

УДК 624.034

Цимбал С.Й., канд. тех. наук,
Богославець Н.М. аспірант,
Шейхназарі Х.Р. аспірант

ВРАХУВАННЯ СТАНУ ҐРУНТІВ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ НАПРУЖЕНЬ В ОСНОВІ ФУНДАМЕНТІВ

Наведено аналітичне вирішення щодо визначення характеру розподілу напружень в основі фундаментів з урахуванням стану ґрунтів. Отримані результати розподілу напружень в основі стовпчастих фундаментів порівнюються з напруженнями визначеними для ізотропного середовища.

В першій половині 20-го століття професори П.А.Міняєв, Н.М.Герсєванов, В.А. Флорін та ін. довели про можливість використання співвідношень теорії пружності для розрахунку напружень в ґрунтах. Це було обґрунтовано такими припущеннями: на ґрунт передається одноразове навантаження (процес будівництва) без розвантаження, а тому не потрібно окремо враховувати пружні деформації; ґрунт приймається як лінійно деформоване середовище, тобто залежність між напруженнями і деформаціями – лінійна, що дає можливість використовувати закон Гука; розміри областей (зон) пластичних деформацій обмежені або відсутні. Враховуючи вище зазначене, необхідно говорити про область використання співвідношень теорії пружності до ґрунтів, а не про те, чи можливо використовувати, не обмежуючи умов, стосовно до яких розглядається питання про можливість їх використання.

Ґрунти, як відомо, являють собою сукупність більш менш пов'язаних між собою мінеральних часток, кожна із яких є опорою для сусідніх з нею часток, передача зусиль в ґрунті проходить в окремих точках через зв'язки або через безпосередні контакти сусідніх частинок. А тому зусилля фактично повинно бути віднесено не до всієї площі перерізу, а тільки до частини, яку складають зв'язки і контакти між частинками ґрунту. Однак врахувати таку схему передачі зусилля практично неможливо, оскільки неможливо врахувати роботу кожної мінеральної частки в ґрунтовому масиві. Крім того, необхідно було б відокремлювати напруження зв'язків від напружень часток, що практично зробити неможливо. Враховуючи вище зазначену складність формування напруженого стану в ґрунтах, приймається припущення про неперервний розподіл напружень в будь – якому перетині, проведеному в масиві ґрунту.

Одночасно необхідно відзначити, що ґрунти являють собою багатокомпонентне середовище, мають різну структуру і текстуру, дисперсні, неоднорідні та анізотропні. В залежності від співвідношення компонентів, що їх складають, ґрунти можуть знаходитись у різних станах, а характер формування напружень в них відрізняється від – напружень в суцільних ізотропних середовищах.

Під дією напружень складові ґрунтів визначають загальні деформації ґрунту. В процесі деформування може відбуватися взаємне переміщення окремих компонентів і зміна їх співвідношень в окремих об'ємах. Стисливість скелета ґрунту, що представляє собою дисперсне середовище, проходить практично повністю за рахунок зменшення об'єму пор в ґрунті внаслідок перекомпановки часток, їх взаємного переміщення, проникання одних часток в проміжки між іншими, що призводить до більшої щільності укладки. При цьому порушуються зв'язки між частками ґрунту руйнуються, але одночасно відновлюються в нових точках контактами між частками. При стисненні ґрунту ґрунтова вода із одних пор виходить і переходить в пори, що знаходяться поруч, одночасно стискаючись в об'ємі і виштовхує воду із сусідніх пор. Взагалі процес формування напружено–деформованого стану в ґрунтах дуже складний і потребує самостійного аналізу.

Метою даної роботи є отримання співвідношень теорії пружності в основі стовпчастих фундаментів з врахуванням фізичних характеристик ґрунтів шляхом чисельного інтегрування по площі підшви фундаменту від рівномірно розподіленого навантаження та порівняння отриманого розподілу напружень в ґрунтовій основі з напруженнями, визначеними без врахування стану ґрунтів.

Трьохкомпанентне середовище ґрунту, яке знаходиться в постійній взаємодії, в залежності від кількісного складу характеризує його стан ґрунту. В залежності від співвідношення об'єму мінеральних часток, пор і води в ґрунті характер розподілу напружень змінюється. Стан піщаних ґрунтів характеризується коефіцієнтами пористості, а пілувато–глинистих – коефіцієнтом пористості та показником текучості.

$$K = \frac{e + I_L}{1 + I_L}, \quad (1)$$

де e – коефіцієнт пористості ґрунту; I_L – показник текучості.

