

РАСЧЕТ ОСТАТОЧНОЙ ПРОЧНОСТИ ПОВРЕЖДЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

Клименко Е.В.¹, д.т.н., профессор, Орешкович М¹., аспирант,
Сольдо Б²., доктор философии, профессор

¹Одесская государственная академия строительства и архитектуры,

²Университет Север, Вараждин, Хорватия

Введение.

Железобетон в настоящее время широко используется и является перспективным материалом для возведения зданий и сооружений. Его высокая несущая способность на сжатие имеет свое лучшее проявление в строительных конструкциях, особенно в сжатых таких как колонны (в первую очередь в многоэтажных зданиях).

В процессе эксплуатации происходит износ и повреждение конструкций и их элементов. Причин повреждений множество, что бы избежать их крайне негативных последствий необходимо проводить своевременный мониторинг состояния зданий в целом и отдельных конструкций в частности [2].

Анализ предыдущих исследований.

Нормативные документы, действующие ныне [1], не дают исчерпывающих ответов относительно некоторых задач реконструкции. Поэтому, актуальной остается проблема определения остаточной несущей способности поврежденных несущих элементов.

Цели и задачи исследований.

Авторами рассматривается конкретный случай повреждений – это локальные повреждения части сечения. В таком случае особенностью работы таких конструкций будет то, что при наличии повреждений у плоско сжатых конструкций наблюдается косое внецентренное сжатие, то есть случай, когда силовая плоскость не совпадает ни с одной главной осью поврежденного сечения. Напряженно-деформированное состояние и несущая способность оголенных стержней продольной сжатой арматуры так же имеет свои особенности и они не учитываются в действующих в Украине нормах. Целью статьи есть создание метода расчета поврежденных сжатых конструкций.

Основная часть.

Для экспериментальных испытаний напряженно-деформированного состояния и несущей способности поврежденных железобетонных ко-

лонн под нагрузкой было изготовлено 15 образцов колонн одинаковой высоты 1000 мм. Модели имели круглое поперечное сечение диаметром 300 мм. Бетонирование выполнялось готовым промышленным бетоном на предприятии „Загорье-Технобетон“ (Вараждин, Хорватия).

В качестве основных параметров (таблица 1), которые влияют на остаточную несущую способность моделей на основании анализа фактических повреждений конструкций, выбраны следующие:

- глубина повреждения $b(x_1)$;
- эксцентриситет приложения силы $e_0(x_2)$;
- угол между силовой плоскостью и главной осью сечения $\Theta(x_3)$.

Таблица 1 Основные элементы матрицы планирования

Факторы, которые исследуются		Уровни варьирования			Интервал варьирования
код	натуральные значения	-1	0	+1	
x_1	глубина повреждения	0	$R/2$	R	$R/2$
x_2	эксцентриситет приложения	0	$R/2$	R	$R/2$
x_3	угол откола Θ ,	0	45°	90°	45°

Глубина повреждения определяет характер и интенсивность повреждения, в то время как эксцентриситет (положение силы) определяют характер и режим нагружения элемента. Бетонирование проводилось бетоном класса С 25/30 с проверкой прочности на сжатие на стандартных образцах, взятых при бетонировании. Арматурный каркас изготовлен из арматуры класса А 500, (продольная арматура $\varnothing 12$ мм), поперечная арматура – стержни $\varnothing 8$ мм. Схема армирования показана на рис. 1.

В процессе проведения исследований установлены основные параметры напряженно-деформируемого состояния, что позволило сформулировать основные предпосылки расчета остаточной несущей способности элементов:

1) Принимается гипотеза плоских сечений, т.е. после деформирования сечения остаются плоскими, а по высоте сечения деформации изменяются по линейной зависимости.

2) Напряжения в сжатой зоне распределяются равномерно с интенсивностью $\eta \cdot f_{cd}$.

