



Получена: 09.12.2022 г.

Приета: 23.12.2022 г.

МОДЕЛИРАНЕ И АНАЛИЗ ЗА СЕИЗМИЧНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ НА СПЕЦИФИЧЕН СЛУЧАЙ

Ив. Топурова¹

Ключови думи: моделиране, сеизмично въздействие, коефициент на поведение, видове анализ

РЕЗЮМЕ

Разгледан е възможен метод за сеизмичен анализ на две отделни сгради с монолитни стоманобетонни конструкции, обединени от общ сутерен. Подробно е коментиран подход с единен пространствен модел при отчитането на диференцирани коефициенти на поведение. В допълнение е направен сравнителен анализ на резултатите за различна коравина на отделните конструктивни елементи.

1. Въведение

Моделирането на конструкциите за сеизмичен анализ съгласно най-разпространения метод за изследване, посредством линеен спектрален анализ, включва приемането на коефициент на поведение. Определянето на този коефициент се базира на възможната дисипация на енергия, в зависимост от конструктивната система на сградата и същевременно цели едно разумно и икономично проектиране. При сгради, състоящи се от отделни, различни по вид конструкции, но с общо реагиране по отношение на сеизмичното въздействие, стои въпросът за коректното определяне на техните коефициенти на поведение. Особено при определянето на инерционните сили, които те предават на обединяващата ги конструкция в конкретния случай, това е сравнително корав сутерен, може да се окаже оправдано използването на различни коефициенти за отделните направления или части от сградата.

¹ Иванка Топурова, д-р инж., кат. „Пътища и транспортни съоръжения“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: ivankatopurova@yahoo.com

Примерът, който се разглежда, е свързан с пространственото моделиране и въвеждането на отделните параметри на сеизмичното въздействие с използването на софтуерен продукт ETABS.

2. Кратко описание на конструкцията

Изследват се две високи тела, обединени от сравнително корав сутерен на 4 нива. Конструкцията на сградите е монолитна, стоманобетонна, изградена по традиционен способ. Етажните плочи са решени като безредови, с капители за сграда 1 и сутеренните етажи, и гладки за сграда 2. Вертикалните товари е предвидено да се поемат от стоманобетонните колони и стени. Хоризонталните товари при сграда 1 и подземните нива се предават само на стоманобетонните стени, а при сграда 2 поемането е комбинирано, със стени и рамки по контура на плочата.

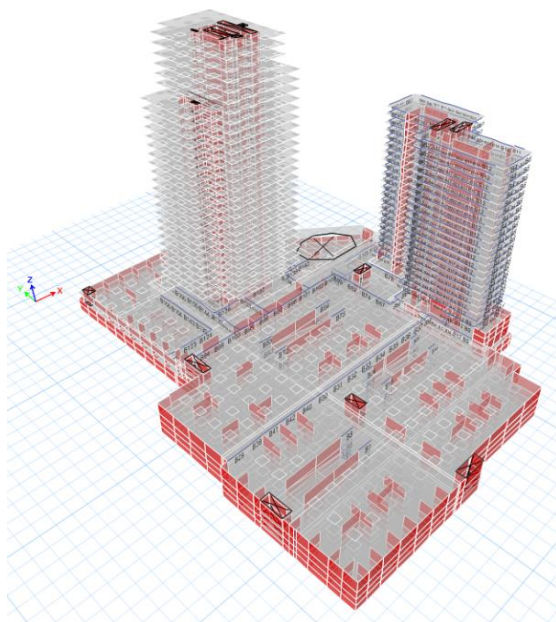
Фундирането е решено като гладка фундаментна плоча, а под високите сгради е предвидено пилотно фундиране.

Във връзка с етапността на изпълнение на сградите и с цел намаляване на ефектите от съсъхване подземните нива са разделени със съсъхвателни фуги.

Характерна особеност на разглеждания случай е възприетото обединяване на отделните тела, като не се предвиждат фуги в експлоатационно състояние, независимо от големите размери в план.

3. Моделиране за сеизмично въздействие

За получаване на разрезните усилия са направени няколко тримерни пространствени модела на ETABS. Основните разлики са свързани с етапите на изграждане и характеристиките на взаимодействието с почвата.



Особености на модела за сеизмично въздействие:

- моделът е подпрян във вертикално направление с неподвижни опори по "Z" при пилотите на високите сгради и с пружини със стойност 60000 kN/m^2 под фундаментната плоча в зоната на подземните паркинги;
- моделът е подпрян в хоризонтално направление по "X" и по "Y" под колоните при плоския фундамент с пружини със стойност 2000000 kN/m^2 ;
- моделът е подпрян в хоризонтално направление с пружини по вертикалните сутеренни стени с променлива по височина стойност;
- етажните диафрагми са дефинирани като полу-корави (semi rigid).

