

НЕКИ СЛУЧАЈЕВИ ОШТЕЋЕЊА И САНАЦИЈЕ СРЕДЊЕГ РАМА МОСТА НАКОН ЗЕМЉОТРЕСА

Борис Фолић^{*}, Младен Ћосић^{**}, Ђорђе Лађиновић^{***},
Симон Седмак^{*}

^{*} *Универзитет у Београду, Иновациони центар, Машинског факултета,
Краљице Марије 16. Београд. boris.folic@gmail.com*

^{**} *Институт за испитивање материјала ИМС, Београд.*

^{***} *Универзитета у Новом Саду, Факултета техничких наука. Трг
Доситеја Обрадовића 4. Нови Сад.*

РЕЗИМЕ

У овом раду разматрана је могућност (неуобичајеног) ојачања средњег рама моста после земљотреса, помоћу зидане испуне. Уведени су у разматрање ефекти динамичке интеракције тло-шип-конструкција, помоћу линк елемената. Анализирани су могући случајеви оштећења и санације четири стуба и стања пластичних зглобова у врху и дну стуба и шипова.

КЉУЧНЕ РЕЧИ: динамичка интеракција конструкција-шип-тло, линк елементи испуне, линк елементи тла.

SOME CASES DAMAGE AND RETROFIT MIDDLE FRAME BRIDGE AFTER EARTHQUAKE

ABSTRACT

This paper discusses some aspects of (unusual) reinforcing middle frame of the bridge (overpass) after earthquake, using brick infill. The effects of dynamics soil-pile-structure-interaction were introduced into the consideration, using link elements. We analyzed possible cases of damage and retrofit of four columns and states of plastic hinge at the top and bottom of column and piles.

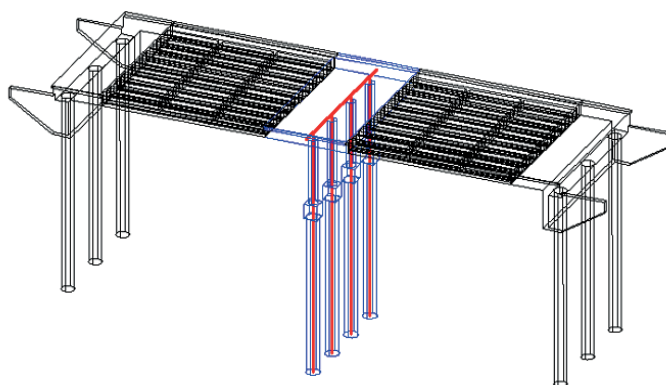
KEY WORDS: dynamics soil-pile-structure interaction, link elements infill, link elements of soil

УВОД

У раду су анализирани неки могући начини сеизмичког ојачања објекта, са нагласком на зидане испуне, као и појаве оштећења средњег рама моста током земљотреса. У општем случају појава оштећења може се посматрати детерминистички, пробабилистички или прожимањем претходна два приступа. Појава оштећења посматрана је детерминистички, у нумеричком смислу, преко анализе појаве пластичних зглобова на моделу средњег рама са шиповима и елементима тла. Нумеричке анализе су урађене у програмском пакету SAP2000 преко ТН (time history) временске анализе корак по корак. Коришћен је акцелерограм Vrančea 1986 Focsani правац N07E (лонгитудинални).

МОДЕЛ КОНСТРУКЦИЈЕ

Модел конструкције је симетрични двораспонски надпутњак приказан на слици 1. Крајњи рамови имају по три шипа који се завршавају у врху насипа приступног пута. Овде се разматра средњи рам који се састоји од четири шипа и греде-путне плоче. Шипови су пречника 120 cm, а стубови 90 cm. Континуирање арматуре шипова и стубова се обавља у АБ коцкама. Чиста висина стубова је око 6m.



Слика 1. 3Д модел интеракције конструкција тло (најпростији модел тла је са Винклеровим линеарно еластичним опругама а користе се и p-y криве).

Figure 1. 3D model soil structure interaction (simplest model of soil with Winkler linear-elastics spring and using p-y curve).

