

УДК 681.3:624.044:624.15

А. С. Моргун, д. т. н., проф.;

І. А. Моргун, студ.

ОСЕСИМЕТРИЧНА ЗАДАЧА ТЕОРІЇ ПРУЖНОСТІ РОЗРАХУНКУ ПАЛІ З УРАХУВАННЯМ ДІЇ РАДІАЛЬНИХ НАПРУЖЕНЬ

Досліджено вплив горизонтальних переміщень, що виникають під дією вертикального та горизонтального навантаження на палі, та доцільність врахування в числовому розрахунку за МГЕ радіальних напружень на величину несучої спроможності палі.

Вступ

В сучасному фундаментобудуванні для сприйняття вертикальних та горизонтальних складових навантаження застосовуються палі, які є багатофункціональними фундаментними конструкціями, що взмозі трансформувати дію навантаження на основу. На палі під дією зовнішньої активної сили P (рис. 1) зі сторони ґрунту, що ущільнюється в процесі забивання палі, діють протидійні реактивні сили (σ). Крім того, між боковою поверхнею палі і ґрунтом виникають сили тертя, направлені вгору по бокових гранях палі (τ_s). Нормально до бокової поверхні палі діють сили відпору ґрунту (τ_r), радіальні сили. Визначаючи навантаження, якому взмозі протидіяти ґрунтовий масив в стані граничної рівноваги, необхідно врахувати дії всіх складових внутрішніх зусиль як вертикального, так і горизонтального напрямку. Питання врахування горизонтальних навантажень особливо гостро стоїть в розрахунках гідротехнічних споруд та у випадку, коли наземні споруди є арочними конструкціями, які передають на фундамент значні як вертикальні так і горизонтальні навантаження. В умовах щільної забудови важливим є забезпечення стійкості підпірних споруд, які сприймають горизонтальний активний та пасивний тиск ґрунту. Позацентрові навантаження фундаментів промислових будівель теж сприяють виникненню горизонтальної складової навантаження.

Постановка задачі, визначальні співвідношення

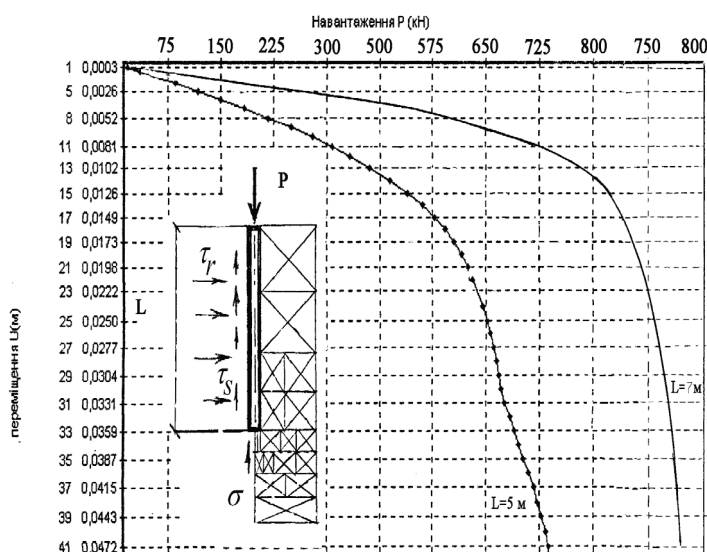


Рис. 1. Графік «навантаження—осідання» нелінійного моделювання призматичних палей $L = 5$ м, 7 м

В роботі процес деформування ґрунту досліджувався за числовим методом граничних елементів [1], який приводить задачу пошуку невідомого вектора напружень на границі палі до розв'язання інтегрального рівняння рівноваги сил. Наступна дискретизація граничної поверхні палі приводить задачу до пошуку коренів системи лінійних алгебричних рівнянь (1).

Як фундаментальні розв'язки у формуванні матриці впливу МГЕ використано функції Міндліна для вертикальних та горизонтальних

переміщень під дією вертикальних і горизонтальних одиничних сил в півплощині.

Метод функцій впливу відіграє важливу роль у розв'язанні прикладних крайових задач геомеханіки. Деколи ці функції називають функціями Гріна чи Кельвіна–Сомільяні. При розгляді лінійної задачі палі, зануреної в однорідне середовище, функції Міндліна дають можливість виявити співвідношення між осьовими і радіальними напруженнями, отриманими експериментально. Це перший важливий крок у визначенні взаємодії палі з ґрунтом, що її оточує.

