

双层地基承载力的计算及其在天然 软土地基中的应用

金问鲁 谢德贵

(杭州市城建设计院)

提 要

在硬壳层较薄的软土地基上建造房屋,往往下卧层强度不能满足规范要求。本文采用极限平衡理论进行双层地基承载力的计算。按照土的力学性指标 ϕ ,首先定出近似的滑移网络,然后分别求出由凝聚力 c 产生的承载力 p_1 和由土重产生的承载力 p_2 ,从而得出极限承载力 $p_u = p_1 + p_2$ 。在设计中,保证足够的安全度定出允许承载力 p_a ,并采取适当的措施。对照工程实例,可见经济效益比较显著,能保证工程质量。

一、前 言

在沿海一带城市的软土地基中,往往地表有一层比较薄的硬壳层,其下是深厚的软弱淤泥质粘土层,而且两层土的性质差异较大。在这种地基上建造五、六层的建筑物时,常常会遇到下卧层强度无法满足规范要求的情况,因而有时不得不采用长桩方案,这样工期长、造价高,甚至地基处理和基础的费用占整个造价的百分之三十以上。

对于这种非均质的较典型的双层地基,我们在工程实践中,曾尝试采用极限平衡理论求其极限承载力的设计方法。避免打长桩,在软粘土地基上仍然采用天然地基。

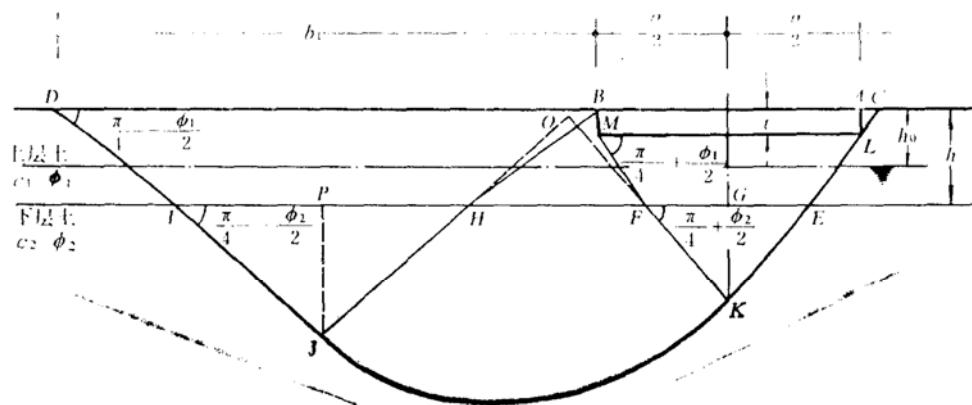
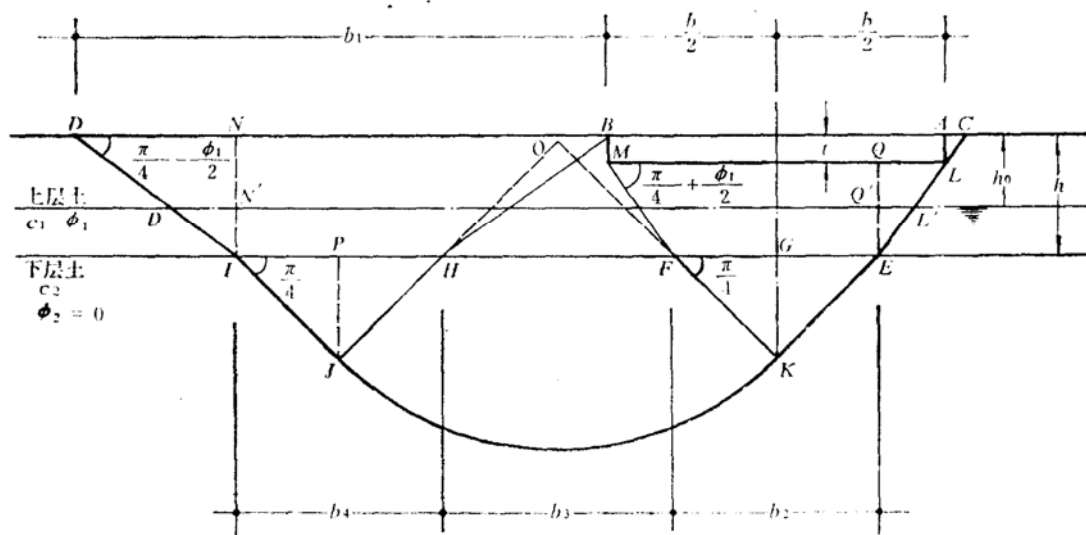
二、计 算 原 理

