

РАЗРУШЕНИЯ ЗДАНИЙ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ, ИССЛЕДОВАНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ФОРМ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЗРУШЕНИЯХ ЗДАНИЙ, ОКАЗЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЯ НА ПРИЧИНЫ

СМИРНОВ С.Б.,* ОРДОБАЕВ Б.С.** , ДЖАМАНКУЛОВ К.М.**

*Московский государственный строительный университет**

*КРСУ им Б.Н. Ельцина***

izvestiya@ktu.aknet.kg

Впервые доказано, что разрушительные сейсмические импульсы, срезающие колонны и стены и стены зданий, возникают непосредственно под подошвой зданий. Их создают продольные сейсмические волны, которые бегут в нижних более плотных слоях грунта значительно быстрее, чем в рыхлых верхних слоях и этим создают сдвиг и перекокс всей поверхностной толщи грунта. Периодически распрямляясь, она путем упругой отдачи наносит мягкие удары по подошве зданий и тем самым срезает их железобетонные колонны и стены.

Еще в 1992г. мы обнаружили, что при землетрясениях возникает множество необъяснимых форм разрушения зданий и иных аномальных явлений, которые не могут быть вызваны официально признанными низкочастотными сейсмическими колебаниями грунта. Из сказанного следует, что информация о сейсмическом воздействии, заложенная во все строительные Нормы и прочностные расчеты, абсолютно недостаточно и требует проведения качественно новых широкомасштабных и трудоемких экспериментальных и теоретических исследований по этим воздействиям.

Все вышеизложенное, наконец, впервые объясняет причины полной неэффективности нынешней «антирезонансной» стратегии сейсмозащиты. Эта неэффективность ясно проявилась при всех последних землетрясениях (особенно в г.Кобе, Япония, 17-января 1995г.). После катастрофы в г.Кобе такую негативную оценку реального положения дел в сфере сейсмозащиты впервые поддержал один из ведущих авторитетов официальной сейсмической науки профессор Йошио Мимура, генеральный директор Научно-исследовательского Строительного института Министерства Строительства Японии. В своем сопроводительном письме к «Отчету» [1] о разрушениях зданий в г.Кобе, направленному в Госстрой России, он пишет, в частности, следующее: «Ужасающие разрушения от этого землетрясения вынуждают нас пересмотреть все меры сейсмозащиты в нашей стране». Проф. Мимура был вынужден сделать это сенсационное заявление, в котором он, по существу, признал поражение официальной сейсмической науки? Для этого было несколько причин, которые ранее либо не встречались, либо не были толь выражены.

Во-первых, в г.Кобе в зону сильного землетрясения попали самые современные и «сейсмостойкие» здания из стали и железобетона, построенные в соответствии с новейшими строительными «Кодами» Японии, принятыми в 1971 и 1981гг.

Во-вторых, в г.Кобе впервые никто не пытался свалить всю вину за не объяснимые разрушения зданий на строительный брак (как это всегда делалось ранее), ибо качество всех современных зданий, разрушенных при землетрясении в г.Кобе, было безупречно.

Наконец, в третьих, в «Отчете» о разрушениях в г.Кобе [1] впервые было официально засвидетельствовано, что реальный уровень сейсмического воздействия практически не превышал его расчетный уровень. Обоснованию этого ключевого положения целиком посвящен раздел «Отчета» [1]. При этом авторы «Отчета» не смогли найти никаких причин, объясняющих массовое разрушение новых зданий при тех нагрузках, на которые они были рассчитаны. Т.е. здесь впервые был официально признан тот ключевой факт, что множество современных зданий из стали и железобетона разрушились вопреки расчетным ожиданиям и «Кодам», основанным только на резонансно-колебательной модели сейсмических разрушений. При этом констатировано, что причины всех этих необъяснимых и трагических фактов не установлены. Теперь перейдем к детальному анализу фактов аномальных разрушений.

1.Разрушения при «неопасных» землетрясениях Рассмотрим подробнее эту ключевую проблему разрушения зданий, происходящих при тех сейсмических нагрузках, которые ниже расчетных и не должны быть опасны. Например, согласно данным из «Отчета» [2], воздействию Карпатского землетрясения 1986 года, оцененного в 7-8 баллов, подвергались новые каркасные железобетонные здания и антирезонансные здания с гибким 1-м этажом, рассчитанные на 8 баллов. Многие из них были разрушены.



