

КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ СТРОИТЕЛЬСТВА КОТЛОВАНА С «ОСТРОВНОЙ» ВЫЕМКОЙ ГРУНТА

Ю Ч.

Компания CCCC-Tianjin Port Engineering Institute («СССС Тяньцзиньский институт портового строительства»); компания CCCC First Harbor Engineering Company («СССС Первая портовая инженерная компания»); Ключевая геотехническая лаборатория Министерства связи; Ключевая геотехническая лаборатория Тяньцзиня, г. Тяньцзинь, Китай

ЛУН ЦЗ.

Тяньцзиньский институт инженерных изысканий и проектирования для строительства объектов водно-транспортной инфраструктуры, Тяньцзинь, Китай

ЛУ М.

Тяньцзиньский институт инженерных изысканий и проектирования для строительства объектов водно-транспортной инфраструктуры, Тяньцзинь, Китай
P16009@tju.edu.cn

АННОТАЦИЯ

Представляем сокращенный адаптированный перевод доклада «Конечноэлементный анализ строительства котлована с «островной» выемкой грунта» (Yu et al., 2021), который был сделан китайскими геотехниками Чаньи Ю, Цзе Лун и Минъюэ Лу на 6-й Международной конференции по добыче полезных ископаемых, геотехнологиям и гражданскому строительству в городе Гуанчжоу (Китай). Эта работа также была опубликована в виде статьи в журнале Earth and Environmental Science («Науки о Земле и окружающей среде») издательством британской благотворительной научной организации IOP (Institute of Physics – «Институт физики»), ставшей поистине международной. Данная статья находится в открытом доступе по лицензии CC BY 3.0, которая позволяет распространять, переводить, адаптировать и дополнять ее при условии указания типов изменений и ссылки на первоисточник. В нашем случае полная ссылка на источник для представленного перевода (Yu et al., 2021) приведена в конце. Для строительства крупных котлованов подходит «островная» выемка грунта из-за ее высокой скорости, но при этом требуется более сильная система крепления бортов. В представленном исследовании было проведено конечноэлементное моделирование процесса строительства глубокого котлована с поэтапной «островной» выемкой грунта и поэтапным созданием «двухкольцевой» системы поддержки подпорной стены из четырех (в основном) ярусов балочных обвязочных поясов, распорок и раскосов. Были получены поля смещений и напряжений для системы крепления котлована и грунтов вокруг него. Представленные методика анализа и его результаты могут помочь проектированию, безопасному и бесперебойному строительству рассмотренного котлована, а также развитию других похожих проектов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

глубокий котлован; конечноэлементное моделирование; «островная» выемка грунта; подпорная стенка; «стена в грунте»; «двухкольцевая» система крепления; осадки грунта; горизонтальные смещения; напряжения.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Ю Ч., Лун Цз., Лу М. Конечноэлементный анализ строительства котлована с «островной» выемкой грунта (пер. с англ.) // Геоинфо. 2023. Т. 5. № 8. С. 22–27 DOI:10.58339/2949-0677-2023-5-8-22-27

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF ISLAND EXCAVATION PROCESS OF FOUNDATION PIT

Ch. YU

CCCC-Tianjin Port Engineering Institute, Ltd.; CCCC First Harbor Engineering Company, Ltd.; Key Laboratory of Geotechnical Engineering of the Ministry of Communications; Key Laboratory of Geotechnical Engineering of Tianjin, Tianjin, China

J. LONG

Tianjin Survey and Design Institute for Water Transport Engineering, Tianjin, China

M. LU

Tianjin Survey and Design Institute for Water Transport Engineering, Tianjin, China
P16009@tju.edu.cn

ABSTRACT

We present an abridged and adapted translation of the report "Finite element analysis of island excavation process of foundation pit" by Chinese geotechnical engineers Changyi Yu, Jie Long, and Mingyue Lu (Yu et al., 2021). This report was presented at the 6th International Conference on Minerals Source, Geotechnology and Civil Engineering in Guangzhou, China. It was also published as an article in the journal "Earth and Environmental Science" by the publishing company of the British scientific society "Institute of Physics" (IOP) that is now virtually international. It is an open access article under the CC BY 3.0 license that allows it to be distributed, translated, adapted, and supplemented, provided that the types of changes are noted and the original source is referred to. In our case, the full reference to the original paper (Yu et al., 2021) used for the adapted translation is given in the end.

