

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЗЧЕПЛЕННЯ КОМПОЗИТНОЇ СКЛОПЛАСТИКОВОЇ АРМАТУРИ З ВАЖКИМ БЕТОНОМ

STRESS-STRAIN STATE GRIP FIBERGLASS COMPOSITE FITTINGS HEAVY CONCRETE

Чапук О.С., к.т.н, доц. (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк), Кислюк Д.Я., к.т.н, доц. (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк), Гришкова А.В., асп. (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк), Орешкін Д.О. (ТОВ Технологічна група «Екіпаж», м. Харків)

Chapyuk OS, Ph.D., Assoc. (Lutsk National Technical University, Lutsk), Kyslyuk D.Ya., Ph.D., Assoc. (Lutsk National Technical University, Lutsk), Grishkova AV, PhD student. (Lutsk National Technical University, Lutsk), Oreshkyn DO (Open Technology Group "Crew", m. Kharkiv)

Наведені результати випробувань зчеплення композитної склопластикової арматури з важким бетоном за балковим методом RILEM-CEB-FIP, досліджено поведінку нормальних напружень по довжині арматурного стержня та розподіл дотичних напружень в контактному шарі бетону з арматурою.

The problem of conservation of wooden monuments and the ways of their solution on the example of the architectural character of Volyn' is given. Substitution of old wooden items and constructions for new ones involves high material costs and is often unnecessary not only from historical and cultural point of view, but also from the point of view of possibilities to preserve the old wood. Individual complex of restoration works main objective of which is the preservation of the historical authenticity of Lutsk Castle is given in the article.

Ключові слова: композитна склопластиково арматура, важкий бетон, балковий метод RILEM-CEB-FIP, зчеплення, нормальні та дотичні напруження, тензорезистори, тензометрична станція

Keywords: composite fiberglass fittings, heavy concrete girder method RILEM-CEB-FIP, grip, normal and shear stresses, strain gauges, gage station

Постановка проблеми та задачі дослідження.

Зчеплення арматури з бетоном є важливим фактором в забезпеченні їхньої спільної роботи в складі залізобетонних конструкцій. Бетон, розташований в зоні контакту, піддається суттєвій деструкції під час прикладення навантаження. Виходячи з цього розглядається взаємодія трьох компонентів: бетону, контактного шару і арматури. Вивченням статичної роботи контактного шару займається теорія зчеплення [1].

Напружений стан безперервно ускладнюється через появу нових поперечних тріщин, що порушують контакт арматури з бетоном та тріщин, що розвиваються уздовж арматури. Звідси одна з найважливіших завдань теорії залізобетону - з'ясування закономірностей контакту бетону та арматури при передачі розтягуючих зусиль через арматуру в умовах тріщиноутворення [2].

В даній статті ставиться задача детально дослідити питання контакту композитної арматури з бетоном в представлених зразках-балках, випробуваних на згин за балковим методом RILEM/CEB/FIP [3], дослідити поведінку напружень в арматурному стержні та встановити напружено-деформований стан композитної склопластикової арматури під час випробування бетонної балки.

Конструкція дослідних зразків.

Для експериментального дослідження було виготовлено два дослідних зразка з класом бетону C12/15 та два зразка класу C20/25. Для оцінки поведінки напружень в арматурному стержні обрано зразок-балку класу бетону C20/25, при цьому стержень був обладнаний тензодатчиками.

Дослідні зразки-балки мали прямокутний поперечний переріз розміром 120x220мм, довжина балки – 1230мм. Балка складається з двох половинок, які з'єднані в розтягнутій зоні арматурним стержнем діаметром $d=100$ мм, а в стиснутій зоні - шарніром у вигляді двох закладних деталей та металевим циліндром між ними. В кожній з половинок балки стержень має зчеплення з бетоном довжиною $10d$ (d – діаметр стержнів), на інших ділянках зчеплення відсутнє, так як арматурний стержень поміщений у пластикові трубки, довжина кожної 250мм. Довжина кожної з половинок балки – 600мм, відстань між половинками – 30мм. Конструкція балок наведена на рис. 1.