双层地基承载力的计算,首先根据极限平衡理论,按照土的抗剪强度指标内摩擦角 ϕ ,定出近似的滑移网络图^[1](图1)。当下卧软粘土层的内摩擦角很小,按零度考虑时,滑移网络图就简化为图2的形状。

下面就对滑移网络图2的情况,推导其极限承载力。当基础宽度 b 、基础埋深 t 和地表硬壳层厚度 h 为已知时,则根据几何关系便可得出:

$$DN = h \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2} \right)$$

$$b_2 = b - 2(h - t) \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right) = b_1$$

图1 滑移网络图($\phi_2 \neq 0$)图2 滑移网络图($\phi_2 = 0$)

$$b_1 = b_4 + 2DN = b - 2(h-t) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2}\right)$$

$$+ 2h \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2}\right)$$

$$JP = PH = \frac{1}{2}b_2 = \frac{b}{2} - (h-t) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2}\right)$$

$$b_3 = (h-t) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2}\right) + h \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2}\right)$$

$$\overline{JK} = b_2 + b_3$$

为了简化推导极限承载力的过程, 现将单由凝聚力 c 作用产生的极限承载力 p_1 和由土体自重产生的极限承载力 p_2 分别计算如下。

(一) 求由凝聚力作用产生的极限承载力 p_1

上层硬壳层土的内摩擦角为 ϕ_1 , 凝聚力为 c_1 , 假设沿水平线 DB 上作用着向下的凝聚力等代垂直均布荷载 $c_1 \cdot \text{ctg} \phi_1$, 同样 ML 上、 AC 上也有向下的等代垂直均布荷载 $c_1 \cdot \text{ctg} \phi_1$, IE 上有向上的等代均布荷载 $c_1 \cdot \text{ctg} \phi_1$ 。

1. 由等代均布荷载计算 DI 上的反力 N_1 及水平分力 X_1 。

DN 上的垂直力为

$$DN \cdot c_1 \text{ctg} \phi_1 = hc_1 \cdot \text{ctg} \phi_1 \cdot \text{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2} \right)$$

故

$$N_1 = hc_1 \cdot \text{ctg} \phi_1 \cdot \text{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2} \right) \cdot \text{csc} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right)$$

$$X_1 = N_1 \cdot \cos \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right) = hc_1 \cdot \text{ctg} \phi_1 \cdot \text{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2} \right)$$

2. 考虑下层软粘土的凝聚力 c_2 , 求 IJ 上的粘结力 T_2 、反力 N_2 及水平分力 X_2 。

$$T_2 = IJ \cdot c_2 = N_2$$

$$X_2 = T_2 \cdot \cos \frac{\pi}{4} + N_2 \cdot \cos \frac{\pi}{4} = \sqrt{2} IJ \cdot c_2$$

$$= b_4 \cdot c_2 = c_2 \left[b - 2(h-t) \cdot \text{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right) \right]$$

3. 求圆弧 $\widehat{JK}$ 上的水平粘结力 X_3 。

$$X_3 = \overline{JK} \cdot c_2 = (b_2 + b_3) \cdot c_2$$

$$= c_2 \left[b - (h-t) \cdot \text{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right) + h \cdot \text{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2} \right) \right]$$

