

УДК 624.012:69.07

ВИКОРИСТАННЯ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТРІЧКИ ПРИ ПІДСИЛЕННІ ПОЗАЦЕНТРОВО-СТИСНУТИХ КОЛОН

THE USING CARBON STRIPE TO STRENGTHENING OF NON-CENTRALLY COMPRESSED COLUMNS

Бліхарський Я.З., аспірант, **Хміль Р.Є.**, к.т.н., доцент, (Національний університет „Львівська політехніка”, м. Львів), **Собко Ю.М.**, к.т.н., (Представництво фірми Sika в Україні, м. Львів)

Blikharsky Y.Z., postgraduate student, **Hmil R.E.**, candidate of technical sciences (National university Lviv polytechnic, Lviv), **Sobko Y.M.**, candidate of technical sciences, (Representative office of Sika in Ukraine, Lviv)

У цій роботі наведені дослідження ефективності підсилення вуглецевою стрічкою Sikarbodur S512 позацентрово стиснутих залізобетонних колон без дії навантаження та при різних рівнях попереднього навантаження, а саме 0.5 та 0.7 від руйнівного зусилля не підсилених зразків. Використано базову ширину стрічки від виробника 50 мм. Встановлено ефективність застосування системи підсилення.

The paper is devoted to the investigation of efficiency of reinforced concrete column strengthening by pultruded carbon fiber plates under different levels of pre-load, namely 0.5 and 0.7 of the experimental limit state of non-strengthened sample and without loading. There was a base width of the plates from producer 50 mm. The effectiveness of strengthened system was estimated.

Ключові слова:

Бетон, арматура, колона, вуглець, композит, стрічка, підсилення.
Concrete, armature, column, carbon, composite, laminate, strengthening

Вступ. Одними із найбільш поширених систем будівельних конструкцій є монолітні або збірні залізобетонні каркаси. В основному їх застосовують на промислових, громадських об'єктах, інженерних спорудах. Останнім часом, часто застосовують у цивільному будівництві, особливо висотних споруд. Внаслідок різноманітного впливу зовнішнього середовища, в тому числі агресивного у промислових об'єктах, неправильного конструювання чи не врахування перевантаження конструкції, зміна технологічного обладнання

виникає потреба у підсиленні стиснуто-зігнутих елементів. Також з 2006 року в Україні збільшено вимоги до сейсмостійкості конструкцій та величини навантажень та впливів, що при проведенні робіт з обстеження та реконструкції приводить до необхідності підсилення таких конструкцій. Зазвичай при виконанні робіт з підсилення відсутня можливість повного розвантаження конструкцій.

Одним із сучасних методів підсилень, котрий широко застосовують у всьому світі, а з недавніх пір і в Україні є підсилення способом наклеювання композитних матеріалів (FRP) у розтягнутій зоні конструкцій. Одним з таких матеріалів є композитна стрічка SikaCarbodur S512 на епоксидному клею, яка розглядається у даній статті.

Аналіз останніх досліджень. На сьогоднішній день для підсилення, що використовують FRP системи існують нормативні документи та методичні вказівки у багатьох країнах світу. Серед них можна виділити: США [1], Канада [2], Європа [3], Італія [4], Німеччина [5], Великобританії [6], Швейцарії [7], Франції [8], Японії [9], Китаю [10]. В Україні цим питання займаються багато дослідників [11-13].

Метою дослідження є визначення ефекту підсилення позацинтового-стиснутих залізобетонних колон підсилені вуглецевою стрічкою SikaCarbodur S512 шириною 50 мм (повна ширина, котру використовує виробник) під дією різних рівнів початкового навантаження (0, 0.5 та 0.7 від експериментально визначеного руйнівного зусилля не підсилені зразків).

Методика експериментальних досліджень. Для досягнення поставленої мети було виготовлено дослідні зразки колон розмірами 2200x180x140 мм. На краях колони були влаштовані консольні виступи для передачі позацинтового навантаження. За допомогою консолей стало можливим прикладання навантаження з великим ексцентриситетом, що моделює наявність значних згинальних моментів в колонах реального каркасу будівлі. В дослідженні прийнято ексцентриситет рівний 150 мм. Конструкція дослідних зразків показана на рис. 1.

