

关于黄土和黄土状土湿陷性评价问题

西北农学院水利系 刘祖典 张伯平

摘 要

文中首先分析了当前国内对于湿性黄土研究的情况和存在问题。针对提出的问题,文中第一部份提出用变形模量计算湿陷系数,并从理论推导,导出湿陷系数与变形模量的理论关系。文中第二部份提出在黄土和黄土状土的压缩和湿陷变形计算中如何考虑土的线性特性,阐述了计算程序,最后并作出算例。

一、前 言

黄土和黄土状土,在我国黄河中游地区整个地表几乎全部被黄土覆盖。这里的黄土发育也最好,地层全,厚度大,分布连续,是我国黄土主要分布地区;这里的水利、交通、工业建筑设施等与黄土均发生密切关系。黄土是一种特种土质,在工程地质方面具有一个很大的特性,就是在一定压力作用下具有浸水湿陷性,这是我们所熟知的事实。关于黄土湿陷性评价问题一直是这个技术领域中最突出的问题。因为对黄土地基湿陷性判断的准确程度,直接影响整个工程在技术、经济上的合理性。由于黄土湿陷的原因和机理,强度和变形的复杂性,这个问题现在只能说还处在定性阶段,因而有关黄土湿陷变形的预测,也不能说很准确。目前对于黄土湿陷性的评价,主要采用室内渗压试验所得到的湿陷系数 δ_s (δ_{s_s})。关于这一湿陷性指标的测定和实践中的应用,积累了不少经验。但在实际应用中发现,湿陷系数 δ_s 的数值很不稳定,用以估算的湿陷量与实际有差异,这就不能不引起注意。对这一问题,我们分析了过去资料,进行了讨论,提出不同的看法,供作参考。

二、用变形模量确定黄土和黄土状土的湿陷系数

黄土的形成由于自然地理和气候条件的原由,常处于低含水量高孔隙度的欠压密状态,也就是说它的压密状态与其所承受的压力不相适应。因此迁水浸湿强度降低以后,就会发生突然下沉现象,这现象被称之为“黄土的湿陷性”。在试验室如何模拟这一现象,通过试验确定其湿陷性。在现行的“土工试验规程”和“湿陷性黄土的地基建筑规范”中普遍采用了“单线”和“双线”法,测算出其湿陷系数(δ_s)

湿陷系数 δ_s 表示如下:

$$\delta_s = \frac{\Delta \varepsilon}{1 + \varepsilon_0} \dots\dots\dots (1)$$

或者 $\delta_s = \frac{h_p - h'_p}{h_0} \dots\dots\dots (2)$

式中 δ_s ——黄土浸水湿陷系数

$\Delta \varepsilon$ ——在同一压强(P)作用下黄土在不浸水情况下的孔隙比变化

ε_0 ——黄土的起始孔隙比

h_p, h'_p ——分别为黄土样在浸水前后的试样高度。 h_0 ——表示黄土样的起始高度。

1、经过分析过去的试验资料发现在用公式(1)或(2)中的 $\Delta \varepsilon$ ，或 h_0 —— h'_p 值中包含了不少误差。例如，两个土样虽然它的容重是很接近，但总不能完全相同，致使两条曲线，在起点就不能相交于一点，影响以后各级荷载下的 $\Delta \varepsilon$ 值，而且是累积的。

再如试验加压开始，由于加压设备接触不良，测针的灵敏度，土样表面和周围表面的不够平整，都会使 $\Delta \varepsilon$ 或 h_p —— h'_p 值增大，而且是累积误差，随着作用压强的增大而增大。所以用现行计算湿陷系数 δ_s 的方法，获得的 δ_s ——P曲线包含较大误差，很难与实际情况相符。

2、我们认为对于湿陷系数 δ_s 的计算，如改用变形模量法，就可以免除上述误差的影响。同时在计算 δ_s 的公式中，同时出现作用压强(P)和土的变形模量(E)，直观地反映出作用于土上的压强大小和土的强度变形情况。

3、湿陷系数 δ_s 不能用三轴压缩试验或现场载重试验确定，因此也就不能与现场资料相对比。如改用变形模量法，不仅可以用三轴试验或现场实测，而且可以利用各土质的模量的统计资料，给设计工作带来一定方便。

4、用公式(1)或(2)计算土的湿陷系数，很难考虑黄土的非线性性质。按当前土工问题发展趋势，在土的变形稳定计算中都在考虑土的非线性性质。这个问题的解决，只有借助于不同应力状态下的变形模量。

基于以上各点，我们认为今后对黄土的湿陷系数 δ_s 的计算，可以采用变形模量法，湿陷系数(δ_s)与变模量E间的关系，可根据理论予以建立。

5、黄土的湿陷系数 δ_s 与变形模量E间的关系^[1]

