

ПРОБЛЕМА ФРАГМЕНТАЦІЇ ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ КОНСТРУКЦІЙ, ЩО ВЗАЄМОДІЮТЬ З ГРУНТОВИМ МАСИВОМ

Гуслиста Г.Е., к.т.н., доцент

ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», Дніпропетровськ, Україна

Постановка проблеми

В інженерній практиці дуже часто зустрічаються задачі розрахунку конструкцій з урахуванням взаємодії з ґрунтовим масивом. Це балкові і плитні конструкції на ґрунтовій основі, конструкції заглиблених будівель і будівель на схилах, підземні споруди і т.д.

При застосуванні для розв'язання таких задач програмного забезпечення методу скінченних елементів виникає питання: яким чином обмежити безкінечний напівпростір ґрунтового масиву. Отже, проблема може бути сформульована так: наскільки необхідно відступити в ґрунтовому масиві від краю конструкції, щоб віддаленою частиною ґрунтового масиву можна було знехтувати в розрахунковій схемі і які граничні умови при цьому слід призначити.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Загалом при комп'ютерному моделюванні виокремлення з конструкції певної її частини з метою наступного включення в розрахункову схему тільки цієї виділеної частини конструкції, називається фрагментацією.

В деякій науковій літературі [1-3] питання фрагментації при моделюванні ґрунтових масивів взагалі ігнорується і розміри розрахункової області і граничні умови призначаються невідомо з яких міркувань (найчастіше інтуїтивно), а в деякій літературі пропонують різні рекомендації, зокрема такі:

1) якщо знизу на досить невеликій глибині є такий шар ґрунту (наприклад, скеля), який має модуль деформації значно більший, ніж модулі вищерозташованих шарів, то питання про обмеження ґрунтового масиву знизу (по глибині) вирішується само по собі [4-6];

2) в іншому випадку, а також при обмеженні ґрунтового масиву в плані в розрахункову схему достатньо включити пружний шар ґрунту, який знаходиться з кожного боку від краю конструкції на відстані $H \dots 1,5H$ [4-6], де H – висота стисливої товщі ґрунту, що визначаєть-

ся нормативним документом [7], або $3L$ [8], де L – характерний розмір (тобто, в даному випадку розмір конструкції в плані). Цей підхід повністю відповідає теоремі Сен-Венана.

При застосуванні цих рекомендацій на практиці виявляється, що не завжди такий розмір розрахункової області є достатнім для забезпечення інженерної точності результатів. Отже, питання залишається досить дискусійним.

Мета досліджень

В ході проведення викладених в даній роботі досліджень ставилось за мету визначити необхідні розміри розрахункової області ґрунтового масиву в плані та по глибині, а також граничні умови при моделюванні напружено-деформованого стану системи «споруда – ґрунтовий масив» в програмному комплексі «Ліра» [9].

Викладення основного матеріалу досліджень

Задача досліджень була сформульована таким чином. Просторовий масив ґрунту з розміром в плані та по глибині l перебуває під дією навантаження, рівномірно розподіленого по квадратній площі зі стороною квадрата $2a$ ($a = 0,5$ м) на поверхні цього масиву (рис. 1).

Інтенсивність рівномірно розподіленого навантаження $q = 10$ кН/м².

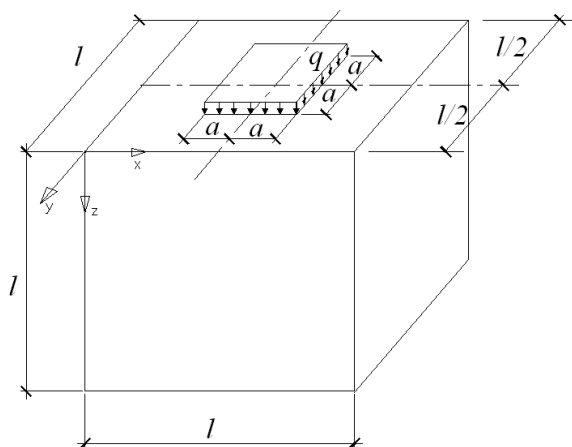


Рис. 1. Схема навантаження просторового масиву ґрунту рівномірно розподіленим навантаженням

Фізико-механічні характеристики ґрунту (суглинку) були прийняті такими: модуль деформації $E = 20000$ кН/м², коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,35$, питома вага $\gamma = 18$ кН/м³.

