

ГОДИШНИК НА УНИВЕРСИТЕТА ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ – СОФИЯ

Първа научно-приложна конференция с международно участие
„СТОМАНОБЕТОННИ И ЗИДАНИ КОНСТРУКЦИИ – ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА“

22 – 23 октомври 2015

22 – 23 October 2015

First Scientific-Applied Conference with International Participation

“REINFORCED CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES – THEORY AND PRACTICE”

ANNUAL OF THE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY – SOFIA

48 ^{ТОМ}
vol.

2015

св.
fasc. 12 – II

ТРИМЕРЕН МИКРОМОДЕЛ НА ЕДРОПАНЕЛНО СЪЕДИНЕНИЕ

Р. Орлинов¹, Ат. Николов², Д. Динев³

Ключови думи: едропанелно съединение, експериментални данни, нелинеен анализ

Научна област: сеизмично осигуряване

РЕЗЮМЕ

Авторите представят тримерен микромодел на база метода на крайните елементи, калибриран с експериментални данни от образец на едропанелно съединение. Численият модел пресъздава разрушението на замонолитващия бетон, без решението да губи сходимост. Разработеният микромодел е използван за предсказване на капацитетната крива на носеща способност на едропанелно съединение в мащаб 1:1. Моделът е съставен в работната среда на програмния продукт Lusas [3], на база крайни елементи.

1. Въведение

Съединенията в едропанелните сгради свързват отделните елементи в единна пространствена конструкция и осигуряват съвместната им работа при поемането на вертикалните и хоризонталните натоварвания, като осигуряват необходимата якост, коравина, устойчивост и дълготрайност на цялата конструкция.

В общата конструкция на едропанелната сграда стенните носещи панели се съединяват помежду си и образуват вертикални носещи стени, които поемат верти-

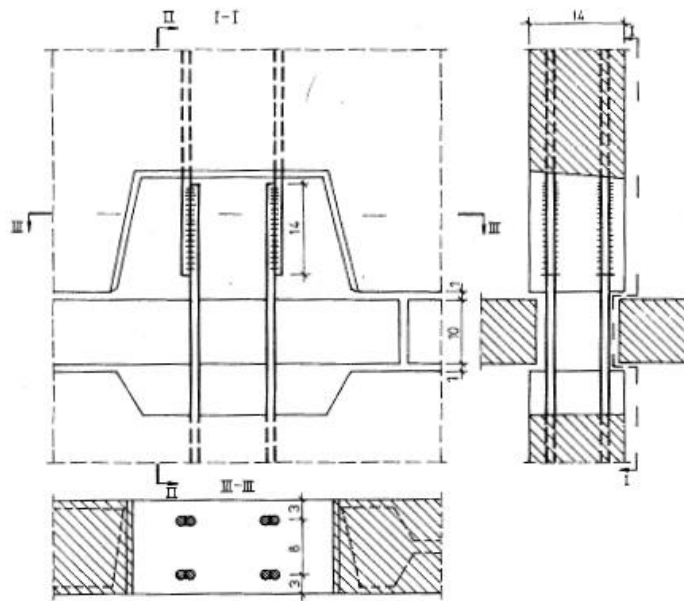
¹ Радослав Орлинов, ас. инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Христо Смирненски” № 1, 1046 София, e-mail: orlinov_fce@uacg.bg

² Атанас Николов, доц. д-р инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Христо Смирненски” № 1, 1046 София, e-mail: at_nikolov@abv.bg

³ Добромир Динев, доц. д-р. инж., кат. „Строителна механика”, УАСГ, бул. „Христо Смирненски” № 1, 1046 София, e-mail: ddinev_fce@uacg.bg

калните и хоризонталните натоварвания и ги пренасят в основите. Подовите панели се съединяват помежду си и образуват хоризонтални диафрагми, които пренасят и разпределят хоризонталните натоварвания между вертикалните диафрагми. Чрез работата си на огъване подовите панели пренасят вертикалните товари върху вертикалните диафрагми.

На фиг. 1 е дадено хоризонтално панелно съединение за връзка между стенните панели на ниво етажна плоча. Панелните стени са специално клиновидно оформени за по-лесен монтаж и в същото време се цели увеличаване на носещата способност на срязване.

