

УДК 691.328
ББК 38.53
И-88

Аксенов Владимир Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций Ростовского государственного строительного университета, т.: 89185004361, e-mail: aksenov.v.n@mail.ru;

Аксенов Николай Борисович, кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций Ростовского государственного строительного университета, т.: (863)2019031;

Блягоз Алик Моссович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительных и общепрофессиональных дисциплин Майкопского государственного технологического университета, e-mail: alfa-maikop@yandex.ru;

Хутыз Абрек Махмудович, кандидат технических наук, профессор кафедры строительных и общепрофессиональных дисциплин Майкопского государственного технологического университета.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА (рецензирована)

В статье описано экспериментальное исследование железобетонных колонн из высокопрочного бетона классов В80-В110 с ненапрягаемой и предварительно напряженной арматурой. Приведен состав бетона, конструкция образцов, программа и методика проведения исследований. Проанализированы результаты эксперимента, сделаны выводы о влиянии варьируемых факторов на работу колонн.

Ключевые слова: железобетонные колонны, высокопрочный бетон, предварительно напряженная арматура, физический эксперимент, предельные деформации бетона.

Aksenov Vladimir Nicholaevich, Candidate of Technical Sciences, assistant professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Rostov State University of Civil Engineering, tel.: 8-918-500-43-61, e-mail: aksenov.vn@mail.ru;

Aksenov Nikolai Borisovich, Candidate of Technical Sciences, assistant professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Rostov State University of Civil Engineering, tel.: (863) 201-90-31;

Blyagoz Alec Mossovich, Candidate of Technical Sciences, head of the Department of Construction and General Professional Disciplines, Maikop State Technological University, e-mail: alfa-maikop@yandex.ru;

Khoutyz Abrek Makhmudovich, Candidate of Technical Sciences, professor of the Department of Construction and General Professional Disciplines, Maikop State Technological University.

RESEARCH OF OPERATING OF COMPRESSED CONCRETE ELEMENTS OF DURABLE CONCRETE (Reviewed)

The article describes the experimental study of reinforced concrete columns of high-strength concrete of B80-V110 class with nonprestressed and prestressed reinforcement. The composition of the concrete, design patterns, program and method of research has been given. The results of the experiment have been presented, conclusions about the impact of variable factors on the work of columns have been drawn.

Keywords: ferro- concrete columns, high-performance concrete, prestressed reinforcement, physical experiment, marginal deformation of concrete.

Одним из направлений совершенствования железобетонных конструкций является использование бетонов классов по прочности В80-В120, т.е. высокопрочных бетонов. Повышение прочностных характеристик бетона позволяет уменьшить размеры сечений конструкций, их вес и, в ряде случаев, стоимость строительства.

В России вопросам эффективного использования высокопрочных бетонов посвящены работы [1, 2, 3, 4] и других авторов. В настоящее время в нормах стран Евросоюза [5] и Республики Беларусь [6] максимальный класс бетона составляет В105, в Германии – В115. В США максимальный класс бетона нормами не регламентируется. В России в соответствии с ГОСТ 26633-91 предусмотрен максимальный класс бетона В80, но нормативное обоснование для проектирования конструкций в соответствии со СНиПом [7, 8] предусмотрено только для бетона класса В60.

В настоящее время данные о работе гибких железобетонных колонн из высокопрочного бетона весьма немногочисленны, вовсе отсутствуют данные, о преднапряженных колоннах, выполненных из

бетона классов В80...В100. При анализе экспериментальных данных и разработке методов расчета не всегда учитывают влияние преднапряжения на свойства материалов, градиентные эффекты и т.д.

С целью получения экспериментальных данных о работе конструкций из высокопрочных бетонах авторами была проведена серия экспериментов. Для приготовления бетонной смеси (табл. 1) был использован гранитный щебень Челябинского месторождения с крупностью зерен от 5 до 20 мм, кварцевый песок с модулем крупности свыше 2,5 (п. Мостовской Краснодарского края), портландцемент М500 производства ОАО «Осколцемент». Регулирование реологических свойств и снижение потребности воды достигалось введением в смесь суперпластификатора Melment F10 производства Германии в количестве 0,8% от массы вяжущего.

Программа эксперимента составлена с использованием методов математического планирования (ПФЭ типа 2³). В качестве варьируемых факторов приняты: гибкость колонн λ_n , эксцентриситет приложения внешней нагрузки e_0/h и предварительное напряжение (растяжение) арматуры σ_{sp} . С учетом точки в центре плана эксперимента приняты следующие уровни варьирования факторов: $\lambda_n = (8; 14; 20)$, $e_0/h = (0; 0,1; 0,2)$ и $\sigma_{sp} = (0; 500; 740)$ МПа (табл. 2).

Все образцы имели прямоугольное поперечное сечение 250x120(h) мм, армированы четырьмя продольными стержнями высокопрочной арматуры класса А-V (А800) диаметром 12 мм.