Для виявлення впливу стану ґрунтів на характер розподілу напружень в основі стовпчастих фундаментів використовується розв'язання просторової задачі з урахуванням стану ґрунтів для визначення вертикальних і дотичних напружень в ґрунтовій основі від зосередженої

сили P , що діє на підшві фундаменту [1]. Змінні інтегрування по площі підшви фундаменту наведено на рис. 1. Замінюючи P на $qd\xi d\eta$, вирази σ_z , τ_{xy} , τ_{zx} мають вигляд:

$$\sigma_z = -\frac{qz^3}{2\pi(1-\frac{\pi^2 k}{16})} \int_{-a}^{+a} \int_{-b}^{+b} \frac{\left(3 - \frac{4k\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}}{\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + z^2}} \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}}{z}\right)}{(\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + z^2})^5} d\xi d\eta; \quad (2)$$

$$\tau_{zx} = -\frac{qz^2}{2\pi(1-\frac{\pi^2 k}{16})} \int_{-a}^{+a} \int_{-b}^{+b} \frac{(x-\xi) \left(3 - \frac{4k\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}}{\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + z^2}} \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}}{z}\right)}{(\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + z^2})^5} d\xi d\eta; \quad (3)$$

$$\tau_{zy} = -\frac{qz^2}{2\pi(1-\frac{\pi^2 k}{16})} \int_{-a}^{+a} \int_{-b}^{+b} \frac{(y-\eta) \left(3 - \frac{4k\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}}{\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + z^2}} \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}}{z}\right)}{(\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + z^2})^5} d\xi d\eta. \quad (4)$$

Наведені формули (2) – (4) дають можливість отримати аналогічні вирази для компонент вектора переміщень і тензора напружень у вигляді подвійних інтегралів по області, яку займає підшва фундаменту.

Безпосереднє визначення цих компонент пов'язано з великими труднощами, оскільки вид підінтегральних функцій не дозволяє отримати значення подвійних інтегралів в аналітичній формі. У зв'язку з цим в даній роботі для визначення подвійних інтегралів використовується чисельний підхід, який ґрунтується на адаптивній програмі QUANC 8 [2].

Для ілюстрації напруженого стану в основі стовпчастого фундаменту, заглибленого в мілкий пісок на 1,6 м ($\gamma = 18,0 \text{ кн/м}^3$, $e = 0,70$, $\varphi = 30^\circ$, $E = 23 \text{ мПа}$), при дії рівномірно розподіленого одиничного навантаження на підшві стовпчастого фундаменту $2 \times 2 \text{ м}$ побудовані епюри розподілу вертикальних напружень σ_z для різних глибин (рис. 2).

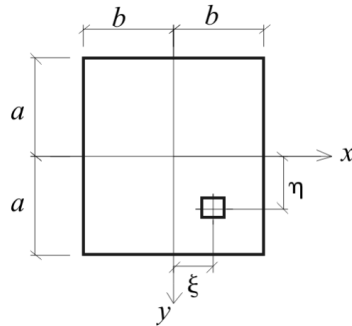


Рис. 1. Схема до визначення напружень в основі фундаменту

Максимальні вертикальні напруження, як в пористому, так і в ізотропному середовищах спостерігаються по осі симетрії фундаменту. Перші на всьому інтервалі порівняння перевищують напруження, що виникають на відповідних глибинах в ізотропному середовищі на 17...40%. Зі збільшенням глибини і відстані від осі фундаменту в обох випадках їхні величини зменшуються. У пористому середовищі відповідні вертикальні напруження з віддаленням від осі фундаменту затухають значно швидше ніж в ізотропному середовищі, що можна пояснити відсутністю міцних зв'язків, між частинками ґрунту.

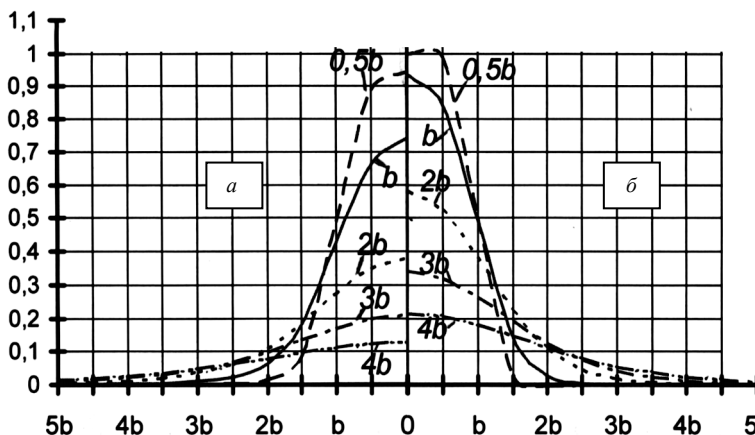


Рис. 2. Епюри розподілу вертикальних навантажень на різних відстанях від підстави фундаменту: а – для ізотропного середовища; б – з урахуванням стану ґрунту

Експериментальні дані, наведені в літературних джерелах, про розподіл напружень в основі фундаментів та порівняння їх з теоретичними даними підтверджують, що останні в 1,5 – 2 рази менші експериментальних. Наведені результати розподілу напружень в основі стовпчастих фундаментів з урахуванням стану ґрунтів дають змогу отримувати більш достовірні дані про характер розподілу напружень в ґрунтовій основі, що буде сприяти удосконаленню розрахунків фундаментів за першим і другим граничними станами.

1. Цимбал С.Й., Куценко Г.В. Визначення напружень у ґрунтах від зосередженої сили, що діє на поверхні // Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково – технічний збірник. – К.: КНУБА, 2002. – Вип.27. – с. 146 – 151.
2. Форсайт Дж., Малькольм М., Моултер К. Машинные методы математических вычислений. – М.: Мир, 1980 – 279с.