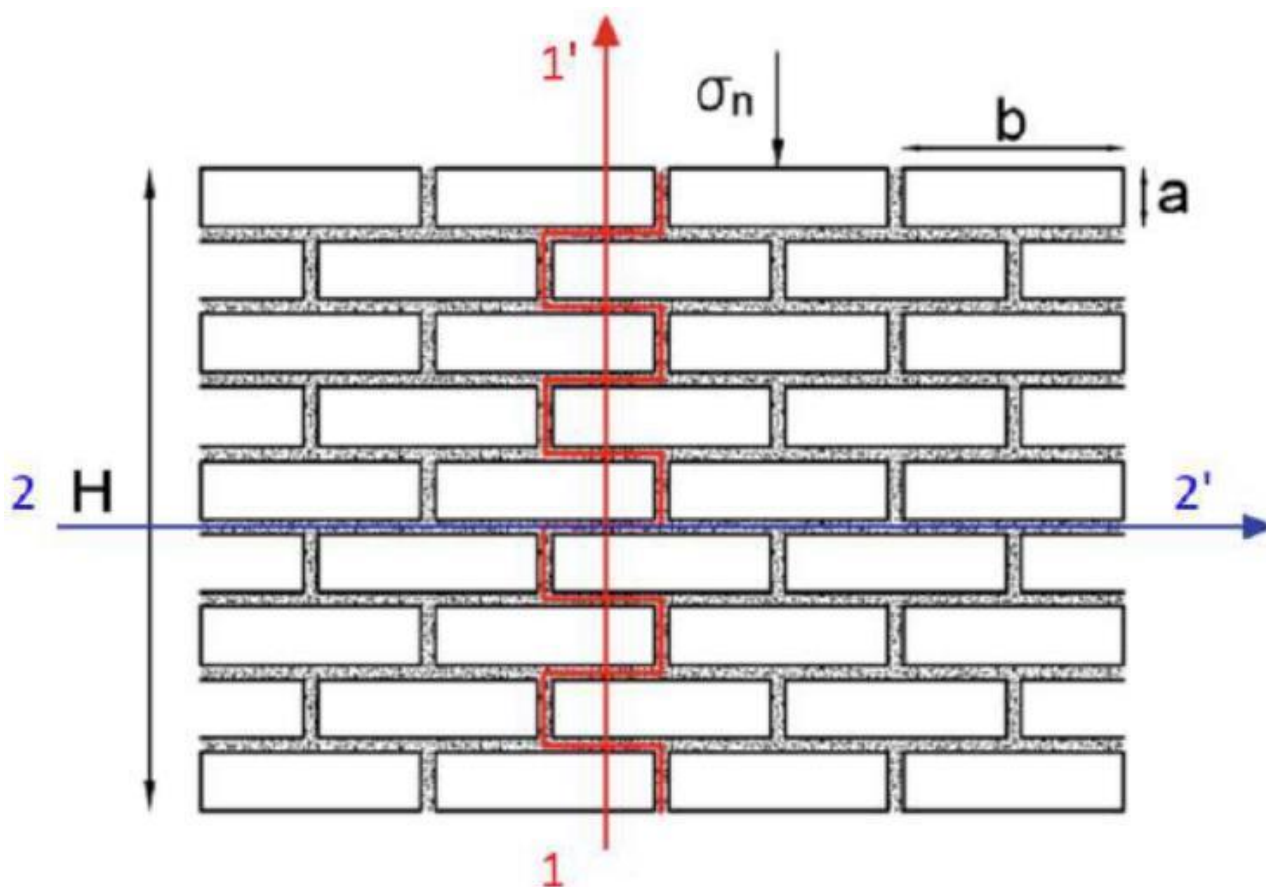


Работа в PLAXIS. Особые материалы



Продолжаем публиковать переводы серии статей известного ученого Рональда Бринкгреве, которые вышли 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 «Особые материалы» [11] – предположительно последней в этой серии. В ней рассказывается о возможности моделирования в программном комплексе PLAXIS поведения неармированного бетона и каменной или кирпичной кладки, которые применяются в том числе и в геотехническом строительстве.

Рональд 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 [6].

Отметим, что в журнале «Геоинфо» уже вышли пять переводов [1–5] статей этой серии [8–10, 12, 13], а публикации по ссылкам [6, 14, 15] в списке литературы использовал сам Бринкгреве при подготовке представленной работы [11].

