Изв. АН Армении (сер. ТН), т. XLIV, № 5—6, 1991, с. 245—248.

ГИДРАВЛИКА

УДК 624.131.526

С. Ш. НУРИДЖАНЯН

УЧЕТ НАЧАЛЬНОГО ГРАДИЕНТА НАПОРА В МЕТОДЕ ЭКВИВАЛЕНТНОГО СЛОЯ ГРУНТА

Предлагается метод прогнозирования осадок фундаментов во времени по теории консолидации с учетом начального градиента напора. Расчетные зависимости получены в простой форме и не требуют применения ЭВМ для получения численных результатов.

Ил. 1. Библиогр.: 3 назв.

Առաջարկվում է ժամանակի ընթացքում հիմքերի նստվածքների կանխագուշակման եղանակը ամրակցման տեսության հիման վրա՝ հաշվի առնելով ճնշման սկզբնական գրադիենտը: Հաշվարկային առնչությունները ստացված են պարզ տեսքով և թվային արդյունքների ստացման համար չի պահանջվում հաշվիչ մեքենաների կիրառում:

Как известно, метод эквивалентного слоя, предложенный проф. Н. А. Цытовичем в 1934 г. для определения величины конечной осадки фундамента, в дальнейшем им и другими авторами был усовершенствован. С помощью этого метода оказалось возможным прогнозирование протекания осадки во времени для фундаментов, расположенных на водонасыщенных грунтах, путем приведения сложной пространственной задачи консолидации к одномерной. При рассмотрении одномерной задачи эпюра уплотняющих напряжений принимается в виде треугольника, высота которого h определяется из условия равенства стабилизированной осадки ее величине, полученной по строгому решению на базе теории линейно-деформируемой среды

$$h = 2h_э, \qquad h_э = A\omega b, \qquad A = (1-\nu_0^2)/(1-2\nu_0), \tag{1}$$

где $h_э$ — толщина эквивалентного слоя, ν_0 — коэффициент Пуассона, b — ширина подошвы фундамента, ω — коэффициент, зависящий от формы фундамента в плане и от его жесткости, значения которого можно найти в [1]. Зная величину $h_э$, значение стабилизированной осадки можно определить по формуле $S = m_v q h_э$, где m_v — коэффициент относительной сжимаемости, q — интенсивность внешней нагрузки.

Если основанием является водонасыщенный глинистый грунт, то для прогнозирования осадки фундамента во времени можно использовать приведенные в [1] решения. Однако в случае, когда фильтрация протекает с отклонением от закона Дарси из-за наличия начального градиента напора, эти решения не могут быть использованы. Учет начального градиента напора при прогнозировании консолидации является обязательным, т. к. он не только влияет на величину конечной осадки, но и на скорость протекания процесса. Ниже предлагается простой инженерный способ учета начального градиента напора в методе эквивалентного слоя грунта путем применения интегрального метода, использованного ранее в [2], применительно к одномерной задаче консолидации при прямоугольной эпюре сжимающих напряжений.

