

「土 の 話」

その2 粘土層の圧縮について

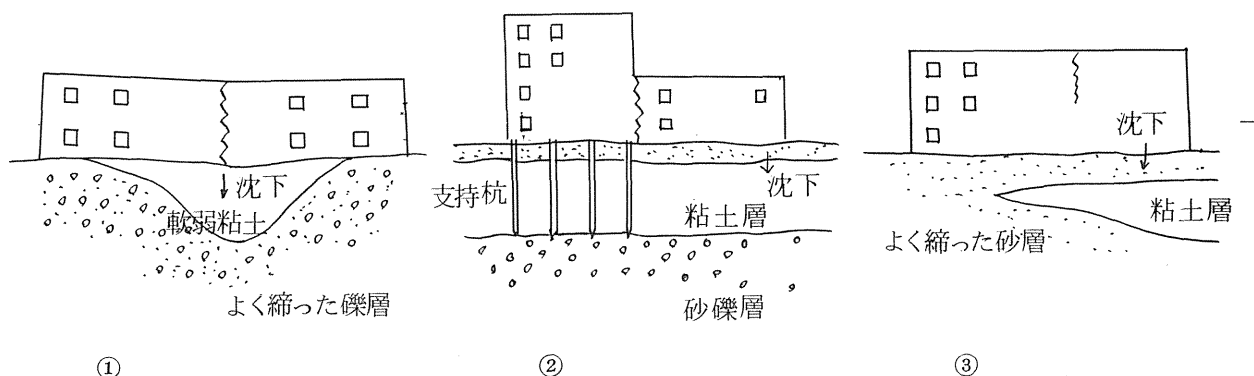
野 島 宏 二

「イタリアーのピサの斜塔はどうして傾いてしまったのですか。」と問われたら何と答えますか。「建築物荷重が片方側へかかりすぎてしまったんだらう。」とか、「基礎地盤の地質が悪かったんだらう。」とか答えると思います。

たしかに、この不同沈下の原因は斜塔の基礎荷重が1㎡あたり約50トンと大きくかかったため基礎地盤の砂層の支持力不足。深部の粘土層の圧密沈下等が起ったためとされています。

今でも、基礎地盤調査や施工が不十分のため第1図のような建築物の不同沈下の例があります。

第1図 建築物の不同沈下の例 基礎地盤の粘土層の圧縮による。



これはおもに基礎地盤の粘土層の圧密沈下によるものです。きまりきったことですが粘土というのは圧力をかけると圧縮をするということになります。

しかし、粘土層にも軟らかい沖積粘土、やや硬い洪積粘土、固結した新第三紀の泥岩もありますから圧力による圧縮状態も多様であると考えられます。

ですから、現在では重量建築物を建てるときは、ボーリング等を実施し、粘土層から乱さない試料を採取して土質試験を実施します。

この試験の中に、圧密試験というものがあります。これは種々の荷重に対する試料粘土の沈下量を測定するのです。そしてこの結果をもとにして実際の建築物荷重による沈下速度、沈下量、安全性を推定することが出来ることになるのです。

ここで、この圧密試験の話をする前に、なぜ粘土は圧力をかけると圧縮するのかを少し説明します。

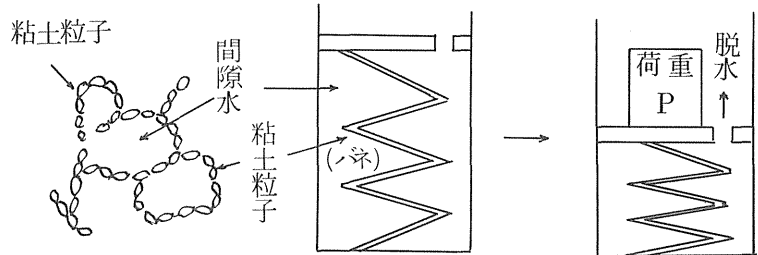
前にも（「土の話その1」）説明しましたが粘土は第2図①の如く粘土粒子と間隙とからできています。この間隙は空気と水であり、一般に地下水以下の粘土層では全部水ということになります。そこでこの粘土層が外力をうけて圧縮するのは粘土粒子そのものの圧縮ではなく、主として間隙が減少するために起きるものと考えられます。つまり第2図②③の如くの模型を考えれば容易に理解できると思います。

