



Проект «Повышение устойчивости к
рискам стихийных бедствий» [ERIK]



Проверка сейсмической безопасности [сейсмостойкости] систем железобетонных перекрытий

Светлана Бржев

Профессор Университета Британской Колумбии [UBC], Канада
Президент Сербской Ассоциации по сейсмостойкому строительству [SUZI-SAEЕ]
Почетный профессор МУИТ

Улугбек Бегалиев

Д.т.н., профессор и ректор МУИТ, президент МАЭСС

Айдарбек Стамов

Координатор по инжинирингу МАЭСС

19 - апреля 2024 г.

Темы

- Требования расчета и проектирования перекрытий и покрытий на сейсмические воздействия согласно СН КР 20-02 [2018 и 2024]
- Сейсмическое поведение перекрытия
- Типы перекрытий
- Сборные ж/б многопустотные плиты перекрытия
- Сейсмические силы для проверки прочности диска перекрытия
- Проверка прочности сборных ж/б многопустотных плит перекрытий на сдвиг
- Пример расчета

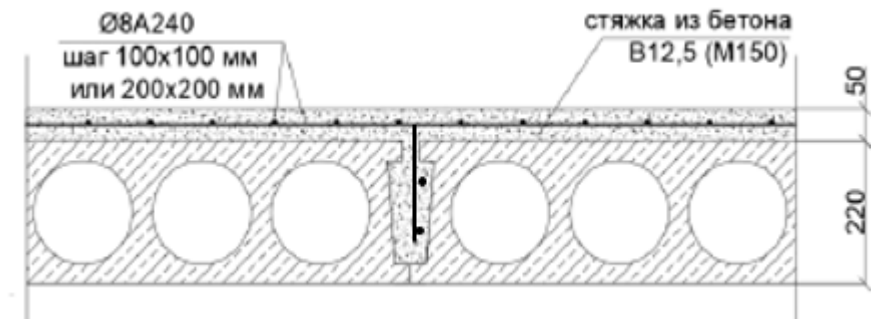
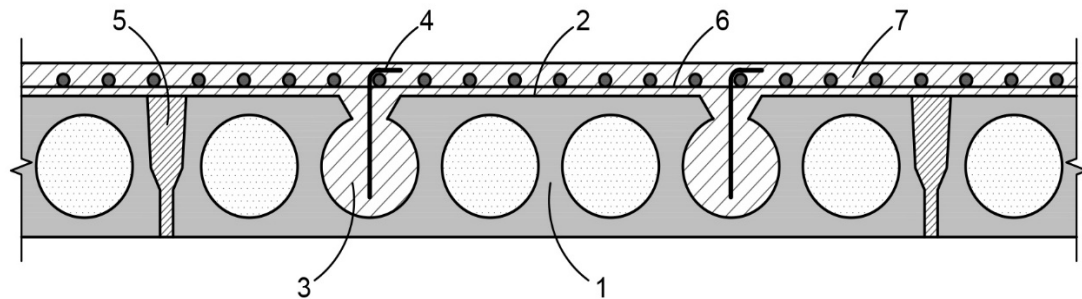
Выдержки из положением норм СН КР 20-02:2024

п.5.4 При проектировании зданий и сооружений:

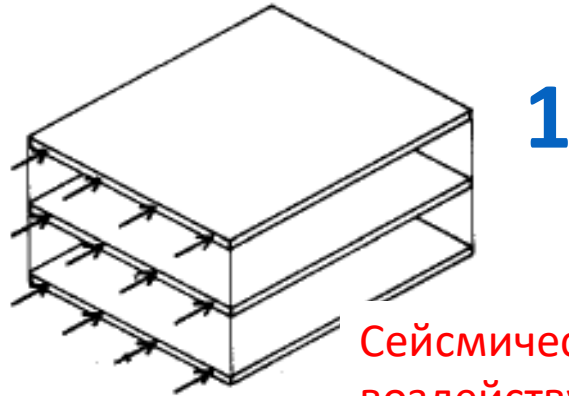
- обеспечивать диафрагмальное поведение междуэтажных перекрытий и реакции здания на сейсмические воздействия как единой системы;
- обеспечивать способность конструкций к пластическому деформированию;
- обеспечивать устойчивость и геометрическую неизменяемость конструктивной системы при развитии в их конструкциях и/или соединениях между ними пластических деформаций;

• 9.4.2 Жесткость и прочность сборных железобетонных перекрытий и покрытий следует обеспечивать путем выполнения одного из нижеперечисленных:

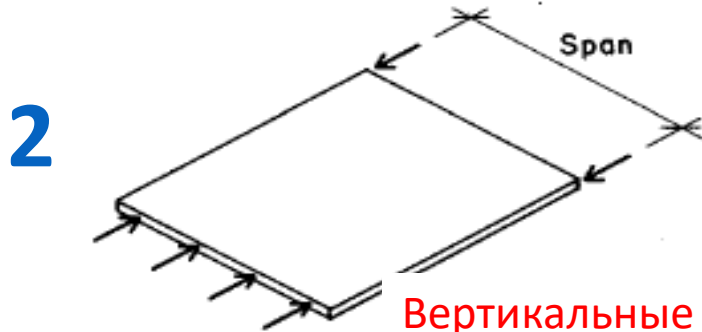
- ~~а) замоноличивания швов между плитами (панелями) цементным-песчаным раствором;~~
- а) устройства связей, воспринимающих усилия, возникающие в швах между плитами;
- б) устройства монолитных железобетонных обвязок в швах между раздвинутыми плитами перекрытий;
- в) **устройства по верху перекрытий монолитного железобетонного слоя.**



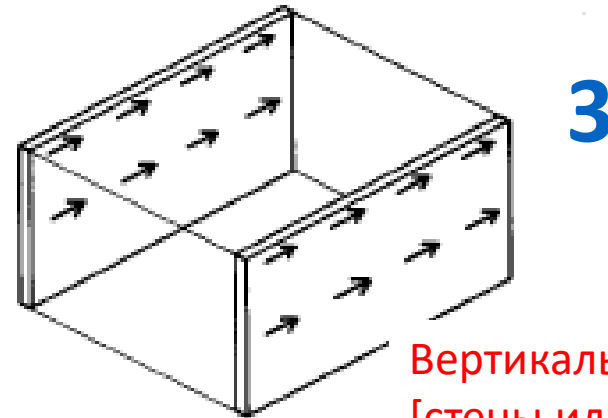
Как горизонтальные сейсмические нагрузки [силы] распределяются по всему зданию – от покрытия к фундаменту



Сейсмические нагрузки сначала воздействуют на перекрытия / покрытия



Вертикальные элементы сопротивляются горизонтальным сейсмическим силам, распределяемым от перекрытия



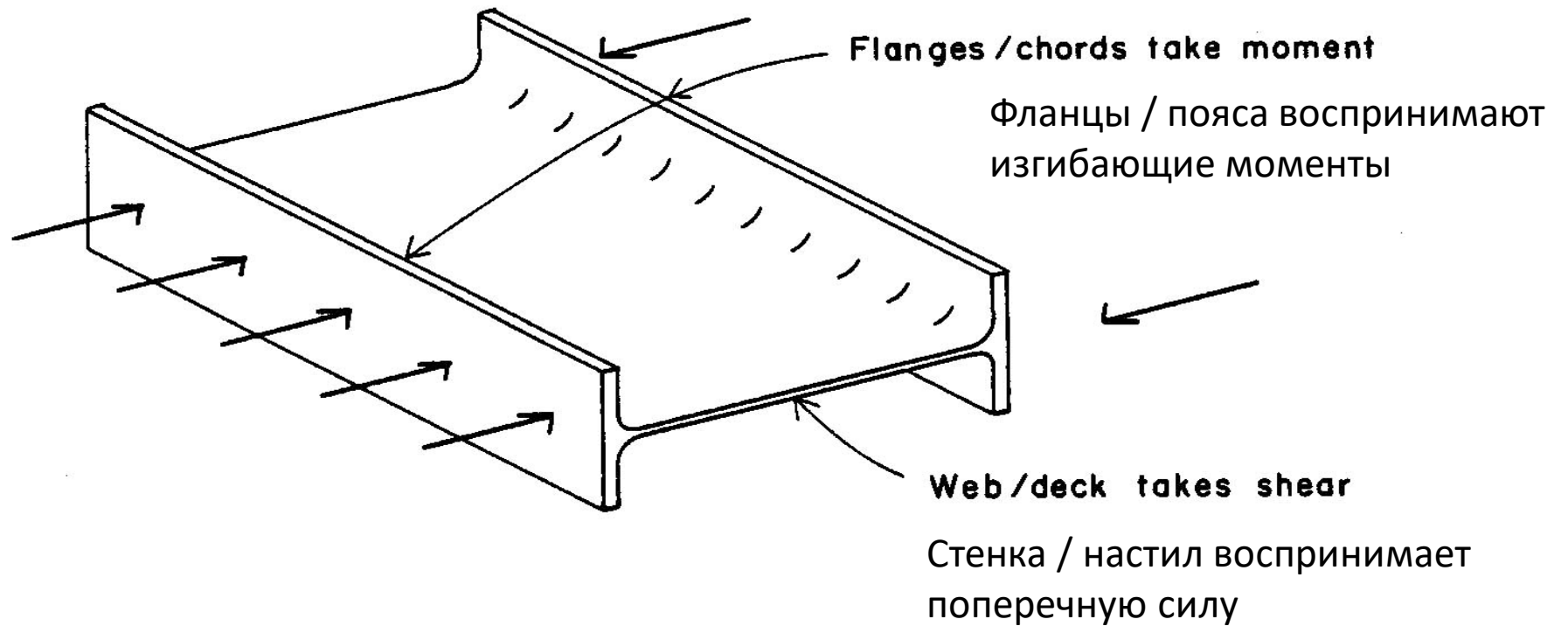
Вертикальные элементы [стены или рамы] сопротивляются горизонтальным силам и распределяют их на фундамент

Функции перекрытия / покрытия

Основные функции перекрытия / покрытия при сейсмических нагрузках:

- Сбор инерционных сил от веса перекрытия и временных нагрузок;
- Распределить горизонтальные нагрузки на разные вертикальные элементы **системы сопротивления поперечной силе.**

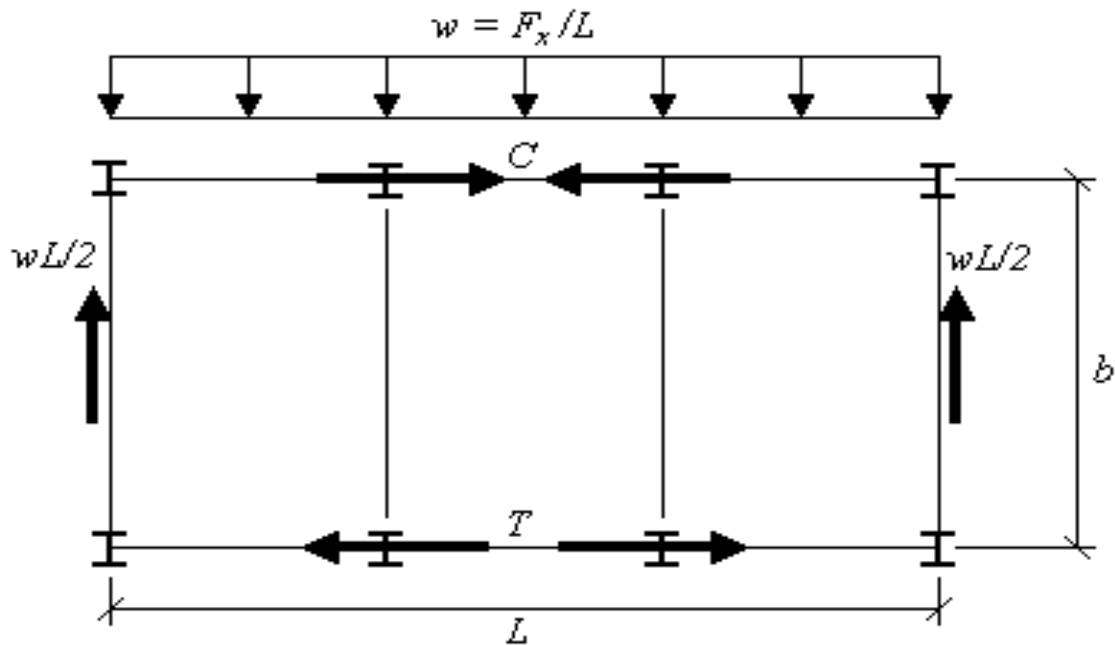
Диск перекрытия: эквивалентная балочная модель



Диск перекрытия моделируется как эквивалентная балка

- Перекрытие можно рассматривать как горизонтально выровненную балку, проходящую между вертикальными элементами **системы сопротивления поперечной силе**.
- Перекрытие действует как **стенка** эквивалентной балки, а элементы **пояса** сопротивляются усилиям растяжения и сжатия, вызванным изгибающим моментом.

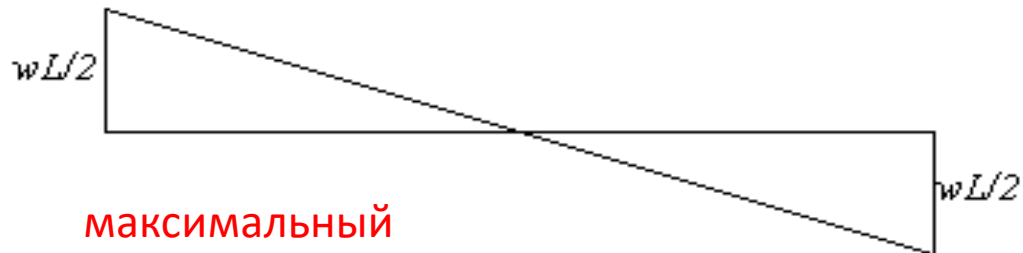
Силы, действующие на диск перекрытия – на основе балочной модели



$$C = T = M/b$$

$$C_{\max} = T_{\max} = \frac{wL^2}{8b}$$

Примечание: силы в поясе определяются исходя из максимального изгибающего момента M в диске перекрытия и ширины b .



