

Расчет оптимальной величины защитного слоя бетона колонн квадратного сечения

В.А. Мурадян

Предлагается подход к расчету оптимальных значений защитного слоя бетона продольно армированных колонн, работающих при центральном сжатии. Моделирование осуществлено с использованием МКЭ - пакета Ansys при реализации пространственной конструкции и плоской модели сечения колонны.

Ряд исследований по расчету железобетонных колонн при центральном и внецентренном сжатии показал существенное включение в работу конструкции ее центральной части, в особенности при нагрузках, близких к критическим [1-6]. При этом, основываясь на анализе пространственной конечно-элементной модели колонны прямоугольного сечения с продольным армированием при центральном сжатии по характеру поведения главных напряжений σ_1 и σ_2 , параллельных плоскости нормального сечения колонны, убеждаемся, что сечения в средней части колонны подвержены деформации растяжения. Характер распределения интенсивности напряжений в центральной части колонны является достаточно однородным, однако уровень напряжений зависит от положения вертикальной арматуры по сечению [7]. Это позволяет сделать вывод о возможности исследования критических усилий, воспринимаемых конструкцией, на основе анализа напряженно-деформированного состояния в плоскости центральных сечений.

Рассмотрим конечно-элементную модель плоского деформирования нормального сечения колонны S_{xz} в следующей постановке [8-10]:

$$S_{xz} : \{x \in [0, b/2], z \in [0, h/2]\}, \quad S_{xz} = S_B \cup S_A,$$

где S_B - область, занимаемая бетоном, S_A - область арматуры (рис. 1),

a - величина защитного слоя бетона.

На линиях $x=0, z=0$ задаются нормальные растягивающие распределенные усилия по закону $P(z)$ и $P(x)$ соответственно. На линиях $x=b/2, z=h/2$ - условия симметрии деформирования сечения колонны:

$$u_x|_{x=b/2} = 0, \quad u_z|_{z=h/2} = 0.$$

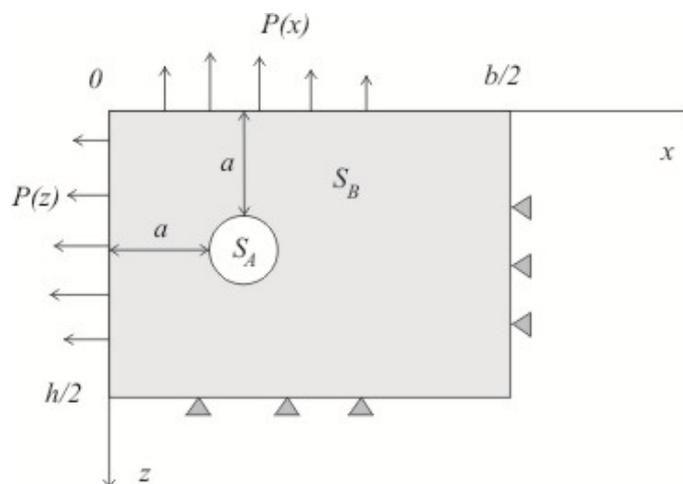


Рис. 1

В качестве физических параметров выбраны значения величин, представленных в таблице 1, и использованных как для пространственной, так и плоской моделей.

Таблица 1

Материал	Свойства материала		
Арматура, элемент LINK8	Модуль Юнга E_A , МПа	$2.0e5$	
	Коэффициент Пуассона ν_A	0.3	
	Расчетное сопротивление R_A , МПа	400	
	Мультилинейная диаграмма деформирования		
		Деформация ε	Напряжение σ , МПа
	точка 1	R_A/E_A	R_A
	точка 2	0.0025	R_A
Бетон, элемент SOLID185	Модуль Юнга E_B , МПа	$3.25e4$	
	Коэффициент Пуассона ν_B	0.2	
	Расчетное сопротивление при сжатии R_B , МПа	22	
	Расчетное сопротивление при растяжении R_{Bt} , МПа	1.8	
	Мультилинейная диаграмма деформирования		

