

Д.С. ПОПОВ¹

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОРРОЗИОННО-ПОВРЕЖДЕННЫХ СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

***Аннотация.** В научной литературе практически отсутствуют результаты экспериментальных исследований коррозионно-поврежденных сжатых железобетонных элементов. Как результат достоверно оценить напряженно-деформированное состояние данных конструкций особенно при динамических нагрузениях практически невозможно. Для проведения экспериментальных исследований было изготовлено 37 железобетонных образцов – колонн квадратного сечения размерами 100x100 мм, высотой 700 мм. В железобетонных образцах создавались локальные коррозионные повреждения бетона и арматуры при этом для ускоренного корродирования элементов в качестве агрессора использовался концентрированный раствор (37%) соляной кислоты (HCL). В статье описаны экспериментальные исследования изменения динамических свойств внецентренно сжатых коррозионно-поврежденных железобетонных элементов. На основании данных тензометрии установлено, что коррозионные повреждения приводят к уменьшению высоты сжатой зоны бетона за счет уменьшения сечения растянутой арматуры, а также отсутствия совместной работы арматуры с бетоном. По данным тензометрии получены деформаций внецентренно сжатых коррозионно-поврежденных и неповрежденных сечений, которые показали, что эпюры деформаций принципиально различаются очертанием. Полученные в результате натурного исследования деформации арматуры и бетона, позволили оценить напряженно-деформированное состояние поврежденных и не поврежденных коррозией конструкций по параметру N_e-1/r (кривизна). Установлено влияние коррозионных повреждений на характер разрушения внецентренно сжатых элементов.*

***Ключевые слова:** внецентренно сжатые элементы, коррозионные повреждения, динамическое нагружение, экспериментальные исследования.*

D.S. POPOV¹

¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia.

EXPERIMENTAL STUDIES OF DYNAMIC PROPERTIES OF CORROSION-DAMAGED COMPRESSED REINFORCED CONCRETE ELEMENTS

***Abstract.** There are practically no results of experimental studies of elements made of compressed reinforced concrete damaged by corrosion in the scientific literature. As a result, it is almost impossible to reliably assess the state of deformation-deformation of these structures, especially under dynamic loads. For experimental studies, 37 samples of reinforced concrete were made-columns of square cross-section with dimensions of 100x100 mm, height of 700 mm. Local corrosion damages of concrete and reinforcement were created in reinforced concrete samples, while a concentrated (37%) hydrochloric acid (HCL) solution was used as an aggressor to accelerate the corrosion of elements. The article describes experimental studies on changing the dynamic properties of reinforced concrete elements that undergo corrosion during eccentrically compression. Based on strain gauge data, it was found that corrosion damage leads to a decrease in the height of the compressed concrete section by reducing the cross-section of the stretched reinforcing bars, as well as to the lack of joint work of reinforcing bars with concrete. According to strain measurement data, deformations of uncompressed and undamaged sections were obtained, which showed that the deformation diagrams fundamentally*

differ in their contour. The results obtained as a result of the study of the nature of deformation of reinforcement and concrete allowed us to assess the state of deformation stress of damaged and non-corroded structures according to the parameter $ne-1 / r$ (curvature). The effect of corrosion damage on the nature of destruction of eccentrically compressed elements has been established.