Эпюра поперечных сил

Shear diagram

максимальный изгибающий момент M



Эпюра изгибающих моментов

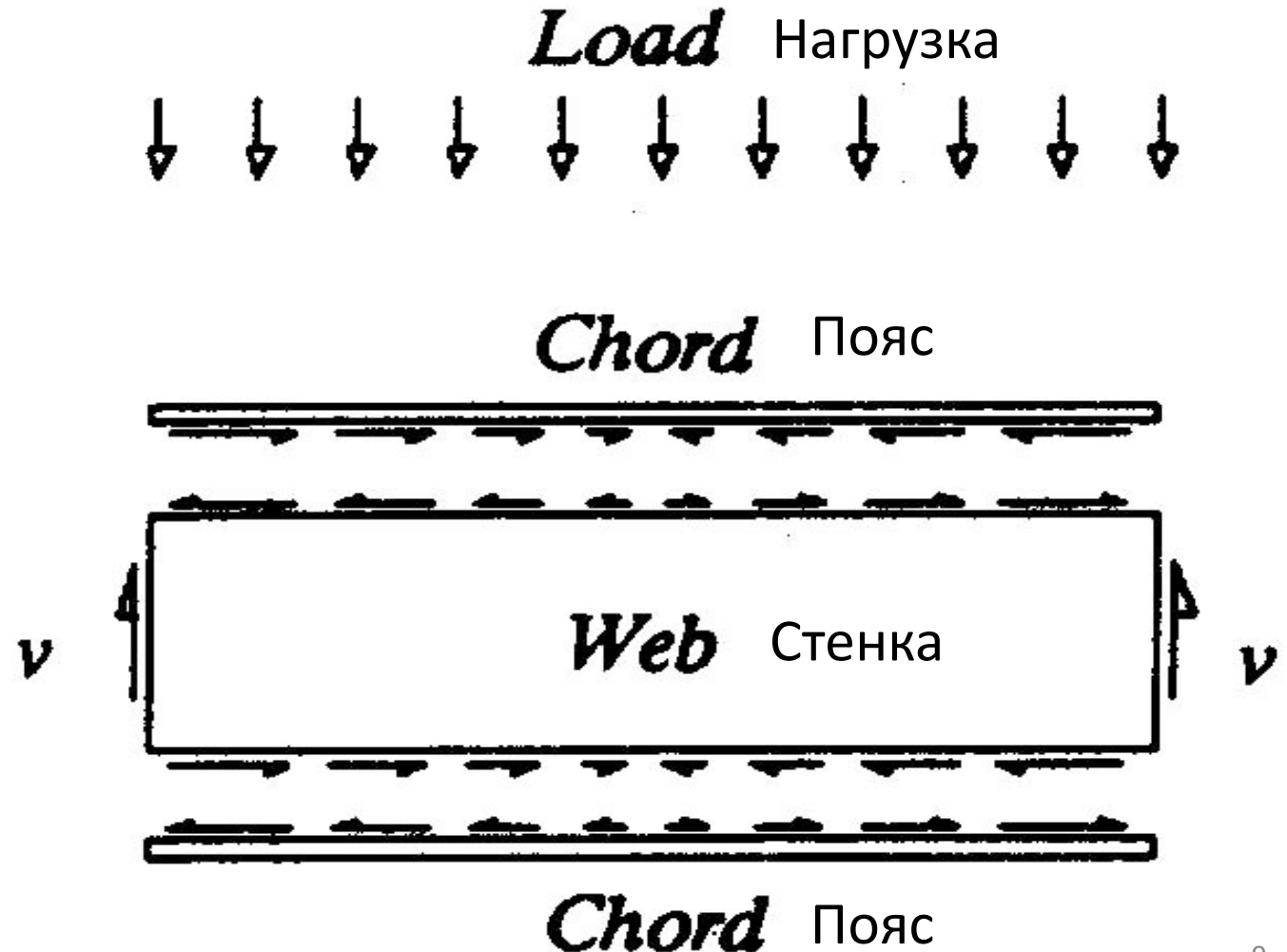
Moment diagram

Распределение силы в перекрытии

Перекрытие состоит из 2-х основных компонентов [элементов]:

1) Пояс [по периметру] – сопротивление растяжению / сжатию

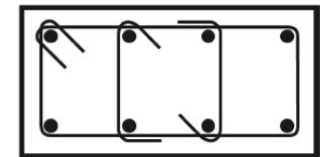
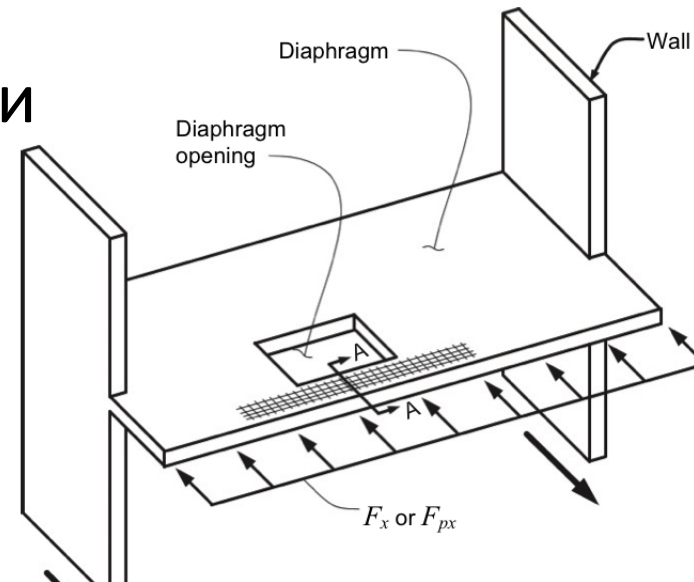
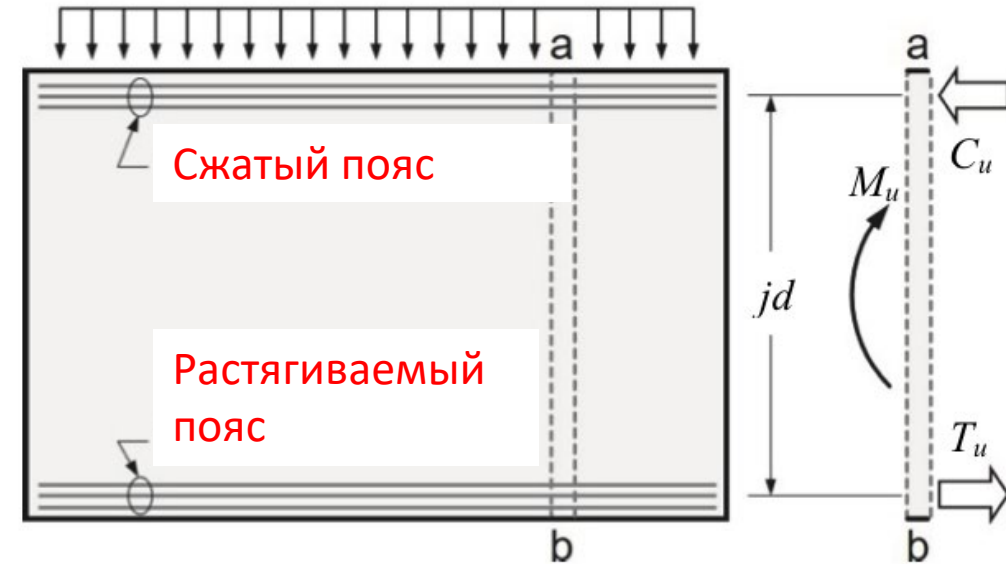
2) Стенка – сопротивление сдвигу [поперечной силе]



Компоненты [элементы] перекрытия: пояс

Пояс

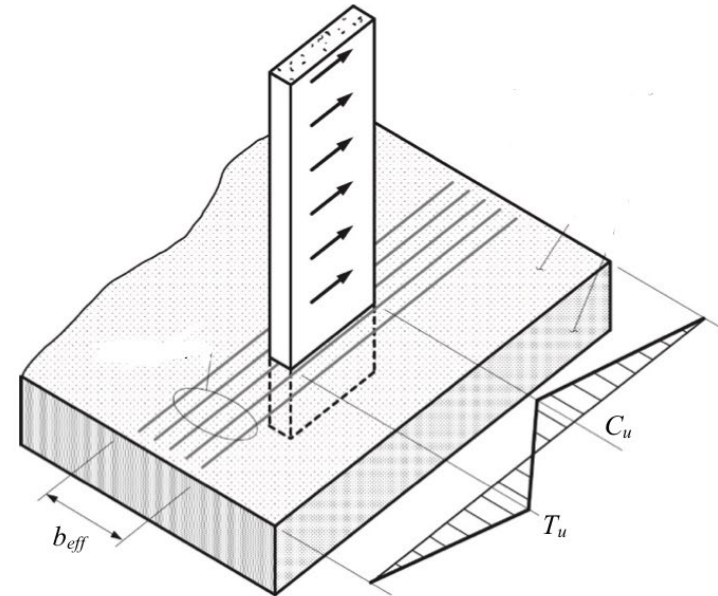
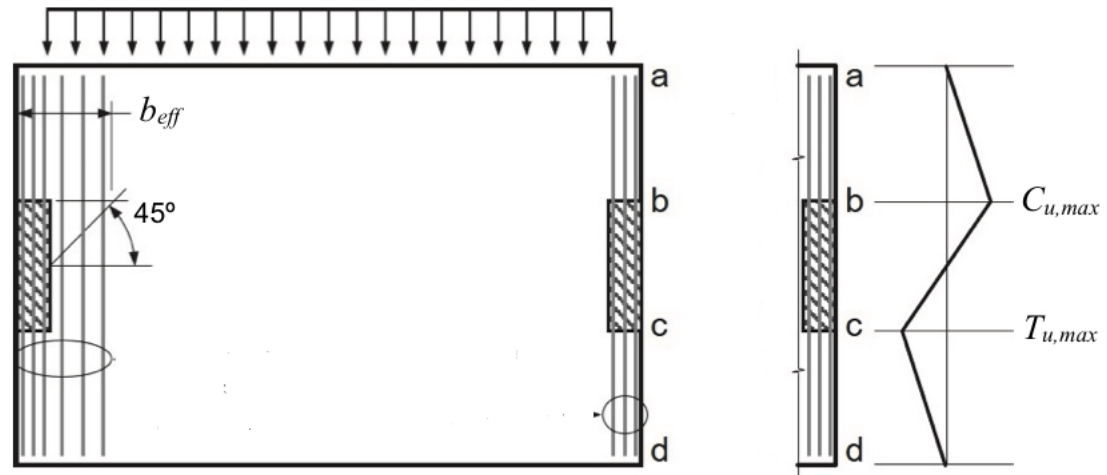
- Сопротивление растяжению / сжатию по периметру перекрытия;
 - Может быть в виде отдельного конструктивного элемента [**связи, горизонтальные включения**]
- или же предусматривать только дополнительные арматурные стержни по периметру каждого этажа



Section A-A

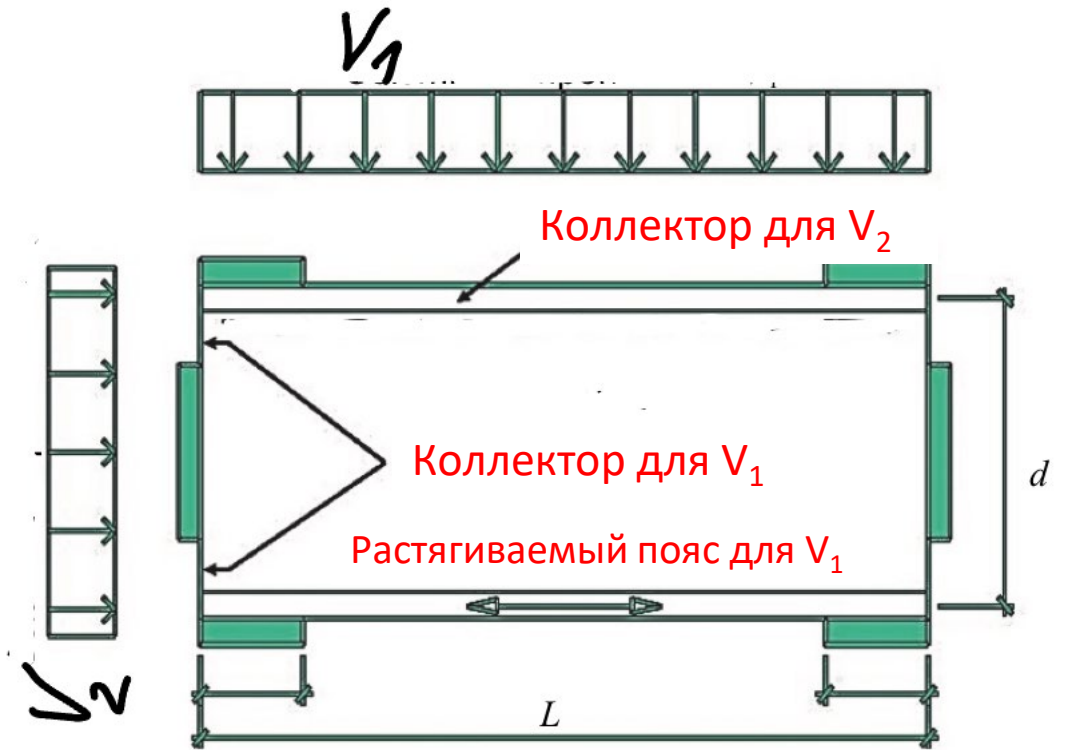
Компоненты [элементы] перекрытия – **коллектор**

Если вертикальные элементы конструктивной системы **не удлинены** по всей длине перекрытия, могут потребоваться **коллекторы** для сбора поперечной силы в перекрытии и распределения вертикальным элементам.



Пояс и коллектор – примеры

- Расчет и проектирование перекрытия на сейсмические воздействия следует учитывать в обоих горизонтальных направлениях;
- V_1 обозначает результирующую равномерно-распределенной нагрузки для направления 1;
- Коллектор в направлении 1 (V_1) расположен параллельно направлению нагрузки;
- Растягиваемый пояс в направлении 1 (V_1) перпендикулярен направлению нагрузки;
- Коллекторы и пояса также имеются в направлении 2, соответствующей силе V_2 .

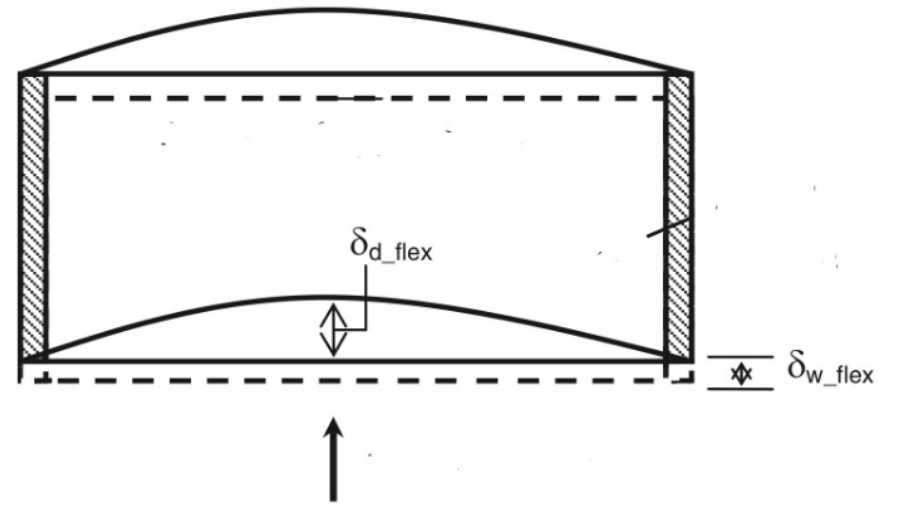
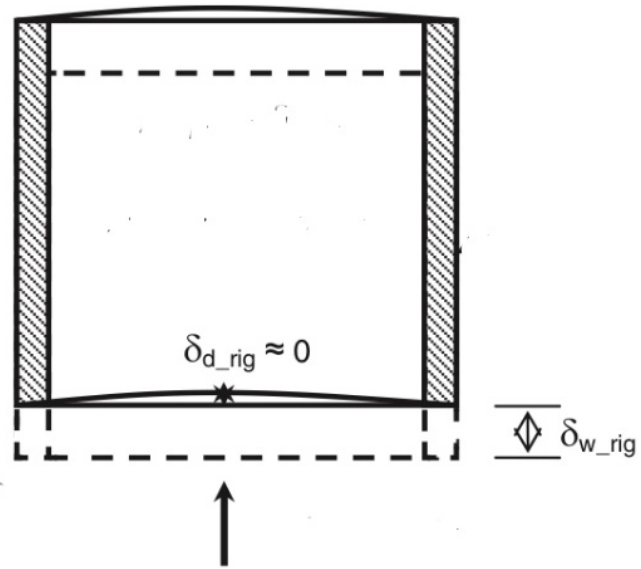


Классификация диска перекрытий относительно поведения

В зависимости от перемещений:

➤ Жесткие

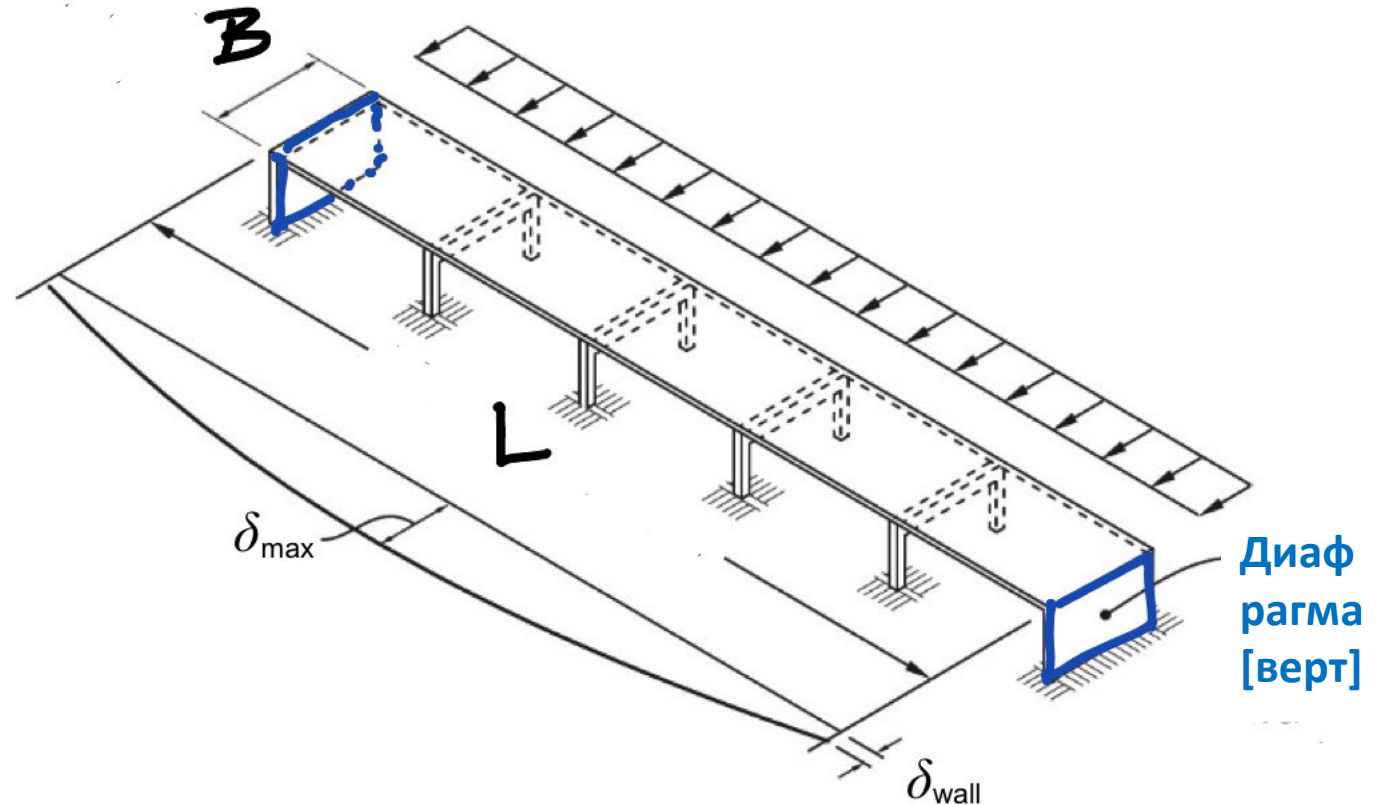
➤ Гибкие



Перемещение диска перекрытия

Перемещение диска
перекрытия = **относительное
перемещение**

$$\delta_{\max} - \delta_{\text{wall}}$$

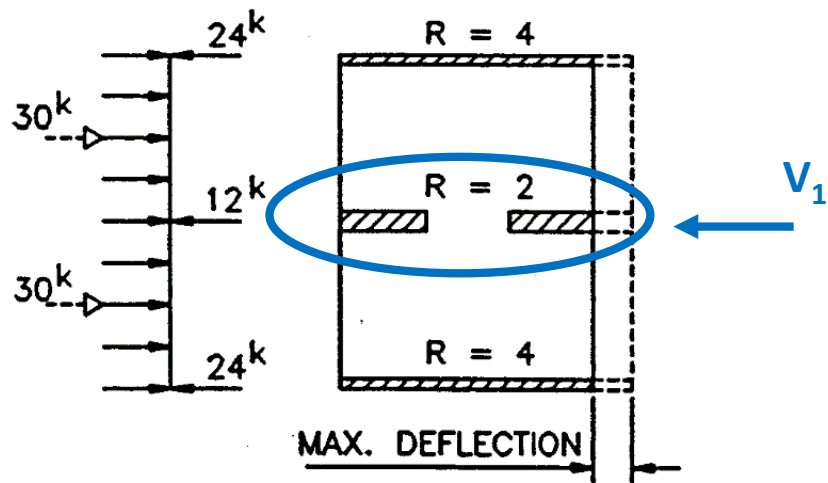


Поведение диска перекрытия – распределение внутренних усилий

Жесткий диск перекрытия – распределение горизонтальных сил на вертикальные элементы пропорционально их относительной жесткости

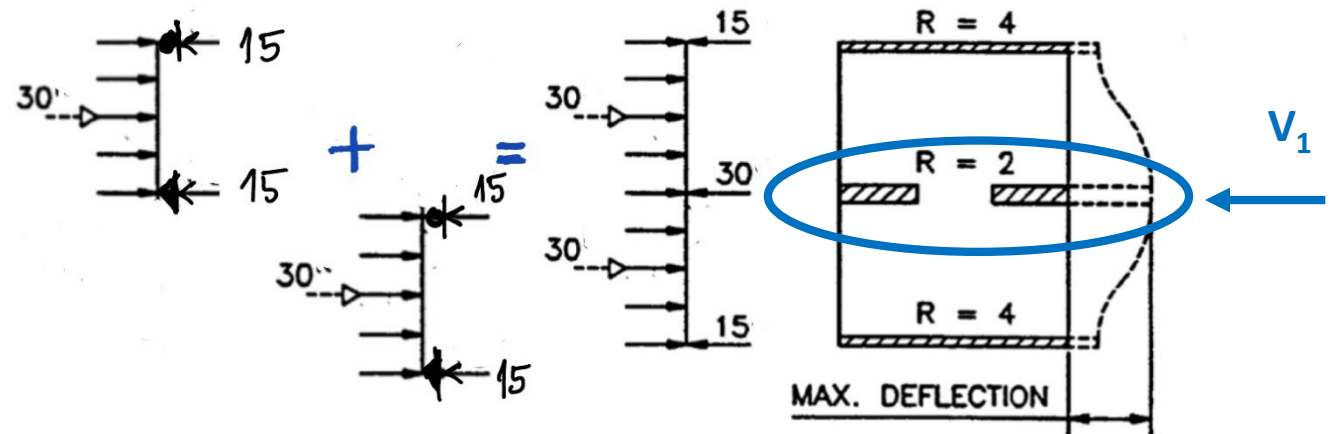
Гибкий диск перекрытия – распределение горизонтальных сил на вертикальные элементы не зависит от их относительной жесткости;
действует как ряд обычных простых балок, проходящих между вертикальными элементами

Жесткий и гибкий диск перекрытия: разница сил в вертикальных конструктивных элементах [стены/рамы]



Жесткий → распределение
силы пропорционально
жесткости R:

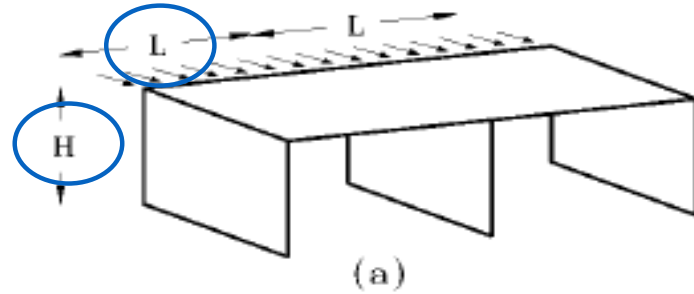
$$V_1 = 60 \cdot 2 / (2 + 4 + 4) = 12$$



Гибкий → распределение силы
пропорционально **длине пролета**

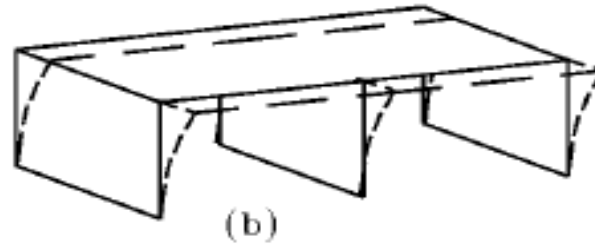
$$V_1 = 30/2 + 30/2 = 30$$

Жесткий или гибкий диск перекрытия? Зависит от H [высоты] и L [длины]



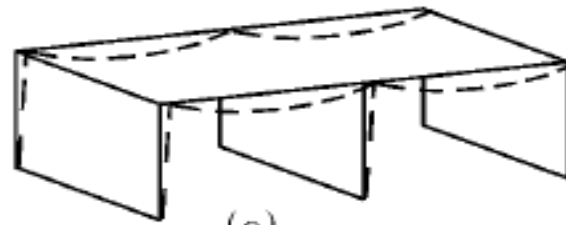
$H \uparrow$ $L \downarrow$

Жесткий



$H \downarrow$ $L \uparrow$

Гибкий

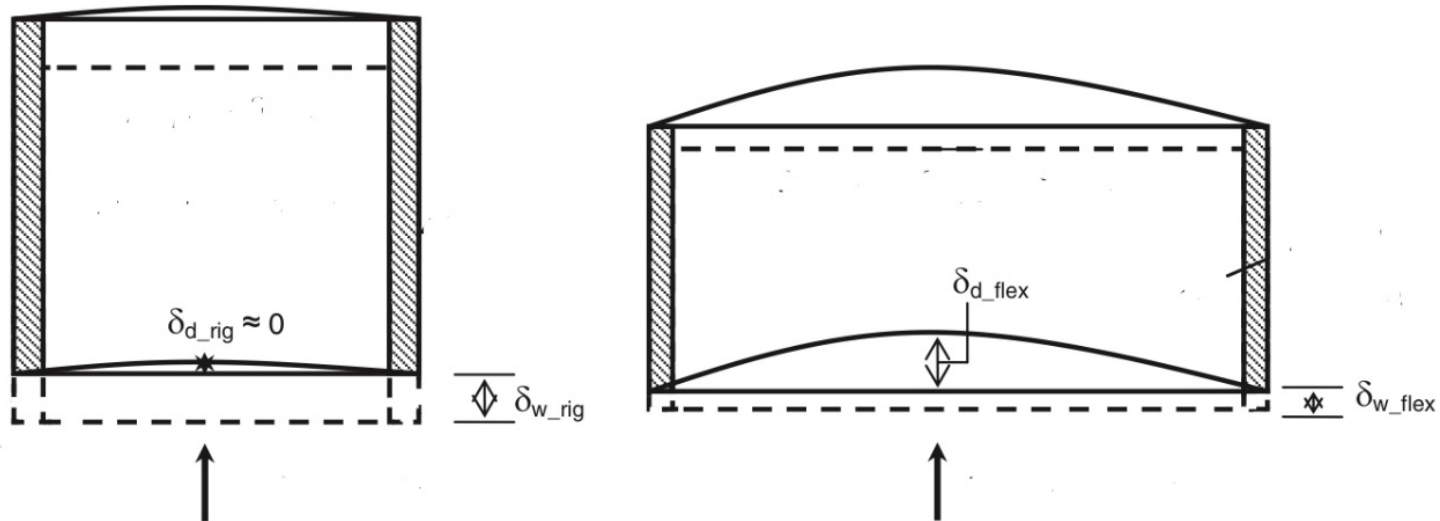


Source: Naeim (2001)

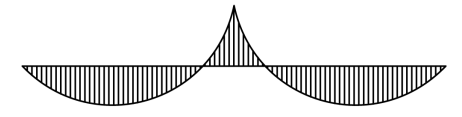
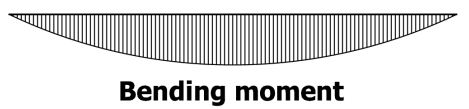
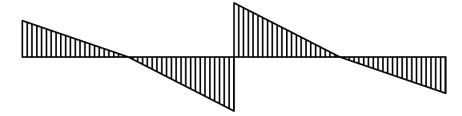
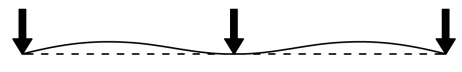
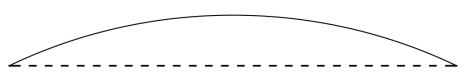
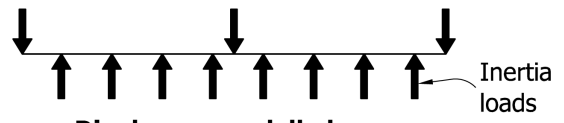
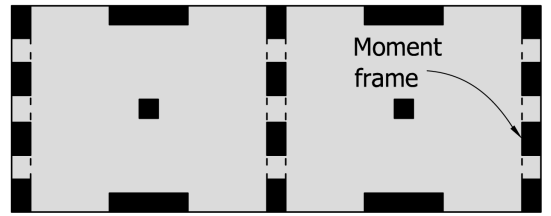
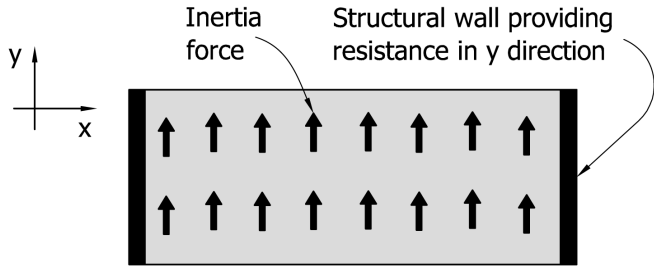
Поведение диска перекрытия – перемещения

Жесткий диск перекрытия – перемещение диска очень малы
относительно вертикальных элементов

Гибкий диск перекрытия – перемещение диска очень большие по
сравнению с вертикальными элементами



