



ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЧВА-КОНСТРУКЦИЯ (SSI) ПРИ СЕЙЗМИЧНО РЕАГИРАНЕ НА СТОМАНОБЕТОНЕН МОСТ

Александър Илиев, Димитър Стефанов

eng.alexander.iliev@gmail.com, dstefanov@geophys.bas.bg

Българска Академия на Науките (БАН)

Национален Институт по Геофизика, Геодезия и География (НИГГГ)

гр. София, ул. "Акад. Г. Бончев", бл. 3

БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: стоманобетонен мост, земна среда- конструкция (SSI), линейни динамични анализи

Резюме: Мостовите съоръжения представляват важни логистични съоръжения, имайки пряко значение върху нормалното функциониране и работа на една държава. Точно това ги прави важни и съответно тяхната евентуална загуба или повреда при сеизмични събития би била от съществено значение. В настоящата статия е изследвано взаимодействието земна среда- конструкция върху сеизмичното реагиране на едно мостово съоръжение. Изчисленията са проведени посредством най-популярния числен метод в последните 30-40 години - Методът на Крайните Елементи. За тази цел е разработен триизмерен числен модел, при който са разгледани два варианта на опорни условия. При единия колоните са кораво запънати на ниво фундамент, а при втория е отчетено влиянието на почвата, като за целта са моделирани фундаментите на моста (с плочести крайни елементи), които са подпряни с еластични пружини със съответния „коэффициент на леглото“ (Винклерова константа). От получените резултати е направено заключението, че отчитането на взаимодействието земна среда- конструкция би довело до по-икономично техническо решение, поради занижените разрезни усилия в конструкцията.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Взаимодействието земна среда- структура (SSI) се отнася до взаимодействието между почвата и конструкцията, когато последната се поддържа от или е в контакт с първата. Това е важно съображение при проектирането и анализа на стоманобетонни мостове, тъй като може да има значително въздействие върху работата и безопасността на конструкцията. Този доклад ще изследва взаимодействието земна среда- конструкция за стоманобетонни мостове, включително факторите, които му влияят, методите за анализ и проектните съображения.

Няколко фактора оказват влияние върху взаимодействието между почвата и стоманобетонните мостове. Някои от тези фактори включват:

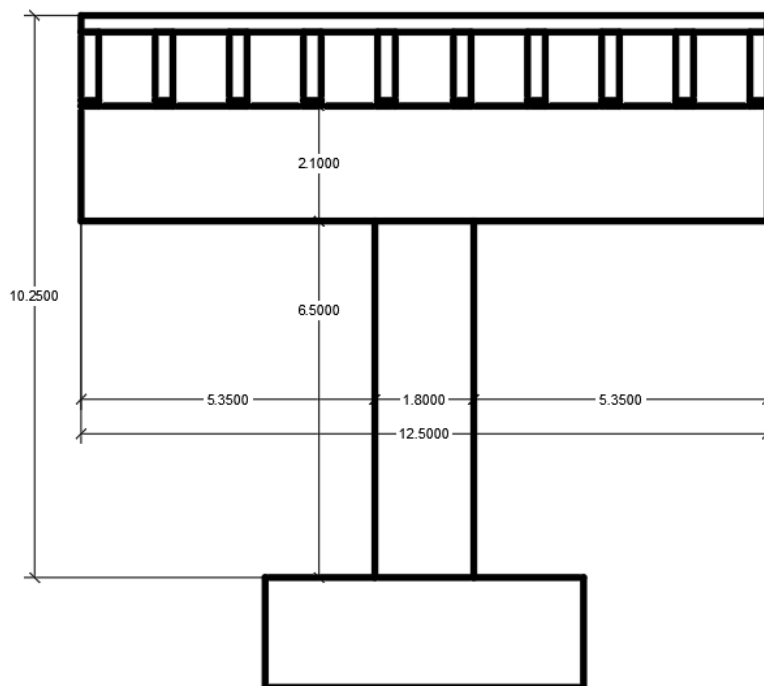
- Свойства на почвата: Свойствата на почвата, като коравина, плътност и съдържание на влага, могат да окажат значително влияние върху взаимодействието земна среда- конструкция. Коравината на почвата например,

може да повлияе на разпределението на товарите и деформацията на конструкцията.

