

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДІАГРАМИ ЗСУВУ БЕТОНУ

Азізов Т.Н., *д.т.н., професор*, Вільданова Н.Р., *асп.*

Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса

Аналіз публікацій та постановка задачі

У сучасних дослідженнях залізобетонних конструкцій надзвичайна увага приділяється вишукуванню із дослідження міцнісних характеристик матеріалів, а також вивченню впливу згинальної жорсткості на НДС конструкцій. Науковці (В.С.Дорофеев, М.І.Карпенко, В.М.Кобринець, Т.А.Мухамедієв, В.М.Совгіра, І.О.Узун, Т.П.Чистова, О.Ф.Яременко, Н.Н.Ячменева, В.Е.Ящук та ін.) інтенсивно вивчають і розробляють дво- і трилінійні діаграми стиску бетону, надаючи непропорційно мало значення дослідженню стану бетону за умов кручення, не враховуючи фактичні умови роботи конструкції, що вимушені опиратись дії не лише згину і стиску, але і кручення (наприклад, при будь-якому несиметричному завантаженні елементів просторових конструкцій прольотних будов мостів, перехресно-ребристих систем, як-то впливі характеру розподілу зусиль перекриттів на бортові балки тощо). У програмних комплексах, відповідно, враховується зміна згинальної жорсткості EI на різних етапах стану бетону і ігнорується зменшення крутильної жорсткості GI . Окрім того, як показує автор у своїх дослідженнях [2-4], на крутильну жорсткість значно впливають нормальні тріщини, що виникають в елементах конструкцій від згину. І якщо у вищезазначених роботах автора і його учнів детально розроблялась методика розрахунку залізобетонних елементів з тріщинами при впливі згину і кручення, то безпосередній вплив зміни модуля зсуву бетону з урахуванням деформацій пластичності на крутильну жорсткість конструкцій ще не досліджено.

Існуючі теоретичні вишукування процесів, що розвиваються при крученні елементів ЗБК, як правило, не мають взагалі або мають недостатньо експериментальних підтверджень [6-11]. Тому **метою даної роботи** є експериментальне визначення модуля зсуву G_c з урахуванням нелінійних властивостей бетону. Розглядаючи діаграму зсуву бетону, що встановлює залежність між напруженнями і кутовими деформаціями бетону при короткочасній дії одноразово прикладеного навантаження до граничних руйнуючих значень, маємо її також розглядати і

використовувати як узагальнену характеристику механічних властивостей бетону, подібно діаграмі стиску (рис. 1).

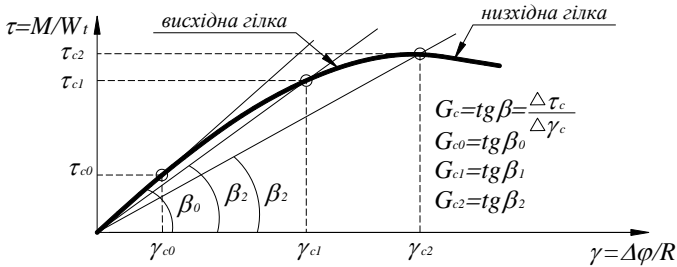


Рис. 1 Загальний вигляд деформування бетону при чистому короткочасному крученні

Сучасна нормативна база передбачає розрахунок конструкцій за пружними жорсткісними характеристиками – але залізобетонні елементи не є суцільними пружними тілами, через що цей розрахунок не відповідає справжній картині роботи елементів і вимагає удосконалення, вірної оцінки жорсткісних характеристик ЗБЕ з урахуванням непружних деформацій, розвитку тріщин, а також вимагає дослідження характеру роботи модуля зсуву на різних етапах навантаження конструкції і впровадження результатів у практику [2,7]. Дані дослідження допоможуть більш точно враховувати фізичну нелінійність бетону при розрахунках.