第2図

この場合、排水は土粒子の間隙を伝わって移動することになり、これに相当の時間がかかることとなります。

ですから、粘土地盤が建築物の荷重によって沈下するというのは長時間かかって水が抜けるに応じてじょじょに起きるのです。

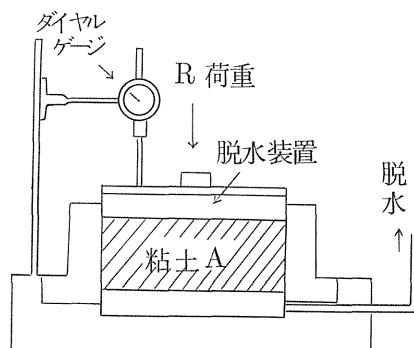
①粘土の模型図 ②圧力なしの場合 ③圧力Pの場合



では、圧密試験の話に入ります。第3図がその装置の略図です。上部にある荷重 P_1 を加えると、それに応じて粘土Aは圧密を始め、脱水と共に容積が減少していく。これをダイヤルゲージで測定する。次に荷重 P_2 を加えて測定する。この荷重 P_1 、 P_2 に対する粘土試料Aの体積、間隙の関係は第4図①②の如くになります。

第3図

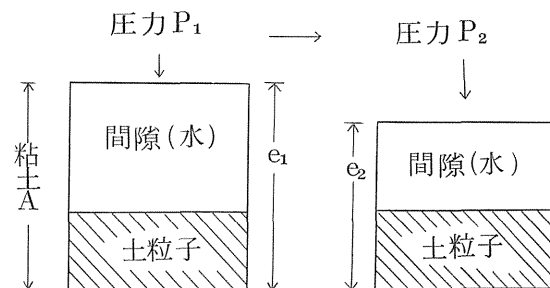
圧密試験装置



第4図

①圧力 P_1 の場合

②圧力 P_2 と増加した場合



以後、同様な方法で荷重を増加し実験を進めます。この結果から得られる圧力と間隙の関係をグラフにしたのが第5図及び第7図の $e - \log P$ 曲線（間隙比—荷重強度曲線）です。

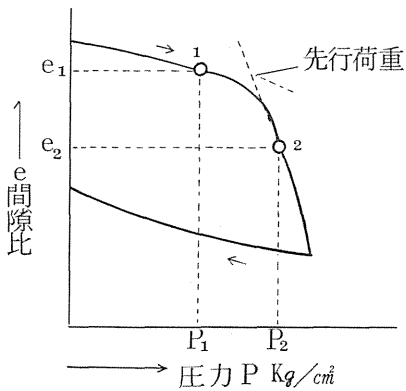
この曲図をみますと、粘土はある荷重までは変化量（間隙水の脱水量）が小さいが、ある荷重をすぎると急に変化量が大きくなる地点があることに気づくと思います。

この点を先行荷重（第5図参照）といいます。第7図の洪積粘土ですとこの点が 5.30 Kg/cm^2 （53 トン/㎡）と非常に大きい値を示しています。このことはこの粘土がいままでに受けたことのある最大荷重であることを意味しているのです。ですから、この先行荷重以上の荷重をかけるとこの粘

第 5 図

e - log P 曲線

(間隙比 - 荷重強度曲線)



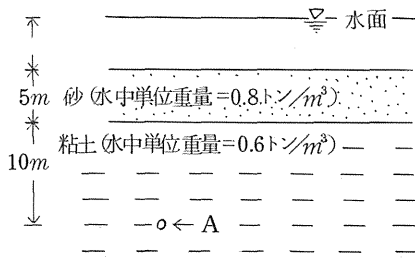
土は急に圧縮度が増してしまいます。つまり、この粘土の地耐力の破壊ということになるのです。