Основне розрахункове рівняння рівноваги палі в матричному поданні

$$KY = U, \tag{1}$$

де K — матриця впливу методу граничних елементів, з урахуванням впливу горизонтальних навантажень складається із 9 підматриць, які компонуються з вертикальних та горизонтальних переміщень від дії τ_s, τ_r, σ . Y — шуканий вектор напружень на границі палі (τ_s, τ_r, σ); U — заданий вектор переміщень.

$$K = \begin{vmatrix} K_{ss} & K_{rs} & K_{bs} \\ K_{su} & K_{ru} & K_{bu} \\ K_{sb} & K_{rb} & K_{bb} \end{vmatrix}. \tag{2}$$

Невраховуючи вплив горизонтальних навантажень, матриця K має 4 підматриці з вертикальних переміщень від дії τ_s, σ

$$K = \begin{vmatrix} K_{ss} & K_{bs} \\ K_{sb} & K_{bb} \end{vmatrix}. \tag{3}$$

В роботі, за складеною на мові Delphi програмою, проведено числові дослідження лінійної задачі поведінки паль під вертикальним навантаженням:

призматичної $L = 5$ м, $d = 0,529$ м, в ґрунтах з $E = 10$ МПа, $\nu = 0,35$;

призматичної $L = 7$ м, $d = 0,529$ м, в ґрунтах з $E = 18,2$ МПа, $\nu = 0,3$;

пірамідальної $L = 2,7$ м, $(60 \times 60 / 7 \times 7)$ см, кут збігу $\alpha = 6,32^\circ$, $E = 18,2$ МПа, $\nu = 0,3$;

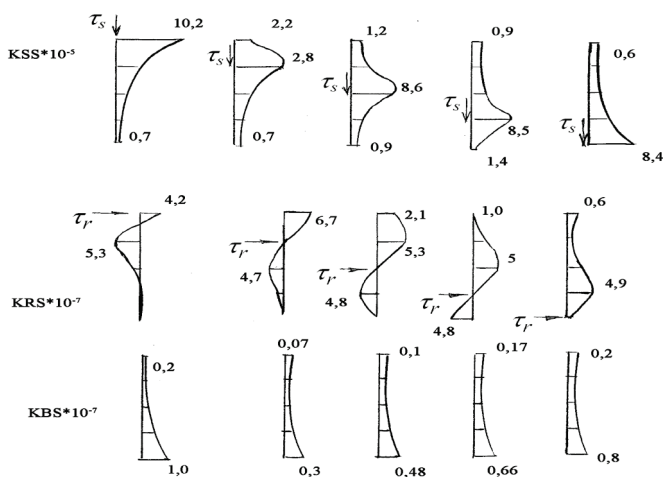


Рис. 2. Коефіцієнти першого рядка матриці впливу: K — лінії впливу переміщень точок бокової поверхні під дією сил тертя по боковій поверхні $\tau_s = 1$, радіальних сил $\tau_r = 1$ та нормальних сил $\sigma = 1$ по вістря палі

Розрахунки лінійної задачі призматичних паль проведено з урахуванням виникнення горизонтальних переміщень під дією вертикального навантаження (матриця впливу МГЕ включає 9 підматриць, рис. 2, 3, 4) та проведено порівняння з результатами розрахунків цих самих паль за МГЕ в нелінійній постановці (рис. 1) за умови неврахування існування горизонтальних переміщень (матриця впливу включає 4 підматриці) за методикою, наведеною в [3]. Схема дискретизації навколопального ґрунту в межах активної зони з урахуванням симетрії показана на рис. 1.

Для переміщення паль $u = 0,01$ м її несуча спроможність складала:

— призматична паля $L = 5$ м з урахуванням горизонтальних переміщень $P = 386$ кН, без урахування — 370 кН, від-

хилення — 4,3 %;

— призматична паля $L = 7$ м з урахуванням горизонтальних переміщень $P = 754$ кН, без урахування — 716 кН, відхилення — 5,2 %, (рис. 1);

— пірамідальна паля $L = 2,7$ м з урахуванням горизонтальних переміщень $P = 349$ кН, експеримент [2] — 357 кН, відхилення — 2,28 %.