Викладення основного матеріалу

Методика отримання діаграми зсуву бетону детально наведена у роботі [1]. Принцип і основні положення полягають у використанні траверси для контрольованої передачі зусиль на бетонний зразок (від 0.1 до руйнуючого з частішанням до 0.33 на останніх ступенях). Сутність процедури отримання повної діаграми зсуву і стиску бетону єдина. Складність полягає в експериментальному визначенні параметричних точок низхідної гілки діаграми після проходження пікової точки напружень [1,6]. Якщо форму кривої на висхідній гілці діаграми нескладно отримати завдяки стандартним випробуванням, то після досягнення бетоном границі короткочасної міцності необхідне використання спеціального обладнання через раптове руйнування зразку і неможливість визначення низхідної гілки. Причина у тому, що традиційні преси при випробуваннях за умови рівномірного прирощення навантаження при досягненні пікової точки діаграми деформування, що відповідає границі короткочасної міцності, накопичують значну потенційну

енергію деформації, яка миттєво реалізується в енергію удару. Тому для зменшення взаємодії «випробувальна машина – дослідний зразок» використовують, наприклад, сталеві циліндри і колони, що навантажуються паралельно зі зразками, і які після досягнення границі короткочасної міцності сприймають на себе ударне навантаження.

Але автором [4] був розроблений інший дієздатний спосіб отримання параметричних точок діаграм, при якому навантаження сприймає спеціальна траверса [1,4]. На рис.2 наведена схема, яку використано при отриманні низхідної гілки діаграми за чистого кручення.

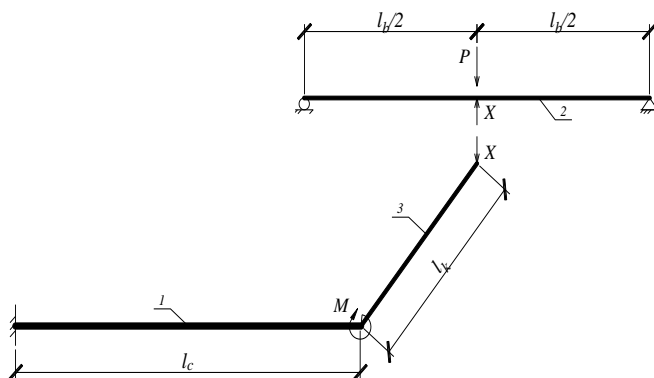


Рис. 2 Схема зусиль у статично невизначеній системі «траверса-зразок, який випробується на кручення»

Умовні позначення:

1 – бетонний зразок (циліндр-вісімка);

2 – траверса, за допомогою якої контролюється зусилля на циліндр;

3 – важіль для створення необхідного крутного моменту на «вісімку»;

P – сила, прикладена до траверси;

X – сила, що передається на бетонний циліндр через важіль 3;

M – крутний момент, який сприймає досліджуваний зразок.

Переваги даного способу отримання параметричних точок діаграми зсуву бетону забезпечені завдяки сумісній деформації зразку з траверсою з самого початку завантаження і відсутності необхідності втручання у процес випробування, що дозволяє отримати чіткі значення точок діаграм $M_r-\varphi$ і, відповідно, $\tau-\gamma$, уникаючи похибок системи «експериментатор – дослідний зразок».

Експериментальна робота полягала у випробуванні на кручення дев'яти зразків: трьох серій по три циліндри (рис.3). Характеристики

бетону для всіх зразків: клас С16/20, $f_{ck}=15.3236\text{МПа}$, $f_{ctk}=1.3328\text{МПа}$, $E_{ck}=2275.961\text{МПа}$. Геометрія зразків (див. рис. 3): в усіх серіях зовнішній діаметр складав $D=20\text{см}$, а внутрішній у 1-й серії $d_1=11\text{см}$, у 2-й – $d_2=14\text{см}$, у 3-й – $d_3=16\text{см}$, і, відповідно, товщина стінки циліндра дорівнювала $t_1=4.5\text{см}$, $t_2=3\text{см}$, $t_3=2\text{см}$. Для надійного закріплення і з метою запобігання руйнуванню зразків у приопорних зонах торці були розширені і армовані (A300С, $\varnothing=1\text{см}$): зовнішній діаметр для всіх зразків складав 37.3см , а внутрішній дорівнював внутрішньому діаметру зразків. Довжина досліджуваної зони складала 60см . Для визначення деформації зразку з обох сторін циліндра за допомогою епоксидної смоли були прикріплені індикатори з базою 25мм .