では、次に地下の粘土層が自然の状態であるか、現在どのように圧力を受けているかを第 6 図①②③に示しました。

この図の A 点の 1 m²あたりにかかる現在の土の荷重を土被り荷重といいます。

第 6 図

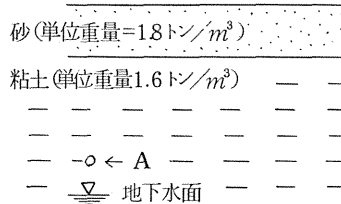
① 沖積層などの場合水位が地表より上位



A 点にうける土の荷重
(土被り荷重)
10.5 トン/m²

② 洪積層などの場合

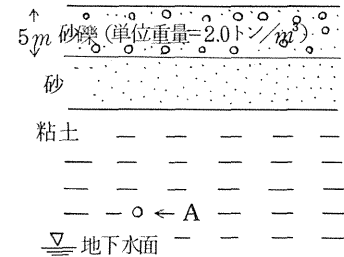
地下水が A 点より下位



25.5 トン/m²

③ 洪積層

②の状態の上に砂礫層が堆積



35.5 トン/m²

今、①と②を較べてみます。

	水 位	土被り荷重(トン/m ²)	摘 要
①	地 表 よ り 上	10.5	浮力が働く。
②	A 地 点 よ り 下	25.5	

この表から、水位が低下したために土被り荷重が大変増加し、粘土の圧密が進むことが理解できるとおもいます。

このことは、最近東京の下町、あるいは大阪・名古屋の商工業地の沖積地盤に起っている沈下はこの原因であることを物語っています。つまり、沈下量は揚水による地下水位の低下に平行して起っているのです。

第 7 図の圧密試験資料は名古屋の熱田層と呼ばれている洪積粘土で、地下 29.5 m 付近より採取した試料より得られたものです。この洪積粘土と第 6 図①の粘土を比較すると次の如くになります。

