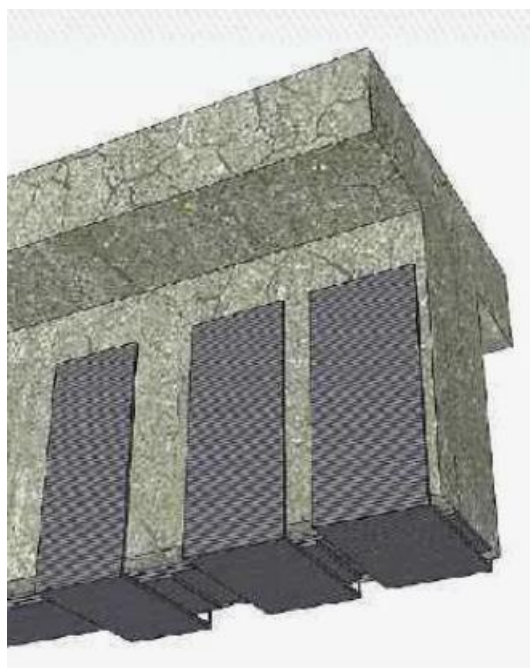

428 – Усиление ж/б элемента композитной арматурой



Программа предназначена для проектирования усиления железобетонных конструкций путем устройства внешнего армирования композитными материалами согласно СП 164.1325800.2014 [1] и СП 63.13330.2018 [2]. Определяется площадь композитной арматуры, требуемая для обеспечения несущей способности, а также для ограничения ширины раскрытия трещин.

1. Сечения и усилия

Рассматриваются прямоугольные и тавровые сечения с нижней и/или верхней стальной арматурой. (рис.1).

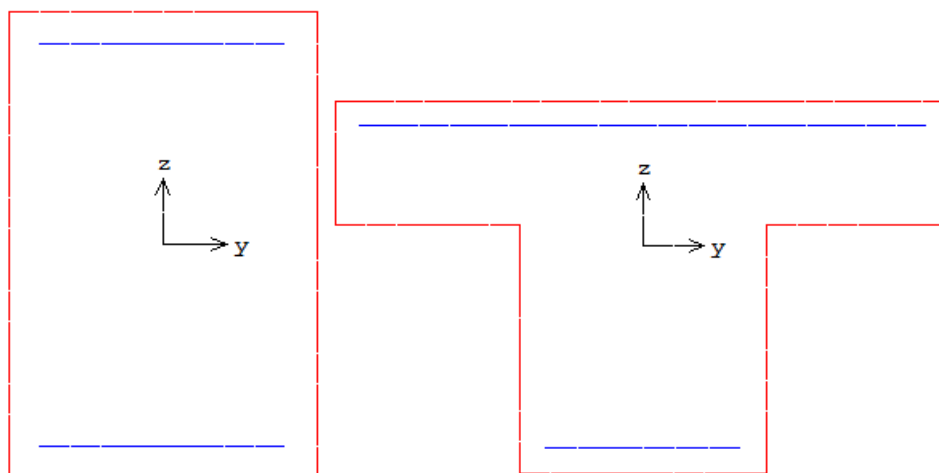


Рис. 1. Виды сечений

Композитная арматура в виде ламината или холста наклеивается на растянутую сторону сечения.

Усилия задаются относительно центральных осей y, z . Принимается, что продольная сила N положительна при сжатии. При действии момента M сжатая зона возникает в верхней части сечения, а растянутая зона – в нижней части. Продольная сила может быть как положительной, так и отрицательной. Изгибающий момент может быть только положительным.

При вводе задаются действующие усилия N, M и проектные усилия N_n, M_n . Предполагается, что действующие усилия не превосходят предельные усилия для элемента до усиления, а проектные усилия превышают предельные усилия и для обеспечения несущей способности элемента требуется дополнительное армирование композитной арматурой. При расчёте по трещиностойкости задаются усилия от нормативных проектных нагрузок и от их длительных частей.