При моделирането за сеизмично въздействие са направени следните приемания:

- среден клас на дуктилност DCM;
- референтно максимално ускорение на земната основа $a_g R = 0,23 \text{ g}$;
- земна основа тип "C";
- спектър на реагиране вид "I";
- участие на експлоатационното натоварване – съгласно коефициентите за съчетания на съответната категория товар;
- отчетен случаен ексцентрицитет, равен на 5 % от размера на плочата в съответната посока.

Конструкцията на сграда се класифицира като стенна система със свързани стени в посока X, и дуктилна стенна система в посока Y, нерегулярни в план и нерегулярни по височина. Съгласно EC8-1 максималният коефициент на поведение може да се приеме $q = 2,2$.

Сграда 2 се класифицира като усукващо деформируема система, нерегулярна в план и регулярна по височина с максимален коефициент на поведение $q = 2,0$.

За обединяващия, сравнително корав сутерен, взаимодействащ с почвата чрез сутерените стени и поради много малката възможност за десипация на енергия, е възприет коефициент на поведение $q = 1,5$.

Отделните конструкции изискват различни максимални коефициенти на поведение. Възможно е да се приеме най-малкият от тях – 1,5, за всички, но това е изключително неикономично, особено като се има предвид, че двете високи тела са с височина над 100 m. Промяната в коефициентите за отделните сгради е възможна чрез използването на две различни стойности за сграда 1 и съответно за сграда 2. Получените усилия се прилагат за проектиране на елементите от съответната сграда. Остава въпросът с различното реагиране на общия сутерен.

За да може за сутерена да се отчете коефициент на поведение 1,5, е възприето да се работи с коефициента на съответната висока сграда, но със завишени маси за всички нива под кота 0,00. По този начин разликите между отделните реагираня са отчетени чрез завишаване на инерционните сили в зоната на подземните етажи чрез допълнително приложена маса върху плочите със стойност от 1000 kg/m^2 .

4. Коровина на елементите

Ефективната коравина е функция на приложеното натоварване, неговата скорост на прилагане и вида на усилията в елементите.

Възможен подход при нейното определяне би бил чрез прилагането на множество итерации, като на всяка стъпка се определя реалистичната коравина, в зависимост от резултата. От своя страна, ефективната коравина влияе на динамичните характеристики на модела, което води до промяна на резултатите от анализа и съответно до нова стойност на коравината.

Неточното определяне на този параметър може да доведе до неконсервативни резултати. Особено при високи сгради може да се окаже, че моделите за анализ са чувствителни по отношение на моделираната коравина, както на вертикалните елементи, така и на плочите.

При разработването на пространствен модел за анализ следва да се изготви такава идеализация, гарантираща реалистични усилия в елементи. Същевременно стремежът е и за постигне на възможно по-опростен инженерно-практичен модел, позволяващ лесна и точна оценка на резултатите.

В дадената таблица, заимствана от [1], са сравнени насоките за определяне на ефективната коравина, съгласно различните нормативни бази и предписания.

Таблица 1. Ефективни коравини съгласно различни нормативи от [1]

Елемент		ACI 318-11 10.10.4.1	ASCE 41-13, Table 10-5	PEER TBI, Guidelines Service Level	FEMA 356, Table 6-5	NZS 3101 Part 2-2006	CSA A23.3-1.4	Euro Code	TS 500-2000
Греди	$l/h > 4$	0,35I _g	0,30I _g	0,50I _g	0,50I _g	0,40I _g	0,35I _g	0,50I _g	0,40I _g
	предварително напрегнати	-	1,00I _g	1,00I _g	1,00I _g	-			
Колони	$N_{ed} > 0,5A_c f_{ck}$	0,70I _g	0,70I _g	0,05I _g	0,70I _g	0,80I _g	0,70I _g	0,50I _g	0,80I _g
	$N_{ed} \leq 0,3A_c f_{ck}$				0,50I _g	0,55I _g			
	$N_{ed} \leq 0,1A_c f_{ck}$	0,30I _g	0,40I _g	0,40I _g					
	опънни	-	-	-					
Шайби	ненапукани	0,70I _g	-	0,75I _g	0,80I _g	-	0,70I _g	0,50I _g	-
	напукани	0,35I _g	0,50I _g		0,50I _g	0,32I _g			0,35I _g
	срязване	-	0,4E _c A	-	-	-	-	-	-
Плочи	обикновен стб	0,25I _g	-	0,50I _g	-	-	0,25I _g	0,50I _g	-
	предварително напрегнати	-	-		-	-			-

В дадената таблица, заимствана от [1], са сравнени насоките за определяне на ефективната коравина, съгласно различните нормативни бази и предписания. Прави впечатление, че в Eurocode не са предвидени различни коравини за елементи в критична зона и извън нея.