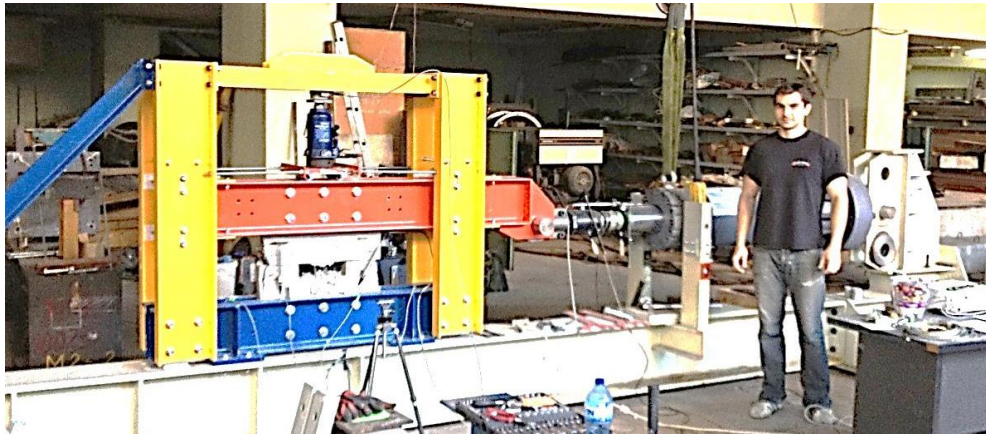


Фиг. 1. Хоризонтално панелно съединение – връзка на вътрешни стени [2]

Има два принципни механизма на взаимодействие между стенните панели – „срязване“ (shear slip) и „пластична ротация“ или „завъртане“ (rocking). Механизмът „срязване“ (shear slip) представлява трансфера на срязващи сили през хоризонталните съединения между панелите. Пренасянето на външните хоризонтални сили чрез сили на триене или „зацепване“ и смачкване на съединенията предизвиква взаимната трансация на отделните панели.

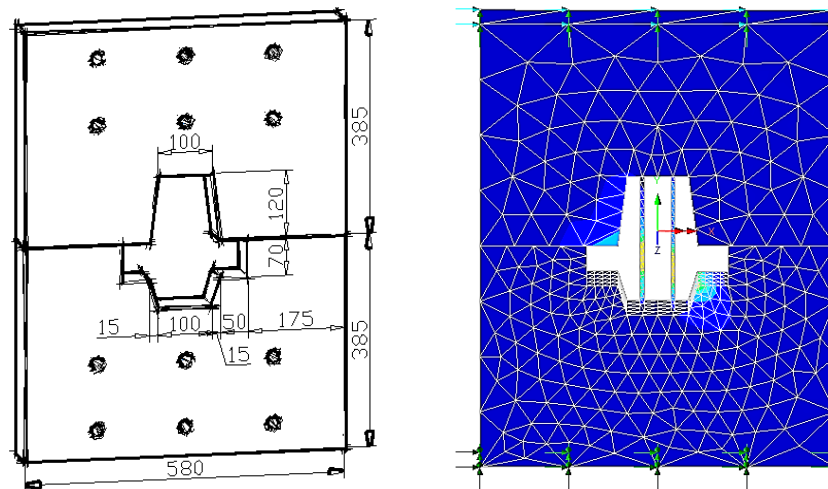
2. Експеримент и експериментални данни

За провеждане на изследването е изработен стоманен стэнд, съобразен с наличния инвентар в Лабораторията по строителни конструкции (фиг. 2). Стендът се състои от натоварваща греда – в червено, опорни греди – в синьо и поддържаща конструкция – в жълто. Всеки един от панелните образци се захваща посредством болтове M24 за стоманените греди. Натоварващата греда е ограничена във вертикална посока посредством ролкови лагери, а в едното хоризонтално направление се използват тefлонови лагери. По този начин единственото позволено движение е в хоризонтална посока, съвпадаща с оста на натоварващия цилиндър.



Фиг. 2. Опитна постановка [1]

За целите на изпитването е използван серво-хидравличен цилиндър с максимална сила от 100 t. По електронен път се задава преместването на цилиндъра и скоростта. Измерването на силата се осъществява чрез предварително тариран силомер, прикачен за цилиндъра. Деформациите се измерват чрез индуктивни датчици. Всички отчети се вземат автоматично чрез електронно-изчислителна техника. Нормалната сила на образци Серия Н се реализира чрез маслен крик и се измерва посредством допълнителен силомер.