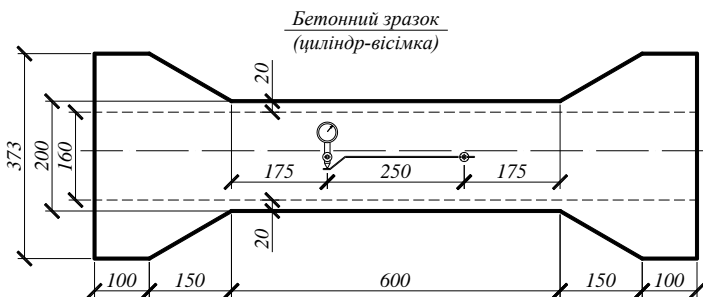


Рис. 3 Геометричні дані бетонного зразка

У всіх випадках спіральна просторова тріщина кручення розвивалась з мікротріщини, яка утворювалась від кінця арматурного стрижня під кутом 45° на останніх етапах завантаження перед досягненням бетоном зразків граничної короткочасної міцності; тріщина розвивалась не стрімко, повне руйнування відбувалось наприкінці експерименту, при отриманні останніх точок низхідної гілки.

Отримані результати, які зводяться у графіки $M_r-\varphi$ і $\tau-\gamma$. Нижче наведена діаграма $\tau-\gamma$ (рис.4), оскільки вона характеризує не лише стан поточних міцнісно-деформативних характеристик бетону і геометрії зразку, а має фундаментальний характер і є істотно важливою при визначенні і дослідженні НДС бетонних конструкцій.

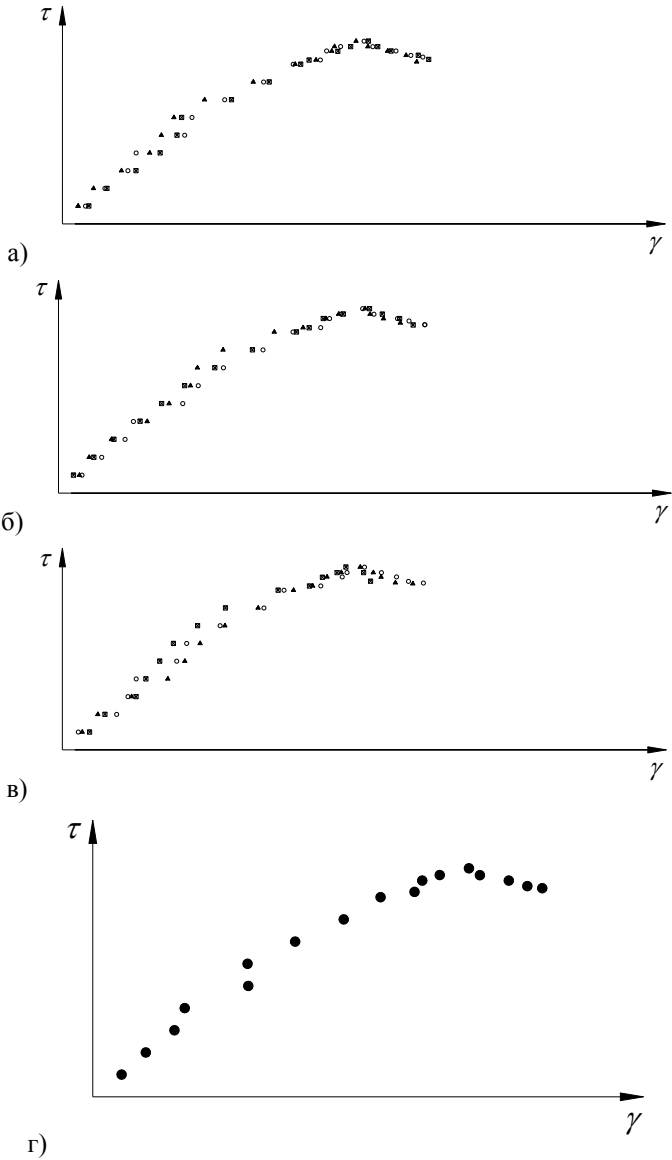


Рис. 4 Экспериментальні параметричні точки
діаграми зсуву бетону: а) перша серія зразків; б) друга серія зразків
в) третя серія зразків; г) результуюча діаграма

Аналіз досліджень експериментальних зразків

Загальний вигляд діаграм зсуву і стиску тотожний, відміни прослідуються у коефіцієнтах пружньопластичності [8,11], через що певною мірою змінюється форма діаграми. При дослідженні кручення слід розглядати його як складний напружено деформований стан, при якому внутрішні зусилля розвиваються не лише у площині одного перерізу, як ідеалізовано представляється при зсуві. У прилягаючих волокнах під кутом 45° розвиваються і стиск з розтягом у протилежних частинах перерізу, тому відбуваються і зім'яття бетону від стиску, і виникнення тріщини від розтягуючих напружень за границею міцності матеріалу. Аналіз (рис.4) свідчить про те, що низхідна гілка діаграми $\tau-\gamma$ значно коротша за низхідну гілку діаграми $\sigma-\varepsilon$ при стиску. Це пов'язано з тим, що бетонний зразок руйнується від дії розтягуючих напружень. Аналогію можна прослідити у «розтягнутій» частині діаграми $\sigma-\varepsilon$, де низхідна її частина значно коротша.