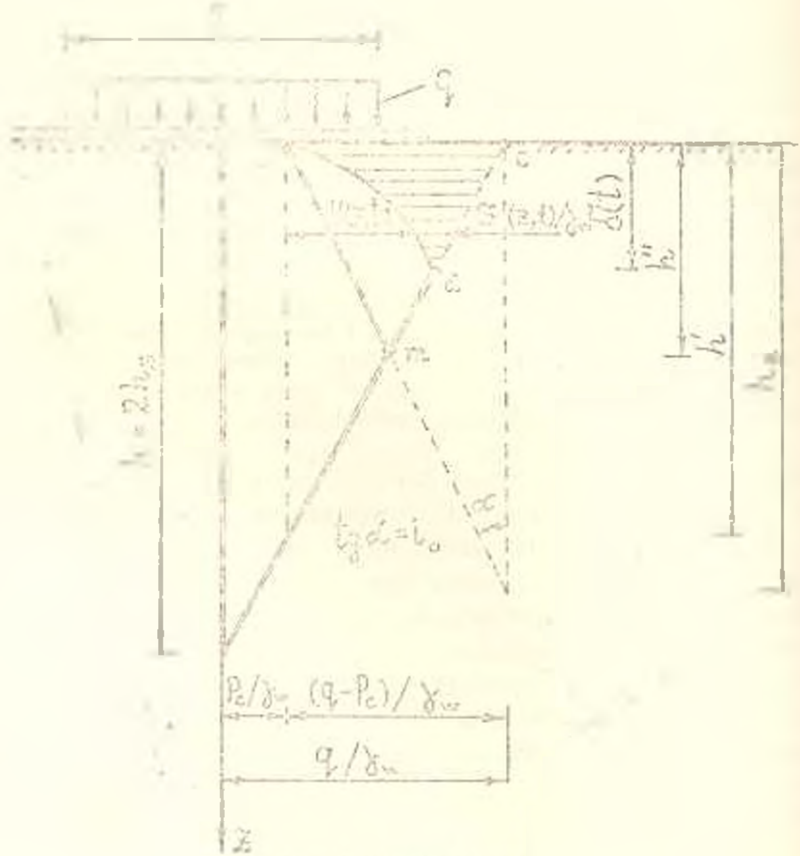

Рис. Расчетная схема

Рассмотрим консолидацию полностью водонасыщенного глинистого грунта под воздействием равномерно распределенной по площади прямоугольника нагрузки интенсивностью q (рис.). Если грунт обладает структурной прочностью, то при мгновенном приложении внешней нагрузки часть ее, равная P_c, будет воспринята скелетом грунта, а остальная часть будет передана поровой воде. При этом глубина активной зоны будет равна $h = 2h_э(q - P_c)/q$. Если же фильтрация в грунте начинается при градиентах, больших начального ($i > i_0$), то глубина активной зоны уменьшится до величины $h' = h'h_э/(h' + h_э)$, где $h' = (q - P_c)/\gamma_w i_0$.

Таким образом, прогнозирование консолидации по методу эквивалентного слоя грунта с учетом начального градиента напора сводится к интегрированию уравнения

$$\partial H/\partial t = (1/m_v \gamma_w)\, \partial (k\,(\partial H/\partial z - i_0))/\partial z,$$

которое при постоянном коэффициенте фильтрации k запишется в виде

$$\partial H/\partial t = C_v \partial^2 H/\partial z^2; \qquad C_v = k/m_v \gamma_w. \tag{2}$$

Здесь $H(z, t) = (q_0 - \sigma(z, t))/\gamma_w$, а $\sigma(z, t)$ — напряжение, возникающее в скелете грунта (сверх P_c), под воздействием которого происходит уплотнение. Решение уравнения (2) должно быть найдено при краевых условиях

$$H(z, 0) = q_0(1 - z/h')/\gamma_w = H_0(1 - z/h'), \quad z \leq h', \tag{3}$$

$$H(0, t) = 0, \quad H(\delta(t), t) = H_0(1 - \delta(t)/h'), \quad \partial H(\delta(t), t)/\partial z = i_0. \tag{4}$$

Последние два условия заданы на движущейся границе $\delta(t)$, закон движения которой заранее неизвестен и должен быть найден из самого решения. Впервые постановка двух граничных условий на движущейся границе раздела, разделяющей область, в которой происходит фильтрация, от области, в которой она отсутствует, была дана в [3]. Для удобства перейдем к безразмерным переменным, вводя обозначения

$$\tau = tC_v/h_0^2, \quad \zeta = z/h_0, \quad \overline{H} = H/H_0, \quad \overline{h} = h'/h_0, \quad \xi(\tau) = \delta(t)/h_0.$$

Тогда задача (2)—(4) запишется в виде

$$\partial \overline{H}/\partial \tau = \partial^2 \overline{H}/\partial \zeta^2, \tag{5}$$

$$\overline{H}(\zeta, 0) = 1 - \zeta/\overline{h}, \quad \overline{H}(0, \tau) = 0,$$
$$\overline{H}(\xi(\tau), \tau) = 1 - \xi(\tau)/\overline{h}, \quad \partial \overline{H}(\xi(\tau), \tau)/\partial \zeta = 1. \tag{6}$$