- Свойства на моста: Свойствата на моста, като неговата коравина и геометрия, също могат да повлияят на взаимодействието земна среда- конструкция. Например гъвкавият мост може да претърпи по-голяма деформация при същото натоварване отколкото по-коравия мост.
- Натоварване: Големината и разпределението на натоварванията върху моста също могат да повлияят на взаимодействието земна среда- конструкция. Мост, подложен на големи натоварвания, може да претърпи по-голяма деформация и слягане, което води до по-голямо взаимодействие с почвата.
- Условия на площадката: Условията на мястото на моста, като дълбочината и вида на почвата, също могат да окажат влияние върху взаимодействието земна среда- конструкция.

2. ОПИСАНИЕ НА ИЗСЛЕДВАНАТА КОНСТРУКЦИЯ

Обект на изследване е гредови стоманобетонен мост в права и без косота. Мостът се състои от 7 отвора и обща дължина 154 m. В напречно направление, мостът е с размер 12,5 m. Средната височина на стълбовете е 6,5 m, а диаметърът им е 1,8 m. Надлъжните греди от връхната конструкция са конструирани като прости греди във всеки отвор. В основния вариант те са с правоъгълно сечение с размери 32/125 cm. Те се опират на напречни ригели с правоъгълно сечение - височина 1,9 m и 2,1 m. Напречен разрез на съоръжението е показан на фиг.1. За натоварване от подвижен трафик е приет товарен модел LM1 [1].



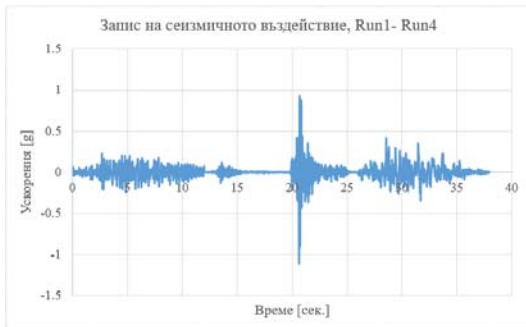
Фиг.1. Напречен разрез на съоръжението

3. СЕИЗМИЧНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ

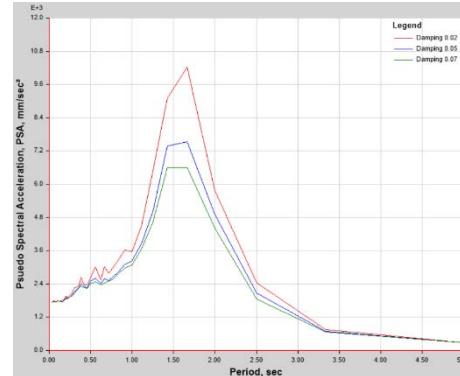
Сеизмичният запис за това изследване е взет от IAEA Coordinated Research Project “Safety Significance of Near Field Earthquakes” [2]. Сеизмичният сигнал се състои от четири акселерограми, които са приложени една след друга. Главната идея е да се използва силно въздействие, което да е представително за далечни и близки земетресения.

Използвани са два типа от земетръсни записи:

- “Земетръсен запис Ница” - изкуствен сигнал (времетраене 12 сек.), представителен за далечните земетресения;
- “Земетръсен запис Сан Франциско” - естествен сигнал (времетраене 7 сек.), представителен за близките земетресения.



Фиг.2. Земетръсен сигнал на ускорения, Run1- Run4



Фиг.3. Еластичен спектър на въздействия, Run1-Run4

Таблица 1. Максимални ускорения от записи използвани в анализа

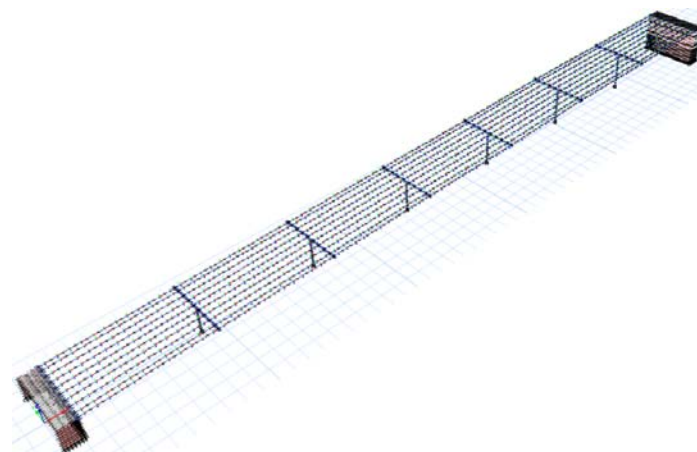
Run 1	Run 2	Run 3	Run 4
Ница 0.24g	Сан Франциско 0.13g	Сан Франциско 1.11g	Ница 0.41g

Run 1 може да се приеме/ разглежда като типично проектен земетръсен запис на ускорения. Run 1 и Run 2 може да се приемат/ разглеждат като „слаби“ нива. Run 3 и Run 4 са средно разрушителни земетръсни сигнали - фиг. 3.

