

НЕСУЧА СПРОМОЖНІСТЬ БУРОНАБИВНИХ ПАЛЬ НА ПРОСАДКОВИХ ГРУНТАХ ЗА ЧИСЛОВИМ МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

¹Вінницький національний технічний університет, Україна²Парибське відділення інженерії Цзюцюань, Китай

Анотація

Тема роботи присвячена актуальній проблемі фундаментобудування та механіки ґрунтів – пружно-пластичному моделюванню сумісної роботи системи «ґрунтова основа – буро набивна паля» з метою визначення несучої спроможності фундаменту для забезпечення стійкості і малопросадковості споруди, тим самим уникнення її можливого нерівномірного просідання чи руйнування.

Ключові слова: метод граничних елементів, напружено деформований стан, буро набивна паля.

Abstract

The topic of the work is devoted to the topical problem of foundation construction and soil mechanics - elastic-plastic modeling of joint work of the system "soil base - brown pile" to determine the bearing capacity of the foundation to ensure stability and low subsidence of the structure, thus avoiding its possible uneven subsidence or destruction.

Keywords: boundary element method, stress-strain state, brown pile.

Вступ

Інтенсивний розвиток та широке застосування ЕОМ суттєво наблизило фундаментальні математичні проблеми до прикладних, посилило їх взаємовплив. Поява нового потужного методу досліджень – числового експерименту – як ніколи раніше тісно пов'язала фізичний зміст задачі, її математичне формулювання, числові методи розрахунку та сучасні ЕОМ.

В роботі для розв'язку нелінійної задачі геомеханіки використано числовий МГЕ, проведено обґрунтування теоретичними викладками та проілюстровано даними числового розрахунку.

Зростаючі запити будівельної практики ведуть до ускладнення прикладних задач. Числовий експеримент дозволяє описати найважливіші види поведінки матеріалу, записати математичну модель, яка перевіряється за допомогою експериментів. Сучасні методи розрахунку є своєрідним мостом між теорією споруд, механікою твердого деформованого тіла, механікою дисперсних середовищ з однієї сторони та проблемами проектування з іншої. В роботі спрогнозовано за МГЕ поведінку під навантаженням паль з розширенням і без нього, рис. 1.

Будівельна площадка на глибину 35 м. [6] складена шарами суглинку, під якими розташовані алювіальні суглинки та мілкі піски з лінзами глини четвертинного відкладення.

Для розрахунку за МГЕ буро набивних паль $L=18$ м. діаметром 1000 мм без розширення і з розширенням 2200 мм [6] взято середньозважені показники характеристик ґрунту:

$$\rho=1.82 \text{ т/м}^3, \quad \rho_{\text{ар}}=1.56 \text{ т/м}^3, \quad w=0.16, \quad e=0.712, \quad E=18.26 \text{ МПа}, \quad \varphi=18.3^\circ,$$

$$c=24.85 \text{ КПа}, \quad \rho_s=2.69 \text{ г/см}^3, \quad \nu=0.35$$

Ідея зведення задач теорії потенціалу до рішення інтегрального рівняння реалізовано [1,2] в загальну обчислювальну процедуру. Суть МГЕ – перетворення системи диференціальних рівнянь в інтегральне рівняння (1).

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ij,j} + b_j &= 0 \\ \varepsilon_{ij} &= \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}) \\ \sigma_{ij} &= C_{ijkl} \varepsilon_{kl} \end{aligned} \right\} \Rightarrow C_{ij}(\xi) u_j(\xi) + \int_{\Gamma} p_{ij}^*(\xi, x) u_j(x) d\Gamma(x) = \int_{\Gamma} u_{ij}^*(\xi, x) p_j(x) d\Gamma(x), \quad (1)$$

де u -заданий вектор переміщень на границі фундаментної конструкції; p - шуканий вектор напруження на границі; u^* , p^* , σ^* - ядра граничного рівняння (1) – рішення Р. Міндіна для переміщень, напружень та похідних від напружень, що відповідають одиничним збурюючим впливам ($P=1$) в півпросторі [4];