"Island" soil excavation is suitable for the construction of large foundation pits because of its high speed, but it requires a stronger support system. In the presented investigation, a finite element simulation was carried out for the construction process of a deep foundation pit with "island" excavation and double-ring support system having four tiers. The simulation process considered the process of step-by-step "island" soil excavation and the step-by-step construction of the support system consisting of four tiers including mainly angle bracing and ring beam bracing. The fields of displacements and stresses were obtained for the support system of the foundation pit and for the soils around it. The paper provides an effective guidance for the safe and smooth development of the foundation pit engineering, and provides a reference method for the engineering analysis of similar objects.

KEYWORDS:

deep foundation pit; finite element modeling; "island" excavation; retaining wall; diaphragm wall; "double-ring" support system; subsidences; horizontal displacements; stresses.

FOR CITATION:

Yu Ch., Long J., Lu M. Konechnoelementnyi analiz stroitel'stva kotlovana s "ostrovnoy" vyemkoy grunta [Finite element analysis of island excavation process of foundation pit] (translated from English into Russian) // Geoinfo. 2023. T. 5. № 8. S. 22–27 DOI:10.58339/2949-0677-2023-5-8-22-27 (in Rus.).

Введение

При создании котлована приходится решать многие вопросы: выполнять земляные работы, водоотведение, управление строительством, мониторинг, строительство на прилегающих площадках, оценивать влияние на поведение существующей окружающей застройки и др. В процессе строительства необходимо не только обеспечивать безопасность и устойчивость самого котлована, но и строго контролировать смещения грунтов вокруг него для защиты окружающих его территорий, зданий и сооружений [1].

Имеется три распространенных типа откопки котлованов:

1) выемка до дна начиная с центральной части котлована с сохранением/соз-

данием до определенного момента наклонных бортов, которые уменьшают деформации окружающего грунтового массива; в основном выполняется без крепления и применяется, если глубина котлована невелика, позволяют инженерно-геологические условия площадки, а устойчивость наклонных бортов достаточна [2, 3];

2) консольная выемка по всей площади с созданием вертикальных бортов; обычно требует системы крепления бортов котлована, чаще сверху вниз [4, 5];

3) «островная» выемка (которая будет подробнее описана далее); в основном подходит для откопки котлованов для строительства высотных зданий,

причем для крепления используются системы обвязочных поясов из обвязочных балок, распорок и раскосов, чтобы контролировать деформации окружающего грунта [6–8] (последовательность работ здесь очень сложна, возможность деформаций велика, поэтому требования к проектированию и управлению строительством очень высоки).

В данной статье представлены результаты конечноэлементного моделирования процесса «островной» выемки грунта при строительстве крупного котлована с поэтапным созданием системы крепления подпорной стенки из балочных обвязочных поясов, распорок и раскосов. Также рассмотрены временные и пространственные изменения по-

