УДК 004:624.15(043.2)

А.П. Поляков, студ.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ФУНДАМЕНТІВ БУДИНКІВ ПІДВИЩЕНОЇ ПОВЕРХОВОСТІ

Проведено числові експерименти, в яких порівняно значення перерізувальних зусиль в опорній зоні паль і колон в МПР зі зміною кроку паль. Використано дві моделі: у першій монолітну плиту ростверку моделювали як плоский елемент, у другій як просторовий.

Numeral experiments in which the values of cuttings efforts were compared in at the supporting area of piles and colons in MPR with the change of step of piles are conducted. Two models were utilized: in the first the monolithic flag of grillage was designed as a flat element; in the second as spatial.

коефіцієнт запасу палі, поєднання завантажень, сейсмічність ділянки

Вступ

У сучасному будівництві житлових та інших типів будинків широко використовується метод каркасномонолітного бетонування. Ця технологія обумовлена особливостями конструювання окремих несучих елементів споруди. Не винятком є фундамент такої конструкції.

Однією з найбільших проблем є розрахунок цієї конструкції, яка працює разом з ґрунтовим масивом і наземною частиною всієї конструкції.

Технічним аспектом цієї проблеми є необхідність будівництва будинків підвищеної поверховості на нескельних ґрунтах, але немає однозначної методики розрахунку такої конструкції з урахуванням сучасних розрахункових комплексів.

Натепер немає конкретної нормативної документації щодо розрахунку палевого поля з монолітною плитою ростверку як цілісної системи.

Підхід до розрахунку плити ростверку має класичний характер і через складність розрахунку роботи конструкції з властивостями ґрунту таку конструкцію розраховують окремими частинами, після чого проводяться польові випробування паль, з'ясовуючи, чи відповідають вони попереднім розрахункам.

У наш час питання конструювання вирішують під час робочого проектування. Фізичні досліди не проводять через їх складність високу вартість та унікальність кожного об'єкта у зв'язку з механікою ґрунтів фундаментів.

Хоча питанням використання сучасних програмних комплексів для вирішення таких завдань приділяють багато уваги, вони і досі залишаються до кінця не розкритими. У таких завдань багато факторів впливу, котрі важко точно визначити через їх неоднозначність.

В цій роботі розглянуто стик колони і палі з монолітною плитою ростверку.

Об'єкт дослідження було подано у вигляді логічної моделі.

Інструментом дослідження став метод скінченних елементів.

У результаті проведених досліджень було отримано такі результати:

− проведено аналіз з можливих способів числового моделювання певних вузлів;

− отримано значення зусиль і їх різницю між результатами різних варіантів моделювання зі зміною кроку паль.

Результати дослідження базуються на роботі [1] і можуть бути перенесені на сам об'єкт.

За результатами проведених робіт:

– встановлено, що найбільш стабільні відносно отриманого результату ділянки епюр перерізувальних сил (вони перебувають у першій і останній третині прольоту);

− запропоновано зручний спосіб моделювання стику колони з плитою у вигляді перехідної стрижневої групи елементів у формі жорстких вставок, які характеризують площу стику перерізу колони з плитою;

− виконано аналіз розподілу перерізувальних сил у МПР.

Аналіз публікацій

У публікації [1] досліджено розрахунок безкапітельного стику колони і плити перекриття. Проаналізовано нормативну документацію в будівництві України:

− Строительные нормы и правила. Свайные фундаменты СНиП 2.02.03-85;

− Руководство по расчёту статически неопределимых железобетонных конструкций с безбалочными перекрытиями (1975 р.);

− Сваи и свайные фундаменты (1977 р.);

– Руководство по проектированию железобетонных конструкций с безбалочными перекрытиями (1979 р.).

© А.П. Поляков, 2009

Постановка завдання − проведення числових досліджень розрахунку монолітної плити ростверку у просторовій і плоскій постановці завдання зі зміною кроку паль. Аналіз отриманих значень перерізувальних сил у приопорній зоні палі і колони.

Метод дослідження експериментальної моделі

Для вирішення поставлених завдань було сформовано дві розрахункові абсолютно ідентичні моделі, двадцятичотирьохповерхової будівлі із безбалочним перекриттям з монолітного залізобетону.

Першу модель МПР задавали як двовимірний елемент, а другу − як тривимірний. Базовими габаритами моделі є кроки колон у двох взаємно перпендикулярних напрямах: 6×6 колон із кроком 5×5 м. Товщина МПР 1 м.

