

С.О. КУРНАВИНА¹, И.К. МАНАЕНКОВ¹, И.В. ЦАЦУЛИН¹

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ НА РАБОТУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ СМЕНЕ ЗНАКА УСИЛИЯ

Аннотация. В нормативной базе РФ по сейсмостойкому строительству предполагается развитие пластических деформаций в железобетонных конструкциях при сейсмическом воздействии. Их наличие оказывает существенное влияние на напряженно-деформированное состояние, несущую способность и механизм разрушения железобетонных конструкций при действии знакопеременных нагрузок большой интенсивности. В статье изложена методика и основные результаты экспериментальных исследований, связанных с оценкой влияния пластических деформаций на работу изгибаемых железобетонных элементов при смене знака усилия. Представлены данные о снижении несущей способности образцов при смене знака усилия с ростом максимальных пластических деформаций в первом полупериоде нагружения, получены значения предельных коэффициентов пластичности по деформациям арматуры, соответствующие началу разрушения бетона сжатой зоны при смене знака усилия, построены эпюры деформаций нормальных сечений опытных образцов при прямом и обратном нагружении.

Ключевые слова: знакопеременные воздействия, пластические деформации, остаточные трещины.

S.O. KURNAVINA¹, I.K. MANAENKOV¹, I.V. TSATSULIN¹

¹Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia

THE INFLUENCE OF PLASTIC STRAINS ON THE BEHAVIOR OF BENDING REINFORCED CONCRETE ELEMENTS WHEN CHANGING THE FORCE SIGN

Abstract. The Russian standards for earthquake resistant constructions suppose the development of plastic strains in reinforced concrete constructions under seismic effects. Their presence influences significantly on the stress-strain state, bearing capacity and mechanism of destruction of reinforced concrete constructions under alternation loads of high intensity. The methodology and main results of experimental tests connected with the evaluation of plastic deformations influence on the behavior of reinforced concrete bending elements when changing the force sign is represented. The information about the bearing capacity reduction when changing the force sign with the increase of plastic strains in the first semi cycle of loading is given. The coefficients of plasticity for reinforcement deformations limit values are obtained, corresponding to the beginning of compressed zone concrete destruction when changing the force sign and the plots of normal sections deformations distribution of experimental specimens under direct and reverse loading have been built.

Keywords: alternating effects, plastic strains, residual cracks, bearing capacity.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II - 7-81* (с Изменением N 1)». Москва, 2018.
2. Мкртычев О.В. Сейсмостойкость железобетонных зданий и сооружений при повторных землетрясениях: монография / О.В. Мкртычев, П.И. Андреева, М.И. Андреев; М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Нац. Исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. Москва: Издательство МИСИ-МГСУ, 2019. 112 с. (Библиотека научных разработок и проектов НИУ МГСУ).

