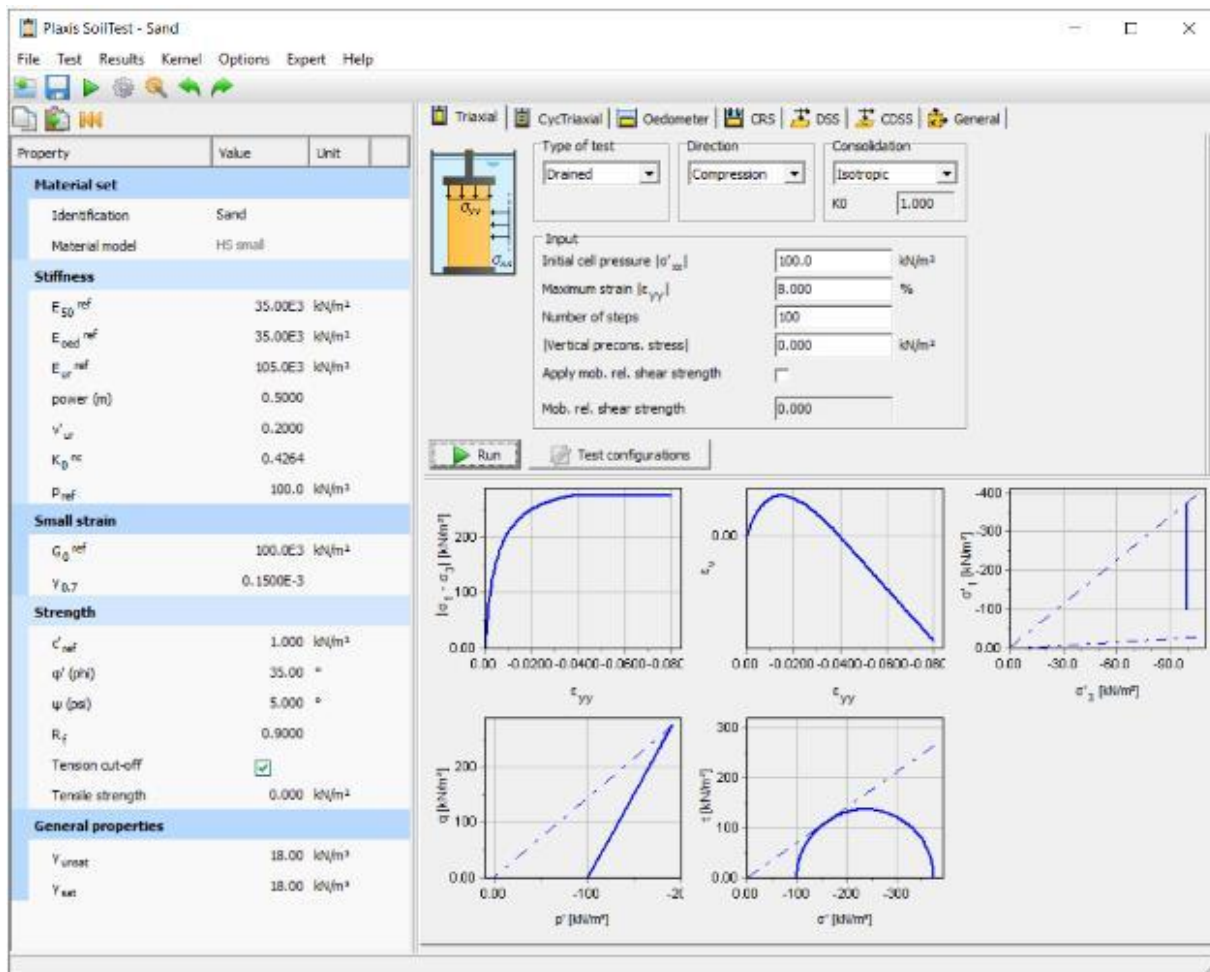


Работа в PLAXIS. О преимуществах моделей HS, HSS и виртуальных испытаний грунтов



Продолжаем публиковать переводы серии небольших статей известнейшего ученого Рональда Бринкгреве, опубликованных в начале 2021 года в блоге Infrastructure Insights на сайте VIRTUOSITY, A BENTLEY COMPANY (дочерней компании BENTLEY SYSTEMS – мирового лидера в области разработки и внедрения программного обеспечения для проектирования, строительства и эксплуатации инфраструктуры). Сегодня предлагаем вниманию читателей адаптированный перевод статьи «Модель упрочняющегося грунта» [5], которая появилась на указанном сайте 24 февраля 2021 года. Р. Бринкгреве является одним из разработчиков программного комплекса PLAXIS, доцентом Делфтского технологического университета и руководителем отдела научных исследований и новых разработок Экспертно-консультационного центра по геотехнике компании PLAXIS bv (Нидерланды). Его научные интересы включают прежде всего комплексные геомеханические модели грунта и численные методы исследований грунтовых оснований и их взаимодействий с инженерными сооружениями [3].

Перевод подготовлен при поддержке компании «НИИ-Информатика» – партнера журнала «ГеоИнфо».



БРИНКГРЕВЕ РОНАЛЬД (BRINKGREVE RONALD B.J.)

Доцент Делфтского технологического университета, руководитель отдела научных исследований и новых разработок Экспертно-консультационного центра по геотехнике компании PLAXIS bv, г. Делфт, Нидерланды
R.B.J.Brinkgreve@tudelft.nl

В моей предыдущей небольшой статье в этом блоге [1, 4] я рассказывал о важности использования современных усовершенствованных моделей грунта для геотехнических расчетов методом конечных элементов. Модель упрочняющегося грунта (рис. 1) отражает несколько особенностей реального поведения грунтов – как песчаных, так и глинистых. В этой заметке [5] я дополнительно разъясню некоторые практические детали, связанные с моделью упрочняющегося грунта, чтобы развеять ваши опасения и побудить вас использовать эту модель для геотехнических расчетов.