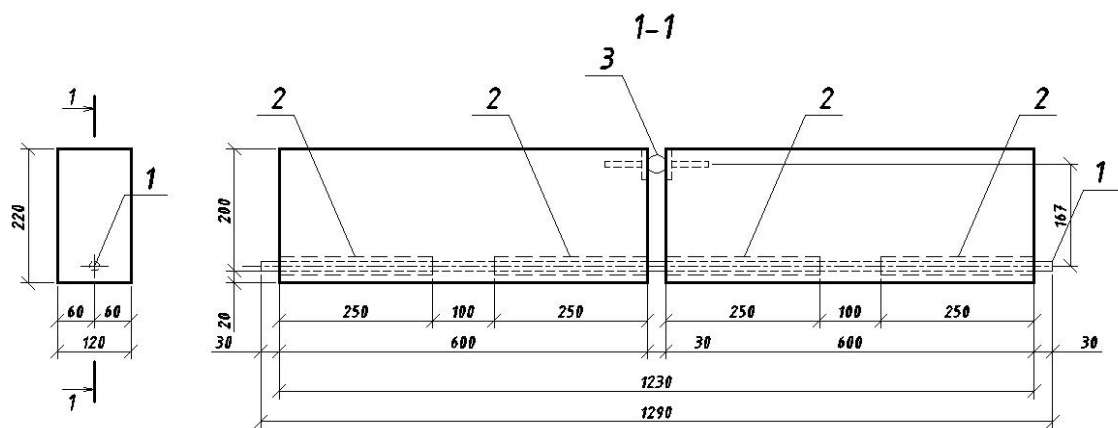


Рис. 1. Конструкція дослідного зразка - бетонної балки:
1 – композитна склопластикова армура Ø10АКС;
2 – пластикова трубка; 3 – сталевий циліндр

Методика експериментальних досліджень. Експериментальні дослідження випробування бетонних балок здійснювались за балковим методом RILEM/CEB/FIB на згин (рис. 2).



Рис. 2. Загальний вигляд випробування бетонних балок

Суть цього методу в тому, що в процесі випробувань вимірюються переміщення вільних кінців досліджуваного стержня, розташованих на торцях балок [4]. Балки випробовувались двома зосередженими силами, відстань між якими становила 400 мм. Навантаження дослідних зразків здійснювалось ступенями по 5 кН. В зразку-балці Б4 на кожному ступені навантаження вимірювали поздовжні деформації стержня, заробленого в бетон, за допомогою тензорезисторів.

Значення зусилля, яке діє на стержень, для його висмикування визначали за такою формулою:

$$N = \frac{M}{z}, \quad (1)$$

де M – момент, що діяв посередині прольоту балки у місці (рис. 3), де вона розділена на дві половинки; z – плече внутрішньої пари сил, що дорівнює відстані від осі стрижня, що висмикувався, до осі шарніра у стисненій зоні.

Момент M визначався за формулою:

$$M = P_1 \cdot e, \quad (2)$$

де e – відстань від прикладеного навантаження P_1 до опори.

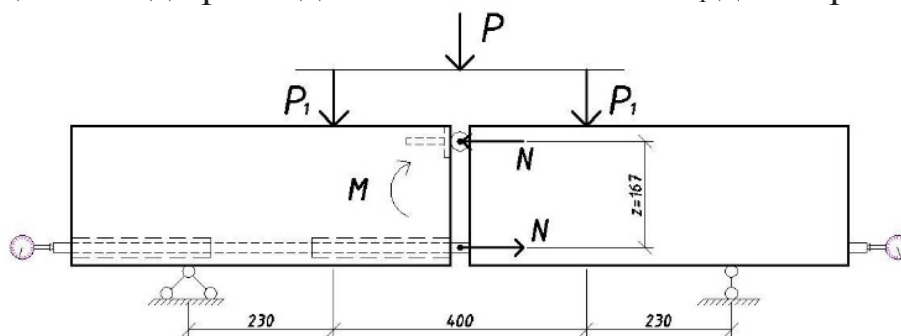


Рис. 3. Схема випробувань бетонних балок

В арматурному стержні дослідного зразка – балки Б4 вибиралися симетрично поздовжні пази глибиною 2мм, в яких розташовувалися тензорезистори для вимірювання деформацій стержня під час випробування на згин бетонної балки (рис. 4).

Тензорезистори приклеювалися клеєм БФ2 та гідроізолювалися епоксидною смолою. Від тензорезисторів влаштовувалися дротяні виводи, які приєднувалися до тензометричної станції.

