

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦІЇ ҐРУНТУ ПОЛЬОВИМИ ТА ЛАБОРАТОРНИМИ МЕТОДАМИ

Корнієнко М.В., Язвінський О.В.
Київський національний університет будівництва і архітектури

Поклонський С.В.
ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»
м. Київ, Україна

АННОТАЦІЯ: Наводиться модуль деформації ґрунту, отриманий прямими та опосередкованими методами та порівняння їх величин.

АННОТАЦИЯ: Приводится модуль деформации ґрунта, полученный прямыми и опосредованными методами и сравнение их величин.

ABSTRACT: The comparison of deformation modulus values obtained by direct and indirect methods is shown.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Модуль деформации, компрессия, штамповые испытания ґрунта.

ВСТУП

Згідно нормативу – ДБН 2.1-10-2009 [1] величина модуля деформації ґрунту E впливає на можливість використання фундаментів як неглибокого закладання, так і пальових. Лабораторні методи, які на сьогодні найбільш поширені на території України, дають значні погрішності, про що можна судити за величиною поправочних коефіцієнтів m_k , що використовувались для корекції компресійних модулів деформації і встановлені шляхом співставлення результатів випробувань ґрунтів при штампових і компресійних випробуваннях і наведені в посібнику до СНиП 2.02.01-83 [2]. З іншого боку використання штампу як більш надійного методу пов'язане з труднощами влаштування таких випробувань, так як стандарт ДСТУ Б.В.2.1-7-2000 [3] встановлює необхідність використання штампів площею

0,25...0,5 м². Сьогодні в більшості випадків, як при основних, так і при контрольних випробуваннях ґрунтової основи, навіть в неглибоких котлованах штампові випробування не виконуються.

В той же час Єврокод 7 [4] рекомендує визначати значення E за різними методами, приймаючи, що така оцінка повинна бути комплексною. Використовуючи різні методи та визначення різних значень модулів деформації, наприклад: E - пружності Юнга, E' - пружності Юнга при дренаванні (довготерміновому), E_{FDT} - при випробуванні гнучкого дилатометра, E_{oed} - одометричний, E_{PLT} - з випробування навантаженням плити, E_u - пружності Юнга при неможливості дренавання, E_0 - початковий модуль пружності Юнга, E_{50} - модуль пружності Юнга (при тиску, що відповідає 50 % максимальної міцності на зсування). Така трактовка модулів деформації для України є незвичною. Використання одного з цих значень не тільки відповідає методу визначення, а і враховує стан ґрунтової основи і може бути наближене до реальних умов використання.

ОЦІНКА СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ОТРИМАННЯ МОДУЛІВ ДЕФОРМАЦІЇ

Охарактеризуємо в цілому методи, що використовують для визначення модуля загальної деформації E в Україні, з практичних позицій всі методи можна поділити на групи:

1. Лабораторні, виконуються на зразках ґрунту, що відібрані на будівельних майданчиках: компресійний (основний метод), одновісний та тривісний стиски – фактично не використовуються. Їх використання є дуже обмеженим. Всі вони потребують уточнення: введення коригуючих коефіцієнтів за таблицями норм [2], порівняння з регіональними узагальненнями таблиць значень E , уточнення за рекомендаціями з літературних джерел та результатами моніторингу.

2. Польові, що включають статичне та динамічне зондування (опосередковані методи), пресіометричний та штамповий методи (прямі методи визначення E).

3. За досвідом – нормативні таблиці, літературні дані, моніторинг осідань будівель і порівняння з прогнозованими значеннями E , а також регіональні узагальнення.

Як правило, в більшості випадків використовують дані лабораторних компресійних випробувань та польові дані статичного зондування, проте для невеликих майданчиків часто визначають E за фізичними показниками наведеними в таблицях [1].

Виділимо основні недоліки для приведених методів з врахуванням досвіду їх визначення в Україні.

Компресійні випробування:

в лабораторних умовах використовується зразок малого розміру, можливі порушення структури зразка, як при відборі на майданчику, так і при підготовці в лабораторії;

порівняно короткочасні випробування, що не забезпечує в окремих випадках протікання процесу консолідації;

недостатнє врахування пластичних і пружних деформацій зразків, що можуть проявлятися при випробуванні. Співвідношення цих деформацій залежить не тільки від рівня навантаження, але і від виду та стану ґрунту, його фізичних показників;

вплив зім'яття ґрунту зразків на рівень їх деформації (компресійна похибка);

вплив сил тертя зразка ґрунту по стінкам компресійного кільця;

порушення в методиці випробувань, що носять суб'єктивний характер і повинні усуватись шляхом продуманого контролю. Інколи їх вплив може робити результати випробувань непридатними до використання.

Штампові випробування:

обмежені розміри штампів;

недостатнє врахування глибини дослідження та природного стану ґрунту, що можуть проявлятися при випробуванні; скорочений час випробування.

Статичне зондування:

використання постійних коефіцієнтів переходу від опору конусу зонда до E , які не рекомендуються для супісків зовсім. Мають формуватися на основі кореляційних залежностей;

обмежені розміри зонду, що може приводити як до заниження так і до завищення величини фактичного опору ґрунту.