Задача розв'язувалась в лінійній постановці в ПК «Ліра».

В ході дослідження на кожному етапі розрахунку розміри розрахункової області ґрунтового масиву в плані та по глибині збільшувались вдвічі, тобто на першому етапі розмір l дорівнював $2a$, на другому етапі - $4a$ і т. д.

На кожному з етапів за допомогою ПК «Ліра» обчислювались напруження в ґрунтовому масиві σ_x , σ_y , σ_z . Результати розрахунків напружень приведені на рис. 2.

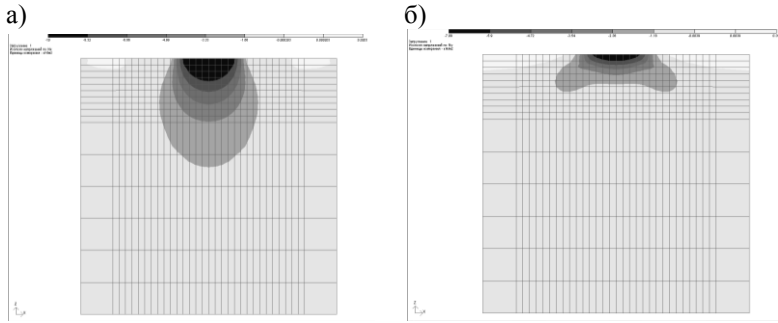


Рис. 2. Ізополі напружень в ґрунтовому масиві, обчислені в ПК «Ліра»: а) σ_z ; б) σ_x , σ_y .

Отримані на кожному етапі напруження порівнювались з відповідними напруженнями, отриманими на основі точного аналітичного розв'язку методом механіки ґрунтів в межах моделі пружного напівпростору, приведеного в [10]. Згідно з [10] напруження для точок, розташованих на глибині z на прямій, що проходить через одну з кутових точок, обчислюється за формулами:

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{q}{2\pi} \left\{ \frac{\pi}{2} - \frac{4a^2 z}{(4a^2 + z^2)\sqrt{8a^2 + z^2}} - \arctg \frac{z\sqrt{8a^2 + z^2}}{4a^2} + (1 - 2\mu) \left[\frac{\pi}{4} - \arctg \frac{\sqrt{8a^2 + z^2}}{z} \right] \right\};$$

$$\sigma_z = \frac{q}{2\pi} \left[\frac{4a^2 z(8a^2 + 2z^2)}{(4a^2 + z^2)^2 \sqrt{8a^2 + z^2}} + \arctg \frac{4a^2}{z\sqrt{8a^2 + z^2}} \right].$$

Аналізувались напруження в точці, максимально наближеній до навантаженої поверхні, для якої можна отримати розв'язок за допомогою

комп'ютерного моделювання (на глибині $z = 0,15$ м). Порівняння результатів приведені в таблиці 1 та на графіках (рис. 3, 4).

Табл. 1. Результати розрахунку напружень в ґрунтовому масиві при варіюванні розмірів розрахункової області

розмір розрахункової області l	Напруження в ґрунтовому масиві на глибині $z = 0,15$ м, кПа			
	σ_z			
	1	2	3	4
$2a$	10,00	2,49	301,0	-
$4a$	2,50	2,49	0,3	75,0
$8a$	2,49	2,49	0,0	0,3
$16a$	2,49	2,49	0,0	0,0
$32a$	2,49	2,49	0,0	0,0
	σ_x, σ_y			
$2a$	5,38	1,68	220,1	-
$4a$	1,35	1,68	19,7	75,0
$8a$	1,52	1,68	9,3	12,9
$16a$	1,61	1,68	3,7	6,2
$32a$	1,65	1,68	1,8	2,0

Примітка:

1 – розрахунок в ПК «Ліра»; 2 – аналітичний розрахунок; 3 – розходження результатів розрахунку аналітичного та ПК «Ліра», %; 4 – розходження результатів розрахунку в ПК «Ліра» у порівнянні з попереднім етапом, %

Для цієї ж задачі варіювались умови закріплення ґрунтового масиву:

варіант 1 – вертикальні грані ґрунтового масиву закріплені по осях x, y ; нижня грань ґрунтового масиву закріплена по осях x, y, z ;

варіант 2 – вертикальні грані ґрунтового масиву закріплені по осях x, y, z ; нижня грань ґрунтового масиву закріплена по осях x, y, z .

