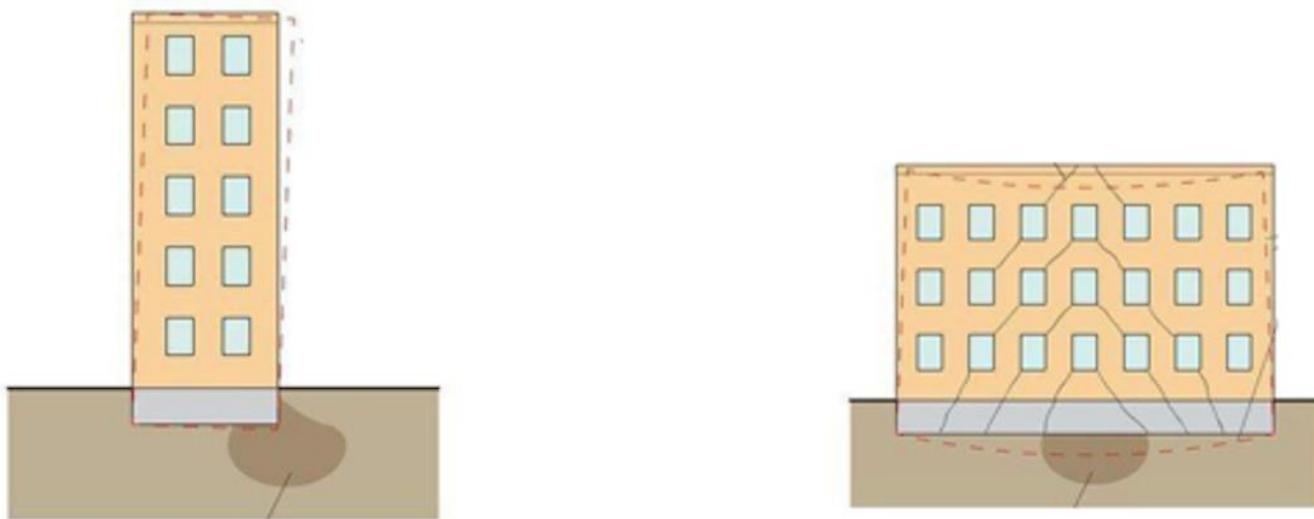


Жесткость бывает не только у воды



Некоторое время назад по сети ходила серия иллюстраций, на которых были показаны характерные схемы распространения трещин по зданиям и возможные геотехнические причины их возникновения. Данная тема вызвала интерес среди специалистов, и редакция решила подготовить расширенный комментарий по этому вопросу.

Анатолий Мирный

Доцент Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, к.т.н.

MirnyyAY@mail.ru, +7 (916) 908-81-31

Некоторое время назад по сети ходила серия иллюстраций, на которых были показаны характерные схемы распространения трещин по зданиям и возможные геотехнические причины их возникновения. Данная тема вызвала интерес среди специалистов, и редакция решила подготовить расширенный комментарий по этому вопросу.

В первую очередь необходимо напомнить, что основание и сооружение работают совместно, образуют единую систему. Жесткость элементов этой системы (а в первую очередь – соотношение этих жесткостей) будет оказывать существенное влияние как на деформации основания и сооружения, так и на возникающие в них усилия.

Хорошо известно, что абсолютно гибкие сооружения (например, транспортные) следуют за деформациями основания, то есть осадка в каждой точке будет определяться исключительно величиной нагрузки и жесткостью основания. В то же время, все точки фундаментов абсолютно жестких сооружений перемещаются плоско-параллельно (тогда осадка всех точек равна), либо дают крен (тогда осадка от точки к точке меняется по линейному закону). Абсолютное большинство сооружений имеют конечную жесткость и занимают промежуточное положение между этими полярными случаями. Это означает, что имеет место частичное взаимное влияние соседних точек.

Наилучшим образом взаимное влияние жесткости может быть продемонстрировано на основании решения Э.Винклера с помощью модели местных упругих деформаций. Если предположить, что давление под подошвой в некоторой точке и реакция основания равны друг другу (а это следует из третьего закона Ньютона), то может быть записана формула, в которой левая часть характеризует жесткость фундамента, а правая – жесткость основания:

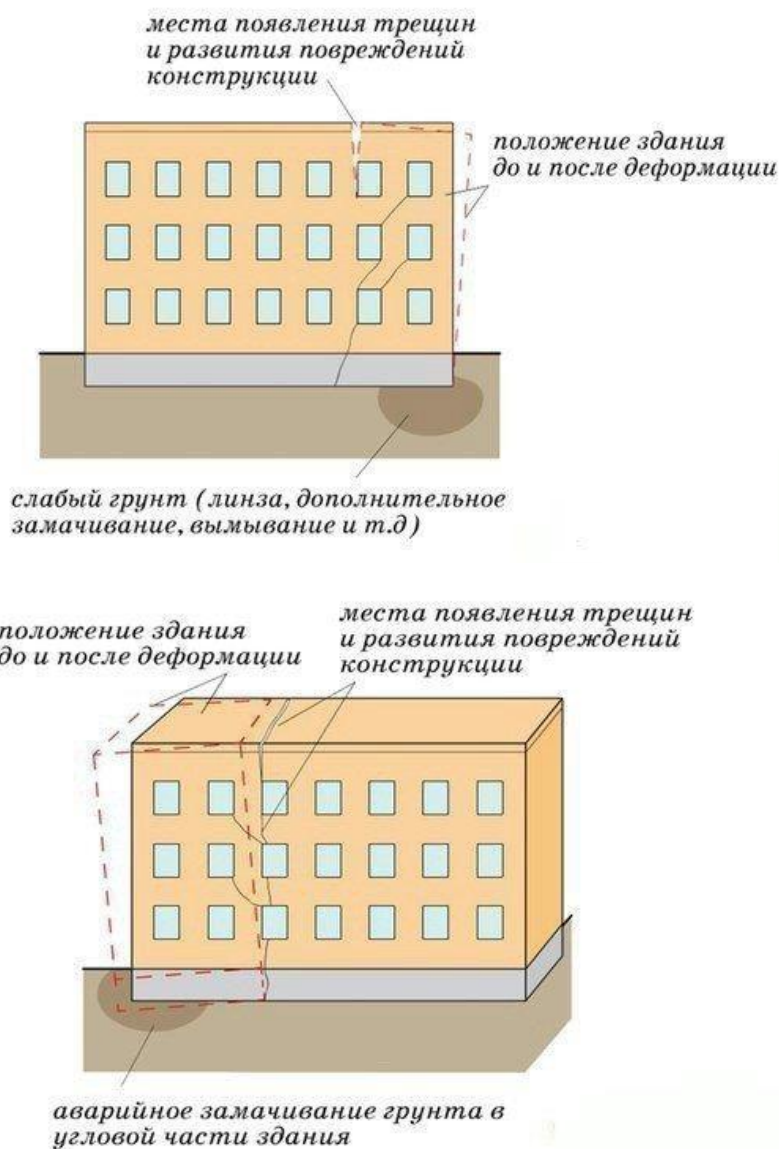
$$EI \frac{d^4 z}{dx^4} = -c_z z$$

Учитывая, что параметры жесткости сооружения (модуль деформации E и момент инерции приведенного сечения I) во времени не меняются, то изменение коэффициента постели c_z , являющегося параметром жесткости основания, приведет к обратно пропорциональному изменению осадки z . Иначе говоря, если по каким-то причинам жесткость основания падает, то величина осадки увеличивается.

Очевидно, что при рассмотрении сооружения в целом жесткость "фундамента" будет складываться не только из сечения и материала его конструкций, но и жесткости всей конструктивной схемы здания. Большепролетные металлические и деревянные сооружения обладают очень низкой жесткостью, а здания с монолитным железобетонным каркасом или выполненные из кирпича – очень высокой. Вопросами жесткости сооружений различных конструктивных схем занимается теория сооружений.

При возникновении неравномерных осадок сооружения с низкой жесткостью будут легко следовать за осадками основания. Жесткие же сооружения будут пытаться их "выровнять" за счет собственной жесткости, при этом неизбежно в конструкциях возникнут дополнительные усилия. Если это учтено в проекте (а сейчас это одно из важнейших требований к геотехническому расчету – определение влияния основания на сооружение), то сооружение сохранит эксплуатационную пригодность. Но в старых, изношенных сооружениях чрезмерная неравномерность осадок может вызвать образование трещин. Именно по этой причине фиксация расположения и характера трещин может многое сказать специалисту о состоянии основания.

Рассмотрим подробнее каждый из опубликованных ранее характерных случаев взаимодействия основания и сооружения.



В зданиях с низкой собственной жесткостью при снижении жесткости основания будут развиваться трещины, вплоть до отрыва части здания, как показано на иллюстрации. Наклонные трещины на боковых стенах при этом характерно ориентированы относительно точки снижения жесткости.

Аналогичный характер деформаций развивается при влиянии нового строительства на существующую застройку, что достаточно часто встречается при «точечной» застройке. По характеру трещин можно сразу определить, что новый объект оказывает влияние на ранее построенные, даже если мониторинг не проводится.

В зависимости от расположения точки снижения жесткости может деформироваться торцевая часть здания (на рисунке сверху), трещины будут располагаться на противоположных продольных внешних стенах, либо его угол (на рисунке снизу) – и тогда наклонные трещины возникнут на торцевой стене.



