



УДК 624.131.22

А.Н. Драновский

О ПРОЧНОСТИ И НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ ПРИ ОГРАНИЧЕННЫХ ОБЪЕМНЫХ ДЕФОРМАЦИЯХ

Несущая способность грунтовых оснований, определенная экспериментально и методами теории предельного равновесия, нередко существенно различается. В статье рассматриваются возможные причины этих расхождений.

Существующие теории прочности грунтов основаны на положении о том, что разрушение, как процесс нестабилизированного накопления остаточных деформаций, наступает при превышении предела прочности. Естественно, что неразрушимость рассматривается как состояние, которое характеризуется стабилизацией деформаций при допредельных напряженных состояниях [1]. На этих положениях основана теория предельного равновесия грунтов, которая утверждает, что прочность и несущая способность эквивалентны и не зависят ни от деформационных свойств грунтов, ни от деформативности грунтового массива при конкретных граничных условиях.

Основополагающие положения теорий прочности и предельного равновесия верны, но только в том случае, когда нагружение грунтов производится в режиме контролируемых напряжений, при котором деформации протекают свободно и прочность не зависит от траекторий нагружения.

В действительности грунт в массиве работает в условиях ограниченных объемных деформаций, как бы в "обойме", имеющей характеристику жесткости, зависящую от деформационных свойств грунтов, граничных условий задачи и условий дренирования. Полное, или, точнее, практически полное ограничение объемных деформаций, соответствующее чисто девиаторному деформированию, реализуется в водонасыщенном массиве, когда масштаб времени нагружения исключает дренирование. В этом случае изменения порового давления, появляющегося вследствие скрыто протекающих явлений дилатансии или контракции, приводят к возникновению особых траекторий эффективных напряжений.

К. Терцаги впервые установил влияние порового давления на напряженное состояние скелета грунта, однако не учел особенностей возникающих траекторий эффективных напряжений и поэтому не отказался от традиционного подхода к оценке прочности и несущей способности грунтов в отсутствие дренирования.

Исследования прочности маловлажных песков [2] показали, что при ограничении объемных деформаций образцов обоймой определенной жесткости возникают траектории тотальных напряжений,

подобные траекториям эффективных напряжений при недренированных испытаниях водонасыщенных грунтов. Очевидно, что подобие этих траекторий обусловлено процессами дилатансии и контракции, протекающими при ограниченных объемных деформациях грунтов [рис.].

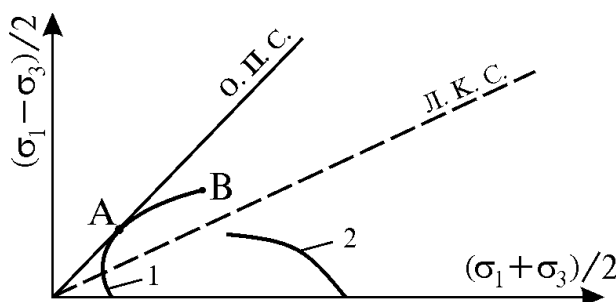


Рис. Траектории нагружения при ограниченных объемных деформациях:

1 – траектория тотальных либо эффективных напряжений переплотненного песка; 2 – траектория эффективных напряжений недоуплотненного песка при испытаниях без дренажа; О. П. С. – огибающая предельных состояний; Л. К. С. – линия критических состояний

Необходимо отметить, что в режиме контролируемых напряжений воспроизведение этих особых траекторий нагружения, показанных схематично на рисунке, невозможно. Их особенности состоят в том, что несущая способность исчерпывается не вследствие потери прочности, а из-за потери устойчивости, причем в зоне допредельных состояний; несущая способность переплотненных грунтов превышает достигнутую предельную прочность (1-й тип), а недоуплотненных – не достигает значения критической прочности (2-й тип).

Причина возникновения двух типов особых траекторий нагружения заключается в том, что при ограниченных объемных деформациях процессы дилатансии и контракции изменяют поведение и механизм разрушения грунтов по сравнению со свободным деформированием.