Палеве поле мало вигляд шахового порядку, і крок змінювався від 1,25×1,25 до 2,5×2,5 м з ітерацією 0,25 м.

Відповідно з кроком несуча здатність палі змінювалась пропорційно до площадки її завантаженості.

Переріз паль і колон становив 0.5 м.

У місцях примикання паль і колон до МПР було встановлено перехідну стержневу систему, яка характеризувала переріз колон і паль (500×500 мм). Інтерполяція становила 0,25 м. Ці величини призначали виходячи з логічних міркувань і роботи [1]. Як частина розрахункової моделі виділяли МПР і колони (рис. 1, *б*). Далі виконували фрагментацію, розрахункової моделі тих вузлів, котрі піддавали аналізу.

Розрахункову схему будували за допомогою алгоритмів комплексу Ліра 9.4. З-поміж особливостей розрахункової схеми, крім інших, можна виділити:

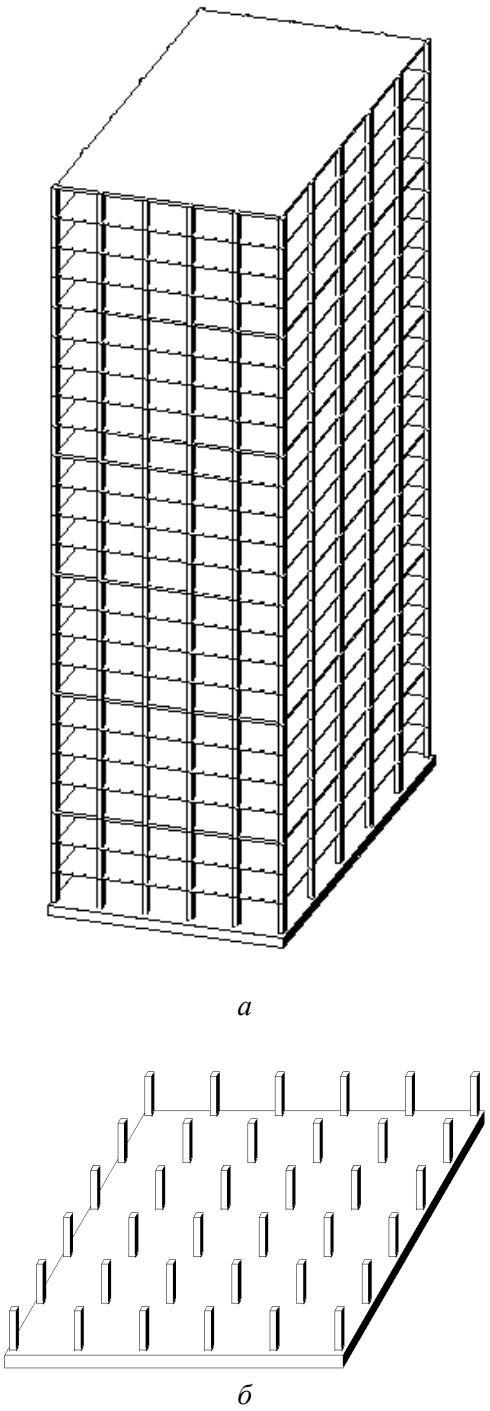
− жорстке закріплення вузлів;

− у конструктивній схемі будівлі немає ядер жорсткості;

− під час дослідження поведінки внутрішніх зусиль від геометричних параметрів будівлі відмова від побудови навантажень у формі розрахункових поєднань зусиль (введення одного сукупного навантаження);

− всі завдання вирішували без урахування нелінійності.

На інші особливості можна не зважати і спростити їх. Метод скінченних елементів властивий алгоритмам програми Ліра, що є однаковими для будь-якого подібного завдання.



а

б

Рис. 1. Розрахункова схема та її фрагментація:
а − споруда;
б − МПР і примикаючі колони

Інструментом дослідження моделі був метод скінченних елементів, реалізований у комплексі Ліра. Метод реалізує принцип дискретизації розрахункової моделі.

Континуальна модель замінюється дискретною зі скінченним числом ступенів вільності [2].

Процес формування розрахункової схеми з моделі споруди здійснюється за допомогою програмного комплексу Мономах 4.2, після чого вручну задавали у Ліріперехідні стрижневі системи.

