УДК 624.012.454

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ И ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖЕСТКОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ АРМАТУРЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК

© 2012 В.Б. Филатов, Ю.В. Жильцов

Самарский государственный архитектурно-строительный университет

Поступила в редакцию 30.11.2012

В статье представлены результаты экспериментальных исследований работы жесткой поперечной арматуры в наклонных сечениях изгибаемых элементов. Проведены испытания железобетонных балок с поперечным армированием в виде хомутов, стальных пластин и без поперечного армирования. Выполнен сравнительный анализ опытных величин разрушающих нагрузок по наклонному сечению и теоретических значений, полученных по существующим методикам расчета.

Ключевые слова: изгибаемый железобетонный элемент, поперечное армирование, наклонное сечение, хомут

Современное развитие строительной отрасли имеет ярко выраженную тенденцию применения конструкций из высокопрочных материалов. Использование высокопрочных бетонов позволяет уменьшить размеры сечений и вес конструкций. Рост прочности бетона на сжатие опережает рост прочности бетона на растяжение, поэтому с увеличением прочности бетона возникает необходимость в большем поперечном армировании наклонных сечений, прочность которых определяется прочностью бетона на растяжение. Большое насыщение поперечной арматурой создает технологические трудности при изготовлении каркасов, а также при бетонировании конструкций. Наиболее технологичным решением данной задачи является применение поперечного армирования в виде стального листа, приваренного к продольной арматуре конструкции. Увеличение толщины листа позволяет значительно повысить процент поперечного армирования, а, следовательно, и несущую способность наклонного сечения. Помимо этого, стальной лист может самостоятельно воспринимать поперечное усилие в наклонном сечении балки. При значительном увеличении диаметра хомутов и уменьшении их шага возникают технологические трудности с применением контактной сварки, и, кроме того, появляется потребность в токе большой силы, что не всегда возможно в условиях строительной площадки. Для сварки стального листа с продольной арматурой применяется полуавтоматическая либо ручная электросварка на строительной площадке. Такой вид поперечного армирования находит применение в сильно нагруженных ригелях, в ростверках и фундаментах при значительных усилиях продавливания. Проектирование и применение такого вида поперечного армирования затруднено ввиду недостаточной

Филатов Валерий Борисович, кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций. Email: vb_filatov@mail.ru

Жильцов Юрий Викторович, ассистент кафедры железобетонных конструкций. E-mail: zzilz@mail.ru изученности его работы, в том числе совместно с бетоном балки.

Существующая нормативная методика расчета [1] разработана для проектирования железобетонных конструкций с жесткой арматурой из профилированной стали. Фиксированная длина проекции наклонной трещины, принятая в расчете, приводит к недооценке фактической несущей способности наклонных сечений по поперечной силе, поэтому применение нормативной методики расчета [1] для рассматриваемых конструкций представляется нецелесообразным.

Испытания на опытных образцах были проведены с целью исследования напряженно-деформированного состояния стального листа в наклонном сечении и повышения экономичности проектных решений. Испытания проводились на трех сериях образцов. Схемы испытания образцов представлены на рис. 1, 2. Образцы представляли собой балки прямоугольного сечения. Первая серия балок с размерами 200×210×1500 мм, вторая серия 200×210×1300 мм. Третья серия балок имела размеры 500×500×2380 мм, что сопоставимо с размерами балок, применяемых в строительной практике.

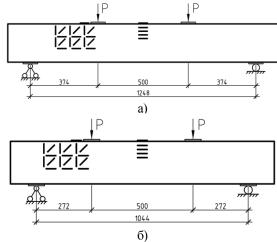


Рис. 1. Схема испытания образцов: а) I серии и б) II серии

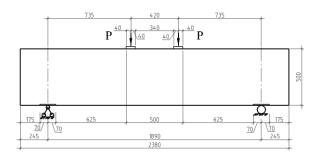
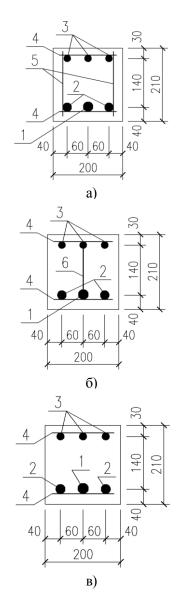


Рис. 2. Схема испытания образцов III серии

Каждая серия состояла из трех типов образцов, отличающихся поперечным армированием. Первый тип образцов имел поперечное армирование в виде хомутов (рис. 3а, 4а), второй тип — в виде пластины, приваренной к продольной арматуре (рис. 3б, 4б), третий тип не имел поперечного армирования (рис. 3в, 3г, 4в). Кроме того, в III серии имелись образцы с поперечным армированием в виде стальной гофрированной стенки (рис. 4г). Испытание образцов с гофрированной стенкой выполнялось в связи с имеющимся опытом её эффективного использования в стальных конструкциях.



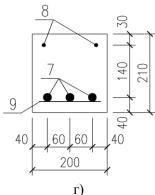
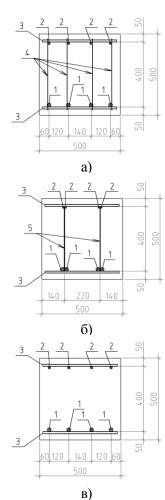


Рис. 3. Поперечное армирование I и II серии образцов:

а – Б1(2, 3)-Ст; б – Б1(2, 3)-Вс; в – Б1(3)-Бп; г – Б2-Бп.1 – Ø 28 A500; 2 – Ø 25 A500; 3 – Ø 20 A500; 4 – Ø 8 A240, шаг 60 мм; 5 – Ø 8 A240; 6 – лист δ = 1,93 мм, сталь C235; 7 – Ø22 A500; 8, 9 – Ø6 A240

Образцы без поперечного армирования изготавливались для оценки влияния на несущую способность наклонного сечения поперечного армирования и нагельного эффекта продольной арматуры. При изготовлении образцов одновременно изготавливались контрольные образцы кубов и призм. По торцам балок выполнялась анкеровка продольной арматуры приваркой к закладной детали из уголка. Маркировка образцов, их геометрические размеры и прочностные характеристики бетона приведены в табл. 1.



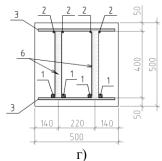


Рис. 4. Поперечное армирование III серии образцов:

а — Б4(1)-Ст; б — Б4(1)-Вс; в — Б4(1)-Бп; г — Б4(1)-Гс. 1 — Ø 28 А500; 2 — Ø 12 А400; 3 — Ø 12 А400; 4 — Ø 12 А400 шаг 110 мм; 5 — лист δ = 2 мм, сталь C245; 6 — гофрированный лист δ = 2 мм, сталь C245

Площадь поперечного армирования образцов с хомутами и со стальным листом была подобрана таким образом, чтобы обеспечить равенство предельных усилий в хомутах и стальном листе на единицу длины проекции наклонного сечения. Приложение нагрузки на образцы осуществлялось ступенями, на каждой ступени фиксировались показания тензорезисторов, прогибы образцов, образование, развитие и ширина раскрытия трещин. Все испытанные образцы I и II серии разрушились по наклонному сечению в зоне поперечного изгиба. Образцы III серии с поперечным армированием разрушились по нормальному сечению, при этом деформации поперечного армирования достигали предела текучести и ширина раскрытия наклонных трещин превышала допустимые нормативные значения. Образцы III серии без поперечного армирования разрушились по наклонному сечению.

Таблица 1. Маркировка образцов, их геометрические размеры, прочностные характеристики и разрушающая нагрузка

Серия	Балка	c/h ₀	R _b , МПа	R _{bt} ,	L,	b,	h ₀ ,	N _{pa3p} ,	Поперечное арми-
				МПа	MM	MM	MM	кН	рование
I	Б1-Ст	2,2	25,20	2,45	1500	198	170	530	стержень
	Б1-Вс	2,2	25,20	2,45	1500	199	170	580	стальная пластина
	Б1-Бп	2,2	25,20	2,45	1500	199	170	340	без армирования
	Б2-Ст	2,2	32,60	2,69	1500	199	170	560	стержень
	Б2-Вс	2,2	32,60	2,69	1500	199	170	578	стальная пластина
	Б2-Бп	2,2	32,20	2,75	1500	197	170	378	без армирования
II	Б3-Ст	1,6	32,06	2,72	1300	199	170	739	стержень
	Б3-Вс	1,6	32,06	2,72	1300	197	170	761	стальная пластина
	Б3-Бп	1,6	32,06	2,72	1300	199	170	620	без армирования
III	Б4-Ст	1,686	38,68	3,33	2380	500	436	1766	стержень
	Б4(1)-Ст	1,686	38,68	3,33	2380	500	436	1668	стержень
	Б4-Вс	1,686	34,97	3,10	2380	500	436	1913	стальные пластины
	Б4(1)-Вс	1,686	34,97	3,10	2380	500	436	1962	стальные пластины
	Б4-Бп	1,686	37,32	3,25	2380	500	436	1521	без армирования
	Б4(1)-Бп	1,686	37,32	3,25	2380	500	436	1421	без армирования
	Б4-Гс	1,686	36,6	3,20	2380	500	436	1668	гофрированная
									стальная пластина
	Б4(1)-Гс	1,686	36,6	3,20	2380	500	436	1766	гофрированная
									стальная пластина

Образование первых наклонных трещин в образцах I и II серий происходило в средней части по высоте сечения при нагрузке, составляющей 20-22% от разрушающей. Образование нормальных трещин происходило при величине нагрузки 23-25% от разрушающей. При дальнейшем приложении нагрузки развитие наклонных трещин происходило в направлении опоры и точки приложения силы. Вторые наклонные трещины образовывались при величине нагрузки 65-70% от разрушающей. Деформации текучести в хомутах достигались при нагрузке, составляющей 65-70% от разрушающей, в стальном листе при нагрузке 50-55% от разрушающей нагрузки. Начало текучести стального листа при меньшем уровне нагружения свидетельствует о раннем и более полном включении листа в работу на восприятие перерезывающей силы.

Образование первых нормальных трещин в образцах III серии происходило при нагрузке,

составляющей 16-20% от разрушающей. Образование наклонных трещин происходило при нагрузке, составляющей 28-32% от разрушающей. Аналогично образцам I и II серий, в образцах III серии деформации текучести в стальном листе и гофрированной стенке достигались при меньшем уровне нагружения по сравнению с деформациями в хомутах.

Величины разрушающей нагрузки опытных образцов и расчетных значений прочности наклонных сечений по поперечной силе, определенные по различным методикам, приведены в табл. 2. Сопоставление величин в табл. 2 показывает, что наилучшую сходимость расчетных и опытных значений обеспечивает методика [4], которая учитывает влияние нагельного эффекта продольной арматуры в наклонном сечении.

Таблица 2. Сопоставление расчетных и опытных значений несущей способности образцов

Марка образца	С _{Факт} , ММ	Q _p оп, кН	Q _p ^T , κΗ [1]	$egin{pmatrix} \mathbf{Q_p}^{\mathrm{off}}/\ \mathbf{Q_p}^{\mathrm{f}} \ [1] \end{pmatrix}$	Q_p^T , κH [2]	$Q_{\mathrm{p}}^{\mathrm{on}}/Q_{\mathrm{p}}^{\mathrm{r}}[2]$	Q_p^T , κH [3]	$\begin{array}{c}Q_p^{\text{off}}/Q_p^{\text{T}}\\[3]\end{array}$	Q _p ^T , κΗ [4]	$\begin{array}{c}Q_p^{\text{ off}}/Q_p^{\text{ T}}\\ [4]\end{array}$
Б1-Ст	294	265	_	_	201,8	1,31	168,9	1,57	268,49	0,987
Б1-Вс	294	290	139,62	2,08	202,73	1,43	169,52	1,71	269,54	1,076
Б1-Бп	294	170	_	_	71,89	2,36	71,89	2,36	159,36	1,067
Б2-Ст	294	280	_	_	216,51	1,29	172,93	1,62	285,31	0,981
Б2-Вс	294	289	147,74	1,96	216,69	1,33	173,37	1,67	285,55	1,012
Б2-Бп	294	189	-	_	79,88	2,37	79,88	2,37	169,58	1,115
Б3-Ст	192	369,5	_	-	240,52	1,54	180,39	2,05	341,62	1,082
Б3-Вс	192	380,5	147,83	2,58	239,13	1,59	179,34	2,12	339,42	1,121
Б3-Бп	192	310	-	-	122,21	2,54	122,21	2,54	196,03	1,581

Сопоставление результатов испытаний образцов с различным поперечным армированием показывает, что наиболее эффективно используется поперечное армирование из стального листа, приваренного сплошным швом к продольной арматуре. Стальной лист в сравнении с хомутами работает эффективнее на 8-15%. Поперечное армирование из стального листа раньше включается в работу по восприятию перерезывающих сил, при этом стальной лист работает в условиях двухосного напряженного состояния. Поперечное армирование в виде стальной гофрированной стенки имеет недостатки, связанные со сложностью выполнения сварного шва с продольной арматурой. Наличие растягивающих и сжимающих напряжений, действующих в направлении волны гофры, приводит к ее изгибу, повышая ее деформативность, уменьшает ее несущую способность и способствует образованию на поверхности балок продольных трещин, отмеченных при испытании балок III серии с гофрированной стенкой.

Выводы: наиболее эффективным поперечным армированием является стальной лист, приваренный сплошным швом к продольной арматуре.

Поперечное армирование из стального листа повышает жесткость балок и их несущую способность по перерезывающей силе по сравнению с балками, армированными хомутами, повышает пластичность разрушения наклонного сечения изгибаемого элемента вследствие перераспределения перерезывающего усилия с бетона на стальной пист.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Руководство по проектированию железобетонных конструкций с жёсткой арматурой. – М.: Стройиздат, 1978. 55 с.
- 2. СНиП $2.03.01-84^*$. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования. М.: Стройиздат, 1991. С. 130-132.
- 3. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003). М., ЦНИИПромзданий, 2005. 214 с.
- Карпенко, С.Н. Об общем подходе к построению теории прочности железобетонных элементов при действии поперечных сил // Бетон и железобетон. 2007. № 2. С. 21-27.

FEATURES OF WORK AND EFFECTIVE USE OF THE RIGID CROSS FITTINGS IN FERROCONCRETE BEAMS

© 2012 V.B. Filatov, Yu.V. Zhiltsov

Samara State Architectural and Building University

Results of experimental researches of rigid cross fittings work in inclined sections of bent elements are presented in article. Tests of ferroconcrete beams with cross reinforcing in the form of collars, steel plates and without cross reinforcing are carried out. The comparative analysis of tested sizes of ultimate loads on inclined section and theoretical values received by existing calculation procedures is made.

Key words: bent ferroconcrete element, cross reinforcing, inclined section, collar

Valeriy Filatov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Ferroconcrete Constructions.

E-mail: vb_filatov@mail.ru

Yuriy Zhiltsov, Assistant at the Department of Ferroconcrete

Constructions. E-mail: zzilz@mail.ru