УДК 699.8

DOI 10.37153/2687-0045-2021-14-125-128

**ВЛИЯНИЕ ПОДАТЛИВОСТИ АНКЕРНЫХ УПОРОВ
НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРЫТИЯ**

Тонких Г. П.

доктор технических наук, профессор кафедры ЖБК НИУ МГСУ, г.н.с. ФГБУ ВНИИ
ГОЧС. E-mail: 5059144@mail.ru

Чесноков Д. А.

аспирант кафедры ЖБК НИУ МГСУ, инженер по сертификации АО «Хилти
Дистрибьюшн ЛТД». E-mail: chesnokovdenis23@gmail.com

Аннотация: Согласно существующей практике проектирования сталежелезобетонных перекрытий, анкерные упоры, обеспечивающие совместную работу опорных стальных балок и железобетонной плиты, могут быть учтены как жесткие или гибкие. Учет податливости упоров позволяет запроектировать оптимальную с экономической точки зрения конструкцию и повысить ее сейсмостойкость. В рамках данного исследования рассмотрены результаты испытаний фрагментов сталежелезобетонных балок, проведенных авторами ранее. Объединение стальной и железобетонной частей сечения было выполнено с помощью угловых упоров, закрепляемых с помощью стальных дюбелей. В заключении дается оценка податливости и целесообразности применения данного типа упоров для сейсмостойкого строительства.

Ключевые слова: анкерные упоры, сталежелезобетонные перекрытия, сталежелезобетонные балки, дюбельные соединения

**THE INFLUENCE OF THE SHEAR CONNECTORS DUCTILITY
ON THE SEISMIC RESISTANCE OF COMPOSITE STEEL-CONCRETE FLOORS**

Tonkikh G.P.

Doctor of Engineering, professor, at Moscow State University of Civil Engineering, chief
researcher at Civil Defense National Research Institute E-mail: 5059144@mail.ru

Chesnokov D.A.

postgraduate at Moscow State University of Civil Engineering, engineer in Hilti Distribution LTD.
E-mail: chesnokovdenis23@gmail.com

Abstract: According to the existing practice of composite structure design, shear connectors, which provide an interaction of supporting steel beams and reinforced concrete slabs, can be considered as ductile or non-ductile. Taking into account the ductility of connectors allows designer to create an optimal structure from an economic point of view and increase its earthquake resistance. Within the framework of this study, the results of push-testing composite specimen conducted by the authors earlier are considered. The powder-actuated shear connectors had been used for providing interaction between the steel and reinforced concrete parts. In conclusion, the assessment of the ductility and expediency of using powder-actuated shear connectors for earthquake-resistant construction is given.

Keywords: shear connectors, composite floors, composite beams, dowel fastening

Анкерные упоры служат для обеспечения совместной работы стальных балок с железобетонными плитами в сталежелезобетонных перекрытиях. В мире существует два подхода к расчету и проектированию таких перекрытий: (full connection), так и с частичным (partial connection) объединением стальной и железобетонной частей сечения [1].

При полном объединении перемещение плиты относительно стальной балки не допускается, упоры в расчете принимаются жесткими и проектируются таким образом, чтобы их суммарное сопротивление было больше или равно сдвигающей силе в шве объединения на каждом расчетном участке. Предельным состоянием для такой конструкции будет достижение предельного напряжения в сечении с максимальным изгибающим моментом. Следуя концепции полного объединения, можно запроектировать конструкцию с уменьшенным сечением стальной балки относительно необъединенного или частично объединенного сталежелезобетонного перекрытия. Однако, в большинстве случаев такая конструкция будет иметь излишний запас прочности [2].

При частичном объединении анкерные упоры считаются гибкими, а их податливость принимается в расчет конструкции объединения сталежелезобетонной конструкции. За счет этого конструирование сталежелезобетонных конструкций упрощается, поскольку при частичном объединении, как правило, используется меньшее количество анкерных упоров, равномерно распределённых вдоль шва объединения. Также, стоит отметить, что с точки зрения проектирования конструкций, рассчитанных на восприятия особых воздействий, применение сталежелезобетонных балок с частичным объединением может быть более предпочтительным [3, 4], поскольку, за счёт пластичности анкерных упоров может быть повышена сейсмостойкость [5] и живучесть здания [6].

Согласно требований СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования» [7], расчет сталежелезобетонных перекрытий производится исходя из гипотезы плоских сечений, без учета податливости швов объединения стальной и железобетонной частей. Таким образом, в расчете анкерные упоры в расчете учитываются как жесткие, независимо от их конструкции, что снижает эффективность применения гибких анкерных упоров.