3. Курнавина С.О., Цацулин И.В. Влияние пластических деформаций на высоту несомкнутой остаточной трещины в сжатой зоне бетона // Строительство и реконструкция. 2020. № 5(91). С. 13- 21. DOI 10.33979/2073-7416-2020-91-5-13-21.
4. Курнавина С.О., Цацулин И.В. Влияние несомкнутых трещин в сжатой зоне бетона на несущую способность изгибаемых железобетонных элементов // Строительство и реконструкция. 2021. № 2(94). С. 28-38. DOI 10.33979/2073-7416-2021-94-2-28-38.
5. Kurnavina S.O., Tsatsulin I.V. The influence of open cracks in compressed area of concrete on behaviour of bending elements of frame buildings under special alternating loads // Journal of Physics: Conference Series : International Scientific Conference on Modelling and Methods of Structural Analysis 2019, MMSA 2019, Moscow, 13–15 ноября 2019 года. Moscow: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 012037. DOI 10.1088/1742-6596/1425/1/012037.
6. Garnitsky V.I., Golda Yu.L., Kurnavina S.O. Damage development process in reinforced concrete frame under the action of seismic loads // Proceedings of the III All Russian (II International) Conference on concrete and reinforced concrete «Concrete and reinforced concrete – glance at future». Moscow. 2014. Volume II.
7. Абаканов М.С. Малоцикловая прочность железобетонных конструкций каркасных зданий при действии нагрузок типа сейсмических. Алмаата. АО «КазНИИСА». 2016. 132 с.
8. Абаканов М.С. Прочность железобетонных конструкций при малоцикловых нагружениях типа сейсмических // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2013. № 5. С. 30 -34.
9. Жарницкий В.И., Курнавина С.О. Энергетический метод определения поля направлений трещин в железобетонных балках // Технология текстильной промышленности. 2018. № 5. С. 213 -216.
10. Жарницкий В.И., Беликов А.А. Экспериментальное изучение восходящих и нисходящих участков диаграммсопротивления бетонных и железобетонных призм // Научное обозрение. 2014. № 7 -1. С. 93-98.
11. Жарницкий В.И. Развитие теории расчета упругопластических железобетонных конструкций на особые динамические воздействия, Дисс. Докт. Техн. Наук. М: МИСИ, 1998.
12. Кабанцев О.В., Усеинов Э.С., Шарипов Ш. О методике определения коэффициента допускаемых повреждений сейсмостойких конструкций // Вестник ТГАСУ. 2016. № 2. С. 117 -126.
13. Жарницкий В.И., Забегаев А.В. Развитие теории сейсмостойкости железобетонных конструкций. Первая всероссийская конференция по проблемам бетона и железобетона. М.: 2001. Том 2. С. 655-658.
14. Kalkan E., Kunnath S.K. Method of modal combinations for pushover analysis of buildings // 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C. Canada, 2004. Paper No. 2713.
15. Sofyan J. Ahmed Seismic evaluation of reinforced concrete frames using pushover analysis // Al-Rafidian Engineering Journal. 2013. Vol. 21. No 3. Pp. 28-45.
16. Hastemoglu H. Seismic performance evaluation of reinforced concrete frames // IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. 2015. Vol. 12. Issue 5. Pp. 123-131.
17. Айзенберг Я.М. Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 года. Некоторые уроки и выводы // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 1999. № 1. С. 6–9.
18. Андреев О.О. Уроки землетрясения. Общие выводы / О.О. Андреев, В.И. Ойзерман // Карпатское землетрясение 1986 г. / под ред. А.В. Друмя, Н.В. Шебалина, Н.Н. Складнева, С.С. Графова, В.И. Ойзермана. Кишинев, 1990. С. 323–325.
19. Газлийское землетрясение 1984 г.: анализ поведения зданий и инженерных сооружений / отв. ред. А.И.Мартемьянов, Д.А. Алексеенков, Л.Ш. Килимник. М.: Наука, 1988. 118 с.
20. Кабанцев О.В. Макросейсмический эффект землетрясения 4 октября 1994 г. на островах Итуруп, Куна шир, Шикотан // Экспресс-информация ВНИИИС Госстроя СССР. Серия 14. Строительство в особых условиях. Сейсмостойкое строительство. М., 1995. Вып. 4. С. 7–11.
21. Banon H., Veneziano D. Seismic Safety of Reinforced Concrete Members and Structures // Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 1982. V. 10. P. 179–193.
22. Рутман Ю.Л., Симборт Э. Выбор коэффициента редукиции сейсмических нагрузок на основе анализа пластического ресурса конструкции // Вестник гражданских инженеров. 2011. № 2 (27). С. 78–81.

REFERENCES

1. SP 14.13330.2014 «Stroitelstvo v seismicheskikh rayonakh, aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP II-7-81*» [Seismic Building Design Code] Moscow, 2018.
2. Mkrtichev O.V., Andreeva P.I., Andreev M.I. Seismostoykost gelezobetonnykh zdaniy i soorugeniy pri povtornich zemletryaseniya: monography. Moscow, MGSU, 2019. 112 p. (rus)
3. Kurnavian S.O., Tsatsulin I.V., The influence of plastic strains on the depth of open residual cracks in

compressed zone of concrete. *Building and Reconstruction*. 2020. No. 5(91). Pp 13-21. (rus) DOI 10.33979/2073-7416-2020-91-5-13-21

4. Kurnavian S.O., Tsatsulin I.V., The influence of unclosed cracks in compressed zone on the bearing capacity of bending reinforced concrete elements. *Building and Reconstruction*. 2021. No. 2(94). Pp 28-38. (rus) DOI 10.33979/2073-7416-2021-94-2-28-38

5. Kurnavina S. O. The influence of open cracks in compressed area of concrete on behaviour of bending elements of frame buildings under special alternating loads / S. O. Kurnavina, I. V. Tsatsulin // *Journal of Physics: Conference Series* : International Scientific Conference on Modelling and Methods of Structural Analysis 2019, MMSA 2019, Moscow, 13–15 ноября 2019 года. Moscow: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 012037. DOI 10.1088/1742-6596/1425/1/012037.

6. Garnitsky V.I., Golda Yu.L., Kurnavina S.O. Damage development process in reinforced concrete frame under the action of seismic loads // *Proceedings of the III All Russian (II International) Conference on concrete and reinforced concrete «Concrete and reinforced concrete – glance at future»*. Moscow. 2014. Volume II.

7. Abakanov M.S. Malotsiklovaya prochnost gelezobetonnykh constuktsiy karkasnikh zdaniy pri deystviy nagruzok tipa seismicheskikh [Low-cycle strength of reinforced concrete constructions of frame buildings under loads the type of seismic], Alma ATA, AO «KazNIISA», 2016. 132 p (rus).