Диск перекрытия может иметь различные опоры



Однопролетная балка → 2 опоры

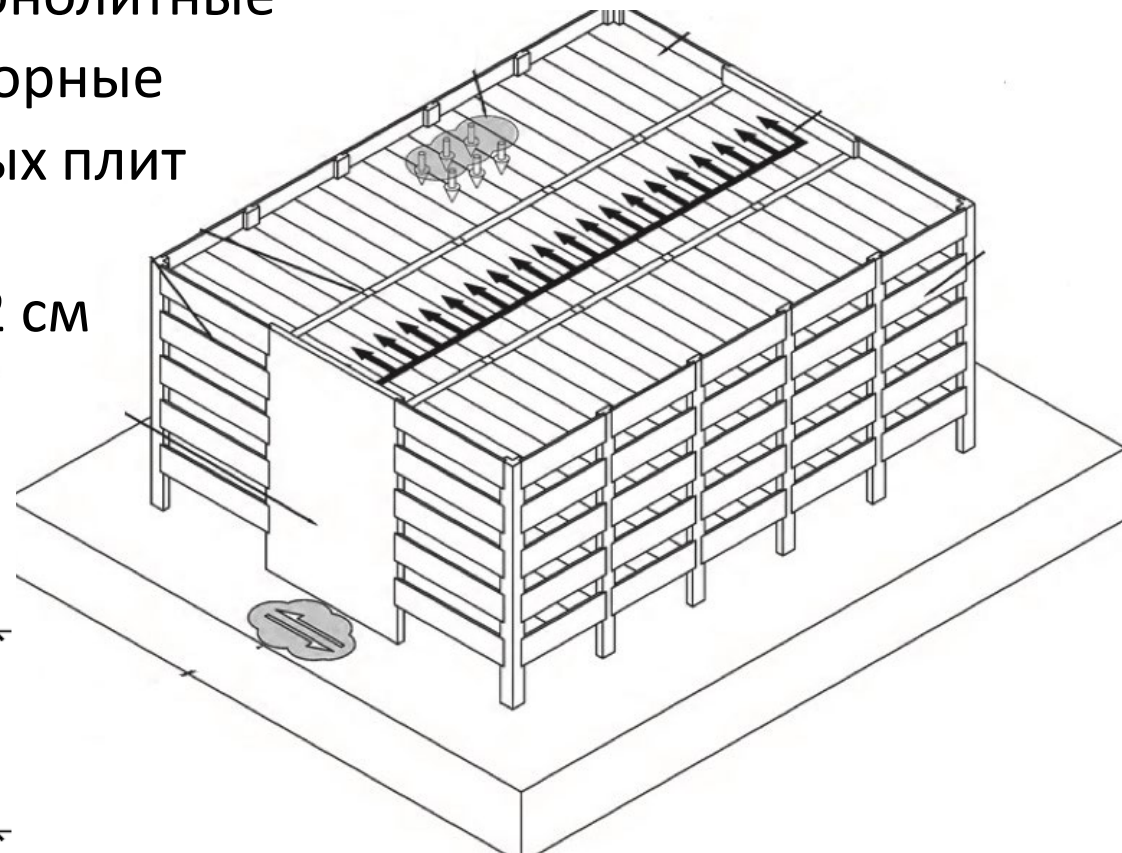
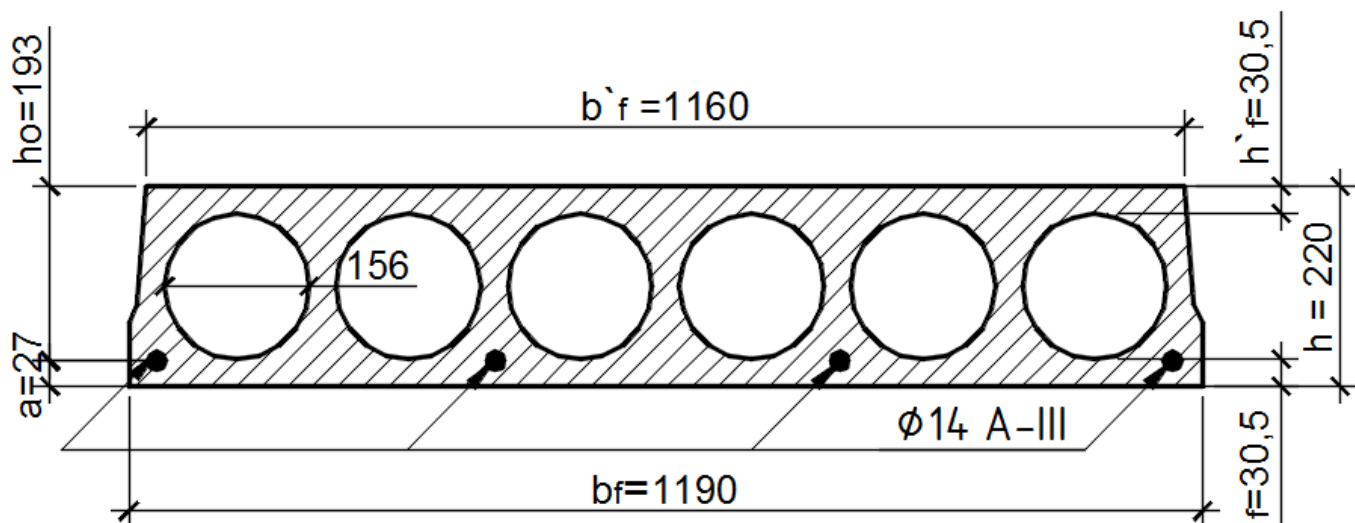
Многопролетная неразрезная балка → 3 или больше опор

Виды перекрытий / покрытий – в зависимости от материала и технологии строительства

- Деревянные
- Стальные
- Железобетонные
 - Монолитные
 - Сборные

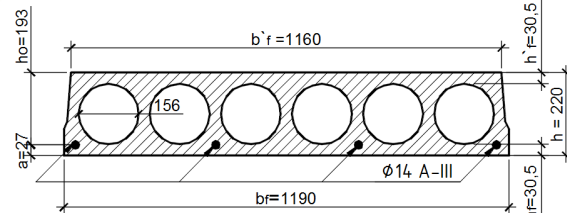
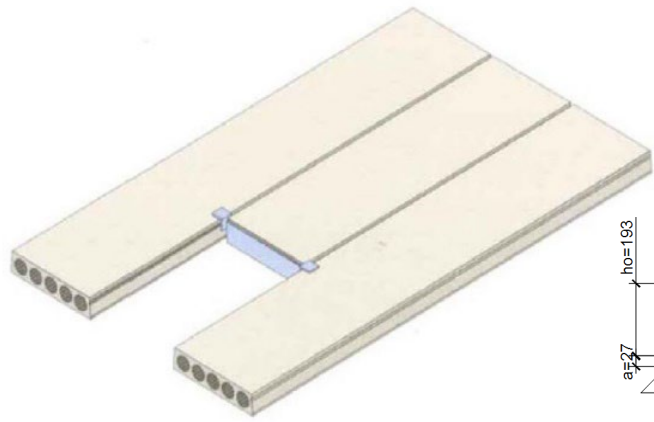
фокус на системе сборных ж/б многопустотных плит перекрытий

Обычная плита: ширина – 1.2 м; толщина – 22 см

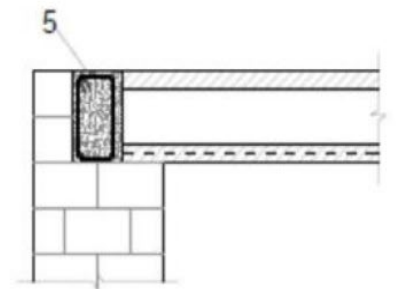
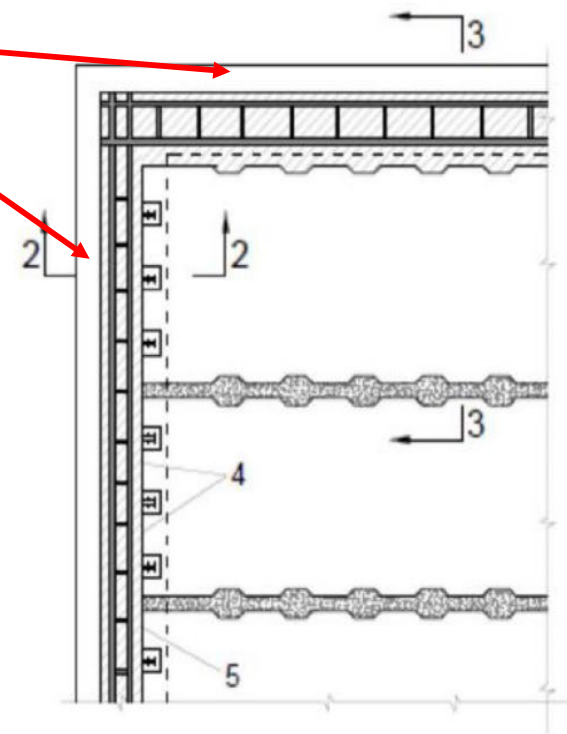


Система сборных ж/б многопустотных плит перекрытий

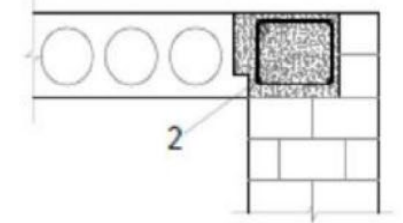
Широко используется при строительстве зданий в Кыргызской Республике и многих других странах. По периметру предусмотрен ж/б антисейсмический пояс.



ж/б
антисейсмический
пояс



Section 2-2



Section 3-3

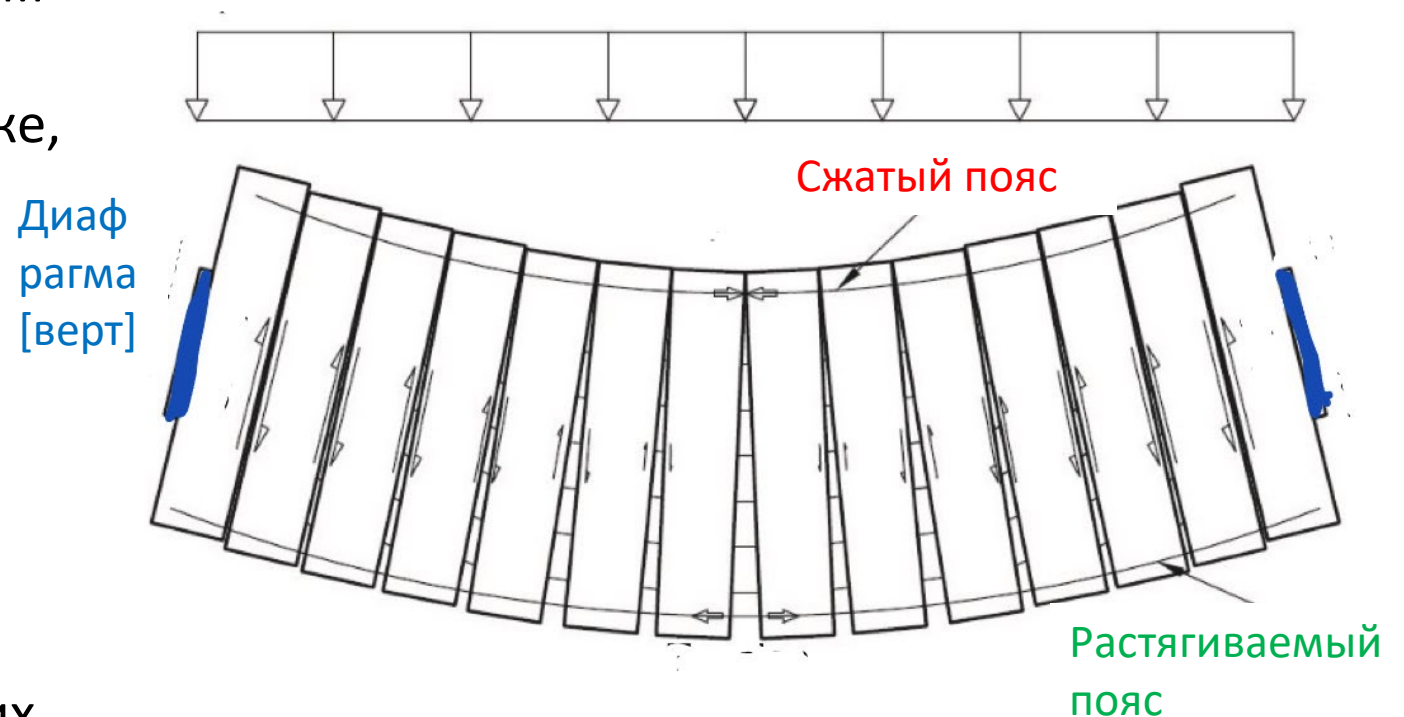
Система сборных ж/б многопустотных плит перекрытий – соединение между плитами

- Распространенное техническое решение в Кыргызской Республике для обеспечения соединений между сборными ж/б многопустотными плитами перекрытий заключается в замоноличивании швов между плитами цементным раствором;
- Решение основано на рекомендациях для типовой серии 2.140-5с Выпуск 1, опубликованных в Советском Союзе в 1983 году.



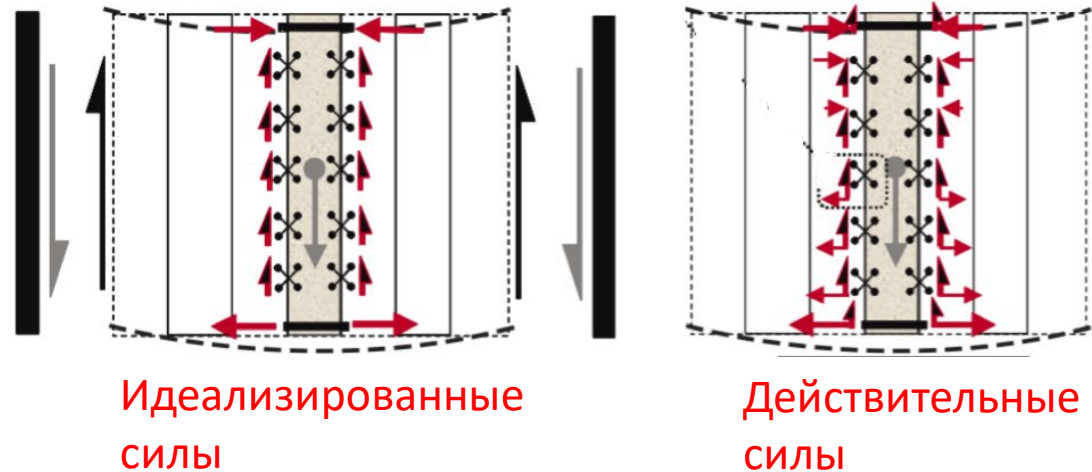
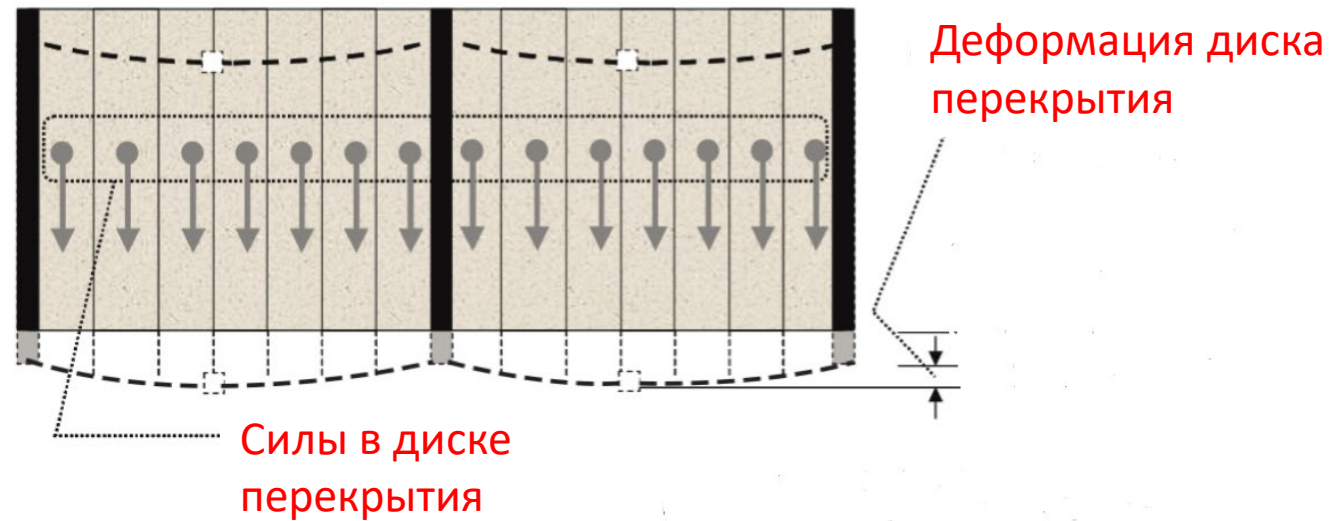
Система сборных ж/б многопустотных плит перекрытий – сейсмическое поведение

- Сборные ж/б многопустотные плиты перекрытия характеризуются наличием **швов (зазоров)** между плитами. При горизонтальной сейсмической нагрузке, плиты существует **тенденция к разделению** и перемещению относительно друг друга.
- Ж/б антисейсмические пояса по периметру плиты полезны для **уменьшения степени** относительного перемещения плит, при этом следует обеспечить армирование швов в обоих горизонтальных направлениях.



Сейсмические силы в узлах соединения между плитами

- **Силы в диске перекрытия** распределяются между соседними плитами через **стыки** соединения, которые являются критическими участками в сборных ж/б многопустотных плитах перекрытия.
- В **идеализированной работе**, на **стыки** соединения действуют только поперечные силы, однако в **действительности существуют усилия растяжения и сжатия**.