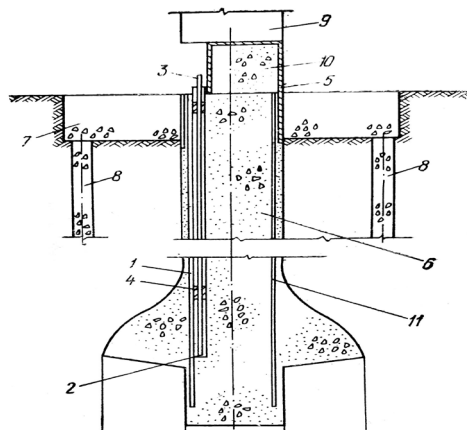


Рис.1 – Конструкція буронабивної палі з розширенням

1 – обсадна труба, 2 – пластина, 3 – стержень, 4 – сальник, 5 – оголовок, 6 – стовбур палі, 7 – прямик, 8 – дренажні свердловини, 9 – домкрат, 10 – опора домкрата, 11 – армокаркас з стержнів діаметром 25

Рівняння стану, що установлює залежність між потенціалом (переміщеннями) і потоком (напруженнями) на границі дослідного об'єкту отримано К. Бреббія [1] при реалізації числового МГЕ наведено в формулі (1).

Розглянута змішана задача, яка має задовольняти в пружній і пластичній областях одним і тим же рівнянням рівноваги, геометричним рівнянням, але різним в цих областях фізичним рівнянням (умові текучості в пластичній області) та відповідним граничним умовам.

При роботі ґрунту в пластичній стадії з метою визначення величин незворотних пластичних деформацій використано неасоційований закон пластичної течії:

$$d\varepsilon_{ij}^p = d\lambda \frac{dF}{d\sigma_{ij}}, \quad F \neq f, \quad (2)$$

де F – пластичний потенціал, функція напружень, частинна похідна від якої пропорційна приросту пластичних деформацій, f – поверхня текучості.

Залежність формозміни від шарового тензора напружень T_σ є однією із перших особливостей ґрунту. Залежність об'ємної деформації від девіатора напружень D_σ – друга особливість дисперсного середовища ґрунту. Явище зміни об'єму гранульованого дисперсного середовища ґрунту при зсуві було відкрито О. Рейнольдсом ще в 1885 р. та назване дилатансією. Дилатансія – це порушення структури, або зміна міцності, що залежить від переміщення частинок ґрунту та робить параметри напружено-деформованого стану суттєво нелінійними.

Для визначення приростів пластичних деформацій ґрунту використано сучасну дилатансійну теорію пластичних середовищ В. М. Ніколаєвського, І. П. Бойка [3,4]. Повні деформації та прирости пластичних деформацій визначались:

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^e + \sum \varepsilon_{ij}^p + d\varepsilon_{ij}^p \delta_{ij}, \quad d\varepsilon_{ij}^p = d\varepsilon_{ij(шар)}^p + d\varepsilon_{ij(дев)}^p \quad (3)$$

$$d\varepsilon_{ij(шар)}^p = \Lambda(\chi) \cdot d\gamma^p \quad (4)$$

де $d\gamma^p$ - скалярний еквівалент приросту зсувної пластичної деформації на октаедричній площині; $d\varepsilon_{ij}^p$ - приріст непружних змін об'єму, що супутні зсуву; χ - параметр зміцнення ґрунту, Λ – швидкість дилатансії:

$$\Lambda = dV / d\gamma. \quad (5)$$

Розв'язок такої нелінійної задачі проведено методом пружних рішень О. Іллюшина [4,5], який являє собою реалізацію серії пружних задач, на кожному кроці навантаження розглядалась лінійна задача теорії пружності з різними правими частинами.