压缩系数(a)变形模量(E)和湿陷系数 δ_s 都是反映黄土压缩性指标，它们之间必然存在内在联系。

影响黄土压缩系数(a)和变形模量(E)的主要因素为土质(时代成因和颗粒组成)自然容重r，含水量(W)和压力强度(P)等。但其中以压力强度P的变化为主。

影响黄土的湿陷系数 δ_s 的主要因素亦同，但其中以含水量的变化为主。

压缩变形模量(Ec)与压缩系数(a)的关系为:

$$Ec = \frac{1 + \varepsilon_0}{a} \dots\dots\dots (3)$$

总变形模量(E_0)与压缩变形模量 E_c 间的关系为:

$$E_0 = \beta E_c \text{----- (4)}$$

式中 ϵ_0 ——土的原始孔隙比

a ——土在不同压力强度作用下的压缩系数

β ——考虑土侧向膨胀换算常数, 为土的侧向膨胀系数(μ)的函数, 如下式。

$$\beta = \left(1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu} \right)$$

关于湿陷系数 δ_s 和变形模量(E_c)间的关系到现在为止, 尚未有人提出, 现可推导如下:

黄土在各不同压应力(P)作用下的相对湿陷系数 δ_s 如式(1)

$$\delta_s = \frac{\Delta \epsilon}{1 + \epsilon_0} \text{----- (1)}$$

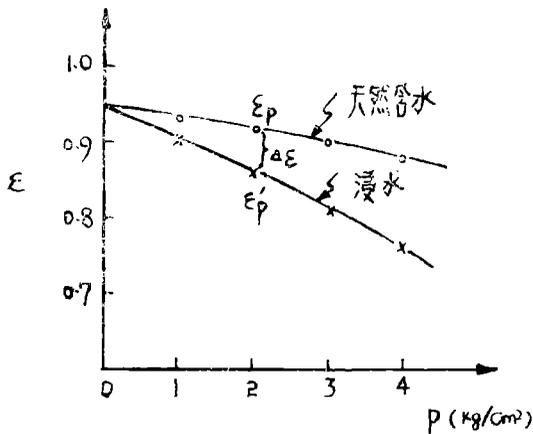


图1. 湿陷性黄土的 $\epsilon-p$ 曲线

按图1在同一压应力作用下, 土样在天然含水量的压缩孔隙比为 ϵ_p , 浸水后的孔隙比为 ϵ'_p , 二者的差值为土的湿陷大孔隙比 $\Delta \epsilon$ 。由土的三相图可知, 土样在浸水前后的孔隙比 ϵ_p , ϵ'_p 与土样的压缩变形量 S_1 和 S_2 的关系如下式:

$$\epsilon_p = \epsilon_0 - \frac{S_1}{h} (1 + \epsilon_0) \text{----- (5)}$$

$$\epsilon'_p = \epsilon_0 - \frac{S_2}{h} (1 + \epsilon_0) \text{----- (6)}$$

$$\text{则: } \Delta \epsilon = \epsilon_p - \epsilon'_p = \frac{S_2 - S_1}{h} (1 + \epsilon_0) \text{----- (7)}$$

这样一来浸水后的湿陷系数 δ_s 可用压缩变形量(S)表示如下

$$\delta_s = \frac{\Delta \epsilon}{1 + \epsilon_0} = \frac{S_2 - S_1}{h} \text{----- (8)}$$

由土力学知: 土柱(h)在天然含水条件下的压缩变形量(S)为:

$$S_1 = \frac{ap}{1 + \epsilon} h = \frac{P}{E_c} h \text{----- (10)}$$

$$S_2 = \frac{a'p}{1 + \epsilon_0} h = \frac{P}{E'_c} h \text{----- (11)}$$

式中 a ——土样在天然含水量情况下的压缩系数

a' ——土样在浸水情况下的压缩系数

E_c ——土样在天然含水量情况下的变形模量

E'_c ——土样在浸水情况下的变形模量

ϵ_0 ——土样的原始孔隙比

将(10)和(11)式代入(8)式, 则得

$$\delta_s = \left(\frac{P}{E'c} - \frac{P}{Ec} \right) = \Delta \left(\frac{P}{Ec} \right) \text{----- (12)}$$

(12)式中表示了相对湿陷系数与压缩变形模量(Ec)间的关系。这一公式说明, 黄土在一定压应力作用下, 浸水后的相对湿陷系数(δs)可以用压缩变形差[Δ(P/Ec)]表示。因此只要知道黄土在不同含水量和压力作用下变形模量(Ec)时, 即可用上式求出其相对湿陷系数(δs)