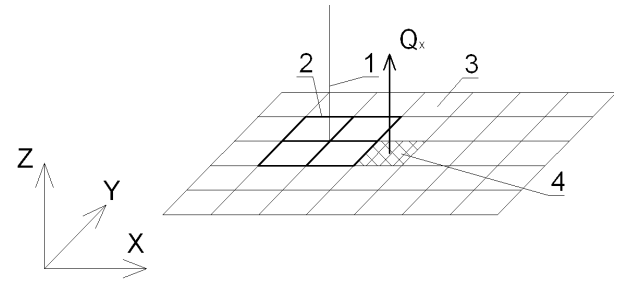
У результаті показана на рис. 1, *а* модель будівлі, де конструктивні елементи (колони, МПР) зображені у вигляді контурних елементів, трансформується в розрахункову схему, де кожен конструктивний елемент будівлі розбивається на скінченні елементи.

Крок розбиття моделі скінченими елементами для вирішення першого з поставлених завдань визначається серією попередніх перевірочних розрахунків і досвідом вирішення подібних завдань [3]. Вид розрахункової схеми показано на рис. 1.

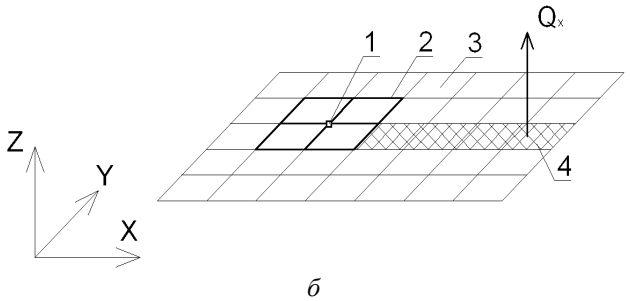
Хід розрахунку

Після створення моделей з різними варіаціями паль для порівняння було вибрано ті ділянки вузлів, які розміщенні у центрі МПР.

У просторовому завданні вузли бралися аналогічно як і плоскій. Епюру зусиль у двовимірного завдання будували по осі Q_x в додатному напрямку (рис. 2) до центру прольоту піж палями і лише біля опорної ділянки колони.



а



б

Рис. 2. Модель вузлів з'єднання:
а − колони з плитою;
б − палі з плитою

Щоб реалізувати інший спосіб моделювання силових граничних умов, треба було зняття з контуру плити заборони на будь-які переміщення. При цьому з умови рівноваги фрагмента конструкції на схему потрібно було докласти внутрішні зусилля від відкинутої частини перекриття і знову використати дані, отримані під час розрахунку плоского завдання.

Складність такого моделювання граничних умов полягала у встановленні відповідності між групами внутрішніх зусиль у плиті, яку моделюють плоскими та об'ємними елементами. Таке завдання вимагало введення ряду допущень.

Складність питання можна проілюструвати на прикладі переходу від поперечних зусиль в одному з напрямків плити до дотичної напруги під час моделювання об'ємними елементами. Схему цього завдання зі всіма позначеннями та осями координат показано на рис 3.

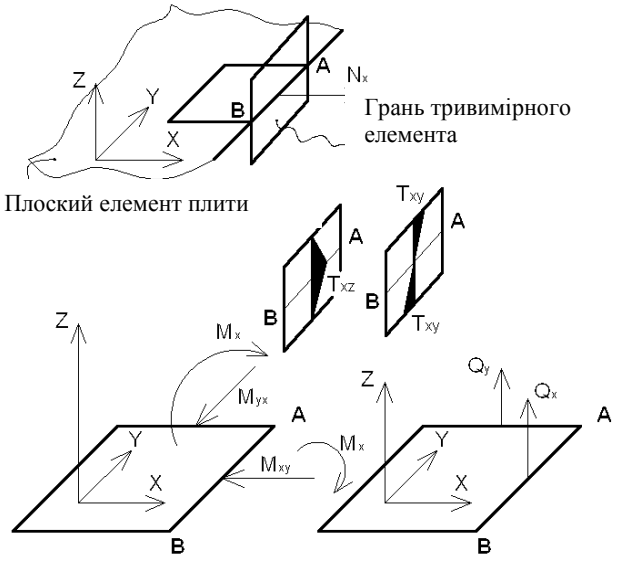


Рис. 3. Додатні напрямки внутрішніх зусиль по одній із граней фрагмента МПР

Із загального визначення поперечної сили [2] відомо, що поперечна сила і дотична напруга зв'язані залежністю

$$Q_x = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \tau_{xz} dz \,, \qquad (1)$$

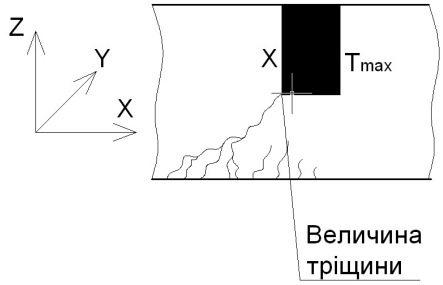
де

h − товщина плити.