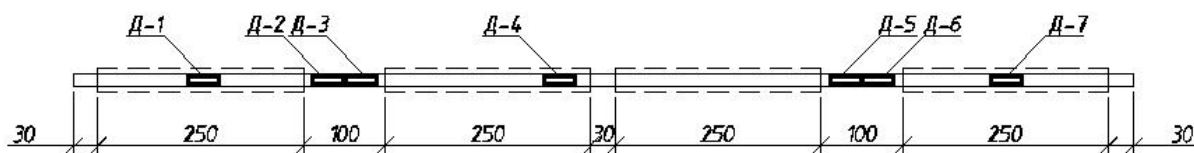


Рис. 4. Схема розташування тензорезисторів в арматурному стержні

Дослідження розподілення напружень зчеплення за допомогою тензорезисторів. При експериментальних випробуваннях дослідного зразка – бетонної балки Б4 за допомогою тензорезисторів вимірювалися деформації арматурного стержня ε_{si} , які виникають в середині довжини стержня, тобто в точках $i - 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ (див. рис. 5). Для того, щоб оцінити поведінку напружень f_{ydi} в арматурному стержні загалом, його визначали в кожній i -тій точці за формулою:

$$f_{ydi} = \varepsilon_{si} \cdot E_s, \quad (3)$$

У кожній i -тій точці за знайденими напруженнями побудовані епюри їхнього розподілу по довжині арматурного стержня для різних рівнів навантажень, а саме $P = 5, 10, 15, 20, 25, 30$ кН та при руйнівному навантаженні $P_u = 34$ кН (рис. 5).

При рівнях навантаження у $P = 5$ кН; 10кН; 15кН за допомогою тензодатчиків відображались зміни напружень по всій довжині стержня. Далі, зі збільшенням величини прикладеного навантаження, поступово кожен із тензодатчиків припиняв свою роботу, при руйнівному навантаженні $P=34$ кН знімалися покази лише з тензодатчика у точці 7 (див. рис. 5).

При збільшенні навантаження від $P=15$ кН (44% від руйнівного $P_u = 34$ кН) відбувається зменшення максимального напруження на ділянках зчеплення. Це свідчить про перерозподіл напруження в арматурному стержні.

На ненавантажених ділянках арматурного стержня, які розташовані поблизу торців балки, при збільшенні навантаження зменшується напруження в стержні.

Окрім нормальних напружень, що виникають в арматурі, необхідно також оцінити розподіл дотичних напружень в арматурному стержні при контакті з бетоном. Для цього детальніше розглядаються ділянки анкерування (довжиною $10d$), на яких розміщені точки $i - 2, 3, 5, 6$. Ці точки розділили зони анкерування (зчеплення з бетоном) стержня на 6 ділянок (див. рис. 5). Прийнято, що на кожній i -тій ділянці в стержні діє зусилля $f_{ydi} A_s$, яке передається на бетон внаслідок виникнення напружень зчеплення та на наступні ділянки стержня (стосується лише ділянок, розташованих в зонах анкерування). В цьому випадку дотичні напруження зчеплення в середині ділянок τ_{ci} можна визначити за формулою:

$$\tau_{ci} = \frac{(f_{ydi} - f_{yd,i-1}) \cdot A_s}{\pi d l_i}, \quad (4)$$

де, f_{ydi} і $f_{yd,i-1}$ - напруження в стержні на i -тій та попередніх ділянках; l_i - довжина i -тої ділянки.