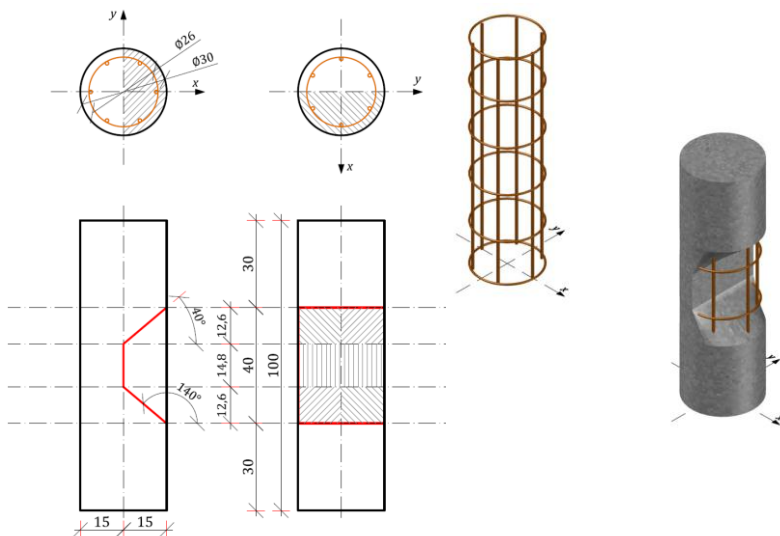


Рис. 1. Конструкция экспериментальной модели с повреждением на глубину радиуса R .

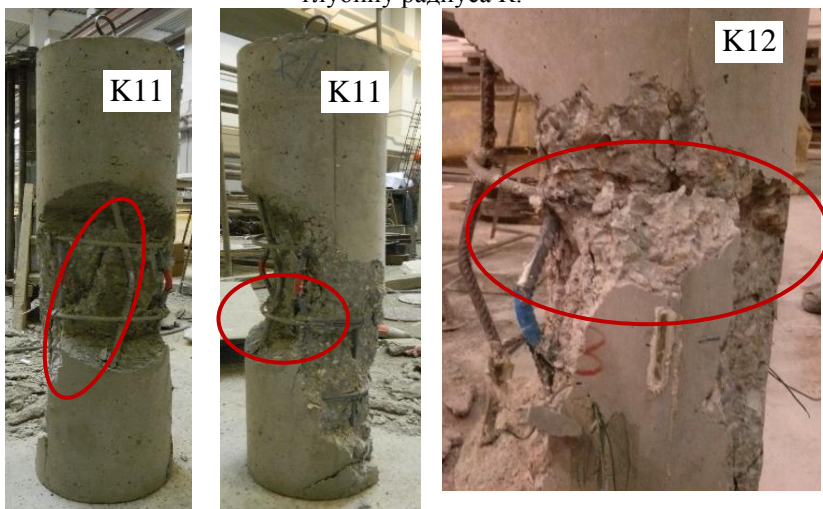


Рис. 2. Разрушение элементов в средней части

3) Работа растянутого бетона в восприятии внешних усилий не учитывается. Сопротивление бетона сжатию представляется напряжениями равными f_{cd} .

- 4) Растягивающие напряжения в арматуре принимают не более расчетного сопротивления растяжению f_t .
- 5) Сжимающие напряжения в арматуре принимают не более расчетного сопротивления на сжатие f_{yd} .
- 6) Фронт повреждения имеет прямолинейный очертание.
- 7) Напряжения в арматуре определяются в зависимости от относительной высоты сжатой зоны бетона.
- 8) Учитывается работа обнаженных арматурных стержней.
- 9) Условие параллельности силовых плоскостей: точка приложения внешней силы A , равнодействующая сжимающих усилий в бетоне и арматуре B и точка приложения равнодействующей усилий в растянутой арматуре C должны лежать на одной прямой (рис. 3).