Если судить по максимальным величинам записанных ускорений и перемещений грунта, то придется признать, что интенсивность Карпатского землетрясения 86-го года была даже ниже 7 баллов. Согласно данным [2] максимумы ускорений не превышали 0,13g, а максимумы смещений составляли всего лишь 1,4 см). Напомним, что по шкале MSK-64 7-ми бальному землетрясению отвечают ускорения свыше 0,1g и перемещения свыше 7см, а 8-ми бальному соответственно свыше 0,2g и 13см. В г.Кобе вся современная застройка была рассчитана на сейсмическое воздействие с уровнем интенсивности в 7 баллов по японской шкале. Этот уровень несколько выше уровня в 9 баллов по шкале MSK-64, которому отвечают максимумы ускорений в интервале (0,4g; 0,8g), максимумы скоростей от 0,5 м/сек до 1м/сек и максимумы смещений от 19 до 27 см. В г.Кобе максимум ускорения составил 0,827g, максимум скоростей 1,29 м/сек и максимум перемещения 32,5 см.

В «Отчете» [1] (см. стр. 82-87) дано детальное обоснование того факта, что реальные сейсмические нагрузки на здания в г.Кобе не превысили расчетный уровень. Кроме того, там же приведен детальный прочностной расчет срезанных землетрясением железобетонных колонн в 8-ми этажном каркасном здании в квартале Хигашинада, построенном в 1986г. В результате этого расчета показано, что колонны не должны были разрушаться (см. стр. 119-125 в [1]).

В «Отчете» [1] также приведены результаты детального обследования разрушенных зданий, которое провел «Специальный Комитет по исследованию зданий, разрушенных землетрясением». «Комитетом» было обследовано 1230 зданий в наиболее пострадавших зонах г.Кобе. Среди них было 516 современных железобетонных и сталежелезобетонных зданий (в основном каркасных) и 316 зданий со стальным каркасом. При этом оказалось, что были полностью разрушены или серьезно пострадали 70% железобетонных зданий, 60% сталежелезобетонных зданий и 55% стальных зданий [1]. В «Отчете» [1] приведено много примеров разрушения новых зданий, произошедших вопреки расчетам и «Кодам» от 71-го и 81-го гг. Однако, там и не дано ответа на главный вопрос о том, почему же все-таки произошли все эти разрушения. И это вполне естественно, ибо на него нельзя ответить, оставаясь лишь в рамках резонансной модели.

Согласно базовым постулатам строительной механики, следует, что здания при землетрясениях разрушает не только лишь одно колебательное воздействие грунта, заложенное в СНиП прочностные расчеты, но и еще какие-то совсем иные, гораздо более опасные воздействия, о которых пока ничего не известно сейсмологам. Именно эти воздействия сами по себе или же в совокупности с колебаниями грунта разрушают здания (вопреки строительным «Нормам» и расчетам). Они же вызывают множество аномальных форм разрушения, о которых мы скажем ниже.

Например, согласно этой модели, сейсмостойкость каркасных железобетонных зданий должны быть весьма высокой из-за ожидаемой сильно выраженной способности к уходу от резонанса и поглощению сейсмической энергии в пластических шарнирах. Они должны возникать в заделках колонн при околорезонансных сейсмических колебаниях зданий и уводить их от резонанса. Т.е. каркасные здания должны быть ничуть не менее сейсмостойкости, панельные здания с несущими стенами.

Однако, на практике панельные здания гораздо более сейсмостойки, чем каркасные (что не раз отмечено в работах [1-3]). При этом в реальности, ожидаемые по расчету пластические шарниры в каркасе никогда не возникают при землетрясениях, а вместо них возникают срезы и сдвиги колонн.

Кроме того, резонансная модель может объяснить тот факт, что здания с гибким 1-м этажом разрушаются в несколько раз чаще, чем обычные каркасные здания. Это, в частности, особо отмечено в «Отчете» [1]. Наконец, резонансная модель сейсмических разрушений никак не может объяснить чрезвычайно высокую сейсмостойкость зданий в виде срубов из бревен и брусьев, или щитовых деревянных зданий.