4. 假定基础 AB 上作用着均布荷载 p_1 , 求 LE 上的反力 N_4 、水平分力 X_4 和 EK 上的粘结力 T_5 、反力 N_5 及水平分力 X_5 。

$$N_4 = (p_1 + c_1 \cdot \text{ctg} \phi_1) \cdot LQ \cdot \sec \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right)$$

$$X_4 = N_4 \cdot \sin \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right)$$

$$= (p_1 + c_1 \cdot \text{ctg} \phi_1)(h-t) \cdot \text{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right)$$

$$T_5 = EG \cdot \sqrt{2} c_2$$

$$N_5 = p_1 \cdot EG \cdot \sqrt{2} - EG \cdot \sqrt{2} \cdot c_2$$

$$X_5 = (p_1 - 2c_2) \cdot EG = \left(-\frac{1}{2}p_1 - c_2 \right) \left[b - 2(h-t) \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right) \right]$$

5. 由等代均布荷载计算LC上的反力 N_6 及水平分力 X_6 。

$$N_6 = AC \cdot c_1 \cdot \operatorname{ctg} \phi_1 \cdot \operatorname{csc} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2} \right)$$

$$= t \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right) \cdot c_1 \cdot \operatorname{ctg} \phi_1 \cdot \operatorname{csc} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2} \right)$$

$$X_6 = N_6 \cdot \cos \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2} \right) - l c_1 \cdot \operatorname{ctg} \phi_1 \cdot \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right)$$

6. 考虑滑移网络曲线以上土体各水平力的平衡, 建立平衡方程式。

$$X_1 + X_2 + X_3 = X_4 + X_5 + X_6$$

整理得

$$\begin{aligned} p_1 = & \left\{ \frac{b}{2} + (h-t) \left[\operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right) - \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right) \right] \right\}^{-1} \\ & \times \left\{ h c_1 \cdot \operatorname{ctg} \phi_1 \left[\operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2} \right) - \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right) \right] \right. \\ & \left. + \left[3b - 5(h-t) \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right) + h \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2} \right) \right] \cdot c_2 \right\} \end{aligned} \quad (1)$$

(二) 求由土体自重产生的极限承载力 p_2

设地下水位离地表为 h_0 、地下水位以上土体容重为 γ_0 、上层土体中地下水位以下部分容重为 γ_1 、下层土体容重为 γ_2 。

1. 由于体力作用, 分别求 DD' 、 $D'I$ 、 IJ 上的反力 P_1 、 P_2 、 P_3 及其水平分力 H_1 、 H_2 、 H_3 。

DD' 以上土体重为 $\frac{1}{2} \gamma_0 h_0^2 \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2} \right)$, 则

$$P_1 = \frac{1}{2} \gamma_0 h_0^2 \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2} \right) \cdot \operatorname{csc} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right)$$

$$H_1 = P_1 \cdot \cos \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right) = \frac{1}{2} \gamma_0 h_0^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2} \right)$$

$D'I$ 以上土体重为 $(h-h_0) \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2} \right) \cdot \left[\gamma_0 h_0 + \frac{1}{2} \gamma_1 (h-h_0) \right]$, 则

$$P_2 = (h - h_0) \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2} \right) \cdot \left[\gamma_0 h_0 + \frac{1}{2} \gamma_1 (h - h_0) \right] \\ \times \operatorname{csc} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right)$$

$$H_2 = (h - h_0) \cdot \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2} \right) \cdot \left[\gamma_0 h_0 + \frac{1}{2} \gamma_1 (h - h_0) \right]$$

IJ 以上土体重为 $\frac{1}{2} b_4 \left[h_0 \gamma_0 + (h - h_0) \gamma_1 + \frac{1}{4} b_4 \gamma_2 \right]$, 则

$$P_3 = \frac{1}{2} b_4 \left[h_0 \gamma_0 + (h - h_0) \gamma_1 + \frac{1}{4} b_4 \gamma_2 \right]$$

$$H_3 = \frac{1}{2} b_4 \left[h_0 \gamma_0 + (h - h_0) \gamma_1 + \frac{1}{4} b_4 \gamma_2 \right]$$

2. 由于土体自重及基础上有均布荷载 p_2 的作用, 分别求出 $L'L$ 、 EL' 、 KE 上的反力 P_4 、 P_5 、 P_6 及其水平分力 H_4 、 H_5 、 H_6 。