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

Введение

В своих предыдущих статьях в этом блоге я обсуждал различные комплексные геомеханические модели дисперсных и скальных грунтов. Важно использовать усовершенствованную модель, которая включает все необходимые характеристики поведения грунта с учетом его типа и условий, вытекающих из целей моделирования. Соответствующие параметры модели в идеале должны определяться на основе достаточных данных инженерных изысканий. Программный комплекс PLAXIS предоставляет удобные средства, помогающие пользователям определять значения нужных параметров.

Использование таких программ в геотехнике часто связано с сооружениями и другими объектами, которые взаимодействуют с окружающим грунтом. Хотя поведение грунта обычно является более критичным и сложным, чем поведение заглубленных в него конструкций, важно, чтобы последние моделировались с той же точностью, что и грунт. Помимо специальных структурных элементов и интерфейсов для взаимодействий «грунт – сооружение» PLAXIS включает особые комплексные механические модели, использующие стандартные объемные элементы для моделирования поведения объемных конструкций из строительных материалов. И в этой статье я собираюсь рассказать об основных моделях для бетона и каменной или кирпичной кладки.

Модель для бетона

Бетон – хорошо известный материал в гражданском и геотехническом строительстве. Фундаменты, стены, подземные этажи и обделка тоннелей в основном бывают бетонными. Бетон намного жестче и прочнее грунта, поэтому во многих прикладных геотехнических программах его можно рассматривать как линейно-упругий материал. Однако для оптимизации проектирования (неармированных) бетонных сооружений, заглубленных в грунт, поведение бетона надо моделировать как нелинейное и зависящее от времени. Комплексная механическая модель для бетона (Concrete model) включает ряд характеристик его поведения, которые не входят в линейно-упругую модель:

- жесткость в пределах упругих деформаций, позволяющая залитому бетону быстро затвердевать;
- прочность этого материала также позволяет ему быстро затвердевать;

- критерий деформационного упрочнения/разупрочнения и разрушения по Мору – Кулону при сжатии и при сдвиге;
- критерий разрушения Рэнкина и деформационное разупрочнение при растяжении;
- регулировка механизма разупрочнения для уменьшения зависимости результатов от сетки конечных элементов;
- зависящая от времени вязкоупругая ползучесть в долгосрочной перспективе;
- усадка, не зависящая от напряжения.

Использование модели Concrete в PLAXIS приводит к более реалистичному распределению напряжений в толстых (неармированных) бетонных полах, стенах или облицовках тоннелей. Пиковые напряжения в краевых и угловых зонах здесь обычно ниже из-за пластического деформирования, чем при использовании линейно-упругой модели. Если в вашей бетонной конструкции не допускаются высокие пиковые напряжения, вы можете воспользоваться моделью Concrete, чтобы получить более реалистичное распределение напряжений (эта модель первоначально была предназначена для моделирования поведения обделки тоннелей из торкрет-бетона [15], но может быть использована и для элементов усиления грунтов (jet grouting), а также для бетонных конструкций (балок). – *Ред.*).

Модель для каменной или кирпичной кладки

Метод строительства из кирпичей или каменных блоков, укладываемых по регулярной схеме и соединяемых цементирующим раствором, является очень старым. Еще во времена Римской империи многие здания, мосты и акведуки были построены из подобной кладки; причем некоторые из них (даже возрастом 2 000 лет) сохранились до сих пор.

Каменная или кирпичная кладка помимо мостов и акведуков использовалась в геотехническом и гидротехническом строительстве для создания стенок набережных и причалов, а также подпорных конструкций для удержания грунта. Хотя большинство таких конструкций в настоящее время строится из бетона, оценка устойчивости и восстановление существующих сооружений из каменной или кирпичной кладки могут потребовать расчетов методом конечных элементов, в которых кладка моделируется точно. Еще одно применение подобных моделей – динамическая имитация землетрясений для анализа их воздействий на здания из каменной или кирпичной кладки.