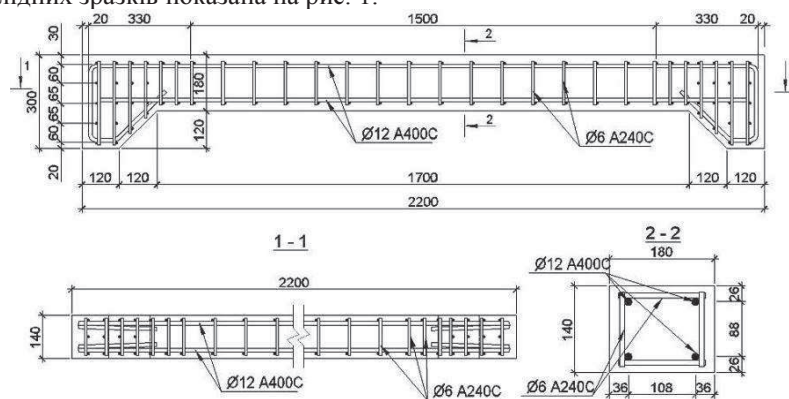


Рис. 1. Конструкція та армування непідсиленіх дослідних зразків

У процесі виготовлення арматурних каркасів було передбачено кріплення для механічних приладів визначення деформацій повздовжньої арматури з базою замірів 200 мм.

Під час робіт з реконструкції повністю розвантажити несучі конструкції будівлі є складно, а в деяких випадках неможливо. Такі залишкові навантаження можуть виникати від власної ваги конструкцій, технологічного обладнання. Тому, як правило, конструкцію можна розвантажити до певного рівня. Щоб промодельовати реальну роботу підсиленого елемента, дослідний зразок перед підсиленням доводили до рівня навантаження $0.5 \cdot N_u^{\text{exp}}$, $0.7 \cdot N_u^{\text{exp}}$ (відповідно 0.5, 0.7 від експериментально визначеного руйнівного зусилля непідсилених зразків). Для загального порівняння також виконано підсилення зразків без попередньої дії навантаження ($0 \cdot N_u^{\text{exp}}$). Усі зразки підсилювали вуглецевою стрічкою Sika CarboDur S512 (рис. 2). шириною 50 мм.

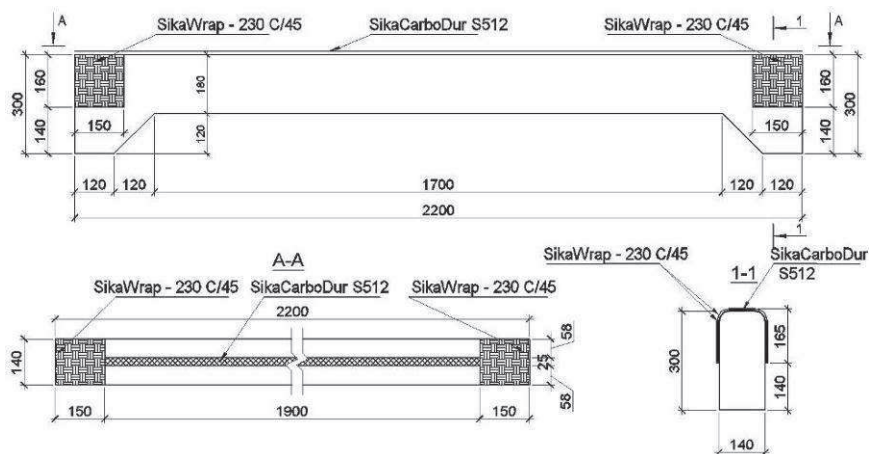


Рис. 2. Конструкція підсилення дослідних зразків.

Вуглецеву стрічку наклеювали на верхню розтягнуту грань колони. Щоб забезпечити анкерування стрічки на консольні ділянки додатково приклеювали по два шари тканини SikaWrap. Роботи виконували згідно встановленої виробником методики [13, 14].

Для досягнення мети досліджень випробувано 8 експериментальних зразків, а саме: 2 зразки не підсилених колон (КЗ-0.1 та КЗ-0.2), 2 зразки підсилені без початкового рівня навантаження (КПС-2.11 та КПС-2.12) та по 2 зразки, що були підсилені при дії навантаження рівному 0.5 та 0.7 від руйнуючого експериментального не підсилених зразків (КПС-2.13-0.5 та КПС-2.14-0.5, КПС-2.15-0.7 та КПС-2.16-0.7). Маркування колон прийнято

наступним: КЗ – колона звичайна, КПС – колона підсилена стрічкою. Перша цифра вказує на номер серії, друга на номер зразка, а третя – на рівень навантаження при підсиленні.