НЕКИ СИСТЕМИ СЕИЗМИЧКОГ ОЈАЧАЊА РАМОВА

Овде су набројани неки методи сеизмичког ојачања рамова, који се могу применити током извођења а и накнадно након извођења анализираниог објектата:

- АБ везне греде између стубова,
- АБ везне греде, делимично преднапрегнуте,
- челични спрегови различитог облика,

- зидани зидови као испуна између стубова,
- системи пригушивача DC90 између стубова, (као самосталних елемената или у комбинацији са зиданим зидовима.)
- FRP (армирање карбонским влакнима). Обавијањем око горњег и доњег краја стуба, на којима се најчешће јављају пластични зглобови, утезањем се омогућава појава троосног напонског стања у армирано бетонским пресецима и повећава се дуктилност истих.

ВЕЗНЕ ГРЕДЕ

Оптималне димензије самосталних везних греда (без других елемената ојачања) у овом случају се налазе у интервалу од 40-60 до 40-80 цм. Оптимални коефицијент армирања зависи не само од димензија и армирања суседних елемената већ од амплитудно фреквентног састава и PGA скупа акцелерограма којим се дејствује на конструкцију.

ПРЕДАНПРЕГНУТЕ ВЕЗНЕ ГРЕДЕ

Преднапрезање се може обавити коришћењем каблова у складу са ИМС технологијом. Тада је неопходно извршити бушење коцки или претходно, пре бетонирања поставити цеви, тако да кроз коцке могу да прођу каблови (нпр. 4Ф7 или 6Ф7mm). Анкере је неопходно заштитити коришћењем АБ „ружа“. Каблове и рупе је неопходно ињектирати након утезања и сидрења.

ДАМПЕР СИСТЕМ DC90

По систему DC90 (Damper catalog) развијен је низ нискоцикличних дампера за примену у различитим врстама конструкција, као што је нпр. дампер Мионица развијен за садејство са зиданим објектима, или дампера развијеног за мостове, чије су карактеристике дате у табели доле.

$V=250-320$ kN, $D=100/4$ mm, $L=1000$ mm.

Табела 1 Карактеристике дампера развијеног за мостове
Table 1. Characteristic damper developed for bridges

F (cm ²)	ΔF (cm ²)	ε_y	f_y (N/mm ²)	f_y(F-ΔF) (kN)	f_u (F-ΔF) (kN)	Δ (mm)
12,56	2,56	0,003	260	260	320	0-120

V - max сила

D - пречник дампера

L - дужина дампера

F – површина попречног пресека

ΔF – попречни пресек врата

ε_y – дилатација течења

f_y – напон течења
 f_u - мах напон (лома)
 Δ - мах померање

МЕТАЛНИ СПРЕГОВИ

Челични спрегови се могу, изнад нивоа тла, извести на више различитих начина. Код избора решења естетски критеријум има значајну улогу, јер се транспорт одвија и испод пута. Челични спрегови могу бити различитог облика.

Ојачања може бити К облика, у облику Х, двоструког Х облика или комбинација различитих облика са различитим распонима. Пресек може бити кружни, квадратни, правоугаони, итд. Материјал може бити црни челик, поцинковани црни челик, нерђајући челик, алуминијум, итд. Ова ојачања су лако доступна за прегледе током праћење стања конструкције.

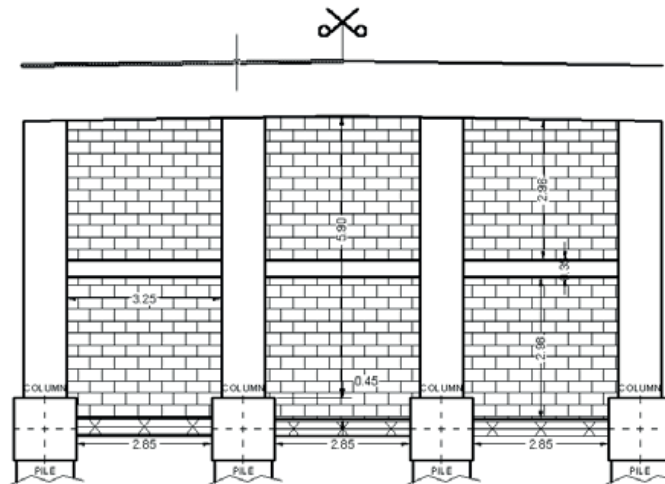
ЗИДАНИ ЗИДОВИ СА СЕРКЛАЖИМА И ВЕЗНИМ ГРЕДАМА

Ојачање између стубова изводи се зиданим зидовима од пуне опеке. Зид се зида на доњој везној греди, а у средини висине зида умета се хоризонтални серклаж, који за ове димензије, не би требало да буде дебљи од 30-40cm. Уметање хоризонталног серклажа $b/h=40/50$ cm захтева поделу коначног елемента стуба на два дела и проверу евентуалне појаве пластичног зглоба око средине висине стуба. Овим се формирају зидани сегменти димензија $\sim 3.25 \times 3$ m.

