

УДК 624.034

С.Й. Цимбал, канд. техн. наук
М. Шахмохаммаді

НАПРУЖЕНИЙ СТАН ГРУНТОВИХ ОСНОВ ФУНДАМЕНТІВ ВІД ГОРИЗОНТАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Наведено вирішення задачі про розподіл напружень в пористому середовищі, яким є ґрунти, від горизонтальної зосередженої сили, прикладеної до поверхні з урахуванням стану ґрунтів; проведено порівняльний аналіз розподілу напружень в суцільному і пористому середовищах; показано вплив пористого ґрунту на формування напружень в основі стрічкових фундаментів.

Підпірні стіни, портали, рампи і позакентрово навантажені фундаменти споруд різного призначення сприймають значні горизонтальні навантаження. Ці споруди знаходяться в досить складних умовах роботи, що залежать від багатьох факторів, одні з яких ще не досить добре вивчені, а інші важко піддаються математичному опису. До недостатньо вивчених відноситься характер розподілу напружень в основі від горизонтального навантаження (рис. 1).

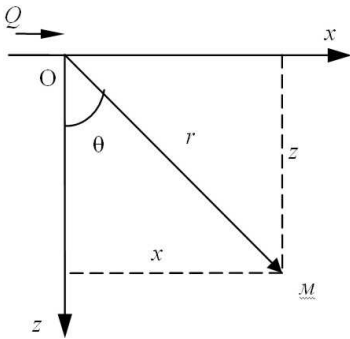


Рис. 1. Схема до визначення напружень від горизонтальної зосередженої сили, яка діє на поверхні

Спочатку розглянемо задачу розподілу напружень в ґрунтах від горизонтальної зосередженої сили, що діє на поверхні з урахуванням стану ґрунтів. В основу рішення прийнята методика розроблена Фламаном, тобто складові напружень визначаються через функцію напружень, в яку додатково нами введено двочлен $(1 + k \cdot \exp^{-\theta^2})$

який враховує стан ґрунту:

$$\varphi = \frac{Qr}{\pi} \cdot (1 + k \cdot \exp^{-\theta^2}) \cdot \theta \cdot \cos \theta, \quad (1)$$

де k - коефіцієнт пористості ґрунту.

Функція напружень (1) задовольняє рівнянням рівноваги і сумісності. Після диференціювання функції напружень отримаємо формули для

визначення нормальних і дотичних напружень в прямокутній системі координат.

$$\begin{aligned}\sigma_z &= \frac{-2Qke^{-\operatorname{atan}(x/z)^2} z^2}{\pi \cdot (x^2 + z^2)^2} \cdot \left[-x \cdot \left(1 + \frac{1}{ke^{-\operatorname{atan}(x/z)^2}} \right) - \right. \\ &\quad \left. - 3 \cdot \operatorname{atan}(x/z) \cdot z + 2 \cdot \operatorname{atan}(x/z)^3 \cdot z + 2 \cdot \operatorname{atan}(x/z)^2 \cdot x \right], \\ \sigma_x &= \frac{-2Qke^{-\operatorname{atan}(x/z)^2} x^2}{\pi \cdot (x^2 + z^2)^2} \cdot \left[-x \cdot \left(1 + \frac{1}{ke^{-\operatorname{atan}(x/z)^2}} \right) - \right. \\ &\quad \left. - 3 \cdot \operatorname{atan}(x/z) \cdot z + 2 \cdot \operatorname{atan}(x/z)^3 \cdot z + 2 \cdot \operatorname{atan}(x/z)^2 \cdot x \right], \quad (2) \\ \tau_{xz} &= \frac{-2Qke^{-\operatorname{atan}(x/z)^2} (x \cdot z)}{\pi \cdot (x^2 + z^2)^2} \cdot \left[-x \cdot \left(1 + \frac{1}{ke^{-\operatorname{atan}(x/z)^2}} \right) - \right. \\ &\quad \left. - 3 \cdot \operatorname{atan}(x/z) \cdot z + 2 \cdot \operatorname{atan}(x/z)^3 \cdot z + 2 \cdot \operatorname{atan}(x/z)^2 \cdot x \right].\end{aligned}$$

Можна упевнитися в тому, що коли значення параметра стану ґрунту прийняти $k = 0$, формули (2) переходять до відомого вирішення задачі для ізотропного середовища.

На рис. 2 наведено порівняння характеру розподілу напружень в пористому у суцільному середовищах по лінії дії горизонтальної зосередженої сили $Q=1$ (по осі x), прикладеної на поверхні, приймаючи пористе середовище – пісок пилюватий з коефіцієнтом пористості $K=0,7$. Напруження σ_z в пористому і суцільному середовищах максимальної величини досягають на відстані $x=0,5$ м, але перші в 1,67 раза більші від останніх але на 1,4 м напруження мають однакову величину. При подальшому віддаленні від зосередженої сили напруження в суцільному середовищі перевищують напруження в пористому середовищі перевищують напруження в пористому середовищі.