$L'L$ 以上土体及荷载总重为 $(h_0 - t) \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right) \left[\frac{1}{2} \gamma_0 (h_0 - t) + p_2 \right]$, 则

$$P_4 = (h_0 - t) \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right) \left[\frac{1}{2} \gamma_0 (h_0 - t) + p_2 \right]$$

$$\times \operatorname{csc} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2} \right)$$

$$H_4 = (h_0 - t) \left[\frac{1}{2} \gamma_0 (h_0 - t) + p_2 \right] \cdot \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right)$$

EL' 以上土体及荷载总重为

$(h - h_0) \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right) \cdot \left[\frac{1}{2} \gamma_1 (h - h_0) + \gamma_0 (h_0 - t) + p_2 \right]$, 则

$$P_5 = (h - h_0) \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right) \left[\frac{1}{2} \gamma_1 (h - h_0) + \gamma_0 (h_0 - t) + p_2 \right]$$

$$\times \operatorname{csc} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2} \right)$$

$$H_5 = (h - h_0) \left[\frac{1}{2} \gamma_1 (h - h_0) + \gamma_0 (h_0 - t) + p_2 \right] \cdot \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2} \right)$$

KE以上土体及荷载总重为 $-\frac{1}{2}b_2 \left[(h_0 - t)\gamma_0 + (h - h_0)\gamma_1 + -\frac{1}{4}b_2\gamma_2 + p_2 \right]$, 则

$$P_6 = -\frac{1}{2}b_2 \left[(h_0 - t)\gamma_0 + (h - h_0)\gamma_1 + -\frac{1}{4}b_2\gamma_2 + p_2 \right]$$

$$H_6 = -\frac{1}{2}b_2 \left[(h_0 - t)\gamma_0 + (h - h_0)\gamma_1 + -\frac{1}{4}b_2\gamma_2 + p_2 \right]$$

3. 由于体力作用, 求LC上的反力 P_7 及水平分力 H_7 。

$\triangle ALC$ 土体重为 $-\frac{1}{2}\gamma_0 t^2 \cdot \text{tg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2}\right)$, 则

$$P_7 = -\frac{1}{2}\gamma_0 t^2 \cdot \text{tg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2}\right) \cdot \text{csc}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2}\right)$$

$$H_7 = -\frac{1}{2}\gamma_0 t^2 \cdot \text{tg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2}\right)$$

4. 考虑各水平分力的平衡, 建立平衡方程式。

$$H_1 + H_2 + H_3 = H_4 + H_5 + H_6 + H_7$$

整理得

$$\begin{aligned} p_2 = & \left\{ (h - t) \cdot \text{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2}\right) + \frac{b_4}{2} \right\}^{-1} \times \left\{ -\frac{1}{2} \left[\gamma_0 h_0 (2h - h_0) \right. \right. \\ & + \gamma_1 (h - h_0)^2 \left. \right] \cdot \text{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2}\right) - \frac{1}{2} \left[\gamma_1 (h - h_0)^2 \right. \\ & + \gamma_0 h_0 (2h - h_0) - 2\gamma_0 t (h - t) \left. \right] \cdot \text{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2}\right) + \frac{b_4}{2} t \gamma_0 \left. \right\} \end{aligned}$$

当 $h_0 < t$ 时, 则

(2)

$$\begin{aligned} p_2 = & \left\{ (h - t) \cdot \text{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2}\right) + \frac{b_4}{2} \right\}^{-1} \\ & \times \left\{ -\frac{1}{2} \left[\gamma_0 h_0 (2h - h_0) + \gamma_1 (h - h_0)^2 \right] \cdot \text{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2}\right) \right. \\ & - \frac{1}{2} \left[\gamma_0 h_0 (2t - h_0) + \gamma_1 (h - t)^2 + \gamma_1 (t - h_0)^2 \right] \cdot \text{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2}\right) \\ & + \frac{b_4}{2} \left[\gamma_1 (t - h_0) + h_0 \gamma_0 \right] \left. \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