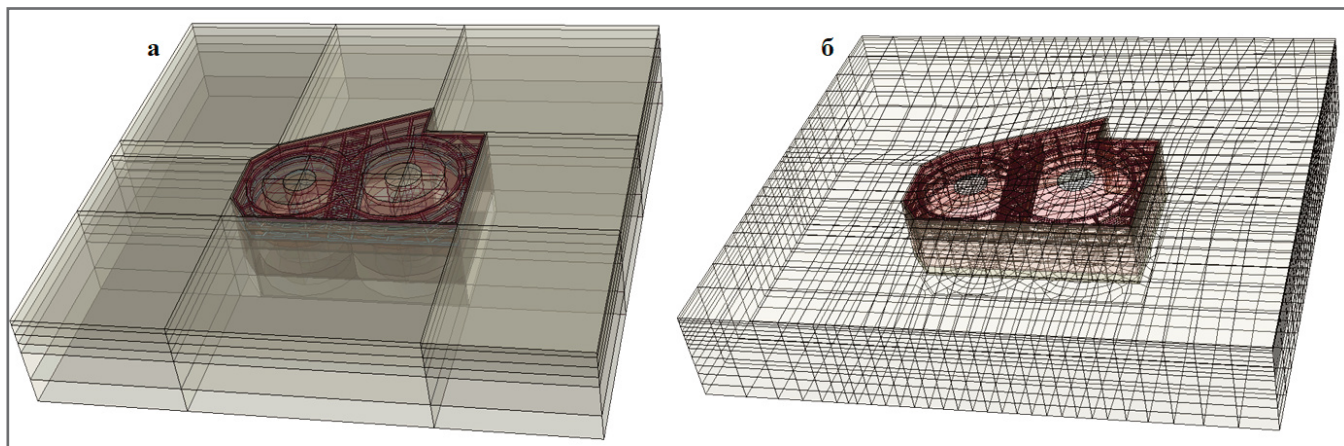


Рис. 1. Конечноэлементная модель (а) и сетка конечных элементов (б)

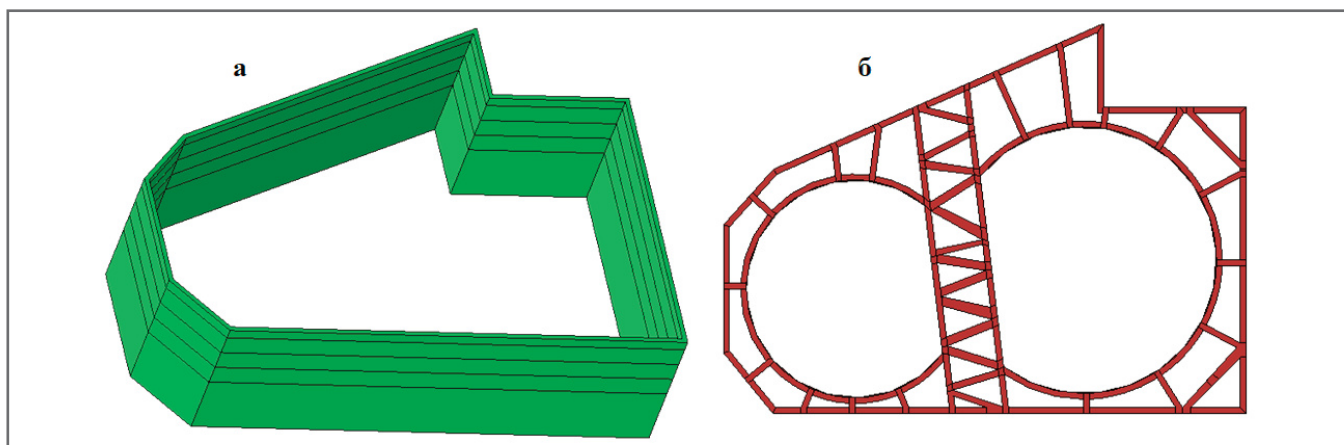


Рис. 2. Конечноэлементные модели «стены в грунте» в объеме (а) и системы ее крепления в плане (б)

лей напряжений и смещений в процессе выемки грунта.

Общая последовательность земляных работ

Для оптимизации схемы «островной» выемки грунта необходимо было провести конечноэлементный анализ строительства и использования выбранной системы крепления котлована.

Из-за большой площади и неправильной формы рассматриваемого котлована крепление каждой его части должно быть разным, поэтому для анализа возможных неблагоприятных последствий процесса его строительства пришлось анализировать поведение всего объекта целиком.

Для выемки грунта котлован сложной формы был разделен на две части – левую и правую с радиусами 13,1 и 14,5 м соответственно.

Рассматривалась следующая последовательность строительства в каждой из указанных частей:

1) выемка первого от поверхности слоя грунта по краям внутренней зоны до глубины 2 м и создание первого сверху яруса системы крепления;

Таблица. Параметры конечноэлементного моделирования

Часть модели	Плотность, кг/м³	Модуль Юнга, Па	Коэффициент Пуассона	Удельное сцепление, Па	Угол внутреннего трения
Грунт	1800	8,0×10 ⁶	0,35	18000	15
«Стена в грунте»	2300	31,5×10 ⁹	0,20	-	-
Система крепления «стены в грунте»	2350	41,5×10 ⁹	0,20	-	-

2) выемка второго слоя грунта толщиной 4 м по краям внутренней зоны и первого слоя грунта из внутренней зоны («острова»), создание второго сверху яруса системы крепления;

3) выемка третьего слоя грунта толщиной 4 м по краям внутренней зоны и второго слоя грунта из внутренней зоны, создание третьего сверху яруса системы крепления;

4) выемка четвертого слоя грунта толщиной 4 м по краям внутренней зоны и третьего слоя грунта из внутренней зоны, создание четвертого сверху яруса системы крепления;

5) выемка четвертого слоя грунта толщиной 4 м из внутренней зоны, то есть

удаление «острова» с полным достижением проектной глубины котлована.

