

стадии проектирования в зависимости от требуемой точности ИЦММ. Основное внимание уделено комплексному использованию дистанционных методов получения пространственной информации: космическая съемка, съемка с БПЛА, аэрофотосъемка и лазерное сканирование.

Заключение. Вопрос разработки и совершенствования нормативной базы для проектирования, строительства и реконструкции автомобильных дорог с использованием ВМ-технологий остается открытым. Для его успешного решения требует привлечения знаний и опыта широкого круга специалистов занятых в области дорожного строительства.

Список цитированных источников

1. Инженерные изыскания для объектов дорожного строительства: ТКП 45-1.02-233-2011 (02250)). – Введ. 24.03.11 (с отменой с отменой П2-03 к СНБ 1.02.01-96). – Минск : Минстройархитектуры, 2011. – 85 с.
2. Инженерные изыскания для строительства: СН 1.02.01-2019. – Введ. 26.12.19 (с отменой с отменой СНБ 1.02.01-96). – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 108 с.
3. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению топографо-геодезических изысканий: ГОСТ 32869-2014. – Введ. РБ 01.04.2017. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 44 с.
4. Методические рекомендации по организации взаимодействия участников разработки проектной и рабочей документации на пилотных проектах строительства, капитального ремонта и реконструкции автомобильных дорог с применением ВМ-технологии: ОДМ 218.3.105-2018. – Москва : Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2018. – 86 с.

Лазовский Д. Н., Глухов Д. О., Лазовский Е. Д.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОД НАГРУЗКОЙ

Введение. Современный этап развития теории сопротивления железобетона внешним воздействиям характеризуется широким применением сложных математических моделей его работы и вычислительных средств для расчетов. Применяемые методы расчета основных параметров сопротивления железобетонных конструкций: деформационная расчетная модель поперечного сечения на основе диаграмм деформирования бетона и арматуры, блочная модель на основе закона сцепления арматуры с бетоном и метод конечных элементов для вычисления внутренних усилий.

Цель настоящей работы: методически объединить методы расчета отдельных параметров железобетонной конструкции для их вычисления на любой стадии ее работы с учетом их взаимного влияния, избегая использования эмпирических зависимостей.

Деформационная расчетная модель поперечного сечения элемента

Распределение деформаций по высоте поперечного сечения изгибаемого железобетонного элемента до появления трещин подчиняется гипотезе плоских сечений. Для железобетонных элементов, имеющих трещины в растянутой

зоне, гипотеза плоских сечений используется в качестве допущения для осредненных продольных деформаций растянутой и сжатой зоны.

Метод конечных элементов для вычисления внутренних усилий

Для вычисления внутренних усилий и деформаций от действия внешних нагрузок в изгибаемых балочных конструкциях применяются стержневые конечные элементы. Напряженно-деформированное состояние железобетонной конструкции определяется уравнением метода конечных элементов.

Сопоставление результатов моделирования и экспериментальными данными. В качестве экспериментальных данных для сравнения с результатами расчета принята шарнирно опертая на крайних опорах неразрезная двухпролетная железобетонная балка с расстоянием между осями опор 1800 мм поперечным сечением 120 x 190 мм, загруженная сосредоточенными силами в третях пролетов. Ширина стальных пластин опор балки равна 100 мм. Балка симметрично армирована в верхней и нижней зонах продольной стержневой арматурой (по $2\varnothing 12$ мм, $A_s = A_{s1} = 226,19$ мм² с пределом текучести 528,7 МПа, временным сопротивлением 592,8 МПа и относительным удлинением при разрыве 7,6 %. Расстояние от верхней и нижней граней балки до центра тяжести поперечного сечения арматуры составляет 25 мм. Призменная прочность бетона при сжатии $f_{cm} = 32,6$ МПа, начальный модуль упругости при сжатии 31,38 ГПа, прочность бетона при растяжении $f_{ctm} = 2,53$ МПа. Бетон балки изготовлен на бездобавочном портландцементе с гранитным щебнем крупностью 5...20 мм.

Сопоставление основных параметров неразрезной железобетонной балки: изгибающего момента образования трещин; раскрытия трещин после их появления; прогибов; сосредоточенных усилий, соответствующих несущей способности (прочности) – свидетельствует об их удовлетворительной сходимости.