(三) 极限承载力 p_u

$$p_u = p_1 + p_2$$

$$\text{允许承载力 } p_a = \frac{p_u}{K} \quad (K \text{ 为安全系数})$$

安全系数 K 的取值与抗剪强度指标 ϕ 、 c 的测定方法有直接的关系, 若采用不排水试验法测得的 ϕ 、 c 值来计算 p_u 时, K 值可适当降低。但鉴于 K 值是与许多因素有关的一个数值, 有

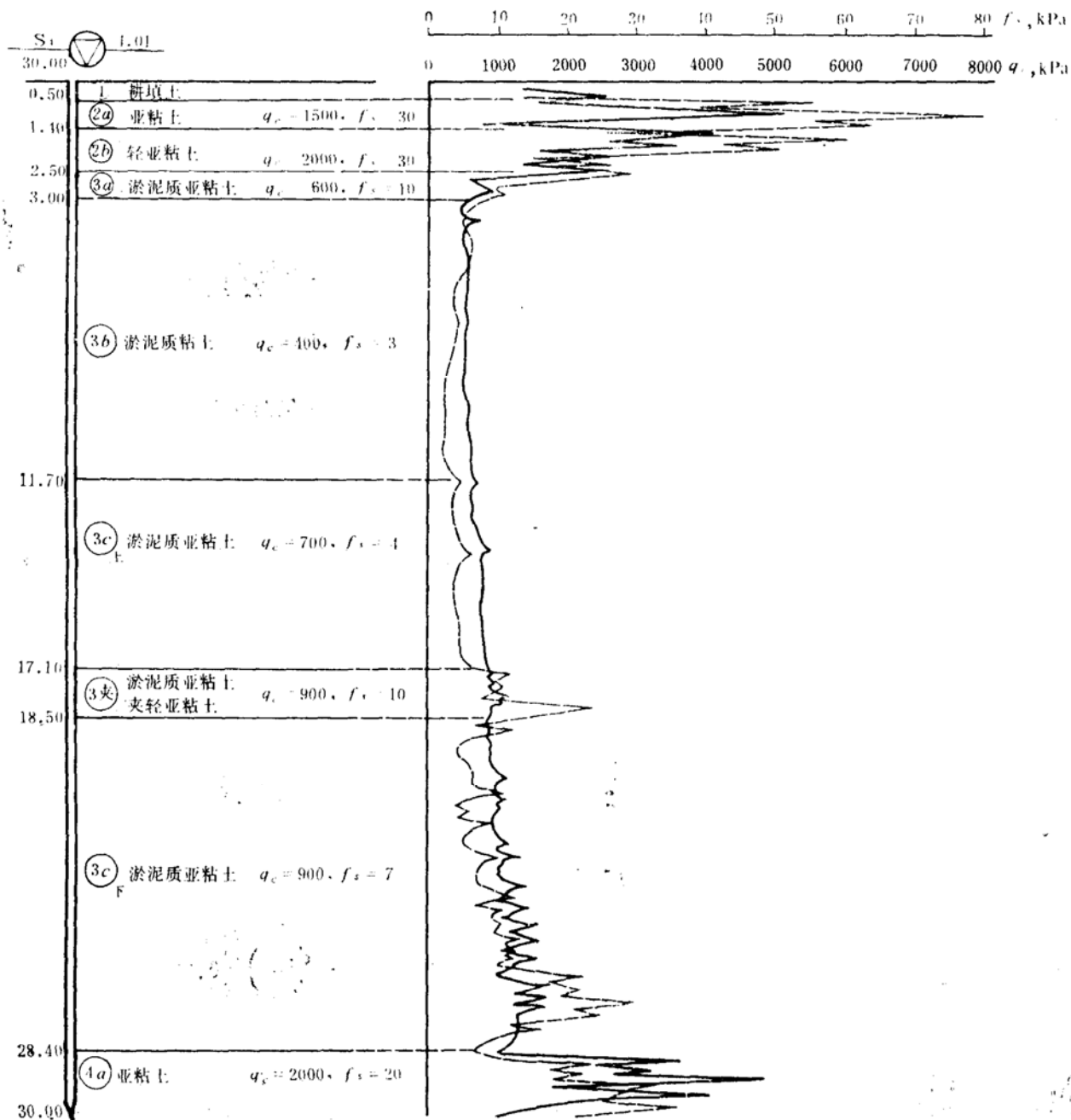


图3 静探孔曲线图

待于在实践中进一步探讨。我们初次在实践工程中采用了 $K = 1.8$ 。

三、实 例

杭州市某住宅小区, 根据钻探和静力触探资料, 该建筑场地属滨海相沉积区, 表层除很薄一层①号耕填土外, 普遍有一层2.5~3.0m厚的②号亚粘土层和轻亚粘土层组成的硬壳, 该硬壳层的平均容重 γ 为 19kN/m^3 , 地基承载力 $R = 110\text{kPa}$, 地下水位在地表下0.3m左右, 硬壳层的下面为深厚的③号淤泥质土层, 厚度达21.5~29.0m, 平均容重 γ_2 为 17.8kN/m^3 , 地基承载力 $R = 65\text{kPa}$ 。上层土的 $\phi_1 = 15^\circ$, $c_1 = 18\text{kPa}$; 下层土的 ϕ_2 值很小, 取为 0° , $c_2 = 18\text{kPa}$ 。图3为该场地中 S_4 号静探孔曲线图。

在该场地上建造六层住宅, 按板基设计, 板基宽度 $b = 12\text{m}$, 基础埋深 $t = 1\text{m}$, 地表硬壳厚 $h = 2.5\text{m}$, 板底平均压力 $p = 87.5\text{kPa}$ 。

按TJ7-74规范^[2]第35条验算下卧层强度:

$$p_{cz} = (2.5 - 0.3) \times (19 - 10) + 0.3 \times 19 = 25.5\text{kPa}$$

$$p_z = \frac{B(p - p_c)}{B + 2Z \tan \theta} = \frac{12[87.5 - 0.3 \times 19 - 0.7 \times (19 - 10)]}{12 + 0} = 75.5\text{kPa}$$

(因为基础底面至软弱下卧层顶面以上土层厚度小于基础宽度的四分之一, 故 θ 取 0°)
下卧层地基承载力修正值 R

$$\begin{aligned} R &= [R] + m_B \gamma (B - 3) + m_D \gamma_P (D - 1.5) \\ &= 65 + 0 + 1.0 \times \frac{0.3 \times 19 + (2.5 - 0.3) \times 9}{2.5} \times (2.5 - 1.5) \\ &= 75.2\text{kPa} \end{aligned}$$

$$p_z + p_{cz} = 75.5 + 25.5 = 101\text{kPa} > R = 75.2\text{kPa}$$

故下卧层强度不能满足规范要求。

按双层地基承载力计算:

$$c_1 \cdot \cot \phi_1 = 18 \times 3.732 = 67.18\text{kPa}$$

$$\tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2}\right) = 1.303 \quad \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_1}{2}\right) = 1.698$$

$$\tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2}\right) = 0.767 \quad \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi_1}{2}\right) = 0.589$$

$$b_2 = b_4 = 12 - 2 \times (2.5 - 1) \times 0.767 = 9.699\text{m}$$

按公式(1)

$$\begin{aligned} p_1 &= \left[\frac{12}{2} + (2.5 - 1) \times (0.589 - 0.767) \right]^{-1} \times \left\{ 3 \times 67.18 \times (1.698 \right. \\ &\quad \left. - 0.589) + [3 \times 12 - 5 \times (2.5 - 1) \times 0.767 + 2.5 \times 1.303] \times 18 \right\} \end{aligned}$$

$$= 144.18 \text{ kPa}$$

按公式(3)

$$p_2 = \left[(2.5 - 1) \times 0.589 + \frac{1}{2} \times 9.699 \right]^{-1} \times \left\{ -\frac{1}{2} [19 \times 0.3 \times (2 \times 2.5 - 0.3) + 9 \times (2.5 - 0.3)^2] \times 1.698 - \frac{1}{2} [19 \times 0.3 \times (2 \times 1 - 0.3) + 9 \times (2.5 - 1)^2 + 9 \times (1 - 0.3)^2] \times 0.589 + \frac{1}{2} \times 9.699 \times [9 \times (1 - 0.3) + 0.3 \times 19] \right\}$$

$$= 18.80 \text{ kPa}$$

$$p_u = p_1 + p_2 = 144.18 + 18.80 = 162.98 \text{ kPa}$$

$$K = \frac{162.98}{87.5} = 1.863 > 1.8$$

板基设计中为加强底板的刚度和避免板基边缘的局部塑性变形, 板基四周做梁如图4所示。在施工过程中, 加强沉降观测, 尤其在顶部两层施工时, 根据沉降观测情况来控制施工进度, 以避免地基产生剪切破坏。