Таблица 1 - Состав применяемой бетонной смеси

Материал	Расход материалов на 1 м ³ готовой смеси
Цемент, кг	650
Щебень, кг	1120
Песок, кг	520
Вода, л	165
Суперпластификатор, кг	5,2
<i>Характеристики бетона</i>	
Водоцементное отношение	0,254
Прочность в 7 суток, МПа	82,9
Прочность в 28 суток, МПа	94,1

Таблица 2 - Программа эксперимента

№ п/п	Шифр образца	σ_{sp} , МПа	ℓ_0 , мм	e_0 , мм	bхh, мм	Армирование
1	К-2	0	960	0	250x120	<p>4Ø12 А-V</p> $\mu_{tot} = \frac{A_{s,tot}}{b \cdot h} \cdot 100\% = 1,5\%.$
2	К-1	0	960	24		
3	К-3	0	2400	0		
4	К-4	0	2400	24		
5	К-9	740	960	0		
6	К-8	740	960	24		
7	К-5	740	2400	0		
8	К-6	740	2400	24		
9	К-7	500	1680	12		

Предварительное растяжение арматуры осуществлялось механическим способом при помощи гидравлического домкрата. Испытания колонн проводились в вертикальном положении, нагрузка прикладывалась снизу и создавалась при помощи гидравлического домкрата. На колонны она передавалась через ножевые опоры, что обеспечивало шарнирное опирание образцов в плоскости их изгиба и позволяло изменять величину эксцентриситета путем смещения колонны относительно оси прессы. Образцы нагружали ступенями в 5-10 % от разрушающей нагрузки с выдержкой по 15 минут. Колонны испытывались до разрушения. Деформации измеряли индикаторами часового типа и тензодатчиками. Прогибы фиксировали при помощи прогибомеров (рис. 1).

Разрушение опытных колонн, работающих с незначительным перепадом деформаций по сечению, происходило взрывоподобно. Колонны разрушались при исчерпании «устойчивой прочности», то есть деформации и напряжения в бетоне достигали предельных реализованных значений.

Предварительное напряжение арматуры оказывает заметное влияние на несущую способность стоек. Так, при $\lambda_n = 8$ и $e_0/h = 0,2$ прочность стоек, армированных предварительно растянутой арматурой, оказывается на 11% выше прочности аналогичных ненапряженных образцов. Наоборот, при $e_0/h = 0$ ненапряженные образцы выдержали нагрузку на 13% большую, чем предварительно напряженные. Для гибких стоек ($\lambda_n = 20$) предварительное растяжение арматуры эффективно даже при «центральном» сжатии. При $\sigma_{sp} = 740$ МПа повышение несущей способности составляет около 5%. С увеличением эксцентриситета внешней нагрузки до $e_0/h = 0,2$ повышение несущей способности достигает 14,5 % при $R_b^{exp} = 85$ МПа и 22 % при $R_b^{exp} = 110$ МПа. Для коротких стоек с $\lambda_n = 8$ независимо от наличия или отсутствия предварительного напряжения арматуры при

$R_b^{exp} = (85 \div 110)$ МПа снижение несущей способности при увеличении относительного эксцентриситета от $e_0/h = 0$ до $e_0/h = 0,2$ составляет 40-43 %. Для гибких стоек аналогичные значения составляют 51-56 % для ненапряженных образцов и 49-53 % – для преднапряженных.

Увеличение гибкости от $\lambda_h = 8$ до $\lambda_h = 20$ при $R_b^{exp} = 85$ МПа приводит к снижению несущей способности «центрально» сжатых ненапрягаемых образцов на 24%, а при $e_0/h = 0,2$ – на 40%. В случае армирования колонн предварительно растянутой арматурой с $\sigma_{sp} = 740$ МПа аналогичные величины составляют 13% при $e_0/h = 0$ и 30 % при $e_0/h = 0,2$. При $R_b^{exp} = 110$ МПа увеличение гибкости от $\lambda_h = 8$ до $\lambda_h = 20$ приводит к снижению несущей способности колонн с предварительно растянутой арматурой с $\sigma_{sp} = 740$ МПа на 22% при $e_0/h = 0$ и на 40% при $e_0/h = 0,2$.



Рис. 1. Испытание колонн

Для сопоставления работы стоек из высокопрочного бетона и бетонов средней прочности был проведен сравнительный анализ результатов проведенных испытаний, и данных работы [9]. Установлено, что у образцов из высокопрочного бетона наблюдается более слабая степень зависимости несущей способности колонн от их гибкости. Снижение несущей способности у них в 2-2,5 раза меньше, чем у колонн из бетонов средней прочности.