Випробування підсиленої колони до руйнування виконували етапами по 10 кН із витримкою 15 хв. Навантаження прикладали за допомогою гідравлічного домкрата на спеціальному стенді. Експериментальні зразки випробовували у горизонтальному положенні. Для визначення деформативних характеристик колони загалом було використано 28 індикаторів годинникового типу з точністю вимірювання 0,001 мм у не підсиленних зразках та 35 індикаторів у підсиленних зразках. За допомогою індикаторів визначали деформації стиснутої та розтягнутої арматури, крайньої фібри бетону та деформації бетону по висоті перерізу. Для отримання кривизни вигину колони використано 5 прогиномірів типу Аістова, які закріплювали до грані колони рівномірно по довжині (рис. 3)

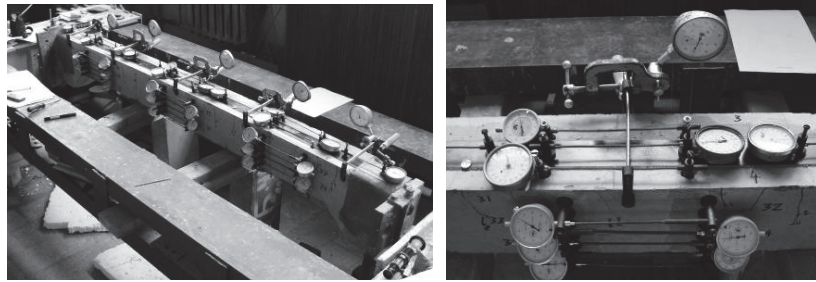


Рис.3. Загальний вигляд стенду та дослідного перерізу колони

Результати експериментальних досліджень. За отриманими результатами випробувань побудовано графічні залежності відносних деформацій розтягнутої арматури та крайньої стиснутої фібри бетону дослідних зразків від прикладеного зусилля N . Для колон марки КЗ та колон підсиленних без дії навантаження графіки представлено на рис. 4.

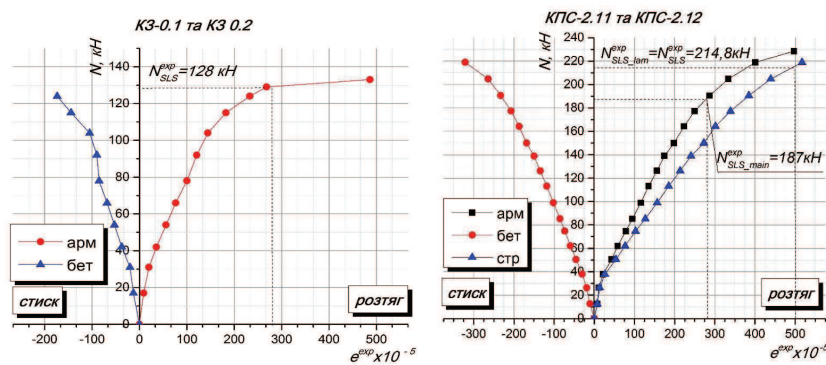


Рис. 4. Усереднені графіки деформацій розтягнутої основної арматури (арм.), додаткової арматури (стр.) та стиснутого бетону (бет.) колон

Для колон марок КПС підсилених при дії навантаження графіки представлено на рис. 5.

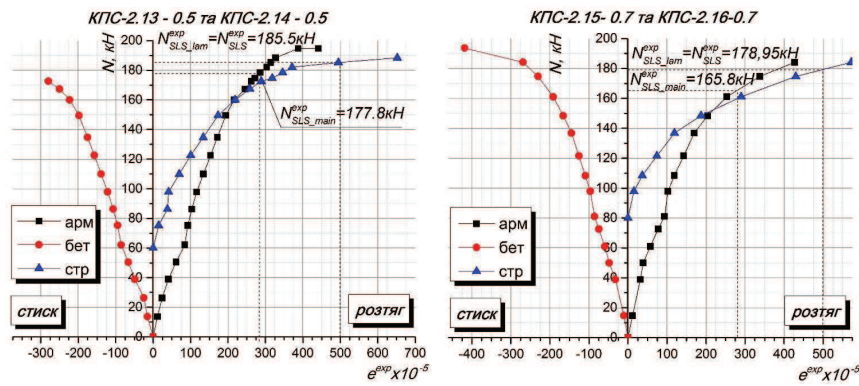


Рис. 5. Усереднені графіки деформацій розтягнутої основної арматури (арм.), додаткової арматури (стр.) та стиснутого бетону (бет.) колон