При свободном деформировании образцы песчаных грунтов в зависимости от их пористости по отношению к критической, соответствующей начальному среднему напряжению, разрушаются по-разному. Недоуплотненные – уплотняются, упрочняются и, переходя в состояние текучести при критической пористости, соответствующих конечному среднему давлению, накапливают пластические деформации сдвига с постоянной



скоростью. При этом процессы контракции и разрушения протекают пластически, охватывая весь объем образца. Переуплотненные грунты – разуплотняются, разупрочняются, разрушаются квази-хрупко при малых пластических деформациях и при локализации деформаций сдвига и дилатансии в узких полосах скольжения. После достижения предельной пиковой прочности накопление пластических деформаций сдвига происходит ускоренно; в запредельном состоянии прочность снижается до остаточной (критической).

При ограниченных объемных деформациях недоуплотненные водонасыщенные грунты “охрупчиваются” – теряют несущую способность при малых пластических деформациях. Переуплотненные маловлажные и водонасыщенные пески разрушаются пластически при больших деформациях без локализации сдвига; дилатансия охватывает весь объем грунта. В обоих случаях потеря несущей способности происходит вследствие неустойчивости.

Траектории нагружения переуплотненных грунтов сначала достигают огибающей предельной прочности для свободно деформируемых грунтов, а затем, вследствие дилатансионного упрочнения, продолжают в зоне допредельных состояний вплоть до потери устойчивости. Для песков предельной плотности несущая способность в точке В при невысоких начальных средних напряжениях может весьма существенно превышать достигнутое в точке А (см. рисунок) значение предельной прочности. Это превышение зависит от приращений нормальных напряжений вследствие стесненной дилатансии. Поскольку прочностные свойства грунтов после достижения предельной прочности снижаются, упрочнение на участке АВ обусловлено определенной интенсивностью приращений нормальных напряжений при сдвиге. В момент потери устойчивости в точке В прочностные характеристики грунта могут иметь любые значения от пиковых до остаточных, в зависимости от дилатансионных свойств грунта и жесткости обоймы. Поэтому нельзя, как это часто делается, при потере несущей способности образцов вследствие неустойчивости проводить через точку В предельную огибающую прочности.

Испытания без дренажа водонасыщенных песков представляют прямой интерес для практики в связи с разжижением больших массивов рыхлых песков и грунтообразных промышленных отходов, которое может привести к катастрофическим оползням.

Известно, что при испытаниях недоуплотненных песков возникают траектории нагружения 2-го типа,

когда пик несущей способности достигается в точке, лежащей вдали от линии критических состояний [3]. Ю. К. Зарецкий отмечает, что для рыхлых грунтов наблюдается зависимость прочности от траектории нагружения: при снижении среднего давления в процессе нагружения прочность падает [1].

При испытаниях недоуплотненных насыщенных песков без дренажа, то есть при постоянном объеме, исключается возможность уплотнения и упрочнения, которые происходят в условиях свободного деформирования. В результате контракции и роста порового давления резко снижаются эффективные напряжения. Так как исходная пористость больше начальной критической, соответствующей начальному среднему эффективному напряжению, но меньше конечной критической, соответствующей конечному среднему эффективному напряжению, происходит переход грунта в переуплотненное состояние. Поэтому грунт “охрупчивается” и теряет несущую способность вследствие неустойчивости, не достигнув прочности, соответствующей условиям свободного деформирования.

Главная особенность траекторий нагружения 1-го типа, имеющая важное практическое значение, состоит в том, что возникающее на участке АВ вследствие дилатансионного упрочнения пластическое деформирование происходит при напряжениях, соответствующих допредельным состояниям грунта. Именно поэтому теория предельного равновесия не пригодна для определения несущей способности оснований, нагружение которых приводит к возникновению дилатансионного упрочнения грунтов. В таких случаях для оценки состояния грунтов по несущей способности необходимо исследовать всю траекторию нагружения, что возможно выполнить лишь методами инкрементальной теории пластичности.

Литература

1. Зарецкий Ю.К. Лекции по современной механике грунтов. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1989. 608 с.
2. Драновский А. Н., Воробьев М. С. Определение параметров предела прочности разупрочняющихся грунтов при устойчивых траекториях нагружения. //Основания и фундаменты в сложных инженерно-геологических условиях: Межвуз. сб. Казань: КИСИ, 1983. С. 39–50.
3. Бишоп А.У. Параметры прочности при сдвиге ненарушенных и перемятых образцов грунта. – В сб.: Определяющие законы механики грунтов. М.: Мир, 1975. С. 7–75.