

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

АДАПТИВЕН НЕЛИНЕЕН СТАТИЧЕН АНАЛИЗ ПРИ ОЦЕНКА НА СТОМАНОБЕТОННА РАМКОВА КОНСТРУКЦИЯ

Р. Орлинов¹, Ат. Николов², Д. Динев³

Ключови думи: адаптивни нелинеен статичен анализ, сеизмична оценка, стоманобетонна рамкова конструкция

Научна област: сеизмично осигуряване

РЕЗЮМЕ

Авторите представят приложението на адаптивния нелинеен статичен анализ (adaptive pushover analysis) при оценка на сеизмичната устойчивост на стоманобетонна рамкова конструкция с пълнежна зидария. Изследвано е времето на достигане и влиянието на зададени гранични критерии върху капацитетната крива на конструкцията. При анализа са използвани фиброви крайни елементи с еласто-пластична работа в специализирания софтуер SeismoStruct [1].

1. Въведение

Адаптивният нелинеен статичен анализ се прилага при определянето на носещата способност на конструкцията за хоризонтални въздействия [2], [3]. При този вид анализ разпределението на хоризонталните сили не е постоянно (за разлика от обикновения инкрементален анализ), а се променя на всяка стъпка от решението в зависимост от модалните форми. По този начин се отчита намаляването на коравина

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

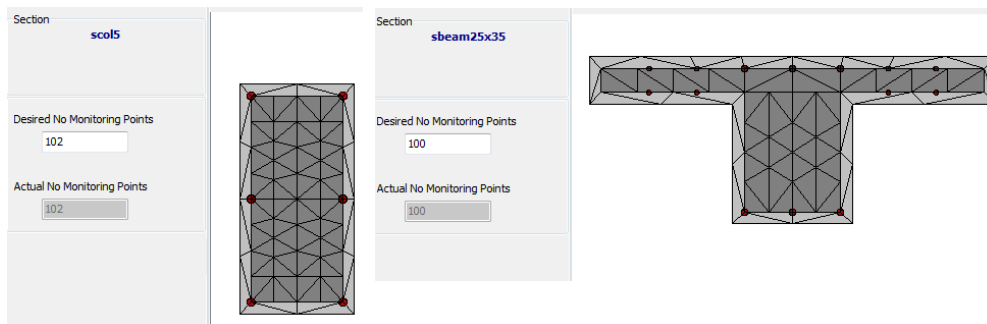
на конструкцията, увеличаването на собствените периоди на трептене и промяната на инерционните сили.

След всяка стъпка от решението се извършва модален анализ на конструкцията с новата тангенциална коравина и пластифициралите елементи. Определя се ново разпределение на хоризонталното натоварване и конструкцията се решава [2], [3]. В настоящото изследване е използван софтуерният продукт SeismoStruct [1], специализиран в изследването на конструкции, подложени на сеизмични въздействия.

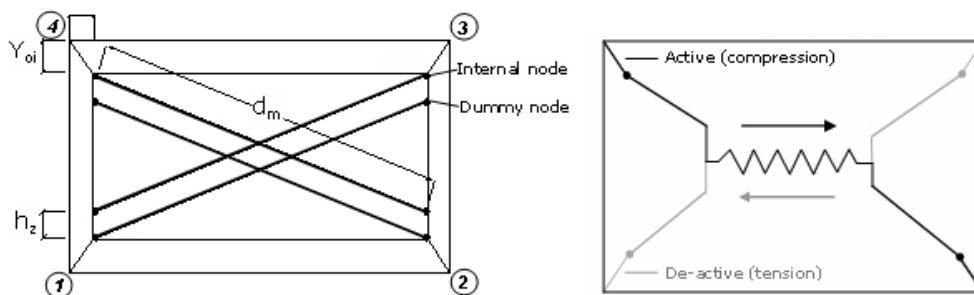
Анализът е проведен на конкретна стоманобетонна конструкция на сграда, намираща се в гр.София, на бул. „Витоша“ № 7 [4]. Предполага се, че сградата е проектирана и построена между 1930 и 1935 г. Сградата в своя първоначален вид е била масивна със стоманобетонен скелет и пълнежна зидария от плътни изпечени единични тухли на превръзка на варов разтвор. Може да се предполага, че първоначално сградата е била на три етажа със сутерен и тавански помещения с дървен покрив. През 1992 г. се премахват стълбищните рамена от сутерена до първия етаж, като сградата се удължава на изток и стълбищната клетка се изнася и развива като нова изцяло в дъното на сградата. Сградата се надстроява с един етаж. Конструктивното решение е проведено само за вертикални товари, без да се разглежда общият стабилитет на сградата и въздействието от земетръс.