Аномальные формы сейсмических разрушений. Перейдем теперь к описанию о сейсмическом сдвиге или срезе железобетонных колонн в каркасных зданиях с гибким 1-м этажом. Этот тип разрушения пока не удалось смоделировать. Он крайне необычен и его никак не могут вызвать колебания зданий по следующей причине.

Из всей практике строительства и постулатов строительной механики известно, что типовой формой разрушения любых гибких стержневых элементов является их излом от предельного изгиба. Это справедливо при обычных относительно малых скоростях деформирования строительных конструкций «1. Поэтому в колоннах должны возникать пластические шарниры и изломы возле их концов, т.е. в тех точках, где действует максимальный изгиб.

При горизонтальных сейсмических колебаниях каркасных зданий происходят взаимные горизонтальные смещения жестких массивных дисков перекрытий, в которых защемлены колонны

каркаса. При этом максимальные изгибающие моменты возникают возле защемленных концов колонн и потому там же должны возникать изгибные пластические шарниры и изломы колонн в стадии предразрушения зданий (рис 1а). Однако в жизни по изгибной схеме разрушаются лишь модели каркасных зданий при моделировании сейсмических колебаний на виброплатформах. Однако в реальности при землетрясениях вместо изломов в железобетонных колоннах возникают абсолютно необъяснимые срезы и сдвиги в виде косых трещин

В зависимости от силы землетрясения наблюдаются несколько стадий сдвига колонн. При 7-ми балльных землетрясениях в зоне сдвига обычно возникают косые магистральные трещины и происходят слабое разрыхление бетона возле них. При 8-ми балльных землетрясениях в зонах сдвига в окрестности магистральной трещины возникает интенсивное разрыхление и растрескивание бетона, которое иногда охватывает всю толщину колонны. Множество фото таких срезов приведено в [2] и [6]. При 9-ти балльных землетрясениях обычно происходит полное раздробление бетона в зонах сдвига и выпучивания продольной арматуры [1].

В 1986г. в г.Кишиневе были обнаружены именно первые 2 типа разрушения колонн, что особо отмечены при классификации типов разрушений [2]. При этом не было зафиксировано ни одного случая ожидаемого по официальной теории изгибного разрушения колонн путем их излома возле сделок. Следует отметить, что согласно [2], в г.Кишиневе были частично или полностью срезаны железобетонные колонны во многих самых разных каркасных зданиях, построенными различными организациями. Тем не менее, авторы [2], объясняют все эти аномальные срезы колонн наличием абсолютно одинаковых ошибок строителей при конструировании колонн. На самом деле этих ошибок не было, ибо все колонны были законструированы в точном соответствии

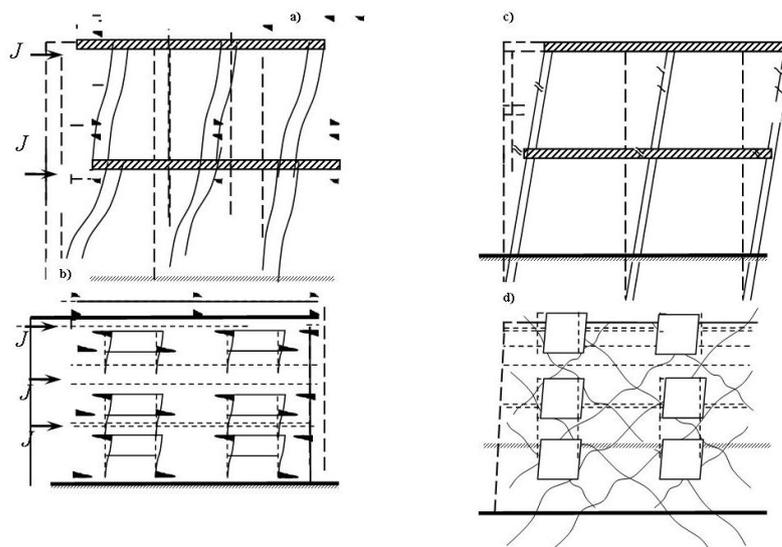


Рис. 1. Каркасное здание и стены с проемами; ожидаемые схемы разрушений; с) д) фактические схемы разрушений

со СНиП. Но суть в том, что никакие ошибки в конструировании не могут вызвать срез колонн без их излома. Первопричина среза кроется в специфике неизвестного пока внешнего сейсмического воздействия, которое никак не отражено в СНиП и потому оно регулярно вызывает непредсказуемые сдвиговые формы разрушения в виде среза.