Конечноэлементная модель

Длина, ширина и высота разработанной модели грунта составляют 213, 190 и 36 м соответственно, глубина котлована – 14 м, высота «стены в грунте» – 26 м. Система крепления правой и левой частей котлована в основном состоит из четырех обвязочных поясов из обвязочных балок, распорок и раскосов. Дно котлована принимается фиксированным. Грунт, «стена в грунте» и система ее крепления разделены на объемные блоки и шестигранные конечные элементы (рис. 1, 2).

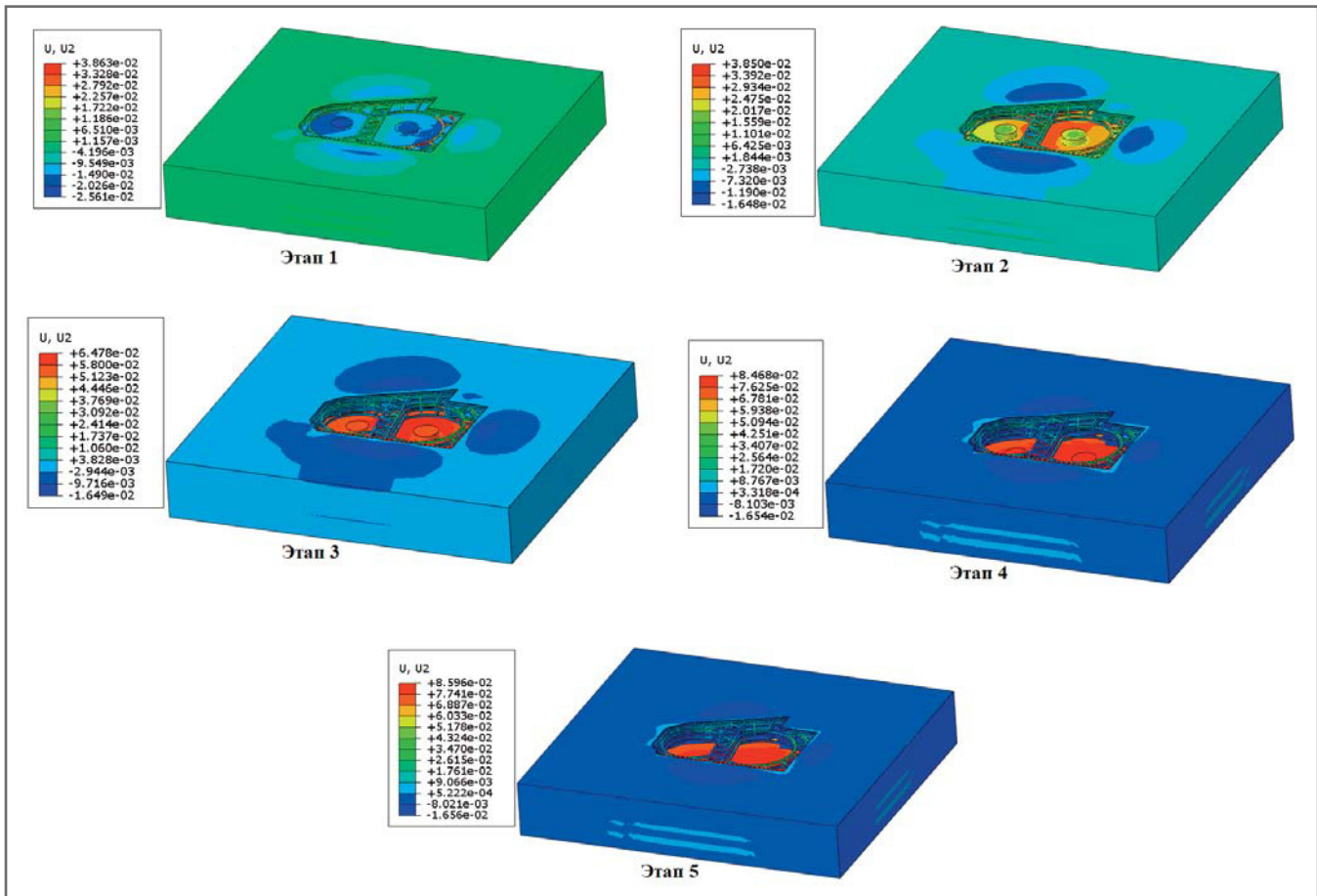


Рис. 3. Осадки поверхности вмещающего котлован грунта в процессе земляных работ

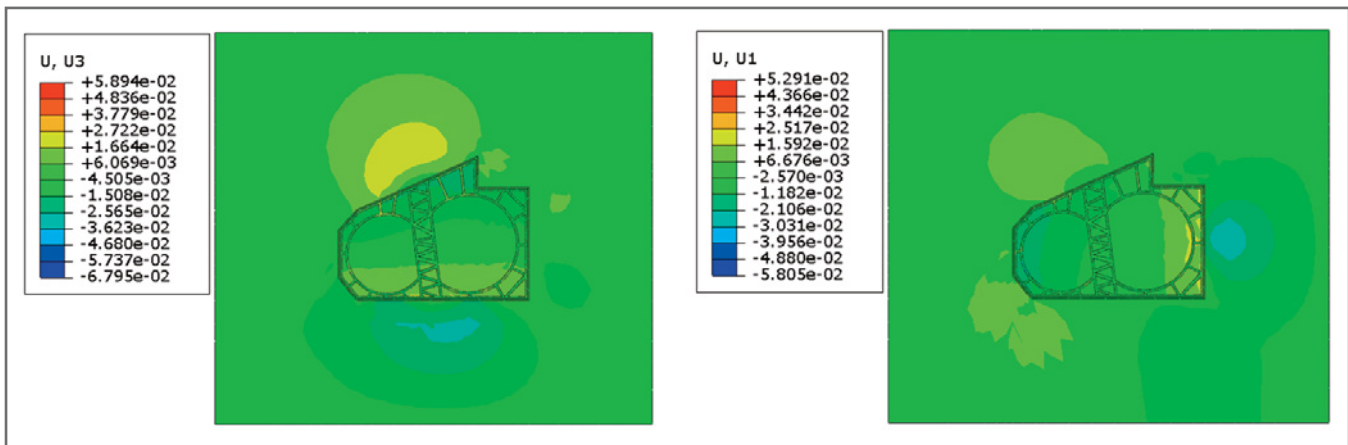


Рис. 4. Горизонтальные смещения поверхности грунта после откопки котлована

Грунт разделен на 30000 конечных элементов. Для него принята упруго-пластическая модель, а для «стены в грунте» и системы ее крепления – идеальная линейно-упругая модель. Параметры конечноэлементного моделирования приведены в таблице.

Результаты моделирования ►

Для ускорения параллельных вычислений использовался 12-ядерный процессор, на них ушло около 2 часов. Результаты приведены на рисунке 3. Котлован разделен на четыре яруса, их тол-

щина сверху вниз составляет 2, 4, 4 и 4 м. Ярусы системы крепления «стены в грунте» должны устанавливаться своевременно, чтобы предотвратить чрезмерные смещения.

Из рисунка 3 видно, что с увеличением глубины выемки осадки поверхности вмещающего котлован грунта постоянно увеличиваются, достигая 1,65 см на втором этапе выемки до суммарной глубины 6 м. Далее их поле меняется, но максимальные осадки поверхности не увеличиваются. Это указывает на то, что поддерживаю-

щий эффект системы крепления очевиден.

Рисунок 4 отражает горизонтальные смещения поверхности грунта после откопки котлована. Максимальное горизонтальное смещение за пределами котлована составляет 3–5 см, при этом грунт склонен к горизонтальным смещениям за более длинными в плане участками «стены в грунте».