2. Изчислителен модел

Въведени са материални модели, съобразени и отговарящи на конкретната изследвана конструкция. Всички материални модели са с нелинейни характеристики.



Фиг. 1. Фибромодели на колона и греда [2]



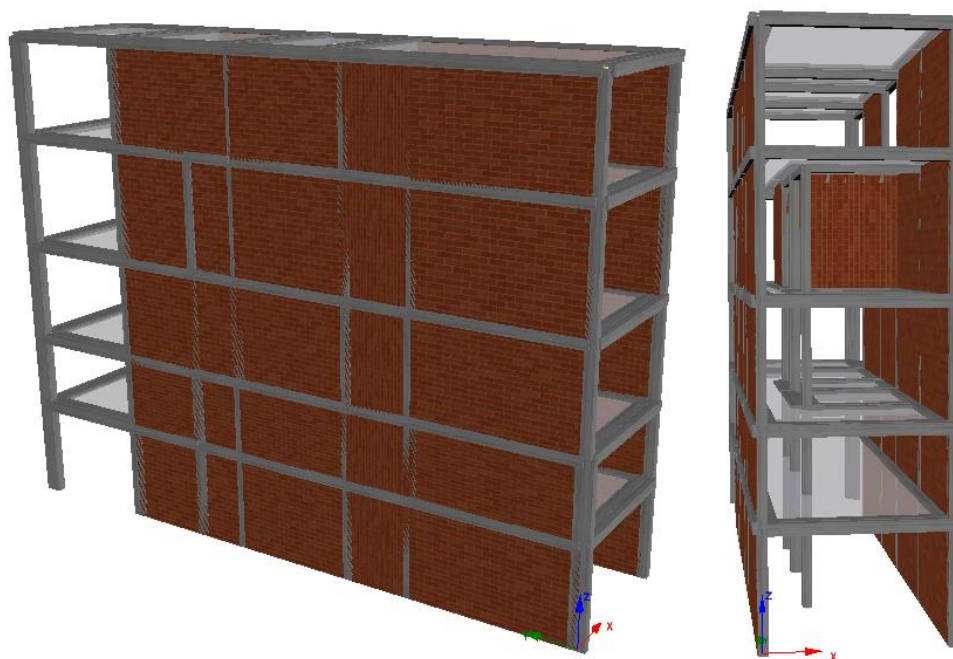
Фиг. 2. Елемент за зидария. Натискови диагонали (ляво) и срязване (дясно) [2]

Зададени са съответни размери на всички хоризонтални и вертикални носещи елементи. Зададени са съответни сечения и местоположения на армировъчните пръти в греди и колони.

Използвани са пространствени елементи, позволяващи геометрична и материална нелинейност. Всеки елемент е съставен от краен брой фибри (фиг. 1). Напреженията и деформациите в дадено сечение на греда или колона се получават чрез интегриране на нелинейния материал на всяка фибра от сечението.

За моделиране на зидариите е използван нелинеен елемент с 4 натискови диагонала и повърхнина на срязване, предложен от Crisafulli [5] и внедрен в софтуерната среда на SeismoStruct [1]. Схема на елемента е показана на фиг. 2.

За построяване на изчислителния модел са използвани 95 възела и 283 елемента (фиг. 3). Фундаментната плоча заедно със сутеренните стени и плочата на първия етаж са приети като корава кутия (box foundation). Изчислителният модел е приет като кораво запънат за фундаментната конструкция. Подовите конструкции са представени като корави в собствената си равнина диафрагми.



Фиг. 3. Триизмерен изглед на изчислителния модел

3. Критерии на поведение

При достигане на даден критерий съответният елемент се маркира и анализът продължава [2]. Използвани са следните критерии за дефиниране на граничните състояния:

- Деформации на опън в бетона при образуване на пукнатини от огъване $\varepsilon_{c,t} = +0.0003$ (Crack_conc).

- Пластифициране на армировката в греда и колона при деформации $\varepsilon_y = \pm 0.0025$ (Yield).
- Максимални деформации в натисквата зона на бетона в греда и колона $\varepsilon_{cu} = -0.0035$ (Crush_unc).
- Максимални деформации в натисквата зона на ограничния бетон в греда и колона $\varepsilon_{cu,c} = -0.006$ (Crush_conf).
- Носеща способност на срязване на колона в зависимост от характеристиките $-V_{Rd,s} \approx (3.2 \div 6.4)t$ (Shear).
- Скъсване на армировката в колона и греда при деформации $\varepsilon_{y,max} = +0.060$ (Fracture).
- Изчерпване на носеща способност на зидария по натисков диагонал в зависимост от характеристиките (Infill_strut).
- Изчерпване на носеща способност на срязване на зидария в зависимост от характеристиките (Infill_shear).