Сейсмическое поведение ж/б зданий со сборными ж/б многопустотными плитами перекрытий

- Землетрясение 1988 года в Армении привело к гибели более 25 000 чел.
- Большая часть потерь произошла из-за обрушения 9-этажных зданий сборной ж/б каркасной системы в Ленинакане. Разрушенные здания имели сборные ж/б колонны, балки и многопустотные плиты перекрытия.
- Перекрытия были **замоноличены** раствором между плитами, между тем единственное армирование было обеспечено в антисейсмических поясах на линиях колонн.



Разрушение зданий сборной ж/б каркасной системы в результате землетрясения в Армении в 1988 году, что было связано с низкой работоспособностью системы сборных ж/б многопустотных плит перекрытий

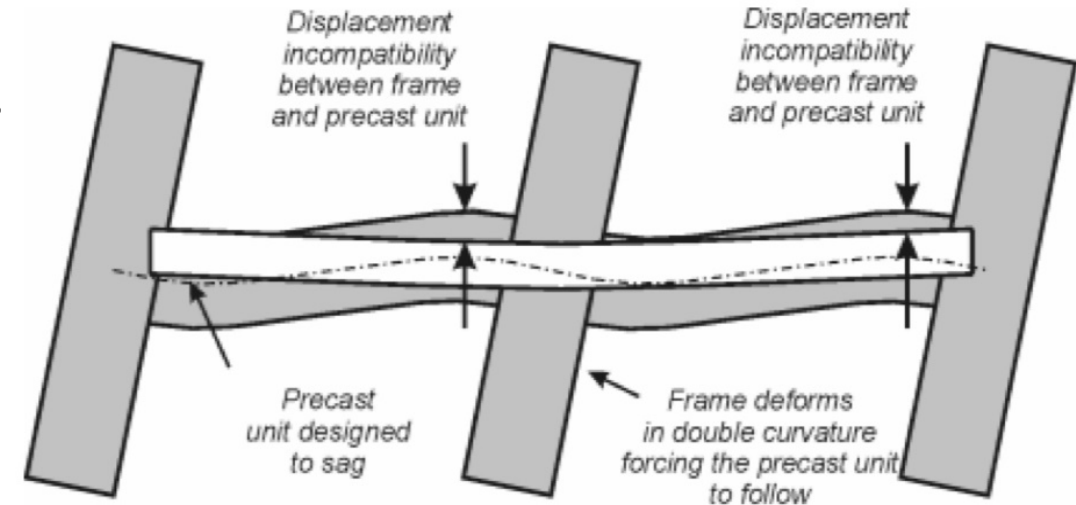
Источник: Раздел 3.6.2.3, Бржев и Бегалиев [2018]

Сейсмическое поведение ж/б зданий со сборными ж/б многопустотными плитами перекрытий

- Экспериментальные исследования и **прошлые землетрясения** в Новой Зеландии подтвердили **плохую работоспособность** [обрушение] сборных ж/б многопустотных плит перекрытий в каркасных зданиях.
- Ожидается, что в **жестких ж/б каркасных системах**, на концах балок образуются пластические шарниры при воздействии сильных землетрясений. В результате **продольная арматура в балках удлинится и, как следствие, увеличится длина балки.**
- Соединения между дисками перекрытий и балками должны иметь **достаточную податливость**, чтобы **выдерживать деформации**, а **перекрытие должно иметь целостность**, чтобы сопротивляться **возникающим силам.**

Дополнительную информацию см. в разделах 3.6.2.2 и 3.6.2.3

[Бржев и Бегалиев, 2018]



Сейсмическое поведение ж/б каркаса со сборными ж/б многопустотными плитами перекрытий – разрушение системы перекрытия из-за деформаций рамной системы

Сейсмическое поведение каменных зданий со сборными ж/б многопустотными плитами перекрытий

Землетрясение в Албании, 26 ноября 2019 г. [магнитуда 6,4]

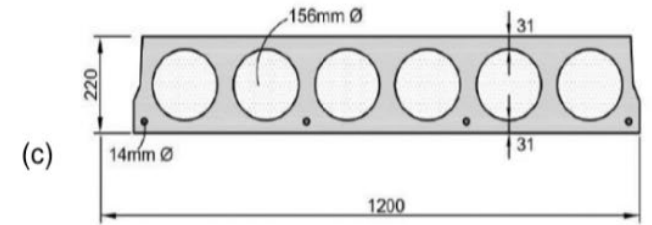
Разрушение зданий из неармированной каменной кладки со сборными ж/б многопустотными плитами перекрытий



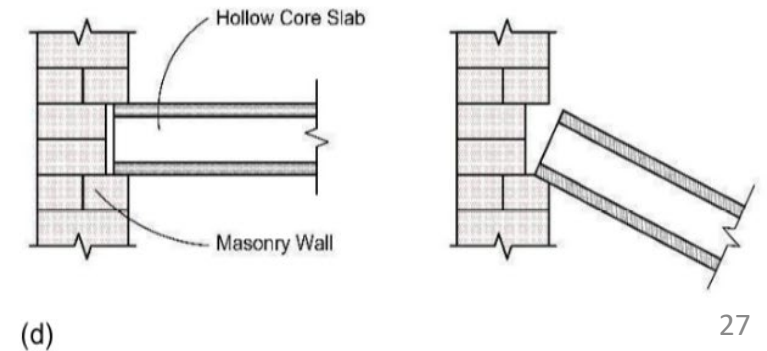
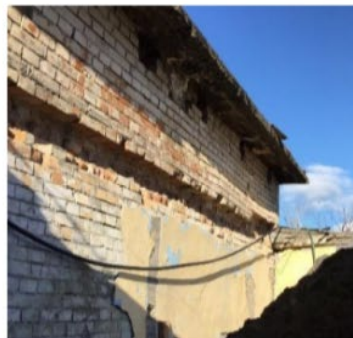
(a)



(b)



(c)

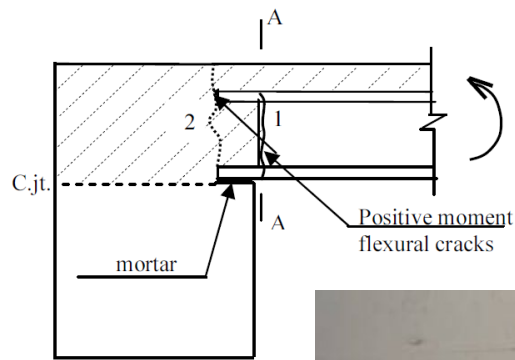


(d)

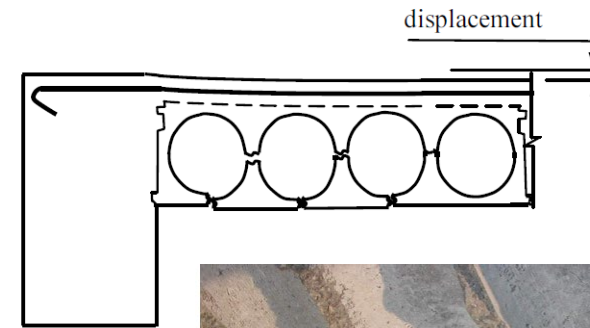
Источник: EERI [2022]

Экспериментальные исследования сборных ж/б многопустотных плит перекрытий

За последние 30 лет в Новой Зеландии были проведены обширные экспериментальные исследования сейсмического поведения сборных ж/б многопустотных плит перекрытий. [Fenwick, Bull, and Gardiner, 2010]



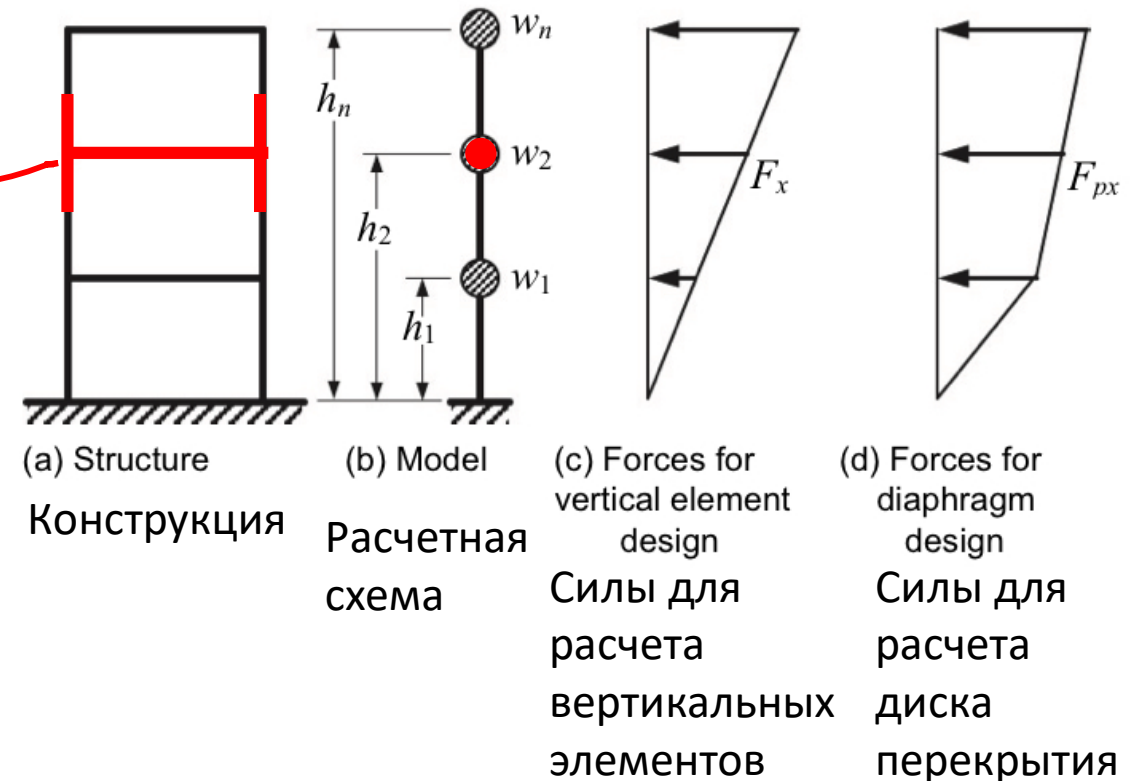
Разрушение сборной ж/б многопустотной плиты перекрытия по торцам при сдвиге



Разрушение сборной ж/б многопустотной плиты перекрытия из-за **характерного смещения** между плитой и соседней балкой

Расчетные сейсмические силы, воздействующие на диск перекрытия

- При сейсмической нагрузке, **инерционные силы формируются** внутри диска перекрытия и **трибутарных частей** стен, колонн и других элементов, а затем распределяются дисками перекрытий на вертикальные элементы.
- **Инерционные силы F_{px}** на каждом этаже равны **произведению массы w** и соответствующего **спектрального ускорения** для этого этажа, полученного в результате **модального анализа**.
- Допускается использовать **инерционные силы по преобладающей форме колебания**.
- Инерционные силы можно получить в результате расчета и анализа в ПК ЛИРА.



Расчет и проектирование диска перекрытия на прочность при сейсмическом воздействии – возможные методы

Цель проектирования и расчета на сейсмические воздействия – получить **относительно жесткие и не повреждаемые диски перекрытий**, способные соединить воедино вертикальные элементы **системы сопротивления сейсмическому воздействию**.

Два альтернативных **подхода** могут быть использованы для **определения сил, воздействующих на диск перекрытия в упругой постановке расчета**:

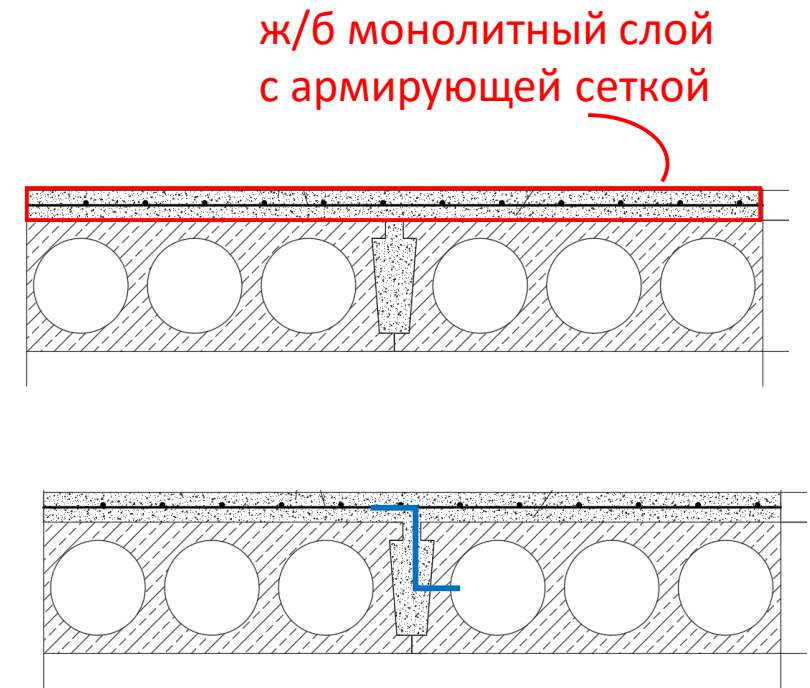
1) Можно использовать процедуру «Капаситивного проектирования», которая требует, чтобы диск перекрытия был прочнее, чем самые большие нагрузки, которые могут быть приложены [аналогично концепциям, объясненным для балок и колонн в каркасной системе]. **Диск перекрытия должен быть спроектирован и рассчитан на достаточную прочность**, чтобы оставаться в **упругой стадии**, в то время как вертикальные элементы системы [рамы и/или стены] при сейсмическом воздействии ведут себя не упруго.

2) Можно использовать **расчетные силы в упругой стадии**, которые могут **расчетным землетрясением в действительно упругой конструкции**. В этом случае снижения силы не происходит [значение коэффициента поведения $q = 1.0$].

Рекомендуется применить второй подход, поскольку возможно сложно - точно определить прочность вертикальной системы [что необходимо для первого подхода].

Расчетные требования по системе сборных ж/б многопустотных плит перекрытий на сейсмическое воздействие – международная практика

- Чтобы обеспечить достаточную прочность соединений на сдвиг и обеспечить целостность системы сборного ж/б перекрытия при сейсмических воздействиях, международные нормы проектирования по сейсмостойкому строительству предписывают устраивать ж/б монолитный слой поверху перекрытия.
- Устройство ж/б монолитного слоя для системы сборных ж/б многопустотных плит перекрытий требуется нормами проектирования по сейсмостойкости сооружений во многих странах, включая США, европейские страны, Новую Зеландию и т.д.
- Для достижения связи ж/б монолитного слоя и сборных ж/б многопустотных плит перекрытия, между ними следует предусмотреть **арматурные анкеры**.
- **В Кыргызстане при строительстве зданий со сборными ж/б многопустотными плитами перекрытий рекомендуется использовать ж/б монолитный слой.**



Расчетные требования по системе сборных ж/б многопустотных плит перекрытий на сейсмическое воздействие – международная практика

- Нормы проектирования предписывают минимальную толщину слоя бетона не менее 40 – 50 мм, а стальное армирование должно быть предусмотрено в двух ортогональных направлениях.
- **Прочность диска перекрытия на сдвиг** равна прочности железобетонного слоя – прочность системы сборных ж/б многопустотных плит перекрытий не учитывается.
- Количество необходимой арматуры [размер и шаг] для ж/б монолитного слоя определяется на основе инженерных расчетов, которые выполняются по той же методике, что и проверка прочности системы перекрытия на сдвиг.