На рисунке 5 показаны горизонтальные смещения «стены в грунте» после откопки котлована. Она преимущественно деформируется посередине, причем

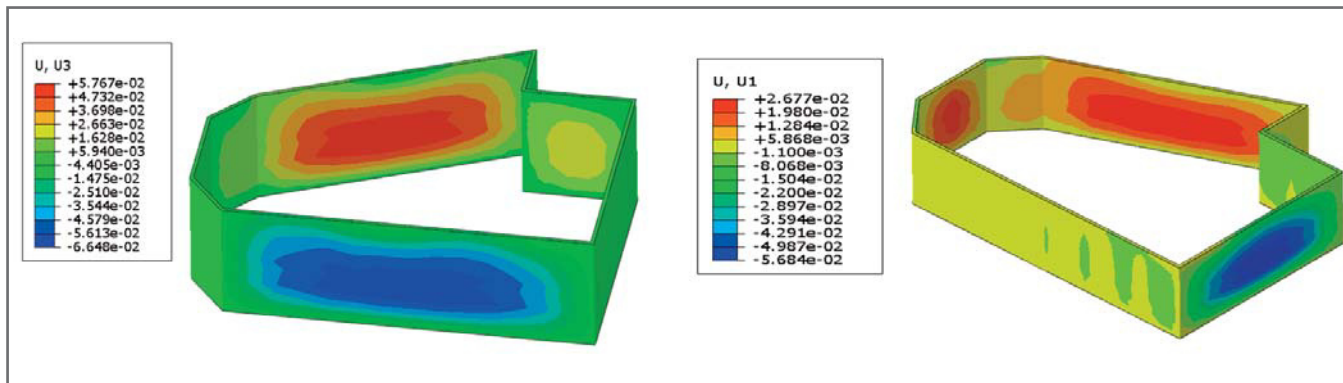


Рис. 5. Горизонтальные деформации «стены в грунте» после откопки котлована

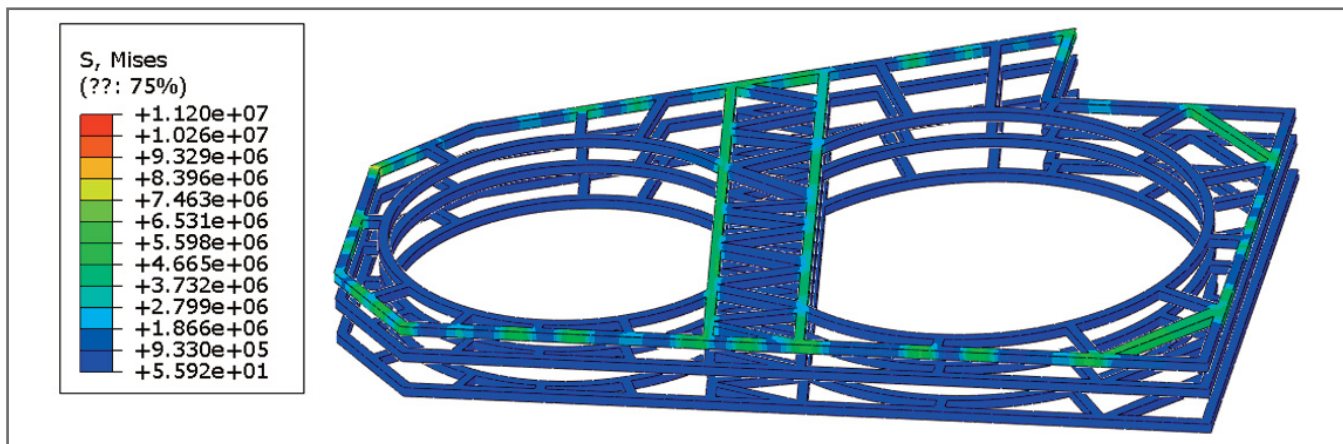


Рис. 6. Напряжения в системе крепления «стены в грунте» после откопки котлована

величины деформаций больше на более длинных в плане сторонах стенки.

На рисунке 6 отражено напряженное состояние балок системы крепления подпорной стенки. Обвязочные балки верхнего яруса напряжены сильно, а в нижних ярусах – меньше. А из рисунка 5 видно, что верхний ярус имеет наилучший удерживающий эффект. Это говорит о том, что верхний ярус крепления подпорной стены оказывает наибольшее воздействие на ее устойчивость.

Во время реального строительства рассмотренного котлована следует усилить мониторинг напряжений верхнего яруса системы крепления и контроль горизонтальных деформаций средних частей более длинных в плане сторон «стены в грунте», чтобы предотвратить чрезмерные смещения.