4. Анализ и резултати

Първоначално е проведен модален анализ в еластичен стадий за определяне на първоначалните собствени форми на трептене на конструкцията.

На фиг. 4 са показани резултатите от проведения адаптивен нелинеен статичен анализ (Adaptive pushover) по главно направление Y за разглежданата конструкция. В синя непрекъсната линия е графиката на капацитетната крива (Capacity curve), изразяваща носещата способност на конструкцията в дименсии – сумарна срязваща сила спрямо преместване на върха.

С двойна непрекъсната линия е показано изменението на първия период на собствени трептения на конструкцията в разглежданото главно направление. С достигането на гранични критерии периодът на конструкцията се увеличава.

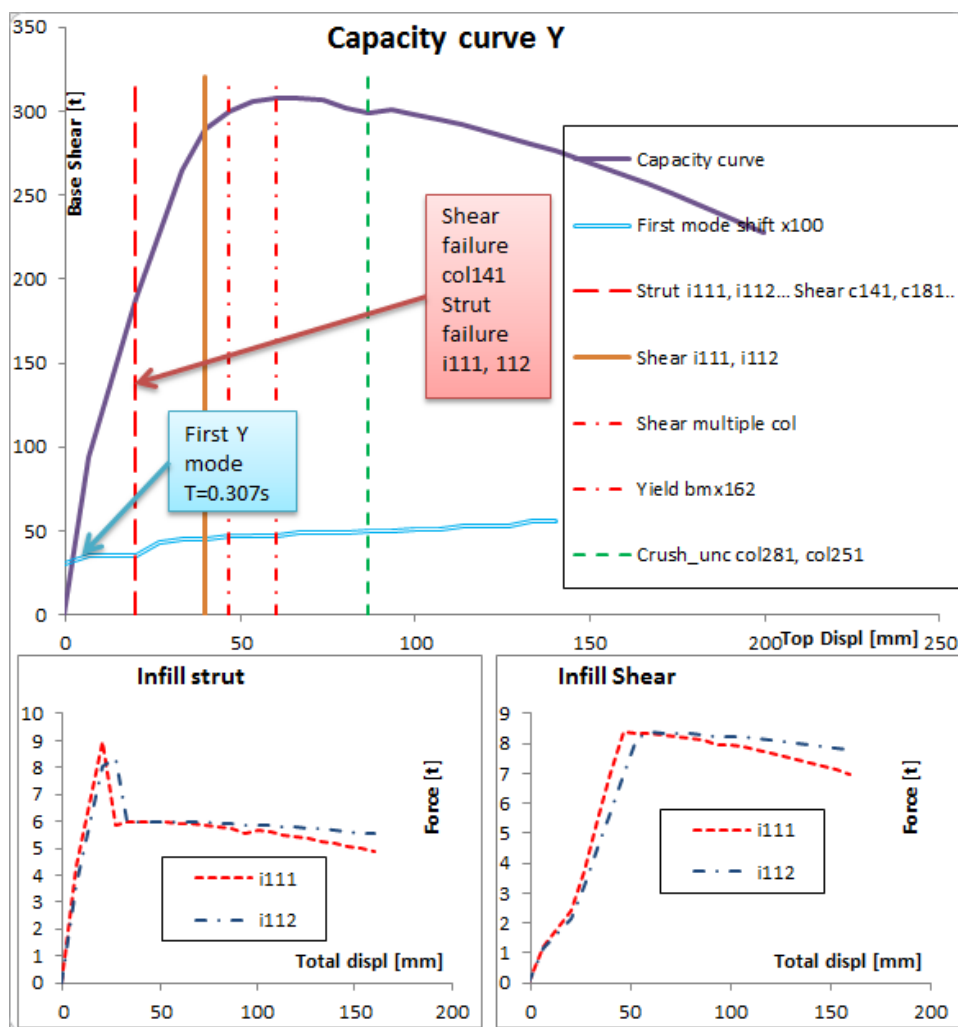
Показани са резултатите на два избрани зида от първи етаж от разглежданата конструкция. Носещата способност по натисков диагонал на зидовете (Infill strut) достига максималната си стойност при около 9 t, след което има остатъчна носимоспособност. Достигането до 9 t е отбелязано и на графиката на капацитетната крива на конструкцията (Strut failure). Аналогична е и графиката на носимоспособност на срязване на двата избрани зида (Infill shear). След достигане на максималната носеща способност следва спад, който се асоциира с последващи разрушения. Този момент също е отбелязан на капацитетната крива на конструкцията.