Подвижните маси (товарен модел LM1) са моделирани за сеизмично въздействие с коефициент $\psi_{2,1}=0,2$ съгласно [1].

4. МОДЕЛ ЗА ДИНАМИЧНИ АНАЛИЗИ

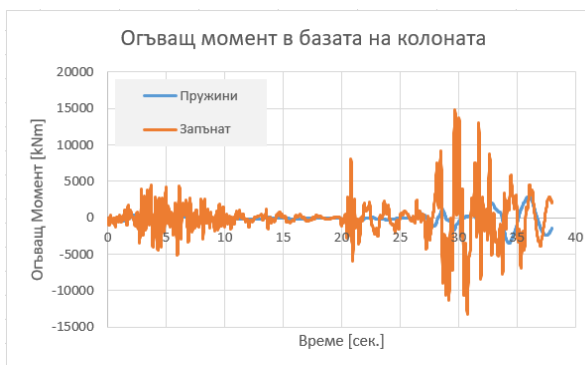
За целите на сравнението на влиянието на податливостта на почвата е разработен триизмерен модел по крайни елементи с програмен продукт ETABS [3]. Колоните, ригелите в напречно направление и надлъжните греди в надлъжно направление са моделирани с гредови елементи. В двата края на съоръжението се намират устоите на съоръжението, които са моделирани посредством плочести крайни елементи. Надлъжните греди стъпват на напречните ригели посредством лагери, които са моделирани с пружини. Еластомерният лагер е моделиран посредством линейно еластична пружина. Разгледани са два модела на връзката на конструкцията с почвата. При по-опростеният стъпването на колоните върху фундаментите е моделирано като колоните са запънати към горен ръб фундамент във всички посоки. При другия модел са моделирани фундаментите под колоната посредством плочести (shell) крайни елементи, подпрени с пружини със съответния коефициент на леглото (Винклерова константа). Сеизмичното въздействие е представено посредством триосово въздействие с акселерограми (виж точка 3). Численото решение е извършено посредством линейен динамичен анализ във времето (linear time history analysis). Използвано е затихване по Рейли (Алфа=0,0524, Бета=0,0265), което съответства на 5% затихване в честотите 2 и 10 херца (0,1 и 0,5сек). Общият вид на модела по крайни елементи е представен на фиг.4.



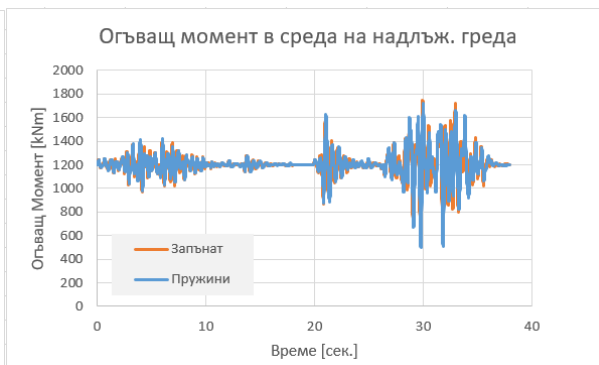
Фиг.4. Общ триизмерен изглед на модела по крайни елементи

5. РЕЗУЛТАТИ

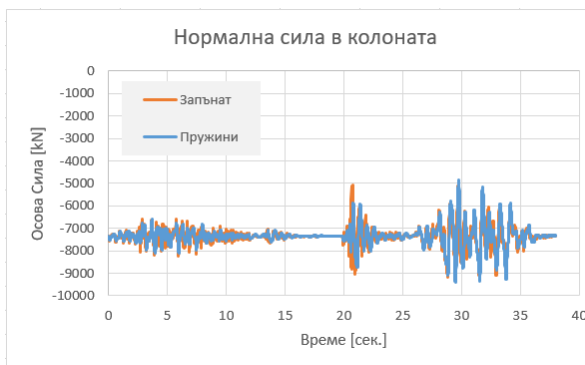
В тази част от статията са представени сравнителни резултати от динамичните линейни анализи чрез акселерограми на моста със запънат и податлив (моделиран фундамент подпрян на пружини) модел. На фиг.5 и фиг.6 са представени историите на огъващите моменти в базата на колоната (фиг.5) и в средата на надлъжната греда (фиг.6). Основна разлика се забелязва в огъващите моменти в базата на колоната при запънат и модел с пружини. Значително по-коравия вариант (този на запънат модел) води и до по-високи огъващи моменти. По този начин за целите на проектирането на нови съоръжения, това би довело до значително преоразмеряване на колоната и фундамента на конструкцията. Ако се използват резултатите от модела с пружини, това би довело до значително по-икономично проектно решение.