Фиг. 3. Схема на едропanelно съединение Серия Н (горизонтално съединение, изпитвано на срязване) и 3D изглед на микромодел на Серия Н

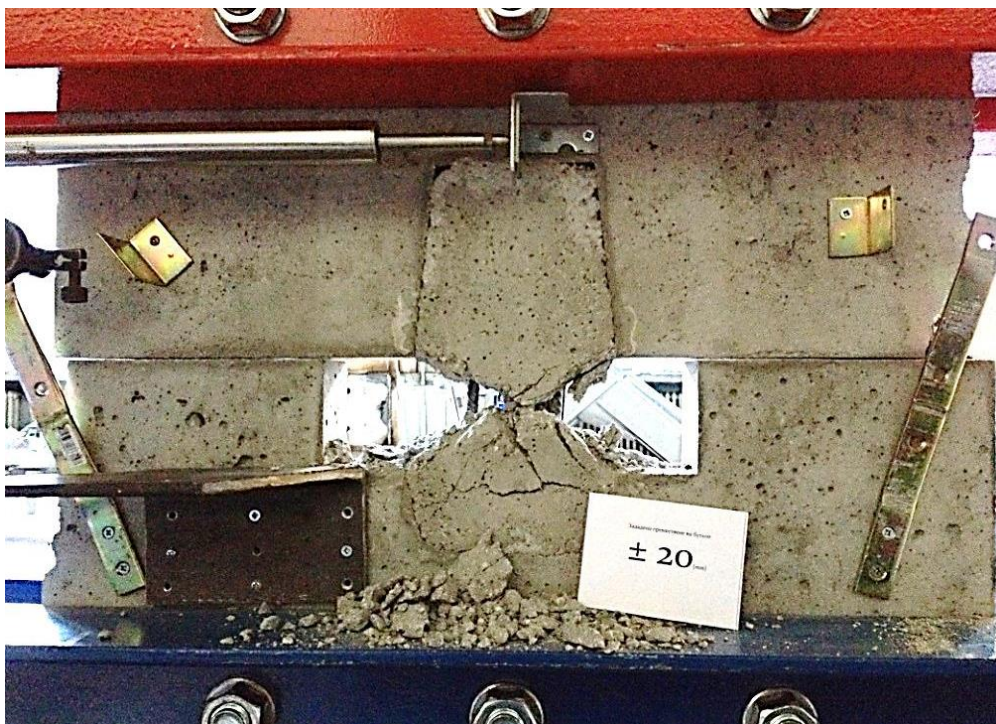
Серия Н представляват 6 броя образци на хоризонтално panelно съединение, състоящо се от армиран дюбел с 4N8 пръта (фиг. 3) в мащаб 1:2. Технологията на изпълнение на едропanelна конструкция е panelите на етажната плоча да се полагат върху монтираните вертикални стенни panelи. Така между горния и долния стенен panel на дадено ниво има разстояние, което е по-голямо или равно на дебелината на етажната плоча. Въпреки наличието на повече елементи във връзката на стенните panelи, при зетръсно въздействие авторите считат, че повърхнината на триене винаги

ще бъде само една – тази с най-малко съпротивление между два съседни елемента. С цел да се избегне монтажът на етажните плочи при опитната постановка височината на долния стеноен панел е увеличена със 70 mm, представляваща наличието на етажна плоча. Така повърхнината на триене отново е една, но е между горния и долния увеличен стеноен панел.

Съединенията от Серия Н са изпитани на срязване, като е прилагана допълнителна нормална натискава сила посредством маслен крик. Силата се предава от крика на натоварващата греда посредством количка, която лагерува на 4 иглени лагера, усилен със стоманени втулки. Вариацията на нормална сила дава възможност да се проследи поведението на силно и слабо натиснати съединения при взаимна ротация на два стенни панела.

Първите пукнатини в образците са диагонални [1] и се появяват при преместване $s = 0,6$ mm, а разрушение на замонолитващия бетон се достига при $s = 1$ mm. При всички изпитани образци се наблюдава значителна носеща способност при големи премествания на натоварващия цилиндър. Това се дължи на включването в работа на преминаващата армировка, която придава допълнителна натискава сила в хоризонталната fuga. Освен това при големи премествания преминаващата армировка започва да се товари на опън, което довежда до пластични деформации в нея. Всички образци бяха изпитани до премествания от ± 30 mm между горния и долния панел. При нито един от изследваните 6 броя образци не се наблюдава скъсване на преминаващата армировка.