По отношение на сеизмичното реагиране се разгледаха два подмодела. Първият е с Е-модул на бетона 33000 МРа (нередуциран), а вторият е с Е-модул 16500 МРа (напукан модел).

5. Сравнителен анализ на резултатите

С цел онагледяване в сравнителен план са дадени таблици с резултатите от модел с намалена еластична коравина, съгласно изискванията на EN 1998-1 точка 4.3.1 (7), означен в таблиците по долу като „напукан модел“ и този с еластична коравина, означен като „ненапукан модел“. Сравнението е направено за общите сръзващи сили при съответното основно направление на сеизмичното въздействие. Следва да се отбележи, че намаляване на коравината с 50 % води до очаквано увеличаване на периодите с 40 %.

Таблица 2. Общи сръзващи сили на нулево ниво и на ниво „1“ при сграда 1

Ненапукан модел				Напукан модел			
Ниво	Земетръс	$V_{x.Ed}$	$V_{y.Ed}$	Ниво	Земетръс	$V_{x.Ed}$	$V_{y.Ed}$
		kN	kN			kN	kN
ниво 0	O_0.3ExEy Max	47954	134030	ниво 0	O_0.3ExEy Max	38147	95771
ниво 0	O_Ex0.3Ey Max	119920	53555	ниво 0	O_Ex0.3Ey Max	87043	38905
ниво 1	O_0.3ExEy Max	50719	138187	ниво 1	O_0.3ExEy Max	40590	97718
ниво 1	O_Ex0.3Ey Max	125502	54466	ниво 1	O_Ex0.3Ey Max	91806	39927

Таблица 3. Общи сръзващи сили на нулево ниво и на ниво „1“ при сграда 2

Ненапукан модел				Напукан модел			
Ниво	Земетръс	$V_{x.Ed}$	$V_{y.Ed}$	Ниво	Земетръс	$V_{x.Ed}$	$V_{y.Ed}$
		kN	kN			kN	kN
ниво 0	R_0.3ExEy Max	35376	63718	ниво 0	R_0.3ExEy Max	27584	43548
ниво 0	R_Ex0.3Ey Max	70266	33477	ниво 0	R_Ex0.3Ey Max	55203	25816
ниво 1	R_0.3ExEy Max	37272	68391	ниво 1	R_0.3ExEy Max	29151	47017
ниво 1	R_Ex0.3Ey Max	75123	36342	ниво 1	R_Ex0.3Ey Max	60366	27599

Таблица 4. Периоди сграда 1

Ненапукан модел		Напукан модел	
Период	sec	Период	sec
T1	2.107	T1	2.967
T2	1.925	T2	2.714
T3	1.009	T3	1.426

Таблица 5. Периоди сграда 2

Ненапукан модел		Напукан модел	
Период	sec	Период	sec
T1	2.185	T1	3.087
T2	1.902	T2	2.685
T3	1.827	T3	2.577

6. Заключение

Коментираният случай за сеизмично моделиране показва, че въпреки възможностите на използваните програми, базирани на Метода на крайните елементи, е необходимо да се приемат допълнителни предпоставки с цел да се получат реалистични и същевременно икономични инженерни решения.

Описан е възможен подход за отчитане на различни коефициенти на поведение за отделните сгради при моделиране с общ примерен модел.

Сравнението при моделиране с различни коравини показва, че при провеждане на линеен анализ, очаквано, промяната на усилията е линейна. В полза на сигурността е възможно да се работи с еластичните коравини по отношение на усилията и съответно – с редуцирани за преместванията.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wong, J. M, S. E., Sommer, A., Briggs, A., Ergin, C. Effective Stiffness for Modeling Reinforced Concrete Structures. Structural Analysis, Jan, 2017.
2. BDS EN 1998-1/NA, Eurocod 8.

CASE-SPECIFIC SEISMIC MODELING AND ANALYSIS

Iv. Topurova¹

Keywords: modeling, seismic, behavior factor, types of analysis

ABSTRACT

The model of structures for seismic analysis, according to the most common method – linear response spectrum analysis, involves the definition of a behavior factor (a global force reduction factor). In specific cases, it may be proper to use different behavior factors for each direction or parts of the building.

A method for seismic analysis of separate concrete buildings joined by a basement is proposed. A united 3D structural model under the consideration of differentiated behavior factors is commented in detail. In addition, a comparative analysis of the results with different stiffness of the individual elements of the structure is made.

¹ Ivanka Topurova, Dr. Eng., Dept. “Road Construction and Transport Facilities”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: ivankatopurova@yahoo.com