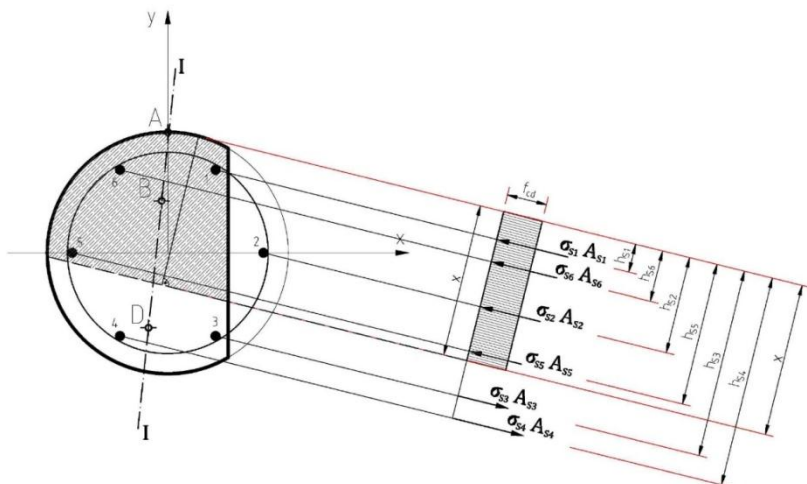


Рис. 3. Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси

Для точного определения прямая $I-I$ нужно установить (и зафиксировать) координаты точек A , B и D , следующее:

Точка A – точка приложения силы, имеет известные координаты $(0, e_y)$;

Точка B – точка приложения равнодействующей сжатого бетона N_c и сжатой арматуры N'_s , её координаты обозначим как (x_b, y_b) ;

Точка D – точка приложения равнодействующей растянутой арматуры, её координаты (x_d, y_d) .

Тогда, по аналогии, имеем, что равнодействующая сжатой зоны бетона лежит на одной прямой с равнодействующей сжатой арматуры и сжатого бетона (рис. 4, б).

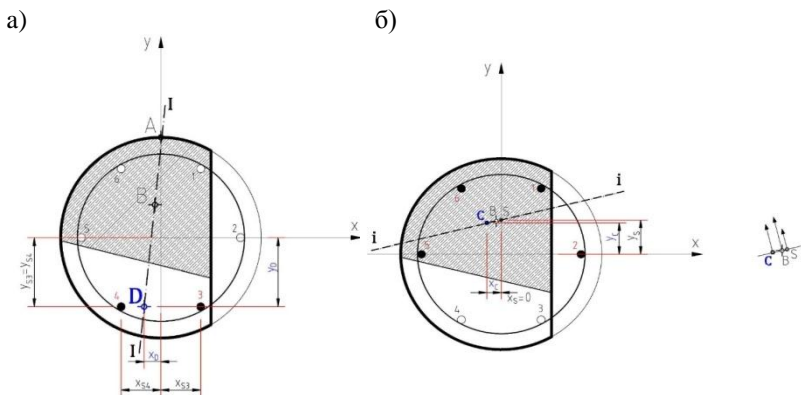


Рис. 4. Определение координат равнодействующей: а – растянутой арматуры; б – равнодействующих сжатого бетона и сжатой арматуры

Координаты точки C мы можем найти с помощью точки S , координаты которой мы найдем с помощью установки равновесия моментов сил в стержни в сжатие арматуры, с учетом основных осей:

$$\sum M_x: (F_{S1} + F_{S2} + F_{S5} + F_{S6}) \cdot y_S = (F_{S1} + F_{S6}) \cdot y_1;$$

$$y_S = \frac{(F_{S1} + F_{S6}) \cdot y_1}{(F_{S1} + F_{S2} + F_{S5} + F_{S6})} \quad (1)$$

$$\sum M_y: (F_{S1} + F_{S2} + F_{S5} + F_{S6}) \cdot x_S = (F_{S1} - F_{S6}) \cdot x_1 + (F_{S2} - F_{S5}) \cdot x_2;$$

$$x_S = \frac{(F_{S1} - F_{S6}) \cdot x_1 + (F_{S2} - F_{S5}) \cdot x_2}{(F_{S1} + F_{S2} + F_{S5} + F_{S6})} \quad (2)$$

Тогда по аналогии имеем, что равнодействующая сжатой зоны бетона лежит на одной прямой с равнодействующей сжатой арматуры и сжатого бетона (рис. 4, б)