Здания, имеющие высокую жесткость на изгиб, при изменении жесткости основания будут реагировать на него креном. К таким зданиям относятся все высотные здания, одиночные секции многоэтажных жилых домов, а также некоторые другие инженерные сооружения, например, дымовые трубы. В кирпичных зданиях возникновение крена будет приводить к трещинообразованию, поэтому проиллюстрированный случай характерен скорее для зданий с монолитным железобетонным каркасом.

Фундамент имеет сравнительно небольшую площадь относительно высоты здания, и поэтому очень чувствителен к неравномерной жесткости основания. Если в процессе эксплуатации жесткость грунта локально изменяется (чаще всего при развитии суффозии, либо при наличии линзы слабого грунта), то начнет развиваться крен. Данная ситуация очень опасна, так как в отличие от образования трещин развитие крена незаметно и фиксируется исключительно инструментальным контролем в ходе мониторинга.

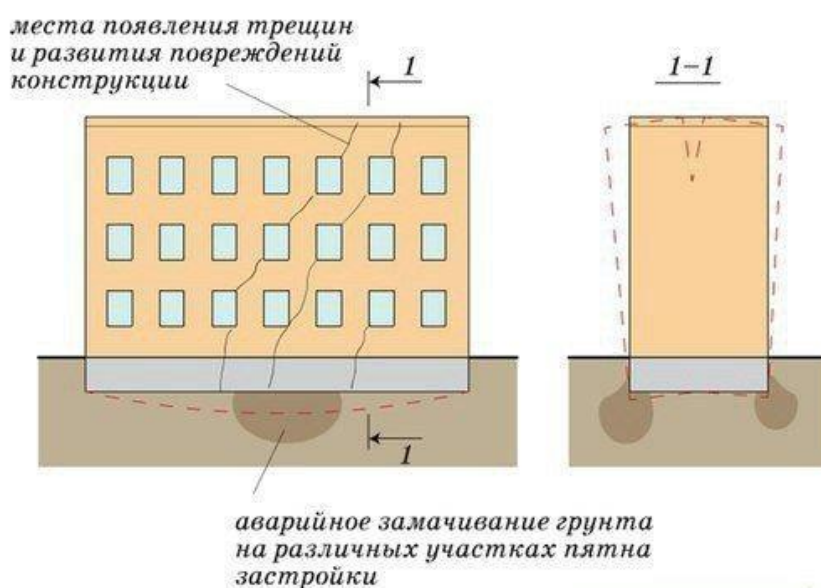
В практике автора был случай, аналогичный иллюстрации, где изменение жесткости основания возникло вследствие строительного водопонижения на застраиваемом соседнем участке. При этом изменилась скорость фильтрационной консолидации в слое глинистых грунтов, и высотные сооружения отреагировали на это креном.



Если жесткость основания снижается под центральной частью кирпичного здания, то образуется система наклонных трещин, расположенных «домиком» над зоной снижения жесткости. Для кирпичных зданий в данном случае должна выполняться стабилизация основания, например, струйной цементацией. При выборе технологии стабилизации следует учитывать технологическое воздействие, так как в процессе производства работ жесткость основания может временно понизиться при нагнетании раствора вследствие роста порового давления и снижения жесткости.

Для надземной части сооружений с монолитным каркасом данная ситуация менее опасна, так как они имеют высокую изгибную жесткость. Локальное изменение жесткости основания приведет к перераспределению усилий в конструкциях, в первую очередь в фундаментной плите. Это может привести к увеличению глубины развития трещин и коррозии арматурного каркаса плиты.

4



Представленная на рисунке схема развития деформаций сравнительно редко встречается, так как изгибная жесткость зданий при изгибе по ширине достаточно высокая.

Образование продольной трещины в верхней части здания возможно только для сооружений высотой в несколько этажей, на нежестком фундаменте (ленточном или тонком плитном), и при условии одновременного локального снижения жесткости на противоположных сторонах здания.

Учитывая, что абсолютное большинство зданий предполагает естественное освещение помещений, их ширина составляет не более 15-20 м, и снижение жесткости должно быть очень локальным. Подобный механизм можно представить себе только на основаниях, сложенных специфическими видами грунтов, например просадочными или мерзлыми.

5



Довольно редкая ситуация, возникающая при наличии в основании элемента, локально увеличивающего жесткость. При этом основание в целом должно быть сложено грунтом с достаточно низкой жесткостью. Трещины в данном случае будут ориентированы лучами от точки увеличения жесткости. Развитие трещин будет продолжаться в ходе развития осадок сооружения и начнется сразу после завершения строительства.

На практике представить такую ситуацию довольно сложно. Даже если в основании залегает такой элемент, то он становится концентратором напряжений. Следовательно, при залегании такого элемента в хорошо сжимаемом грунте вокруг него быстро сформируется зона выраженных пластических деформаций, и под весом сооружения он начнет «погружаться» в основание. Увеличение жесткости в данном случае частично компенсируется переходом окружающего грунта в предельное состояние.