f_{yd} , МПа

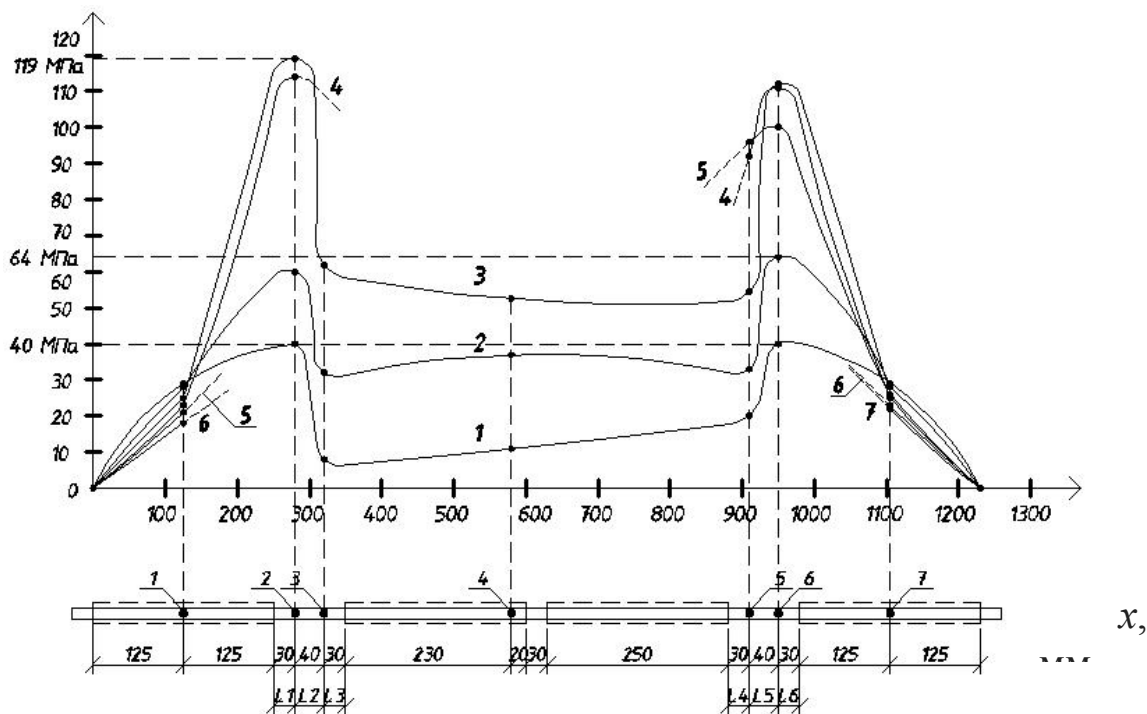


Рис. 5. Графік розподілу напружень f_{ydi} по довжині стержня залежно від навантаження P : 1 – $P = 5$ кН; 2 – $P = 10$ кН; 3 – $P = 15$ кН; 4 – $P = 20$ кН; 5 – $P = 25$ кН; 6 – $P = 30$ кН; 7 – $P_u = 34$ кН (руйнівне зусилля).

За знайденими середніми дотичними напруженнями зчеплення на кожній ділянці побудовані епюри їхнього розподілу по довжині анкерування арматурного стержня в бетоні для певних рівнів навантаження, а саме $P = 5, 10, 15$ кН (рис. 6).

На першій ділянці зчеплення (з тензодатчиками Д-2 та Д-3) (див. рис. 6, а) при мінімальному рівні навантаження $P = 5$ кН максимальне напруження виникло посередині зони анкерування і склало $\tau_c = 3$ МПа. При наступному рівні навантаження $P = 10$ кН зона максимальних напружень залишалась на тому ж місці, при цьому напруження досягли значення $\tau_c = 5$ МПа. Далі при навантаженні $P = 15$ кН максимальне напруження склало $\tau_c = 10$ МПа.

Проаналізувавши розташування кривих на графіку розподілу дотичних напружень (див. рис. 6, б) видно, що права ділянка зчеплення (з тензодатчиками Д-5 та Д-6) симетрично відображає ліву ділянку зчеплення.