Як і в попередньому випадку, на кожному етапі розрахунку розміри розрахункової області основи в плані та по глибині збільшувались вдвічі. Отримані на кожному етапі напруження $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ порівню-

вались з відповідними напруженнями, отриманими на основі точного розв'язку.

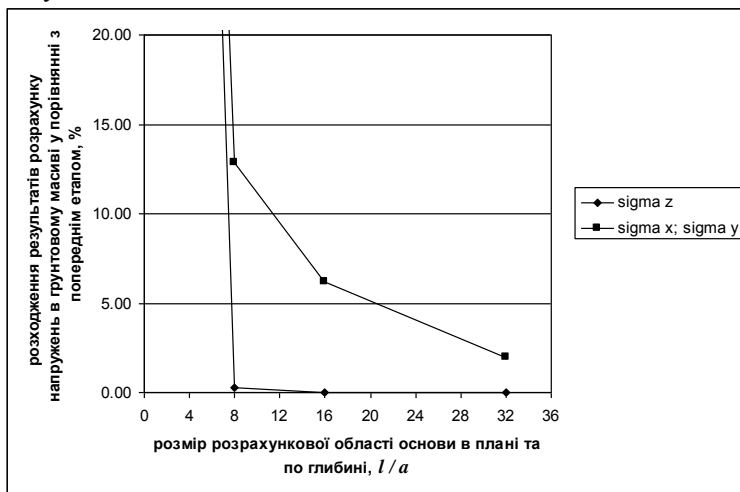


Рис. 3. Розходження результатів розрахунку напружень в ґрунтовому масиві у порівнянні з попереднім етапом при варіюванні розміру розрахункової області ґрунтового масиву

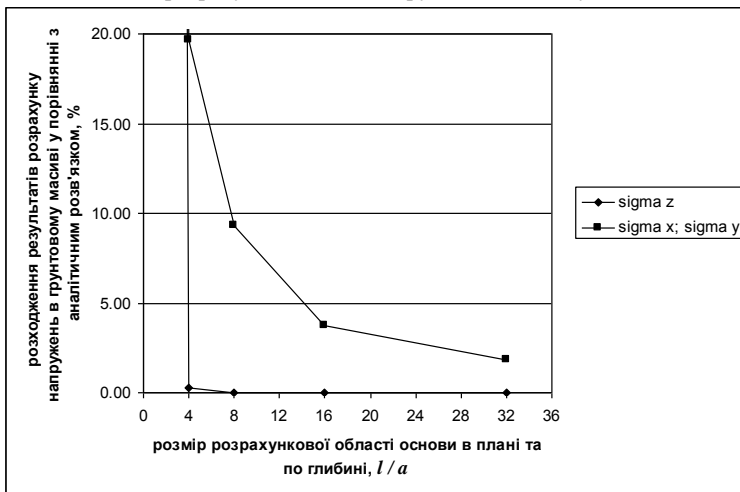


Рис. 4. Розходження результатів розрахунку напружень в ґрунтовому масиві у порівнянні з аналітичним розв'язком при варіюванні розміру розрахункової області ґрунтового масиву

Порівняння результатів при варіантах граничних умов 1 і 2 для напруження σ_z приведені на графіку (рис. 5).

