

ликатный бетон — кислотоупорный материал с повышенной плотностью. Реферативная информация о передовом опыте. Серия IV. Техника защиты от коррозии. Вып. 5, М., 1971.

4. МУЛИН Н.М. Экспериментальные данные о сцеплении арматуры с бетоном. "Бетон и железобетон", № 12, 1968.

А.С.Залесов, И.А.Титов

УДК 624.041.61

#### ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ

Применяемые в экспериментальных исследованиях железобетонных конструкций методы измерения деформаций с помощью электротензометрии не позволяют получить достаточно полную картину деформирования бетона в зоне среза, разделенной наклонными трещинами. Поэтому для измерения деформаций бетона был использован метод оптически чувствительных покрытий, разработанный в проблемной лаборатории исследования напряжений МИСИ.

В качестве опытных образцов были приняты железобетонные балки из обычного тяжелого бетона, а также из тяжелого мелкозернистого бетона без поперечной арматуры при продольном армировании соответственно  $\mu_a = 0,62$  и  $1,5\%$  и с поперечной арматурой  $\mu_x = 0,36\%$  и  $2,4\%$ . Кубиковая прочность бетона к моменту испытания тех и других балок составляла  $400 \div 550$  кгс/см<sup>2</sup>. Балки имели прямоугольное сечение шириной 15 и высотой 30 см с пролетом среза  $2,4 h_0$ . Всего было испытано 10 балок, из них 6 — с использованием оптически чувствительных покрытий.

С помощью указанных покрытий в пролете среза опытных балок были получены поля изохром (разность главных деформаций) и картина изоклин (направление главных деформаций), а также

продольные значения главных деформаций.

В результате были построены эпюры распределения деформаций укорочения, удлинения, а также сдвига в нормальных сечениях перед развитием наклонной трещины и перед разрушением элемента по наклонному сечению. На рис. I показаны в качестве примера эти эпюры для одной из балок.

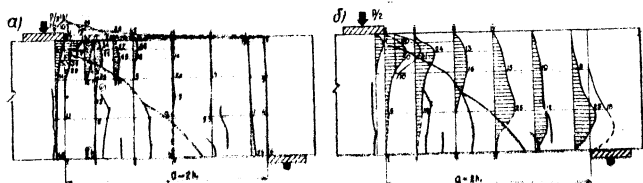


Рис. I. Распределение деформаций в бетоне в зоне действия поперечной силы: а- эпюры нормальных деформаций; б- эпюры деформаций сдвига.

Кроме того, для получения полной картины деформирования элемента с помощью тензодатчиков были измерены продольные деформации в хомутах, а также осевые деформации и кривизны продольной арматуры.

Полученные эпюры деформаций позволили судить о характере деформирования в зоне действия поперечной силы при его нагружении.

После появления наклонных трещин по мере их развития происходило существенное перераспределение деформаций в пролете среза балок. При этом деформации укорочения над наклонной трещиной увеличивались в несколько раз быстрее, чем под ней. Далее по мере приближения к опоре происходил более быстрый рост деформаций в точках, расположенных вблизи наклонной трещины по сравнению с деформациями по верхней грани. Деформации укорочения по верхней грани интенсивно возрастали у груза, уменьшаясь вблизи опоры и переходя в деформации удлинения, а в балках без хомутов перед разрушением деформации удлинения наблюдались и непосредственно у груза.

Перед разрушением элемента по наклонному сечению продольные деформации укорочения в вертикальном сечении, проходящем у вершины наклонной трещины, распределялись над нормальными трещинами по ломаной линии, причем градиент роста деформаций над наклонной трещиной был выше градиента роста деформаций под ней. В результате у вершины наклонной трещины эпюра продольных деформаций имела перелом, а в сечениях, пересекаемых наклонной трещиной - разрыв, причем над наклонной трещиной деформации были больше, чем под ней (рис. I, а).

По мере удаления вертикальных сечений от груза к опоре эпюра продольных деформаций изменялась по высоте сечения, их максимум смещался к трещине, а величина уменьшалась. В вертикальных сечениях вблизи опоры максимальные деформации укорочения были сосредоточены у нижней грани, а по верхней грани наблюдались деформации удлинения (рис. I, а).

Распределение деформаций сдвига перед разрушением элемента в нормальном сечении, проходящем вблизи вершины наклонной трещины, описывалось кривой с максимальными значениями у вершины. При удалении от последней к верхней грани балки деформации сдвига уменьшались до нуля; в нижней зоне под наклонной трещиной для балок без хомутов деформации сдвига уменьшались к вершине нормальной трещины, сохраняя незначительную величину в зоне нормальных трещин. В балках же с хомутами деформации сдвига в этой зоне имели существенную величину (рис. I, б).

