

Дополнительные возможности метода простого сдвига



Прибор многоплоскостного среза, в котором отдельные кольца обоймы кинематически связаны между собой, позволяет реализовать испытание методом простого сдвига – строгий с теоретической точки зрения вид нагружения. Это расширяет возможности прибора: помимо параметров сопротивления сдвигу в нем можно определять и параметры сдвиговой жесткости. Новая статья из цикла о лабораторных методах испытаний дисперсных грунтов рассказывает о возможностях и преимуществах данного вида испытаний.

Мирный Анатолий Юрьевич

Старший научный сотрудник Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, к.т.н.

Идрисов Илья Хамитович

Генеральный директор ООО НПП «Геотек», к.т.н.

Возможности применения приборов многоплоскостного среза и простого сдвига не ограничиваются привычными параметрами прочности. В зависимости от конкретной реализации данное оборудование позволяет проводить испытания в недренированном режиме, определять угол дилатансии и модуль сдвига, выполнять динамическое нагружение.

Если между отдельными сдвигаемыми сечениями имеется жесткая кинематическая связь, то в ходе опыта в образце будет формироваться однородное напряженно-деформированное состояние. Реализация «строгой» конструкции прибора простого сдвига, в которой возможно определение данных параметров, определяется возможностями производителя. В Кэмбриджском университете К. Roscoe использовал прибор для образцов квадратного сечения с наклоняемыми боковыми стенками, но его конструкция не позволяла проводить недренированные испытания. Так же хорошо известна конструкция, разработанная в Норвежском геотехническом институте (NGI) L. Vjerrum и A. Landva (1966). В качестве внешних стенок авторами использовалась эластичная мембрана, армированная металлической спиралью. Таким образом, каждый отдельный виток выполнял функцию одного из колец в стопке, а спираль обеспечивала кинематическую связь между отдельными витками. У этой конструкции есть недостаток, заключающийся в недостаточной жесткости отдельных витков спирали и искажении формы при существенных сдвигах.

Технически более сложный, но и более совершенный подход используется ООО НПП «Геотек». В их конструкции отдельные кольца в приборе многоплоскостного среза соединяются между собой посредством вертикальных скользящих направляющих, которые наклоняются в ходе опыта по мере развития сдвига. Данная схема позволяет реализовать однородное НДС на протяжении всего опыта даже при значительных смещениях. Это означает, что каждая точка образца будет испытывать сдвиг на одну и ту же величину, следовательно, появляется возможность определения сдвиговой жесткости образца, ведь известна его высота и угол формоизменения. Модуль сдвига G при этом будет определяться по формуле:

$$G = \frac{\tau}{\gamma_{yz}}$$

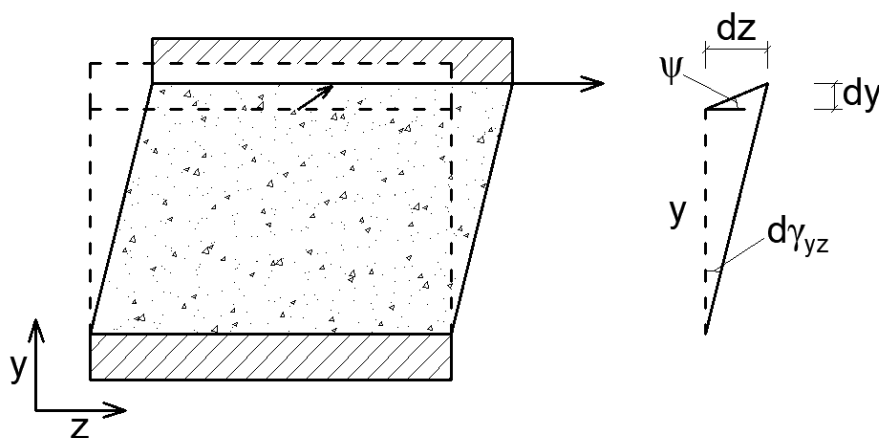


Рис. 1. Схема к определению модуля сдвига G и угла дилатансии ψ при простом сдвиге

