

УДК 539.3

ТРЕХМЕРНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ОПОРЫ МОСТОВОЙ ПЕРЕПРАВЫ, РАСПОЛОЖЕННОЙ В МНОГОСЛОЙНОМ ВОДОНАСЫЩЕННОМ ГРУНТЕ

© 2011 г.

И.С. Балафендиева, Д.В. Бережной, А.В. Карамов

Казанский (Приволжский) федеральный университет

e_xo@mail.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Представлены методика и результаты расчета деформируемых конструкций, частично расположенных в грунте, с учетом их совместного деформирования и возможности достижения грунтом предельного состояния. Цель настоящего исследования – моделирование процесса взаимодействия сухого и водонасыщенного грунта с подземными деформируемыми конструкциями.

Ключевые слова: метод конечных элементов, пластическое деформирование грунта, многослойный водонасыщенный грунт.

Цель работы – исследование и проведение расчетов по определению несущей способности опоры моста с учетом ее взаимодействия с окружающим грунтовым массивом. Массив пород в зоне опоры имеет достаточно сложное структурно-тектоническое строение. Отмечается крупное тектоническое нарушение, которое унаследовала палеодолина реки. Проектируемая и существующая опора мостового перехода находится прямо на борту этого нарушения, осложненного многочисленными трещинами (бортового отпора, напластования, карстообразования). В основании этой опоры расположен ряд карстовых полостей, заполненных продуктами выщелачивания и суффозионного выноса из перекрывающих отложений.

Для защиты опоры от негативного воздействия активно развивающегося сульфатно-карбонатного карста и обеспечения эксплуатационной надежности мостового перехода возможно инъекционное укрепление карстующихся грунтов в основании опоры методом «геокомпозит» с тампонажем карстовых полостей цементным раствором. Можно сделать вывод, что площадка опоры находится в исключительно сложных инженерно-геологических условиях и требует проведения дополнительного анализа несущей способности опоры совместно с окружающим грунтовым массивом при учете возможных противокарстовых мероприятий. Цель данных исследований – решение вопроса о целесообразности проведения работ по укреплению грунтов в районе опоры.

Грунты в зоне опоры являются физически нелинейными средами и подчиняются закону Гука

в небольшом диапазоне прикладываемых нагрузок. Существуют многочисленные математические модели [1–4], позволяющие описать процесс их деформирования, которые различаются сложностью разрешающих уравнений. В настоящей работе используется модель, аналогичная модели идеально пластического тела, в соответствии с которой предполагается, что до предельного состояния справедлив закон Гука, а после его достижения среда начинает деформироваться без увеличения воспринимаемой нагрузки, что приводит к перераспределению напряжений во всем объеме. Построение вычислительного алгоритма основано на дискретизации расчетной области в рамках конечно-элементной методики [5–8]. Рассчитываемую опору и прилегающий к ней грунт можно представить как трехмерный массив, обладающий специфическими свойствами.

Анализируя результаты выполненных расчетов, можно сделать вывод, что основными опасными факторами, определяющими несущую способность опоры мостового перехода, являются наличие карстовых полостей, расположенных в грунтовом массиве под опорой, а также место посадки опоры на борту палеодолины реки.

Для защиты опоры от негативного воздействия активно развивающегося сульфатно-карбонатного карста и обеспечения эксплуатационной надежности мостового перехода возможно инъекционное укрепление карстующихся грунтов в основании опоры методом струйной цементации. Результаты выполненных расчетов показывают прочностную эффективность выбранного решения. Вместе с тем произведение закрепления в

рассматриваемых условиях грунтового массива в окрестности опоры не может гарантировать надежного результата. Остается большая степень неопределенности с точки зрения требуемых геометрией областей закрепления и конечной прочности закрепленных грунтов.

Результаты расчетов при моделировании различных вариантов нагружения для случая закрепленных грунтов в местах наличия карстовых полостей показали, что в большинстве расчетных случаев разрушение происходит в области грунтов борта палеодолины реки, расположенных вблизи опоры.

На основании описанных факторов можно сделать вывод о необходимости переноса опоры мостового перехода через реку в место, расположенное вдали от борта палеодолины реки, где отсутствуют карстовые полости под опорой.

Методика расчета позволяет эффективно решать трехмерные задачи пластического деформирования грунтовых массивов, взаимодействующих с расположенными в них конструкциями, в условиях сложного силового нагружения. Разработанная методика и созданное программное обеспечение позволяют рассчитывать широкий класс фундаментов и строительных сооружений из стали и бетона с учетом их взаимодействия с деформируемым грунтовым основанием в физи-

чески нелинейной постановке.

Список литературы

1. Зарецкий Ю.К. Лекции по современной механике грунтов. Ростов: РГУ, 1989. 607 с.
2. Николаевский В.Н. Геомеханика и флюидодинамика. М.: Недра, 1996. 448 с.
3. Николаевский В.Н. Механика пористых и трещиноватых сред. М.: Недра, 1984. 232 с.
4. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. М.: Недра, 1987. 221 с.
4. Голованов А.И., Бережной Д.В. Метод конечных элементов в механике деформируемых твердых тел. Казань: Изд-во «Дас», 2001. 300 с.
5. Секаева Л.Р., Бережной Д.В., Коноплев Ю.Г. Исследование взаимодействия деформируемых конструкций с сухими и водонасыщенными грунтами // Математическое моделирование в механике сплошных сред. Методы граничных и конечных элементов: Тр. XX Междунар. конф. С.-Петербург. 2001. Т. III. С. 156–159.
6. Бережной Д.В., Голованов А.И., Паймушин В.Н., Пискунов А.А. // Проблемы прочности и пластичности. Н.Новгород. 2001. Вып. 63. С. 170–179.
7. Бережной Д.В. и др. Исследование напряженно-деформированного и предельного состояния сухих и водонасыщенных грунтов // Математическое моделирование в механике сплошных сред. Методы граничных и конечных элементов: Тр. XIX Междунар. конф. С.-Петербург. 2001. Т. 2. С. 82–86.

THREE-DIMENSIONAL DEFORMATION OF A BRIDGE CROSSING CONCRETE POLE LOCATED IN A MULTILAYER WATER-SATURATED SOIL

I.S. Balafendieva, D.V. Bereznoi, A.V. Karamov

The paper presents a methodology and the results of calculation of deformed structures partly submerged in the soil, accounting for their combined deformation and the ability of the soil to reach its limiting state. The purpose of present paper is to model the process of interaction of dry and water-saturated soils with underground deformable structures.

Keywords: finite element method, plastic deformation of ground, multilayer water-saturated ground.