

УДК 691.327 : 539.4

В.В.САВИЦЬКИЙ

Рівненський державний університет водного господарства і природокористування

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМУВАННЯ ВАЖКОГО БЕТОНУ ПРИ РОЗТЯГАННІ

Розкрито механізм руйнування бетону при розтяганні, обґрунтовано залежність між напруженнями і деформаціями бетону при розтяганні. Результати теоретичних досліджень підтверджені експериментальними даними.

У нормативній літературі з проектування залізобетонних конструкцій у розрахунках міцності розтягнутих та стиснуто-розтягнутих перерізів робота бетону на розтягання не враховується. У граничному стані для стиснуто-розтягнутих перерізів у бетоні стиснутої зони приймають рівномірно-розподілену епору напружень, а роботою розтягнутого бетону нехтують, вважаючи, що це не призводить до суттєвих похибок [1]. Таке положення спричинило те, що робота бетону на розтягання практично не вивчалась.

У роботі [2] розглянута міцність бетону на розтягання. Вказано, що процес руйнування бетону при розтяганні обумовлений зародженням, формуванням та поширенням мікротріщин, а деформації в цьому випадку викликаються перш за все збільшенням об'єму порот різного походження. Виявлено, що зі збільшенням розтягуючого навантаження швидкість проходження ультразвуку через бетон зменшується, що свідчить про порушення суцільності бетону, починаючи з незначної інтенсивності розтягання [2].

Удосконалення методів розрахунку залізобетонних конструкцій відповідно до дійсних фізичних процесів при руйнуванні й деформуванні елементів вимагає використання деформаційної моделі перерізів, в яких необхідно враховувати роботу розтягнутого бетону в усіх розрахунках за граничними станами. Це потребує глибокого дослідження роботи бетону при розтяганні.

Основною характеристикою роботи бетону під навантаженням є діаграма його деформування " $\sigma_b - \varepsilon_b$ ". Такі залежності досконало вивчені для бетону при стисканні. Але багато з них містять емпіричні коефіцієнти. Такої вади не має формула, запропонована в роботі [3], яка для випадку стискання має вигляд

$$\sigma_b = \frac{E_{b0}}{\frac{1}{\varepsilon_b} + \frac{(1 - \nu_{bR})E_{b0}}{R_b}}, \quad (1)$$

де σ_b – напруження в бетоні при осьовому стисканні; ε_b – повні відносні поздовжні деформації бетону; R_b – опір бетону осьовому стиску (призмова міцність); E_{b0} – початковий модуль пружності бетону при стисканні, що відповідає умові $\sigma_b=0$; ν_{bR} – граничне значення коефіцієнта пружності бетону.

Використаємо форму залежності (1) для випадку розтягання і подамо її у вигляді

$$\sigma_{bt} = \frac{E_{bt0}}{\frac{1}{\varepsilon_{bt}} + \frac{(1 - \nu_{btR})E_{bt0}}{R_{bt}}}, \quad (2)$$

де σ_{bt} – напруження в бетоні при осьовому розтяганні; ε_{bt} – повні відносні поздовжні деформації бетону при розтяганні; R_{bt} – опір бетону осьовому розтягу (призмова міцність); E_{bt0} – початковий модуль пружності бетону при розтяганні (при $\sigma_{bt}=0$); ν_{btr} – граничне значення коефіцієнта пружності бетону при розтяганні.

З метою перевірки достовірності формул (3) і (4) для випадку розтягання бетону були виконані експериментальні дослідження. Виготовили призми розміром $10 \times 10 \times 40$ см, які випробували на стискання (призми ПС), і розміром $10 \times 10 \times 60$ см, які випробували на розтягання (призми ПР). Бетон мав склад 1:1,98:4,22 (за вагою) при В/Ц=0,49 і був виготовлений на основі портландцементу марки 400. Дрібним заповнювачем слугував кварцевий пісок з модулем крупності 1,8 та гранітний щебінь фракції 5–20 мм. Кубова міцність бетону у віці 90 діб склала 25,2 МПа.

Призми ПС виготовляли в металевих формах у горизонтальному положенні, а призми ПР – в касетних металевих формах у вертикальному положенні. Ущільнення бетонної суміші здійснювали на лабораторному вібромайданчику. У призмах ПР на торцях розміщували анкерні пластини товщиною 40 мм, що мають чотири анкерні стержні різної довжини та сферичне гніздо в центрі для розміщення кульового шарніру.

Призми ПС випробували на стиснення в гідравлічному пресі П–250. Деформації бетону вимірювали індикаторами годинникового типу МІГ–1, які закріплювали по чотирьох гранях призми на базі 200 мм. Призми ПР випробували в спеціальній пружинній установці, навантаження в якій визначали за деформаціями попередньо протарованої пружини [4]. Деформації розтягання також вимірювали індикаторами годинникового типу МІГ–1, які встановлювались на базі 400 мм. Нава-

нтаження всіх призм здійснювали ступенями, величина яких становила приблизно 10% від руйнівного зусилля. Випробували по три зразки-близнюки.