Заключение

Было проведено конечноэлементное моделирование этапов строительства котлована при «островной» выемке грунта с «двухкольцевой» системой крепления подпорной стенки из четырех (в основном) обвязочных поясов из обвязочных балок, распорок и раскосов.

Результаты моделирования показали, что осадки поверхности грунта вокруг котлована к концу выемки грунта составляют не более 1,65 см. При глубине выемки более 6 м максимальные осадки поверхности уже не увеличиваются. Максимальные горизонтальные смещения «стены в грунте» приходятся на середину ее самой длинной в стороны. Напряжения в балочной системе крепления распределены неравномерно. Ее верхний ярус подвержен наибольшим нагрузкам и оказывает наилучшее поддерживающее действие.

Чтобы предотвратить чрезмерные деформации, особое внимание надо уделить мониторингу напряжений верхнего яруса системы крепления подпорной стенки и контролю деформаций средней части самой длинной в плане стороны «стены в грунте».

Результаты анализа, представленные в данной статье, могут помочь безопасному и бесперебойному строительству рассмотренного котлована, а также реализации других похожих проектов.

Авторы выражают благодарность доктору Чжай Чао (Zhai Chao), который предоставил множество данных и изображений, Ю Чжи-Фа (Yu Zhi-fa), который помог напечатать рукопись, и профессора Ву Бан-Бяо (Wu Bang-biao) за полезное обсуждение.

Источник для перевода

(Source for the translation)

Yu Ch., Long J., Lu M. Finite element analysis of island excavation process of foundation pit // IOP Conference Series. Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 768. Proceedings of the 6th International Conference on Minerals Source, Geotechnology and Civil Engineering, 9–11 April 2021, Guangzhou, China. Article 012102. DOI:10.1088/1755-1315/768/1/012102. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/768/1/012102/pdf.

Список литературы, использованной автором переведенной статьи ►**(References used by the author of the translated article) ►**

1. Gu X.L. High-rise buildings foundation pit excavation and the deep foundation pit precipitation construction technology // Journal of Anhui Water Resources and Hydropower Vocational and Technical College. 2014. Vol. 14. № 2. P. 23–25, 32.
2. Fan L., Zhang A., Peng B., Li Y., Chi Z. Analysis of the deep foundation pit precipitation based on abaqus // DEStech Transactions on Engineering and Technology Research. 2018. February. DOI:10.12783/dtetr/iccere2017/18275. URL: researchgate.net/publication/323197527_Analysis_of_the_Deep_Foundation_Pit_Precipitation_Based_on_ABAQUS.
3. Lu Z., Guangcheng Z., Jiangpeng W.U. Factors influencing the ground surface deformation near foundation pit slope // Journal of Yangtze River Scientific Research Institute. 2014. Vol. 31. № 10. P. 151–155.
4. Haihe J., Yanlin Z. Numerical modeling of seepage-stress coupling of deep foundation pit excavation // Proceedings of the International Symposium on Multi-Field Coupling Theory of Rock and Soil Media and its Applications, Heilongjiang Science and Technology Institute, Harbin Province, China, 2010.
5. Yuan C., Hu Z., Zhu Z., Yuan Z., Li L. Numerical simulation of seepage and deformation in excavation of a deep foundation pit under water-rich fractured intrusive rock // Geofluids, 2021. Vol. 1. P. 1–10.
6. Gengshe Y. Jing Z. Finite element numerical simulation of deep foundation pit excavation supported by frozen soil wall with nonhomogeneous temperature distribution // Journal of Rock Mechanics and Engineering. 2003. Vol. 22. № 2. P. 316–320.
7. Zhou N., Vermeer P.A., Lou R., Tang Y., Jiang S. Numerical simulation of deep foundation pit dewatering and optimization of controlling land subsidence // Engineering Geology. 2010. Vol. 114. № 3-4. P. 251–260.
8. Ma F.H., Zheng Y., Yang F. Research on deformation prediction method of soft soil deep foundation pit // Journal of Coal Science and Engineering (China). 2008. Vol. 14. P. 637–639. URL: doi.org/10.1007/s12404-008-0430-5.

 Независимый электронный журнал
ГеоИнфо

**С 2022 года журнал «ГеоИнфо»
выходит в формате *PDF.
10 выпусков в год.**



WWW.GEOINFO.RU