Проверка прочности диска сборных ж/б многопустотных плит перекрытий на сдвиг: процедура расчета

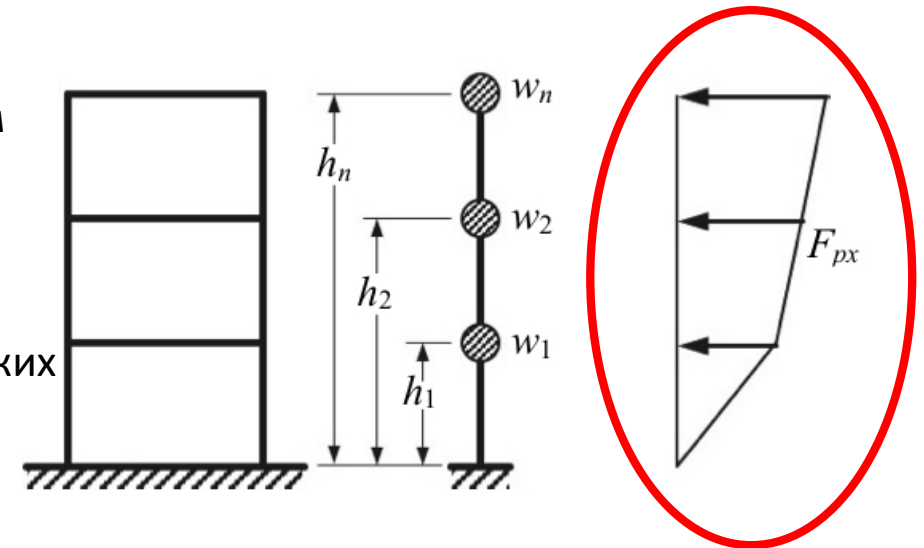
Этапы:

1) Определение расчетных сил:

- a) Определение инерционных сил на каждом этаже [по результатам расчета и анализа в ПК ЛИРА];
- b) **Определение эквивалентной равномерно-распределенной нагрузки, действующей на эквивалентную балку;**
- c) Расчет опорных реакций и расчетных поперечных сил в критических сечениях диска перекрытия.

2) Проверка прочности горизонтального диска сборных ж/б многопустотных плит перекрытий на сдвиг в критических сечениях:

- a) Рассмотрим диск без учета ж/б слоя [текущая практика строительства в Кыргызстане];
- b) Рассмотрим диск с учетом ж/б слоя [международная практика].



1) Проверка прочности диска перекрытия на сдвиг – определение расчетных сил

Инерционные силы для конкретного этажа V_d – получены в результате расчета и анализа в ПК ЛИРА.

Инерционные силы – **в упругой постановке [без учета коэффициентов нагрузок]**

Равномерно-распределенная нагрузка:

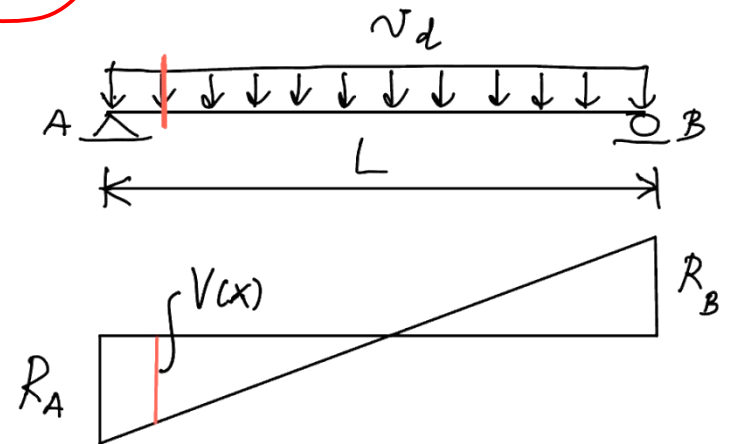
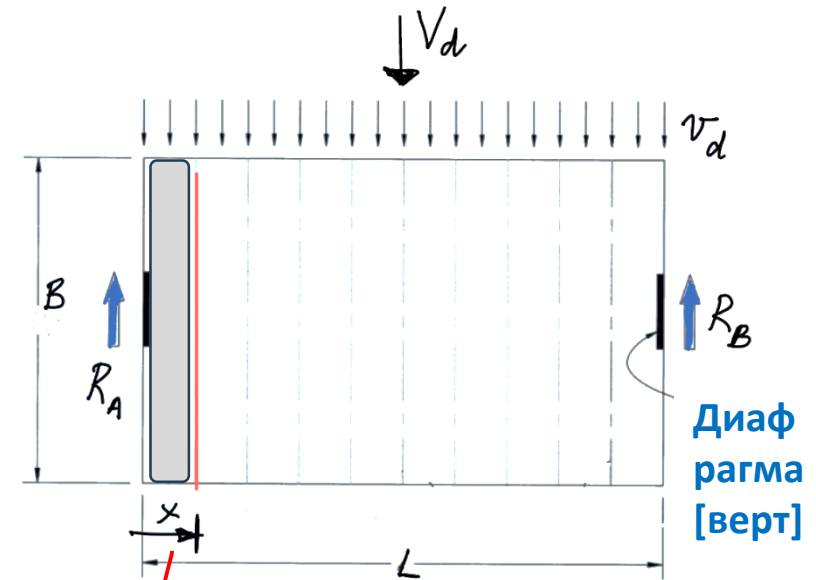
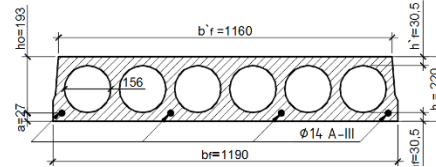
$$v_d = \frac{V_d}{L}$$

Опорные реакции:

$$R_A = R_B = \frac{v_d \cdot L}{2}$$

Поперечная сила **на критических сечениях** [расстояние x от опор] – обычно $x = 1.2$ м [ширина многопустотной плиты]:

$$V(x) = R_A - v_d \cdot x$$



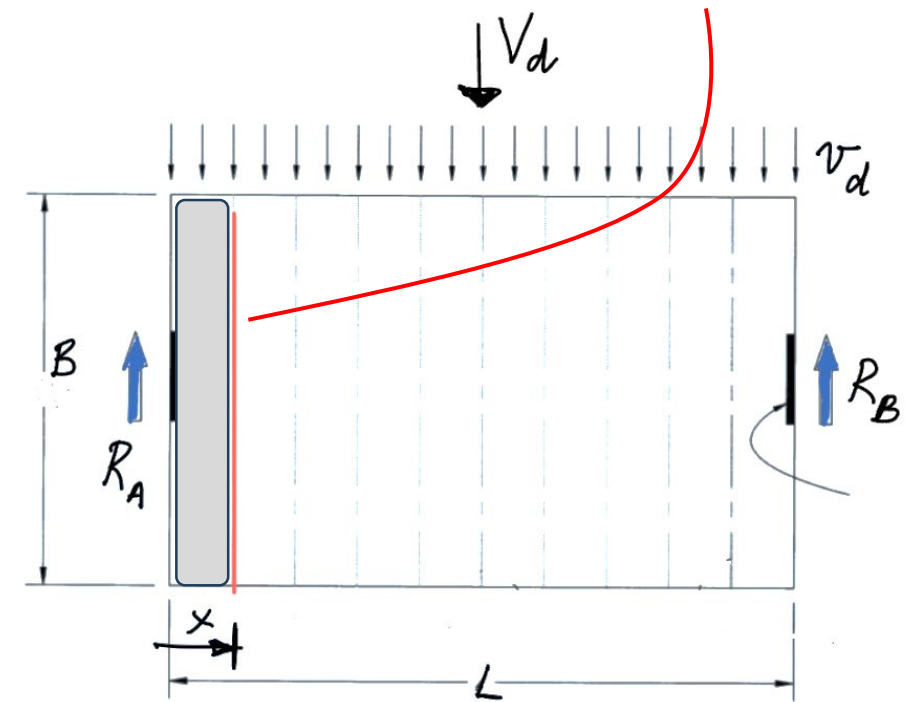
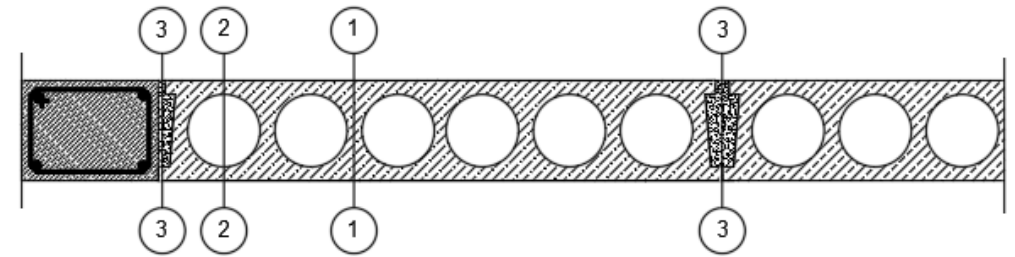
2) Проверка прочности диска перекрытия на сдвиг без учета ж/б слоя – критические сечения

Следует учитывать и рассматривать 3 критических сечений:

- 1) Внутри плиты [сплошная часть между пустотами];
- 2) Внутри плиты [уменьшенная глубина в месте расположения пустот], и
- 3) В **стыке** соединения между плитами.

Сечения 2) и 3) особенно важны, поскольку представляют собой слабые места внутри диска перекрытия данного типа;

Сечение 3) считается наиболее важным, поскольку в данном сечении, вся поперечная сила должна **передаваться на соединение**, которое считается разрывом если следовать современной практике строительства [зазор между плитами заполняется раствором].



2а) Проверка прочности на сдвиг в критических сечениях

1) Цель расчета:

$$Q_{ult} \geq V_x$$

2) Расчетная поперечная сила: $V_{(x=1.2м)}$ [как объяснялось ранее]

3) Предельная поперечная сила определяется по СН КР 52-02:2022 или СП 63.13330.2018 следующим образом:

$$Q_{ult} = Q_b + Q_{sw}$$

В текущей практике в Кыргызстане, предельная поперечная сила основана только на поперечной силе, воспринимаемой бетоном [прочности на сдвиг] - Q_b

$$Q_{sw} = 0$$

Следовательно:

$$Q_{ult} = Q_b = \frac{\varphi_{b2} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0^2}{c} \quad (8.57)$$

$$\varphi_{b2} = 1.5$$

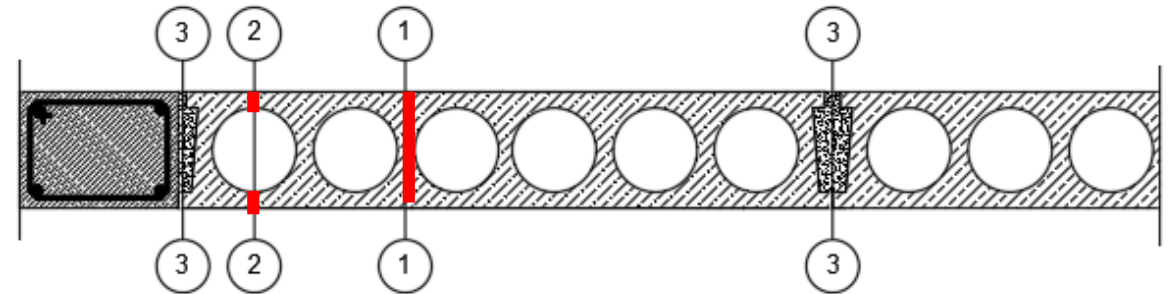
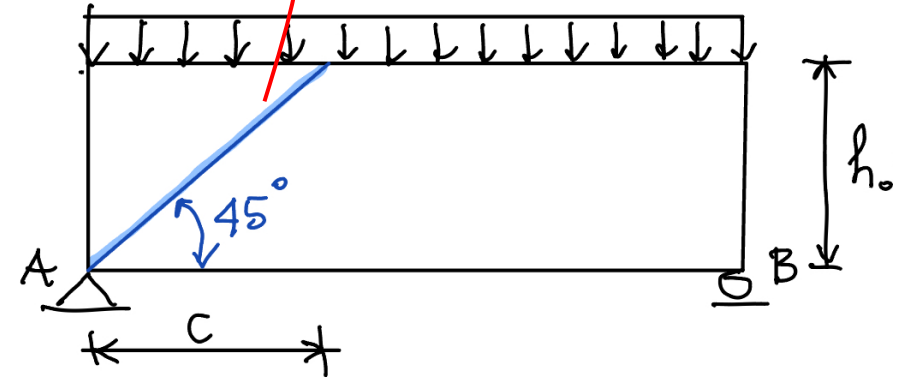
R_{bt} = прочность бетона на растяжение по СН КР 52-02:2022 или СП 63.13330.2018

$$c = h_0$$

b = глубина сечения в зависимости от местоположения
Следующее упрощенное уравнение будет использовано:

$$Q_b = \varphi_{b2} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0$$

Предполагаемая трещина при сдвиге



Различные значения b зависят от сечения

2а) Проверка прочности на сдвиг в критических сечениях

Проверка прочности бетона на восприятие поперечной силы в критических сечениях:

$$Q_b = \varphi_{b2} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0$$

Сечение 1: Внутри плиты [между пустотами];

$b = 220$ мм [полная толщина / глубина плиты]

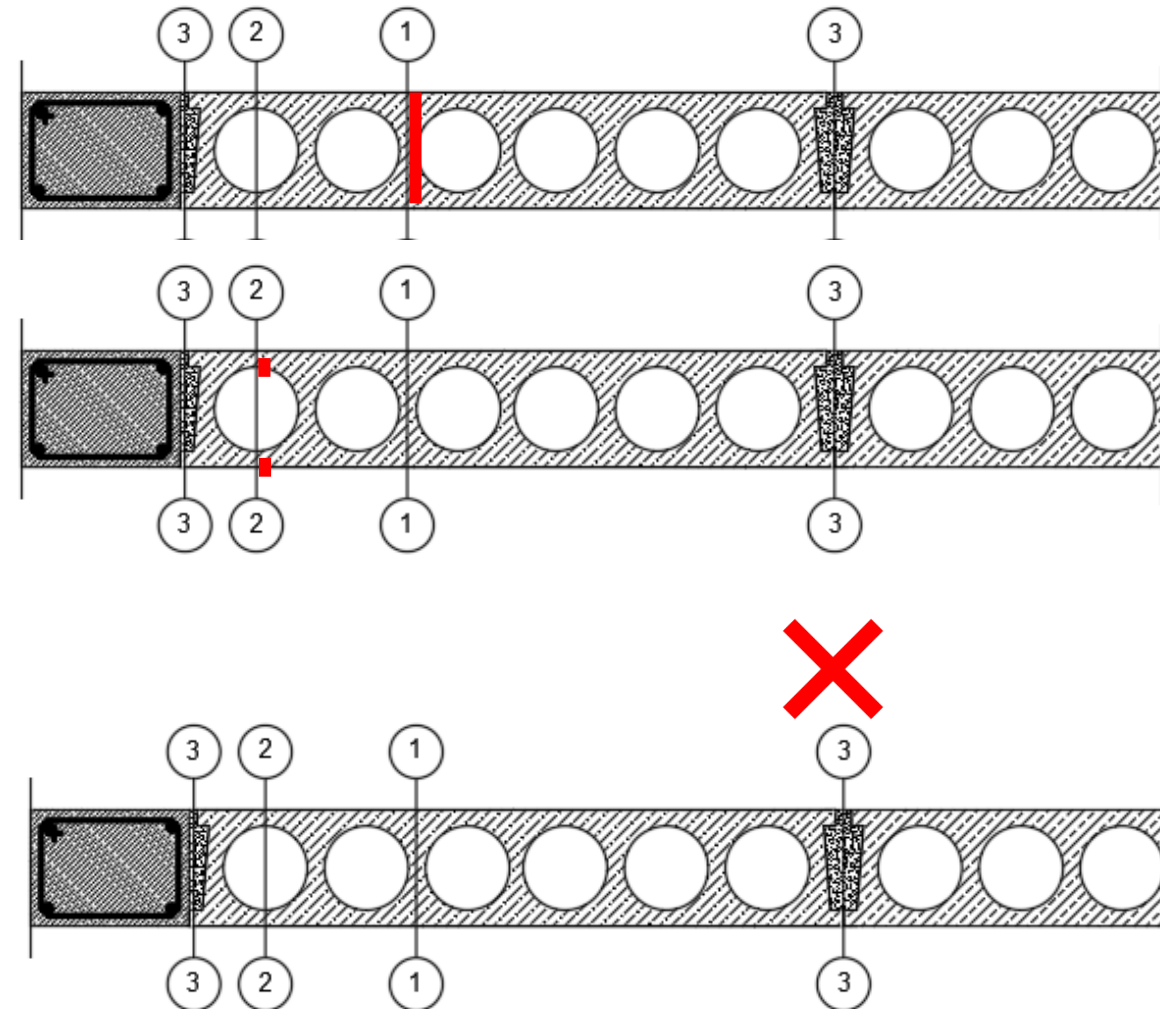
Сечение 2: Внутри плиты [в расположении пустоты]

b приблизительно - 60 мм [уменьшенная толщина / глубина плиты для учета пустоты]

Сечение 3: На узле [стыке] между соседними плитами

По международным нормам проектирования $Q_b = 0$, поскольку неармированный узел соединения считается разрывом. Замоноличенный раствор не может сопротивляться сдвигающим и растягивающим усилиям в узле [стыке] при циклических сейсмических нагрузках.