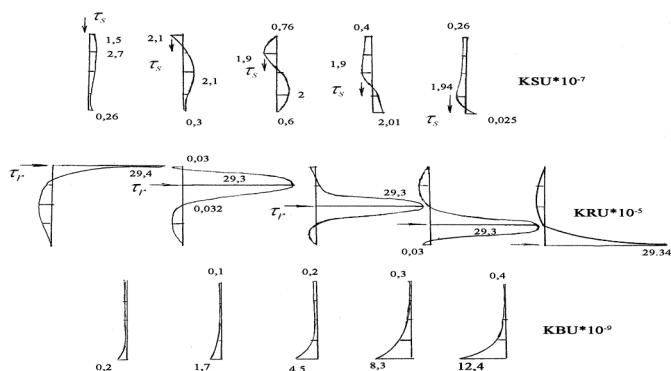


Рис. 3. Елементи середнього рядка матриці впливу: K — лінії впливу переміщень точок бокової поверхні під дією $\tau_s = 1, \tau_r = 1, \sigma = 1$

залежності між ними. В процентному відношенні різниця незначна. Згідно з даними числового моделювання за МГЕ вона знаходиться в межах 5 %.

З урахуванням в розрахунку дії радіальних напружень τ_r для пірамідальних паль отримано ще менше відхилення від експериментальних даних, воно складає лише 2,28 %. Це пояснюється тим, що пірамідальні палі виконують 2 функції: ущільнюють ґрунт і передають навантаження на ущільнений об'єм ґрунту, а це зменшує горизонтальні переміщення від дії вертикальних навантажень на пірамідальні палі.

Висновки

1. З урахуванням в розрахунках паль дії радіальних напружень τ_r (матриця K має 9 підматриць) отримано несучу спроможність паль ближчу до реальної.
2. Неврахування впливу τ_r при компонуванні матриці K (4 підматриці) дає менші значення несучої спроможності (в межах 5 %). Тобто, цей розрахунок дає занижені значення несучої спроможності у порівнянні з розрахунком, що враховує наявності горизонтальних переміщень під дією вертикального навантаження.
3. Вплив радіальних напружень τ_r на несучу спроможність пірамідальних паль значно менший, ніж у аналогічному розрахунку призматичних паль, оскільки при заглибленні пірамідальних паль ґрунт стає більш ущільненим.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Моргун А. С. Метод граничних елементів в розрахунках паль. — Вінниця: УНІВЕРСУМ—Вінниця, 2000. — 130 с.
- 2 Хазин В. И. Экспериментальные исследования зависимости несущей способности пирамидальных свай от угла коичности // Основания и фундаменты. — К.: Будівельник, — 1972. — Вып. 5. — С. 124—129.
- 3 Моргун А. С. Прогнозування дилатансійної поведінки основ фундаментів мілкого закладання за методом граничних елементів // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2006. — № 1. — С. 5—12.

Рекомендована кафедрою промислового та цивільного будівництва

Надійшла до редакції 15.03.06
Рекомендована до друку 27.11.06

Моргун Алла Серафимівна — завідувач кафедри промислового та цивільного будівництва, **Моргун Іван Анатолійович** — студент Інституту інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії.

Вінницький національний технічний університет

Аналіз коефіцієнтів розрахункової матриці впливу МГЕ (9 підматриць) дозволив виявити вплив дії радіальних напружень τ_r на несучу спроможність паль. Коефіцієнти матриці впливу МГЕ (ті самі матриці піддатливості з будівельної механіки), що формувались за функціями P . Міндліна [3], як для вертикальних так і для горизонтальних переміщень мали менші значення через наявність від'ємних складових на лініях впливу (рис. 2, 3, 4) від дії радіальних напружень τ_r . Зменшення коефіцієнтів матриці впливу K дещо збільшує несучу спроможність палі завдяки оберненій

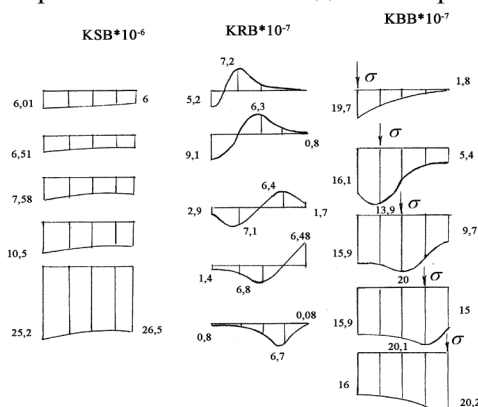


Рис. 4. Елементи нижнього рядка матриці впливу: K — лінії впливу переміщень точок вістря палі під дією $\tau_s = 1, \tau_r = 1, \sigma = 1$