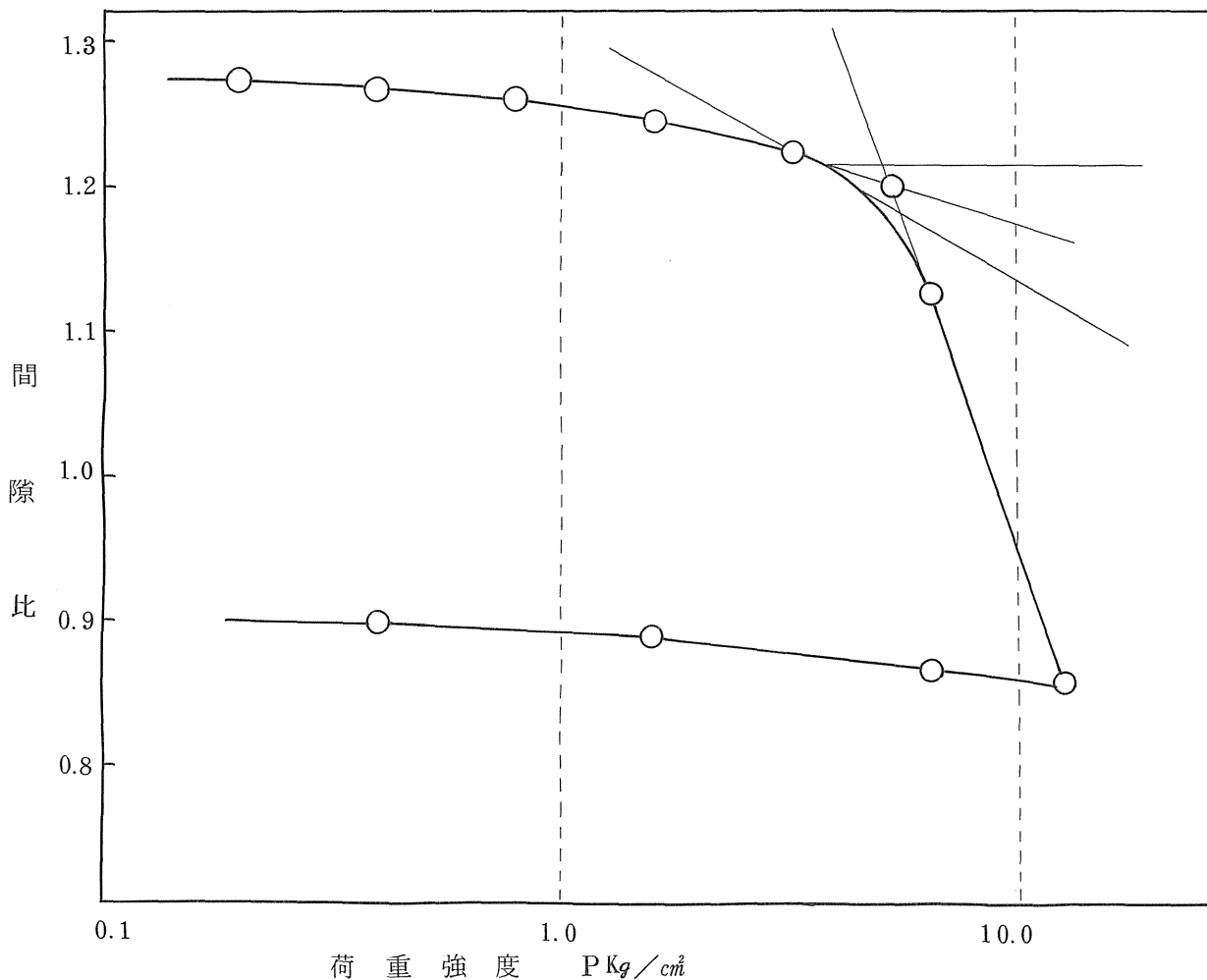
	土被り荷重(トン/m ²)	先行荷重(トン/m ²)	摘 要
① の 粘 土	10.5	= 10.5	沖積層はほとんどこの関係
洪 積 粘 土	30.0	< 53.0	洪積層はほとんどこの関係

圧密試験 第7図

試料番号	No. 4-2	
深度 m	28.60 ~ 29.44	
粒度による 土の分類	シルト質粘土	
含水比	試験前	50.45
	試験後	42.00
単位体積重量 g/cm^3	1.76	
乾燥密度 g/cm^3	1.17	
飽和度	試験前	104.20
	試験後	110.50
先行荷重 P_0	5.30 Kg/cm^2	
圧縮指数 C_c	0.883	

荷重強度 $P \text{ Kg/cm}^2$	最沈下 終量 $R \text{ cm}$	間隙比 e	圧密係数 cm^2/sec	体積 圧縮係数	透水係数 cm/sec
0	0.0012	1.2914	1.94×10^{-2}	3.09×10^{-2}	5.99×10^{-7}
0.2	0.0111	1.2773	1.54×10^{-2}	1.44×10^{-2}	2.21×10^{-7}
0.4	0.0168	1.2707	1.53×10^{-2}	9.85×10^{-3}	1.43×10^{-7}
0.8	0.0241	1.2622	3.99×10^{-3}	6.78×10^{-3}	2.70×10^{-8}
1.6	0.0348	1.2500	1.86×10^{-2}	5.29×10^{-3}	9.83×10^{-8}
3.2	0.0513	1.2310	5.68×10^{-3}	1.43×10^{-2}	8.12×10^{-8}
6.4	0.1388	1.1305	4.19×10^{-3}	2.11×10^{-2}	8.84×10^{-8}
12.8	0.3739	0.8610			
6.4	0.3669	0.8683			
1.6	0.3420	0.9014			
0.4	0.3381	1.0118			
0	0.2420				