Координаты равнодействующей сжатой зоны бетона:

$$x_C = x_S - m;$$

$$y_C = y_S - m \cdot \operatorname{tg} \delta. \quad (3)$$

Для решения поставленной задачи, а именно определения остаточной несущей способности сжатых железобетонных конструкций, по-

врежденных в ходе эксплуатации имеем пять неизвестных величин, которые находим из пяти уравнений:

$$\sum N = 0; \quad \sum M_x = 0; \quad \sum M_y = 0; \quad S_{x'} = 0; \quad S_{y'} = 0.$$

I. Уравнение равновесия сил:

$$N - f_{cd} \cdot A_c + \sum \sigma_{1-6} \cdot A_s = 0; \quad (4)$$

II. Уравнение суммы моментов относительно оси x :

$$N \cdot e - f_{cd} \cdot A_c \cdot y_c - (\sigma_1 + \sigma_6) \cdot A_s \cdot y_1 + (\sigma_3 + \sigma_4) \cdot A_s \cdot y_3 = 0; \quad (5)$$

III. Уравнение суммы моментов относительно оси y :

$$(\sigma_3 - \sigma_4) \cdot A_s \cdot x_{s3} - \sigma_1 \cdot A_s \cdot x_{s1} - \sigma_2 \cdot A_s \cdot x_{s2} + \sigma_5 \cdot A_s \cdot x_{s5} + \sigma_6 \cdot A_s \cdot x_{s6} - f_{cd} \cdot A_c \cdot x_c = 0; \quad (6)$$

IV. Статический момент относительно сжатой зоны бетона, ось x' :

$$S_{x'} = A_1 y_1 - A_2 y_2; \quad (7)$$

V. Статический момент относительно сжатой зоны бетона, ось y :

$$S_{y'} = A_1 x_1 - A_2 x_2. \quad (8)$$

В уравнениях (2-3) напряжения в арматурных стержнях определяются по формуле:

$$\sigma_{si} = \frac{\sigma_{sc,u}}{1 - \frac{\omega}{1,1}} \left(\frac{\omega}{\xi_i} - 1 \right), \quad (9)$$

$$\text{где: } \xi_i = \frac{x}{h_{si}}, \quad (10)$$

h_{si} – расстояние от оси, проходящей через центр тяжести сечения рассматриваемого i -го стержня и параллельной прямой, ограничивающей сжатую зону, до наиболее удаленной точки сжатой зоны сечения. Определить величины h_{si} возможно из геометрии сечения.

Статические моменты в формулах (7, 8) определяются исходя из геометрии сечения и параметров повреждения путем разбивки сечения на „простые“ фигуры (рис. 6).

Вычисление площади „простых“ фигуры в отношении к оси x' и y' представляет особую проблему из-за их геометрической сложности. Эти элементы следует разбить на основные геометрические формы, чтобы вычисление их поверхности было возможно путем аналитического метода.

Систему уравнений (4...8) возможно решить методом Ньютона (метод последовательных итераций). Таким образом, получаем значение пяти неизвестных величин:

- 1) N – несущая способность образца;
- 2) x – высота сжатой зоны сечения;

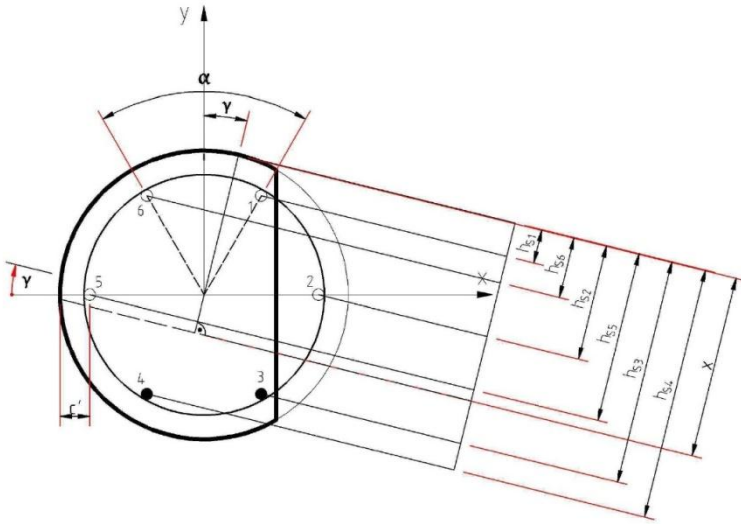


Рис. 5. Схема основных геометрических величин.