由(12)式还可以看出, 用变形模量表示湿陷系数(δs), 与两个压缩曲线间的孔隙比差值Δε不发生关系, 仅与两曲线各加压阶段的斜率有关。这样就消除了试验操作过程中由于土样表面不平整, 压头接触不紧密等缺点所引起的误差, 大大的提高了试算精度。

6、试验和计算实例

为了比较用变形模量法和常用孔隙比差Δε计算的湿陷系数精度情况, 我们对武功西北农学院以南三道原场地的黄土和富平县地下水库场地土样进行对比试验。

例: 武功西农南面三道原黄土地(地面以下5m)

自然容重 r = 1.65T/m³ r_d = 1.36T/m³

自然孔隙比 ε = 1.05

自然含水量 W = 21.7% 饱和度 Sr = 52.4%

浸水含水量 W = 25.9% 饱和度 Sr = 70%

压力强度(kg/cm ²)	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
Ec(kg/cm ²)	150.0	150.0	150.0	121.1	48.0	34.9
E'c(kg/cm ²)	45.6	17.8	15.2	17.1	25.0	30.7
Δ(P/Ec)	0.0040	0.0476	0.0886	0.1005	0.0575	0.0158
δs	0.0094	0.0252	0.0630	0.0800	0.1122	0.1190

例: 富平地下水库土样(地面下5m)

W = 19.66% r_d = 1.299T/m²

压力强度(kg/cm ²)	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Ec(kg/cm ²)	135.0	135.0	134.0	120.0	82.0	75.0
E'c(kg/cm ²)	71.0	35.5	30.0	35.2	50.0	60.0
Δ(P/Ec)	0.0083	0.0210	0.0520	0.0600	0.0370	0.0160
δs	0.0070	0.0170	0.0410	0.0650	0.0700	0.0710

图2 武功西农南面三边泥黄土 (地面以下5M)

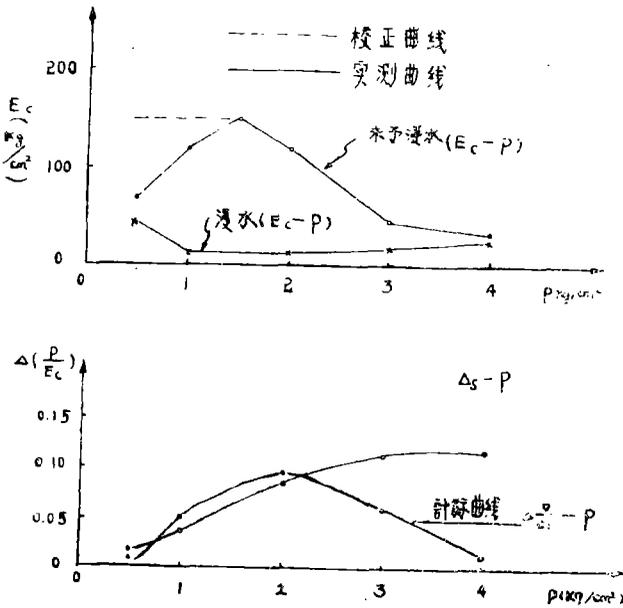
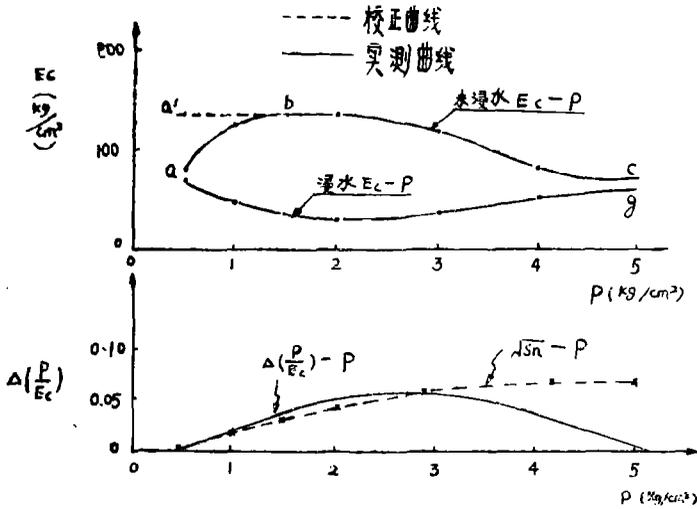


图3 雷平地下水厚黄土 (地面下5M)