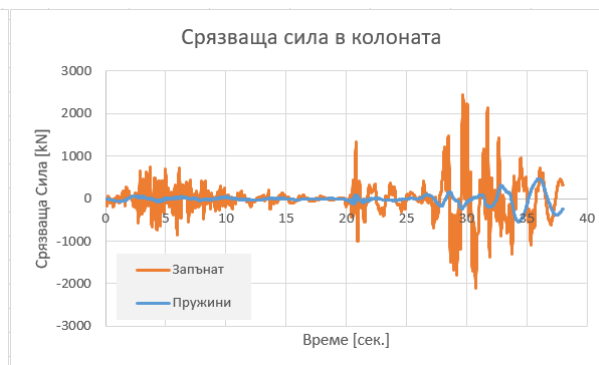
Фиг.5. Огъващи моменти в базата на колоната, Run1- Run4



Фиг.6. Огъващи моменти в средата на надлъжната греда, Run1- Run4



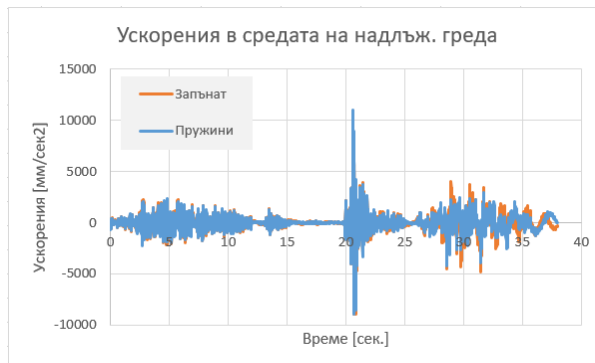
Фиг.7. Нормална сила в колоната, Run1- Run4



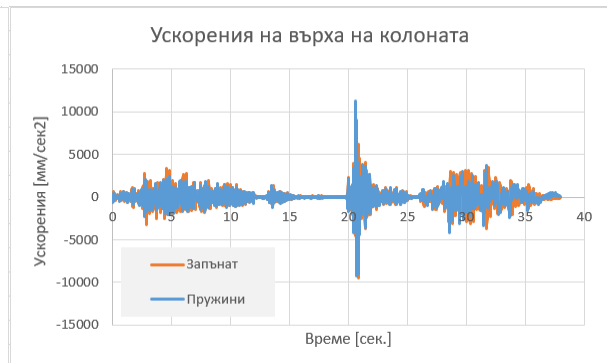
Фиг.8. Срязваща сила в основата на колоната, Run1- Run4

Същата закономерност както при огъващите моменти в базата на колоната се забелязва и при срязващите сили (фиг.8). Корава свързаният модел води до по-големи срязващи сили, което би довело до значително преоразмеряване на изследваната конструкция, докато по-икономично решение би се получило при отчитането на взаимодействието земна среда- конструкция посредством моделирането на почвата с еластични пружини.

При сравнение на ускоренията при двата модела се забелязват идентични стойности в средата на надлъжната греда и на върха на колоната (фиг.9 и фиг.10). От това следва, че при оразмеряването на връхната конструкция, взаимодействието земна среда- конструкция няма никакво влияние.