Согласно местным нормам проектирования Q_b можно рассчитать по вкладу бетонных шпонок – см. формулу Е.2, СП 63.13330.2018.



2b) Проверка прочности сборных ж/б многопустотных плит перекрытий на сдвиг с учетом ж/б монолитного слоя

Расчетные силы такие же, как и раньше.

Предельная поперечная сила определяется по СП 63.13330.2018 следующим образом:

$$Q_{ult} = Q_b + Q_{sw}$$

Прочность бетона на восприятие поперечной силы [сдвиг] Q_b зависит только от ж/б слоя.

При необходимости, дополнительная прочность на сдвиг может быть обеспечена многопустотными плитами перекрытия [как рассчитано ранее по этапу 2a].

Следующая формула может быть использована для определения прочности бетона на восприятие поперечной силы [сдвиг] с учетом ж/б слоя:

$$Q_b = \varphi_{b2} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0$$

$$\varphi_{b2} = 1.5$$

$$R_{bt} = \text{прочность бетона на растяжение по СП 63.13330.2018}$$

$$C = h_0$$

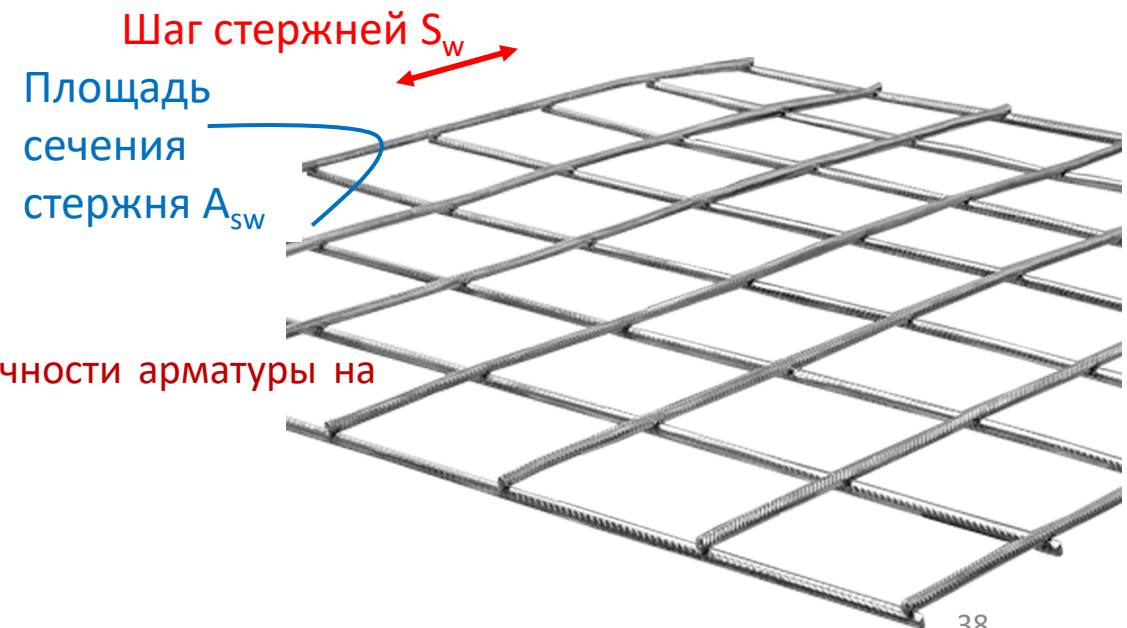
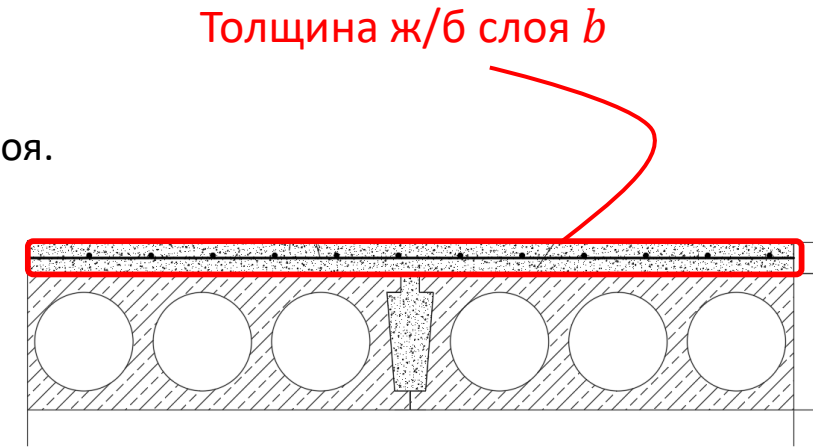
$$b = \text{толщина ж/б слоя}$$

Следующая формула может быть использована для определения прочности арматуры на восприятие поперечной силы с учетом ж/б слоя:

$$Q_{sw} = \varphi_{sw} \cdot q_{sw} \cdot C$$

$$\varphi_{sw} = 0.75$$

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} \cdot A_{sw}}{S_w} \quad R_{sw} = \text{прочность арматуры на растяжение по СП 63.13330.2018}$$



2b) Проверка прочности сборных ж/б многопустотных плит перекрытий на сдвиг с учетом ж/б монолитного слоя

Следует отметить, что при наличии ж/б слоя, нет необходимости выполнять проверку на разных сечениях (1, 2 и 3). Проверку следует выполнить только один раз. Цель – доказать, что

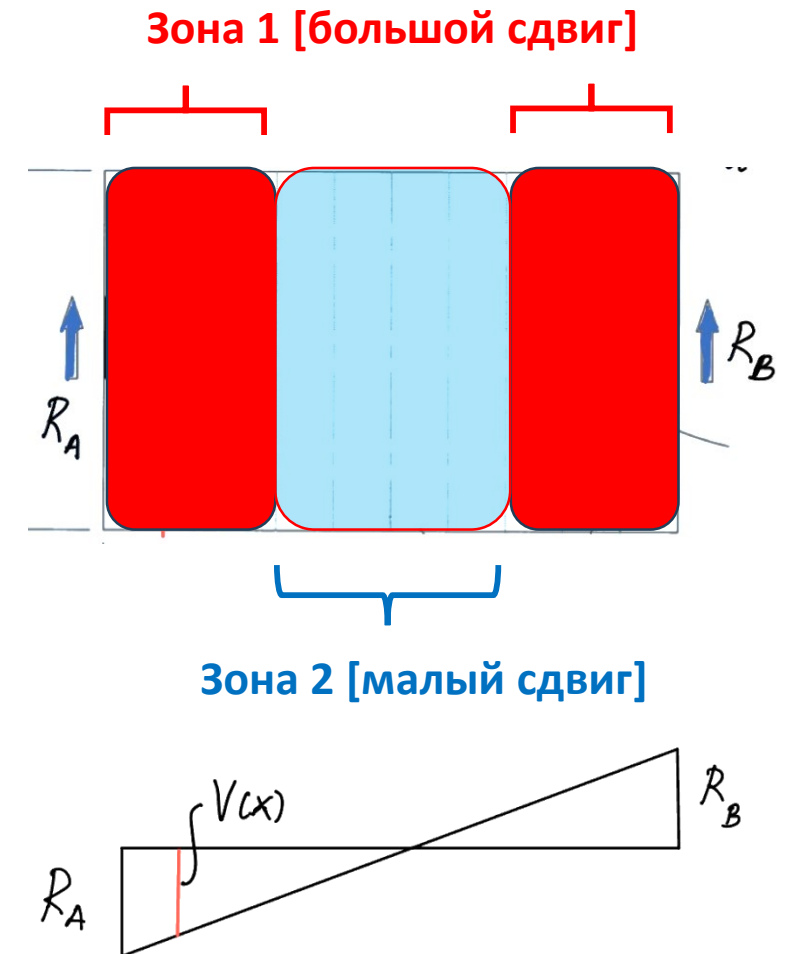
$$Q_{ult} \geq V_x$$

Толщину ж/б слоя можно оставить прежней (40-50 мм), однако размер и шаг армирования можно варьировать в зависимости от расположения в пролете перекрытия.

Предположительно максимальные расчетные силы будут находиться вблизи опор, следовательно к середине пролета диска перекрытия, силы уменьшаются.

Можно выделить две зоны [зона 1 и зона 2]. Размер армирования можно оставить одинаковым для обеих зон, однако шаг между ними может варьироваться.

Для зоны 1, требуется использовать меньший шаг армирования, а для зоны 2, можно использовать больший шаг армирования.



2b) Проверка прочности сборных ж/б многопустотных плит перекрытий на сдвиг с учетом ж/б монолитного слоя

Расчетные силы такие же, как и раньше – **определенные** в конкретных местах узлов соединения [н.: $x=1.2$ м, $x=2.4$ м].

Арматурные анкеры [размер и шаг] определяются таким образом, чтобы расчетная поперечная сила была меньше прочности анкера на сдвиг:

$$V_{[x=1.2 \text{ м}]} \leq [R_s \cdot A_s] \cdot \frac{B}{S}$$

Где

$[R_s \cdot A_s]$ - поперечная сила на 1 анкер, с прочностью на растяжение R_s и площадью сечения арматуры A_s

R_s = **прочность арматуры на растяжение** по СП 63.13330.2018

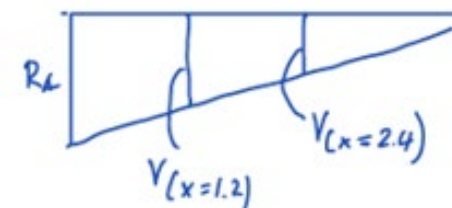
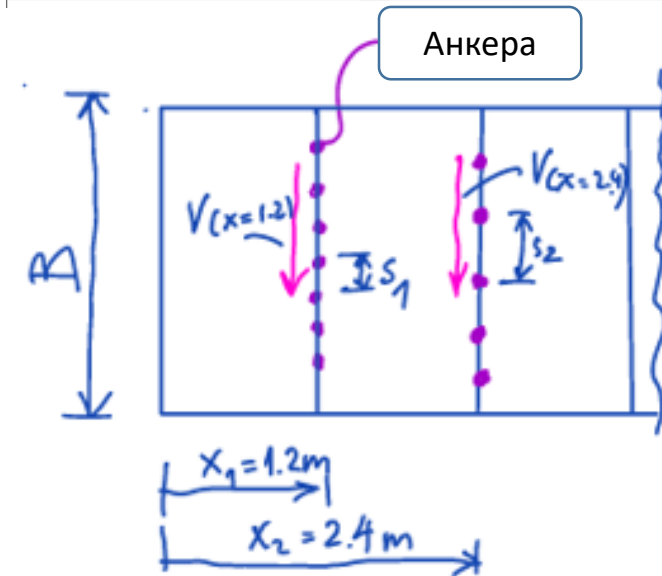
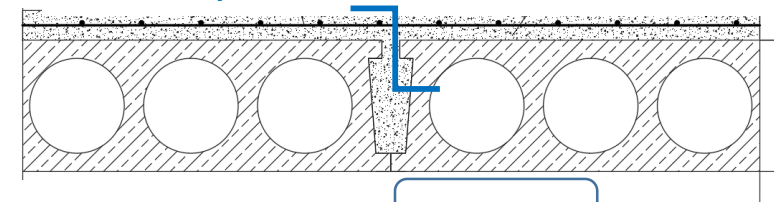
$\frac{B}{S}$ - это количество анкеров, необходимое для одного узла соединения [н.: $x=1.2$ м], которое зависит от размера диска перекрытия B [длины или ширины] и шага между анкерами S .

Диаметр стержня можно принять, н.: $\emptyset 8$, $\emptyset 10$, $\emptyset 12$ и др.

Наконец, необходимый шаг между анкерами можно рассчитать по формуле:

$$S \leq [R_s \cdot A_s] \cdot \frac{B}{V_{[x=1.2 \text{ м}]}}$$

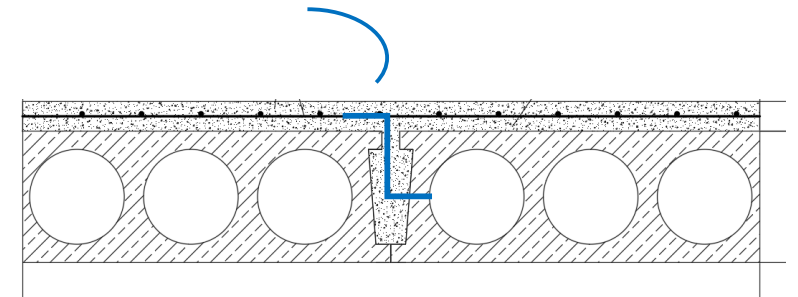
Арматурные анкеры устраиваются в швы [зазоры] между многопустотными плитами.



2b) Проверка прочности сборных ж/б многопустотных плит перекрытий на сдвиг с учетом ж/б монолитного слоя

- Требуемый шаг **между арматурными анкерами** можно **определить** из представленных формул. Можно изменить размер и шаг **между стальными анкерами** в зависимости от местоположения, а шаг должен быть одинаковым вдоль одного и того же **стыка**.
- Аналогичный подход можно использовать, как объяснялось ранее, в отношении распределения армирования для ж/б монолитного слоя.