Функцию $\overline{H}(\zeta, \tau)$ примем в виде

$$\overline{H}(\zeta, \tau) = a_0(\tau) + a_1(\tau)\zeta + a_2(\tau)\zeta^2.$$

Найдя неизвестные коэффициенты $a_i(\tau)$ путем удовлетворения трем граничным условиям, получим

$$\overline{H}(\zeta, \tau) = [2 - \xi(\tau) - 2\xi(\tau)/\overline{h}]\zeta/\xi + [\xi(\tau) - 1 + \xi(\tau)/\overline{h}]\zeta^2/\xi^2(\tau). \tag{7}$$

Пусть функция $\overline{H}$ удовлетворяет уравнению (5) в среднем от $\zeta = 0$ до $\zeta = \xi(\tau)$, тогда

$$\int_0^{\xi(\tau)} (\partial \overline{H}/\partial \tau)\, d\zeta = \int_0^{\xi(\tau)} (\partial^2 \overline{H}/\partial \zeta^2)\, d\zeta. \tag{8}$$

Подставив (7) в (8) после интегрирования, получим обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка

$$\frac{d\xi(\tau)}{d\tau} = \frac{6(n - \xi(\tau))}{(n + \xi(\tau))\xi(\tau)}, \qquad n = \overline{h}/(1 + \overline{h}).$$

Разделив переменные и проинтегрировав с учетом начального условия $\xi(0) = 0$, найдем

$$\tau = -\frac{n}{3}\{[1 + \xi(\tau)/4n]\xi(\tau) + n\ln|\xi(\tau)/n - 1|\}. \tag{9}$$

Таким образом, в неявном виде найдена зависимость приведенной глубины поверхности раздела ξ от времени.

Величина осадки в произвольный момент времени будет пропорциональна площади криволинейной фигуры «*acd*», т. е.

$$S(\tau) = m_v \int_0^{\xi(\tau)} \sigma(z, t)\,dz = m_v \gamma_w H_0 h_0 \int_0^{\xi(\tau)} [1 - \zeta/\bar{n} - \bar{H}(\zeta, \tau)]\,d\zeta.$$

Учитывая, что величина стабилизированной осадки S_∞ пропорциональна площади треугольника „acm" и равна $S_\infty = m_v \gamma_w H_0 h_0 n/2$, степень консолидации $Q(\tau)$ получим в виде

$$Q(\tau) = S(\tau)/S_\infty = (2/n)\int_0^{\xi(\tau)} [1 - \zeta/\bar{n} - \bar{H}(\zeta, \tau)]\,d\zeta.$$

Подставив сюда выражение (7), после интегрирования найдем

$$Q(\tau) = \xi(\tau)[2 + \xi(\tau)/n]/3n. \tag{10}$$

В частном случае, при $n = 1$ получается решение для прямоугольной эпюры уплотняющих напряжений, которое было найдено ранее в [2].

Примененный в данном случае интегральный метод, как это показано в [2], приводит к результатам, незначительно отличающимся (в пределах нескольких процентов) от найденных численным методом. А если учесть, что численное решение задачи с использованием ЭВМ связано с довольно значительными затратами машинного времени, удобство применения полученных простых выражений (9) и (10) на практике не вызывает сомнений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Цытович Н. А.* Механика грунтов.—М.: Высшая школа, 1983.—288 с.
2. *Нипиджанян С. Ш., Хачатрян Э. А.* Влияние начального градиента напора на процесс консолидации//Изв. АН АрмССР. Сер. ТН.—1983.—Т. XXXV, № 5.—С. 22—25.
3. *Флорин В. А.* Основы механики грунтов.—М.—Л.: Госстройиздат, 1961, т. 2.—543 с.

ЕрАСИ 8. VII. 1990