В промежуточных вертикальных сечениях между силой и опорой распределение деформаций сдвига описывалось более пологой кривой с нулевыми значениями у верхней и нижней грани и максимумом - у наклонной трещины. У опоры деформации сдвига по вертикальным сечениям сосредотачивались в нижней части сечения (рис. I, б).

Для оценки напряженного состояния бетона в зоне среза балок был осуществлен переход от измеренных деформаций к напряжениям. В связи с наличием значительных неупругих деформаций над наклонной трещиной этот переход проводился только для бетона под наклонной трещиной, где доля неупругих деформаций была невелика и составляла около 10%.

Переход выполнялся в соответствии с формулами теории упругости; в расчет вводили выделенную с помощью диаграммы  $\sigma - \epsilon$  упругую часть полных деформаций.

В зоне над наклонной трещиной определялись непосредственно величины продольных и поперечных усилий исходя из уравнений их равновесия в нормальном сечении и имея в виду, что усилия в бетоне под наклонной трещиной и в продольной арматуре определены достаточно точно. Форма эпюр нормальных и касательных напряжений при этом приближенно оценивалась по замеренным деформациям с помощью диаграммы  $\sigma - \epsilon$ .

В результате было показано, что в балках с хомутами в вертикальном сечении, проходящем через вершину наклонной трещины, эпюра нормальных напряжений над наклонной трещиной перед разрушением имела криволинейный характер с максимальными значениями напряжений у верхней грани элемента, близкими к  $R_{np}$  (рис. 2, а). В балках без хомутов, разрушающихся с отколом верхней части клина над наклонной трещиной, эпюра нормальных напряжений в этом же сечении перед разрушением имела криволинейный характер с максимальными значениями напряжений у наклонной трещины, близкими к  $R_{np}$ . Под наклонной трещиной в балках с хомутами и без хомутов характер эпюры нормальных напряжений близок к треугольному, причем максимальные значения напряжений существенно ниже  $R_{np}$  (рис. 2, а) и составляли в балках без хомутов  $0,3 R_{np}$ , а в балках с хомутами  $0,5 R_{np}$ .

Для касательных напряжений установлено, что их распределение в том же нормальном сечении (проходящем через вершину наклонной трещины) описывается кривой с максимальным значением напряжений у вершины наклонной трещины, равным  $(2+2,2) R_p$  для балок без хомутов и  $(2,5+3,0) R_p$  для балок с хомутами. При удалении от вершины наклонной трещины к верхней грани балки касательные напряжения уменьшались до нуля. В нижней зоне под наклонной трещиной для балок без хомутов касательные напряжения резко уменьшались к вершине нормальной трещины, сохраняя незначительную величину в зоне нормальных трещин (рис. 2, б). В балках же с хомутами эти напряжения имели существенную величину (рис. 2, в).



в вершине наклонной трещины  $\sigma_t$ , равным  $0,5 R_{пр}$  для балок с хомутами и  $0,3 R_{пр}$  для балок без хомутов (рис. 2, а).

Эпюра касательных напряжений в вертикальном сечении, проходящем через вершину наклонной трещины, может быть принята в виде двух парабол с общей касательной и одним и тем же максимумом в вершине наклонной трещины и с нулевыми значениями у верхней грани и в уровне вершины нормальной трещины (рис. 2, б). Максимальное значение касательных напряжений можно принять равным предельному значению касательных напряжений, отвечающему критерию прочности бетона при плоском напряженном состоянии, принятому в новой редакции СНиП, и равному  $\tau_{xy}^{max} = 2,2 R_p$ .

Отклонения действительной эпюры касательных напряжений от принятой и фактических касательных напряжений от принятых оценивается коэффициентом  $\omega_2$  для бетона над наклонной трещиной и  $\omega_3$  для бетона под наклонной трещиной. Согласно полученным в опыте значениям для балок с хомутами, коэффициент  $\omega_2$  может быть равным 1,5; для балок без хомутов, разрушающихся с отколом верхней части клина - равным 1,3. Значение коэффициента  $\omega_2$  больше единицы можно объяснить влиянием местных нормальных напряжений  $\sigma_y$ , которые имеют существенную величину груза и повышают предельные касательные напряжения в этой зоне.

Коэффициент  $\omega_3$  для балок без хомутов может быть равным 1,0; для балок с хомутами величина коэффициента  $\omega$  зависит от количества поперечной арматуры и может быть уточнена в дальнейших исследованиях балок с различным количеством поперечной арматуры.

И.А.Ворошилов, Д.П.Подобед

УДК 624.315.66

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
РАБОТЫ СТОЕК ОПОР ЛЭП

В Белорусском политехническом институте на протяжении ряда лет ведутся работы по исследованию конструкций стоек типа