Відповідно до рекомендаціям FIB [2] розглядається два граничних стана. Перший це “serviceability limit state (SLS)”, тобто експлуатаційний граничний стан конструкції та “ultimate limit state (ULS)” - максимальний граничний стан. Експлуатаційним граничним станом вважаємо досягнення деформацій в розтягнутих сталевій арматурі та вуглецевій стрічці граничних значень. При тому, якщо сталева арматура досягнула межі текучості, а вуглецева стрічка не досягнула граничних значень, як і навпаки, вважається що не відбулося досягнення експлуатаційного граничного навантаження (стану SLS). Максимальне граничне навантаження (стан ULS) вважається що наступає тоді, коли відбувається роздроблення бетону стиснутої зони. У даній роботі ми розглядаємо та аналізуємо експлуатаційний граничний стан SLS.

Величина поздовжньої сили для не підсиленних дослідних зразків серії КЗ (КЗ-0.1 та КЗ-0.2), при якій відбулося досягнення експлуатаційного граничного стану (SLS) складає $N_{SLS}^{exp} = 128 \text{ кН}$. Для дослідних зразків серії КПС (КПС-2.11 та КПС-2.12), підсиленних без попереднього навантаження вуглецевою стрічкою шириною 50 мм досягнення експлуатаційного граничного стану (SLS) відбулося при навантаженні $N_{SLS, lam}^{exp} = N_{SLS}^{exp} = 214.8 \text{ кН}$. При цьому текучість основної арматури колони відбулась раніше, а саме при $N_{SLS, main}^{exp} = 187 \text{ кН}$.

У зразків серії КПС (КПС-2.13-0.5 та КПС-2.14-0.5), котрі підсилені при початковому навантаженні 0.5 від навантаження, що відповідає експлуатаційному граничному стану непідсиленних зразків серії КЗ, текучість основної арматури колони настала при $N_{SLS, main}^{exp} = 177.8 \text{ кН}$, а умовна

текучість стрічки і, відповідно, досягнення експлуатаційного граничного стану (SLS) практично одночасно при $N_{SLS, lam}^{exp} = N_{SLS}^{exp} = 185.5 \text{ кН}$.

Для зразків серії КПС (КПС-2.15-0.7 та КПС-2.16-0.7), підсилених при початковому рівні навантаженні 0.7 від навантаження, що відповідає експлуатаційному граничному стану непідсилених зразків серії КЗ, вичерпання несучої здатності відбувалось в аналогічній послідовності. Величина повздовжньої сили, при котрій відбулась текучість основної арматури $N_{SLS, main}^{exp} = 165.8 \text{ кН}$, а умовна текучість стрічки і, відповідно, досягнення експлуатаційного граничного стану (SLS) при $N_{SLS, lam}^{exp} = N_{SLS}^{exp} = 178.95 \text{ кН}$.

У всіх дослідних зразках спостерігається включення в роботу стрічки одразу після влаштування підсилення. Цьому свідчить прирости деформацій додаткової арматури (стр.) (рис. 4, 5) та зменшення приросту деформацій в основній арматурі (арм.) після приклеювання стрічки. Проковзування стрічки при випробуванні не спостерігалось. Загальні результати експериментальних досліджень зведено для порівняння та для визначення ефективності підсилення у таблицю.