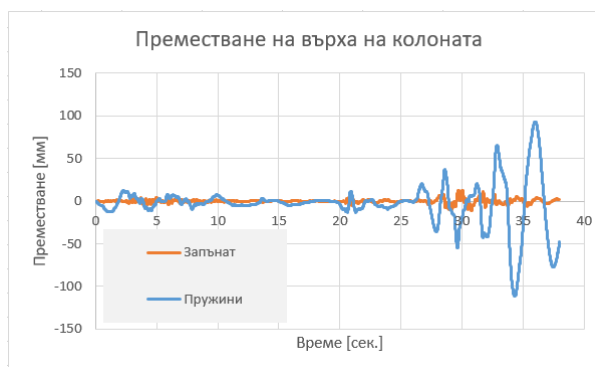


Фиг.9. Ускорения в средата на надлъжната греда, Run1- Run4

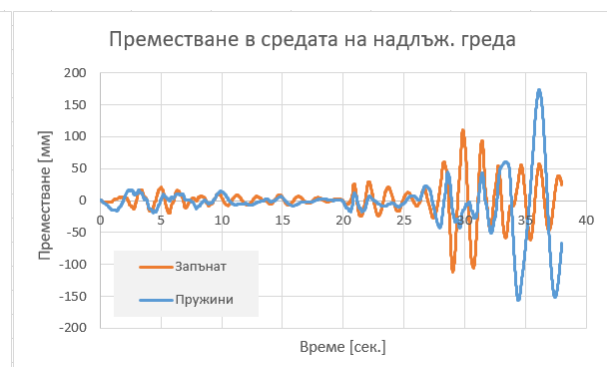


Фиг.10. Ускорения на върха на колоната, Run1- Run4

Значителна разлика се забелязва и в стойностите на преместванията на върха на колоната, като логично, по-мекият модел (с пружини) води до по-големи премествания (фиг.11). Това може да окаже влияние при спазване на критериите за втора група гранични състояния и необходимостта за по-висока коравина на колоните, за намаляване на хоризонталните премествания.



Фиг.11. Преместване на върха на колоната, Run1- Run4



Фиг.12. Преместване в средата на надлъжната греда, Run1- Run4

6. ИЗВОД

Взаимодействието земна среда - конструкция е важно съображение при проектирането и анализа на стоманобетонни мостове. Няколко фактора, включително свойствата на почвата, свойствата на моста, натоварването и условията на площадката, могат да повлияят на взаимодействието между почвата и конструкцията. Могат да се използват различни методи за анализ, включително анализ по крайните елементи, аналитични методи и експериментални методи, за да се оцени поведението на моста и почвата. При проектирането на стоманобетонни мостове трябва да се вземат предвид

фактори като носеща способност на почвата, слягане, страничен земен натиск и динамични ефекти, за да се гарантира безопасността и ефективността на конструкцията. В случая на настоящото изследване, проведените анализи показват, че отчитането на податливостта на почвата, води до значително занижаване на разрезните усилия в конструкцията, което би довело до по-икономичен вариант при проектирането на подобни конструкции. От друга страна, не така стой въпроса с преместванията и оразмеряването по втора група гранични състояния.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] БДС EN 1998-2, Еврокод 8: Проектиране на конструкциите за сеизмични въздействия, Част 2: Мостове.
- [2] IAEA TECDOC, Safety significance of a type of near-field seismic input motions, 2005.
- [3] ETABS 2015: CSI Analysis Reference Manual.
- [4] Priestley, M.J.N, Seible F and Calvi G.M., Seismic Design and Retrofit of Bridges, John Wiley & Sons, 1996, p.465.
- [5] Chen W.-F. C and Duan L., Bridge Engineering, Seismic Design, CRC PRESS, 2003, p.9-26 -9-33.
- [6] Топуров К., Сеизмично проектиране на мостове с числени примери, КИИП, 2015, София., стр.221.

SOIL-STRUCTURE INTERACTION OF CONCRETE BRIDGE UNDER SEISMIC EVENT

Alexander Iliev, Dimitar Stefanov

eng.alexander.iliev@gmail.com, dstefanov@geophys.bas.bg

*Bulgarian Academy of Sciences
National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography
Sofia, Acad. G. Bonchev str., bl. 3
BULGARIA*

***Key words:** reinforced concrete bridge, soil-structure interaction (SSI), dynamic (time-history) analysis*

***Abstract:** Bridges are important logistical facilities that have a direct impact on the normal functioning and operation of a country. This is precisely what makes them important, and accordingly any possible loss or damage in seismic events would be significant. This paper investigates the soil-structure interaction on the seismic response of a bridge structure. The analyses are done using the most popular method in the last 30-40 years - the Finite Element Method. For this purpose, a three-dimensional numerical model was developed, in which two variants of support conditions were considered. In one, the columns are fixed at the foundation level, and in the second, the influence on the soil is taken into account, and for this purpose, the foundations of the bridge (with shell elements) are modeled, which are supported by elastic springs with the corresponding Winkler's coefficient. From the obtained results, it was concluded that the consideration of the soil-structure interaction would lead to a more economical technical solution, due to the reduction of internal forces in the structure.*