Ранее авторами, в рамках исследования влияния профилированного настила на несущую способность угловых упоров, закрепляемых с помощью стальных дюбелей [8], было испытано 15 серий образцов по ГОСТ Р 58336-2018 [9] с последующей статистической оценкой результатов испытаний [10]. Программа испытаний разделена на несколько этапов и включает в себя испытания фрагментов сталежелезобетонной балки с плитой без профилированного настила (1 этап) и с плитами различной конфигурации, устроенными по несъемной опалубке из профилированных листов различных марок НС44, Н60 и Н75 по ГОСТ 24045-2016 [11] (2 и 3 этапы). Далее, при анализе эффективности применения данного вида упоров при устройстве сейсмостойких сталежелезобетонных конструкций будет рассмотрен 1 этап экспериментального исследования. Данный этап включал в себя 5 серий по 3 стандартных образца с упорами высотой 95, 125 и 140 мм, изготовленных в соответствии с ГОСТ Р 58336-2018.

Анализ диаграмм «Напряжение-деформация», полученных по результатам испытаний образцов позволяет сделать вывод о том, что анкерные связи ведут себя достаточно податливо: минимальное перемещение плиты относительно стальной балки составило 3,0 мм, максимальное – 11,0 мм. В ходе испытаний было зафиксировано 3 механизма разрушения, как по отдельности, так и в комбинации друг с другом: срез по дюбелю, вырыв дюбеля из основания и разрыв «спинки» упора. У образцов с большей податливостью в качестве основного механизма разрушения превалирует вырыв дюбеля из основания. В образцах, разрушившихся вследствие среза, наблюдается изменение

геометрии сечения дюбеля (вытягивание круга в эллипс), что также свидетельствует о пластической работе дюбельного соединения.

Поскольку площадь под кривой деформирования, «напряжение/перемещение» есть работа (энергия) затраченная на деформацию единичного объема физического тела, можно говорить об энергоёмкости анкерного соединения. Принимая во внимание податливый характер работы упоров можно говорить об их более эффективном применении при воздействии сейсмических нагрузок, поскольку становится возможным сохранение целостности здания за счет развития пластических деформаций в анкерных связях между элементами каркаса и монолитными перекрытиями. Объединение балок с жестким диском перекрытия, за счет пластической работы элементов их соединения (дюбелей) значительно повышает энергоёмкость и соответственно сейсмостойкость сталежелезобетонных конструкций.

Выводы

1. Рекомендуется дополнить СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования», положениями по проектированию сталежелезобетонных балок с частичным объединением стальной и железобетонной частей комбинированного сечения. Для этого может потребоваться проведения дополнительного исследования с более детальным сопоставлением методик расчета и последующей верификацией путем испытания полноразмерных сталежелезобетонных балок.
2. Угловые упоры, закрепляемые с помощью стальных дюбелей, ведут себя податливо при сдвиговом воздействии на узел объединения сталежелезобетонного перекрытия. Данный тип упоров потенциально пригоден для применения в перекрытиях с частичным объединением стальной и железобетонной частей комбинированного сечения.
3. Применение податливых упоров в сталежелезобетонных перекрытиях повышает энергоёмкость и соответственно сейсмостойкость таких конструкций и позитивно сказывается на безопасности эксплуатации здания.

Литература

1. Алмазов В.О., Аратюнян С.Н. Проектирование сталежелезобетонных плит перекрытий по Еврокоду 4 и российским рекомендациям // Вестник МГСУ. 2015. №8. С. 51-65.
2. Kostic S. M., Deretic-Stojanovic B. Bending Resistance of Composite Sections with Nonductile Shear Connectors and Partial Shear Connection // Hindawi. Advances in Civil Engineering, Volume 2018, 14 c. DOI:10.1155/2018/5350315
3. Bursi O. S., Gramola G. Behaviour of composite substructures with full and partial shear connection under quasi-static cyclic and pseudo-dynamic displacements // Materials and Structures/Matériaux et Constructions, Vol. 33. 2000, C.154-163.
4. Zona A., Barbato M., Conte J. P. Nonlinear Seismic Response Analysis of Steel–Concrete Composite Frames //Journal of Structural Engineering. 2008. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2008)134:6(986)
5. Eslami Mohammadreza, Hisashi Namba, Venkatesh Kodur, Mustafa Mahamid, Mohamed Ali Morovat. Seismic behavior of composite beam connected to HSS column with large width-to-thickness ratio // Engineering Structures 183 (2019) C. 423–442 DOI: 10.1016/j.engstruct.2018.12.084
6. Кодыш Э. Н., Трекин Н. Н., Чесноков Д. А. Защита многоэтажных зданий от прогрессирующего обрушения // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 6. С. 8-13.

7. СП 266.1325800.2016. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования (с Изменением N 1). М.:
8. Тонких Г.П., Чесноков Д.А. Экспериментальное исследование сдвигового соединения монолитных сталежелезобетонных перекрытий на уголковых анкерных упорах // Вестник МГСУ, 2021 №2. С. 144-152. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.2.144-1.
9. ГОСТ Р 58336-2018. Упоры уголковые анкерные. Методы испытаний. М.:
10. Конин Д.В., Крылов А.С., Чесноков Д.А. Оценка результатов испытаний уголковых анкерных упоров на сдвиговое воздействие // Строительная механика и расчет сооружений. 2021. № 2. С. 16–26. DOI: 10.37538/0039-2383.2021.2.16.26
11. ГОСТ 24045-2016 Профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофрами для строительства. Технические условия. М.: