

III-164

不飽和盛土地盤の沈下量推定法の考察

岐阜大学工学部 正会員 宇野尚雄
 " " 杉井俊夫
 帝国建設コンサルタント(株) " 宮下高昭
 中国成都水利水電勘测設計院 胡宗躍

1. 概説

造成盛土地盤の自重による沈下を観察した結果が報告されている¹⁾。それによると、十分な締め固め(平均締め固め度97.3%)にも拘わらず数cmの沈下が認められ、盛土内の観測井地下水位は暗渠排水施設の施工にも拘わらずかなり高く、全応力的に計算した沈下予測値が観測値に近い結果を示した。このことは不飽和土の応力をいかに考えるか、造成地盤内の地下水性状の解釈には工夫が必要ではないか、等の疑問点を惹起した。本報告はこれらの問題点の解決のための方策を、不飽和土の力学的性質究明の視点から考察したものである。

2. 不飽和土の一次元圧縮と自重沈下

飽和粘土の圧密沈下は、Terzaghiの慣用一次元圧密計算法(①対象土層土質の圧密試験から推定される間隙比変化を用いる方法、②初期間隙比、圧縮指数及び有効応力増加分を用いる方法、③体積圧縮係数と有効応力増加分を用いる方法のいずれかを、入手情報の制約、先行荷重と応力増加レベルの対応関係に留意しつつ選択して)により概算できる。一方、Lambe(1961)はstress path methodを提唱し²⁾、粘土層中の数点の応力経路を解析し、その応力条件下での土の変形を3軸試験で調べて鉛直方向の歪の積分値として沈下が推定できるとした。さらにSchmertmann(1970)は構造物直下の鉛直歪の分布が基礎幅の2倍の深さまでの3角形分布で近似できることに注目した方法を提案して好評を受けた³⁾。これら2者は多次元的変形を考慮したものであるが、その後の粘土の構成式の開発研究と数値解析はさらに歪速度等の諸物性を解析に取り込んで進められている。しかし基本的には土の降伏曲面を考察に入れた解析で、土を弾・塑性体とみたり、粘弾塑性体とみた手法で、応力経路の探索と合わせた解析法である。

さて、不飽和土の圧密沈下は対応して不飽和土試料の圧密試験を実施して得られる $e \sim \log p$ (この場合、 p は載荷重)を用いて推論できよう。不飽和土の有効応力定義が究明されていないからである。しかし、圧密時の排水・排気条件は飽和土の排水条件に準じて圧密試験するのが先ず第一に考えられよう。この結果、不飽和土の圧密による時間曲線はどのようなようになるであろうか。図-1に示す3つのタイプがみられている。第1は砂質土のように載荷の瞬間に圧縮沈下が完了するもの、第2は粘性土の圧密沈下のようにゆっくりと進行するもの、第3は粘土の2次圧密のように時間の対数に比例した沈下をするものである。これらの時間曲線はいずれもスムーズなものでなく、断続的に進行するのが不飽和土の特徴である。これに対して標準圧密と同様に24時間後の沈下量を載荷重と関係づけて上記の $e \sim \log p$ を求めると図-2のように飽和土と類似した関係が得られる。Jenningsら(1962)が既に指摘しているように、不飽和土の場合、飽和土の $e \sim \log p$ 関係と交差する関係が得られ、みかけ上の先行荷重は飽和土のそれより大きいのが通例で、これが不飽和土のサクシオン効果ではないかと考えられている。これに対して都 淳一氏の提案した盛土の沈下推定式は

$$\Delta H = \frac{C_c}{1 + e_0} H \cdot S, \quad S = -\log_{10} \lambda - M(1 - \lambda), \quad \lambda = \frac{\sigma_i}{\gamma H}, \quad M = 0.4343 \quad (1)$$

ここに、 ΔH :盛土自重による沈下量(cm), H :盛土初期高さ(cm), C_c :盛土材の圧縮指数, e_0 :盛土材の初期間隙比, σ_i : e_0 に対応する初期応力(先行荷重に近似), γH :盛土の土被り圧。

で与えられていて、沈下量は $\lambda \leq 1$ の層が $\Delta H \geq 0$ となり、 $\lambda > 1$ のとき $\Delta H < 0$ でリバウンドすることになるけれども、その際には除荷過程の C_c の値を使用する必要がある。

表-1はある造成盛土地盤の沈下量予測値と観測値(予測は60年11月時点で、その際の調査・試験資料に基づいている。観測値はそれ以降62年9月までの662日間の沈下量)を対比して示している。式(1)による予測は比較的良好な結果を示している。しかし、式(1)による計算に当たって土被り圧 γH は有効応力でなく全応力を採用していることに留意せねばならない。不飽和土の有効応力は不明であるが、有効土被り圧は従来から、地下水位以下では水中重量に基づいて計算されるので、そのようにして計算すると表-1に示した全地点で $\lambda > 1$ となり、沈下が生じない結果となるのである。土被り圧 γH を全応力的に計算した理論的根拠は、①この地盤では凝灰質砂岩および泥岩を基質として風化が進んでいて、間隙率も大きく、高含水状態であるが、透水係数が小さく(約 10^{-6} cm/s)、間隙水の連続性が悪いと推定されること、②造成盛土施工時に“ぬかるみ”が激しく、かなりの部分で石灰や良質土を添加して締め固められていて、地盤が不整になっていると考えられること、の2点である。前者は当地点での造成盛土土質の特性であり、後者は当地点固有の施