Претпостављена дебљина зида је 38, 50 и 75cm. Прелиминарна процена је да се у овом случају зид од 38 cm мора армирати и извести као армирани зидани зид, како би његово извођење задовољило захтев за сеизмичким ојачањем, те се за проверу усваја зид $d=50$ cm. Провера додатног оптерећења:

- $\sim (4,2 \times 2) \text{ kN/m}^2 \times 3.25 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 81,9 \text{ kN}$ од 1 сегмента,
- $\sim HS+VG (0.3+0.4)/2 \times 0.5 \times 25 \times 3.25 = 14,22 \text{ kN}$ од 1 сегмента;

Додатно оптерећење на крајње шипове $96,12 \text{ kN}/2 \times 2 = 96,12$, а на унутрашње $96,12 \text{ kN}/2 \times 4 = 180,24 \text{ kN}$. Што представља додатак од 7,1%, за унутрашње и 3,9% за крајње стубове у односу на постојеће стање почетне матрице крутости $g+p/2$ основног модела без ојачања. Неће се даље проверавати вертикална носивост шипова на додато оптерећење, јер на основу СРТ дијаграма утврђена је доминантна носивост базом.



Слика 2. Зидани зид и везне греде између стубова (3 горња и 3 доња сегмента).
Figure 2. Brick wall and tie beam between of columns.

Додатно оптерећење од зидане испуне за унутрашњи стуб:
(2522,62+180,24)/2522,62=1,07; и спољашњи стуб: (2443,13+96,12)/2443,13=1,04

У програму SAP2000 могуће је посматрати нелинеарно понашање раванских коначних елемената уз увођења линк елемената, стога се свако зидано поље димензија $\sim 3 \times 3 \text{m}$, замењује са по једним линк елементом, тако да их укупно има 6. Такође је могућ распоред са по два линк елемента испуне у сваком сегменту у сва три поља, те их тада има 12. За распоред зиданих сегмената види слику 2.

У наставку су дати елементи за прорачун својстава зиданих дијагонала (Мурављов и сарадници, 1999)

$$f_k = K \cdot f_b^\alpha \cdot f_m^\beta \text{ [MPa];} \quad (1)$$

$\alpha = 0.65$; $\beta = 0.25$ за малтер опште намене, справљен са обичним песком.

Притисна чврстоћа зидног елемента $f_b = 10 \text{ [N/mm}^2\text{]}$. Притисна чврстоћа малтера за зидање $f_m = 2.5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$. Пуна опека нормални формат $K = 0.65 \vee 0.55$

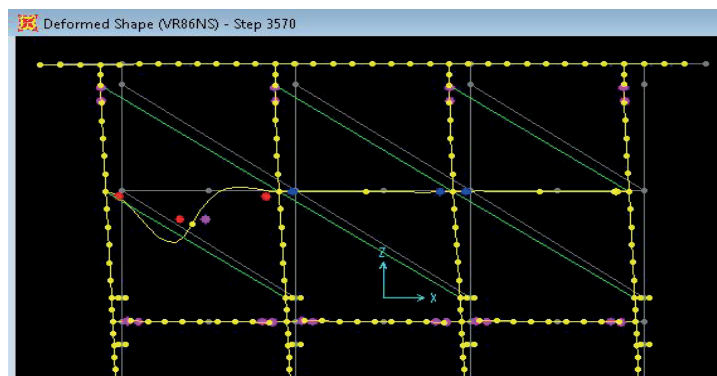
$$f_k = 3.0892 \text{ [MPa]} \quad (2)$$