该小区1983年年底已完工的十六幢六层住宅, 总建筑面积达49642m²。按天然地基上的板基基础设计, 架空层以下基础直接费费用核算为14.39元/m², 若采用 $\phi 377$ 振动灌注桩条基方案(按类似地区已建成的17.5m长桩条基设计), 架空层以下基础直接费费用达30.15元/m², 因此两者比较, 十六幢住宅按双层地基承载力方法设计采用天然地基上的板基, 可节约造价78.24万元。

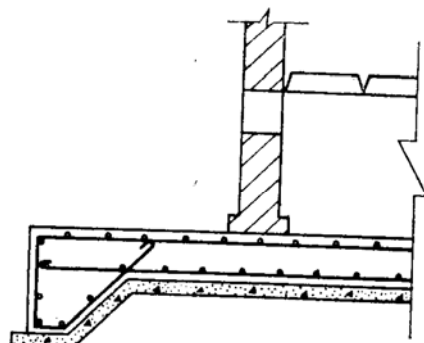


图4 板基础剖面示意图

十六幢住宅于84年5月份起开始使用, 其中至今沉降量最大、相对局部倾斜也是最大的一幢住宅的建筑平面及沉降观测点布置见图5。沉降观测资料汇总见表1。

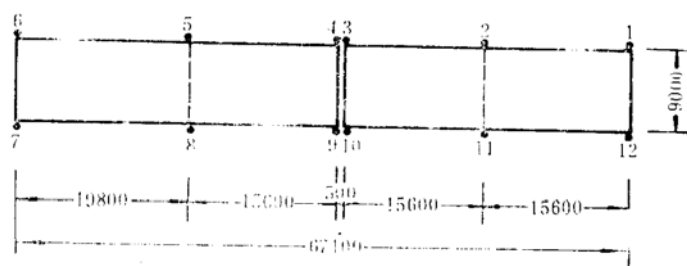


图5 建筑平面沉降观测点布置图

表 1

沉降观测成果表

次 数	观 测 日 期	天 数	ΔS ΣS	观 测 点 编 号												观测时
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	工程进度
1	83.5.3	0	ΣS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	砌一层墙
2	6.7	35	ΔS	-2	-2	-3	-1	-2	-2	-4	-2	-3	-2	-3	-2	砌二层墙
			ΣS	-2	-2	-3	-1	-2	-2	-4	-2	-3	-2	-3	-2	
3	7.8	66	ΔS	-8	-8	-10	-10	-6	-4	-4	-7	-7	-7	-6	-6	砌四层墙
			ΣS	-10	-10	-13	-11	-8	-6	-8	-9	-10	-9	-9	-8	
4	7.25	83	ΔS	-7	-10	-3	-10	-3	-2	-3	-2	-7	-8	-7	-7	砌五层墙
			ΣS	-17	-20	-16	-21	-11	-8	-11	-11	-17	-17	-16	-15	
5	9.3	123	ΔS	-4	-10	-16	-18	-12	-7	-7	-12	-12	-12	-9	-4	六层结顶
			ΣS	-21	-30	-32	-39	-23	-15	18	-23	-29	-29	-25	-19	
6	11.24	205	ΔS	-14	-32	-50	-41	-38	-16	-19	-39	-50	-50	-34	-13	粉刷完毕
			ΣS	-35	-62	-82	-80	-61	-31	-37	-62	-79	-79	-59	-32	
7	84.3.12	314	ΔS	-6	-21	-40	-41	-34	-23	-32	毁坏	-45	-43	毁坏	-10	竣 工
			ΣS	-41	-83	-123	-120	-95	-54	-69		-124	-122		-42	
8	4.23	356	ΔS	0	-3	-5	-7	-7	-8	-6		-8	-7		+1	未 使用
			ΣS	-41	-86	-128	-127	-102	-62	-75		-132	-129		-41	
9	12.13	590	ΔS	-21	-40	-52	-51	-46	-32	-35		-51	-53		-19	使 用
			ΣS	-62	-126	-180	-178	-148	-94	-110		-183	-182		-60	
10	85.2.11	650	ΔS	-1	-7	-12	-13	-12	-10	-9		-13	-11		-1	使 用
			ΣS	-63	-133	-192	-191	-160	-104	-119		-196	-193		-61	
11	5.10	738	ΔS	-5	-7	-14	-13	-10	-10	-9		-10	-9		-3	使 用
			ΣS	-68	-140	-206	-204	-170	-114	-128		-206	-202		-64	
12	11.29	941	ΔS	-34	-30	-22	-21	-19	-12	-10		-19	-22		-33	距东山墙 8 M 处已打入 18 M 灌注 (桩造住宅)
			ΣS	-102	-170	-228	-225	-189	-126	-138		-225	-224		-97	
13	86.2.14	1018	ΔS	-9	-9	-12	-12	-11	-11	-11		-12	-14		-7	使 用
			ΣS	-111	-179	-240	-237	-200	-137	-149		-237	-238		-104	