7、对黄土的 E_c — P 和 δ_s — P 曲线的分析

根据上述试验资料，可以看出，天然含水情况下的黄土的压缩变形模量和压力强度曲线 (E_c — P)，一般表现为下凹形式如图4中的abc曲线，也就是说压缩变形模量 (E_c) 开始随压力强度 P 的增大而增大，经过b点后又随压力强度增大而减少 (bc段)。若压力强度再增大，还有强化的可能性。ab段的变形模量 E_c 其所以小的原因，主要因为压缩系数 a 太大了，这种现象的出现，我们认为这是试验中的误差，如加压设备接头不紧密，土样表面不平整，承压板与土面接触不好等。按理论分析，正确的 E_c — P 曲线应为校正以后的 $a'b'c$ 曲线。压缩变形模量 E_c 随压强的增大而减小，是完全合理的，符合原状黄土的强度规律的。

浸水后黄土的 $E'c$ — P 曲线，一般表现为上凹形曲线，如图4中的d fg曲线，这一曲线形式，与黄土浸水压缩曲线形式相似，即黄土浸水后，强度开始先随作用压力强度

的增大而减小，达到一定压力强度后，由于仪器侧壁的限制，侧向膨胀受到限制，土的密度因之随压力而逐渐增大，强化现象比较显著。

由于 $E'c$ — P 和 E_c — P 曲线各自的特点，根据这两个曲线所确定的湿陷系数和压强曲线 $\Delta(\frac{P}{E_c}-P)$ 近似一个二次抛物线，表示黄土的湿陷系数，当作用压力强度小时，湿陷系数 (δ_s) 也很小，迄达一定压力强度 (2—3 kg/cm²) 时，湿陷系数 δ_s 达最大值，

此后又随压力强度的增大而减小。这种曲线型式是符合黄土浸水湿陷的压缩实际的。因为黄土的压缩在一定压力下总是有限度的,决不会无限地随压力强度增大而增大。而用孔隙比差 ($\Delta \epsilon$) 确定的黄土湿陷系数 ($\delta_s = \frac{\Delta \epsilon}{1 + \epsilon}$),在一般情况下都是随着压强增大而增大,与实际情况出入较大。

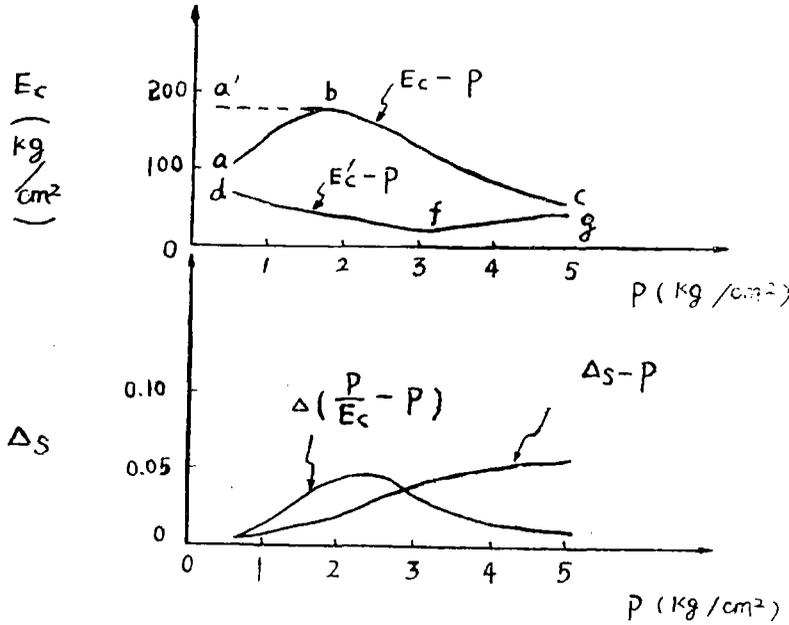


图 4 $E_c' - P$ $\Delta(\frac{P}{E_c} - P)$ 和 $\Delta s - P$ 曲线

8、 $E_c - P$ 曲线的应用问题

按邓肯和张 (Jame M · Duncan and Chin-yung chang) 的意见^[4], 单轴各级荷载作用下的总变形模量 (E_t) 相当于各级荷载作用下的切线模量 (E_t), 其表示式如下:

$$E_t = \Delta P \frac{1 + \epsilon}{\Delta \epsilon} \left(1 - \frac{2V^2}{1 - V} \right) \dots \dots \dots (13)$$

式中 E_t —— 各级荷载作用下, 黄土的切线模量

ΔP , $\Delta \epsilon$ 各荷载增量和相应的孔隙比变化

V —— 与荷载增量 ΔP 相适应的泊桑比, 其值可以按土体的塑性指数和固结状态下的静止侧压系数 k_0 确定 ($V = \frac{k_0}{1 + k_0}$), k_0 值可参考^[5]