В роботі для отримання межі текучості f (межі переходу роботи ґрунту в пластичний стан) використано октаедричну теорію міцності – умову текучості Мізеса-Шлейхера-Боткіна [3], яка враховує вплив всіх 3-х значень головних напружень:

$$\begin{cases} f = T + \sigma_{окт} \cdot \operatorname{tg} \psi - \tau_s = 0 & \text{при } \sigma_{окт} \leq p_0 \\ f = T + \rho_0 \cdot \operatorname{tg} \psi - \tau_s = 0 & \text{при } \sigma_{окт} > p_0 \end{cases}, \quad (8)$$

де f – поверхня текучості, T – другий інваріант девіатора напружень.

При проведенні розрахунку гранична поверхня фундаменту дискретизувалась лінійними граничними елементами, активна зона навколо пального ґрунту дискретизувалась трикутними осередками. Результати експериментальних досліджень [6] та числового моделювання за МГЕ роботи під навантаженням буро набивних паль наведено на рис. 2,3.

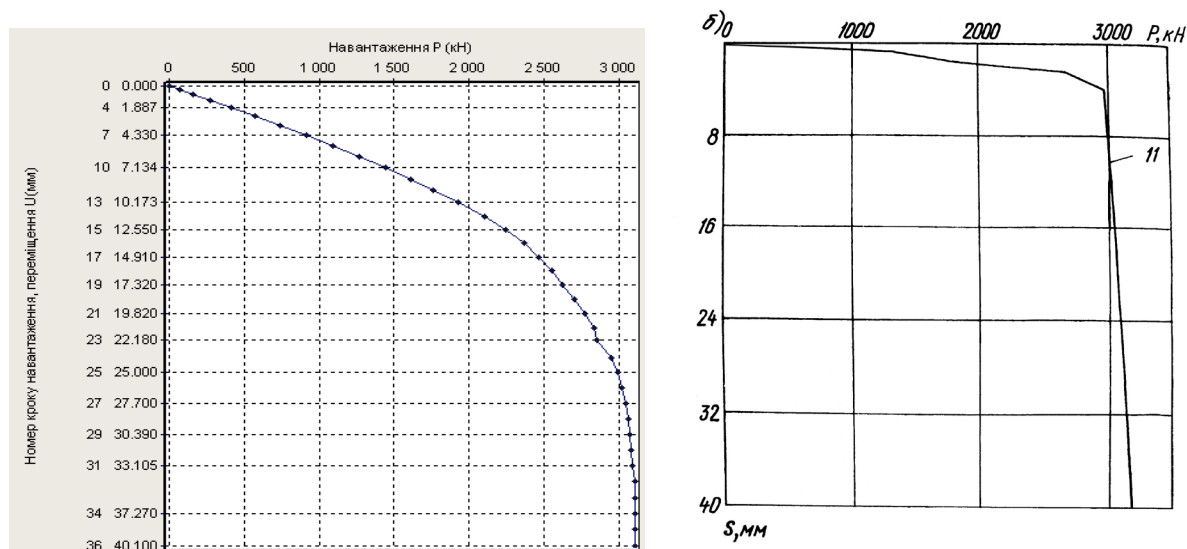


Рис. 2 – Графіки «навантаження – осідання» результатів числових досліджень за МГЕ та експериментальних даних буронабивної палі $L=18$ м діаметром 1000 мм без розширення [6]