Характер розподілу напружень σ_x майже відповідає напруженню σ_z , але при відстані 1 м в суцільному середовищі напруження більші від напружень в пористому середовищі на 44%.

Дотичні напруження в суцільному середовищі в інтервалі від 0...1,4 м перевищують дотичні напруженні в пористому середовищі, максимальна різниця між ними складає 167% при відстані від дії горизонтальної сили на 0,5 м (4).

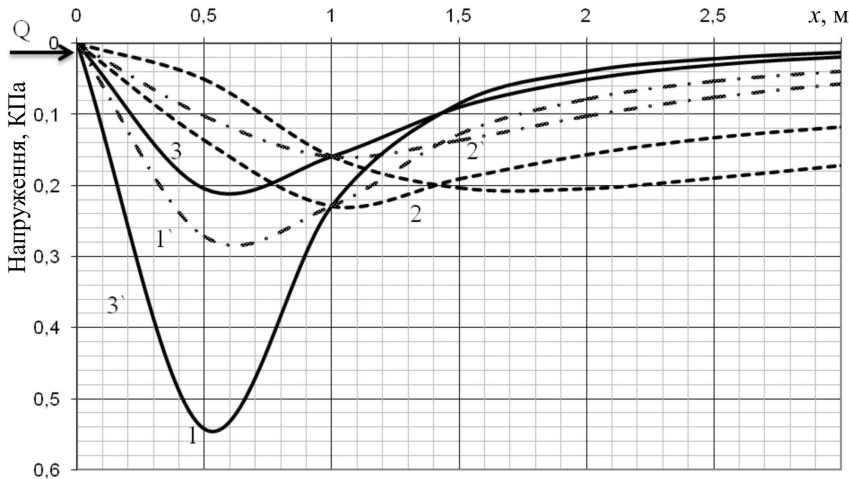


Рис. 2. Епюри напружень відповідно 1, 1' - σ_z ; 2, 2' - σ_x ; 3, 3' - τ_{xz} , зі знаком штрих в суцільному середовищі, а без нього в пористому

Отримані формули для напружень від дії зосередженого навантаження (2) можуть бути використані на випадок полосового навантаження, рівномірно розподіленого по підшві стрічкового фундаменту шириною $2b$ (рис. 3). Вони дозволяють отримати аналітичні вирази тензора напружень у вигляді інтегралів по області, яку займає підшва

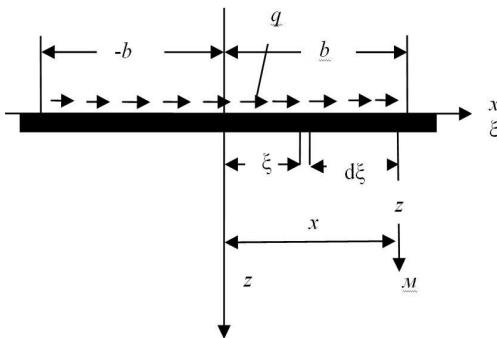


Рис. 3. Схема рівномірно розподіленого горизонтального навантаження, прикладеного до поверхні основи

стрічкового фундаменту. Але безпосереднє визначення цих компонентів пов'язано з великими труднощами. Складність полягає в тому, що підінтегральні вирази виключають можливість визначення їх в аналітичному вигляді і одержання, відповідно, виразів для вище згаданих компонентів. У зв'язку з цим в даній роботі для визначення

інтегралів використовується чисельний підхід, який ґрунтується на адаптивній програмі Mathcad 14. Використання цієї програми дозволяє

визначати величини інтегралів так, щоб отриманий результат задовольняв.

Змінні інтегрування наведені на рис. 3, замінюючи q на $qd\xi$, вирази для σ_z , σ_x , τ_{xz} будуть мати вигляд:

$$\begin{aligned} \sigma_z &= \frac{2qk}{\pi} \cdot \left[\int_{-b}^b \left[\frac{e^{-\operatorname{atan}((x-\xi)/z)^2} z^2}{[(x-\xi)^2 + z^2]^2} \cdot \left[-(x-\xi) \cdot \left(1 + \frac{1}{ke^{-\operatorname{atan}((x-\xi)/z)^2}} \right) - \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. - 3 \cdot \operatorname{atan}((x-\xi)/z) \cdot z + 2 \cdot \operatorname{atan}((x-\xi)/z)^3 \cdot z + \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. + 2 \cdot \operatorname{atan}((x-\xi)/z)^2 \cdot (x-\xi) \right] \right] d\xi \right], \\ \sigma_x &= \frac{2qk}{\pi} \cdot \left[\int_{-b}^b \left[\frac{e^{-\operatorname{atan}((x-\xi)/z)^2} (x-\xi)^2}{[(x-\xi)^2 + z^2]^2} \cdot \left[-(x-\xi) \cdot \left(1 + \frac{1}{ke^{-\operatorname{atan}((x-\xi)/z)^2}} \right) - \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. - 3 \cdot \operatorname{atan}((x-\xi)/z) \cdot z + 2 \cdot \operatorname{atan}((x-\xi)/z)^3 \cdot z + \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. + 2 \cdot \operatorname{atan}((x-\xi)/z)^2 \cdot (x-\xi) \right] \right] d\xi \right], \quad (3) \\ \tau_{xz} &= \frac{2qk}{\pi} \cdot \left[\int_{-b}^b \left[\frac{e^{-\operatorname{atan}((x-\xi)/z)^2} (x-\xi)z}{[(x-\xi)^2 + z^2]^2} \cdot \left[-(x-\xi) \cdot \left(1 + \frac{1}{ke^{-\operatorname{atan}((x-\xi)/z)^2}} \right) - \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. - 3 \cdot \operatorname{atan}((x-\xi)/z) \cdot z + 2 \cdot \operatorname{atan}((x-\xi)/z)^3 \cdot z + \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. + 2 \cdot \operatorname{atan}((x-\xi)/z)^2 \cdot (x-\xi) \right] \right] d\xi \right], \end{aligned}$$