За результатами випробувань визначали призову міцність і міцність бетону при осьовому розтяганні, будували епюри залежності деформацій від напружень та залежності модуля пружно-пластичності бетону від рівня навантаження стиску й розтягу. Призова міцність складала $R_b=21,0$ МПа на стискання, а міцність на розтягання – $R_{bt}=1,7$ МПа.

Результати експериментальних досліджень підтвердили можливість використання залежностей (1) і (2) для описання процесу деформування бетону як при стисканні, так і при розтяганні. На рис.1,а наведено експериментальні точки й теоретична крива, побудована за формулою (1) для призм ПС, які піддавали одноразовому стисканню, а на рис.2,а – для призм ПР, які піддавали одноразовому розтяганню, криву деформування будували за формулою (2). Порівняння теоретичних і експериментальних даних свідчить про відповідність формул (1) і (2) дійсному процесу деформування бетону при одноразовому стисканні й розтяганні відповідно.

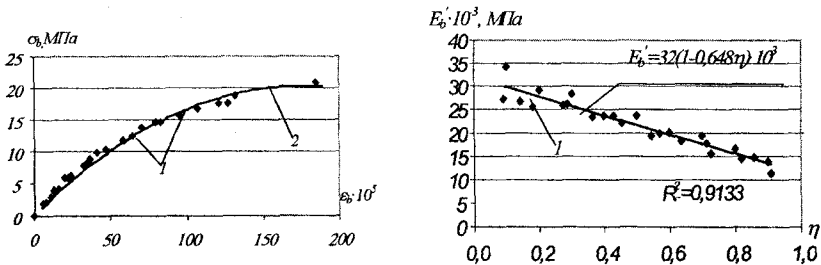


Рис.1 – Залежності деформування бетону при стисканні:
 а – залежність “ $\sigma_b - \epsilon_b$ ”; б – залежність “ $E_b - \eta$ ”;
 1 – дослідні точки; 2 – теоретична крива за формулою (1).

При використанні формул (1), (2) значення деформативних параметрів $E_{bt,0}$; E_{b0} ; ν_{bR} і $\nu_{bt,R}$ встановлювали за статистичними лінійними залежностями між модулем пружно-пластичності (січним модулем) і рівнем навантаження, де $\eta = \sigma_b/R_b$; $\eta_t = \sigma_{bt}/R_{bt}$.

Слід зазначити, що лінійна залежність ($E_{bt} - \eta_t$) у виконаних дослідках роботи бетону на розтягання отримана вперше.

При значеннях $\sigma_b=0$ і $\sigma_{bt}=0$ (відповідно $\eta=0$ і $\eta_t=0$) початкові модулі пружності бетону практично однакові: $E_{b0}=32000$ МПа;

$E_{bt,0}=33600$ МПа (різниця становить менше 5%). Враховуючи це, у формулі (2) можна використовувати $E_{b0,t}=E_{b0}$.

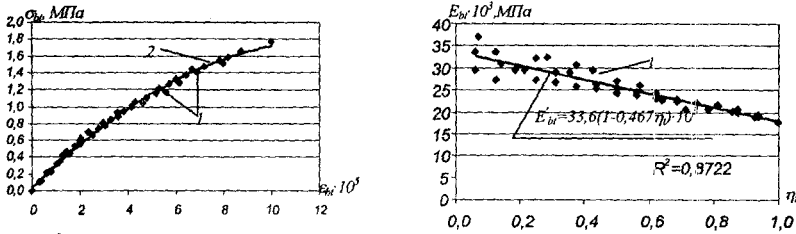


Рис.2 – Залежності деформування бетону при розтяганні:

а – залежність “ $\sigma_{bt}-\epsilon_{bt}$ ”; б – залежність “ $E_{bt}-\eta_t$ ”;

1 – дослідні точки; 2 – теоретична крива за формулою (2).

Граничні значення січного модуля бетону при $\sigma_b=R_b$ і $\sigma_{bt}=R_{bt}$, виходячи із залежностей (3) і (4), складають $E_{b,R}=11264$ МПа і $E_{bt,R}=17909$ МПа, а це свідчить про те, що при розтяганні бетон деформується більш пружно, ніж при стисканні, тобто при розтяганні коефіцієнт пружності більший ($\nu_{bt} > \nu_b$).

Отже, діаграму деформування бетону при розтяганні можна прийняти у вигляді (2). Між модулем пружно-пластичності бетону і рівнем розтягуючого напруження може бути прийнята лінійна залежність.

1.Залесов А.С., Кодыш Э.Н., Лемыш Л.Л., Никитин И.К. Расчет железобетонных конструкций по прочности, трещиностойкости и деформациям. – М.: Стройиздат. – 320 с.

2.Грушко И.М., Ильин А.Г., Рашевский С.Т. Прочность бетонов на растяжение. – Харьков: Изд-во Харьк. гос. ун-та, 1973. – 156 с.

3.Бабич Є.М., Крусь Ю.О. До питання побудови діаграми деформування бетону та визначення коефіцієнта повноти спори напружень // Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. Вип.6. – Рівне: РДТУ, 2001. – С.94-104.

4.Бабич Є.М., Савицький В.В. Дослідження деформування бетону при одноразовому та повторному розтяганні // Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. Вип.7. – Рівне: РДТУ, 2001. – С.95-105.

Отримано 21.05.2002