既然各级荷载作用下的切线变形模量 (E_t) 可以求出, 那么各级荷载下的稳定压缩变形量 (S) 和湿陷量 Δs 即可根据模量计算之, 计算步骤详见本文第三部分。

三、考虑黄土和黄土状土在压缩与湿陷变形中的非线性特性

过去一直把土当作直线变形体，认为只有当作用于土体上的压力达到一定数值后，才会显示出非线性特性。当然这样假定对简化分析计算土工问题，起了一定作用，但也是使理论与实际发生矛盾的主要根源。自从电子计算技术发展以后，利用有限元法分析土工问题，不仅在提高计算精度和速度上起了重大作用，而且为在分析计算中考虑土的非线性、非弹性的应力——应变特性变成现实。

如前所述，黄土在天然情况下是处于欠压密状态，尤其遇水浸湿以后，非线性、非弹性的应力——应变特性比较突出，在强度——变形分析中，必须考虑这些特性。

考虑黄土的非线性弹性应力应变特性的压缩和湿陷变形分析计算，我们认为可以根据邓肯 (jame M · Duncan) 和张 (Chin—yung chang) 所提出的切线模量法的增量法。

通过室内标准三轴压缩试验，作出黄土地基土样的天然含水和浸水情况下的应力——应变曲线，确定出应力——应变参数；起始变形模量 $E_i = \frac{1}{a}$ ；破坏比值

$R_f (R_f = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)_f}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{uet}}$)；模量数K指数n以及莫尔——库仑强度指标C、 ϕ 值等。然后根据下列公式求出各不同应力状态下的切线变形模量 E_t ，作为计算（或电算）黄土在不同应力状态下的压缩和湿陷变形的的基础。

$$E_t = \left[1 - \frac{R_f (1 - \sin \phi) (\sigma_1 - \sigma_3)}{2 \cdot c \cdot \cos \phi + 2 \sigma_3 \sin \phi} \right]^2 E_i \dots\dots\dots (14)$$

式中 E_i ——表示起始模量

$$= K p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^n$$

p_a ——大气压力

由公式 (14) 可以看出，土体切线模量 E_t 为其所受应力状态 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ 的函数。土体在一定应力状态下的切线模量 (E_t)，可以根据三轴压缩试验的应力——应变曲线求之。现将西北几个地区黄土和黄土状土在各种不同应力状态下的 $E_t \sim \sigma (\sigma_1 - \sigma_3)$ 曲线表示如图 5 a、5 b、5 c。