Когда колонны изготовлены из высокопрочного и пластичного бетона и имеют очень интенсивное поперечное армирование (в том числе винтовое), то макротрещины не возникают, а происходит чисто пластический сдвиг отдельного участка колонны за счет микрораздробления бетона [1], [4]).

В толстых железобетонных колоннах с относительно низкой вертикальной нагрузкой этот пластический сдвиг может охватить всю колонну целиком. При 9-ти балльных землетрясениях они пластически сдвигаются по всей высоте, принимая форму параллелограмма, и застывают в деформированном наклонном положении. Такие аномальные сдвиги опор в эстакадных часто возникали в г.Кобе в 1995г. [4] и в Лос-Анжелесе в 1994г. Именно их многие ошибочно принимают за изгибные разрушения из-за появления псевдоизломов в заделках возле концов опор. На самом деле изломы от изгиба там отсутствуют, ибо в заделках опор нет горизонтальных трещин, служащих главным атрибутом излома железобетонного элемента.



Надо отметить, что пока никому не удалось смоделировать такой пластический сдвиг железобетонной колонны или ее участка. Это еще раз подтверждает необычность сейсмического воздействия.

Теперь рассмотрим об аномальных косых крестовых трещинах, которые появляются на отдельные наружных железобетонных или кирпичных стен с проемами (рис. 1d). Обычно эти «кресты» встречаются в трех вариантах: либо в простенках, либо в перемычках, либо в узлах их пересечения [1] (рис. 1d).

При колебаниях зданий происходит взаимное смещение жестких и массивных дисков перекрытий. Эти диски смещаются вместе с горизонтальными полосами стен, которые примыкают к ним. При этом происходит изгиб и сдвиг простенков (рис. 1d) расположенных между этими полосами.

По расчетам, в узких простенках должно возникать изгибное разрушение (как на рис. 1в). Однако на практике оно никогда не возникает. Горизонтальные полосы стен между окнами имеют очень большую сдвиговую жесткость, и поэтому в них не возникает перекося и сдвиг. Если учесть, что перемычки и узлы являются всего лишь участками этих единых жестких полос, то станет ясно, что локальные сдвиги не могут возникнуть при сейсмических колебаниях зданий. Поэтому появление крестовых трещин в перемычках и узлах стен никак не может быть объяснено воздействием на здания только лишь низкочастотных сейсмических колебаний грунта.

Что же касается возникновения сдвиговых крестовых трещин в простенках, то здесь тоже есть некоторая аномалия, которая не укладывается в рамки «колебательной» модели. Дело в том, что сам факт появления крестовых трещин и угол их наклона должны зависеть от уровня интенсивности землетрясений, т.е. от величины горизонтальной сейсмической силы J и ее соотношения с вертикальной силой P от собственного веса. Однако, на практике такие зависимости почему-то отсутствуют. В простенках при 7-ми, 8-ми, 9-ти бальных землетрясениях всегда возникают крестовые трещины примерно с одинаковым углом наклона, близким к 45 градусам. С ростом интенсивности землетрясения меняется лишь величина раскрытия трещин и растет степень раздробления бетона в их окрестности (но угол их почему-то не меняется). Если учесть, что силы J создают в зоне простенков чистый сдвиг, на который наложено одноосное сжатие от сил P , то расчет показывает, что при $J \leq 0,4P$ (т.е. при 7-ми 8-ми бальных землетрясениях) косые трещины в простенках вообще не должны возникать, т.к. величины главных растягивающих напряжений по косым главным площадкам оказываются значительно меньше предела прочности бетона на растяжение. Но на практике эти трещины всегда возникают даже при слабых землетрясениях.