Keywords: *eccentrically compressed elements, corrosion damage, dynamic loading, experimental studies.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тамразян А.Г. К возникновению трещин в модели толстостенного бетонного цилиндра при коррозии с учетом пористой зоны на границе раздела арматуры и бетона / А.Г. Тамразян, М.С. Минеев // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 3(393). С. 159-165. DOI 10.47367/0021-3497_2021_3_159.
2. Тамразян А.Г., Аветисян Л.А. Расчет внецентренно сжатых железобетонных элементов на кратковременную динамическую нагрузку. Строительство: наука и образование. 2013. № 4. С. 2.
3. Пахомова Е.Г., Кретьева В.М., Гордеев А.В., Маяков А.С. К методике оценки работоспособности железобетонных конструкций при нарушении сцепления арматуры с бетоном при коррозионных повреждениях // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 8. С. 28-29.
4. Tamrazyan A.G., Popov D.S., Ubysz A. To the dynamically loaded reinforced-concrete elements' calculation in the absence of adhesion between concrete and reinforcement // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 913. P. 022012. DOI: 10.1088/1757-899x/913/2/022012.
5. Ставская И.С., Марков С.В., Морозова О.В. Продольные трещины в защитном слое бетона в условиях коррозионных повреждений // Строительство и реконструкция. 2012. № 3(41). С. 35-41.
6. Смоляго Г.А. Моделирование величины коррозионных повреждений арматуры железобетонных конструкций в условиях хлоридной агрессивной среды // Известия Юго-Западного государственного университета. 2017. № 1(70). С. 43-49. DOI 10.21869/2223-1560-2017-21-1-43-49.
7. Бондаренко В.М., Ключева Н.В., Колчунов В.И., Андросова Н.Б. Некоторые результаты анализа и обобщения научных исследований по теории конструктивной безопасности и живучести // Строительство и реконструкция. 2012. № 4(42). С. 3-16.
8. Фаликман В.Р., Степанова В.Ф. Новое методическое пособие по назначению срока службы бетонных и железобетонных конструкций с учетом воздействия среды эксплуатации на их жизненный цикл // Вестник НИЦ Строительство. 2020. № 4(27). С. 126-134. DOI 10.37538/2224-9494-2020-4(27)-126-134.
9. Abosrra L, Ashour AF, Youseffi M. Corrosion of steel reinforcement in concrete of different compressive strengths // Construction and Building Materials. 2011;25(10):3915-3925.
10. Apostolopoulos Ch, Koulouris Konstantinos. Corrosion Effect on Bond Loss between Steel and Concrete // Structural Integrity and Failure. 2020. DOI: 10.5772/intechopen.94166
11. Лушникова В.Ю., Тамразян А.Г. Влияние коррозии арматуры на сцепление между арматурой и бетоном // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 4(80). С. 128-137.
12. Zandi K, Coronelli D. Anchorage capacity of corroded reinforcement: Eccentric pull-out tests on beam-end specimens. In: Report No. 2010-06, Department of Civil and Environmental Engineering. Goteborg, Sweden: Chalmers University of Technology.
13. Magda I. Mousa. Effect of bond loss of tension reinforcement on the flexural behaviour of reinforced concrete beams // HBRC Journal, 2016, 12:3, 235-241, DOI: 10.1016/j.hbrj.2015.01.003.
14. Raoul François, Wulong Zhangab, Ruiyan Wang, Yuxin Cai, Linwen Yuc. Corrosion behavior of stirrups in corroded concrete beams exposed to chloride environment under sustained loading // Construction and Building Materials. Volume 274, 8 March 2021, 121987. //doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121987
15. Almassri Béal, Barros Joaquim, Al-Mahmoud Firas, Francois Raoul. A FEM-based model to study the behaviour of corroded RC beams shear repaired by NSM CFRP rods technique // Composite Structures. Volume 131. 2015. Pages 731-741. doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.06.030.
16. Song L., Fan Z., Hou J. Experimental and Analytical Investigation of the Fatigue Flexural Behavior of Corroded Reinforced Concrete Beams // International Journal of Concrete Structures and Materials 13(1):24 (2019). https://doi.org/10.1186/s40069-019-0340-5
17. Прокопович А.А. Сопrotивление изгибу железобетонных конструкций с различными условиями сцепления продольной арматуры с бетоном. Самара, НВФ «Сенсоры, Модули, Системы», 2000.

REFERENCES

1. Tamrazyan A.G., Mineev M.S. On the appearance of cracks in a model of a thick-walled concrete cylinder during corrosion, taking into account the porous zone at the interface between reinforcement and concrete. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. 2021. No. 3 (393). P. 159-165. DOI 10.47367/0021-3497_2021_3_159.