τ_c , МПа

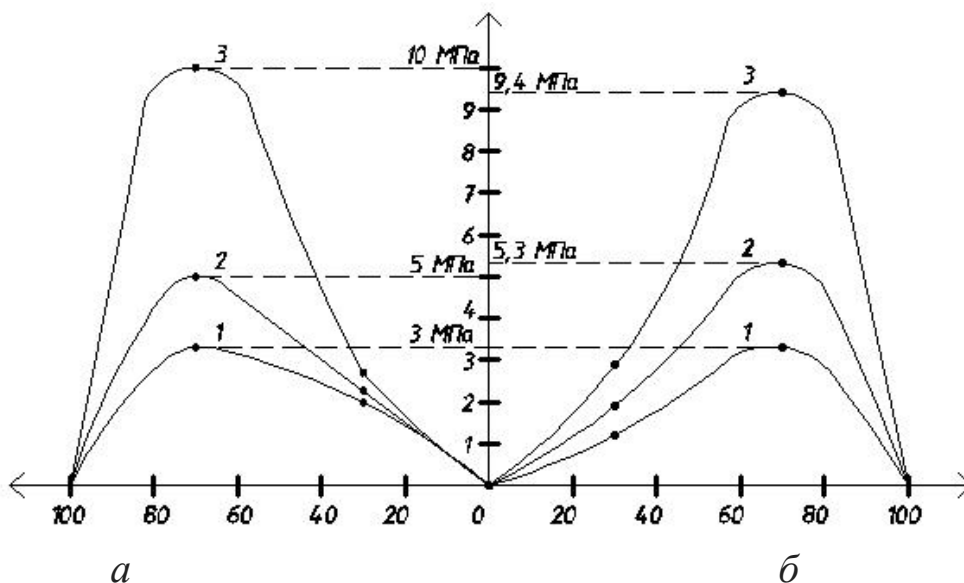


Рис. 6. Графік розподілу дотичних напружень τ_{ci} на ділянках зчеплення стержня з бетоном залежно від навантаження P :
а – ділянка зчеплення 1, на якій розміщені тензодатчики Д-2 та Д-3; б – ділянка зчеплення 2, на якій розміщені тензодатчики Д-5, Д-6; 1 – $P = 5\text{кН}$; 2 – $P = 10\text{кН}$; 3 – $P = 15\text{кН}$

При мінімальному ступені завантаження $P=5\text{кН}$ максимальне напруження виникло посередині зони анкерування і становило також $\tau_c = 3\text{МПа}$. При збільшенні зусилля до $P=10\text{кН}$ напруження досягають максимального значення $\tau_c = 5,3\text{МПа}$. Максимальні напруження $\tau_c = 9,4\text{МПа}$ при наступному рівні навантаження $P=15\text{кН}$ виникають так само посередині ділянки зчеплення.

При навантаженні $P=10\text{кН}$ відносно попереднього рівня навантаження $P=5\text{кН}$ максимальні напруження на ділянках зчеплення зростають майже в 1,5 рази, а при $P=15\text{кН}$ відносно ступеня навантаження у $P=10\text{кН}$ максимальні напруження зростають в 2 рази. Отже, з кожним наступним рівнем навантаження різниця між максимальними напруженнями зростає.

Провівши аналіз кожної з ділянок зчеплення видно, що при завантаженні ділянок виникають напруження, які збільшуються від початку зони анкерування до середини, тоді вони досягають свого максимального значення, після цього поступово зменшуються до кінця зони анкерування.

1. На ненавантажених ділянках арматурного стержня, які розташовані поблизу торців балки, при збільшенні навантаження зменшується напруження в стержні.

2. Під час прикладення навантаження максимальні напруження в арматурному стержні виникають на ділянках зчеплення.

3. При збільшенні навантаження від $P=15\text{кН}$ (44% від руйнівного $P_u = 34\text{кН}$) відбувається зменшення максимального напруження на ділянках зчеплення. Це свідчить про перерозподіл напруження в арматурному стержні.

4. Графіки розподілу дотичних напружень зчеплення арматури з бетоном мають приблизно дзеркальне відображення однієї ділянки анкерування по відношенню до іншої.

5. При завантаженні ділянок зчеплення виникають напруження, які збільшуються від початку зони анкерування до середини, тоді вони досягають свого максимального значення, після цього поступово зменшуються до кінця зони анкерування.

6. При навантаженні $P=10\text{кН}$ відносно попереднього рівня навантаження $P=5\text{кН}$ максимальні напруження на ділянках зчеплення зростають майже в 1,5 рази, а при $P=15\text{кН}$ відносно ступеня навантаження у $P=10\text{кН}$ максимальні напруження зростають в 2 рази, тобто з кожним наступним рівнем навантаження різниця між максимальними напруженнями зростає.

1. Холмянский М.М. Контакт арматуры с бетоном. – М.: Стройиздат, 1981. – 184 с. 2. Бабич Є.М. Чапюк О.С. Вавринюк Б.А. Напружено-деформаційний стан контакту з бетоном арматури серповидного профілю / Містобудування та територіальне планування: Науково-технічний збірник. – Київ: КНУБА, 2011. – Випуск 40. – С. 74-82. 3. Климов Ю.А. Экспериментальные исследования сцепления композитной неметаллической арматуры с бетоном. Ю.А. Климов, О.С. Солдатченко, Д.А. Орешкин: http://frprebar.com/frprebar_test_adhesion_concrete.html. 4. Чапюк О.С. Гришкова А.В. Порівняльний аналіз зчеплення сталеві арматури серповидного профілю з важким бетоном за призовим та балковим методом випробувань / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2014. – Випуск 29. – С. 391-399.