Если вертикальное давление на штамп в ходе опыта поддерживается постоянным (как это обычно происходит при испытаниях по схеме ГОСТ 12248), то в образце будет наблюдаться дилатансия или контракция – вертикальное перемещение штампа. В отличие от прибора одноплоскостного среза, здесь величина этого перемещения может быть довольно значительной, ведь дилатансии подвержен каждый слой образца, а не одно сечение на поверхности среза. Следовательно, величина вертикального перемещения может быть легко измерена датчиками стандартной точности. Угол дилатансии при этом

определяется на основании определения – как отношение приращений объемной (вертикальной) и горизонтальной деформаций:

$$\operatorname{tg} \psi \approx \sin \psi = \frac{\Delta \varepsilon_v}{\Delta \gamma} = \frac{\Delta y \cdot y}{y \cdot \Delta z} = \frac{\Delta y}{\Delta z}.$$

Большой практический интерес представляет режим испытаний при постоянном объеме, к сожалению, не закрепленный в нормативных документах нашей страны (но широко используемый за рубежом). Как следует из названия, данное испытание проводится с изменением граничных условий: вместо постоянного давления на верхний штамп в ходе сдвига поддерживается постоянная высота (объем) образца. В этом случае фактическое вертикальное напряжение будет меняться, при уплотнении образца снижаться, а при разуплотнении увеличиваться. Получаемое при этом сопротивление сдвигу более соответствует условиям работы грунта в массиве, так как в основании свободное объемное расширение при дилатансии ограничено.

В ASTM D 8296-19 предлагается аналогичная схема испытания при динамическом (циклическом) нагружении. В этом случае реализуется недренированный режим испытания, то есть используется полностью водонасыщенный образец, и изменения полного напряжения выражаются в увеличении/уменьшении порового давления. Испытания в таком режиме полностью заменяют значительно более трудоемкие и дорогостоящие испытания в динамических стабилометрах. Тем не менее, в тексте ASTM указано, что при отсутствии кинематической связи между отдельными сечениями данные испытания не могут полностью заменить трехосное сжатие вследствие недостаточно однородного НДС.

Роль данных испытаний в развитии механики грунтов трудно переоценить – в 50-х годах XX века именно они стали основой теории критического состояния, широко применяемой зарубежными специалистами при описании поведения глинистых грунтов. В нашей стране метод простого сдвига остается практически неизвестным, и единичные конструкции реализовывались лишь в научно-исследовательских организациях. Но следует отметить, что в настоящее время ведется разработка нормативных документов, регламентирующих проведение испытаний в приборах простого сдвига, как в статическом (разработчик - НИИОСП им. Н.М. Герсеванова), так и в динамическом (разработчик - МГУ им. М.В. Ломоносова) режимах. Таким образом, в самое ближайшее время данные приборы будут востребованы на рынке лабораторного оборудования как более дешевая и компактная альтернатива приборам трехосного сжатия.

Оборудование для испытаний на сдвиг в составе комплекса «АСИС Про» производства ООО НПП «Геотек» обеспечивает испытания дисперсных грунтов методом простого сдвига и многоплоскостного среза, для определения таких параметров как угол дилатансии и модуль сдвига. Так же в составе комплекса «АСИС Спец» предлагается установка для испытаний крупнообломочных грунтов, реализующая испытания на простой сдвиг. Все оборудование обеспечивает автоматизированный режим испытания с возможностью статического и кинематического приложения нагрузки.

Более подробную техническую информацию можно получить у специалистов компании или на сайте www.npp-geotek.ru.

Список литературы

Болдырев Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов с комментариями к ГОСТ 12248-2010. М.: Прондо, 2014.

ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.

ASTM D6528 - 17. Standard Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Fine Grain Soils.

ASTM D8296-19. Standard Test Method for Consolidated Undrained Cyclic Direct Simple Shear Test under Constant Volume with Load Control or Displacement Control.

Bjerrum, L., Landva, A. Direct simple-shear tests on a Norwegian quick clay, *Géotechnique*, 16(1), 1966.