За настоящата публикация се разглеждат единствено резултатите от образец Н-06, натоварен с нормална натискава сила от 0,5 t (фиг. 3 и фиг. 4).



Фиг. 4. Разрушение на замонолитвания бетон при образец Н-06

3. Микромодел на едропанелно съединение

Трудностите във връзка с моделиране на бетона са разнообразни. Част от тях са: нарастване на носещата способност с нарастване на триосовото ограничаване на деформациите; ниска якост на опън; разрушаване при натиск; образуване на зони с пукнатини; частично или пълно зацепване на едрия добавъчен материал при формиране на пукнатини от срязване и др. Материалният модел е разработен от Anthony Jefferson [4, 5] и се твърди, че дава решение на поставените проблеми.

По-важните характеристики, заложи в материалния модел, са:

- локална връзка на взаимодействие между напрежения и деформации. По този начин са въведени характеристиките за разрушение;
- триосов пластичен компонент, който симулира вътрешното триене и увеличаване на якостта при наличие на ограничаване на бетона;
- моделът обединява механизмите на пластифициране и разрушаване, като по този начин симулира отварянето и затварянето на пукнатини.

Въведени са повърхнини на разрушение (planes of degradation), които могат да понесат отваряне на пукнатини вследствие на локално разрушение. Тези повърхнини могат да възвърнат контакта помежду си в процеса на решение.

За моделиране на стоманата е използвана мултилинейна работна диаграма с пластична работа. След достигане на границата на провлачване следва уякчаващ клон. Възможно е задаване на няколко работни участъка с различна коравина.

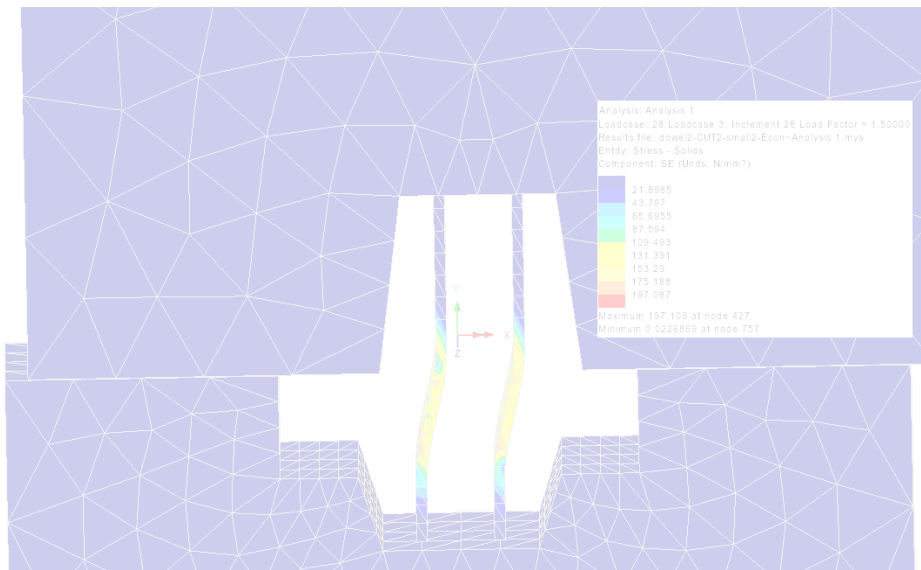
Геометрията на модела е идентична с тази на експериментално изпитаните образци Серия Н. Използвани са обемни крайни елементи с различна по гъстота мрежа (фиг. 3). При горния и долния стенов панел е използван еластичен материален модел за бетона, а нелинейният модел е използван при замонолитващия бетон. Премащащата армировка е моделирана с обемни крайни елементи. На фиг. 3 крайните елементи на замонолитващия бетон са скрити за по-добро онагледяване.

Долният стенов панел е ограничен с опори във всички направления, а на горния стенов панел е позволено единствено да се транслира по направление Х. Между горния и долния стенов панел и замонолитващия бетон са използвани контактни повърхнини. Аналогични контактни повърхнини са използвани във фугата между двата панела, но там те са с опция за отчитане на триенето.