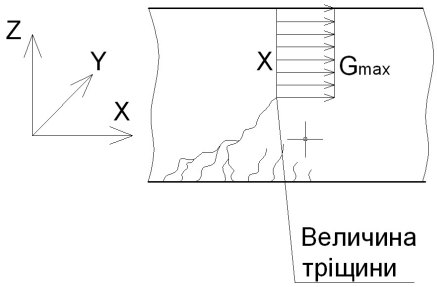
Вважається, що плита, модельована плоскими елементами, перебуває в середині «об'ємної» плити, як це показано на рис. 3.

Закон розподілу дотичної напруги по товщині плити нелінійний. Більше того, відповідно до загальноприйнятої деформаційної моделі плити визначаючи напружено-деформований стан слід враховувати процес утворення тріщин.

За методиками, наведеними у роботах [4; 5], а також за нормами необхідно визначати висоту стислої зони (рис. 4).



а



б

Рис. 4. Модель плити з тріщиною:
а − умовна епюра дотичної напруги по одній із граней;
б − умовна епюра нормальної напруги в одному з перетинів

Після проведення розрахунків плоского завдання [1] було виявлено, що з восьми компонентів напруженого стану плити чотирма можна нехтувати внаслідок їх невеликих значень. Значення кожного з відкинутих внутрішніх зусиль становить не більше 5−7 % від максимальних значень будь-якого зусилля з групи, що залишилася.

З урахуванням відкинутих компонентів напруженого стану перехід від плоского завдання до тривимірного здійснюють за залежністю (рис. 3). Після цього виконують лінійний розрахунок тривимірної моделі.

За наслідками розрахунку встановлюють характер напружено-деформованого стану плити приопорної зони.

Далі потрібно визначити напрям, за яким буде проведено спостереження за впливом стику різнорозмірних елементів у плоскому завданні. За напрям візьмемо проліт у напрямку, як показано на рис. 2. Після визначення напрямку проводять визначення поперечних сил щодо осі *x* вибраному напрямку в центральній частині плити в середині третього прольоту.

Вирішуване завдання полягає в порівнянні епюр поперечних сил, отриманих у результаті рішення плоскої та об'ємного завдання. Тепер потрібно побудувати аналогічну епюру тільки для об'ємного завдання. Вісь побудови епюри залишається незмінною. За наявності напруженого стану об'ємного фрагмента за залежністю (1) знаходимо поперечну силу.

У результаті проведення обчислень за вказаним алгоритмом було встановлено значення перерізувальних сил щодо осі *x* за вибраним напрямком.

Для оцінювання розбіжностей значень перерізувальних сил у прольоті між палями за віссю Q_x побудований графік (рис. 5).

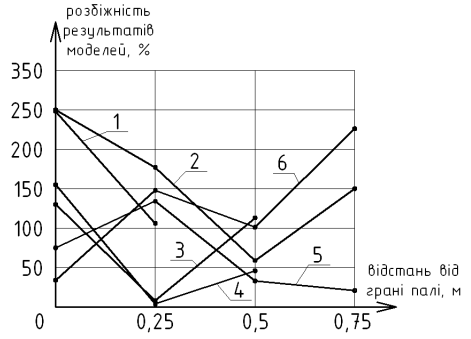


Рис. 5. Епюра розбіжностей результатів розрахунків Q_x у прольоті між палями з різним їх кроком

Щоб оцінити розбіжності значень у приопорній грані колони і палі побудовано графік порівняльних розбіжностей (рис. 6).