2. Расчет

Расчет по прочности проводится на основе нелинейной деформационной модели согласно [1], 6.3.1 и [2], 8.1.20. В качестве расчетной диаграммы состояния сжатого бетона принимается трехлинейная диаграмма согласно [2], 6.1.20. Для стальной арматуры в зависимости от её класса применяется двухлинейная или трёхлинейная диаграмма согласно

[2], 6.2.14, 6.2.15. Для композитной арматуры принимается линейная диаграмма деформирования. Предельная деформация растянутой композитной арматуры определяется как R_f / E_f , где R_f , E_f - расчётное сопротивление и модуль упругости арматуры. В программе предусмотрено определение расчётного сопротивления R_f по заданному значению нормативного сопротивления $R_{f,n}$ и задание расчётного сопротивления R_f . В первом случае требуется задать тип композита (углекомпозит или стеклокомпозит), вид композита (ламинат или холст), условия эксплуатации конструкции, а также число слоёв композита и толщину одного слоя. Если действуют только постоянные и длительные нагрузки, то расчётное сопротивление композита определяется по формуле [1], (5.3), в противном случае - по формуле [1], (5.1).

На первом этапе расчёта проводится проверка несущей способности при действующих усилиях N, M . При этом определяются предельные усилия $N_u = \gamma_u N$ и $M_u = \gamma_u M$. Случай $\gamma_u < 1$ рассматривается как случай неправильного задания действующих (фактических) усилий и расчёт останавливается.

На втором этапе расчёта определяется напряжённо-деформированное состояние от действующих усилий. При этом выводится выражение продольной деформации $\varepsilon(z)$, а также деформации бетона на нижней и верхней сторонах. Деформация на нижней (растянутой) стороне сечения на последующем этапе расчёта рассматривается как начальная деформация (до усиления элемента) ε_{bt}^0 (см. [1], 6.3.4). Деформация композитной арматуры меньше деформации бетона на нижней стороне на величину ε_{bt}^0 .

На третьем этапе расчёта проводится определение площади композитной арматуры на растянутой грани элемента, требуемой для обеспечения несущей способности при действии проектных усилий. Аналогично второму этапу выводится выражение продольной деформации $\varepsilon(z)$, а также деформации и напряжения в бетоне, стальной арматуре и композитной арматуре в предельном состоянии. Как правило, предельное состояние характеризуется достижением предельной деформации в композитной арматуре $\varepsilon_{f,ult} = R_f / E_f$. Сумма значений $\varepsilon_{f,ult}$ и ε_{bt}^0 равна деформации бетона на нижней стороне сечения.

На четвёртом этапе проводится расчёт по трещиностойкости. Расчет по образованию и раскрытию трещин, нормальных к продольной оси элемента, выполняется согласно [2], 8.2.14, 8.2.15. Изгибающий момент при образовании трещин определяется по предельному состоянию растянутого бетона. При этом учёт продольной силы N возможен одним из двух способов. Если продольная сила и изгибающий момент возникают от действия разных источников нагрузок, то следует положить $N = const$, а если они возникают от действия одного источника нагрузок и возрастают одновременно, то следует положить $e = M / N = const$.

Расчет проводится на основе нелинейной деформационной модели. Изгибающий момент M_{crc} при образовании трещин, а также напряжения в растянутой арматуре после образования трещин σ_s и $\sigma_{s,crc}$, входящие в формулы [1], (8.128), (8.137), вычисляются на основе диаграмм состояния бетона, арматурной стали и композита при помощи численного метода. При этом для бетона применяется диаграмма с деформационными характеристиками, соответствующими непродолжительному действию нагрузки.

Площадь сечения растянутого бетона A_{bt} и площадь сечения растянутой арматуры A_s , через которые по формуле [1], (8.136) вычисляется базовое расстояние l_s между трещинами, определяются непосредственно перед образованием трещин. Значение A_{bt} определяется при следующих ограничениях на высоту растянутой зоны: $h_t \geq 2a$, $h_t \leq h/2$, где a – расстояние от наиболее растянутой арматуры до нижней грани сечения, h – высота сечения.

В случае, когда ширина раскрытия трещин превышает предельно допустимое значение, определяется требуемая площадь композитной арматуры. При этом площадь арматуры увеличивается до того значения, при котором удовлетворяются условия по ширине раскрытия трещин.

Литература

1. СП 164.1325800.2014 «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования»
2. СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»