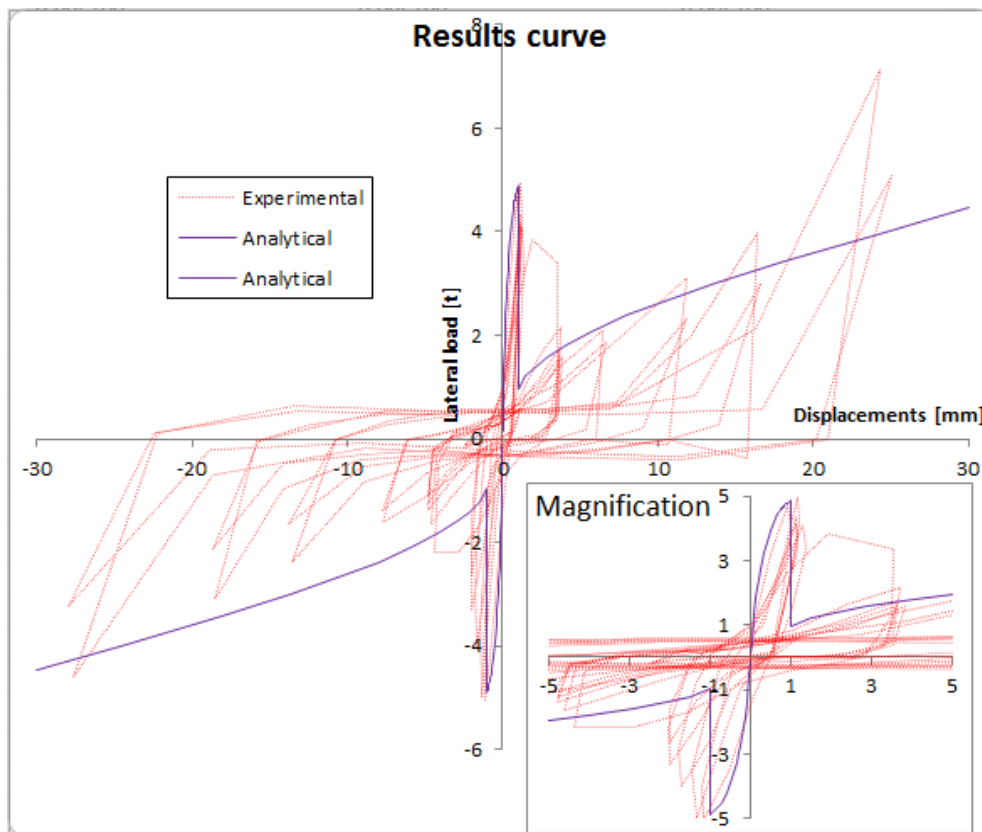
За решаване на поставената задача е използван нелинеен статичен анализ. Натоварването е под формата на зададено преместване. Нарастването на всяка следваща стъпка от натоварването е изчислено на база брой итерации за получаване на сходимост от предно решение.

4. Анализ на резултатите

На фиг. 5 са показани напрежения в преминаващата армировка. Крайните елементи на замонолитващия бетон са скрити. На фиг. 6 са показани резултати от предложения микромодел, сравнени с експериментално получените от образец Н-03. На увеличената графика се вижда добро съвпадение на максимална носеща способност и коравина. Резкият спад в носещата способност на аналитичния модел определя момента на разрушение на замонолитващия бетон. При експерименталния образец това разрушение става в рамките на няколко цикъла, но като цяло резултатите са близки.