Заключение. На примере неразрезной двухпролетной железобетонной балки продемонстрирована возможность методического объединения деформационной и блочной модели совместно с методом конечных элементов для вычисления параметров железобетонной конструкции на любой стадии ее работы.

Кроме того, расчетная схема чувствительна к деталям (моделирование площадок опирания балок, ширины зоны передачи сосредоточенных нагрузок, точность в размерах). Например, в предельном состоянии для одной и той же балки с моделью опирания на площадку шириной 100 мм и моделью с идеализированным точечным опиранием предельное значение нагрузки отличается более чем на 10 %.

Моделирование процесса трещинообразования статически неопределимой конструкции показало, что область трещинообразования существенно шире точечного шарнира на неразрезной опоре в моделях статически неопределимых железобетонных конструкций.

Список цитированных источников

1. Карпенко, С. Н. Модели деформирования железобетона в приращениях и методы расчета конструкций: автореферат дисс... докт. техн. наук / С. Н. Карпенко. – Москва: Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, 2010 – 48с.

2. Статически неопределимые железобетонные конструкции. Диаграммные методы автоматизированного расчета и проектирования: (методическое пособие) / Н. И. Карпенко [и др.] – Москва : Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, – 2017. – 197 с.

3. Westergaard, H. M. Computation of Stresses in Bridge Slabs Due to Wheel Loads. – Public Roads / 1930. H. M. Westergaard – Vol.11, № 1. – March. – P. 1–23.

4. Васильев, П. И. Раскрытие швов и трещин в массивных бетонных конструкциях / П. И. Васильев, Е. Н. Пересыпкин // Аннотации законченных в 1967 г. научно-исследовательских работ по гидротехнике. – Ленинград : Энергия, 1968. – С. 292–294.

5. Lowes, L. N., Concrete-Steel Bond Model for Use in Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Structures / L. N. Lowes, J. P. Moehle, S. Govindjee. – ACI Structural Journal. – 2004. July-August. – P. 501–511.

6. Лазовский, А. Д. Сопротивление изгибу железобетонных многопустотных плит перекрытий безопалубочного формования в составе платформенных стыков зданий: Дисс.... канд. техн. наук / А. Д. Лазовский. – Новополюцк. – 2017. – 152 с.

7. Тур, В. В. Прочность и деформации бетона в расчетах конструкций / В. В. Тур, Н. А. Рак. – Брест: Издательство БГТУ, 2003. – 252 с.

Лазовский Д. Н., Глухов Д. О., Лазовский Е. Д.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА С ТРЕЩИНАМИ ПРИ ИЗГИБЕ

Введение. В изгибаемом железобетонном элементе до появления трещин в бетоне сопротивление растяжению оказывает бетон и продольная арматура. Относительные деформации растянутого бетона и арматуры, благодаря сцеплению между ними, равны между собой. С увеличением нагрузки в зоне максимальных изгибающих моментов на наиболее ослабленных участках (вследствие неоднородности структуры бетона и частично арматуры) растягивающие относительные деформации в бетоне приближаются к предельным и появляются трещины. В сечении с трещиной и вблизи него сцепление нарушается, растягивающие усилия воспринимаются арматурой. После образования трещины напряжения (относительные деформации) по краям трещины в бетоне становятся равными нулю, и возникает разность относительных деформаций бетона и арматуры. В соответствии с законом сцепления [1, 2] эта разность деформаций на расстоянии L от трещины уменьшается до нуля или до области, где относительные деформации в бетоне достигают предельных значений на растяжение. Если разбить участок сдвига арматуры и бетона растянутой зоны на ряд элементарных фрагментов, то на каждом i -м фрагменте участка сдвига разность относительных деформаций имеет значение, что определяет в арматуре дополнительное напряжение. Величина дополнительного напряжения изменяется по длине растянутого бетонного блока в зависимости от его значения в поперечном сечении с трещиной и значения взаимного сдвига арматуры и бетона.

Моделирование напряженно-деформированного состояния железобетона после образования трещин. Дополнительное напряжение в арматуре, обусловленное возникшей разностью относительных деформаций между растянутой арматурой и бетоном, приводит к новому равновесному состоянию попе-