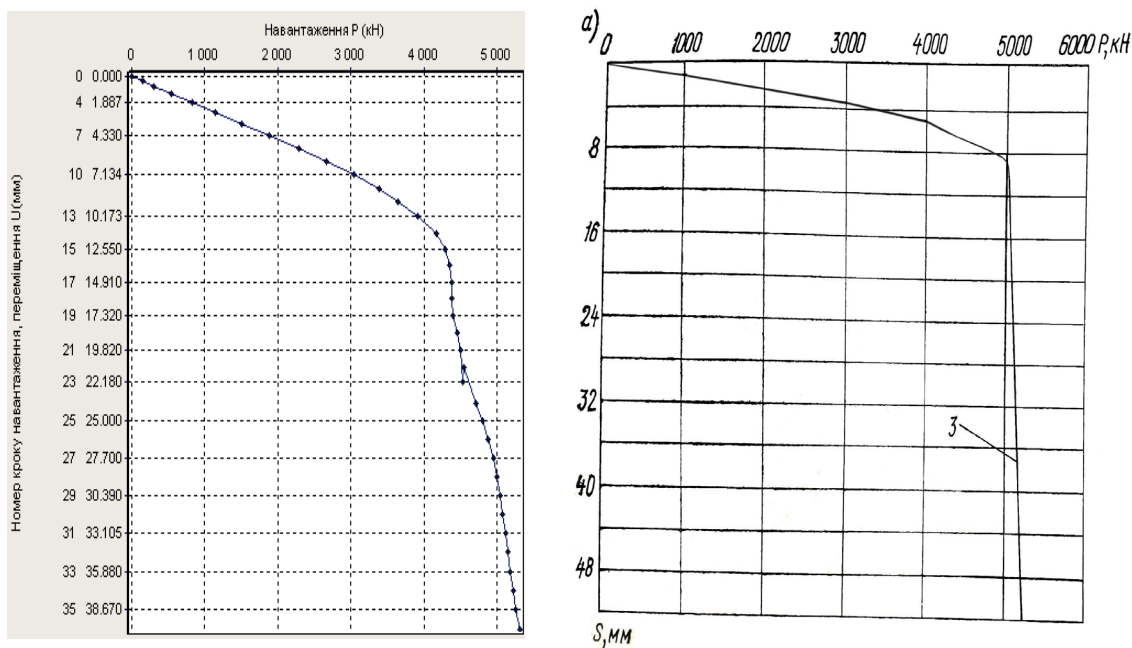


Рис. 3 – Графіки «навантаження – осідання» результатів числових досліджень за МГЕ та експериментальних даних буронабивної палі $L=18$ м діаметром 1000 мм з розширенням 2200мм [6]

Висновки

1. Методи нелінійного аналізу ґрунтової основи, призначені для числової реалізації, знаходять все більше використання в проектній практиці.
2. Математична дилатансійна модель реалізована на ЕОМ і дозволяє з достатньою для інженера точністю дослідити напружено-деформований стан фундаментної конструкції.
3. Використання МГЕ сприяє широкому застосуванню нових конструкцій фундаментів і рішенню важливої проблеми підняття економічності і надійності фундаментів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бенерджи П.К. Метод граничных элементов в прикладных науках: перевод с англ./П.К. Бенерджи, Р. Баттерфилд, -М.: Мир. 1984. – 494 с.
2. Бреббия К. Методы граничных элементов/К. Бреббия, Ж. Теллес, Л. Вроубел.пер. с англ.. М.: Мир, 1987.-524 с.
- 3.Бойко И.П. Теоретические основы проектирования свайных фундаментов на упругопластическом основании / И.П. Бойко, Сб. КИСИ “Основания и фундаменты”. – 1985 – №18, С 11-18.
4. Николаевский В.Н. Механика пористых и трещиноватых сред. М.: Недра.1984
- 5.Моргун А.С. Теорія пластичної течії в механіці ґрунтів. /А.С. Моргун – Вінниця, ВНТУ. – 2013 – 108 С.
6. Григорян А.А., Хабибулин И.И. Несущая способность буронабивных свай на площадках строительства Волгодонского завода тяжелого машиностроения. Сб. ОФМГ, №2, 1977.

Моргун Алла Серафимівна – професор кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: morgunallaS@gmail.com

Чженфен Тянь – доц., Паризьке відділення інженерії Цзюцюань, Китай, e-mail: 575138236@qq.com

Morgun Alla Serafimovna - professor of the Department of Construction, municipal economy and architecture; Vinnytsia national technical university, Vinnytsia, e-mail: morgunallaS@gmail.com

Zhengfeng Tian - assoc. prof., Jiuquan Paris Engineering Office, China, e-mail: 575138236@qq.com