注：表中 ΔS 、 ΣS 单位均为 mm。

从表 1 可见，目前测得局部最大倾斜值是 0.00436 (1、2 点之间)，虽大于 TJ7-74 规范中高压缩性粘性土上砖石承重结构基础局部倾斜容许值 0.003，但远小于上海市地基基础设计规范^[6]相应建筑物的实测局部倾斜变形值 0.007~0.03，若在基础设计中，根据地质条件对基础的挑出宽度作适当调整的话，尚能减小局部倾斜值。表 1 中沉降量最大的是 3 号点，

根据3号点的沉降观测资料分别用指数曲线型经验公式和双曲线型经验公式^[4]来推算其最终沉降量, 其值分别为30.8cm和38.4cm。该值均在上海市地基基础设计规范相应容许变形值范围之内。从各点推算所得的最终沉降量来分析, 最终局部倾斜变形值将不会超过上海市地基基础设计规范中的实测变形值范围。

四、结 语

地基容许承载力具有复杂的涵义, 特别对于软粘土地区, 地基承载力包含强度和变形两个重要组成部分, 必须分别加以考虑, 然而满足强度要求是首要的, 其次是控制沉降差异。

按双层地基来计算承载力, ϕ 、 c 值的确定是很重要的, 必须做足够的土样试验, 而且设计人员要根据试验的全面指标和邻近地区的资料才能对所用参数作出正确的判断。对施工和使用中的建筑物进行沉降观测是搞好设计、指导施工的不可缺少的一环。

参 考 文 献

- [1] 金问鲁, 用流网法解土压力问题, 土木工程学报, No 3, 1964.
- [2] 工业与民用建筑地基基础设计规范TJ 7-74, 中国建筑工业出版社, 1974.
- [3] 上海市地基基础设计规范, 上海人民出版社, 1975.
- [4] 孙更生、郑大同, 软土地基与地下工程, 中国建筑出版社, 1984.

Calculation of Bearing Capacity of Two-layer Foundation and It's Application for Natural Soft Clay Foundation

Jin Wenlu and Xie Degui

(Hangzhou Architectural and Civil Engineering Design Institute)

Abstract

The strength of sublayer of the two-layer foundation which is a soft clay covered by thin crust often can't satisfies the requirements of building code. This paper uses the limit equilibrium theory to calculate bearing capacity of two-layer foundation. By the mechanical parameter ϕ of soil, we can get the approximate shifting nets. Then we get the bearing capacity p_1 due to the cohesion c and the bearing capacity p_2 due to the weight of soil respectively. Finally, the ultimate bearing capacity can be calculated by $p_u = p_1 + p_2$. We can determine the allowable bearing capacity p_a with enough reliability and take some appropriate measures in design. This method is economic and safety in practice.