Пресіометрія:

визначення E в горизонтальному напрямку.

Табличні дані:

мають низьку ймовірність визначення $m_k = 1 \dots 6$;

встановлювалися для території всього Радянського Союзу (потребують уточнення);

визначалися для глибини 3...5 м, зараз глибина котлованів збільшилась до 10...15 м, а глибина опирання пальових фундаментів – до 40...60 м.

Загальні недоліки:

умовне моделювання роботи основи шляхом точкового опробування;

відсутність сучасного обладнання та приладів;

використання застарілих методик визначення E ;

відсутність врахування кореляційних залежностей по глибині при обробці значень модуля деформації.

Шляхи покращення достовірності визначення E

1. Обмеження діапазону тиску при визначенні значень модуля пружних деформацій.
2. Усунення впливу зім'яття зразків ґрунту при лабораторних дослідженнях.
3. Пошук об'єктивних перехідних коефіцієнтів (кореляційних залежностей) для ґрунту, що залягає на значних глибинах.
4. Узагальнення характеристик стисливості регіональних ґрунтів.
5. Проведення комплексу робіт для вивчення стисливості лесових ґрунтів.

Особливої уваги потребує те, що статичне зондування, динамічне зондування та інші опосередковані методи потребують не тільки порівняння зі штамповим методом, а і контролю достовірності за результатами моніторингу осідань реальних будівель.

В той же час можна вирішувати питання отримання достовірного модуля деформації E , використовуючи прості, достовірні методи, такі як динамічне навантаження штампу, статичний метод навантаження штампу та лабораторний метод випробувань ґрунтів при компресійному стиску в одометрі, якщо використовувати ці методи одночасно і проводити між ними порівняльний аналіз.

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Визначення модуля деформації виконувалося трьома методами: статичне випробування ґрунту круглим штампом діаметром 30 см, динамічне випробування штампом того ж діаметру та стандартні лабораторні випробування в одометрі. Ґрунт, що випробовувався – супісок пилюватий, відібраний з дна котловану з наступними характеристиками: природна вологість $W = 18,9$; щільність ґрунту $\rho = 1,92$, г/см³; щільність сухого ґрунту $\rho_d = 1,62$, г/см³; щільність часток $\rho_s = 2,69$, г/см³; коефіцієнт пористості $e = 0,660$; ступінь вологості $S_r = 0,77$; вологість на межі текучості $W_L = 25$; вологість на межі пластичності $W_P = 18$; число пластичності $I_P = 7$; показник текучості $I_L = 0,12$.

Тиск від власної ваги ґрунту на рівні відбору зразків $\sigma_{zg} = 0,07$ МПа.

Компресійні випробування

У серії випробувань зразків супіску модулі деформації отримані в діапазоні тиску 0,08...0,5 МПа і становили для компресійних випробувань за стандартною методикою [5]:

модуль первинного навантаження $E_{oed1} = 3,9 \dots 5,3$ МПа;
модуль первинного розвантаження $E_{u1} = 6,5 \dots 17,5$ МПа;
модуль вторинного навантаження $E_{oed2} = 20,5 \dots 28,5$ МПа;
модуль вторинного розвантаження $E_{u2} = 15,5 \dots 26,06$ МПа.

Перехідний коефіцієнт за рекомендаціями посібника до СНиП [2] $m_k = 3,48$, отже модуль з його використанням становить $13,6 \dots 18,4$ МПа.

Випробування статичним штампом

За результатами випробувань штампом НМР PDG-SD, які проводились за методикою [6]. Загальний вигляд штампуну наведено на рис. 1.



Рис. 1. Штамп НМР PDG-SD, зібраний в повній комплектації

Суть методу полягає в тому, що жорсткий круглий штамп діаметром 300 мм навантажують мінімум шістьма ступенями навантаження, рівними інтервалами до заданого тиску, який для штампуну діаметром 300 мм складає 0,5 МПа. Кожна ступінь навантаження прикладається за 1 хв і витримується 2 хв. Після досягання максимального тиску, штамп розвантажується до 50%, 25% від максимального навантаження і робиться нульовий відлік. Після чого іде 2-й цикл навантаження-розвантаження. За результатами випробування будується деформаційна крива (рис. 2) і розраховуються модулі деформації випробуваного ґрунту.

Штамповий модуль E_V , в МН/м², розраховується за наступною формулою:

$$E_V = 1,5 \times r \times \frac{1}{a_1 \times a_2 \times \sigma_{\text{max}}}, \quad (1)$$

де r – радіус штампу, в мм;

$\sigma_{0\max}$ – середнє максимальнє нормальнє напруження, в МН/м²;

Модуль першого циклу навантаження $E_{V1} = 5,55$ МПа.

Модуль другого циклу навантаження $E_{V2} = 25,42$ МПа.