При увеличении гибкости внецентренно сжатых железобетонных элементов значения *предельных относительных деформаций сжатия бетона* $\varepsilon_{b,ult}$ повышаются. Увеличение эксцентриситета внешней силы также приводит к росту $\varepsilon_{b,ult}$. Такие результаты закономерны, так как оба отмеченных фактора увеличивают деформативность элемента. Использование предварительно растянутой арматуры во внецентренно сжатых элементах снижает их деформативность от внешней нагрузки, что приводит к уменьшению значения $\varepsilon_{b,ult}$. По результатам эксперимента получено уравнение регрессии, описывающее зависимость предельных относительных деформаций бетона сжатой зоны железобетонных стоек от варьируемых факторов:

$$\varepsilon_{b,ult} = 288,7 - 0,0517\sigma_{sp} + 4,23\lambda_h + 243,75e_0/h. \quad (1)$$

В коротких стойках без предварительного напряжения *прогиб* «центрально» сжатой стойки в 3,8 раза меньше, чем у стойки, сжатой внецентренно, а прогиб «центрально» сжатой предварительно напряженной стойки в 6,05 раза меньше прогиба стойки, сжатой внецентренно. В гибких стойках наблюдается та же тенденция. При уровне нагрузки $N/N_{ult} = 0,9$ в стойках без преднапряжения прогиб при «центральном» сжатии в 1,63 раза меньше, чем при внецентренном, а в стойках предварительно напряженных прогиб при «центральном» сжатии в 2,14 раза меньше, чем при внецентренном.

В «центральном» сжатых стойках без предварительного напряжения увеличение гибкости с $\lambda_h = 8$ до $\lambda_h = 20$ ведет к увеличению прогиба в 10,2 раза, а в преднапряженных – в 18 раз. При внецентренном сжатии в стойках без предварительного напряжения арматуры с увеличением гибкости прогиб возрос в 4,3 раза, а в преднапряженных образцах соответственно – в 6,4 раза.

С увеличением гибкости колонн *относительный уровень трещинообразования* снижается. Это связано с тем, что в железобетонных колоннах исследуемой гибкости ($\lambda_h = 8 \div 20$) снижение несущей способности происходит менее интенсивно, чем трещинообразующих усилий.

Во внецентренно сжатых колоннах с гибкостью $\lambda_h = 20$ предварительное напряжение арматуры повысило усилие трещинообразования на 9,6%.

Предельные деформации растяжения в опытных колоннах из высокопрочного бетона оказались равными $\varepsilon_{bt,ult} = (35 \div 40) \cdot 10^{-5}$.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют об особенностях работы конструкций из высокопрочного бетона, что необходимо учитывать при их проектировании.

Литература:

1. Берг О.Я., Щербаков Е.Н., Писанко Г.Н. Высокопрочный бетон. М.: Стройиздат, 1971. - 207 с.
2. Несветаев Г.В. Перспективы применения высокопрочных бетонов // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: 7 междунар. науч.-метод. семинар. Брест, 2001. С. 313-318.
3. Несветаев Г.В., Тимонов С.А., Кардумян Г.С. Некоторые технологические аспекты высокопрочных бетонов // Совершенствование железобетонных конструкций, оценка их состояния и усиление. Минск: Технопринт, 2001. С. 123-127.
4. Писанко Г.Н. Исследование прочностных и деформативных свойств высокопрочных бетонов // Труды ЦНИИС. М.: Трансжелдориздат, 1960. Вып. 36.
5. EN 1992 Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1: General rules and rules for buildings.
6. СНБ 5.03.01-02. Бетонные и железобетонные конструкции (строительные нормы Республики Беларусь). Минск: Минстройархитектуры, 2003. 139 с.
7. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М.: ФГУП ЦПП, 2004. 24 с.
8. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. М.: ФГУП ЦПП, 2004. 54 с.
9. Маилян Д.Р. Исследование влияния предварительного напряжения на свойства материалов и работу гибких внецентренно сжатых железобетонных колонн: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Ростов н/Д., 1980. 277 с.

References:

1. Berg O.J., E. N. Shcherbakov, G.N. Pisanko. High-strength concrete. M.: Stroiizdat, 1971. 207p.
2. Nesvetaev G.V. Prospects of high strength concrete use // Prospects of development of new technologies in the construction and training engineering staff of the republic of Belarus: 7 Intern. Scient. - method. seminar. Brest, 2001. P. 313-318.
3. Nesvetaev G.V., Timonov S.A, Kardumyan G.S. Some technological aspects of high-strength concrete // Improvement of concrete structures, their assessment and enhancement. Minsk: Technoprint, 2001. P. 123-127.
4. Pisanko G.N. Research of the strength and deformation properties of high strength concrete //

Proceedings of CSIC. M.: Transzheldorizdat, 1960. Iss. 36.

5. *EN 1992 Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1: General rules and rules for buildings*

6. *CSB 5.03.01-02. Concrete and reinforced concrete constructions (building codes of Belarus). M.: Ministry of Architecture, 2003. 139 p.*

7. *SNP 52-01-2003. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. M.: FSUE CPP, 2004. 24 p.*

8. *SP 52-101-2003. Concrete and reinforced concrete structures without prestressing reinforcement. M.: FSUE CPP, 2004. 54 p.*

9. *Mailyan D.R. Investigation of the influence of prestressing on the properties of materials and work of flexible eccentrically compressed reinforced concrete columns: dis. ... Cand. Tech. Sciences: 05.23.01. Rostov-on-Don, 1980. 277 p.*