2. Tamrazyan A.G., Avetisyan L.A. Calculation of eccentrically compressed reinforced concrete elements for short-term dynamic load. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovaniye*. 2013. No. 4. P. 2.
3. Pakhomova E.G., Kretova V.M., Gordeev A.V., Mayakov A.S. On the methodology for assessing the performance of reinforced concrete structures in case of violation of the adhesion of reinforcement with concrete in case of corrosion damage. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2011. No. 8. P. 28-29.
4. Tamrazyan A.G., Popov D.S., Ubysz A. To the dynamically loaded reinforced-concrete elements' calculation in the absence of adhesion between concrete and reinforcement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 913. P. 022012. DOI: 10.1088/1757-899x/913/2/022012.
5. Stavskaya I.S., Markov S.V., Morozova O.V. Longitudinal cracks in the protective layer of concrete under conditions of corrosion damage. *Building and reconstruction*. 2012. No. 3 (41). P. 35-41.
6. Smolyago G.A. Modeling the magnitude of corrosion damage to reinforcement of reinforced concrete structures in a chloride aggressive environment. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2017. No. 1(70). P. 43-49. DOI 10.21869/2223-1560-2017-21-1-43-49.
7. Bondarenko V.M., Klyueva N.V., Kolchunov V.I., Androsova N.B. Some results of the analysis and generalization of scientific research on the theory of constructive safety and survivability // *Building and Reconstruction*. 2012. No. 4 (42). Pp. 3-16.
8. Falikman V.R. Stepanova V.F. A new methodological manual on the appointment of the service life of concrete and reinforced concrete structures, taking into account the impact of the operating environment on their life cycle. *Vestnik NIC Stroitel'stvo*. 2020. No. 4 (27). P. 126-134. DOI 10.37538/2224-9494-2020-4(27)-126-134.
9. Abosrra L, Ashour AF, Youseffi M. Corrosion of steel reinforcement in concrete of different compressive strengths. *Construction and Building Materials*. 2011;25(10):3915-3925.
10. Apostolopoulos Ch, Koulouris Konstantinos. Corrosion Effect on Bond Loss between Steel and Concrete. *Structural Integrity and Failure*. 2020. DOI: 10.5772/intechopen.94166
11. Lushnikova V.Yu., Tamrazyan A.G. The effect of reinforcement corrosion on the adhesion between reinforcement and concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. No. 4(80). Pp. 128–137.
12. Zandi K, Coronelli D. Anchorage capacity of corroded reinforcement: Eccentric pull-out tests on beam-end specimens. In: Report No. 2010-06, Department of Civil and Environmental Engineering. Goteborg, Sweden: Chalmers University of Technology.
13. Magda I. Mousa. Effect of bond loss of tension reinforcement on the flexural behavior of reinforced concrete beams. *HBRC Journal*, 2016, 12:3, 235-241, DOI: 10.1016/j.hbrj.2015.01.003.
14. Raoul François, Wulong Zhangab, Ruiyan Wanga Yuxin Cai, Linwen Yuc. Corrosion behavior of stirrups in corroded concrete beams exposed to chloride environment under sustained loading. *Construction and Building Materials*. Volume 274, 8 March 2021, 121987. //doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121987
15. Almassri Belal, Barros Joaquim, Al-Mahmoud Firas, Francois Raoul. A FEM-based model to study the behavior of corroded RC beams shear repaired by NSM CFRP rods technique. *Composite Structures*. Volume 131. 2015. Pages 731-741. doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.06.030.
16. Song L., Fan Z., Hou J. Experimental and Analytical Investigation of the Fatigue Flexural Behavior of Corroded Reinforced Concrete Beams. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 13(1):24 (2019). https://doi.org/10.1186/s40069-019-0340-5
17. Prokopovich A.A. Resistance to bending of reinforced concrete structures with different conditions of adhesion of longitudinal reinforcement to concrete. Samara, NVF "Sensors, Modules, Systems", 2000.

Информация об авторе:

Попов Дмитрий Сергеевич

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

E-mail: popovds89@mail.ru

Information about author:

Popov Dmitry S.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, candidate of technical sciences, senior lecturer of the department of Reinforced Concrete and Masonry Structures.

E-mail: popovds89@mail.ru