$e - \log P$ 曲線



以上のことをまとめると次のようになります。

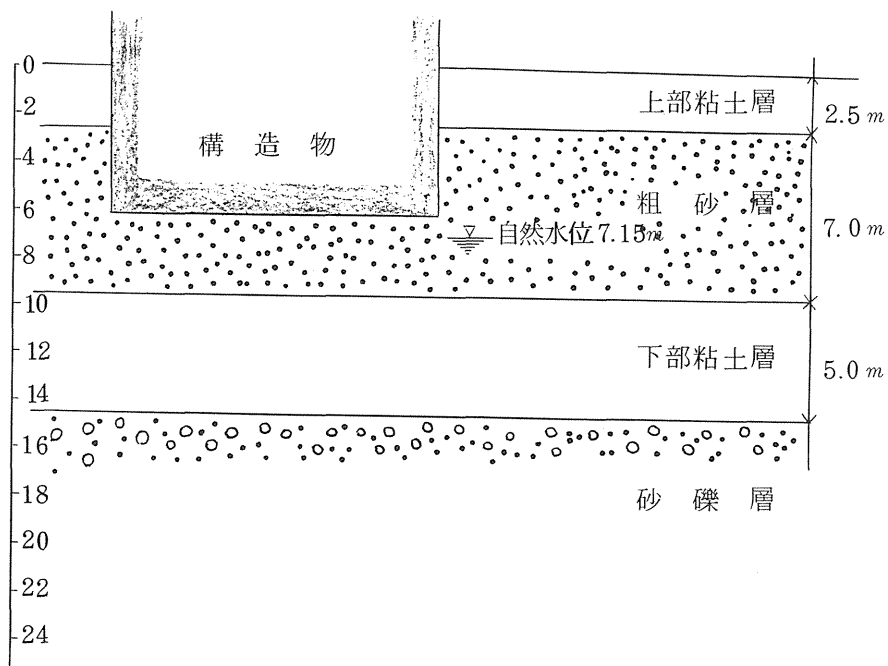
	間 隙 (水)	先 行 荷 重	圧力に対する地耐力
沖 積 粘 土	大 き い	小 さ い	小 さ い
洪 積 粘 土	やや小さくなる	やや大きい	やや大きい
新 三 紀 泥 岩	小 さ い	大 き い	大 き い

では最後に、名古屋市（今池）の洪積台地（熱田層）に建設する〇〇ビルの建築設計の際。一年後と最終の沈下量を土質調査結果，土質試験資料より計算してみました。参考にして下さい。

「検 討」 …………… 地盤の地質は第 8 図，構造荷重の条件は次の如くとして，下部粘性土層の圧密沈下を検討する。

- 基礎形式 …………… ベタ基礎
- 基礎底面の圧力 …………… 15 トン/ m^2
- 根 切 り 底 …………… 深度 6.25 m
- 地 下 水 位 …………… 深度 7.15 m
- 上部粘土層の単位体積重量 …………… 1.80 g/cm^3
- 粗砂の単位体積重量 …………… 1.85 g/cm^3
- 下部粘土層の単位体積重量 …………… 1.95 g/cm^3

第 8 図



a) 初期圧力 P_1 の計算

粘土層中心までの土被りになる有効圧（全圧力より静水圧を減ずる）は次のようになる。

地 層	層 厚 (m)	有 効 圧 力 (t/m ²)	合計有効圧力 (t/m ²)
上部粘土層 (深度0~2m)	2.5	1.80 × 2.50 = 4.50	4.50
上部砂層 (地下水の上) (地下水の下)	7.0	1.85 × 4.65 = 8.60	8.60
		0.85 × 2.35 = 1.94	1.94
下部粘土層(深度9.5~14.5m)	2.5	0.94 × 2.50 = 3.30	3.30
		合 計	18.34