Таблиця

Результати експериментальних досліджень

Шифр зразка	Текучість основної арматури, $N_{SLS_main}^{exp}$, кН		Досягнення граничної деформації (умовна текучість) стрічки, N_{SLS}^{exp} , кН		Ефект підсилення, %	
	зразка	серії	зразка	серії	зразка	серії
КЗ-0.1	127.4	128	-	-	-	-
КЗ-0.2	128.6		-		-	
КПС-2.11	184.8	187	213.7	214.8	67.0	67.8
КПС-2.12	189.2		215.9		68.7	
КПС-2.13-0.5	177.5	177.8	183.7	185.5	43.5	44.9
КПС-2.14-0.5	180.1		187.3		46.3	
КПС-2.15-0.7	164.7	165.8	177.8	178.95	38.9	39.8
КПС-2.16-0.7	166.9		180.1		40.7	

Усереднений ефект підсилення для зразків-близнюків КПС-2.11 та КПС-2.12 склав 67.8%, для зразків-близнюків КПС-2.13-0.5 та КПС-2.14-0.5 – 44.9%, а для зразків-близнюків КПС-2.15 та КПС-2.16-0.7 – 39.8%. Отже, зменшення ефекту підсилення при наявності початкового навантаження в 50% складає 23%, а для 70% навантаження – 28.1%. Цю особливість необхідно враховувати при застосуванні системи підсилення Sika Carbodur S512 для реальних конструкцій, які перебувають на час виконання робіт під навантаженням. Важливим є точне визначення рівня залишкового

навантаження, а також його застосування у теоретичних розрахунках.

Висновки.

1. При використанні для підсилення позацентрово-стиснутих колон композитної стрічки Sika Carbodur S512 можна досягти ефекту підсилення від 39.8% до 67.8 %.

2. Ефект підсилення залежить від величини навантаження що діє на колону у момент підсилення і зменшується із збільшенням навантаження, а саме для даних умов досліджень при наявності початкового навантаження в 50% ефект зменшується на 23%, а при 70% навантаження – на 28.1%.

3. Залежність ефекту підсилення від рівня діючого навантаження необхідно враховувати при застосуванні системи підсилення Sika Carbodur S512. Важливим є точне визначення рівня залишкового навантаження на конструкцію, а також його врахування у теоретичних розрахунках.

1. ACI 440.2R-08, 2008: "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures", Published by American Concrete Institute, Farmington Hills, MI. 2. ISIS Design Manual No. 4 (2001) "Strengthening Reinforced Concrete Structures with Externally Bonded Fibre Reinforced Polymers", Winnipeg, Canada, 2001. 3. FIB Bulletin No. 35 (2006). Retrofitting of concrete structures by externally bonded FRPs, with emphasis on seismic applications, 2006, 220 pp. 4. CNR, 2004, Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures – Materials, RC and PC structures, masonry structures, CNR-DT 200/2004, Italian National Research Council, Rome, Italy. 5. DAfStb-Richtlinie Vorstand №414: "Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung", Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Tiergarten, Berlin, Deutschland, November 2009. 6. TR57, 2003, Strengthening Concrete Structures With Fibre Composite Materials: Acceptance, Inspection And Monitoring, The Concrete Society, UK. 7. SIA Norm 166, 2 Gesamtentwurf vom November 2001: Klebebewehrungen Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Postfach, CH-8039 Zürich, 48p. 8. Réparation et Renforcement des Structures en Béton Au Moyen des Matériaux Composites - Recommandations Provisoires. Bulletin Scientifique et Technique de l'AFGC, Association Française de Génie Civil, 2007. 9. JSCE (2001) "Recommendations for Upgrading of Concrete Structures with Use of Continuous Fibers Sheets", Japan Society of Civil Engineers. Tokyo, 2001. 10. CECS 146 2007: Technical Specification For Strengthening Concrete Structures with Carbon Fiber Reinforced Polymer Laminate, China Association for Engineering Construction Standardization (CECS). Beijing Planning Press, Beijing (in Chinese). 11. Борисюк О.П., Конопчук Розрахунок несучої здатності нормальних перерізів залізобетонних згинальних елементів, підсиленних зовнішньою композитною арматурою за дії малоциклових навантажень // Рекомендації. – Рівне: НУВГП, 2012. – 38 с. 12. Кваша В.Г. Експериментальне дослідження залізобетонної мостової балки за ТП вип. 56, підсиленої композитною стрічкою з вуглецевих волокон CFRP / І.В. Мельник, М.Д. Климуш // 36. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Вип. 62. – К., 2001. – С. 267–271. 13. Бліхарський Я.З. Експериментальні дослідження залізобетонних колон підсиленних вуглецевою стрічкою при дії навантаження низького рівня / Я.З. Бліхарський, Р.С. Хміль. Ю.М. Собко // Зб. наук. праць: Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне, 2013. – вип. 27. – С.440-447. 14. Матеріали з офіційного сайту Sika: <http://ukr.sika.com>.