8. Abakanov M.S Prochnost gelezobetonnykh constuktsiy pri malotsiklovyykh nagrudgeniyakh tipa seismicheskikh [Strength of reinforced concrete constructions under loads the type of seismic] // *Earthquake engineering. Safety of facilities*. 2013. No. 5. Pp. 30-34 (rus).

9. Garnitsky V.I., Kurnavina S.O. Energy method for determining the direction of cracks in reinforced concrete beams. *The News of Higher Educational Institutions Technology of Textile Industry*. 2018. No 5. Pp. 213-216. (rus)

10. Garnitsky V.I., Belikov A.A. Experimentalnoye izucheniye voschodyashikh i nischodyashikh uchastkov diagram soprotivleniya betonnikh i gelezobetonnykh prizm. *Nauchnoye obozreniye* 2014. No 7-1. Pp. 93-98. (rus)

11. Garnitsky V.I. Razvivitye teorii rascheta uprugoplasticheskyykh gelezobetonnykh konstruksiy na osobiye dinamicheskiye vozdeystviya: dissertation of the Doctor of Technical Sciences. Moscow, MISI, 1998.

12. Kabantsev O.V., Useinov E.S., Sharipov S. O metodike opredeleniya koeffitsienta dopuskayemikh povregdeniy seismostoykikh konstruksiy [Determination of allowable damage factor of antiseismic structures] // *Vestnik TGASU*. 2016. No. 2. Pp. 117-126.

13. Garnitsky V.I., Zabegev A.V. Razvitie teorii seismostoykosti gelezobetonnykh constuktsiy // *Proceedings of the I All Russian Conference on concrete and reinforced concrete*, Moscow, 2001, Vol.2 Pp. 655-658.

14. Kalkan E., Kunnath S.K. Method of modal combinations for pushover analysis of buildings // *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C. Canada, 2004. Paper No. 2713.

15. Sofyan J. Ahmed Seismic evaluation of reinforced concrete frames using pushover analysis, *Al-Rafidian Engineering Journal*. 2013. Vol. 21. No. 3. Pp. 28-45.

16. Hastemoglu H. Seismic performance evaluation of reinforced concrete frames // *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*. 2015. Vol. 12. Issue 5. Pp. 123-131.

17. Aizenberg Ya.M. Spitakskoe zemletryasenie 7 deka brya 1988 goda. Nekotorye uroki i vyvody [Spitak earthquake on December 7, 1988. Some lessons and conclusions]. *Seismostoikeye stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii*. 1999. No. 1. Pp. 6–9. (rus)

18. Andreev O.O., Oizerman V.I. Uroki zemletryaseniya. Obshchie vyvody [Lessons of earthquake. General conclusions]. *Karpatskoe zemletryasenie 1986 g.* Kishinev, 1990. Pp. 323–325. (rus)

19. Martem'yanov A.I., Alekseenkov D.A., Kilimnik L.Sh. Gazliiskoe zemletryasenie 1984 g.: Analiz povedeniya zdanii i inzhenernykh sooruzhenii [Gazli earthquake 1984: Analysis of structural behavior]. Moscow : Nauka Publ., 1988. 118 p. (rus)

20. Kabantsev O.V. Makroseismicheskii effekt zemletryaseniya 4 oktyabrya 1994 g. na ostrovakh Iturup, Kunashir, Shikotan [Microseismic effect of earthquake 4 October 1994 on the Iturup, Kunashir, Shikotan islands]. Moscow : Gosstroy Publ., 1995. No. 4. Pp. 7–11. (rus)

21. Banon H., Veneziano D. Seismic Safety of Reinforced Concrete Members and Structures // *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 1982. V. 10. P. 179–193.

22. Rutman Yu L., Simbort E. Vybor koeffitsienta reduksii seismicheskikh nagruzok na osnove analiza plasticheskogo resursa konstruksii [Selection of reduction coefficient based on seismic loads analysis of plastic resource]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2011. No. 27. Pp. 78–81. (rus)

Информация об авторах:

Курнавина Софья Олеговна

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: sofyK@yandex.ru

Цацулин Илья Владимирович

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: ilya.vladimirovich.t@mail.ru

Манаенков Иван Константинович

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: manaenkov.i.k@gmail.com

Information about authors:

Kurnavina Sofya Ol.

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia, candidate in technical sciences, docent, associate professor of the department of reinforced concrete and stone structures.

E-mail: sofyK@yandex.ru

Tsatsulin Ilya V.

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia, postgraduate student of the department of reinforced concrete and stone structures.

E-mail: ilya.vladimirovich.t@mail.ru

Manaenkov Ivan K.

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia, candidate in technical sciences, associate professor of the department of reinforced concrete and stone structures.

E-mail: manaenkov.i.k@gmail.com