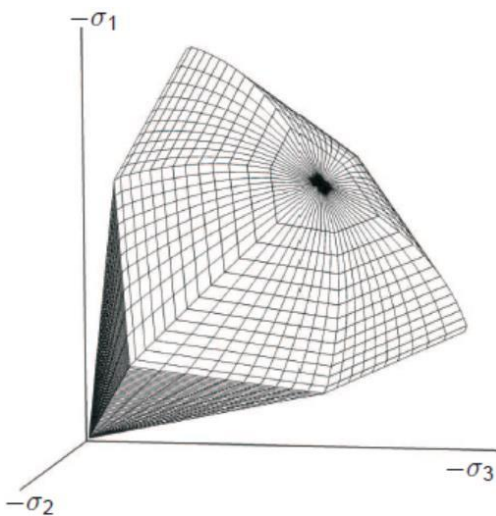


Рис. 1. Модель упрочняющегося грунта (HS): поверхность текучести в пространстве главных напряжений

Особенности поведения грунта

Как упоминалось в моей предыдущей статье [1, 4], в простых моделях отсутствуют некоторые важные особенности поведения грунтов. Модель упрочняющегося грунта (HS) [7] или, что еще лучше, модель упрочняющегося грунта при малых деформациях (HSsmall, HSS) [2] учитывает следующие особенности поведения грунта, которые важны для многих практических приложений:

- зависимость жесткости и прочности от напряжения (увеличение модуля с глубиной. – *Ред.*);
- зависимость жесткости от деформации (уменьшение модуля при девиаторном нагружении. – *Ред.*);

- «память» грунта о предварительном нагружении (учет природного состояния, в том числе переуплотнения. – *Ред.*);
- различие между жесткостью при первичном нагружении и при разгрузке или вторичном нагружении;
- реалистичное нелинейное поведение вместо билинейной зависимости «напряжение – деформация»;
- более точное развитие порового давления при нагружении в недренированных условиях (и корректное недренированное сопротивление сдвигу. – *Ред.*).

В отличие от жесткости других инженерных материалов жесткость грунта не может быть просто определена только модулем Юнга (E). Различные направления приложения нагрузок (сжатие, сдвиг, разгрузка) вызовут различные реакции в отношении жесткости. Поэтому модель упрочняющегося грунта учитывает разные параметры жесткости для разных направлений нагружения. Их можно получить по результатам различных лабораторных испытаний образцов грунта.