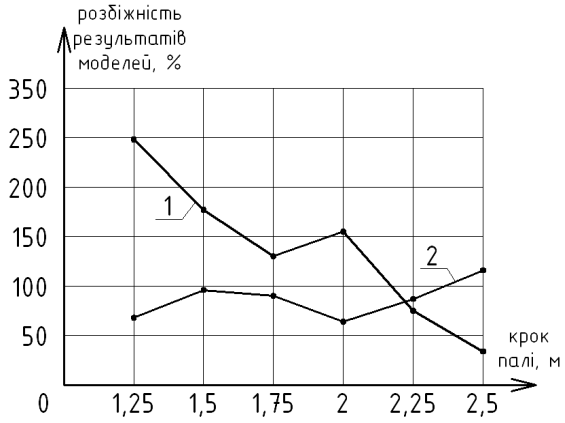


Рис. 6. Залежність розбіжностей результатів Q_x у приопорній грані палі і колони за зміною кроку паль

Висновки

Майже в кожній будівлі, зведеній за такою технологією, є елементи монолітного палевого фундаменту. Можна говорити про те, що в сучасних умовах майже для кожного учасника процесу будівництва, від замовника-інвестора до кінцевого покупця, така конструкція є вигідним рішенням, що має багато переваг перед можливими альтернативами. Особливо часто таку конструкцію застосовують для будівництва різних громадських будівель: бізнес-центрів, розважальних і торгових центрів.

Природно, що інженери-проектувальники досить часто мають розраховувати і конструювати МПР. Надзвичайно складні у такій конструкції розрахунки армування, особливо під час забезпечення економічної ефективності проектного рішення, оскільки велика витрата арматури у таких елементах завжди була проблемою. Оцінювання дорожчання МПР через підвищення витрати арматури у разі застосування тих або інших схем посилення вузла стику колони і палі з МПР на практиці не проводиться. Оскільки немає методик з проектування цих елементів, вибираючи з цих можливих технічно грамотне рішення щодо конструкції цих вузлів, інженер не завжди вибирав економічно найбільш вдале. Наукова проблема полягає у тому, що немає методик розрахунку плити перекриття на продавлювання у місці сполучення з колоною.

Теоретичні основи опору залізобетонних елементів поперечним силам були закладені ще в 20-х роках XX ст., такими інженерами і дослідниками, як Дж. Р. Ніколсон, Вестергард, Слейтер, А.А. Гвоздев, В.І. Мурашов. Нині у зв'язку з розвитком сучасних інженерних інструментів з числового моделювання будівель та їх елементів з'явилися нові можливості по аналізу взаємодії елементів цього вузла, і таке завдання у такій формі раніше не ставилося.

Методика вирішення поставлених у роботі завдань основана на проведенні дослідження спеціальної моделі. Дослідження є серією числових експериментів, направлених на встановлення залежності розподілу розбіжностей значень. Проведено аналіз з можливостей конструювання і моделювання досліджуваного вузла.

У дослідній частині роботи встановлено зв'язок геометрії плити і внутрішніх зусиль, що виникають у ній під дією навантаження. Для цього розглянуто вдосконалену модель деформації певних вузлів. У роботі плити враховувалося те, що нелокальне продавлювання у цій зоні не проходить за схемою чистого зрізу, тоді як у науково-технічній літературі і у СНіП пропонується розраховувати подібні вузли саме за такою схемою.

У роботі проведено аналіз і класифікацію існуючих конструктивних вирішень досліджуваних вузлів, показано, що вплив способу моделювання у приопорній зоні скінченними елементами може значно впливати на значення поперечних сил цієї зони, проаналізовано графіки розбіжності приопорній ділянці колони і палі зі зміною кроку, побудовано епюри-графіки розбіжності ділянок МПР між палями та їх аналіз.

Література

1. *Ватин Н.И.* Сопряжение колон и безкапительной плиты перекрытия монолитного железобетонного каркасного здания / Н.И. Ватин, А.Д. Иванов. – М.: С. Пб., 2006 – 82 с.

2. *Тур В.В.* Расчёт железобетонных конструкций при действии перерезывающих сил: монографія / В.В. Тур, А.А. Кондратчик. – Брест: БГТУ, 2000. – 400 с.

3. *Розин Л.А.* Задачи теории упругости и численные методы и их решение / Л.А. Розин. − С.Пб.: СПбГТУ, 1998. – 532 с.

4. *Железобетонные* и каменные конструкции: учеб. для строит. спец. вузов / В.М. Бондаренко, Р.О. Бакиров, В.Г. Назаренко, В.И. Римшин. – 3-е изд., исправл. – М.: Высш. шк., 2004. – 876 с.

5. *Голышев А.Б.* Железобетонные конструкции. Т. 1 / А.Б. Голышев, В.П. Полищук, В.Я. Бачинский.– К.: Логос, 2001. – 420 с.

Стаття надійшла до редакції 17.06.09.