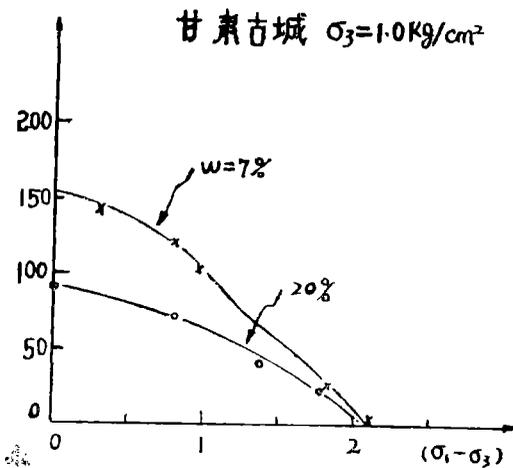


图 5 a 黄土和黄土状土的 $E_t - (\sigma_1 - \sigma_3)$ 曲线

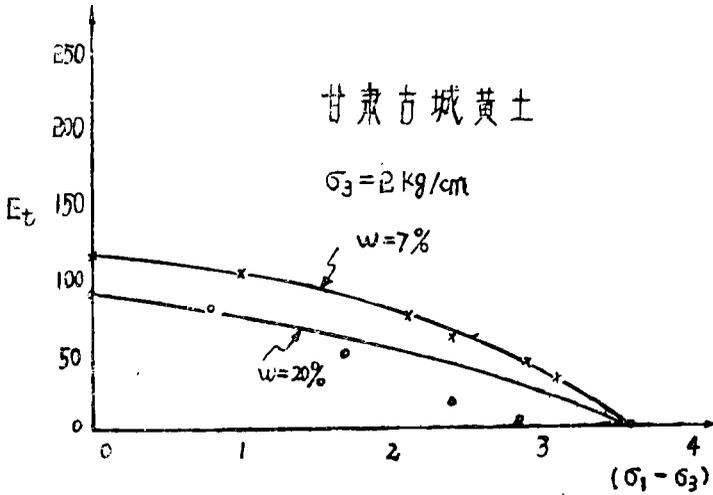


图5b 黄土和黄土状土的 $E_t - (\sigma_1 - \sigma_3)$ 曲线

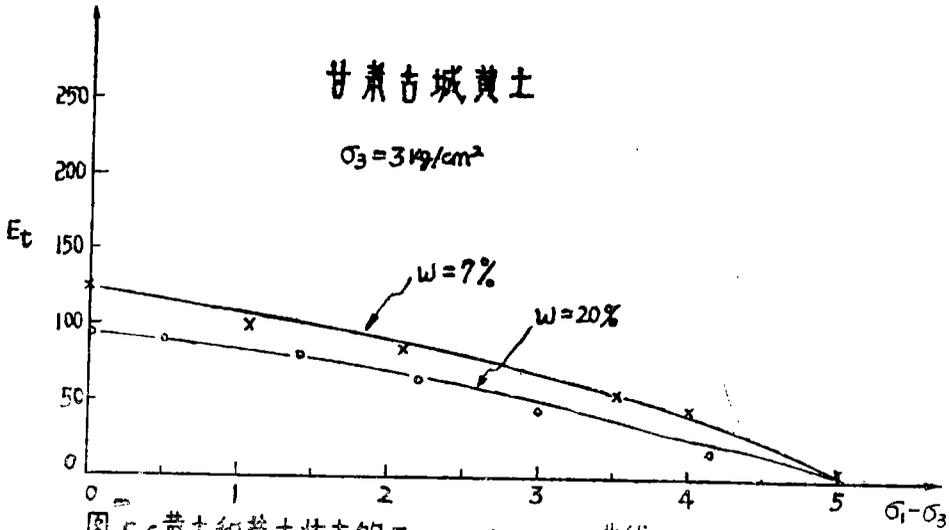


图5c 黄土和黄土状土的 $E_t - (\sigma_1 - \sigma_3)$ 曲线

根据不同应力状态下的切线模量 (E_t) 可以采用有限元的增量法 (Incremental procedure) 算出地基各划分单元的位移和应力增量, 最后求出地基各点的压缩变形量 (S) 和湿陷量 (Δs)。

在没有电算条件情况下, 可以直接根据弹性理论, 先按布辛奈斯克 (Boussinesqu) 或弗拉蒙 (Flament) 课题求出地基各点的附加应力增量 ($\Delta\sigma_z, \Delta\sigma_r, \Delta\tau_{rz}$), 对于土坝基如考虑分期施工阶段的影响, 坝基应力的分布, 可以采用普洛斯 (H.G. Poulos) 的近似计算方法^[6]。然后根据虎克定律, 按下式分层求出地基各点的应变增值 $\Delta\varepsilon$, 压缩变形量 (S) 和湿陷量 (Δs)。

平面应力问题, $\Delta \varepsilon = \frac{1}{E_t} (\Delta \sigma_z - \mu \Delta \sigma_x)$ (15)

平面变形问题, $\Delta \varepsilon = \frac{1 + \mu}{E_t} [(1 - \mu) \sigma_z - \mu \Delta \sigma_x]$ (16)

压缩变形量(天然含水和浸水情况)为S

$$S = \sum_1^n \Delta \varepsilon \cdot \Delta h \text{ (17)}$$

湿陷变形量(Δs) $\Delta s = s_2 - s_1$ (18)

式中 Δh —地基分层厚度

S_1 = 天然含水情况下天然黄土的稳定压缩量

$$= \sum_1^n \frac{1}{E_t} [\Delta \sigma_z - \mu \Delta \sigma_x]; \text{ (平面应力问题)}$$

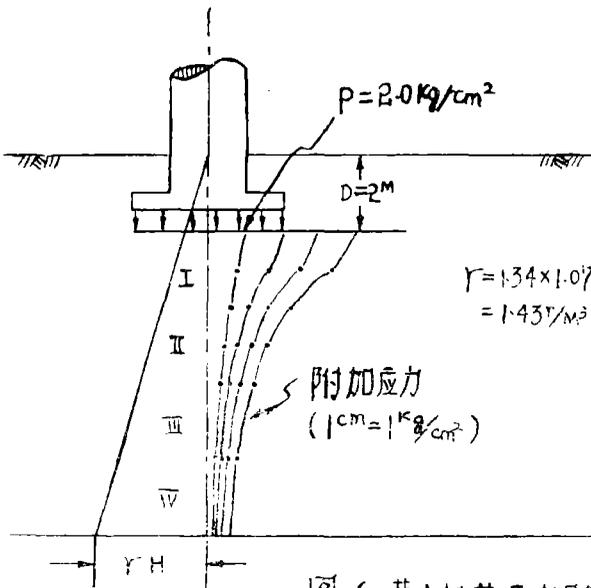
$$= \sum_1^n \frac{1 + \mu}{E_t} [(1 - \mu) \Delta \sigma_z - \mu \Delta \sigma_x] \text{ (平面应变问题)}$$