С вертикални пунктирни линии са отбелязани достигнатите гранични критерии за срязване в стоманобетонните колони на конструкцията (Shear columns). Забелязва се, че тези критерии са достигнати преди пластифициране на гредите (Yield beams). Този факт се обяснява с наличието на множество зидове по разглежданото направление на конструкцията.

От проведения анализ може да се направят следните изводи:

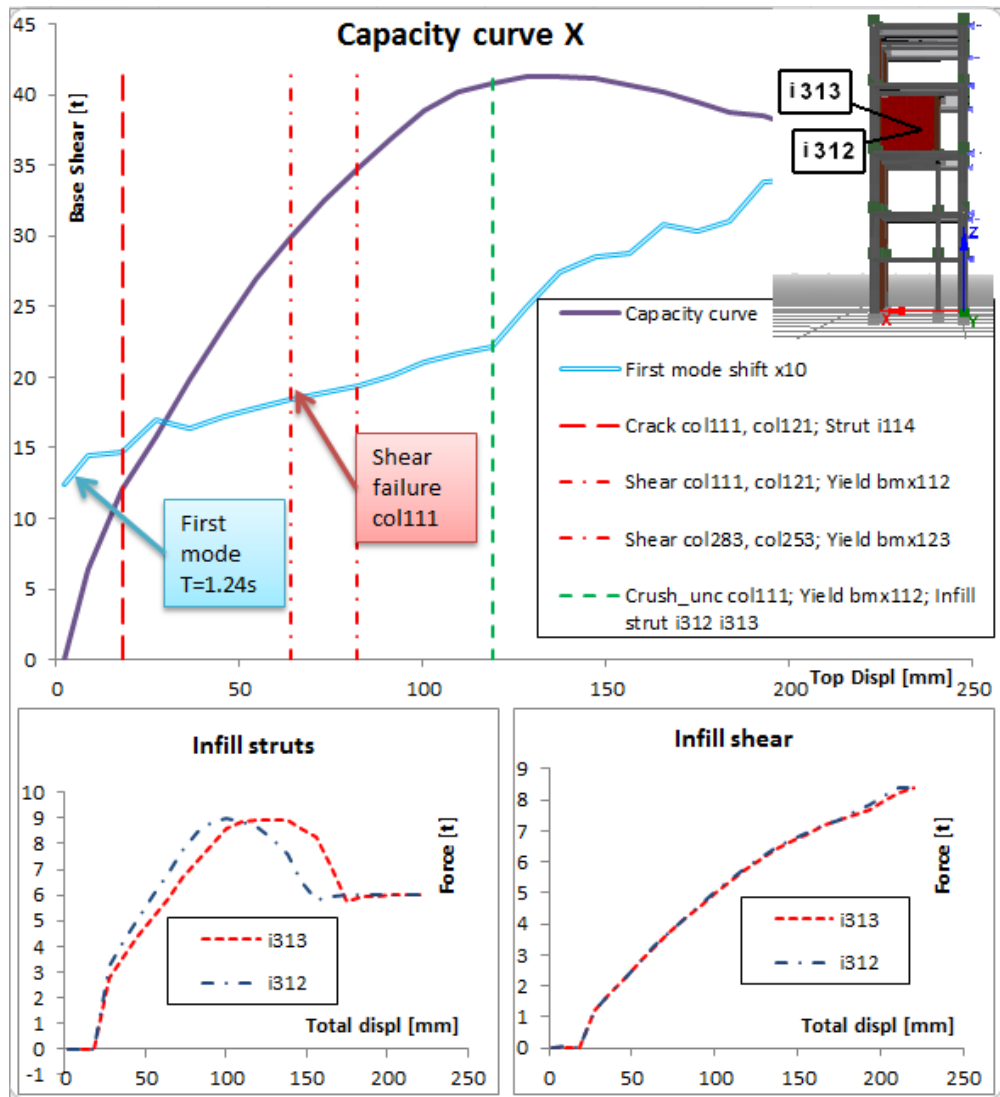
- Първите достигнати гранични критерии са срязване на стоманобетонните колони и изчерпване на носещата способност по натисков диагонал на зидовете на първи и втори етаж.

- Достигането на максимална носимоспособност на разглежданата конструкция при хоризонтално натоварване от 300 t е съпроводено от множество повредени колони и зидове. В този момент повредите на конструкцията са довели до увеличаване на собствения период от 0,307 s до 0,475 s.
- При увеличаване на приложеното преместване коравината на конструкцията спада. Това се вижда от капацитетната крива и графиката на собствения период и е съпроводено с множество повреди.
- Предвид множеството достигнати критерии за срязване на колони и зидове авторите считат, че аналитичната хоризонтална носеща способност на конструкцията от 300 t е преувеличена. Това твърдение е възможно да се провери чрез анализ с изключване на съответните елементи при достигане на граничен критерий срязване.
- Конструкцията не притежава дуктилност в разглежданото направление.