За вредност $K=0,60$ добија се $f_k = 3.37 \text{ [MPa]}$

$$E_m = 1000 f_k = 3.37 \text{ [GPa]} \quad (3)$$

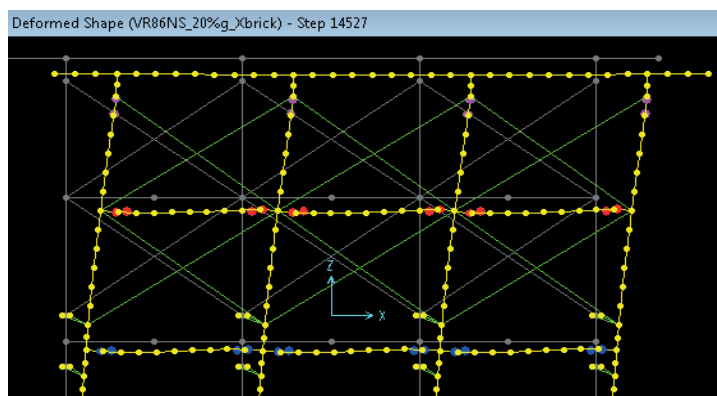
Горе срачуната вредност Јанговог модула зида је врло блиска препорученој у [DC90] али је у [DC90] однос G/E , смањен четири пута и уместо уобичајених 0.40 износи 0.10.

За прорачун на слици 3, употребљен је модел са линк елементима према [DC90], (Петрашковић и сарадници) са дијагоналама (1 дијагонала по 1 сегменту зида)

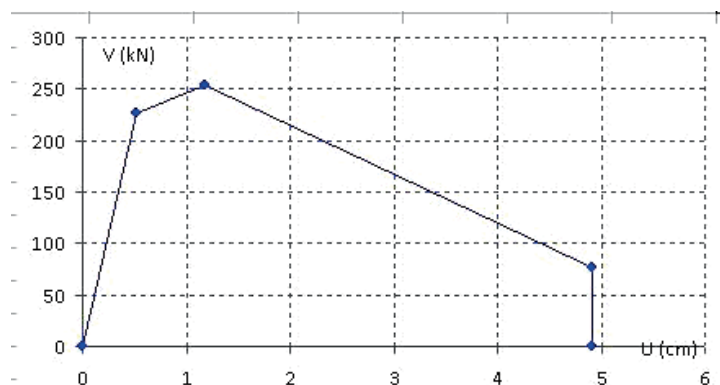


Слика 3. Vrance 1986 Focsani вршно убрзање 0.20g. –ојачање са зиданим зидом (као испуна)
Figure 3. Vrance 1986 Focsani PGA scale at 0.20g. Strengthening with brick wall (like infill).

На слици 3 је приказано стање средњег рама под VR86FocsNS у тренутку $t=17,85\text{sec}$ (step 3507). Укупно трајање акцелерограма је 72,635 sec, временски корак 0,005sec. У тренутку око 16 sec почиње пластификација и извијање левог HS, што је повољно понашање, јер се не ради о главном носећем систему, а тиме се троши енергија земљотреса. У нумеричком смислу ово је проблематично јер се повећава број нултих корака и времена потребног за прорачун. Међутим већ 1,2 sec након тога долази до појаве пластичних зглобова у десном стубу у нивоу HS.



Слика 4 Vrance 1986 Focsani вршно убрзање 0.20g. На крају земљотреса. X спрегови зиданог зида
Figure 4 Vrance 1986 Focsani PGA scale at 0.20g. On the end of earthquake. X braced brick wall.



Слика 5 Дијаграм функције сила/померање за X спрег –зиданог зида, као link елемента.
Figure 5 Dijagram function of force/displacement for X braced BrickWall, like link element.

Познато да двојни системи, (скелетни систем и зидови од опеке) обично немају задовољавајуће понашање под сеизмичким оптерећењем. Међутим овде се не ради о правом двојном систему те је употребљен префињенији модел у ТН анализи. То је модел са X дијагоналама, које практично трпе само притисак. У овом случају, слика 4, додавање зиданих зидова, са хоризонталним серклажима и везним гредама делује (веома) повољно, јер на себе преузима трошење сеизмичке енергије, штитећи тиме основну конструкцију од значајних оштећења.