Следующий массовый тип сейсмических разрушений – это расслоение кирпичной кладки в результате разрыва ее швов. Несоответствие с колебательной моделью в этом случае состоит в том, что расслоение кладки происходит даже при слабых 7-ми бальных землетрясениях, когда растягивающие и сдвигающие напряжения в стенах согласно расчетам должно быть на порядок ниже предельного сцепления швов [6,7].

Противоречие здесь состоит в следующем, что при горизонтальных сейсмических нагрузках в наружных стенах зданий, удаленных от эпицентра, простенки должны быть напряжены гораздо интенсивнее, чем перемычки и узлы. Поэтому они должны расслаиваться сильнее. Однако, на практике степень расслоения кладки везде примерно одинаково [5,6,7].

Разновидностью подобного явления служит начальной прочности бетона и кладки, интенсивное разрыхление и даже раздробление бетона, которое регулярно происходит при сейсмических напряжениях ниже предельных и удивляет равномерностью своего распределения – [2,5,6,7].

Аномальное раздробление высокопрочного бетона сразу по все высоте колонн одного этажа особенно возникло в г.Кобе [1]. Оно приводило к такому феномену, как «схлопывание» этажей, когда колонны всего этажа полностью рассыпались, их арматура спрессовывалась, а один из этажей здания как бы исчезал. Примеры «схлопывания» этажей даны в [1], причем там отмечено, что такой аномальный тип разрушения пока не имеет строгого объяснения. В г.Кобе очень часто встречался еще один вид типовых аномальных разрушений, который наблюдался и ранее. Речь идет о хрупком разрушении высокопрочных сварных швов в стыках элементов стального каркаса. Из-за этого явления процент разрушений таких зданий, считавшихся эталоном сейсмостойкости, оказался необычайно высок и составил 36,3% [1].

Известно, что в обычных условиях хрупкое разрушение сварных швов возникает лишь при ударных нагрузках, которые никак не могут возникнуть при низкочастотных сейсмических



колебаниях зданий. Поэтому причина регулярного охрупчивания сварных швов при сильных землетрясениях пока полностью не ясна.

Разновидностью проявления этого концентрированного, узконаправленного типа разрушения является резкая неоднородность размещения сейсмических разрушений в эпицентральных зонах, когда в плотную к полностью разрушенным зданиям привыкают абсолютно невредимые здания. Например, в Нефтегорске вокруг площадки, покрытой грудой обломков, остались стоять 3 невредимых здания. В г. Кобе зоны полного разрушения застройки тоже вплотную примыкали к тем зонам, где повреждений не было [1]. Аномальность этого явления еще дополняется, выражено избыточным характером разрушений, когда элементы отрезанного участка здания или разрушенной зоны указываются «размолоченными», как в камнедробилке [1]. Эти зоны превращаются в груды мелких обломков, как в г. Нефтегорске, в г.Кобе, в г.Спитаке и др. невозможно представить себе, чтобы низкочастотные колебания зданий относительно малыми ускорениями могли создать такой дробящий эффект.

Специфика разрушения подземных сооружений. После землетрясения в г.Кобе впервые было получена весьма обширная информация о характере и форме разрушения свайных фундаментов в эстакадах, тоннелях метро, а также дамб, насыпей, искусственных грунтовых сооружений и т.д. [4]. В частности, было выявлено, что верхние зоны железобетонных свай, несущих опоры эстакад, были покрыты кольцевыми трещинами отрыва [4]. Эти трещины могли быть вызваны лишь силой вертикального растяжения свай. Такая сила не могла быть создана вертикальными колебаниями грунта, записанная при землетрясении. Появление растяжения в сваях эстакад говорит о наличии мощного подбрасывающего эффекта, который никак не отражен в СНиП.

Разрушения тоннеля метро на станции Даикаи, [4], тоже нельзя объяснить воздействием низкочастотных сейсмических колебаний грунта. Там внутри мощной железобетонной обшивки, образованной толстыми стенами тоннеля, были срезаны тонкие железобетонные колонны, подпиравшие середину тоннеля. При этом сам тоннель, изолирующий колонны от сейсмического воздействия, либо оказался абсолютно невредимым, либо прогнулся после полного выключения срезанных колонн.