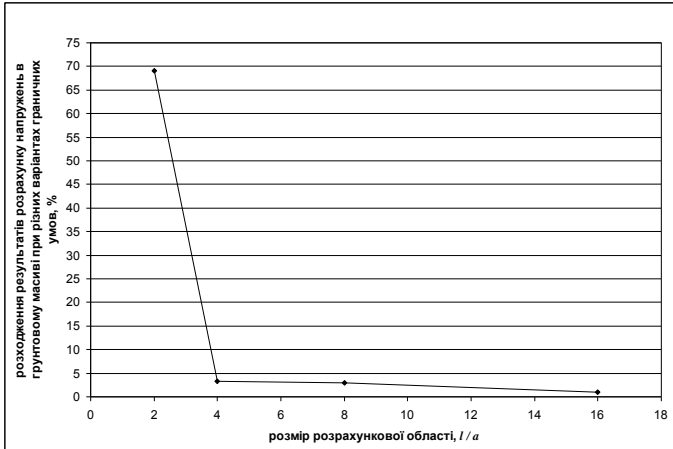


Рис. 5. Розходження результатів розрахунку напружень в ґрунтовому масиві при різних варіантах граничних умов

Обговорення результатів. Висновки та перспективи подальших досліджень

Аналіз табличних даних та графіків дозволив зробити висновок, що, якщо розходження при збільшенні розміру розрахункової області ґрунтового масиву вдвічі в плані та по глибині становить не більше 5 %, то розходження з точним аналітичним розв'язком не перевищує 1,8 %. Розходження з точним аналітичним розв'язком становить не більше 5 % при розмірах розрахункової області в плані та по глибині $l = 16a = 8b$, де $b = 2a$ - розмір конструкції, що взаємодіє з ґрунтовим масивом.

При розмірах розрахункової області основи більше $4a$ граничні умови значно не впливають на результати розрахунку, розходження становить не більше 5 %.

Слід зазначити, що зроблені висновки стосуються тільки статичних задач. При розв'язанні динамічних задач крайові умови мають забезпечувати гасіння або проходження хвиль, що потребує додаткових досліджень цієї проблеми.

Summary

The article is devoted to the problem of fragmentation by computer finite element simulation of structures which are interacted with soil massif. The dimension of design space of soil massif and boundary conditions were determined to ensure adequate accuracy of a solution.

Литература

1. Амосин Б.З. Метод конечных элементов при решении задач горной геомеханики / Б.З. Амосин, А.Б. Фадеев. – М.: Недра, 1975. – 144 с.
2. Метод конечных элементов в проектировании транспортных сооружений / [Городецкий А.С., Зоворицкий В.И., Лантух-Лященко А.И., Рассказов А.О.]. – М.: Транспорт, 1981. – 143 с.
3. Ухов С.Б. Расчет сооружений и оснований методом конечных элементов: [Учебное пособие] / Ухов С.Б. – М., 1973. – 118 с.
4. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – Киев: «Сталь», 2002. – 600 с.: ил.
5. Городецкий, А.С. Компьютерные модели конструкций / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. – К.: Изд-во «Факт», 2005. – 344 с.
6. Компьютерные технологии проектирования железобетонных конструкций. Курсовое проектирование: учебн. пособие для вузов / Ю. В. Верюжский, В. И. Колчунов, М. С. Барабаш. Ю. В. Гензерский. – К.: Изд-во НАУ, 2006. – 808 с.
7. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений / Госстрой СССР. – М., 1985. – 41 с.
8. Розовский Л.Б. Инженерно-геологические прогнозы и моделирование: Учеб. пособие / Розовский Л.Б., Зелинский И.П., Воскобойников В.М. – К.- Одесса: Вища шк. Головное изд-во, 1987. – 208 с.
9. ЛИРА® 9.4. Руководство пользователя. Основы. Учебное пособие / [Стрелец-Стрелецкий Е.Б., Боговис В.Е., Гензерский Ю.В. и др.]; под ред. А.С. Городецкого. – К.: Издательство «ФАКТ», 2008. – 164 с.
10. Флорин В.А. Основы механики грунтов: В 2-х т. / Флорин В.А. – Л.-М.: Госстройиздат, - Т. 1: Общие зависимости и напряженное состояние оснований сооружений. – 1959. – 357 с.: ил., Т. 2: Деформация и устойчивость оснований сооружений. – 1961. – 543 с.: ил.