Спецификация арматурного анкера: $\varnothing 12$ мм, шаг - 40 см, Арматура класса А400

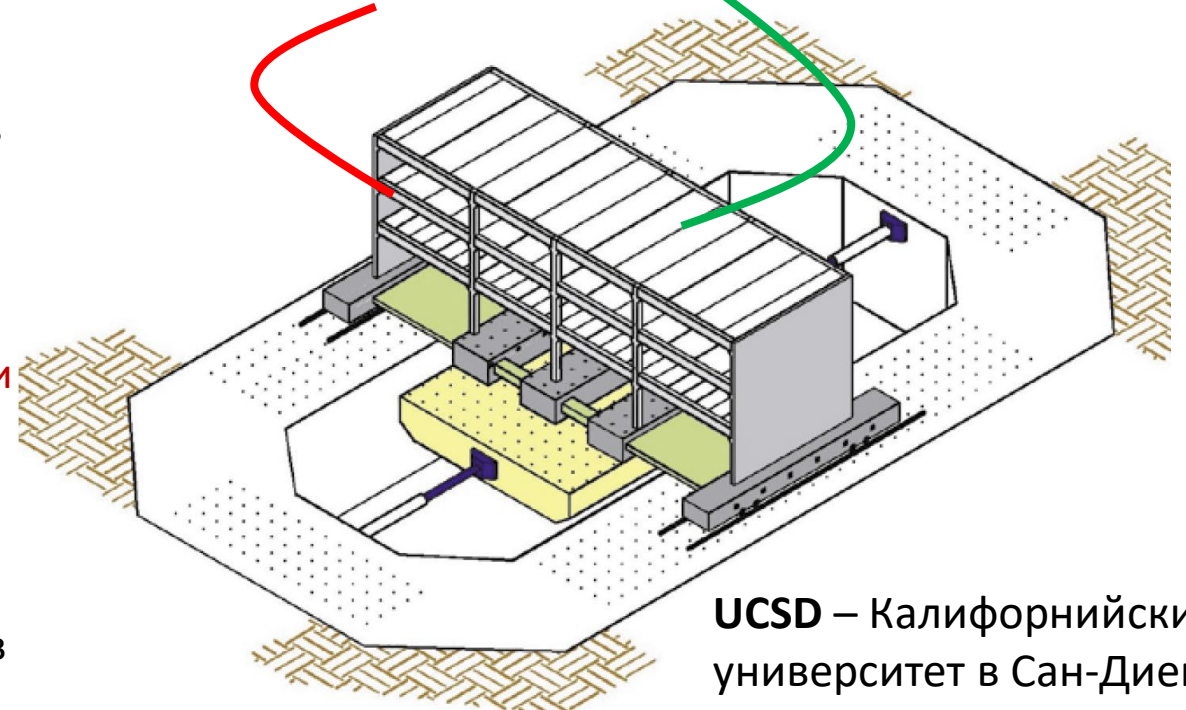


Исследование 3-х этажного здания со сборными ж/б перекрытиями на виброплатформе в UCSD, Калифорния

Крупный проект по исследованию сейсмического поведения зданий со сборными ж/б перекрытиями, получивший название *The Diaphragm Seismic Design Methodology Project* [DSDM], проводился в США с 2004 по 2011 год.

Спонсор проекта Национальный научный фонд [NSF] и NEES [NEES-2005-0046] и выполнялся исследователями из трех университетов, в том числе Калифорнийского университета в Сан-Диего [UCSD], где расположена самая большая во всем мире - виброплатформа на открытом воздухе.

Исследователи испытали полу-масштабную модель 3-х этажного сооружения для парковки авто с двумя различными системами сборных ж/б конструкций: с многопустотными плитами [на втором этаже] и с «Т-образной ребристой» системой [первый и третий этаж]. Модель имитировала поведение аналогичных сооружений для парковки авто, которые обрушились во время землетрясения в Нортридже в 1994 году в Калифорнии.

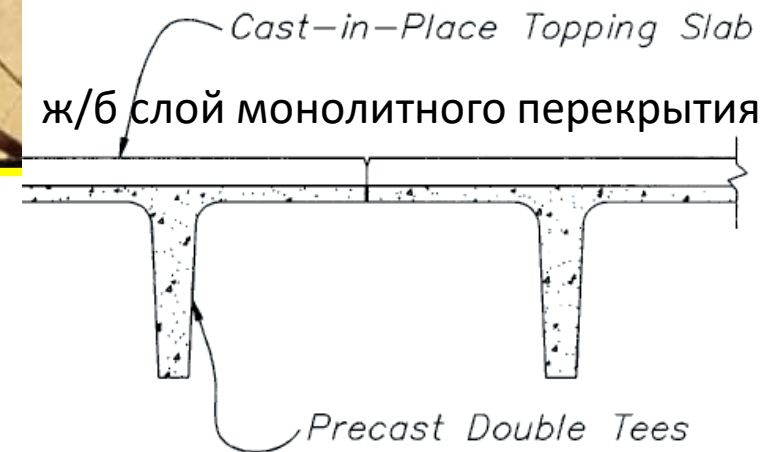
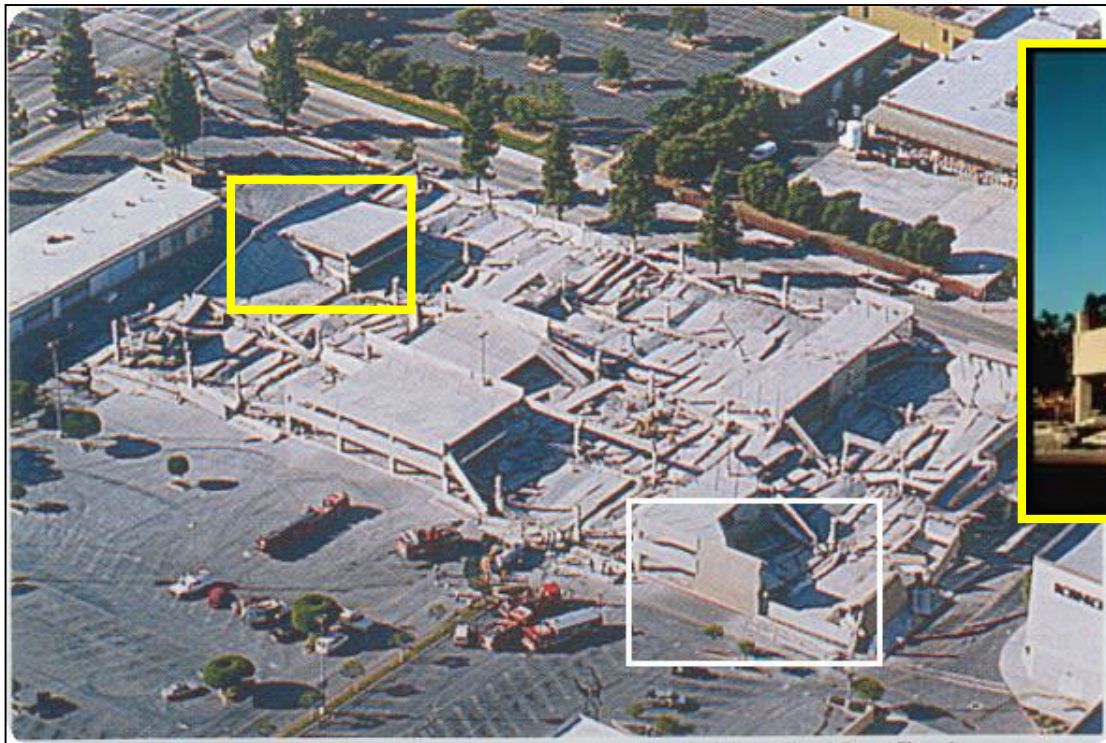


UCSD – Калифорнийский университет в Сан-Диего

DSDM – Проект по методу проектирования и расчета диска перекрытия на сейсмические воздействия

Исследование было мотивировано разрушением зданий с **системой сборных Т-образных ребристых перекрытий** во время землетрясения в Нортридже, Калифорния, в 1994 году.

Гаражи / авто паркинги, построенные из **сборных ж/б «Т-образных ребристых» перекрытий**, обрушились при землетрясении.



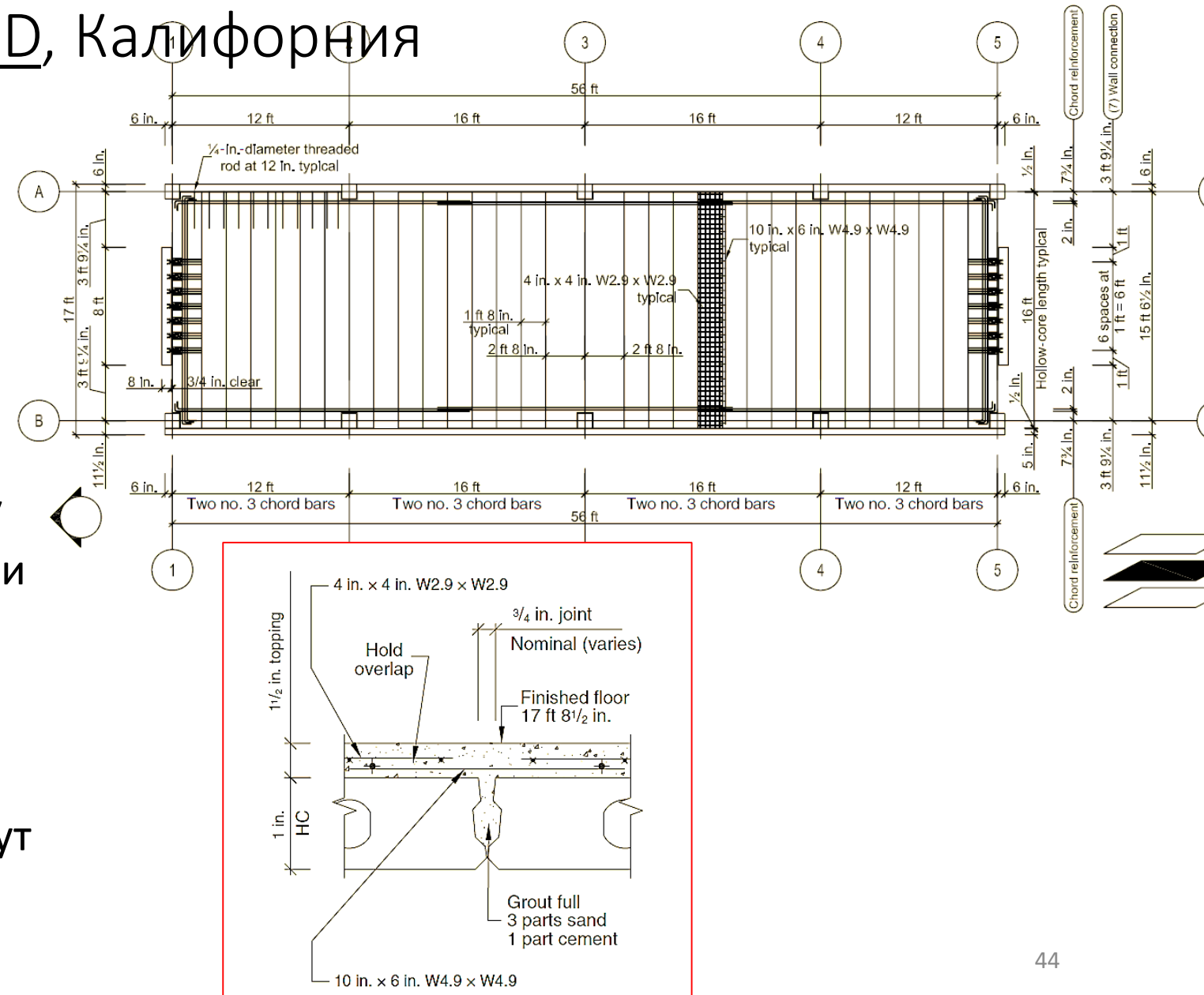
Сборные Т-образные ребристые перекрытия

Исследование 3-х этажного здания со сборными ж/б перекрытиями на виброплатформе в UCSD, Калифорния

Второй этаж построен из **многopустотных плит перекрытий с ж/б монолитным слоем**. На плане этажа указана длина – 17.1 м и ширина – 5.2 м.

Ж/б монолитный слой имел толщину 38 мм и был армирован арматурными стержнями с шагом 100 мм.

Важно отметить, что это модель в масштабе 1/2, поэтому **размеры конструкции в полном масштабе будут другими**.



Исследование 3-х этажного здания со сборными ж/б перекрытиями на виброплатформе в UCSD, Калифорния

Конструкция второго этажа построена из **многopустотных плит перекрытий с ж/б монолитным слоем**. На плане этажа указана длина – 17.1 м и ширина – 5.2 м.

Ж/б монолитный слой имел толщину 38 мм и был армирован арматурными стержнями с шагом 100 мм.

Важно отметить, что эта модель в масштабе $\frac{1}{2}$, поэтому **размеры фактического здания** будут больше.



Модель до испытания – см. перекрытие второго этажа, которое построено из многopустотных плит перекрытий

Исследование 3-х этажного здания со сборными ж/б перекрытиями на виброплатформе в UCSD, Калифорния

- Модель подверглась нескольким различным землетрясениям с большими ускорениями. Максимальное пиковое ускорение грунта [PGA] составило 0.61g, а **соответствующее пиковое ускорение покрытия – 0.97g.**
- Модель была повреждена во время испытаний и отремонтирована, но не обрушилась.
- Второй этаж с многопустотными плитами перекрытий и ж/б монолитным слоем показал себя очень хорошо.
- Дополнительную информацию можно найти в статье **Schoettler et al. (2009)** – см. слайд «Техническая литература».

Более длительное видео об этом проекте на YouTube [57 минут]:

<https://www.youtube.com/watch?v=C2Z1zmrJhsc>



Diaphragm Seismic Design Methodology by PCI

 Coreslab
213 subscribers

Subscribe

6



Share

Download



Модель во время испытаний – короткое видео [3 минуты]
<https://www.youtube.com/watch?v=iPLOX9auIQ>

Техническая литература [ссылки]

1. ACI 318-14 (2014). Building Code Requirements for Structural Concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA.
2. Бржев, С. и Бегалиев, У. (2018). Практическое пособие по проектированию и конструированию сейсмоусиления зданий школ в Кыргызской Республике URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/765151593525566669/pdf/Practical-Seismic-Design-and-Construction-Manual-for-Retrofitting-Schools-in-The-Kyrgyz-Republic.pdf>
3. Bull, D. K. (2004). Understanding the complexities of designing diaphragms in buildings for earthquakes. URL: <https://doi.org/10.5459/bnzsee.37.2.70-88>
4. EERI Earthquake Reconnaissance Report: M6.4 Albania Earthquake on November 26, 2019 URL: [https://www.learningfromearthquakes.org/images/earthquakes/2019 Albania Earthquake/EERI Earthquake Reconnaissance Report - M6.4 Albania Earthquake on November 26 2019.pdf](https://www.learningfromearthquakes.org/images/earthquakes/2019%20Albania%20Earthquake/EERI%20Earthquake%20Reconnaissance%20Report%20-%20M6.4%20Albania%20Earthquake%20on%20November%2026%202019.pdf)
5. Fenwick, R. C., Bull, D. K. and Gardiner, D. R. (2010). Assessment of Hollow-core Floors for Seismic Performance, Research Report, 2010-02, Department of Civil and Natural Resources Engineering, University of Canterbury, New Zealand URL: <https://ir.canterbury.ac.nz/items/c5e75c66-a001-435c-9d70-3bb0d313d2c0>
6. Fleischman, R.B., Clay J. Naito, José Restrepo, Richard Sause, S.K. Ghosh (2005). Precast Diaphragm Seismic Design Methodology (DSDM) Project, Part 1: Design Framework. PCI Journal, V. 50, No. 5: pp.68-83. URL: https://www.pci.org/PCI_Docs/Publications/PCI%20Journal/2005/Sept-Oct/Seismic%20Design%20Methodology%20for%20Precast%20Concrete%20Diaphragms%20Part%201%20-%20Design%20Framework.pdf
7. NIST (2016). Seismic design of cast-in-place concrete diaphragms chords, and collectors: A guide for practicing engineers, Second Edition, GCR 16-917-42, NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 3, produced by the Applied Technology Council for the National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. URL: <https://www.nehrp.gov/pdf/nistgcr10-917-4.pdf>
8. NIST (2017). Seismic design of precast concrete diaphragms: A guide for practicing engineers, GCR 17-917-47, NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 13, produced by the Applied Technology Council for the National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. URL: <https://www.nehrp.gov/pdf/nistgcr10-917-4.pdf>
9. Schoettler, M.J., Andrea Belleri, Dichuan Zhang, José I. Restrepo, Robert B. Fleischman (2009). Preliminary results of the shake-table testing for the development of a diaphragm seismic design methodology. PCI Journal, V. 54, No. 1 (September-October): pp.100-124. URL: https://www.pci.org/PCI_Docs/Publications/PCI%20Journal/2009/Winter/Preliminary%20results%20of%20the%20shake-table%20testing%20for%20the%20development%20of%20a%20diaphragm%20seismic%20design%20methodology.pdf

Спасибо за
ваше внимание!