На отдельных малых участках эпицентральных зон землетрясений очень часто возникает мощный подбрасываемый эффект, который никак не могут создать те сейсмические колебания грунта, которые фиксируются инерционными приборами. Он проявляется в опрокидывании зданий и сбрасывании их с фундаментов [1, 6]). Этот же эффект подбрасывает скальные глыбы и иные массивные предметы на высоту несколько метров (об этом, например, свидетельствует ведущий специалист по эпицентральных зонам профессор ОИФЗ РАН В.И. Уломов). Этот же эффект приводит к протыканию и пробиванию полотна эстакад их опорами [4], и к упомянутому выше растяжению и разрыву свай, несущих эстакады и мосты.

Эффект подбрасывания с особенно высокой интенсивностью проявился в Ленинкане, Спитаке, Сасово, Чернобыле, Ташкенте и т.д. При подбрасывании камней или грунта на высоту несколько метров (что это наблюдалось при сильных землетрясениях) их начальная скорость момент отрыва должна на порядок выше, чем максимальная скорость отвечающая 9-ти бальному землетрясению.

Например, если предмет подброшен на высоту $H=4\text{м}$, то и соотношения $V^2 = 2gH$ следует, что его начальная скорость V в момент отрыва должна составить 9м/сек , тогда как при 9-ти бальном землетрясении по шкале MSK-64 максимальная скорость грунта лежит в интервале от $0,5\text{м/сек}-1\text{м/сек}$.

Этот эффект проявляется так же выбрасывании мощных грязевых фонтанов, содержащих камни. Такие выбросы на большую высоту имели место, например, на острове Аваджи [4].

Подбрасывающий сейсмический эффект имеет еще целый ряд иных проявлений. например, он приводит к интенсивному выталкиванию из грунта жестких предметов и, в частности, свай, которые были полностью погружены в грунт. По-видимому, этот эффект может быть вызван лишь неким неизвестным пока типам сейсмического воздействия.

1. При всех достаточно сильных землетрясениях (свыше 7-ми баллов по шкале MSK-64) всегда возникает множество разных фактов и форм разрушения зданий, которые не могут быть вызваны теми низкочастотными колебаниями грунта, которые фиксируются инерционными сейсмическими приборами и пока считаются единственной причиной всех сейсмических разрушений зданий и сооружений.



2. Из п. 1 прямо следует, что имеется еще несколько иных, неизвестных пока, но очень опасных сейсмических воздействия, которые возникают при землетрясениях и вызывают все сейсмические разрушения зданий и сооружений.

3. До тех пор, пока эти неизвестные воздействия не будут обнаружены, изучены и заложены в основу нового поколения строительных Норм; мы не сможем разработать и внедрить в практику эффективные меры сейсмозащиты и не научимся строить действительно сейсмостойкие здания и сооружения. Это особо актуально для построек в 9-ти балльной зоне Сочи при их защите.

4. Бесчисленные сейсмические разрушения и жертвы будут продолжаться до тех пор, пока официальная сейсмическая наука не уйдет от своей «резонансной» модели сейсмозащиты и не займется, наконец, поиском и изучением истинных причин разрушения «сейсмостойких» и иных зданий при землетрясениях.

Литература

1. Survey A. Report for building damages due to the 1995 Hyogo-Ken Nanbu earthquake. Building Research Institute; Ministry of Construction (Japan) March, 1996. 222 p.
2. Карпатское землетрясение 1986г. - Кишинев: издательство «Штиинца», 1990. 334стр.
3. Железобетонные стены сейсмостойких зданий, Совместное издание СССР-Греция, М.: Стройиздат, 1988. 501 стр.
4. Soils and foundations. Special issue of Geotechnical aspects of the January 17 1995. Hyogoken-Nanbu Earthquake, Japanese Geotechnical Society, January, 1996. 359 p.
5. Штейнбург К. и Морган Д. Инженерный анализ последствий землетрясений 1952 г. в Южной Калифорнии. – М.: Госиздат, 1957. 270стр.
6. Поляков С.В. Последствия сильных землетрясений. – М.: Стройиздат, 1978. 312 стр.
7. Proceedings of the ninth European Conference on Earthquake Engineering, Moscow, 1990, 297 p.