Фиг. 4. Резултати от адаптивния инкрементален анализ по направление Y

На фиг. 5 са показани избрани резултати от проведения адаптивен нелинеен анализ по направление X. Забелязва се значително по-ниската начална коравина и максимална носеща способност на конструкцията. Наличието единствено на два зида на етаж 3 по разглежданото направление е логично обяснение. „Меката“ конструкция показва и значително по-висок период на собствени трептения от 1,24 s (First mode shift).



Фиг. 5. Резултати от адаптивния инкрементален анализ по направление X

Намалението на глобална коравина на конструкцията в първите стъпки от анализа и увеличението на собствения период са предизвикани от навлизането в нелинейна работа на кривата момент-ротация на колоните и гредите. Това обикновено е предизвикано от пукнатинообразуване в разглежданите елементи.

Първият достигнат граничен критерий е срязване на колони на етаж 1 и е показан с вертикална пунктирна линия (Shear collumns). Следва провлачване на армировката в греди (Yield beams).

Достигане на максималната носеща способност на срязване на конструкцията от 40 t е съпроводено с изчерпване на бетона на натиск на колони (Crush unc) и достигане на максимална носеща способност по натисков диагонал на зидовете (Infill strut).

От проведения анализ по направление X могат да се направят следните изводи:

- Стоманобетонните колони имат ниска носеща способност на срязване, тъй като това е първият достигнат граничен критерий.
- Армировката от стоманобетонните греди започва да пластифицира преди тази в колоните, което отговаря на принципа „силни колони – слаби греди“. Но е необходимо и колоните да имат достатъчна носимоспособност на срязване.
- Периодът на собствени трептения на конструкцията в разглежданото направление се увеличава от 1,24 s до 2,17 s при максималната носеща способност, което е показател за ниската коравина.
- Конструкцията не притежава дуктиленост в разглежданото направление

Показаните резултати на фиг. 4 и фиг. 5 са малка част от изходните данни за разглежданата конструкция и служат за онагледяване на избрани по-важни моменти от анализа.

5. Заключение

Главното предимство на адаптивния нелинеен анализ спрямо обикновения е, че след всяка стъпка се извършва модален анализ. По този начин натоварването се актуализира съгласно новите форми на трептене. Така разглеждана конструкция ще има по-точно разпределение на натоварването при достигане до зададен граничен критерий на съответен конструктивен елемент.

Адаптивният нелинеен статичен анализ дава представа на проектанта за вида на повредите в разглежданата конструкция и по-важното – за реда на тяхното появяване. Този вид анализ е изключително полезен при смесени конструктивни системи, където невинаги е ясно кои елементи и от кой тип ще достигнат първи до гранично състояние – важна информация за последващо усиляване.

Авторите считат, че при цялостно изследване и доказване на състоянието на дадена конструкция е необходимо данните от адаптивния инкрементален анализ да бъдат потвърдени и по други методи – като например динамичен нелинеен анализ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Seismosoft 2014, "SeismoStruct – A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures". Available from URL: www.seismosoft.com.
2. SeismoStruct v6, Reference manual, SeismoSoft, 2014.
3. Antoniou, S, Pinho, R. Development and verification of a fully adaptive pushover procedure, 12 ECEE, 2002.

4. *Николов, Ат., П. Орлинов.* Конструктивно обследване на стоманобетонна конструкция с пълнежна зидария в гр. София, бул. „Витоша“ 7. 2014.

5. *Crisfulli, F. J.* Seismic behavior of reinforced concrete structures with masonry infills, PhD Thesis, New Zealand, 1997.

ADAPTIVE PUSHOVER ANALYSIS FOR EVALUATION OF RC FRAME STRUCTURE

R. Orlinov¹, At. Nikolov², D. Dinev³

Keywords: *adaptive pushover analysis, seismic evaluation, reinforced concrete frame structure*

Research area: *seismic design*

ABSTRACT

The focus of the paper is the implementation of adaptive pushover analysis for evaluation of the resistance of a reinforced concrete structure against seismic action. The current building is situated in Sofia, Bulgaria and is classified as a frame structure with masonry infill. Different performance criteria are implemented and their impact on the capacity curve is analysed. All structural elements are modelled with nonlinear fibre elements using SeismoStrust 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