Відтак, методика О.Ф.Яременка підтверджує свою достовірність, але на даному етапі досліджень автори рекомендують обривати діаграму, оскільки далі зразок руйнується, що може свідчити саме про подібність роботи бетону після досягнення граничних внутрішніх зусиль за кручення в роботі матеріалу за зсуві.

Висновки та перспективи досліджень

1. Від крутильної жорсткості в просторово деформуючихся системах залежить перерозподіл зусиль, при цьому крутильну жорсткість при наявності нормальних тріщин і зміні модуля зсуву не досліджено; і в нормативних розрахунках, і у програмних комплексах, відповідно, передбачається зміна січного модуля деформацій, а зміна модуля зсуву не враховується.

2. З аналізу діаграми на даному етапі досліджень приходимо до висновку необхідності обмеження деформацій γ .

3. Для внесення змін у норми і сучасні методики розрахунку з метою врахування зсувної жорсткості необхідно експериментальне підтвердження існуючих теоретичних методик розрахунку діаграми зсуву бетону і їх вдосконалення згідно з експериментальними даними. Значення даної роботи полягає у проведенні експерименту і отриманні даних для подальших досліджень крутильної жорсткості.

4. Надалі планується оприлюднити результати порівняння експериментальних даних з теоретичними, розрахованими за сучасними методиками.

5. Для нормування параметричних точок діаграми $\tau-\gamma$, очевидно, необхідно проведення значно більшої кількості експериментальних випробувань для забезпечення мінімальної вибірки 0,95, кореляційної

збіжності з теоретичними даними або введення додаткових коефіцієнтів у складаючі описуючих діаграму рівнянь і запобігання систематичної помилки.

Summary

The parametric points of the stress-strain diagram for the concrete in pure torsion have been defined in the course of the tests of the concrete cylinders under laboratory conditions on the basis of the Odessa State Academy of Building and Architecture. First the points of the descending branch of this diagram have been received.

Література

1. Азизов Т.Н., Вильданова Н.Р. Экспериментальное определение нелинейной диаграммы сдвига бетона // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 46 – Одеса: ОДАБА, 2012. – С. 3-8.
2. Азизов Т.Н. Жесткость железобетонных элементов при кручении и ее влияние на пространственную работу мостов // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій// Збірник наукових праць. НАН України. Фізико-мех.інститут ім. В.Г.Карпенка. – Львів, 2009. – С. 576-590.
3. Азизов Т.Н., Парамонов Д.Ю. Расчет прочности при кручении железобетонных элементов с нормальными трещинами с применением диаграммы деформирования бетона// Проблемы современного бетона и железобетона. Матер. III международного симпозиума (Минск, 9-11.11.2011). Том. 1. – С. 20-24.
4. Азизов Т.Н. Способ построения диаграмм состояния бетона // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 28 – Одеса: ОДАБА, 2007. – С. 3-8.
5. Азизов Т.Н. Теория пространственной работы перекрытий. – Киев: Науковий світ, 2001. – 276 с.
6. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования// Учебное пособие для студентов строительных специальностей. Под ред. проф. Т.М. Пецоляда и проф. В.В. Тура.- Брест, БГТУ, 2003. – 380 с.
7. Залесов А.С. Краткие заметки о расчете железобетонных конструкций методом конечных элементов. – М.: ЦПП, 2008. – 20с.
8. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. – М.: Стройиздат, 1976. – 208 с.
9. Коуэн, Г. Д. Кручение в обычном и предварительно напряженном железобетоне Текст. / Г. Д. Коуэн. – М., 1972.
10. Тимофеев, Н. И. Расчет железобетонных конструкций при сложных деформациях. – Киев: Будівельник, 1985. – 128 с.
11. Яременко О.Ф. Несуча здатність та деформативність залізобетонних стержневих елементів в складному напруженому стані / О.Ф.Яременко, Ю.О. Школа. – Одеса: ОДАБА, 2010. – 136с.