«Нужно ли мне проводить все эти испытания, чтобы иметь возможность использовать модель упрочняющегося грунта?»

В идеале – да, но не обязательно. Жесткость также можно определить с помощью корреляций на основе данных полевых испытаний (статического или динамического зондирования, то есть СРТ или SPT соответственно). И существуют типичные соотношения между различными параметрами жесткости для разных типов грунтов, поэтому, если вы определили один параметр жесткости, вы, как правило, можете получить хорошие оценки других. (Следует отметить, что речь здесь идет о региональных корреляционных зависимостях, которые за рубежом весьма развиты. – *Ред.*)

Параметры модели

Предполагается, что геомеханическая модель вместе с набором ее параметров является репрезентативной для конкретного грунта. Для модели упрочняющегося грунта при малых деформациях это, вероятно, так и есть. Сама модель «позаботится» о зависимости жесткости и прочности от напряжения и деформации без изменений параметров. Вы можете создать базу данных по наборам параметров для разных грунтов независимо от условий нагружения (что не имеет смысла при использовании простых моделей, таких как линейно-упругая идеально-пластическая модель Мора – Кулона, потому что для них изменение условий нагружения требует других значений параметров).

В 2010 году мы опубликовали статью [6], в которой привели корреляции, позволяющие в первом приближении оценить все параметры модели HSS для песчаных грунтов на основе только относительной плотности. Это может быть очень полезным на ранней стадии проекта, когда доступны лишь ограниченные данные о грунте.

Такой подход обычно дает более точные результаты, чем использование простой модели, основанной на тех же ограниченных данных. Следовательно, «опасения» относительно модели упрочняющегося грунта и ее многочисленных параметров, которые необходимо определить, просто неоправданны (выделено редактором).

Инструменты для испытаний грунта

После того как вы определили свой набор параметров для модели HS (или HSS), вы можете провести испытания своего «цифрового грунта» в программе (виртуальной

лаборатории) SoilTest, встроенной в программный комплекс PLAXIS. Это очень удобный инструмент, с помощью которого вы можете быстро проверить поведение модели в условиях нагружения, что будет аналогично настоящим лабораторным испытаниям грунта. Если у вас есть данные реальных лабораторных испытаний, вы можете выполнить дополнительную калибровку и валидацию параметров вашей модели. Доступен даже инструмент оптимизации параметров.