Материал	Свойства материала		
		Деформация ε	Напряжение σ , МПа
	<i>Сжатие</i>		
	<i>точка 1</i>	$0.6 * R_B / E_B$	$0.6 R_B$
	<i>точка 2</i>	0.002	R_B
	<i>точка 3</i>	0.0035	R_B
	<i>Растяжение</i>		
	<i>точка 1</i>	$0.6 * R_{Bt} / E_B$	$0.6 R_{Bt}$
	<i>точка 2</i>	0.002	R_{Bt}
	<i>точка 3</i>	0.0035	R_{Bt}
	Бетон, элемент SOLID65	Модуль Юнга E_B , МПа	$3.25e4$
Коэффициент Пуассона ν_B		0.2	
Расчетное сопротивление на сжатие R_B , МПа		22	
Расчетное сопротивление на растяжение R_{Bt} , МПа		1.8	
Коэффициент передачи касательных напряжений для открытой трещины		0.1	
Коэффициент передачи касательных напряжений для закрытой трещины		0.9	
Предельная прочность при двухосном растяжении		$1.2 R_B$	
Предельная прочность при двухосном сжатии, наложенном на гидростатическое напряжение		$1.45 R_B$	
Предельная прочность при одноосном сжатии, наложенном на гидростатическое напряжение		$1.725 R_B$	

Для плоской модели сечения считаем уровень прикладываемых нагрузок соответствующим линейному участку деформирования среды без учета пластических деформаций и процессов трещинообразования.

Исходя из этого, при реализации МКЭ модели сечения использованы

плоские 8-узловые элементы Plane82 [8] с двумя поступательными степенями свободы в каждом узле. Характер разбиения сечения конечными элементами представлен на рис. 2 с использованием локальной системы координат Oxy и зеркальном отражении области S_{xz} для полного представления сечения колонны.

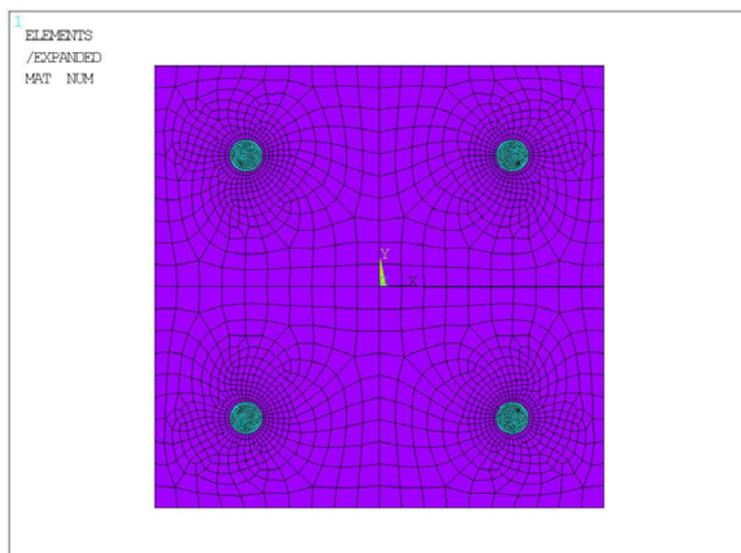


Рис. 2 Сетка конечных элементов

Для выбора характера прикладываемой нагрузки $P(x)$ рассмотрены перемещения в среднем сечении колонны пространственной модели при уровне вертикального сжимающего усилия 0.7 от критического. Модуль вектора перемещений в сечении близок аналогичной величине смещения при плоской деформации при равномерном распределении нагрузки $P(x)$. Близость диаграмм распределения перемещений по сечению позволила сделать вывод о возможности рассмотрения случая постоянных усилий $P(x) = const$.

Дальнейшее исследование по выбору оптимального положения арматуры по сечению колонны основывалось на анализе интенсивности напряжений σ_i в зависимости от величины защитного слоя бетона a

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \left((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 \right)^{1/2}.$$

В качестве основного варианта использован случай выбора геометрических параметров модели: $b = h = 0.3$ м. Установлено, что основными влияющими факторами на распределение интенсивности напряжений в сечении являются: соотношение модулей упругости бетона и арматуры, а также коэффициент Пуассона бетона, в основном определяющий характер сжимаемости материала сечения.

