していたものが、この図では異つた傾斜を見せている。日数を経過すると見掛けは変化なく見えても内部的な崩壊が起きている様である。(3)の最後の2点が上つている事は土粒子と水粒子が極めてよく混合した偏差最小の状態を通過して水の中に土粒子が浮いているとも考えられる所で、その浮いている土粒子の数で偏差が左右されるためではなからうか。当然(1)、(2)の曲線にもどどん追求して行くとその様な含水比の所がある

と考えられる。

3. 結論

最初の予想の如く、測定された電気抵抗の偏差は土の含水量に依つて比較的規則的变化を示し、かつ実験誤差よりも総じて大きく、この偏差に物理的の意味を附して良い様である。前節に書いたように、この偏差の傾向は今迄実験した力学的量と相關關係を持つている様に思われ、且つ将来相当の研究分野がある事を示すものと見て良いようである。

一応今回の研究は予備実験の範囲を出ないが比較的今迄注意されていなかった事であるのでまとめて見たのである。

(昭.25.9.5)

高松港に於ける杭打工事について

正員 松 本 有*
 正員 丹 原 一 彦**
 准員 篠 原 正 和***

ON THE PILING IN THE TAKAMATSU HARBOUR

(JSCE Jan. 1951)

Tamotsu Matsumoto, Kazuhiko Tanbara, C.E. Member, Masakazu Shinohara, C.E. Assoc. Member

Synopsis We drove as many as two hundred piles (ten meters in length) in the foundation work of the First Ferry Berth at Takamatsu Harbour. This is a report of our two tests done for the purpose of judging the supporting capacity of a pile; one is the checking test for the Sander's and E.N.R. formulas, and the other is the actual bearing test.

要旨 高松港に於いて航送用第一岩壁の基礎に約200本の杭(長さ 10m)を打つた。本論は此の地盤に於て支持力を判定する為に行つた二つの試験の報告である。即ち一つは Sander 公式及び E.N.R. 公式に対する検討であり他は載荷試験である。

1. 緒言

高松港第一岩壁の基礎には地耐力強化の意味と杭を中埋コンクリートによつて岩壁と一体として岩壁底面の滑出を防止すると云う二つの目的で杭打工事を施工した。本論はこれに関する報告であり杭の支持力を判定するにあつては土木学会誌「第28巻第9号」「杭の支持力公式調査委員会」の結論は甚だ貴重な参考資料であつた。

2. 高松港の地盤と杭打の結果

* 国鉄, 四国鉄道管理局高松工事区長
 ** " " 技術助役
 *** " " 職員

ボーリングと杭打の結果は図-1の通りである。杭打機は油谷複動蒸気錘2号を使用し杭長は10mであつた。支持力の計算は複動蒸気の公式と Dörr の公式によつた。即ち

$$\text{複動蒸気} : P = \frac{(W + pa)h}{6(\delta + 0.254)} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Dörr} : P = F\gamma H_n \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta_n}{2}\right) + \frac{1}{2} - L\gamma \sum_{n=1}^{n=n} [(H_{n-1} + H_n)h_n C_n' \tan \delta_n] + L \sum_{n=1}^{n=n} C_n h_n \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 $H_n = h_1 + h_2 + h_3 \dots$ (n は長 n 層を表わす)
 F: 杭の平均断面積, L: 杭の平均周第, C: 粘着係数, $C' = 1 + \tan^2 \theta$: 杭周と土の圧力係数, $\tan \delta$: 土と杭の摩擦係数, γ : 土の比重 (砂層粘土層を通じて平均 1.6t/m³ とする)。(1)式による支持力の計算値は図-1に併記した通りである。(2)式による支持力の計算