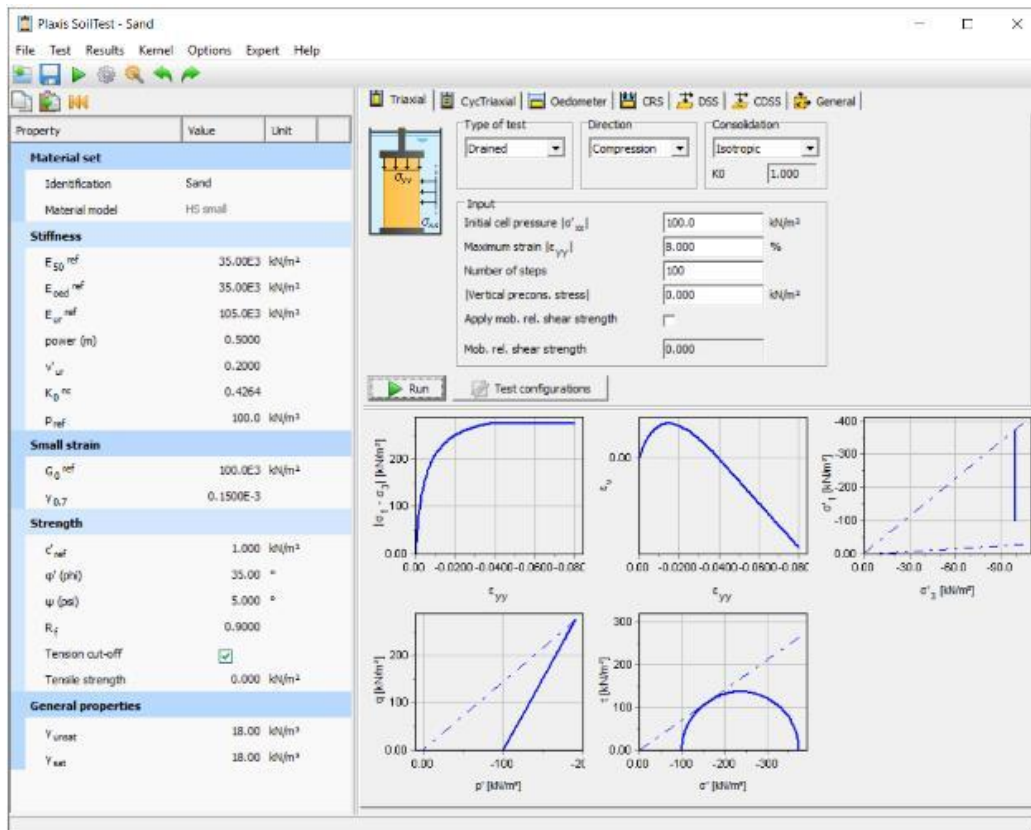


Рис. 2. Виртуальные трехосные испытания в программе PLAXIS SoilTest с использованием модели упрочняющегося грунта при малых деформациях

Помимо калибровки параметров модели программа SoilTest может послужить и очень хорошим обучающим инструментом. Она может помочь студентам и молодым инженерам понять различные особенности поведения грунта и может показать возможности и ограничения выбранной вами модели грунта. Использование этого инструмента действительно поможет вам по достоинству оценить модели HS и HSS за их достоверное представление реального поведения грунта. С другой стороны, он также может предупредить вас об ограничениях модели Мора – Кулона, поскольку она ясно демонстрирует линейное или билинейное поведение грунта при различных условиях нагружения.

Вы убедились?

Надеюсь, после прочтения этой заметки вы убедитесь в том, что модели грунта HS и HSS являются более хорошими альтернативами при решении ваших практических геотехнических задач. Опасения по поводу определения параметров этих моделей на основе ограниченных данных по грунту излишни. Мы ранее предоставили простые корреляции для песчаных и глинистых грунтов [6]. Анализ методом конечных элементов с применением

вышеназванных моделей является более точным и достоверным, чем при использовании какой-либо простой модели. Мы с нетерпением ждем возможности приветствовать вас в качестве новых членов растущей семьи пользователей модели HSS по всему миру.

Список литературы

1. О важности правильного выбора модели грунта в программе PLAXIS // ГеоИнфо. 22.03.2021. URL: geoinfo.ru/product/brinkgreve-ronald/o-vazhnosti-pravilnogo-vybora-modeli-grunta-v-programme-plaxis-44343.shtml.
2. Benz T. Small-strain stiffness of soils and its numerical consequences: PhD thesis. Geotechnical Institute, University of Stuttgart, 2007.
3. Brinkgreve R. Profile // TUDelft. The last accessed date: 07.04.2021. URL: tudelft.nl/en/ceg/about-faculty/departments/geoscience-engineering/sections/geo-engineering/staff/academic-staff/brinkgreve-r.
4. Brinkgreve R.B.J. On the importance of an appropriate soil model // VIRTUOSITY, A BENTLEY COMPANY. Blog: Infrastructure Insights. 18.02.2021. URL: blog.virtuosity.com/on-the-importance-of-an-appropriate-soil-model.
5. Brinkgreve R.B.J. The Hardening Soil model // VIRTUOSITY, A BENTLEY COMPANY. Blog: Infrastructure Insights. 24.02.2021. URL: blog.virtuosity.com/the-hardening-soil-model.
6. Brinkgreve R.B.J., Engin E., Engin H.K. Validation of empirical formulas to derive model parameter for sands // NUMGE 2010 (ed. by Benz & Nordal). Leiden: CRC press, 2010. P. 137–142.
7. Schanz T., Vermeer P.A., Bonnier P.G. The Hardening Soil model: formulation and verification // Beyond 2000 in Computational Geotechnics (ed. by Brinkgreve). Rotterdam: Balkema, 1999. 281–296.