Установлено, что наиболее чувствительной характеристикой к изменению положения арматуры является концентрация напряжений вблизи границы раздела арматуры и бетона. Величина $\text{Max } \sigma_i, \text{ Па}$ на поверхности арматуры от параметра a , м выведена на рис. 3.

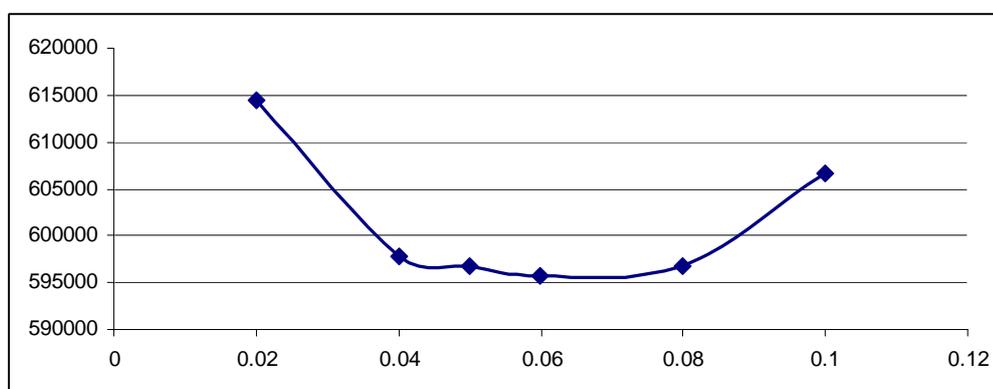


Рис. 3. Распределение $\sigma_i, \text{ Па}$ от параметра a .

Отметим, что минимальное значение полученной характеристики соответствует значению $a = 0.07$ м и по сути определяет максимальный уровень критического усилия, приводящего к разрушению конструкции. Полученное значение соответствует анализу задачи в пространственной постановке по расчету критических усилий при нелинейном деформировании среды с учетом явлений трещинообразования и дробления бетона.

Литература:

1. Мурадян В.А., Маилян Д.Р. Железобетонные стойки с заглубленными продольными стержнями без поперечного армирования // Расчет и проектирование железобетонных конструкций. - Ростов-на-Дону: РГСУ, 2009 – С. 94-95.

2. Мурадян В.А., Маилян Д.Р. Устойчивость арматурных стержней в сжатой железобетонной колонне // Строительство 2010. Материалы научно-практической конференции. - Ростов-на-Дону: 2010 . – С.40-42.
3. Кургин К.В., Маилян Д.Р. Работа керамзитобетонных колонн при повторных нагрузках [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №1. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/738> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
4. Мурадян В.А., Маилян Д.Р. К методике расчета железобетонных внецентренно сжатых колонн // «Инженерный вестник Дона», 2012, №4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1333> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
5. Маилян Д.Р., Несветаев Г.В. О несущей способности колонн из высокопрочных самоуплотняющихся бетонов // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии. Материалы научно-практической конференции. - Махачкала: 2010. – С.47-49.
6. Маилян Д.Р., Резван И.В. Несущая способность бетонного ядра трубобетонных колонн // Вестник Майкопского государственного технического университета. -Майкоп: 2011. – С. 14-19.
7. Шиляева О.В., Хунагов Р.А., Блягоз А.М. Моделирование устойчивости железобетонной панели // Новые технологии. - 2012. – Вып. 3. – С. 114-119.
8. ANSYS, Inc. Theory Reference: ANSYS Release 9.0. – С.14-203.
9. Mkrtchyan A., Akcenov V., Mailyan. Experimental study of the structural properties of high-strength concrete // 5th International Scientific Conference “European Applied Sciences: modern approaches in scientific researches”:Papers of the 5th International Scientific Conference. August 26–27. - Stuttgart, Germany. – 2013. - 164 p.

10. Mkrtchyan A., Akcenov V., Mailyan. Experimental study of reinforced concrete columns of high-strength concrete // “Applied Sciences and technologies in the United States and Europe: common challenges and scientific findings”: Papers of the 2nd International Scientific Conference (September 9–10, 2013). Cibunet Publishing. - New York, USA. - 2013. - 242 p.