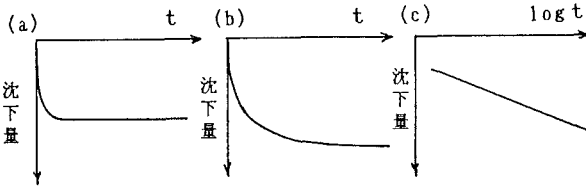
工条件の特性である。このような地盤では土中水の状態が“宙水”のようになって、地層中の地下水が不連続となり、観測井地下水位がかなり高くなる（当該地盤では盛土の最高高さ約20mの中位に観測されている）ことはあっても、盛土土中の応力は全応力的に考えた方がよいのではないかと考えられる訳である。従来から人工地盤内の地下水挙動は自然堆積地盤の場合に比べて不整な場合が多く、こうした造成盛土地盤内の土中水、地下水の性状は把握し難いので、特別の配慮が観測方法の工夫に必要であると考えられる。上述した造成地盤では、元地盤表面近くに排水暗渠を配置し、盛土内の排水を促進していることを付言する。

一方、一般的に不飽和土盛土の沈下に関する解析法の研究では、①既述の不飽和土の $e \sim \log p$ を用いる方法、②Coleman(1962)の式：

$$dV/V = C_1 d(\sigma - u_a) + C_2 d(u_a - u_w) \quad (2)$$

を用いて、室内試験により C_1 、 C_2 を求め、不飽和状態量（ u_a や u_w ）を解析して体積歪を算出する方法、③不飽和土中の間隙水圧 u_w 、間隙空気圧 u を解析的に推定し、体積変化に関しては状態曲面（ e 、 $\sigma - u_a$ 、 $u_a - u_w$ ）または（ S_r 、 $\sigma - u_a$ 、 $u_a - u_w$ ）により推定する（状態曲面は3軸試験等により室内試験で求めておく）方法、などが考えられている。②はFredlund⁴⁾(1986)や、谷本ら(1987)等の研究があり、③ではLloret⁵⁾(1980)の研究があり⁵⁾検討過程にある。①にあつては現行の標準圧密試験では試料を容器内に水没させるけれども、不飽和試料であるから自由排水（大気開放）させるか、飽和度に応じた負圧状態にして圧密载荷するか等の選択法、 u_a や u_w の測定法について改良策を検討せねばならない。また不飽和状態量を推定するために間隙の2相流体の連成解析と土骨格の変形解析を連成することが必要となる。このため上述した造成盛土の沈下については、不飽和土としての力学的性質を試験によって究明しつつ、現地の地下水条件の影響の再現計算による考察が必要ではないかと考えられる。

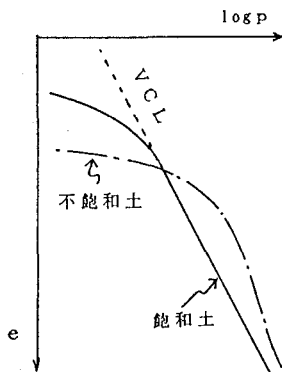
（文献） 1)宇野・宮下：造成盛土地盤の沈下性状、土質工学会「不飽和土の工学的性質研究の現状」シンポジウム発表論文集、pp.327～334(1987)、 2)Lambe,T.W. and R.V.Whitman：Soil Mechanics, John Wiley & Sons, Inc., pp.217～220(1969)、 3)Harr,M.E.：Mechanics of Particulate Media, McGraw-Hill, Inc., pp.334～342(1977)、 4)Fredlund,D.G. and H.Rahardjo：Unsaturated soil consolidation theory and laboratory experimental data, "Consolidation of soils"(STP892), pp.154～169(1986)、 5)Lloret,A. and E.E.Alonso：Consolidation of unsaturated soils including swelling and collapse behavior, Geo technique, Vol.30, No.4, pp.432～448(1980)



図－1 不飽和土の圧密沈下性状・3種類

表－1 沈下量(mm)の予測値と観測値の対比

ボーリング No.	予測値×	沈下量 測点No.	観測値×	$\frac{Y}{X} \times 100(\%)$
1	5.2	8	8	15
2	2.1	(8)	(8)	(38)
3	6.6	10	5.4	82
4	2.9	2	1.5	52
7	5.7	7	4.0	70
8	1.2	4	1.5	125
9	4.9	6	4.0	82



図－2 $e \sim \log p$ 関係