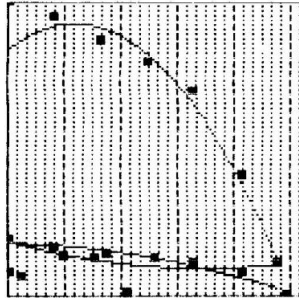


Рис. 2. Крива деформації за результатами випробувань штампом HMP PDG-SD

Випробування динамічним штампом



Рис. 3. Динамічний штамп HMP LFG-StB

За результатами динамічних випробувань штампом НМР LFG-K, що приведені в [7]. Загальний вигляд штампку наведено на рис. 3.

При випробуванні вантаж вагою 10 кг падає з встановленої висоти, передаючи зусилля на плиту діаметром 300 мм і масою 15 кг через набір пружин. Створюється імпульс навантаження амплітудою 7,07 кН і тривалістю $17 \pm 1,5$ м/с. Переміщення плити вимірюється вбудованим акселерометром. Модуль пружності E_{vd} обчислюється із значень максимального прогину і максимальної швидкості. Обробка даних відбувається за допомогою мікрокомп'ютера.

В першій точці $E_{vd} = 28,27$ МПа.

В другій точці $E_{vd} = 16,68$ МПа.

Криві деформації побудовано за результатами випробувань штампом НМР LFG-StB для обох точок та наведено на рис. 4.

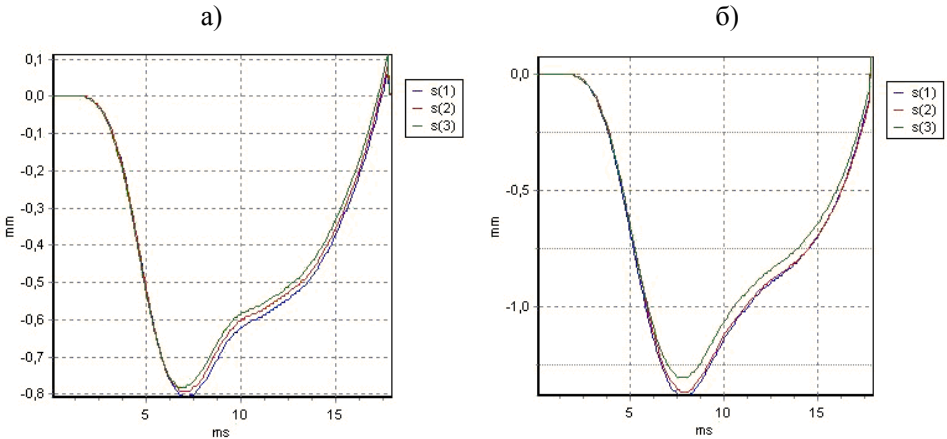


Рис. 4. Криві деформації за результатами випробувань штампом НМР LFG-StB для точок I (а) та II (б); s(1), s(2), s(3) – усадка від ударів молота

Таблиця 1

Таблиця порівняння результатів випробувань ґрунтів

Цикл навантажень	E_{oed} , МПа	E_v , МПа	$E_{oed} \times m_{k,}$, МПа	E_{vd} , МПа
I	3,9...5,3	5,6	13,6...18,4	28,3
II	20,5...28,5	25,4	-	16,7

За результатами випробувань, наведених в табл. 1, штамповий і компресійний модулі відрізняються в незначній мірі, але, як показали випробування, в більшості випадків різниця існує і може досягати 2...6 разів, в залежності від багатьох факторів, таких як різновид та стан ґрунту, діапазон навантажень та ін.

Приведені в експериментах ґрунти відносяться до ґрунтів підвищеної стисливості згідно старої класифікації, що характеризується показником E в межах 5...15 МПа, отриманим за результатами компресійних випробувань.

ВИСНОВКИ

1. Проведені випробування є доступними і в багатьох випадках дають можливість досягти економії при влаштуванні фундаментів.

2. Існує необхідність підтвердження величин модулів деформації, отриманих при компресійних випробуваннях. Це положення регламентовано нормативними документами [8] для будівель, що відносяться до класів відповідальності СС3 (як обов'язкове) та СС2 (в обґрунтованих випадках).

3. Проблема отримання достовірного модуля деформації ґрунту є актуальною і може значно впливати на затрати на фундаментну частину будівлі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Основи і фундаменти будівель і споруд: ДБН В.2.02.01-2009. - К.: Мінбуд України, 2009. - 110 с.
2. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83) НИИОСП им. Герсеванова. – М.: Стройиздат, 1986. – 415 с.
3. Ґрунти. Методи польового визначення характеристик міцності та деформативності. НИИОСП им. Герсеванова: ДСТУ Б.В.2.1-7-2000 (ГОСТ 20276-99). – М.: Стройиздат, 1999. – 48 с.
4. Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing – (together with United Kingdom National Application Document): Eurocode 7 EN 1997-2:2007: (E), 1997. - 196 s.
5. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформативності: ДСТУ Б В.2.1-4-96. - К.: Мінбуд України, 1996. - 102 с.
6. Determining the deformation and strength characteristics of soil by the plate loading test: DIN 18134, September, 2001.
7. Earthworks and foundations - Soil classification for civil engineering purposes: DIN 18196, May, 2011.
8. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ: ДБН В.1.2-14-2009. - К.: Мінбуд України, 2009. - 45 с.

Стаття надійшла до редакції 04.10.2013 р.