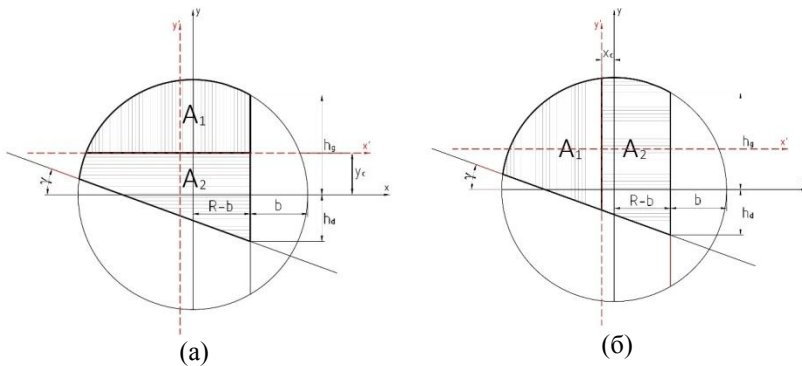


Рис. 6. Определение статических моментов сжатой зоны бетона относительно оси: а – x' ; б – y' .

- 3) γ – угол наклона нейтральной линии;
- 4) δ – угол наклона прямой, проходящей через точки равнодействующих сжатой зоны бетона и сжатой арматуры;
- 5) m – неизвестный катет треугольника.

Зная высоту сжатой зоны x , находим величину напряжений, действующих в арматурных стержнях по формуле (9). Если напряжения больше предельных $\sigma_{si} \leq f_{yds}$, то принимаем, что $\sigma_{si} = f_{yds}$ и выполняем

перерасчет с учетом этой поправки. Также необходимо учесть, что значения величин N , x , γ – положительные величины и не могут быть меньше нуля, поэтому из полученных корней уравнений выбираем подходящие.

Выводы

Таким образом, удалось расширить действие действующих норм [1] на случай, когда часть сечения сжатого элемента повреждена. Установлены основные параметры напряженно-деформируемого состояния, что позволило сформулировать основные предпосылки расчета остаточной несущей способности элементов, составлены уравнения, позволяющие определить несущую способность поврежденного элемента.

Сложность расчета в основном находится в форме поперечного сечения. Площадь сжатой зоны бетона имеет сложную форму, и не может быть сразу определена, (без интегрирования), но можно разделить на несколько основных геометрических фигур в целях, что расчёт их площади будет возможен аналитическим методом.

Summary

This article shows the properties of the calculation of damaged rc columns of circular cross-section that are not covered by the existing regulations. Presented is the basic premise of calculation and the system of equations for the unknown quantities.

1. Бетонні та залізобетонні конструкції (II-а ред): ДБН В.2.6.-2009. – [Чинний від 2011-06-01]. – К.: МІНРЕГІОНБУД України, 2009. – 101 с. (Державні будівельні норми України).

2. Клименко Є.В. Технічний стан будівель та споруд. /Клименко Є.В. – Одеса: ОДАБА, 2010. – 284 с.

3. Клименко, Є.В., Орешкович, М. (2013.): До питання вивчення роботи стиснутих пошкоджених залізобетонних елементів круглого перерізу, XIV міжнародна наукова конференція «Актуальні проблеми будівництва та інженерії довілля «Львів – Кошице – Жешув» 03-05 вересня 2013 року, Львів, Україна, 2013.

4. Klímenko Y., Krutko T., Orešković M., Soldo B. Methodology Of Study And Basic Characteristics For Calculation Of Compressed Damaged Concrete Columns, Tehnički glasnik 8, 2 (2014), 129-133.