На рис. 4 показані епюри напружень σ_z , σ_x і τ_{xz} на глибині 0,5 м від поверхні в суцільному і пористому середовищах на випадок плоскої задачі від рівномірно розподіленого одиничного навантаження, яке діє на поверхні. По осі фундаменту напруження $\sigma_z = \sigma_x = 0$ дотичні напруження, що виникають в пористому середовищі майже в два рази перевищують відповідні напруження в пористому середовищі. Вертикальні напруження σ_z максимального значення досягають під кутом стрічкового фундаменту ($x=1$ м). Напруження в пористому середовищі в 1.7 рази перевищують напруження, які виникають в суцільному середовищі. При віддаленні від фундаменту як в пористому так і в суцільному середовищах вони зменшують і на відстані $x=1.5$ м від осі фундаменту мають однакові значення, потім напруження

зменшуються за величиною, більш інтенсивно в пористому середовищі. Напруження σ_z яке в пористому так і в суцільному середовищах максимального значення досягають майже на відстані $x=1.25$ м від осі фундаменту, перші перевищують напруження в суцільному середовищі в 1.3 рази, при подальшому віддаленні вони майже паралельно затухають.

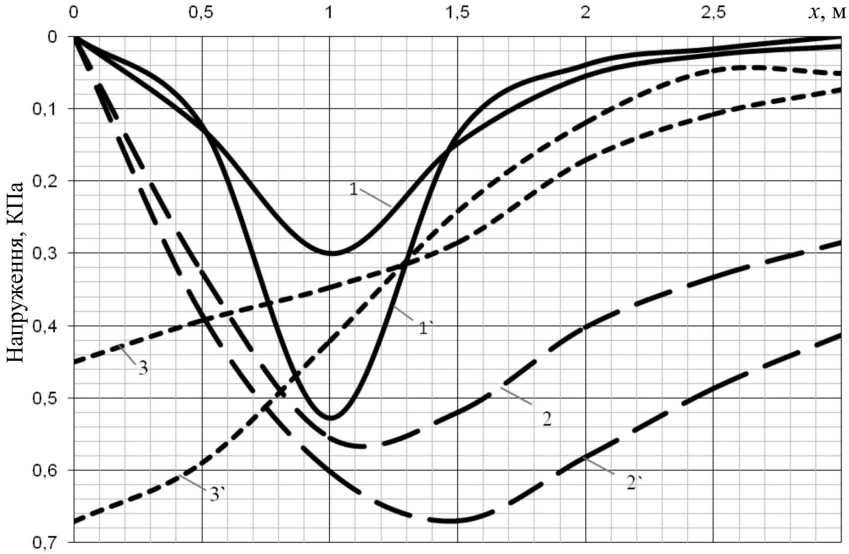


Рис. 4 Епюри напружень: 1, 1' - σ_z ; 2, 2' - σ_x ; 3, 3' - τ_{xz} відповідно для ізотропного і пористого середовища

Наведені епюри напружень показують, що врахування пористості ґрунтів значно впливає на характер розподілу напружень в основі стрічкових фундаментів. Врахування зазначених особливостей розподілу напружень в ґрунтовій основі буде наближати розрахунки за першим і другим граничними станами до більш об'єктивних результатів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Флорин В.А. Основы механики грунтов. - Л. - М.: Госстройиздат. 1959. - 359с.

Отримано 23.08.10

Цимбал С.И., Шахмохаммади М.

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ ОТ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ СИЛЫ

Приведены решения задачи о распределении напряжений в пористой среде, которой являются грунты, от горизонтальной сосредоточенной силы, приложенной к поверхности с учетом состояния грунтов; проведен сравнительный анализ распределения напряжений в сплошном и пористой средах; показано влияние пористого грунта на формирование напряжений в основе ленточных фундаментов.

Tsybal S.Y., Shahmohammadi M.

STRESS STATE OF SOIL BASES FROM THE HORIZONTAL POINT FORCE

Some solutions to the problem of stress distribution in a porous medium, which are primers, from a horizontal concentrated force applied to the surface, taking into account the state of soil, a comparative analysis of stress distribution in a continuous and porous media, shows the influence of porous soil on the formation of stress on strip foundations.