Фиг. 5. Напрежения в преминаващата армировка

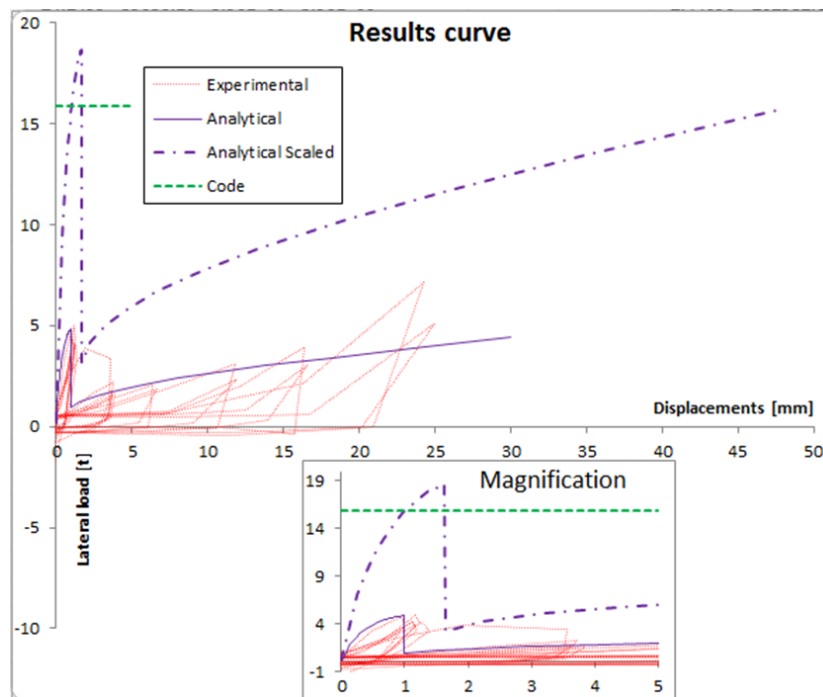


Фиг. 6. Графика сила–преместване на аналитичен микромодел

Резкият спад в носещата способност на аналитичния модел, без решението да губи сходимост, е постигнат по следния начин: след като се изчерпва носещата способност на средната част на замонолитващия бетон (определени пластични деформации), тази част от геометрията на модела се изключва от по-нататъшното решение. Напрегнатото и деформирано състояние на преминаващата армировка и останалата част от бетона се запазва и решението продължава, без да губи сходимост. Това напълно съвпада с поведението на експерименталните образци от Серия Н. В следващите стъпки от решението опънните деформации на преминаващата армировка допринасят за увеличаване на носещата способност, което се забелязва и при експеримента.

5. Скалиране на резултатите

Предложен е метод за скалиране на резултатите чрез числен микромодел на база крайни елементи. Геометрията на модела е с реални размери на едропанелно съединение в мащаб 1:1. Материалните характеристики са идентични с микромодела в мащаб 1:2. На фиг. 7 е показана графика сила–преместване на скалиран микромодел, сравнена с експерименталния образец в мащаб 1:2 и неговият аналитичен модел.



Фиг.7. Графика сила–преместване на скалиран аналитичен микромодел

Максималната носеща способност на срязване достига стойност 18,5 t. Изчислена по формулата (пунктирна линия на фиг. 7), предложена от С. Косев в „Указания за проектиране на едропанелни съединения“, носещата способност е

$$[Q_0] = \sqrt{R_b} \left(1,7bl + 80A_{s, fact} \frac{6}{6 + \mu} \cos \alpha \right) = 15,9 \text{ t}. \quad (1)$$

6. Заключение

Представеният аналитичен микромодел на едропанелно съединение дава сходни резултати спрямо експерименталния образец. Успешно е моделирано разрушението на замонолитващия бетон, без математическото решение да губи сходимост. Максималната носеща способност на срязване на скалирания микромодел е по-висока от нормативно изчислената за конкретното съединение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орлинов, Р. Нелинейно поведение на едропанелни конструкции. Дисертация, УАСГ, 2015.
2. Памукчиев, С. Стоманобетонни конструкции – част 1. „Техника“, С., 2010.
3. LUSAS Modeller v15.0, 2012, Finite Element Analysis Ltd, www.lusas.com.
4. Jefferson, Anthony, *Craft – A plastic-damage-contact model for concrete. I. Model theory and thermodynamic considerations*. Int. J. Solids & Structures, 2003.
5. Jefferson, Anthony. *Compression damage in a plastic-damage – contact constitutive model for concrete*. ECCOMAS 2004.

3D MICROMODEL OF A LARGE PANEL CONNECTION

R. Orlinov¹, At. Nikolov², D. Dinev³

Keywords: large panel connection, experimental results, nonlinear FE analysis

Research area: seismic design

ABSTRACT

The basis of the study is to create a finite element model of precast large panel joint. The model is calibrated using experimental data of the current joint. The analytical model is capable of predicting the failure of the infill concrete without any loss of convergence of the analysis. The micromodel of the precast joint is used to predict the capacity curve of a non-scaled connection. The model is developed using finite element software.

¹ Radoslav Orlinov, Assist. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: orlinov_fce@uacg.bg

² Atanas Nikolov, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: at_nikolov@abv.bg

³ Dobromir Dinev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Structural Mechanics”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: ddinev_fce@uacg.bg