В программном комплексе **PLAXIS** имеется пользовательская модель для имитации поведения сооружений из каменной или кирпичной кладки (Masonry model). Она была разработана в сотрудничестве с Римским университетом Ла Сапиенца [6, 14] и включает анизотропную прочность с заданными направлениями разрушения на основе типичного способа кладки и структуры кирпичей или каменных блоков. Модель Masonry основана на модели для скальных пород (**Jointed Rock model – см. [10]**). На рисунке показаны характерные механизмы разрушения вдоль вертикальных (1-1') и горизонтальных (2-2') швов, которые учитываются в модели. Параметры прочности на сдвиг по Кулону и прочности на растяжение в различных направлениях разрушения зависят от механических свойств кирпича или камня и цементирующего раствора, а также от геометрических параметров строительного блока a и b .

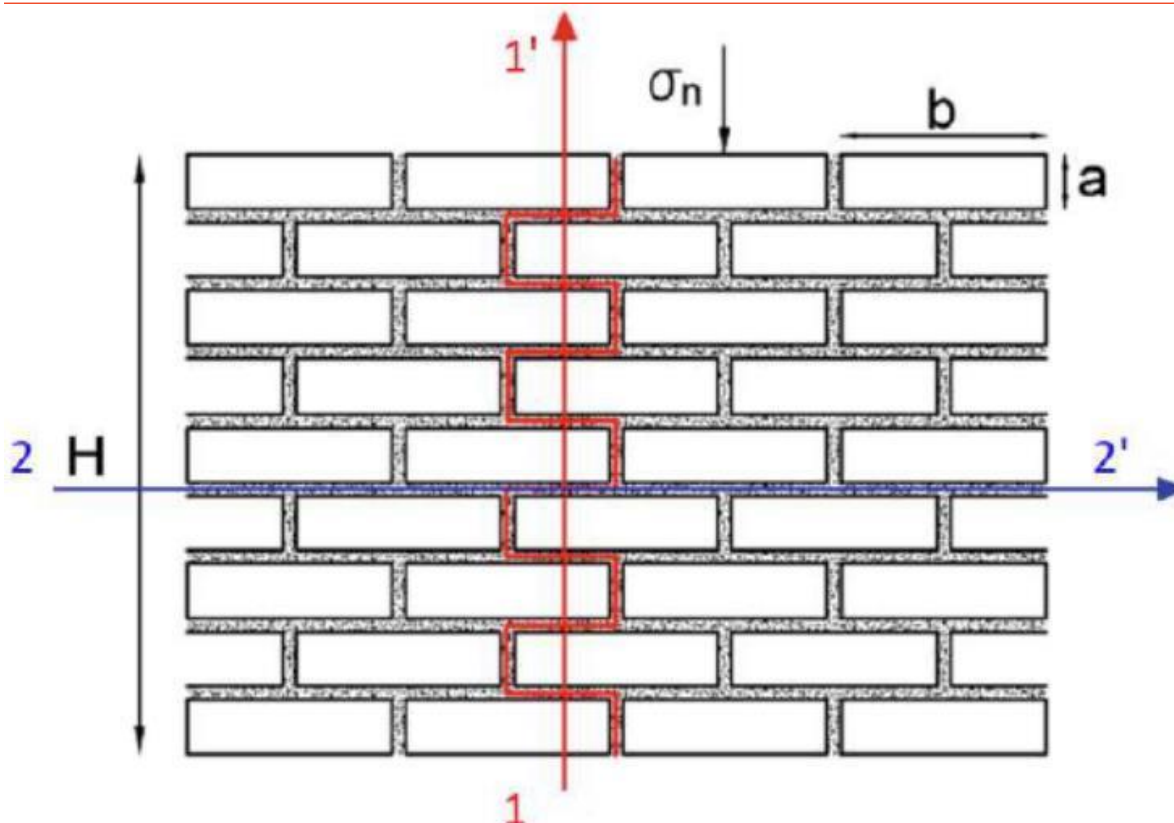


Рис. Характерные механизмы разрушения конструкции из каменной или кирпичной кладки

Моделирование поведения строительных конструкций как часть вашего геотехнического анализа

Хотя программный комплекс **PLAXIS** не предназначен для проектирования строительных конструкций, он включает специальные структурные элементы и комплексные механические модели для моделирования объектов строительства и их взаимодействия с окружающим грунтом. Эти модели позволяют точно рассчитать напряжения, усилия, деформации и механизмы поведения конструкций в рамках вашего геотехнического анализа. В этой статье обсуждались следующие модели:

- Concrete model – нелинейная и зависящая от времени комплексная механическая модель для имитации поведения (неармированных) бетонных конструкций, заглубленных в грунт;
- Masonry model – линейно-упругая идеально-пластическая модель с преобладающими направлениями анизотропии, соответствующими характерным механизмам разрушения, наблюдаемым в конструкциях из каменной или кирпичной кладки.