∴ R = 18.34 t/m²

b) 最終圧力P₂の計算

構造物の等分布荷重強度 (q) は 15 t/m²であるが、この荷重が加わる面は地下 6.25 m の根切り底であるから、基礎底面における増加圧力 (ΔP₀) は根拠部分の土の全量を差引くと

$$\Delta P_0 = 15.00 - (1.85 \times 6.25) = 4.04 \text{ t/m}^2 \text{ となる。}$$

ΔP₀により粘土層中心に生ずる増加圧力 (ΔP) は「5分勾配の法」を使って計算してみる。

$$q_0 = \Delta P_0, \quad q = \Delta P \text{ とすると } \Delta P_0 = 4.04 \text{ t/m}^2$$

$$A_0 = 812 \text{ m}^2 \text{ よって } Q = \Delta P_0 \times A_0 = 3,280 \text{ t}$$

基礎底面から粘土層中心までの深さZは $Z = 14.50 - 6.25 \text{ m} = 8.25 \text{ m}$ であるから粘土層中心における分布面積をA₂ とすれば、

$$A_2 = 1,415 \text{ m}^2$$

$$\therefore \Delta P = \frac{Q}{A_2} = \frac{3,280}{1,415} = 2,33 \text{ t/m}^2$$

$$\therefore P_2 = P_1 + \Delta P = 18.34 + 2.33 = 20.67 \text{ t/m}^2$$

c) 最終沈下量S_uの計算

この粘土層の圧密試験結よりP₁, P₂に対するeの値を読取ると次表のごとくである。

	P (Kg/cm ²)	e
1	1,834	0.724
2	2,067	0.729

ブーシネスクの式より、最終沈下量S_uは

$$S = \frac{0.005}{1 + 0.724} \times 500 = 1.5 \text{ (cm)}$$

d) 1年後の沈下量

この粘土層の圧密試験結果の圧密係数 (C_v) の値は次の如くである。

$$C_v = 2.54 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$$

$$\text{また } H = 250 \text{ cm} \text{ であるから } t = T \cdot \frac{H^2}{C_v} \text{ の式より}$$

$$t = T \times \frac{(2.5 \times 10^2)^2}{2.54 \times 10^{-3}} = 2.85 \times 10^7 \cdot T \text{ sec}$$

$$t = 1 \text{ 年} = 365 \times 24 \times 60 \times 60 = 3.15 \times 10^7 \text{ (sec)}$$

となるから、1年後の Time Factor T_i は、

$$T_i = \frac{3.15 \times 10^7}{2.85 \times 10^7} = 1.11$$

これをテルツァギー・ペックの時間係数と圧密度との関係から、 $T_i = 1.11$ に対する U を求めると $U = 92\%$

よって、1年後の沈下量 (S) は

$$S = 1.5 \times 0.92 = 1.38 \text{ (cm)} \text{ となる。}$$

(県立三ヶ日高等学校)

交 換 誌 の 紹 介

近着の交換誌は下記のとおりです。読みたい方は本部までお出かけください。

郷土の科学	№ 64 (69-12)	北海道地学教育連絡会
〃 別冊 (地球の階層を こう教える)		〃
秋田地学	№ 13 (70-7)	秋田地学教育学会
石と川 (南加賀特集号)	№ 27 (70-8)	石川県地学教育連絡会
理 科	2巻2号 (70-7)	日本理科教育協会
大和地学	№ 16 (70-5)	奈良県地学教育研究会
Nature Study	vol. 16 №3-10 (70-3-10)	大阪自然科学研究会
地学教育	vol. 23 №2-3 (70-3.7)	日本地学教育学会
鹿児島県地学会誌	№ 35 (70-5)	鹿児島県地学会
京都地学	№ 2 (70-3)	京都地学教育研究会
長崎県地学会誌	№ 14 (70-2)	長崎県地学会
静岡県理科教育研究会誌	№ 2 (70-3)	県理科教育研究会 高校部会