Током низа нумеричких (Suarez, 2005) и експерименталних (Maymand, 1998) истраживања динамичке интеракције конструкције шип тло установљено је да различити модели и крутости тла у зависности од карактеристика самог тла и амплитудно-фреквентног састава земљотреса на датој локацији могу да имају разноврсну расподелу пластичних зглобова, и да под одређеним условима изазову наизглед неочекивану прерасподелу оштећења у шиповима и тлу (Фолић, 2017). Такође различити модели р-у кривих могу имати значајног ефекта на резултате испитивања (Миловић и сарадници, 2009; Mosher at all, 2000). Зато је неопходно код избора р-у кривих, проценити осетљивост и поузданост геомеханичких података на излазне резултате.

ПРЕПОРУКЕ ЗА НУМЕРИЧКА ИСПИТИВАЊА

Код разматрања одговора приказаних конструкција на дејства земљотреса, препоручује се следећа процедура испитивања и прегледа дијаграма:

- 1) померање врхова крајњих стубова,
- 2) време прорачуна,
- 3) померање глава сва 4 шипа,
- 4) drift стубов, а понекад и шипова
- 5) видео снимак конструкције током дејства земљотреса са идентификацијом отварања и историјом стања пластичних зглобова. Уколико се тражи брза контрола конструкције потребно је погледати стање конструкције на крају земљотреса, ТН анализе.

- б) контрола силе у link елементима (у зиданим елементима се јавља мала али не занемарљива сила затезања)

ЗАКЉУЧАК

Код моделовања секундарних конструктивних елемената, који имају функцију примарне сеизмичке заштите, обарање механичких карактеристика, не повећава увек коефицијент сигурности на земљотресно дејство, већ може да има и супротан ефекат. Наиме код оваквог принципа сеизмичког ојачања често су супротстављана два критеријума један је ојачати сеизмички елемент дисипације енергије што више да би резерва носивости била што већа, а други је да сеизмички елемент буде што слабији како не би оштетио основну конструкцију коју штити. Повећање квалитета елемената сеизмичког ојачања мора бити у пажљиво одабраним границама, повећање механичких карактеристика секундарних елемената конструкције који имају функцију примарне сеизмичке заштите може изазвати и супротан ефекат и оштети основну конструкцију. С друге стране преслаб сеизмички елемент не задовољава основну функцију због које је пројектован и прављен, те се као такав не треба ни користити. Ови закључци важе и за приказани модел средњег рама са шиповима ослоњеним на модификоване р-у криве.

Захвалница

Истраживање приказано у овом раду финансијски је помогнуто од стране Министарства за просвету науку и технолошки развој Републике Србије у оквиру Пројекта TR 36043. Аутори изражавају захвалност на овој подршци.

LITERATURA:

- Damper catalog. <http://www.dc90.co.rs/SRB%20Mechanical%20Dampers.html> (28.11.2013.)
 Фолић Б.: Сеизмичка анализа бетонских објеката фундираних на шиповима. Докторска дисертација. ФТН Универзитет у Новом Саду. Нови Сад (2017).
 Maymand P. J.: Shaking Table Scale Model Tests of Nonlinear Soil-Pile-Superstructure Interaction In Soft Clay. University of California, Berkeley. (1998).
 Миловић, Д., Ђого, М.: Проблеми интеракције тло-темељ-конструкција. Српска академија наука и уметности огранак у Новом Саду. Нови Сад 2009.
 Mosher R., Dawkins W.: Theoretical Manual for Pile Foundations, U.S. Army Corps of Engineers, Report ERDC/ITL TR-00-5, Washington, USA, Novembar 2000. Vulcanhamer.net (18.09.2013).
 Muravljov M., Stevanović B.: Zidane i drvene konstrukcije zgrada. Građevinski fakultet univerziteta u Beogradu. (1999)
 Petrašković Z.; Ninić J.; Tanasković D.; Perović Z.: Dinamična nelinearna analiza konstrukcija SISTEMA DC90 u realnom vremenu. www.dc90.co.rs/images/pdf/Manual-SAP2000-DC90.pdf
 Suarez, V.: Implementation of Direct Displacement Based Design for Pile and Drilled Shaft Bents. NCSU. North Carolina State University. October. 2005.
 1<http://repository.lib.ncsu.edu/ir/bitstream/1840.16/855/1/etd.pdf> (01.01.2014)