S_2 = 浸水情况下黄土的稳定压缩量

$$= \sum_1^n \frac{1}{E'_t} [\Delta \sigma_z - \mu \Delta \sigma_x] \text{ (平面应力问题)}$$

$$= \sum_1^n \frac{1 + \mu}{E'_t} [(1 + \mu) \Delta \sigma_z - \mu \Delta \sigma_x] \text{ (平面应变问题)}$$

E_t, E'_t ——为天然含水和浸水情况下的切线变形模量。



实际工程的外加荷载, 都是分期加荷。根据公式(15)—(17)可以求出各分期荷载阶段的天然含水情况下的压缩变形量(S_1)和浸水情况下的压缩变形量(S_2), 绘出 p — S 曲线。天然含水与浸水情况下 p — S 曲线纵坐标差值即为各级荷载下的湿陷量(Δs), 如图6 如示。

算例: 现以甘肃古城黄土为例, 计算位于该黄土层上, 底宽 $B = 4$ 米条形基础, 荷载强度 $P = 2 \text{ kg/cm}^2$, 分四级加荷: 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 kg/cm^2 。

黄土的天然容重 $r = 1.43 \text{ T/M}^3$, $W = 7\%$, $r = 1.61$, $W = 20\%$ 泊

桑比选用0,3, 砌置深度 D = 2 米, 基础中心的应力和变形计算如下图表。

a、地基中线上应力计算表

深度 Z (M)	Z/B	应力系数 (α)		ΔP = 0.5Kg/cm ²				Δp-1.0Kg/cm ²				Δp=1.5Kg/cm ²				ΔP=2.0Kg/cm ²			
		α _z	α _x	σ _z		σ _x		σ _z		σ _x		σ _z		σ _x		σ _z		σ _x	
				σ _z	平均值	σ _x	平均值	σ _z	平均值	σ _x	平均值	σ _z	平均值	σ _x	平均值	σ _z	平均值	σ _x	平均值
		0	0	1.00	1.00	0.50		0.50		1.00		1.00		1.50		1.50		2.00	
1	0.25	0.82	0.18	0.41	0.39	0.09	0.21	0.32	0.79	0.18	0.41	1.23	1.20	0.27	0.80	1.64	1.58	0.36	0.81
2	0.50	0.55	0.04	0.28		0.02		0.55		0.04		0.83		0.06		1.10		0.08	
3	0.75	0.40	0.01	0.20	0.21	0.005	0.01	0.40	0.41	0.01	0.03	0.60	0.63	0.02	0.04	0.80	0.84	0.62	0.05
4	1.0	0.31	—	0.15				0.31				0.47				0.02			
6	1.5	0.21	—	0.11	0.13			0.21	0.26			0.32	0.40			0.42	0.52		
8	2.0	0.16	—	0.08	0.10			0.16	0.15			0.24	0.28			0.32	0.37		

b、各分层的切线模量 Et (Kg/cm²)

首载级 Kg/cm ²		0.5	1.0	1.5	2.0
I	σ ₁ -σ ₃	0.37-0.21=0.16	0.79-0.41=0.38	1.2-0.8=0.40	1.58-0.81=0.77
	Et	150	140	137	120
	E't	90	85	85	70
II	σ ₁ -σ ₃	0.21-0=0.21	0.41-0=0.41	0.63-0=0.63	0.84-0=0.84
	Et	150	135	130	105
	E't	90	83	80	66
III	σ ₁ -σ ₃	0.13-0=0.13	0.26-0=0.26	0.40-0=0.40	0.52-0=0.52
	Et	155	145	137	135
	E't	93	87	85	80
IV	σ ₁ -σ ₃	0.1-0=0.1	0.15-0=0.15	0.28-0=0.28	0.37-0=0.37
	Et	155	147	140	140
	E't	94	90	85	85