Если в вашем проекте используются такие строительные материалы, не сомневайтесь – используйте указанные выше модели и откройте для себя возможности моделирования строительных конструкций в PLAXIS в рамках своего геотехнического анализа методом конечных элементов.

Предполагается, что эта статья станет последней в серии публикаций о комплексных геомеханических моделях в данном блоге. Если вы хотите узнать больше об усовершенствованных моделях этого типа в PLAXIS или о методах определения параметров для них и по ним, я хотел бы сослаться на различные курсы и тренинги, которые регулярно

организует компания Bentley. Для получения более подробной информации, пожалуйста, посетите веб-сайт Virtuosity.

Список литературы

1. Бринкгреве Р. 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. Бринкгреве Р. Работа в PLAXIS. Поведение скальных грунтов // ГеоИнфо. 08.07.2021. URL: <https://www.geoinfo.ru/product/brinkgreve-ronald/rabota-v-plaxis-povedenie-skalnyh-gruntov-44941.shtml>.
3. Бринкгреве Р. Работа в PLAXIS. О преимуществах моделей HS, HSS и виртуальных испытаний грунтов // ГеоИнфо. 12.04.2021. URL: geoinfo.ru/product/brinkgreve-ronald/rabota-v-plaxis-o-preimushchestvah-modelej-hs-hss-i-virtualnyh-ispytanij-gruntov-44450.shtml.
4. Бринкгреве Р. Работа в PLAXIS. Модель слабого грунта и ее модификация с учетом ползучести // ГеоИнфо. 20.05.2021. URL: geoinfo.ru/product/brinkgreve-ronald/rabota-v-plaxis-model-slabogo-grunta-i-ee-modifikaciya-s-uchetom-polzuchesti-44672.shtml.
5. Бринкгреве Р. Работа в PLAXIS. Моделирование землетрясений и разжижения грунтов // ГеоИнфо. 15.06.2021. URL: geoinfo.ru/product/brinkgreve-ronald/rabota-v-plaxis-modelirovanie-zemletryasenij-i-razzhizheniya-gruntov-44817.shtml.
6. Amorosi A., Boldini D., de Felice G., Malena M., Di Mucci G. Numerical modelling of the interaction between a deep excavation and an ancient masonry wall // Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground (ed. by Yoo, Park, Kim & Ban). Seoul: Korean Geotechnical Society, 2014.
7. Brinkgreve R. Profile // TUDelft. The last accessed date: 07.06.2021. URL: tudelft.nl/en/ceg/about-faculty/departments/geoscience-engineering/sections/geo-engineering/staff/academic-staff/brinkgreve-r.
8. Brinkgreve R.B.J. Liquefaction and earthquake modelling // VIRTUOSITY, A BENTLEY COMPANY. Blog: Infrastructure Insights. 10.03.2021. URL:.
9. 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.
10. Brinkgreve R.B.J. Rock behaviour // VIRTUOSITY, A BENTLEY COMPANY. Blog: Infrastructure Insights. 17.03.2021. URL: blog.virtuosity.com/geotechnical-rock-behaviour.
11. Brinkgreve R.B.J. Special materials // VIRTUOSITY, A BENTLEY COMPANY. Blog: Infrastructure Insights. 24.03.2021. URL: blog.virtuosity.com/geotechnical-special-materials.
12. 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.
13. Brinkgreve R.B.J. The soft-soil and soft-soil creep model // VIRTUOSITY, A BENTLEY COMPANY. Blog: Infrastructure Insights. 03.03.2021. URL: blog.virtuosity.com/the-soft-soil-and-soft-soil-creep-model.
14. Lasciarrea W.G., Amorosi A., Boldini D., de Felice G., Malena M. Jointed Masonry Model: a constitutive law for 3D soil-structure interaction analysis // Engineering Structures. 2019. Vol. 201.
15. Schadlich B., Schweiger H.F. A new constitutive model for shotcrete // Numerical Methods in Geotechnical Engineering (ed. by Hicks, Brinkgreve & Rohe). Leiden: CRC press, 2014). P. 103–108.