c、地基变形计算表

荷载分级	$\Delta P=0.5\text{kg/cm}^2$			$\Delta P=1.0\text{kg/cm}^2$			$\Delta P=1.5\text{kg/cm}^2$			$\Delta P=2.0\text{kg/cm}^2$			S_1 S_2	ΔS
	$\frac{\Delta \epsilon}{\Delta \epsilon'}$	Δh	ΔS	$\frac{\Delta \epsilon}{\Delta \epsilon'}$	Δh	ΔS	$\frac{\Delta \epsilon}{\Delta \epsilon'}$	Δh	ΔS	$\frac{\Delta \epsilon}{\Delta \epsilon'}$	Δh	ΔS		
I	0.0017	200		0.0021	200		0.0016	200		0.0028	200			
	0.0028			0.0035			0.0026			0.0048				
II	0.0012	200		0.0013	200		0.0015	200		0.0018	200			
	0.0021			0.0021			0.0025			0.0028				
III	0.0007	200		0.0008	200		0.0009	200		0.0008	200			
	0.0012			0.0013			0.0014			0.0013				
IV	0.0005	200		0.0009	200		0.0008	200		0.0005	200			
	0.0009			0.0015			0.0013			0.0009				
n	0.0041	200	0.82	0.005	200	1.00	0.0048	200	0.96	0.0059	200	1.18	3.96	
Σ 1	0.0070		1.40	0.008		1.60	0.0075		1.50	0.0084		1.68	5.78	

注：表中长度单位为Cm

对于自重湿陷性黄土的自湿陷量 (Δz_s)，可以这样考虑：

1、仍如上述情况，作自然含水量和浸水情况下的三轴压缩试验，求出相应的应力—应变曲线，计算其变形参数a、b、Rf、K、n、c和 ϕ 值等。

2、自重湿陷量的计算，可按浸水的方向有两种情况：

(1) 浸水由上向下，如一般民房建筑，或渠系建筑。这时对地基土层的自重应力计算，可采用饱和容重 (r_H)，不同深度 (Z) 处的自重应力为：

$$\sigma_z = r_H Z \dots\dots\dots (19)$$

$$\sigma_z = K_0 \sigma_z \dots\dots\dots (20)$$

式中Z——自地面向下的深度

K_0 ——黄土层在浸水条件下的静止侧压系数^[5]

根据不同深度的应力状态，即可按(8)求出相应的切线模量(Et)。然后再按公式(9)——(12)求出地基的压缩变形量(S)和湿陷量(Δz_s)

(2) 浸水由下向上，如一般的地下水水位上升情况，这时地基土层的自重应力采用浮容重 (r') 其余算法同(1)。

分层计算的湿陷量 (Δs) 的分布如图7、8。

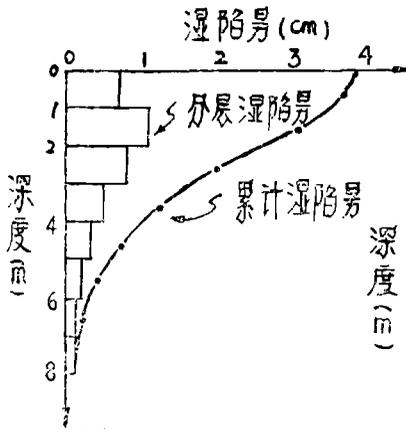


图7 非自重湿陷量分佈

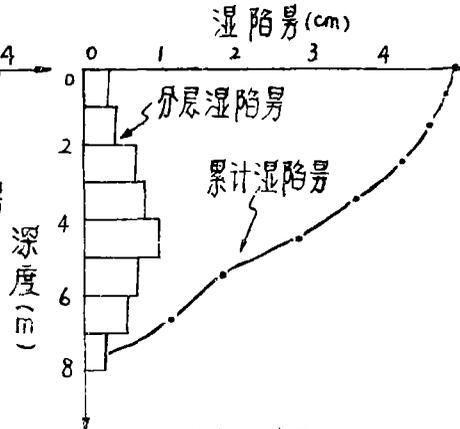


图8 自重湿陷量分佈

结 束 语

如何正确地确定黄土和黄土状土的湿陷变形系数和湿陷变形量,是对黄土和黄土状土地基评价和设计的一个重要指标,也关系到工程的造价和安全,一直是引起土工建筑工程技术人员的重视。但是,这个问题现存的解决方法,还不能完全符合实际。本文提出采用变形模量法计算湿陷系数和湿陷量,可能为合理解决这个问题,提供了有利基础,请批评指正。

参 考 资 料

1、用变形模量确定黄土的湿陷系数

西农水利系、陕西省水科所、西安公路学院 1978年

2、黄土和黄土状土的湿陷性问题

西农水利系土力学地质教研组 1979年

3、Nonlinear analysis of stress and strain in soil

By Jame M. Duncun and Chang ASCE, SM.5/1970

4、Gnalysis of soil movement around a deep excavation

By Jame chim—yung Chang and Jame M. Duncan, ASCE, SM.5/1970

5、Earth pressure at rest related to stress history.

By Brooker E.W. and Ireland, H.O. Canadian Geotechnical Journal vol II No. 1/1965

6、Stress and displacements in elastic layer under lay by a rough rigid lase

By H.G. Poulos Geolochnigie vol XVII NO.4/1967